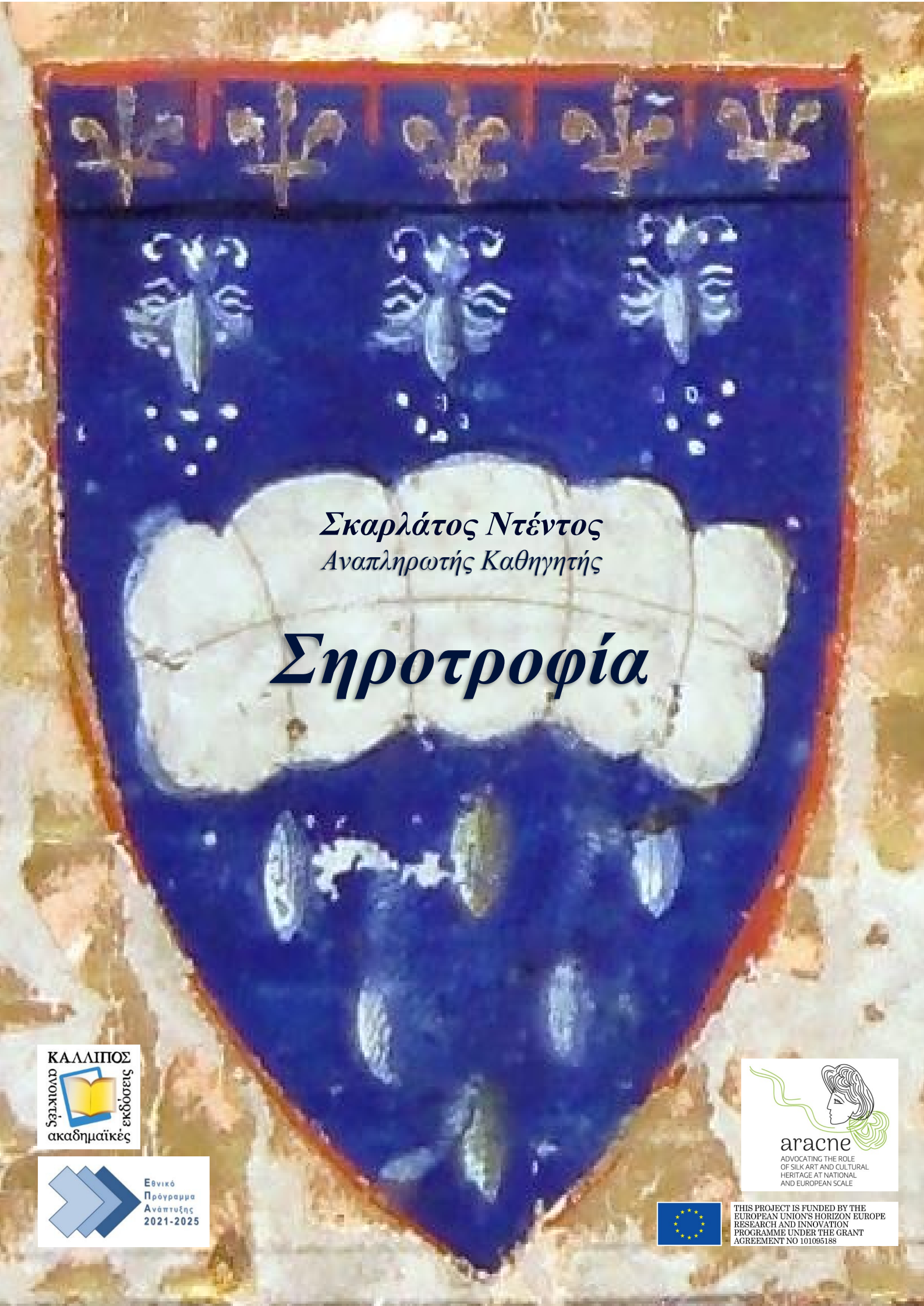


Σκαρλάτος Ντέντος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Σηροτροφία

ΚΑΛΛΙΠΟΣ ανοικτές ακαδημαϊκές εκδόσεις

Εθνικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης 2021-2025

aracne
ADVOCATING THE ROLE OF SILK ART AND CULTURAL HERITAGE AT NATIONAL AND EUROPEAN SCALE

THIS PROJECT IS FUNDED BY THE EUROPEAN UNION'S HORIZON EUROPE RESEARCH AND INNOVATION PROGRAMME UNDER THE GRANT AGREEMENT NO 101095188

ΣΚΑΡΛΑΤΟΣ ΝΤΕΝΤΟΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σηροτροφία

ΚΑΛΛΙΠΟΣ
ανοικτές ακαδημαϊκές εκδόσεις

Σηροτροφία

Συγγραφή

Σκαρλάτος Ντέντος

Συντελεστές έκδοσης

Γλωσσική Επιμέλεια: Δημήτρης Καλλιάρας

Γραφιστική Επιμέλεια: Ευαγγελία Μουστάνη

Κεντρική Ομάδα Υποστήριξης

Γλωσσικός Έλεγχος: Γεωργία Τριανταφυλλίδου

Γραφιστικός Έλεγχος: Χρήστος Κεντρωτής

Βιβλιοθηκονομική Επεξεργασία: Αλέξανδρος Ηλιάκης

Copyright © 2023, ΚΑΛΛΙΠΟΣ, ΑΝΟΙΚΤΕΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ
(ΣΕΑΒ + ΕΛΚΕ.ΕΜΠ)

Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε τον ιστότοπο https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.el

Αν τυχόν κάποιο τμήμα του έργου διατίθεται με διαφορετικό καθεστώς αδειοδότησης,
αυτό αναφέρεται ρητά και ειδικώς στην οικεία θέση.

ΚΑΛΛΙΠΟΣ

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου

www.kallipos.gr

ISBN: 978-618-5726-84-3

Βιβλιογραφική Αναφορά: Ντέντος, Σ. (2023). *Σηροτροφία* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-207

Σχετικά με το εξώφυλλο του βιβλίου:
Η εικόνα στο εξώφυλλο του βιβλίου είναι η
πρώτη καταγεγραμμένη απεικόνιση
κουκουλιών και μεταξιού στην Ευρώπη.
Χρονολογείται από το 1427 μ.Χ. και είναι
τμήμα μεγαλύτερης εικόνας που διακοσμεί
το καταστατικό της συντεχνίας των εργατών μεταξιού
που υπήρχε την εποχή εκείνη στην Μπολόνια της Ιταλίας.
Αυτό το καταστατικό, ως έγγραφο, διασώζεται
στο κρατικό αρχείο της Μπολόνια, στην Ιταλία.
Η χρήση της εικόνας παραχωρήθηκε κατόπιν αδείας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος 15

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή 17
Βιβλιογραφία 28

Κεφάλαιο 2: Η Μουριά 33
2.1 Εισαγωγή 33
2.2 Μέθοδοι πολλαπλασιασμού και παραγωγής δέντρων μουριάς 34
2.2.1 Αγενής πολλαπλασιασμός με καταβολάδες 34
2.2.2 Αγενής πολλαπλασιασμός μουριάς με φυλλοφόρα μοσχεύματα 36
2.2.3 Αγενής πολλαπλασιασμός μουριάς με άφυλλα ξυλοποιημένα μοσχεύματα 36
2.2.4 Πολλαπλασιασμός της μουριάς με ενοφθαλμισμό και εγκεντρισμό 37
2.3 Εγκατάσταση μορεώνα 37
2.3.1 Ποιότητα εδάφους του μορεώνα 39
2.3.2 Προσβασιμότητα στον μορεώνα 40
2.3.3 Επιλογή ποικιλίας μουριάς προς φύτευση 40
2.3.4 Πυκνότητα φύτευσης της μουριάς στον μορεώνα 41
2.4 Μέθοδοι κοπής και συγκομιδής των βλαστών της μουριάς 44
2.4.1 Μέθοδος επιλογής των κατάλληλων φύλλων για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών 46
2.4.2 Συγκομιδή φύλλων για τις μεγάλες ηλικίες 48
2.5 Διαχείριση του μορεώνα 51
2.5.1 Λίπανση και ύδρευση του μορεώνα 51
2.5.2 Μηχανές για τις καλλιεργητικές φροντίδες του μορεώνα 52
2.6 Ασθένειες της μουριάς..... 53
2.6.1 Νανισμός της μουριάς 53
2.6.2 Ασθένειες της μουριάς που προκαλούνται από βακτήρια 54
2.6.3 Ασθένειες της μουριάς που προκαλούνται από μύκητες 54
2.6.3.1 Κόκκινη «σκουριά» της μουριάς 54
2.6.3.2 Ωίδιο της μουριάς 55
2.6.3.3 Προσβολή από τον μύκητα *Diaporthe nomurai* (Ομοταξία: Sordariomycetes) 55
2.6.3.4 Προσβολή από τον μύκητα *Gibberella baccata* (Ομοταξία: Sordariomycetes) 55
2.6.3.5 Προσβολή από τον μύκητα *Cercospora moricola* (Ομοταξία: Dothideomycetes) 55
2.6.3.6 Προσβολή της ρίζας από τον βιολετί μύκητα *Helicobasidium longisporum* (Ομοταξία: Pucciniomycetes) 56
2.6.3.7 Προσβολή της ρίζας από τον λευκό μύκητα *Rosellinia necatrix* (Ομοταξία: Sordariomycetes) .. 56
2.6.4 Παράσιτα της μουριάς 56
2.6.4.1 Προσβολή από το Κολεόπτερο *Moreoaris deplanata* 56
2.6.4.2 Προσβολή από το Δίπτερο *Diplosis (Contarinia) mori* 57

2.6.4.3 Προσβολή από το Λεπιδόπτερο *Hyphantria cunea* 57
2.6.4.4 Προσβολή από το Λεπιδόπτερο *Diaphania pyloalis* 57
2.6.4.5 Προσβολή από Ημίπτερα..... 57
2.6.4.6 Προσβολή από τα ξυλοφάγα Κολεόπτερα..... 57
2.6.4.7 Προσβολή από παρασιτικά Ακάρεα 58
2.6.4.8 Προσβολή από παρασιτικά Νηματώδη 58
2.6.5 Ζημιές στον μορεώνα λόγω ακραίων κλιματικών φαινομένων 59
2.7 Ποικιλίες της μουριάς για χρήση στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα 60
2.7.1 Ποικιλία Kokuso 20..... 61
2.7.2 Ποικιλία Kokuso 21..... 61
2.7.3 Ποικιλία Kokuso 70..... 62
2.7.4 Ποικιλία Kokuso 27..... 62
2.7.5 Ποικιλία Ichinose, Kairyou-Ichinose και Shin-Ichinose 62
2.7.6 Ποικιλία Restelli 63
2.7.7 Ποικιλία Indiana 63
2.7.8 Ποικιλία Προύσας ή Μπούρσας 64
Βιβλιογραφία 65
Κριτήρια αξιολόγησης 67

Κεφάλαιο 3: Ο Μεταξοσκώληκας 69
3.1 Εισαγωγή 69
3.2 Η εξέλιξη του μεταξοσκώληκα 70
3.3 Συστήματα οργάνων του μεταξοσκώληκα 71
3.3.1 Το νευρικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 71
3.3.1.1 Τα αισθητήρια όργανα του μεταξοσκώληκα 73
3.3.2 Το ενδοκρινικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 77
3.3.3 Το πεπτικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 80
3.3.4 Το απεκκριτικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 81
3.3.5 Το ανοσοποιητικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 82
3.3.6 Το κυκλοφορικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 83
3.3.7 Το αναπνευστικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 85
3.3.8 Το αναπαραγωγικό σύστημα του μεταξοσκώληκα 87
3.3.9 Το μυϊκό σύστημα του μεταξοσκώληκα..... 89
3.3.10 Οι μεταξογόνοι αδένες και η έκκριση του μεταξιού 90
3.4 Το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα 92
Βιβλιογραφία 93
Κριτήρια αξιολόγησης 100

Κεφάλαιο 4: Βιολογία και Ανάπτυξη του Μεταξοσκώληκα 101
4.1 Βιολογικοί μηχανισμοί ανάπτυξης του μεταξοσκώληκα 101

4.1.1 Γαμετογένεση, γονιμοποίηση και εμβρυογένεση του μεταξοσκώληκα 101
4.1.1.1 Ωογένεση και ανάπτυξη των ωοθηκών 101
4.1.1.2 Σπερματογένεση 103
4.1.1.3 Γονιμοποίηση και εμβρυογένεση 104
4.1.2 Διάπαυση 105
4.1.3 Μετα-εμβρυϊκή ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα 106
4.1.3.1 Ο κύκλος ζωής του μεταξοσκώληκα 107
4.2 Μορφολογία σώματος και ανατομικά χαρακτηριστικά του μεταξοσκώληκα 109
4.2.1 Το σώμα της προνύμφης 109
4.2.2 Εσωτερική δομή του σώματος της προνύμφης 110
4.2.3 Εσωτερική δομή του σώματος της νύμφης 113
4.2.4 Εσωτερική δομή του σώματος της νυχτοπεταλούδας 114
4.3 Φυσιολογία ανάπτυξης του μεταξοσκώληκα 115
4.3.1 Αναπτυξιακές αλλαγές του σώματος κατά τη μεταμόρφωση 117
4.3.2 Περιβαλλοντικές προσαρμογές του μεταξοσκώληκα 118
4.4 Διατροφή του μεταξοσκώληκα 118
4.4.1 Διατροφικές απαιτήσεις σε αμινοξέα και μεταβολισμός των αμινοξέων 119
4.4.2 Διατροφικές απαιτήσεις σε λιπίδια 119
4.4.3 Διατροφικές απαιτήσεις σε υδατάνθρακες 120
4.4.4 Διατροφικές απαιτήσεις σε βιταμίνες 120
4.4.5 Διατροφικές απαιτήσεις σε μέταλλα και ιχνοστοιχεία 121
4.5 Εκτροφή του μεταξοσκώληκα με τεχνητή δίαιτα 122
4.5.1 Εξέλιξη της τεχνητής δίαιτας για τις προνύμφες 122
4.5.2 Συνεταιριστική εκτροφή νεαρών ηλικιών με χρήση τεχνητής δίαιτας 126
4.5.3 Εναλλακτικές πηγές διατροφής των προνυμφών με άλλα είδη φυτών 127
Βιβλιογραφία 129
Κριτήρια αξιολόγησης 133

Κεφάλαιο 5: Παραγωγή και Διαχείριση των Αυγών του Μεταξοσκώληκα 135
5.1 Παραγωγή αυγών μεταξοσκώληκα 135
5.2 Εκτροφή πατρογονικών φυλών 139
5.2.1 Διαχωρισμός του φύλου των μεταξοσκωλήκων 139
5.2.2 Παραγωγή αυγών από τις νυχτοπεταλούδες 141
5.2.3 Διαχείριση των νυχτοπεταλούδων κατά το ζευγάρωμα και την παραγωγή αυγών 142
5.2.4 Έλεγχος για την ύπαρξη προσβολής από πιπερίτιδα 144
5.2.5 Διαχείριση και συντήρηση των αυγών του μεταξοσκώληκα 146
5.3 Μέθοδοι διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα σε χαμηλές θερμοκρασίες 147
5.3.1 Απλή ψύξη των αυγών του μεταξοσκώληκα 149
5.3.2 Ψύξη δύο σταδίων 149
5.3.3 Διαχείριση αυγών που εναποτίθενται το φθινόπωρο 150

5.4 Τεχνητή εκκόλαψη των αυγών του μεταξοσκώληκα 152
5.4.1 Συνήθης μέθοδος επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ 153
5.4.2 Επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από ψύξη των αυγών του μεταξοσκώληκα 155
5.5 Επώαση των αυγών του μεταξοσκώληκα 156
5.5.1 Μέθοδος επώασης σε σταθερή θερμοκρασία 157
5.5.2 Μέθοδος επώασης σε αυξανόμενη θερμοκρασία 157
5.5.3 Ψύξη των αυγών του μεταξοσκώληκα κατά την επώαση και ψύξη των εκκολαφθεισών προνυμφών 159
Βιβλιογραφία 160
Κριτήρια αξιολόγησης 163

Κεφάλαιο 6: Εκτροφή του Μεταξοσκώληκα 165
6.1 Χαρακτηριστικά του μεταξοσκώληκα 165
6.2 Ανάπτυξη της προνύμφης του μεταξοσκώληκα 167
6.3 Περίοδοι εκτροφής του μεταξοσκώληκα κατά τη διάρκεια του έτους 169
6.4 Προετοιμασία για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα..... 170
6.4.1 Δημιουργία του πλάνου εκτροφών 170
6.4.1.1 Εκτίμηση της παραγόμενης ποσότητας φύλλων ανά στρέμμα μορεώνα 170
6.4.1.2 Εργατοώρες για την παραγωγή κουκουλιών 172
6.4.1.3 Προετοιμασία του σηροτροφείου και των υλικών εκτροφής 173
6.4.1.4 Επιλογή του κατάλληλου υβριδίου μεταξοσκώληκα 175
6.4.2 Απολύμανση του σηροτροφείου 176
6.4.2.1 Προετοιμασία για την απολύμανση του σηροτροφείου 176
6.5 Εκκόλαψη των αυγών και εκτροφή των νεαρών προνυμφών 179
6.5.1 Εκκόλαψη των προνυμφών 180
6.5.2 Επιλογή φύλλων μουριάς για νεαρές ηλικίες 187
6.6 Συνεταιριστική εκτροφή νεαρών ηλικιών μεταξοσκωλήκων 190
6.7 Χαρακτηριστικά ανάπτυξης των μεγάλων προνυμφών 191
6.7.1 Παροχή φύλλων μουριάς για τις μεγάλες ηλικίες 192
6.7.2 Καθαρισμός της στρωμνής και αραίωμα των προνυμφών 193
6.7.3 Πυκνότητα των μεταξοσκωλήκων κατά την εκτροφή..... 193
6.7.4 Πρόληψη προσβολής από ασθένειες 194
6.7.5 Μέθοδοι εκτροφής στις μεγάλες ηλικίες 195
6.7.5.1 Εκτροφή σε ένα επίπεδο 195
6.8 Εκμηχάνιση της εκτροφής των μεγάλων ηλικιών 196
6.9 Διαχείριση της εκτροφής των μεταξοσκωλήκων στις μεγάλες ηλικίες 198
Βιβλιογραφία 203
Κριτήρια αξιολόγησης 206

Κεφάλαιο 7: Παραγωγή Κουκουλιών 207
7.1 Εισαγωγή 207
7.2 Υλικά πλοκής των κουκουλιών 210
7.2.1 Κλαδιά δρυός 210
7.2.2 Υλικό πλοκής κουκουλιών κινεζικού τύπου 211
7.2.3 Υλικό πλοκής κουκουλιών ιταλικού τύπου 212
7.2.4 Υλικό πλοκής κουκουλιών ιαπωνικού τύπου 213
7.2.5 Άλλοι τύποι και υλικά πλοκής κουκουλιών 214
7.3 Μέθοδος τοποθέτησης των ώριμων προνυμφών στο υλικό πλοκής κουκουλιών 214
7.3.1 Μέθοδος τοποθέτησης των ώριμων προνυμφών στο υλικό πλοκής κουκουλιών με την ιαπωνική μέθοδο 215
7.4 Προστασία των προνυμφών κατά την πλοκή των κουκουλιών 219
7.5 Συλλογή των κουκουλιών 220
7.5.1 Αφαίρεση γναφάλων 221
7.5.2 Διαλογή των κουκουλιών 222
7.6 Ξήρανση κουκουλιών 224
7.6.1 Μηχανισμός ξήρανσης των κουκουλιών 226
7.6.2 Διάφορες μέθοδοι ξήρανσης των κουκουλιών 227
7.6.3 Βαθμός ξήρανσης των κουκουλιών 227
7.6.4 Τύποι μηχανών ξήρανσης κουκουλιών 227
7.7 Αποθήκευση των κουκουλιών 229
7.7.1 Διαλογή των κουκουλιών μετά την ξήρανση 230
Βιβλιογραφία 231
Κριτήρια αξιολόγησης 232

Κεφάλαιο 8: Ασθένειες του Μεταξοσκώληκα 233
8.1 Εισαγωγή 233
8.2 Ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης 234
8.3 Πιπερίτιδα 238
8.4 Ιός της κυτταροπλασματικής πολυέδρωσης 241
8.5 Ιός της μολυσματικής ληθαργίας 242
8.6 Ιός της πυκνοπυρήνωσης 244
8.7 Ιός της διπυκνοπυρήνωσης 245
8.8 Βακτηριακές προσβολές του μεταξοσκώληκα 247
8.8.1 Προσβολή από το βακτήριο *Bacillus thuringiensis* 247
8.8.2 Σηψαιμία 247
8.8.3 Σηψαιμία από μη παθογόνα βακτήρια 249
8.9 Ασθένειες του μεταξοσκώληκα που προκαλούνται από μύκητες 250
8.9.1 Πράσινη μυκητίαση 250
8.9.2 Κίτρινη μυκητίαση 251

8.9.3 Μαύρη μυκητίαση 251
8.9.4 Λευκή μυκητίαση 252
8.9.5 Ασπεργίλλωση 255
8.10 Παράσιτα του μεταξοσκώληκα 256
8.10.1 Παρασιτισμός από μύγες της Οικογένειας Tachinidae (Diptera) 256
8.10.2 Παρασιτισμός από Κολεόπερα της Οικογένειας Dermestidae 258
8.11 Δηλητηριάσεις του μεταξοσκώληκα από χημικές ενώσεις 258
Βιβλιογραφία 260
Κριτήρια αξιολόγησης 265

Κεφάλαιο 9: Παραγωγή Μεταξιού 267
9.1 Χαρακτηριστικά του κουκουλιού που αφορούν την παραγωγή μεταξιού 267
9.2 Δομικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της ίνας του μεταξιού 276
9.3 Ποιότητα και βαθμονόμηση των κουκουλιών 279
9.3.1 Βαθμονόμηση της ποιότητας των κουκουλιών 279
9.3.2 Υπολογισμός αποτελεσμάτων αναπήνισης 281
9.3.3 Αγορά και πώληση κουκουλιών 285
9.4 Αναπήνιση των κουκουλιών 287
9.4.1 Βρασμός κουκουλιών 287
9.4.2 Αναπήνιση των κουκουλιών 288
9.4.3 Επαναναπήνιση και φινίρισμα του νήματος ακατέργαστου μεταξιού..... 295
9.4.4 Χρήση των παραπροϊόντων της αναπήνισης μεταξιού 296
9.4.5 Χωροταξικός σχεδιασμός αναπηνιστηρίου και κριτήρια επιλογής λοιπού εξοπλισμού 297
9.4.6 Έλεγχος ακατέργαστου μεταξιού 298
9.5 Παραγωγή μεταξιού από άλλα έντομα 300
Βιβλιογραφία 303
Κριτήρια αξιολόγησης 304

Κεφάλαιο 10: Χρήσεις του Μεταξιού 305
10.1 Το μετάξι ως υλικό ένδυσης 305
10.2 Ιδιότητες της ίνας του μεταξιού 308
10.2.1 Το μετάξι ως βρώσιμο υλικό 315
10.2.2 Το μετάξι ως βιοϋλικό σε ιατρικές εφαρμογές 316
10.2.3 Το μετάξι ως υλικό σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές 317
10.2.4 Η χρήση της σερικίνης σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές 318
10.2.5 Η φιλική προς το περιβάλλον διάσταση της σηροτροφίας 319
Βιβλιογραφία 320
Κριτήρια αξιολόγησης 328

Κεφάλαιο 11: Πηγές δεδομένων, Βάσεις Δεδομένων και Ιστοσελίδες για τη Σηροτροφία 329
11.1 Πηγές δεδομένων για τη μουριά 329
11.2 Διεθνείς οργανισμοί και οργανώσεις σχετικά με τον μεταξοσκώληκα και τη σηροτροφία 330
11.3 Στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη σηροτροφία 330
11.4 Περιοδικά αφιερωμένα στη σηροτροφία 331
11.5 Εταιρείες και οργανισμοί εμπορίας αυγών μεταξοσκώληκα και κουκουλιών 331
11.6 Βάσεις δεδομένων σχετικά με τον μεταξοσκώληκα 332
11.7 Μουσεία για το μετάξι και τη σηροτροφία 333
11.8 Διεθνείς κρατικές επιστημονικές εταιρείες και ινστιτούτα 334
11.9 Εταιρείες παραγωγής και εμπορίας ειδών από μετάξι 334
11.10 Εταιρείες ποιοτικού ελέγχου μεταξιού και ειδών από μετάξι 335
11.11 Σύνδεσμοι βίντεο μικρής διάρκειας σχετικά με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα..... 335

Πρόλογος

Το βιβλίο αυτό γράφτηκε για να χρησιμοποιηθεί ως ακαδημαϊκό σύγγραμμα από φοιτητές/-τριες της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Ταυτόχρονα, όμως, πρόθεση του συγγραφέα είναι να χρησιμοποιηθεί το βιβλίο αυτό και ως ένας πρακτικός οδηγός για οποιονδήποτε θέλει να εκθρέψει μεταξοσκώληκες για την παραγωγή κουκουλιών και μεταξιού. Αυτός είναι και ο λόγος που σε κάποια κεφάλαια του βιβλίου υπάρχουν λεπτομερείς και πρακτικές αναφορές για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα και την καλλιέργεια της μουριάς.

Η εκτροφή του μεταξοσκώληκα έχει παράδοση πολλών αιώνων στην Ελλάδα και σε περιοχές στις οποίες εκτρέφεται ακόμη ο μεταξοσκώληκας χρησιμοποιούνται μερικές λέξεις για να προσδιορίσουν τα διάφορα στάδια της εκτροφής. Έγινε προσπάθεια να μη χρησιμοποιηθούν αυτές οι λέξεις στο παρόν σύγγραμμα. Έτσι, η λέξη *κλάδωμα*, που παραδοσιακά αναφέρεται στην πλοκή κουκουλιών από τον μεταξοσκώληκα μέσα σε κλαδιά δρυός, αναφέρεται ως *πλοκή κουκουλιού*. Η λέξη *ύπνος*, που στη σηροτροφική πρακτική προσδιορίζει τα στάδια της προνύμφης στα οποία δεν τρέφεται, αναφέρεται ως *έκδυση*. Επίσης, η λέξη *γενιά*, που προσδιορίζει την ολοκλήρωση ενός κύκλου ζωής του μεταξοσκώληκα από το αυγό μέχρι τη νυχτοπεταλούδα και η οποία στα αγγλικά αναφέρεται με τον όρο voltinism, στο παρόν σύγγραμμα αναφέρεται ως *κύκλος ζωής*. Τέλος, υπάρχουν παραδοσιακές λέξεις για τις διάφορες ασθένειες που προσβάλλουν τον μεταξοσκώληκα και οι οποίες δεν αναφέρονται καθόλου.

Για τη συγγραφή του βιβλίου χρησιμοποιήθηκαν πολλά και διαφορετικά συγγράμματα γραμμένα στα Ιαπωνικά, στα Αγγλικά αλλά και στα Ιταλικά με σκοπό να γίνει μια σύνθεση στην παρουσίαση των διαφόρων πρακτικών εκτροφής του μεταξοσκώληκα που έχει επικρατήσει σε άλλες χώρες. Ταυτόχρονα έγινε προσπάθεια να αποτυπωθούν οι μοντέρνες τάσεις στη σηροτροφία, καθώς το μετάξι βρίσκει πλέον βιοτεχνολογικές εφαρμογές που ξεπερνούν τη χρήση του ως υλικού ένδυσης. Η σηροτροφία βρίσκεται σε ένα μεταίχμιο και αυτό προσπαθεί να αποτυπώσει αυτό το σύγγραμμα.

23 Αυγούστου 2022
Σκαρλάτος Ντέντος

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Σύνοψη
Μη απαραίτητη

Προαπαιτούμενη γνώση
Μη αναγκαία

Το βιβλίο που ξεκινάτε να διαβάζετε αφορά τον αγροτικό, παραγωγικό κλάδο της σηροτροφίας, δηλαδή της εκτροφής του μεταξοσκώληκα, *Bombyx mori* L. Ως εκτροφή του μεταξοσκώληκα δεν νοείται μόνο η απλή διαδικασία εκτροφής των προνυμφικών σταδίων αυτού του Λεπιδόπτερου, αλλά ο όρος «Σηροτροφία» περιλαμβάνει επιμέρους παραγωγικά πεδία όπως είναι η καλλιέργεια της μουριάς, η παραγωγή και η διαχείριση των αυγών του μεταξοσκώληκα, η παραγωγή κουκουλιών και η παραγωγή μεταξιού από τα κουκούλια. Καθένα από αυτά τα τέσσερα παραγωγικά πεδία αποτελεί πηγή παραγωγής εμπορεύσιμων προϊόντων της αγροτικής παραγωγής αλλά και της βιομηχανικής παραγωγής. Καθένα από αυτά τα τέσσερα παραγωγικά πεδία δίνει με τη σειρά του υπόσταση σε μια σειρά από δραστηριότητες που είναι εμπορικές, ερευνητικές ή τεχνολογικές. Όλες όμως οι παράπλευρες δραστηριότητες που αφορούν τον κλάδο της σηροτροφίας βασίζονται και έχουν ως κεντρικό σημείο αναφοράς την εκτροφή του μεταξοσκώληκα με σκοπό την παραγωγή κουκουλιών ως αγροτική ενασχόληση. Το βιβλίο, λοιπόν, έχει ως κεντρικό σημείο αναφοράς την αγροτική ενασχόληση με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα και περιλαμβάνει και τα τέσσερα παραγωγικά πεδία που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Αυτό το βιβλίο γράφεται λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τις ανάγκες εκπαίδευσης των προπτυχιακών φοιτητών/-τριών των Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης της Ελλάδας, αλλά και των αγροτών και παραγωγών μεταξιού που έχουν ανάγκη να γνωρίζουν πώς μπορούν να επιτύχουν μια καλή εκτροφή του μεταξοσκώληκα για την παραγωγή κουκουλιών. Επιπλέον, με βάση τις διαρκώς αυξανόμενες αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία για τη χρήση του μεταξιού σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές, η αναφορά σε αυτές τις εφαρμογές οφείλει να είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι κάθε βιβλίου για τη σηροτροφία από εδώ και στο εξής. Έτσι, στόχος του βιβλίου είναι να παρουσιάσει την εκτροφή του μεταξοσκώληκα για την παραγωγή κουκουλιών καθώς και όλες τις άλλες δραστηριότητες που περιλαμβάνει η σηροτροφία, υπό το πρίσμα και των βιοτεχνολογικών εφαρμογών που μπορεί να έχει το μετάξι.

Η εκτροφή του μεταξοσκώληκα για την παραγωγή μεταξιού ξεκίνησε από την Κίνα μερικές χιλιάδες χρόνια πριν (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Schafer, 2020; Shekar & Hardingham, 1995) και κατόπιν επεκτάθηκε σε όλο τον κόσμο μέχρι τις μέρες μας. Πάρα πολλά είναι γνωστά για την εξάπλωση της εκτροφής του μεταξοσκώληκα μέσω του Δρόμου του Μεταξιού προς τη Μέση Ανατολή και την Ευρώπη και έχουν γραφεί πολλά βιβλία που περιέχουν λεπτομερείς ιστορικές αναφορές. Οι αναφορές σχετικά με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα στην Ευρώπη αρχίζουν να εμφανίζονται στον 15ο αιώνα μ.Χ. με πρώτη αυτή του L. Lazzarelli το 1469 (Crisciani, 2000), ενώ υπάρχουν και άλλες επακόλουθες βιβλιογραφικές αναφορές σε βιβλία του Μεσαίωνα όπως στο "Arte della seta" (1487), τον Giustolo da Spoleto (1505), τον Vida (1527) και άλλους στα Ιταλικά, καθώς και αναφορές στα Γαλλικά και στα Ισπανικά (Prof. Claudio Zanier, προφορική ενημέρωση).

Πριν από αυτές τις βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με τον μεταξοσκώληκα στη Δ. Ευρώπη υπάρχουν μόνο τρεις αναφορές σχετικά με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα στην Ευρώπη: Αυτή του Μανουήλ Φιλή του Εφέσιου περίπου το 1300 (Hörandner et al., 2019; Rhoby, 2019) σε Αρχαία Ελληνικά, μία αναφορά από τον Damiri (1375) σε Αιγυπτιακά Αραβικά και μία ακόμη αναφορά περίπου το 1430 από έναν ανώνυμο συγγραφέα στα Ιταλικά (Prof. Claudio Zanier, προφορική ενημέρωση). Έχει διασωθεί επίσης ένας κατάλογος οικονομικών που γράφτηκε στην Ανδαλουσία το 960 μ.Χ. και αναφέρει την επιβολή φόρου σε εκτροφείς μεταξοσκωλήκων, ενώ ένα παρόμοιο έντυπο από τον Αρχιεπίσκοπο του Reggio Calabria (1000-1050 μ.Χ.) αναφέρει την επιβολή δασμού σε σηροτρόφους που χρησιμοποιούν τις εκτάσεις μορεώνων που έχει στην κατοχή του. Επίσης, υπάρχουν πάπυροι που αναφέρουν την εκτροφή του μεταξοσκώληκα στην Τυνησία και Σικελία τον 10ο με 11ο αιώνα μ.Χ. (Goitein, 1961). Τέλος, υπάρχει το *Επαρχικόν Βιβλίον* του Λέοντος ΣΤ΄ του Σοφού (Κόλιας & Χρόνη, 2010), του 10ου αιώνα μ.Χ., το οποίο όμως αναφέρεται στην παραγωγή μεταξιού στη Βυζαντινή Αυτοκρατορία αλλά όχι στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα.

Η αναφορά του Προκόπιου για την εισαγωγή αυγών μεταξοσκώληκα από την Ασία την περίοδο του Ιουστινιανού κρίνεται ως γεγονός που απέτυχε και ποτέ δεν εδραιώθηκε (Schafer, 2020), καθώς συνέβη τον 6ο αιώνα μ.Χ., ενώ για αρκετούς αιώνες κατόπιν δεν υπάρχει καμία αναφορά στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα στο Βυζάντιο αλλά ούτε και στην Ευρώπη. Έτσι, είναι πιο ασφαλές να θεωρηθεί ότι η εκτροφή του

μεταξοσκώληκα εμφανίστηκε στην Ευρώπη πρώτα στην Ισπανία μέσω των Αράβων καθώς υπάρχουν αναφορές σχετικά με αυτό. Στο Βυζάντιο, η παραγωγή (ύφανση) μεταξωτών υφασμάτων ήταν μια πολύ σημαντική οικονομική δραστηριότητα (Schafer, 2020), αλλά δεν υπάρχει καμία ξεκάθαρη αναφορά για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα. Από τον 16ο αιώνα μ.Χ. και μετά, η εκτροφή του μεταξοσκώληκα γνωρίζει μεγάλη εξάπλωση στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στις περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο με το απόγειο αυτής της αγροτικής δραστηριότητας να καταγράφεται στα μέσα του 20ού αιώνα μ.Χ. (Zanier, 1994; Zanier, 2007).

Σήμερα, η σηροτροφία στην Ευρώπη βρίσκεται σε παρακμή, καθώς η πρωτοκαθεδρία της Κίνας και της Ινδίας στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα και στην παραγωγή μεταξιού σε χαμηλή τιμή δεν δίνει το οικονομικό κίνητρο για τη διατήρηση της παραγωγής κουκουλιών και μεταξιού σε χώρες με αυξημένο εργατικό κόστος (Tzenov et al., 2022).

Ωστόσο, η επιχειρηματική πραγματικότητα σχετικά με την παραγωγή μεταξιού δείχνει να αλλάζει τις δύο τελευταίες δεκαετίες, καθώς υπάρχει μια σαφής τάση για χρήση του μεταξιού σε εφαρμογές πέρα από την παραγωγή ρούχων και υφασμάτων (Dinjaski & Kaplan, 2016; Omenetto & Kaplan, 2010; Tao et al., 2012). Αυτό δεν σημαίνει ότι η σηροτροφία ως αγροτική δραστηριότητα θα ανακάμψει στο μέλλον φτάνοντας στα επίπεδα παραγωγής που υπήρχαν πριν 100 χρόνια. Σημαίνει, ωστόσο, ότι η σηροτροφία μπορεί να παραμείνει ως μια σημαντική αγροτική δραστηριότητα στην Ευρώπη, αλλά και στην Ελλάδα, παράγοντας μετάξι για βιοτεχνολογικές χρήσεις ανεξάρτητες από την υφαντουργία. Η σηροτροφία, επίσης, μπορεί να παραμείνει ως μια σημαντική αγροτική δραστηριότητα, καθώς αλλάζουν οι προτιμήσεις των καταναλωτών, οι οποίοι στρέφονται προς προϊόντα που έχουν τοπικό χαρακτήρα (Tzenov et al., 2022).

Η σηροτροφία ως επιστημονικός και ερευνητικός αγροτικός κλάδος γνώρισε τεράστια ανάπτυξη στις τελευταίες δεκαετίες του 20ού αιώνα, αλλά πλέον έχει επέλθει ένας «επιστημονικός κορεσμός», καθώς δεν υπάρχουν πολλά τα οποία μπορούμε να ερευνήσουμε σχετικά με τη βελτίωση της εκτροφής μεταξοσκωλήκων για την παραγωγή κουκουλιών. Με άλλα λόγια, έχουν ήδη δημοσιευθεί και είναι γνωστά τα επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα που εξασφαλίζουν μια καλή εκτροφή των μεταξοσκωλήκων και είναι γνωστό τι χρειάζεται να έχουμε για να πετύχουμε μια καλή εκτροφή των μεταξοσκωλήκων (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Veda et al., 1997; Wang et al., 1989; Wu et al., 1988).

Ωστόσο, ο ευρύτερος επιστημονικός τομέας που ειδικεύεται στον μεταξοσκώληκα είναι ιδιαίτερα δραστήριος, καθώς ο μεταξοσκώληκας αποτελεί ένα ζωικό μοντέλο πάνω στο οποίο δουλεύουν πολλοί επιστήμονες, όχι όμως αναγκαία για τη βελτίωση της παραγωγής κουκουλιών (Goldsmith et al., 2005; Tazima, 1964, 1978). Τις τελευταίες δεκαετίες ιδιαίτερη έμφαση δίνεται, στον ευρύτερο κλάδο της σηροτροφίας, στη χρήση του μεταξιού για βιοτεχνολογικούς σκοπούς (Iizuka et al., 2013; Kuwana et al., 2014; Leem et al., 2020; Marelli et al., 2016; Omenetto & Kaplan, 2010; Shi et al., 2021; Zhao et al., 2014) και σε αυτό το βιβλίο παρουσιάζονται τα σύγχρονα επιτεύγματα σχετικά με τη χρήση του μεταξιού στο Κεφάλαιο 10. Αυτή, κατά τον συγγραφέα, είναι η μελλοντική προσέγγιση που θα πρέπει να έχει ο αγροτικός κλάδος της σηροτροφίας, αντιμετωπίζοντας, δηλαδή, το μετάξι ως ένα βιοτεχνολογικό προϊόν που έχει υψηλή προστιθέμενη αξία.

Καθώς είναι πρακτικά και φυσιολογικά αδύνατον αλλά και οικονομικά ασύμφορο να έχουμε αύξηση της παραγωγής πέρα από τα 40-42 κιλά φρέσκων κουκουλιών ανά κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα και επίσης είναι εξίσου οικονομικά ασύμφορο να έχουμε εντατικοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας στις χώρες όπου το κόστος εργασίας είναι υψηλό, η σηροτροφία ως παραγωγική και αγροτική ενασχόληση έχει φτάσει την «οροφή» της απόδοσής της. Οι λόγοι για τις δύο αυτές παραδοχές θα εξηγηθούν παρακάτω σε αυτό το εισαγωγικό κεφάλαιο, αφού πρώτα γίνει μια παρουσίαση της παρούσας παγκόσμιας κατάστασης στην παραγωγή κουκουλιών και μεταξιού.

Η αγροτική ενασχόληση με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα θα μπορούσε παραδοσιακά να χαρακτηριστεί ως η «ενασχόληση του φτωχού αγρότη» και αυτό αποτυπώνεται ξεκάθαρα στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.1) όπου φαίνεται η παραγωγή κουκουλιών σε ένα διάστημα 15 ετών στις κύριες χώρες παραγωγής κουκουλιών σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Ιαπωνικής Εταιρείας Σηροτροφίας. Με μια απλή ανάγνωσή του, ο παραπάνω πίνακας (Πίνακας 1.1) δείχνει ξεκάθαρα ότι η παγκόσμια παραγωγή κουκουλιών είναι παγιωμένη και υπάρχουν σημαντικές μειώσεις στην παραγωγή σε χώρες που εμφανίζουν οικονομική ανάπτυξη και μείωση του αγροτικού πληθυσμού όπως, για παράδειγμα, η Ιαπωνία και το Βιετνάμ. Από την άλλη μεριά, ο πίνακας αυτός μας δείχνει ότι σε χώρες όπου το αγροτικό εισόδημα είναι χαμηλό όπως, για παράδειγμα, η Κίνα και η Ινδία, η παραγωγή είναι σταθεροποιημένη και μη μεταβαλλόμενη. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια είναι ιδιαίτερα δύσκολο να καταγραφούν και να προκύψουν αξιόπιστα στοιχεία παραγωγής κουκουλιών λόγω της εμπορίας τους από χώρα σε χώρα.

Χώρες	**2001**	**2015**
Ιαπωνία	1031	135
Κίνα	602000	628000
Ινδία	140000	151787
Ουζμπεκιστάν	20000	27237
Ιράν	5000	12538
Ταϊλάνδη	17900	4881
Βραζιλία	9916	2870
Βιετνάμ	22000	2515
Τουρκία	47	75
Βουλγαρία	52	65
Ινδονησία	749	57
Ελλάδα	40	-
Φιλιππίνες	17	-
ΣΥΝΟΛΟ	**818752**	**830160**

Πίνακας 1.1 *Παραγωγή φρέσκων κουκουλιών στις κύριες χώρες παραγωγής (τόνοι) (Πηγή: (SilkReport, 2015).*

Κοιτώντας τώρα την παγκόσμια παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού από το 2015 (Πίνακας 1.2) στην ιστοσελίδα της Διεθνούς Επιτροπής Σηροτροφίας (https://inserco.org/en/statistics, πρόσβαση 08/2022), βλέπουμε ότι υπάρχει μια σημαντική μείωση στην παγκόσμια παραγωγή τα τελευταία χρόνια χωρίς όμως να αλλάζει η κατανομή της παραγωγής στις κυριότερες χώρες που παράγουν μετάξι.

Χώρες	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Αίγυπτος	0,83	1,2	1,1	1,25	1,5	1,5
Βιετνάμ	450	523	520	680	795	969
Βόρεια Κορέα	350	365	365	350	370	370
Βουλγαρία	8	9	10	10	10	10
Βραζιλία	600	650	600	650	469	377
Ιαπωνία	30	32	20	20	16	16
Ινδία	28523	30348	31906	35261	35820	33770
Ινδονησία	8	4	2,5	2,5	2,5	2,5
Ιράν	120	125	120	110	227	270
Κίνα	170000	158400	142000	120000	68600	53359
Κολομβία	0,5				0,5	0,5
Μαδαγασκάρη	5	6	7	7	7,5	7,5
Μπαγκλαντές	44	44	41	41	41	41
Νότια Κορέα	1	1	1	1	1	1
Ουγκάντα					3,1	3
Ουζμπεκιστάν	1200	1256	1200	1800	2037	2037
Ρουμανία					0,5	0,5
Συρία	0,3	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5
Ταϊλάνδη	698	712	680	680	700	520
Τουρκία	30	32	30	30	5	5
Τυνησία	3	2	2	2	2	2
Φιλιππίνες	1,2	1,82	1,5	2	2	2
ΣΥΝΟΛΟ	**202073**	**192512**	**177507**	**159648**	**109111**	**91765**

Πίνακας 1.2 *Παγκόσμια παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού στις χώρες παραγωγής του (τόνοι) (Πηγή: International Sericultural Commission).*

Η παγιωμένη παραγωγή κουκουλιών (Πίνακας 1.1), χωρίς τη σημαντική ανάδυση κάποιας άλλης χώρας ως παραγωγό ακατέργαστου μεταξιού (Πίνακας 1.2) ερχόμενη σε συνδυασμό με το χαμηλό αγροτικό εισόδημα στις χώρες όπου υπάρχει ήδη υψηλή παραγωγή κουκουλιών, δημιουργεί συνθήκες κυριαρχίας της Κίνας στην παγκόσμια παραγωγή και κρατά τις τιμές των κουκουλιών και του παραγόμενου μεταξιού χαμηλές και σταθερές, οδηγώντας άλλες χώρες στη δραστική μείωση της παραγωγής τους. Παρά το γεγονός ότι η παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού στην Κίνα βαίνει μειούμενη (Πίνακας 1.2), αυτό ακόμη δεν αποτυπώνεται ως ανάδειξη μιας άλλης χώρας ως ανερχόμενης δύναμης στην παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού.

Έτσι, σε χώρες όπου το αγροτικό κόστος εργασίας αλλά και η αστικοποίηση του πληθυσμού είναι υψηλή, η σηροτροφία ως παραγωγική αγροτική διαδικασία μειώνεται. Το παράδειγμα της Ιαπωνίας είναι πολύ χαρακτηριστικό προς επίρρωση των παραπάνω. Η Ιαπωνία παραδοσιακά είχε κυρίαρχη θέση, τόσο στην τεχνολογική ανάπτυξη των παραγωγικών τομέων της σηροτροφίας, όσο και στην παραγωγή κουκουλιών (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Shekar & Hardingham, 1995). Στον Πίνακα 1.1 φαίνεται ότι σε διάστημα 15 ετών η παραγωγή κουκουλιών μειώθηκε κατά 10 φορές, ενώ τα στοιχεία για το 2020 δείχνουν παραγωγή μόνο 80 τόνων φρέσκων κουκουλιών και για το 2021, 61 τόνων φρέσκων κουκουλιών (πηγή: Ιαπωνική Εταιρεία Σηροτροφίας, Silk Report, Τεύχος Ιουλίου 2022) σε μια χώρα 125 εκατομμυρίων κατοίκων με τεράστια παράδοση στον τομέα της σηροτροφίας. Οι λόγοι για αυτήν τη δραστική μείωση στην παραγωγή οφείλονται στην έντονη αστικοποίηση του πληθυσμού και την απουσία αγροτικών χεριών αλλά και στη σταθερότητα των διεθνών τιμών των κουκουλιών και του μεταξιού σε σχέση με το αυξημένο κόστος διαβίωσης. Η κατάσταση στην Ιαπωνία ισούται με την παραγωγή 6,5 τόνων φρέσκων κουκουλιών στην Ελλάδα για το 2020, όμως στην Ελλάδα δεν έχουμε ούτε καν αυτά τα επίπεδα παραγωγής όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω.

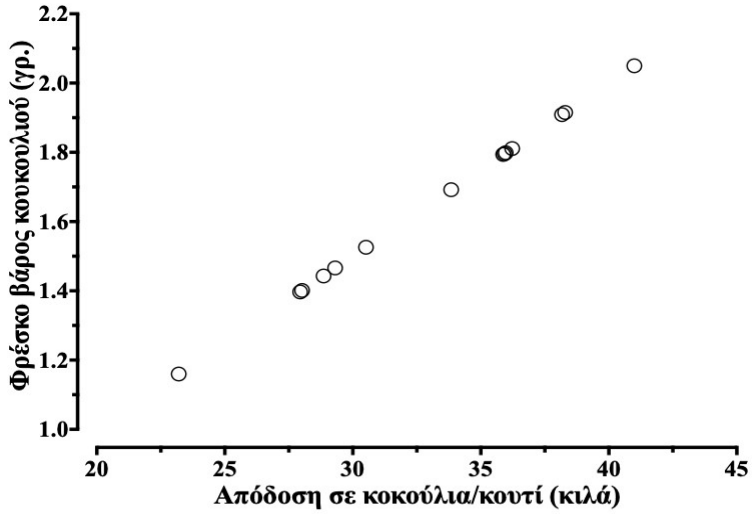
Ένα άλλο παράδειγμα μείωσης της παραγωγής κουκουλιών είναι η Ιταλία, μια χώρα με μεγάλη παράδοση στην παραγωγή υφασμάτων από μετάξι. Η παρούσα παραγωγή στην Ιταλία για το 2021 ήταν περίπου 1-1,5 τόνος φρέσκων κουκουλιών, μια ποσότητα που δεν μπορεί να καλύψει την εγχώρια ζήτηση για μεταξωτά υφάσματα, καθώς το υψηλό κόστος αγοράς των κουκουλιών (Τιμές 2022 στην Ιταλία: 20 Ευρώ ανά κιλό φρέσκων κουκουλιών ποιότητας Α, 12 Ευρώ ανά κιλό φρέσκων κουκουλιών ποιότητας Β και 5 Ευρώ ανά κιλό κουκουλιών ποιότητας Γ, S. Cappellozza, προφορική ενημέρωση), κάνει την παραγωγή μεταξωτών υφασμάτων από εγχώρια κουκούλια μη ανταγωνιστική και οδηγεί τους εμπόρους μεταξωτού νήματος στην αγορά νήματος από την Κίνα.

Η παρούσα παγκόσμια κατάσταση στον χώρο της σηροτροφίας (Πίνακας 1.1 και Πίνακας 1.2) δεν φαίνεται να αλλάζει παρά μόνο με την αύξηση της τιμής των κουκουλιών και την επακόλουθη αύξηση της τιμής του μεταξιού, η οποία θα αποτυπωθεί ως μείωση της παγκόσμιας παραγωγής κουκουλιών. Αλλά και τότε οι αγορές και πάλι θα στραφούν προς χώρες όπου η διάθεση αυτών των πρώτων υλών είναι συγκριτικά πιο φτηνή. Δηλαδή, ακόμη και εάν η Κίνα μειώσει την παραγωγή της και αυξήσει τις τιμές αυτών των δύο πρώτων υλών (κουκούλια και ακατέργαστο μετάξι), θα εμφανιστεί μια άλλη χώρα που θα κυριαρχήσει παρέχοντας αυτές τις δύο πρώτες ύλες σε φτηνότερες τιμές. Αυτός είναι και ο λόγος που η σηροτροφία έχει χαρακτηριστεί ως η «ενασχόληση του φτωχού αγρότη».

Η σηροτροφία ως παραγωγική αγροτική ενασχόληση έχει φτάσει σε μια παραγωγική «οροφή», όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και δεν μπορούν να προκύψουν μελλοντικές αυξήσεις της παραγωγής ανά μονάδα προϊόντος. Αν θεωρήσουμε ως μονάδα προϊόντος τη 1 προνύμφη και το 1 κουκούλι που παράγει, τότε η 1 προνύμφη του μεταξοσκώληκα δεν μπορεί να παράγει πάνω από 2,3-2,4 γραμμάρια φρέσκου κουκουλιού λόγω φυσιολογικών περιορισμών που δημιουργεί ο κύκλος ζωής του εντόμου, και αυτό σε παραγωγικό και όχι σε εργαστηριακό επίπεδο (Akai & Shibukawa, 1984; Ayuzawa, 1972; Kiuchi & Akai, 1985).

Παραγωγή κουκουλιών μεγαλύτερου βάρους μπορεί να γίνει μόνο με σημαντική παράταση της 5ης προνυμφικής ηλικίας, αλλά αυτό είναι οικονομικά ασύμφορο λόγω του υψηλού κόστους εργασίας που μια τέτοια παράταση επιφέρει (Akai & Shibukawa, 1984; Ayuzawa, 1972; Kiuchi & Akai, 1985). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτροφή στην 5η προνυμφική ηλικία απαιτεί τεράστιο φόρτο εργασίας ειδικά σε μαζικές και μεγάλες εκτροφές και αυτό είναι ένας περιοριστικός παράγοντας, τόσο από πλευράς ύπαρξης των απαραίτητων μορεώνων, όσο και από πλευράς διαθεσιμότητας των απαραίτητων εργατικών χεριών. Σε ερευνητικό επίπεδο έγιναν προσπάθειες στο παρελθόν, κυρίως στην Ιαπωνία, να γίνει αύξηση της παραγωγής μέσω ορμονικής καθυστέρησης της ωρίμανσης των προνυμφών κατά την 5η ηλικία και αυτό οδήγησε στην παραγωγή κουκουλιών με βάρος 3-3,5 αλλά ακόμη και 4 γραμμάρια (Akai & Shibukawa, 1984; Kiuchi & Akai, 1985; Kobari & Akai, 1978; Shibukawa & Akai, 1981). Μία τέτοια επίδραση όμως έχει τεράστιο κόστος ως προς την κατανάλωση φύλλων, ενώ το τελικό ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού που λαμβάνεται από τα κουκούλια δεν αυξάνεται. Επομένως, το ισοζύγιο κόστος-όφελος δεν βελτιώνεται σημαντικά. Σε καθαρά πρακτικό, παραγωγικό επίπεδο (Εικόνα 1.1) φαίνεται ότι η παραγωγή φρέσκων κουκουλιών ανά κουτί 20000 αυγών

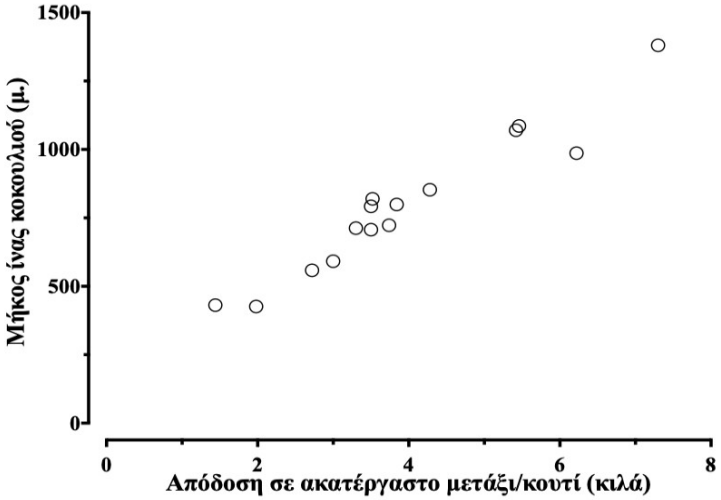
μεταξοσκώληκα είναι προφανώς γραμμική, αλλά έχει πολύ μεγάλη διακύμανση στις τιμές (Εικόνα 1.1) λόγω των καλλιεργητικών φροντίδων αλλά και του υβριδίου μεταξοσκώληκα που χρησιμοποιείται σε κάθε εκτροφή.



Εικόνα 1.1 *Γραμμική σχέση μεταξύ απόδοσης σε βάρος φρέσκου κουκουλιού και παραγωγή κουκουλιών ανά κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα. Στοιχεία από την ελληνική παραγωγή του 2021 στην περιοχή του Σουφλίου (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι ακραίες και υψηλές τιμές αποδόσεων που παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.1 αφορούν υβρίδιο που είχε, σε παραγωγικό επίπεδο, διάρκεια 5ης ηλικίας περίπου 10-11 ημέρες. Επίσης, τα αποτελέσματα της Εικόνας 1.1 αποτελούν μια ιδανική κατάσταση, αφού θεωρούν ότι δεν υπάρχουν απώλειες στην εκτροφή, κάτι που είναι πρακτικά αδύνατο. Η παραγωγή 2,3-2,4 γραμμαρίων φρέσκου κουκουλιού από το πλέον αποδοτικό υβρίδιο μεταξοσκώληκα σημαίνει μια παραγωγή της τάξεως των 40-42 κιλών φρέσκων κουκουλιών ανά κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα αν δεχθούμε ότι θα έχουμε 10% απώλειες στην εκτροφή. Αυτές οι αποδόσεις επιτυγχάνονται μόνο σε μικρές παραγωγές και υπό ιδιαίτερα ιδανικές συνθήκες εκτροφής.

Από την άλλη μεριά, η απόδοση σε μετάξι των κουκουλιών των πλέον παραγωγικών υβριδίων μεταξοσκώληκα δεν ξεπερνά τα 8 κιλά μετάξι στην καλύτερη περίπτωση. Αυτό σημαίνει ότι υπό ιδανικές συνθήκες η απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι ενός κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα θα είναι (Εικόνα 1.2): ((8/42) x 100 = 19%, αλλά αυτή η τιμή είναι πρακτικά ανέφικτη (Εικόνα 1.1 και Εικόνα 1.2) και ως μέγιστη τιμή θα πρέπει να θεωρείται το 18%. Είναι φυσιολογικά αδύνατον να πετύχουμε μεγαλύτερες αποδόσεις από αυτές και θα πρέπει να θυμάται κανείς ότι αυτές οι αποδόσεις είναι οι ιδανικές, ενώ στην πραγματικότητα οι αποδόσεις είναι πολύ χαμηλότερες (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2 *Σχέση μεταξύ του μήκους της ίνας του μεταξιού και της απόδοσης σε ακατέργαστο μετάξι ανά κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα. Στοιχεία από την ελληνική παραγωγή του 2021 στην περιοχή του Σουφλίου (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Για να επιτύχουμε υψηλότερες αποδόσεις σε βάρος κουκουλιών και απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι, θα πρέπει να έχουμε μεταξοσκώληκες με υπερτροφικούς μεταξογόνους αδένες (Fournier, 1979; Tazima, 1964, 1978), αλλά τέτοιοι μεταξοσκώληκες είναι συχνά πολύ ευάλωτοι στις ασθένειες.

Η εκμηχάνιση της παραγωγής βοηθά ως προς τη μείωση του κόστους παραγωγής, αλλά η εκμηχάνιση της παραγωγής έχει και αυτή μεγάλο οικονομικό κόστος που δεν εξυπηρετείται από τη χαμηλή τιμή των παραγόμενων κουκουλιών. Επίσης, το κίνητρο για την εκμηχάνιση της παραγωγής προκύπτει μόνο εφόσον υπάρχει τάση για αύξηση της παραγωγής ή όταν υπάρχει πολιτειακή παρέμβαση για την οικονομική ενίσχυση της εκμηχάνισης της παραγωγής, αλλά αυτό δεν είναι συχνά εφαρμόσιμο και δεν εφαρμόζεται σε πολιτειακό επίπεδο όταν τα παραγωγικά μοντέλα αγροτικής ανάπτυξης υιοθετούν την αυξημένη παραγωγή και όχι τη διατήρηση της παραγωγής (Singh, 2015; Veda et al., 1997).

Η αύξηση του μεγέθους της εκτροφής ανά μονάδα εκτροφής, δηλαδή η εκτροφή, παραδείγματος χάριν, 50 κουτιών των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα ανά εκτροφή αντί για 10 κουτιά δεν είναι ποτέ εφικτή εάν δεν γίνουν πρώτα επενδύσεις σε αύξηση της επιφάνειας των διαθέσιμων μορεώνων και των διαστάσεων των σηροτροφείων σε συνδυασμό με την εξασφάλιση ύπαρξης εργατικού δυναμικού, γιατί αυτές οι αυξήσεις μεγεθών δεν ακολουθούν μια γραμμική αλλά μια λογαριθμική συσχέτιση. Συχνά, τέτοιες απότομες προσπάθειες αύξησης της παραγωγής οδηγούν σε πολύ μεγάλες απώλειες της παραγωγής και πρέπει να αποφεύγονται.

Η εντατικοποίηση της παραγωγής σε συνδυασμό με την εκμηχάνισή της είναι μια εναλλακτική προσέγγιση όταν έχουμε φτάσει σε συνθήκη παραγωγικής «οροφής» από την πλευρά του εκτρεφόμενου εντόμου. Ως εντατικοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας στη σηροτροφία θεωρείται η διενέργεια πολλαπλών εκτροφών κατά τη διάρκεια του έτους, δηλαδή 3 ή 4 εκτροφών αντί της μίας ανοιξιάτικης εκτροφής. Η εντατικοποίηση της παραγωγής, όμως, σημαίνει και αυξημένη επένδυση σε εργατικό δυναμικό, εξειδίκευση και αποκλειστική χρήση της γης (μορεώνες και κτηριακές εγκαταστάσεις) για την παραγωγή κουκουλιών. Μια τέτοια προσέγγιση για τη σηροτροφία έχει μόνο σημασία και υπόσταση όταν υπάρχει ένας κλειστός κύκλος παραγωγικής διαδικασίας, δηλαδή όταν από το αυγό του μεταξοσκώληκα μέχρι την ύφανση μεταξωτού υφάσματος όλες οι διαδικασίες γίνονται από μια παραγωγική μονάδα ή μια εταιρεία παραγωγής. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι εφαρμοσμένο στη διεθνή πρακτική, γιατί απαιτεί τεράστια επενδυτικά κεφάλαια και είναι μόνο εφικτό για πολύ μικρές μονάδες παραγωγής που θα περιγράφονταν ως μονάδες οικοτεχνίας. Οι μονάδες οικοτεχνίας στη σηροτροφία είναι ένα επιθυμητό μοντέλο παραγωγής, γιατί μπορεί να είναι αυτάρκεις ως προς την ολοκλήρωση του κύκλου παραγωγικής διαδικασίας τους, αλλά δεν μπορούν να προσδοκούν άμεσα σε αύξηση του μεγέθους της παραγωγής τους.

Η παραγωγή κουκουλιών στην Ελλάδα περιορίζεται σχεδόν αποκλειστικά πλέον στην περιοχή του νομού Έβρου ενώ υπάρχουν μερικές μονάδες εκτροφής μεταξοσκωλήκων και σε άλλες περιοχές της χώρας (Βλέπε στοιχεία του Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε. για το έτος 2020:
(http://aggregate.opekepe.gr/?triggerSelect=zoiko_eidos&queryType=zoiko&year=2020&perifereia=&zoiko_eidos=11). Κατά την άποψη του συγγραφέα, η πραγματική παραγωγή φρέσκων κουκουλιών δεν ξεπερνά σε πραγματικά μεγέθη τον 1-1,5 τόνο φρέσκων κουκουλιών ετησίως παρά το γεγονός ότι τα επίσημα στατιστικά στοιχεία δείχνουν πολύ μεγαλύτερη παραγωγή στην Ελλάδα. Αυτό συμβαίνει παρά το γεγονός ότι σύμφωνα με στοιχεία του Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε. (https://www.opekepe.gr) 363.004,9 Ευρώ δόθηκαν σε 56 δικαιούχους της συνδεδεμένης ενίσχυσης για τη σηροτροφία το 2021 στην Ελλάδα.

Η παραγωγή κουκουλιών ήταν εκτεταμένη στην Ελλάδα πριν από τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο αλλά από τη δεκαετία του ’50, η παραγωγή κουκουλιών σημείωσε μεγάλη μείωση η οποία συνοδεύτηκε από το κλείσιμο πολλών αναπηνιστηρίων που λειτουργούσαν στην Ελλάδα στις δεκαετίες του ’50 και του ’60. Δύο ήταν οι κύριοι λόγοι αυτής της δραματικής μείωσης της παραγωγής: Η χρήση των συνθετικών ινών και η έντονη αστικοποίηση του πληθυσμού. Η μείωση της παραγωγής συνεχίστηκε παρά τη χρήση εισαγόμενων παραγωγικών υβριδίων από την Ιαπωνία κατά τις δεκαετίες του ’60, ’70 και ’80 (Εικόνα 1.3), ενώ όπως αναφέρεται στην Εικόνα 1.3, το έτος 1960 εγκαταλείφθηκαν οι ιθαγενείς φυλές μεταξοσκώληκα που εκτρέφονταν στην Ελλάδα και οι εκτροφές μεταξοσκώληκα γίνονταν από το έτος αυτό και μετά με τη χρήση εισαγόμενων υβριδίων. Σχετικά με την κατανομή της παραγωγής κουκουλιών σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας τη δεκαετία του ’50 και ’60, είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.4, όπου φαίνεται ότι η παραγωγή κουκουλιών ήταν σημαντική σε διάφορες περιοχές την Ελλάδας.

Ένα άλλο εντυπωσιακό στοιχείο που αναφέρεται στην Εικόνα 1.4 είναι ότι η παραγωγή φρέσκων κουκουλιών ανά μονάδα προϊόντος είναι παρόμοια το 1960 και το 2021 (βλέπε Εικόνα 1.1). Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγική «οροφή» ως προς τις αποδόσεις των μεταξοσκωλήκων είχε επιτευχθεί ήδη από το 1960, αλλά δεν συνοδεύτηκε από δομικές μεταρρυθμίσεις που θα διατηρούσαν την παραγωγή τουλάχιστον σταθερή. Να σημειωθεί εδώ ότι η αναφορά στην Εικόνα 1.4 σε 25 γραμμάρια αυγών μεταξοσκώληκα αντιστοιχεί σε 2,11

κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα των 20000 αυγών, καθώς από τη δεκαετία του ’70 επικράτησε ως μονάδα μέτρησης των αυγών μεταξοσκώληκα το 1 κουτί των 20000 αυγών ενώ παλιότερα ως μονάδα μέτρησης ήταν τα 25 γραμμάρια αυγών. Ένα κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα έχει καθαρό βάρος περίπου 11,8 γραμμάρια, καθώς το 1 αυγό μεταξοσκώληκα έχει βάρος περίπου 0,59 χιλιοστόγραμμα.

Αυτή η αύξηση των αποδόσεων σε φρέσκα κουκούλια με τη χρήση των υβριδίων μεταξοσκώληκα είχε ως αποτέλεσμα την εδραίωση της χρήσης των υβριδίων και στην Ελλάδα και την εγκατάλειψη των ιθαγενών φυλών μεταξοσκώληκα. Μάλιστα, το 1978 αναφέρεται σε Ιαπωνικά αρχεία εξαγωγής αυγών μεταξοσκώληκα, η εισαγωγή 9000 κουτιών των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα από την Ιαπωνία στην Ελλάδα, κάτι που θα αντιστοιχούσε σε παραγωγή 270 τόνων φρέσκων κουκουλιών εάν δεχθούμε μια μέση παραγωγή 30 κιλών φρέσκων κουκουλιών ανά κουτί αυγών. Αυτή η σημαντική παραγωγή κουκουλιών τη δεκαετία του ’70 συνέβαινε παρά το γεγονός ότι το τελευταίο μεγάλο αναπηνιστήριο στην Ελλάδα σταμάτησε τη λειτουργία του στα τέλη της δεκαετίας του του ’50 και, κατά συνέπεια, η οικονομική δραστηριότητα στη σηροτροφία για τις επόμενες δεκαετίες στην Ελλάδα βασιζόταν στην εμπορία των κουκουλιών.

Παράλληλα, όμως, με τη μείωση της παραγωγής φρέσκων κουκουλιών τη δεκαετία του ’70 και του ’80 που οφείλονται κυρίως στην αστικοποίηση του πληθυσμού, μειώθηκε δραματικά και η εμπορία των κουκουλιών, ενώ η εφαρμογή της επιδότησης της παραγωγής κουκουλιών από τη δεκαετία του ’80, ουσιαστικά εξαφάνισε το κίνητρο της εμπορίας των παραγόμενων κουκουλιών. Η παραγωγή κουκουλιών στην Ελλάδα παρέμεινε δραματικά μειούμενη για τις επόμενες 3 δεκαετίες μετά τη δεκαετία του ’80 και ποτέ δεν ανέκαμψε παρά την ανάγκη δομικών μεταρρυθμίσεων του κλάδου.

Επίσης, η απελευθέρωση της εμπορίας των αυγών του μεταξοσκώληκα από τη δεκαετία του ’90, η οποία μέχρι τότε ήταν υπό την αποκλειστική διαχείριση του κρατικού μηχανισμού, δημιούργησε μια πολύ στρεβλή και ανορθόδοξη προσέγγιση στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων για την παραγωγή κουκουλιών στη χώρα μας. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι τη δεκαετία του ’80, η εισαγωγή και εμπορία αυγών μεταξοσκωλήκων βρίσκονταν υπό την εποπτεία του κρατικού μηχανισμού και τα αυγά του μεταξοσκώληκα εισάγονταν μετά από διακρατικές συμφωνίες, π.χ. από την Ιαπωνία και διακινούνταν και διαχειρίζονταν από τις κρατικές υπηρεσίες στην Ελλάδα μέχρι και την απόδοσή τους προς επώαση από τους παραγωγούς. Επιπλέον, το ελληνικό κράτος επιδοτούσε την αγορά κουτιών αυγών μεταξοσκώληκα από τους παραγωγούς. Από τη δεκαετία του ’90, η όλη διαδικασία πέρασε στη δικαιοδοσία ιδιωτών εμπόρων αυγών μεταξοσκώληκα, οι οποίοι είχαν την ευθύνη της εισαγωγής και πώλησης των κουτιών των αυγών του μεταξοσκώληκα στους παραγωγούς. Οι έμποροι κουτιών αυγών του μεταξοσκώληκα είχαν και έχουν την υποχρέωση για την προσκόμιση πιστοποιητικών υγιεινής των αυγών από τις χώρες προέλευσης καθώς και τη διεξαγωγή ελέγχου των αυγών για προσβολή από την πιπερίτιδα στην Ελλάδα, παρά το γεγονός ότι η ασθένεια αυτή έχει ουσιαστικά εξαφανιστεί στις κύριες χώρες παραγωγής αυγών μεταξοσκώληκα.

Η μετακύλιση της εμπορίας των αυγών του μεταξοσκώληκα σε ιδιώτες, όμως, αποδεικνύεται καταστροφική για τη σηροτροφία στην Ελλάδα μέχρι σήμερα, καθώς δεν υπάρχει κανένα συμφέρον από την πλευρά των εμπόρων αυγών μεταξοσκώληκα για εισαγωγή παραγωγικών υβριδίων, ενώ αντίθετα εισάγονται υβρίδια μεταξοσκώληκα που έχουν τη φθηνότερη δυνατή τιμή αγοράς από το εξωτερικό. Για παράδειγμα, το 2021 έγινε εισαγωγή αυγών μεταξοσκώληκα από την Κίνα, τη Βουλγαρία, την Τουρκία και την Ιταλία από ιδιώτες εμπόρους χωρίς να εξασφαλίζεται η αγορά ποιοτικών και παραγωγικών υβριδίων μεταξοσκώληκα, ενώ επαφίεται στους παραγωγούς κουκουλιών να επιλέξουν τα αυγά των υβριδίων που θέλουν να εκθρέψουν χωρίς να λάβουν γνώση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους.

Από την άλλη πλευρά, η απουσία ιθαγενών φυλών μεταξοσκωλήκων, οι οποίες υπήρχαν αλλά εγκαταλείφθηκαν από τη δεκαετία του ’50 (Βαμβάς, 1907; Βικέλας, 1904; Κερασσώτης, 1942; Κυριακού, 1903; Παπαναούμ, 1950; Ρουσόπουλος, 1900; Σταυριανός, 1893; Φιλιππίδης, 1890) και αντικαταστάθηκαν από εισαγόμενα υβρίδια, σημαίνει ότι η παραγωγή κουκουλιών στην Ελλάδα είναι απολύτως εξαρτώμενη από την εισαγωγή αυγών μεταξοσκώληκα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την απουσία ορθολογικής αξιολόγησης με συστηματικό τρόπο του καλύτερου υβριδίου για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες οδήγησε τη συνολική παραγωγή κουκουλιών στην Ελλάδα να βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑΙ ΕΚΤΡΟΦΑΙ ΜΕΤΑΞΟΣΠΟΡΩΝ ΠΟΛΥ·Υ·ΒΡΙΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 1959

Κατὰ τὸ ἔτος 1959 αἱ πειραματικαὶ ἐκτροφαὶ τῶν μεταξοσπόρων πολυϋβριδίων ἐγένοντο εἰς μεγαλυτέραν κλίμακα. Εἰσήχθησαν ἐν ὅλῳ 2.000 κυτία τῶν 25 γραμμ., ἐξ ὧν χίλια κυτία ἐξ Ἰαπωνίας καὶ χίλια ἐξ Ἰταλίας. Τὰ κυτία ταῦτα διετέθησαν εἰς τὰς περιφερείας Καλαμάτας, Λαρίσης, Θεσ/νίκης, Ἐδέσσης, Σουφλίου καὶ ἐν τῷ Σηροτροφικῷ Ἐργαστηρίῳ. Τὰ ἀποτελέσματα τῶν ἐν λόγῳ ἐκτροφῶν συνοψίζονται εἰς τὸν κατωτέρω πίνακα.

ΠΙΝΑΞ IV

ἐμφαίνων τὰ ἀποτελέσματα τῶν ἐκτροφῶν μεταξοσπόρων πολυϋβριδίων κατὰ τὸ ἔτος 1959

Περιφέρειαι	Ἀπόδοσις χλωρῶν κουκουλίων κατὰ κυτίον τῶν 25 γραμμ.			Ἀπόδοσις χλωρῶν κουκουλίων εἰς ξηρὰ ἐπὶ τοῖς %			Ἀπόδοσις ξηρῶν κουκουλίων εἰς ἀκατέργαστον μέταξαν			Παρατηρήσεις
	Κατωτάτ.	Ἀνωτάτη	Μέση	Κατωτάτ.	Ἀνωτάτη	Μέση	Κατωτάτ.	Ἀνωτάτη	Μέση	
Πολυϋβρίδια ΙΑΠΩΝΙΑΣ										
1. Καλαμάτας	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2. Λαρίσης	59.800	66.000	63.700	41,00	47,50	43,40	2.545	2.277	2.400	
3. Θεσ/νίκης	60.000	68.000	63.500	37,30	40,30	38.80	2.592	2.413	2.517	
4. Ἐδέσσης	55.000	72.000	61.800	36.40	43,40	40,30	2.572	2.466	2.323	
5. Σουφλίου	56.000	79.000	65.600	36,50	45,00	39,80	2.641	2.472	2.420	
6. Σηρ. Ἐργαστηρίου	57.000	66.000	59.400	37,20	41,10	39,40	2.360	2.475	2.250	
Μέσος ὅρος	57.560	70.200	62.800	37,68	43,46	40,34	2.542	2.240	2.382	Μέσαι μέσων τιμῶν
Πολυϋβρίδια ΙΤΑΛΙΑΣ										
1. Καλαμάτας	—	—	60.000	33,00	37,00	35,00	2.777	2.750	2.763	Ἀναπηνιστικότης ἀρίστη
2. Λαρίσης	58.500	67.000	64.600	41,00	45,70	42,20	2.586	2.218	2.365	
3. Θεσ/νίκης	59.000	66.000	63.500	37,50	40,00	38,70	2.575	2.675	2.622	
4. Ἐδέσσης	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5. Σουφλίου	56.000	80.000	62.400	36,80	42,00	38.80	2.666	2.267	2.478	
6. Σηρ. Ἐργαστήριον	58.000	65.000	58.350	37,10	38,10	37,70	2.252	2.243	2.247	
Μέσος ὅρος	57.875	69.500	61.770	37,08	40,56	38,48	2.571	2.430	2.495	

Ἡ ἐκκόλαψις τῶν μεταξοσπόρων ἐγένετο εἰς ἐπωαστικοὺς θαλάμους μὲ ἄριστα ἀποτελέσματα. Εὐθὺς ὡς ἐξεκολάπτοντο οἱ μεταξοσκώληκες συνεσκευάζοντο καταλλήλως καὶ διενέμοντο εἰς τοὺς σηροτρόφους κατ' οἶκον. Αἱ ἐκτροφαὶ ἤρχισαν ὑπὸ λίαν εὐνοϊκὰς καιρικὰς συνθήκας καὶ ἐπεράτωσαν κανονικῶς, διαρκέσασαι 26 περίπου ἡμέρας κατὰ μέσον ὅρον. Αἱ ἀποδόσεις αὐτῶν εἰς κουκούλια ἦσαν λίαν ἀκανόνιστοι, λόγῳ τῆς μὴ εἰσέτι προσαρμογῆς τῶν σηροτρόφων εἰς τὰς εἰδικὰς συνθήκας ἐκτροφῆς τῶν μεταξοσπόρων πολυϋβριδίων. Οὕτω παρατηροῦνται ἐκτροφαὶ μὲ ἀπόδοσιν χλωρῶν κουκουλίων κατὰ κυτίον τῶν 25 γραμμ. 55 χιλ/μων καὶ ἐκτροφαὶ μὲ ἀπόδοσιν 80 χιλ/μων. Λέγω τῆς ἐλλιποῦς καθοδηγήσεως τῶν σηροτρόφων πιθανῶς ἢ τῆς ἐμμονῆς αὐτῶν εἰς τὸ παλαιὸν σύστημα ἐκτροφῆς, ἔχομεν ἀπώλειαν παραγωγῆς ἐτησίως περὶ τὰ 25 %. Πλὴν ὅμως αἱ μέσαι ἀποδόσεις τῶν μεταξοσπόρων πολυϋβριδίων, ἐν συγκρίσει πρὸς τὰς ἀποδόσεις τῶν ἐγχωρίων μεταξοσπόρων εἶναι ἀνώτεραι, ἀνερχόμεναι κατὰ μέσον ὅρον εἰς 7 χιλ/μα κατὰ κυτίον τῶν 25 γραμ.

Ἀντιθέτως αἱ ἀποδόσεις τῶν κουκουλίων εἰς μέταξαν ἦσαν λίαν ἱκανοποιητικαὶ καὶ ἄνευ αἰσθητῶν διακυμάνσεων τῶν μέσων αὐτῶν τιμῶν. Μόνον αἱ ἀποδόσεις τῶν κουκουλίων εἰς μέταξαν τῆς περιφερείας Καλαμάτας ἦσαν σχετικῶς χαμηλαί, διότι, ἀφ' ἑνὸς μέν, διὰ πρώτην φορὰν ἐξετρέφοντο εἰς τὴν περιφέρειαν ταύτην μεταξόσποροι πολυϋβριδίων, ἀφ' ἑτέρου δέ, αἱ ἐκτροφαὶ μεταξοσκωλήκων εἶχον διακοπῆ ἐκεῖ ἀπὸ 15ετίας καὶ πλέον.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑΙ ΕΚΤΡΟΦΑΙ ΜΕΤΑΞΟΣΠΟΡΩΝ ΠΟΛΥ·Υ·ΒΡΙΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 1960

Κατὰ τὸ ἔτος 1960, λόγῳ τῆς μεγάλης ζητήσεως τῶν κουκουλίων πολυϋβριδίων ὑπὸ τοῦ ἐμπορίου καὶ μάλιστα εἰς λίαν ἱκανοποιητικὰς τιμάς, τὸ Ὑπουργεῖον Γεωργίας ἀπεφάσισε τὴν πλήρη ἀντικατάστασιν τῶν ἐγχωρίων μεταξοσπόρων διὰ πολυϋβριδιακῶν τοιούτων. Εἰσήχθησαν οὕτω 11.000 κυτία μεταξοσπόρων πολυϋβριδίων τῶν 25 γραμ, ἐξ ὧν 7.000 ἐξ Ἰαπωνίας καὶ 4.000 ἐξ Ἰταλίας. Οἱ μεταξόσποροι οὗτοι διενεμήθησαν εἰς περισσοτέρας περιοχὰς τῆς χώρας καὶ συγκεκριμένως: εἰς τὴν περιφέρειαν Γυθείου, Καλαμάτας, Λαρίσης, Θεσ/νίκης, Χαλκιδικῆς, Ἐδέσσης, Κιλκίς, Σουφλίου καὶ ἐν τῷ Σηροτροφικῷ Ἐργαστηρίῳ τοῦ Υπουργείου Γεωργίας. Τὰ ἀποτελέσματα τῶν ἐν λόγῳ ἐκτροφῶν παρατίθενται εἰς τὸν κατωτέρω πίνακα V.

Ἡ ἐκκόλαψις τῶν μεταξοσπόρων ἐγένετο καὶ πάλιν εἰς ἐπωαστικοὺς θαλάμους, οἵτινες, λόγῳ τῆς ἀποκτηθείσης ἐκ τοῦ παρελθόντος πείρας τοῦ προσωπικοῦ, ἐλειτούργησαν ἀρτιώτερον καὶ εἴχομεν ἄριστα ἀποτελέσματα ἐκκολάψεως. Οἱ ἐκκολαπτόμενοι μεταξοσκώληκες συνεσκευάζοντο καταλλήλως καὶ διενέμοντο εἰς τοὺς σηροτρόφους κατ' οἶκον.

Αἱ ἐκτροφαὶ ἤρχισαν ὑπὸ δυσμενεῖς καιρικὰς συνθήκας καὶ μάλιστα ἐν Θράκῃ εἴχομεν καταστροφὴν τῆς παραγωγῆς μορεοφύλλων κατὰ 40 % περίπου, πρᾶγμα ὅπερ εἶχεν ὡς ἀποτέλεσμα τὸν περιορισμὸν τῶν ἐκτροφῶν. Βραδύτερον ὅμως αἱ καιρικαὶ συνθῆκαι ἐβελτιώθησαν καὶ αἱ ἐκτροφαὶ ἐπεράτωσαν κανονικῶς. Αἱ ἀποδόσεις αὐτῶν εἰς κουκούλια ἦσαν γενικῶς ἀνώτεραι τῶν περυσινῶν, ἀλλὰ καὶ πάλιν δὲν ἔφθασαν τὰ ἐπίπεδα ἀποδόσεων τῶν ἐκτροφῶν ἐν Ἰταλίᾳ καὶ Ἰαπωνίᾳ, πλὴν ὡρι-

Εικόνα 1.3 *Ενημερωτικό δελτίο του Υπουργείου Γεωργίας της Ελλάδας σχετικά με τις εκτροφές υβριδίων μεταξοσκώληκα πριν το 1962 (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

σμένων μόνον περιπτώσεων. Τοῦτο κυρίως ὀφείλεται εἰς τὴν μὴ τήρησιν ὑπὸ τῶν σηροτρόφων τῶν ἀπαιτουμένων συνθηκῶν ἐκτροφῆς καὶ δὴ κατὰ τὰς πρώτας τρεῖς ἡλικίας.

Ἀντιθέτως, αἱ ἀποδόσεις τῶν ξηρῶν κουκουλίων εἰς ἀκατέργαστον μέταξαν ἦσαν ὑψηλαὶ καὶ ἡ ἀναπηνιστικότης τῶν κουκουλίων ἀρίστη. Τοῦτο ἄλλωστε διαπιστοῦται καὶ ἐκ τῶν μεγάλων προσφερθεισῶν ὑπὸ τοῦ ἐμπορίου τιμῶν.

Γενικῶς ἡ ὑπεροχὴ τῶν μεταξοσπόρων πολυϋβριδίων, ὡς πρὸς τὰς ἀποδόσεις καὶ εὐρωστίαν, ἐν συγκρίσει πρὸς τὰς ἀποδόσεις τῶν μεταξοσπόρων ἐγχωρίων φυλῶν καὶ ὑβριδίων, εἶναι αἰσθητή, ὡς ἐμφαίνεται καὶ ἐκ τοῦ κατωτέρω παρατιθεμένου πίνακος.

ΣΗΡΟΤΡΟΦΙΚΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Ὡς πρὸς τὸ ἐφαρμοζόμενον σήμερον σηροτροφικὸν πρόγραμμα ἐν τῇ χώρᾳ, ἔχομεν νὰ παρατηρήσωμεν, ὅτι τοῦτο βασίζεται κυρίως εἰς τὴν ἐνθάρρυνσιν τοῦ κλάδου τῆς σηροτροφίας, κλάδου ἐπικερδοῦς καὶ ταχείας ἀποδόσεως. Ἐν πρώτοις ἐγένετο πλήρης ἀντικατάστασις τῶν ἐγχωρίων μεταξοσπόρων ὑπὸ πολυϋβριδιακῶν τοιούτων, ὡς ἀποδοτικωτέρων καὶ λίαν ἀνθεκτικῶν εἰς τὰς ἀσθενείας. Οἱ μεταξόσποροι οὗτοι εἰσάγονται ἐπὶ τοῦ παρόντος ἐξ Ἰταλίας καὶ Ἰαπωνίας, καθ' ὅσον διὰ τεχνικοὺς λόγους δὲν δύνανται νὰ παραχθῶσιν ἐν Ἑλλάδι. Ἡ προμήθεια γίνεται ὑπὸ τοῦ Ὑπουργείου Γεωργίας μέσῳ τοῦ Σηροτροφικοῦ Ἐργαστηρίου, τῆς σχετικῆς πιστώσεως χορηγουμένης ὑπὸ τοῦ Κ.Τ.Γ.Κ. καὶ Δασῶν.

ΠΙΝΑΞ V

ἐμφαίνων τὰ ἀποτελέσματα τῶν ἐκτροφῶν μεταξοσπόρων πολυϋβριδίων κατὰ τὸ ἔτος 1960

Περιφέρειαι	Ἀπόδοσις χλωρῶν κουκουλίων κατὰ κυτίον τῶν 25 γραμμ.			Ἀπόδοσις χλωρῶν κουκουλίων εἰς ξηρὰ ἐπὶ τοῖς %			Ἀπόδοσις ξηρῶν κουκουλίων εἰς ἀκατέργαστον μέταξαν			Παρατηρήσεις
	Κατωτάτ.	Ἀνωτάτη	Μέση	Κατωτάτ.	Ἀνωτάτη	Μέση	Κατωτ.	Ἀνωτάτη	Μέση	
Πολυϋβρίδια ΙΑΠΩΝΙΑΣ										
1. Γυθείου	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2. Καλαμάτας	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3. Λαρίσης	57.000	63.000	60.300	39,30	42,10	41,00	2.374	2.324	2.378	
4. Θεσσαλονίκης	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5. Χαλκιδικῆς	58.000	85.000	65.500	35,00	42,00	39,30	2.785	2.400	2.583	
6. Ἐδέσσης	47.000	78.000	65.800	37,00	43,50	40,70	2.785	2.264	2.497	
7. Κιλκὶς	—	—	66.600	35,50	46,50	41,90	2.566	2.228	2.426	
8. Σουφλίου	—	—	65.500	33,00	45,00	39,00	2.586	2.243	2.429	
9. Σηρ. Ἐργαστήριον	56.000	65.000	60.200	39,30	42,10	41,10	2.374	2.324	2.348	Μέσαι μέσων τιμῶν
Μέσος ὅρος	54.500	72.750	64.033	36,51	43,53	40,50	2.578	2.297	2.443	
Πολυϋβρίδια ΙΤΑΛΙΑΣ										Ἀναπηνιστικότης ἀρίστη
1. Γυθείου	47,500	81.500	64.500	41,00	43,50	42,60	2.648	2.500	2.545	
2. Καλαμάτας	52.000	83.000	70.000	37,00	39,50	38,20	2.672	2.582	2.622	
3. Λαρίσης	55.000	61.000	57.200	37,90	40,00	39,40	2.459	2.418	2.433	
4. Θεσσαλονίκης	69.000	75.000	70.500	36,00	40,50	39,40	2.555	2.400	2.518	
5. Χαλκιδικῆς	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6. Ἐδέσσης	40.000	63.000	53.600	39,00	41,00	39,80	2.922	2.516	2.546	
7. Κιλκὶς	66.000	92.000	75.000	37,00	44,50	41,20	2.500	2.332	2.412	
8. Σουφλίου	—		66.700	34,00	48,00	39,00	2.600	2.277	2.435	
9. Σηρ. Ἐργαστήριον	55.000	61.000	57.600	37,00	43,50	39,80	2.459	2.418	2.433	
Μέσος ὅρος	54.928	73.785	64.387	37,36	42,56	39,92	2.601	2.430	2.493	

ΠΙΝΑΞ VI

ἐμφαίνων συγκριτικῶς τὰς ἀποδόσεις τῶν μεταξοσπόρων ἐγχωρίων φυλῶν, ὑβριδίων καὶ πολυϋβριδίων

Μεταξόσποροι ἐγχωρίων φυλῶν				Μεταξόσποροι ὑβριδίων				Μεταξόσπ. πολυϋβριδίων		Παρατηρήσεις
Ἀπόδοσις χλωρῶν κοϊκουλίων κατὰ κυτίον τῶν 25 γραμμ.		Ἀπόδοσις ξηρῶν κουκουλίων εἰς ἀκατέργαστον μέταξαν		Ἀπόδοσις χλωρῶν κουκουλίων κατὰ κυτίον τῶν 25 γραμμ.		Ἀπόδοσις ξηρῶν κουκουλίων εἰς ἀκατέργαστον μέταξαν		Ἀπόδοσις χλωρῶν κουκουλίων κατὰ κυτίον τῶν 25 γραμμ.	Ἀπόδοσις ξηρῶν κουκουλίων εἰς ἀκατέργαστον μέταξαν	Μέσαι μέσων τιμῶν
Φυλὴ κιτρίνη	Φυλὴ λευκὴ	Φυλὴ Κιτρίνη	Φυλὴ λευκὴ	Κίτρινα ὑβρίδια	Λευκὰ ὑβρίδια	Κίτρινα ὑβρίδια	Λευκὰ ὑβρίδια	Λευκὰ πολυϋβρίδια	Λευκὰ πολυϋβρίδια	
56.899	56.032	3.654	3.964	58.114	53.217	3.243	3.282	63.076	2.452	

Εικόνα 1.4 *Ενημερωτικό δελτίο του Υπουργείου Γεωργίας της Ελλάδας σχετικά με τις αποδόσεις εκτροφών υβριδίων μεταξοσκώληκα πριν το 1962 (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Επίσης, η επιδότηση της παραγωγής κουκουλιών με 318 Ευρώ ανά κουτί (τιμές του 2021) ή 308 Ευρώ ανά κουτί (τιμές του 2022), με την προϋπόθεση παραγωγής 20 κιλών φρέσκων κουκουλιών ανά κουτί των 20000 αυγών, στερεί από τους παραγωγούς την οποιαδήποτε επιδίωξη εμπορίας των κουκουλιών που έχουν παράγει. Η επιδότηση αυτή είναι σημαντική και είναι ουσιαστικά αυτή που κρατά την παραγωγή κουκουλιών στην Ελλάδα ακόμη ζωντανή, καθώς η οποιαδήποτε απόσυρση της επιδότησης, υπό τις παρούσες συνθήκες, θα μηδένιζε άμεσα την παραγωγή κουκουλιών στην Ελλάδα, γιατί κανένας παραγωγός δεν θα είχε την πρόθεση να παράγει ένα αγροτικό προϊόν που δεν πωλείται και δεν επιδοτείται.

Η βάση της παραπάνω επιδότησης της παραγωγής κουκουλιών, δηλαδή η προϋπόθεση παραγωγής 20 κιλών φρέσκων κουκουλιών ανά κουτί των 20000 αυγών, στερείται οποιασδήποτε επιστημονικής λογικής και είναι προϊόν αντιλήψεων που υπήρχαν πριν από 40 χρόνια σχετικά με την παραγωγή κουκουλιών από ένα κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα. Είναι μια προσέγγιση επιδότησης ενός αγροτικού προϊόντος που δημιουργεί στρεβλώσεις και αλλοιώσεις των πραγματικών στοιχείων παραγωγής, καθώς είναι συχνό το φαινόμενο τα στατιστικά στοιχεία παραγωγής να προκύπτουν από τα κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα που έχουν δηλωθεί ότι θα εκτραφούν. Έτσι, για παράδειγμα, εάν επιδοτηθούν 1000 κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα σε ένα έτος, τότε η παραγωγή φρέσκων κουκουλιών μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι 20 τόνοι φρέσκων κουκουλιών, αλλά αυτή η ποσότητα απέχει πάρα πολύ από την πραγματική παραγωγή.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα για την εγχώρια παραγωγή κουκουλιών είναι η απουσία ελέγχου και αποζημίωσης για τις ασθένειες που πλήττουν τις εκτροφές. Για παράδειγμα, εδώ και πολλές δεκαετίες στην Ελλάδα η ασθένεια της πυρηνικής πολυέδρωσης έχει προκαλέσει ολικές καταστροφές σε πάρα πολλές εκτροφές μεταξοσκωλήκων, ενώ δεν υπάρχουν καθόλου στοιχεία για την έκταση και τη σοβαρότητα των απωλειών. Η πυρηνική πολυέδρωση είναι η σοβαρότερη ασθένεια των μεταξοσκωλήκων σε παγκόσμιο επίπεδο και δεν υπάρχουν ούτε τρόποι αντιμετώπισης της ασθένειας αλλά ούτε και παραγωγικά υβρίδια που να είναι ανθεκτικά στην ασθένεια αυτή (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Gadwala et al., 2021; Shekar & Hardingham, 1995; Tayal & Chauhan, 2017; Watanabe, 2002). Η ασθένεια αυτή είναι τόσο εκτεταμένη στις ήδη υπάρχουσες εκτροφές που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ενδημική. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει καμία πρόβλεψη αποζημίωσης των εκτροφέων σε περίπτωση απώλειας της παραγωγής από αυτή ή από άλλη ασθένεια των μεταξοσκωλήκων στην Ελλάδα.

Ένα άλλο κρίσιμο σημείο σχετικά με την εκτροφή μεταξοσκωλήκων στην Ελλάδα είναι η απουσία ενημέρωσης σχετικά με τη δυνατότητα εκτροφής των μεταξοσκωλήκων περισσότερες από μια φορές κάθε χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, στην Ελλάδα, και ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές της Ελλάδας, η μουριά διατηρεί τα φύλλα της από τον Απρίλιο μέχρι και τον Νοέμβριο, και παρά το γεγονός ότι η ποιότητα των φύλλων μειώνεται μετά τον Ιούνιο, υπάρχει η δυνατότητα εκτροφής μεταξοσκωλήκων ακόμη και μέχρι τον Νοέμβριο χωρίς, φυσικά, να αναμένει κανείς τις αποδόσεις σε παραγωγή που υπάρχουν κατά την ανοιξιάτικη εκτροφή. Το σημείο αυτό, των πολλαπλών εκτροφών, δεν αναπτύχθηκε ποτέ στη χώρα μας, ούτε έγινε ποτέ κάποια προσπάθεια ενθάρρυνσης της υιοθέτησης πολλαπλών εκτροφών. Οι λόγοι για αυτήν την απουσία πολλαπλών εκτροφών είναι πολλοί, αλλά κυρίως το πρόβλημα βρίσκεται στην ύπαρξη και διάθεση αυγών μεταξοσκώληκα προς εκτροφή πέρα από την ανοιξιάτικη εκτροφή. Δηλαδή, επειδή τα κουτιά αυγών του μεταξοσκώληκα εισάγονται μαζικά από εμπόρους την άνοιξη κάθε έτους, δεν υπάρχει καμία πρόθεση ή οικονομικό συμφέρον από εμπόρους να εισαγάγουν μικρή ποσότητα αυγών για τις θερινές και φθινοπωρινές εκτροφές, εάν η ζήτηση δεν είναι μεγάλη. Επίσης, οι αγρότες δεν θα επιθυμούν να κάνουν θερινές και φθινοπωρινές εκτροφές, εάν δεν γνωρίζουν από πού να προμηθευτούν αυγά μεταξοσκωλήκων τις συγκεκριμένες περιόδους.

Ο συνδυασμός όλων αυτών των δυσμενών παραγόντων στη σηροτροφία στην Ελλάδα δημιουργεί μια πολύ δυσοίωνη εικόνα για την πορεία της παραγωγής κουκουλιών στο μέλλον και ο συνδυασμός όλων αυτών των παραγόντων είναι αυτό που περιόρισε την εκτροφή του μεταξοσκώληκα σε πολύ λίγες περιοχές στην Ελλάδα και μετέτρεψε την εκτροφή του μεταξοσκώληκα από μια σταθερή σε μια ευκαιριακή αγροτική ενασχόληση.

Ένας, λοιπόν, από τους στόχους του βιβλίου που διαβάζετε είναι να διαφωτίσει όποιον ενδιαφέρεται να ασχοληθεί με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα σχετικά με το τι είναι καλό να γνωρίζει και πώς θα πρέπει να εκθρέψει μεταξοσκώληκες για να έχει μια πολύ καλή παραγωγή. Ένας δεύτερος στόχος του βιβλίου είναι να δώσει όλες εκείνες τις πληροφορίες που είναι αναγκαίες σε οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να ασχοληθεί με τη σηροτροφία, ώστε να μπορέσει να βρει τις πηγές παροχής των πρώτων υλών και των υλικών που είναι απαραίτητα για την οργάνωση της εκτροφής μεταξοσκωλήκων. Ένας τρίτος στόχος του βιβλίου είναι να παρουσιάσει τις μελλοντικές κατευθύνσεις που πρέπει να πάρει η παραγωγή κουκουλιών και μεταξιού στην Ελλάδα, ώστε να μετατραπούν τα κουκούλια που παράγονται, από ένα αγροτικό σε ένα βιοτεχνολογικό προϊόν

προστιθέμενης αξίας που δεν θα επιβαρύνει το περιβάλλον και θα έχει πληθώρα εφαρμογών που θα ξεφεύγουν από τη στενή αντίληψη της χρήσης του μεταξιού ως προϊόν αποκλειστικά ένδυσης.

Κατά τη γνώμη του συγγραφέα, η αντίληψη του μεταξιού αποκλειστικά ως υλικού ένδυσης πρέπει να σταματήσει, εάν θέλουν οι οικονομικά αναπτυγμένες χώρες, όπου το κόστος εργασίας είναι υψηλό και η αστικοποίηση του πληθυσμού εξίσου υψηλή, να συνεχίσουν να παράγουν κουκούλια και μετάξι. Τα τελευταία 20 έτη οι ερευνητικές προσπάθειες προς την κατεύθυνση της ανάδειξης των άλλων χρήσεων του μεταξιού είναι πολλές και ποικίλες. Για παράδειγμα, το μετάξι βρίσκει σταδιακά περισσότερες χρήσεις ως βιοϋλικό στην ιατρική πρακτική, καθώς χρησιμοποιείται στη χειρουργική και στην επούλωση πληγών (Altman et al., 2003; Cao & Zhang, 2016; Herold & Scheibel, 2017; Holland et al., 2019; F. Wang et al., 2021). Το μετάξι έχει προταθεί ως υλικό συσκευασίας αλλά και ως υλικό προς χρήση στην παραγωγή καλλυντικών (Ghosh et al., 2021; Kunz et al., 2016; Leem et al., 2020; Marelli et al., 2016; Reddy et al., 2021; H. Y. Wang et al., 2021). Η χρήση της σερικίνης, της υδατοδιαλυτής πρωτεΐνης της μεταξωτής ίνας, αρχίζει να προσελκύει το ενδιαφέρον των εταιρειών βιοτεχνολογίας, καθώς είναι μια πρωτεΐνη που είναι παραπροϊόν της παραγωγής μεταξιού που μπορεί να έχει πολλαπλές χρήσεις (Ahsan et al., 2018; Altman et al., 2003; Aramwit et al., 2012; Cao & Zhang, 2016; Das et al., 2021; Sammi et al., 2022; Shitole et al., 2020; Suryawanshi et al., 2020; F. Wang et al., 2021). Προσπάθειες γίνονται επίσης στη χρήση των μεταξοσκωλήκων ως «βιολογικά εργοστάσια» παραγωγής εξωγενών προς το έντομο πρωτεϊνών προς ανθρώπινη χρήση (Aigner et al., 2018; Choudary et al., 1995; Dinjaski & Kaplan, 2016; Herold & Scheibel, 2017; Tomita et al., 2003; Xu, 2014), αλλά και για χρήση των μεταξοσκωλήκων για την παραγωγή μεταξιού που θα προσομοιάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του μεταξιού των αραχνών (Gosline et al., 1999; Kluge et al., 2008; Kuwana et al., 2014; Whittall et al., 2021; Xu et al., 2018). Όλες αυτές οι δυνητικές και εντυπωσιακές εφαρμογές του μεταξοσκώληκα και του μεταξιού στη βιοτεχνολογία ήταν αδιανόητες πριν από 40-50 χρόνια, όταν δημοσιεύονταν τα τελευταία βιβλία σχετικά με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα και για τον λόγο αυτόν δεν γίνεται καμία αναφορά σε τέτοιες εφαρμογές του μεταξιού σε παλιότερα εγχειρίδια σηροτροφίας.

Όλες αυτές οι πιθανές βιοτεχνολογικές χρήσεις του μεταξιού αλλά και του μεταξοσκώληκα μπορούν μελλοντικά να δημιουργήσουν τέτοιες συνθήκες, όπου η εκτροφή των μεταξοσκωλήκων δεν θα στοχεύει στην παραγωγή κουκουλιών, αλλά και η παραγωγή ποιοτικών κουκουλιών δεν θα είναι αυτοσκοπός για μια εκτροφή μεταξοσκωλήκων. Αυτές οι βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη στη χώρα μας, εάν θέλουμε να έχουμε μια σταθερότητα παραγωγής κουκουλιών και αγρότες που θα παράγουν κουκούλια προοριζόμενα για εναλλακτικές χρήσεις. Θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη, εάν θέλουμε να έχουμε τεχνολογική ανάπτυξη χρησιμοποιώντας υλικά και αγροτική παραγωγή που ήδη υπάρχει στη χώρα μας. Η λέξη-κλειδί λοιπόν για τη σηροτροφία στην Ελλάδα είναι η διαφοροποίηση της παραγωγής κουκουλιών ώστε να μην χρειάζεται να υπάρχει ανταγωνισμός με άλλες χώρες σε επίπεδο παραγωγής.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Ahsan, F., Ansari, T. M., Usmani, S., & Bagga, P. (2018). An Insight on Silk Protein Sericin: From Processing to Biomedical Application. *Drug Res (Stuttg)*, *68*(6), 317-327. https://doi.org/10.1055/s-0043-121464

Aigner, T. B., DeSimone, E., & Scheibel, T. (2018). Biomedical Applications of Recombinant Silk-Based Materials. *Adv Mater*, *30*(19), e1704636. https://doi.org/10.1002/adma.201704636

Akai, H., & Shibukawa, A. (1984). The jumbo cocoons obtained by administration of juvenoids in domesticated silkworm, Bombyx mori. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *53*(1), 77-80. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.53.77

Altman, G. H., Diaz, F., Jakuba, C., Calabro, T., Horan, R. L., Chen, J., Lu, H., Richmond, J., & Kaplan, D. L. (2003). Silk-based biomaterials. *Biomaterials*, *24*(3), 401-416. https://doi.org/10.1016/s0142-9612(02)00353-8

Aramwit, P., Siritientong, T., & Srichana, T. (2012). Potential applications of silk sericin, a natural protein from textile industry by-products. *Waste Management & Research*, *30*(3), 217-224. https://doi.org/10.1177/0734242x11404733

Aruga, H. (1994). *Principles of Sericulture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=qYZds1N0Q-YC

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., & Tokoro, Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Cao, T. T., & Zhang, Y. Q. (2016). Processing and characterization of silk sericin from Bombyx mori and its application in biomaterials and biomedicines. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, *61*, 940-952. https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.082

Choudary, P. V., Kamita, S. G., & Maeda, S. (1995). Expression of foreign genes in Bombyx mori larvae using baculovirus vectors. *Methods Mol Biol*, *39*, 243-264. https://doi.org/10.1385/0-89603-272-8:243

Crisciani, C. (2000). Hermeticism and Alchemy: The Case of Ludovico Lazzarelli. *Early Science and Medicine*, *5*(2), 145-159. http://www.jstor.org/stable/4130473

Das, G., Shin, H. S., Campos, E. V. R., Fraceto, L. F., Del Pilar Rodriguez-Torres, M., Mariano, K. C. F., de Araujo, D. R., Fernández-Luqueño, F., Grillo, R., & Patra, J. K. (2021). Sericin based nanoformulations: a comprehensive review on molecular mechanisms of interaction with organisms to biological applications. *J Nanobiotechnology*, *19*(1), 30. https://doi.org/10.1186/s12951-021-00774-y

Dinjaski, N., & Kaplan, D. L. (2016). Recombinant protein blends: silk beyond natural design. *Curr Opin Biotechnol*, *39*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2015.11.002

Fournier, A. (1979). Quantitative data on the Bombyx mori L. silkworm: a review. *Biochimie*, *61*(2), 283-320. https://doi.org/10.1016/s0300-9084(79)80073-5

Gadwala, M., Vootla, S., Tewary, P., & Babulal. (2021). Chapter 6 - Immune mechanism in silkworm Bombyx mori L. In V. Gurtler & G. Subrahmanyam (Eds.), *Methods in Microbiology* (Vol. 49, pp. 115-141). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.mim.2021.04.006

Ganga, G. (2003). *Comprehensive Sericulture*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=IXokAAAACAAJ

Ghosh, T., Mondal, K., Giri, B. S., & Katiyar, V. (2021). Silk nanodisc based edible chitosan nanocomposite coating for fresh produces: A candidate with superior thermal, hydrophobic, optical, mechanical and food properties. *Food Chem*, *360*, 130048. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130048

Goitein, S. D. (1961). The Main Industries of the Mediterranean Area As Reflected in the Records of the Cairo Geniza. *Journal of the Economic and Social History of the Orient, vol. 4, no. 2 (August 1961): 168-197*, *4*(2), 168-197.

Goldsmith, M. R., Shimada, T., & Abe, H. (2005). The Genetics and Genomics of the silkworm, Bombyx mori. *Annual Review of Entomology*, *50*(1), 71-100. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130456

Gosline, J. M., Guerette, P. A., Ortlepp, C. S., & Savage, K. N. (1999). The mechanical design of spider silks: from fibroin sequence to mechanical function. *J Exp Biol*, *202*(Pt 23), 3295-3303. https://doi.org/10.1242/jeb.202.23.3295

Herold, H. M., & Scheibel, T. (2017). Applicability of biotechnologically produced insect silks. *Z Naturforsch C J Biosci*, *72*(9-10), 365-385. https://doi.org/10.1515/znc-2017-0050

Holland, C., Numata, K., Rnjak-Kovacina, J., & Seib, F. P. (2019). The Biomedical Use of Silk: Past, Present, Future. *Advanced Healthcare Materials*, *8*(1), 1800465. https://doi.org/10.1002/adhm.201800465

Hörandner, W., Rhoby, A., & Zagklas, N. (2019). *A Companion to Byzantine Poetry* Brill. https://doi.org/10.1163/9789004392885

Iizuka, T., Sezutsu, H., Tatematsu, K.-i., Kobayashi, I., Yonemura, N., Uchino, K., Nakajima, K., Kojima, K., Takabayashi, C., Machii, H., Yamada, K., Kurihara, H., Asakura, T., Nakazawa, Y., Miyawaki, A., Karasawa, S., Kobayashi, H., Yamaguchi, J., Kuwabara, N., Nakamura, T., Yoshii, K., & Tamura, T. (2013). Colored Fluorescent Silk Made by Transgenic Silkworms. *Advanced functional materials*, *23*(42), 5232-5239. https://doi.org/10.1002/adfm.201300365

Kiuchi, M., & Akai, H. (1985). Increase of cocoon shell weight and shell ratio by anti-JH administration during the fifth larval instar in Bombyx mori. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *54*(6), 527-528. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.54.527

Kluge, J. A., Rabotyagova, O., Leisk, G. G., & Kaplan, D. L. (2008). Spider silks and their applications. *Trends Biotechnol*, *26*(5), 244-251. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.02.006

Kobari, Y., & Akai, H. (1978). Utilization of the Manta (synthetic compound with juvenile hormone activity) for the silkworm rearing. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *47*(4), 315-319. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.47.315

Krishnaswami, S. (1979). *Sericulture Manual: Silkworm rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=o9DhngEACAAJ

Kunz, R. I., Brancalhão, R. M. C., Ribeiro, L. d. F. C., & Natali, M. R. M. (2016). Silkworm Sericin: Properties and Biomedical Applications. *BioMed research international*, *2016*, 8175701-8175701. https://doi.org/10.1155/2016/8175701

Kuwana, Y., Sezutsu, H., Nakajima, K., Tamada, Y., & Kojima, K. (2014). High-toughness silk produced by a transgenic silkworm expressing spider (Araneus ventricosus) dragline silk protein. *PloS one*, *9*(8), e105325. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105325

Leem, J. W., Kim, M. S., Choi, S. H., Kim, S. R., Kim, S. W., Song, Y. M., Young, R. J., & Kim, Y. L. (2020). Edible unclonable functions. *Nature communications*, *11*(1), 328. https://doi.org/10.1038/s41467-019-14066-5

Lim, S. H., Food, Nations, A. O. o. t. U., Kim, Y. T., Lee, S. P., Rhee, I. J., Lim, J. S., & Lim, B. H. (1990). *Sericulture Training Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=_Lc4zvd9fxMC

Marelli, B., Brenckle, M. A., Kaplan, D. L., & Omenetto, F. G. (2016). Silk Fibroin as Edible Coating for Perishable Food Preservation. *Sci Rep*, *6*, 25263. https://doi.org/10.1038/srep25263

Omenetto, F. G., & Kaplan, D. L. (2010). New opportunities for an ancient material. *Science (New York, N.Y.)*, *329*(5991), 528-531. https://doi.org/10.1126/science.1188936

Reddy, R., Jiang, Q., Aramwit, P., & Reddy, N. (2021). Litter to Leaf: The Unexplored Potential of Silk Byproducts. *Trends Biotechnol*, *39*(7), 706-718. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.11.001

Rhoby, A. (2019). Poetry on Commission in Late Byzantium (13th–15th Century). In (pp. 264-304). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004392885_013

Sammi, A., Divya, Mahapatra, S., Kumar, R., & Chandra, P. (2022). Nano-bio-engineered silk matrix based devices for molecular bioanalysis. *Biotechnol Bioeng*, *119*(3), 784-806. https://doi.org/10.1002/bit.28021

Schafer, D., Riello, Giorgio, Mola, Luca (Ed.). (2020). *Seri-Technics : historical silk technologies, .* Max Planck research library for the history and development of knowledge.

Shekar, P., & Hardingham, M. (1995). *Sericulture and Silk Production: A Handbook*. Intermediate Technology Publications. https://books.google.gr/books?id=ue1JAAAAYAAJ

Shi, C., Hu, F., Wu, R., Xu, Z., Shao, G., Yu, R., & Liu, X. Y. (2021). New Silk Road: From Mesoscopic Reconstruction/Functionalization to Flexible Meso-Electronics/Photonics Based on Cocoon Silk Materials. *Adv Mater*, *33*(50), e2005910. https://doi.org/10.1002/adma.202005910

Shibukawa, A., & Akai, H. (1981). Effects of Manta on the silk production of a silkworm race producing heavy cocoon shells. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *50*(2), 73-76. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.50.73

Shitole, M., Dugam, S., Tade, R., & Nangare, S. (2020). Pharmaceutical applications of silk sericin. *Ann Pharm Fr*, *78*(6), 469-486. https://doi.org/10.1016/j.pharma.2020.06.005

SilkReport. (2015). Fresh cocoon production by country. *Silk Report*.

Singh, T. (2015). *Silkworm Rearing Technology: Principles and Management*. Discovery Publishing House PVT Limited. https://books.google.gr/books?id=QOjxrQEACAAJ

Suryawanshi, R., Kanoujia, J., Parashar, P., & Saraf, S. A. (2020). Sericin: A Versatile Protein Biopolymer with Therapeutic Significance. *Curr Pharm Des*, *26*(42), 5414-5429. https://doi.org/10.2174/1381612826666200612165253

Tao, H., Kaplan, D. L., & Omenetto, F. G. (2012). Silk materials--a road to sustainable high technology. *Adv Mater*, *24*(21), 2824-2837. https://doi.org/10.1002/adma.201104477

Tayal, M. K., & Chauhan, T. P. S. (2017). Silkworm Diseases and Pests. In Omkar (Ed.), *Industrial Entomology* (pp. 265-289). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3304-9_9

Tazima, Y. (1964). *The Genetics of the Silkworm*. Logos Press. https://books.google.gr/books?id=6JnwAAAAMAAJ

Tazima, Y. (1978). *The Silkworm: An Important Laboratory Tool*. Kodansha. https://books.google.gr/books?id=JprwAAAAMAAJ

Tomita, M., Munetsuna, H., Sato, T., Adachi, T., Hino, R., Hayashi, M., Shimizu, K., Nakamura, N., Tamura, T., & Yoshizato, K. (2003). Transgenic silkworms produce recombinant human type III procollagen in cocoons. *Nature Biotechnology*, *21*(1), 52-56. https://doi.org/10.1038/nbt771

Tzenov, P., Cappellozza, S., & Saviane, A. (2022). Black, Caspian Seas and Central Asia Silk Association (BACSA) for the Future of Sericulture in Europe and Central Asia. *Insects*, *13*(1), 44. https://www.mdpi.com/2075-4450/13/1/44

Veda, K., Nagai, I., & Horikomi, M. (1997). *Silkworm Rearing*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=huhJAAAAYAAJ

Wang, F., Guo, C., Yang, Q., Li, C., Zhao, P., Xia, Q., & Kaplan, D. L. (2021). Protein composites from silkworm cocoons as versatile biomaterials. *Acta biomaterialia*, *121*, 180-192. https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.11.037

Wang, H. Y., Zhang, Y. Q., & Wei, Z. G. (2021). Dissolution and processing of silk fibroin for materials science. *Crit Rev Biotechnol*, *41*(3), 406-424. https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1853030

Wang, S., Li, P., Food, Nations, A. O. o. t. U., Pan, R., & Ou, B. (1989). *Silkworm Egg Production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=XZJfamWZyRMC

Watanabe, H. (2002). Genetic resistance of the silkworm, Bombyx mori to viral diseases. *Curr. Sci.*, *83*, 439-446. https://cir.nii.ac.jp/crid/1570291226323522304

Whittall, D. R., Baker, K. V., Breitling, R., & Takano, E. (2021). Host Systems for the Production of Recombinant Spider Silk. *Trends Biotechnol*, *39*(6), 560-573. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.09.007

Wu, P., Chen, D., Food, Nations, A. O. o. t. U., Chen, Z., Liu, P., & Tang, H. (1988). *Silkworm Rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=Sf2KLVBbWHMC

Xu, H. (2014). The advances and perspectives of recombinant protein production in the silk gland of silkworm Bombyx mori. *Transgenic Res*, *23*(5), 697-706. https://doi.org/10.1007/s11248-014-9826-8

Xu, J., Dong, Q., Yu, Y., Niu, B., Ji, D., Li, M., Huang, Y., Chen, X., & Tan, A. (2018). Mass spider silk production through targeted gene replacement in Bombyx mori. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(35), 8757-8762. https://doi.org/10.1073/pnas.1806805115

Zanier, C. (1994). *Where the Roads Met: East and West in the Silk Production Processes (17th to 19th Century)*. Italian School of East Asian Studies. https://books.google.gr/books?id=aoHtAAAAMAAJ

Zanier, C. (2007). La fabrication de la soie : un domaine réservé aux femmes. *Travail, genre et sociétés*, *N° 18*(2), 111-130. https://doi.org/10.3917/tgs.018.0111

Zhao, H., Heusler, E., Jones, G., Li, L., Werner, V., Germershaus, O., Ritzer, J., Luehmann, T., & Meinel, L. (2014). Decoration of silk fibroin by click chemistry for biomedical application. *J Struct Biol*, *186*(3), 420-430. https://doi.org/10.1016/j.jsb.2014.02.009

Ελληνόγλωσση

Βαμβάς, Σ. (1907). *Μελέτη επί του Σηροτροφικού Ζητήματος*. Εκδ.: Ευστρατίου Δ.

Βικέλας, Δ. (1904). *Ιστορία της Ματάξης*. Σύλλογος προς Διάδοσιν Ωφέλιμων Βιβλίων.

Κερασσώτης, Π. (1942). *Η Μέταξα*. Κλωστοϋφαντουργική Βιβλιοθήκη Π. Κερρασώτη.

Κόλιας, Γ. Τ., & Χρόνη, Μ. (Επιμ.). (2010). *Το Επαρχικόν Βιβλίον Λέοντος ΣΤ΄ του Σοφού*. Εκδόσεις Κανάκη.

Κυριακού, Γ. (1903). *Ο Μεταξοσκώληξ*. Εκδ.: Σύλλογος προς Διάδοσιν Ωφέλιμων Βιβλίων.

Παπαναούμ, Γ. (1950). *Σηροτροφία*. Εκδ.: Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Γεωργίας.

Ρουσόπουλος, Α. Ο. (1900). *Σηροτροφικά*. Εκδ.: Λεώνης Π.

Σταυριανός, Δ. (1893). *Εγχειρίδιον του Σκωληκοτρόφου*. Εκδ.: Σταυριανός Δ. (Χειρόγραφο).

Φιλιππίδης, Σ. (1890). *Μελέται επί του Μεταξοσκώληκος*. Εκδ.: Κεφαλίδης, Ν.

Κεφάλαιο 2: Η Μουριά

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται δεδομένα που αφορούν τη μουριά, καθώς είναι το φυτό από το οποίο τρέφεται ο μεταξοσκώληκας. Κανένα βιβλίο σηροτροφίας δεν είναι πλήρες, εάν δεν γίνεται αναφορά στους τρόπους καλλιέργειας της μουριάς και συγκομιδής των φύλλων της. Παρότι υπάρχει εκτενής διεθνής βιβλιογραφία για τη μουριά, σε αυτό το κεφάλαιο έμφαση δίνεται στις μεθόδους εγκατάστασης ενός μορεώνα και στους τρόπους παραγωγής και συγκομιδής των φύλλων. Στις ενότητες του κεφαλαίου περιγράφονται επίσης οι τρόποι παραγωγής δενδρυλλίων μουριάς, οι ασθένειες της μουριάς, αλλά και μερικές από τις ποικιλίες μουριάς που είναι πολύ παραγωγικές και ιδανικές για εντατική παραγωγή φύλλων. Στόχος του κεφαλαίου είναι να γίνουν εύκολα κατανοητές οι παραγωγικές παράμετροι στην καλλιέργεια της μουριάς σε σχέση με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα που θα παρουσιαστεί στα επόμενα κεφάλαια.

Προαπαιτούμενη γνώση
Κανάκης, Α., Κονίδης, Κ., & Τσιτσίβα-Παπαδάτου, Π. (2015). *Δενδροκομία*. Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος». Αθήνα (ebooks v1.0, http://ebooks.edu.gr/ebooks/handle/8547/3911)

2.1 Εισαγωγή

Η μουριά ταξινομικά ανήκει στο Γένος Morus της Οικογένειας Moraceae. Το Γένος Morus θεωρείται ότι αποτελείται από 13 είδη με γεωγραφική κατανομή σχεδόν σε όλες τις ηπείρους, ενώ η Οικογένεια Moraceae περιλαμβάνει 37 συνολικά Γένη (Nepal & Ferguson, 2012). Η επικονίαση της μουριάς γίνεται με τον αέρα, ενώ η διασπορά των σπόρων γίνεται με την κατανάλωση των φρούτων της μουριάς από τα πουλιά (Nepal & Ferguson, 2012). Αυτό το χαρακτηριστικό εξηγεί την παρουσία της μουριάς στον ελλαδικό χώρο πολύ πριν την εισαγωγή και εκτροφή του μεταξοσκώληκα. Πιο συγκεκριμένα, ανάλυση του γονιδιώματος του είδους *Morus notabilis* (He et al., 2013) έδειξε ότι η μουριά εμφανίστηκε στην Κεντρική Ασία και διαδόθηκε κατόπιν σε όλες τις ηπείρους.

Στην αρχαία Ελλάδα η μουριά ήταν γνωστή με την ονομασία *συκαμηνιά* ή *συκάμινος* ή *συκαμιά* και υπάρχουν πάρα πολλές αναφορές σε αρχαία ελληνικά κείμενα για αυτό το δέντρο (https://stephanus.tlg.uci.edu/index.php) (Βαμβάς, 1907; Κάλφας & Δεληκώστας, 1988; Παπαναούμ, 1950; Ρουσόπουλος, 1900). Υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία σχετικά με την ταξινόμηση της μουριάς και τα τελευταία δεδομένα καταλήγουν ότι υπάρχουν 13 διακριτά είδη μουριάς. Αυτά είναι 8 είδη με καταγωγή από την Ασία, τα *M. alba*, *M. australis*, *M. cathayana*, *M. macroura*, *M. mongolica*, *M. nigra*, *M. notabilis* και *M. serrata*, 4 είδη της Αμερικής, τα *M. celtidifolia*, *M. insignis*, *M. microphylla* και *M. rubra* και ένα είδος της Αφρικής (*M. mesozygia*) (Nepal & Ferguson, 2012). Θεωρείται ότι τα είδη αυτά προέκυψαν ως αποτέλεσμα πολυπλοειδίας, καθώς το είδος *M. notabilis* είναι αυτό που έχει τα λιγότερα χρωμοσώματα (n=7), ενώ υπάρχουν είδη με έως 2n=308 (Nepal & Ferguson, 2012). Επίσης, υπάρχουν εκατοντάδες υποείδη, ποικιλίες και στελέχη που έχουν δημιουργηθεί σε μια προσπάθεια βελτίωσης των ποσοτικών χαρακτήρων της μουριάς. Η πλέον αναλυτική φυλογένεση που έχει γίνει μέχρι τώρα δείχνει ότι το Γένος Morus δεν είναι μονοφυλετικό, καθώς τα είδη *M. insignis* και *M. mesozygia* δίνουν έναν διακριτό κλάδο στο φυλεγενετικό δέντρο που είναι διακριτός από τους δύο κλάδους που περιλαμβάνουν τα είδη της Ασίας και της Αμερικής, αντίστοιχα (Nepal & Ferguson, 2012).

Η μουριά είναι ένα δέντρο που μπορεί με τις κατάλληλες φροντίδες να διατηρήσει την ευρωστία και παραγωγικότητά της σε φύλλα ακόμη και μετά από πάρα πολλές δεκαετίες. Στην Ελλάδα υπάρχουν μουριές που ίσως να υπερβαίνουν σε ηλικία τα 100 χρόνια (Εικόνα 2.1) και είναι σημαντικό αυτά τα δέντρα να ταυτοποιηθούν και να διατηρηθούν, καθώς αποτελούν δέντρα πλήρως εγκλιματισμένα στις τοπικές κλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής όπου βρίσκονται και η διάρκεια παρουσίας των φύλλων τους μέσα στο έτος δίνει σημαντικά στοιχεία για την περίοδο μέχρι την οποία μπορούν να γίνουν εκτροφές μεταξοσκωλήκων σε κάθε περιοχή.

Εικόνα 2.1 *Οι μουριές στην Ελλάδα διαμορφώνονται συνήθως σε μεγάλο ύψος κορμού και μερικά δέντρα μπορεί να έχουν ηλικία πάρα πολλών δεκαετιών και να διατηρούν ακόμη την παραγωγικότητά τους σε φύλλα. Το συγκεκριμένο δέντρο στο Σουφλί ανήκει στην τοπική ποικιλία Προύσας ή Μπούρσας και όπως διακρίνεται, σε σχέση με τον άνθρωπο που στέκεται δίπλα του, έχει ύψος κορμού πάνω από 3 μέτρα. Το συγκεκριμένο δέντρο θεωρείται ως ένα από τα παλαιότερα δέντρα της τοπικής ποικιλίας Προύσας ή Μπούρσας που υπάρχουν (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.2 Μέθοδοι πολλαπλασιασμού και παραγωγής δέντρων μουριάς

Υπάρχουν δύο μέθοδοι πολλαπλασιασμού της μουριάς. Ο ένας τρόπος είναι ο εγγενής μέσω των σπόρων και ο δεύτερος τρόπος είναι ο αγενής μέσω της εμφύτευσης με διάφορες μεθόδους όπως οι καταβολάδες, τα μοσχεύματα βλαστών και ριζών, οι εμβολιασμοί, η διαίρεση αλλά και η ιστοκαλλιέργεια.

Ως προς τους τρόπους πολλαπλασιασμού, η μουριά δεν διαφέρει από τα άλλα καρποφόρα δέντρα και, κατά συνέπεια, οι βασικές γνώσεις και τεχνικές για τον πολλαπλασιασμό των άλλων καρποφόρων δέντρων ισχύουν και για τη μουριά (Hartmann et al., 2017; Θεριός & Δημάση-Θεριού, 2006; Ποντίκης, 1994). Η μουριά διαφέρει από τα άλλα καρποφόρα δέντρα ως προς τη χρήση του δέντρου για συλλογή των φύλλων του και έτσι η έμφαση στις παρακάτω ενότητες αυτού του κεφαλαίου δίνεται στις μεθόδους συγκομιδής και όχι στις μεθόδους πολλαπλασιασμού για τις οποίες ο αναγνώστης μπορεί να βρει αναφορές σε άλλα βιβλία (Hartmann et al., 2017; Θεριός & Δημάση-Θεριού, 2006; Ποντίκης, 1994).

Η παραγωγή δενδρυλλίων μέσω σπόρων χρησιμοποιείται κυρίως για να παραχθούν δέντρα τα οποία κατόπιν εμβολιάζονται με άλλη ποικιλία για να δώσουν ομοιόμορφη παραγωγή μιας ποικιλίας σε έναν μορεώνα (Ayuzawa, 1972; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008). Ο λόγος που χρησιμοποιούνται τα δέντρα που προέκυψαν από σπόρο για εμβολιασμό είναι γιατί τα διάφορα είδη και ποικιλίες της μουριάς εμφανίζουν μεγάλη ετερογένεια και έτσι τα δενδρύλλια που προκύπτουν από σπόρους μέσα σε έναν μορεώνα έχουν μια μεγάλη ποικιλομορφία που δεν είναι επιθυμητή από πλευράς απόδοσης σε φύλλα. Με άλλα λόγια, δεν είναι πρακτικά ωφέλιμο να φυτέψει κανείς σπόρους μουριάς για να δημιουργήσει έναν μορεώνα, καθώς κατόπιν θα πρέπει να εμβολιάσει το κάθε δέντρο που θα προκύψει με μόσχευμα από άλλη ποικιλία με επιθυμητά χαρακτηριστικά. Έτσι, η παραγωγή δέντρων μουριάς για δημιουργία μορεώνων γίνεται κυρίως με τη χρήση αγενούς πολλαπλασιασμού, ώστε να υπάρχουν σε έναν μορεώνα δέντρα με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά και αποδόσεις σε φύλλα.

2.2.1 Αγενής πολλαπλασιασμός με καταβολάδες

Ο πολλαπλασιασμός της μουριάς με καταβολάδες είναι ένας ασφαλής τρόπος πολλαπλασιασμού δέντρων μουριάς που εμφανίζουν ιδιαίτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και κατά συνέπεια θέλουμε να τα πολλαπλασιάσουμε.

Στον πολλαπλασιασμό με καταβολάδες, το μεσαίο τμήμα ενός κλαδιού του δέντρου λυγίζεται και καλύπτεται με χώμα έτσι ώστε να προεξέχει από το χώμα η άκρη του κλαδιού. Αυτό γίνεται πάνω στη σειρά φύτευσης του μητρικού δέντρου είτε από τη μία είτε από την άλλη πλευρά του μητρικού δέντρου πάνω στη σειρά φύτευσής του. Κατόπιν, η καταβολάδα αφήνεται να ριζώσει και όταν προκύψει αναπτυσσόμενο δέντρο από την καταβολάδα, τότε μπορούμε να κόψουμε το κλαδί του μητρικού δέντρου από το οποίο προέκυψε το νέο δέντρο δίπλα στο μητρικό δέντρο.

Για τον πολλαπλασιασμό με καταβολάδες όμως, απαιτείται να έχουμε δέντρα μουριάς που έχουν χαμηλό ύψος κορμού (Εικόνα 2.2) και αυτό στη συνήθη ελληνική πρακτική απουσιάζει, καθώς οι σηροτρόφοι προτιμούν να δημιουργούν μορεώνες με ύψος του κύριου κορμού του δέντρου στο 1-1,5 μέτρο ή ψηλότερο και με σχετικά αραιή φύτευση (Εικόνα 2.3), πράγμα που σημαίνει ότι η δημιουργία νέων δέντρων με καταβολάδες είναι πρακτικά δύσκολη και θα οδηγήσει στη δημιουργία πυκνότερης φύτευσης. Ένας άλλος λόγος για τον οποίο δεν έχει επικρατήσει η δημιουργία δέντρων μουριάς με καταβολάδες είναι γιατί δεν υπάρχει στη χώρα μας εκμηχάνιση της συγκομιδής των φύλλων της μουριάς για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων.

Εικόνα 2.2 *Η διαμόρφωση του κορμού της μουριάς σε πολύ χαμηλό ύψος επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό του δέντρου με καταβολάδες, αλλά είναι επίσης ο ιδανικός τρόπος διαμόρφωσης των δέντρων για την εκμηχάνιση της συγκομιδής των βλαστών και των φύλλων (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 2.3 *Η διαμόρφωση του κορμού της μουριάς σε μεσαίο ύψος (90-100 εκατοστά) δεν επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό με καταβολάδες, αλλά αυξάνει την παραγωγικότητα του κάθε δέντρου σε φύλλα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η εκμηχάνιση της συγκομιδής των φύλλων της μουριάς απαιτεί πυκνή φύτευση και κοντούς κορμούς δέντρων για να είναι αποδοτική, οικονομικά συμφέρουσα και συμβατή με τις υπάρχουσες μηχανές συγκομιδής, κάτι το οποίο δεν υφίσταται σε κανέναν μορεώνα στη χώρα μας. Από την άλλη μεριά, η συνήθης πρακτική της χρήσης της μουριάς ως δέντρο σκίασης και άρα με μεγάλο ύψος κορμού, δεν επιτρέπει τη χρήση δέντρων με αποδεδειγμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά ως υλικό πολλαπλασιασμού με καταβολάδες λόγω του μεγάλου ύψους τους. Για τον πολλαπλασιασμό με καταβολάδες, χρησιμοποιούνται οι συνήθεις πρακτικές που χρησιμοποιούνται και για τα άλλα καρποφόρα δέντρα (Hartmann et al., 2017; Θεριός & Δημάση-Θεριού, 2006; Ποντίκης, 1994).

2.2.2 Αγενής πολλαπλασιασμός μουριάς με φυλλοφόρα μοσχεύματα

Αυτός ο τρόπος αναπαραγωγής της μουριάς είναι ο πλέον διαδεδομένος τρόπος πολλαπλασιασμού των επιθυμητών χαρακτήρων ενός δέντρου (Ayuzawa, 1972; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008). Ο πολλαπλασιασμός με μοσχεύματα αφορά τα μοσχεύματα βλαστών ή ριζών που φέρουν φύλλα και είναι μια πρακτική πολλαπλασιασμού που λαμβάνει χώρα από αργά την άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο στην περίπτωση της μουριάς (Ayuzawa, 1972; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Τα μοσχεύματα βλαστών μπορεί να είναι μαλακά, ημίσκληρα ή ξυλοποιημένα, ανάλογα με τη χρήση και την κοπή που έχουμε κάνει στο μητρικό δέντρο και την εποχή της συλλογής των μοσχευμάτων. Για να υποβοηθήσουμε τη δημιουργία ριζικού συστήματος των μοσχευμάτων βλαστών, χρησιμοποιείται ορμόνη ριζοβολίας, δηλαδή αυξίνες με κυριότερες το ινδολοβουτυρικό οξύ, το α-ναφθαλινο-οξικό οξύ και το ινδολυλο-οξικό οξύ (Hartmann et al., 2017; Θεριός & Δημάση-Θεριού, 2006; Ποντίκης, 1994).

Υπάρχουν διάφορες πρακτικές σχετικά με τη διαχείριση των φυλλοφόρων μοσχευμάτων της μουριάς για την επιτυχή ριζοβολία τους και την περαιτέρω διαχείρισή τους και αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση μονάδων υδρονέφωσης για την αποφυγή ξήρανσης των μοσχευμάτων και τη χρήση θερμαινόμενων υποστρωμάτων για την υποβοήθηση της ριζοβολίας των μοσχευμάτων (Hartmann et al., 2017; Θεριός & Δημάση-Θεριού, 2006; Ποντίκης, 1994). Και σε αυτήν την περίπτωση οι πρακτικές που χρησιμοποιούμε δεν διαφέρουν από αυτές των άλλων καρποφόρων δέντρων.

2.2.3 Αγενής πολλαπλασιασμός μουριάς με άφυλλα ξυλοποιημένα μοσχεύματα

Ο πολλαπλασιασμός της μουριάς με ξυλοποιημένα μοσχεύματα (Εικόνα 2.4) προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μορεώνα με μουριές που έχουν επιθυμητά χαρακτηριστικά, τα οποία θα θέλουμε να πολλαπλασιάσουμε. Προϋποθέτει επίσης την ύπαρξη μιας έκτασης στην οποία θα θέλουμε να εγκαταστήσουμε μουριές, καθώς μια από τις μεθόδους αυτού του τρόπου πολλαπλασιασμού αφορά την άμεση μεταφύτευση των άφυλλων ξυλοποιημένων μοσχευμάτων κατευθείαν στην υπό δημιουργία έκταση.

Εικόνα 2.4 *Φωτογραφία ενός φυτωρίου μουριάς στην Ιταλία για την παραγωγή δενδρυλλίων από άφυλλα ξυλοποιημένα μοσχεύματα. Τέτοια φυτώρια δεν χρειάζονται ιδιαίτερη και δαπανηρή επένδυση για τη δημιουργία τους, ενώ μπορούν να παράγουν χιλιάδες δενδρύλλια μουριάς κάθε έτος (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Αυτός ο τρόπος πολλαπλασιασμού πραγματοποιείται από το φθινόπωρο έως τις αρχές της άνοιξης, όταν έχουμε δηλαδή ωρίμανση των ιστών της μουριάς και σταμάτημα της αύξησής τους. Αυτή η μέθοδος πολλαπλασιασμού πλεονεκτεί μόνο ως προς τη διαχείριση των μοσχευμάτων που θα μεταφυτευθούν, αλλά και ως προς την αναγκαιότητα ύπαρξης των χώρων και εγκαταστάσεων που είναι απαραίτητοι για τον πολλαπλασιασμό με φυλλοφόρα μοσχεύματα.

Για την άμεση μεταφύτευση των άφυλλων ξυλοποιημένων μοσχευμάτων της μουριάς, η συνήθης πρακτική είναι η οριστική μεταφύτευσή τους στον υπό δημιουργία μορεώνα 10-20 ημέρες πριν το φούσκωμα των οφθαλμών στις αρχές της άνοιξης. Εφόσον τα μοσχεύματα δεν φυτευτούν άμεσα στον υπό δημιουργία μορεώνα, αυτά μπορούν να κοπούν νωρίτερα μέσα στον χειμώνα και να διατηρηθούν σε περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής υγρασίας μέχρι τη μεταφύτευσή τους. Εναλλακτικά, τα μοσχεύματα μπορούν να φυτευτούν σε μικρές γλάστρες και να αποτελέσουν το υλικό για τη δημιουργία του μορεώνα όταν θα είναι δενδρύλλια ενός έτους. Στην περίπτωση αυτή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τζάκια ριζοβολίας για την

επαγωγή ριζοβολίας για να αυξήσουμε το ποσοστό ριζοβολίας και δημιουργίας δενδρυλλίων έτοιμων για μεταφύτευση το επόμενο έτος.

Αν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της άμεσης μεταφύτευσης στον υπό δημιουργία μορεώνα λίγο πριν το φούσκωμα των οφθαλμών, τότε θα πρέπει να έχουμε ήδη ετοιμάσει το πλάνο φύτευσης των μοσχευμάτων και να έχουμε καθορίσει τις αποστάσεις και την πυκνότητα φύτευσης των μοσχευμάτων στον υπό δημιουργία μορεώνα. Κατά τα άλλα, και στη μέθοδο αυτή, οι πρακτικές που θα χρησιμοποιήσουμε δεν διαφέρουν από αυτές που χρησιμοποιούνται για τα άλλα καρποφόρα δέντρα (Hartmann et al., 2017; Θεριός & Δημάση-Θεριού, 2006; Ποντίκης, 1994).

2.2.4 Πολλαπλασιασμός της μουριάς με ενοφθαλμισμό και εγκεντρισμό

Οι μέθοδοι αυτές παραγωγής δέντρων μουριάς με επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι δυνατές, αλλά χρησιμοποιούνται σχετικά σπάνια, γιατί απαιτούν σχετικά υψηλή τεχνική κατάρτιση από τον χειριστή, ενώ έχουν σημασία μόνο όταν το υποκείμενο φυτό που συνεισφέρει στο δισυπόστατο φυτό μόνο το ριζικό του σύστημα έχει σαφώς μη επιθυμητά χαρακτηριστικά, αλλά βρίσκεται φυτεμένο σε εύφορο αγροτεμάχιο όπου επιτρέπεται η άμεση διαχείριση του υπό δημιουργία μορεώνα μετά την εφαρμογή του ενοφθαλμισμού ή του εγκεντρισμού.

Στην πράξη, αυτή η μέθοδος δεν είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμη, ίσως και απαγορευτική, όταν αναφερόμαστε στη δημιουργία μορεώνα με πυκνή φύτευση με δυνατότητα εκμηχάνισης της συγκομιδής φύλλων και χαμηλό ύψος κορμού των δέντρων που θα δημιουργηθούν.

2.3 Εγκατάσταση μορεώνα

Η σωστή εγκατάσταση μορεώνα που θα χρησιμοποιείται για την παροχή φύλλων προς εκτροφή μεταξοσκωλήκων είναι κεφαλαιώδους σημασίας για να έχουμε επιτυχημένες εκτροφές μεταξοσκώληκα. Είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας για παραγωγικές εκτροφές μετά την απολύμανση του σηροτροφείου για την αποφυγή προσβολών από παθογόνα (Ayuzawa, 1972; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Η σωστή εγκατάσταση μορεώνα είναι μια σύνθετη και πολυπαραγοντική διαδικασία που θα πρέπει να σχεδιαστεί και να εκτελεστεί με ορίζοντα δεκαετιών, καθώς η μουριά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές δεκαετίες για την παραγωγή φύλλων και η αλλαγή χρήσης του μορεώνα είτε προς άλλη καλλιέργεια είτε προς εγκατάσταση νέων δέντρων είναι μια δαπανηρή και επίπονη διαδικασία. Για τους παραπάνω λόγους, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, τόσο στην αρχική εγκατάσταση του μορεώνα όσο και στην επιλογή του κατάλληλου αγροτεμαχίου για την εγκατάσταση του μορεώνα. Ιδανικά, ένας μορεώνας θα πρέπει να δημιουργείται ακριβώς δίπλα στο σηροτροφείο, γιατί αυτό μειώνει δραστικά το κόστος εκτροφής και τις απαιτούμενες εργατοώρες για την παραγωγή κουκουλιών (Εικόνα 2.5). Για να διατυπωθεί πιο σωστά, πρώτα δημιουργείται ένα μορεώνας και κατόπιν δημιουργείται το σηροτροφείο, ιδανικά ακριβώς δίπλα στον μορεώνα (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Ένας μορεώνας πρέπει εξ ορισμού να είναι αποδοτικός σε φύλλα και αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τις μετεωρολογικές συνθήκες, τη θέση του αγροτεμαχίου, την ποιότητα του χώματος, την ποικιλία μουριάς που θα εγκατασταθεί, την ύπαρξη και το είδος άλλων γειτονικών καλλιεργειών, την ικανότητα παροχής καλλιεργητικών φροντίδων και εκμηχάνισης και την πυκνότητα φύτευσης των μουριών (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008). Πριν την εγκατάσταση του μορεώνα, είναι υποχρεωτικό να κάνουμε ενδελεχή ανάλυση της ποιότητας του χώματος και να γνωρίζουμε τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Χωρίς την ενδελεχή ανάλυση της ποιότητας του χώματος στο αγροτεμάχιο που υπάρχει πρόθεση να εγκατασταθεί ο μορεώνας, μπορεί να βρεθούμε στη δυσάρεστη κατάσταση να έχουμε επενδύσει στην αγορά ή δημιουργία πολλά υποσχόμενης ποικιλίας μουριάς και να αναγκαστούμε να δαπανήσουμε πολλά περισσότερα χρήματα στη βελτίωση του χώματος ή να έχουμε δέντρα χαμηλής παραγωγικότητας. Είναι οικονομικά προτιμότερο σε βάθος χρόνου να έχουμε άριστη ποιότητα χώματος παρά να επενδύουμε σε βελτίωση της ποιότητας του χώματος σε έναν μορεώνα.

Σχετικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες, η μέση θερμοκρασία για τη σωστή ανάπτυξη της μουριάς θεωρείται ότι είναι οι 13 ^{o}C από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008). Εάν αυτό το όριο θερμοκρασίας αέρα είναι ευρύτερο, τότε η ύπαρξη φύλλων μουριάς μπορεί να εκτείνεται στη χώρα μας από τον Απρίλιο μέχρι και τον Νοέμβριο. Είναι χαρακτηριστικό ότι στη Βόρεια Ελλάδα οι μουριές παράγουν φύλλα ικανοποιητικά για την εκτροφή του

μεταξοσκώληκα από τον Μάιο μέχρι τις αρχές Οκτωβρίου, ενώ στη Νότια Ελλάδα αυτή η περίοδος μπορεί να εκτείνεται από τον Απρίλιο μέχρι και τον Νοέμβριο λόγω του θερμότερου κλίματος. Αυτά τα εποχικά όρια έχουν σημασία μόνο όταν η στόχευση είναι προς την παραγωγή κουκουλιών σε περισσότερες από μία εκτροφές τον χρόνο (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Εικόνα 2.5 *Εγκατεστημένος μορεώνας 5 ετών με διαμόρφωση των δέντρων σε μεσαίο ύψος κορμού και σχετικά πυκνή φύτευση (400-500 δέντρα ανά στρέμμα). Παρατηρήστε την τέλεια οριοθέτηση των σειρών φύτευσης των δέντρων, την τοποθεσία του μορεώνα σε οριζόντιο αγροτεμάχιο και την απουσία ζιζανίων και άλλης βλάστησης στο αγροτεμάχιο. Τέτοιοι μορεώνες μπορούν να δώσουν μεγάλη παραγωγή φύλλων για πολλές δεκαετίες (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η βροχόπτωση επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή φύλλων της μουριάς και για τον λόγο αυτόν είναι απαραίτητη η άρδευση των μουριών τους μήνες όπου δεν υπάρχει ή είναι ελάχιστη η βροχόπτωση. Η απουσία βροχόπτωσης ή άρδευσης μειώνει σημαντικά την ποιότητα των φύλλων της μουριάς και αυτός είναι ο λόγος που στη χώρα μας οι καλοκαιρινές εκτροφές είναι συνήθως μειωμένης απόδοσης σε κουκούλια. Γενικότερα, θεωρείται ότι ποσότητα νερού ίση με κάλυψη της επιφάνειας ενός στρέμματος με 5 χιλιοστά καθημερινά είναι ιδανική για να έχουμε καλή άρδευση του μορεώνα, ενώ το επιθυμητό επίπεδο είναι το ύψος βροχόπτωσης να φτάνει τα 100-150 χιλιοστά ανά μήνα από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο. Στην περίπτωση που έχουμε ξηρασία, είναι επιθυμητό να παρέχουμε ποσότητα νερού ίση με κάλυψη της επιφάνειας ενός στρέμματος με 5 χιλιοστά ημερησίως ανά στρέμμα στον μορεώνα (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Ο παγετός, ιδιαίτερα όταν εμφανίζεται στην περίοδο της ανάπτυξης των οφθαλμών της μουριάς νωρίς ή στα μέσα της άνοιξης, μπορεί να οδηγήσει στην καθυστέρηση έναρξης της εαρινής εκτροφής. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αποφυγής του παγετού, είναι προτιμότερο να μην εγκαθιστούμε έναν μορεώνα σε περιοχές όπου η εμφάνιση παγετού νωρίς την άνοιξη είναι αρκετά συχνή.

Το χιόνι είναι και αυτός ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα της μουριάς, καθώς σε περιοχές με υψηλή χιονόπτωση (> 1 μέτρο) το βάρος του χιονιού μπορεί να οδηγήσει σε σπάσιμο των ετήσιων βλαστών. Σε τέτοιες περιοχές με υψηλή χιονόπτωση είναι καλό να δένονται μεταξύ τους οι ετήσιοι βλαστοί κατά την περίοδο του χειμώνα για να αποφεύγεται το σπάσιμό τους.

Αναφορικά με τη θέση του μορεώνα, η μουριά μπορεί να αναπτυχθεί σε υψόμετρο έως 1000 μέτρα αλλά όσο μεγαλύτερο το υψόμετρο εγκατάστασης του μορεώνα τόσο πιο περιορισμένη είναι η ανάπτυξη της μουριάς. Ένα σημαντικό σημείο στην εγκατάσταση ενός μορεώνα είναι η κλίση του εδάφους, η οποία θα πρέπει να είναι λιγότερο από 15^{o} μοίρες.

Εφόσον υπάρχει κλίση του εδάφους, η κατεύθυνσή της είναι επιθυμητό να είναι προς τα νοτιοανατολικά και το αγροτεμάχιο να είναι ηλιόλουστο. Γενικότερα, όμως, η επιλογή επικλινούς αγροτεμαχίου για την εγκατάσταση της μουριάς θα πρέπει να αποφεύγεται, γιατί δημιουργεί προβλήματα υποβάθμισης της ποιότητας του χώματος, ενώ αυξάνει σημαντικά το διαχειριστικό κόστος του μορεώνα. Η δημιουργία μορεώνα σε αναβαθμίδες είναι εφικτή, αλλά και στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατή η εκμηχάνιση της συγκομιδής φύλλων και το λειτουργικό κόστος της εκτροφής για την παραγωγή κουκουλιών είναι συγκριτικά αυξημένο.

Μία ακόμη παράμετρος που είναι κρίσιμη στην επιλογή του αγρατεμαχίου όπου θα εγκατασταθεί ένας μορεώνας είναι η ύπαρξη εντατικών καλλιεργειών σε γειτονικά αγροτεμάχια. Η ύπαρξη εντατικών καλλιεργειών σε γειτονικά αγροτεμάχια μπορεί να σημαίνει ότι εντομοκτόνα ή άλλα παρασιτοκτόνα μπορεί να χρησιμοποιούνται σε αυτές τις καλλιέργειες και ως αποτέλεσμα οι μουριές του μορεώνα μπορεί να φέρουν υπολείμματα αυτών των εντομοκτόνων.

Τάισμα τέτοιων μολυσμένων φύλλων στις προνύμφες μπορεί να οδηγήσει σε ολική θανάτωση των μεταξοσκωλήκων που εκτρέφονται και για τον λόγο αυτόν πρέπει να γνωρίζουμε τους χρόνους εφαρμογής και το είδος των εντομοκτόνων και παρασιτοκτόνων σε γειτονικές καλλιέργειες. Πρέπει επίσης να παραμένουμε συνεχώς ενήμεροι για τον χρόνο εφαρμογής και το είδος του εντομοκτόνου που εφαρμόζεται σε γειτονική καλλιέργεια. Για παράδειγμα, εάν ο μορεώνας μας γειτνιάζει με οπωρώνα όπου εφαρμόζεται ένα εντομοκτόνο στις αρχές του Μαΐου, τότε είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο να χρησιμοποιήσουμε τα φύλλα της μουριάς προς διατροφή μεταξοσκωλήκων εκείνη την περίοδο.

Ένας τρόπος να αποφύγουμε τέτοιες χρόνιες καταστάσεις μόλυνσης των φύλλων της μουριάς είναι να εγκαταστήσουμε ψηλά δέντρα περιμετρικά του μορεώνα, αλλά αυτό δεν είναι πάντα εφικτό ή οικονομικά συμφέρον. Η μόλυνση των φύλλων με εντομοκτόνα ή παρασιτοκτόνα ισχύει και για μεμονωμένες μουριές που μπορεί τυχαία ή ευκαιριακά να αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε για διατροφή των μεταξοσκωλήκων. Και στην περίπτωση αυτή, η οποία είναι μια αρκετά διαδεδομένη και συχνή πρακτική, υπάρχει περίπτωση τα φύλλα να είναι μολυσμένα και ακατάλληλα προς διατροφή των μεταξοσκωλήκων.

Ένας τρόπος να αντιληφθούμε ότι κάποια φύλλα μεμονωμένης μουριάς είναι ακατάλληλα για διατροφή των μεταξοσκωλήκων είναι να διατηρούμε έναν μικρό αριθμό προνυμφών (π.χ. 100 προνύμφες) ως μάρτυρες και τις οποίες θα ταΐζουμε την προηγούμενη ημέρα με φύλλα που θα συλλέξουμε την επόμενη μέρα για διατροφή των υπόλοιπων μεταξοσκωλήκων. Με την πρακτική αυτή, και επειδή η προσβολή με εντομοκτόνα ή παρασιτοκτόνα εκδηλώνεται στις προνύμφες μέσα σε λίγες ώρες με σοβαρά συμπτώματα και θάνατο, μπορούμε να γνωρίζουμε ότι τα φύλλα που πρόκειται να συλλέξουμε την επόμενη ημέρα είναι μολυσμένα και άρα να αποφύγουμε τη συλλογή και χρήση τους. Γενικότερα, η διατήρηση μικρού αριθμού προνυμφών ως μάρτυρες και το τάισμά τους με φύλλα αμφίβολης ποιότητας είναι μια ασφαλής πρακτική ιδιαίτερα για πολύ μικρές εκτροφές που δεν χρησιμοποιούν φύλλα από εγκατεστημένους μορεώνες, αλλά φύλλα από μεμονωμένα και διάσπαρτα δέντρα μουριάς.

2.3.1 Ποιότητα εδάφους του μορεώνα

Γενικότερα, η χρήση ορεινών ή δασικών εδαφών για την εγκατάσταση μορεώνα πρέπει να αποφεύγεται γιατί τα εδάφη αυτά έχουν υψηλή οξύτητα και χαμηλή συγκέντρωση ωφέλιμων κατιόντων. Για να γίνουν καλλιεργήσιμα τέτοια εδάφη, απαιτείται μεγάλη επένδυση στη βελτίωση του εδάφους με χρήση οργανικής ύλης, βαθύ όργωμα και προσθήκη πηλώδους και αμμώδους χώματος. Για όλους αυτούς τους λόγους, η χρήση τέτοιων εδαφών και γενικότερα χέρσων εδαφών θα πρέπει να αποφεύγεται.

Στο αγροτεμάχιο που πρόκειται να εγκαταστήσουμε έναν μορεώνα πρέπει πρώτα να κάνουμε αξιολόγηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους μετρώντας την ποσότητα οργανικής ύλης, τη δυνατότητα συγκράτησης του νερού, το πορώδες του εδάφους, την οξύτητα του χώματος και γενικότερα όλες τις παραμέτρους που θα μας οδηγήσουν στην εκτίμηση της ποιότητας του εδάφους, αλλά και θα προτείνουν βελτιωτικές παρεμβάσεις, όπως διόρθωση της οξύτητας του εδάφους και την ποσότητα λιπάσματος και οργανικής ύλης που θα πρέπει να εφαρμόσουμε, ώστε να έχουμε έναν όσο το δυνατόν πιο εύφορο μορεώνα (Hartmann et al., 2017; Θεριός & Δημάση-Θεριού, 2006; Ποντίκης, 1994).

Δεν υπάρχουν ιδιαίτερες προδιαγραφές ή απαιτήσεις σχετικά με την ποιότητα του εδάφους ενός αγροτεμαχίου στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί ένας μορεώνας, αλλά ισχύουν οι ίδιες προδιαγραφές που ισχύουν και για τις άλλες καλλιέργειες οπωροφόρων δέντρων (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008). Επίσης, υπάρχουν πλέον και πιστοποιημένα κέντρα ανάλυσης της ποιότητας εδαφών, τα οποία μπορούν να παρέχουν τις παραπάνω αναφερόμενες αναλύσεις και συμβουλές βελτίωσης της ποιότητας του εδάφους.

2.3.2 Προσβασιμότητα στον μορεώνα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ιδανικά ένας μορεώνας θα πρέπει να είναι δίπλα στο σηροτροφείο, γιατί αυτό μειώνει πολύ σημαντικά το κόστος εκτροφής. Στην πραγματικότητα, πρέπει πρώτα να εγκαθιστούμε έναν μορεώνα και στη συνέχεια, και μετά από την πάροδο τριών χρόνων, να γίνεται η εγκατάσταση του σηροτροφείου δίπλα στον μορεώνα για να αρχίσουν οι εκτροφές του μεταξοσκώληκα. Παρότι είναι λάθος, στη συνήθη σηροτροφική πρακτική στη χώρα μας γίνεται ακριβώς το αντίθετο.

Αν η εγκατάσταση μορεώνα δίπλα στο σηροτροφείο δεν είναι εφικτή, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για εγκατάσταση μορεώνα ένα αγροτεμάχιο που έχει εύκολη προσβασιμότητα σε μηχανές καλλιέργειας και σε μεταφορικά μέσα και να θεωρήσουμε ότι ένα 10% της επιφάνειας του μορεώνα θα πρέπει να αφιερώνεται σε χώρους ελιγμών των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν είτε για όργωμα και συντήρηση του μορεώνα είτε για συγκομιδή των φύλλων (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008). Ιδανικά ένας μορεώνας θα πρέπει να είναι προσβάσιμος από οχήματα (Εικόνα 2.6) από δύο πλευρές του και να έχει τέτοια πυκνότητα φύτευσης ώστε να είναι όσο το δυνατόν ταχύτερη η συγκομιδή των φύλλων και των βλαστών.

Εικόνα 2.6 *Μορεώνας με διαμόρφωση δέντρων σε χαμηλό ύψος κορμού στην Ιταλία. Αυτός ο μορεώνας είναι προσβάσιμος από τις δύο πλευρές του αγροτεμαχίου και μειονεκτεί μόνο στη σχετικά μικρή κλίση του εδάφους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Για όλους τους παραπάνω λόγους, χρειάζεται ιδιαίτερη αξιολόγηση του χώρου εγκατάστασης του μορεώνα καθώς και προσαρμογή των σχεδίων εγκατάστασης ανάλογα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του αγροτεμαχίου που θα επιλεγεί. Επειδή η εγκατάσταση ενός μορεώνα σημαίνει τη δέσμευση του αγροτεμαχίου για δεκαετίες, είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται είτε νομικά είτε διαχειριστικά ότι δεν θα υπάρχουν παρεμβάσεις στους χώρους γειτνίασης του μορεώνα, οι οποίες θα τον καταστήσουν μη λειτουργικό.

2.3.3 Επιλογή ποικιλίας μουριάς προς φύτευση

Συνήθως σε έναν μορεώνα εγκαθιστούμε δενδρύλλια μουριάς ηλικίας ενός έτους, τα οποία προμηθευόμαστε από καλλιεργητές δενδρυλλίων μουριάς. Η φύτευση αυτών των δενδρυλλίων γίνεται είτε το φθινόπωρο σε περιοχές με ήπιους χειμώνες ώστε να αποφύγουμε την καταστροφή των νεαρών δέντρων από παγετό, είτε πολύ νωρίς την άνοιξη πριν φουσκώσουν οι οφθαλμοί των νεαρών δέντρων σε περιοχές όπου επικρατούν παγετοί κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Ανάλογα με το πλάνο εκτροφής που θέλουμε να εκτελούμε κάθε χρόνο, δηλαδή εάν θα κάνουμε μία ή περισσότερες εκτροφές μεταξοσκώληκα κάθε χρόνο, επιλέγουμε ποικιλίες μουριάς που εμφανίζουν επιθυμητά χαρακτηριστικά όπως ανθεκτικότητα στην έλλειψη νερού, ανθεκτικότητα στις ασθένειες, ζωηρή ανάπτυξη βλαστών μετά από συγκομιδή και υψηλή παραγωγή σε φύλλα (Εικόνα 2.7).

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πάρα πολλές ποικιλίες μουριάς στην Ελλάδα οι οποίες έχουν ξενική προέλευση και σχεδόν τίποτα δεν είναι γνωστό για τη χώρα προέλευσής τους, δεν έχει γίνει ποτέ κάποια συγκριτική αξιολόγηση της ποιότητας των φύλλων των διαφόρων ποικιλιών μουριάς στη χώρα μας. Οι πλέον δημοφιλείς ποικιλίες μουριάς σε χώρες με μεγάλη παραγωγή μεταξιού θα αναφερθούν παρακάτω, αλλά, παρά

την ωφελιμότητά τους, αυτό δεν σημαίνει ότι οι ποικιλίες αυτές θα είναι ιδανικές για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες.

Επειδή δεν έχει γίνει μια συστηματική προσπάθεια αξιολόγησης των ποιοτικών χαρακτήρων των διαφόρων ποικιλιών μουριάς που υπάρχουν στην Ελλάδα, τα δεδομένα που θα παρατεθούν παρακάτω αφορούν το εξωτερικό και δεν θα πρέπει να θεωρείται ότι έχουν, κατά συνθήκη, εφαρμογή και στα ελληνικά δεδομένα. Ιδανικά στη χώρα μας, οι πλέον αποδοτικές ποικιλίες μουριάς θα είναι αυτές που εμφανίζουν ανθεκτικότητα στην έλλειψη βροχόπτωσης του καλοκαιρινούς μήνες και έχουν υψηλή παραγωγή φύλλων ακόμη και σε συνθήκες περιορισμένης βροχόπτωσης.

Εικόνα 2.7 *Μορεώνας στην πεδιάδα του Σουφλίου με σχετικά πυκνή φύτευση των δέντρων της ποικιλίας Ichinose (400-500 ανά στρέμμα). Τα δέντρα ήταν διαμορφωμένα σε μεσαίο ύψος κορμού (90-100 εκατοστά). Αυτός ο μορεώνας 4 στρεμμάτων ήταν αρδευόμενος και είχε πολύ μεγάλη παραγωγικότητα σε φύλλα ικανή για την εκτροφή 0,4-0,5 κουτιών των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα ανά στρέμμα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.3.4 Πυκνότητα φύτευσης της μουριάς στον μορεώνα

Αντίθετα με άλλες καρποφόρες καλλιέργειες, η απόδοση της μουριάς μετριέται σε βάρος φύλλων που παράγει κάθε δέντρο. Έτσι όταν αναφερόμαστε σε απόδοση ενός μορεώνα, εννοούμε πάντα την απόδοσή του σε εδώδιμα φύλλα και έχει λίγη ή καθόλου σημασία εάν το δέντρο παράγει καρπούς. Η απόδοση σε φύλλα ενός μορεώνα εξαρτάται από το μήκος των βλαστών του κάθε δέντρου και έτσι η μέγιστη απόδοση ενός μορεώνα ορίζεται ως το μέγιστο μήκος βλαστών που μπορούμε να πάρουμε ανά μονάδα επιφάνειας ενός μορεώνα.

Εικόνα 2.8 *Στην αριστερή εικόνα φαίνεται μορεώνας της παραδοσιακής ποικιλίας Προύσας ή Μπούρσας με υψηλή διαμόρφωση του κορμού και αραιή φύτευση. Ένας τέτοιος μορεώνας δεν είναι ιδανικός για εντατική εκτροφή μεταξοσκωλήκων, γιατί έχει συγκριτικά μικρή παραγωγικότητα σε φύλλα. Στη δεξιά εικόνα απεικονίζεται ο μορεώνας της Εικόνας 2.7 την περίοδο του χειμώνα. Παρατηρήστε τον συγκριτικά μεγαλύτερο αριθμό βλαστών ανά δέντρο στον μορεώνα της δεξιάς εικόνας (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Επειδή έχει βρεθεί ότι η αύξηση της πυκνότητας φύτευσης των μουριών οδηγεί, μέχρι ένα όριο, στην αύξηση του μήκους των βλαστών, προτείνεται ως βέλτιστη η αυξημένη πυκνότητα φύτευσης και η διαμόρφωση των δέντρων με χαμηλό ή μεσαίου ύψους κορμό (Εικόνα 2.8). Αυτό όμως, παρότι είναι το ιδανικό, δεν θα πρέπει

να θεωρείται και το σωστό: Για παράδειγμα, είναι άσκοπο να γίνεται διαμόρφωση της μουριάς με χαμηλό κορμό (<50 εκατοστά) όταν δεν πρόκειται ποτέ να χρησιμοποιήσουμε αυτόματες μηχανές κοπής των βλαστών για συγκομιδή, ενώ αντίθετα, η χαμηλή διαμόρφωση των κορμών θα επιφέρει σωματική καταπόνηση αυτών που θα πρέπει να συλλέξουν τους βλαστούς με το χέρι ή με κλαδευτήρια. Για τον παραπάνω λόγο, στην Ελλάδα ποτέ δεν έχει επικρατήσει η χαμηλή διαμόρφωση των δέντρων της μουριάς, γιατί ποτέ δεν χρησιμοποιήθηκε μηχανική συλλογή των βλαστών.

Παρά το γεγονός ότι τέτοιες μηχανές αυτόματης κοπής και συλλογής των βλαστών της μουριάς υπάρχουν στο εξωτερικό, η χρήση τους δεν έχει επικρατήσει παρά μόνο σε περιοχές όπου υπάρχει εντατική παραγωγή κουκουλιών και άρα είναι συμφέρουσα η αγορά μιας τέτοιας μηχανής. Ως επακόλουθο, θα βρει κανείς αναφορές στην ξένη βιβλιογραφία ως προς την ωφελιμότητα της πυκνής φύτευσης σε συνδυασμό με τη χαμηλή διαμόρφωση της μουριάς, αλλά αυτό δεν συνάδει με την ελληνική πραγματικότητα κατά την οποία εργάτες πρέπει να μαζέψουν χειρωνακτικά τους βλαστούς μουριάς για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων.

Στην Ελλάδα, η μουριά διαμορφωνόταν πάντα ως δέντρο με υψηλό κορμό (>1,5 μέτρα) και στην περίπτωση μεμονωμένων δέντρων αυτό γινόταν για να προσφέρουν σκίαση. Από την άλλη μεριά, η διαμόρφωση των δέντρων με υψηλό κορμό επικράτησε, για παράδειγμα στην περιοχή του Σουφλίου, λόγω των συχνών πλημμυρών των πεδινών περιοχών από τον παρακείμενο ποταμό. Ο σημαντικότερος, ωστόσο, λόγος απουσίας διαμόρφωσης της μουριάς με χαμηλό κορμό στη χώρα μας είναι η απουσία εκμηχάνισης της συγκομιδής των φύλλων.

Η φύτευση των δέντρων της μουριάς γίνεται πάντα σε ευθείες σειρές που ξεκινούν πάντα από το σημείο πρόσβασης στον μορεώνα. Η απόσταση μεταξύ των δέντρων στη σειρά εξαρτάται από το πόσο ψηλό πρόκειται να αφήσουμε το κάθε δέντρο να φτάσει. Αυτή η παράμετρος με τη σειρά της καθορίζει την απόσταση μεταξύ των σειρών φύτευσης, γιατί έχει βρεθεί ότι η ιδανική συνθήκη είναι

$$\text{μήκος μεταξύ δέντρων στη σειρά/μήκος μεταξύ των σειρών φύτευσης} = 1/2{,}5\text{-}3 \qquad (2.1)$$

Δηλαδή, αν η απόσταση μεταξύ των δέντρων στη σειρά είναι 1 μέτρο, τότε η απόσταση μεταξύ των σειρών φύτευσης θα πρέπει να είναι 2,5-3 μέτρα.

Η απόσταση μεταξύ των σειρών φύτευσης των δέντρων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μειωμένη, αλλά θα πρέπει σίγουρα να επιτρέπει την είσοδο μηχανοκίνητων μέσων για τις καλλιεργητικές φροντίδες και κυρίως την είσοδο μέσων για τη συλλογή των βλαστών. Με τη σειρά τους, αυτές οι παράμετροι καθορίζονται από τα διαθέσιμα μηχανοκίνητα μέσα για την καλλιέργεια του μορεώνα και αποκτούν κρίσιμη σημασία όταν σχεδιάζουμε την εγκατάσταση ενός μορεώνα σε έκταση πολλών στρεμμάτων.

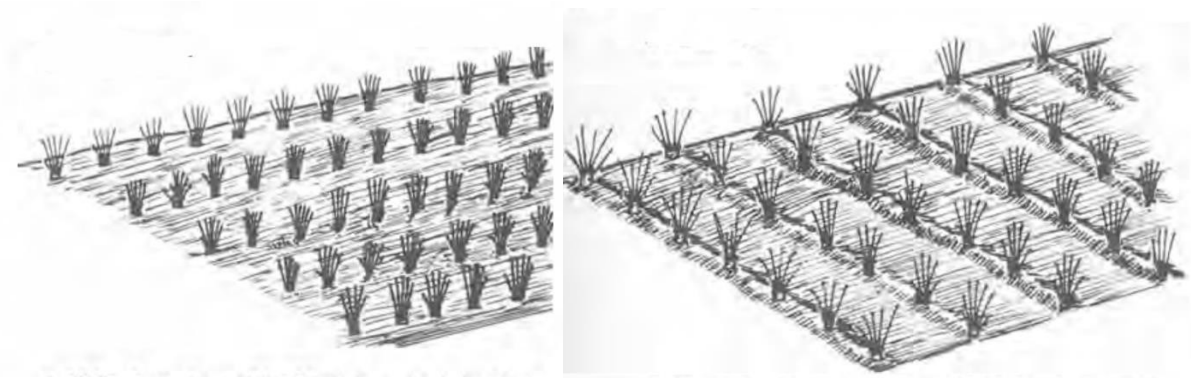
Σε γενικές γραμμές και για διαμόρφωση των δέντρων με κοντό κορμό, συνιστάται η απόσταση μεταξύ των σειρών να είναι 1,5-1,8 μέτρα και η απόσταση μεταξύ των δέντρων να είναι 0,7 μέτρα για να έχουμε 800-1000 δέντρα ανά στρέμμα. Στην περίπτωση της διαμόρφωσης των δέντρων με μεσαίου μήκους κορμό τότε η απόσταση μεταξύ των σειρών είναι 2-2,5 μέτρα και η απόσταση μεταξύ των δέντρων στη σειρά είναι 0,9-1 μέτρο για να έχουμε 400-500 δέντρα ανά στρέμμα. Όσο πυκνότερη είναι η φύτευση, τόσο περισσότερο αυξάνεται η απόδοση σε φύλλα (Πίνακας 2.1), αλλά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πυκνότερη φύτευση απαιτεί και κοντότερη διαμόρφωση του κορμού της μουριάς που συνεπάγεται μηχανοποίηση της συγκομιδής βλαστών.

Πυκνότητα φύτευσης		**Αριθμός δέντρων ανά στρέμμα**	**Αριθμός βλαστών του έτους ανά στρέμμα**	**Μέσο μήκος βλαστών του έτους ανά δέντρο**	**Συνολικό μήκος βλαστών του έτους ανά δέντρο**	**Συνολικό μήκος βλαστών του έτους ανά στρέμμα**	**Συνολικός αριθμός βλαστών του έτους ανά στρέμμα**
Απόσταση μεταξύ σειρών των δέντρων	**Απόσταση μεταξύ δέντρων στη σειρά**						
1,65	0.33	2160	4,9	1,54	7,54	16273	10584
1,65	0.69	1080	6,1	1,53	9,36	10111	6588
1,65	0.99	770	6,5	1,55	10,1	7275	4680
1,65	1,32	540	7.3	1,63	11,93	6440	3942

Πίνακας 2.1 *Η πυκνή φύτευση των μουριών οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή βλαστών και φύλλων ανά στρέμμα μορεώνα (Πηγή: Προσαρμογή από (Minamizawa, 1997)).*

Η κατεύθυνση των σειρών φύτευσης (Εικόνα 2.9) προτείνεται να είναι από τον βορρά προς τον νότο ώστε να επιτρέπουν την κίνηση του αέρα μέσα στον μορεώνα, αλλά σε αγροτεμάχια με κλίση πάνω από 15 μοίρες, η κατεύθυνση των σειρών φύτευσης θα πρέπει να είναι τέτοια που να αποτρέπει την απορροή των λιπασμάτων και τη διάβρωση του εδάφους.

Η φύτευση των δέντρων γίνεται είτε ανοίγοντας ένα αυλάκι βάθους 40-50 εκατοστών στη σειρά φύτευσης όπου κατόπιν τοποθετούμε τα δεντρύλλια στην απόσταση που έχουμε ορίσει είτε ανοίγοντας τρύπες του ίδιου βάθους και τοποθετώντας τα δεντρύλλια ένα προς ένα σε κάθε τρύπα. Κατά την τοποθέτηση των δεντρυλλίων είναι καλό να προσθέτουμε οργανικό λίπασμα στο σημείο φύτευσης του κάθε δενδρυλλίου στο βάθος του αυλακιού και να σκεπάζουμε το λίπασμα με χώμα ώστε να μην έρχονται σε επαφή οι ρίζες του δέντρου με το λίπασμα αμέσως μετά τη φύτευση. Προτιμάται η επιφανειακή φύτευση των δέντρων με την μπάλα χώματος που έχει το αρχικό μόσχευμα από το οποίο δημιουργήθηκε το δενδρύλλιο, γιατί έτσι έχουμε γρήγορη ανάπτυξη στα αμέσως επόμενα έτη, καθώς και σταδιακή κάλυψη του κορμού με οργανική ύλη τα επόμενα χρόνια.



Εικόνα 2.9 *Ανάλογα με τη θέση ενός μορεώνα ως προς τον βορρά, η φύτευση των δέντρων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπεται η κίνηση του αέρα από βορρά προς νότο ανάμεσα στις σειρές των δέντρων. Τα σχέδια στην αριστερή τους πλευρά αντιστοιχούν σε πλάτος 10 μέτρων (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Δύο με τρεις ημέρες μετά τη φύτευση, κλαδεύουμε το δενδρύλλιο ανάλογα με το ύψος που θέλουμε να δώσουμε στον κορμό και ανάλογα φυσικά με το ύψος του δενδρυλλίου που φυτεύτηκε. Αυτά τα δενδρύλλια ενός έτους, μετά τη φύτευσή τους νωρίς την άνοιξη, θα δώσουν πολλούς βλαστούς και είτε στο τέλος της άνοιξης του ίδιου έτους είτε στην αρχή της άνοιξης του επόμενου έτους (2ο έτος μετά τη φύτευση) θα πρέπει να κλαδέψουμε τα δέντρα αφήνοντας έναν κύριο κεντρικό βλαστό που θα αποτελέσει τον κορμό του δέντρου.

Εάν αυτό το κλάδεμα γίνει στο τέλος της άνοιξης του ίδιου έτους φύτευσης, τότε θα πρέπει να φροντίσουμε ώστε αυτός ο κεντρικός βλαστός να μην τραυματιστεί η καταστραφεί προσφέροντας στα δέντρα τις βέλτιστες καλλιεργητικές φροντίδες ώστε να αποκτήσουν έναν ισχυρό κορμό. Ακολουθώντας αυτήν την πρακτική, νωρίς την επόμενη άνοιξη (2ο έτος μετά τη φύτευση) κλαδεύουμε τον κύριο βλαστό στο ύψος στο οποίο θέλουμε να διαμορφώσουμε τον τελικό κορμό των δέντρων στον μορεώνα. Κατόπιν, οι βλαστοί του έτους που θα προκύψουν αργότερα την άνοιξη θα είναι αυτοί που θα επιτρέψουν τη διαμόρφωση του άκρου του κορμού του δέντρου σε μορφή κυπέλλου. Καθ' όλη τη διάρκεια του 2ου έτους μετά τη φύτευση αφήνουμε τους βλαστούς του έτους να φτάσουν στο μέγιστο μήκος τους και διαμορφώνουμε, νωρίς την άνοιξη του 3ου έτους φύτευσης, την άκρη του κορμού σε μορφή κυπέλλου κρατώντας 4-5 ισχυρούς βλαστούς, κλαδεύοντας όλους τους άλλους βλαστούς ώστε να δώσουμε στο δέντρο την τελική του μορφή και το τελικό του ύψος.

Στην περίπτωση που το κλάδεμα και η διατήρηση ενός κεντρικού βλαστού γίνουν στην αρχή της άνοιξης του επόμενου έτους (2ο έτος μετά τη φύτευση), τότε αυτός ο βλαστός θα πρέπει να κλαδευτεί ταυτόχρονα και να έχει ύψος όσο θα είναι ο τελικός κορμός του δέντρου. Οι βλαστοί που θα προκύψουν αργότερα την άνοιξη από τους οφθαλμούς, που βρίσκονται κοντύτερα στο σημείο κλαδέματος του κεντρικού βλαστού, θα είναι αυτοί που θα δημιουργήσουν τη μορφή κυπέλλου του κορμού του δέντρου.

Στο 4ο έτος από τη δημιουργία του μορεώνα, το κάθε δέντρο θα έχει ομοιόμορφο ύψος κορμού και θα φέρει 4-5 ισχυρούς βλαστούς ενός έτους, οι οποίοι θα παράγουν βλαστάρια με φύλλα που θα μπορούν να χορηγηθούν στις προνύμφες. Ωστόσο, ο μορεώνας δεν θα έχει φτάσει στη μέγιστή του αποδοτικότητα και αυτή θα έρθει μετά το 5ο έτος, καθώς από τη μορφή κυπέλλου του κορμού του δέντρου θα προκύπτουν πολλοί βλαστοί για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η φύτευση δενδρυλλίων ενός έτους σε έναν μορεώνα σημαίνει ότι αυτά θα γίνουν παραγωγικά σε 3 έτη από τη φύτευσή τους και θα φτάσουν στο μέγιστο της παραγωγικότητάς τους σε φύλλα μετά από το 5ο έτος της φύτευσής τους. Αυτό σημαίνει ότι κάποιος ο οποίος ενδιαφέρεται να εκθρέψει μεταξοσκώληκες για την παραγωγή κουκουλιών, για να έχει εξασφαλισμένη παροχή φύλλων θα πρέπει να επενδύσει στη δημιουργία μορεώνα 3 χρόνια πριν αρχίσει την εκτροφή μεταξοσκωλήκων όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

2.4 Μέθοδοι κοπής και συγκομιδής των βλαστών της μουριάς

Οι μέθοδοι κοπής των βλαστών της μουριάς αναφέρονται και ουσιαστικά καθορίζουν το ύψος του κορμού του δέντρου. Οι μέθοδοι κοπής επίσης καθορίζουν τον τρόπο συγκομιδής των βλαστών γιατί, για παράδειγμα, δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε μηχανική συγκομιδή των βλαστών όταν έχουμε δέντρα με ψηλούς κορμούς. Ούτε είναι πρακτικά ωφέλιμο να έχουμε πολύ υψηλά δέντρα ή πολύ χαμηλά δέντρα όταν δεν εφαρμόζεται μηχανική συγκομιδή των βλαστών, γιατί αυτό αυξάνει δραματικά το κόστος εργασίας για τη συγκομιδή βλαστών, κάνει τη συγκομιδή των βλαστών μια ιδιαίτερα επίπονη εργασία και συνδέεται συχνά με ατυχήματα που μπορεί να συμβούν κατά την κοπή των βλαστών.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στους υπάρχοντες μορεώνες στην Ελλάδα έχει επικρατήσει η διαμόρφωση των δέντρων της μουριάς με κορμό από 1-1,5 μέτρο ύψος και διαμόρφωση του κορμού σε κύπελλο στο ανώτερο ύψος του. Σίγουρα, δεν θα πρέπει με τις μεθόδους κοπής των βλαστών να αφήνουμε το δέντρο να αυξηθεί πάνω από αυτό το ύψος, γιατί τότε γίνεται ιδιαίτερα επίπονη η συγκομιδή των βλαστών.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι κοπής των δέντρων της μουριάς για τη συγκομιδή των βλαστών για διατροφή των μεταξοσκωλήκων: Στην πρώτη μέθοδο (Εικόνα 2.10) κόβουμε τους βλαστούς ενός έτους στη ρίζα τους και βασιζόμαστε στους πλευρικούς μη εμφανείς οφθαλμούς του δέντρου για δημιουργία βλαστών μετά τη συγκομιδή.

Εικόνα 2.10 *Διαμόρφωση του κορμού της μουριάς σε μορφή κυπέλλου μετά από αφαίρεση όλων των βλαστών ενός έτους από τη βάση τους. Πολλοί βλαστοί του έτους με ζωηρή ανάπτυξη θα προκύψουν την άνοιξη από τους πλευρικούς οφθαλμούς στο κύπελλο του κορμού (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Στη δεύτερη μέθοδο (Εικόνα 2.11) κόβουμε τους βλαστούς του έτους αφήνοντας 2-8 οφθαλμούς σε κάθε έναν βλαστό ενός έτους.

Εικόνα 2.11 *Διαμόρφωση του κορμού της μουριάς σε μορφή κυπέλλου, αλλά με διατήρηση λίγων βλαστών ενός έτους που φέρουν 2-8 οφθαλμούς, από τους οποίους θα προκύψουν πολλοί βλαστοί με ζωηρή ανάπτυξη την άνοιξη (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Με την πρώτη μέθοδο έχουμε μικρότερη παραγωγή βλαστών μετά τη συγκομιδή, αλλά καθαρίζουμε το δέντρο πλήρως και διατηρούμε τη μορφή του κυπέλλου σταθερή, ενώ με τη δεύτερη μέθοδο δημιουργούνται περισσότεροι βλαστοί μετά τη συγκομιδή, αλλά προκαλούμε επέκταση της μορφής του κυπέλλου στην άνω άκρη του κορμού. Για να αποφύγουμε αυτήν την κατάσταση η οποία σε βάθος χρόνου δίνει ύψος στα δέντρα, μπορούμε να ακολουθούμε την εναλλαγή των δύο μεθόδων ανά έτος σε διαφορετικά μέρη του μορεώνα και έτσι να διατηρούμε το ύψος των δέντρων σταθερό. Σε κάθε περίπτωση, η μορφή του κυπέλλου στην άκρη του κορμού του δέντρου δεν θα πρέπει να αφήνεται να επεκταθεί και να αποκτήσει διακλαδώσεις, γιατί αυτό σε βάθος χρόνου οδηγεί στη δημιουργία πολύ υψηλού κορμού.

Ως προς το ύψος του κορμού, υπάρχουν 3 κατηγορίες διαμόρφωσης (Εικόνα 2.12) των δέντρων: Η χαμηλή διαμόρφωση με ύψος κορμού έως 30 εκατοστά, η μεσαία διαμόρφωση με ύψος κορμού από 90-100 εκατοστά και η ψηλή διαμόρφωση με ύψος κορμού από 100 εκατοστά και πάνω, η οποία αναφέρεται και ως *ευρωπαϊκή διαμόρφωση* (Ayuzawa, 1972).

Εικόνα 2.12 *Διαμόρφωση των δέντρων της μουριάς σε χαμηλό (αριστερή εικόνα), μεσαίο (μεσαία εικόνα) και υψηλό ύψος κορμού (δεξιά εικόνα) (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Πέρα όμως από αυτές τις διαμορφώσεις, η μουριά μπορεί να διαμορφωθεί και σε μορφή αμπελιού. Στην περίπτωση αυτή δεν εφαρμόζεται συγκομιδή των βλαστών του έτους, αλλά μαζεύουμε μόνο τα φύλλα.

Ανάλογα με την περίοδο συγκομιδής των βλαστών της μουριάς για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων, διακρίνουμε 3 κατηγορίες μορεώνων: Μορεώνες για την ανοιξιάτικη εκτροφή, μορεώνες για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή και μορεώνες για την ανοιξιάτική αλλά και την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή. Σε κάθε έναν από αυτούς τους μορεώνες εφαρμόζουμε διαφορετική προσέγγιση στον τρόπο συγκομιδής των βλαστών, όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι μορεώνες δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται σε ξεχωριστά ή διαφορετικά αγροτεμάχια, αλλά μπορούν να είναι τμήμα ενός μορεώνα και να υφίστανται διαφορετική διαχείριση (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Μια ακόμη κατηγοριοποίηση του μορεώνα μπορεί να γίνει ως προς τα φύλλα που χρησιμοποιούμε για την εκτροφή των διαφόρων ηλικιών των προνυμφών του μεταξοσκώληκα. Έτσι μπορούμε να διαχωρίσουμε ένα σχετικά μικρό τμήμα του μορεώνα για να το χρησιμοποιούμε για τη διατροφή των νεαρών ηλικιών των προνυμφών και το υπόλοιπο να το χρησιμοποιούμε για τις μεγαλύτερες ηλικίες. Συνήθως, ένα 10% της έκτασης του μορεώνα είναι καλό να αφιερώνεται για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών των προνυμφών και το σημείο αυτό θα πρέπει να είναι ευήλιο και ευάερο (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Τέλος, σχετικά με την αποδοτικότητα των μουριών σε φύλλα, σε ανάλυση που έγινε σε 24 ποικιλίες μουριάς στην Ιαπωνία (Aruga, 1994) βρέθηκε ότι το βάρος των βλαστών του έτους που συλλέχθηκαν κυμαινόταν από 2360 έως 1100 κιλά ανά στρέμμα μεταξύ των 24 ποικιλιών μουριάς, ενώ το βάρος των ξυλωδών τμημάτων των βλαστών κυμαινόταν από 1080 έως 460 κιλά και το βάρος των φύλλων κυμαινόταν από 980 έως 450 κιλά. Από αυτές τις αναλογίες υπολογίζεται ότι το βάρος των φύλλων είναι 52 έως 37 % (με μέσο όρο 45%) του συνολικού βάρους των βλαστών και έτσι με ένα ζύγισμα των βλαστών που συλλέγουμε μπορούμε να γνωρίζουμε και το συνολικό βάρος των φύλλων που έχουμε συλλέξει και πού πρέπει να έχουμε για να χορηγήσουμε σε κάθε τάισμα των προνυμφών.

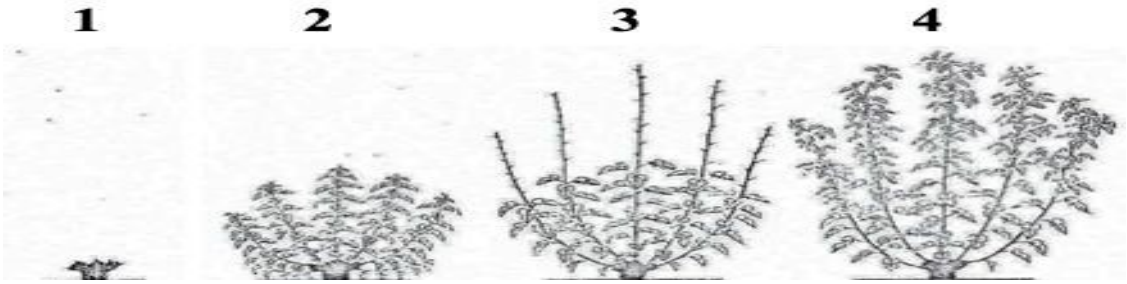
2.4.1 Μέθοδος επιλογής των κατάλληλων φύλλων για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών

Για τις νεαρές ηλικίες και για την ανοιξιάτικη εκτροφή είναι καλό να επιλέγουμε ποικιλία μουριάς για εκτροφή των νεαρών ηλικιών των προνυμφών, η οποία θα εμφανίζει πρώιμο φούσκωμα των οφθαλμών στις ψυχρές περιοχές και ποικιλία μουριάς που φτάνει σε ωρίμανση φύλλων νωρίς στις θερμές περιοχές. Προτιμάται να χρησιμοποιούμε οργανική ύλη για λίπασμα σε αυτές τις μουριές ιδίως για την παραγωγή ποιοτικών φύλλων το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, καθώς αυτές είναι οι περίοδοι όπου δεν μπορούμε να έχουμε εύκολα ποιοτικά φύλλα για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών. Για την ανοιξιάτική εκτροφή συνήθως δεν υπάρχει πρόβλημα να έχουμε ποιοτικά φύλλα για τις νεαρές ηλικίες των προνυμφών, φτάνει να έχουμε δέντρα που έχουν υποστεί ικανοποιητική λίπανση και άρδευση (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).

Υπάρχουν μερικοί τρόποι παραγωγής ποιοτικών φύλλων για τις νεαρές ηλικίες των προνυμφών για το καλοκαίρι και το φθινόπωρο που θα αναφερθούν παρακάτω.

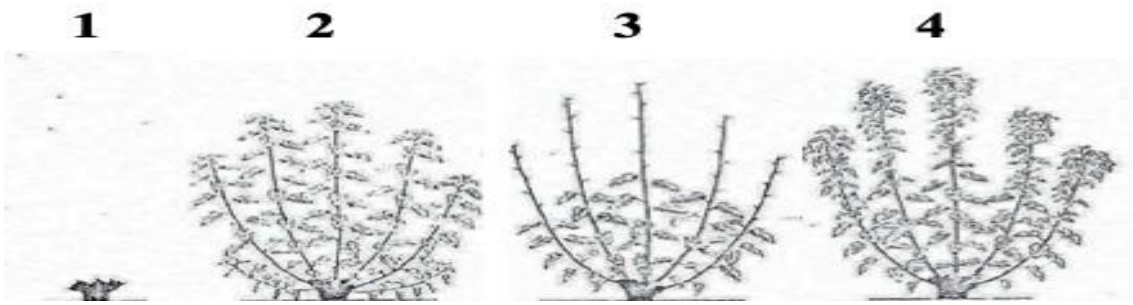
Στην πρώτη μέθοδο (Εικόνα 2.13) χρησιμοποιούμε μουριές στις οποίες έχουν κλαδευτεί οι βλαστοί του έτους πριν την άνοιξη (Εικόνα 2.13 (βήμα 1)). Σε αυτές τις μουριές νέοι βλαστοί θα αρχίσουν να μεγαλώνουν δραστήρια την άνοιξη (Εικόνα 2.13 (βήμα 2)). Κάνουμε δύο επεμβάσεις σε αυτούς τους βλαστούς 15-20 ημέρες πριν την έναρξη της καλοκαιρινής εκτροφής ως εξής:

Αφού αφαιρέσουμε τους μικρούς και επικλινείς βλαστούς, αφήνουμε 5-6 βλαστούς και αφαιρούμε την κορυφή του κάθε βλαστού σε μήκος 10 εκατοστά και τα φύλλα επίσης στο άνω μισό του κάθε βλαστού (Εικόνα 2.13 (βήμα 3)). Αυτή η επέμβαση δίνει ώθηση στην ανάπτυξη των οφθαλμών στο πάνω μισό του βλαστού και στην εμφάνιση νεαρών βλαστών (Εικόνα 2.13 (βήμα 4)), τα φύλλα των οποίων μπορούν να συλλεχθούν για τη διατροφή των νεαρών ηλικιών στην καλοκαιρινή εκτροφή (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Patnaik, 2008).



Εικόνα 2.13 *Διαχείριση των μουριών για την παραγωγή νεαρών βλαστών και φύλλων για τις νεαρές ηλικίες του μεταξοσκώληκα κατά την καλοκαιρινή εκτροφή. Τα τέσσερα σχέδια αντιστοιχούν στα τέσσερα βήματα που αναφέρονται στο κυρίως κείμενο παραπάνω (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Για τη φθινοπωρινή εκτροφή (Εικόνα 2.14), κάνουμε ακριβώς το ίδιο που αναφέρεται παραπάνω (Εικόνα 2.13 (βήματα 1-4), αλλά χρησιμοποιούμε μουριές στις οποίες αφαιρέθηκαν οι βλαστοί του έτους για την ανοιξιάτικη εκτροφή κατά τα τέλη Μαΐου ή αρχές Ιουνίου (Εικόνα 2.14 (βήμα 1)). Στην περίπτωση αυτή η επέμβαση γίνεται 20-25 ημέρες πριν τη φθινοπωρινή εκτροφή (Εικόνα 2.14 (βήμα 3)), γιατί η ανάπτυξη νεαρών βλαστών (Εικόνα 2.14 (βήμα 4)) τείνει να γίνεται πιο αργή όσο πλησιάζουμε προς την πτώση των φύλλων της μουριάς.



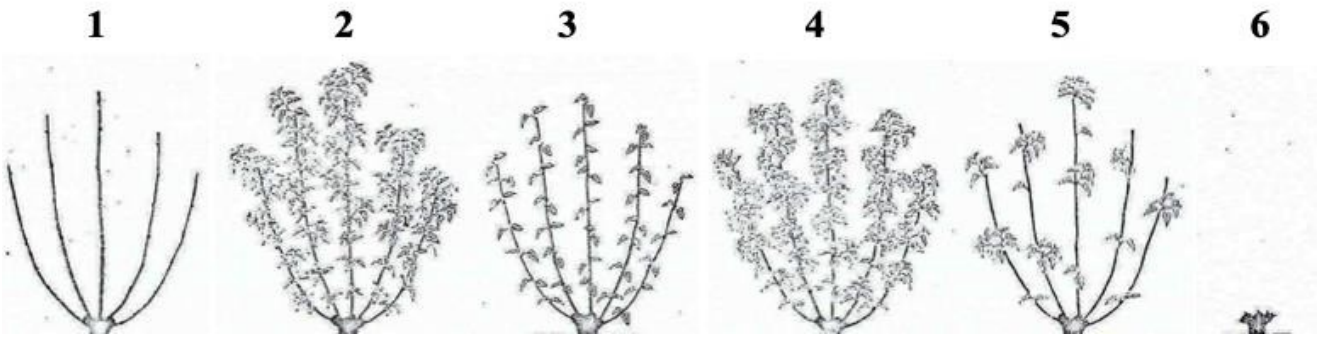
Εικόνα 2.14 *Διαχείριση των μουριών για την παραγωγή νεαρών βλαστών και φύλλων για τις νεαρές ηλικίες του μεταξοσκώληκα κατά τη φθινοπωρινή εκτροφή. Τα τέσσερα σχέδια αντιστοιχούν στα τέσσερα βήματα που αναφέρονται στο κυρίως κείμενο παραπάνω (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Και στις 2 περιπτώσεις συλλέγουμε όλους τους νεαρούς βλαστούς από το δέντρο για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου 0,3 στρέμματα μουριάς είναι αρκετά για την εκτροφή 5 κουτιών αυγών μεταξοσκώληκα στις νεαρές ηλικίες για κάθε μία από την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή.

Στη δεύτερη μέθοδο χρησιμοποιούμε δέντρα στα οποία αφαιρέθηκαν οι βλαστοί του έτους πριν την άνοιξη. Τα δέντρα αυτά παράγουν βλαστούς και 50 ημέρες πριν την έναρξη της καλοκαιρινής εκτροφής, αφού αφαιρέσουμε τους μικρούς και επικλινείς βλαστούς, κόβουμε την κορυφή τους στα 15 εκατοστά από την άκρη και αφήνουμε 5-6 βλαστούς ανά δέντρο. Από τους οφθαλμούς αυτών των βλαστών θα προκύψουν νεαροί βλαστοί που θα φτάσουν σε μήκος τα 60 εκατοστά, όταν πρόκειται να αρχίσει η καλοκαιρινή εκτροφή. Από τους βλαστούς αυτούς συλλέγουμε φύλλα για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών το καλοκαίρι, αλλά αφήνουμε 2-3 φύλλα στη βάση του κάθε βλαστού.

Στη συνέχεια, για τη φθινοπωρινή εκτροφή, οι παραπάνω νεαροί βλαστοί θα έχουν ξεπεράσει σε μήκος τα 60 εκατοστά 20-25 ημέρες πριν την έναρξη της φθινοπωρινής εκτροφής. Τότε αφαιρούμε την κορυφή τους και από τους οφθαλμούς τους θα προκύψουν καινούριοι νεαροί βλαστοί, τους οποίους αφαιρούμε πλήρως για την εκτροφή των νεαρών προνυμφών στη φθινοπωρινή εκτροφή. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να εκθρέψουμε 5 κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα στις νεαρές ηλικίες στην καλοκαιρινή αλλά και τη φθινοπωρινή εκτροφή από περίπου 0,5 στρέμμα μορεώνα.

Στην τρίτη μέθοδο (Εικόνα 2.15 (βήματα 1-6)), κατά την ανοιξιάτικη εκτροφή διατηρούμε 5-7 βλαστούς του ενός έτους σε κάθε δέντρο (Εικόνα 2.15 (βήμα 1)) και αφαιρούμε όλους τους άλλους για χρήση τους στην ανοιξιάτικη εκτροφή. Ταυτόχρονα κλαδεύουμε τους 5-7 εναπομείναντες βλαστούς περίπου 50 εκατοστά από την κορυφή τους. Αυτό το κλάδεμα προκαλεί τη βλάστηση νεαρών βλαστών από τους εναπομείναντες οφθαλμούς στους βλαστούς του ενός έτους (Εικόνα 2.15 (βήμα 2)) και από αυτούς τους νεαρούς βλαστούς συλλέγουμε φύλλα για την καλοκαιρινή εκτροφή (από την κορυφή προς τη βάση όσο μεγαλώνουν οι προνύμφες) αφήνοντας 1-2 φύλλα στη βάση του νεαρού βλαστού (Εικόνα 2.15 (βήμα 3)). Από τους μασχαλιαίους οφθαλμούς των 1-2 φύλλων των νεαρών βλαστών θα προκύψουν καινούριοι νεαροί βλαστοί (Εικόνα 2.15 (βήμα 4)) που θα συλλεχθούν ολόκληροι για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών στη φθινοπωρινή εκτροφή, αφήνοντας κάποιους νεαρούς βλαστούς πάνω στους βλαστούς του ενός έτους (Εικόνα 2.15 (βήμα 5)). Οι 5-7 βλαστοί του ενός έτους που έχουν παραμείνει στο κάθε δέντρο μετά την ολοκλήρωση και της φθινοπωρινής εκτροφής (Εικόνα 2.15 (βήμα 5)) αφαιρούνται από τη βάση τους πριν την επόμενη ανοιξιάτικη εκτροφή (Εικόνα 2.15 (βήμα 6)). Με τη μέθοδο αυτή χρειαζόμαστε περίπου 30 δέντρα για την εκτροφή ενός κουτιού αυγών μεταξοσκώληκα για την καλοκαιρινή αλλά και τη φθινοπωρινή εκτροφή.



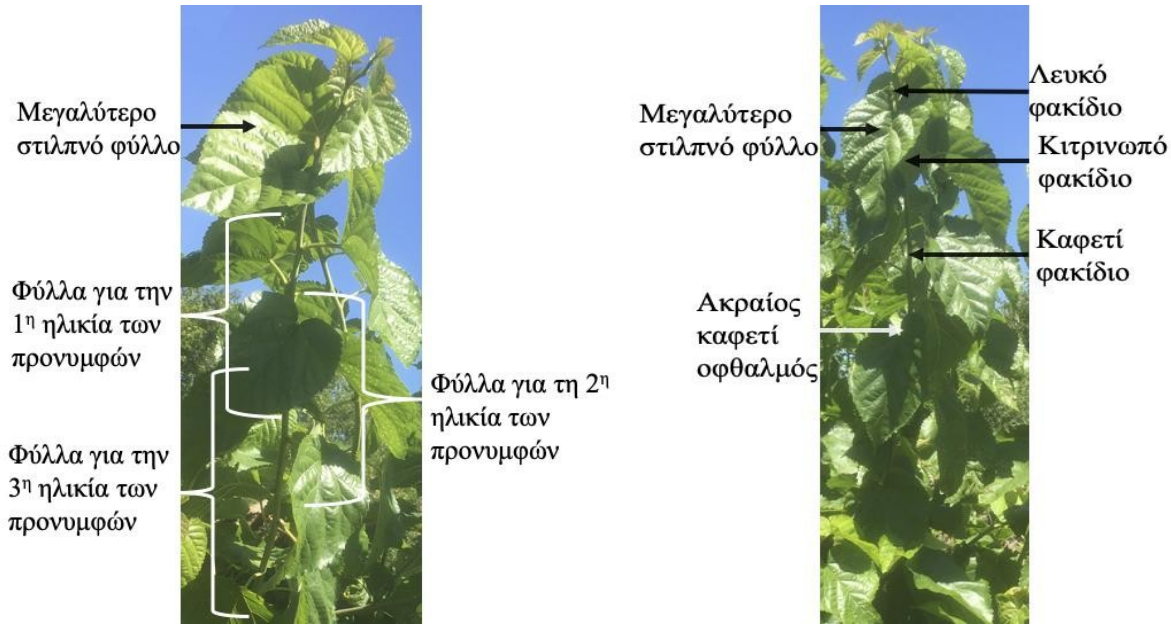
Εικόνα 2.15 *Διαχείριση των μουριών για την παραγωγή νεαρών βλαστών και φύλλων για τις νεαρές ηλικίες του μεταξοσκώληκα κατά την καλοκαιρινή και τη φθινοπωρινή εκτροφή. Τα έξι σχέδια αντιστοιχούν στα έξι βήματα που αναφέρονται στο κυρίως κείμενο παραπάνω (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Όπως γίνεται κατανοητό από τις παραπάνω τρεις μεθόδους, δεν μπορούμε να χρησιμοποιούμε αποκλειστικά τα ίδια δέντρα κάθε έτος για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών των προνυμφών για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή, γιατί αυτό εξαντλεί σε βάθος χρόνου την ευρωστία των δέντρων ιδιαίτερα εάν δεν συνοδεύεται από καλές καλλιεργητικές φροντίδες.

Αυτό που γίνεται επίσης άμεσα κατανοητό από τα παραπάνω είναι ότι η διαχείριση ενός μορεώνα, όταν γίνονται πολλαπλές εκτροφές μεταξοσκωλήκων κάθε έτος, δεν είναι μια απλή και τυπική διαδικασία, αλλά μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί τη χρήση διαφορετικών τμημάτων ενός μορεώνα για διαφορετικές χρήσεις

κάθε χρόνο και απαιτεί επίσης την εκπόνηση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης και εκμετάλλευσης του μορεώνα σε βάθος χρόνου.

Για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή χρησιμοποιούμε το κριτήριο του μεγαλύτερου στιλπνού φύλλου για την επιλογή των φύλλων που θα δώσουμε στις νεαρές προνύμφες από την 1η έως και την 3η ηλικία ανάπτυξής τους. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, χρησιμοποιούμε το χρώμα του φακίδιου του κάθε βλαστού και το χρώμα του μασχαλιαίου οφθαλμού στον μίσχο των φύλλων για τα συλλέξουμε τα κατάλληλα φύλλα (Εικόνα 2.16). Το χρώμα των οφθαλμών από πάνω προς τα κάτω κατά μήκος του βλαστού μεταβάλλεται από πράσινο κατόπιν σε καφέ στην άνω άκρη του (ακραίος καφετί οφθαλμός) και παρακάτω, με τη σειρά σε αυλακωτό οφθαλμό, σε μη ολοκληρωμένο οφθαλμό και σε ολοκληρωμένο οφθαλμό. Για την 1η ηλικία λοιπόν χρησιμοποιούμε τα φύλλα μέχρι πριν το φύλλο που φέρει τον ακραίο καφέ οφθαλμό. Για τη 2η ηλικία τα φύλλα μέχρι και το φύλλο που φέρει τον ακραίο καφετί οφθαλμό, ενώ για την 3η ηλικία τα φύλλα μέχρι και τον μη ολοκληρωμένο οφθαλμό.



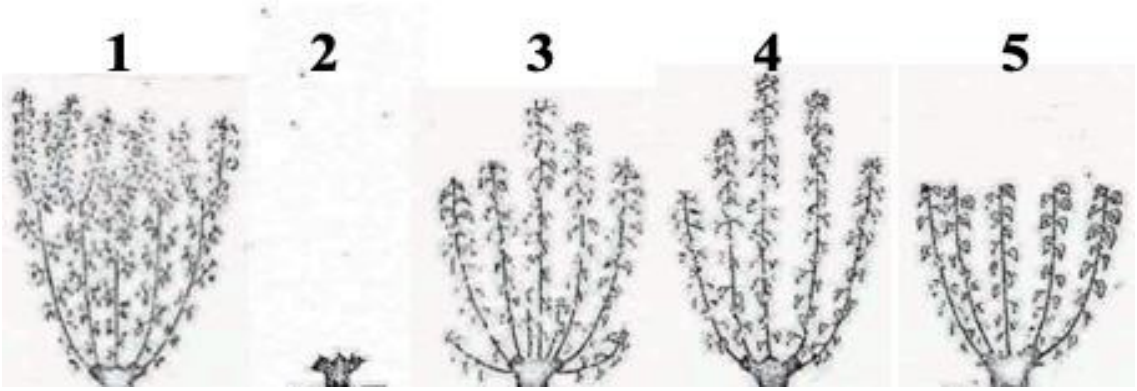
Εικόνα 2.16 *Οι ενδείξεις στις δύο εικόνες, που απεικονίζουν βλαστούς της μουριάς, υποδεικνύουν το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο η παρουσία του οποίου μας καθοδηγεί για τη συλλογή των φύλλων που είναι κατάλληλα για τη διατροφή των νεαρών ηλικιών της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Τα τέσσερα φύλλα κάτω από το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο είναι ιδανικά για τη διατροφή των προνυμφών της 1ης ηλικίας, το 3ο έως και 6ο φύλλο κάτω από το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο είναι ιδανικά για τη διατροφή των προνυμφών στη 2η ηλικία, ενώ το 5ο έως και το 8ο φύλλο κάτω από το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο είναι ιδανικά για τη διατροφή των προνυμφών στην 3η ηλικία. Το χρώμα των φακίδιων (δεξιά εικόνα) στον αναπτυσσόμενο βλαστό μπορεί να μας καθοδηγήσει στον εντοπισμό του μεγαλύτερου στιλπνού φύλλου (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.4.2 Συγκομιδή φύλλων για τις μεγάλες ηλικίες

Η μέθοδος που έχει επικρατήσει για την εκτροφή των μεγάλων ηλικιών των προνυμφών είναι αυτή της συγκομιδής ολόκληρων των βλαστών του έτους, η μεταφορά τους στο σηροτροφείο και κατόπιν η αφαίρεση του κάτω μέρους του βλαστού, που περιέχει το χοντρότερο τεμάχιο ξύλου και λίγα φύλλα, με μασέτα και η εναπόθεση του άνω μέρους του βλαστού πάνω στην επιφάνεια εκτροφής όπου βρίσκονται οι μεταξοσκώληκες. Αυτή είναι η πλέον οικονομικά συμφέρουσα και πρακτικά απλή διαδικασία συγκομιδής των βλαστών για διατροφή των μεταξοσκωλήκων. Η εκμηχάνιση της συγκομιδής των βλαστών έχει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα ως προς τη μείωση του φόρτου εργασίας, αλλά απαιτεί την επένδυση σε αγορά μηχανών συγκομιδής.

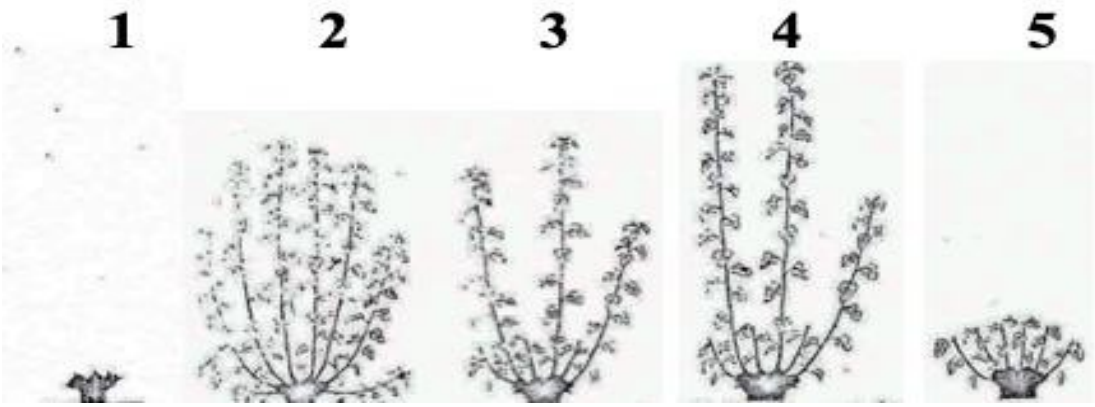
Κατά μία μέθοδο συγκομιδής (Μέθοδος 1, Εικόνα 2.17), αφαιρούμε τους βλαστούς του ενός έτους (Εικόνα 2.17 (βήμα 1)) για την ανοιξιάτικη εκτροφή αφήνοντας μόνο τον κορμό σε σχήμα κυπέλλου (Εικόνα 2.17 (βήμα 2)). Από τα δέντρα αυτά θα προκύψουν νεαροί βλαστοί και για την καλοκαιρινή εκτροφή αφαιρούμε και παρέχουμε στις μεγάλες ηλικίες όλους τους κοντούς και επικλινείς βλαστούς (Εικόνα 2.17 (βήμα 3)) καθώς και το 1/3 των νεαρών βλαστών που προέκυψαν.

Από τα ίδια δέντρα, κατόπιν (Εικόνα 2.17 (βήμα 4)) και για τη φθινοπωρινή εκτροφή αφαιρούμε και παρέχουμε στις μεγάλες ηλικίες το άνω 1/2 ή 1/3 των βλαστών (Εικόνα 2.17 (βήμα 5)). Εφαρμόζοντας αυτήν τη μέθοδο, έχουμε αύξηση της παραγωγής φύλλων από τα δέντρα αυτά την επόμενη άνοιξη, καθώς οι νεαροί βλαστοί που γίνονται βλαστοί του έτους την ερχόμενη άνοιξη αναπτύσσουν δραστήριους νεαρούς βλαστούς στην κορυφή τους που κόπηκε κατά το 1/3 το προηγούμενο φθινόπωρο.



Εικόνα 2.17 *Διαχείριση των μουριών για την παραγωγή νεαρών βλαστών και φύλλων για την εκτροφή των μεγάλων ηλικιών του μεταξοσκώληκα κατά την καλοκαιρινή και τη φθινοπωρινή εκτροφή, σύμφωνα με τη Μέθοδο 1. Τα πέντε σχέδια αντιστοιχούν στα πέντε βήματα που αναφέρονται στο κυρίως κείμενο παραπάνω (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Κατά μια άλλη μέθοδο συγκομιδής (Μέθοδος 2, Εικόνα 2.18), κλαδεύουμε όλους τους βλαστούς του έτους πριν το φούσκωμα των οφθαλμών νωρίς την άνοιξη (Εικόνα 2.18 (βήμα 1)). Τα δέντρα θα δώσουν τότε νεαρούς βλαστούς (Εικόνα 2.18 (βήμα 2)) που τους χρησιμοποιούμε για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων στην καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή. Για την καλοκαιρινή εκτροφή, αφαιρούμε για τη διατροφή των μεγάλων ηλικιών όλους τους μικρούς και επικλινείς νεαρούς βλαστούς, αλλά και τους μισούς νεαρούς βλαστούς κόβοντάς τους στα 30 εκατοστά από τη βάση τους (Εικόνα 2.18 (βήμα 3)). Στη φθινοπωρινή εκτροφή (Εικόνα 2.18 (βήμα 4)) αφαιρούμε όλους τους βλαστούς που υπάρχουν στα 30 εκατοστά από τη βάση τους (Εικόνα 2.18 (βήμα 5)) για τη διατροφή των μεγάλων ηλικιών. Την ερχόμενη άνοιξη και πριν το φούσκωμα των οφθαλμών κλαδεύουμε όλους τους βλαστούς του ενός έτους στη βάση τους (Εικόνα 2.18 (βήμα 1)).



Εικόνα 2.18 *Διαχείριση των μουριών για την παραγωγή νεαρών βλαστών και φύλλων για την εκτροφή των μεγάλων ηλικιών του μεταξοσκώληκα κατά την καλοκαιρινή και τη φθινοπωρινή εκτροφή, σύμφωνα με τη Μέθοδο 2. Τα πέντε σχέδια αντιστοιχούν στα πέντε βήματα που αναφέρονται στο κυρίως κείμενο παραπάνω (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Σε μια άλλη μέθοδο, χρησιμοποιούμε τα δέντρα που κλαδεύτηκαν με τη Μέθοδο 1 το προηγούμενο έτος και κόβουμε όλους τους βλαστούς στα 40 εκατοστά από τη βάση τους για την ανοιξιάτικη εκτροφή. Για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή χρησιμοποιούμε μεθόδους συγκομιδής όπως στη Μέθοδο 1. Με τη μέθοδο αυτή έχουμε αύξηση της παραγωγής φύλλων για τη φθινοπωρινή εκτροφή αλλά και την επόμενη ανοιξιάτικη εκτροφή κατά 20-30%.

Όταν με τις παραπάνω μεθόδους παρατηρήσουμε μείωση της ζωτικότητας των δέντρων λόγω της εντατικής χρήσης τους, τότε νωρίς την άνοιξη και πριν το φούσκωμα των οφθαλμών αφαιρούμε όλους τους

βλαστούς του έτους στη βάση τους και αφήνουμε 2-3 βλαστούς του έτους τους οποίους κόβουμε στα 30 εκατοστά από τη βάση τους επίσης. Τα δέντρα αυτά τα αφήνουμε να αναπτυχθούν χωρίς να κάνουμε οποιαδήποτε συγκομιδή φύλλων για όλο το έτος.

Όπως γίνεται κατανοητό, η ανάγκη αγρανάπαυσης μετά από εντατική χρήση του μορεώνα σημαίνει ότι για να συνεχίσουμε να έχουμε παραγωγή κουκουλιών θα πρέπει να έχουμε εφεδρικούς μορεώνες στους οποίους θα πρέπει να εφαρμόζουμε διαφορετικές μεθόδους κοπής και συγκομιδής σε εναλλασσόμενα έτη. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο διαχείρισης, μπορούμε εναλλακτικά και συνδυαστικά να χρησιμοποιούμε τη μέθοδο 1 και τη μέθοδο 2 σε εναλλασσόμενες χρονιές δημιουργώντας έτσι ένα κυκλικό πρότυπο χρήσης του μορεώνα για δύο έτη.

Χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από τις παραπάνω μεθόδους συγκομιδής των φύλλων, μπορούμε να έχουμε μορεώνες που παράγουν ποιοτικά φύλλα από την άνοιξη έως και το φθινόπωρο, όταν εφαρμόζουμε άριστες καλλιεργητικές φροντίδες στον μορεώνα. Στον Πίνακα 2.2 φαίνεται η συνολική παραγωγικότητα σε φύλλα που μπορεί να έχει μια πολύ καλή ποικιλία μουριάς από την άνοιξη έως το φθινόπωρο, ώστε από ένα στρέμμα μορεώνα να μπορούν να εκτραφούν συνολικά 3 κουτιά των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα ανά έτος.

Ποικιλία μουριάς	**Συνολική παραγωγή σε φύλλα και βλαστούς την άνοιξη (κιλά ανά στρέμμα)**	**Βάρος ξύλου των βλαστών την άνοιξη (κιλά ανά στρέμμα)**	**Βάρος μη εδώδιμων, τρυφερών βλαστών την άνοιξη (κιλά ανά στρέμμα)**	**Βάρος φύλλων στην ανοιξιάτικη εκτροφή (κιλά ανά στρέμμα)**	**Βάρος φύλλων στην καλοκαιρινή εκτροφή (κιλά ανά στρέμμα)**	**Βάρος φύλλων στη φθινοπωρινή εκτροφή (κιλά ανά στρέμμα)**
Kokuso 21	2489	1279	317	893	473	641
Kairyo-Nezumigaeshi	2013	1048	278	686	316	477

Πίνακας 2.2 *Σε αυτόν τον πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις σε παραγωγή φύλλων σε δύο πολύ καλές ποικιλίες μουριάς κατά την ανοιξιάτική, την καλοκαιρινή και τη φθινοπωρινή εκτροφή (Πηγή: Προσαρμογή από (Aruga, 1994)).*

Έχει επανειλημμένα δειχθεί ότι η αύξηση της απόδοσης σε φύλλα της μουριάς συνδέεται με το μήκος των νεαρών βλαστών που προκύπτουν σε κάθε δέντρο. Το μήκος των νεαρών βλαστών με τη σειρά του εξαρτάται από τον συνολικό αριθμό των νεαρών βλαστών ανά δέντρο, την επιφάνεια που καταλαμβάνει το κάθε δέντρο, το ύψος διαμόρφωσης του κορμού αλλά και την ποικιλία της μουριάς (Πίνακας 2.3). Αυτός είναι και ο λόγος που σε χώρες με εντατική παραγωγή κουκουλιών έχει επικρατήσει η διαμόρφωση των βλαστών σε χαμηλό ύψος (Πίνακας 2.3), γιατί οδηγεί στην αύξηση της πυκνότητας φύτευσης των δέντρων, στην αύξηση του αριθμού των βλαστών ανά μονάδα επιφάνειας και κατ' επέκταση στην αύξηση του μήκους των βλαστών ανά μονάδα επιφάνειας.

Ποικιλία μουριάς	**Αριθμός βλαστών του έτους ανά δέντρο**	**Μέσο μήκος βλαστών του έτους ανά δέντρο**	**Συνολικό μήκος βλαστών του έτους ανά στρέμμα**	**Συνολικός αριθμός βλαστών του έτους ανά στρέμμα**	**Παραγωγή σε φύλλα και βλαστούς (κιλά ανά στρέμμα)**
Α	20	1,13	18825	16660	3090
Β	17	1,12	17984	14161	2873
Γ	15	1,23	15368	12495	2873
Δ	13	1,27	13752	10829	2366
Ε	10	1,41	11745	8330	2460

Πίνακας 2.3 *Η παραγωγικότητα ενός μορεώνα σε βλαστούς και φύλλα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποικιλία που θα επιλεγεί προς φύτευση (Πηγή: Προσαρμογή από (Minamizawa, 1997)).*

2.5 Διαχείριση του μορεώνα

Η διαχείριση του μορεώνα έχει ως μοναδικό στόχο να διατηρήσει την υψηλότερη δυνατή παραγωγή φύλλων για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Στη διαχείριση του μορεώνα περιλαμβάνονται μια πλειάδα εργασιών όπως η διατήρηση της ποιότητας του εδάφους, η λίπανση, το όργωμα, η ζιζανιοκτονία, η άρδευση και φυσικά πριν την εγκατάσταση του μορεώνα, η επιλογή της καλύτερης ποικιλίας μουριάς, η διαμόρφωση του εδάφους του μορεώνα και η πρόληψη ασθενειών και προσβολών της μουριάς.

Για τη λίπανση της μουριάς χρησιμοποιούμε ως κανόνα την παροχή 30 κιλών αζώτου, 15 κιλών φωσφόρου και 16 κιλών καλίου ανά στρέμμα μορεώνα ανά έτος. Εφόσον υπάρχει κοπριά και οργανικό λίπασμα που μπορεί να αντικαταστήσει αυτές τις ποσότητες ανόργανων συστατικών, τότε χρησιμοποιούμε την κοπριά, γιατί βοηθά στην αποφυγή αύξησης της οξύτητας του εδάφους. Η μουριά μεγαλώνει καλύτερα σε pH εδάφους περίπου 6,5 και για τη βελτίωση της οξύτητας του εδάφους χρησιμοποιούμε ασβεστούχο λίπασμα και κοπριά. Επειδή η μουριά αποθηκεύει θρεπτικά συστατικά στον κορμό και τις ρίζες της και τα χρησιμοποιεί για την παραγωγή φύλλων την άνοιξη, η παροχή της παραπάνω αναφερόμενης λίπανσης αποσκοπεί κυρίως στη βελτίωση της ποιότητας των φύλλων το καλοκαίρι και το φθινόπωρο όταν η μουριά απορροφά θρεπτικά συστατικά από το έδαφος.

Παρά το γεγονός ότι η καλλιέργεια του εδάφους του μορεώνα βελτιώνει την παραγωγικότητά του, οι καλλιεργητικές φροντίδες, όπως το όργωμα, απαιτούν σημαντική επένδυση σε εργατοώρες και δεν υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι τελικά βοηθά στην αύξηση της παραγωγικότητας, καθώς εάν το έδαφος του μορεώνα είναι σε ιδανική κατάσταση, τότε το μόνο που χρειάζεται είναι η λίπανση και η ζιζανιοκτονία. Πρέπει να σημειωθεί ότι καλλιεργητικές φροντίδες όπως το όργωμα στη διάρκεια του καλοκαιριού πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγεται, γιατί με το καλοκαιρινό όργωμα καταστρέφεται το επιφανειακό ριζικό σύστημα που αναπτύσσει η μουριά το καλοκαίρι.

Δύο άλλες προτεινόμενες καλλιεργητικές φροντίδες είναι η εφαρμογή σανού στον μορεώνα ώστε να περιορίσουμε την ανάπτυξη ζιζανίων και να βελτιώσουμε τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους και να διατηρήσουμε την υγρασία του εδάφους κατά το δυνατόν. Μια εναλλακτική μέθοδος είναι η χρήση πλαστικού καλύμματος από βινύλιο πάνω στη σειρά φύτευσης των μουριών έτσι ώστε να καλύπτει τη βάση του κορμού ή όλο τον μορεώνα. Με τη μέθοδο αυτή, περιορίζεται η εμφάνιση ζιζανίων δίπλα στους κορμούς των δέντρων και βελτιώνονται σημαντικά τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχει αύξηση της παραγωγής φύλλων από την εφαρμογή αυτών των φροντίδων, παρά το γεγονός ότι αυξάνουν το κόστος της επένδυσης για τη δημιουργία του μορεώνα.

Μια ακόμη μέθοδος βελτίωσης της ποιότητας του εδάφους είναι η φύτευση γρασιδιού ή ετήσιων φυτών στον μορεώνα και ανάμεσα στις σειρές των δέντρων. Με τον τρόπο αυτόν και με προϋπόθεση ότι δεν αφαιρούμε ή απομακρύνουμε αυτήν την οργανική ύλη από τον μορεώνα, μπορούμε να χρησιμοποιούμε την κάλυψη με το γρασίδι για τη συγκράτηση της υγρασίας και την αύξηση της οργανικής ύλης του εδάφους. Σε κάθε περίπτωση, αυτή η πρακτική θα πρέπει να εφαρμόζεται μετά τον 4ο χρόνο εγκατάστασης του μορεώνα, γιατί πιο νωρίς προκαλεί σοβαρή μείωση της ανάπτυξης και της ευρωστίας των μουριών. Σε κάθε περίπτωση, η παρουσία ζιζανίων στον μορεώνα δεν είναι με κανέναν τρόπο επιθυμητή, γιατί τα ζιζάνια μειώνουν σημαντικά την απόδοση των μουριών σε φύλλα. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ζιζανιοκτόνα που μπορούν να εφαρμοστούν σε έναν μορεώνα και ειδικά στα πρώτα χρόνια εγκατάστασης ενός μορεώνα, η καλύτερη πρακτική είναι η συστηματική αφαίρεση των ζιζανίων, αλλά όχι η απομάκρυνσή τους από τον μορεώνα, για να αποφεύγεται η απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών από το έδαφος. Οι σύγχρονες χειροκίνητες χορτοκοπτικές μηχανές αποτελούν την ιδανική λύση για την κοπή των ζιζανίων μέσα σε έναν μορεώνα με την επακόλουθη εναπόθεση των κομμένων ζιζανίων μέσα στο διάστημα μεταξύ των σειρών μουριάς.

2.5.1 Λίπανση και ύδρευση του μορεώνα

Η εφαρμογή λιπασμάτων στον μορεώνα συνιστάται να γίνεται με διασπορά σε όλη την έκταση του εδάφους και όχι με χορήγησή του σε συγκεκριμένη θέση μεταξύ των σειρών των μουριών, γιατί αυτό αυξάνει την οξύτητα του εδάφους στο σημείο εφαρμογής του λιπάσματος και βλάπτει το ριζικό σύστημα του δέντρου. Η εφαρμογή του λιπάσματος πρέπει να συνοδεύεται από επιφανειακό όργωμα για να αποφευχθεί η απορροή του λιπάσματος με τη βροχή. Λίπασμα χορηγείται ετησίως στον μορεώνα κατά τα τέλη του χειμώνα και το καλοκαίρι για να διατηρήσουμε υψηλή παραγωγικότητα σε φύλλα και να είναι το λίπασμα διαθέσιμο για τις μουριές κατά την καλοκαιρινή περίοδο όταν υπάρχει δραστήρια απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών από το έδαφος.

Για την ύδρευση του μορεώνα, θεωρείται ότι η παροχή 5 χιλιοστών νερού ανά ημέρα τις περιόδους παρουσίας φύλλων ισοσκελίζει πλήρως την απώλεια νερού μέσω της διαπνοής των φύλλων. Ως προς τον κορεσμό σε νερό που πρέπει να έχει το έδαφος ενός μορεώνα, θεωρείται ότι αυτή πρέπει να είναι στο 60-80% της υδατοχωρητικότητας του εδάφους σε νερό. Η ύδρευση είναι ο σημαντικότερος παράγοντας διατήρησης της ευρωστίας και της παραγωγικότητας των μουριών και ιδιαίτερα σε περιοχές με θερμό και ξηρό καλοκαίρι: Είναι εντυπωσιακό το πώς η άρδευση των μουριών σε τέτοιες περιοχές το καλοκαίρι μεταμορφώνει άμεσα την όψη και την ποιότητα των φύλλων. Έτσι, η συνεπής άρδευση ενός μορεώνα είναι το κρισιμότερο σημείο για την επίτευξη υψηλής παραγωγής σε κουκούλια κατά την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή. Η ύδρευση και η λίπανση του μορεώνα, όπως γίνεται κατανοητό, αποκτά πολύ μεγάλη σημασία όταν ο μορεώνας είναι εγκατεστημένος σε επικλινές αγροτεμάχιο, καθώς τότε πρέπει να λαμβάνουμε μέτρα για την αποτροπή απώλειας του λιπάσματος και του αρδευόμενου νερού.

2.5.2 Μηχανές για τις καλλιεργητικές φροντίδες του μορεώνα

Η εκμηχάνιση της καλλιέργειας του μορεώνα και της συγκομιδής των βλαστών με μηχανές άρχισε ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του ’70 και άλλαξε ριζικά τα δεδομένα στη σηροτροφία, καθώς επέτρεψε την εντατικοποίηση της παραγωγής κουκουλιών και μείωσε σημαντικά το κόστος και τον χρόνο εργασίας. Μηχανές καλλιέργειας της μουριάς και συγκομιδής των βλαστών εμφανίστηκαν πρώτα στην Ιαπωνία και η χρήση τους επεκτάθηκε αργότερα και σε άλλες χώρες. Στην Ελλάδα ποτέ δεν χρησιμοποιήθηκαν μηχανές συγκομιδής των βλαστών λόγω της περιορισμένης και περιστασιακής ενασχόλησης των σηροτρόφων με την εκτροφή μεταξοσκωλήκων, αλλά και του τρόπου διαμόρφωσης των μουριών με υψηλό κορμό.

Για τις καλλιεργητικές φροντίδες του μορεώνα, ένα μικρό τρακτέρ είναι ικανό να καλύψει όλες τις ανάγκες ενός μορεώνα μέχρι τα 20 στρέμματα, ενώ για μεγαλύτερες εκτάσεις μορεώνα απαιτείται ένα τρακτέρ με κίνηση στους 4 τροχούς. Στη δεύτερη περίπτωση, και λόγω μεγέθους, η απόσταση μεταξύ των σειρών της μουριάς στον μορεώνα πρέπει να είναι 2 μέτρα, ενώ ένα μικρό τρακτέρ μπορεί να εκτελέσει όλες τις καλλιεργητικές φροντίδες ακόμα και σε απόσταση 1,5 μέτρου μεταξύ των σειρών της μουριάς.

Για τη λίπανση του μορεώνα, ένα τρακτέρ με τα κατάλληλα εξαρτήματα, τα οποία δεν είναι διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιούνται σε άλλα οπωροφόρα δέντρα, μπορεί να ολοκληρώσει τη λίπανση του μορεώνα σε χρόνο ίσο με το 1/8 αυτού που θα χρειαζόταν ένας άνθρωπος. Με το ίδιο μηχάνημα και διαφορετικά εξαρτήματα μπορεί να γίνει η λίπανση με κοπριά ανοίγοντας ένα αυλάκι στο διάστημα μεταξύ των σειρών του μορεώνα, εναποθέτοντας την κοπριά και αναδεύοντάς την με το χώμα. Μηχανήματα και εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για τη ζιζανιοκτονία και την καταπολέμηση των εχθρών άλλων οπωροφόρων καλλιεργειών μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξίσου και σε έναν μορεώνα. Η παροχή νερού σε έναν μορεώνα μπορεί επίσης να γίνεται με τα συνήθη συστήματα ποτίσματος που χρησιμοποιούνται και σε άλλες καλλιέργειες.

Οι ιδιαιτερότητες στις μηχανές που χρησιμοποιούνται στις καλλιεργητικές φροντίδες ενός μορεώνα αφορούν στις μηχανές συγκομιδής των βλαστών και αυτές οι μηχανές θα περιγραφούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια παρακάτω.

Οι μηχανές που έχουν αναπτυχθεί (Εικόνα 2.19 και Εικόνα 2.20) και χρησιμοποιούνται παραγωγικά αποτελούνται ουσιαστικά από ένα τρακτέρ ή μηχανοκίνητο όχημα στο οποίο έχει προσαρμοστεί ένα πνευματικό ψαλίδι ή ένα περιστρεφόμενο ψαλίδι, το οποίο κόβει τους βλαστούς του έτους αυτόματα και ο χειριστής του μηχανήματος ή ένα άλλο άτομο μαζεύει τους βλαστούς και τους εναποθέτει στην πίσω μεριά της μηχανής. Εναλλακτικά, μικρές μηχανές κοπής των βλαστών που τις χειρίζεται ένα άτομο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη γρήγορη κοπή των βλαστών της μουριάς.

Εικόνα 2.19 *Οι μηχανές κοπής και συγκομιδής βλαστών της μουριάς επιτρέπουν τη γρήγορη συγκομιδή των βλαστών όταν οι μουριές έχουν διαμόρφωση σε χαμηλό ύψος κορμού (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 2.20 *Η συγκομιδή των βλαστών της μουριάς μπορεί να γίνει από ένα άτομο, χρησιμοποιώντας τις μικρές κοπτικές μηχανές που απεικονίζονται, όταν η διαμόρφωση των δέντρων είναι σε χαμηλό ύψος κορμού (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.6 Ασθένειες της μουριάς

Στη βιβλιογραφία έχουν περιγραφεί πολλές διαφορετικές ασθένειες που προσβάλλουν τη μουριά είτε στο ριζικό σύστημα ή στον κορμό και νεκρώνουν το δέντρο, ενώ άλλες ασθένειες προσβάλλουν τα φύλλα και τα καθιστούν μη ελκυστικά προς κατανάλωση από τους μεταξοσκώληκες.

Για πολλές ασθένειες, παρότι προκαλούν ζημιές στα δέντρα, η έκταση της ζημιάς που προκαλούν εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως την καλλιεργούμενη ποικιλία, τις καλλιεργητικές φροντίδες, την ποιότητα του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες αλλά και τον τρόπο συγκομιδής των φύλλων. Για παράδειγμα, μια ασθένεια που προσβάλλει μόνο τα φύλλα δεν αποτελεί πρόβλημα σε έναν μορεώνα όπου χρησιμοποιούμε τα φύλλα και τα συγκομίζουμε τον Μάιο ή τον Ιούνιο μόνο για την ανοιξιάτικη εκτροφή. Παρά το γεγονός ότι παρακάτω θα αναφερθούν οι ασθένειες που προσβάλλουν τη μουριά, οι περισσότερες από αυτές τις ασθένειες δεν εντοπίζονται ή δεν προκαλούν προσβολές στις μουριές στη χώρα μας.

Γενικότερα στην Ελλάδα δεν υπάρχουν συστηματικές καταγραφές προσβολών της μουριάς από ασθένειες, αλλά και στις περιοχές της χώρας μας όπου χρησιμοποιείται η μουριά για την εκτροφή μεταξοσκωλήκων δεν υπάρχουν αναφορές για σοβαρές προσβολές της μουριάς από παθογόνα. Εξαίρεση αποτελεί τα τελευταία 4-5 χρόνια η προσβολή της μουριάς από το Κολεόπτερο Xylotrechus chinensis η προνύμφη του οποίου τρέφεται με τον ξυλώδη ιστό του κορμού και προκαλεί άμεση νέκρωση του δέντρου.

2.6.1 Νανισμός της μουριάς

Η ασθένεια αυτή προκαλείται από ένα βακτήριο που ανήκει στην ομάδα των φυτοπλασμάτων, τα οποία είναι συγγενικά με τα μυκοπλάσματα που προσβάλλουν ζωικά κύτταρα και ταξινομούνται στην Ομοταξία Mollicutes, του Φύλου Tenericutes των βακτηρίων (Namba, 2019). Το παθογόνο είναι ένα ενδοκυτταρικό βακτήριο (Ji et al., 2010), το οποίο προσβάλλει τη μουριά μέσω του ξενιστή του ο οποίος είναι ένα έντομο, το *Tautoneura mori* (Ταξη: Ημίπτερα) (Jiang et al., 2005). Το έντομο αυτό φέρει το φυτόπλασμα στους σιελεγόνους αδένες του. Ο ξενιστής του φυτοπλάσματος έχει γεωγραφική εξάπλωση στην Κίνα, την Κορέα και την Ιαπωνία και αυτός είναι ο λόγος που δεν έχει καταγραφεί η ασθένεια αυτή στην Ελλάδα, αλλά όπως και με άλλα παράσιτα της μουριάς που θα παρουσιαστούν, η παγκοσμιοποίηση του εμπορίου μπορεί να οδηγήσει και στην εμφάνιση αυτού του είδους στη χώρα μας.

Η προσβολή από το φυτόπλασμα (Εικόνα 2.21) είναι σοβαρή, καθώς οδηγεί στην εμφάνιση διπλωμένων φύλλων με κλίση προς τα κάτω, μειωμένη απόσταση μεταξύ των οφθαλμών στους νεαρούς βλαστούς, ενώ σταδιακά το δέντρο παράγει πολύ λίγους βλαστούς και νεκρώνεται. Όταν προσβληθούν νεαρά δέντρα, τότε αυτά εμφανίζουν χαρακτηριστικό νανισμό στην ανάπτυξή τους και νεκρώνονται. Η έμφαση στην καταπολέμηση της ασθένειας δίνεται στην καταπολέμηση του ξενιστή, ενώ τα προσβεβλημένα δέντρα πρέπει να απομακρύνονται και να καίγονται.

Εικόνα 2.21 *Νανισμός της μουριάς μετά από προσβολή από φυτόπλασμα. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται ένα υγιές δέντρο, στη μεσαία εικόνα ένα προσβεβλημένο δέντρο και στη δεξιά εικόνα φαίνεται με βέλη η παρουσία του παθογόνου σε ιστούς της μουριάς (Πηγή: (Ji et al., 2010), CC-BY άδεια).*

2.6.2 Ασθένειες της μουριάς που προκαλούνται από βακτήρια

Έχουν εντοπιστεί 4 είδη βακτηρίων τα οποία προκαλούν προσβολές στη μουριά. Τα είδη αυτά είναι τα *Pseudomonas syringe*, *Xanthomonas campestris*, *Corynebacterium moricolum* και *Erwinia carotovora* (Choi et al., 1990).

Η προσβολή της μουριάς από αυτά τα βακτήρια οφείλεται κυρίως σε πληγές και εκδορές που προκαλούμε στη μουριά, αλλά και σε πληγές που προκαλούν διάφορα έντομα που περιστασιακά τρέφονται με ιστούς της μουριάς. Υπάρχουν δύο είδη προσβολών της μουριάς από αυτά τα βακτήρια. Στο πρώτο είδος προσβολής, προσβάλλονται νεαροί βλαστοί και φύλλα, τα οποία σταδιακά ξηραίνονται καθώς η προσβολή προχωρά σε όλη την έκταση του φύλλου. Στο δεύτερο είδος προσβολής, προσβάλλεται ο κορμός του δέντρου, ο οποίος αποκτά ένα σκοτεινό καφέ προς μαύρο χρώμα και σταδιακά σαπίζει. Η πρώτη προσβολή εμφανίζεται νωρίς την άνοιξη, ενώ η δεύτερη προσβολή σχετίζεται με την ύπαρξη περιόδων υψηλής βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια των μηνών του καλοκαιριού.

Οι βακτηριακές προσβολές της μουριάς σχετίζονται με την ύπαρξη περιόδων υψηλής βροχόπτωσης και η ύπαρξή τους στις χώρες της Ασίας σχετίζεται με τις μετεωρολογικές συνθήκες σε αυτές τις χώρες. Στη χώρα μας είναι δυνατόν να έχουμε βακτηριακές προσβολές, αλλά αυτές ποτέ δεν λαμβάνουν μεγάλη έκταση λόγω των κλιματικών συνθηκών. Επίσης, η διαμόρφωση των δέντρων της μουριάς με χαμηλό ύψους κορμού συμβάλλει σημαντικά στην εμφάνιση βακτηριακών προσβολών στον κορμό, αλλά στη χώρα μας η διαμόρφωση της μουριάς δεν είναι ποτέ με χαμηλό κορμό.

Οι τρόποι αντιμετώπισης αυτών των προσβολών είναι με χρήση διαλύματος στρεπτομυκίνης 0.1% με απευθείας ψεκασμό του προσβεβλημένου δέντρου.

2.6.3 Ασθένειες της μουριάς που προκαλούνται από μύκητες

2.6.3.1 Κόκκινη «σκουριά» της μουριάς

Η ασθένεια αυτή προκαλείται από τον μύκητα *Peridiopsora mori* (Ομοταξία: Pucciniomycetes), ο οποίος είναι ενδημικός στην Ασία. Εμφανίζεται ως πορτοκαλί-κίτρινες κηλίδες στα φύλλα και στους αναπτυσσόμενους βλαστούς από την άνοιξη και σε όλη τη διάρκεια της ύπαρξης τρυφερών βλαστών και φύλλων στη μουριά. Οι κηλίδες γίνονται κίτρινες και κατόπιν σκούρες καφέ με την πάροδο του χρόνου.

Η ασθένεια αυτή καταπολεμείται με μυκητοκτόνα, αλλά καθώς προσβάλλει μόνο τους αναπτυσσόμενους βλαστούς και τα φύλλα, ένας τρόπος περιορισμού της είναι η κοπή των βλαστών του έτους στη βάση τους και το κάψιμό τους πριν το φούσκωμα των οφθαλμών την άνοιξη και το κλάδεμα άλλων μολυσμένων μουριών που μπορεί να γειτνιάζουν. Η χρήση των μυκητοκτόνων πρέπει να ελεγχθεί ως προς τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει στους μεταξοσκώληκες. Η ποικιλία της μουριάς Kokuso No. 27 θεωρείται ανθεκτική σε αυτήν την ασθένεια.

2.6.3.2 Ωίδιο της μουριάς

Η ασθένεια αυτή προκαλείται από τον μύκητα *Phyllactinia guttata* (Ομοταξία: Leotiomycetes) και έχει παγκόσμια εξάπλωση (Εικόνα 2.22). Ο συγκεκριμένος μύκητας δεν προσβάλλει μόνο τη μουριά, αλλά πάρα πολλά άλλα οπωροφόρα δέντρα και έτσι δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα παθογόνο αποκλειστικά της μουριάς. Η προσβολή της μουριάς συμβαίνει το καλοκαίρι.

Τα προσβεβλημένα φύλλα εμφανίζουν λευκές αλευρώδεις κηλίδες στην κάτω επιφάνειά τους, οι οποίες έχουν μέγεθος 5-20 χιλιοστά και σταδιακά μεγαλώνουν. Το φθινόπωρο οι κηλίδες αυτές γίνονται πορτοκαλί και σταδιακά μαύρες. Ωστόσο, τα δέντρα δεν πεθαίνουν από την προσβολή από αυτόν τον μύκητα, αλλά τα φύλλα χάνουν τη θρεπτική τους αξία. Τα κονίδια του μύκητα είτε παραμένουν τον χειμώνα πάνω στους βλαστούς ή πέφτουν στο έδαφος. Η απολύμανση με μυκητοκτόνα είναι αποτελεσματική όταν καλύπτει και γειτονικούς μορεώνες που έχουν προσβληθεί, αλλά είναι σημαντικό να ελέγχεται η επίδραση των μυκητοκτόνων στους μεταξοσκώληκες και να μην δίνονται τα ψεκασμένα φύλλα άμεσα προς διατροφή των προνυμφών. Οι ποικιλίες της *Morus australis* θεωρούνται γενικά ευαίσθητες σε προσβολές από αυτόν τον μύκητα. Τα Κολεόπτερα της Οικογένειας Coccinellidae (οι κοινές πασχαλίτσες) αποτελούν τους φυσικούς θηρευτές αυτού του μύκητα.

Εικόνα 2.22 *Προσβολή φύλλου μουριάς από τον μύκητα Phyllactinia guttata το φθινόπωρο (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.6.3.3 Προσβολή από τον μύκητα *Diaporthe nomurai* (Ομοταξία: Sordariomycetes)

Η ασθένεια αυτή εμφανίζεται σε ψυχρές περιοχές με έντονη χιονόπτωση και το παθογόνο προσβάλλει τον κορμό του δέντρου δημιουργώντας κιτρινωπές ελαιώδεις κηλίδες που κατόπιν εμφανίζουν μάζες από κόκκινα-καφέ ή γκρίζα-καφέ κονίδια. Η προσβολή είναι σημαντική μόνο σε περιοχές με υψηλή χιονόπτωση και όταν τα δέντρα διαμορφώνονται σε χαμηλό ύψος κορμού. Στην περίπτωση εμφάνισης αυτής της προσβολής δεν πραγματοποιούμε συγκομιδή φύλλων από τα δέντρα την άνοιξη. Η καταπολέμηση της προσβολής γίνεται με μυκητοκτόνα το φθινόπωρο.

2.6.3.4 Προσβολή από τον μύκητα *Gibberella baccata* (Ομοταξία: Sordariomycetes)

Η προσβολή αυτή εμφανίζεται από το φθινόπωρο έως και τον χειμώνα σε σημεία των βλαστών της μουριάς που έχουν υποστεί πληγές ή νεκρώσεις από έντομα ή φυσικές καταστροφές, αλλά όχι από τη συγκομιδή των βλαστών. Ο μύκητας δημιουργεί χαρακτηριστικούς ομόκεντρους κύκλους κόκκινου-καφέ χρώματος στα σημεία των πληγών. Το κατάλληλο κλάδεμα του δέντρου στα τέλη του χειμώνα μπορεί να οδηγήσει στην απομάκρυνση του παθογόνου μύκητα.

2.6.3.5 Προσβολή από τον μύκητα *Cercospora moricola* (Ομοταξία: Dothideomycetes)

Ο συγκεκριμένος μύκητας προσβάλλει τα φύλλα της μουριάς δημιουργώντας μαύρα έως σκούρα καφέ σημάδια και όταν η προσβολή είναι σημαντική τα φύλλα ξηραίνονται και είναι ακατάλληλα για διατροφή του μεταξοσκώληκα. Ο μύκητας εμφανίζεται σε περιοχές με υγρό κλίμα και βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η ασθένεια αυτή είναι γνωστή ως *κερκοσπορίωση της μουριάς*. Το παθογόνο ανήκει σε μια Οικογένεια μυκήτων που προσβάλλει πολλά και διαφορετικά φυτά.

2.6.3.6 Προσβολή της ρίζας από τον βιολετί μύκητα *Helicobasidium longisporum* (Ομοταξία: Pucciniomycetes)

Ο συγκεκριμένος μύκητας προσβάλλει την περιοχή μεταξύ του κορμού και της ρίζας δημιουργώντας ένα στρώμα μωβ-καφέ ή σκούρο βιολετί ή προσβάλλει τη ρίζα του δέντρου χρωματίζοντάς την σε σκούρο καφέ χρώμα. Η προσβολή μπορεί να είναι οξεία, οπότε το δέντρο νεκρώνεται άμεσα ή η προσβολή γίνεται χρόνια. Η προσβολή εμφανίζεται σε υγρά εδάφη και ο μύκητας αυτός μπορεί να παραμείνει στο έδαφος για μεγάλα διαστήματα, αλλά η παθογόνος δύναμή του εξασθενεί καθώς γίνεται καλλιέργεια του εδάφους. Η παθογόνος δύναμη αυτού του μύκητα είναι ισχυρότερη σε όξινα εδάφη.

2.6.3.7 Προσβολή της ρίζας από τον λευκό μύκητα *Rosellinia necatrix* (Ομοταξία: Sordariomycetes)

Αυτός ο μύκητας δημιουργεί μια γκρίζα-λευκή στρώση στη βάση του δέντρου, ενώ η παθογόνος του δύναμη είναι μεγαλύτερη από αυτήν του μύκητα *Helicobasidium longisporum*. Η παροχή οργανικής λίπανσης χειροτερεύει την προσβολή και η πλήρης νέκρωση των δέντρων σε 3-4 έτη μπορεί να φτάσει σε μια έκταση 10πλάσια από την αρχική. Η μέθοδος αντιμετώπισης του μύκητα είναι η απομάκρυνση των νεκρών και προσβεβλημένων δέντρων και ολόκληρων των ριζών τους από τον μορεώνα. Μια επίσης αποτελεσματική μέθοδος είναι το πλημμύρισμα του μορεώνα με νερό, όταν αυτό είναι εφικτό. Τέλος, πολύ σημαντικό είναι να μην μεταφέρουμε σε έναν μορεώνα τον παθογόνο μύκητα με μοσχεύματα, τα οποία είναι μολυσμένα με αυτόν τον μύκητα, οπότε είναι σημαντικό να γίνεται συστηματικός έλεγχος στα μοσχεύματα που πρόκειται να φυτευτούν σε έναν μορεώνα για την παρουσία αυτού του μύκητα στις ρίζες τους.

2.6.4 Παράσιτα της μουριάς

Υπάρχουν διάφορα έντομα που παρασιτούν στη μουριά και προκαλούν προσβολές στα φύλλα, στους νεαρούς βλαστούς, στον κορμό ή και στις ρίζες. Τα έντομα αυτά είναι πάρα πολλά σε αριθμό, αλλά κανένα από αυτά δεν είναι εχθρός αποκλειστικά της μουριάς, καθώς όλα τα παρασιτικά έντομα που θα βρεθούν να προκαλούν ζημιά στη μουριά, μπορούν να προκαλέσουν την ίδια ζημιά και σε άλλα δέντρα.

Οι περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές εστιάζονται στα πιο σημαντικά από αυτά τα παράσιτα, αλλά οι επιστημονικές ονομασίες που δίνονται και αναφέρονται παρακάτω είναι ασαφείς και συχνά βρίσκονται υπό καθεστώς αναθεώρησης. Καμιά βιβλιογραφική αναφορά δεν συμπεριλαμβάνει όλα τα παράσιτα της μουριάς, αλλά περιορίζονται σε τοπικές αναφορές (Ayuzawa, 1972; Jaiswal et al., 2009; Minamizawa, 1997; Zhang, 1985; Zheng et al., 2004). Από την άλλη πλευρά, δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές για την παρουσία παρασιτικών εντόμων στη μουριά στην Ελλάδα, με μια εξαίρεση που θα αναφερθεί παρακάτω και η εμπειρική γνώση των σηροτρόφων σχετικά με τις προσβολές των μορεώνων στην Ελλάδα από παρασιτικά έντομα είναι ανύπαρκτη. Γενικότερα στη χώρα μας, με εξαίρεση το Κολεόπτερο *Xylotrechus chinensis*, το οποίο θα αναφερθεί παρακάτω, οι προσβολές από παρασιτικά έντομα δεν προκαλούν ιδιαίτερα σημαντικές ζημιές στους μορεώνες.

Το πρόβλημα, όμως, με αυτά τα παράσιτα είναι ότι, καθώς τα περισσότερα είναι έντομα, η χρήση εντομοκτόνων είναι απαγορευτική εάν τα φύλλα χρησιμοποιηθούν για τη διατροφή των μεταξοσκωλήκων. Ως αποτέλεσμα, οι χειρισμοί μας πρέπει να είναι προληπτικοί παρά εξολοθρευτικοί προς το αίτιο της προσβολής.

2.6.4.1 Προσβολή από το Κολεόπτερο *Moreoaris deplanata*

Το έντομο αναφέρεται και ως *Baris deplanata* (Ayuzawa, 1972) ή *Acythopeus patruelis* (Prena et al., 2014), αλλά δεν υπάρχει καταχώρισή του ούτε στην ιστοσελίδα του ITIS (https://www.itis.gov/), αλλά ούτε και στην ιστοσελίδα NCBI Taxonomy (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/taxonomy). Αυτό το έντομο προσβάλλει τους οφθαλμούς και τους νεαρούς βλαστούς την άνοιξη ως ενήλικο άτομο έχοντας διαχειμάσει στο έδαφος. Η προσβολή γίνεται σημαντική όταν παραμένουν προσβεβλημένοι νεαροί βλαστοί στη μουριά μετά τη συγκομιδή κατά την ανοιξιάτικη ή καλοκαιρινή εκτροφή και αυτοί οι βλαστοί πρέπει να αφαιρούνται. Το παράσιτο αυτό έχει έναν ή πιο σπάνια δύο κύκλους ζωής ανά έτος. Είναι ενδημικό της Ιαπωνίας, της Ν. Κορέας και της Κίνας.

2.6.4.2 Προσβολή από το Δίπτερο *Diplosis (Contarinia) mori*

Το όνομα αυτού του εντόμου είναι ασαφές, καθώς μάλλον αποτελεί είδος του Γένους Contarinia των Διπτέρων. Το Γένος Diplosis δεν υπάρχει, αλλά το Γένος Contarinia υπάρχει ως καταχώριση στην ιστοσελίδα του ITIS (https://www.itis.gov/), ενώ αναφέρεται μόνο σε βιβλιογραφικές αναφορές από την Ιαπωνία (Kikuchi, 1976). Αυτό το έντομο προσβάλλει τους νέους οφθαλμούς το καλοκαίρι στο στάδιο της προνύμφης, καθώς αυτή τρέφεται με τους οφθαλμούς της μουριάς προκαλώντας μείωση της παραγωγής φύλλων λόγω δημιουργίας νέων οφθαλμών από τη μουριά, με συνέπεια την επακόλουθη μικρή παραγωγικότητα σε φύλλα. Το παράσιτο έχει πολλούς κύκλους ζωής ανά έτος και διαχειμάζει στο έδαφος του μορεώνα. Το παράσιτο αυτό προκαλεί σημαντική ζημιά όταν ο καιρός είναι υγρός και ζεστός. Επειδή διαχειμάζει στο έδαφος, το παράσιτο αυτό καταπολεμείται εύκολα με όργωμα του χωραφιού που σκεπάζει τις διαχειμάζουσες προνύμφες του.

2.6.4.3 Προσβολή από το Λεπιδόπτερο *Hyphantria cunea*

Οι προνύμφες αυτού του Λεπιδόπτερου στα νεαρά προνυμφικά στάδια δημιουργούν έναν ιστό και ζουν μέσα σε αυτόν ως κοινωνικά έντομα τρεφόμενα με τα φύλλα της μουριάς. Στα μεγάλα στάδια της προνύμφης, η κάθε προνύμφη ζει μονήρης και τρέφεται με τα φύλλα της μουριάς. Αυτό το Λεπιδόπτερο δεν τρέφεται μόνο με μουριά, αλλά με πολλά άλλα είδη φυτών.

Έχει δύο κύκλους ζωής ανά έτος και χαρακτηριστικό της προσβολής είναι η αναδίπλωση των φύλλων από τις νεαρές προνύμφες και η δημιουργία του προστατευτικού ιστού μέσα στο αναδιπλωμένο φύλλο.

2.6.4.4 Προσβολή από το Λεπιδόπτερο *Diaphania pyloalis*

Η προνύμφη αυτού του Λεπιδόπτερου προκαλεί σημαντική καταστροφή, καθώς τρέφεται με τα φύλλα της μουριάς και μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη ζημιά στην παραγωγή φύλλων. Έχει 4 κύκλους ζωής ανά έτος. Το έντομο αυτό, παρά τη σημαντική καταστροφή που προκαλεί στις χώρες της Ασίας, δεν έχει καταγραφεί στη χώρα μας (Kikuchi, 1976; Oftadeh et al., 2014).

2.6.4.5 Προσβολή από Ημίπτερα

Το κοκκοειδές Ημίπτερο *Pseudaulacaspis prunastri* είναι γνωστό ως *βαμβακάδα της μουριάς* και προσβάλλει κυρίως τα φύλλα και τους βλαστούς της μουριάς, τα οποία απομυζεί και μειώνει έτσι τη θρεπτική τους αξία. Η βαμβακάδα της μουριάς προσβάλλει επίσης και τη ροδακινιά και για τον λόγο αυτόν είναι συχνή η εμφάνισή της σε περιοχές με γειτνίαση των μορεώνων με οπωρώνες ροδακινιάς.

Ένα άλλο Ημίπτερο, το Pealius mori (Wang et al., 2016), γνωστό ως *αλευρώδης της μουριάς*, έχει πρόσφατα εντοπιστεί να προσβάλει τη μουριά στην Ελλάδα. Η προσβολή των φύλλων της μουριάς είναι ποιοτικού χαρακτήρα, καθώς το έντομο απομυζεί τους ιστούς και τα φύλλα της μουριάς και αφαιρεί θρεπτικά συστατικά.

2.6.4.6 Προσβολή από τα ξυλοφάγα Κολεόπτερα

Τα ξυλοφάγα Κολεόπτερα *Apriona rugicollis* (Yoon et al., 1997), *Xylotrechus chinensis* (Sarto et al., 2021) και *Psacothea hilaris* (Lupi et al., 2013) καταναλώνουν τον κορμό της μουριάς.

Η προσβολή της μουριάς από αυτά τα έντομα γίνεται μέσω οπών στον κορμό που δημιουργούνται από αυτά τα Κολεόπτερα και στις οποίες ζει η προνύμφη, η οποία τρέφεται με τον ξυλώδη ιστό του κορμού. Αυτή η διατροφική συμπεριφορά της προνύμφης οδηγεί σε ταχύτατη ξήρανση του δέντρου. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της προσβολής είναι η παρουσία μικροσκοπικών οπών στον κορμό του δέντρου. Όσο μεγαλύτερος σε ύψος είναι ο κορμός, τόσο πιο εκτεταμένη είναι η προσβολή, ενώ γενικότερα τα έντομα αυτά προσβάλλουν τα είδη της μουριάς που έχουν αδρό φλοιό και όχι λείο φλοιό του κορμού.

Για την αποφυγή της προσβολής, συνιστάται η χαμηλή διαμόρφωση του δέντρου της μουριάς με τον κορμό να έχει χαμηλό ύψος. Η προσβολή του δέντρου από αυτά τα έντομα οδηγεί αναπόφευκτα σε νέκρωση του δέντρου. Ένας τρόπος αντιμετώπισης της προσβολής είναι η άμεση κοπή του δέντρου, η απομάκρυνση και το κάψιμό του. Ο ψεκασμός των δέντρων με Dichlorvos (DDVP) θεωρείται αποτελεσματικός, αλλά αυτό το εντομοκτόνο έχει απαγορευτεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Εδώ και μερικά χρόνια η προσβολή από το είδος Xylotrechus chinensis και η ξήρανση των μουριών στη χώρα μας έχουν λάβει ανησυχητικές διαστάσεις (Εικόνα 2.23).

Εικόνα 2.23 *Δέντρο μουριάς στην Καισαριανή, Αθήνα, που έχει προσβληθεί από το Κολεόπτερο, Xylotrechus chinensis, και έχει ξεραθεί όλο το πάνω μέρος του. Παρατηρήστε τις χαρακτηριστικές μικρές τρύπες στον κορμό ως αποτέλεσμα της προσβολής από το συγκεκριμένο Κολεόπτερο. Εκατοντάδες δέντρα στην ίδια περιοχή έχουν ξεραθεί πλήρως (Αύγουστος 2022) (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Αυτό το εισβλητικό είδος (Sarto et al., 2021) είναι χαρακτηριστικό ότι προτιμά να εναποθέτει τα αυγά του σε μουριές που έχουν μεγάλο ύψος κορμού, σημαντική διάμετρο κορμού και αδρό φλοιό του κορμού τους. Μουριές με λείο φλοιό του κορμού τους και σχετικά μικρή διάμετρο κορμού φαίνονται να μην προσβάλλονται από αυτό το είδος (Εικόνα 2.23). Το πρόβλημα εντοπίζεται στο γεγονός ότι, κατά παράδοση, τα δέντρα της μουριάς στην Ελλάδα διαμορφώνονται με πολύ υψηλό κορμό, ενώ δεν γίνεται επιλογή ποικιλιών με λείο φλοιό του κορμού. Η κάλυψη του κορμού των δέντρων με προστατευτικό κάλυμμα, ιδιαίτερα για τις καλλωπιστικές μουριές που προσφέρουν σκίαση, ουσιαστικά εμποδίζει την αναπαραγωγή του εντόμου. Οι προσβεβλημένες μουριές από αυτό το εισβλητικό είδος νεκρώνονται και πρέπει να απομακρύνονται.

2.6.4.7 Προσβολή από παρασιτικά Ακάρεα

Τα ακάρεα των ειδών *Tetranychus kanzawai*, *Panonychus citri* και *Eotetranychus suginamensis* έχουν αναφερθεί να προσβάλουν τη μουριά απομυζώντας τα φύλλα, τα οποία μετατρέπονται σε γκρι-λευκά και μαραίνονται (Ayuzawa, 1972). Η προσβολή είναι σημαντική τους καλοκαιρινούς μήνες σε ξηρές περιοχές, ενώ η βροχή βοηθά στην απομάκρυνση των παρασίτων από τα φύλλα. Η ζημιά προκαλείται από τις προνύμφες, αλλά και τα ώριμα άτομα και τα είδη αυτά έχουν πολλούς κύκλους ζωής ανά έτος.

Ένα άλλο είδος Άκαρι, το *Pseudaulacaspis pentagona* παρασιτεί στη μουριά απομυζώντας τον βλαστό και τον κορμό και οδηγώντας, έτσι, σε νέκρωση το δέντρο. Το είδος αυτό, ωστόσο, δεν προσβάλλει μόνο τη μουριά, αλλά και πολλά άλλα είδη δέντρων. Η προσβολή προκαλείται από τις προνύμφες και τα θηλυκά ενήλικα άτομα που αφήνουν τα αυγά τους πάνω στον κορμό. Αυτό το είδος εμφανίζει 2-4 κύκλους ζωής ανά έτος και η προσβολή από αυτό είναι σημαντική σε υγρά κλίματα, με χαμηλή ηλιοφάνεια, πυκνή φύτευση των δέντρων και υψηλή διαμόρφωση του κορμού της μουριάς (Ayuzawa, 1972; Kikuchi, 1976).

2.6.4.8 Προσβολή από παρασιτικά Νηματώδη

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν αρκετά Νηματώδη που προσβάλλουν ευκαιριακά τη μουριά (Zhang et al., 2020), το είδος Meloidogyne arenaria προκαλεί τη μεγαλύτερη ζημιά (Ayuzawa, 1972).

Το συγκεκριμένο είδος προσβάλλει το ριζικό σύστημα και δημιουργεί όζους που φέρουν συχνά μαύρες κηλίδες. Η ρίζα δεν μπορεί να απορροφήσει θρεπτικά συστατικά και έτσι το δέντρο νεκρώνεται σταδιακά. Αυτός ο νηματώδης έχει 3-4 κύκλους ζωής ανά έτος και προσβάλλει τη μουριά στο 2ο προνυμφικό στάδιο. Η προσβολή ευνοείται σε αμμώδη εδάφη.

2.6.5 Ζημιές στον μορεώνα λόγω ακραίων κλιματικών φαινομένων

Υπάρχουν διάφορα κλιματικά φαινόμενα τα οποία μπορούν να προκαλέσουν απότομες ζημίες ή και ολική καταστροφή σε έναν μορεώνα. Ως εκ τούτου θα πρέπει, πριν αποφασίσουμε για τη θέση εγκατάστασης ενός μορεώνα, να γνωρίζουμε το είδος των ακραίων κλιματικών φαινομένων που επικρατούν ή πιθανόν να συμβούν σε έναν μορεώνα και να παίρνουμε μέτρα προστασίας. Στην Ελλάδα, τα σημαντικότερα ακραία κλιματικά φαινόμενα που μπορεί να επικρατήσουν είναι ο ανοιξιάτικος παγετός και η παρατεταμένη ξηρασία σε αντίθεση με άλλες χώρες που έχουν να αντιμετωπίσουν μουσώνες ή πλημμύρες.

Για τους ανοιξιάτικους παγετούς η πλέον ευαίσθητη περίοδος στην ανάπτυξη της μουριάς είναι από το στάδιο φουσκώματος των οφθαλμών μέχρι την εμφάνιση 4-5 φύλλων στους νεαρούς βλαστούς. Για την πρόληψη της ζημιάς από τον ανοιξιάτικο παγετό, μια μέθοδος είναι η καύση πετρελαίου σε δοχεία μέσα στον μορεώνα, ενώ μια άλλη μέθοδος βασίζεται στην άρδευση του μορεώνα με ψεκαστήρες (3 ψεκαστήρες ανά στρέμμα) και παροχή 3-5 τόνων νερού ανά στρέμμα ανά ώρα κατά τη διάρκεια της νύχτας και μέχρι την ανατολή του ηλίου και όταν η θερμοκρασία εδάφους έχει φτάσει στους 0 ^{o}C. Στη δεύτερη μέθοδο, η παροχή νερού δεν πρέπει να είναι λιγότερη από αυτή που αναφέρεται, αλλά ούτε και να σταματήσει εντελώς η παροχή νερού, γιατί τότε η ζημία γίνεται μεγαλύτερη λόγω της δημιουργίας πάγου.

Εάν δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε τις παραπάνω μεθόδους και έχουμε προσβολή από ανοιξιάτικο παγετό, τότε περιμένουμε μια εβδομάδα πριν αξιολογήσουμε την έκταση της ζημιάς από τον παγετό στον μορεώνα. Για την εκτίμηση της ζημίας και του ποσοστού μείωσης της ποσότητας φύλλων για την ανοιξιάτικη εκτροφή, μετράμε το ποσοστό των κατεστραμμένων οφθαλμών πάνω στον μεγαλύτερο βλαστό του έτους σε διάφορα δέντρα του μορεώνα. Εάν το ποσοστό αυτό είναι 20%, τότε δεν θα περιμένουμε μείωση της απόδοσης σε φύλλα. Εάν το ποσοστό είναι 50%, τότε θα περιμένουμε μια μείωση της απόδοσης σε φύλλα της τάξης του 30-40%. Εάν η καταστροφή των οφθαλμών είναι εκτεταμένη λόγω του παγετού και υπάρχει νέκρωση και των βλαστών του έτους, τότε είτε κόβουμε όλους τους βλαστούς του έτους στη βάση τους διατηρώντας τη μορφή κυπέλλου του κορμού είτε, εάν πολλοί βλαστοί του έτους δεν έχουν νεκρωθεί, κόβουμε τους βλαστούς 30-40 εκατοστά από τη βάση τους. Και στις δύο περιπτώσεις, δεν κάνουμε ανοιξιάτικη εκτροφή και προχωρούμε στην καλοκαιρινή εκτροφή.

Εάν η ζημιά από τον παγετό είναι περιορισμένη και αποφασίσουμε να κάνουμε την ανοιξιάτικη εκτροφή, τότε χρησιμοποιούμε 20 κιλά αζωτούχο λίπασμα ταχείας δράσης ανά στρέμμα μορεώνα και το ψεκάζουμε σε υγρή μορφή μια εβδομάδα μετά τον παγετό. Εναλλακτικά, μπορούμε να ψεκάσουμε διάλυμα 5% ουρίας (100 λίτρα ανά στρέμμα) 2-3 φορές σε διαστήματα 2-3 ημερών από την περίοδο μεταξύ της εμφάνισης του 3ου έως του 5ου φύλλου ανά νεαρό βλαστό. Ο ψεκασμός με ουρία πρέπει να γίνεται πάνω στα φύλλα το πρωί ή αργά το απόγευμα.

Εάν η ζημιά από τον παγετό εμφανίζεται μόνο στην άκρη των νεαρών βλαστών, τότε μπορούμε να κόψουμε το άνω 1/5 του βλαστού για να ενεργοποιήσουμε τη βλάστηση από νέους οφθαλμούς. Συνιστάται επίσης η αύξηση της χρήσης λιπάσματος κατά 20% για να τονώσουμε την ευρωστία των δέντρων.

Στην Ελλάδα περισσότερο πρόβλημα από ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες έχουμε με την παρατεταμένη ξηρασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Παρότι η μουριά είναι πολύ ανθεκτική στην περίσσεια του νερού και δεν εμφανίζει πρόβλημα στην ανάπτυξή της λόγω πλημμυρών, η ξηρασία εξασθενεί τα δέντρα και μειώνει την ποιότητα των φύλλων. Παράλληλα, η ξηρασία γίνεται παράγοντας αύξησης των προσβολών από διάφορα παμφάγα έντομα που τυχαία προσβάλλουν τη μουριά υπό συνθήκες ξηρασίας. Στην περίπτωση εκτεταμένης ξηρασίας καλό είναι να σκεπάζουμε την επιφάνεια μεταξύ των σειρών των δέντρων με οργανική ύλη και κοπριά για να αποφεύγεται όσο το δυνατόν η εξάτμιση του νερού από το έδαφος. Συνιστάται η κάλυψη του εδάφους με 1500 κιλά οργανικής ύλης ανά στρέμμα. Επίσης, το συχνό πότισμα με ψεκαστικά μηχανήματα βοηθά σημαντικά στη διατήρηση της ποιότητας των φύλλων.

2.7 Ποικιλίες της μουριάς για χρήση στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα

Στη διεθνή βιβλιογραφία (Govaerts et al., 2021), σε σχετικές ιστοσελίδες (https://powo.science.kew.org/, https://wfo-about.rbge.info/ και https://www.ipni.org/), αλλά και σε πιο εξειδικευμένες βιβλιογραφικές αναφορές (Machii et al., 1999) υπάρχει μια εκτεταμένη αναντιστοιχία σχετικά με την ονοματολογία των ειδών της μουριάς, αλλά και την προέλευση (δηλαδή από ποιο είδος προέρχονται) των διαφόρων ποικιλιών της μουριάς που υπάρχουν στις διάφορες χώρες.

Έτσι, για παράδειγμα, ενώ αναφέρεται σαν είδος το *Morus bombycis* από πολλούς Ιάπωνες ερευνητές (Machii et al., 1999), αυτό το είδος αποτελεί, ουσιαστικά, άλλο όνομα του είδους *Morus indica*, ενώ στη φυλογενετική ανάλυση των ειδών (Nepal & Ferguson, 2012) χρησιμοποιείται το όνομα *Morus australis* αντί του ονόματος *Morus indica* που είναι πλέον αποδεκτό (Govaerts et al., 2021). Στην ιστοσελίδα The World Checklist of Vascular Plants (WCVP) (Govaerts et al., 2021) αναγνωρίζονται 17 είδη του Γένους Morus και αυτό δημιουργεί σοβαρές αναντιστοιχίες σχετικά με παλιότερες βιβλιογραφικές αναφορές, όπου σε πολλές ποικιλίες δίνονται ταξινομήσεις σε είδη μουριάς τα ονόματα των οποίων δεν υπάρχουν πλέον. Σε ένα άλλο παράδειγμα, το είδος *Morus latifonia* θεωρείται πλέον ως συνώνυμο με το είδος *Morus indica* (Govaerts et al., 2021) ή το *Morus australis* (Nepal & Ferguson, 2012), ενώ κάποιες δημοφιλείς ποικιλίες μουριάς αναφέρονταν παλιότερα ότι ανήκουν στο είδος *Morus latifonia* (Machii et al., 1999), το οποίο πλέον δεν είναι αποδεκτό ως όνομα.

Υπό το πρίσμα αυτό, και δεδομένου ότι υπάρχει τεράστια ετερογένεια ως προς την εξωτερική εμφάνιση των δέντρων της μουριάς που προκαλείται: 1) κυρίως λόγω της πολυπλοειδίας και του υβριδισμού μεταξύ των δέντρων (Nepal & Ferguson, 2012), αλλά και 2) λόγω της μακροχρόνιας προσαρμογής σε τοπικές συνθήκες, είναι δύσκολο αλλά και εξαιρετικά επισφαλές να προσδιοριστεί επακριβώς ο τόπος και ο τρόπος δημιουργίας μιας παραγωγικής ποικιλίας μουριάς. Ένα άλλο πρόβλημα είναι το εάν μια δεδομένη ποικιλία μουριάς έχει ή όχι την ίδια καταγωγή αλλά διαφορετικό όνομα σε μια άλλη χώρα. Με δεδομένο ότι είναι σχεδόν ακατόρθωτο να βρεθεί η καταγωγή μιας συγκεκριμένης ποικιλίας μουριάς που βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία στην Ελλάδα, θα γίνει παρουσίαση μερικών δημοφιλών ποικιλιών μουριάς, έχοντας ως δεδομένο το επισφαλές των χαρακτηριστικών της κάθε ποικιλίας που θα παρουσιαστεί. Στην Ελλάδα, με εξαίρεση λίγες περιπτώσεις, δεν είναι γνωστό ή έχει χαθεί η αναφορά στην ποικιλία μουριάς που μπορεί να βρίσκεται σε μια τοποθεσία, ενώ η εισαγωγή ή και ο πολλαπλασιασμός των υπαρχόντων δέντρων δεν λαμβάνει υπόψη την ποικιλία της μουριάς.

Τις διάφορες ποικιλίες της μουριάς τις διακρίνουμε με βάση πολλά και διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως την ευρωστία του δέντρου, τη μορφή και το χρώμα του κορμού, τον αριθμό των βλαστών που προκύπτουν κάθε χρόνο, τον αριθμό των μικρότερων βλαστών που προκύπτουν από τους βλαστούς του έτους, το μήκος που φτάνουν οι βλαστοί του έτους, την κλίση που παίρνουν αυτοί οι βλαστοί, το διάστημα μεταξύ των φύλλων στον βλαστό του έτους, το σχήμα, το χρώμα και το μέγεθος των οφθαλμών, τον τρόπο εμφάνισης των φύλλων πάνω στον βλαστό, το μήκος, πλάτος και πάχος των φύλλων, το σχήμα του φύλλου, το σχήμα της άκρης και της βάσης του φύλλου, την υφή του φύλλου και τη μορφή της περιμέτρου του φύλλου, καθώς και το σχήμα, χρώμα και μορφή του μούρου. Πολύ σημαντικός παράγοντας διαχωρισμού των ποικιλιών είναι το σχήμα των βλαστών και ο τρόπος που αναπτύσσονται, καθώς με αυτόν τον χαρακτήρα μπορούμε να διακρίνουμε εάν οι ποικιλίες έχουν όρθιους ή πλευρικά αναπτυσσόμενους ή κεκλιμένους βλαστούς. Σε μορεώνες προτιμάται να φυτεύονται δέντρα με όρθιους βλαστούς, γιατί αυτό επιτρέπει την εύκολη διαχείριση των δέντρων κατά τη συλλογή των βλαστών. Ένας άλλος χαρακτήρας διάκρισης των ποικιλιών της μουριάς είναι το φύλο του δέντρου, δηλαδή εάν είναι δίοικο, μόνοικο δίκλινο ή ερμαφρόδιτο. Σε μορεώνες προτιμάται να φυτεύονται αρσενικά δέντρα ή θηλυκά δέντρα που φέρουν μικρό αριθμό μούρων για να αποφεύγεται το λέρωμα των εργατών από τα μούρα την περίοδο της συγκομιδής των φύλλων τον Μάιο.

Χρησιμοποιώντας όλους αυτούς τους χαρακτήρες αλλά και ακόμη περισσότερους και πιο λεπτομερείς χαρακτήρες, έχει φτιαχτεί ένας κατάλογος, όπου μπορεί κανείς να συμπληρώσει τους χαρακτήρες που παρατηρεί σε ένα δέντρο μουριάς και να βρει εάν αυτό ανήκει σε μια από τις αναφερόμενες ποικιλίες σε αυτόν τον κατάλογο (https://www.upov.int/meetings/en/doc_details.jsp?meeting_id=55671&doc_id=501796). Τέτοιες προσπάθειες χαρτογράφησης των ποικιλιών της μουριάς βοηθούν στην καταγραφή των διαφόρων ποικιλιών που υπάρχουν σε μια τοποθεσία ή σε μια χώρα και αποτελούν σημαντική συμβολή στην προσπάθεια καταγραφής της τεράστιας ποικιλομορφίας που εμφανίζουν οι ποικιλίες μουριάς. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικές ποικιλίες μουριάς που είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς ή αρκετά παραγωγικές για τη διατροφή του μεταξοσκώληκα. Δεδομένου ότι υπάρχουν εκατοντάδες ποικιλίες μουριάς (Koyama et al., 2001; Machii & Katagiri, 1991; Machii et al., 1999) και υπάρχει ενδιαφέρον για την παραγωγή και πώληση των μούρων ως

εδώδιμο φρούτο, είναι αδύνατον να γίνει μια πλήρης αναφορά σε όλες τις ποικιλίες και έτσι παρακάτω αναφέρονται οι πλέον δημοφιλείς ή εύκολα εμπορεύσιμες στη χώρα μας.

2.7.1 Ποικιλία Kokuso 20

Ποκιλία μόνοικη δίκλινη (Εικόνα 2.24) που παράγει μούρα μεσαίου μεγέθους και εμφανίζει πρώτα τα θηλυκά άνθη. Ανήκει στο είδος *Morus latifonia*, δηλαδή στο *Morus indica* (Govaerts et al., 2021) ή το *Morus australis* (Nepal & Ferguson, 2012). Φύλλα μεγάλα και γυαλιστερά χωρίς λοβούς. Βλαστοί πράσινοι-γκριζωποί ή λευκωποί-γκριζωποί. Δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία το 1949 (Machii et al., 2000). Υψηλής παραγωγικότητας σε φύλλα, αλλά ευαίσθητη στην προσβολή από φυτόπλασμα. Αυτή η ποικιλία μουριάς είναι ευρύτατα διαδεδομένη στην Ευρώπη και υπάρχει σε πολλές περιοχές της Ελλάδας.

Εικόνα 2.24 *Δέντρο της ποικιλίας Kokuso 20 σε μορεώνα στο Σουφλί (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.7.2 Ποικιλία Kokuso 21

Ποικιλία μόνοικη δίκλινη (Εικόνα 2.25) που εμφανίζει πρώτα τα αρσενικά άνθη. Ανήκει στο είδος *Morus latifonia*, δηλαδή στο *Morus indica* (Govaerts et al., 2021) ή το *Morus australis* (Nepal & Ferguson, 2012). Φύλλα μεγάλα και γυαλιστερά χωρίς λοβούς. Βλαστοί πράσινοι-γκριζωποί ή λευκωποί-γκριζωποί. Δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία το 1949 (Machii et al., 2000). Υψηλής παραγωγικότητας σε φύλλα αλλά ευαίσθητη στην προσβολή από φυτόπλασμα. Είναι ποικιλία ανθεκτική στην ξηρασία (Aruga, 1994).

Η συγκεκριμένη ποικιλία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην Ελλάδα για χρήση στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων. Αναφέρεται ως μέγιστη απόδοση η διατροφή ενός κουτιού αυγών από 0,42 στρέμματα μορεώνα αυτής της ποικιλίας (330 δέντρα ανά στρέμμα) (πηγή: https://www.balkep.org/mulberry-cultivars.html).

Εικόνα 2.25 *Μορεώνας της ποικιλίας Kokuso 21 στην Πάδοβα της Ιταλίας. Παρατηρήστε τη χαμηλή διαμόρφωση των δέντρων στην κάθε σειρά (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.7.3 Ποικιλία Kokuso 70

Ποικιλία μόνοικη δίκλινη. Ανήκει στο είδος *Morus latifonia*, δηλαδή στο *Morus indica* (Govaerts et al., 2021) ή το *Morus australis* (Nepal & Ferguson, 2012). Φύλλα μεγάλα και γυαλιστερά χωρίς λοβούς. Βλαστοί πράσινοι-γκριζωποί ή λευκωποί-γκριζωποί. Φέρει αρκετά μούρα στην καρποφορία. Δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία το 1922 (Machii et al., 2000). Υψηλής παραγωγικότητας σε φύλλα, αλλά ευαίσθητη στην προσβολή από φυτόπλασμα. Η συγκεκριμένη ποικιλία δεν είναι δημοφιλής στην Ελλάδα για χρήση στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων.

2.7.4 Ποικιλία Kokuso 27

Ποικιλία μόνοικη δίκλινη με ταυτόχρονη εμφάνιση για τα αρσενικά και τα θηλυκά άνθη. Ανήκει στο είδος *Morus alba* (Machii et al., 1999). Φύλλα μεγάλα και με λοβούς. Βλαστοί λευκωποί-γκριζωποί ή γκριζωποί-καφέ. Φέρει σχετικά λίγα μούρα στην καρποφορία. Δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία το 1949 (Machii et al., 2000). Υψηλής παραγωγικότητας σε φύλλα, αλλά ευαίσθητη στην προσβολή από φυτόπλασμα.

Η συγκεκριμένη ποικιλία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην Ελλάδα για χρήση στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων. Αναφέρεται ως μέγιστη απόδοση η διατροφή ενός κουτιού αυγών από 0,39 στρέμματα μορεώνα αυτής της ποικιλίας (330 δέντρα ανά στρέμμα) (πηγή: https://www.balkep.org/mulberry-cultivars.html). Αυτή η ποικιλία, όπως και οι ποικιλίες Kokuso 20 και Kokuso 21 θεωρούνται όψιμες, αλλά έχουν σημαντική παραγωγή φύλλων το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

2.7.5 Ποικιλία Ichinose, Kairyou-Ichinose και Shin-Ichinose

Ποικιλία μόνοικη δίκλινη (Εικόνα 2.26) με τα θηλυκά άνθη να παράγουν μικρά μούρα. Η ποικιλία Kairyou-Ichinose (Kairyou σημαίνει βελτιωμένη στα Ιαπωνικά) είναι ένα βελτιωμένο στέλεχος της Ichinose, καθώς η μητρική ποικιλία φέρει σχετικά μεγάλο αριθμό μούρων στην καρποφορία (Machii et al., 1999). Η ποικιλία Ichinose είναι ανθεκτική στην ξηρασία (Aruga, 1994). Έχει επίσης δημιουργηθεί και η ποικιλία Shin (Νέα)-Ichinose με διαφορετικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 2.26) και η οποία είναι το Υβρίδιο της διασταύρωσης Ichinose x Kokuso 21 (Machii et al., 2000).

Ανήκει στο είδος *Morus alba* (Machii et al., 1999). Τα φύλλα της ποικιλίας Ichinose είναι μεσαίου μεγέθους με λοβούς. Βλαστοί λευκωποί-γκριζωποί ή γκριζωποί-καφέ. Η ποικιλία Ichinose δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία τη δεκαετία του ’60 και είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στη χώρα αυτή, καθώς έχει υψηλή παραγωγικότητα και υψηλή ποιότητα φύλλων. Η ποικιλία Ichinose δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην Ελλάδα για χρήση στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων.

Εικόνα 2.26 *Φύλλα (αριστερή εικόνα) και δέντρο της ποικιλίας Ichinose στην Πάδοβα της Ιταλίας. Στη δεξιά εικόνα απεικονίζεται δέντρο της ποικιλίας Shin-Ichinose (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα, η αριστερή εικόνα είναι δωρεά από τη Δρα Silvia Cappellozza, Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία).*

2.7.6 Ποικιλία Restelli

Είναι μια πολύ δημοφιλής ποικιλία στην Ιταλία (Εικόνα 2.27) και καταλαμβάνει το 30-40% των δέντρων που χρησιμοποιούνται για την ανοιξιάτική εκτροφή στην Ιταλία. Ανήκει στο είδος *Morus alba*. Είναι δίοικη ποικιλία με μεγάλα φύλλα χωρίς λοβούς και χρώμα μούρου ελαφρώς βιολετί. Ιδιαίτερα εύρωστη ποικιλία με πρώιμη ανάπτυξη και όρθιους βλαστούς. Τα φύλλα της γίνονται σκληρά το καλοκαίρι, αλλά τα άλλα χαρακτηριστικά της ποικιλίας την κάνουν ιδανική για συγκομιδή των φύλλων με μηχανήματα.

Εικόνα 2.27 *Δέντρο της ποικιλίας Restelli στην Πάδοβα της Ιταλίας (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

2.7.7 Ποικιλία Indiana

Ποικιλία μόνοικη δίκλινη (Εικόνα 2.28). Ανήκει στο είδος *Morus alba*. Τα δέντρα αυτής της ποικιλίας δεν είναι δημοφιλή για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων, όμως η ποικιλία αυτή έχει λείο και σχετικά στενό κορμό, ενώ τα φύλλα δεν προσβάλλονται σχεδόν καθόλου από το ωίδιο της μουριάς και διατηρούνται μαλακά μέχρι αργά τον Νοέμβριο. Οι βλαστοί του έτους είναι σχετικά επικλινείς. Τα μούρα είναι σκούρα μαύρα και τα φύλλα είναι επιμήκη λοβωτά και χαρακτηριστικά οξύληκτα. Παρά το γεγονός ότι η ποικιλία αυτή χρησιμοποιείται για σκίαση στην Ελλάδα, η εμπειρία του Συγγραφέα είναι ότι τα φύλλα αυτά είναι πολύ ποιοτικά και ιδιαίτερα θρεπτικά για τους μεταξοσκώληκες ακόμη και αργά το φθινόπωρο.

Εικόνα 2.28 *Σχήμα φύλλων και μορφή δέντρου της ποικιλίας Indiana που χρησιμοποιείται κυρίως ως δέντρο για σκίαση στην Ελλάδα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα, η αριστερή εικόνα είναι δωρεά από τη Δρα Silvia Cappellozza, Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία).*

2.7.8 Ποικιλία Προύσας ή Μπούρσας

Αυτή είναι ίσως η μοναδική ενδημική ποικιλία μουριάς στην Ελλάδα (Εικόνα 2.29), η οποία έχει αναγνωριστεί ως διακριτή ποικιλία. Είναι δίοικη ποικιλία. Φέρει μούρα λευκά και λίγα σε αριθμό κατά την καρποφορία. Εκ του ονόματος αναγνωρίζεται να έχει καταγωγή από την περιοχής της Προύσας, στην Τουρκία. Ανήκει στο είδος *Morus alba*. Φέρει φύλλα μεγάλα και χωρίς λοβούς. Βλαστοί λευκωποί-γκριζωποί ή γκριζωποί-καφέ. Η συγκεκριμένη ποικιλία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην περιοχή του Έβρου. Τα δέντρα παραδοσιακά διαμορφώνονται σε μεγάλο ύψος και έχουν υψηλή παραγωγικότητα λόγω του μεγάλου αριθμού βλαστών που παράγουν.

Εικόνα 2.29 *Φωτογραφίες από μορεώνες της ενδημικής ποικιλίας Προύσας ή Μπούρσας στην περιοχή του Σουφλίου. Στην αριστερή εικόνα φαίνονται σειρές δέντρων τον χειμώνα με διαμόρφωση του κορμού σε μορφή κυπέλλου και αραιή φύτευση στη σειρά. Στη μεσαία εικόνα φαίνονται δέντρα της ίδιας ποικιλίας σε πλήρη ανάπτυξη τον Ιούνιο. Το ύψος των δέντρων ξεπερνά τα 3 μέτρα. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται ένα δέντρο μεγάλης ηλικίας μετά τη συγκομιδή των φύλλων για την ανοιξιάτικη εκτροφή (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Aruga, H. (1994). *Principles of Sericulture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=qYZds1N0Q-YC

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., & Tokoro, Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Choi, S. H., Kim, Y. T., Lee, K. H., & Kim, C. U. (1990). The shoot and stem rot of mulberry caused by Erwinia rhapontici. *The Plant Pathology Journal*, *6*(1), 106-112.

Govaerts, R., Nic Lughadha, E., Black, N., Turner, R., & Paton, A. (2021). The World Checklist of Vascular Plants, a continuously updated resource for exploring global plant diversity. *Scientific data*, *8*(1), 215. https://doi.org/10.1038/s41597-021-00997-6

Hartmann, H., Kester, D., Davies, F., Geneve, R., & Wilson, S. (2017). *Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices (What's New in Trades & Technology)* Pearson.

He, N., Zhang, C., Qi, X., Zhao, S., Tao, Y., Yang, G., Lee, T.-H., Wang, X., Cai, Q., Li, D., Lu, M., Liao, S., Luo, G., He, R., Tan, X., Xu, Y., Li, T., Zhao, A., Jia, L., Fu, Q., Zeng, Q., Gao, C., Ma, B., Liang, J., Wang, X., Shang, J., Song, P., Wu, H., Fan, L., Wang, Q., Shuai, Q., Zhu, J., Wei, C., Zhu-Salzman, K., Jin, D., Wang, J., Liu, T., Yu, M., Tang, C., Wang, Z., Dai, F., Chen, J., Liu, Y., Zhao, S., Lin, T., Zhang, S., Wang, J., Wang, J., Yang, H., Yang, G., Wang, J., Paterson, A. H., Xia, Q., Ji, D., & Xiang, Z. (2013). Draft genome sequence of the mulberry tree Morus notabilis. *Nature communications*, *4*, 2445-2445. https://doi.org/10.1038/ncomms3445

Jaiswal, K., Trivedi, S. P., Pandey, B. N., & Khatri, R. K. (2009). *Moriculture*. APH Publishing Corporation. https://books.google.gr/books?id=BwPbPgAACAAJ

Ji, X., Gai, Y., Lu, B., Zheng, C., & Mu, Z. (2010). Shotgun proteomic analysis of mulberry dwarf phytoplasma. *Proteome Sci*, *8*, 20. https://doi.org/10.1186/1477-5956-8-20

Jiang, H., Saiki, T., Watanabe, K., Kawakita, H., & Sato, M. (2005). Possible vector insect of mulberry dwarf phytoplasma, Tautoneura mori Matsumura. *Journal of General Plant Pathology*, *71*(5), 370-372. https://doi.org/10.1007/s10327-005-0212-5

Kikuchi, M. (1976). Control of insect pests of mulberry in Japan. *Japan Pesticide Information*, *29*, 9-11. https://eurekamag.com/research/000/326/000326480.php

Koyama, A., Yamanouchi, H., & Machii, H. (2001). Screening of Mulberry Genotypes Suitable for Fruit Production and Development of High-Yielding Strains with Large Fruits. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, *35*(1), 59-66. https://doi.org/10.6090/jarq.35.59

Lupi, D., Jucker, C., & Colombo, M. (2013). Distribution and biology of the yellow-spotted longicorn beetle Psacothea hilaris hilaris (Pascoe) in Italy. *EPPO Bulletin*, *43*(2), 316-322. https://doi.org/10.1111/epp.12045

Machii, H., & Katagiri, K. (1991). Varietal Differences in Nutritive Values of Mulberry Leaves for Rearing Silkworms. *Jarq-japan Agricultural Research Quarterly*, *25*, 202-208.

Machii, H., Koyama, A., & Yamanouchi, H. (1999). Fruit traits of genetic mulberry resources. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *68*(2), 145-155. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.68.145

Machii, H., Koyama, A., & Yamanouchi, H. (2000). *Mulberry Breeding, Cultivation and Utilization in Japan* (FAO Electronic Conference on Mulberry for Animal Production (Morus1-L), Issue.

Minamizawa, K. (1997). *Moriculture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=AAnCBz05YIEC

Namba, S. (2019). Molecular and biological properties of phytoplasmas. *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci*, *95*(7), 401-418. https://doi.org/10.2183/pjab.95.028

Nepal, M. P., & Ferguson, C. J. (2012). Phylogenetics of Morus (Moraceae) Inferred from ITS and trnL-trnF Sequence Data. *Systematic Botany*, *37*(2), 442-450. https://doi.org/10.1600/036364412X635485

Oftadeh, M., Sendi, J. J., Zibaee, A., & Valizadeh, B. (2014). Effect of four varieties of mulberry on biochemistry and nutritional physiology of mulberry pyralid, Glyphodes pyloalis Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Entomological and Acarological Research*, *46*(2), 42-49. https://doi.org/10.4081/jear.2014.1633

Patnaik, R. K. (2008). *Mulberry Cultivation*. Biotech Books. https://books.google.gr/books?id=C7QrWfY3x9AC

Prena, J., Yang, J., Ren, L., Wang, Z., Liu, N., & Zhang, R. (2014). Nomenclatural changes, new country records and range extensions of Baridinae (Coleoptera, Curculionidae) from China. *Zootaxa*, *3841*(3), 339-363. https://doi.org/10.11646/zootaxa.3841.3.2

Sarto, I. M. V., Costa Ribes, A., & Savin, I. (2021). The invasive longhorn beetle Xylotrechus chinensis, pest of mulberries, in Europe: Study on its local spread and efficacy of abamectin control. *PloS one*, *16*(1), e0245527. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245527

Wang, J.-R., Perdikis, D., Chalkia, C., Harizanis, P., Kalaitzaki, A., Tsagkarakis, A., Xu, Z.-H., & Du, Y.-Z. (2016). The occurrence of Pealius mori (Takahashi), Pealius machili Takahashi and Paraleyrodes minei Iaccarino (Hemiptera: Aleyrodidae) infesting Morus alba L. in Greece. *Annales de la Société entomologique de France (N.S.)*, *52*(5), 281-288. https://doi.org/10.1080/00379271.2016.1259586

Yoon, H. J., Mah, Y. I., Park, I. G., Lee, S. B., & Yang, S. Y. (1997). The mode of hibernation of mulberry longicorn beetle, Apriona germari Hope in Korea. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *66*(2), 128-131. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.66.128

Zhang, P., Shao, H., You, C., Feng, Y., & Xie, Z. (2020). Characterization of root-knot nematodes infecting mulberry in Southern China. *J Nematol*, *52*, 1-8. https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-004

Zhang, S. M. (1985). *Economic insect fauna of China, Fascicle 31, Hemiptera (1)*.

Zheng, H. Y., Wu, J.-q. D., Binion, D., Fu, W., & R., R. (2004). *Invasive plants of Asian origin established in the United States and their natural enemies*.

Ελληνόγλωσση

Βαμβάς, Σ. (1907). *Μελέτη επί του Σηροτροφικού Ζητήματος*. Εκδ.: Ευστρατίου Δ.

Θεριός, Ι., & Δημάση-Θεριού, Κ. (2006). *Γενική Δενδροκομία: Μέρος Α' Πολλαπλασιασμός και Υποκείμενα οπορωφόρων*. Εκδόσεις Γαρταγάνη.

Κάλφας, Λ., & Δεληκώστας, Γ. (1988). *Το Μορεολίβαδο: Εγκατάσταση-Καλλιέργεια-Άρδευση*. Δημοτική Επιχείρηση Σηροτροφίας Μεταξουργίας Σουφλίου.

Παπαναούμ, Γ. (1950). *Σηροτροφία*. Εκδ.: Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Γεωργίας.

Ποντίκης, Α. Κ. (1994). *Πολλαπλασιασμός Καρποφόρων Δένδρων και Θάμνων*. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

Ρουσόπουλος, Α. Ο. (1900). *Σηροτροφικά*. Εκδ.: Λεώνης Π.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Γιατί υπάρχει τόση ετερογένεια και ποικιλία μορφών της μουριάς;

Απάντηση

Λόγω της ικανότητας πολλαπλασιασμού της μουριάς με τον άνεμο αλλά και της πολυπλοειδίας που εμφανίζουν τα είδη του Γένους Morus, είναι συχνό το φαινόμενο εμφάνισης δέντρων που έχουν ποικίλα χαρακτηριστικά που δεν είναι ίδια με τα πατρογονικά φυτά. Η παρουσία πολυπλοειδίας στα διάφορα είδη κάνει δύσκολη την ταξινόμηση των ειδών και είναι συχνό το φαινόμενο να μην υπάρχει επιστημονικά αποδεκτή ονομασία για κάποια είδη, αλλά να ομαδοποιούνται διαφορετικές ποικιλίες σε ένα ή περισσότερα είδη.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Αναφέρετε μια μέθοδο κλαδέματος του δέντρου της μουριάς για την παραγωγή φύλλων για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή.

Απάντηση

Κατά μια μέθοδο (Εικόνα 2.13) χρησιμοποιούμε μουριές στις οποίες έχουν κλαδευτεί οι βλαστοί του έτους πριν την άνοιξη. Σε αυτές τις μουριές νέοι βλαστοί θα αρχίσουν να μεγαλώνουν δραστήρια την άνοιξη και κάνουμε δύο επεμβάσεις σε αυτούς τους βλαστούς 15-20 ημέρες πριν την έναρξη της καλοκαιρινής εκτροφής ως εξής: Αφού αφαιρέσουμε τους μικρούς και επικλινείς βλαστούς, αφήνουμε 5-6 βλαστούς και αφαιρούμε την κορυφή του κάθε βλαστού σε μήκος 10 εκατοστά και τα φύλλα επίσης στο άνω μισό του κάθε βλαστού. Αυτή η επέμβαση δίνει ώθηση στην ανάπτυξη των οφθαλμών στο πάνω μισό του βλαστού και στην εμφάνιση νεαρών βλαστών, τα φύλλα των οποίων μπορούν να συλλεχθούν για τη διατροφή των νεαρών ηλικιών στην καλοκαιρινή εκτροφή.
Για τη φθινοπωρινή εκτροφή (Εικόνα 2.14) κάνουμε ακριβώς το ίδιο που αναφέρεται παραπάνω, αλλά χρησιμοποιούμε μουριές στις οποίες αφαιρέθηκαν οι βλαστοί του έτους για την ανοιξιάτικη εκτροφή κατά τα τέλη Μαΐου ή αρχές Ιουνίου. Στην περίπτωση αυτή, η επέμβαση γίνεται 20-25 ημέρες πριν τη φθινοπωρινή εκτροφή, γιατί η ανάπτυξη νεαρών βλαστών τείνει να γίνεται πιο αργή όσο πλησιάζουμε προς την πτώση των φύλλων της μουριάς.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Γιατί είναι επικίνδυνο για τη μουριά το ξυλοφάγο Κολεόπτερο *Xylotrechus chinensis*;

Απάντηση

Διότι η προνύμφη του είδους τρέφεται με τον ξυλώδη ιστό του κορμού της μουριάς δημιουργώντας στοές μέσα στον κορμό που οδηγούν σε ολική ξήρανση του δέντρου.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Ποια ποικιλία μουριάς θεωρείται ότι είναι ενδημική στην Ελλάδα;

Απάντηση

Η Ποικιλία Προύσας ή Μπούρσας.

Κεφάλαιο 3: Ο Μεταξοσκώληκας

Σύνοψη
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν τα επιστημονικά δεδομένα που αφορούν τον μεταξοσκώληκα δίνοντας έμφαση στην ανατομία του εντόμου, στα όργανα και συστήματα του σώματός του, στους μηχανισμούς ανάπτυξης και μεταμόρφωσης, αλλά και στα δεδομένα που μας παρέχει το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα. Στόχος του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστεί μια σύνθεση ανάμεσα στην εξέλιξη του μεταξοσκώληκα, τα ανατομικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά που κατευθύνουν την ανάπτυξη του εντόμου αλλά και τους βιοχημικούς μηχανισμούς που καθοδηγούν τη συμπεριφορά και την ανάπτυξη του εντόμου.

Προαπαιτούμενη γνώση
Μπρούφας, Γ., & Παππά, Μ. (2015). *Εργαστηριακές ασκήσεις γεωργικής ζωολογίας* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/903

Χατζηιωάννου, Μ., & Βαφείδης, Δ. (2015). *Εργαστηριακές ασκήσεις ιστολογίας* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/5136

3.1 Εισαγωγή

Ο οικόσιτος μεταξοσκώληκας, *Bombyx mori* Linnaeus, εκτρέφεται από τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια και χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεταξιού. Γενικότερα εικάζεται, χωρίς να υπάρχει σαφής απόδειξη, ότι λόγω της εκτροφής του από τον άνθρωπο, έχει χάσει την ικανότητα πτήσης του, την ικανότητα να μετακινείται σε κάποια απόσταση για την εύρεση τροφής και την ικανότητα να συγκρατείται καλά στα κλαδιά της μουριάς (Tanaka et al., 2009; X. Yang et al., 2021).

Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν κάνει τον μεταξοσκώληκα να είναι το μοναδικό είδος ζώου, το οποίο είναι άμεσα εξαρτώμενο για την επιβίωσή του από τον άνθρωπο, ενώ ταυτόχρονα αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν κάνει τον μεταξοσκώληκα ιδανικό πειραματόζωο για ερευνητικούς σκοπούς (Tazima, 1978). Κατά συνέπεια, ως πρότυπος οργανισμός, ο μεταξοσκώληκας έχει μελετηθεί ευρέως για μεγάλο χρονικό διάστημα για την αποκάλυψη των γενετικών μηχανισμών των εντόμων.

Ο μεταξοσκώληκας είναι επίσης ένα χρήσιμο σημείο αναφοράς για τη μελέτη των Λεπιδοπτέρων που είναι εχθροί των καλλιεργούμενων φυτών, καθώς αυτά προκαλούν μεγάλες ζημίες στις καλλιέργειες, και γενικότερα στο φυτικό κεφάλαιο, και αναπτύσσουν ανθεκτικότητα σε χρησιμοποιούμενα εντομοκτόνα. Επειδή υπάρχει επείγουσα ανάγκη να εντοπίζεται ο μηχανισμός της αντοχής στα εντομοκτόνα για την παρακολούθηση και τη διαχείριση των Λεπιδοπτέρων που προσβάλλουν τις καλλιέργειες, ο μεταξοσκώληκας χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί η γενετική βάση αντοχής σε διάφορα εντομοκτόνα σε άλλα είδη Λεπιδόπτερων, έτσι ώστε να έχουμε μια μοριακή μέθοδο διάγνωσης της ανθεκτικότητας στα εντομοκτόνα.

Μια άλλη επιστημονική περιοχή στην οποία είναι χρήσιμος ο μεταξοσκώληκας ως οργανισμός-μοντέλο είναι οι μελέτες τοξικότητας περιβαλλοντικά επιβλαβών χημικών ενώσεων, βαρέων μετάλλων και αερίων. Και σε αυτήν την περίπτωση, ο μεταξοσκώληκας αποτελεί έναν εύχρηστο οργανισμό-μοντέλο για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των χρησιμοποιούμενων χημικών ενώσεων (Tazima, 1978).

Τέλος, ο μεταξοσκώληκας, λόγω της ικανότητάς του να παράγει μεγάλες ποσότητες πρωτεϊνών του μεταξιού, έχει προταθεί τα τελευταία χρόνια ως το ιδανικό «εργοστάσιο» παραγωγής πρωτεϊνών, για την παραγωγή πρωτεϊνών με χαμηλό κόστος μέσω της γενετικής μηχανικής αλλά και μέσω της χρήσης ανασυνδυασμένων βακιλοϊών που επιτρέπουν την επιμόλυνση των προνυμφών και την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων πρωτεϊνών, μέσω των βακιλοϊών, στο σώμα των προνυμφών (Banno et al., 2010; Choudary et al., 1995; Kajiura et al., 2022; Kamita et al., 2005; Kato et al., 2010; Maeda et al., 1985; Tamura et al., 2000).

3.2 Η εξέλιξη του μεταξοσκώληκα

Ο μεταξοσκώληκας είναι ένα ολομετάβολο έντομο που υφίσταται δύο πλήρεις μεταμορφώσεις, από προνύμφη σε νύμφη και από νύμφη σε νυχτοπεταλούδα. Ο μεταξοσκώληκας εμφανίζει την τυπική δομή σώματος των εντόμων και το σώμα της προνύμφης, της νύμφης αλλά και της νυχτοπεταλούδας χωρίζεται σε 3 τμήματα, την κεφαλή, τον θώρακα και την κοιλιά. Η κεφαλή της προνύμφης είναι μια σκληρή χιτινώδης κάψα που αποτελείται από διάφορα τμήματα. Ο θώρακας αποτελείται από 3 μεταμερή, ενώ η κοιλιά αποτελείται από 11 μεταμερή. Οι φυλές και τα υβρίδια του μεταξοσκώληκα που χρησιμοποιούνται σήμερα για παραγωγή μεταξιού εμφανίζουν όλα 4 εκδύσεις, αλλά διατηρούνται ακόμη στην Κίνα και στην Ιαπωνία, τουλάχιστον, φυλές που έχουν 3 εκδύσεις (D. B. Chen et al., 2019; Sun et al., 2012; Xiang et al., 2018).

Φυλογενετικές αναλύσεις έχουν δείξει ότι ο μεταξοσκώληκας, *Bombyx mori*, διαχωρίστηκε από το συγγενικό του είδος, *Bombyx mandarina*, περίπου 4100 χρόνια πριν, δηλαδή περίπου το 2100 π.Χ. και αυτό συνέβη στη Βόρεια Κίνα στην περιοχή του Κίτρινου ποταμού (D. B. Chen et al., 2019; Sun et al., 2012). Υπάρχουν 2 υποείδη του άγριου μεταξοσκώληκα, *Bombyx mandarina*, που βρίσκονται ένα στην Κίνα και έχει 28 χρωμοσώματα, όπως και ο *Bombyx mori* που έχει 28 χρωμοσώματα (Banno et al., 2004) και ένα στην Ιαπωνία που φέρει 27 χρωμοσώματα (Banno et al., 2004). Το ζευγάρωμα μεταξύ του οικόσιτου μεταξοσκώληκα, *Bombyx mori* με τον άγριο μεταξοσκώληκα, *Bombyx mandarina*, ανεξάρτητα από τα χρωματοσώματα που φέρει ο δεύτερος, δίνει γόνιμους απογόνους (Banno et al., 2004; Komoto, 2017; Omura, 1950), αλλά αυτό το ζευγάρωμα, όπως είναι κατανοητό, δεν μπορεί να συμβεί ποτέ, παρά μόνο υπό εργαστηριακές συνθήκες, καθώς ο οικόσιτος μεταξοσκώληκας δεν μπορεί να επιβιώσει στο περιβάλλον.

Τα δύο υποείδη του άγριου μεταξοσκώληκα, *Bombyx mandarina*, υπολογίστηκε ότι διαχωρίστηκαν μεταξύ τους περίπου 23600 χρόνια πριν, καθώς η Κίνα και η Ιαπωνία απομακρύνθηκαν γεωγραφικά περίπου 20000 χρόνια πριν (D. B. Chen et al., 2019; Sun et al., 2012). Οι γονιδιακές αναλύσεις που έγιναν δείχνουν ότι ο οικόσιτος μεταξοσκώληκας, *Bombyx mori*, προέκυψε από πληθυσμούς του άγριου μεταξοσκώληκα στη Βόρεια Κίνα και η εισαγωγή του οικόσιτου μεταξοσκώληκα στην Ιαπωνία έγινε περίπου 2000 χρόνια πριν. Οι μελέτες αυτές (D. B. Chen et al., 2019; Sun et al., 2012; Xiang et al., 2018) έδειξαν επίσης ότι η ποικιλομορφία και η πληθυσμιακή διαφοροποίηση του οικόσιτου μεταξοσκώληκα, *Bombyx mori*, αυξήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια της δυναστείας Song (960-1279 μ.Χ.) της Κίνας, καθώς κατά τη δυναστεία αυτή έγινε επέκταση της κινεζικής επικράτειας στη σημερινή Νότια Κίνα.

Τα δεδομένα που υπάρχουν, λοιπόν, δείχνουν ότι ο οικόσιτος μεταξοσκώληκας εμφάνιζε αρχικά 3 εκδύσεις (Xiang et al., 2018) και κατόπιν μέσω επιλογής και βελτίωσης επικράτησε ο χαρακτήρας των 4 εκδύσεων, ο οποίος είναι ο πλέον παραγωγικός (D. B. Chen et al., 2019; Li et al., 2010; Sun et al., 2012; Xiang et al., 2018; Zhou et al., 2020).

Οι γενετικές αναλύσεις της συγγένειας του οικόσιτου μεταξοσκώληκα με τον συγγενικό του άγριο μεταξοσκώληκα έγιναν με τη χρήση μιτοχονδριακού DNA (D. B. Chen et al., 2019; M. J. Kim et al., 2022; Sun et al., 2012), αλλά οι μελέτες σχετικά με τις συγγένειες μεταξύ των διαφόρων φυλών και των γεωγραφικών καταγωγών των φυλών γίνονται με ανάλυση του γονιδιώματος του οικόσιτου μεταξοσκώληκα (S.-W. Kim et al., 2022; Xiang et al., 2018) και οι μελέτες αυτές βρήκαν ότι οι σύγχρονες φυλές μεταξοσκώληκα μπορούν να διαχωριστούν (Xiang et al., 2018) ως προς την καταγωγή τους σε κινεζικές, ιαπωνικές, ευρωπαϊκές και τροπικές, με τις ευρωπαϊκές και τις βελτιωμένες ιαπωνικές φυλές να έχουν στενή συγγένεια (Xiang et al., 2018).

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σαφείς μορφολογικές διαφορές των φυλών του μεταξοσκώληκα ως προς τη γεωγραφική τους προέλευση, είναι τόσες πολλές οι διασταυρώσεις που έχουν γίνει και τόσες πολλές οι καθαρές σειρές μεταξοσκωλήκων που έχουν προκύψει για να δημιουργηθούν τα παραγωγικά υβρίδια, ώστε μπορεί να λεχθεί με ασφάλεια ότι τα παραγωγικά υβρίδια του μεταξοσκώληκα φέρουν χαρακτήρες από όλες τις γεωγραφικά οριοθετημένες φυλές (Hiratsuka, 1969).

Για παράδειγμα, τους δύο τελευταίους αιώνες κατά τους οποίους η ανάπτυξη της σηροτροφίας ήταν ιδιαίτερα σημαντική σε πολλές χώρες, έγιναν πάρα πολλές μεταφορές φυλών και καθαρών σειρών μεταξοσκωλήκων από μια χώρα σε άλλη (Hiratsuka, 1969) και έχουν γίνει αμέτρητες αλλαγές ονομάτων σε φυλές μεταξοσκωλήκων, γεγονός που καθιστά πλέον τεχνικά αδύνατο να χαρακτηριστεί μια φυλή ως καθαρή φυλή, εκτός και εάν υπάρχουν σαφή δεδομένα για τη γενεαλογία της (Hiratsuka, 1969; Otsuki, 1997). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ιστορικά δεδομένα για την εισαγωγή και μετονομασία φυλών του μεταξοσκώληκα σε διάφορες χώρες (Hiratsuka, 1969; Otsuki, 1997; Παπαναούμ, 1950) που δημιουργούν ένα θολό τοπίο σχετικά με την πραγματική προέλευση της κάθε φυλής του μεταξοσκώληκα. Αυτό αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.1), όπου απεικονίζεται η μεγάλη φαινοτυπική ποικιλομορφία των διαφόρων φυλών και καθαρών σειρών του μεταξοσκώληκα (Tong et al., 2022).

Εικόνα 3.1 *Πανοραμική απεικόνιση των διάφορων φαινοτυπικών χαρακτήρων φυλών και μεταλλαγμένων στελεχών του μεταξοσκώληκα (Πηγή: (Tong et al., 2022), CC-BY άδεια)).*

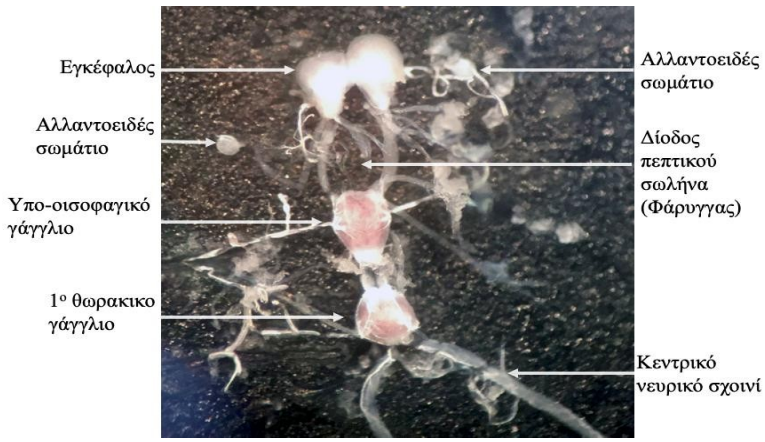
3.3 Συστήματα οργάνων του μεταξοσκώληκα

Σε αυτήν την ενότητα του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν παρακάτω τα συστήματα οργάνων του μεταξοσκώληκα ως προς την ανατομία και τις φυσιολογικές λειτουργίες που εξυπηρετούν.

3.3.1 Το νευρικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

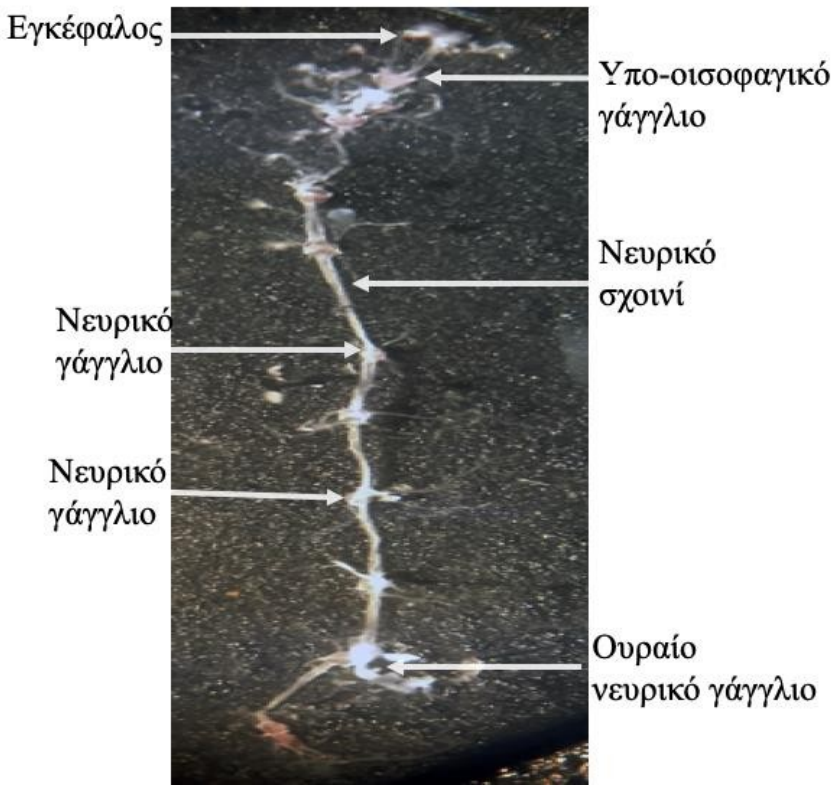
Το νευρικό σύστημα του μεταξοσκώληκα διακρίνεται στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στο σπλαχνικό νευρικό σύστημα και στο περιφερικό νευρικό σύστημα.

Το κεντρικό νευρικό σύστημα του μεταξοσκώληκα φέρει δίδυμα νευρικά κέντρα που ονομάζονται γάγγλια και σε αυτό διακρίνουμε τον εγκέφαλο (ή υπερ-οισοφαγικό γάγγλιο), το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο και το κοιλιακό νευρικό σχοινί (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 *Ανατομία της απαρχής του κεντρικού νευρικού συστήματος του μεταξοσκώληκα: Ο κενός χώρος μεταξύ του εγκεφάλου και του υπο-οισοφαγικού γαγγλίου είναι η δίοδος του πεπτικού συστήματος, στην περιοχή του φάρυγγα, καθώς στον μεταξοσκώληκα ο εγκέφαλος βρίσκεται ραχιαία ως προς τον πεπτικό σωλήνα, ενώ το υπόλοιπο κεντρικό νευρικό σύστημα βρίσκεται κοιλιακά ως προς τον πεπτικό σωλήνα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

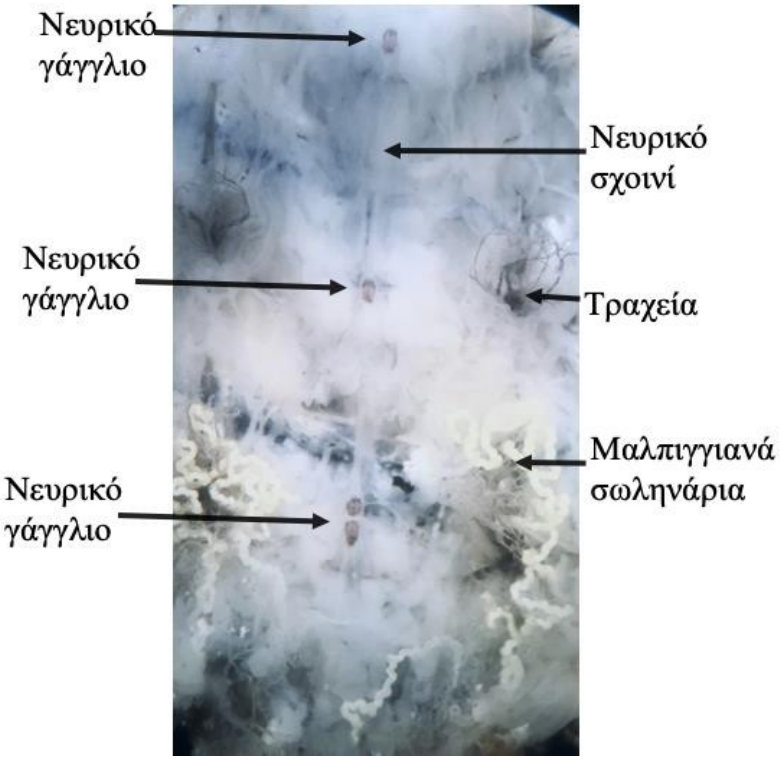
Ο εγκέφαλος αποτελεί σύμφυση τριών γαγγλίων και έχει τη μορφή αχλαδιού. Ο λόγος που αναφέρεται παραπάνω ότι τα νευρικά κέντρα είναι δίδυμα είναι γιατί ο μεταξοσκώληκας, όπως και όλα τα έντομα, είναι ένα αμφίπλευρα συμμετρικό ζώο και έτσι όλα τα γάγγλια του κεντρικού νευρικού συστήματος είναι στην πραγματικότητα διπλά και ενωμένα μεταξύ τους έτσι ώστε να μοιάζουν ως μια δομή. Έτσι, ο εγκέφαλος έχει στην πραγματικότητα τη μορφή δύο λοβών ενωμένων μεταξύ τους (Εικόνα 3.2), αλλά και όλα τα υπόλοιπα γάγγλια δεν μπορούν να διακριθούν ως δύο στενά συνδεδεμένες δομές, αλλά ως μια ενωμένη δομή (Εικόνα 3.3). Επειδή ο μεταξοσκώληκας, όπως και όλα τα έντομα, είναι ένα πρωτοστόμιο ζώο, ο εγκέφαλός του βρίσκεται ραχιαία του οισοφάγου και μέσα στην κεφαλική κάψα και από τα όρια του εγκεφάλου ξεκινούν δύο νεύρα, το καθένα εκατέρωθεν του οισοφάγου τα οποία ενώνονται και δημιουργούν το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο, το οποίο βρίσκεται κοιλιακά του οισοφάγου (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.3 *Ανατομία του κεντρικού νευρικού συστήματος της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Η χειρουργική αφαίρεση του κεντρικού συστήματος του μεταξοσκώληκα είναι μια ιδιαίτερα δύσκολη επέμβαση και δεν επιτρέπει την απεικόνιση των νεύρων και των γαγγλίων του νευρικού σχοινιού. Λόγω του μεγέθους του κεντρικού νευρικού συστήματος, δεν δίνονται όλες οι ενδείξεις των μορφολογικών χαρακτήρων που παρατηρούνται (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Τα δύο αυτά νεύρα δημιουργούν το νευρικό σχοινί που είναι διπλό (δηλαδή υπάρχουν δύο παράλληλα νεύρα) όταν δεν σχηματίζει ένα γάγγλιο. Ο εγκέφαλος την προνύμφης έχει χρώμα ελαφρώς ροζ και σε αυτόν δεν διακρίνονται τα τρία γάγγλια που τον αποτελούν γιατί έχουν ενωθεί μεταξύ τους. Το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο και τα γάγγλια στο κοιλιακό νευρικό σχοινί έχουν χρώμα βυσσινί και είναι εύκολα διακριτά όταν κάνουμε ανατομή της προνύμφης από τη ραχιαία πλευρά (Εικόνα 3.2 και Εικόνα 3.3).

Από τον εγκέφαλο εκκινούν νεύρα που νευρώνουν τα οφθαλμίδια, τις κεραίες και το άνω χείλος της προνύμφης. Το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο νευρώνει την άνω γνάθο, την κάτω γνάθο και το κάτω χείλος της προνύμφης με νεύρα που εκκινούν σε ζεύγη από αυτό. Μετά το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο, ξεκινά προς το οπίσθιο άκρο της προνύμφης το κεντρικό νευρικό σχοινί, το οποίο συνεχίζει να εκτείνεται κοιλιακά, όπως και σε όλα τα πρωτοστόμια ζώα, κατά μήκος του σώματός της. Στα τρία μεταμερή του θώρακα της προνύμφης δημιουργείται ένα γάγγλιο σε κάθε μεταμερές, ενώ στην κοιλιά της προνύμφης εντοπίζονται οκτώ γάγγλια καθένα σε ένα από τα πρώτα οκτώ μεταμερή της κοιλιάς της προνύμφης. Από το κάθε ένα θωρακικό γάγγλιο εκκινούν δύο νεύρα (συνολικά τέσσερα) που νευρώνουν το πρώτο τους μύες του κάθε μεταμερούς και το δεύτερο τους μύες των ποδιών του κάθε μεταμερούς. Με τον ίδιο τρόπο, από κάθε κοιλιακό γάγγλιο εκκινούν δύο νεύρα (συνολικά τέσσερα) που νευρώνουν τους μύες του κάθε κοιλιακού μεταμερούς (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4 *Εμφάνιση των γαγγλίων και του νευρικού σχοινιού στην οπίσθια άκρη της κοιλιάς της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Παρατηρήστε την παρουσία δύο γαγγλίων πολύ γειτονικών στο τέλος του κεντρικού νευρικού συστήματος. Λόγω της παρουσίας του λιπώδους σωματίου, είναι αδύνατη η παρατήρηση των νεύρων που εκκινούν από το κάθε γάγγλιο (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το σπλαχνικό νευρικό σύστημα αποτελείται από νευρώνες που νευρώνουν τις κεραίες και τον οπίσθιο πεπτικό σωλήνα, τα αναπαραγωγικά όργανα και τα ενδοκρινικά όργανα αλλά και το αναπνευστικό σύστημα. Το σύστημα αυτό ρυθμίζει διάφορες λειτουργίες στο σώμα του μεταξοσκώληκα που αφορούν φυσιολογικές αποκρίσεις σε ερεθίσματα και εκκρίσεις ορμονών.

Το περιφερικό νευρικό σύστημα αποτελείται από νευρώνες που νευρώνουν αισθητήριες σμήριγγες και αισθητήρια όργανα και συνδέουν αυτά τα αισθητήρια όργανα με το κεντρικό νευρικό σύστημα. Το σύστημα αυτό είναι ουσιαστικά ένα δίκτυο που επιτρέπει στον μεταξοσκώληκα να αποκρίνεται σε μηχανικά, χημικά θερμικά και οπτικά ερεθίσματα και περιλαμβάνει τους κινητήριους νευρώνες των μυών.

Η μορφή του κεντρικού νευρικού συστήματος αλλάζει στο ενήλικο άτομο (τη νυχτοπεταλούδα), καθώς λόγω της υποπλασίας του πεπτικού σωλήνα και της αύξησης των σύνθετων οφθαλμών, ο εγκέφαλος και το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο αυξάνονται σημαντικά σε μέγεθος και πλησιάζουν μεταξύ τους. Επίσης, οι αποστάσεις ανάμεσα στα θωρακικά γάγγλια μικραίνουν σημαντικά στο στάδιο της νυχτοπεταλούδας και τα θωρακικά γάγγλια μοιάζουν να είναι κοντά το ένα με το άλλο, καθώς ο θώρακας της νυχτοπεταλούδας μικραίνει σε μέγεθος σε σχέση με τον θώρακα της προνύμφης. Τέλος, τα κοιλιακά γάγγλια του κεντρικού νευρικού συστήματος μειώνονται σε αριθμό και μόνο τέσσερα είναι διακριτά τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

3.3.1.1 Τα αισθητήρια όργανα του μεταξοσκώληκα

Ο μεταξοσκώληκας φέρει πολλά και διαφορετικά αισθητήρια όργανα στο σώμα του σε όλα τα στάδια της ανάπτυξής του. Οι αισθητήριοι νευρώνες επιτρέπουν στο έντομο να αναγνωρίζει το περιβάλλον και να αλληλεπιδρά με αυτό.

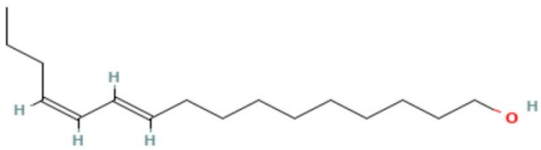
Ως προς την αίσθηση της όρασης, πέρα από τους σύνθετους οφθαλμούς της νυχτοπεταλούδας που έχουν μαύρο χρώμα και είναι ιδιαίτερα διακριτοί σε αυτό το τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής του μεταξοσκώληκα, και η προνύμφη φέρει οφθαλμίδια, τα οποία όμως δεν είναι γνωστό πόσο καλή διακριτική ικανότητα έχουν. Οι σύνθετοι οφθαλμοί είναι ουσιαστικά μια συγκέντρωση πολλών μονών οφθαλμιδίων και αρχίζουν να δημιουργούνται στην αρχή του σταδίου της νύμφης, όταν ο εγκέφαλος της προνύμφης αρχίζει να αλλάζει μορφή

και τα οπτικά κέντρα του εγκεφάλου αρχίζουν να αυξάνονται σε μέγεθος, καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο μέρος του εγκεφάλου σε συνδυασμό με τη δραματική αύξηση του μεγέθους των σύνθετων οφθαλμών.

Παλαιότερα πειράματα με τη χρήση μεθόδων ηλεκτροφυσιολογίας έδειξαν ότι τόσο τα οφθαλμίδια της προνύμφης όσο και οι σύνθετοι οφθαλμοί της νυχτοπεταλούδας αντιλαμβάνονται την παρουσία του φωτός (Tazima, 1978), αλλά δεν γνωρίζουμε ακόμη τι βλέπουν και ποια οπτική ευκρίνεια έχουν τα όργανα όρασης του μεταξοσκώληκα. Σύμφωνα με μια αναφορά, οι ώριμες προνύμφες εμφανίζουν φωτοτακτισμό με μέγιστη εκδήλωσή του σε φως με μήκος κύματος 550 nm (Tazima, 1978).

Τα οφθαλμίδια που αποτελούν τον σύνθετο οφθαλμό αλλά και τα απλά οφθαλμίδια της προνύμφης αποτελούνται εξωτερικά από έναν κερατοειδή φακό που είναι ένας διαφανής χιτώνας που καλύπτει το οφθαλμίδιο, ενώ κάτω από αυτόν βρίσκεται ένας κρυσταλλικός κώνος που εκκρίνεται από χρωμοφόρα κύτταρα του οφθαλμιδίου (Kawaguchi et al., 2008). Κάτω από τον κρυσταλλικό κώνο βρίσκονται χρωμοφόρα κύτταρα που καλύπτουν τα ραβδία και χρωμοφόρα κύτταρα που καλύπτουν τα ραβδομερή (Kawaguchi et al., 2008). Τα ραβδία και ραβδομερή είναι δομές που αποτελούν επεκτάσεις και διακλαδώσεις ενός αισθητήριου κυττάρου που είναι υπεύθυνο για την αναγνώριση του φωτός (Kawaguchi et al., 2008).

Μπορεί η όραση του μεταξοσκώληκα να μην έχει ερευνηθεί αρκετά, αλλά ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αναγνώριση της θηλυκής από την αρσενική νυχτοπεταλούδα έχει διερευνηθεί διεξοδικά (Kaissling, 2014). Η θηλυκή νυχτοπεταλούδα εκκρίνει από συγκεκριμένους εξωκρινείς αδένες που βρίσκονται πλευρικά του ωοθέτη στο άκρο της κοιλιάς της θηλυκής νυχτοπεταλούδας, τη φερορμόνη βομβυκόλη (Εικόνα 3.5). Η βομβυκόλη ή (E,Z)-10,12- hexadecadienol, είναι μια πτητική χημική ένωση που απομονώθηκε από αυτούς τους εξωκρινείς αδένες το 1959 (Butenandt V, 1959).



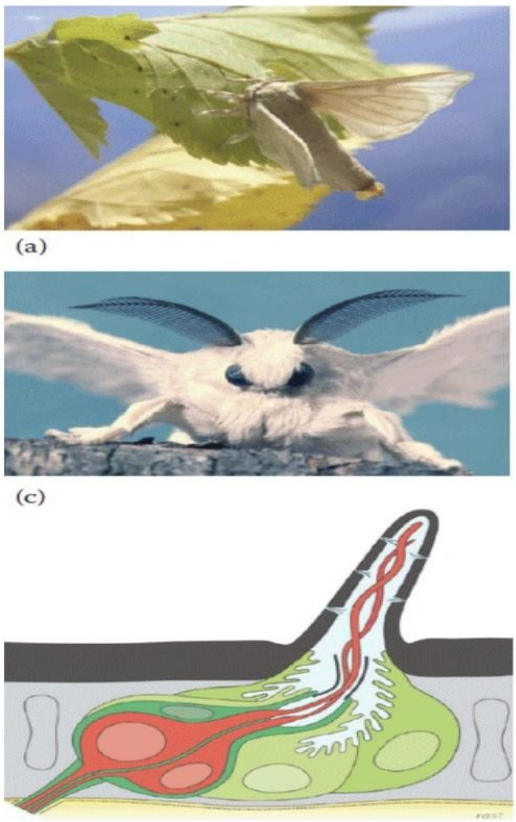
Εικόνα 3.5 *Διδιάστατη δομή της βομβυκόλης (Πηγή https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/).*

Η βομβυκόλη συντίθεται μετά από διέγερση αυτών των αδένων έκκρισης της φερορμόνης από ένα νευροπεπτίδιο που ονομάζεται PBAN (Pheromone-Biosynthesis Activating Peptide) (Matsumoto et al., 2007; Matsumoto et al., 2010; Nagasawa et al., 1994).

Η βομβυκόλη είναι μια πτητική ένωση που αναγνωρίζεται και προσδένεται σε συγκεκριμένη πρωτεΐνη, η οποία ονομάζεται *πρωτεΐνη πρόσδεσης της φερορμόνης* (Tabuchi et al., 2013) και η οποία βρίσκεται στην εξωτερική επιφάνεια των τριχιδίων της κεραίας του αρσενικού (Kaissling, 2014). Αυτή η πρωτεΐνη πρόσδεσης της φερορμόνης ανήκει σε μια ομάδα από συγκεκριμένες πρωτεΐνες, οι οποίες ονομάζονται *πρωτεΐνες πρόσδεσης πτητικών χημικών ενώσεων* (odorant-binding proteins) και στον μεταξοσκώληκα έχουν βρεθεί να εκφράζονται 44 τέτοιες πρωτεΐνες (Gong et al., 2009).

Όταν η βομβυκόλη προσδεθεί σε αυτήν την πρωτεΐνη πρόσδεσης της φερορμόνης (Εικόνα 3.6), τότε μεταφέρεται ταχύτατα (<0,5 δευτερόλεπτα) προς πρόσδεση στον υποδοχέα της βομβυκόλης, από την πρωτεΐνη αυτή, και το σύμπλοκο βομβυκόλης-πρωτεΐνης ενεργοποιεί έναν οσφρητικό υποδοχέα, τον BmOR1 (Sakurai et al., 2015), που έχει βρεθεί ότι είναι υπεύθυνος για την αναγνώριση της βομβυκόλης (Sakurai et al., 2015), και ο οποίος βρίσκεται εσωτερικά και πάνω στους άξονες των νευρικών κυττάρων που βρίσκονται σε κάθε τριχίδιο της κεραίας του αρσενικού. Αυτό είναι το σήμα για να αρχίσει η έντονη κινητικότητα του αρσενικού για τον εντοπισμό του θηλυκού (Kaissling, 2014). Όταν αναγνωρίζεται η παρουσία της βομβυκόλης από τις αρσενικές νυχτοπεταλούδες, τότε αυτές εκτελούν μια στερεοτυπική συμπεριφορά έντονου φτερουγίσματος σε συνδυασμό με πλευρική κλίση της κοιλιάς για να ζευγαρώσουν με τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα που βρίσκεται κοντά τους.

Η συμπεριφορά αυτή προκαλείται ακόμη και με την απουσία της θηλυκής νυχτοπεταλούδας όπως, για παράδειγμα, όταν αγγίξουμε θηλυκές νυχτοπεταλούδες με τα δάκτυλά μας και κατόπιν πάμε σε άλλο χώρο και αγγίξουμε με τα δάκτυλά μας τις αρσενικές νυχτοπεταλούδες. Οι αρσενικές νυχτοπεταλούδες τότε διεγείρονται και προσπαθούν να ζευγαρώσουν με τα δάκτυλά μας νομίζοντας ότι κάπου βρίσκεται μια θηλυκή νυχτοπεταλούδα. Είναι, ωστόσο, η παρουσία της βομβυκόλης που ενεργοποιεί τη στερεοτυπική συμπεριφορά των αρσενικών. Έχει βρεθεί ότι 170 μόρια της βομβυκόλης (Tabuchi et al., 2013) χρειάζονται για να εκδηλωθεί η συμπεριφορά ζευγαρώματος της αρσενικής νυχτοπεταλούδας και αυτό δείχνει ότι αυτός ο σημοτοδοτικός μηχανισμός είναι εξαιρετικά ευαίσθητος (Sakurai et al., 2014; Tabuchi et al., 2013).



Εικόνα 3.6 *Απεικόνιση των αδένων φερορμόνης της θηλυκής νυχτοπεταλούδας του μεταξοσκώληκα (άνω εικόνα) που εκκρίνουν τη βομβυκόλη, η οποία αναγνωρίζεται από δομές των κτενοειδών κεραιών της αρσενικής νυχτοπεταλούδας του μεταξοσκώληκα (μεσαία εικόνα) μέσω μικροσκοπικών δομών της κεραίας που φέρουν απολήξεις νευρικών κυττάρων (κόκκινο χρώμα στην κάτω εικόνα). Οι νευρικές απολήξεις που απεικονίζονται στην κάτω εικόνα φέρουν τους υποδοχείς αναγνώρισης της βομβυκόλης (Πηγή: (Kaissling, 2014), CC-BY άδεια).*

Η αίσθηση της όσφρησης λειτουργεί επίσης και στις προνύμφες, οι οποίες αναγνωρίζουν την παρουσία μιας χημικής ένωσης που βρίσκεται στα φύλλα της μουριάς, της *cis*-jasmone, με όριο αναγνώρισης τα 90 πικογραμμάρια της ένωσης αυτής από 20 εκατοστά απόσταση (Tanaka et al., 2009). Αυτή η χημική ένωση είναι που προκαλεί την αρχική έλξη της προνύμφης προς τα φύλλα της μουριάς, καθώς ανάλυση των ιδιοτήτων των οσφρητικών υποδοχέων του μεταξοσκώληκα (Tanaka et al., 2009) έδειξε ότι ένας από αυτούς τους οσφρητικούς υποδοχείς αναγνωρίζει τη χημική ένωση *cis*-jasmone που βρίσκεται στα φύλλα της μουριάς και ενεργοποιεί συμπεριφορά προσέγγισης των φύλλων της μουριάς από την προνύμφη (Tanaka et al., 2009). Παρότι δεν είναι γνωστοί, πιθανότατα υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί αναγνώρισης πτητικών ενώσεων από την προνύμφη.

Η ικανότητα της αρσενικής νυχτοπεταλούδας να αναγνωρίζει τη βομβυκόλη ως ένδειξη παρουσίας του θηλυκού ατόμου, έχει οδηγήσει στην υπόθεση ότι οι νυχτοπεταλούδες χρησιμοποιούν την όσφρηση ως κύρια αίσθηση αναγνώρισης του ατόμου του άλλου φύλου, ενώ οι πεταλούδες χρησιμοποιούν την όραση (Vogt et al., 2015). Οσφρητικοί υποδοχείς έχουν βρεθεί και στις κεραίες της θηλυκής νυχτοπεταλούδας και πιστεύεται ότι την καθοδηγούν στην εναπόθεση των αυγών (Anderson et al., 2009).

Πέρα από την αναγνώριση της φερορμόνης του θηλυκού, το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα κωδικοποιεί για συνολικά 66 οσφρητικούς υποδοχείς (Tanaka et al., 2009), οι οποίοι βρίσκονται κυρίως στις κεραίες αλλά και σε άλλα σημεία του σώματος. Οι οσφρητικοί υποδοχείς βρίσκονται στις ακρολοφίες αισθητήριων σμηρίγγων και επιτρέπουν στο έντομο να αναγνωρίζει τις οσμές, όπως, για παράδειγμα, τη φερορμόνη της θηλυκής νυχτοπεταλούδας, και να αποκρίνεται σε αυτήν όπως αναλυτικά αναφέρθηκε παραπάνω.

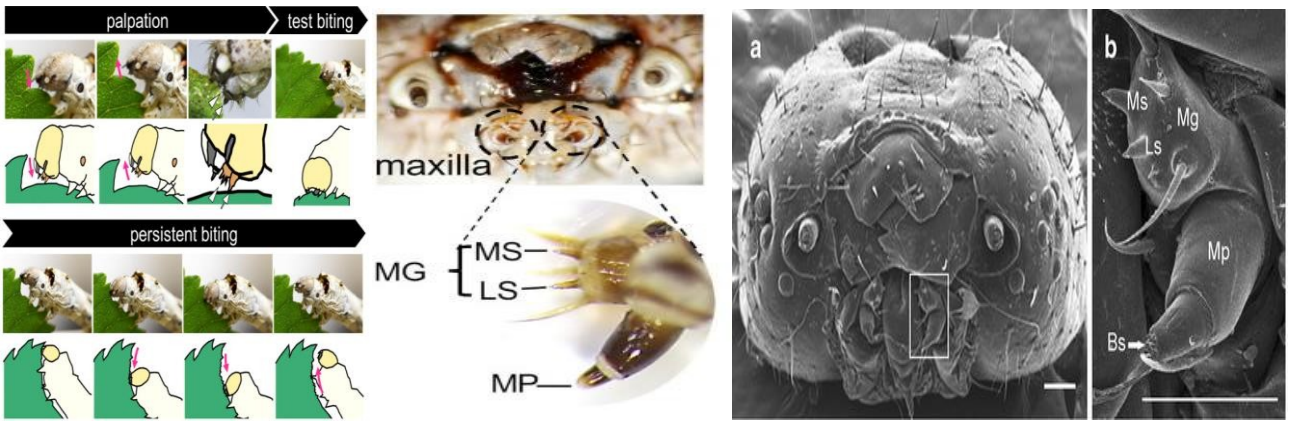
Η αίσθηση της γεύσης έχει επίσης διερευνηθεί στον μεταξοσκώληκα σχετικά με την προτίμηση της προνύμφης για διατροφή μόνο με φύλλα μουριάς. Έχει βρεθεί ότι γευστικοί υποδοχείς σε δομές του στόματος όπως οι γναθικές προσακτρίδες και οι γναθικοί λοβοί (Mang, Shu, Endo, et al., 2016; Mang, Shu, Tanaka, et al., 2016; Tsuneto et al., 2020) φέρουν γευστικούς υποδοχείς που αναγνωρίζουν συγκεκριμένες χημικές ενώσεις στα φύλλα της μουριάς και εκκινούν τη διαδικασία της μάσησης της τροφής (Εικόνα 3.7).

Οι ίδιοι υποδοχείς, όμως, όπως και άλλοι γευστικοί υποδοχείς βρίσκονται και σε άλλες δομές του σώματος της προνύμφης και αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η αίσθηση της γεύσης δεν περιορίζεται μόνο σε δομές που βρίσκονται σε ανατομικές δομές του στόματος (Mang, Shu, Endo, et al., 2016; Mang, Shu, Tanaka, et al., 2016; Tsuneto et al., 2020).

Οι γευστικοί υποδοχείς που μεταξοσκώληκα έχουν βρεθεί να κωδικοποιούνται από συνολικά 76 γονίδια (Guo et al., 2017) και να εκφράζονται σε διάφορα όργανα του σώματος του εντόμου. Οι γευστικοί υποδοχείς θεωρείται ότι στην πλειονότητά τους είναι υπεύθυνοι για την αναγνώριση των πικρών γεύσεων από την προνύμφη (Wanner & Robertson, 2008; Xu, 2020) και είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα η ανακάλυψη ότι η μεταλλαξιγένεση σε έναν από αυτούς τους υποδοχείς, τον GR66 (Zhang et al., 2019), δίνει μεταξοσκώληκες που δεν τρέφονται αποκλειστικά από φύλλα μουριάς, αλλά μπορούν να καταναλώσουν και άλλα φυτικά υλικά (Zhang et al., 2019).

Οι γευστικοί υποδοχείς του μεταξοσκώληκα, παρά το γεγονός ότι θεωρούνται, στην πλειονότητά τους, πως αναγνωρίζουν πικρές χημικές ενώσεις, αναγνωρίζουν επίσης και γλυκιές ή όξινες γεύσεις και εκφράζονται κυρίως στα στοματικά εξαρτήματα της προνύμφης. Μια ενδιαφέρουσα έρευνα έδειξε ότι η προνύμφη αναγνωρίζει την παρουσία χλωρογενικού οξέος, γλυκοσιδίων της κουερσετίνης και τη β-σιτοστερόλη στα φύλλα της μουριάς και κατόπιν προχωρά στην πρώτη δοκιμή μάσησης μικρής ποσότητας φύλλου (Tsuneto et al., 2020) και η αναγνώριση αυτών των χημικών ενώσεων γίνεται από γευστικούς υποδοχείς που βρίσκονται στις προσακτρίδες της άνω γνάθου (Tsuneto et al., 2020). Κατόπιν, και εφόσον η προνύμφη αναγνωρίσει την παρουσία σακχαρόζης στα φύλλα μουριάς, μέσω γευστικών υποδοχέων στον ουρανίσκο της άνω γνάθου, τότε προχωρά στην κατανάλωση του φύλλου (Tsuneto et al., 2020).

Τα πειράματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι για την κατανάλωση των φύλλων της μουριάς απαιτείται η παρουσία ενός συνδυασμού γευστικών υποδοχέων που αναγνωρίζουν διάφορες χημικές ενώσεις και είναι ο συνδυασμός αυτών των ενεργοποιήσεων συγκεκριμένων γευστικών υποδοχέων που επιτρέπει στην προνύμφη να καταναλώνει μόνο φύλλα μουριάς.



Εικόνα 3.7 *Αριστερή εικόνα: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας ψηλάφησης (palpitation) και δοκιμασίας (test biting) του φύλλου της μουριάς από την προνύμφη του μεταξοσκώληκα πριν την αποδοχή της τροφής και τη δραστήρια κατανάλωσή της (persistent biting). Μεσαία εικόνα: Μικροφωτογραφία των αισθητήριων οργάνων της άνω γνάθου (maxilla) της προνύμφης. MS: Μεσαίο οξύληκτο τριχίδιο. LS: πλευρικό οξύληκτο τριχίδιο, MG: Γναθικός λοβός, MP: Γναθική προσακτρίδα. Δεξιά εικόνα: Ίδια εικόνα με την 5.7, διαφορετική τεχνική απεικόνισης των δομών της άνω γνάθου της προνύμφης του μεταξοσκώληκα (Πηγή: (Tsuneto et al., 2020; Zhang et al., 2013), CC-BY άδεια).*

Η αίσθηση της γεύσης στην προνύμφη του μεταξοσκώληκα είναι συνυφασμένη με την αίσθηση της αφής, καθώς οι χημικές ενώσεις που αναγνωρίζονται από τα αισθητήρια της γεύσης δεν μπορούν από μόνες τους να οδηγήσουν στη λήψη τροφής, εάν δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές από απτικές αισθητήριες δομές. Η αίσθηση της αφής, με την έννοια που τη γνωρίζουμε εμείς οι άνθρωποι, είναι ουσιαστικά η αίσθηση της πίεσης ή η αίσθηση των δονήσεων την οποία αναγνωρίζει, τόσο η προνύμφη, όσο και η νύμφη, αλλά και η νυχτοπεταλούδα. Είναι χαρακτηριστική η κίνηση αντίδρασης της νύμφης, η οποία κουνά δραστήρια το σώμα της όταν την αγγίζουμε ελαφρά, ενώ η προνύμφη αντιλαμβάνεται την αίσθηση της δόνησης ή της απτικής αφής σε κάθε σημείο του σώματός της.

Τέλος, σχετικά με την αίσθηση της ακοής στον μεταξοσκώληκα, τίποτα δεν είναι γνωστό και θεωρείται ότι οι μεταξοσκώληκες δεν ακούν, με την έννοια που αντιλαμβανόμαστε εμείς οι άνθρωποι την ακοή, αλλά αναγνωρίζουν τον ήχο ως δόνηση ή/και ως πίεση. Έτσι η αίσθηση της ακοής αναπληρώνεται από την ικανότητά

τους να αισθάνονται κραδασμούς και δονήσεις μέσω μηχανοϋποδοχέων που βρίσκονται διάσπαρτοι στο σώμα τους. Η αίσθηση της αφής γίνεται αντιληπτή μέσω των ίδιων μηχανουϋποδοχέων που βρίσκονται στο σώμα του εντόμου και μέσω αυτών των υποδοχέων μπορεί να αναγνωρίζει ο μεταξοσκώληκας το υπόστρωμα στο οποίο βρίσκεται ή να αντιδρά σε μηχανικές πιέσεις. Σε σχέση όμως με άλλα έντομα, οι γνώσεις μας για την αίσθηση της αφής και της πίεσης στον μεταξοσκώληκα είναι ακόμη περιορισμένες (Hehlert et al., 2021; Tuthill & Wilson, 2016).

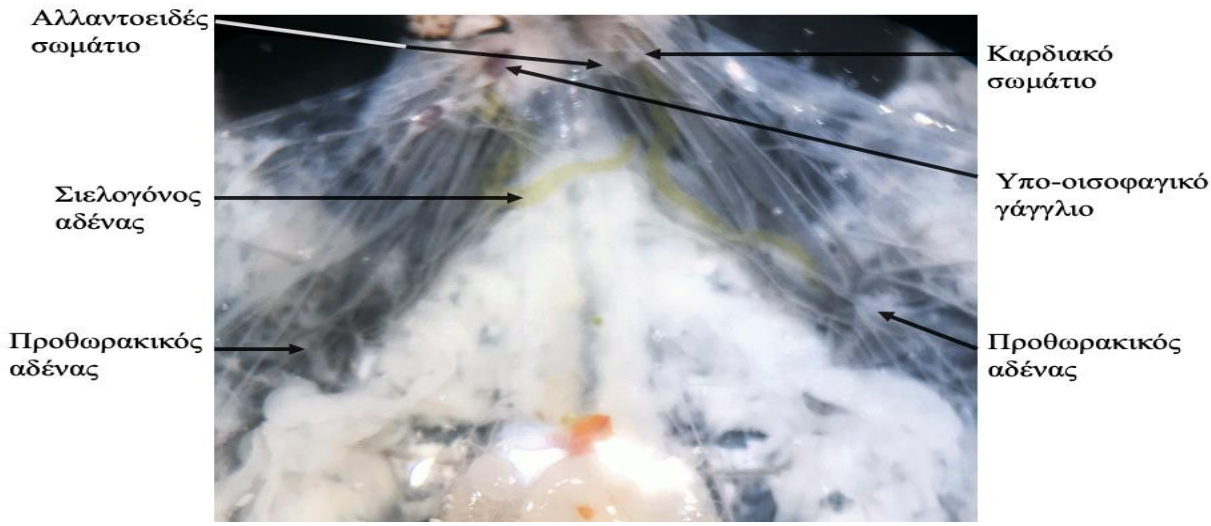
3.3.2 Το ενδοκρινικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

Το ενδοκρινικό σύστημα του μεταξοσκώληκα αποτελείται από ενδοκρινείς αδένες που εκκρίνουν διάφορες ορμόνες που δρουν πάνω σε διάφορα κύτταρα του σώματος και προκαλούν μεταβολές στη φυσιολογία του σώματος. Υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός δημοσιεύσεων που έχουν γίνει σχετικά με την ενδοκρινολογία του μεταξοσκώληκα αλλά και γενικότερα των εντόμων (Čižmár et al., 2019; Ishizaki & Suzuki, 1994; Liu et al., 2012; Nagasawa, 1992; Roller et al., 2008). Οι αναφορές στην ενδοκρινολογία του μεταξοσκώληκα και τις επιπτώσεις που έχουν οι ενδοκρινικοί μηχανισμοί στη ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα είναι τόσο εκτενείς, που μπορούν να αποτελέσουν ένα ξεχωριστό βιβλίο και για τον λόγο αυτόν γίνεται παρακάτω μια, κατά το δυνατόν, περιληπτική αναφορά στα κύρια μόρια που αποτελούν το ενδοκρινικό σύστημα του μεταξοσκώληκα.

Τις προηγούμενες δεκαετίες έχουν βρεθεί πολλά νευροπεπτίδια στον μεταξοσκώληκα, όπως η προθωρακικοτροπική ορμόνη, η ορμόνη επαγωγής της σύνθεσης της φερορμόνης (PBAN), η ορμόνη διάπαυσης, η ορμόνη πρόκλησης της έκδυσης, η ορμόνη εμφάνισης της νυχτοπεταλούδας, η λιποκινητική ορμόνη, η οικογένεια των βομβυξινών που είναι μια ομάδα ορμονών που μοιάζουν με την ινσουλίνη, η ορμόνη σκλήρυνσης (μπουρσικόνη), καθώς και ένας μεγάλος αριθμός άλλων μικρών πεπτιδίων με γνωστή ή άγνωστη δράση (Nagasawa, 1992; Roller et al., 2008).

Ο λόγος ύπαρξης αυτού του μεγάλου όγκου πληροφοριών είναι γιατί εδώ και πολλές δεκαετίες βρέθηκε ότι η αναστολή ή η παρεμβολή στην έκκριση των ορμονών του μεταξοσκώληκα, αλλά και γενικότερα των εντόμων, μπορεί να οδηγήσει σε αναστολή της ανάπτυξης ή και παρεμπόδιση εμφάνισης της μεταμόρφωσης. Είναι ευνόητο ότι αυτό οδήγησε την έρευνα για την ανάπτυξη χημικών ενώσεων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ή χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα για την καταπολέμηση επιβλαβών εντόμων. Αυτό είναι ένα τεράστιο επιστημονικό πεδίο που επιφέρει μεγάλα οικονομικά οφέλη και ο μεταξοσκώληκας χρησιμοποιήθηκε ως μοντέλο-οργανισμός σε τέτοιες μελέτες.

Τα κύρια ενδοκρινή όργανα του μεταξοσκώληκα είναι ο εγκέφαλος και το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο, οι προθωρακικοί αδένες, τα αλλαντοειδή σωμάτια και τα καρδιακά σωμάτια (Εικόνα 3.8).

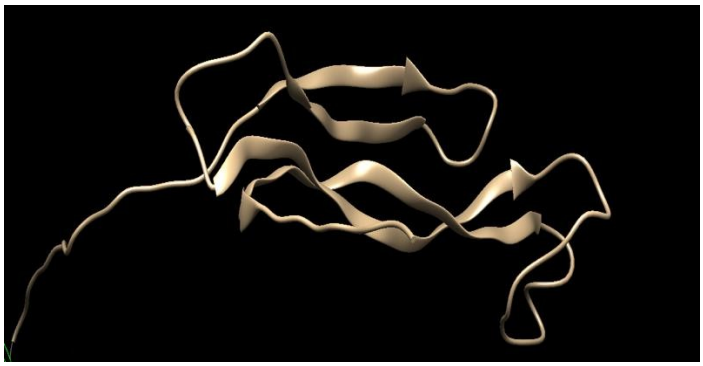


Εικόνα 3.8 *Ανατομική απεικόνιση του 1ου θωρακικού μεταμερούς της προνύμφης του μεταξοσκώληκα, όπου διακρίνονται οι προθωρακικοί αδένες σε σχέση με το αλλαντοειδές και το καρδιακό σωμάτιο. Στην εικόνα διακρίνονται και οι σιελογόνοι αδένες που έχουν κίτρινο χρώμα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Σε αυτά θα πρέπει να προστεθούν και τα κύτταρα Inka (Daubnerová et al., 2021; Kingan et al., 2001; Zitnan et al., 2002; Zitnan et al., 2003), καθώς και οι αδένες παραγωγής της φερορμόνης του θηλυκού με τους τελευταίους

να είναι ουσιαστικά εξωκρινείς αδένες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά ζευγαρώματος του αρσενικού. Ωστόσο, η συνεχιζόμενη έρευνα έχει δείξει ότι πολλοί άλλοι ιστοί του μεταξοσκώληκα εκκρίνουν νευροπεπτίδια ή φέρουν υποδοχείς για την πληθώρα των νευροπεπτιδίων του μεταξοσκώληκα (Nagasawa, 1992; Roller et al., 2008).

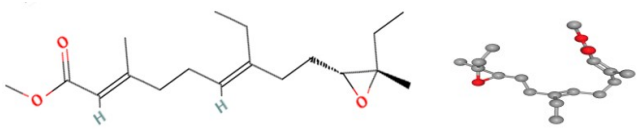
Ο εγκέφαλος του μεταξοσκώληκα παράγει και εκκρίνει μια πλειάδα ορμονών, όπως η προθωρακικοτροπική ορμόνη (Εικόνα 3.9), η οποία συντίθενται από νευροενδοκρινικά κύτταρα και εκκρίνεται κυρίως από τα καρδιακά και τα αλλαντοειδή σωμάτια (Nagasawa, 1992; Roller et al., 2008). Οι ορμόνες αυτές είτε ελέγχουν την έκκριση άλλων ορμονών από αυτά τα σωμάτια είτε ενεργοποιούν την έκκριση των εκδυστεροειδών από τους προθωρακικούς αδένες.



Εικόνα 3.9 *Τριδιάστατη δομή της προθωρακικοτροπικής ορμόνης του μεταξοσκώληκα (Πηγή: https://alphafold.ebi.ac.uk/).*

Στα αλλαντοειδή σωμάτια συντίθεται και εκκρίνεται από αυτά η ορμόνη νεότητας. Η ορμόνη νεότητας είναι ένα τερπένιο (Εικόνα 3.10), το οποίο δρα στα κύτταρα του σώματος του μεταξοσκώληκα ανταγωνιζόμενη τη δράση των εκδυστεροειδών.

Η ορμόνη νεότητας εισέρχεται στα κύτταρα και προσδένεται στον υποδοχέα της, μια πρωτεΐνη που ονομάζεται methoprene-tolerant protein (MET) (Guo et al., 2012; Riddiford, 2020) και η οποία είναι ένας μεταγραφικός παράγοντας. Κατόπιν, αυτή η πρωτεΐνη προσδένεται με μία άλλη πρωτεΐνη που ονομάζεται steroid receptor coactivator protein και η οποία είναι επίσης ένας μεταγραφικός παράγοντας. Το σύμπλοκο της ορμόνης νεότητας με τους δύο μεταγραφικούς παράγοντες κατόπιν προσδένεται στον υποκινητή του γονιδίου που ονομάζεται *Krüppel homolog 1* (Zhang et al., 2018) η έκφραση του οποίου οδηγεί σε καταστολή της έκφρασης γονιδίων που ενεργοποιούνται από το σηματοδοτικό μονοπάτι της εκδυσόνης (Kayukawa et al., 2020; Riddiford, 2020). Αυτός είναι και ο λόγος που η συγκεκριμένη ορμόνη ονομάστηκε *ορμόνη νεότητας*, καθώς η έκκρισή της και η δράση της διατηρούν την ύπαρξη των προνυμφικών σταδίων. Η ορμόνη νεότητας βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα στο σώμα της προνύμφης κατά την αρχή του κάθε προνυμφικού σταδίου και καθώς προχωρά η ανάπτυξη της προνύμφης στο κάθε προνυμφικό στάδιο, τα επίπεδα της ορμόνης νεότητας μειώνονται, ενώ τα επίπεδα των εκδυστεροειδών που εκκρίνονται από τους προθωρακικούς αδένες αρχίζουν να αυξάνονται.



Εικόνα 3.10 *Διδιάστατη (αριστερά) και τριδιάστατη (δεξιά) δομή της ορμόνης νεότητας του μεταξοσκώληκα (Πηγή https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/).*

Η αύξηση των επιπέδων των εκδυστεροειδών στο σώμα της προνύμφης είναι το σήμα για την έναρξη της κάθε έκδυσης στο στάδιο της προνύμφης. Στην πραγματικότητα, η ορμόνη νεότητας δρα απευθείας στα κύτταρα του προθωρακικού αδένα και εμποδίζει τη σύνθεση και έκκριση των εκδυστεροειδών από αυτά (Guo et al., 2012; Riddiford, 2020). Καθώς τα επίπεδα της ορμόνης νεότητας μειώνονται, η φραγή στη σύνθεση εκδυστεροειδών σταματά και τα εκδυστεροειδή συντίθενται και εκκρίνονται από τους προθωρακικούς αδένες προκαλώντας την έκδυση. Στην 5η ηλικία της προνύμφης, η ορμόνη νεότητας παύει να εκκρίνεται σε σημαντικά επίπεδα και η απουσία της οδηγεί στη μεταμόρφωση σε νύμφη. Η μεταμόρφωση σε ενήλικο άτομο (νυχτοπεταλούδα) γίνεται εν τη απουσία έκκρισης της ορμόνης νεότητας. Η σημαντική δράση της ορμόνης νεότητας στη διατήρηση των

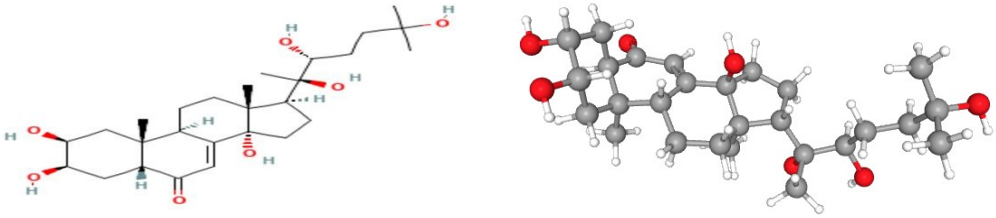
ηλικιών της προνύμφης φαίνεται όταν αφαιρέσουμε χειρουργικά τα αλλαντοειδή σωμάτια στην αρχή της 4ης ηλικίας της προνύμφης. Αν αφαιρεθούν τα αλλαντοειδή σωμάτια σε αυτήν την ηλικία, τότε η προνύμφη, αντί να εισέλθει σε έκδυση για την 5η ηλικία μετά από 4 ημέρες, παραμένει ως προνύμφη για 6-7 ημέρες και αρχίζει να πλέκει ένα πολύ μικρό κουκούλι και μεταμορφώνεται σε πολύ μικρή νύμφη. Δηλαδή, η προνύμφη από την οποία αφαιρέθηκαν τα αλλαντοειδή σωμάτια στην αρχή της 4ης ηλικίας εμφανίζει 3 εκδύσεις αντί για 4 εκδύσεις, όπως θεωρείται ότι ήταν η αρχέγονη μορφή του οικόσιτου μεταξοσκώληκα (Xiang et al., 2018). Τέτοιες χειρουργικές παρεμβάσεις στα διάφορα στάδια της ανάπτυξης του μεταξοσκώληκα χρονολογούνται εδώ και πολλές δεκαετίες και αποτέλεσαν τις πρώτες ισχυρές ενδείξεις για τα όργανα που παράγουν τις διάφορες ορμόνες στο σώμα του μεταξοσκώληκα (Riddiford, 2020).

Οι προθωρακικοί αδένες (Εικόνα 3.11) είναι ένα ζευγάρι αδένων που βρίσκονται κάτω από τη διακλάδωση των τραχειών στο πρώτο θωρακικό μεταμερές της προνύμφης. Η μορφή τους μοιάζει κάπως με ανεστραμμένο Τ, είναι εξωδερμικής προέλευσης και αποτελούνται από ομοειδή κύτταρα που έχουν μεγάλο όγκο και καλύπτονται από βασική μεμβράνη.

Εικόνα 3.11 *Δομή του ζευγαριού των προθωρακικών αδένων του μεταξοσκώληκα μετά από τη χειρουργική αφαίρεσή τους από το σώμα της προνύμφης. Παρατηρήστε ότι διακρίνονται τα κύτταρα του αδένα καθώς έχουν διάμετρο 100 μικρόμετρα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Στους προθωρακικούς αδένες συντίθενται, κατ' αποκλειστικότητα στο στάδιο της προνύμφης και εκκρίνονται από τα κύτταρα του αδένα, τα εκδυστεροειδή, τα οποία συντίθενται από τη χοληστερόλη μέσω μιας σειράς βιοχημικών μετατροπών της (Kamiyama & Niwa, 2022; Niwa & Niwa, 2014). Τα εκδυστεροειδή είναι μια ομάδα στεροειδών ορμονών που διαφέρουν δομικά από τα στεροειδή του ανθρώπου και αναφέρονται ως εκδυστεροειδή. Η εκδυσόνη και η 3-δεοξυεκδυσόνη εκκρίνονται από τα κύτταρα του προθωρακικού αδένα στον μεταξοσκώληκα (Kiriishi et al., 1990) και τα μόρια αυτά, παρότι είναι δραστικά, μετατρέπονται στους ιστούς του σώματος σε 20-υδροξυεκδυσόνη, η οποία είναι η πλέον δραστική μορφή των εκδυστεροειδών (Kiriishi et al., 1990).

Τα εκδυστεροειδή, και κυρίως η 20-υδρόξυεκδυσόνη (Εικόνα 3.12), εισέρχονται στα κύτταρα του σώματος του μεταξοσκώληκα και προσδένονται στον υποδοχέα τους, τον υποδοχέα των εκδυστεροειδών μια πρωτεΐνη που είναι ένας μεταγραφικός παράγοντας (Cheng et al., 2018; Huang et al., 2014). Μετά την πρόσδεση της 20-υδροξυεκδυσόνης στον υποδοχέα της, ο υποδοχέας της προσδένεται σε έναν άλλο μεταγραφικό παράγοντα που ονομάζεται ultraspiracle και το σύμπλοκο προσδένεται σε υποκινητές γονιδίων και ενεργοποιεί την έκφραση των γονιδίων αυτών (Cheng et al., 2018; Huang et al., 2014). Τα εκδυστεροειδή είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση της μεταμόρφωσης από προνύμφη σε νύμφη και από νύμφη σε νυχτοπεταλούδα στον μεταξοσκώληκα. Παρά το γεγονός ότι η σύνθεση των εκδυστεροειδών αναφέρεται εδώ αρκετά περιληπτικά, υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός δημοσιεύσεων για αυτά τα στεροειδή, ενώ ο τρόπος ρύθμισης της έκκρισης των εκδυστεροειδών από την προθωρακικοτροπική ορμόνη και την ορμόνη νεότητας αποτελεί πλέον ένα κλασικό παράδειγμα μηχανισμού ορμονικής ρύθμισης που παρουσιάζεται σε πολλά πανεπιστημιακά συγγράμματα (Kamiyama & Niwa, 2022; Niwa & Niwa, 2014).



Εικόνα 3.12 *Διδιάστατη (αριστερά) και τριδιάστατη (δεξιά) δομή της 20-υδροξυεκδυσόνης (Πηγή https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/).*

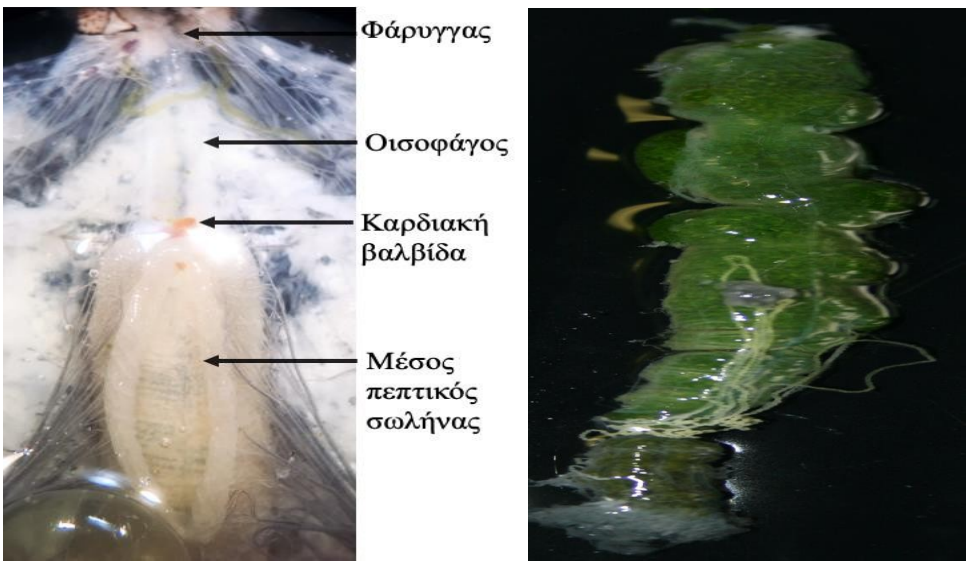
3.3.3 Το πεπτικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

Το πεπτικό σύστημα του μεταξοσκώληκα είναι το μεγαλύτερο σε μέγεθος σύστημα οργάνων κατά τη διάρκεια του σταδίου της προνύμφης, ενώ στο στάδιο της νύμφης και της νυχτοπεταλούδας το πεπτικό σύστημα είναι έντονα υποπλασμένο και σχεδόν δυσδιάκριτο στην ολότητά του, καθώς στα δύο αυτά στάδια ανάπτυξης το έντομο δεν διατρέφεται.

Στο στάδιο της προνύμφης το πεπτικό σύστημα αποτελείται από τον πεπτικό σωλήνα που διατρέχει όλο το μήκος του σώματος της προνύμφης από το στόμα έως την έδρα. Ο πεπτικός σωλήνας διακρίνεται σε 3 τμήματα: τον πρόσθιο πεπτικό σωλήνα, τον μέσο πεπτικό σωλήνα και τον οπίσθιο πεπτικό σωλήνα. Το πεπτικό σύστημα της προνύμφης του μεταξοσκώληκα είναι αυτό που γίνεται ιδιαίτερα ορατό όταν κάνουμε μια ανατομή της προνύμφης.

Ο πρόσθιος πεπτικός σωλήνας (Εικόνα 3.13) φέρει με τη σειρά από εμπρός προς τα πίσω, το στόμα, τον φάρυγγα και τον οισοφάγο. Στη στοματική κοιλότητα βρίσκονται τα στοματικά εξαρτήματα που παίζουν ρόλο στη μάσηση των φύλλων μουριάς. Ο φάρυγγας είναι ένας στενός σωλήνας που οδηγεί στον οισοφάγο. Έχει σχήμα χωνιού και βρίσκεται στην κεφαλική κάψα, δηλαδή περιβάλλεται από τις σκληρές δομές της κεφαλής της προνύμφης. Μέσω μυών που προσαρτώνται στον φάρυγγα, η τροφή κινείται προς τον οισοφάγο με περισταλτικές κινήσεις του φάρυγγα.

Ο οισοφάγος σταδιακά μεγαλώνει από το πρόσθιο στο οπίσθιο άκρο του, είναι ωστόσο μικρός σε μέγεθος σε σχέση με τον μέσο πεπτικό σωλήνα. Στο τέλος του πρόσθιου πεπτικού σωλήνα υπάρχει μια βαλβίδα, που ονομάζεται *καρδιακή βαλβίδα* και η οποία αποτρέπει τη μεταφορά της τροφής από τον μέσο πεπτικό σωλήνα προς τον πρόσθιο πεπτικό σωλήνα.



Εικόνα 3.13 *Αριστερή εικόνα: Ανατομή της προνύμφης του μεταξοσκώληκα όπου φαίνονται ο πρόσθιος πεπτικός σωλήνας, η καρδιακή βαλβίδα και ο μεσαίος πεπτικός σωλήνας (έχει κοπεί και ανοίξει). Δεξιά εικόνα: Ολόκληρος ο πεπτικός σωλήνας της προνύμφης μετά από χειρουργική αφαίρεσή του από το σώμα. Διακρίνονται με κίτρινο χρώμα τα μαλπιγγιανά σωληνάρια (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Είναι χαρακτηριστικό ότι η βαλβίδα αυτή δεν λειτουργεί όταν η προνύμφη υποστεί δηλητηρίαση από χημικές ενώσεις, οπότε διακρίνουμε την εμφάνιση εκκρίσεων του μέσου πεπτικού σωλήνα, οι οποίες εξέρχονται από το στόμα. Στην περίπτωση αυτή οι εκκρίσεις είναι μικρές σε όγκο και αποτελούνται κυρίως από πεπτικά υγρά, ενώ είναι ενδείξεις τοξικότητας και επικείμενου θανάτου της προνύμφης.

Ο μέσος πεπτικός σωλήνας είναι το μεγαλύτερο τμήμα του πεπτικού σωλήνα και εκτείνεται σχεδόν μέχρι το οπίσθιο άκρο του σώματος. Ο μέσος πεπτικός σωλήνας φέρει επιθήλιο αποτελούμενο από 3 είδη κυττάρων: Τα κυλινδρικά κύτταρα, τα κυπελλοειδή κύτταρα και τα πρόδρομα κύτταρα που διαφοροποιούνται στους άλλους δύο τύπους κυττάρων. Εσωτερικά αυτού του επιθηλίου κυττάρων και καλύπτοντας όλο το εσωτερικό του μέσου πεπτικού σωλήνα βρίσκεται η περιτροφική μεμβράνη, μια ακυτταρική στοιβάδα αποτελούμενη από χιτίνη και γλυκοπρωτεΐνες. Η περιτροφική μεμβράνη παίζει σημαντικό ρόλο στη φυσική άμυνα της προνύμφης έναντι σε παθογόνα, καθώς αποτελεί τον πρώτο φραγμό σε παθογόνα και αποτρέπει την επαφή τους με τα επιθηλιακά κύτταρα του πεπτικού σωλήνα. Η σύστασή της επιτρέπει την είσοδο πρωτεασών και πεπτικών ενζύμων στο εσωτερικό του πεπτικού σωλήνα για να αρχίσει η πέψη της τροφής, αλλά αποτρέπει την είσοδο μεγάλων σε μέγεθος παθογόνων. Η παρουσία της επίσης αποτρέπει τον τραυματισμό των επιθηλιακών κυττάρων από τα τεμάχια της τροφής παρέχοντας μηχανική προστασία. Η μεμβράνη αυτή ωστόσο δεν μπορεί να αποτρέψει την είσοδο παθογόνων ιών του μεταξοσκώληκα που προσβάλλουν αρχικά τα επιθηλιακά κύτταρα.

Η περισταλτική κίνηση του μέσου πεπτικού σωλήνα ωθεί την τροφή που έχει υποστεί πέψη προς τον οπίσθιο πεπτικό σωλήνα, ο οποίος διαχωρίζεται από τον μέσο πεπτικό σωλήνα μέσω μιας πυλωρικής βαλβίδας. Ο οπίσθιος πεπτικός σωλήνας χωρίζεται στον ειλεό, το παχύ έντερο και το ορθό. Στο ορθό γίνεται η απορρόφηση του νερού των κοπράνων προς την αιμολέμφο μέσω έξι μεμβρανών του ορθού και έτσι τα κόπρανα του μεταξοσκώληκα είναι σχεδόν ξηρά στη σύστασή τους. Στον οπίσθιο πεπτικό σωλήνα εκβάλλουν τα μαλπιγγιανά σωληνάρια, όπου απελευθερώνονται τα προϊόντα της λειτουργίας του απεκκριτικού συστήματος.

Η πέψη της τροφής γίνεται κυρίως στο εσωτερικό του μέσου πεπτικού σωλήνα που έχει αλκαλικό pH και φέρει πολλά πεπτικά ένζυμα που διασπούν τις πρωτεΐνες, τα λίπη και τους υδατάνθρακες στα απλά δομικά συστατικά από τα οποία αποτελούνται.

3.3.4 Το απεκκριτικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

Το απεκκριτικό σύστημα του μεταξοσκώληκα είναι υπεύθυνο για την απομάκρυνση των άχρηστων προϊόντων και των περιττών προϊόντων του μεταβολισμού. Με τον τρόπο αυτόν το απεκκριτικό σύστημα είναι επίσης υπεύθυνο για την ωσμωρρύθμιση στο σώμα του μεταξοσκώληκα.

Το απεκκριτικό σύστημα του μεταξοσκώληκα αποτελείται από τα μαλπιγγιανά σωληνάρια, έτσι αποκαλούμενα προς τιμήν του Marcello Malpighi, ενός Ιταλού φυσιολόγου που πρώτος τα περιέγραψε τον 17ο αιώνα. Τα μαλπιγγιανά σωληνάρια είναι τρία ζεύγη λεπτών σωληνίσκων με χαρακτηριστικό κίτρινο ή υποκίτρινο χρώμα που ξεκινούν από το ανατομικό όριο του μεσαίου πεπτικού σωλήνα και του ορθού και αναδιπλούμενα εκτείνονται προς το εσωτερικό του σώματος εφαπτόμενα με τον μεσαίο πεπτικό σωλήνα του εντόμου (Εικόνα 3.14). Τα μαλπιγγιανά σωληνάρια αποτελούνται από σειρά κυττάρων που καλύπτονται από βασική μεμβράνη.

Τα σωληνάρια επενδύονται από μύες που εξασφαλίζουν την περίσταλσή τους και από τραχείες για την οξυγόνωση των κυττάρων τους. Τα κύτταρα που διαμορφώνουν τα σωληνάρια ουσιαστικά φιλτράρουν και απομακρύνουν από την αιμολέμφο τις άχρηστες και περιττές χημικές ενώσεις και την περίσσεια νερού και αλάτων ενώ, καθώς τα συστατικά αυτά κινούνται κατά μήκος των σωληναρίων για να αποβληθούν στο ορθό, γίνεται επιλεκτική επαναπορρόφηση του νερού και των αλάτων προς την αιμολέμφο (Teigler & Arnott, 1972; Zhong et al., 2013). Τα μαλπιγγιανά σωληνάρια καταλήγουν και συνδέονται με τη βασική μεμβράνη του ορθού και μέσω αυτής της σύνδεσης τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού περνάνε στα κόπρανα, ενώ από τα κόπρανα περνά νερό και άλατα προς τα μαπλιγγιανά σωληνάρια για να επιστρέψουν στην αιμολέμφο. Με τον τρόπο αυτόν, τα κόπρανα στο ορθό αφυδατώνονται τόσο όσο χρειάζεται για να αποβληθούν από την έδρα, ενώ στα κόπρανα μεταφέρεται το ουρικό οξύ που δημιουργείται στα μαλπιγγιανά σωληνάρια ως προϊόν της απορρόφησης των άχρηστων αζωτούχων χημικών ενώσεων (Teigler & Arnott, 1972; Zhong et al., 2013).

Στο στάδιο της νύμφης, και επειδή η νύμφη δεν φέρει καμία οπή προς το εξωτερικό περιβάλλον στον εξωσκελετό της, η λειτουργία των μαλπιγγιανών σωληναρίων έχει ως αποτέλεσμα τη χαρακτηριστική διόγκωση του ορθού το οποίο, καθώς δεν μπορεί να αποβάλει το περιεχόμενό του στο εξωτερικό περιβάλλον, εμφανίζεται να καταλαμβάνει σημαντικό μέγεθος στην κοιλιά της νύμφης. Αυτό το περιεχόμενο του ορθού, δηλαδή τα προϊόντα της δραστηριότητας των μαλπιγγιανών σωληναρίων κατά τη διάρκεια του σταδίου της νύμφης,

αποβάλλεται από τη νυχτοπεταλούδα ως μορφή υγρών απεκκρίσεων μόλις εμφανιστεί η νυχτοπεταλούδα ή μετά το ζευγάρωμά της και αποτελούν τις χαρακτηριστικές καφέ εκκρίσεις που μπορεί να δει εύκολα κανείς να δημιουργούνται από τις νυχτοπεταλούδες.

Εικόνα 3.14 *Εμφάνιση των μαλλπιγγιανών σωληνάριων τοποθετημένα στο πίσω άκρο του μέσου πεπτικού σωλήνα. Η προνύμφη έχει τραφεί με τεχνητή δίαιτα και για τον λόγο αυτόν το εσωτερικό του πεπτικού σωλήνα εμφανίζεται ομοιογενές και με καφετί χρώμα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

3.3.5 Το ανοσοποιητικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

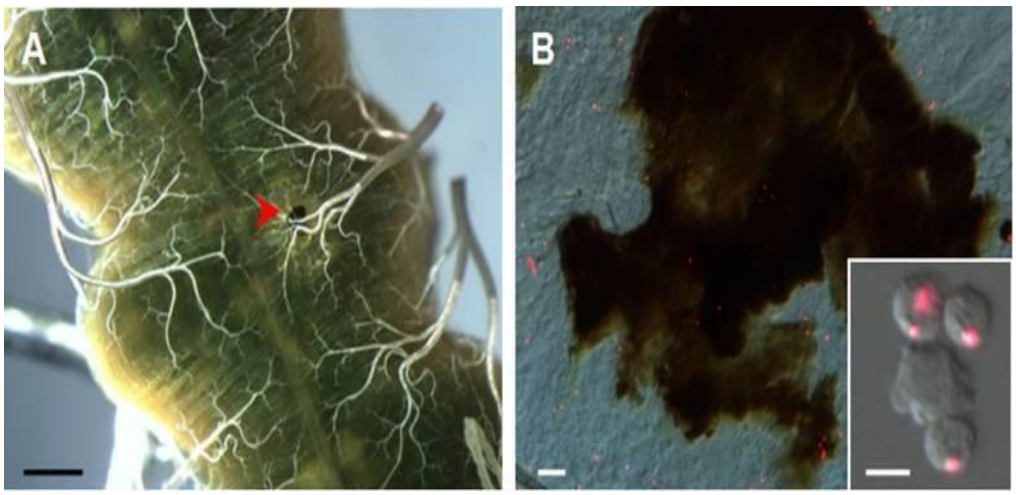
Το ανοσοποιητικό σύστημα του μεταξοσκώληκα, όπως και όλων των ασπόνδυλων ζωικών ειδών, στερείται επίκτητης ανοσίας και κατά συνέπεια όλοι οι μηχανισμοί άμυνας του εντόμου βασίζονται σε μηχανισμούς έμφυτης ανοσίας (Chen & Lu, 2018; S. Chen et al., 2019; Gadwala et al., 2021; Gillespie et al., 1997; González-Santoyo & Córdoba-Aguilar, 2012; Nesa et al., 2020; Yang et al., 2018). Όπως είναι αναμενόμενο, λόγω της εμπορικής σημασίας που έχει ο μεταξοσκώληκας, υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία σχετικά με τους αμυντικούς μηχανισμούς του μεταξοσκώληκα και ιδιαίτερα σε σχέση με την ευαισθησία της προνύμφης σε προσβολές από βακιλοϊούς, όπως ο ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης (Yang et al., 2018).

Η έμφυτη ανοσία του μεταξοσκώληκα διακρίνεται σε χημική ανοσία και κυτταρική ανοσία. Η κυτταρική ανοσία περιλαμβάνει τα πλασμοκύτταρα και τα κοκκιοκύτταρα της αιμολέμφου που προσκολλώνται σε ξένα σωμάτια και τα σκοτώνουν ή τα αδρανοποιούν. Στην κυτταρική ανοσία περιλαμβάνονται και τα οινοκύτταρα, τα οποία εκφράζουν τις πρωτεΐνες που ενεργοποιούνται στο σηματοδοτικό μονοπάτι της προφαινολοξειδάσης, αλλά αυτό το σηματοδοτικό μονοπάτι αποτελεί μέρος της χημικής ανοσίας (Yang et al., 2018).

Η χημική ανοσία του μεταξοσκώληκα περιλαμβάνει τους υποδοχείς της οικογένειας Toll και της οικογένειας Imd που είναι διαμεμβρανικοί υποδοχείς υπεύθυνοι για την αναγνώριση των Gram-θετικών και Gram-αρνητικών βακτηρίων, αντίστοιχα (Chen & Lu, 2018; Gillespie et al., 1997; Yang et al., 2018). Αυτοί οι διαμεμβρανικοί υποδοχείς, όταν ενεργοποιηθούν, ενεργοποιούν με τη σειρά τους κυτταρικούς σηματοδοτικούς μηχανισμούς που είναι μέρος της έμφυτης ανοσίας και έχουν ως αποτέλεσμα την έκφραση αντιμικροβιακών πεπτιδίων (Chen & Lu, 2018; Gillespie et al., 1997; Yang et al., 2018). Αυτά τα αντιμικροβιακά πεπτίδια είναι η πρώτη γραμμή άμυνας ενάντια στα παθογόνα βακτήρια είτε δημιουργώντας διατρήσεις στο κυτταρικό τους τοίχωμα είτε παρεμποδίζοντας την έκφραση γονιδίων στα παθογόνα (Chen & Lu, 2018; Gillespie et al., 1997; Yang et al., 2018).

Ο κύριος μηχανισμός με τον οποίο εκδηλώνεται η φυσική ανοσία στον μεταξοσκώληκα είναι το βιοχημικό μονοπάτι σύνθεσης της μελανίνης που καταλύεται από τη φαινολοξειδάση (Εικόνα 3.15). Η μελανίνη είναι ένα πολυμερές της ινδολο-5,6 -κινίνης και συντίθεται μέσω της δράσης της φαινολοξειδάσης αλλά και άλλων πρωτεασών (Yang et al., 2018) σε ένα πολύπλοκο βιοσυνθετικό μονοπάτι που ξεκινά με την αναγνώριση ενός ξένου σώματος μέσα στο σώμα του μεταξοσκώληκα και καταλήγει στη δημιουργία πολυμερών της μελανίνης με στόχο την κάλυψη, απομάκρυνση και θανάτωση του εισβολέα (Yang et al., 2018).

Το βιοσυνθετικό μονοπάτι ξεκινά με τη μετατροπή της ανενεργούς μορφής της προ-φαινολοξειδάσης σε ενεργή φαινολοξειδάση (Yang et al., 2018) και κατόπιν μέσω ενεργοποίησης και άλλων πρωτεασών, το αρχικό μόριο της τυροσίνης μετατρέπεται σε ινδολο-5,6 -κινίνη και τελικά σε μελανίνη.



Εικόνα 3.15 *Αριστερή εικόνα: Μικροφωτογραφία του πεπτικού σωλήνα του μεταξοσκώληκα μετά από επούλωση πληγής (κόκκινο βέλος) μέσω της δράσης των κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος. Δεξιά εικόνα: Μικροφωτογραφία της επούλωσης της πληγής στον πεπτικό σωλήνα (της αριστερής εικόνας), όπου διακρίνονται ως κόκκινοι κόκκοι τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος του μεταξοσκώληκα. Στην ένθετη φωτογραφία (δεξιά) φαίνονται τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος που επούλωσαν την πληγή στον πεπτικό σωλήνα (Πηγή: (Huang et al., 2016), CC-BY άδεια).*

Ένας άλλος μηχανισμός φυσικής ανοσίας του μεταξοσκώληκα είναι η κυτταρική απόπτωση και ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται για την εξουδετέρωση ιών. Η κυτταρική απόπτωση είναι ένας καλά μελετημένος μηχανισμός και η ενεργοποίηση αυτού του μηχανισμού μπορεί να οδηγήσει στη θανάτωση του κυττάρου που μολύνθηκε από έναν ιό με συνοδό αποτέλεσμα τη θανάτωση και του ιού. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι σε οποιαδήποτε προσβολή από έναν παθογόνο ιό, ο ιός εξουδετερώνεται μέσω κυτταρικής απόπτωσης (Chen & Lu, 2018; Gillespie et al., 1997; Yang et al., 2018). Αντίθετα, κάποιοι ιοί που προκαλούν πολύ σοβαρές προσβολές στον μεταξοσκώληκα κατορθώνουν να υπερβούν την προσπάθεια εξουδετέρωσής τους μέσω της κυτταρικής απόπτωσης (Chen & Lu, 2018; Gillespie et al., 1997; Yang et al., 2018).

Συνολικά, ο μεταξοσκώληκας έχει αρκετούς μηχανισμούς προστασίας του από παθογόνα μέσω των μηχανισμών φυσικής ανοσίας που διαθέτει. Επίσης, κατά τη δημιουργία υβριδίων του μεταξοσκώληκα, ένας παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι η ευρωστία των υβριδίων που δημιουργούνται και η ικανότητά τους να επιβιώνουν υπό αντίξοες συνθήκες. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει κανένα παραγωγικό υβρίδιο του μεταξοσκώληκα που να είναι πλήρως ανθεκτικό στις προσβολές από συγκεκριμένα παθογόνα, όπως ο ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης, που είναι ο σημαντικότερος παράγοντας θανάτου και απώλειας των προνυμφών.

3.3.6 Το κυκλοφορικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

Ο μεταξοσκώληκας έχει ανοικτό κυκλοφορικό σύστημα και αυτό σημαίνει ότι στο σώμα του δεν διακρίνουμε φλέβες ή αρτηρίες όπου το αίμα ρέει υπό πίεση, αλλά αντιθέτως το αίμα του μεταξοσκώληκα, που καλείται αιμολέμφος, εμποτίζει όλα τα όργανα και τα κύτταρα του σώματος του εντόμου.

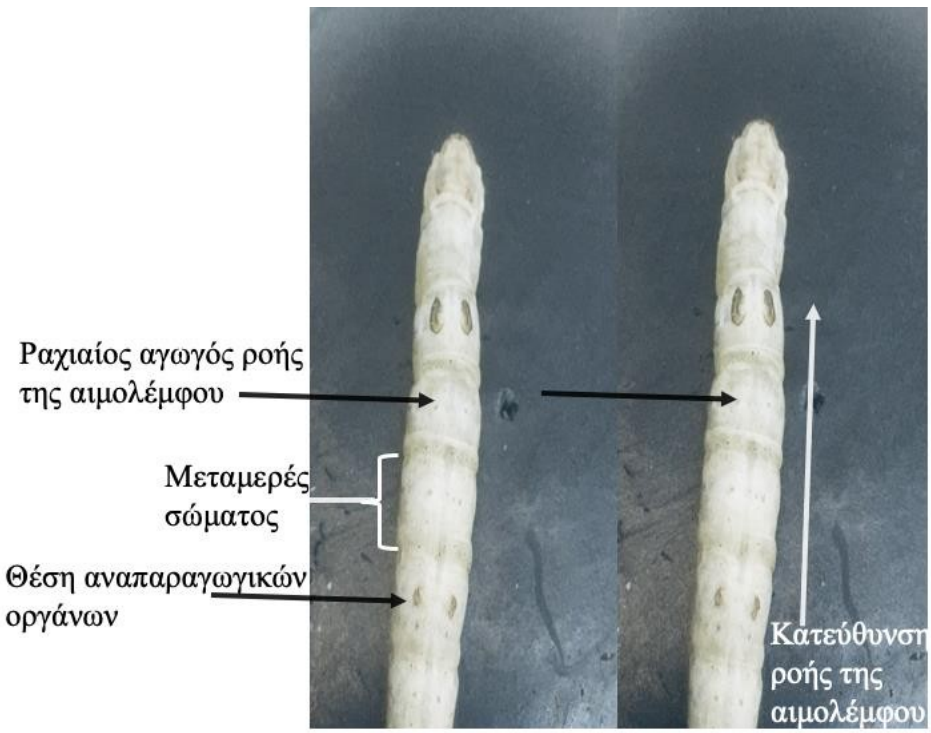
Η κύρια λειτουργία του κυκλοφορικού συστήματος είναι η θρέψη των κυττάρων του σώματος, καθώς στην αιμολέμφο βρίσκονται διαλυτές πρωτεΐνες που ρόλο έχουν τη μεταφορά των θρεπτικών συστατικών και του οξυγόνου στα διάφορα όργανα και κύτταρα του σώματος. Το κυκλοφορικό σύστημα συνεισφέρει και στην άμυνα του οργανισμού, καθώς στην αιμολέμφο βρίσκονται κύτταρα που είναι υπεύθυνα για τη θανάτωση ξένων οργανισμών και παθογόνων και για την επούλωση πληγών. Το κυκλοφορικό σύστημα, και πιο συγκεκριμένα η αιμολέμφος, παίζει επίσης μηχανικό ρόλο σε διάφορες λειτουργίες και συμπεριφορές του εντόμου καθώς μέσω της πίεσης που ασκεί, με τη βοήθεια και του μυϊκού συστήματος, ολοκληρώνεται η διαδικασία της έκδυσης, της διάτασης του σώματος, της έκτασης των πτερύγων, της κίνησης και της αναπαραγωγής. Τέλος, επειδή ο μεταξοσκώληκας είναι ετερόθερμο ζώο, το κυκλοφορικό σύστημα παίζει και ομοιοστατικό ρόλο, καθώς συμβάλλει στη θερμορρύθμιση και στην προσαρμογή της θερμοκρασίας του σώματος στο εξωτερικό

περιβάλλον. Με άλλα λόγια, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή, τότε η αργή κατανάλωση της τροφής από την προνύμφη οφείλεται στη μείωση της θερμοκρασίας της σώματος μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας της αιμολέμφου που εξισώνεται με αυτή του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Στο σώμα του μεταξοσκώληκα, σε όλα τα στάδια ανάπτυξης, διακρίνεται ο ραχιαίος αγωγός που είναι μια δομή αποτελούμενη από σειρές αμφίπλευρα και τριγωνικά εκτεινόμενων μυών που δημιουργούν έναν αγωγό που διατρέχει το σώμα του εντόμου από το οπίσθιο άκρο προς το πρόσθιο άκρο. Αυτός ο αγωγός είναι ιδιαίτερα διακριτός στην 5η ηλικία στο στάδιο της μέγιστης ανάπτυξης της προνύμφης και εμφανίζεται ως ένας σωλήνας που πάλλεται διατρέχοντας τη ράχη της προνύμφης. Ουσιαστικά, τα άκρα των τριγωνικά διατεταγμένων μυών δημιουργούν τον αγωγό και μέσα σε αυτόν υπάρχει αιμολέμφος που κινείται από το πίσω μέρος του σώματος προς τα εμπρός με τις συσπάσεις των μυών.

Αυτός ο αγωγός και οι μύες που τον περιβάλλουν (Εικόνα 3.16) μπορεί να αναφερθεί ως «καρδιά», αλλά ο όρος αυτός είναι παραπλανητικός, καθώς η δομή αυτή δεν μοιάζει με τίποτα με την καρδιά, π.χ. των Θηλαστικών, γιατί δεν δημιουργεί έντονη πίεση στη ροή της αιμολέμφου. Πολύ απλά, η σύσπαση των μυών ωθεί την αιμολέμφο προς το πρόσθιο άκρο του σώματος και επιτρέπει τη συνεχή κυκλοφορία της αιμολέμφου σε όλο το σώμα του εντόμου. Ο ραχιαίος αγωγός περιβάλλεται κοιλιακά από ένα πολύ λεπτό διάφραγμα από συνδετικό ιστό που αποτρέπει την έξοδο της αιμολέμφου από τον αγωγό παρά μόνο προς το πρόσθιο άκρο του σώματος. Υπάρχουν συγκεκριμένα ανοίγματα σαν βαλβίδες στο πίσω άκρο του σώματος που επιτρέπουν την είσοδο, αλλά όχι την έξοδο της αιμολέμφου στον αγωγό για να κινηθεί προς τα εμπρός. Η αιμολέμφος εκβάλλει στο πρόσθιο μέρος του σώματος ελεύθερα, αφού διατρέξει όλο τον ραχιαίο αγωγό.

Επειδή υπάρχει ρυθμική συστολή των μυών που επενδύουν τον ραχιαίο αγωγό, η είσοδος της αιμολέμφου στον ραχιαίο αγωγό στο οπίσθιο μέρος του σώματος γίνεται κατά διαστήματα ανάλογα με τη συστολή και διαστολή των μυών που επενδύουν τον ραχιαίο αγωγό. Η σύσπαση των συγκεκριμένων μυών βρίσκεται υπό τον έλεγχο συγκεκριμένων πεπτιδίων που ενεργοποιούν τη σύσπαση των μυών.

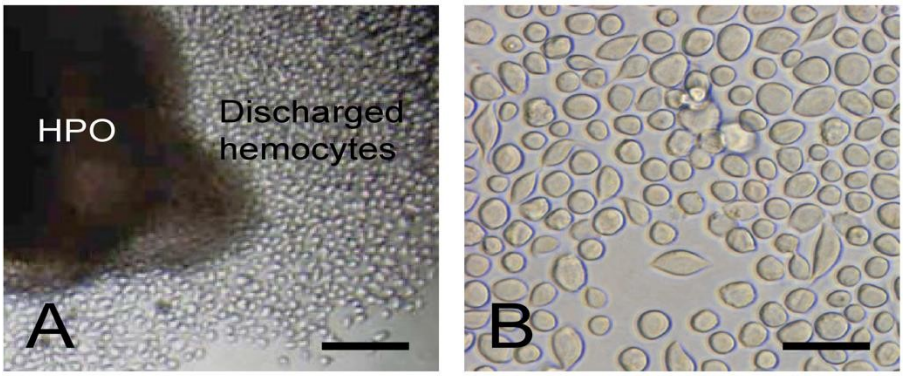


Εικόνα 3.16 *Εμφάνιση του ραχιαίου αγωγού κυκλοφορίας της αιμολέμφου στο σώμα της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Προσεκτική παρατήρηση των δύο φωτογραφιών που πάρθηκαν με διαφορά 0,5 δευτερολέπτων δείχνει τις διαφορές στο πλάτος του ραχιαίου αγωγού κατά μήκος του σώματος της προνύμφης, καθώς η αιμολέμφος κινείται μέσα σε αυτό (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η αιμολέμφος αποτελείται από ακυτταρικά και κυτταρικά συστατικά. Τα ακυτταρικά συστατικά είναι κυρίως νερό, περίπου 90%, και διαλυμένα σε αυτό βρίσκονται πολλές πρωτεΐνες που εκτελούν λειτουργίες μεταφοράς θρεπτικών συστατικών και οξυγόνου προς τα κύτταρα του σώματος αλλά και διάφορα ένζυμα. Μέσα στην αιμολέμφο, αλλά σε μικρότερη ποσότητα κυκλοφορούν επίσης και ορμόνες πεπτιδικής δομής, ενώ άλλες

ορμόνες, όπως η εκδυσόνη και η ορμόνη νεότητας, μετακινούνται στην αιμολέμφο με τη βοήθεια πρωτεϊνών-μεταφορέων τους.

Τα κυτταρικά στοιχεία της αιμολέμφου είναι κυρίως εμπτύρηνα κύτταρα (Lavine & Strand, 2002; Strand, 2008) που προκύπτουν από τα αιμοποιητικά όργανα του μεταξοσκώληκα (Εικόνα 3.17), τα οποία είναι τέσσερις κυτταρικές μάζες που βρίσκονται δίπλα στις καταβολές των πτερύγων του εντόμου στον θώρακα (Nakahara et al., 2010).



Εικόνα 3.17 *Αριστερή εικόνα: Το αιμοποιητικό όργανο (HPO) του μεταξοσκώληκα καθώς απελευθερώνει αιμοκύτταρα (discharged hemocytes) στην αιμολέμφο. Δεξιά εικόνα: Τα αιμοκύτταρα του μεταξοσκώληκα σε παρατήρηση με μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός (Πηγή: (Nakahara et al., 2010).*

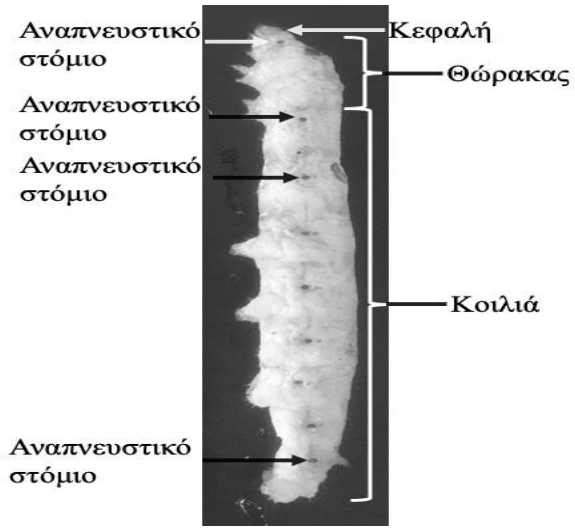
Τα κύτταρα της αιμολέμφου διακρίνονται σε 5 είδη: τα προ-αιμοκύτταρα, τα πλασμοκύτταρα, τα οινοκύτταρα, τα κοκκιοκύτταρα και τα σφαιροκύτταρα. Κάθε ένα από αυτά τα είδη κυττάρων έχουν διαφορετικό ρόλο στη λειτουργία του κυκλοφορικού αλλά και του ανοσοποιητικού συστήματος. Γενικότερα, τα προ-αιμοκύτταρα θεωρούνται πολυδύναμα πρόδρομα κύτταρα από τα οποία προκύπτουν τα άλλα είδη κυττάρων (Feng et al., 2021). Τα πλασμοκύτταρα και τα κοκκιοκύτταρα είναι τα μόνα κύτταρα με ικανότητα να προσκολλώνται σε ξένα σώματα και είναι υπεύθυνα για τη φαγοκυττάρωση και την καταστροφή και απομάκρυνση των ξένων σωμάτων (κυτταρικών και ακυτταρικών) από την κυκλοφορία της αιμολέμφου. Αποτελούν περίπου το 50% όλων των κυττάρων της αιμολέμφου και είναι γενικότερα υπεύθυνα για την ενεργοποίηση των ανοσολογικών μηχανισμών σε περίπτωση προσβολής από παθογόνα (Feng et al., 2021).

Τα οινοκύτταρα είναι υπεύθυνα για την έναρξη του μηχανισμού μελανοποίησης και επούλωσης των πληγών, καθώς εκφράζουν τα ένζυμα του σηματοδοτικού μηχανισμού της προφαινολοξειδάσης που προκαλεί τη μελανοποίηση, ενώ δεν είναι γνωστός ο ρόλος των σφαιροκυττάρων (Feng et al., 2021; Nakahara et al., 2010). Η επούλωση των πληγών σε όλα τα στάδια της ανάπτυξης του μεταξοσκώληκα οφείλεται στη δράση αυτών των κυττάρων στην αιμολέμφο, τα οποία αναγνωρίζουν άμεσα την ύπαρξη πληγής και κινητοποιούνται επουλώνοντάς την, όταν η πληγή δεν έχει δημιουργήσει σημαντική απώλεια της αιμολέμφου. Σε πρακτικό επίπεδο, αυτό σημαίνει ότι όταν δούμε κάποια προνύμφη με ένα μαύρο σημάδι στο σώμα της αλλά οι άλλες προνύμφες κοντά της είναι υγιείς και δραστήριες, τότε αυτό σημαίνει ότι η προνύμφη αυτή πληγώθηκε και επούλωσε την πληγή της.

3.3.7 Το αναπνευστικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

Το αναπνευστικό σύστημα του μεταξοσκώληκα αποτελείται από τις τραχείες και τα τραχειόλια που είναι οι μικρότερες διακλαδώσεις της κάθε τραχείας, οι οποίες είναι τόσο μικρές ώστε να φτάνουν στα διάφορα κύτταρα του σώματος.

Ο μεταξοσκώληκας φέρει 9 ζεύγη τραχειών που δεν είναι ορατές στο εξωτερικό του σώματος του εντόμου. Αυτό που είναι ορατό κοιτάζοντας εξωτερικά το έντομο είναι η παρουσία 9 ζευγών στιγμάτων πλευρικά του σώματος. Το ένα ζεύγος βρίσκεται στο προθωρακικό μεταμερές, ενώ τα υπόλοιπα 8 βρίσκονται ανά ζεύγος στο κάθε ένα κοιλιακό μεταμερές ξεκινώντας από το πρώτο κοιλιακό μετμερές μέχρι το 8ο κοιλιακό μεταμερές. Αυτά τα στίγματα ονομάζονται *αναπνευστικά στόμια* και έχουν τη μορφή μαύρων στιγμάτων (Εικόνα 3.18). Στην πραγματικότητα είναι στόμια που είναι ανοιχτά για να επιτρέπουν την είσοδο του αέρα μέσα στις τραχείες (Εικόνα 3.19).



Εικόνα 3.18 *Μακροσκοπική εμφάνιση των αναπνευστικών πόρων στις πλευρές του σώματος της προνύμφης. Δεν δείχνονται με βέλος όλοι οι αναπνευστικοί πόροι του σώματος της προνύμφης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Οι τραχείες που φέρουν τον αέρα, διακλαδίζονται κατόπιν εκτεταμένα (Εικόνα 3.19) και καταλήγουν η κάθε μία σε πολυάριθμα τραχειόλια, τα οποία εκτείνονται σε όλους τους ιστούς του σώματος, παρέχοντας οξυγόνο στα κύτταρα του σώματος και αφαιρώντας το διοξείδιο του άνθρακα από αυτά, ως προϊόν του κυτταρικού μεταβολισμού.

Εικόνα 3.19 *Μορφή μιας από τις συστάδες τραχειών του μεταξοσκώληκα όπως αφαιρέθηκε από έναν αναπνευστικό πόρο της προνύμφης. Παρατηρήστε τη διακλάδωση των τραχειών καθώς καταλήγουν σε συνεχώς μικρότερους σωληνίσκους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Τα τραχειόλια φέρουν υγρό μέσα στο οποίο διαλύεται το οξυγόνο του αέρα και αυτό επιτρέπει στο διαλυμένο οξυγόνο να φτάνει στα κύτταρα που δημιουργούν τις τραχείες (τους τραχειοβλάστες) και από εκεί να περνά στα διάφορα κύτταρα των ιστών. Το διοξείδιο του άνθρακα ακολουθεί την αντίθετη κατεύθυνση και κινείται από τα κύτταρα των ιστών προς τους τραχειοβλάστες και από εκεί περνά στο υγρό που φέρουν τα τραχειόλια και κατόπιν στον αέρα των τραχειών.

Οι τραχείες φέρουν διατάξεις από τραχειοβλάστες και τα κύτταρα αυτά είναι υπεύθυνα για την έκκριση μια ακυτταρικής βασικής στοιβάδας στο εσωτερικό της κάθε τραχείας. Η δημιουργία αυτής της στοιβάδας ακολουθεί ένα σπειροειδές πρότυπο και μοιάζει σαν συσπειρωμένο ελατήριο που είναι τοποθετημένο ελικοειδώς στο εσωτερικό της τραχείας. Αυτή η διάταξη είναι εμφανής μόνο όταν κάνουμε ανατομή του σώματος του εντόμου και κόψουμε μια τραχεία, οπότε γίνεται εμφανής η ελικοειδής βασική στοιβάδα που επενδύει εσωτερικά την κάθε τραχεία. Σε κάθε έκδυση ή μεταμόρφωση αυτή, η ελικοειδής βασική στοιβάδα απομακρύνεται και οι τραχειοβλάστες δημιουργούν μια νέα στοιβάδα.

Τα αναπνευστικά στόμια λειτουργούν σαν βαλβίδες που κλείνουν απότομα όταν το έντομο δεν βρίσκεται σε επαφή με τον αέρα. Το κλείσιμο και άνοιγμα των αναπνευστικών στομίων ρυθμίζεται από μύες που είναι υπεύθυνοι για αυτήν τη λειτουργία. Ουσιαστικά τα αναπνευστικά στόμια και η εσωτερική επένδυση της κάθε τραχείας μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση του εξωσκελετού προς το εσωτερικό του σώματος του εντόμου.

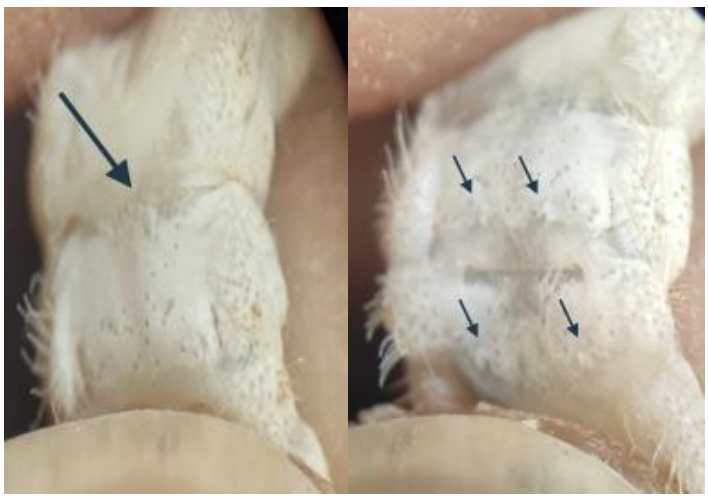
Η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων, όπως αναφέρθηκε ότι γίνεται παραπάνω, διευκολύνεται από τις κινήσεις του σώματος του εντόμου και ως αποτέλεσμα οι τραχείες μπορούν να γεμίζουν ή να αδειάζουν από αέρα με συγχρονισμένο ή ασύγχρονο τρόπο.

3.3.8 Το αναπαραγωγικό σύστημα του μεταξοσκώληκα

Ο μεταξοσκώληκας είναι δίοικο ζώο, δηλαδή τα άτομα του είδους διακρίνονται σε θηλυκά και αρσενικά. Τα αναπαραγωγικά όργανα του κάθε φύλου σχηματίζονται νωρίς στην ανάπτυξη, αλλά είναι δύσκολα διακριτά στο στάδιο της προνύμφης. Πιο συγκεκριμένα, οι όρχεις στην αρσενική προνύμφη (Εικόνα 3.20) είναι ένα ζευγάρι οργάνων που βρίσκονται στη ραχιαία πλευρά του 6ου κοιλιακού μεταμερούς.

Εικόνα 3.20 *Εμφάνιση των όρχεων του μεταξοσκώληκα μετά από ανατομή της προνύμφης από την κοιλιακή πλευρά του σώματος (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Στο στάδιο της προνύμφης έχουν σχήμα μικροσκοπικού φασολιού και συνδέονται ο καθένας με έναν λεπτό σωλήνα με το σημείο του Herold που είναι το εξωτερικό φυλετικό μορφολογικό χαρακτηριστικό της αρσενικής προνύμφης (Εικόνα 3.21). Οι ωοθήκες της θηλυκής προνύμφης βρίσκονται και αυτές ραχιαία στο 6ο κοιλιακό μεταμερές και συνδέονται με λεπτούς σωλήνες με τα σημάδια του Ishiwata στο 8ο και 9ο μεταμερές του σώματος της θηλυκής προνύμφης (Εικόνα 3.21).



Εικόνα 3.21 *Το βέλος στην αριστερή εικόνα δείχνει το στίγμα του Herold που βρίσκεται ανάμεσα στο 7ο και 8 κοιλιακό μεταμερές της αρσενικής προνύμφης και μοιάζει με κυκλική οπή. Τα τέσσερα βέλη στη δεξιά εικόνα δείχνουν τα τέσσερα σημάδια του Ishiwata που βρίσκονται ανά ζεύγος στο 7ο και στο 8ο μεταμερές της θηλυκής προνύμφης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Οι ωοθήκες της θηλυκής προνύμφης έχουν μια σχετικά τριγωνική και σακοειδή μορφή, ωστόσο υφίστανται μια δραματική μεταμόρφωση στο στάδιο της νύμφης, καθώς διαρρηγνύονται για να απελευθερώσουν τους δραστήρια αναπτυσσόμενους ωαγωγούς που είναι 4 ανά ωοθήκη. Κάθε ωαγωγός είναι ουσιαστικά ένας σωλήνας που φέρει τα ωοθυλάκια που είναι τοποθετημένα σε μια γραμμική σειρά και είναι ενωμένα μεταξύ τους με λεπτό συνδετικό ιστό. Κάθε ωαγωγός περιβάλλεται από διαφανή μεμβράνη που προστατεύει τα ωοθυλάκια που ωριμάζουν αναπτυξιακά μέσα σε αυτόν σε μια γραμμική σειρά, δηλαδή το πιο ακραίο ωοθυλάκιο είναι το πιο ώριμο και μεγαλύτερο σε μέγεθος από το αμέσως προηγούμενό του. Η ανάπτυξη των ωοθηκών στη θηλυκή νύμφη είναι τόσο δραματική, ώστε σε διάστημα λίγων ημερών η κοιλιακή περιοχή της νύμφης είναι ουσιαστικά γεμάτη από τα αναπτυσσόμενα ωοθυλάκια.

Το αναπαραγωγικό σύστημα του αρσενικού στην πλήρη ανάπτυξή του στο τέλος του σταδίου της νύμφης αποτελείται από τους όρχεις που παράγουν τα σπερματοζωάρια, τους σπερματαγωγούς που αποθηκεύουν το σπέρμα, τους επικουρικούς αγωγούς που παράγουν το σπερματικό υγρό που περιβάλλει και προστατεύει τα σπερματοζωάρια, τον εκφορητικό αγωγό ο οποίος ωθεί τα σπερματοζωάρια και το σπερματικό υγρό προς την έξοδό τους από το σώμα του αρσενικού, και τέλος, από το άνοιγμα του εκφορητικού αγωγού που λειτουργεί ως πέος επιτρέποντας την εναπόθεση του σπέρματος (σπερματοζωάρια και σπερματικό υγρό) στη σπερματοθήκη του θηλυκού.

Στο θηλυκό αναπαραγωγικό σύστημα, οι 4 ωοθύλακες της κάθε ωοθήκης καταλήγουν σε έναν κοινό κοντό ωαγωγό και αυτός στη συνέχεια ενώνεται σε έναν κοινό ωαγωγό με τον κοινό ωαγωγό της άλλης ωοθήκης. Στο σημείο όπου ο ωαγωγός γίνεται ένας υπάρχουν οι επικουρικοί αδένες του θηλυκού, οι οποίοι παράγουν εκκρίσεις που βοηθούν στη συγκόλληση του γονιμοποιημένου αυγού σε κάποια επιφάνεια μετά την εναπόθεσή του στο εξωτερικό περιβάλλον από το θηλυκό. Με τον τελικό ωαγωγό συνδέονται επίσης οι σπερματοφόροι αδένες, οι οποίοι αποθηκεύουν το σπέρμα του αρσενικού που περνά στο σώμα του θηλυκού κατά το ζευγάρωμα. Οι αδένες αυτοί διατηρούν τη ζωτικότητα των σπερματοζωαρίων και επιτρέπουν την είσοδο των σπερματοζωαρίων μέσα στο ωάριο (ωοθυλάκιο) μέσω της μικροπύλης που φέρει το ωάριο. Μετά την είσοδο του σπερματοζωαρίου μέσα στο ωάριο (ωοθυλάκιο), αυτό ωθείται προς την έξοδο του αναπαραγωγικού συστήματος του θηλυκού και εναποτίθεται στο περιβάλλον.

Η εναπόθεση των αυγών γίνεται με περισταλτικές κινήσεις της κοιλιάς του θηλυκού ατόμου που με τη βοήθεια εξειδικευμένων μυών εναποθέτει 1 γονιμοποιημένο ωάριο κάθε φορά στο περιβάλλον. Το αναπαραγωγικό σύστημα του θηλυκού αλλά και του αρσενικού ατόμου είναι αναπτυξιακά ολοκληρωμένο στο στάδιο της νύμφης και πριν την έξοδο της νυχτοπεταλούδας από το κουκούλι. Έτσι, το ζευγάρωμα της αρσενικής νυχτοπεταλούδας με τη θηλυκή μπορεί να γίνει σχεδόν αμέσως μετά την έξοδο από το κουκούλι, καθώς τα αρσενικά άτομα συνήθως εμφανίζονται έξω από το κουκούλι λίγο πριν ή μια μέρα πριν από τα θηλυκά άτομα.

Τέλος, μόλις τα τελευταία χρόνια (Katsuma et al., 2018; Kiuchi et al., 2014; Tomihara et al., 2022) εξηγήθηκε ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο καθορισμός του φύλου στον μεταξοσκώληκα. Στον μεταξοσκώληκα το σύστημα καθορισμού του φύλου βασίζεται σε συνδυασμό των W και Z χρωμοσωμάτων που δίνουν το θηλυκό άτομο, ενώ το αρσενικό άτομο έχει τον ZZ γονότυπο. Παρά το γεγονός ότι αυτό ήταν γνωστό από παλιά, δεν ήταν γνωστό μέχρι πρόσφατα πώς γίνεται ο καθορισμός του φύλου, καθώς το χρωμόσωμα W στα WZ θηλυκά δεν φέρει κανένα γονίδιο και φέρει σχεδόν αποκλειστικά αλληλουχίες μεταθετών στοιχείων (Kiuchi et al., 2014). Βρέθηκε ωστόσο, μετά από μακροχρόνια έρευνα ότι ένα μόριο RNA που κωδικοποιείται από το W χρωμόσωμα του θηλυκού και προσδένεται σε μια PIWI πρωτεΐνη είναι αυτό που καθορίζει την εμφάνιση των χαρακτήρων του θηλυκού (Katsuma et al., 2018; Kiuchi et al., 2014; Tomihara et al., 2022). Πιο συγκεκριμένα, το μόριο RNA που προσδένεται στην PIWI πρωτεΐνη (piRNA) έχει την ικανότητα να διασπά το αγγελιαφόρο RNA (mRNA) του γονιδίου Masculinizer (Masc) που κωδικοποιείται από το Z χρωμόσωμα στο θηλυκό άτομο και είναι με τη σειρά του υπεύθυνο για την εμφάνιση των αρσενικών χαρακτήρων (Katsuma et al., 2018; Kiuchi et al., 2014; Tomihara et al., 2022). Έτσι στα θηλυκά δεν εκφράζεται το γονίδιο Masculinizer (Masc) που κωδικοποιεί για μια πρωτεΐνη που είναι ένας μεταγραφικός παράγοντας και έτσι δεν εμφανίζονται οι αρσενικοί χαρακτήρες, ενώ στα αρσενικά το γονίδιο αυτό εκφράζεται και οδηγεί στην εμφάνιση των αρσενικών χαρακτήρων.

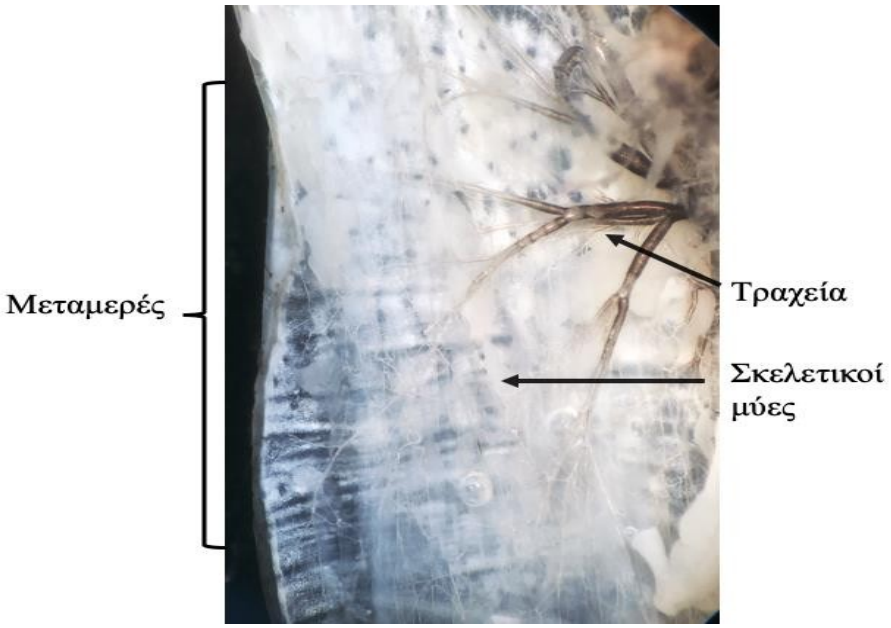
3.3.9 Το μυϊκό σύστημα του μεταξοσκώληκα

Ο μεταξοσκώληκας, όπως και τα άλλα έντομα, φέρει μόνο γραμμωτούς μύες που διακρίνονται σε σκελετικούς μύες, σπλαγχνικούς μύες και σκελετικούς-σπλαγχνικούς μύες.

Οι γραμμωτοί μύες του μεταξοσκώληκα (Εικόνα 3.22) έχουν την ίδια σχεδόν δομή, σύσταση και λειτουργία με τους μύες των Χορδωτών, αλλά η έκταση των μυών περιορίζεται από τα υφιστάμενα μεταμερή του σώματος.

Οι σκελετικοί μύες προσφύονται στην επιδερμίδα και αποτελούνται από μυϊκές ίνες τοποθετημένες παράλληλα. Έχουν συνήθως υπόλευκο χρώμα ή είναι σχετικά διαφανείς. Άλλοι σκελετικοί μύες που βρίσκονται στην κεφαλή είναι υπεύθυνοι για τις κινήσεις των σωματικών εξαρτημάτων της κεφαλής. Αυτοί οι μύες προσφύονται σε χαρακτηριστικές προεκβολές του εξωσκελετού προς το εσωτερικό του σώματος και στο σωματικό εξάρτημα που κινούν.

Οι μύες των μεταμερών βρίσκονται σε τρία στρώματα με το εξωτερικό στρώμα των μυών να τοποθετείται διαγώνια, το μεσαίο στρώμα να τοποθετείται διαγώνια και κατά μήκος του σώματος και το εσωτερικό στρώμα των μυών να τοποθετείται κατά μήκος του σώματος.



Εικόνα 3.22 *Δομή των σκελετικών μυών της προνύμφης που είναι υπεύθυνοι για την κίνηση του σώματος. Οι μυϊκές ίνες είναι δυσδιάκριτες, καθώς είναι σχετικά διαφανείς και γίνονται εμφανείς μετά την αφαίρεση του λιπώδους σωματίου. Οι μυϊκές ίνες είναι τοποθετημένες σε στρώματα και λειτουργούν όπως οι μυϊκές ίνες των άλλων ζωικών οργανισμών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Οι σπλαγχνικοί μύες ελέγχουν την κίνηση των διαφόρων οργάνων, ενώ οι σκελετικοί-σπλαγχνικοί μύες είναι υπεύθυνοι για τη στήριξη των οργάνων καθώς προσφύονται στην επιδερμίδα και στο όργανο το οποίο στηρίζουν, π.χ. τον πεπτικό σωλήνα.

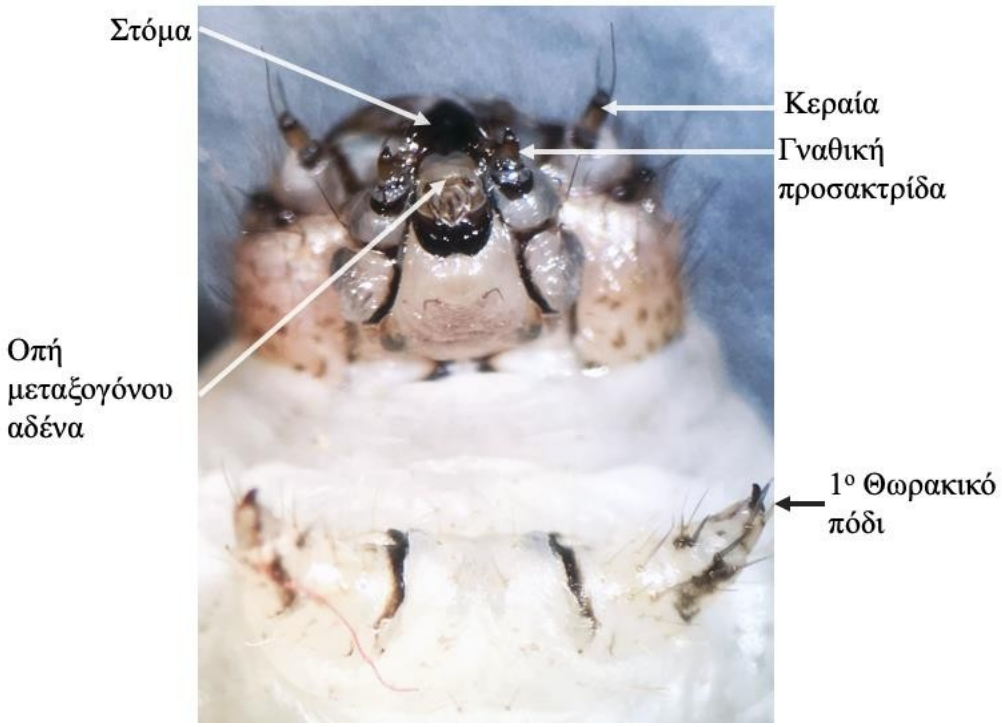
Λόγω της μεταμόρφωσης που υφίσταται ο μεταξοσκώληκας, οι μύες της προνύμφης είναι διαφορετικοί από τους μύες της νυχτοπεταλούδας. Έτσι οι μύες που ελέγχουν την κίνηση των ψευδοποδίων της προνύμφης, δεν υφίστανται στη νυχτοπεταλούδα, όπως και οι μύες που ελέγχουν την κίνηση των στοματικών εξαρτημάτων. Από την άλλη πλευρά, στη νυχτοπεταλούδα, οι μύες των πτερύγων είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένοι και καλύπτουν όλη την περιοχή του θώρακα, όπως και οι μύες που ελέγχουν τις κεραίες και τα αναπαραγωγικά όργανα της νυχτοπεταλούδας.

3.3.10 Οι μεταξογόνοι αδένες και η έκκριση του μεταξιού

Οι μεταξογόνοι αδένες είναι μετά τον πεπτικό σωλήνα το δεύτερο σε μέγεθος όργανο στο σώμα της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Οι μεταξογόνοι αδένες είναι ουσιαστικά μετασχηματισμένοι στοματικοί αδένες, εξωδερμικής προέλευσης με σχήμα κυλινδρικό και σωληνοειδές. Βρίσκονται αμφιπλευρικά του σώματος της προνύμφης και στο πρόσθιο μέρος του σώματος, ενώ στην πλήρη ανάπτυξή τους εκτείνονται μέχρι σχεδόν στο πίσω άκρο του σώματος μέχρι και το 8ο κοιλιακό μεταμερές. Είναι τυφλοί σωλήνες στο οπίσθιο άκρο τους, ενώ στο πρόσθιο άκρο τους ενώνονται λίγο πριν την οπή που επιτρέπει την ίνα του μεταξιού να εκκριθεί στο εξωτερικό περιβάλλον και η οπή αυτή βρίσκεται κάτω και κοιλιακά από τα στοματικά εξαρτήματα της προνύμφης.

Ο μεταξογόνος αδένας καλύπτεται από βασική μεμβράνη εξωτερικά και κάτω από αυτήν βρίσκεται μια στοιβάδα κυττάρων που ανάλογα με τη θέση τους εξυπηρετούν διάφορες λειτουργίες του μεταξογόνου αδένα (Ma et al., 2022). Τα κύτταρα του επιθηλίου του μεταξογόνου αδένα δεν διαιρούνται με μίτωση παρά μεγαλώνουν σε μέγεθος κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της προνύμφης και ο αριθμός των κυττάρων του μεταξογόνου αδένα είναι ενδεικτικός της ποσότητας του μεταξιού που μπορεί να παράγει κάθε προνύμφη. Εσωτερικά, ο σωλήνας του μεταξογόνου αδένα επενδύεται από βασική μεμβράνη που επιτρέπει τη διατήρηση του μεταξιού σε μια ημι-υδαρή κατάσταση. Ο μεταξογόνος αδένας διαιρείται σε τρία μέρη: τον πρόσθιο μεταξογόνο αδένα, τον μέσο μεταξογόνο αδένα και τον οπίσθιο μεταξογόνο αδένα.

Ο πρόσθιος μεταξογόνος αδένας είναι ένας λεπτός σωλήνας ευθυτενής και μικρού μήκους που ενώνεται οπίσθια με τον μέσο μεταξογόνο αδένα, ενώ πρόσθια καταλήγει στην οπή που επιτρέπει την έξοδο της ίνας του μεταξιού στο εξωτερικό περιβάλλον (Εικόνα 3.23). Τα κύτταρα του πρόσθιου μεταξογόνου αδένα δεν επιτελούν κάποια εκκριτική λειτουργία, από όσα γνωρίζουμε, ενώ στο πρόσθιο άκρο τους φέρουν μια συστάδα κυττάρων που είναι γνωστή ως αδένας του Filippi ή αδένας του Lyonet (Sehadova et al., 2021; Wang et al., 2016). Δεν είναι γνωστός ο ρόλος αυτού του αδένα στο στάδιο της προνύμφης.

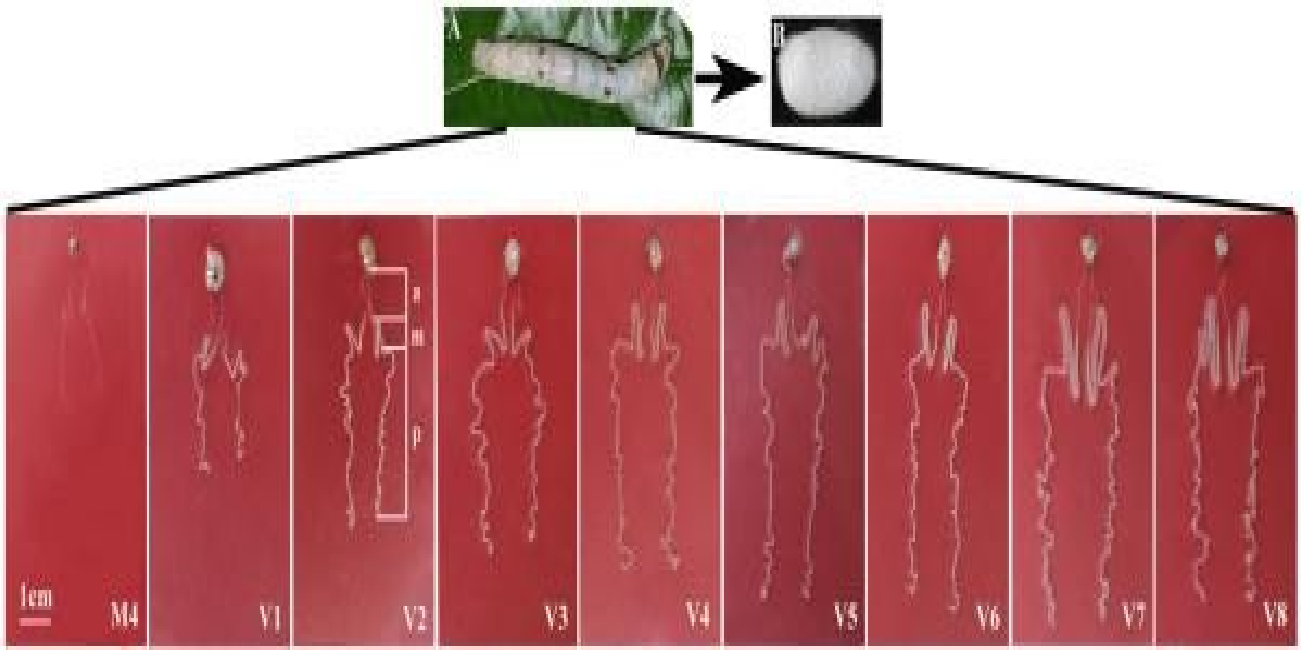


Εικόνα 3.23 *Εικόνα της κοιλιακής πλευράς της προνύμφης του μεταξοσκώληκα, όπου φαίνονται η οπή του μεταξογόνου αδένα προς το εξωτερικό περιβάλλον και τα στοματικά εξαρτήματα της προνύμφης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Ο μέσος μεταξογόνος αδένας είναι το μεγαλύτερο τμήμα του μεταξογόνου αδένα και εκεί αποθηκεύονται οι πρωτεΐνες του μεταξιού πριν εκκριθούν. Είναι συγκριτικά το πιο διογκωμένο τμήμα του μεταξογόνου αδένα και δέχεται τροφοδοσία αναπνευστικών αερίων από τραχείες που καταλήγουν σε αυτόν. Τα κύτταρα του μέσου μεταξογόνου αδένα εκκρίνουν συνδυασμούς των 4 πρωτεϊνών που κωδικοποιούνται από τα 4 διακριτά γονίδια της σερικίνης του μεταξοσκώληκα (Ma et al., 2022).

Στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της προνύμφης, διαφορετικά μόρια σερικίνης συντίθενται και εκκρίνονται στον μέσο μεταξογόνο αδένα, καθώς η προνύμφη χρησιμοποιεί το μετάξι για την αγκίστρωσή της στο υπόστρωμα κατά τη διάρκεια της κάθε έκδυσης του προνυμφικού σταδίου. Ο μέσος μεταξογόνος αδένας είναι ιδιαίτερα διακριτός σε προνύμφες που πλέκουν έγχρωμα κουκούλια, καθώς εκεί εκκρίνονται και τα μικρά οργανικά μόρια που προσδίδουν χρώμα στο κουκούλι. Ο οπίσθιος μεταξογόνος αδένας είναι ένας τυφλός σωλήνας που διακλαδίζεται έντονα και είναι υπεύθυνος για την έκκριση της βαριάς αλυσίδας της φιβροΐνης, της ελαφριάς αλυσίδας της φιβροΐνης και της πρωτεΐνης P25 (Inoue et al., 2000; Tanaka et al., 1999; Zhou et al., 2020).

Οι πρωτεΐνες αυτές εκκρίνονται στην κοιλότητα του οπίσθιου μεταξογόνου αδένα ως ένα σύμπλοκο και μετακινούνται προς τον μέσο μεταξογόνο αδένα, καθώς νέα μόρια του συμπλόκου εκκρίνονται. Το σύμπλοκο αυτό στον μέσο μεταξογόνο αδένα επενδύεται από τις εκκρινόμενες σερικίνες και είναι έτοιμο προς έκκριση προς το εξωτερικό περιβάλλον όταν αρχίσει η πλοκή του κουκουλιού. Η αύξηση του μεγέθους του μεταξογόνου αδένα στην προνύμφη είναι ιδιαίτερα εμφανής κατά τη διάρκεια της 5ης ηλικίας της προνύμφης (Εικόνα 3.24), ενώ στις προηγούμενες ηλικίες οι μεταξογόνοι αδένες είναι συγκριτικά μικροί και υποπλασμένοι.



Εικόνα 3.24 *Απεικόνιση του μεγέθους του μεταξογόνου αδένα κάθε ημέρα της 5ης ηλικίας (V1-V8) της προνύμφης του μεταξοσκώληκα (Πηγή: (Li et al., 2014), CC-BY άδεια).*

Από την έναρξη της πλοκής του κουκουλιού τα κύτταρα του μεταξογόνου αδένα υφίστανται έντονη απόπτωση και ουσιαστικά αυτό το όργανο εξαφανίζεται μετά τη μεταμόρφωση της προνύμφης σε νύμφη.

3.4 Το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα

Λόγω της σημαντικότητας του μεταξιού ως υλικού ένδυσης, του ρόλου της σηροτροφίας ως μια σημαντική αγροτική δραστηριότητα στις χώρες της Ασίας αλλά και του ρόλου του μεταξοσκώληκα ως οργανισμού-μοντέλου στη Βιολογία, το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα ήταν ένα από τα πρώτα γονιδιώματα ζωικών οργανισμών που αποκωδικοποιήθηκε το 2004 από 2 διαφορετικές ομάδες Ιαπώνων και Κινέζων επιστημόνων (Mita et al., 2004; Xia et al., 2004).

Έκτοτε έχουν γίνει διάφορες βελτιώσεις του γονιδιώματος του μεταξοσκώληκα, μέσω χαρτογράφησης διαφόρων αδιευκρίνιστων αλληλουχιών και συμπλήρωσης των άγνωστων ικριωμάτων που υπάρχουν, το 2008 (The International Silkworm Genome, 2008) και το 2009 (Xia et al., 2009), ενώ η τελευταία και η πλέον πλήρης μορφή του γονιδιώματος δημοσιεύτηκε το 2019 (Kawamoto et al., 2019). Ο λόγος αυτής της συνεχούς βελτίωσης εντοπίζεται στη συνεχή βελτίωση της τεχνολογίας αλληλούχισης του DNA που έχει γνωρίσει μια τεράστια πρόοδο τις τελευταίες 2 δεκαετίες. Έτσι πλέον είναι πολλά δεδομένα γνωστά για τον αριθμό των γονιδίων που φέρει το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα και υπάρχουν βάσεις δεδομένων για να δει κανείς τα διάφορα γονίδια του μεταξοσκώληκα και να διαβάσει περισσότερα για τον ρόλο του κάθε γονιδίου (Chen et al., 2015; Daimon et al., 2014; Goldsmith et al., 2005; S.-W. Kim et al., 2022; C.-c. Yang et al., 2021; Ye et al., 2019; Zhu et al., 2019). Αυτές οι βάσεις δεδομένων αλλά και η πληθώρα άλλων δημοσιεύσεων, έχουν καταγράψει τα διάφορα μετάγραφα των γονιδίων, τα μη κωδικοποιούμενα RNA (long non-coding RNAs), τα μεταθετά στοιχεία που υπάρχουν στο γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα (Han et al., 2018; Xu et al., 2013), αλλά έχουν οδηγήσει, επίσης, μέσω βιοπληροφορικών και πρωτεομικών αναλύσεων, στη εξακρίβωση των πρωτεϊνών που εκφράζονται σε κάθε ιστό του μεταξοσκώληκα.

Σύμφωνα με την τελευταία δημοσιευμένη εκδοχή του γονιδιώματος του μεταξοσκώληκα (Kawamoto et al., 2019), τα 28 χρωμοσώματα του μεταξοσκώληκα αποτελούνται από 460,3 εκατομμύρια βάσεις νουκλεοτιδίων και το γονιδίωμα περιέχει 16880 γονίδια με μέσο μήκος γονιδίου τις 1551 βάσεις νουκλεοτιδίων. Τα μετάγραφα αυτών των γονιδίων είναι πλέον δημόσια διαθέσιμα σε πολλές βάσεις δεδομένων (βλέπε Κεφάλαιο 11 του βιβλίου) και οι πρωτεΐνες που κωδικοποιούν είναι, όπως είναι αναμενόμενο, στο μεγαλύτερο ποσοστό τους αποτέλεσμα βιοπληροφορικών προβλέψεων (Kawamoto et al., 2019).

Η ύπαρξη του γονιδιώματος έχει, όπως είναι επακόλουθο, οδηγήσει σε έναν τεράστιο αριθμό δημοσιεύσεων που αφορούν την ανάλυση των οικογενειών των πρωτεϊνών που εκφράζονται στους διάφορους ιστούς του μεταξοσκώληκα και έχει οδηγήσει στην εξακρίβωση πολλών μηχανισμών που αφορούν τόσο στην παραγωγή του μεταξιού όσο και στη γενικότερη βιολογία ανάπτυξης του εντόμου (Ma et al., 2022; Tong et al., 2022). Για παράδειγμα, η ύπαρξη του γονιδιώματος και οι τεχνολογικές εξελίξεις στην ανάλυση των μεταγράφων του γονιδιώματος οδήγησε στην αναγνώριση 10 διαφορετικών τύπων κυττάρων που είναι υπεύθυνα για τη δομή και λειτουργία του μεταξογόνου αδένα (Ma et al., 2022), ένα εντυπωσιακό επίτευγμα που δεν θα ήταν εφικτό πριν από λίγα χρόνια χωρίς την εντυπωσιακή εξέλιξη στις τεχνολογίες αποκωδικοποίησης των γονιδιωμάτων. Επίσης, η ύπαρξη του γονιδιώματος του μεταξοσκώληκα επέτρεψε τη χαρτογράφηση των εκατοντάδων μεταγραφικών παραγόντων του μεταξοσκώληκα και του θεμελιώδους ρόλου που παίζουν στην ανάπτυξη αυτού του εντόμου (Huang et al., 2012). Ουσιαστικά, η εκμετάλλευση του γονιδιώματος του μεταξοσκώληκα με στόχο την εμβάθυνση στη γνώση για αυτόν τον οργανισμό-μοντέλο έχει μόλις αρχίσει.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Anderson, A. R., Wanner, K. W., Trowell, S. C., Warr, C. G., Jaquin-Joly, E., Zagatti, P., Robertson, H., & Newcomb, R. D. (2009). Molecular basis of female-specific odorant responses in Bombyx mori. *Insect Biochem Mol Biol*, *39*(3), 189-197. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2008.11.002

Banno, Y., Nakamura, T., Nagashima, E., Fujii, H., & Doira, H. (2004). M chromosome of the wild silkworm, Bombyx mandarina (n = 27), corresponds to two chromosomes in the domesticated silkworm, Bombyx mori (n = 28). *Genome*, *47*(1), 96-101. https://doi.org/10.1139/g03-112 %M 15060606

Banno, Y., Shimada, T., Kajiura, Z., & Sezutsu, H. (2010). The silkworm-an attractive BioResource supplied by Japan. *Exp Anim*, *59*(2), 139-146. https://doi.org/10.1538/expanim.59.139

Butenandt V, A. (1959). Uber den sexsual-lockstoff des seidenspinners Bombyx mori. *Reindarstellung und konstitution. Z. Naturforschg, b*, *14*, 283. https://cir.nii.ac.jp/crid/1570009750241525120

Chen, D. B., Zhang, R. S., Bian, H. X., Li, Q., Xia, R. X., Li, Y. P., Liu, Y. Q., & Lu, C. (2019). Comparative mitochondrial genomes provide new insights into the true wild progenitor and origin of domestic silkworm Bombyx mori. *Int J Biol Macromol*, *131*, 176-183. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.002

Chen, K., & Lu, Z. (2018). Immune responses to bacterial and fungal infections in the silkworm, Bombyx mori. *Dev Comp Immunol*, *83*, 3-11. https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.12.024

Chen, S., Dong, Z., Ren, X., Zhao, D., Zhang, Y., Tang, M., Han, J., Ye, L., & Zhao, P. (2019). Proteomic Identification of Immune-Related Silkworm Proteins Involved in the Response to Bacterial Infection. *Journal of Insect Science*, *19*(4). https://doi.org/10.1093/jisesa/iez056

Chen, Z., Nohata, J., Guo, H., Li, S., Liu, J., Guo, Y., Yamamoto, K., Kadono-Okuda, K., Liu, C., Arunkumar, K. P., Nagaraju, J., Zhang, Y., Liu, S., Labropoulou, V., Swevers, L., Tsitoura, P., Iatrou, K., Gopinathan, K. P., Goldsmith, M. R., Xia, Q., & Mita, K. (2015). Construction, complete sequence, and annotation of a BAC contig covering the silkworm chorion locus. *Scientific data*, *2*, 150062-150062. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.62

Cheng, D., Cheng, T., Yang, X., Zhang, Q., Fu, J., Feng, T., Gong, J., & Xia, Q. (2018). The genome-wide transcriptional regulatory landscape of ecdysone in the silkworm. *Epigenetics Chromatin*, *11*(1), 48. https://doi.org/10.1186/s13072-018-0216-y

Choudary, P. V., Kamita, S. G., & Maeda, S. (1995). Expression of foreign genes in Bombyx mori larvae using baculovirus vectors. *Methods Mol Biol*, *39*, 243-264. https://doi.org/10.1385/0-89603-272-8:243

Čižmár, D., Roller, L., Pillerová, M., Sláma, K., & Žitňan, D. (2019). Multiple neuropeptides produced by sex-specific neurons control activity of the male accessory glands and gonoducts in the silkworm Bombyx mori. *Scientific Reports*, *9*(1), 2253. https://doi.org/10.1038/s41598-019-38761-x

Daimon, T., Kiuchi, T., & Takasu, Y. (2014). Recent progress in genome engineering techniques in the silkworm, Bombyx mori. *Dev Growth Differ*, *56*(1), 14-25. https://doi.org/10.1111/dgd.12096

Daubnerová, I., Roller, L., Satake, H., Zhang, C., Kim, Y. J., & Žitňan, D. (2021). Identification and function of ETH receptor networks in the silkworm Bombyx mori. *Sci Rep*, *11*(1), 11693. https://doi.org/10.1038/s41598-021-91022-8

Feng, M., Xia, J., Fei, S., Peng, R., Wang, X., Zhou, Y., Wang, P., Swevers, L., & Sun, J. (2021). Identification of Silkworm Hemocyte Subsets and Analysis of Their Response to Baculovirus Infection Based on Single-Cell RNA Sequencing. *Front Immunol*, *12*, 645359. https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.645359

Gadwala, M., Vootla, S., Tewary, P., & Babulal. (2021). Chapter 6 - Immune mechanism in silkworm Bombyx mori L. In V. Gurtler & G. Subrahmanyam (Eds.), *Methods in Microbiology* (Vol. 49, pp. 115-141). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.mim.2021.04.006

Gillespie, J. P., and, Kanost, M. R., & Trenczek, T. (1997). Biological Mediators od Insect Immunity. *Annual Review of Entomology*, *42*(1), 611-643. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.42.1.611

Goldsmith, M. R., Shimada, T., & Abe, H. (2005). The Genetics and Genomics of the silkworm, Bombyx mori. *Annual Review of Entomology*, *50*(1), 71-100. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130456

Gong, D. P., Zhang, H. J., Zhao, P., Xia, Q. Y., & Xiang, Z. H. (2009). The odorant binding protein gene family from the genome of silkworm, Bombyx mori. *BMC Genomics*, *10*, 332. https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-332

González-Santoyo, I., & Córdoba-Aguilar, A. (2012). Phenoloxidase: a key component of the insect immune system. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *142*(1), 1-16. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01187.x

Guo, E., He, Q., Liu, S., Tian, L., Sheng, Z., Peng, Q., Guan, J., Shi, M., Li, K., Gilbert, L. I., Wang, J., Cao, Y., & Li, S. (2012). MET is required for the maximal action of 20-hydroxyecdysone during Bombyx metamorphosis. *PloS one*, *7*(12), e53256. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053256

Guo, H., Cheng, T., Chen, Z., Jiang, L., Guo, Y., Liu, J., Li, S., Taniai, K., Asaoka, K., Kadono-Okuda, K., Arunkumar, K. P., Wu, J., Kishino, H., Zhang, H., Seth, R. K., Gopinathan, K. P., Montagné, N., Jacquin-Joly, E., Goldsmith, M. R., Xia, Q., & Mita, K. (2017). Expression map of a complete set of gustatory receptor genes in chemosensory organs of Bombyx mori. *Insect Biochem Mol Biol*, *82*, 74-82. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2017.02.001

Han, M. J., Xu, H. E., Xiong, X. M., & Zhang, H. H. (2018). Evolutionary dynamics of transposable elements during silkworm domestication. *Genes Genomics*, *40*(10), 1041-1051. https://doi.org/10.1007/s13258-018-0713-1

Hehlert, P., Zhang, W., & Göpfert, M. C. (2021). Drosophila Mechanosensory Transduction. *Trends Neurosci*, *44*(4), 323-335. https://doi.org/10.1016/j.tins.2020.11.001

Hiratsuka, E. (1969). *Silkwrom Breeding* (1st Edition ed.). Sericulture Science Research Centre/CRC Press.

Huang, L., Cheng, T., Xu, P., Fang, T., & Xia, Q. (2012). Bombyx mori transcription factors: genome-wide identification, expression profiles and response to pathogens by microarray analysis. *Journal of insect science (Online)*, *12*, 40-40. https://doi.org/10.1673/031.012.4001

Huang, M. X., Du, J., Su, B. J., Zhao, G. D., Shen, W. D., & Wei, Z. G. (2014). The expression profile and promoter analysis of ultraspiracle gene in the silkworm Bombyx mori. *Mol Biol Rep*, *41*(12), 7955-7965. https://doi.org/10.1007/s11033-014-3690-8

Huang, W., Zhang, J., Yang, B., Beerntsen, B. T., Song, H., & Ling, E. (2016). DNA duplication is essential for the repair of gastrointestinal perforation in the insect midgut. *Sci Rep*, *6*, 19142. https://doi.org/10.1038/srep19142

Inoue, S., Tanaka, K., Arisaka, F., Kimura, S., Ohtomo, K., & Mizuno, S. (2000). Silk Fibroin of Bombyx mori Is Secreted, Assembling a High Molecular Mass Elementary Unit Consisting of H-chain, L-chain, and P25, with a 6:6:1 Molar Ratio*. *Journal of Biological Chemistry*, *275*(51), 40517-40528. https://doi.org/10.1074/jbc.M006897200

Ishizaki, H., & Suzuki, A. (1994). The brain secretory peptides that control moulting and metamorphosis of the silkmoth, Bombyx mori. *Int J Dev Biol*, *38*(2), 301-310.

Kaissling, K. E. (2014). Frontiers in Neuroscience Pheromone Reception in Insects: The Example of Silk Moths. In C. Mucignat-Caretta (Ed.), *Neurobiology of Chemical Communication*. CRC Press/Taylor & Francis © 2014 by Taylor & Francis Group, LLC.

Kajiura, H., Tatematsu, K. I., Nomura, T., Miyazawa, M., Usami, A., Tamura, T., Sezutsu, H., & Fujiyama, K. (2022). Insights into the quality of recombinant proteins produced by two different Bombyx mori expression systems. *Sci Rep*, *12*(1), 18502. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22565-7

Kamita, S. G., Nagasaka, K., Chua, J. W., Shimada, T., Mita, K., Kobayashi, M., Maeda, S., & Hammock, B. D. (2005). A baculovirus-encoded protein tyrosine phosphatase gene induces enhanced locomotory

activity in a lepidopteran host. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(7), 2584-2589. https://doi.org/10.1073/pnas.0409457102

Kamiyama, T., & Niwa, R. (2022). Transcriptional Regulators of Ecdysteroid Biosynthetic Enzymes and Their Roles in Insect Development [Review]. *Frontiers in physiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.823418

Kato, T., Kajikawa, M., Maenaka, K., & Park, E. Y. (2010). Silkworm expression system as a platform technology in life science. *Appl Microbiol Biotechnol*, *85*(3), 459-470. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2267-2

Katsuma, S., Kiuchi, T., Kawamoto, M., Fujimoto, T., & Sahara, K. (2018). Unique sex determination system in the silkworm, Bombyx mori: current status and beyond. *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci*, *94*(5), 205-216. https://doi.org/10.2183/pjab.94.014

Kawaguchi, Y., Tatsuke, T., Kusakabe, T., Man, L., & Katsumi Koga, J. (2008). Singular compound eye architecture of the varnished eye mutation, ve, in Bombyx mori. *Journal of Insect Biotechnology and Sericology*, *77*(1), 1_53-51_57. https://doi.org/10.11416/jibs.77.1_53

Kawamoto, M., Jouraku, A., Toyoda, A., Yokoi, K., Minakuchi, Y., Katsuma, S., Fujiyama, A., Kiuchi, T., Yamamoto, K., & Shimada, T. (2019). High-quality genome assembly of the silkworm, Bombyx mori. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *107*, 53-62. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2019.02.002

Kayukawa, T., Furuta, K., Nagamine, K., Shinoda, T., Yonesu, K., & Okabe, T. (2020). Identification of a juvenile-hormone signaling inhibitor via high-throughput screening of a chemical library. *Scientific Reports*, *10*(1), 18413-18413. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75386-x

Kim, M. J., Park, J. S., Kim, H., Kim, S. R., Kim, S. W., Kim, K. Y., Kwak, W., & Kim, I. (2022). Phylogeographic Relationships among Bombyx mandarina (Lepidoptera: Bombycidae) Populations and Their Relationships to B. mori Inferred from Mitochondrial Genomes. *Biology (Basel)*, *11*(1). https://doi.org/10.3390/biology11010068

Kim, S.-W., Kim, M. J., Kim, S.-R., Park, J. S., Kim, K.-Y., Kim, K. H., Kwak, W., & Kim, I. (2022). Whole-genome sequences of 37 breeding line Bombyx mori strains and their phenotypes established since 1960s. *Scientific data*, *9*(1), 189. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01289-3

Kingan, T. G., Cardullo, R. A., & Adams, M. E. (2001). Signal transduction in eclosion hormone-induced secretion of ecdysis-triggering hormone. *J Biol Chem*, *276*(27), 25136-25142. https://doi.org/10.1074/jbc.M102421200

Kiriishi, S., Rountree, D. B., Sakurai, S., & Gilbert, L. I. (1990). Prothoracic gland synthesis of 3-dehydroecdysone and its hemolymph 3β-reductase mediated conversion to ecdysone in representative insects. *Experientia*, *46*(7), 716-721. https://doi.org/10.1007/BF01939944

Kiuchi, T., Koga, H., Kawamoto, M., Shoji, K., Sakai, H., Arai, Y., Ishihara, G., Kawaoka, S., Sugano, S., Shimada, T., Suzuki, Y., Suzuki, M. G., & Katsuma, S. (2014). A single female-specific piRNA is the primary determiner of sex in the silkworm. *Nature*, *509*(7502), 633-636. https://doi.org/10.1038/nature13315

Komoto, N. (2017). Behavior of the larvae of wild mulberry silkworm Bombyx mandarina, domesticated silkworm B. mori and their hybrid. *Journal of Insect Biotechnology and Sericology*, *86*(1), 1_017-011_020. https://doi.org/10.11416/jibs.86.1_017

Lavine, M. D., & Strand, M. R. (2002). Insect hemocytes and their role in immunity. *Insect Biochem Mol Biol*, *32*(10), 1295-1309. https://doi.org/10.1016/s0965-1748(02)00092-9

Li, D., Guo, Y., Shao, H., Tellier, L. C., Wang, J., Xiang, Z., & Xia, Q. (2010). Genetic diversity, molecular phylogeny and selection evidence of the silkworm mitochondria implicated by complete resequencing of 41 genomes. *BMC Evol Biol*, *10*, 81. https://doi.org/10.1186/1471-2148-10-81

Li, J., Cai, Y., Ye, L., Wang, S., Che, J., You, Z., Yu, J., & Zhong, B. (2014). MicroRNA expression profiling of the fifth-instar posterior silk gland of Bombyx mori. *BMC Genomics*, *15*(1), 410. https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-410

Liu, X., Ning, X., Zhang, Y., Chen, W., Zhao, Z., & Zhang, Q. (2012). Peptidomic Analysis of the Brain and Corpora Cardiaca-Corpora Allata Complex in the Bombyx mori. *Int J Pept*, *2012*, 640359. https://doi.org/10.1155/2012/640359

Ma, Y., Zeng, W., Ba, Y., Luo, Q., Ou, Y., Liu, R., Ma, J., Tang, Y., Hu, J., Wang, H., Tang, X., Mu, Y., Li, Q., Chen, Y., Ran, Y., Xiang, Z., & Xu, H. (2022). A single-cell transcriptomic atlas characterizes the silk-producing organ in the silkworm. *Nature communications*, *13*(1), 3316. https://doi.org/10.1038/s41467-022-31003-1

Maeda, S., Kawai, T., Obinata, M., Fujiwara, H., Horiuchi, T., Saeki, Y., Sato, Y., & Furusawa, M. (1985). Production of human alpha-interferon in silkworm using a baculovirus vector. *Nature*, *315*(6020), 592-594. https://doi.org/10.1038/315592a0

Mang, D., Shu, M., Endo, H., Yoshizawa, Y., Nagata, S., Kikuta, S., & Sato, R. (2016). Expression of a sugar clade gustatory receptor, BmGr6, in the oral sensory organs, midgut, and central nervous system of larvae of the silkworm Bombyx mori. *Insect Biochem Mol Biol*, *70*, 85-98. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2015.12.008

Mang, D., Shu, M., Tanaka, S., Nagata, S., Takada, T., Endo, H., Kikuta, S., Tabunoki, H., Iwabuchi, K., & Sato, R. (2016). Expression of the fructose receptor BmGr9 and its involvement in the promotion of feeding, suggested by its co-expression with neuropeptide F1 in Bombyx mori. *Insect Biochem Mol Biol*, *75*, 58-69. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2016.06.001

Matsumoto, S., Hull, J. J., Ohnishi, A., Moto, K., & Fónagy, A. (2007). Molecular mechanisms underlying sex pheromone production in the silkmoth, Bombyx mori: characterization of the molecular components involved in bombykol biosynthesis. *J Insect Physiol*, *53*(8), 752-759. https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.02.014

Matsumoto, S., Ohnishi, A., Lee, J. M., & Hull, J. J. (2010). Unraveling the pheromone biosynthesis activating neuropeptide (PBAN) signal transduction cascade that regulates sex pheromone production in moths. *Vitam Horm*, *83*, 425-445. https://doi.org/10.1016/s0083-6729(10)83018-3

Mita, K., Kasahara, M., Sasaki, S., Nagayasu, Y., Yamada, T., Kanamori, H., Namiki, N., Kitagawa, M., Yamashita, H., Yasukochi, Y., Kadono-Okuda, K., Yamamoto, K., Ajimura, M., Ravikumar, G., Shimomura, M., Nagamura, Y., Shin, I. T., Abe, H., Shimada, T., Morishita, S., & Sasaki, T. (2004). The genome sequence of silkworm, Bombyx mori. *DNA Res*, *11*(1), 27-35. https://doi.org/10.1093/dnares/11.1.27

Nagasawa, H. (1992). Neuropeptides of the silkworm, Bombyx mori. *Experientia*, *48*(5), 425-430. https://doi.org/10.1007/bf01928160

Nagasawa, H., Kuniyoshi, H., Arima, R., Kawano, T., Ando, T., & Suzuki, A. (1994). Structure and activity of Bombyx PBAN. *Arch Insect Biochem Physiol*, *25*(4), 261-270. https://doi.org/10.1002/arch.940250403

Nakahara, Y., Kanamori, Y., Kiuchi, M., & Kamimura, M. (2010). Two Hemocyte Lineages Exist in Silkworm Larval Hematopoietic Organ. *PloS one*, *5*(7), e11816. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011816

Nesa, J., Sadat, A., Buccini, D. F., Kati, A., Mandal, A. K., & Franco, O. L. (2020). Antimicrobial peptides from Bombyx mori: a splendid immune defense response in silkworms [10.1039/C9RA06864C]. *RSC Advances*, *10*(1), 512-523. https://doi.org/10.1039/C9RA06864C

Niwa, R., & Niwa, Y. S. (2014). Enzymes for ecdysteroid biosynthesis: their biological functions in insects and beyond. *Biosci Biotechnol Biochem*, *78*(8), 1283-1292. https://doi.org/10.1080/09168451.2014.942250

Omura, S. (1950). Researches on the behavior and ecological characteristics of the wild silkworm Bombyx mandarina. *Bulletin Sericul Expt Sta Japan*, *13*(3), 79-130. https://eurekamag.com/research/025/388/025388608.php

Otsuki, R. (1997). *Silkworm Egg Production*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=eGboPAAACAAJ

Riddiford, L. M. (2020). Rhodnius, Golden Oil, and Met: A History of Juvenile Hormone Research. *Front Cell Dev Biol*, *8*, 679. https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00679

Roller, L., Yamanaka, N., Watanabe, K., Daubnerová, I., Zitnan, D., Kataoka, H., & Tanaka, Y. (2008). The unique evolution of neuropeptide genes in the silkworm Bombyx mori. *Insect Biochem Mol Biol*, *38*(12), 1147-1157. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2008.04.009

Sakurai, T., Mitsuno, H., Mikami, A., Uchino, K., Tabuchi, M., Zhang, F., Sezutsu, H., & Kanzaki, R. (2015). Targeted disruption of a single sex pheromone receptor gene completely abolishes in vivo pheromone response in the silkmoth. *Scientific Reports*, *5*, 11001-11001. https://doi.org/10.1038/srep11001

Sakurai, T., Namiki, S., & Kanzaki, R. (2014). Molecular and neural mechanisms of sex pheromone reception and processing in the silkmoth Bombyx mori. *Frontiers in physiology*, *5*, 125. https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00125

Sehadova, H., Zavodska, R., Rouhova, L., Zurovec, M., & Sauman, I. (2021). The Role of Filippi's Glands in the Silk Moths Cocoon Construction. *Int J Mol Sci*, *22*(24). https://doi.org/10.3390/ijms222413523

Strand, M. R. (2008). The insect cellular immune response. *Insect Science*, *15*(1), 1-14. https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2008.00183.x

Sun, W., Yu, H., Shen, Y., Banno, Y., Xiang, Z., & Zhang, Z. (2012). Phylogeny and evolutionary history of the silkworm. *Science China Life Sciences*, *55*(6), 483-496. https://doi.org/10.1007/s11427-012-4334-7

Tabuchi, M., Sakurai, T., Mitsuno, H., Namiki, S., Minegishi, R., Shiotsuki, T., Uchino, K., Sezutsu, H., Tamura, T., Haupt, S. S., Nakatani, K., & Kanzaki, R. (2013). Pheromone responsiveness threshold depends on temporal integration by antennal lobe projection neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(38), 15455-15460. https://doi.org/10.1073/pnas.1313707110

Tamura, T., Thibert, C., Royer, C., Kanda, T., Abraham, E., Kamba, M., Komoto, N., Thomas, J. L., Mauchamp, B., Chavancy, G., Shirk, P., Fraser, M., Prudhomme, J. C., & Couble, P. (2000). Germline transformation of the silkworm Bombyx mori L. using a piggyBac transposon-derived vector. *Nat Biotechnol*, *18*(1), 81-84. https://doi.org/10.1038/71978

Tanaka, K., Inoue, S., & Mizuno, S. (1999). Hydrophobic interaction of P25, containing Asn-linked oligosaccharide chains, with the H-L complex of silk fibroin produced by Bombyx mori. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *29*(3), 269-276. https://doi.org/10.1016/S0965-1748(98)00135-0

Tanaka, K., Uda, Y., Ono, Y., Nakagawa, T., Suwa, M., Yamaoka, R., & Touhara, K. (2009). Highly Selective Tuning of a Silkworm Olfactory Receptor to a Key Mulberry Leaf Volatile. *Current Biology*, *19*(11), 881-890. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.04.035

Tazima, Y. (1978). *The Silkworm: An Important Laboratory Tool*. Kodansha. https://books.google.gr/books?id=JprwAAAAMAAJ

Teigler, D. J., & Arnott, H. J. (1972). Crystal development in the malpighian tubules of Bombyx mori (L.). *Tissue Cell*, *4*(1), 173-185. https://doi.org/10.1016/s0040-8166(72)80014-4

The International Silkworm Genome, C. (2008). The genome of a lepidopteran model insect, the silkworm Bombyx mori. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *38*(12), 1036-1045. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2008.11.004

Tomihara, K., Katsuma, S., & Kiuchi, T. (2022). Transcriptome analysis in the silkworm Bombyx mori overexpressing piRNA-resistant Masculinizer gene. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *616*, 104-109. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2022.05.073

Tong, X., Han, M. J., Lu, K., Tai, S., Liang, S., Liu, Y., Hu, H., Shen, J., Long, A., Zhan, C., Ding, X., Liu, S., Gao, Q., Zhang, B., Zhou, L., Tan, D., Yuan, Y., Guo, N., Li, Y. H., Wu, Z., Liu, L., Li, C., Lu, Y., Gai, T., Zhang, Y., Yang, R., Qian, H., Liu, Y., Luo, J., Zheng, L., Lou, J., Peng, Y., Zuo, W., Song, J., He, S., Wu, S., Zou, Y., Zhou, L., Cheng, L., Tang, Y., Cheng, G., Yuan, L., He, W., Xu, J., Fu, T., Xiao, Y., Lei, T., Xu, A., Yin, Y., Wang, J., Monteiro, A., Westhof, E., Lu, C., Tian, Z., Wang, W., Xiang, Z., & Dai, F. (2022). High-resolution silkworm pan-genome provides genetic insights into artificial selection and ecological adaptation. *Nature communications*, *13*(1), 5619. https://doi.org/10.1038/s41467-022-33366-x

Tsuneto, K., Endo, H., Shii, F., Sasaki, K., Nagata, S., & Sato, R. (2020). Diet choice: The two-factor host acceptance system of silkworm larvae. *PLOS Biology*, *18*(9), e3000828. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000828

Tuthill, J. C., & Wilson, R. I. (2016). Mechanosensation and Adaptive Motor Control in Insects. *Curr Biol*, *26*(20), R1022-r1038. https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.06.070

Vogt, R. G., Große-Wilde, E., & Zhou, J. J. (2015). The Lepidoptera Odorant Binding Protein gene family: Gene gain and loss within the GOBP/PBP complex of moths and butterflies. *Insect Biochem Mol Biol*, *62*, 142-153. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2015.03.003

Wang, X., Li, Y., Peng, L., Chen, H., Xia, Q., & Zhao, P. (2016). Comparative transcriptome analysis of Bombyx mori spinnerets and Filippi's glands suggests their role in silk fiber formation. *Insect Biochem Mol Biol*, *68*, 89-99. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2015.11.003

Wanner, K. W., & Robertson, H. M. (2008). The gustatory receptor family in the silkworm moth Bombyx mori is characterized by a large expansion of a single lineage of putative bitter receptors. *Insect Molecular Biology*, *17*(6), 621-629. https://doi.org/10.1111/j.1365-2583.2008.00836.x

Xia, Q., Guo, Y., Zhang, Z., Li, D., Xuan, Z., Li, Z., Dai, F., Li, Y., Cheng, D., Li, R., Cheng, T., Jiang, T., Becquet, C., Xu, X., Liu, C., Zha, X., Fan, W., Lin, Y., Shen, Y., Jiang, L., Jensen, J., Hellmann, I., Tang, S., Zhao, P., Xu, H., Yu, C., Zhang, G., Li, J., Cao, J., Liu, S., He, N., Zhou, Y., Liu, H., Zhao, J., Ye, C., Du, Z., Pan, G., Zhao, A., Shao, H., Zeng, W., Wu, P., Li, C., Pan, M., Li, J., Yin, X., Li, D., Wang, J., Zheng, H., Wang, W., Zhang, X., Li, S., Yang, H., Lu, C., Nielsen, R., Zhou, Z., Wang, J., Xiang, Z., & Wang, J. (2009). Complete resequencing of 40 genomes reveals domestication events and genes in silkworm (Bombyx). *Science (New York, N.Y.)*, *326*(5951), 433-436. https://doi.org/10.1126/science.1176620

Xia, Q., Zhou, Z., Lu, C., Cheng, D., Dai, F., Li, B., Zhao, P., Zha, X., Cheng, T., Chai, C., Pan, G., Xu, J., Liu, C., Lin, Y., Qian, J., Hou, Y., Wu, Z., Li, G., Pan, M., Li, C., Shen, Y., Lan, X., Yuan, L., Li, T., Xu, H., Yang, G., Wan, Y., Zhu, Y., Yu, M., Shen, W., Wu, D., Xiang, Z., Yu, J., Wang, J., Li, R., Shi, J., Li, H., Li, G., Su, J., Wang, X., Li, G., Zhang, Z., Wu, Q., Li, J., Zhang, Q., Wei, N., Xu, J., Sun, H., Dong, L., Liu, D., Zhao, S., Zhao, X., Meng, Q., Lan, F., Huang, X., Li, Y., Fang, L., Li, C., Li, D., Sun, Y., Zhang, Z., Yang, Z., Huang, Y., Xi, Y., Qi, Q., He, D., Huang, H., Zhang, X., Wang, Z., Li, W., Cao, Y., Yu, Y., Yu, H., Li, J., Ye, J., Chen, H., Zhou, Y., Liu, B., Wang, J., Ye, J., Ji, H., Li, S., Ni, P., Zhang, J., Zhang, Y., Zheng, H., Mao, B., Wang, W., Ye, C., Li, S., Wang, J., Wong, G. K.-S., & Yang, H. (2004). A Draft Sequence for the Genome of the Domesticated Silkworm Bombyx mori. *Science (New York, N.Y.)*, *306*(5703), 1937-1940. https://doi.org/10.1126/science.1102210

Xiang, H., Liu, X., Li, M., Zhu, Y. n., Wang, L., Cui, Y., Liu, L., Fang, G., Qian, H., Xu, A., Wang, W., & Zhan, S. (2018). The evolutionary road from wild moth to domestic silkworm. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(8), 1268-1279. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0593-4

Xu, H. E., Zhang, H. H., Xia, T., Han, M. J., Shen, Y. H., & Zhang, Z. (2013). BmTEdb: a collective database of transposable elements in the silkworm genome. *Database : the journal of biological databases and curation*, *2013*, bat055. https://doi.org/10.1093/database/bat055

Xu, W. (2020). How do moth and butterfly taste?-Molecular basis of gustatory receptors in Lepidoptera. *Insect Sci*, *27*(6), 1148-1157. https://doi.org/10.1111/1744-7917.12718

Yang, C.-c., Yokoi, K., Yamamoto, K., & Jouraku, A. (2021). An update of KAIKObase, the silkworm genome database. *Database*, *2021*. https://doi.org/10.1093/database/baaa099

Yang, X., Chen, K., Wang, Y., Yang, D., & Huang, Y. (2021). The Sex Determination Cascade in the Silkworm. *Genes*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/genes12020315

Yang, Y., Tang, H., Zhang, Y., Zhu, F., Lü, P., Yao, Q., & Chen, K. (2018). Research progress on the immune mechanism of the silkworm Bombyx mori. *Physiological Entomology*, *43*(3), 159-168. https://doi.org/10.1111/phen.12241

Ye, X., Tang, X., Wang, X., Che, J., Wu, M., Liang, J., Ye, L., Qian, Q., Li, J., You, Z., Zhang, Y., Wang, S., & Zhong, B. (2019). Improving Silkworm Genome Annotation Using a Proteogenomics Approach. *J Proteome Res*, *18*(8), 3009-3019. https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.8b00965

Zhang, H. J., Faucher, C. P., Anderson, A., Berna, A. Z., Trowell, S., Chen, Q. M., Xia, Q. Y., & Chyb, S. (2013). Comparisons of contact chemoreception and food acceptance by larvae of polyphagous

Helicoverpa armigera and oligophagous Bombyx mori. *J Chem Ecol*, *39*(8), 1070-1080. https://doi.org/10.1007/s10886-013-0303-2

Zhang, T., Song, W., Li, Z., Qian, W., Wei, L., Yang, Y., Wang, W., Zhou, X., Meng, M., Peng, J., Xia, Q., Perrimon, N., & Cheng, D. (2018). Krüppel homolog 1 represses insect ecdysone biosynthesis by directly inhibiting the transcription of steroidogenic enzymes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(15), 3960-3965. https://doi.org/10.1073/pnas.1800435115

Zhang, Z.-J., Zhang, S.-S., Niu, B.-L., Ji, D.-F., Liu, X.-J., Li, M.-W., Bai, H., Palli, S. R., Wang, C.-Z., & Tan, A.-J. (2019). A determining factor for insect feeding preference in the silkworm, Bombyx mori. *PLOS Biology*, *17*(2), e3000162. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000162

Zhong, X.-w., Zou, Y., Liu, S.-p., Yi, Q.-y., Hu, C.-m., Wang, C., Xia, Q.-y., & Zhao, P. (2013). Proteomic-based insight into Malpighian tubules of silkworm Bombyx mori. *PloS one*, *8*(9), e75731-e75731. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075731

Zhou, Q.-Z., Fu, P., Li, S.-S., Zhang, C.-J., Yu, Q.-Y., Qiu, C.-Z., Zhang, H.-B., & Zhang, Z. (2020). A Comparison of Co-expression Networks in Silk Gland Reveals the Causes of Silk Yield Increase During Silkworm Domestication. *Frontiers in genetics*, *11*, 225-225. https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00225

Zhu, Z., Guan, Z., Liu, G., Wang, Y., & Zhang, Z. (2019). SGID: a comprehensive and interactive database of the silkworm. *Database : the journal of biological databases and curation*, *2019*, baz134. https://doi.org/10.1093/database/baz134

Zitnan, D., Hollar, L., Spalovská, I., Takác, P., Zitnanová, I., Gill, S. S., & Adams, M. E. (2002). Molecular cloning and function of ecdysis-triggering hormones in the silkworm Bombyx mori. *J Exp Biol*, *205*(Pt 22), 3459-3473. https://doi.org/10.1242/jeb.205.22.3459

Zitnan, D., Zitnanová, I., Spalovská, I., Takác, P., Park, Y., & Adams, M. E. (2003). Conservation of ecdysis-triggering hormone signalling in insects. *J Exp Biol*, *206*(Pt 8), 1275-1289. https://doi.org/10.1242/jeb.00261

Ελληνόγλωσση

Παπαναούμ, Γ. (1950). *Σηροτροφία*. Εκδ.: Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Γεωργίας.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Ποια είναι η φερορμόνη του μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Η βομβυκόλη ((E,Z)-10,12- hexadecadienol), μια πτητική χημική ένωση που απομονώθηκε το 1959 από αυτούς τους εξωκρινείς αδένες της θηλυκής νυχτοπεταλούδας που την παράγουν.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Γιατί είναι απαραίτητη η χοληστερόλη για τον μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Διότι τα έντομα δεν μπορούν να συνθέσουν τη χοληστερόλη στο σώμα τους, αλλά πρέπει να την προσλαμβάνουν από την τροφή τους για να συνθέσουν από τη χοληστερόλη την εκδυσόνη, τη βασική ορμόνη που καθορίζει την έκδυση και μεταμόρφωση του μεταξοσκώληκα.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Πότε δημοσιεύτηκε το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα και πόσα γονίδια πιστεύεται ότι κωδικοποιούνται από το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα δημοσιεύτηκε το 2004 και τα πλέον πρόσφατα δεδομένα δείχνουν ότι κωδικοποιούνται 16880 γονίδια από το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα.

Κεφάλαιο 4: Βιολογία και Ανάπτυξη του Μεταξοσκώληκα

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθούν τα επιστημονικά δεδομένα που αφορούν την ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα και την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του. Οι ενότητες του κεφαλαίου περιλαμβάνουν την εμβρυϊκή και τη μετα-εμβρυϊκή ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα, την εξωτερική και εσωτερική ανατομία όλων των σταδίων του κύκλου ζωής του εντόμου, καθώς και τη φυσιολογία ανάπτυξης της προνύμφης. Έμφαση δίνεται στο τέλος του κεφαλαίου στη διατροφή του μεταξοσκώληκα με τεχνητή δίαιτα, καθώς αυτό αποτελεί μια σημαντική παράμετρο του επιστημονικού κλάδου της σηροτροφίας που οδήγησε στην ανακάλυψη και διαλεύκανση πολλών παραμέτρων που αφορούν τη διατροφή των εντόμων γενικότερα. Στόχος του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει μέσα από εικόνες και πίνακες την ανατομία του σώματος και τους μηχανισμούς ανάπτυξης του εντόμου, ώστε καθένας που εκτρέφει μεταξοσκώληκες να γνωρίζει τον τρόπο ανάπτυξης του εντόμου και τις διατροφικές του απαιτήσεις.

Προαπαιτούμενη γνώση
Γιαννακούρης, Ν., Νικολιουδάκης, Ν., & Κοκκορόγιαννης, Θ. (2015). *Οδηγός εργαστηριακών και φροντιστηριακών ασκήσεων βιολογίας* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/4135

Μπρούφας, Γ., & Παππά, Μ. (2015). *Εργαστηριακές ασκήσεις γεωργικής ζωολογίας* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/903

4.1 Βιολογικοί μηχανισμοί ανάπτυξης του μεταξοσκώληκα

4.1.1 Γαμετογένεση, γονιμοποίηση και εμβρυογένεση του μεταξοσκώληκα

Η ωογένεση και η σπερματογένεση (γαμετογένεση) καθώς και η εμβρυογένεση του μεταξοσκώληκα έχουν αναλυθεί διεξοδικά από όλες τις επιστημονικές προσεγγίσεις εδώ και δεκαετίες και είναι πάρα πολλά δεδομένα γνωστά για το ζήτημα αυτό (Tazima, 1978).

Ένας από τους πλέον διακεκριμένους βιολόγους στην Ελλάδα, ο Κώστας Καφάτος, ασχολήθηκε για πολλά χρόνια με την ωογένεση του μεταξοσκώληκα και συνέβαλε στη λεπτομερή γνώση που υπάρχει για το θέμα αυτό (Eickbush & Kafatos, 1982; Spoerel et al., 1993). Τα αυγά του μεταξοσκώληκα, επειδή εμφανίζουν τον χαρακτήρα της διάπαυσης, δηλαδή της καταστολής της ανάπτυξης του εμβρύου όταν οι φυσιολογικές συνθήκες δεν είναι ιδανικές, παρέχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα στη μελέτη των μηχανισμών αναστολής της ανάπτυξης κατά τη διάρκεια της εμβρυϊκής ανάπτυξης.

4.1.1.1 Ωογένεση και ανάπτυξη των ωοθηκών

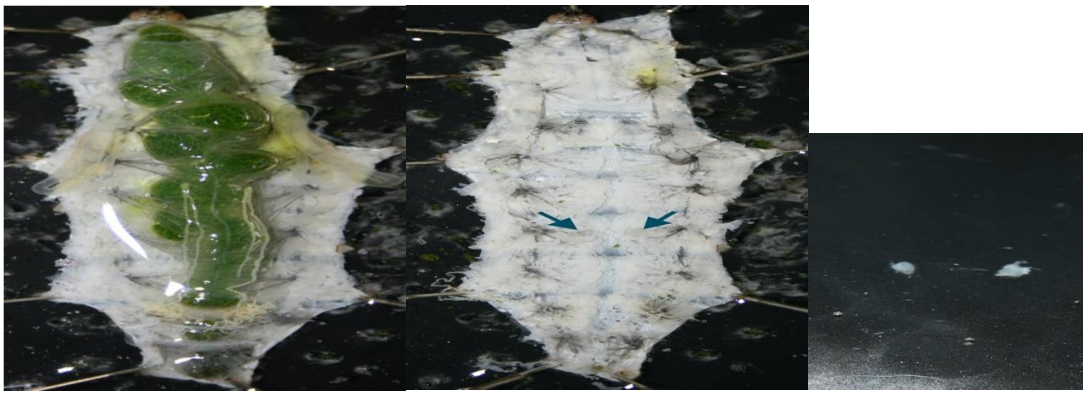
Οι ωοθήκες και οι όρχεις του μεταξοσκώληκα διαμορφώνονται κατά την εμβρυϊκή ηλικία, αλλά είναι δύσκολο να διακριθούν στις νεαρές προνύμφες αμέσως μετά την εκκόλαψη (Tazima, 1978). Γίνονται εμφανείς μετά την 3η ηλικία και βρίσκονται ως ζευγάρι μέσα στη σωματική κοιλότητα αμφίπλευρα του σώματος και στὸ 6 κοιλιακό μεταμερές του σώματος της προνύμφης (Εικόνα 4.1).

Όταν αναπτυχθούν στην προνύμφη, οι ωοθήκες έχουν σχήμα τριγωνικό και σακοειδές και οι όρχεις έχουν σχήμα νεφρού ή φασολιού. Η ανάπτυξή των ωοθηκών συνεχίζεται στο στάδιο της προνύμφης, αλλά στο στάδιο της νύμφης η τριγωνική σακοειδής μορφή τους διαρρηγνύεται και απελευθερώνονται από κάθε ωοθήκη 4 σωληνοειδείς ωαγωγοί που φέρουν τα αναπτυσσόμενα ωοθυλάκια σε γραμμική σειρά ανάπτυξης και ενωμένα μεταξύ τους με συνδετικό ιστό και μοιάζουν με κομπολόι (Εικόνα 4.2) (Chen et al., 2015a, 2015b; Eickbush & Kafatos, 1982; Nakao, 2021; Tazima, 1978).

Κατά το στάδιο της νύμφης υπάρχει μια δραστική ανάπτυξη των ωοθυλακίων μέσα στους ωαγωγούς. Η ανάπτυξη των ωοθυλακίων στο στάδιο της νύμφης γίνεται από το άπω άκρο του ωαγωγού προς το έσω άκρο του και είναι ταυτόχρονη για το κάθε ωοθυλάκιο ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται μέσα στον ωαγωγό (Chen et al., 2015a, 2015b).

Με άλλα λόγια, 8 ωοθυλάκια που βρίσκονται στη θέση 2, για παράδειγμα, των 8 ωαγωγών, που φέρουν και οι 2 ωοθήκες, αναπτύσσονται ταυτόχρονα και έχει βρεθεί ότι η ανάπτυξή τους υπολείπεται κατά 2,5-3 ώρες των αμέσως επόμενών τους μέσα στον κάθε ωαγωγό (Chen et al., 2015a, 2015b).

Για κάθε ωάριο που προκύπτει υπάρχουν 7 τροφοκύτταρα και περίπου 5000 αλλά κύτταρα που θα δημιουργήσουν το κέλυφος του αυγού. Από αυτά τα χιλιάδες κύτταρα, τα περισσότερα είναι υπεύθυνα για την έκκριση των πρωτεϊνών του χορίου, οι οποίες δημιουργούν το κέλυφος του αυγού που περιβάλλει το ωάριο (Chen et al., 2015a, 2015b; Eickbush & Kafatos, 1982; Nakao, 2021; Tazima, 1978).



Εικόνα 4.1 *Ανατομή προνύμφης μεταξοσκώληκα στην 5η ηλικία του σταδίου της προνύμφης. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η εσωτερική μορφή του σώματος της προνύμφης μετά από την ανατομή από την κοιλιακή πλευρά του σώματος. Διακρίνονται ο μεγάλος πεπτικός σωλήνας (πράσινος λόγω της κατανάλωσης φύλλων μουριάς) και οι μεταξογόνοι αδένες που έχουν ελαφρώς κίτρινο χρώμα, καθώς η συγκεκριμένη προνύμφη προέρχεται από φυλή που παράγει κουκούλια κίτρινου χρώματος. Στη μεσαία εικόνα φαίνεται η ίδια ανατομή μετά την προσεκτική αφαίρεση ολόκληρου του πεπτικού σωλήνα και των μεταξογόνων αδένων για να αποκαλυφθεί η υπόλοιπη μορφή του εσωτερικού του σώματος της προνύμφης. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη θέση των γονάδων (ωοθήκες στη συγκεκριμένη περίπτωση) μέσα στο σώμα της προνύμφης. Στη δεξιά εικόνα φαίνονται οι γονάδες, καθώς έχουν αφαιρεθεί από το σώμα της προνύμφης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 4.2 *Ανατομή νύμφης μεταξοσκώληκα την 5η ημέρα του σταδίου της νύμφης. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η εσωτερική μορφή του σώματος της νύμφης μετά από την ανατομή από την κοιλιακή πλευρά του σώματος. Διακρίνεται η εκτεταμένη κάλυψη του εσωτερικού του σώματος από το λιπώδες σωμάτιο (λευκό χρώμα), καθώς και οι αναπτυσσόμενες γονάδες (ωαγωγοί με ωοθυλάκια κίτρινου χρώματος). Διακρίνεται επίσης και ο μεσαίος πεπτικός σωλήνας που έχει συρρικνωθεί και βρίσκεται σε στάδιο απόπτωσης. Στη μεσαία εικόνα φαίνεται μια από τις δύο γονάδες (ωοθήκες) μετά την αφαίρεσή της από το σώμα της νύμφης, όπου παρατηρούνται τα ωοθυλάκια μέσα στους ωαγωγούς να βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξής τους. Πυκνό στρώμα λιπώδους σωματίου καλύπτει την απαρχή στις ωοθήκες (κάτω μέρος της μεσαίας εικόνας. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η γονάδα από άλλη νύμφη την 9η ημέρα του σταδίου της νύμφης, όπου η ωοθήκη μπορεί να αφαιρεθεί από τη νύμφη με αρκετή ευκολία και μπορεί να απλωθεί σε ευθεία γραμμή για να φανούν οι τέσσερις ωαγωγοί της κάθε ωοθήκης. Στο στάδιο αυτό όλα τα ωοθυλάκια έχουν ολοκληρώσει την ανάπτυξή τους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα)*

Καθώς προχωρά το στάδιο της νύμφης, τα ωοθυλάκια αυξάνονται δραματικά σε μέγεθος, καθώς πλήθος θρεπτικών συστατικών εισέρχεται στο ωάριο δημιουργώντας τη λέκιθο (Εικόνα 4.2).

Στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης του ωαρίου, ο πυρήνας του ωαρίου είναι σφαιρικός και βρίσκεται στο κέντρο του ωαρίου. Όταν το ωάριο μεγαλώνει περαιτέρω, ο πυρήνας μετατοπίζεται προς την πλευρά της ωχράς κηλίδας, όπου λαμβάνει ένα περισσότερο ή λιγότερο ακανόνιστο σχήμα. Αφού ο πυρήνας έχει φτάσει στο τελικό του μέγεθος, το ωάριο συνεχίζει να αναπτύσσεται, προσλαμβάνοντας περισσότερα θρεπτικά συστατικά στη λέκιθο. Κατά συνέπεια, ο πυρήνας γίνεται σχετικά μικρός σε σχέση με τον συνολικό όγκο του ωαρίου (Nakao, 2021; Tazima, 1978).

Τα κύτταρα του ωοθυλακίου περιβάλλουν το ωάριο και τα επικουρικά κύτταρα και επιτρέπουν τη μεταφορά θρεπτικών συστατικών από την αιμολέμφο προς τη λέκιθο του ωαρίου συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του ωαρίου. Τα κύτταρα του ωοθυλακίου σε κάποιο σημείο της ανάπτυξης του ωαρίου αρχίζουν να εκκρίνουν τις πρωτεΐνες του χορίου, οι οποίες θα αποτελέσουν το κέλυφος του αυγού. Οι πρωτεΐνες του χορίου εκφράζονται από τα γονίδια του χορίου, τα οποία εκφράζονται στα κύτταρα του ωοθυλακίου με ιδιαίτερα περίπλοκο και συντονισμένο τρόπο.

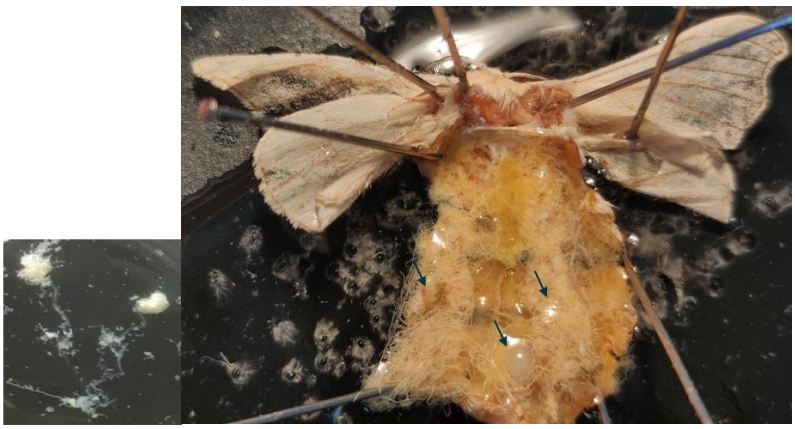
Έχουν βρεθεί 127 γονίδια που εκφράζουν τις πρωτεΐνες του χορίου στον μεταξοσκώληκα (Chen et al., 2015b). Παρά το γεγονός ότι σε κάθε ωαγωγό μπορεί κανείς να μετρήσει πολλά ωοθυλάκια, έχει καταγραφεί η ολοκλήρωση της δημιουργίας του χορίου σε περίπου 75-80 ωοθυλάκια από τα οποία θα προκύψουν τα αυγά που θα εναποθέσει η θηλυκή νυχτοπεταλούδα μετά το ζευγάρωμά της με το αρσενικό. Πριν τη μεταμόρφωση σε νυχτοπεταλούδα και την έξοδο από το κουκούλι, τα αυγά που πρόκειται να εναποτεθούν από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα έχουν ολοκληρώσει την εναπόθεση των πρωτεϊνών του χορίου στο κέλυφος του αυγού (Nakao, 2021; Tazima, 1978).

Παρά το γεγονός ότι στο βιβλίο αυτό η περιγραφή της ανάπτυξης των ωοθυλακίων του μεταξοσκώληκα είναι αρκετά συνοπτική, η σχετική βιβλιογραφία, ιδιαίτερα για τους φυσιολογικούς μηχανισμούς της ανάπτυξης των ωοθυλακίων του μεταξοσκώληκα και τη γονιδιακή έκφραση, είναι πολυπληθής και η έρευνα πάνω στα θέματα αυτά είναι ενεργή εδώ και πολλές δεκαετίες.

4.1.1.2 Σπερματογένεση

Η σπερματογένεση στον μεταξοσκώληκα περιλαμβάνει όλες τις διαδοχικές διεργασίες, διαιρέσεις και μετασχηματισμούς που είναι γνωστό ότι συμβαίνουν στα γεννητικά κύτταρα κατά τον σχηματισμό των σπερματοζωαρίων.

Μερικές δεκάδες από αρχέγονα βλαστικά κύτταρα βρίσκονται στους όρχεις (Εικόνα 4.3) της αρσενικής προνύμφης μόλις εκκολαφθεί και ο αριθμός τους αυξάνεται σταδιακά με την ανάπτυξη της προνύμφης. Μέχρι και τις αρχές της 5ης ηλικίας της προνύμφης τα αρχέγονα σπερματοκύτταρα βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια μιτωτικών διαιρέσεων.



Εικόνα 4.3 *Ανατομή αρσενικής νυχτοπεταλούδας του μεταξοσκώληκα μετά την έξοδό της από το κουκούλι. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η δομή του αναπαραγωγικού συστήματος της αρσενικής νυχτοπεταλούδας με τους δύο όρχεις να διακρίνονται στην άνω πλευρά της εικόνας. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η ανατομή της κοιλιακής περιοχής της νυχτοπεταλούδας, όπου παρατηρείται η έντονη μείωση της ποσότητας του λιπώδους σωματίου και η αύξηση της διακλάδωσης των τραχειών. Τα δύο άνω βέλη δείχνουν τη θέση των όρχεων (δυσδιάκριτα) και το κάτω βέλος τη θέση του σπερματοφόρου σάκου. Η αριστερή εικόνα είναι σε διαστάσεις κλίμακας παρόμοιας με τη δεξιά εικόνα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Κατά την ολοκλήρωση της 5ης ηλικίας και την ημέρα πριν την έναρξη πλοκής των κουκουλιών αρχίζουν να εμφανίζονται τα ώριμα, απλοειδή σπερματοζωάρια στους όρχεις και κάθε ένα σπερματοζωάριο έχει υπολογιστεί ότι φέρει 0,52 x 10^{-12} g DNA (Tazima, 1964, 1978). Ο αριθμός των ώριμων σπερματοζωαρίων αυξάνεται συνεχώς μέχρι την $9^{η}$ ημέρα του σταδίου της νύμφης και κατόπιν τα σπερματοζωάρια αρχίζουν να κατεβαίνουν στους ωαγωγούς των δύο όρχεων.

Έχει υπολογιστεί ότι ο αριθμός των σπερματοζωαρίων που παράγει μια αρσενική νυχτοπεταλούδα είναι περίπου 15,4 x 10^{5} και το κάθε ένα έχει μήκος που κυμαίνεται από 600 έως 700 μικρόμετρα (Tazima, 1964, 1978). Στον μεταξοσκώληκα υπάρχουν δύο είδη σπερματοζωαρίων, τα λεγόμενα *εμπύρηνα* και *απύρηνα* σπερματοζωάρια που διαφέρουν ως προς την παρουσία πυρήνα μόνο στα πρώτα (Chen et al., 2020; Friedländer et al., 2005). Τα εμπύρηνα σπερματοζωάρια σχηματίζονται στο προνυμφικό και το πρώιμο στάδιο της νύμφης, ενώ τα απύρηνα σπερματοζωάρια εμφανίζονται στο πρώιμο μέχρι και το τελικό στάδιο της νύμφης (Chen et al., 2020; Friedländer et al., 2005).

4.1.1.3 Γονιμοποίηση και εμβρυογένεση

Η έρευνα πάνω στην εμβρυογένεση του μεταξοσκώληκα είναι ιδιαίτερα εκτενής, καθώς, πέρα από τις πρακτικές προσεγγίσεις που αφορούν την εκτροφή του μεταξοσκώληκα (δείτε Κεφάλαιο 6), το αυγό του μεταξοσκώληκα έχει αρκετά χαρακτηριστικά που το κάνουν ένα ιδανικό μοντέλο έρευνας. Για παράδειγμα, το κάθε αυγό έχει μήκος 1,2 χιλιοστά και πλάτος 0,8 χιλιοστά. Κάθε θηλυκή νυχτοπεταλούδα εναποθέτει περίπου 500 αυγά, αν και αυτό εξαρτάται από τη φυλή του μεταξοσκώληκα. Το 80% των αυγών αποτίθενται από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα μέσα σε διάστημα 4 ωρών και υπάρχουν γενετικοί χαρακτήρες που εκφράζονται στο στάδιο του αυγού (Tazima, 1978).

Κατά το ζευγάρωμα μιας θηλυκής με μια αρσενική νυχτοπεταλούδα, η αρσενική νυχτοπεταλούδα εναποθέτει ποσότητα σπερματοζωαρίων στον σπερματοδόχο σάκο του θηλυκού και τα σπερματοζωάρια που λαμβάνει το θηλυκό χρησιμοποιούνται για τη σταδιακή γονιμοποίηση των αυγών, καθώς αυτά ωθούνται από τον κάθε έναν από τους 8 ωαγωγούς προς τον ωοθέτη και εναποτίθενται στο περιβάλλον (Tazima, 1978).

Ο πυρήνας των ωαρίου, αμέσως μετά την εναπόθεσή του, βρίσκεται στη μετάφαση της πρώτης μειωτικής διαίρεσης, η οποία σύντομα τερματίζεται με τον διαχωρισμό του πρώτου πολικού σώματος. Η δεύτερη μειωτική διαίρεση λαμβάνει χώρα περίπου 60 λεπτά μετά την εναπόθεση του αυγού και ο πυρήνας του ωαρίου προκύπτει μετά τον διαχωρισμό του δεύτερου πολικού σωματίου (Tazima, 1978).

Το σπερματοζωάριο που εισχωρεί στο ωάριο από τη μικροπύλη του αυγού όταν το αυγό οδηγείται προς τον ωοθέτη, παραμένει στο πρόσθιο μέρος του ωαρίου μέχρι την ολοκλήρωση των μειωτικών διαιρέσεων του ωαρίου. Η κεφαλή του σπερματοζωαρίου σταδιακά διογκώνεται σε ένα σφαιρικό σώμα, σχηματίζοντας τον αρσενικό προπυρήνα. Μόλις ολοκληρωθούν οι μειωτικές διαιρέσεις του ωαρίου και παραχθεί ο θηλυκός προπυρήνας, ο αρσενικός και ο θηλυκός προπυρήνας πλησιάζουν κοντά ο ένας στον άλλο και τελικά συντήκονται (Tazima, 1978).

Η μετάφαση της πρώτης κυτταρικής διαίρεσης του ζυγωτού λαμβάνει χώρα 160-190 λεπτά μετά την εναπόθεση του αυγού και κατόπιν έχουμε μιτωτικές διαιρέσεις των κυττάρων κάθε 60 λεπτά. Εάν δεν εισέλθει σε διάπαυση, το έμβρυο ολοκληρώνει την ανάπτυξή του μέσα στις επόμενες 10 ημέρες.

Από το εξώδερμα του ζυγωτού προκύπτουν το επιδερμίδιο, τα σωματικά εξαρτήματα, οι οφθαλμοί, τα οινοκύτταρα (κύτταρα που είναι υπεύθυνα για τον μεταβολισμό λιπιδίων και υδρογονανθράκων), οι σιελογόνοι αδένες, οι προθωρακικοί αδένες, τα αλλαντοειδή σωμάτια, οι μεταξογόνοι αδένες, τα Μαλπιγγιανά σωληνάρια, οι τραχείες, οι νευρώνες, ο πρόσθιος και οπίσθιος πεπτικός σωλήνας και τα εξωτερικά αναπαραγωγικά όργανα.

Από το μεσόδερμα του ζυγωτού προκύπτουν τα εσωτερικά αναπαραγωγικά όργανα, οι μύες, το ραχιαίο αγγείο, το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο, το λιπώδες σώμα και τα κύτταρα της αιμολέμφου. Από το ενδόδερμα του ζυγωτού προκύπτει μόνο ο μέσος πεπτικός σωλήνας. Τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα του μεταξοσκώληκα προκύπτουν από κύτταρα του βλαστοδέρματος στην κοιλιακή πλευρά του εμβρύου.

Αναλυτικά, τα διακριτά στάδια ανάπτυξης του εμβρύου του μεταξοσκώληκα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1).

Χρόνος ανάπτυξης του εμβρύου	Παρατηρήσεις
0-2 ώρες	Ολοκλήρωση της 2ης μειωτικής διαίρεσης του ωαρίου και σύντηξη των πυρήνων του ωαρίου και σπερματοζωαρίου
2-10 ώρες	Μιτωτικές διαιρέσεις του ζυγωτού και αυλάκωση της λεκίθου του αυγού
12 ώρες	Δημιουργία του συγκυτιακού βλαστιδίου
20 ώρες	Διαφοροποίηση των τριών βλαστικών στοιβάδων
25 ώρες	Έναρξη γαστριδίωσης με επέκταση των βλαστικών στοιβάδων
35 ώρες	Εμφάνιση μεταμερών στο μεσόδερμα και διάκριση 17 μεταμερών τμημάτων
40 ώρες	Εμφάνιση σωματικών εξαρτημάτων στο κεφάλι και τα πόδια. Είσοδο σε διάπαυση των αυγών στις φυλές με έναν κύκλο ζωής ανά έτος
48 ώρες	Εμφάνιση και διαφοροποίηση των σωματικών εξαρτημάτων της κοιλιάς
2,5 ημέρες	Αναδίπλωση του εξωδέρματος στην έδρα μεταξύ του 18ου και 19ου μεταμερούς
3 ημέρες	Έναρξη διακλάδωσης των τραχειών
3,5 ημέρες	Η αναδίπλωση του εξωδέρματος στην έδρα φτάνει μέχρι το 16ο μεταμερές
4 ημέρες	Έναρξη βλαστοκίνησης
5 ημέρες	Λήξη βλαστοκίνησης
6 ημέρες	Ολοκλήρωση εξωτερικών μορφολογικών χαρακτήρων
7 ημέρες	Το σπειροειδές έλασμα της τραχείας δημιουργείται
8 ημέρες	Εμφάνιση χρωματισμού στο κεφάλι
9 ημέρες	Εμφάνιση χρωματισμού στα τριχίδια του σώματος και στο επιδερμίδιο
9,5 ημέρες	Εκκόλαψη

Πίνακας 4.1 *Τα στάδια ανάπτυξης του εμβρύου του μεταξοσκώληκα κατά την επώαση των αυγών. Η βλαστοκίνηση είναι μια χαρακτηριστική μετακίνηση του πρώιμου εμβρύου μέσα στο αυγό (Panfilio, 2008; Tazima, 1978) (Πηγή: Προσαρμογή από (Tazima, 1978)).*

4.1.2 Διάπαυση

Ο κύκλος ζωής του μεταξοσκώληκα μπορεί να επαναληφθεί μέσα στη διάρκεια του έτους μία ή περισσότερες φορές ανάλογα με την προέλευση και το γενετικό υπόβαθρο της φυλής ή του υβριδίου του μεταξοσκώληκα.

Έτσι μπορεί να έχουμε φυλές του μεταξοσκώληκα που έχουν έναν κύκλο ζωής ανά έτος ή δύο ή περισσότερους. Στις περιπτώσεις που έχουμε δύο ή περισσότερους κύκλους ζωής ανά έτος, τα αυγά που εναποτίθενται από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα, μετά την ολοκλήρωση του πρώτου κύκλου ζωής, δεν εισέρχονται σε διάπαυση, αλλά αρχίζουν άμεσα να αναπτύσσονται και εκκολάπτονται στους 25 °C σε περίπου 10 ημέρες μετά την εναπόθεσή τους.

Στην περίπτωση που έχουμε δύο κύκλους ζωής ανά έτος, από τα αυγά αυτά θα προκύψουν μεταξοσκώληκες που θα εναποθέσουν αυγά που θα εισέλθουν σε διάπαυση μετά την ολοκλήρωση αυτού του δεύτερου κύκλου ζωής τους μέσα στο έτος. Στην περίπτωση που έχουμε πολλούς κύκλους ζωής ανά έτος, τα αυγά ποτέ δεν εισέρχονται σε διάπαυση και αυτό είναι το χαρακτηριστικό των τροπικών φυλών του μεταξοσκώληκα. Στην περίπτωση που έχουμε έναν κύκλο ζωής ανά έτος, τότε τα αυγά που εναποθέτουν οι θηλυκές νυχτοπεταλούδες, μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του εντόμου, θα εισέλθουν σε διάπαυση, καθώς τα έμβρυα παύουν να αναπτύσσονται δύο ή τρεις ημέρες μετά την εναπόθεση των αυγών (Πίνακας 4.1) και αποκτούν αναπτυξιακή ικανότητα μόνο μετά από έκθεση σε χαμηλή θερμοκρασία γύρω στους 5 °C για αρκετούς, συνήθως 4-6 μήνες.

Στις φυλές που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος, η θερμοκρασία και ο φωτισμός των αυγών, από τα οποία θα προκύψουν τα άτομα του πρώτου κύκλου ζωής του έτους, κατά την επώασή τους παίζουν καθοριστικό ρόλο στο εάν τα αυγά που θα εναποθέσουν οι νυχτοπεταλούδες του πρώτου κύκλου ζωής θα εισέλθουν σε διάπαυση ή όχι (Chen et al., 2017; Homma et al., 2022; Sato et al., 2014; Shiomi et al., 2015; Tsuchiya et al., 2021). Έτσι, η επώαση των αυγών του πρώτου κύκλου ζωής σε θερμοκρασία 15 °C δίνει νυχτοπεταλούδες που εναποθέτουν αυγά που δεν εισέρχονται σε διάπαυση, ενώ η επώαση σε θερμοκρασία άνω των 25 °C δίνει νυχτοπεταλούδες που εναποθέτουν αυγά που εισέρχονται σε διάπαυση.

Όταν η θερμοκρασία επώασης των αυγών είναι μια ενδιάμεση θερμοκρασία, 20 °C, τότε προκύπτει ένα μείγμα από νυχτοπεταλούδες, που άλλες εναποθέτουν αυγά που εισέρχονται σε διάπαυση και άλλες αυγά που δεν εισέρχονται σε διάπαυση. Η διάπαυση εμφανίζεται και όταν οι νεαρές προνύμφες αναπτύσσονται σε χαμηλή

θερμοκρασία, ενώ αντίθετα στην 5η ηλικία της προνύμφης, οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν στην εμφάνιση νυχτοπεταλούδων που εναποθέτουν αυγά που δεν εισέρχονται σε διάπαυση.

Είναι προφανές, δηλαδή, ότι η εμφάνιση ή όχι της διάπαυσης στο τέλος του πρώτου κύκλου ζωής είναι αποτέλεσμα των συνθηκών υπό τις οποίες αναπτύχθηκε το έντομο στον πρώτο κύκλο ζωής. Θεωρώντας ότι στις αρχές της άνοιξης οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν δίνουν το ερέθισμα για την εμφάνιση ενός δεύτερου κύκλου ζωής, και το ερέθισμα αυτό ισχυροποιείται όταν οι προνύμφες της 5ης ηλικίας βιώνουν υψηλές θερμοκρασίες, καθώς εισερχόμαστε στις αρχές του καλοκαιριού, η απουσία διάπαυσης μετά το τέλος του πρώτου κύκλου ζωής είναι ένας μηχανισμός προσαρμογής που ενημερώνει το έντομο ότι υπάρχουν διαθέσιμες καλές συνθήκες ανάπτυξης, και επομένως και τροφή, για να ολοκληρώσει και έναν δεύτερο κύκλο ζωής (Chen et al., 2017; Homma et al., 2022; Sato et al., 2014; Shiomi et al., 2015; Tsuchiya et al., 2021).

Το φως έχει σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα με την υψηλή θερμοκρασία και το σκοτάδι έχει αποτελέσματα παρόμοια με εκείνα που παράγονται από τη χαμηλή θερμοκρασία. Έτσι, αυγά φυλών με δύο κύκλους ζωής ανά έτος που επωάστηκαν σε απόλυτο σκοτάδι στους 25 °C έδωσαν νυχτοπεταλούδες που δεν εναπόθεταν πάντα αυγά που εισέρχονταν σε διάπαυση. Για να προκύψουν νυχτοπεταλούδες που εναποθέτουν αυγά που εισέρχονται σε διάπαυση, απαιτείται φωτισμός έως 15 ώρες την ημέρα κατά την επώαση των αυγών του πρώτου κύκλου ζωής (Tazima, 1978).

Η διάπαυση των αυγών του μεταξοσκώληκα προκύπτει όταν ένα νευροπεπτίδιο 24 αμινοξέων (Homma et al., 2022; Homma et al., 2006; Nagasawa, 1992; Shen et al., 2018; Shiomi et al., 2007), που καλείται *ορμόνη διάπαυσης*, εκκρίνεται από κύτταρα του υπο-οισοφαγικού γαγγλίου νωρίς στο στάδιο της νύμφης και δρα ενεργοποιώντας έναν διαμεμβρανικό υποδοχέα, που ονομάζεται *υποδοχέας της ορμόνης διάπαυσης* (Homma et al., 2022; Homma et al., 2006; Nagasawa, 1992; Shen et al., 2018; Shiomi et al., 2007), ο οποίος εκφράζεται στις ωοθήκες. Η ενεργοποίηση αυτού του υποδοχέα δίνει το σήμα για την εναπόθεση αυγών που περιέχουν έμβρυα που θα εισέλθουν σε διάπαυση. Η εμφάνιση της διάπαυσης των αυγών είναι ένας χαρακτήρας που καθορίζεται και ενεργοποιείται από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα (Tsuchiya et al., 2021).

4.1.3 Μετα-εμβρυϊκή ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα

Ο μεταξοσκώληκας είναι ένα ολομετάβολο έντομο που ανήκει στην Τάξη των Λεπιδοπτέρων και στην Υπεροικογένεια Bombycoidea, η οποία περιλαμβάνει τις Οικογένειες Bombycidae, Saturniidae και Sphingidae. Τα περίπου εκατό είδη της Οικογένειας Bombycidae απαντώνται τα περισσότερα στην Ασία (Kitching et al., 2018; Zwick et al., 2011).

Σε αντίθεση με τα περισσότερα έντομα που γνωρίζουμε, ο μεταξοσκώληκας δεν τρέφεται στο στάδιο του ενήλικου ατόμου, της νυχτοπεταλούδας, και τρέφεται μόνο στο στάδιο της προνύμφης. Στο στάδιο της προνύμφης, το έντομο μεγαλώνει πολύ γρήγορα, ενώ στο στάδιο της νύμφης, μετά τη μεταμόρφωση, η ανάπτυξη του σώματος σε μέγεθος σταματά, ενώ η μεταβολική δραστηριότητα του σώματος είναι εξαιρετικά υψηλή, καθώς το σώμα της νύμφης εσωτερικά μεταμορφώνεται σε νυχτοπεταλούδα (Tazima, 1978). Πειράματα έχουν δείξει ότι οι αναπτυξιακές αποφάσεις για τη μεταμόρφωση σε νύμφη και κατόπιν σε νυχτοπεταλούδα λαμβάνονται κατά το στάδιο της 5ης ηλικίας της προνύμφης, ενώ με κατάλληλη ορμονική παρεμπόδιση ή αφαίρεση οργάνων (τα αλλαντοειδή σωμάτια), το στάδιο της 5ης ηλικίας μπορεί να παραλειφθεί τελείως (Sakurai, 1983, 1984).

Πιο συγκεκριμένα, οι πρόδρομες δομές από τις οποίες θα προκύψουν οι πτέρυγες της νυχτοπεταλούδας αναπτύσσονται από νωρίς στην 5η ηλικία, ενώ οι υπόλοιπες δομές του σώματος της νυχτοπεταλούδας αρχίζουν να σχηματίζονται λίγο πριν την έναρξη πλοκής του κουκουλιού από την προνύμφη. Έτσι, εξετάζοντας εξωτερικά το σώμα της νύμφης αμέσως μετά τη μεταμόρφωσή της από προνύμφη, μπορούμε να διακρίνουμε τις καταβολές των σύνθετων οφθαλμών, των κεραιών, των πτερύγων και των μεταμερών της κοιλιάς. Μετά την έναρξη του σταδίου της νύμφης, η έντονη μεταβολική δραστηριότητα οδηγεί σε αναδιάταξη του πεπτικού σωλήνα, σε δραματική αύξηση των αναπαραγωγικών οργάνων και διαμόρφωση του αναπαραγωγικού συστήματος και σε μείωση του μεγέθους του λιπώδους σωματίου, καθώς θρεπτικά συστατικά μεταφέρονται στα αναπτυσσόμενα αναπαραγωγικά όργανα.

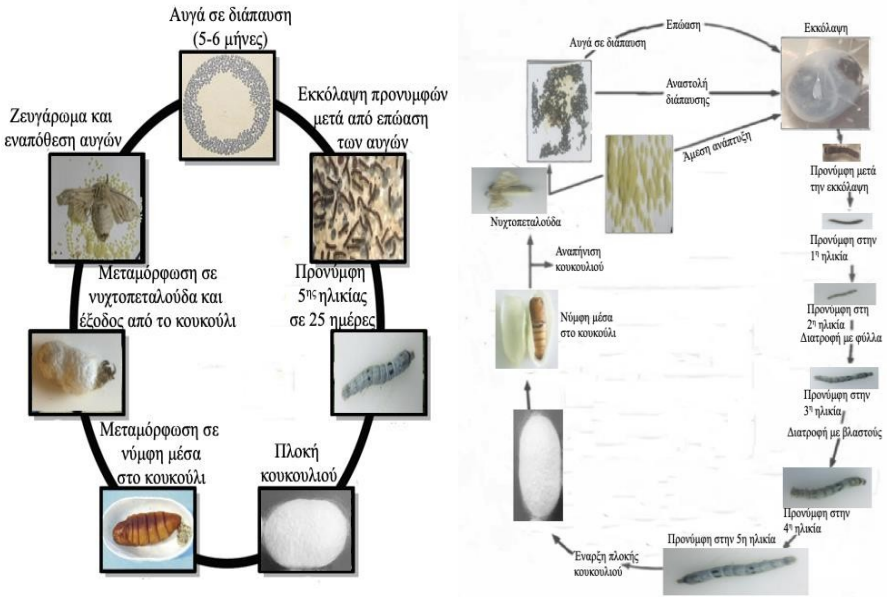
4.1.3.1 Ο κύκλος ζωής του μεταξοσκώληκα

Η διάρκεια του εμβρυϊκού σταδίου και τα στάδια ανάπτυξης του εμβρύου αναφέρονται παραπάνω στον Πίνακα 4.1. Η διάρκεια των διαφόρων σταδίων της μετα-εμβρυϊκής ανάπτυξης αναφέρεται στον Πίνακα 4.2.

Η προνύμφη, αμέσως μετά την εκκόλαψή της, φέρει πολλά τριχίδια στο σώμα της και το σώμα της είναι σχετικά σκούρο (Εικόνα 4.4). Το μήκος της προνύμφης, αμέσως μετά την εκκόλαψη, είναι περίπου 3 χιλιοστά. Καθώς αρχίζει να τρέφεται, σε 2 ημέρες τα τριχίδια του σώματος δεν είναι ιδιαίτερα εμφανή και την επόμενη (3η) ημέρα το σώμα αποκτά στιλπνότητα και σύντομα σταματά να τρέφεται.

Στάδιο ανάπτυξης	**Διάρκεια (Ημέρες)**		
	Διατροφής		Εκδυσης
	C120 (Κινεζική φυλή)	J120 (Ιαπωνική φυλή)	
1η Ηλικία	2,5	3	1
2η Ηλικία	2,5	2,5	1
3η Ηλικία	3	3	1
4η Ηλικία	3,5	3,5	1.5
5η Ηλικία	5.5	6	
Στάδιο πλοκής κουκουλιού	4	4	
Στάδιο νύμφης	10	10	

Πίνακας 4.2 *Διάρκεια σταδίων ανάπτυξης για μια κινεζική και μια ιαπωνική φυλή του μεταξοσκώληκα (Πηγή: Προσαρμογή από (Tazima, 1978)).*



Εικόνα 4.4 *Δύο διαγράμματα του κύκλου ζωής του μεταξοσκώληκα. Στην αριστερή εικόνα φαίνονται περιληπτικά όλα τα στάδια ανάπτυξης, ενώ στη δεξιά εικόνα παρουσιάζονται τα στάδια ανάπτυξης της προνύμφης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Για τις επόμενες 24 ώρες η προνύμφη ολοκληρώνει τη δημιουργία ενός εξωσκελετού κάτω από τον εξωσκελετό της 1ης ηλικίας και στο τέλος αυτής της διαδικασίας η προνύμφη εκδύεται, καθώς αποβάλλει τον παλιό εξωσκελετό της έχοντας ολοκληρώσει τη δημιουργία ενός νέου εξωσκελετού. Η διαδικασία της έκδυσης είναι σχετικά γρήγορη, καθώς η προνύμφη διαρρηγνύει τον παλιό εξωσκελετό χρησιμοποιώντας την κεφαλή της για να διασπάσει τον παλιό εξωσκελετό και κατόπιν γλιστρά κινούμενη προς τα εμπρός αφήνοντας τον παλιό εξωσκελετό πίσω της. Για να εκτελέσει τη διαδικασία της έκδυσης, η προνύμφη χρησιμοποιεί λίγες ίνες μεταξιού για να αγκιστρώσει το σώμα της σε ένα υπόστρωμα και η αγκίστρωση αυτή δρα σαν αντίσταση για την κίνηση του σώματός της προς τα εμπρός και την έξοδό της από τον παλιό εξωσκελετό. Αυτή η διαδικασία της έκδυσης επαναλαμβάνεται άλλες 3 φορές και έχουμε συνολικά 4 εκδύσεις και 5 διατροφικά στάδια (5 ηλικίες) στο στάδιο της προνύμφης (Tazima, 1978). Μια μεγάλη φυλογενετική ανάλυση πολλών φυλών του μεταξοσκώληκα έδειξε ότι ο οικόσιτος μεταξοσκώληκας προέκυψε από προγόνους που εμφάνιζαν 4 ηλικίες

στο προνυμφικό στάδιο και άρα 3 εκδύσεις (Xiang et al., 2018). Η μελέτη αυτή έδειξε ότι ο οικόσιτος μεταξοσκώληκας που έχει 4 εκδύσεις και 5 ηλικίες στο προνυμφικό στάδιο είναι αποτέλεσμα επιλογής από τον άνθρωπο κατά τη μακρά περίοδο εκτροφής του για την παραγωγή μεταξιού (Xiang et al., 2018).

Όταν η προνύμφη βρίσκεται στην 5η ηλικία, τότε η κατανάλωση τροφής αυξάνεται δραματικά και το σώμα της φτάνει σε μήκος τα 7 εκατοστά ή παραπάνω. Μετά από περίπου 7 ημέρες στην 5 η ηλικία το σώμα της προνύμφης αποκτά μια ευδιάκριτη στιλπνότητα και σύντομα αρχίζει να ψάχνει για ένα σημείο όπου θα πλέξει το κουκούλι της. Η πλοκή του κουκουλιού διαρκεί για 2 ημέρες και κατόπιν η προνύμφη παραμένει ακίνητη μέσα στο κουκούλι σε ένα στάδιο προ-μεταμόρφωσης. Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου 24 ώρες και κατά το στάδιο αυτό τα όργανα της προνύμφης μετασχηματίζονται σε όργανα της νύμφης.

Εάν κάνουμε ανατομή του σώματος της προνύμφης στο στάδιο αυτό, θα διαπιστώσουμε πολλά όργανα να έχουν μετασχηματιστεί και να έχει ατροφήσει ο πεπτικός σωλήνας. Μετά τη μεταμόρφωση σε νύμφη, μέσα στο κουκούλι, το σώμα της νύμφης γρήγορα μετατρέπεται σε σκούρο καφέ από κίτρινο που είναι αμέσως μετά την έκδυση σε νύμφη (μεταμόρφωση). Κατόπιν, και μετά από 3 ημέρες στο στάδιο της νύμφης, το σώμα της νυχτοπεταλούδας σταδιακά αρχίζει να δημιουργείται κάτω από τον σκληρό εξωσκελετό της νύμφης.

Αυτό το στάδιο δημιουργίας του σώματος της νυχτοπεταλούδας διαρκεί περίπου 5-6 ημέρες και είναι και αυτό ένα στάδιο προ-μεταμόρφωσης αυτή τη φορά όμως σε νυχτοπεταλούδα. Η νυχτοπεταλούδα διαρρηγνύει τον εξωσκελετό της νύμφης μέσα στο κουκούλι και κατόπιν εκκρίνει από τα στοματικά της εξαρτήματα ένα έκκριμα που πρωτεολύει τη σερικίνη του κουκουλιού και επιτρέπει τη νυχτοπεταλούδα να διαπεράσει το κέλυφος του κουκουλιού μέσω μιας οπής που δημιουργεί σε αυτό. Η έξοδος αρσενικών και θηλυκών νυχτοπεταλούδων είναι σχεδόν ταυτόχρονη, ενώ είναι αρκετά συχνό τα αρσενικά άτομα να βγουν από το κουκούλι τους 1 ημέρα νωρίτερα. Η θηλυκή νυχτοπεταλούδα μετά την έξοδό της από το κουκούλι εκκρίνει μέσω συγκεκριμένων αδένων που φέρει στο άκρο της κοιλιά της (Εικόνα 4.5) μια φερορμόνη, τη βομβυκόλη, η οποία γίνεται αντιληπτή από τα αρσενικά τα οποία πλησιάζουν το θηλυκό και ένα από αυτά ζευγαρώνει με το θηλυκό (Εικόνα 4.6).

Εικόνα 4.5 *Μορφή των αδένων παραγωγής της φερορμόνης στην άκρη της κοιλιάς της θηλυκής νυχτοπεταλούδας. Οι αδένες παραγωγής της φερορμόνης είναι οι δύο κίτρινες στρογγυλές δομές πάνω και κάτω, ενώ ανάμεσά τους και εσωτερικά υπάρχει ο ωαγωγός της νυχτοπεταλούδας (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το ζευγάρωμα μπορεί να διαρκέσει για πολλές ώρες μέχρις ότου το θηλυκό να αποσπαστεί από το αρσενικό και να αρχίσει να εναποθέτει μετά από λίγες ώρες τα αυγά της.

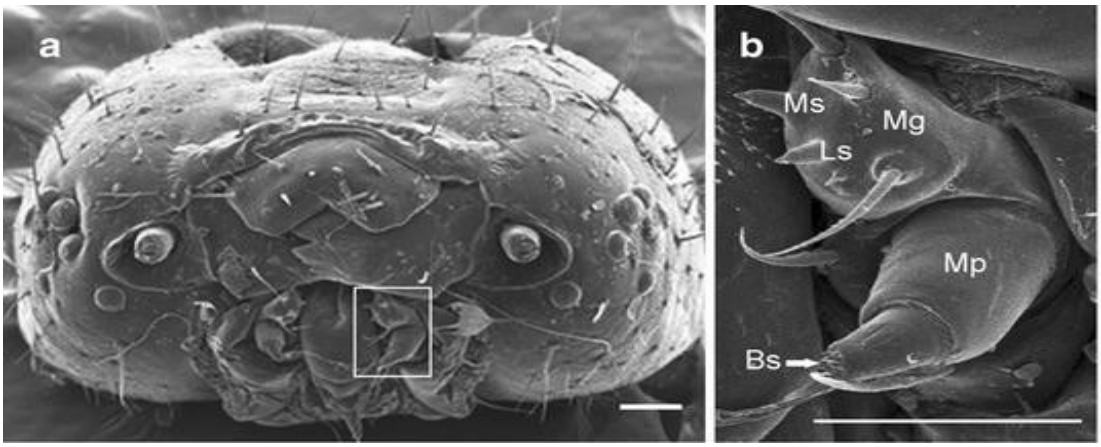
Εικόνα 4.6 *Ζευγάρωμα της θηλυκής με την αρσενική νυχτοπεταλούδα του μεταξοσκώληκα. Στη συγκεκριμένη φυλή (J106) η αρσενική νυχτοπεταλούδα είναι ελαφρώς σκούρου χρώματος. Η θηλυκή νυχτοπεταλούδα είναι γενικά πιο μεγάλη σε μέγεθος από την αρσενική νυχτοπεταλούδα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η θηλυκή νυχτοπεταλούδα, αφού εναποθέσει τα αυγά της μέσα σε λίγες ώρες, παραμένει ζωντανή για περίπου 1-2 ημέρες και κατόπιν πεθαίνει, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τα αρσενικά άτομα που μπορεί να ζευγαρώσουν και με ένα άλλο θηλυκό άτομο. Τα αυγά, αμέσως μετά την εναπόθεσή τους έχουν κίτρινο χρώμα (Εικόνα 4.4) και σύντομα το χρώμα τους αλλάζει (συνήθως σε σκούρο γκρί) και είτε εισέρχεται το αναπτυσσόμενο έμβρυο σε διάπαυση είτε αρχίζει την εμβρυϊκή του ανάπτυξη ολοκληρώνοντας έτσι τον κύκλο ζωής του μεταξοσκώληκα.

4.2 Μορφολογία σώματος και ανατομικά χαρακτηριστικά του μεταξοσκώληκα

4.2.1 Το σώμα της προνύμφης

Το σώμα της προνύμφης ακολουθεί το τυπικό πρότυπο του σώματος των εντόμων αποτελούμενο από κεφαλή, θώρακα και κοιλιά. Η κεφαλή φέρει δύο ομάδες από έξι μικρούς οφθαλμούς. Το στόμα βρίσκεται προς τα κάτω και μπροστά στην κεφαλή και αποτελείται από ζεύγος κάτω και άνω γνάθων που φέρουν άνω χείλος και κάτω χείλος (Εικόνα 4.7). Οι κάτω γνάθοι χρησιμοποιούνται στη μάσηση και αποτελούνται από 2 σκληρά εξαρτήματα. Οι άνω γνάθοι αποτελούνται από έναν γναθικό λοβό και τις χειλικές προσακτρίδες που αποτελούνται από 3 τμήματα. Το άνω χείλος κρέμεται από το μπροστινό μέρος του στόματος για να δημιουργήσει μια καλύπτρα του στόματος. Το κάτω χείλος βρίσκεται στην κοιλιακή πλευρά της κεφαλής και φέρει ζεύγος από χειλικές προσακτρίδες που είναι αισθητήρια όργανα. Η έξοδος των μεταξογόνων αδένων βρίσκεται οπίσθια και ανάμεσα στις χειλικές προσακτρίδες.



Εικόνα 4.7 *(a) Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης της κεφαλικής κάψας της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Διακρίνονται πολλά αισθητήρια τριχίδια στην κεφαλική κάψα, καθώς επίσης και οι καταβολές των δύο κεραιών, ενώ πλευρικά σε αυτά διακρίνονται, ως θύλακες, τα οφθαλμίδια της προνύμφης. (b) Μεγέθυνση του λευκού πλαισίου της αριστερής εικόνας όπου διακρίνονται τα αισθητήρια όργανα της άνω γνάθου που είναι υπεύθυνα για την αναγνώριση των συστατικών της τροφής. Ms: Μεσαίο οξύληκτο τριχίδιο. Ls: πλευρικό οξύληκτο τριχίδιο, Mg: Γναθικός λοβός, Mp: Γναθική προσακτρίδα, Bs: Βασικό κωνικό τριχίδιο. Η λευκή γραμμή αντιστοιχεί σε διάσταση 100 μικρομέτρων (Πηγή: (Zhang et al., 2013), CC-BY άδεια).*

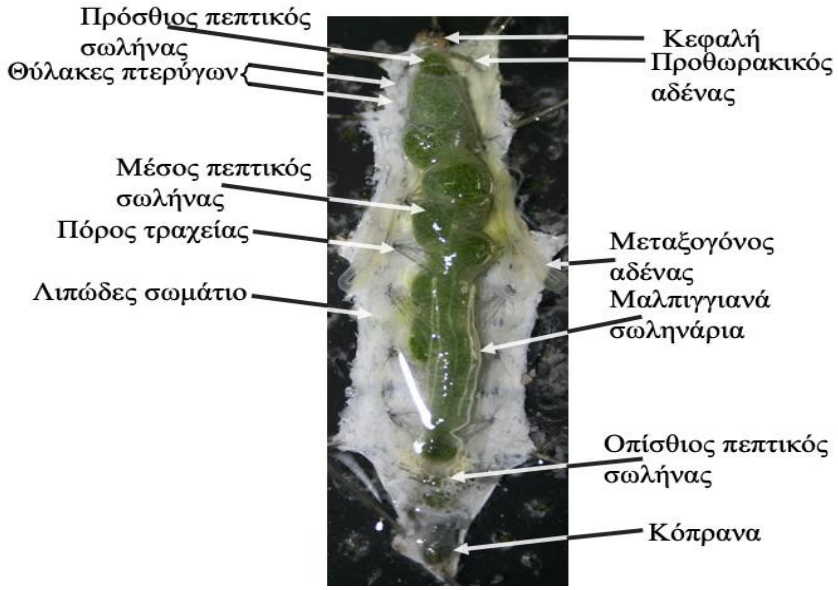
Ο θώρακας αποτελείται από 3 μεταμερή με ένα ζεύγος αναπνευστικών πόρων και 3 ζεύγη θωρακικών ποδιών. Η κοιλιά αποτελείται από 11 μεταμερή και φέρει 8 ζεύγη αναπνευστικών πόρων, 4 ζεύγη κοιλιακών ψευδοποδίων, 1 ζεύγος ουραίων ποδιών και 1 ουραίο κέρας.

Η αρσενική προνύμφη φέρει μια δομή στην κεντρική γραμμή της κοιλιακής πλευράς του 12ου μεταμερούς, που ονομάζεται *στίγμα του Herold*. Η θηλυκή προνύμφη φέρει τέσσερα στίγματα, που ονομάζονται *στίγματα του Ishiwata* στην κοιλιακή πλευρά, με 2 από αυτά στο 11ο μεταμερές και 2 στο 12ο μεταμερές.

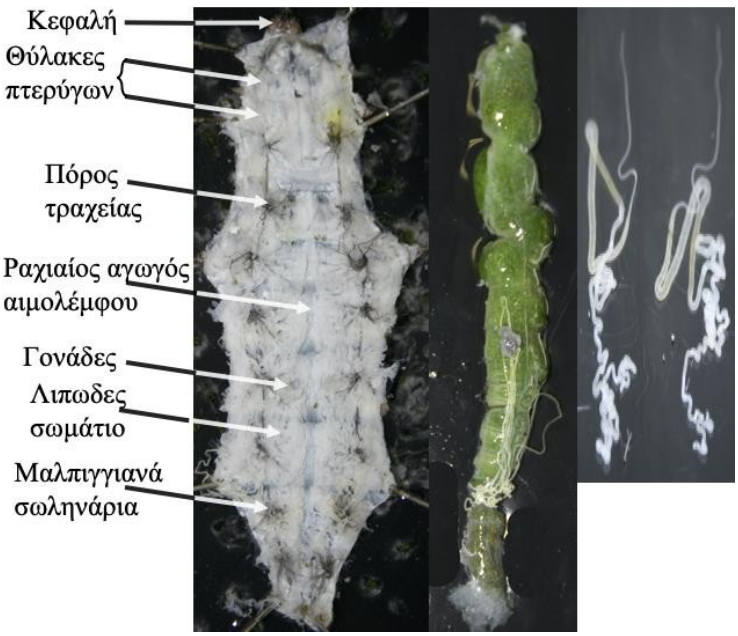
4.2.2 Εσωτερική δομή του σώματος της προνύμφης

Η εσωτερική δομή της προνύμφης φαίνεται στην ανατομή των Εικόνων 4.8 και 4.9. Τα κύρια όργανα της προνύμφης είναι ο πεπτικός σωλήνας που αποτελείται από τον πρόσθιο, μέσο και οπίσθιο πεπτικό σωλήνα, οι τραχείες, οι μεταξογόνοι αδένες, το νευρικό σύστημα, τα Μαλπιγγιανά σωληνάρια, οι γονάδες, το λιπώδες σωμάτιο και οι μύες, οι σιελογόνοι αδένες και οι εκβλαστήσεις των πτερύγων.

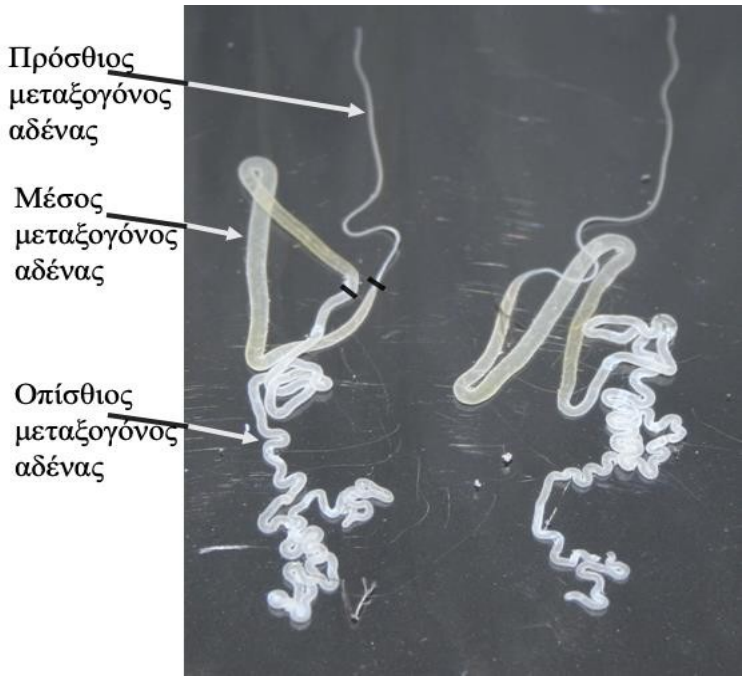
Ο πεπτικός σωλήνας είναι το μεγαλύτερο όργανο και το πιο εμφανές όταν κάνουμε ανατομή της προνύμφης. Ο πεπτικός σωλήνας αποτελείται από τα κυπελλοειδή κύτταρα, τα κυλινδρικά κύτταρα και τα βασικά κύτταρα και περιβάλλεται από βασική μεμβράνη. Ο οπίσθιος πεπτικός σωλήνας αποτελείται από επιθηλιακά κύτταρα που φέρουν πολλές προεκβολές και κάθε μια προεκβολή αποτελείται από δύο ή τρία μεγάλα σφηνοειδή κύτταρα. Στον οπίσθιο πεπτικό σωλήνα διακρίνουμε τρεις περιοχές του: τον ειλεό (λεπτό έντερο), το παχύ έντερο και το ορθο (έδρα).



Εικόνα 4.8 *Ανατομή της προνύμφης του μεταξοσκώληκα από την κοιλιακή πλευρά, όπου φαίνονται οι θέσεις των διαφόρων εσωτερικών οργάνων και άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*



Εικόνα 4.9 *Ανατομή της προνύμφης του μεταξοσκώληκα της εικόνας 4.8, όπου δείχνονται τα διάφορα ανατομικά χαρακτηριστικά μετά την αφαίρεση του πεπτικού σωλήνα (μεσαία εικόνα) και των μεταξογόνων αδένων (δεξιά εικόνα). Οι εικόνες παρουσιάζονται σε συγκρίσιμες διαστάσεις κλίμακας (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*



Εικόνα 4.10 *Οι μεταξογόνοι αδένες της προνύμφης της εικόνας 4.8, όπου αναφέρονται τα τρία τμήματα του μεταξογόνου αδένα της προνύμφης. Οι μαύρες παύλες δείχνουν τα όρια του κάθε τμήματος του μεταξογόνου αδένα. Ο μέσος μεταξογόνος αδένες είναι χρώματος κίτρινου, γιατί η συγκεκριμένη προνύμφη προέρχεται από φυλή (Daizo) που παράγει κίτρινα κουκούλια (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Οι μεταξογόνοι αδένες είναι το δεύτερο μεγαλύτερο όργανο στο σώμα της προνύμφης, Στην πλήρη ανάπτυξή τους οι μεταξογόνοι αδένες εκτείνονται πλευρικά και κοιλιακά από το 4ο έως το 8ο μεταμερές. Οι μεταξογόνοι αδένες διακρίνονται σε 3 τμήματα, το πρόσθιο, το μέσο και το οπίσθιο. Το μεσαίο μέρος διακρίνεται περαιτέρω σε πρόσθιο, μέσο και οπίσθιο μέρος (Εικόνα 4.10). Τα κύτταρα του μεταξογόνου αδένα διαφέρουν ανάλογα με τη φυλή και τον αριθμό των εκδύσεων κάθε φυλής, αλλά δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των αδένων ως προς το φύλο, την ηλικία ανάπτυξης και τις συνθήκες εμβρυϊκής ανάπτυξης. Ένα παράδειγμα διαφορών μεταξύ των διαφόρων φυλών και των υβριδίων του μεταξοσκώληκα ως προς τα κύτταρα του μεταξογόνου αδένα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3).

Φυλή ή υβρίδιο μεταξοσκώληκα	**Πρόσθιος**	**Μέσος**	**Οπίσθιος**	**Σύνολο**
Daizo (κινεζική φυλή)	150,2 ±1,7	108,2 ±0,7	191,8 ±2,4	450,3 ±5,0
Sekaichi (ιαπωνική φυλή)	165,7 ±1,5	115,3 ±0,9	228,0 ±3,1	506,1 ±3,3
Perenees (ευρωπαϊκή φυλή)	192,5 ±2,4	139,2 ±1,1	313,0 ±3,7	644,8 ±4,3
Υβρίδιο (ιαπωνικό x κινεζικό)	376	276	592	1244

Πίνακας 4.3 *Αριθμός κυττάρων των μεταξογόνων αδένων σε προνύμφες από φυλές και υβρίδιο του μεταξοσκώληκα (Πηγή: Προσαρμογή από (Tazima, 1978)).*

Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από διακλαδιζόμενες τραχείες που εκβάλλουν σε 9 ζεύγη αναπνευστικών πόρων στη δεξιά και αριστερή πλευρά του σώματος της προνύμφης. Η προνύμφη, αλλά και η νύμφη, και το ακμαίο άτομο φέρουν έναν ραχιαίο αγωγό ροής της αιμολέμφου, ο οποίος δεν είναι ακριβώς αγγείο, γιατί τα έντομα δεν φέρουν κλειστό κυκλοφορικό σύστημα. Αυτός ο αγωγός ροής της αιμολέμφου είναι ορατός εξωτερικά από το σώμα της προνύμφης, αλλά δεν είναι διακριτός όταν κάνουμε την ανατομή της προνύμφης από τη ραχιαία πλευρά. Είναι όμως διακριτός, όταν κάνουμε την ανατομή της προνύμφης από την κοιλιακή πλευρά (Εικόνα 4.9).

Αυτό ο αγωγός ροής της αιμολέμφου διακρίνεται στο πρόσθιο μέρος του, που ονομάζεται «καρδιά» και στο οπίσθιο μέρος του, που ονομάζεται «αορτή». Στην κυριολεξία, όμως, η περιοχή του αγωγού που καλείται «καρδιά» δεν αποτελεί την καρδιά που αναγνωρίζουμε στα Χορδωτά, αλλά ένα εκτεταμένο σημείο του αγωγού, που φέρει 9 ανοίγματα εισόδου της αιμολέμφου και στο οποίο είναι εμφανείς οι συσπάσεις των πλευρικών μυών του που ωθούν την αιμολέμφο προς το πρόσθιο μέρος του σώματος του ζώου. Τα 6 Μαλπιγγιανά

σωληνάρια φέρουν ένα τυφλό άκρο το κάθε ένα και συμφύονται με τα τοιχώματα της έδρας και δημιουργούν στα τοιχώματα αυτά ένα πλέγμα αποβολής των συστατικών τους.

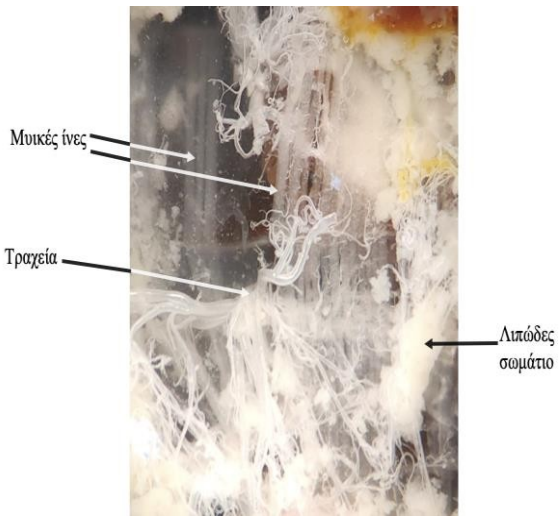
Τα Μαλπιγγιανά σωληνάρια αποτελούν το ουροποιητικό σύστημα του εντόμου και ρόλος τους είναι η απέκκριση των προϊόντων του καταβολισμού από την αιμολέμφο. Οι εκκρίσεις των Μαλπιγγιανών σωληναρίων καταλήγουν και αναμειγνύονται με τα κόπρανα και έτσι δεν υπάρχει διακριτή ούρηση και αφόδευση στα έντομα, αλλά οι εκκρίσεις του ουροποιητικού συστήματος ενσωματώνονται και αποβάλλονται με τα κόπρανα.

Οι γονάδες στην προνύμφη βρίσκονται εσωτερικά και ραχιαία στο σώμα και κάτω από τα σημάδια που μοιάζουν με αστέρια στο 6ο κοιλιακό μεταμερές.

Το κεντρικό νευρικό σύστημα αποτελείται από τον εγκέφαλο, το υπο-οισοφαγικό γάγγλιο και μια σειρά από 8 γάγγλια (1 γάγγλιο ανά μεταμερές) που σχηματίζουν το κεντρικό νευρικό σχοινί. Κάθε ένα γάγγλιο στα μεταμερή φέρει 2 ζεύγη νευρικά σχοινιά που εκτείνονται στο εκάστοτε μεταμερές.

Οι προθωρακικοί αδένες (Εικόνα 3.8) βρίσκονται εσωτερικά και κάτω από τον πόρο της τραχείας στο 1ο θωρακικό μεταμερές. Είναι αδένες εξωδερμικής προέλευσης που αποτελούνται από αποκλειστικά ομοειδή κύτταρα που εκκρίνουν την εκδυσόνη, τη στεροειδή ορμόνη που είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη, τις εκδύσεις και τις μεταμορφώσεις του μεταξοσκώληκα. Τα αλλαντοειδή και τα καρδιακά σωμάτια είναι μικρά συμπαγή σωμάτια με ελλειπτικό έως σφαιρικό σχήμα που βρίσκονται πλευρικά και κοιλιακά λίγο έξω από την κεφαλική κάψα. Τα σωμάτια αυτά διατρέχονται από νευρώνες που τα συνδέουν με τον εγκέφαλο και φέρουν κύτταρα που εκκρίνουν την ορμόνη νεότητας (αλλαντοειδή σωμάτια), αλλά και άλλα νευροπεπτίδια (καρδιακά σωμάτια).

Υπάρχουν δύο ειδών μύες στο σώμα της προνύμφης (Εικόνα 411): Οι σκελετικοί μύες και οι ακούσιοι μύες. Οι σκελετικοί μύες βρίσκονται σε στοιβάδες και διατρέχουν την επιφάνεια του σωματικού περιβλήματος από το ένα μεταμερές προς το επόμενο. Οι ακούσιοι μύες προσφύονται σε όργανα όπως ο πεπτικός σωλήνας.



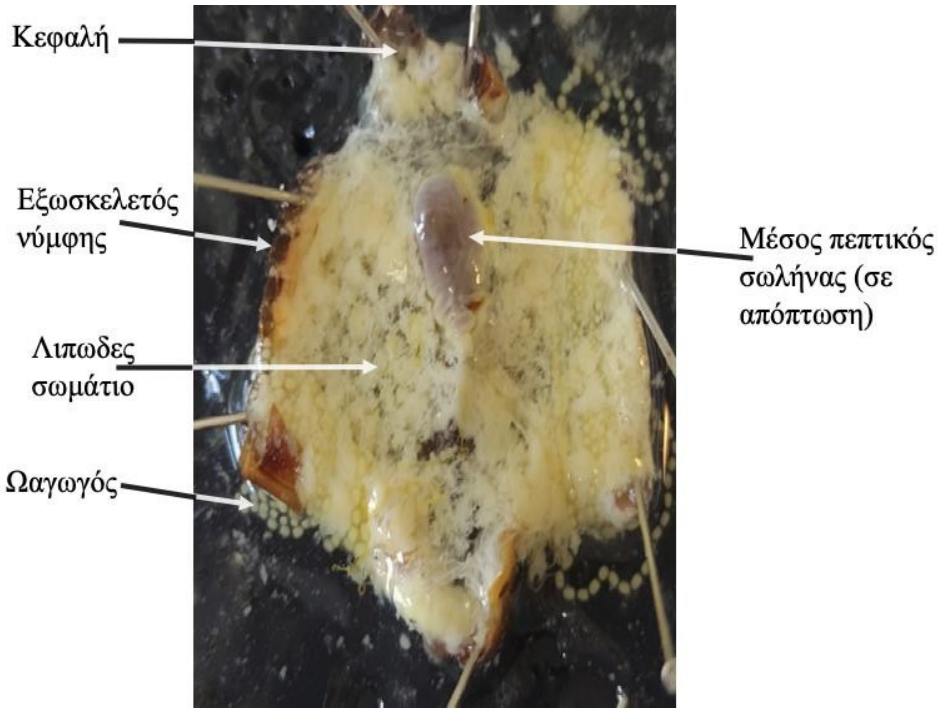
Εικόνα 4.11 *Λεπτομέρεια ανατομής της νύμφης του μεταξοσκώληκα, όπου φαίνονται οι εκούσιοι μύες που εκτείνονται από το όριο του ενός μεταμερούς μέχρι το όριο του επόμενου. Δείχνεται επίσης η διακλάδωση μιας τραχείας και το λιπώδες σωμάτιο της νύμφης. Οι εκούσιοι μύες της προνύμφης δεν είναι άμεσα εμφανείς, αλλά απαιτείται η συνολική αφαίρεση του λιπώδους σωματίου της προνύμφης, για να γίνουν εμφανείς (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η αιμολέμφος είναι συνήθως ένα διαυγές έως κίτρινο υγρό. Αποτελείται από νερό σε ποσοστό 90-95% και έχει pH 6,3-6,5 στην 5η ηλικία της προνύμφης. Στην αιμολέμφο βρίσκονται διάφορα κύτταρα που κυρίως αποτελούν μέρος του έμφυτου ανοσοποιητικού συστήματος του μεταξοσκώληκα.

Το λιπώδες σωμάτιο είναι ένα όργανο που δεν φέρει σαφή όρια μέσα στο σώμα του μεταξοσκώληκα. Είναι ένα διάχυτο στρώμα από μικροσκοπικά κύτταρα που δημιουργούν πλέγματα και μεμβρανώδεις επιστρώσεις σε όλο σχεδόν το σώμα του μεταξοσκώληκα. Οι επιστρώσεις αυτές συνδέονται με το σωματικό περίβλημα με συνδετικό ιστό. Το λιπώδες σωμάτιο είναι ιδιαίτερα εμφανές όταν κάνουμε ανατομή της προνύμφης και εμφανίζεται ως μια παχιά λευκή στρώση μεμβρανών. Ο ρόλος του λιπώδους σωματίου είναι η σύνθεση και αποθήκευση ενεργειακών αποθεμάτων για τον μεταξοσκώληκα, όπως γλυκογόνο, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια και είναι το όργανο που είναι υπεύθυνο για τον ενδιάμεσο μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών. Το λιπώδες σωμάτιο είναι το αντίστοιχο όργανο του ήπατος και του παγκρέατος στα Χορδωτά.

4.2.3 Εσωτερική δομή του σώματος της νύμφης

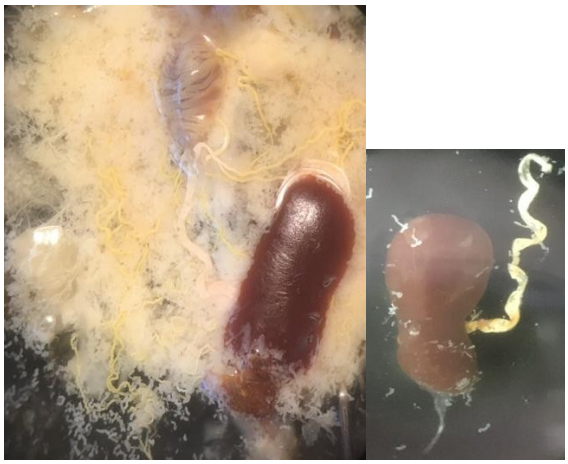
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η σταδιακή μεταμόρφωση του σώματος της προνύμφης σε νύμφη είναι εμφανής μετά το τέλος πλοκής του κουκουλιού, όταν η προνύμφη προετοιμάζεται για τη μεταμόρφωσή της σε νύμφη μέσα στο κουκούλι. Μετά την έκδυση σε νύμφη, δηλαδή την ολοκλήρωση της μεταμόρφωσης σε νύμφη, το σώμα της νύμφης είναι πολύ μαλακό και κίτρινο, αλλά το σωματικό περίβλημα γρήγορα σκληραίνει και γίνεται καφετί μετά από λίγες ώρες. Στο στάδιο της νύμφης, είναι εμφανής η διάκριση σε θηλυκό και αρσενικό άτομο και το θηλυκό άτομο είναι συνήθως μεγαλύτερο σε μέγεθος από το αρσενικό.



Εικόνα 4.12 *Ανατομή της νύμφης του μεταξοσκώληκα όπου δείχνονται τα διάφορα ανατομικά χαρακτηριστικά. Πολλά ανατομικά χαρακτηριστικά της νύμφης είναι δυσδιάκριτα λόγω της εκτεταμένης ανάπτυξης του λιπώδους σωματίου (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Στην αρχή του σταδίου της νύμφης υπάρχει έντονη μεταβολική δραστηριότητα που συνοδεύεται από λύση ή αναδιαμόρφωση των ιστών και απόπτωση των κυττάρων διαφόρων οργάνων όπως των μεταξογόνων αδένων, των ψευδοποδίων, των μικρών οφθαλμών της προνύμφης, των προθωρακικών αδένων και του ουραίου κέρατος. Τα στοματικά εξαρτήματα, τα θωρακικά πόδια, ο πεπτικός σωλήνας οι μύες και το λιπώδες σωμάτιο υφίστανται έντονη αναδιαμόρφωση της δομής τους, ενώ οι γονάδες αρχίζουν να αναπτύσσονται έντονα (Εικόνα 4.12).

Ένα χαρακτηριστικό της νύμφης είναι η απουσία εξωτερικής οπής προς το περιβάλλον από την οποία να διοχετεύονται προς το περιβάλλον τα προϊόντα καταβολισμού των ιστών. Ως αποτέλεσμα, το εσωτερικό του κελύφους του κουκουλιού παραμένει καθαρό και αυτός είναι ο κύριος λόγος που τα κουκούλια είναι εμπορικά διαχειρίσιμα, καθώς οποιοσδήποτε λεκές ή έκκριμα που προκαλείται από τραυματισμό ή θανάτωση της νύμφης από ασθένεια προκαλεί μείωση της ποιότητας του κουκουλιού. Επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα εξόδου οποιωνδήποτε υλικών από το εσωτερικό της νύμφης προς το εξωτερικό περιβάλλον, το ορθό διογκώνεται προς το τέλος του σταδίου της νύμφης και λαμβάνει μεγάλες διαστάσεις σε σχέση με το σώμα καθώς γεμίζει με τα προϊόντα του καταβολισμού. Στο τέλος του σταδίου της νύμφης, το ορθό μοιάζει σαν μια σφαιρική δομή που είναι γεμάτη από ένα υγρό με χρώμα καφέ-κόκκινο (Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13 *Ανατομή της νύμφης του μεταξοσκώληκα όπου διακρίνεται στην αριστερή εικόνα ο μέσος πεπτικός σωλήνας (άνω μέρος της εικόνας) που βρίσκεται σε διαδικασία απόπτωσης και το ορθό (κάτω μέρος αριστερής εικόνας) που έχει γεμίσει με τα υγρά του καταβολισμού των θρεπτικών συστατικών. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται το ορθό και το λεπτό έντερο καθώς έχουν αφαιρεθεί από το σώμα της νύμφης. Οι εικόνες παρουσιάζονται σε συγκρίσιμες διαστάσεις κλίμακας (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

4.2.4 Εσωτερική δομή του σώματος της νυχτοπεταλούδας

Το σώμα της νυχτοπεταλούδας διακρίνεται και αυτό σε τρία τμήματα, την κεφαλή, τον θώρακα και την κοιλιά και όλο το σώμα καλύπτεται από επικαλυπτόμενα λέπια.

Τα σωματικά εξαρτήματα της κεφαλής είναι οι κεραίες, η κάτω γνάθος, η άνω γνάθος, το κάτω χείλος και το άνω χείλος. Στην κεφαλή βρίσκεται ένα ζεύγος σύνθετων οφθαλμών μαύρου χρώματος που αποτελούνται από συσσωματώματα οφθαλμιδίων, το κάθε ένα από τα οποία έχει εξάγωνη δομή. Σε κάθε οφθαλμίδιο υπάρχει ο κρυσταλλικός φακός, ο κρυσταλλικός κώνος, τα χρωμοφόρα κύτταρα, τα φωτοευαίσθητα κύτταρα, τα ραβδία και νευρικές απολήξεις. Η δομή της κεραίας είναι κτενοειδής και φέρει 35-40 μικρότερα τμήματα ανάλογα με τη φυλή του μεταξοσκώληκα. Ο θώρακας διακρίνεται σε προθώρακα, μεσοθώρακα και μεταθώρακα και κάθε ένα από αυτά τα μέρη φέρει ένα ζεύγος θωρακικών ποδιών, ενώ από τον μεσοθώρακα και τον μεταθώρακα προβάλλουν ένα ζεύγος πτερύγων, οι πρόσθιες πτέρυγες από τον μεσοθώρακα και οι οπίσθιες από τον μεταθώρακα.

Η κοιλία αποτελείται από 8 μεταμερή στα αρσενικά και 7 μεταμερή στα θηλυκά. Τα τελικά μεταμερή της κοιλιάς και στα δύο φύλα διαφοροποιούνται για να φέρουν τα αναπαραγωγικά όργανα (Εικόνα 4.5).

Το σωματικό περίβλημα αποτελείται από το επιδερμικό στρώμα, τα εξωδερμικά κύτταρα, τα τριχοφόρα κύτταρα (που δημιουργούν τα λέπια) και τη βασική μεμβράνη. Τα τριχοφόρα κύτταρα αρχίζουν να παράγουν τα λέπια 48-60 ώρες μετά την έκδυση της προνύμφης σε νύμφη καταρχήν στη ραχιαία πλευρά και μετά στην κοιλιακή.

Ο πεπτικός σωλήνας μετασχηματίζεται έντονα κατά τη μεταμόρφωση από νύμφη σε νυχτοπεταλούδα. Το οπίσθιο μέρος του οισοφάγου μετασχηματίζεται σε ένα σφαιρικό σωμάτιο που συνθέτει και εκκρίνει στην κοιλότητά του την κοκουνάση και υγρά απέκκρισης αυτού του ενζύμου, τα οποία βοηθούν στην πέψη της σερικίνης και στη χαλάρωση του κελύφους του κουκουλιού για την έξοδο της νυχτοπεταλούδας από αυτό.

Ο μέσος πεπτικός σωλήνας μικραίνει, γίνεται επίπεδος με σχήμα οβάλ και φέρει πολλές αναδιπλώσεις. Ο οπίσθιος πεπτικός σωλήνας επιμηκύνεται. Το ορθό, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διογκώνεται και φέρει τα προϊόντα καταβολισμού (ουρικό οξύ), ενώ σε κάποιο μεταλλαγμένο στέλεχος του μεταξοσκώληκα το χρώμα του υγρού στον σάκο του ορθού είναι λευκό, καθώς η μετάλλαξη προκαλεί αλλαγή στον μεταβολισμό της Τρυπτοφάνης. Το περιεχόμενο του ορθού αποβάλλεται με εκτόξευση όταν βγει η νυχτοπεταλούδα από το κουκούλι και αυτό γίνεται σχετικά αυθόρμητα στο θηλυκό είτε πριν το ζευγάρωμα είτε κατόπιν. Σίγουρα όμως, κάθε νυχτοπεταλούδα θα αποβάλλει το περιεχόμενο του ορθού πριν πεθάνει.

Οι γονάδες διαφοροποιούνται εκτενώς κατά τη διάρκεια της μεταμόρφωσης της νύμφης σε νυχτοπεταλούδα (Εικόνα 4.2).

Το αναπνευστικό σύστημα της νυχτοπεταλούδας είναι πιο απλοποιημένο από της προνύμφης, αλλά υπάρχει εκτενής διαφοροποίηση και επέκταση των τραχειών στις πτέρυγες όπου επεκτείνονται οι τραχείες με έντονη διακλάδωση. Η διακλάδωση αυτή είναι χαρακτηριστική για την Υπεροικογένεια Bombycoidea στην

οποία ταξινομείται ο μεταξοσκώληκας και η χαρακτηριστική αυτή διακλάδωση των τραχειών ονομάζεται *νεύρωση των πτερύγων* και αποτελεί ταξινομικό χαρακτήρα.

Ο αγωγός ροής της αιμολέμφου παραμένει και στη νυχτοπεταλούδα χωρίς σημαντική διαφοροποίηση εκτός από τους μύες που αναπτύσσονται περισσότερο στη νυχτοπεταλούδα σε σχέση με την προνύμφη.

Το κεντρικό νευρικό σύστημα εμφανώς μετασχηματίζεται στη νυχτοπεταλούδα, καθώς οι σύνθετοι οφθαλμοί συμφύονται με τον εγκέφαλο και ο εγκέφαλος αλλάζει σημαντικά μορφή. Τα κοιλιακά γάγγλια μειώνονται σε αριθμό με συνένωση ή εκφυλισμό και τα γάγγλια από το 6ο έως το 13ο μεταμερές μετατρέπονται σε 4 γάγγλια.

Το μυϊκό σύστημα υφίσταται και αυτό αλλαγές, καθώς κάποιοι μύες της προνύμφης εκφυλίζονται και δεν αντικαθίστανται στο στάδιο της νυχτοπεταλούδας.

4.3 Φυσιολογία ανάπτυξης του μεταξοσκώληκα

Το σώμα της προνύμφης αυξάνεται δραματικά κατά το στάδιο της προνύμφης, ενώ το βάρος της προνύμφης αυξάνεται σημαντικά στη διάρκεια της 5ης ηλικίας. Το μέγιστο βάρος της προνύμφης επιτυγχάνεται 1-1,5 ημέρα πριν την έναρξη πλοκής του κουκουλιού και από αυτό το χρονικό σημείο και μετά μέχρι την έναρξη πλοκής του κουκουλιού το σώμα της προνύμφης έχει μια χαρακτηριστική στιλπνή χροιά που είναι ενδεικτικό ότι επέρχεται η ολοκλήρωση της διατροφικής περιόδου της 5ης ηλικίας και σύντομα θα υπάρξει η έναρξη πλοκής του κουκουλιού.

Το μέγιστο σωματικό βάρος της προνύμφης στα ιδιαίτερα παραγωγικά υβρίδια μεταξοσκώληκα μπορεί να ξεπεράσει τα 5 γραμμάρια. Τα επιμέρους όργανα αυξάνονται με διαφορετική ταχύτητα κατά τη διάρκεια του σταδίου της προνύμφης. Για παράδειγμα, οι μεταξογόνοι αδένες αυξάνονται κατά 20, 6, 5, 6 και 40 φορές από την 1η έως την 5η ηλικία αντίστοιχα και τελικά αντιστοιχούν στο 40% του σωματικού βάρους της προνύμφης. Από την άλλη μεριά, ο μέσος πεπτικός σωλήνας αυξάνεται κατά 1,6 φορές κατά τη διάρκεια της 5ης ηλικίας.

Το επιδερμίδιο αυξάνεται σε μέγεθος μέσω κυτταρικών διαιρέσεων και αύξησης του μεγέθους των κυττάρων. Η κυτταρική διαίρεση των κυττάρων του επιδερμιδίου γίνεται λίγο πριν την κάθε έκδυση. Από την άλλη πλευρά, οι μεταξογόνοι αδένες, οι σιελογόνοι αδένες, οι προθωρακικοί αδένες και τα Μαλπιγγιανά σωληνάρια αυξάνονται μέσω αύξησης του μεγέθους των κυττάρων τους, καθώς φέρουν έναν συγκεκριμένο αριθμό κυττάρων που δεν αλλάζει σε αριθμό κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Στον μέσο πεπτικό σωλήνα υπάρχει διαίρεση των κυττάρων, αλλά και αύξηση του μεγέθους των κυττάρων. Τα βασικά κύτταρα διαιρούνται κατά τη διάρκεια των εκδύσεων για να αντικαταστήσουν μέσω διαφοροποίησής τους τα κυπελλοειδή και τα κυλινδρικά κύτταρα του πεπτικού σωλήνα. Το ίδιο συμβαίνει και στα κύτταρα του λιπώδους σωματίου.

Η ταχύτητα ανάπτυξης της προνύμφης επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Για να υπάρχει οποιαδήποτε ανάπτυξη της προνύμφης, έχει βρεθεί ότι η θερμοκρασία πρέπει να είναι πάνω από 10,5-11 ^{o}C. Κάτω από αυτήν τη θερμοκρασία, η ανάπτυξη της προνύμφης σταματά πλήρως. Η ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης είναι οι 28 ^{o}C, καθώς θεωρείται ότι σε αυτήν τη θερμοκρασία τα ένζυμα του μεταβολισμού των εντόμων βρίσκονται σε συνθήκες βέλτιστης δραστηριότητάς τους. Υψηλότερες θερμοκρασίες από την ιδανική θερμοκρασία δεν είναι απαραίτητα επιβλαβείς, καθώς οι προνύμφες μπορούν να αντέξουν σε θερμοκρασίες >30 ^{o}C εφόσον διατρέφονται σωστά. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες επιλογής των υβριδίων μεταξοσκώληκα ως προς την αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες σε μια προσπάθεια προσαρμογής των εκτροφών του μεταξοσκώληκα στην κλιματική αλλαγή.

Ο λόγος για τον οποίο δεν χρησιμοποιούμε θερμοκρασίες στους 28 ^{o}C σε όλη τη διάρκεια της εκτροφής είναι επειδή αυτό είναι μια σημαντικά ενεργοβόρα πρακτική δεδομένου ότι το μέγεθος της εκτροφής αυξάνεται δραματικά στην 5η ηλικία. Από την άλλη μεριά, ο λόγος απόδοσης στο παραγόμενο προϊόν (κουκούλι) δεν βελτιώνεται σημαντικά όταν γίνεται η εκτροφή στους 28 ^{o}C σε σχέση με τους 22-23 ^{o}C που συνιστάται για την 5η ηλικία. Αυτό που επιτυγχάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας στους 28^{o}C είναι η μείωση της διάρκειας της εκτροφής, καθώς μειώνεται η διάρκεια των ηλικιών της προνύμφης και μπορεί να φτάσει στις 21-22 ημέρες μέχρι την έναρξη πλοκής των κουκουλιών.

Η υγρασία παίζει επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των προνυμφών και θεωρείται ότι η υψηλή υγρασία (80-90%) στις νεαρές ηλικίες βελτιώνει την ταχύτητα ανάπτυξης των προνυμφών, ενώ πρέπει να είναι χαμηλότερη (60-70%) στις δύο τελευταίες ηλικίες.

Είναι προφανές ότι η επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στην ανάπτυξη της προνύμφης είναι βέλτιστη όταν η διατροφή της προνύμφης είναι ιδανική. Οι προνύμφες είναι ιδιαίτερα δραστήριες στη διατροφή

τους όταν οι συνθήκες είναι ιδανικές. Η ταχύτητα μετακίνησης της τροφής τους μέσω του πεπτικού τους σωλήνα είναι περίπου 4-5 ώρες στην 5η ηλικία, μετά από μετρήσεις που έγιναν με τη χρήση χρωστικών χημικών ενώσεων ή ραδιοϊσοτόπων. Να σημειωθεί ότι όταν οι προνύμφες εκτέθηκαν σε συνθήκες πείνας για 4 ώρες πριν τη λήψη τροφής, τότε η διάρκεια μετακίνησης της τροφής τους μέσω του πεπτικού σωλήνα μειώθηκε σε λιγότερο από 2 ώρες. Αυτός είναι και ο άδηλος λόγος για τον οποίο θεωρείται ότι η διατροφή της προνύμφης πρέπει να είναι συνεχής, αλλά αυτό είναι αδύνατο στην πράξη υπό συνθήκες μαζικής εκτροφής.

Το αναπνευστικό σύστημα, που είναι ουσιαστικά ένα σύστημα σωλήνων και σωληνίσκων (που ονομάζονται *τραχειόλια*), τα οποία επενδύονται από μικροσκοπικά κύτταρα, είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή αναπνευστικών αερίων από τα κύτταρα του σώματος. Το οξυγόνο μεταφέρεται σε κύτταρα που δεν έρχονται σε επαφή με τα τραχειόλια μέσω αναπνευστικών χρωστικών που είναι πρωτεΐνες που δεσμεύουν και διακινούν το οξυγόνο μέσω της αιμολέμφου. Η κατανάλωση οξυγόνου έχει υπολογιστεί σε 80 x 10^{-8} χιλιοστόλιτρα ανά 36 χιλιοστόγραμμα σωματικού βάρους στην 3η ηλικία και σε 1742 x 10^{-8} χιλιοστόλιτρα ανά 950 χιλιοστόγραμμα σωματικού βάρους στην 5η ηλικία στους 25 ^{o}C.

Αναισθησία στην προνύμφη μπορεί να προκληθεί πολύ εύκολα όταν τη βάλουμε σε νερό. Η προνύμφη βυθίζεται στο νερό και μετά από μερικές σπασμωδικές κινήσεις μέσα στο νερό και σε λιγότερο από 1 λεπτό παύει να κινείται. Αυτό συμβαίνει καθώς οι αναπνευστικοί πόροι κλείνουν ερμητικά και το διοξείδιο του άνθρακα, που δεν έχει τη δυνατότητα διαφυγής από το σώμα, αναισθητοποιεί την προνύμφη. Μετά από μερικά λεπτά στο νερό μπορούμε να βγάλουμε την προνύμφη και αυτός είναι ο πλέον ασφαλής αλλά και βιολογικά και ηθικά ο προτιμητέος τρόπος αναισθητοποίησης όταν πρόκειται να κάνουμε ανατομή της προνύμφης, γιατί η προνύμφη βρίσκεται σε κατάσταση αναισθησίας και όχι θανάτου.

Αναισθησία μπορούμε να προκαλέσουμε και με άλλους τρόπους όπως με έκθεση σε ατμούς αιθέρα, αλλά η μέθοδος αυτή είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο. Η προνύμφη μπορεί να ανακάμψει από την αναισθησία μετά την εμβάπτισή της στο νερό ακόμη και μετά από αρκετά λεπτά, αλλά συνήθως δεν ανακάμπτει αν μείνει μέσα στο νερό για πάνω από 1 ώρα. Όταν βγάλουμε την προνύμφη από το νερό, οι αναπνευστικοί πόροι ανοίγουν και η διάχυση του οξυγόνου στο εσωτερικό του σώματος επανέρχεται σταδιακά αναζωογονώντας την προνύμφη.

Η απέκκριση των συστατικών της τροφής γίνεται μέσω των Μαλπιγγιανών σωληνίσκων που φέρουν κύτταρα με έντονη απορροφητική δραστηριότητα, τα οποία απομακρύνουν χημικές ενώσεις όπως το ουρικό οξύ, τη ροβοφλαβίνη, το οξαλικό οξύ αλλά και άλλες χημικές ενώσεις από την αιμολέμφο. Αυτές οι χημικές ενώσεις κρυσταλλώνονται μέσα στον αγωγό των Μαλπιγγιανών σωληνίσκων μετά την απορρόφησή τους και μεταφέρονται στο ορθό όπου και αποβάλλονται.

Κατά τη διάρκεια των εκδύσεων, το περιεχόμενο των Μαλπιγγιανών σωληνίσκων απεκκρίνεται μεταξύ του παλιού και του νέου επιδερμιδίου και παραμένει στο παλιό επιδερμίδιο που αφαιρείται. Στην περίπτωση της μεταμόρφωσης από νύμφη σε νυχτοπεταλούδα, τα Μαλπιγγιανά σωληνάρια μεταφέρουν τις χημικές ενώσεις που απορροφούν στο ορθό, το οποίο περιέχει 5-15 χιλιοστόγραμμα ουρικού οξέος, το οποίο αποτελεί το 86% του μεταβολισμού του αζώτου που παροχετεύεται στο ορθό.

Οι μεταξογόνοι αδένες μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν ως όργανα απέκκρισης, καθώς εάν αφαιρέσουμε χειρουργικά τους μεταξογόνους αδένες ή μπλοκάρουμε την έξοδο των μεταξογόνων αδένων από τον εκκριτικό τους πόρο στην κεφαλή, τότε η προνύμφη εμφανίζει έντονη πρωτεϊναιμία και πεθαίνει συνήθως πριν τη μεταμόρφωση σε νύμφη. Αυτά τα πειράματα έδειξαν ότι στην ουσία η σύνθεση και έκκριση των πρωτεϊνών του μεταξιού είναι μια διαδικασία απέκκρισης των πλεονασματικών αμινοξέων, του νερού αλλά και άλλων χημικών ενώσεων όπως οι χρωστικές που δίνουν συγκεκριμένο χρώμα στο κουκούλι. Το επιδερμίδιο μπορεί και αυτό να χαρακτηριστεί ως όργανο απέκκρισης, καθώς από τα κύτταρά του απεκκρίνονται ουρικό οξύ, πτερίνες αλλά και άλλες χρωστικές προς την επιφάνεια του σώματος.

Μια προνύμφη καταναλώνει περίπου 36 γραμμάρια φύλλων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής της και το 60% του αζώτου που περιέχεται στα φύλλα μετατρέπεται σε πρωτεΐνη του μεταξιού. Το μέγιστο που μπορεί να εκκρίνει μια προνύμφη ως πρωτεΐνη του μεταξιού είναι περίπου 0,6 γραμμάρια στα πλέον παραγωγικά υβρίδια. Το μήκος της ίνας του μεταξιού είναι περίπου 1000-1500 μέτρα στα υβρίδια, αλλά ποικίλλει και είναι μικρότερο από 1000 μέτρα σε κάποιες φυλές και μεγαλύτερο από 1500 μέτρα σε κάποια πολύ παραγωγικά υβρίδια.

Ο μεταξογόνος αδένας χωρίζεται σε τρία μέρη: τον οπίσθιο, τον μεσαίο και τον πρόσθιο μεταξογόνο αδένα. Τα κύτταρα του οπίσθιου μεταξογόνου αδένα συνθέτουν φιβροΐνη που εκκρίνεται στον αγωγό του αδένα και προωθείται στον μεσαίο μεταξογόνο αδένα όπου καλύπτεται από σερικίνη. Μέσα στον μεταξογόνο αδένα και οι δύο πρωτεΐνες βρίσκονται σε ζελατινώδη υδαρή μορφή. Με την έναρξη της πλοκής του κουκουλιού, οι δύο πρωτεΐνες ωθούνται προς το εξωτερικό περιβάλλον μέσω της οπής του μεταξογόνου πόρου, όπου και κρυσταλλώνονται άμεσα, ερχόμενες σε επαφή με τον αέρα. Στο άκρο του πρόσθιου μεταξογόνου αδένα

βρίσκεται συνδεδεμένη με αυτόν μια μάζα κυττάρων που αποτελούν τον αδένα του Filippi. Ο ρόλος των κυττάρων αυτών δεν είναι πλήρως διευκρινισμένος, αλλά θεωρούνται ότι εναποθέτουν πάνω στις πρωτεΐνες του μεταξιού άλλες πρωτεΐνες αλλά και βακτηριοστατικές χημικές ενώσεις (Sehadova et al., 2021; Wang et al., 2016).

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν διαφορές στον αριθμό των κυττάρων που δημιουργούν το επιθήλιο του μεταξογόνου αδένα και εκκρίνουν τις πρωτεΐνες του μεταξιού, δεν υπάρχει ξεκάθαρη συσχέτιση ανάμεσα στον αριθμό των κυττάρων και την ποσότητα των πρωτεϊνών του μεταξιού που παράγουν. Επίσης, χορήγηση ραδιοσημασμένων αμινοξέων μέχρι την 3η ημέρα της 5ης ηλικία έδειξε ότι τα ραδιοσημασμένα αυτά αμινοξέα δεν αποθηκεύονται στον μεταξογόνο αδένα, αλλά σε άλλους ιστούς. Μετά την 4η ημέρα της 5ης ηλικίας τα ραδιοσημασμένα αμινοξέα εντοπίζονται και στον μεταξογόνο αδένα.

Από αυτά και από άλλα πειράματα θεωρείται ότι η ποσότητα των αμινοξέων που οδηγούνται προς σύνθεση των πρωτεϊνών του μεταξογόνου αδένα προέρχεται από το σωματικό περίβλημα, καθώς αυτό υφίσταται ιστόλυση και μετατρέπεται σε περίβλημα της νύμφης, αλλά και από τους άλλους ιστούς που υφίστανται ιστόλυση κατά την πορεία της μεταμόρφωσης σε νύμφη. Εάν αυτή η θεώρηση είναι σωστή, τότε η ποσότητα του μεταξιού που παράγεται είναι σε άμεση συσχέτιση με το μέγεθος του σώματος της προνύμφης και όσο μεγαλύτερο το μέγεθος της προνύμφης, τόσο περισσότερο μετάξι θα παράγει.

Αυτή η συσχέτιση έχει αποδειχθεί, καθώς με πειραματική αύξηση του μεγέθους της προνύμφης μέσω επιμήκυνσης της διάρκειας της 5ης ηλικίας αυξάνεται και η ποσότητα του μεταξιού που παράγει και εκκρίνει η προνύμφη. Αυτή η θετική συσχέτιση όμως, όπως θα περιγραφεί στα επόμενα κεφάλαια, είναι επιβαρυντική στην πράξη για το κόστος εκτροφής, γιατί το κόστος εκτροφής και επιπρόσθετης εργασίας αυξάνεται δυσανάλογα καθώς επεκτείνεται η διάρκεια της 5ης ηλικίας. Με άλλα λόγια, υπάρχει ένα πλαφόν στην ποσότητα του μεταξιού που μπορεί να παράγει μια προνύμφη και αυτό καθορίζεται από το κόστος παραγωγής του μεταξιού κατά την εκτροφή.

Η αιμολέμφος παίζει σημαντικό ρόλο στη μετακίνηση των θρεπτικών συστατικών μέσα στο σώμα του μεταξοσκώληκα, στην αναπνοή αλλά και στην έμφυτη ανοσία. Το ποσό της αιμολέμφου σε σχέση με το βάρος του σώματος κυμαίνεται από 21-25% σε όλα τα στάδια ανάπτυξης και δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο ποσοστό αυτό σε σχέση με το φύλο ή το αναπτυξιακό στάδιο. Το ποσό της ολικής πρωτεΐνης που υπάρχει στην αιμολέμφο αυξάνεται στο στάδιο της προνύμφης και φτάνει από τα 18 χιλιοστόγραμμα στην αρχή της 5ης ηλικίας στα 120 χιλιοστόγραμμα για τα αρσενικά και στα 150 χιλιοστόγραμμα για τα θηλυκά όταν η προνύμφη αποκτά το μέγιστο βάρος της. Κατόπιν, το ποσό αυτό σταδιακά μειώνεται.

Πλέον είναι γνωστός ο αριθμός και τα είδη πρωτεϊνών που κυκλοφορούν στην αιμολέμφο, καθώς έχουν γίνει εκτενείς έρευνες με τη χρήση ηλεκτροφόρησης πρωτεϊνών 2 διαστάσεων και υπάρχει ειδικευμένη ιστοσελίδα για το θέμα αυτό (δείτε Κεφάλαιο 11). Η ροή της αιμολέμφου γίνεται ανάποδα κατά μήκος του σώματος, καθώς η αιμολέμφος ρέει προς το πίσω μέρος του σώματος μέσα στη σωματική κοιλότητα, εισέρχεται στον αγωγό ροής της αιμολέμφου στα κοιλιακά μεταμερή 6-11 και φεύγει από τον αγωγό ροής της στην αρχή του θώρακα.

4.3.1 Αναπτυξιακές αλλαγές του σώματος κατά τη μεταμόρφωση

Η δημιουργία του νέου επιδερμιδίου κατά τη μεταμόρφωση σε νύμφη και νυχτοπεταλούδα ακολουθεί την τυπική διαδικασία της μεταμόρφωσης των Αρθρόποδων. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, έχει αποτελέσει το κέντρο του ενδιαφέροντος για πάρα πολλούς επιστήμονες στο παρελθόν και έχει περιγραφεί με ιδιαίτερη λεπτομέρεια σε ένα πλήθος δημοσιεύσεων. Παρόλα αυτά, είναι πάρα πολλά αυτά που δεν γνωρίζουμε ακόμη για αυτήν την πολύπτυχη αναπτυξιακή διαδικασία και συνεχώς προκύπτουν νέα δεδομένα για τη διαδικασία της μεταμόρφωσης.

Η διαδικασία ξεκινά με την επίδραση της στεροειδούς ορμόνης, 20-υδροξυεξδυσόνης, στα επιδερμικά κύτταρα. Τα κύτταρα αρχίζουν να διαιρούνται και συνδέονται στενά μεταξύ τους. Τα κύτταρα του επιδερμίδιου κατόπιν εκκρίνουν ένα υγρό, το οποίο πρωτεολύει το εξωτερικό ακυτταρικό επι-επιδερμίδιο και προκαλεί πέψη της χιτίνης του στρώματος αυτού. Ο όρος επι-επιδερμίδιο αναφέρεται σε ένα ακυτταρικό στρώμα συστατικών που εκκρίνονται από τα κύτταρα του επιδερμίδιου. Κατόπιν αρχίζει η έκκριση από τα ίδια κύτταρα των νέων συστατικών του επι-επιδερμιδίου που θα σχηματιστεί, ενώ γίνεται η απορρόφηση συστατικών του παλιού επι-επιδερμιδίου. Μετά την ολοκλήρωση της εναπόθεσης του νέου επι-επιδερμίδιου, γίνεται η έκδυση της νύμφης ή της νυχτοπεταλούδας η οποία είναι και αυτή μια διαδικασία που δρομολογείται από συγκεκριμένες ορμόνες.

Μετά την έκδυση, το νέο επι-επιδερμίδιο επεκτείνεται και σκληραίνει, καθώς λιπίδια αλλά και άλλα συστατικά εναποτίθενται σε αυτό.

Το λιπώδες σωμάτιο υφίσταται και αυτό αναδιάταξη κατά τη διάρκεια των μεταμορφώσεων από προνύμφη σε νύμφη και από νύμφη σε νυχτοπεταλούδα. Λίγα κύτταρα του λιπώδους σωματίου παραμένουν από την προνύμφη έως τη νυχτοπεταλούδα, καθώς τα περισσότερα κύτταρα υφίστανται απόπτωση και τα συστατικά τους μεταφέρονται στα αναπτυσσόμενα ωοθυλάκια. Είναι χαρακτηριστικό ότι περισσότερα κύτταρα του λιπώδους σωματίου υφίστανται απόπτωση στα θηλυκά άτομα σε σχέση με τα αρσενικά άτομα, μια ένδειξη ότι τα ενεργειακά αποθέματα του λιπώδους σωματίου χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των ωοθυλακίων.

Η απόπτωση των μεταξογόνων αδένων είναι μια διαδικασία που έχει μελετηθεί λεπτομερώς, καθώς η διαδικασία ιστόλυσης και ολικής εξαφάνισης αυτών των οργάνων αποτελεί ένα κλασικό παράδειγμα των διεργασιών απόπτωσης σε κυτταρικό επίπεδο, Η απόπτωση των κυττάρων του μεταξογόνου αδένα ξεκινά από την έναρξη της πλοκής του κουκουλιού και συνεχίζεται μέχρι και την αρχή του σταδίου της νύμφης όταν το όργανο αυτό εξαφανίζεται πλήρως.

4.3.2 Περιβαλλοντικές προσαρμογές του μεταξοσκώληκα

Η ιδανική θερμοκρασία εκτροφής για την επίτευξη της υψηλότερης απόδοσης σε σχέση με το παραγόμενο προϊόν, το μετάξι, έχει δειχθεί από πειράματα ότι είναι οι 30 °C, για τις 3 πρώτες ηλικίες τη προνύμφης, οι 25 °C για την 4η ηλικία και οι 20-25°C για την 5η ηλικία. Η εκτροφή σε αυτές τις θερμοκρασίες οδηγεί σε μείωση της διάρκειας εκτροφής και σε μείωση της θνησιμότητας, ενώ αυξάνει το βάρος των κουκουλιών και την παραγωγή μεταξιού.

Ωστόσο, σε άλλα πειράματα που έχουν γίνει με βάση τη βέλτιστη δραστηριότητα διαφόρων ενζύμων του μεταξοσκώληκα δείχθηκε ότι η ιδανική θερμοκρασία είναι από 20-28 °C. Τέτοιες πειραματικές προσεγγίσεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με σχετική επιφυλακτικότητα, παρά το γεγονός ότι είναι πολύ σημαντικές, γιατί μπορεί να μην έχουν εφαρμογή σε όλα τα υβρίδια και όλες τις φυλές του μεταξοσκώληκα που υπάρχουν.

Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι επίσης σημαντική στην εμφάνιση της διάπαυσης, όπως θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο, καθώς έκθεση των αυγών σε θερμοκρασία 15 °C μετά την εμφάνιση των θωρακικών ποδιών στο έμβρυο, οδηγεί στην εμφάνιση δεύτερου κύκλου ζωής μέσα στο έτος στις φυλές που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος.

Η υγρασία έχει παρόμοια αποτελέσματα με τη θερμοκρασία στην ανάπτυξη των προνυμφών. Στις νεαρές ηλικίες η ανάπτυξη είναι βέλτιστη σε συνθήκες υψηλής υγρασίας, ενώ στις μεγαλύτερες ηλικίες η υψηλή υγρασία πρέπει να αποφεύγεται, γιατί αυξάνει τα ποσοστά θνησιμότητας, ενώ μειώνει και την ποιότητα του παραγόμενου μεταξιού.

Επίσης, η παρουσία διοξειδίου του άνθρακα στο κρεβάτι εκτροφής σε ποσοστό πάνω από 1% θεωρείται ότι προκαλεί αναστολή της ανάπτυξης των προνυμφών και υπάρχει μια γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στο ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα στο κρεβάτι εκτροφής και στην αύξηση της θνησιμότητας των προνυμφών (Tazima, 1978).

4.4 Διατροφή του μεταξοσκώληκα

Η διατροφή του μεταξοσκώληκα αποτελεί ένα μεγάλο κεφάλαιο στον επιστημονικό κλάδο της σηροτροφίας, καθώς υπάρχουν εκατοντάδες δημοσιεύσεις που αφορούν είτε τις παραγωγικές παραμέτρους της διατροφής για την παραγωγή κουκουλιών ή τη βελτίωση της διατροφής της προνύμφης, αλλά και την ανάπτυξη και εφαρμογή της τεχνητής δίαιτας για τη διατροφή της προνύμφης (Anonymous, 1985; Ayuzawa, 1972; Horie, 1978, 1995; Horie & Ito, 1962, 1965; Horie & Watanabe, 1969, 1983; Ito, 1961; Ito et al., 1962; Sudo et al., 1999; Tazima, 1978)

4.4.1 Διατροφικές απαιτήσεις σε αμινοξέα και μεταβολισμός των αμινοξέων

Η δυνατότητα διατροφής του μεταξοσκώληκα με τεχνητή δίαιτα επέτρεψε την εξακρίβωση των L-αμινοξέων, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα και έγινε έτσι περαιτέρω κατηγοριοποίηση των αμινοξέων στις παρακάτω ομάδες (Horie, 1995; Ito, 1972; Tazima, 1978):

- Απαραίτητα αμινοξέα (ομάδα 1): Αργινίνη, Ιστιδίνη, Ισολευκίνη, Λευκίνη, Λυσίνη, Μεθειονίνη, Φαινυλαλανίνη, Θρεονίνη, Τρυπτοφάνη και Βαλίνη
- Απαραίτητα αμινοξέα (ομάδα 2): Ασπαραγινικό οξύ και Γλουταμινικό οξύ
- Ημι-απαραίτητα αμινοξέα: Προλίνη
- Μη απαραίτητα αμινοξέα (ομάδα 1): Αλανίνη, Γλυκίνη και Σερίνη
- Μη απαραίτητα αμινοξέα (ομάδα 2): Κυστεΐνη και Τυροσίνη

Η Ασπαραγίνη και η Γλουταμίνη έχουν δειχθεί ότι δεν είναι απαραίτητα αμινοξέα όταν υπάρχει ασπαραγινικό οξύ και γλουταμινικό οξύ στη διατροφή του μεταξοσκώληκα (Ito & Inokuchi, 1992).

Τα απαραίτητα αμινοξέα της ομάδας 1 θεωρείται ότι δεν συντίθενται στο σώμα του μεταξοσκώληκα, αλλά λαμβάνονται από την τροφή (Horie, 1995; Tazima, 1978). Πειράματα που έγιναν με τη χρήση ενδιάμεσων προϊόντων του μεταβολισμού των αμινοξέων έδειξαν ότι η ύπαρξη πρόδρομων χημικών ενώσεων στην τεχνητή δίαιτα μπορεί να οδηγήσει στη σύνθεση μερικών αμινοξέων, αλλά αυτές οι πρόδρομες χημικές ενώσεις δεν είναι απαραίτητες όταν ο μεταξοσκώληκας τρέφεται με φύλλα, καθώς λαμβάνει άμεσα τα απαραίτητα αμινοξέα (Horie, 1995; Tazima, 1978).

Τα δύο απαραίτητα αμινοξέα της ομάδας 2 θεωρούνται απαραίτητα, καθώς οι προνύμφες δεν μπορούν να ολοκληρώσουν την ανάπτυξή τους πέρα από την 1η ηλικία χωρίς αυτά, αλλά προσθήκη Γλυκίνης, Σερίνης και Αλανίνης σε μεγαλύτερες ποσότητες μπορεί να αντικαταστήσει την απουσία αυτών των αμινοξέων (Horie, 1995; Inokuchi, 1972; Ito, 1972; Tazima, 1978).

Αναφορικά με την Προλίνη, βρέθηκε ότι είναι ημι-απαραίτητη, καθώς με την απουσία της οι προνύμφες αργούσαν αλλά ολοκλήρωναν τις ηλικίες ανάπτυξής τους, ενώ η προσθήκη Ορνιθίνης ή Τυροσίνης αναπλήρωνε την απουσία της Προλίνης (Inokuchi, 1972; Tazima, 1978). Οι προνύμφες που τρέφονταν με τεχνητή δίαιτα χωρίς Προλίνη είχαν κοκκινωπό χρωματισμό σώματος, ενώ αυτός ο χρωματισμός δεν εμφανιζόταν με προσθήκη Ορνιθίνης ή Τυροσίνης στη δίαιτα (Tazima, 1978).

Αναφορικά με τα άλλα μη απαραίτητα αμινοξέα, η κατηγοριοποίησή τους ως μη απαραίτητα βασίζεται είτε στην ικανότητα σύνθεσής τους από πρόδρομες χημικές ενώσεις στην προνύμφη (ομάδα 1) είτε από την ικανότητα σύνθεσης της Κυστεΐνης από Μεθειονίνη και της Τυροσίνης από τη Φαινυλαλανίνη (ομάδα 2) (Tazima, 1978).

Σε επίπεδο πρωτεϊνών, από διάφορες πηγές (Tazima, 1978) βρέθηκε ότι το άλευρο σόγιας έχει την καλύτερη συσχέτιση με τις πρωτεΐνες των φύλλων της μουριάς και για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιείται ως συστατικό της τεχνητής δίαιτας των προνυμφών (Tazima, 1978).

4.4.2 Διατροφικές απαιτήσεις σε λιπίδια

Πριν τη χρήση της τεχνητής δίαιτας για τις προνύμφες, οι ενεργειακές ανάγκες των προνυμφών σε λιπίδια εξακριβώνονταν μέσω ανάλυσης των λιπιδίων στα φύλλα και την προσθήκη λιπιδίων στα φύλλα (Tazima, 1978).

Τα φύλλα της μουριάς φέρουν 3-6% της ξηράς ουσίας τους σε λιπίδια, ενώ ο συντελεστής χώνευσης των λιπιδίων είναι 58,5% κατά μέσο όρο σε όλες τις ηλικίες της προνύμφης.

Η αναγκαιότητα ύπαρξης λιπιδίων στην τροφή του μεταξοσκώληκα είναι γνωστή από πολύ παλιά, καθώς είναι γνωστό ότι τα έντομα αλλά και γενικότερα τα Αρθρόποδα δεν μπορούν να συνθέσουν χοληστερόλη, όπως τα Χορδωτά, αλλά βασίζονται στην ύπαρξη στερολών στην τροφή τους για την πρόσληψη της χοληστερόλης (Tazima, 1978). Η σύνθεση χοληστερόλης από μεβαλονικό οξύ και σκουαλένιο δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στον μεταξοσκώληκα. Η χοληστερόλη είναι εξαιρετικά σημαντική για την ανάπτυξη των εντόμων, καθώς είναι η πρόδρομη χημική ένωση για τη σύνθεση των εκδυστεροειδών στους προθωρακικούς αδένες των εντόμων (Tazima, 1978). Ωστόσο, τα φύλλα της μουριάς φέρουν κυρίως β-σιτοστερόλη και σε μικρότερα ποσά καμπεστερόλη και στιγμαστερόλη. Αυτές οι στερόλες έχει βρεθεί ότι μεταβολίζονται εύκολα σε χοληστερόλη

στο σώμα της προνύμφης, ενώ η β-σιτοστερόλη έχει βρεθεί ότι διεγείρει τη μασητική δραστηριότητα της προνύμφης (Tazima, 1978).

Από τα λιπαρά οξέα, το λινελαϊκό και το λινολενικό οξύ βρέθηκε να είναι τα πιο σημαντικά στη διατροφή του μεταξοσκώληκα. Επίσης, και άλλα λιπαρά οξέα βρέθηκε να μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη της προνύμφης (Tazima, 1978). Ως αποτέλεσμα, πολλά μείγματα φυτικών ελαίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή της τεχνητής δίαιτας για τις προνύμφες. Στα φύλλα της μουριάς, 3 λιπαρά οξέα, το στεαρικό, το λινελαϊκό και το λινολενικό οξύ αποτελούν το 90% των λιπαρών οξέων και βρίσκονται σε αναλογία 3:2:4 (Tazima, 1978).

4.4.3 Διατροφικές απαιτήσεις σε υδατάνθρακες

Ο κύριος υδατάνθρακας στην αιμολέμφο της προνύμφης είναι η τρεχαλόζη, ένας δισακχαρίτης που αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης. Πειράματα με διατροφή των προνυμφών με υδατάνθρακες, μέσω έγχυσης των διαλυμάτων των υδατανθράκων από το στόμα της προνύμφης, έδειξαν ότι οι πεντόζες έχουν γενικά ασήμαντη διατροφή αξία, ενώ όλες οι εξόζες γενικά είχαν υψηλή διατροφική αξία όπως και οι δισακχαρίτες και οι τρισακχαρίτες (Tazima, 1978).

Η σορβιτόλη και η μαννιτόλη είχαν επίσης υψηλή διατροφική αξία ως πρόδρομα μόρια της σύνθεσης υδατανθράκων, ενώ η ινοσιτόλη δεν φάνηκε να οδηγεί στη σύνθεση υδατανθράκων. Από τους δισακχαρίτες, η σακχαρόζη έχει επίσης δειχθεί ότι ενεργοποιεί τη μασητική δραστηριότητα της προνύμφης πολύ περισσότερο από τη γλυκόζη (Tazima, 1978).

4.4.4 Διατροφικές απαιτήσεις σε βιταμίνες

Οι βιταμίνες της ομάδας Β που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της προνύμφης είναι η Βιοτίνη, Νιασίνη, Παντοθενικό οξύ, Πυριδοξίνη, Ριβοφλαβίνη και Θειαμίνη και οι συγγενικές χημικές ενώσεις Χολίνη, και Ινοσιτολη. Το Φολικό οξύ (βιταμίνη Β9) δεν βρέθηκε να είναι ιδιαίτερα απαραίτητο, ενώ η κοβαλαμίνη (βιταμίνη Β12) που δεν υπάρχει στα φύλλα της μουριάς παρέχεται στις προνύμφες από βακτήρια του Φύλου Actinomycetota που παράγουν και παρέχουν αυτήν τη βιταμίνη στις προνύμφες. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.4) φαίνεται το περιεχόμενο των φύλλων της μουριάς σε βιταμίνες της ομάδας Β και οι διατροφικές απαιτήσεις των προνυμφών σε αυτές τις βιταμίνες.

Βιταμίνες	**Ελάχιστο απαιτούμενο ποσό (χιλιοστόγραμμα/γραμμάριο ξηράς ουσίας)**	**Ποσότητα στα φύλλα μουριάς (χιλιοστόγραμμα/γραμμάριο ξηράς ουσίας)**
Θεαμίνη (B1)	0.5	6.7
Ροβοφλαβίνη (B2)	5	13-21
Νιασίνη (B3)	20	69-99
Παντοθενικό οξυ (B5)	20	16-35
Πυριδοξίνη (B6)	5	43-50
Βιοτίνη (B7)	1.0	0.2-0.8
Χολίνη	750	930-1550
Ινοσιτόλη	1000	4000

Πίνακας 4.4 *Σύγκριση των ποσών των βιταμινών της ομάδας Β και δύο άλλων συγγενικών χημικών ενώσεων, που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη της προνύμφης σε σχέση με το ποσό τους στα φύλλα της μουριάς (Πηγή: Προσαρμογή από (Tazima, 1978)).*

Ως προς τη βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ), αυτή βρέθηκε να είναι απαραίτητη σε ιδανική συγκέντρωση 10-20 χιλιοστόγραμμα ανά γραμμάριο ξηράς τροφής.

Σχετικά με τις λιποδιαλυτές βιταμίνες, το β-καροτένιο και η α-τοκοφερόλη βρέθηκαν να ενισχύουν την ανάπτυξη της προνύμφης. Πέρα από τις βιταμίνες, υπάρχουν πάρα πολλές δημοσιεύσεις που υποστηρίζουν ότι η χρήση διαφόρων χημικών ενώσεων, όπως αντισηπτικά ή άλλα οργανικά οξέα, βοηθούν στην ανάπτυξη των προνυμφών όταν τρέφονται με τεχνητή δίαιτα (Tazima, 1978).

4.4.5 Διατροφικές απαιτήσεις σε μέταλλα και ιχνοστοιχεία

Από τα ανόργανα συστατικά, το κάλιο, το μαγνήσιο και ο σίδηρος βρέθηκαν να είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της προνύμφης, ενώ το κάλιο βρέθηκε ότι πρέπει να υπάρχει σε δύο μορφές, ως K_2HPO_4 και ως KCl στην τεχνητή δίαιτα. Από τα ιχνοστοιχεία, το μαγγάνιο, το ασβέστιο, ο ψευδάργυρος και ο φώσφορος βρέθηκαν να είναι απαραίτητα επίσης. Αντίθετα, το χλωριούχο νάτριο βρέθηκε να παρεμποδίζει σχετικά την ανάπτυξη της προνύμφης (Tazima, 1978).

Συνοψίζοντας, η γνώση που υπάρχει σχετικά με τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη της προνύμφης του μεταξοσκώληκα απεικονίζεται περιεκτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.5), όπου αναφέρονται οι διάφορες κατηγορίες των θρεπτικών συστατικών που έχουν βρεθεί ότι είναι κρίσιμα στη διατροφή του μεταξοσκώληκα.

Αμινοξέα	**Λιπίδια**	**Βιταμίνες**	**Υδατάνθρακες**	**Μέταλλα**
Απαραίτητα	*Στερόλες*	*Απαραίτητες*	*Σημαντικοί*	*Απαραίτητα*
Αργινίνη	β-Σιτοστερόλη ή	Θεαμίνη (B1)	Γλυκόζη	Ασβέστιο
Ιστιδίνη	Χοληστερόλη ή	Ροβοφλαβίνη (B2)	Σακχαρόζη	Σίδηρος
Ισολευκίνη	Στιγμαστερόλη ή	Νιασίνη (B3)	Φρουκτόζη	Μαγνήσιο
Λευκίνη	Καμπεστερόλη ή	Παντοθενικό οξυ (B5)	*Λιγότεροι σημαντικοί*	Φώσφορος
Λυσίνη	Εργοστερόλη (λιγότερο θρεπτική)	Πυριδοξίνη (B6)	Μαλτόζη	Μαγγάνιο
Μεθειονίνη	*Λιπαρά οξέα*	Βιοτίνη (B7)	Λακτόζη	Κάλιο
Φαινυλαλανίνη	Λινελαϊκό οξύ	Φυλλικό οξύ (B9)	Τρεχαλόζη	Ψευδάργυρος
Θρεονίνη	Λινολενικό οξύ	L-ασκορβικό οξύ (Βιταμίνη C)	Σορβιτόλη	
Τρυπτοφάνη	Ολεϊκό οξύ (λιγότερο θρεπτικό)	α-Τοκοφερόλη (Βιταμίνη E)	Κελλοβιόζη	
Βαλίνη	Στεαρικό οξύ (λιγότερο θρεπτικό)	*Συγγενικές χημικές ενώσεις*	Μελεζιτόζη	
Ασπαραγινικό οξύ	Παλμιτικό οξύ (λιγότερο θρεπτικό)	Χολίνη		
Γλουταμινικό οξύ		Ινοσιτόλη		
Ημι-απαραίτητα				
Προλίνη				
Μη απαραίτητα				
Αλανίνη				
Κυστεΐνη				
Γλυκίνη				
Σερίνη				
Τυροσίνη				

Πίνακας 4.5 *Κατάλογος με τα απαραίτητα (ή λιγότερο απαραίτητα) θρεπτικά συστατικά που πρέπει να περιλαμβάνει η διατροφή της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Για διάφορα άλλα θρεπτικά συστατικά, όπως για παράδειγμα για πολλά ιχνοστοιχεία, υπάρχουν ελλιπείς πληροφορίες (Πηγή: Προσαρμογή από (Ito, 1980)).*

4.5 Εκτροφή του μεταξοσκώληκα με τεχνητή δίαιτα

4.5.1 Εξέλιξη της τεχνητής δίαιτας για τις προνύμφες

Η πρώτη αναφορά για την ανάπτυξη τεχνητής δίαιτας για τους μεταξοσκώληκες έγινε το 1960 όταν ολοκληρώθηκε η πρώτη εκτροφή προνυμφών με τεχνητή δίαιτα στην Ιαπωνία (Ito et al., 1960). Αυτό το επίτευγμα αποτέλεσε κομβικό σημείο για την ανάπτυξη της σηροτροφίας και η ανάπτυξη της τεχνητής δίαιτας έδωσε τη δυνατότητα ο μεταξοσκώληκας να γίνει ένας οργανισμός-μοντέλο, καθώς πλέον θα μπορούσε η εκτροφή του να γίνεται σε όλη τη διάρκεια του έτους, τουλάχιστον σε εργαστηριακό επίπεδο, και να μην περιορίζεται από την ύπαρξη φύλλων μουριάς (Tazima, 1978).

Αυτό είναι πραγματικότητα πλέον και η εκτροφή του μεταξοσκώληκα σε μαζικό επίπεδο, επίσης, μπορεί να γίνει σε όλη τη διάρκεια του έτους, παρότι κάτι τέτοιο είναι οικονομικά ασύμφορο. Με άλλα λόγια, η τεχνητή δίαιτα παρέχει τη δυνατότητα πολλαπλών εκτροφών μεταξοσκώληκα κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά η εκτροφή όλων των ηλικιών με τεχνητή δίαιτα δεν είναι επικερδής, καθώς τα παραγόμενα κουκούλια θα πρέπει να πωλούνται σε πολύ υψηλές τιμές (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Hiratsuka, 1969; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η πρώτη τεχνητή δίαιτα που δημιουργήθηκε περιείχε 50% ξηρά και αλεσμένα φύλλα μουριάς και άλλα απλά συστατικά, καθώς δεν υπήρχε γνώση για τις διατροφικές ανάγκες των προνυμφών (Tazima, 1978). Όμως, αυτό το επίτευγμα έδωσε μεγάλη ώθηση κα παρείχε σημαντικά δεδομένα για την ανάπτυξη του επιστημονικού κλάδου της διατροφής των εντόμων που είναι άμεσα συνυφασμένο με την καταπολέμηση των επιβλαβών για τις καλλιέργειες εντόμων (Tazima, 1978).

Κατόπιν έγιναν πολλές δοκιμές και μελέτες (Horie, 1978, 1995; Horie & Ito, 1962, 1965; Horie & Watanabe, 1983; Ito, 1961; Ito, 1972; Ito, 1980; Ito et al., 1962; Ito & Inokuchi, 1992; Ito et al., 1960) και κατορθώθηκε η δημιουργία τεχνητής τροφής με 10% άλεσμα φύλλων μουριάς και άμυλο, σακχαρόζη, άλεσμα σόγιας, μείγμα αλάτων και άλεσμα κυτταρίνης. Κρίσιμο σημείο στη δημιουργία της τεχνητής δίαιτας ήταν η διαπίστωση ότι η κατεργασία με αιθέρα του αλέσματος σόγιας οδηγούσε σε αναστολή της ανάπτυξης των προνυμφών στη 2η ηλικία. Κατόπιν βρέθηκε ότι αυτό οφείλεται στην αφαίρεση μέσω του αιθέρα των στερολών που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της προνύμφης. Πλέον η σύνθεση της τεχνητής δίαιτας είναι γνωστή και φαίνεται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4.6 και 4.7).

Συστατικά	**Δίαιτα για την 1η-4η ηλικία (γραμμάρια)**	**Δίαιτα για την 5η ηλικία (γραμμάρια)**
Άλεσμα φύλλων μουριάς	25	25
Σογιέλαιο	1,5	3
Άλεσμα σόγιας (χωρίς λιπίδια)	36	45
Χοληστερόλη	0,2	0,2
Κιτρικό οξύ	4	4
Ασκορβικό οξύ	2	2
Σορβικό οξύ	0,2	0,2
Άγαρ	7,5	5
Μέταλλα και Ιχνοστοιχεία	3	3
Γλυκόζη	8	10
Άμυλο πατάτας	7,5	15
Σκόνη κυτταρίνης	20,8	
Προσθήκη νερού (σε λίτρα ανά κιλό ξηράς δίαιτας)	0,3	0,22

Πίνακας 4.6 *Συνταγή τεχνητής δίαιτας για τη διατροφή των ηλικιών 1-4 και της 5ης ηλικίας των προνυμφών του μεταξοσκώληκα. Το μείγμα βιταμινών της ομάδας Β και τα αντισηπτικά μπαίνουν σε μικρή ποσότητα (Πηγή: Προσαρμογή από (Tazima, 1978)).*

Συστατικά	Ποσότητα σε ποσοστό ξηρού βάρους (%)
Άλεσμα φύλλων μουριάς	25
Άμυλο καλαμποκιού	7,5
Σακχαρόζη	8
Άλεσμα σόγιας (χωρίς λιπίδια)	36
Σογιέλαιο (ραφιναρισμένο)	1,5
Στερόλες σόγιας	0,2
Μείγμα αλάτων και ιχνοστοιχείων	3
Σκόνη κυτταρίνης	15
Άγαρ	7,5
Ασκορβικό οξύ	1
Κιτρικό οξύ	4
Προσθήκη νερού (σε λίτρα ανά κιλό ξηράς δίαιτας)	0,257

Πίνακας 4.7 *Διαφορετική συνταγή για τη δημιουργία τεχνητής δίαιτας για τις νεαρές ηλικίες της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Και εδώ το μείγμα βιταμινών της ομάδας Β και τα αντισηπτικά μπαίνουν σε μικρή ποσότητα (Πηγή: Προσαρμογή από (Ito, 1980)).*

Έχουν δημιουργηθεί επίσης, με βάση τις γνώσεις που αποκτήθηκαν για τη διατροφή του μεταξοσκώληκα, και τεχνητές δίαιτες, για έρευνες πάνω στη διατροφή του μεταξοσκώληκα, οι οποίες δεν περιέχουν φύλλα και ονομάζονται *συνθετικές δίαιτες*. Μια τέτοια δίαιτα έχει την παρακάτω σύνθεση (Πίνακας 4.8) και περιέχει συγκεκριμένες ποσότητες αμινοξέων ως μοναδική πηγή αζώτου. Αυτές οι τεχνητές δίαιτες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μαζική εκτροφή προνυμφών λόγω αυξημένου κόστους.

Συστατικά	Πρότυπο
Άγαρ	12
Άμυλο πατάτας	11
Σακχαρόζη	13.5
β-Σιτοστερόλη	0,5
Σογιέλαιο (ραφιναρισμένο)	3
Ανθρακικό ασβέστιο	0,4
Διβασικό φωσφορικό κάλιο	1
Ασκορβικό οξύ	2
Σκόνη κυτταρίνης	31
Κιτρικό οξύ	0,4
Μορίνη (Morin)	0,2
Μείγμα αμινοξέων	21
Μείγμα αλάτων (Wesson's)	4
Μείγμα βιταμινών	Προσθήκη
Αντισηπτικοί παράγοντες	Προσθήκη
Προσθήκη νερού (σε λίτρα ανά κιλό ξηράς δίαιτας)	3

Πίνακας 4.8 *Σύσταση τεχνητής δίαιτας που δεν περιέχει καθόλου άλεσμα φύλλων μουριάς. Το μείγμα αμινοξέων αποτελείται από τα ακόλουθα αμινοξέα (σε ποσοστό % της ποσότητας των αμινοξέων): Αργινίνη 6, Ιστιδίνη 3, Ισολευκίνη 5, Λευκίνη 8, Λυσίνη 6, Μεθειονίνη 3, Φαινυλαλανίνη 6, Θρεονίνη 5, Τρυπτοφάνη 3, Βαλίνη 6, Προλίνη 4, Ασπαραγινικό οξύ 16, Γλουταμινικό οξύ 14, Αλανίνη 5, Κυστεΐνη (Κυστίνη) 1, Γλυκίνη 3, Σερίνη 5, Τυροσίνη 1. Το μείγμα αλάτων του Wesson είναι ένα εμπορικό μείγμα διαφόρων αλάτων και ιχνοστοιχείων. Οι βιταμίνες προτίθενται ως μικρογραμμάρια ανά γραμμάριο ξηράς ουσίας ως εξής: Θεαμίνη 20, Ροβοφλαβίνη 20, Νιασίνη 100, Παντοθενικό οξυ 150, Πυριδοξίνη 30, Βιοτίνη 2, Φυλλικό οξύ 2, Χολίνη 1500, Ινοσιτόλη 2000. Οι αντισηπτικοί παράγοντες είναι το σορβικό οξύ ή η χλωραμφενικόλη (0,015%) και το προπιονικό οξύ (0,75%) (Πηγή: Προσαρμογή από (Ito, 1972)).*

Κατόπιν, και με βάση τις γνώσεις για τις διατροφικές απαιτήσεις των προνυμφών που συνεχώς δημοσιευόνταν, δημιουργήθηκαν τρεις διαφορετικές δίαιτες: Η πρώτη για την 1η ηλικία, η δεύτερη για τις ηλικίες 2-4 και η τρίτη για την 5η ηλικία, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.9).

Συστατικά	**Δίαιτα για την 1η ηλικία (γραμμάρια)**	**Δίαιτα για τη 2η-4η ηλικία (γραμμάρια)**	**Δίαιτα για την 5η ηλικία (γραμμάρια)**
Άμυλο πατάτας	10	10	20
Σακχαρόζη	10	10	
Γλυκόζη			12
Άλεσμα σόγιας (χωρίς λιπίδια)	30	40	60
Σογιέλαιο (ραφιναρισμένο)	3	3	3
β-Σιτοστερόλη	0,5	0,5	0,5
Μείγμα αλάτων (Wesson's)	3,5	3,5	2
Ασκορβικό οξύ	2	2	2
Διβασικό φωσφορικό κάλιο	1	1	
Άγαρ	15	15	5
Σκόνη κυτταρίνης	34	34	
Κιτρικό οξύ	0,5	0,5	0,5
Σορβικό οξύ	0,2	0,2	0,2
Μορίνη	0,2	0,1	
Προσθήκη νερού (σε λίτρα ανά κιλό ξηράς δίαιτας)	0,3	0,3	0,26

Πίνακας 4.9 *Συνταγή τεχνητής δίαιτας για τη διατροφή των προνυμφών της 1ης ηλικίας, της 2ης-4ης ηλικίας και της 5ης ηλικίας. Το μείγμα βιταμινών της ομάδας Β και τα αντισηπτικά μπαίνουν σε μικρή ποσότητα (Πηγή: Προσαρμογή από (Tazima, 1978)).*

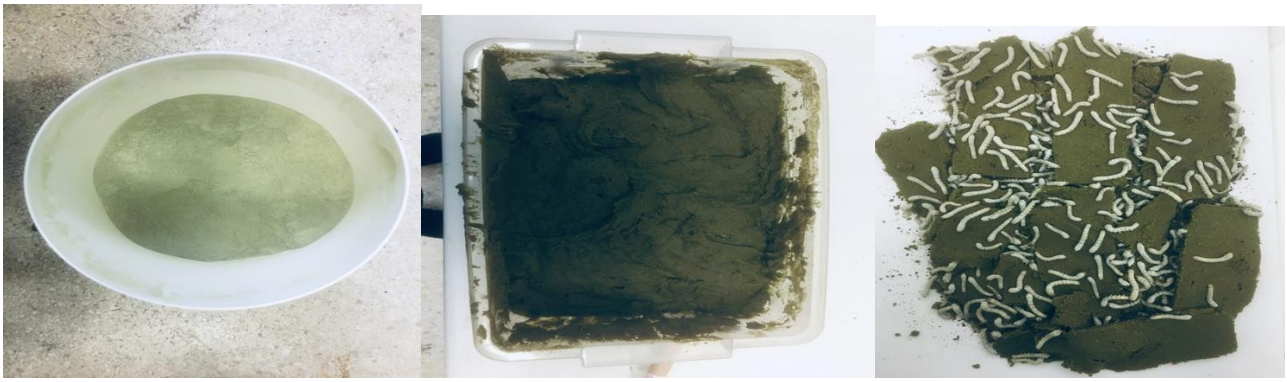
Συνήθως 10-20% της ξηράς σύστασης της δίαιτας αποτελεί το άλεσμα ξηρών φύλλων μουριάς που βελτιώνει την ανάπτυξη των προνυμφών, αλλά πλέον με κατάλληλες μετατροπές, η τεχνητή δίαιτα μπορεί να μην έχει καθόλου φύλλα μουριάς για τις προνύμφες της 4ης και 5ης ηλικίας. Είναι όμως σημαντικό η τεχνητή δίαιτα να περιέχει αντιοξειδωτικά συστατικά και αντισηπτικά συστατικά, ώστε να αποφεύγεται η αλλοίωσή της και να ενισχύονται οι αμυντικοί μηχανισμοί των προνυμφών. Για τον λόγο αυτόν στις τεχνητές δίαιτες χρησιμοποιείται σορβικό οξύ, προπιονικό οξύ και χλωραμφενικόλη που προστίθενται στις βέλτιστες συγκεντρώσεις τους. Επίσης, για τις τεχνητές δίαιτες που περιέχουν άλεσμα φύλλων μουριάς, η ξήρανση των φρέσκων φύλλων, με σκοπό την προετοιμασία της σκόνης φύλλων, δεν συνιστάται να γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, όπως 80 °C. Αν και δεν είναι γνωστός ο ακριβής λόγος, η ανάπτυξη των προνυμφών είναι πολύ μειωμένη με τεχνητή δίαιτα που περιέχει σκόνη φύλλων που ξεράθηκαν σε τέτοια υψηλή θερμοκρασία. Ένα άλλο κρίσιμο σημείο στην παρασκευή της τεχνητής δίαιτας αφορά τη χρήση του αλεύρου σόγιας, το οποίο πρέπει να υποστεί κατεργασία με 90% αιθανόλη πριν τη χρήση του ως συστατικό της τεχνητής δίαιτας. Στο άλευρο σόγιας περιέχονται υδατοδιαλυτές χημικές ενώσεις που είναι αποκρουστικές για τις προνύμφες. Αυτές οι χημικές ενώσεις αφαιρούνται εύκολα με έκλουση του αλεύρου με 90% αιθανόλη.

Ένα άλλο κρίσιμο σημείο στη δημιουργία της τεχνητής δίαιτας είναι η χρήση συστατικών που επιτρέπουν την κατακράτηση του νερού και τη μεστότητα της δίαιτας ώστε να μπορεί να μασηθεί από τις προνύμφες. Προς αυτήν την κατεύθυνση, η χρήση αλέσματος κυτταρίνης βοηθά στην πρόσληψη της δίαιτας από τις προνύμφες καθώς προσφέρει μεστότητα στη δίαιτα. Η κυτταρίνη βοηθά στη βελτιστοποίηση των φυσικών χαρακτηριστικών της δίαιτας ακόμη και σε μικρές ποσότητες, ενώ ο ρυθμός κατανάλωσης της τεχνητής δίαιτας επιταχύνεται ανάλογα με την αύξηση του ποσοστού αλέσματος κυτταρίνης στην τεχνητή δίαιτα. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη των προνυμφών επιταχύνεται παρά το γεγονός ότι τρέφονται με αυξημένες συγκεντρώσεις ενός συστατικού που δεν έχει για αυτές θρεπτική αξία.

Η κυτταρίνη δεν χωνεύεται από τις προνύμφες, αλλά βοηθά στη δημιουργία μεστής δίαιτας. Η περιεκτικότητα σε νερό της δίαιτας βρέθηκε να είναι η βέλτιστη στο 75%, ενώ η προσθήκη αντισηπτικών βοηθά στην αποφυγή αλλοίωσης της δίαιτας. Γενικά, αλλοιωμένη δίαιτα δεν πρέπει να δίνεται στις προνύμφες, γιατί οδηγεί σε μαζικούς θανάτους.

Στην περίπτωση της διατροφής με τεχνητή δίαιτα, η ποσότητα ξηράς ουσίας τεχνητής δίαιτας που καταναλώνει και που χωνεύει μια προνύμφη από την 3η ηλικία έως την ωρίμανσή της είναι 4,9 και 2,1 γραμμάρια για το αρσενικό και 5,3 και 2,3 γραμμάρια για το θηλυκό, αντίστοιχα. Ο μέσος όρος πέψης της τεχνητής δίαιτας σε αυτήν την περίοδο από την 3η ηλικία έως την ωρίμανση της προνύμφης είναι περίπου 43%.

Η τεχνητή δίαιτα πλέον μπορεί να παρασκευάζεται επιτόπου (Εικόνα 4.14) ή να αγοράζεται έτοιμη σε μορφή σκόνης ή να αγοράζεται έτοιμη και συσκευασμένη σε μορφή σαλαμιού (Εικόνα 4.15) και να δίνεται στις προνύμφες.



Εικόνα 4.14 *Η τεχνητή δίαιτα που παρασκευάζεται στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας της Πάδοβα στην Ιταλία φτιάχνεται σε μορφή σκόνης (αριστερή εικόνα) με σύσταση 25% και 40% άλεσμα φύλλων μουριάς για την 4η-5η ηλικία και 1η-3η ηλικία διατροφής των προνυμφών, αντίστοιχα. Αυτή τη σκόνη την αναμειγνύουμε με νερό σε αναλογία 1 κιλό σκόνη προς 2,4 λίτρα νερό και αφού τα αναμείξουμε καλά τα υποβάλλουμε σε θέρμανση για 14 λεπτά σε φούρνο μικροκυμάτων. Κατόπιν αναμειγνύουμε καλά και ψύχουμε την τεχνητή δίαιτα μέσα σε πλαστικά δοχεία (μεσαία εικόνα). Την επόμενη ημέρα κόβουμε με μαχαίρι λεπτές φέτες της τεχνητής δίαιτας και τις χορηγούμε στις προνύμφες (δεξιά εικόνα) (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Όταν η δίαιτα φτιάχνεται επιτόπου, τότε ανακατεύουμε και αλέθουμε τα συστατικά, προσθέτουμε νερό, μείγμα βιταμινών και αντισηπτικό και την αποστειρώνουμε σε υδρατμούς στους 97 °C για 15-20 λεπτά. Κατόπιν αφήνουμε το μείγμα να παγώσει σε ψυγείο και το χορηγούμε την επόμενη ημέρα. Εναλλακτικά, όταν έχουμε έτοιμη ξηρά σκόνη με όλα τα συστατικά της δίαιτας μέσα στη σκόνη, τότε προσθέτουμε νερό και την αποστειρώνουμε σε υδρατμούς στους 97 °C για 15-20 λεπτά ή μπορούμε πιο απλά να βάλουμε τη δίαιτα σε φούρνο μικροκυμάτων για 14 λεπτά στη μέγιστη ένταση του φούρνου μικροκυμάτων. Στη περίπτωση που έχουμε έτοιμη σκόνη τεχνητής δίαιτας και έναν φούρνο μικροκυμάτων, προσθέτουμε νερό στη σκόνη και ανακατεύουμε καλά τη σκόνη με το νερό, κατόπιν καλύπτουμε με ένα καπάκι τη δίαιτα, τη βάζουμε στο φούρνο μικροκυμάτων για 14 λεπτά και κατόπιν την ανακατεύουμε και πάλι πολύ καλά καθώς είναι ζεστή.

Κατόπιν, βάζουμε την έτοιμη τεχνητή δίαιτα σε ψυγείο και τη χορηγούμε στις προνύμφες όταν είναι κρύα, δεν έχει λασπώδη υφή και μπορούμε να την κόψουμε σε πολύ λεπτές φέτες με μαχαίρι. Η έτοιμη δίαιτα πρέπει να παραμένει πάντα σε ψυγείο και να χρησιμοποιείται μέσα σε λίγες ημέρες. Ποτέ δεν πρέπει να βάζουμε την τεχνητή δίαιτα στην κατάψυξη, γιατί αλλοιώνεται η υφή της και ποτέ δεν πρέπει να χορηγούμε ζεστή τεχνητή δίαιτα σε προνύμφες ή δίαιτα που δεν έχει μεστή υφή. Η συχνότητα χορήγησης της τεχνητής δίαιτας ποικίλλει και στις νεαρές ηλικίες μπορούμε να χορηγούμε τη δίαιτα κάθε 2 ή 3 ημέρες, ενώ στις μεγάλες ηλικίες η χορήγηση της δίαιτας πρέπει να γίνεται καθημερινά. Η τεχνητή δίαιτα συνήθως χορηγείται μια φορά την ημέρα.

Η δημιουργία τεχνητής δίαιτας επέτρεψε τη δημιουργία ασηπτικών εκτροφών του μεταξοσκώληκα. Σε αυτήν την περίπτωση βάζουμε την τεχνητή δίαιτα αφού την ετοιμάσουμε σε κωνικές γυάλινες φιάλες, τις οποίες καλύπτουμε με βαμβάκι και τις αποστειρώνουμε για 20 λεπτά σε κλίβανο αποστείρωσης. Κατόπιν αποστειρώνουμε τα αυγά του μεταξοσκώληκα για 15 λεπτά σε διάλυμα 2% φορμαλδεΰδης και τα ξεπλένουμε με νερό. Τα αποστειρωμένα αυγά τα βάζουμε μέσα στις κωνικές φιάλες και τις καλύπτουμε με αποστειρωμένο βαμβάκι. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να ταΐζουμε τις προνύμφες μία φορά την εβδομάδα και αλλάζουμε την τροφή υπό ασηπτικές συνθήκες. Επίσης, με τη χρήση ασηπτικών δωματίων ή με τη χρήση θαλάμων που καλύπτονται από πλαστικό (βινύλιο) μπορούμε να έχουμε εκτροφές πολλών χιλιάδων προνυμφών υπό πλήρως ασηπτικές συνθήκες.

4.5.2 Συνεταιριστική εκτροφή νεαρών ηλικιών με χρήση τεχνητής δίαιτας

Παρά το γεγονός ότι η ανάπτυξη της τεχνητής δίαιτας προώθησε την έρευνα σχετικά με τις διατροφικές απαιτήσεις και προτιμήσεις του μεταξοσκώληκα και έκανε το έντομο αυτό έναν οργανισμό-μοντέλο στις γεωπονικές και βιολογικές επιστήμες, η εφαρμογή της τεχνητής δίαιτας στην παραγωγική εκτροφή δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη.

Αυτό οφείλεται στο ότι η τεχνητή δίαιτα έχει ιδιαίτερα αυξημένο κόστος παραγωγής και χρήσης, καθώς 1 κιλό σκόνης τεχνητής δίαιτας για μεταξοσκώληκες έχει κόστος αγοράς 25 Ευρώ και από αυτό το 1 κιλό φτιάχνουμε 3,4 κιλά έτοιμης δίαιτας. Η χρήση της τεχνητής δίαιτας είναι, ωστόσο, συμφέρουσα και ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών των προνυμφών (1η -3η ηλικία) σε συνεταιριστικές εκτροφές, καθώς με τον τρόπο αυτό μειώνεται το κόστος εργασίας και αυξάνεται σημαντικά η ομοιομορφία ανάπτυξης των προνυμφών (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Hiratsuka, 1969; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την εκτροφή με τεχνητή δίαιτα είναι δυνατόν να δίνεται ένα γεύμα ανά 2 ή 3 ημέρες, οι προνύμφες να εκτρέφονται μέσα σε κλειστά δοχεία με λίγο αερισμό και η ομοιομορφία ανάπτυξης να επιτυγχάνεται, καθώς όλες οι προνύμφες έχουν πρόσβαση στην τροφή. Η πιθανότητα μολύνσεων των νεαρών προνυμφών ουσιαστικά μηδενίζεται, καθώς δεν εισέρχονται στον χώρο εκτροφής εξωγενείς παράγοντες (φύλλα μουριάς), αλλά φτάνει να τηρούνται αυστηρά όλες οι συνθήκες υγιεινής όπως απολύμανση των αυγών του μεταξοσκώληκα, χρήση γαντιών μιας χρήσεως και απολύμανση των σκευών εκτροφής (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Hiratsuka, 1969; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η χρήση της τεχνητής δίαιτας για τις μεγάλες ηλικίες της προνύμφης (4η – 5η) είναι δυνατή μόνο σε περιορισμένη κλίμακα, καθώς είναι ουσιαστικά ασύμφορη για την παραγωγή κουκουλιών. Η χρήση τεχνητής δίαιτας δεν υπολείπεται καθόλου της διατροφής με φύλλα μουριάς ως προς τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων κουκουλιών. Από αρκετές μελέτες που έχουν γίνει προτείνεται οι περιβαλλοντικές συνθήκες που απαιτούνται για την εκτροφή με τεχνητές δίαιτες είναι ελαφρώς διαφορετικές από εκείνες που έχουν καθοριστεί για την εκτροφή με φρέσκα φύλλα μουριάς.

Συνιστάται για την 1η έως την 3η ηλικία να είναι ελαφρά υψηλότερη η θερμοκρασία, όπως 28 ή 29 ^{o}C, υψηλότερη κατά 1-2 ^{o}C από την περίπτωση της εκτροφής με φύλλα μουριάς. Σε υψηλή θερμοκρασία οι προνύμφες αποκτούν περισσότερο βάρος σε μικρότερο χρονικό διάστημα από ότι σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία εκτροφής θα πρέπει να είναι υψηλότερη και στην 4η ηλικία από ό,τι στην περίπτωση της εκτροφής με φύλλα μουριάς, αλλά πρέπει να διατηρείται χαμηλή, στους 23 ή 24 ^{o}C, στην 5η ηλικία, παρόμοια με την περίπτωση της εκτροφής με φύλλα μουριάς.

Εικόνα 4.15 *Αριστερή εικόνα: Εκτροφή ενός κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα με τεχνητή δίαιτα σε συνθήκες συνεταιριστικής εκτροφής. Δεξιά εικόνα: Η τεχνητή δίαιτα για τις προνύμφες στην Ιαπωνία πωλείται σε μορφή σαλαμιού ή συσκευασμένης και παρασκευασμένης δίαιτας προς άμεση χρήση ή σε μορφή σκόνης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 4.16 *Για τη συνεταιριστική εκτροφή με τεχνητή δίαιτα νεαρών ηλικιών των προνυμφών του μεταξοσκώληκα έχει δημιουργηθεί στην Ιαπωνία και μηχανή αυτόματης χορήγησης της τεχνητής δίαιτας, πράγμα που επιτρέπει τη μείωση στο ελάχιστο της ανθρώπινης παρουσίας κατά τη διάρκεια της εκτροφής των νεαρών ηλικιών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Απαιτείται επίσης κάπως υψηλή υγρασία στον χώρο εκτροφής, προκειμένου να αποφευχθεί η ξήρανση της τεχνητής δίαιτας. Ένα ελαφρύ ρεύμα αέρα, όπως κάτω από 0,1 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, έχει μικρή επίδραση στα αποτελέσματα της εκτροφής, αλλά η υγρασία θα πρέπει να παραμένει υψηλή. Ως προς τον φωτισμό στην εκτροφή με τεχνητή δίαιτα, υπάρχουν αμφιλεγόμενες απόψεις, θεωρείται ωστόσο ότι κάποια περίοδος φωτισμού πρέπει να υπάρχει κάθε ημέρα για να διατηρούνται ενεργοί οι νυχθημερείς ρυθμοί του βιολογικού ρολογιού των προνυμφών.

Τεχνητή δίαιτα για τους μεταξοσκώληκες δεν παράγεται στην Ελλάδα, παρότι κάτι τέτοιο είναι εφικτό. Τεχνητή δίαιτα σε σκόνη και έτοιμη προς χρήση με περιεκτικότητα 25% σε σκόνη φύλλων μουριάς (για την 4η και 5η ηλικία) και 40% σε σκόνη φύλλων μουριάς (για την 1η έως την 3η ηλικία) μπορεί να προμηθευθεί κανείς από το Ινστιτούτο Σηροτροφίας στην Πάδοβα της Ιταλίας. Για την παρασκευή αυτής της δίαιτας προσθέτουμε 2,4 λίτρα νερό σε 1 κιλό ξηράς σκόνης δίαιτας και την αποστειρώνουμε σε φούρνο μικροκυμάτων για 14 λεπτά. Μερικές εταιρείες επίσης παράγουν τεχνητή δίαιτα στην Ιαπωνία με πιο γνωστή την Nihon-Nosan Co. Ltd. (https://www.nosan.co.jp/).

Η αγορά της τεχνητής δίαιτας μπορεί να γίνει είτε με μορφή σκόνης είτε ως έτοιμη δίαιτα με μεγαλύτερο φυσικά κόστος. Στην πρακτική μαζική εκτροφή με τεχνητή δίαιτα είναι απαραίτητο να διατηρηθεί το εσωτερικό του χώρου εκτροφής ιδιαίτερα καθαρό.

Όταν η εκτροφή γίνεται σε συνεταιριστικό χώρο εκτροφής, απαιτείται η εγκατάσταση κλιματισμού με φίλτρο αέρα. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην εισαχθούν μικρόβια ή ιοί στον χώρο εκτροφής και δεν πρέπει να υπάρχουν παράθυρα στον χώρο εκτροφής των νεαρών ηλικιών. Σε τέτοιον χώρο εκτροφής μπορεί να εγκατασταθεί αυτόματη μηχανή κοπής της δίαιτας και μηχανή τροφοδοσίας των προνυμφών (Εικόνα 4.16). Για την εκτροφή σε μεγαλύτερες ηλικίες, οι προνύμφες παρέχονται στους ιδιώτες εκτροφείς μεταξοσκωλήκων στην αρχή της 4ης ηλικίας που συνεχίζουν την εκτροφή με χρήση φύλλων μουριάς. Οι προνύμφες, όταν έχουν τραφεί με τεχνητή δίαιτα, άμεσα υιοθετούν τη διατροφή με φύλλα μουριάς, ενώ το αντίθετο συνήθως αποφεύγεται, καθώς οι προνύμφες δεν προτιμούν να διατραφούν με τεχνητή δίαιτα όταν τρέφονται με φύλλα μουριάς.

4.5.3 Εναλλακτικές πηγές διατροφής των προνυμφών με άλλα είδη φυτών

Ο μεταξοσκώληκας είναι ένα μονοφάγο έντομο, το οποίο τρέφεται και προτιμά αποκλειστικά τα φύλλα μουριάς. Το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα φέρει 76 γονίδια που κωδικοποιούν για την έκφραση 76 γευστικών υποδοχέων (Guo et al., 2017). Οι υποδοχείς που κωδικοποιούνται από αυτά τα γονίδια είναι όλοι διαμεμβρανικοί υποδοχείς στους οποίους προσδένονται οργανικές ή ανόργανες χημικές ενώσεις και τους ενεργοποιούν (Wanner & Robertson, 2008). Από τους υποδοχείς αυτούς, 3 είναι γνωστοί ως γευστικοί υποδοχείς του γλυκού, ενώ 66 θεωρούνται ως πιθανοί γευστικοί υποδοχείς του πικρού (Wanner & Robertson, 2008). Ως αποτέλεσμα, ο μεταξοσκώληκας κατανοεί ότι η τροφή του είναι η μουριά και την καταναλώνει χρησιμοποιώντας και ερεθίσματα από άλλες χημικές ενώσεις που ενεργοποιούν μια άλλη ομάδα διαμεμβρανικών υποδοχέων, τους οσφρητικούς υποδοχείς. Όμως, η γεύση είναι πιο σημαντική αίσθηση για τις προνύμφες από την οσμή σε σχέση με την αποδοχή της τροφής.

Μια πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι το χλωρεγενικό οξύ, γλυκοσίδια της κουερσερτίνης και η β-σιτοστερόλη ενεργοποιούν αισθητήρια όργανα στα στοματικά εξαρτήματα της προνύμφης, καθώς αυτή

εξετάζει την τροφή πριν αρχίσει τη λήψη της τροφής (Tsuneto et al., 2020). Κατόπιν, η σακχαρόζη των φύλλων, η οποία ελευθερώνεται καθώς η προνύμφη αρχίζει να μασά την τροφή της, ενεργοποιεί ένα άλλο αισθητήριο όργανο κάνοντας την προνύμφη να συνεχίζει την κατανάλωση των φρέσκων φύλλων (Tsuneto et al., 2020). Μια παλιότερη έρευνα έδειξε ότι το πτητικό συστατικό που αναγνωρίζουν οι προνύμφες από την παρουσία φύλλων μουριάς είναι η χημική ένωση *cis*-jasmone, η οποία δρα ως οσφρητικό ερέθισμα κάνοντας την προνύμφη να κινηθεί προς την κατεύθυνση παρουσίας αυτής της πτητικής χημικής ένωσης (Tanaka et al., 2009).

Μια σημαντική έρευνα το 2019 αποκάλυψε τον λόγο για τον οποίο οι μεταξοσκώληκες τρέφονται μόνο με φύλλα μουριάς (Zhang et al., 2019). Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι όταν με γενετικές μεθόδους παρεμποδίστηκε η έκφραση ενός γευστικού υποδοχέα (του GR66), οι προνύμφες έχαναν την επιλεκτικότητά τους προς τα φύλλα της μουριάς και μπορούσαν να τραφούν και με άλλες τροφές χωρίς πρόβλημα στην ανάπτυξή τους (Zhang et al., 2019). Παρά το γεγονός ότι δεν είναι γνωστό ακόμη ποια είναι η χημική ένωση που ενεργοποιεί τον συγκεκριμένο γευστικό υποδοχέα και προσδίδει αυτή τη συγκεκριμένη συμπεριφορά στην προνύμφη, η δυνατότητα να αλλάξουμε τις διατροφικές προτιμήσεις του μεταξοσκώληκα, μέσω στόχευσης σε έναν διαμεμβρανικό υποδοχέα, είναι μια σημαντική επιστημονική ανακάλυψη (Zhang et al., 2019).

Παρά το γεγονός ότι βρέθηκε ο διαμεμβρανικός υποδοχέας που είναι υπεύθυνος για τη μονοφαγική συμπεριφορά του μεταξοσκώληκα (Zhang et al., 2019), παλιότερες έρευνες έδειξαν ότι αντικατάσταση των φύλλων της μουριάς με φύλλα από μερικά άλλα είδη συγγενικά ή μη της μουριάς μπορεί ως έναν βαθμό να επιτύχει την ολοκλήρωση του σταδίου της προνύμφης, παρά το γεγονός ότι τα κουκούλια που έπλεξαν οι προνύμφες που τράφηκαν με άλλα φύλλα, και όχι τα φύλλα της μουριάς, ήταν μικρά και η ανάπτυξη των προνυμφών ήταν πολύ αργή. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν αναφορές ότι τα φύλλα των ειδών *Cudrania trilobal*, *Cudrania javanensis*, *Maclura aurantiaca*, *Broussonetia kazinoki*, *Broussonetia papyrifera, Ficus carica, Ficus dastica, Ficus erecta, Ficus rctuca* και *Ficus hirta* μπορούν να αντικαταστήσουν τα φύλλα της μουριάς σε κάποιον βαθμό. Όλα τα παραπάνω είδη ανήκουν στην Οικογένεια Moraceae, στην οποία ανήκει και η μουριά. Από τα είδη άλλων Οικογενειών φυτών, τα είδη του Γένους Adenophora και τα είδη *Lactuca sativa, Lactuca lanceolater*, *Lactuca debilis*, *Uhnus pimila,* και *Uhnus parvifolia* μπορούν να αντικαταστήσουν εν μέρει τα φύλλα μουριάς, αλλά σε καμία περίπτωση αυτό δεν συνιστάται, καθώς η ανάπτυξη των προνυμφών καθυστερεί πάρα πολύ.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Anonymous. (1985). *New Illustrated Sericulture Book*. National Federation of Sericultural Cooperatives of Japan.

Aruga, H. (1994). *Principles of Sericulture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=qYZds1N0Q-YC

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., & Tokoro Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Chen, S., Liu, Y., Yang, X., Liu, Z., Luo, X., Xu, J., & Huang, Y. (2020). Dysfunction of dimorphic sperm impairs male fertility in the silkworm. *Cell Discov*, *6*, 60. https://doi.org/10.1038/s41421-020-00194-6

Chen, Y. R., Jiang, T., Zhu, J., Xie, Y. C., Tan, Z. C., Chen, Y. H., Tang, S. M., Hao, B. F., Wang, S. P., Huang, J. S., & Shen, X. J. (2017). Transcriptome sequencing reveals potential mechanisms of diapause preparation in bivoltine silkworm Bombyx mori (Lepidoptera: Bombycidae). *Comp Biochem Physiol Part D Genomics Proteomics*, *24*, 68-78. https://doi.org/10.1016/j.cbd.2017.07.003

Chen, Z., Nohata, J., Guo, H., Li, S., Liu, J., Guo, Y., Yamamoto, K., Kadono-Okuda, K., Liu, C., Arunkumar, K. P., Nagaraju, J., Zhang, Y., Liu, S., Labropoulou, V., Swevers, L., Tsitoura, P., Iatrou, K., Gopinathan, K. P., Goldsmith, M. R., Xia, Q., & Mita, K. (2015a). A comprehensive analysis of the chorion locus in silkmoth. *Scientific Reports*, *5*(1), 16424. https://doi.org/10.1038/srep16424

Chen, Z., Nohata, J., Guo, H., Li, S., Liu, J., Guo, Y., Yamamoto, K., Kadono-Okuda, K., Liu, C., Arunkumar, K. P., Nagaraju, J., Zhang, Y., Liu, S., Labropoulou, V., Swevers, L., Tsitoura, P., Iatrou, K., Gopinathan, K. P., Goldsmith, M. R., Xia, Q., & Mita, K. (2015b). Construction, complete sequence, and annotation of a BAC contig covering the silkworm chorion locus. *Scientific data*, *2*, 150062-150062. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.62

Eickbush, T. H., & Kafatos, F. C. (1982). A walk in the chorion locus of Bombyx mori. *Cell*, *29*(2), 633-643. https://doi.org/10.1016/0092-8674(82)90179-9

Friedländer, M., Seth, R. K., & Reynolds, S. E. (2005). Eupyrene and Apyrene Sperm: Dichotomous Spermatogenesis in Lepidoptera. In S. J. Simpson (Ed.), *Advances in Insect Physiology* (Vol. 32, pp. 206-308). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-2806(05)32003-0

Ganga, G. (2003). *Comprehensive Sericulture*. Science. https://books.google.gr/books?id=Ud0AAAAACAAJ

Guo, H., Cheng, T., Chen, Z., Jiang, L., Guo, Y., Liu, J., Li, S., Taniai, K., Asaoka, K., Kadono-Okuda, K., Arunkumar, K. P., Wu, J., Kishino, H., Zhang, H., Seth, R. K., Gopinathan, K. P., Montagné, N., Jacquin-Joly, E., Goldsmith, M. R., Xia, Q., & Mita, K. (2017). Expression map of a complete set of gustatory receptor genes in chemosensory organs of Bombyx mori. *Insect Biochem Mol Biol*, *82*, 74-82. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2017.02.001

Hiratsuka, E. (1969). *Silkwrom Breeding* (1st Edition ed.). Sericulture Science Research Centre/CRC Press.

Homma, S., Murata, A., Ikegami, M., Kobayashi, M., Yamazaki, M., Ikeda, K., Daimon, T., Numata, H., Mizoguchi, A., & Shiomi, K. (2022). Circadian Clock Genes Regulate Temperature-Dependent Diapause Induction in Silkworm Bombyx mori. *Frontiers in physiology*, *13*, 863380. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.863380

Homma, T., Watanabe, K., Tsurumaru, S., Kataoka, H., Imai, K., Kamba, M., Niimi, T., Yamashita, O., & Yaginuma, T. (2006). G protein-coupled receptor for diapause hormone, an inducer of Bombyx embryonic diapause. *Biochem Biophys Res Commun*, *344*(1), 386-393. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.03.085

Horie, Y. (1978). Quantitative Requirement of Nutrients for Growth of the Silkworm, Bombyx mori L. *Japanese Agricultural Researcg Quarterly*, *12*(4), 211-217.

Horie, Y. (1995). Recent Advances of Nutritional Physiology and Artificial Diet of the Silkworm, Bombyx mori, in Japan. *Korean Journal of Sericultural Science*, *37*(2), 235-243.

Horie, Y., & Ito, T. (1962). Effects of concentrations of mulberry leaf powder added in artificial diets on growth and feeding of the silkworm, Bombyx mori. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *31*(2), 61-68. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.31.61

Horie, Y., & Ito, T. (1965). Nutrition of the silkworm, Bombyx mori—X. Vitamin B requirements and the effects of several analogues. *Journal of Insect Physiology*, *11*(12), 1585-1593. https://doi.org/10.1016/0022-1910(65)90024-7

Horie, Y., & Watanabe, K. (1969). Energy requirement by larvae of the silkworm, Bombyx mori, reared on mulberry leaves and artificial diet. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *38*(5), 377-385. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.38.377

Horie, Y., & Watanabe, K. (1983). Daily Utilization and Consumption of Dry Matter in Food by the Silkworm, Bombyx mori (Lepidoptera : Bombycidae). *Applied Entomology and Zoology*, *18*(1), 70-80. https://doi.org/10.1303/aez.18.70

Inokuchi, T. (1972). Quantitative changes and sexual differences of free amino acids in haemolymph of the 5th-instar larvae in the silkworm, Bombyx mori. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *41*(1), 44-50. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.41.44

Ito, T. (1961). Nutrition of the silkworm, Bombyx mori—I. Nutritive effects of soybean oil for the larva. *Bull. seric. Exp. Sta. Japan*, *16*, 311-348.

Ito, T. (1972). Amino Acid Nutrition of the Silkworm, Bomhyx mori. *Proceedings of the Japan Academy*, *48*(8), 613-618. https://doi.org/10.2183/pjab1945.48.613

Ito, T. (1980). Application of Artificial Diets in Sericulture. *Japanese Agricultural Research Quarterly*, *14*(3), 163-168.

Ito, T., Horie, Y., Tanaka, M., Arai, N., & Watanabe, K. (1962). Rearing experiments of the silkworm Bombyx mori on artificial diets. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *31*(2), 73-80. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.31.73

Ito, T., & Inokuchi, T. (1992). Nutritive Effects of Asparagine and Glutamine on the Silkworm, Bombyx mori. *Applied Entomology and Zoology*, *27*(4), 575-586. https://doi.org/10.1303/aez.27.575

Ito, T., Tanaka, M., & ocirc. (1960). Rearing of the silkworm on an artificial diet and the segregation of pentamolters. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *29*(3), 191-196. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.29.191

Kitching, I. J., Rougerie, R., Zwick, A., Hamilton, C. A., St Laurent, R. A., Naumann, S., Ballesteros Mejia, L., & Kawahara, A. Y. (2018). A global checklist of the Bombycoidea (Insecta: Lepidoptera). *Biodiversity Data Journal*, *6*. https://doi.org/10.3897/BDJ.6.e22236

Krishnaswami, S. (1979). *Sericulture Manual: Silkworm rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=o9DhngEACAAJ

Lim, S. H., Food, Nations, A. O. o. t. U., Kim, Y. T., Lee, S. P., Rhee, I. J., Lim, J. S., & Lim, B. H. (1990). *Sericulture Training Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=_Lc4zvd9fxMC

Nagasawa, H. (1992). Neuropeptides of the silkworm, Bombyx mori. *Experientia*, *48*(5), 425-430. https://doi.org/10.1007/bf01928160

Nakao, H. (2021). Early embryonic development of Bombyx. *Dev Genes Evol*, *231*(5-6), 95-107. https://doi.org/10.1007/s00427-021-00679-8

Panfilio, K. A. (2008). Extraembryonic development in insects and the acrobatics of blastokinesis. *Developmental Biology*, *313*(2), 471-491. https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2007.11.004

Sakurai, S. (1983). Temporal organization of endocrine events underlying larval-larval ecdysis in the silkworm, Bombyx mori. *Journal of Insect Physiology*, *29*(12), 919-932. https://doi.org/10.1016/0022-1910(83)90055-0

Sakurai, S. (1984). Temporal organization of endocrine events underlying larval-pupal metamorphosis in the silkworm, Bombyx mori. *Journal of Insect Physiology*, *30*(8), 657-664. https://doi.org/10.1016/0022-1910(84)90051-9

Sato, A., Sokabe, T., Kashio, M., Yasukochi, Y., Tominaga, M., & Shiomi, K. (2014). Embryonic thermosensitive TRPA1 determines transgenerational diapause phenotype of the silkworm, Bombyx mori. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(13), E1249-E1255. https://doi.org/10.1073/pnas.1322134111

Sehadova, H., Zavodska, R., Rouhova, L., Zurovec, M., & Sauman, I. (2021). The Role of Filippi's Glands in the Silk Moths Cocoon Construction. *Int J Mol Sci*, *22*(24). https://doi.org/10.3390/ijms222413523

Shekar, P., & Hardingham, M. (1995). *Sericulture and Silk Production: A Handbook*. Intermediate Technology Publications. https://books.google.gr/books?id=ue1JAAAAYAAJ

Shen, Z., Jiang, X., Yan, L., Chen, Y., Wang, W., Shi, Y., Shi, L., Liu, D., & Zhou, N. (2018). Structural basis for the interaction of diapause hormone with its receptor in the silkworm, Bombyx mori. *Faseb j*, *32*(3), 1338-1353. https://doi.org/10.1096/fj.201700931R

Shiomi, K., Fujiwara, Y., Yasukochi, Y., Kajiura, Z., Nakagaki, M., & Yaginuma, T. (2007). The Pitx homeobox gene in Bombyx mori: regulation of DH-PBAN neuropeptide hormone gene expression. *Mol Cell Neurosci*, *34*(2), 209-218. https://doi.org/10.1016/j.mcn.2006.10.015

Shiomi, K., Takasu, Y., Kunii, M., Tsuchiya, R., Mukaida, M., Kobayashi, M., Sezutsu, H., Ichida Takahama, M., & Mizoguchi, A. (2015). Disruption of diapause induction by TALEN-based gene mutagenesis in relation to a unique neuropeptide signaling pathway in Bombyx. *Sci Rep*, *5*, 15566. https://doi.org/10.1038/srep15566

Singh, T. (2015). *Silkworm Rearing Technology: Principles and Management*. Discovery Publishing House PVT Limited. https://books.google.gr/books?id=QOjxrQEACAAJ

Spoerel, N. A., Nguyen, H. T., Towne, S., & Kafatos, F. C. (1993). Negative and positive regulators modulate the activity of a silkmoth chorion gene during choriogenesis. *J Mol Biol*, *230*(1), 151-160. https://doi.org/10.1006/jmbi.1993.1132

Sudo, M., Fujiwara, Y., & Horie, Y. (1999). Formulation of the relationship between rearing temperature and growth rate in 4th and 5th instar larvae of the silkworm, Bombyx mori, and their low development threshold temperature. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *68*(6), 461-468. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.68.461

Tanaka, K., Uda, Y., Ono, Y., Nakagawa, T., Suwa, M., Yamaoka, R., & Touhara, K. (2009). Highly Selective Tuning of a Silkworm Olfactory Receptor to a Key Mulberry Leaf Volatile. *Current Biology*, *19*(11), 881-890. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.04.035

Tazima, Y. (1964). *The Genetics of the Silkworm*. Logos Press. https://books.google.gr/books?id=6JnwAAAAMAAJ

Tazima, Y. (1978). *The Silkworm: An Important Laboratory Tool*. Kodansha. https://books.google.gr/books?id=JprwAAAAMAAJ

Tsuchiya, R., Kaneshima, A., Kobayashi, M., Yamazaki, M., Takasu, Y., Sezutsu, H., Tanaka, Y., Mizoguchi, A., & Shiomi, K. (2021). Maternal GABAergic and GnRH/corazonin pathway modulates egg diapause phenotype of the silkworm Bombyx mori. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *118*(1). https://doi.org/10.1073/pnas.2020028118

Tsuneto, K., Endo, H., Shii, F., Sasaki, K., Nagata, S., & Sato, R. (2020). Diet choice: The two-factor host acceptance system of silkworm larvae. *PLOS Biology*, *18*(9), e3000828. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000828

Veda, K., Nagai, I., & Horikomi, M. (1997). *Silkworm Rearing*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=huhJAAAAYAAJ

Wang, X., Li, Y., Peng, L., Chen, H., Xia, Q., & Zhao, P. (2016). Comparative transcriptome analysis of Bombyx mori spinnerets and Filippi's glands suggests their role in silk fiber formation. *Insect Biochem Mol Biol*, *68*, 89-99. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2015.11.003

Wanner, K. W., & Robertson, H. M. (2008). The gustatory receptor family in the silkworm moth Bombyx mori is characterized by a large expansion of a single lineage of putative bitter receptors. *Insect Molecular Biology*, *17*(6), 621-629. https://doi.org/10.1111/j.1365-2583.2008.00836.x

Wu, P., Chen, D., Food, Nations, A. O. o. t. U., Chen, Z., Liu, P., & Tang, H. (1988). *Silkworm Rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=Sf2KLVBbWHMC

Xiang, H., Liu, X., Li, M., Zhu, Y. n., Wang, L., Cui, Y., Liu, L., Fang, G., Qian, H., Xu, A., Wang, W., & Zhan, S. (2018). The evolutionary road from wild moth to domestic silkworm. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(8), 1268-1279. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0593-4

Zhang, H. J., Faucher, C. P., Anderson, A., Berna, A. Z., Trowell, S., Chen, Q. M., Xia, Q. Y., & Chyb, S. (2013). Comparisons of contact chemoreception and food acceptance by larvae of polyphagous Helicoverpa armigera and oligophagous Bombyx mori. *J Chem Ecol*, *39*(8), 1070-1080. https://doi.org/10.1007/s10886-013-0303-2

Zhang, Z.-J., Zhang, S.-S., Niu, B.-L., Ji, D.-F., Liu, X.-J., Li, M.-W., Bai, H., Palli, S. R., Wang, C.-Z., & Tan, A.-J. (2019). A determining factor for insect feeding preference in the silkworm, Bombyx mori. *PLOS Biology*, *17*(2), e3000162. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000162

Zwick, A., Regier, J. C., Mitter, C., & Cummings, M. P. (2011). Increased gene sampling yields robust support for higher-level clades within Bombycoidea (Lepidoptera). *Systematic Entomology*, *36*(1), 31-43. https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2010.00543.x

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Ποια είναι τα δύο μεγαλύτερα όργανα στο σώμα της προνύμφης του μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Το μεγαλύτερο όργανο στο σώμα της προνύμφης είναι ο πεπτικός σωλήνας και το δεύτερο μεγαλύτερο όργανο είναι οι μεταξογόνοι αδένες.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Πώς αντιλαμβάνεται η προνύμφη την παρουσία φύλλων μουριάς;

Απάντηση

Το πτητικό συστατικό που αναγνωρίζουν οι προνύμφες από την παρουσία φύλλων μουριάς είναι η χημική ένωση *cis*-jasmone, η οποία δρα ως οσφρητικό ερέθισμα κάνοντας την προνύμφη να κινηθεί προς την κατεύθυνση παρουσίας αυτής της πτητικής χημικής ένωσης

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Από ποια συστατικά αποτελείται η τεχνητή δίαιτα που μπορούν να καταναλώσουν οι προνύμφες;

Απάντηση

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές συνταγές. Μία από αυτές περιέχει Άλεσμα φύλλων μουριάς, Σογιέλαιο, Άλεσμα σόγιας (χωρίς λιπίδια), Χοληστερόλη, Κιτρικό οξύ, Ασκορβικό οξύ, Σορβικό οξύ, Άγαρ, Μέταλλα και Ιχνοστοιχεία, Γλυκόζη, Άμυλο πατάτας, Σκόνη κυτταρίνης και Νερό.

Κεφάλαιο 5: Παραγωγή και Διαχείριση των Αυγών του Μεταξοσκώληκα

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται εκτενής παρουσίαση των μεθόδων παραγωγής αυγών μεταξοσκώληκα για εμπορική χρήση, καθώς και των μεθόδων συντήρησης, ενεργοποίησης και επώασης των αυγών του μεταξοσκώληκα. Στις πρώτες ενότητες του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι τρόποι παραγωγής αυγών μεταξοσκώληκα από υβρίδια, καθώς και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά αυτών των υβριδίων. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται οι τρόποι συντήρησης και ενεργοποίησης των αυγών του μεταξοσκώληκα ώστε να μπορούμε να έχουμε αυγά έτοιμα προς εκκόλαψη σε όλη τη διάρκεια του έτους. Στις τελευταίες ενότητες παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης του εμβρύου του μεταξοσκώληκα, καθώς και οι συνθήκες που είναι απαραίτητες για να έχουμε τη μέγιστη δυνατή εκκολαψιμότητα των αυγών του μεταξοσκώληκα.

Προαπαιτούμενη γνώση
Χατζηιωάννου, Μ., & Βαφείδης, Δ. (2015). *Εργαστηριακές ασκήσεις ιστολογίας* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/5136

5.1 Παραγωγή αυγών μεταξοσκώληκα

Με βάση τη μακρόχρονη ιστορία της προσαρμογής των μεταξοσκωλήκων σε διαφορετικά περιβάλλοντα εκτροφής για πάρα πολλούς αιώνες, διακρίνουμε σήμερα τέσσερις διαφορετικές ομάδες φυλών του μεταξοσκώληκα. Αυτές είναι οι κινεζικές, οι ιαπωνικές, οι τροπικές και οι ευρωπαϊκές φυλές.

Η διάκριση αυτή είναι σχετικά αυθαίρετη και γενικότερα δεν βασίζεται σε ουσιαστικά φυλογενετικά δεδομένα, έχει όμως επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Chen et al., 2019; Goldsmith et al., 2005; Li et al., 2010; Otsuki, 1997; Shekar & Hardingham, 1995; Xia et al., 2009; Xiang et al., 2018) Για παράδειγμα, όπως αναφέρεται από τον E. Hiratsuka (Hiratsuka, 1969), υπάρχουν πάρα πολλές περιπτώσεις όπου τον 20ό αιώνα διάφορες φυλές εισήχθησαν στην Ιαπωνία και άλλαξαν ονομασία σε τέτοιο βαθμό που πλέον δεν μπορεί κανείς να διακρίνει εάν αυτή η φυλή είναι όντως ιαπωνική ή έχει άλλη καταγωγή.

Η διάκριση σε τέσσερις ομάδες φυλών έχει μια βιογεωγραφική βάση, καθώς οι αρχαιότερες φυλές προέρχονται από την Κίνα, ενώ οι ιαπωνικές φυλές εισήχθησαν στην Ιαπωνία πολλούς αιώνες πριν και διατηρήθηκαν σε καθεστώς γεωγραφικής απομόνωσης για πολλούς αιώνες. Οι τροπικές φυλές διακρίνονται από την απουσία διάπαυσης των αυγών και έτσι έχουμε συνεχή εκκόλαψη των αυγών σε όλη τη διάρκεια του έτους. Οι ευρωπαϊκές φυλές θεωρούνται διακριτές λόγω της γεωγραφικής απομόνωσης που είχαν από άλλες φυλές από τον 11ο – 12ο αιώνα μέχρι τον 19ο αιώνα, όταν και άρχισαν οι ανταλλαγές φυλών μεταξύ των διαφόρων κρατών (Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Otsuki, 1997; Shekar & Hardingham, 1995; Wang et al., 1989). Στη διεθνή βιβλιογραφία μπορεί να βρει κανείς αναφορές σε διάφορες φυλές διαφόρων κρατών, αλλά αυτό που είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί είναι ότι δεν υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία για το πότε (πόσο παλιά) και πώς μια φυλή μεταξοσκώληκα εισήχθη και έκτοτε εκτρέφεται συνεχώς σε μια χώρα ή γεωγραφική περιοχή.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, οι φυλές του μεταξοσκώληκα διακρίνονται ανάλογα με τις διαφορές στις φυσιολογικές και οικολογικές τους προσαρμογές και τους χαρακτήρες που έχουν προκύψει από τις προσαρμογές αυτές. Οι χαρακτήρες που διακρίνουν τις φυλές είναι κυρίως μορφολογικοί και ανατομικοί, όπως εμφάνιση της προνύμφης, σχήμα και μορφή του κουκουλιού, χρώμα των αυγών αλλά και άλλοι μορφολογικοί χαρακτήρες.

Για παράδειγμα, σε σχέση με τους κύκλους ζωής που εμφανίζουν οι μεταξοσκώληκες μέσα σε ένα έτος, οι φυλές χωρίζονται σε αυτές που έχουν έναν κύκλο ζωής, δύο κύκλους ζωής ή πολλούς κύκλους ζωής μέσα σε ένα έτος.

Σε σχέση με τις εκδύσεις στο στάδιο της προνύμφης, διακρίνονται σε φυλές που έχουν τρεις εκδύσεις, τέσσερις εκδύσεις, πέντε εκδύσεις και σπάνια δύο εκδύσεις ή έξι εκδύσεις ανά στάδιο της προνύμφης. Αυτοί όμως οι χαρακτήρες εμφανίζονται ανάμεσα στις φυλές που διακρίνονται σε σχέση με τη χώρα ή την περιοχή καταγωγής τους ως ιαπωνικές, κινεζικές, ευρωπαϊκές και τροπικές φυλές.

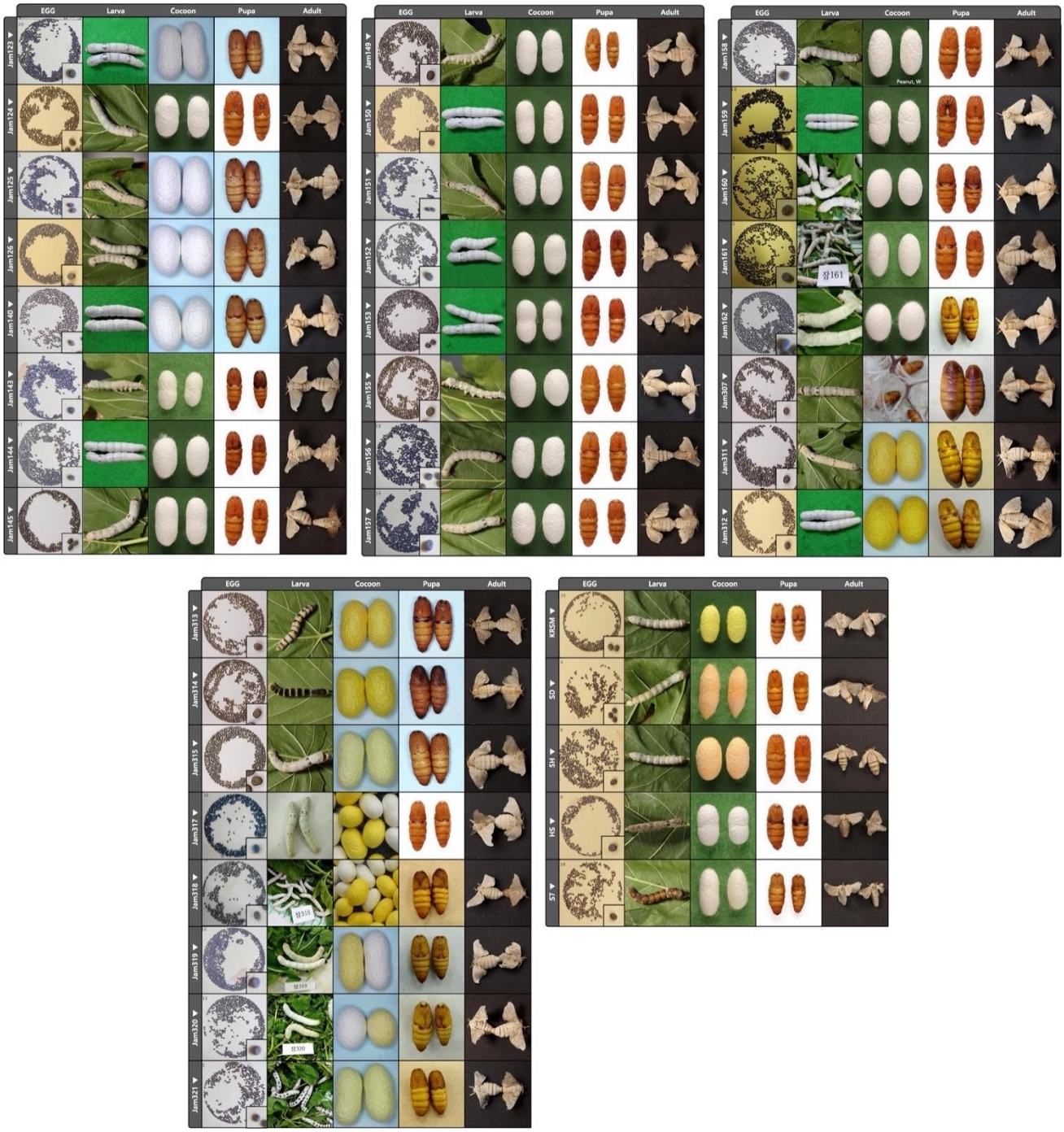
Χαρακτήρες	**Ιαπωνικές φυλές**	**Κινεζικές φυλές**	**Ευρωπαϊκές φυλές**	**Τροπικές φυλές**
Αυγό	Συχνά χρώση των αυγών που δεν πέφτουν σε διάπαυση. Συχνά νέκρωση του εμβρύου μετά τη χρώση του σώματος.	Ελαφρώς κίτρινο κέλυφος αυγού. Γενικά ελαφρύς χρωματισμός του κελύφους του αυγού.	Μεγάλα και βαριά αυγά. Εκκόλαψη ασύγχρονη.	Στιλπνό κέλυφος αυγού. Μικρά και ελαφριά αυγά.
Προνύμφη	Φυσιολογικά σημάδια στο σώμα. Ελαφρώς σκούρο χρώμα επιδερμίδας. Συχνά κοκκινωπή ή κιτρινωπή εμφάνιση κατά την έκδυση. Ελαφρώς αργή ανάπτυξη. Αδιάφορη στην ποιότητα των φύλλων. Ευαισθησία στις ικές προσβολές από τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης και της μολυσματικής αδράνειας.	Χωρίς σημάδια στο σώμα. Ελαφρώς λευκή επιδερμίδα. Σχετικά στρογγυλό σχήμα σώματος. Συχνά γαλαζωπή ή λευκή εμφάνιση κατά την έκδυση. Σχετικά γρήγορη ανάπτυξη. Αρκετές φυλές με 3 εκδύσεις. Αδιάφορη στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ανθεκτική στις μυκητιάσεις.	Φυσιολογικά σημάδια στο σώμα αλλά σχετικά αχνά. Συχνά κοκκινωπή ή κιτρινωπή εμφάνιση κατά την έκδυση. Ιδιαίτερα επίμηκες σώμα. Πολύ αργή ανάπτυξη. Ευαίσθητη στις κακές συνθήκες εκτροφής. Ευαισθησία στην πιπερίτιδα, τις μυκητιάσεις και τον ιό της κυτταροπλασματικής πολυέδρωσης.	Μικρό και λείο σώμα. Πολύ γρήγορη ανάπτυξη. Ιδιαίτερη ευρωστία. Ευαισθησία στις μυκητιάσεις.
Κουκούλι	Σχήμα φιστικιού. Λευκό ή υπόλευκο χρώμα. Σχετικά παχιά ίνα. Μικρό μήκος ίνας.	Σχήμα οβάλ. Λευκό ή κίτρινο. Λεπτή και μακριά ίνα. Καλή αναπηνιστικότητα.	Σχήμα επίμηκες οβάλ. Λευκό ή ελαφρώς ροδαλό χρώμα. Μεγάλο βάρος κελύφους. Μικρό ποσοστό διπλών κουκουλιών. Μεγάλη ποσότητα σερικίνης. Καλή αναπηνιστικότητα.	Σχήμα ατρακτοειδές. Χρώμα κίτρινο, πράσινο ή άσπρο. Μικρό βάρος κελύφους. Μεγάλο ποσοστό γναφάλων. Μικρό πάχος ίνας. Λίγες θραύσης της ίνας.
Κύκλοι ζωής ανά έτος	Ένας ή δύο	Ένας ή δύο	Ένας	Πολλοί

Πίνακας 5.1 *Τυπικά χαρακτηριστικά των φυλών του μεταξοσκώληκα ως προς τη γεωγραφική τους κατανομή (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1, οι χαρακτήρες που περιγράφονται αποτελούν αδρούς χαρακτήρες των παραδοσιακών φυλών του μεταξοσκώληκα (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969). Η αναφορά των χαρακτήρων αυτών δεν είναι γενικευμένη για όλες τις φυλές της γεωγραφικής επικράτειας που καθορίζει τις φυλές αυτές, καθώς στο πέρασμα των αιώνων έχουν γίνει πολλές ανταλλαγές και εισαγωγές φυλών από μια γεωγραφική επικράτεια σε μια άλλη.

Υπάρχουν φυσικά και άλλες κατηγοριοποιήσεις σε σχέση με το χρώμα του κουκουλιού, το σχήμα του κουκουλιού, τα σημάδια στο σώμα της προνύμφης ή τη μορφή του σώματος της προνύμφης. Ωστόσο, αυτές οι

κατηγοριοποιήσεις υπάρχουν ακόμα και μέσα σε μια γεωγραφική περιοχή ή μια χώρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1, που είναι ένα ωραίο παράδειγμα των διαφορετικών φυλών που υπάρχουν στη Ν. Κορέα.



Εικόνα 5.1 *Συνοπτική απεικόνιση των αυγών, των προνυμφών, των κουκουλιών, των νυμφών και των νυχτοπεταλούδων από όλες τις φυλές μεταξοσκώληκα που διατηρούνται στη Ν. Κορέα (Πηγή: (Kim et al., 2022), CC-BY άδεια).*

Επειδή οι τέσσερις ομάδες φυλών του μεταξοσκώληκα έχουν θεωρητικά διαφορετικές προσαρμογές ως προς το περιβάλλον στο οποίο έχουν εξελιχθεί, η κάθε φυλή έχει ιδιαιτερότητες στους χειρισμούς της, αλλά και στην εκτροφή της (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969).

Για τη δημιουργία των υβριδίων έχει επικρατήσει η σύζευξη μεταξύ των Ιαπωνικών και των Κινεζικών φυλών που έχουν τέσσερις εκδύσεις στο στάδιο της προνύμφης. Έτσι, τα περισσότερα υβρίδια μεταξοσκωλήκων που είναι εμπορικά διαθέσιμα και εκτρέφονται για την παραγωγή κουκουλιών είναι υβρίδια μεταξύ Ιαπωνικών και Κινεζικών φυλών (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969) (Eguchi & A, 1995; Midorikawa, 1975).

Στην πραγματικότητα, τα εμπορικά διαθέσιμα υβρίδια είναι αποτέλεσμα βελτίωσης πατρογονικών καθαρών σειρών (Hiratsuka, 1969; Yamamoto et al., 1999), όπως αποκαλούνται οι γονείς των υβριδίων που εκτρέφονται. Αυτές οι καθαρές σειρές, που αποτελούν τους γονείς των υβριδίων, προέρχονται από μεταξοσκώληκες που υποβλήθηκαν για δεκαετίες σε επιλογή και εισαγωγή μέσω συζεύξεων επιθυμητών χαρακτήρων από ιαπωνικές, κινεζικές, ευρωπαϊκές ή και τροπικές φυλές. Δεν αποτελούν δηλαδή καθαρές σειρές που επιλέχθηκαν και απομονώθηκαν αναπαραγωγικά η κάθε μια από όλες τις άλλες, αλλά μέσω δεκαετιών συνεχούς βελτίωσης και σύζευξης για την εισαγωγή επιθυμητών χαρακτήρων, προέκυψαν ως καθαρές σειρές που πλέον φέρουν τους επιθυμητούς χαρακτήρες που εμφανίζονται στους απογόνους τους, τα εμπορικά υβρίδια (Hiratsuka, 1969).

Για παράδειγμα, μια ιαπωνική φυλή δεν είναι απλά μια φυλή με διακριτούς φυσιολογικούς και οικολογικούς χαρακτήρες, αλλά φέρει χαρακτήρες, μερικοί από τους οποίους μπορεί να προέρχονται από μια άλλη φυλή. Η γνώση αυτών των χαρακτήρων είναι πολύ σημαντική όταν εκτρέφουμε τους μεταξοσκώληκες για να παράγουμε τα αυγά τους και να τα διαχειριστούμε.

Επειδή τα υβρίδια του μεταξοσκώληκα μπορεί να προέρχονται από τον συνδυασμό μέσω σύζευξης δύο, τριών ή τεσσάρων καθαρών φυλών, τα αυγά αλλά και οι μεταξοσκώληκες που προκύπτουν από αυτά διακρίνονται σε καθαρές σειρές των παραγωγών αυγών (τα προπατορικά άτομα των υβριδίων), τα πατρογονικά άτομα των υβριδίων και τα εμπορικά υβρίδια (προσδιοριζόμενα με το σύμβολο F_1) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κουκουλιών (Eguchi & A, 1995; Hiratsuka, 1969; Midorikawa, 1975; Xiang et al., 2018; Yamamoto et al., 1999).

Η ετέρωση, δηλαδή η ευρωστία και υψηλή παραγωγικότητα που παρουσιάζεται στους απογόνους μιας διασταύρωσης δύο ατόμων με διαφορετικό γενετικό υπόβαθρο λόγω ύπαρξης διαφορετικών αλληλόμορφων, είναι ιδιαίτερα εμφανής στον μεταξοσκώληκα κατά τη δημιουργία υβριδίων (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969; Tazima, 1964, 1978). Η ετέρωση είναι το αντίθετο του ομοζυγωτικού εκφυλισμού και με τη δημιουργία καθαρών σειρών του μεταξοσκώληκα αυτό που επιτυγχάνουμε είναι τη σταθεροποίηση συγκεκριμένων χαρακτήρων σε κάθε καθαρή σειρά μέσω της αυτογονιμοποίησης που οδηγεί στην αύξηση του ομοζυγωτικού εκφυλισμού.

Όταν, όμως, μια τέτοια καθαρή σειρά διασταυρωθεί με μία άλλη με την οποία δεν έχει μεγάλη συγγένεια, τότε το φαινόμενο της ετέρωσης εμφανίζεται πολύ έντονα στο υβρίδιο F που προκύπτει (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969; Tazima, 1964, 1978). Στο φαινόμενο της ετέρωσης οφείλεται η δημιουργία παραγωγικών υβριδίων του μεταξοσκώληκα. Παλιότερα, η ετέρωση εμφανιζόταν σε διασταυρώσεις μεταξύ φυλών όπως οι ιαπωνικές με τις κινεζικές ή οι ιαπωνικές με τις ευρωπαϊκές που είχαν διαφορετικό γενετικό υπόβαθρο μεταξύ τους. Με την επιλογή, όμως, ατόμων από το υβρίδιο F_1 από τέτοιες διασταυρώσεις και την αυτογονιμοποίηση αυτών των F_1 ατόμων, προέκυψαν μετά από δεκαετίες συνεχούς αυτογονιμοποίησης καθαρές σειρές που είχαν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία ήταν σταθεροποιημένα (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969; Tazima, 1964, 1978).

Αυτές, δηλαδή, οι καθαρές σειρές υποβάλλονταν σε διαδικασία ομοζυγωτικού εκφυλισμού για πολλές δεκαετίες και όταν διασταυρώνονταν με μια άλλη καθαρή σειρά που είχε άλλους επιθυμητούς χαρακτήρες, τότε το φαινόμενο της ετέρωσης εμφανιζόταν πολύ ισχυρά στο υβρίδιο F_1 που προέκυπτε από αυτήν τη διασταύρωση. Οι διασταυρώσεις μεταξύ καθαρών σειρών μπορεί να ήταν αρκετές και με διαφορετικούς συνδυασμούς και οι γενετιστές επέλεγαν διασταυρώσεις που έδιναν συγκεκριμένους χαρακτήρες στο υβρίδιο F_1 όπως, για παράδειγμα, μεγάλο μήκος ίνας μεταξιού ή αντοχή σε συγκεκριμένο παθογόνο ή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες εκτροφής (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969; Tazima, 1964, 1978). Αυτή ήταν και είναι η αρχή δημιουργίας των εμπορικών υβριδίων του μεταξοσκώληκα και οι συνδυασμοί των πατρογονικών καθαρών σιρών μπορεί να ήταν με συνδυασμό δύο καθαρών σειρών ή τριών ή ακόμη και τεσσάρων καθαρών σειρών του μεταξοσκώληκα που θα έδιναν τα επιθυμητά για κάθε υβρίδιο χαρακτηριστικά. Η αναφορά παραπάνω ή παρακάτω σε καθαρές σειρές είναι ένας τεχνικός όρος που μπορεί να αντικατασταθεί με τον όρο *ποικιλία*, ωστόσο, ο όρος καθαρή σειρά προτιμάται, γιατί υποδηλώνει την προσπάθεια δημιουργίας ομοζυγωτικού εκφυλισμού στα άτομα της καθαρής σειράς.

Παρακάτω θα αναφερθούν οι μέθοδοι για την παραγωγή αυγών εμπορικών υβριδίων προς παραγωγή εμπορεύσιμων κουκουλιών. Στην πλειονότητά τους τα αυγά των εμπορικών υβριδίων προέρχονται από πιστοποιημένες και εγκεκριμένες παραγωγικές διαδικασίες και συζεύξεις μεταξύ ιαπωνικών και κινεζικών φυλών.

5.2 Εκτροφή πατρογονικών φυλών

Η εκτροφή για την παραγωγή κουκουλιών από υβρίδια δίνει έμφαση στην παραγωγή καλής ποιότητας κουκουλιών, ενώ η εκτροφή για την παραγωγή αυγών υβριδίων δίνει έμφαση στην παραγωγή υγιών και ανθεκτικών νυμφών που θα μεταμορφωθούν σε υγιείς νυχτοπεταλούδες και θα παράγουν πολλά αυγά και έτσι η έμφαση δεν δίνεται στην παραγωγή καλής ποιότητας κουκουλιών (Ayuzawa, 1972).

Από την άλλη μεριά, ενώ στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων για την παραγωγή κουκουλιών μπορεί να εφαρμοστεί μηχανοποίηση της εκτροφής και πρακτικές μείωσης του φόρτου εργασίας, στην εκτροφή των πατρογονικών φυλών απαιτείται ιδιαίτερη φροντίδα, γιατί οι προνύμφες των πατρογονικών φυλών είναι ευαίσθητες και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτές πρακτικές μείωσης του φόρτου εργασίας (Ayuzawa, 1972). Επίσης, σε αντίθεση με την εκτροφή των υβριδίων, στην εκτροφή των πατρογονικών φυλών η ανάπτυξή τους καθυστερεί και συμβαίνει συχνά να ταΐζονται υπερβολικά αντί να ταΐζονται με λίγα φύλλα και πιο συχνά. Έτσι, στην εκτροφή των πατρογονικών φυλών μειώνεται η ποσότητα φύλλων που δίνονται στο τέλος της 5ης ηλικίας για να έχουμε περισσότερα υγιή ζώα που θα παράγουν αυγά.

Σε πρακτικό επίπεδο αυτό σημαίνει διατροφή των μεταξοσκωλήκων με περίπου 18 κιλά φρέσκων φύλλων ανά 1000 ζώα στην 5η ηλικία ή 20% λιγότερα φύλλα σε σχέση με τη διατροφή των υβριδίων (21-24 κιλά φύλλα ανά 1000 ζώα) (Ayuzawa, 1972). Οι συνθήκες θερμοκρασίας είναι επίσης διαφορετικές με 25-26 ºC για τις νεαρές ηλικίες των πατρογονικών φυλών και 23-25 ºC για τις μεγαλύτερες ηλικίες. Αυτό το εύρος θερμοκρασιών εξαρτάται από την προέλευση των φυλών και είναι ανώτερο για τις κινεζικές φυλές και κατώτερο για τις ευρωπαϊκές φυλές. Η υγρασία στους χώρους εκτροφής πρέπει να είναι 70-75%. Κατά τις ημέρες της παραγωγής των κουκουλιών η θερμοκρασία διατηρείται προσεκτικά στους 23-25 ºC και η υγρασία στο 70-75%. Αν η θερμοκρασία στο στάδιο αυτό είναι υψηλή, μπορεί να προκύψουν αυγά που δεν μπαίνουν σε διάπαυση και επίσης η μεταμόρφωση σε νύμφη μπορεί να μην είναι επιτυχής μέσα στο κουκούλι (Ayuzawa, 1972). Είναι αυτονόητο ότι η εκτροφή των πατρογονικών φυλών γίνεται σε χώρους και σηροτροφεία που δεν έχουν στόχο την υψηλή παραγωγή κουκουλιών και άρα δεν υπάρχει πρόβλεψη στη διαρρύθμιση των χώρων για εκμηχάνιση της παραγωγής.

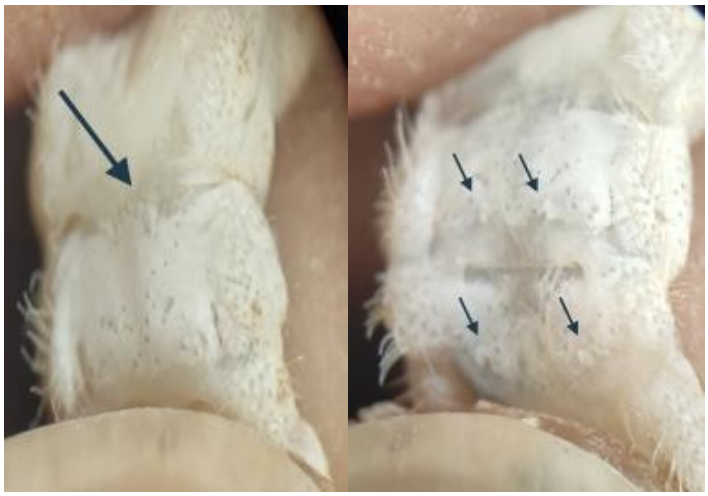
Επίσης, αυτά τα σηροτροφεία στα οποία γίνεται η εκτροφή πατρογονικών φυλών πρέπει να είναι διακριτά και σε μεγάλη απόσταση από τα άλλα σηροτροφεία στα οποία εκτρέφονται τα παραγωγικά υβρίδια για να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών. Εάν για τα σηροτροφεία παραγωγής κουκουλιών η εμφάνιση ασθενειών οδηγεί σε μείωση της παραγωγής, είναι αυτονόητο ότι για τα σηροτροφεία παραγωγής αυγών η εμφάνιση ασθενειών είναι καταστροφική.

5.2.1 Διαχωρισμός του φύλου των μεταξοσκωλήκων

Για να παραχθούν υβρίδια είναι απαραίτητο να διαχωριστούν τα αρσενικά από τα θηλυκά άτομα. Αν δεν γίνει αυτό με σωστό και καλό τρόπο, τότε τα αρσενικά και θηλυκά άτομα της κάθε φυλής θα ζευγαρώσουν μεταξύ τους όταν βγουν από το κουκούλι και δεν θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αυγών υβριδίων.

Ο διαχωρισμός του φύλου λοιπόν είναι απαραίτητος και γίνεται στο στάδιο της προνύμφης ή της νύμφης. Στην περίπτωση που αναπαραγάγουμε μια πατρογονική φυλή για να τη διατηρήσουμε, είναι καλό να γίνεται ο διαχωρισμός των αρσενικών νυχτοπεταλούδων από τις θηλυκές και να μην αφήνουμε τις νυχτοπεταλούδες να ζευγαρώσουν μόλις βγουν από τα κουκούλια. Αυτό είναι καλό να γίνεται, γιατί η συλλογή ζευγαριών νυχτοπεταλούδων πάνω από τα κουκούλια είναι μια κοπιώδης εργασία, ενώ συχνά οι θηλυκές νυχτοπεταλούδες μπορεί να αφήσουν τα αυγά τους πάνω στα κουκούλια, εάν δεν απομακρυνθούν από αυτά.

Ο διαχωρισμός του φύλου στο στάδιο της προνύμφης είναι πιο απλός και ένας καλά εκπαιδευμένος άνθρωπος με καλή όραση μπορεί να διαχωρίσει το φύλο της προνύμφης σε περίπου 3-4 δευτερόλεπτα ανά ζώο. Ο διαχωρισμός του φύλου στο στάδιο της προνύμφης γίνεται με 2 τρόπους: Η μία μέθοδος βασίζεται στην αναγνώριση των λεγόμενων *στιγμάτων του Ishiwata* στις θηλυκές προνύμφες και του *στίγματος του Herold* στις αρσενικές προνύμφες, όπως αυτές φαίνονται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2 *Το βέλος στην αριστερή εικόνα δείχνει το στίγμα του Herold που βρίσκεται ανάμεσα στο 7ο και 8ο κοιλιακό μεταμερές της αρσενικής προνύμφης και μοιάζει με κυκλική οπή. Τα τέσσερα βέλη στη δεξιά εικόνα δείχνουν τα τέσσερα σημάδια του Ishiwata που βρίσκονται ανά ζεύγος στο 7ο και στο 8ο κοιλιακό μεταμερές της θηλυκής προνύμφης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Αυτά τα στίγματα είναι δομές που θα αποτελέσουν, μετά τις μεταμορφώσεις, δομές του αναπαραγωγικού συστήματος της αρσενικής και θηλυκής νυχτοπεταλούδας. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, απαιτείται κάποιος να ασκηθεί στην αναγνώριση του φύλου στο στάδιο της προνύμφης, κάτι το οποίο δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολο, αλλά σίγουρα δεν είναι κάτι απλό και απαιτεί ευελιξία στη χρήση των προνυμφών. Ένα μειονέκτημα αυτής της χειρωνακτικής μεθόδου είναι ότι πρέπει να γίνεται την 1η μέρα της 5ης ηλικίας ή το πολύ τη 2η μέρα της 5ης ηλικίας. Τις επόμενες ημέρες της 5ης ηλικίας η μέθοδος αυτή είναι δύσκολο να εκτελεστεί, γιατί σημαντική ποσότητα λιπώδους σωματίου αρχίζει να δημιουργείται στο σώμα της προνύμφης και αυτό κάνει τα στίγματα να μην είναι ευδιάκριτα ή να μην φαίνονται καθόλου.

Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται στα στίγματα στο σώμα της προνύμφης και προϋποθέτει την ύπαρξη ή χρήση φυλών που έχουν τέτοια φυλο-εξαρτώμενα χαρακτηριστικά. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε πειράματα που δημοσιεύθηκαν το 1941 από τον Καθ. Yataro Tzima (Hirobe, 1969; Tazima, 1941), ο οποίος με τη χρήση ακτινοβολίας ακτινών Χ κατάφερε να δημιουργήσει μεταξοσκώληκες με φυλοσύνδετο χρωματισμό του σώματος των προνυμφών. Στη μέθοδο αυτή, το γονίδιο που κωδικοποιεί για την εμφάνιση των στιγμάτων στο σώμα της προνύμφης εκφράζεται στο χρωμόσωμα W, το οποίο καθορίζει την εμφάνιση των θηλυκών χαρακτήρων (Ayuzawa, 1972; Goldsmith et al., 2005; Hirobe, 1969; Tazima, 1941, 1964, 1978). Αν ένα τέτοιο ζώο διασταυρωθεί με ένα αρσενικό άτομο χωρίς σημάδια στο σώμα, τότε οι θηλυκοί απόγονοι θα έχουν σημάδια και οι αρσενικοί απόγονοι δεν θα έχουν σημάδια (Εικόνα 5.3). Με τον τρόπο αυτόν η διάκριση του φύλου είναι πολύ εύκολη και μπορεί να γίνει από την 4η ηλικία και δεν μπορούν να γίνουν λάθη στην αναγνώριση του φύλου.

Εικόνα 5.3 *Φυλοσύνδετος χρωματισμός του σώματος της προνύμφης. Οι προνύμφες στην αριστερή εικόνα είναι όλες θηλυκές, ενώ οι προνύμφες στη δεξιά εικόνα είναι όλες αρσενικές. Με βάση αυτήν την εμφάνιση μπορεί κανείς πολύ εύκολα να διαχωρίσει το φύλο των μεταξοσκωλήκων χωρίς σφάλμα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η διάκριση του φύλου μπορεί να γίνει και στο στάδιο της νύμφης. Στο στάδιο της νύμφης μπορούμε να κάνουμε τη διάκριση με βάση το βάρος το κουκουλιού, καθώς γενικότερα το βάρος των κουκουλιών των θηλυκών είναι

μεγαλύτερο από το βάρος των κουκουλιών των αρσενικών. Αυτή η μέθοδος, όμως, εμφανίζει σημαντικό ποσοστό λανθασμένων εκτιμήσεων (περίπου 30%), καθώς υπάρχουν κουκούλια αρσενικών που είναι τόσο βαριά όσο των θηλυκών και υπάρχουν θηλυκά που μπορεί να έχουν μικρό βάρος κουκουλιού και έτσι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος.

Η καλύτερη μέθοδος διάκρισης του φύλου στο στάδιο της νύμφης γίνεται με παρατήρηση των εξωτερικών ανατομικών χαρακτηριστικών του αναπαραγωγικού συστήματος της νύμφης (Εικόνα 5.4), όπου είναι πολύ ευδιάκριτη η διαφορά ανάμεσα σε θηλυκό και αρσενικό άτομο.

Εικόνα 5.4 *Αρσενική νύμφη (αριστερά) και θηλυκή νύμφη (δεξιά) του μεταξοσκώληκα. Τα βέλη δείχνουν τα σημεία της κοιλιακής περιοχής της νύμφης που πρέπει να παρατηρηθούν για να γίνει η διάκριση του φύλου. Στο θηλυκό άτομο εμφανίζονται δύο δομές σαν καλύπτρες στο τελευταίο κοιλιακό μεταμερές, ενώ στο αρσενικό απουσιάζουν και εμφανίζεται μια χαρακτηριστική γραμμή μεταξύ των δύο μεταμερών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το σημαντικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι απαιτείται η κοπή του κελύφους με αιχμηρό χαρτοκόπτη, μια εργασία που είναι χρονοβόρα και πρέπει να γίνεται προσεκτικά για να μην τραυματίζουμε τη νύμφη. Αυτή η μέθοδος διάκρισης του φύλου στο στάδιο της νύμφης είναι σχετικά πιο ασφαλής σε σχέση με τη διάκριση του φύλου στο στάδιο της προνύμφης και μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του σταδίου της νύμφης.

5.2.2 Παραγωγή αυγών από τις νυχτοπεταλούδες

Εφόσον διατηρούμε τα φρέσκα κουκούλια που προορίζονται για παραγωγή αυγών υπό συνθήκες 12 ώρες φωτός/12 ώρες σκοτάδι, τότε η εμφάνιση των νυχτοπεταλούδων από το κουκούλι συμβαίνει νωρίς το πρωί μιας συγκεκριμένης ημέρας λίγη ώρα αφού ανάψουν τα φώτα (Ayuzawa, 1972). Η μεταμόρφωση της νύμφης σε νυχτοπεταλούδα συμβαίνει μέσα στο κουκούλι και πολύ σύντομα, αφού ανάψουν τα φώτα και σε λίγο διάστημα μετά (20-30 λεπτά), η νυχτοπεταλούδα αρχίζει να εκκρίνει από τα στοματικά της εξαρτήματα ένα υδαρές έκκριμα που περιέχει ένα ένζυμο που ονομάζεται *κοκουνάση* (Fukumori et al., 2014). Το ένζυμο αυτό ενυδατώνει και αλλοιώνει τη συνεκτικότητα του κελύφους του κουκουλιού αποδομώντας τη σερικίνη και έτσι η νυχτοπεταλούδα σπρώχνει το σώμα της (Εικόνα 5.5) από την πλευρά της κεφαλής της για να εξέλθει σε λίγα λεπτά από το κουκούλι.

Εικόνα 5.5 *Νυχτοπεταλούδα του μεταξοσκώληκα καθώς αρχίζει να βγαίνει από το κουκούλι της (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Όταν διατηρούμε ακανόνιστη εναλλαγή φωτισμού στον χώρο, τότε η εμφάνιση των νυχτοπεταλούδων έχει ασύγχρονο ρυθμό. Συνήθως πρώτα εμφανίζονται τα αρσενικά άτομα από το κουκούλι και κατόπιν τα θηλυκά, ενώ σε κάποιες φυλές η εμφάνιση των θηλυκών νυχτοπεταλούδων μπορεί να καθυστερήσει για μια ημέρα. Επειδή η εμφάνιση των νυχτοπεταλούδων ακολουθεί έναν νυχθημερή ρυθμό, όσες νυχτοπεταλούδες δεν εμφανιστούν το πρωί μια συγκεκριμένης ημέρας, θα εμφανιστούν το πρωί της επόμενης ημέρας.

Για την παραγωγή αυγών μεταξύ υβριδίων πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στον συγχρονισμό της ανάπτυξης των δύο φυλών ή των πατρογονικών σειρών από τη διασταύρωση των οποίων θα προκύψουν τα αυγά του υβριδίου. Χρειάζονται αρκετή εμπειρία και καλή καταγραφή της ανάπτυξης των φυλών ή πατρογονικών σειρών, ώστε να γνωρίζουμε πότε θα αρχίσουμε την εκτροφή, προκειμένου να πετύχουμε τον συγχρονισμό της ανάπτυξης των δύο γονέων (Ayuzawa, 1972). Έτσι θα πρέπει να γνωρίζουμε τον χρόνο επώασης των αυγών, τη διάρκεια του σταδίου της προνύμφης και της νύμφης ώστε να μπορούμε να επιτύχουμε συγχρονισμό στην εμφάνιση των νυχτοπεταλούδων από τους δύο γονείς. Αυτοί είναι και οι λόγοι για τους οποίους η παραγωγή αυγών υβριδίων δεν είναι μια εύκολη διεργασία, αλλά απαιτεί επένδυση σε χρόνο, τεχνογνωσία και εξειδίκευση για να είναι επιτυχής.

Εάν κάτι παρεκκλίνει από τον προγραμματισμό μας εξαιτίας ανεπιθύμητων περιβαλλοντικών συνθηκών ή άλλων παραγόντων, τότε για να ισοσκελίσουμε την απουσία συγχρονισμού ανάπτυξης, μπορούμε να βάλουμε τα κουκούλια των θηλυκών νυμφών στους 8 ºC την 3η ημέρα του σταδίου της νύμφης ή μπορούμε να βάλουμε τα κουκούλια των θηλυκών νυμφών στους 8 ºC από τη στιγμή της εμφάνισης των πρώτων νυχτοπεταλούδων για έως και 2 ημέρες (Ayuzawa, 1972). Για τα κουκούλια των αρσενικών νυμφών μπορούμε να τα βάλουμε στους 8-10 ºC από τη στιγμή της εμφάνισης των πρώτων νυχτοπεταλούδων για έως και 7 ημέρες. Με τους παραπάνω τρόπους μπορούμε να ισοσκελίσουμε την τυχόν ανομοιόμορφη ανάπτυξη των δύο πατρογονικών φυλών ή σειρών για να γίνει η εμφάνιση των νυχτοπεταλούδων ομοιόμορφα.

Οι παραπάνω συνθήκες αφορούν το στάδιο της νύμφης που βρίσκεται μέσα στο κουκούλι, αλλά παρόμοιες πρακτικές μπορούμε να εφαρμόσουμε και στο στάδιο της νυχτοπεταλούδας για να συγχρονίσουμε την ημέρα ζευγαρώματος (Ayuzawa, 1972). Τις θηλυκές νυχτοπεταλούδες, μπορούμε να τις βάλουμε στους 7-10 ºC για έως και 3 ημέρες. Για τις αρσενικές νυχτοπεταλούδες, η διατήρησή τους σε χαμηλή θερμοκρασία ποικίλλει ανάλογα με το εάν έχουν ζευγαρώσει ήδη με ένα θηλυκό ή όχι. Εάν έχουν ζευγαρώσει με ένα θηλυκό, τότε μπορούμε να τις διατηρήσουμε στους 7-10 ºC για έως και 3 ημέρες. Εάν δεν έχουν ζευγαρώσει με ένα θηλυκό, τότε μπορούμε να τις διατηρήσουμε στους 7-10 ºC για έως και 7 ημέρες (Ayuzawa, 1972).

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαχείριση των αρσενικών είναι διαφορετική, γιατί δεν υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης μη διαπαυόμενων αυγών όπως μπορεί να συμβεί με τα θηλυκά. Επίσης, οι παραπάνω χρήσιμες μέθοδοι πρέπει να είναι λύσεις απόλυτης ανάγκης που δεν θα πρέπει να υποκαθιστούν τη σωστή και καλά οργανωμένη χρονικά εκτροφή των πατρογονικών φυλών ή σειρών για τη δημιουργία αυγών υβριδίου. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα αρσενικά άτομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν 1-2 φορές για το ζευγάρωμα με τα θηλυκά σε περίπτωση που ο αριθμός των αρσενικών είναι ο περιοριστικός παράγοντας στην παραγωγή αυγών.

5.2.3 Διαχείριση των νυχτοπεταλούδων κατά το ζευγάρωμα και την παραγωγή αυγών

Για την παραγωγή αυγών υβριδίου, αλλά γενικότερα και για την παραγωγή αυγών των πατρογονικών φυλών, είναι απόλυτα απαραίτητο να διαχωρίζουμε τα θηλυκά και τα αρσενικά άτομα είτε στο στάδιο της προνύμφης είτε στο στάδιο της νύμφης και να τα διατηρούμε σε ξεχωριστό μέρος απομακρυσμένα μεταξύ τους.

Παρότι οι νυχτοπεταλούδες του μεταξοσκώληκα δεν έχουν την ικανότητα να πετάξουν και έτσι να βρουν η μια την άλλη για το ζευγάρωμα, εάν τα αρσενικά άτομα είναι κοντά στα θηλυκά, τότε μπορούν να μυρίσουν τη φερορμόνη που εκλύουν τα θηλυκά και να δραστηριοποιηθούν κουνώντας έντονα τα φτερά τους και δαπανώντας ενέργεια ψάχνοντας για τα θηλυκά. Αυτό μπορεί να εξαντλήσει τα αρσενικά άτομα και για τον λόγο αυτόν τα κρατάμε μακριά από τα θηλυκά, τα οποία γενικότερα είναι νωθρά και δεν κινούνται ιδιαίτερα. Επίσης, εάν τα θηλυκά και αρσενικά άτομα είναι δίπλα-δίπλα, τότε, στην περίπτωση που θέλουμε να δημιουργήσουμε αυγά υβριδίων, οι αρσενικές προνύμφες προχωρούν άμεσα σε ζευγάρωμα με τα θηλυκά αμέσως μόλις αυτά βγουν από το κουκούλι τους, και έτσι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα θηλυκά για παραγωγή αυγών υβριδίων (Ayuzawa, 1972).

Διατηρούμε τις νυχτοπεταλούδες σε θερμοκρασία 23-25 ºC και υγρασία 60-70% αφού βγουν από το κουκούλι τους και κάνουμε το ζευγάρωμα σε αυτήν τη θερμοκρασία. Χαμηλές θερμοκρασίες σε αυτό το μικρό

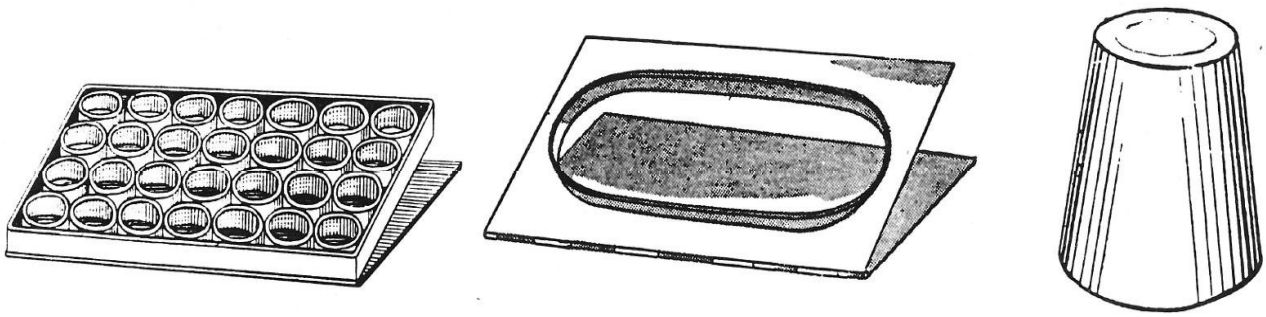
χρονικό διάστημα του ζευγαρώματος προκαλούν εμφάνιση μη διαπαυόμενων αυγών και μειώνεται επίσης ο αριθμός των αυγών που εναποθέτουν τα θηλυκά (Ayuzawa, 1972).

Το ζευγάρωμα γίνεται για 3-4 ώρες υπό την απουσία ρεύματος αέρα και είναι καλύτερο να γίνεται στο σκοτάδι. Το ζευγάρωμα γίνεται με τη βοήθεια του ανθρώπου, καθώς πρέπει να μεταφέρουμε τα αρσενικά ή τα θηλυκά ώστε να έρθουν κοντά και να ζευγαρώσουν και κατόπιν πρέπει να αραιώσουμε τα ζευγάρια κατά τη σύζευξη, ώστε τα θηλυκά να έχουν χώρο να εναποθέσουν τα αυγά τους (Ayuzawa, 1972).

Για να ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία της εναπόθεσης των αυγών, έχουν εφευρεθεί διάφορες συσκευές που αποτελούνται από μεταλλικούς κυλίνδρους που καλύπτονται για να φιλοξενήσουν 28 ζευγάρια νυχτοπεταλούδων ή μικρά μεταλλικά χωνιά κάτω από τα οποία μπαίνει ένα ζευγάρι νυχτοπεταλούδων ανά χωνί (Εικόνα 5.6). Εναλλακτικά, στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας της Πάδοβας στην Ιταλία χρησιμοποιούνται οι μεταλλικές κατασκευές που φαίνονται στην Εικόνα 5.7. Οι οπές τοποθετούνται ως σετ των 36 κελιών πάνω σε χαρτί εναπόθεσης των αυγών και μέσα στα κελιά τοποθετούνται τα ζευγάρια των νυχτοπεταλούδων. Εναλλακτικά και πιο απλά, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει μικρά μεταλλικά χωνιά 5 εκατοστών διαμέτρου στη βάση τους, τα οποία μπαίνουν πάνω από ένα ζευγάρι νυχτοπεταλούδων (Εικόνα 5.8).

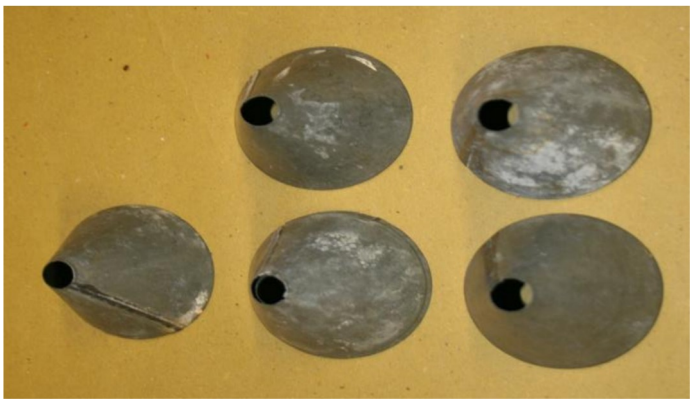
Το χωνί ή το σετ των 28 κυλίνδρων (Εικόνα 5.6) τοποθετείται πάνω σε ένα σκληρό χαρτί, όπου η θηλυκή νυχτοπεταλούδα θα αφήσει τα αυγά της, αφού αφαιρέσουμε την αρσενική νυχτοπεταλούδα μετά από 3-4 ώρες ζευγαρώματος. Το σκληρό χαρτί για την εναπόθεση των αυγών χρησιμοποιείται για τις πατρογονικές φυλές ή σειρές που θα δώσουν τα αυγά υβριδίου. Όμως, επειδή η παραγωγή αυγών υβριδίου γίνεται σε μεγάλες ποσότητες, τα αυγά των υβριδίων αφήνονται να εναποτεθούν από τις θηλυκές νυχτοπεταλούδες, αφού απομακρύνουμε τις αρσενικές νυχτοπεταλούδες, με μαζικό τρόπο πάνω σε ύφασμα ή σε αδιάβροχο χαρτί, για να μπορέσουμε αργότερα να τα ξεκολλήσουμε και να τα διαχειριστούμε εύκολα.

Έτσι, εάν για παράδειγμα δεχθούμε ότι μια παραγωγική θηλυκή νυχτοπεταλούδα εναποθέτει 400 αυγά ανά μέσο όρο, τότε από 1000 θηλυκές νυχτοπεταλούδες θα πάρουμε περίπου 400000 αυγά ή 20 κουτιά των 20000 αυγών κατά μέσο όρο. Έτσι, για να έχουμε μια παραγωγή, για παράδειγμα, 100 κουτιών των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα μπορούμε να υπολογίσουμε ότι θα χρειαστεί να εκθρέψουμε 5000 θηλυκές και 5000 αρσενικές προνύμφες. Ουσιαστικά όμως χρειαζόμαστε να υπολογίσουμε τις απώλειες που θα έχουμε κατά τη διάρκεια της εκτροφής που μπορεί να φτάνουν στο 20-25% και αυτός ο βαθμός απωλειών είναι κάτι το οποίο πάντα αναφέρεται όταν επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός νέου υβριδίου από πατρογονικές σειρές ως ποσοστό μεταμόρφωσης σε νύμφη (pupation rate) (Midorikawa, 1975). Δεχόμενοι αυτό το ποσοστό απωλειών, μπορούμε να υπολογίσουμε ότι για την παραγωγή 100 κουτιών αυγών υβριδίου των 20000 αυγών πρέπει να εκθρέψουμε περίπου 12000 θηλυκές και αρσενικές προνύμφες. Με βάση αυτούς τους υπολογισμούς και με γνώση των παραγγελιών που λαμβάνει μια εταιρεία παραγωγής αυγών υβριδίου μεταξοσκώληκα, μπορεί να καθορίσει το μέγεθος της παραγωγής που πρέπει να ολοκληρώσει για να παραδώσει τα κουτιά των αυγών μεταξοσκώληκα που έχουν παραγγελθεί.



Εικόνα 5.6 *Αριστερά φαίνεται το καλυπτόμενο πλαίσιο των 28 κελιών, όπου ζευγάρι νυχτοπεταλούδων μπαίνει μέσα σε κάθε ένα κελί για ζευγάρωμα και κατόπιν αφαιρείται η αρσενική νυχτοπεταλούδα και η θηλυκή νυχτοπεταλούδα αφήνεται να εναποθέσει τα αυγά της. Στο κέντρο φαίνεται παρόμοιο καλυπτόμενο πλαίσιο, όπου πολλά ζευγάρια νυχτοπεταλούδων αφήνονται να ζευγαρώσουν και κατόπιν αφαιρούνται οι αρσενικές νυχτοπεταλούδες για να αφεθούν οι θηλυκές να εναποθέσουν μαζικά τα αυγά τους. Στα δεξιά φαίνεται μια παρόμοια κατασκευή με αυτή της μεσαίας εικόνας που έχει όμως τη μορφή μεγάλου ανάστροφου ποτηριού. Αυτή η κατασκευή στα δεξιά μπορεί να έχει μικρότερες διαστάσεις για να καλύπτει μόνο ένα ζευγάρι νυχτοπεταλούδων (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 5.7 *Κατασκευές παρόμοιες με αυτές της εικόνας 5.6 χρησιμοποιούνται στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας της Πάδοβας της Ιταλίας για το ζευγάρωμα και την εναπόθεση των αυγών των νυχτοπεταλούδων μέσα σε ξύλινα πλαίσια (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*



Εικόνα 5.8 *Για το ζευγάρωμα και την εναπόθεση των αυγών της θηλυκής νυχτοπεταλούδας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μικρά μεταλλικά χωνιά πάνω σε χαρτί όπου μέσα τοποθετείται μια θηλυκή νυχτοπεταλούδα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Μετά το ζευγάρωμα που ξεκινά το πρωί, μόλις εμφανιστούν μαζικά οι νυχτοπεταλούδες από τα κουκούλια τους και ολοκληρώνεται τις μεσημβρινές ώρες, αφαιρούμε τα αρσενικά και αφήνουμε τις θηλυκές νυχτοπεταλούδες να εναποθέσουν τα αυγά τους στο σκοτάδι χωρίς να διαταραχθούν. Οι θηλυκές νυχτοπεταλούδες συνήθως εναποθέτουν τα αυγά τους αργά το απόγευμα της ίδιας ημέρας και συνήθως ολοκληρώνουν την εναπόθεση των αυγών τους μέχρι το πρωί της επόμενης ημέρας, καθώς αρχίζει άλλος ένας κύκλος εμφάνισης νυχτοπεταλούδων από τα κουκούλια τους και ζευγάρωμα μεταξύ των νυχτοπεταλούδων που εμφανίστηκαν.

5.2.4 Έλεγχος για την ύπαρξη προσβολής από πιπερίτιδα

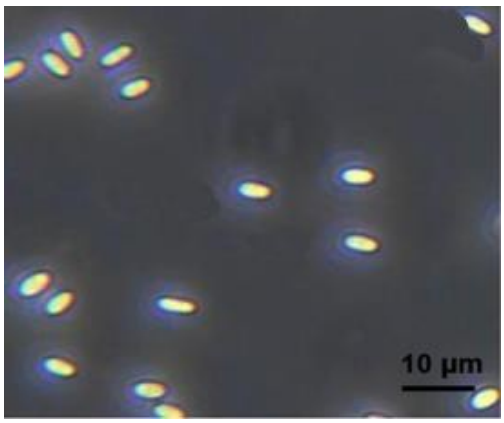
Το μικροσπορίδιο που προκαλεί την πιπερίτιδα θα περιγραφεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 9, αλλά εδώ θα περιγραφεί η διαδικασία που κάνουμε στα αυγά για τον έλεγχο παρουσίας του παθογόνου. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πλέον πολύ καλύτερες και περισσότερο ευαίσθητες μοριακές μέθοδοι ανίχνευσης της παρουσίας του μικροσποριδίου που προκαλεί την πιπερίτιδα, οι νέες μέθοδοι απαιτούν την ύπαρξη και χρήση εξειδικευμένων μηχανημάτων μοριακής ανάλυσης (Suraporn & Terenius, 2020). Αντίθετα, το πρωτόκολλο ελέγχου για την ύπαρξη προσβολής από πιπερίτιδα που παρουσιάζεται παρακάτω είναι το παραδοσιακό πρωτόκολλο και δεν απαιτεί την ύπαρξη εξειδικευμένων μηχανημάτων.

	Πατρογονικές φυλές	**Πατρογονικές σειρές**	**Εμπορεύσιμα αυγά**
Βαθμός ύπαρξης πιπερίτιδας	Πλήρης απουσία	Πλήρης απουσία	Δεκτή παρουσία μέχρι 0,5%
Αριθμός νυχτοπεταλούδων ελέγχου	28	14	30

Πίνακας 5.2 *Κριτήρια και πληθυσμός ελέγχου νυχτοπεταλούδων για την ύπαρξη του μικροσποριδίου που προκαλεί την πιπερίτιδα (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα νυχτοπεταλούδων που αναφέρεται στον παραπάνω πίνακα συνθλίβεται σε διάλυμα 0,5% ανθρακικού καλίου και σε ποσότητα 80 χιλιοστόλιτρα για αποξηραμένες νυχτοπεταλούδες ή 70 χιλιοστόλιτρα για φρέσκες νυχτοπεταλούδες. Οι νυχτοπεταλούδες συνθλίβονται για 2 λεπτά σε ομογενοποιητή (μπλέντερ) που περιστρέφεται στις 10000 στροφές ανά λεπτό. Κατόπιν, το ομογενοποιημένο υλικό αφήνεται να καθιζάνει για 2 λεπτά και μετά φιλτράρεται με διηθητικό χαρτί ή βαμβάκι για 5-10 λεπτά. Κατόπιν το διήθημα υποβάλλεται σε φυγοκέντρηση για 3 λεπτά στις 3000 περιστροφές ανά λεπτό και το ίζημα αναδιαλύεται σε μικρή ποσότητα 2% υδροξείδιο του καλίου στην περίπτωση των ξηρών νυχτοπεταλούδων ή σε μικρή ποσότητα από το αρχικό διάλυμα (0,5% ανθρακικό κάλιο) στην περίπτωση των φρέσκων νυχτοπεταλούδων. Κατόπιν, το συγκεντρωμένο δείγμα από 2 παρασκευές εξετάζεται στο μικροσκόπιο σε 5 διαφορετικά μικροσκοπικά δείγματα. Στην περίπτωση επαναληπτικού ελέγχου, το δείγμα αραιώνεται σε νερό (70-80 χιλιοστόλιτρα), υποβάλλεται σε φυγοκέντρηση για 3 λεπτά στους 15000 στροφές ανά λεπτό και το ίζημα αναδιαλύεται και εξετάζεται στο μικροσκόπιο.

Το αποτέλεσμα της παρουσίας σπορίων του μακροσποριδίου, *Nosema bombycis* φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 5.9) (Liu et al., 2016) σε μικροσκόπιο αντίθετης φάσεως, όπου εμφανίζονται να έχουν μια λαμπερή, ιδιαίτερα διακριτή μορφή.



Εικόνα 5.9 *Σπόρια του μικροσπορίδιου, Nosema bombycis, σε μικροσκόπιο αντιθέτου φάσεως (Πηγή: (Liu et al., 201), CC-BY άδεια).*

Πέρα από τον έλεγχο των θηλυκών νυχτοπεταλούδων για προσβολή από πιπερίτιδα, μπορούμε να ελέγξουμε και τα αυγά στο στάδιο αλλαγής του χρώματος του αυγού (βλέπε παρακάτω), τις προνύμφες που εκκολάφθηκαν, τα κελύφη των αυγών αλλά και προνύμφες που εμφανίζουν ασυνήθιστα μικρό μέγεθος, καθυστερημένη ανάπτυξη και προνύμφες που δεν εκδύονται (Ayuzawa, 1972). Ωστόσο, ο έλεγχος για την παρουσία του παθογόνου που προκαλεί την πιπερίτιδα ιδανικά πρέπει να γίνεται με τη χρήση δείγματος των θηλυκών νυχτοπεταλούδων έτσι ώστε να σταματήσουμε τη μετάδοση του παρασίτου από γενιά σε γενιά. Επίσης, ο έλεγχος για την παρουσία του παρασίτου που προκαλεί την πιπερίτιδα πρέπει να γίνεται από το ερευνητικό ινστιτούτο ή την ιδιωτική εταιρεία που παράγει τα αυγά του υβριδίου, εκδίδοντας σχετικό πιστοποιητικό και δεν υπάρχει κανένας λόγος να γίνεται ο έλεγχος αυτός από εκτροφείς ή εμπόρους αυγών μεταξοσκώληκα σε χώρες ή περιοχές όπου δεν γίνεται παραγωγή αυγών μεταξοσκώληκα για εμπορικούς σκοπούς.

5.2.5 Διαχείριση και συντήρηση των αυγών του μεταξοσκώληκα

Μετά την εναπόθεση των αυγών του μεταξοσκώληκα από τις θηλυκές νυχτοπεταλούδες, τα γονιμοποιημένα αυγά σταδιακά αλλάζουν χρώμα και αποκτούν ένα κεραμιδί χρώμα 48 ώρες μετά την εναπόθεσή τους (Osanai-Futahashi et al., 2012; Osanai-Futahashi et al., 2022) και μετά από μία ημέρα αποκτούν το γκρι έως σταχτί χρώμα που χαρακτηρίζει τα αυγά στα οποία το έμβρυο αναπτύσσεται δραστήρια. Σε αυτό το διάστημα διατηρούμε τα αυγά σε θερμοκρασία 23-25 ºC και 75-80% υγρασία σε θαλάμους σταθερής θερμοκρασίας και δεν αφήνουμε τη θερμοκρασία να πέσει κάτω από 20 ºC ή να ανέβει πάνω από 30 ºC με κανέναν τρόπο. Η διατήρηση των αυγών του μεταξοσκώληκα και ιδιαίτερα των υβριδίων απαιτεί την ύπαρξη θαλάμων σταθερής και ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας, καθώς απαιτούνται συγκεκριμένες συνθήκες διατήρησης των αυγών για να μην μειωθεί η εκκολαψιμότητά τους (Ayuzawa, 1972).

Εάν τα αυγά παραχθούν τον Ιούνιο και διατηρούνται στις ανωτέρω σταθερές συνθήκες, τότε βρίσκονται σε διάπαυση μέχρι και τον Δεκέμβριο και κατόπιν αρχίζει σταδιακά η διαδικασία εξόδου από τη διάπαυση και η ανάπτυξη των εμβρύων (Ayuzawa, 1972). Σε αυτό το χρονικό σημείο συνήθως αφαιρούμε τα αυγά με πλύσιμο από το υλικό που έχουν εναποτεθεί, τα εμβαπτίζουμε σε διάλυμα 2% φορμαλδεΰδης για 30 λεπτά για να τα απολυμάνουμε και κατόπιν τα στεγνώνουμε και τα διατηρούμε στους 5 ºC. Με αυτήν τη διαχείριση έχουμε αυγά που δεν είναι κολλημένα σε μια επιφάνεια και μπορούμε να τα διαχειριστούμε τοποθετώντας τα στην εμπορική τους συσκευασία. Παρότι η ολοκλήρωση της διάπαυσης επέρχεται κανονικά στο τέλος του Μαρτίου, η τοποθέτηση των αυγών σε χαμηλή θερμοκρασία στα μέσα Δεκεμβρίου προσομοιάζει τις φυσικές συνθήκες του περιβάλλοντος, καθώς αποτρέπει την ολοκλήρωση της διάπαυσης και την έναρξη ανάπτυξης των εμβρύων. και σκοπό έχει την ομοιόμορφη εκκόλαψη των αυγών (Ayuzawa, 1972).

Το εκτενές πλύσιμο των αυγών αποτρέπει τη δημιουργία συσσωματωμάτων αυγών. Για την αφαίρεση των μη γονιμοποιημένων και των νεκρών αυγών εμβαπτίζουμε τα αυγά σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου που έχει ειδικό βάρος 1,09-1,10, όπου αφαιρούμε αυτά που βυθίζονται και κατόπιν σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου που έχει ειδικό βάρος 1,05-1,06, όπου αφαιρούμε τα αυγά που επιπλέουν (Ayuzawa, 1972). Ένα διάλυμα χλωριούχου νατρίου με ειδικό βάρος 1,095 έχει συγκέντρωση 2,434 M και φτιάχνεται αραιώνοντας, για παράδειγμα, 284,5 γραμμάρια χλωριούχου νατρίου σε 2 λίτρα νερό. Όταν φτιάξουμε το διάλυμα αυτό, μετράμε το ειδικό του βάρος με ειδικό όργανο και κατόπιν αραιώνουμε μέρος από αυτό το διάλυμα μέχρι να επιτύχουμε ειδικό βάρος 1,05-1,06 για να φτιάξουμε και το δεύτερο διάλυμα χλωριούχου νατρίου.

Εφόσον κάνουμε την παραπάνω διαλογή των μη γονιμοποιημένων αυγών από τα γονιμοποιημένα, τα αυγά πλένονται σε νερό για να απομακρυνθεί το χλωριούχο νάτριο και κατόπιν μπορούμε να τα συσκευάσουμε στα ειδικά κουτιά στα οποία γίνεται η εμπορία των αυγών του μεταξοσκώληκα. Η εργασία αυτή γίνεται τον Δεκέμβριο όταν πρόκειται να βάλουμε τα αυγά στους 5 ºC. Τα κουτιά των αυγών του μεταξοσκώληκα είναι συνήθως κατασκευές που φέρουν ξύλινο πλαίσιο 9 x 18 x 1 εκατοστών (πλάτος x μήκος x ύψος) και είναι καλυμμένα με ημιδιαφανή γάζα, η οποία δεν επιτρέπει τα αυγά να γλιστρήσουν έξω από το καλυμμένο πλαίσιο (Εικόνα 5.10). Υπάρχουν, ωστόσο, διαφόρων ειδών τέτοιες κατασκευές που μπορεί να είναι φτιαγμένες από πλαστικό ή να είναι φάκελοι καλά κλεισμένοι (Εικόνα 5.10).

Στην περίπτωση των ξύλινων πλαισίων μια μικρή τρύπα στη μια άκρη της άνω επιφάνειας επιτρέπει να γεμίσουμε το περιεχόμενο με αυγά χρησιμοποιώντας ένα μικρό χωνί ή να αφαιρέσουμε από εκεί τα αυγά. Η γάζα στερεώνεται με ταινία στην περιφέρεια του πλαισίου και το κάθε κουτί πρέπει να φέρει ετικέτα που να αναφέρει το υβρίδιο, τη χώρα προέλευσης και την εταιρεία που παρήγαγε τα αυγά, καθώς και άλλες πληροφορίες όπως αναφορά στο ότι τα αυγά αυτά ελέγχθηκαν για πιπερίτιδα εφόσον κάτι τέτοιο απαιτείται (Ayuzawa, 1972).

Εδώ και πολλές δεκαετίες έχει επικρατήσει ως εμπορεύσιμη μονάδα αυγών μεταξοσκώληκα να είναι το κουτί που περιέχει 20000 αυγά μεταξοσκώληκα. Η μέτρηση των αυγών γίνεται εύκολα με ζυγαριά ακριβείας, παρότι έχουν εφευρεθεί στην Ιαπωνία αυτόματες μηχανές μέτρησης αυγών, καθώς ένα αυγό μεταξοσκώληκα έχει μέσο βάρος 0,00059 γραμμάρια. Επειδή αυτή η τιμή μπορεί να ποικίλει, παίρνουμε μετρήσεις 100 αυγών κάθε φορά για 3 διαφορετικές φορές και κατόπιν υπολογίζουμε το μέσο βάρος του αυγού. Κατόπιν υπολογίζουμε το βάρος των 20000 αυγών (περίπου 11,6 γραμμάρια) και τα βάζουμε με προσοχή μέσα στο κουτί τους. Η συνήθης πρακτική είναι να βάζουμε 10% περισσότερα αυγά μέσα σε ένα κουτί των 20000 αυγών καθώς θεωρείται ότι ένα 10% περίπου των αυγών αλλά και των προνυμφών θα είναι οι απώλειες αν κάνουμε μια τέλεια εκτροφή. Η εκκολαψιμότητα των αυγών που μπαίνουν στα εμπορεύσιμα κουτιά των 20000 αυγών του μεταξοσκώληκα θα πρέπει να θεωρείται ότι είναι >97,5% και κάθε τιμή κάτω από αυτήν την τιμή θα πρέπει να θεωρείται ως κακή εκκολαψιμότητα των αυγών που μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες που θα αναλυθούν παρακάτω.

Εικόνα 5.10 *Συσκευασίες αυγών μεταξοσκώληκα που εισάγονται στην Ελλάδα τα τελευταία έτη. Άνω αριστερά: Συσκευασία των 20000 χιλιάδων αυγών μεταξοσκώληκα από το ιαπωνικό υβρίδιο Shunrei x Shogetsu, το πλέον δημοφιλές ιαπωνικό υβρίδιο για την ανοιξιάτικη εκτροφή στην Ιαπωνία. Άνω δεξιά: Συσκευασία των 20000 χιλιάδων αυγών μεταξοσκώληκα από το τουρκικό υβρίδιο M x N της εταιρείας Kozabirlik. Κάτω αριστερά: Συσκευασία των 22000 χιλιάδων αυγών μεταξοσκώληκα από βουλγαρικό υβρίδιο που παράγεται στο Επιστημονικό Κέντρο Σηροτροφίας της Βράτσα, Βουλγαρία. Η συντομογραφία V2 x G2 x H1 x KK σημαίνει (Vesletz 2 x Gergana 2) x (Hesa 1 x KK), δηλαδή τα αυγά αυτά είναι ένα τετραπλό υβρίδιο. Κάτω δεξιά: Διπλή συσκευασία των 10000 αυγών μεταξοσκώληκα ανά συσκευασία του κινεζικού υβριδίου GK3. Το υβρίδιο Gk3 αναπτύχθηκε από την Κινεζική Ακαδημία Γεωργικών Επιστημών και προέρχεται από βελτίωση του υβριδίου Jingsong×Haoyue (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

5.3 Μέθοδοι διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα σε χαμηλές θερμοκρασίες

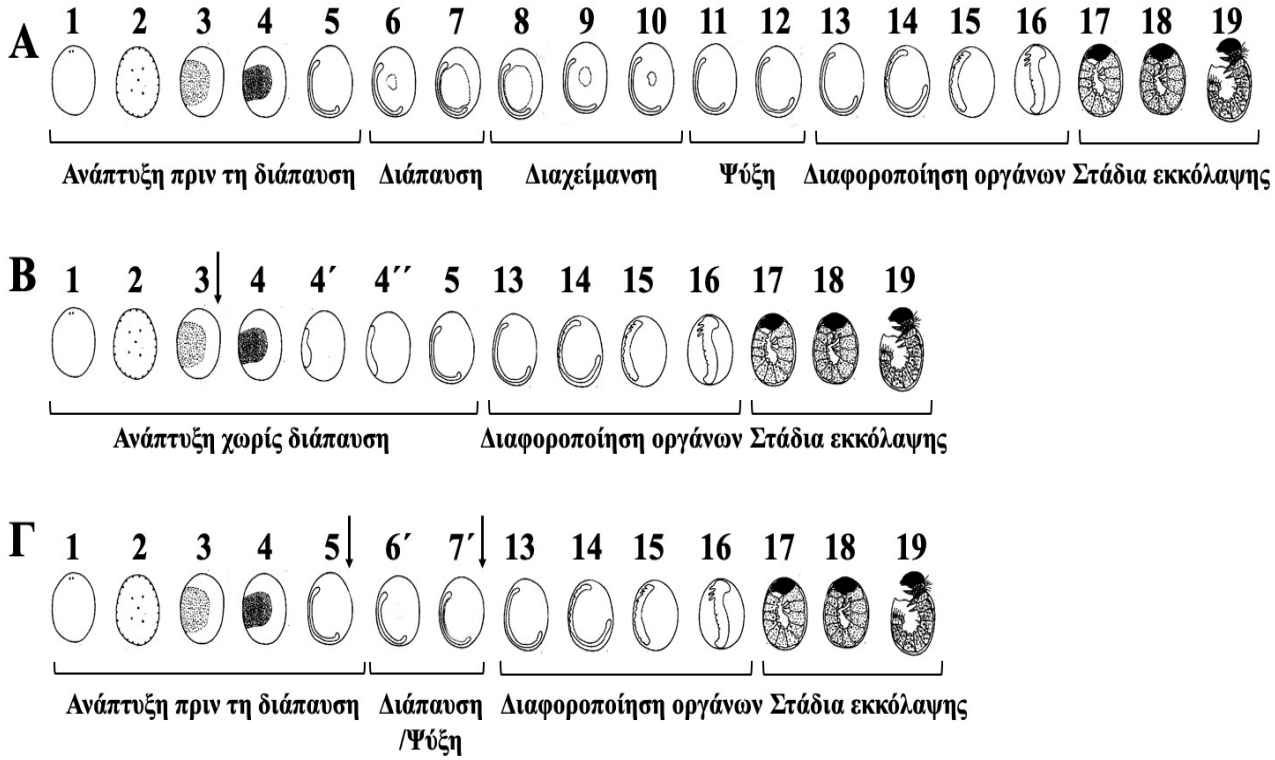
Η διατήρηση των αυγών σε χαμηλή θερμοκρασία γίνεται για να ενεργοποιήσουμε την ολοκλήρωση της περιόδου διάπαυσης βάζοντάς τα στους 5-7 ºC και να φρενάρουμε την ανάπτυξη των εμβρύων, που έχουν ολοκληρώσει τη διάπαυσή τους, βάζοντάς τα αυγά στους 2,5 - 0 ºC. Όταν, όμως, αφήσουμε τα αυγά στους 5-7 ºC για πάνω από 2 μήνες, τότε τα έμβρυα που ολοκλήρωσαν τη διάπαυσή τους αρχίζουν να αναπτύσσονται αργά και εξασθενεί σημαντικά η εκκολαψιμότητά τους.

Για τον λόγο αυτόν βάζουμε τα αυγά στους 5-7 ºC για 2 μήνες και κατόπιν τα μεταφέρουμε στους 2,5 - 0 ºC, όπου και εκεί τα διατηρούμε για 2 μήνες και κατόπιν, αν δεν πρόκειται να τα επωάσουμε άμεσα, τα βάζουμε στους 0 ºC. Ουσιαστικά στους 2,5 - 0ºC η ανάπτυξη των εμβρύων σταματά, αλλά και αυτό έχει κάποια όρια, καθώς δεν μπορούμε και δεν έχουν βρεθεί μέθοδοι κατάψυξης των αυγών του μεταξοσκώληκα που να επιτρέπουν τη διατήρησή τους για πάνω από 1 έτος. Προσπάθειες προς αυτήν τη σημαντική κατεύθυνση έχουν γίνει (Banno et al., 2013; Fukumori et al., 2020; Jingade et al., 2015; Jingade et al., 2013; Mochida et al., 2003), ακόμη και με τη χρήση κατεψυγμένων ωοθυλακίων και σπέρματος του μεταξοσκώληκα, αλλά τα ποσοστά εκκολαψιμότητας δεν είναι σημαντικά για να μπορούν να είναι εμπορικά εφαρμόσιμα. Αυτό σημαίνει ότι με

ανθρώπινη παρέμβαση τα αυγά του μεταξοσκώληκα θα πρέπει να εκκολάπτονται κάθε έτος και να γίνεται η δημιουργία νέων αυγών κάθε έτος.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, έχουν αναπτυχθεί από πολύ παλιά διάφορες μέθοδοι διαχείρισης των αυγών (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Otsuki, 1997; Veda et al., 1997), που θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω και οι οποίες μας επιτρέπουν με κατάλληλους χειρισμούς να έχουμε εκκόλαψη των αυγών του μεταξοσκώληκα οποιαδήποτε στιγμή του έτους ακολουθώντας διαφορετικές πρακτικές διατήρησης και διαχείρισης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι παρόλο που πλέον είναι γενικευμένη η χρήση των θαλάμων σταθερής θερμοκρασίας για τη διατήρηση των αυγών, στο ιστορικό παρελθόν οι σηροτρόφοι διατηρούσαν τα αυγά του μεταξοσκώληκα σε ψυχρές στοές, σε πηγάδια αλλά και κάτω από το χιόνι στα βουνά κατά τη διάρκεια του χειμώνα για να καταφέρουν να επιτύχουν την εκκόλαψή τους την άνοιξη (Ρουσόπουλος, 1900; Σταυριανός, 1893; Φιλιππίδης, 1890).

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5.11) παρουσιάζεται η ανάπτυξη του εμβρύου του μεταξοσκώληκα κατά τη διάρκεια διαφορετικών πρωτοκόλλων διαχείρισής τους από την πλευρά των μορφολογικών χαρακτήρων που έχει αναπτύξει το έμβρυο.

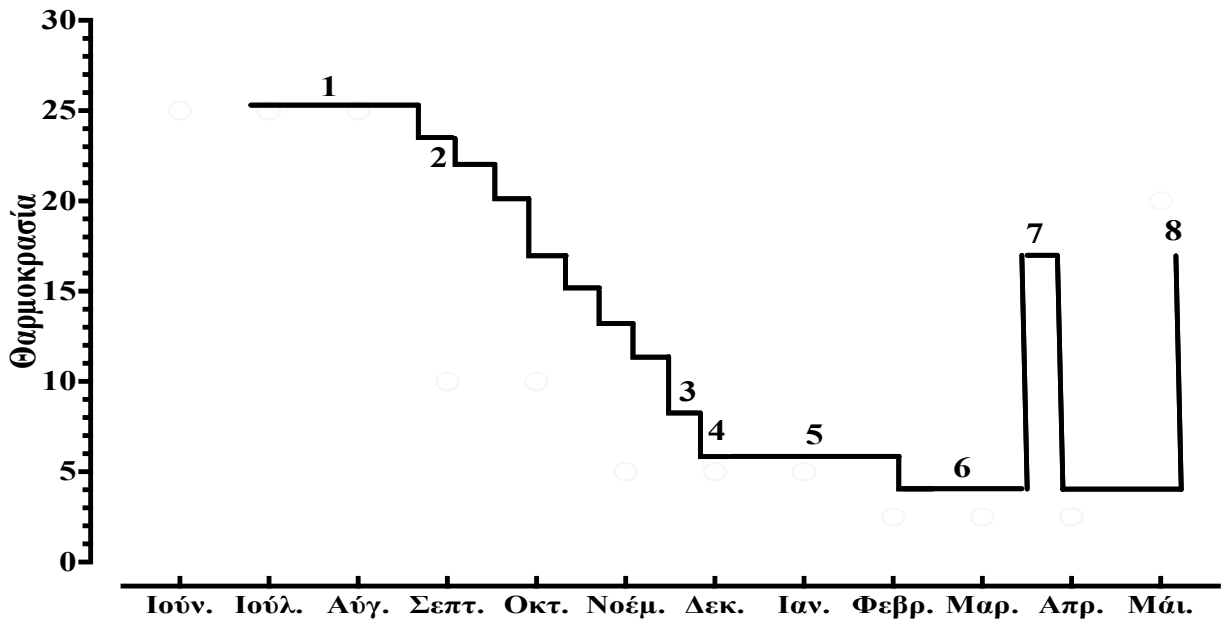


Εικόνα 5.11 *Εμβρυική ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα. Η εμβρυική ανάπτυξη ξεκινά με την είσοδο του σπερματοζωαρίου στο ωάριο (1) και τη σύντηξη των πυρήνων του σπερματοζωαρίου και του ωαρίου (2) περίπου 2 ώρες μετά την εναπόθεση του αυγού. Κατόπιν έχουμε την επιφανειακή αυλάκωση του εμβρύου περίπου 10 ώρες μετά την εναπόθεση του αυγού και τη διαφοροποίηση των βλαστικών στοιβάδων περίπου 15 ώρες μετά την εναπόθεση του αυγού. Όταν διαφοροποιηθούν οι βλαστικές στοιβάδες (3) και αρχίσει η κατανομή της λεκίθου μέσω της αυλάκωσης, τότε είναι η κατάλληλη στιγμή για την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ (περίπου 20 ώρες από την εναπόθεση του αυγού, δείχνεται με βέλος στο Β). Στο στάδιο (5) είναι η κατάλληλη στιγμή για την ψύξη του αυγού με σκοπό την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά την ψύξη (δείχνεται με βέλος στο Γ). Κατόπιν, η κυτταρική διαίρεση στο έμβρυο δεν είναι αντιληπτή και η λέκιθος μετακινείται στα όρια του κελύφους δίπλα στο αναπτυσσόμενο έμβρυο. Τα στάδια 6-7 είναι τα στάδια διάπαυσης. Τα στάδια 8-10 είναι τα στάδια διαχείμασης του εμβρύου από τον Δεκέμβριο έως τον Φεβρουάριο, όπως φυσιολογικά θα συνέβαινε σε αυγά εκτεθειμένα στο κρύο περιβάλλον. Τα στάδια αυτά αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως στάδια A, B και b αντίστοιχα. Τα στάδια 11-12 είναι τα στάδια ψύξης των αυγών, στα οποία τα υποβάλλουμε για να καθυστερήσουμε την εκκόλαψη, στους 0 – 2,5C και αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως στάδια Ca και Cb, αντίστοιχα. Τα στάδια 13-16 είναι τα αρχικά στάδια της επώασης, όπου τα διάφορα όργανα του εμβρύου αρχίζουν να σχηματίζονται μέχρι την εκκόλαψή του. Τα στάδια 13-16 αναφέρονται και ως στάδια D. Το στάδιο 16 είναι το κρίσιμο στάδιο, στο οποίο το έμβρυο καταναλώνει τη λέκιθο και αλλάζει θέση μέσα στο αυγό, μια κίνηση που είναι απόλυτα απαραίτητη για την εκκόλαψή του. Α: Η διαδικασία ανάπτυξης του εμβρύου όταν πρόκειται να εισέλθει σε διάπαυση και αφορά τις φυλές που έχουν έναν κύκλο ζωής ανά έτος ή αυτές που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος, και στην*

περίπτωση αυτή αφορά το αυγό μετά τον δεύτερο κύκλο ζωής. Β: Η διαδικασία ανάπτυξης του εμβρύου που δεν θα εισέλθει σε διάπαυση. Στην περίπτωση αυτή, η διάπαυση μπορεί να αποτραπεί τεχνητά με επίδραση με υδροχλωρικό οξύ στο στάδιο 3 (δείχνεται με βέλος) στην 20ή ώρα μετά την εναπόθεση του αυγού. Η διαδικασία αυτή ανάπτυξης του εμβρύου αφορά τις φυλές που έχουν πολλούς κύκλους ζωής ανά έτος ή τις φυλές που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος, και στην περίπτωση αυτή αφορά το αυγό μετά τον πρώτο κύκλο ζωής. Τα στάδια 4' και 4'' υπάρχουν και στις περιπτώσεις Α και Γ (βλέπε παρακάτω), αλλά εμφανίζονται μόνο στη Β για λόγους ευκρίνειας. Γ: Η διαδικασία ανάπτυξης του εμβρύου όταν πρόκειται να το υποβάλουμε σε ψύξη 2 ημέρες μετά την εναπόθεση του αυγού και να ενεργοποιήσουμε την ανάπτυξη του εμβρύου με επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά την ψύξη. Στην περίπτωση αυτή βάζουμε τα αυγά σε χαμηλή θερμοκρασία στο στάδιο 5 (δείχνεται με βέλος) και κατόπιν ενεργοποιούμε την ανάπτυξη του εμβρύου με επίδραση με υδροχλωρικό οξύ στο στάδιο 7΄(δείχνεται με βέλος). Τα στάδια 6' και 7' αντιστοιχούν φυσιολογικά με τα στάδιο διάπαυσης 6 και 7 στο Α, αλλά είναι διακριτά, καθώς το έμβρυο βρίσκεται σε κατάσταση καταστολής της ανάπτυξης λόγω ψύξης και θεωρητικά όχι σε διάπαυση. Μετά την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ στο στάδιο 7΄, ξεκινά η διαφοροποίηση των οργάνων κατά την επώαση των αυγών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).

5.3.1 Απλή ψύξη των αυγών του μεταξοσκώληκα

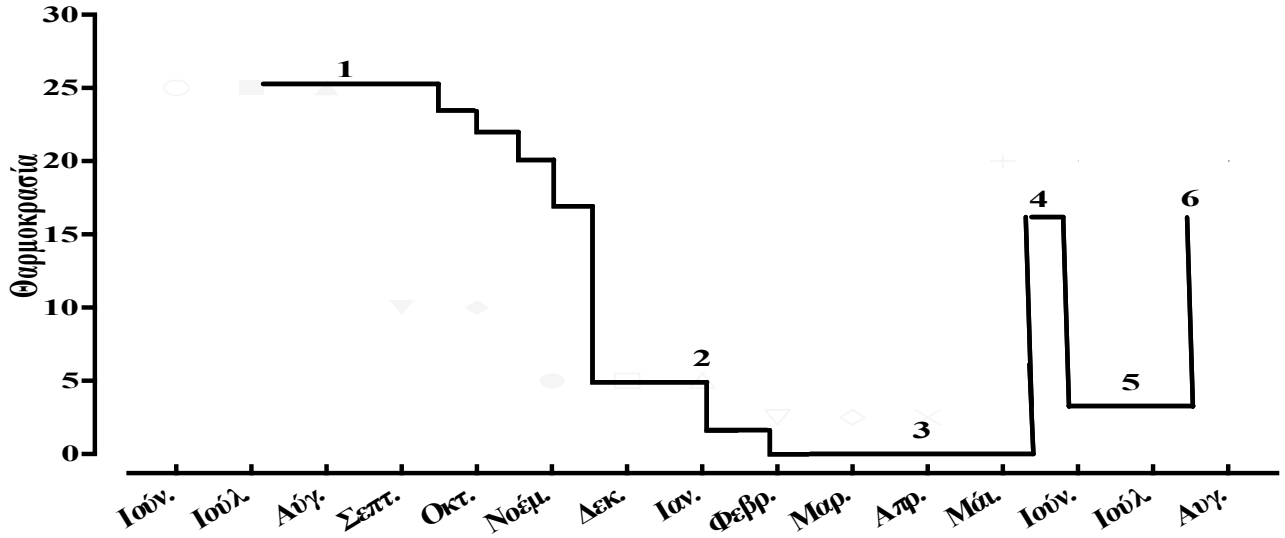
Αυτή η μέθοδος διαχείρισης αφορά τα αυγά που παράγονται κατά την ανοιξιάτικη εκτροφή, δηλαδή αυγά που εναποτίθενται στα τέλη Ιουνίου με αρχές Ιουλίου (Εικόνα 5.12). Τα αυγά αυτά τα διατηρούμε σε φυσιολογική θερμοκρασία και τα βάζουμε στους 5 ºC στα μέσα Δεκεμβρίου και κατόπιν τα βάζουμε στους 2,5 ºC στα τέλη Φεβρουαρίου. Στις αρχές Μαρτίου εκθέτουμε τα αυγά στους 10-15ºC για 5 μέρες και αυτή η διαδικασία ονομάζεται *ενδιάμεση φροντίδα*. Κατόπιν ξαναβάζουμε τα αυγά στους 2,5 ºC μέχρι την έναρξη της επώασής τους τον Απρίλιο ή τον Μάιο, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και την ανάπτυξη των φύλλων μουριάς.



Εικόνα 5.12 *Θερμοκρασία διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα μετά την παραγωγή τους. (1) Εναπόθεση των αυγών. (2) Σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας διατήρησης. (3) Ξέπλυμα από την επιφάνεια εναπόθεσης των αυγών. (4) Ψύξη των αυγών. (5) Έκθεση σε χαμηλή θερμοκρασία. (6) Μείωση της θερμοκρασίας ψύξης. (7) Πρόσκαιρη έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία. (8) Έναρξη επώασης των αυγών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

5.3.2 Ψύξη δύο σταδίων

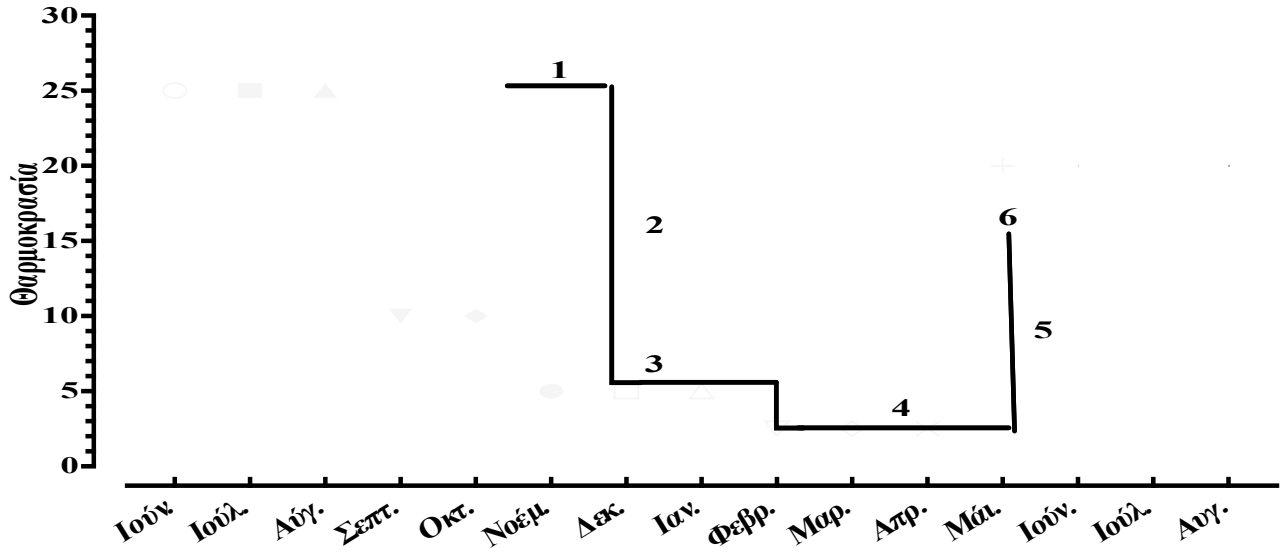
Σε αυτήν την παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου στόχος μας είναι να έχουμε εκκόλαψη των αυγών που εναποτέθηκαν τον Ιούνιο ή Ιούλιο ενός έτους το καλοκαίρι ή το φθινόπωρο του επόμενου έτους, δηλαδή για την καλοκαιρινή και τη φθινοπωρινή εκτροφή (Εικόνα 5.13). Σε αυτήν τη μέθοδο βάζουμε τα αυγά στους -2,5 - 0 ºC όταν τα έμβρυα έχουν ολοκληρώσει τη διάπαυσή τους στα μέσα Ιανουαρίου. Κατόπιν εκθέτουμε τα αυγά στα μέσα Μαΐου ή 100 ημέρες μετά την τοποθέτησή τους στους -2,5 - 0 ºC, στους 15 ºC για 5 ημέρες και κατόπιν τοποθετούμε τα αυγά ξανά στους 0 - 2,5 ºC μέχρι την έναρξη της επώασής τους.



Εικόνα 5.13 *Θερμοκρασία διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα σε δύο στάδια μετά την παραγωγή τους. (1) Εναπόθεση των αυγών. (2) Ξέπλυμα από την επιφάνεια εναπόθεσης των αυγών. (3) Πρώτο στάδιο ψύξης. (4) Πρόσκαιρη έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία. (5) Δεύτερο στάδιο ψύξης. (6) Έναρξη επώασης των αυγών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

5.3.3 Διαχείριση αυγών που εναποτίθενται το φθινόπωρο

Αυτά τα αυγά παράγονται συνήθως στα μέσα με τέλη Οκτωβρίου και δεν μπορούν έτσι να παραμείνουν σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά τη διάπαυσή τους, γιατί οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές.

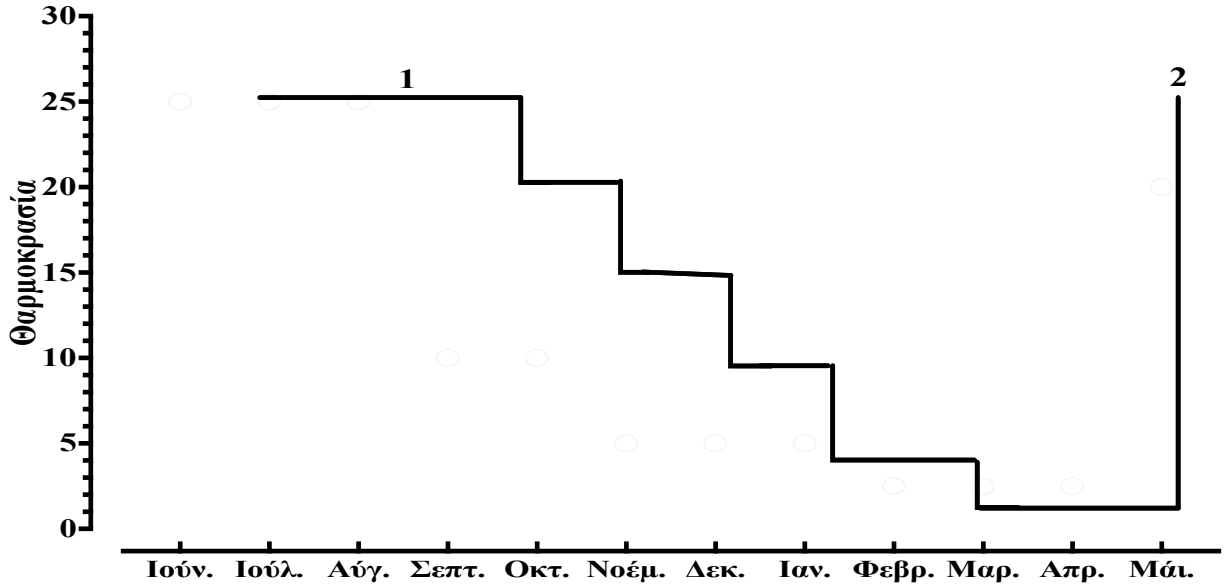


Εικόνα 5.14 *Θερμοκρασία διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα μετά την παραγωγή τους το φθινόπωρο. (1) Εναπόθεση των αυγών. (2) Ξέπλυμα από την επιφάνεια εναπόθεσης των αυγών. (3) Μείωση της θερμοκρασίας διατήρησης. (4) Ψύξη των αυγών. (5) Έκθεση σε θερμοκρασία δωματίου. (6) Επίδραση με υδροχλωρικό οξύ (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

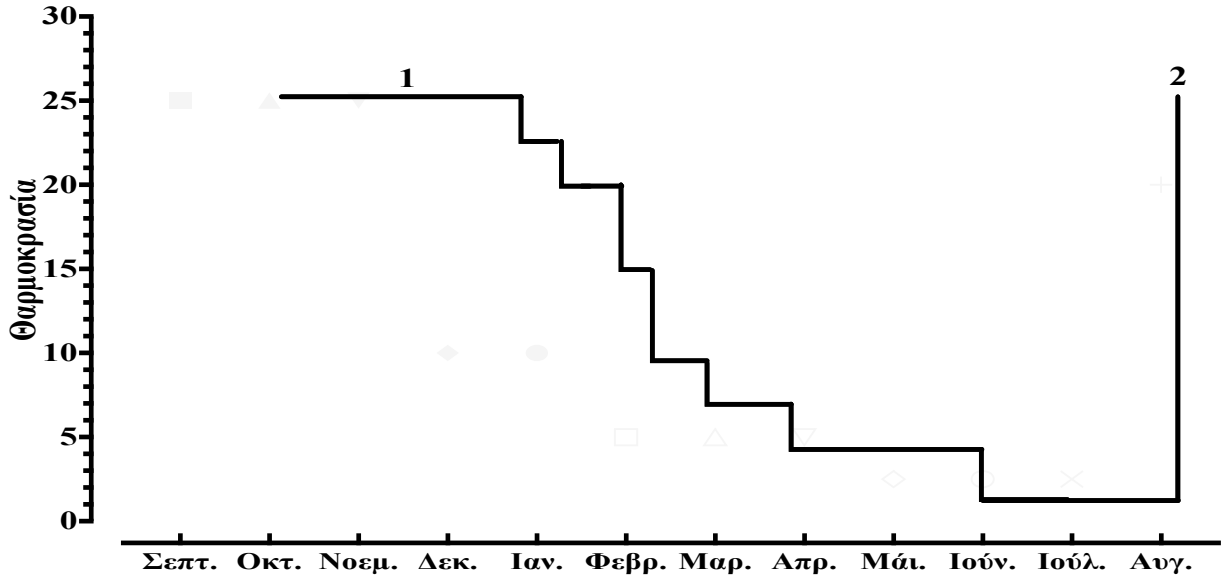
Έτσι (Εικόνα 5.14), τα αυγά αυτά τα διατηρούμε στους 25 ºC για 20 ημέρες, κατόπιν στους 20 ºC για 5 ημέρες και μετά στους 7,5 - 5ºC για 2 μήνες για να ολοκληρώσουν τη διάπαυσή τους και κατόπιν τα διατηρούμε στους 2,5 ºC. Σε αυτήν την περίπτωση συνιστάται η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ πριν την έναρξη της επώασης για να έχουμε ομοιόμορφη εκκόλαψη. Πριν την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ, συνιστάται η διατήρηση των αυγών στους 10 ºC για 1 ημέρα, στους 15 ºC για 1 ημέρα και μετά την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ, η διατήρηση των αυγών στους 15 ºC για 2-3 ημέρες πριν την τοποθέτησή τους για επώαση στους 25 ºC.

Εφόσον δεν υπάρχει η πρόθεση να δημιουργήσουμε αυγά χύμα για την εμπορία τους αλλά προτιμούμε να τα διατηρήσουμε στα χαρτιά ή επιφάνειες στις οποίες εναποτέθηκαν, τότε ακολουθούμε τα πρωτόκολλα

διαχείρισης και διατήρησής τους που φαίνονται στις Εικόνες 5.15 και 5.16, τα οποία είναι πιο απλά και βασίζονται στη σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας διατήρησης. Τα δύο αυτά πρωτόκολλα αφορούν αυγά φυλών ή υβριδίων που παράγονται την άνοιξη (Εικόνα 5.15) ή το φθινόπωρο (Εικόνα 5.16), αντίστοιχα.

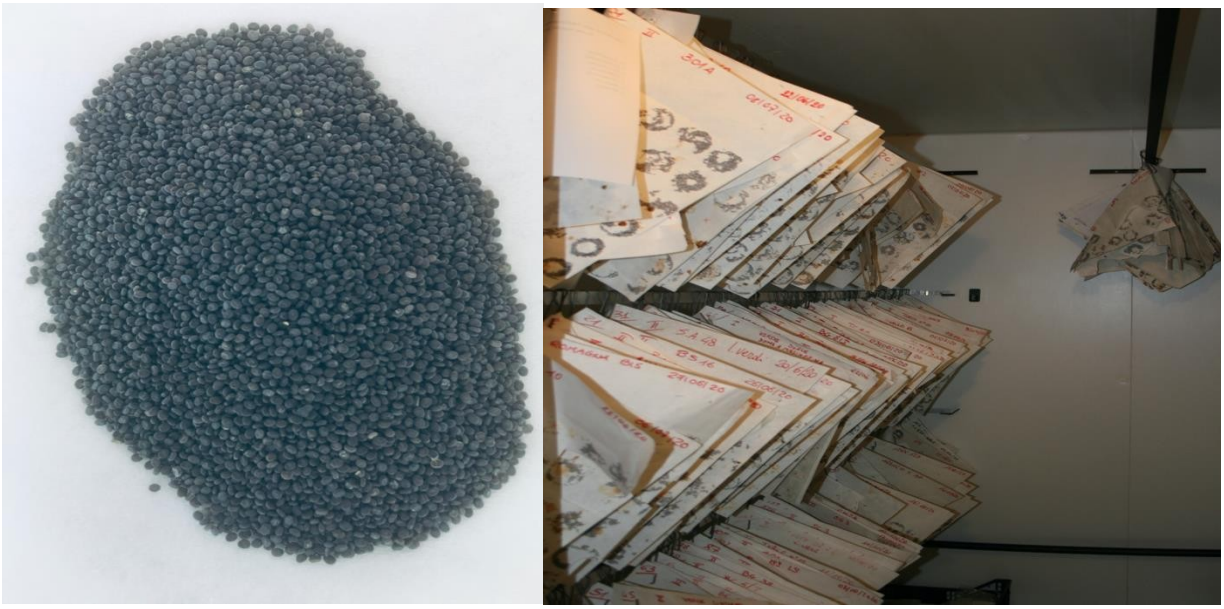


Εικόνα 5.15 *Απλοποιημένο πρωτόκολλο διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα μετά την παραγωγή τους την άνοιξη στην περίπτωση διατήρησης των αυγών στην επιφάνεια εναπόθεσής τους. (1) Εναπόθεση των αυγών. (2) Έναρξη επώασης των αυγών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*



Εικόνα 5.16 *Απλοποιημένο πρωτόκολλο διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα μετά την παραγωγή τους το φθινόπωρο στην περίπτωση διατήρησης των αυγών στην επιφάνεια εναπόθεσής τους. (1) Εναπόθεση των αυγών. (2) Έναρξη επώασης των αυγών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Καθώς πλέον τα εμπορικά υβρίδια που χρησιμοποιούνται για την ανοιξιάτικη και την καλοκαιρινή/φθινοπωρινή εκτροφή είναι διαφορετικά και η παραγωγή αυγών των πατρογονικών τους φυλών ή σειρών γίνεται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα κάθε χρόνο, χρησιμοποιούνται διαφορετικά πρωτόκολλα διατήρησης για τα διαφορετικά υβρίδια ανάλογα με την εποχή χρήσης τους (Εικόνα 5.17).



Εικόνα 5.17 *Αριστερή εικόνα: ποσότητα 20000 αυγών μεταξοσκώληκα (1 κουτί) σε συντήρηση χύμα προς εμπορική χρήση. Παρατηρήστε την τέλεια ομοιομορφία χρώματος και την απουσία ξένων υλικών, ενδεικτικά της άριστης ποιότητας των αυγών. Δεξιά εικόνα: Αυγά μεταξοσκώληκα, που έχουν εναποτεθεί από τις θηλυκές νυχτοπεταλούδες κατά μονάδα πάνω σε χαρτί και τα οποία βρίσκονται σε συντήρηση σε θάλαμο χαμηλής θερμοκρασίας. Τα αυγά στη δεξιά εικόνα δεν προορίζονται για εμπορική χρήση (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Σε φυσιολογικό επίπεδο και αναφορικά με την ανάπτυξη του εμβρύου του μεταξοσκώληκα, η διάρκεια ψύξης που απαιτείται για τον τερματισμό της διάπαυσης ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο διατήρησης των αυγών σε υψηλή θερμοκρασία. Με άλλα λόγια, αυγά που εκτέθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία για μεγάλο διάστημα χρειάζονται μεγάλο διάστημα ψύξης και αυτά τα αυγά που εκτέθηκαν σε υψηλές θερμοκρασίες για μικρό χρονικό διάστημα χρειάζονται μικρό χρονικό διάστημα ψύξης για να εξέλθουν από τη φάση της διάπαυσής τους. Έτσι, η διάρκεια διατήρησης των αυγών σε υψηλές θερμοκρασίες μετά την εναπόθεσή τους εξαρτάται από το πότε θα αρχίσει η επώασή τους την ερχόμενη άνοιξη. Αυτή η σχέση περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.3).

Ημέρες διατήρησης σε υψηλή θερμοκρασία (ημέρες)	**1**	**3**	**5**	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
Μικρότερη περίοδος διατήρησης σε χαμηλή θερμοκρασία για 90% εκκολαψιμότητα (ημέρες)	79	87	87	89	98	105	119	124	134
Μεγαλύτερη περίοδος διατήρησης σε χαμηλή θερμοκρασία για 90% εκκολαψιμότητα (ημέρες)	139	168	168	178	193	202	196	161	145
Διάρκεια επίδρασης της χαμηλής θερμοκρασίας (ημέρες)	61	79	82	90	96	98	78	38	12

Πίνακας 5.3 *Σχέση μεταξύ της διάρκειας της περιόδου διατήρησης των αυγών του μεταξοσκώληκα σε υψηλή θερμοκρασία (25 ºC) και σε χαμηλή θερμοκρασία (5 ºC) ως προς την εκκολαψιμότητά τους (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

5.4 Τεχνητή εκκόλαψη των αυγών του μεταξοσκώληκα

Η τεχνητή εκκόλαψη των αυγών του μεταξοσκώληκα βασίζεται στη χρήση διαλυμάτων υδροχλωρικού οξέος, όπου τα αυγά εμβαπτίζονται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα με σκοπό την ενεργοποίηση της εξόδου από τη διάπαυση ή την παρεμπόδιση εισόδου στη διάπαυση. Η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ είναι μια παλιά μέθοδος ενεργοποίησης της ανάπτυξης των αυγών του μεταξοσκώληκα, η οποία στοχεύει στη διάσπαση της διάπαυσης στην οποία βρίσκεται ή πρόκειται να βρεθεί το έμβρυο (Otsuki, 1997).

Αυτή η μέθοδος προέκυψε τον 19ο αιώνα μετά από προσπάθειες διαφόρων ερευνητών της εποχής να ενεργοποιήσουν την ανάπτυξη των εμβρύων του μεταξοσκώληκα (Otsuki, 1997). Εκείνη την εποχή δοκιμάστηκαν πολλές μέθοδοι τόσο φυσικές (τριβή, χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία) όσο και χημικές με διάφορα οξέα (Otsuki, 1997). Η χρήση του υδροχλωρικού οξέος πιθανότατα προέκυψε λόγω της χαμηλής

σχετικά τοξικότητας που έχει στον άνθρωπο, αλλά και της επιτυχίας που έχει στην ενεργοποίηση της ανάπτυξης των εμβρύων του μεταξοσκώληκα και αναφέρεται (Otsuki, 1997) ότι άρχισε να χρησιμοποιείται στη σηροτροφία στην Ιαπωνία για εμπορικούς σκοπούς το 1914.

Παρότι δεν είναι γνωστός ο ακριβής φυσιολογικός μηχανισμός με τον οποίο επιδρά το υδροχλωρικό οξύ στο αυγό και το έμβρυο, η μέθοδος αυτή έχει εξελιχθεί σε τέτοια λεπτομέρεια που μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για να επιτύχουμε την έναρξη της επώασης των αυγών σε κάθε περίοδο του έτους. Εικάζεται ότι το υδροχλωρικό οξύ ενεργοποιεί την ικανότητα του αυγού να προσλαμβάνει οξυγόνο και έχουν γίνει έρευνες που έδειξαν τη διαφορική έκφραση γονιδίων μετά την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ (Wang et al., 2021). Παρόλα αυτά, ο ακριβής μηχανισμός ενεργοποίησης της ανάπτυξης του εμβρύου παραμένει άγνωστος. Εδώ να σημειωθεί ότι πρόσφατα παρουσιάστηκε μια βελτιωμένη συσκευή ενεργοποίησης της ανάπτυξης των εμβρύων του μεταξοσκώληκα, η οποία βασίζεται στην παροχή ρεύματος υψηλής τάσης μέσω μιας ακίδας με τη μέθοδο που είναι γνωστή ως corona (Zhang et al., 2022). Φαίνεται λοιπόν ότι στο μέλλον οι διαδικασίες ενεργοποίησης της ανάπτυξης των εμβρύων του μεταξοσκώληκα θα γίνονται με αυτοματισμούς, μηχανές και φυσικές μεθόδους (Zhang et al., 2022).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.4) παρουσιάζονται οι γνωστές μέθοδοι επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ για την ενεργοποίηση της ανάπτυξης των αυγών του μεταξοσκώληκα.

Είδος επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ	**Διάρκεια από την εναπόθεση των αυγών μέχρι την εκκόλαψη**	**Περίοδος ψύξης**
Συνήθης επίδραση με υδροχλωρικό οξύ	Μέσα σε 30 ημέρες	20 ημέρες
Επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από μικρής διάρκειας ψύξη	30-50 ημέρες	25-35 ημέρες
Επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από ψύξη	50-75 ημέρες	40-60 ημέρες

Πίνακας 5.4 *Μέθοδοι επίδρασης στα αυγά του μεταξοσκώληκα με υδροχλωρικό οξύ (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

5.4.1 Συνήθης μέθοδος επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ

Τη μέθοδο αυτή την εφαρμόζουμε όταν θέλουμε να επωάσουμε και να εκκολάψουμε τα αυγά αμέσως μετά την εναπόθεσή τους και στην πράξη δεν χρησιμοποιείται για παραγωγικούς σκοπούς, αλλά μόνο για ερευνητικούς σκοπούς και πολύ μικρές εκτροφές. Ωστόσο, είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ως μέθοδος, καθώς μπορεί να την εφαρμόσει οποιοσδήποτε έχει νυχτοπεταλούδες που θα εναποθέσουν αυγά και θέλει να τα εκκολάψει άμεσα (Ayuzawa, 1972; Otsuki, 1997).

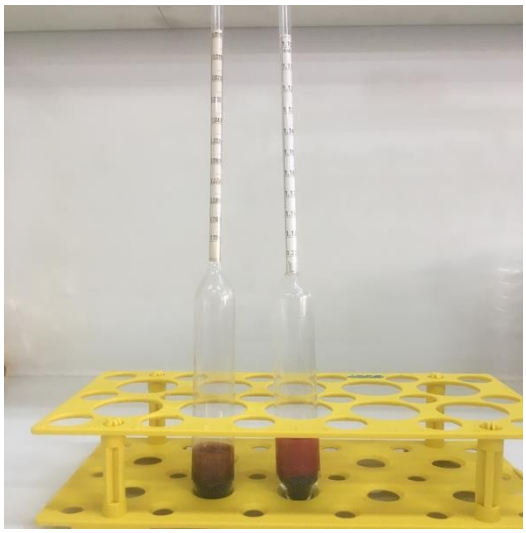
Σε αυτήν τη μέθοδο είτε χρησιμοποιούμε θερμό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος είτε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος σε θερμοκρασία δωματίου (22 ºC).

Η κατάλληλη ώρα για να προκαλέσουμε την ενεργοποίηση των εμβρύων με υδροχλωρικό οξύ είναι 20 ώρες μετά την εναπόθεση των αυγών από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα (Πίνακας 5.5) όταν διατηρούμε τα αυγά στους 25 ºC. Επειδή οι θηλυκές νυχτοπεταλούδες εναποθέτουν τα αυγά τους μεταξύ 6-8 μ.μ. της ημέρας που ζευγάρωσαν για 3-4 ώρες (βλέπε παραπάνω), θεωρούμε ότι η 20ή ώρα είναι γύρω στις 4 μ.μ. την επόμενη ημέρα. Για τον υπολογισμό της 20ής ώρας πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη ότι στις φυλές με 2 κύκλους ζωής τον χρόνο τα έμβρυα μεγαλώνουν πιο γρήγορα από ότι στις φυλές με 1 κύκλο ζωής τον χρόνο.

Θερμοκρασία διατήρησης των αυγών μετά την εναπόθεσή τους	**Διάρκεια από την εναπόθεση των αυγών μέχρι την εκκόλαψη**
20 ºC	25-40 ώρες μετά την εναπόθεσή τους
24 ºC	20-30 ώρες μετά την εναπόθεσή τους
27 ºC	20-25 ώρες μετά την εναπόθεσή τους
29 ºC	15-25 ώρες μετά την εναπόθεσή τους

Πίνακας 5.5 *Ο κατάλληλος χρόνος για την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ στη συνήθη μέθοδο (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Αν δεν θέλουμε να κάνουμε την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ την 20ή ώρα από την εναπόθεση των αυγών, τότε τα τοποθετούμε στους 5ºC και 70-80% υγρασία το πολύ για 1 εβδομάδα και κάνουμε την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μέσα σε αυτό το διάστημα. Όταν πρόκειται να κάνουμε την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ βγάζουμε τα αυγά από τους 5 ºC και τα αφήνουμε για 2-4 ώρες στους 25 ºC, γιατί δεν πρέπει ποτέ να βάζουμε τα αυγά αμέσως από τους 5ºC μέσα στο υδροχλωρικό οξύ. Τα αυγά στους 5ºC αρχίζουν σταδιακά να αλλάζουν το χρώμα τους από το κίτρινο που έχουν την 20 ή ώρα, στο χρώμα που έχουν συνήθως, αλλά αυτό δεν είναι πρόβλημα. Το διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος που χρησιμοποιούμε πρέπει να έχει ειδικό βάρος 1,075 στους 15 ºC. Η συγκέντρωση του υδροχλωρικού οξέος για να πετύχουμε αυτό το ειδικό βάρος είναι περίπου 15%. Επειδή η εμπορική συσκευασία του υδροχλωρικού οξέος είναι 37%, αραιώνουμε με προσοχή το υδροχλωρικό οξύ χρησιμοποιώντας ένα πυκνόμετρο (Εικόνα 5.18) μέχρι να πετύχουμε το συγκεκριμένο ειδικό βάρος.



Εικόνα 5.18 *Τυπικό πυκνόμετρο για τη μέτρηση του ειδικού βάρους των διαλυμάτων υδροχλωρικού οξέος (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Όταν φτιάξουμε αυτό το διάλυμα, πρέπει να γνωρίζουμε ότι θα πρέπει να το συμπληρώσουμε με 2% φορμαλδεΰδη καθώς, εάν τοποθετήσουμε αυγά που έχουν εναποτεθεί στο χαρτί σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος, τότε αυτά θα ξεκολλήσουν αμέσως από το χαρτί. Εναλλακτικά τοποθετούμε τα αυγά που είναι κολλημένα στο χαρτί πρώτα μέσα σε διάλυμα 2% φορμαλδεΰδης για 2 λεπτά, κατόπιν τα ξεπλένουμε καλά και μετά τα βάζουμε στο διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος. Το διάλυμα 2% φορμαλδεΰδης έχει την ιδιότητα να στερεώνει τα αυγά που φέρουν συγκολλητικές πρωτεΐνες στο εξωτερικό του κελύφους τους, καθώς μονιμοποιεί αυτές τις πρωτεΐνες και δεν επιτρέπει κατόπιν στο υδροχλωρικό οξύ να τις αποδιατάξει.

Το διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος το θερμαίνουμε σε γυάλινο σκεύος στους 46 ºC βυθίζοντας ένα θερμόμετρο συνεχώς σε αυτό και μόνο όταν φτάσει η θερμοκρασία στους 46ºC βάζουμε τα αυγά μέσα σε αυτό το διάλυμα. Παρότι η διάρκεια επίδρασης με το θερμό διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος ποικίλλει ανάλογα με τη φυλή, συνήθως τα 5 λεπτά επίδρασης στους 46 ºC με αυτό το διάλυμα υδροχλωρικού οξέος είναι αρκετά. Στις ευρωπαϊκές φυλές ίσως χρειάζεται η επίδραση για 6-7 λεπτά. Κατόπιν, ξεπλένουμε τα αυγά σε άφθονο τρεχούμενο νερό στους 20 ºC για να απομακρυνθεί το υδροχλωρικό οξύ και προσέχουμε να μην είναι η θερμοκρασία του νερού χαμηλότερη από αυτήν τη θερμοκρασία. Ένας απλός τρόπος για να καταλάβουμε ότι έχει απομακρυνθεί το υδροχλωρικό οξύ από τα αυγά είναι να τα αγγίξουμε με τη γλώσσα μας. Αν έχουν όξινη γεύση, τότε πρέπει να τα ξεπλύνουμε περισσότερο μέχρι να φύγει η ξινή γεύση. Κατόπιν στεγνώνουμε τα αυγά τοποθετώντας τα στους 25 ºC, οπότε αρχίζει και η επώασή τους.

Αν πρέπει για οποιονδήποτε λόγο να καθυστερήσουμε την εκκόλαψη των αυγών, μετά την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ, τότε 20-30 ώρες αφότου κάνουμε την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ και τα έχουμε βάλει στους 25 ºC τα μεταφέρουμε στους 2,5 - 5 ºC και μπορούμε να τα αφήσουμε εκεί για 20-30 ημέρες. Σε αυτήν την περίπτωση δεν πρέπει να βάζουμε τα αυγά αμέσως στους 2,5 - 5 ºC, αλλά είναι καλύτερο να τα αφήνουμε στους 15 ºC για 6-12 ώρες και μετά να τα βάλουμε στους 2,5 - 5 ºC.

Μια παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου είναι η χρήση υδροχλωρικού οξέος σε θερμοκρασία δωματίου (22 ºC). Σε αυτήν την περίπτωση η συγκέντρωση του υδροχλωρικού οξέος είναι περίπου 20% και το ειδικό

βάρος είναι 1,11 στους 15ºC. Η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ γίνεται την 15-20ή ώρα από την εναπόθεση των αυγών και οι συνθήκες επίδρασης περιγράφονται στον Πίνακα 5.6.

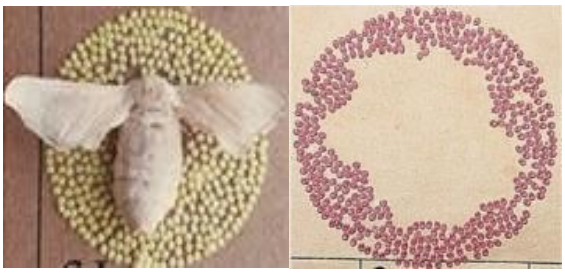
Ωρα επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ μετά την εναπόθεση των αυγών και διατήρηση στους 24 ºC	**Χρόνος επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ θερμοκρασίας 24 ºC**	**Χρόνος επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ θερμοκρασίας 27 ºC**	**Χρόνος επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ θερμοκρασίας 29 ºC**
10η ώρα	60-70 λεπτά	40-70 λεπτά	-
15η ώρα	60-80 λεπτά	60-80 λεπτά	20-50 λεπτά
20ή ώρα	60-100 λεπτά	60-80 λεπτά	40-50 λεπτά
25η ώρα	60-100 λεπτά	60-80 λεπτά	40-50 λεπτά

Πίνακας 5.6 *Μέθοδος επίδρασης στα αυγά του μεταξοσκώληκα με υδροχλωρικό οξύ μετά την εναπόθεσή τους χωρίς τη χρήση θερμού διαλύματος υδροχλωρικού οξέος (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

5.4.2 Επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από ψύξη των αυγών του μεταξοσκώληκα

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσουμε την εκκόλαψη των αυγών που έχουν ήδη πέσει σε διάπαυση. Τοποθετώντας τα αυγά σε χαμηλή θερμοκρασία 5ºC καθώς εισέρχονται στη διάπαυση, τα αφήνουμε για κάποιο διάστημα σε αυτήν τη χαμηλή θερμοκρασία και κατόπιν μπορούμε να ενεργοποιήσουμε την ανάπτυξή τους επιδρώντας με υδροχλωρικό οξύ. Ανάλογα με το διάστημα που αφήνουμε τα αυγά στους 5 ºC το πρωτόκολλο διαχείρισης χωρίζεται σε: 1) επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από ψύξη για 40-60 ημέρες και 2) επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από ψύξη για 25-35 ημέρες.

Στην πρώτη περίπτωση, επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από ψύξη για 40-60 ημέρες στους 5 ºC, βάζουμε τα αυγά σε ψύξη 42-50 ώρες μετά την εναπόθεσή τους, όταν δηλαδή τα αυγά παίρνουν ένα κεραμιδί χρώμα (Εικόνα 5.19) (Osanai-Futahashi et al., 2012; Osanai-Futahashi et al., 2022).



Εικόνα 5.19 *Τα αυγά του μεταξοσκώληκα αλλάζουν το χρώμα τους (δεξιά) 42-50 ώρες μετά την εναπόθεσή τους (αριστερά) (Πηγή: (Chen et al., 2015; Zhang et al., 2022), CC-BY άδεια).*

Τότε βάζουμε τα αυγά στους 15ºC για 6 ώρες και μετά τα βάζουμε στους 5ºC για 40-60 ημέρες. Εάν πρόκειται να τα κρατήσουμε περισσότερο σε ψύξη, τότε βάζουμε τα αυγά την 50ή-60ή ώρα μετά την εναπόθεσή τους στους 5 ºC για 40 ημέρες και μετά τα μεταφέρουμε στους 2,5ºC. Η υγρασία κατά την ψύξη πρέπει να είναι 75-80%. Πριν την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ είναι καλό να αφήνουμε τα αυγά σε θερμοκρασία δωματίου για 5-6 ώρες και μετά να επιδρούμε με υδροχλωρικό οξύ. Σε αυτήν τη μέθοδο χρησιμοποιούμε υδροχλωρικό οξύ που έχει ειδικό βάρος 1,11 στους 15ºC, δηλαδή περίπου 20% συγκέντρωση υδροχλωρικού οξέος και το θερμαίνουμε στους 48 ºC. Ο χρόνος επώασης είναι 5-6 λεπτά, ενώ για τις ευρωπαϊκές φυλές είναι 6-7 λεπτά.

Στη δεύτερη περίπτωση, επίδραση με υδροχλωρικό οξύ μετά από ψύξη για 25-35 ημέρες στους 5 ºC, βάζουμε τα αυγά, 30-35 ώρες μετά την εναπόθεσή τους, στους 15ºC μέχρι να αρχίσουν να γίνονται κοκκινωπά καφέ στο χρώμα και αφού τα αφήσουμε στους 15 ºC για 6 ώρες τα βάζουμε κατόπιν στους 5 ºC για 25-35 ημέρες. Η υγρασία κατά την ψύξη πρέπει να είναι 75-80%. Η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ και οι άλλες συνθήκες είναι παρόμοιες με την πρώτη περίπτωση (βλέπε παραπάνω), αλλά συχνά συμβαίνει η εκκόλαψη των αυγών να διαρκεί για πάνω από 1 ημέρα.

Εάν πρέπει να ψύξουμε τα αυγά μετά την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ, τα διατηρούμε στους 25ºC για 12 ώρες ή λιγότερο ή διαφορετικά για 48-110 ώρες στους 25 ºC και κατόπιν τα βάζουμε στους 15 ºC για 6-12 ώρες και τελικά στους 5 ºC. Σε αυτήν τη χαμηλή θερμοκρασία τα κρατάμε για 10-20 ημέρες (Όσο λιγότερο, τόσο καλύτερα).

Ένας τρόπος να παρατηρήσουμε ότι η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ είχε αποτέλεσμα είναι να παρατηρήσουμε την ανάπτυξη των εμβρύων 2-3 ημέρες μετά την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ όπου βλέπουμε την εμφάνιση των ψευδοποδίων του εμβρύου, αλλά χρειάζεται συχνά να πρέπει να ανοίξουμε το κέλυφος του αυγού για να δούμε κάτι τέτοιο. Επίσης, ένας άλλος τρόπος να δούμε ότι η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ ήταν αποτελεσματική είναι να παρατηρήσουμε τα αυγά 1 ημέρα μετά την επίδραση με υδροχλωρικό οξύ. Εκεί βλέπουμε ότι η μέση του αυγού έχει αποκτήσει μια κοιλότητα που δεν υπάρχει στα αυγά στα οποία δεν έγινε επίδραση με υδροχλωρικό οξύ.

Αυτό είναι ένα κακό σημάδι, καθώς, εάν η κοιλότητα στο κέντρο του αυγού είναι πολύ βαθιά, τότε τα έμβρυα έχουν επηρεαστεί αρνητικά από το υδροχλωρικό οξύ και δεν θα εκκολαφθούν. Γενικότερα, όταν δούμε ότι η κοιλότητα στο μέσο των αυγών είναι αρκετά βαθιά και γίνεται πιο βαθιά όσο περνούν οι ημέρες, αυτό σημαίνει ότι η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ έχει σκοτώσει τα έμβρυα. Επίσης, θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι όταν βάλουμε τα αυγά 42-50 ώρες μετά την εναπόθεσή τους στους 5 ^{o}C, αυτή η περίοδος ψύξης μπορεί να διαρκέσει το πολύ 6 μήνες. Εάν αφήσουμε τα αυγά σε αυτήν τη χαμηλή θερμοκρασία για πάνω από 6 μήνες, τότε η εκκολαψιμότητα είναι μηδενική. Η επίδραση με υδροχλωρικό οξύ, όταν βάλουμε τα αυγά 42-50 ώρες μετά την εναπόθεσή τους στους 5 ^{o}C, μπορεί να γίνει μέχρι και τον 3ο μήνα, καθώς μετά τον 3ο μήνα, εάν υποβάλουμε τα αυγά σε υδροχλωρικό οξύ, τα έμβρυα πεθαίνουν. Έτσι, όταν έχουμε αυγά στους 5^{o}C για πάνω από 3 μήνες, τότε για να τα εκκολάψουμε τα τοποθετούμε απλά στους 25 ^{o}C.

Το υδροχλωρικό οξύ είναι ερεθιστικό για τον άνθρωπο και για αυτό θα πρέπει να λαμβάνουμε τις κατάλληλες προφυλάξεις. Θα πρέπει να χρησιμοποιούμε γυάλινα σκεύη και όχι μεταλλικά κατά τη διαχείρισή του και όταν το διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος είναι αρκετά παλιό τότε παίρνει σταδιακά ένα κίτρινο χρώμα που δεν είναι αρνητικός παράγοντας. Επίσης, το υδροχλωρικό οξύ καταστρέφει γρήγορα το χαρτί και έτσι όταν εμβαπτίζουμε χαρτιά πάνω στα οποία είναι τοποθετημένα αυγά, τα χαρτιά αυτά θα πρέπει να είναι αρκετά χοντρά ώστε να μην καταστραφούν. Όταν διαχειριζόμαστε αυγά που είναι αποκολλημένα από το σημείο που εναποτέθηκαν (δηλαδή τα λεγόμενα χύμα αυγά), τότε πρέπει να χρησιμοποιούμε διαπερατές σακούλες ή δίχτυα με πολύ μικρό διαμέτρημα για να βάλουμε τα αυγά στο διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος.

Η χρήση του υδροχλωρικού οξέος για την ενεργοποίηση της ανάπτυξης των εμβρύων έχει επιτρέψει, όπως καταλαβαίνει κανείς από τα πρωτόκολλα που αναφέρθηκαν παραπάνω, να μπορούμε να έχουμε εκκόλαψη των αυγών του μεταξοσκώληκα σε οποιαδήποτε περίοδο του έτους χρησιμοποιώντας συνδυασμούς ψύξης και επίδρασης με υδροχλωρικό οξύ. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη χρήση της τεχνητής δίαιτας (δείτε Κεφάλαιο 4) έχει κάνει δυνατή την εκτροφή του μεταξοσκώληκα σε όλη τη διάρκεια του έτους.

5.5 Επώαση των αυγών του μεταξοσκώληκα

Η επώαση των αυγών του μεταξοσκώληκα και η επακόλουθη εκκόλαψή τους είναι εφικτή και επιτυχής, εφόσον εφαρμόσουμε τις σωστές πρακτικές κατά τη διαχείριση των αυγών. Αν δεν εφαρμόσουμε τις σωστές πρακτικές κατά τη διαχείριση των αυγών, τότε η εκκόλαψή τους αποτυγχάνει ή είναι σημαντικά μειωμένη.

Ο χώρος επώασης των αυγών πρέπει να απολυμαίνεται πολύ αποτελεσματικά και να μην υπάρχει κανένα ίχνος απολυμαντικού όταν επωάζουμε τα αυγά. Για να απολυμάνουμε την επιφάνεια των αυγών πριν τα βάλουμε για επώαση, τα τοποθετούμε σε διάλυμα 2% φορμαλδεΰδης για 30 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου και κατόπιν τα βάζουμε για επώαση. Εναλλακτικά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα διάλυμα 0,5% υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl) και εμβάπτιση των αυγών σε αυτό για 20 λεπτά. Παρά το γεγονός ότι αυτό το διάλυμα είναι πολύ αποτελεσματικό στην απολύμανση των αυγών, χρειάζεται προσοχή στην προμήθεια αυτής της χημικής ένωσης και στην παρασκευή του διαλύματος, γιατί τα εμπορικά σκευάσματα δεν έχουν όλα ακριβή σύσταση σε υποχλωριώδες νάτριο.

Υπάρχουν 2 μέθοδοι επώασης των αυγών του μεταξοσκώληκα: Η επώαση σε σταθερή θερμοκρασία και η επώαση σε αυξανόμενη θερμοκρασία (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995).

5.5.1 Μέθοδος επώασης σε σταθερή θερμοκρασία

Σε αυτήν τη μέθοδο η επώαση των αυγών γίνεται σε σταθερή θερμοκρασία, 23- 25 ºC. Με αυτήν τη μέθοδο επωάζονται αυγά που έχουν υποστεί επίδραση με υδροχλωρικό οξύ και μη διαπαυόμενα αυγά. Όταν κάνουμε επίδραση με υδροχλωρικό οξύ και βάλουμε τα αυγά ξανά στους 5C, είναι καλύτερο να βάλουμε τα αυγά στους 15 ºC για 6 ώρες, πριν τα φέρουμε στους 25 ºC για να αποφύγουμε την κακή επίδραση της απότομης αλλαγής θερμοκρασίας στα έμβρυα. Όταν επωάζουμε διαπαυόμενα αυγά με αυτήν τη μέθοδο επώασης, τότε τα βάζουμε στους 15 ºC για 3 ημέρες και μετά τα βάζουμε στους 23 - 25ºC μέχρι την εκκόλαψη. Προτιμάται, τα αυγά των φυλών που έχουν έναν κύκλο ζωής ανά έτος να επωάζονται στους 23 ºC, ενώ τα αυγά των φυλών που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος να επωάζονται στους 25ºC (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995).

5.5.2 Μέθοδος επώασης σε αυξανόμενη θερμοκρασία

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για διαπαυόμενα αυγά. Μετά την έξοδό τους από τους 5 ºC όπου διατηρούνται, τα βάζουμε στους 10 - 15 ºC για 3 ημέρες, μετά στους 18 - 20 ºC για 2 ημέρες, μετά στους 23 - 25 ºC για 4 ημέρες και μετά στους 25 - 26 ºC μέχρι την εκκόλαψή τους όπως αναφέρεται στον Πίνακα 5.7.

Φυσιολογικές συνθήκες αυγού	**Θερμοκρασία (ºC)**				**Υγρασία %**
	15 ºC	18-20 ºC	23-24 ºC	25-26 ºC	75-85
Μετά από διαχείμαση	Για 3 ημέρες μετά την έξοδο από την ψύξη	2 ημέρες	4 ημέρες	Μέχρι την εκκόλαψη	75-85
Μετά από επίδραση με υδροχλωρικό οξύ	0,5 – 1 ημέρα	Συνεχώς στους 25-26 ºC			

Πίνακας 5.7 *Συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας κατά την επώαση των αυγών των εμπορικών υβριδίων του μεταξοσκώληκα με τη μέθοδο της αυξανόμενης θερμοκρασίας (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Η μέθοδος της αυξανόμενης θερμοκρασίας βασίζεται στη θεώρηση ότι όσο πιο νεαρά τα έμβρυα, τόσο πιο γρήγορα αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και έτσι επιτυγχάνουμε μια ισορροπημένη ανάπτυξη όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.8. Από τον Πίνακα 5.8 καταλαβαίνουμε ότι η διάρκεια επώασης των αυγών του μεταξοσκώληκα στους 25 ºC είναι 12 ημέρες μέχρι την εκκόλαψη.

Θερμοκρασία **Στάδια ανάπτυξης του εμβρύου**	**10 ºC**		**15 ºC**		**20 ºC**		**25 ºC**	
	Ημέρες	Ώρες	Ημέρες	Ώρες	Ημέρες	Ώρες	Ημέρες	Ώρες
Στάδιο 5-13 (Εικόνα 5.11Β)	11	03	4	17	3	20	3	12
Στάδιο 13-16 (Εικόνα 5.11Β)	33	17	9	19	5	2	3	14
Στάδιο 16-19 (Εικόνα 5.11Β)	55	00	16	00	7	16	4	18

Πίνακας 5.8 *Ταχύτητα ανάπτυξης του εμβρύου του μεταξοσκώληκα σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Η μη ορθή επώαση των αυγών των φυλών που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος, μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση προνυμφών που έχουν 3 εκδύσεις, αλλά κυρίως επηρεάζει σημαντικά την πιθανότητα εμφάνισης μη διαπαυόμενων αυγών από τις προνύμφες που θα εκκολαφθούν από αυτά τα αυγά και οι οποίες όταν γίνουν νυχτοπεταλούδες θα εναποθέσουν μη διαπαυόμενα αυγά. Αυτός ο χαρακτήρας δεν είναι επιθυμητός, γιατί είναι χαμηλότερης ποιότητας το ακατέργαστο μετάξι που παίρνουμε από κουκούλια στα οποία η νύμφη που βρίσκεται σε αυτά θα μεταμορφωνόταν σε νυχτοπεταλούδα που θα εναπόθετε μη διαπαυόμενα αυγά.

Ο χαρακτήρας του μη διαπαυόμενου αυγού έχει φυσιολογική βάση, καθώς τα αυγά των φυλών που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος, υπό φυσιολογικές συνθήκες και αν βρίσκονταν στο φυσικό περιβάλλον, θα επωάζονταν τον Απρίλιο όταν οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι σχετικά χαμηλές και η παραγωγή φύλλων από τη μουριά θα εκτεινόταν στη διάρκεια του καλοκαιριού. Κρίνοντας από την ύπαρξη των τροπικών φυλών μεταξοσκώληκα, που δεν παράγουν αυγά που εισέρχονται σε διάπαυση, αλλά έχουν πολλούς κύκλους ζωής ανά έτος, καθώς υπάρχουν φύλλα μουριάς όλο το έτος, ο χαρακτήρας των δύο κύκλων ζωής ανά έτος επικρατεί σε σχετικά θερμά και υγρά περιβάλλοντα (παραδείγματος χάριν, στη Νότια Κίνα και στη Νότια

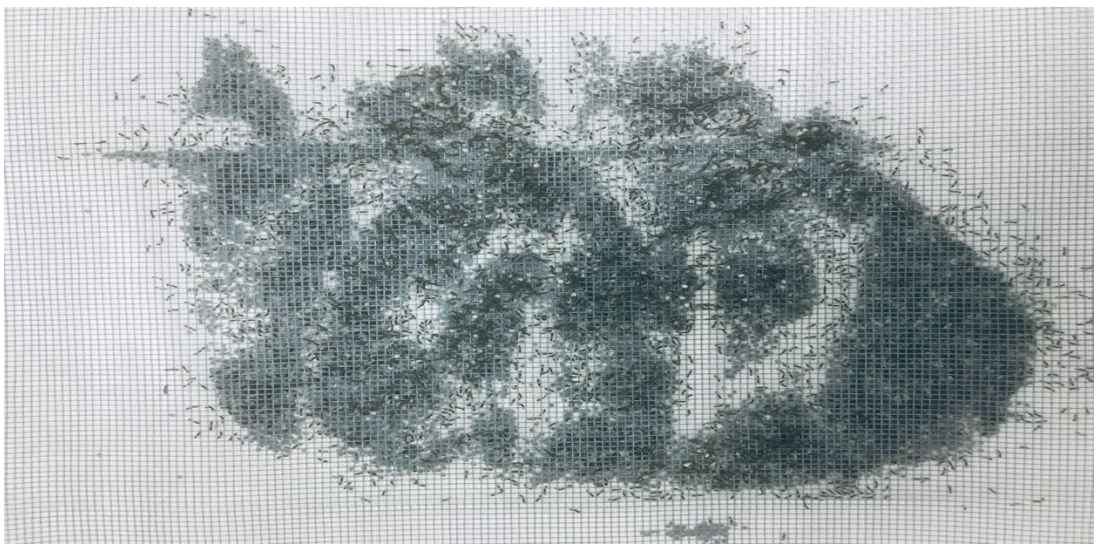
Ιαπωνία). Στα περιβάλλοντα αυτά, η σχετικά χαμηλή θερμοκρασία στη διάρκεια της επώασης των αυγών του πρώτου κύκλου ζωής οδηγεί στην εμφάνιση και δεύτερου κύκλου ζωής, καθώς οι ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες συνεχίζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Xiang et al., 2018).

Στην περίπτωση εμφάνισης του χαρακτήρα των δύο κύκλων ζωής ανά έτος, οι προνύμφες του πρώτου κύκλου ζωής που θα εκκολάπτονταν, θα γίνονταν νυχτοπεταλούδες που θα εναπόθεταν μη διαπαυόμενα αυγά. Τα αυγά αυτά θα επωάζονταν στα τέλη Ιουνίου όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές και τα έμβρυα θα μεγάλωναν και θα εκκολάπτονταν δίνοντας τον δεύτερο κύκλο ζωής ανά έτος. Όμως, η επώαση των αυγών σε υψηλές θερμοκρασίες στα τέλη Ιουνίου θα έδινε προνύμφες και μετά νυχτοπεταλούδες που θα εναπόθεταν διαπαυόμενα αυγά. Με αυτά τα δεδομένα, και επειδή τα αυγά των σύγχρονων υβριδίων μπορεί να προέρχονται από φυλές που έχουν δύο κύκλους ζωής ανά έτος, θα πρέπει να αποφεύγουμε την επώαση των αυγών σε χαμηλή θερμοκρασία κατά το στάδιο αναστροφής του εμβρύου και της χρώσης του σώματος του εμβρύου. Έτσι, η επώαση των αυγών στους 15 ºC για 3 ημέρες μετά την έξοδό τους από τους 5ºC δεν επηρεάζει την πιθανότητα εμφάνισης του χαρακτήρα μη διάπαυσης, ενώ η επώασή τους σε χαμηλή θερμοκρασία αργότερα οδηγεί στην εμφάνιση αυτού του χαρακτήρα. Γενικότερα, η επώαση στους 25 ºC θεωρείται ότι αυξάνει την ποιότητα του μεταξιού, ενώ τα σύγχρονα υβρίδια έχουν καλή ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι είναι συνήθης η επώαση των αυγών στους 25 ºC κατά το τέλος της περιόδου επώασης.

Η υγρασία κατά την επώαση πρέπει να είναι στο 75-80%. Αν είναι υψηλή, υπάρχει ο κίνδυνος προσβολής των αυγών από μύκητες, αν δεν είναι καθαρό το δωμάτιο επώασης ή μπορεί να εμφανιστούν προνύμφες που έχουν 3 εκδύσεις. Αν είναι κάτω από 50% η υγρασία, τότε τα έμβρυα μπορεί να πεθάνουν λίγο πριν την εκκόλαψη και να μειωθεί έτσι το ποσοστό εκκολαψιμότητας.

Η φωτοπερίοδος έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην εκκολαψιμότητα των αυγών, αλλά και στην εμφάνιση του χαρακτήρα της διάπαυσης. Η φωτοπερίοδος επηρεάζει την εμφάνιση δύο κύκλων ζωής ανά έτος από το στάδιο αναστροφής του εμβρύου μέχρι το στάδιο χρώσης της κεφαλής του εμβρύου. Σε αυτό το στάδιο, θα πρέπει να έχουμε φωτισμό για 16 ώρες την ημέρα. Πριν από το στάδιο χρώσης της κεφαλής του εμβρύου, η εμβρυϊκή ανάπτυξη είναι ταχύτερη στο φως παρά στο σκοτάδι.

Από το στάδιο χρώσης της κεφαλής του εμβρύου μέχρι το στάδιο χρώσης του σώματός του, η ανάπτυξη του εμβρύου είναι ταχύτερη στο σκοτάδι παρά στο φως. Επίσης, η εκκόλαψη αναστέλλεται όταν υπάρχει σκοτάδι. Σε συμφωνία με τα παραπάνω δεδομένα, η επώαση των αυγών γίνεται στο σκοτάδι από το στάδιο της χρώσης της κεφαλής μέχρι την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του εμβρύου. Με τον τρόπο αυτόν επιταχύνουμε την ανάπτυξη των καθυστερημένων εμβρύων και αναστέλλουμε την εκκόλαψη των πλήρως αναπτυγμένων εμβρύων. Κατόπιν, την ημέρα έναρξης της εκτροφής, ανάβουμε το πρωί τα φώτα και πετυχαίνουμε την ομαδική και συνολική εκκόλαψη των αυγών μέσα σε λίγες ώρες (Εικόνα 5.20) (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995).



Εικόνα 5.20 *Έναρξη εκκόλαψης ποσότητας 20000 αυγών του μεταξοσκώληκα 1 ώρα μετά την έναρξη φωτισμού του χώρου επώασης. Παρατηρήστε τη δραστήρια μετακίνηση των νεαρών προνυμφών προς αναζήτηση τροφής που θα τοποθετηθεί μετά από μερικές ώρες πάνω στο δίχτυ (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

5.5.3 Ψύξη των αυγών του μεταξοσκώληκα κατά την επώαση και ψύξη των εκκολαφθεισών προνυμφών

Αυτό είναι ένα ακραίο μέτρο που πρέπει να πάρουμε μόνο όταν πρέπει να καθυστερήσουμε την έναρξη της εκτροφής, ενώ έχουμε αρχίσει την επώαση των αυγών.

Αν έχουμε ξεκινήσει την επώαση των αυγών, μετά από 2-3 ημέρες από την έναρξη της επώασης μπορούμε να ξαναβάλουμε τα αυγά στους 5^{o}C για 10-15 ημέρες. Αν το διάστημα των 2-3 ημερών έχει περάσει, τότε συνεχίζουμε την επώαση μέχρι την ολοκλήρωση του σταδίου χρώσης του σώματος. Τότε τα αυγά μπορούν να μπουν σε ψύξη στους 5^{o}C για λιγότερο από 1 εβδομάδα, αλλά υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης μη διαπαυόμενων αυγών και αυτό το διάστημα θα πρέπει να είναι όσο πιο σύντομο γίνεται. Η υγρασία στους 5^{o}C πρέπει να είναι 75-80%.

Εφόσον γίνει η εκκόλαψη των αυγών, οι νεαρές προνύμφες μπορούν να τοποθετηθούν στους 7,5 - 10^{o}C το πολύ για 3 ημέρες σε υγρασία >80%. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι οι προνύμφες που μόλις εκκολάφθηκαν είναι πολύ ευαίσθητες και θα πρέπει με κάθε τρόπο να μην τις αφήνουμε νηστικές ή να τις υποβάλουμε σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι τα μέτρα που αναφέρονται παραπάνω είναι ιδιαίτερα ακραία και θα πρέπει να αποφεύγονται με κάθε τρόπο. Αν πρέπει να τα εφαρμόσουμε, τότε, όταν αρχίσει η εκτροφή, πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στη διατροφή των νεαρών προνυμφών στην 1η ηλικία.

Η εκκολαψιμότητα των αυγών του μεταξοσκώληκα μετριέται με απλή οπτική παρατήρηση μετρώντας ένα αριθμό αυγών, για παράδειγμα 100 αυγά από 3 διαφορετικά δείγματα, καταγράφοντας τον αριθμό των εμβρύων που δεν έχουν εκκολαφθεί και εκφράζεται σε ποσοστό %. Το ποσοστό εκκολαψιμότητας ενός υβριδίου δεν είναι απαραίτητο να αναφέρεται στα έγγραφα που συνοδεύουν την εμπορική συσκευασία των αυγών του υβριδίου, αλλά πρέπει να αναφέρεται στα έγγραφα που πιστοποιούν τη δημιουργία ενός υβριδίου στη χώρα παραγωγής του. Στα πιστοποιητικά δημιουργίας ενός υβριδίου κανένα ποσοστό εκκολαψιμότητας <97% δεν γίνεται αποδεκτό και το υβρίδιο απορρίπτεται από την πιστοποίηση.

Συνοψίζοντας, θα πρέπει να πούμε ότι οι κατάλληλες συνθήκες επώασης είναι ο ακρογωνιαίος λίθος μιας καλής εκτροφής. Δεν θα πρέπει να εκθέτουμε τα αυγά σε χαμηλές θερμοκρασίες κατά την επώαση και θα πρέπει να προμηθευόμαστε αυγά τα οποία γνωρίζουμε εκ πείρας ότι έχουν καλή εκκολαψιμότητα. Εφόσον παρατηρήσουμε κακή εκκολαψιμότητα, θα πρέπει να μην προτιμάμε τα συγκεκριμένα αυγά του συγκεκριμένου υβριδίου στο μέλλον. Καλή εκκολαψιμότητα είναι αυτή κατά την οποία πάνω από το >97% των αυγών έχουν εκκολαφθεί. Αποδεκτή εκκολαψιμότητα είναι όταν >90% των αυγών έχουν εκκολαφθεί, αλλά στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να είμαστε επιφυλακτικοί ως προς τη χρήση του ίδιου υβριδίου στο μέλλον εφόσον έχουμε κάνει την καλύτερη δυνατή επώαση των αυγών.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στη χώρα μας, όπου υπάρχει εισαγωγή των αυγών από το εξωτερικό και δεν παράγονται προς το παρόν υβρίδια σε τοπικό επίπεδο, είναι πολύ συχνό το φαινόμενο τα εισαγόμενα αυγά μεταξοσκώληκα να έχουν πολύ κακή έως απαράδεκτη εκκολαψιμότητα. Αυτό συμβαίνει, επειδή τα αυγά των υβριδίων που εισάγονται, υποβάλλονται κατά την εισαγωγή τους σε απαράδεκτες συνθήκες συντήρησης ή εκτίθενται σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες διατήρησης, ενώ εισάγονται ουσιαστικά προς εκκόλαψη, δηλαδή εξέρχονται από την ψύξη στη χώρα παραγωγής τους και εισάγονται καθώς έχει αρχίσει η επώασή τους. Οποιαδήποτε συνθήκη διατήρησής τους που δεν ακολουθεί τα παραπάνω πρωτόκολλα κατά την εισαγωγή τους, ουσιαστικά είναι μια κακή συνθήκη επώασής τους με όλα τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Ακόμη και εάν η εκκολαψιμότητα των αυγών ελεγχθεί αμέσως μετά την εισαγωγή τους στη χώρα μας, αυτό δεν σημαίνει ότι αυγά που θα αγοράσουν οι σηροτρόφοι από τους εμπόρους/εισαγωγείς αυγών μετά από, για παράδειγμα, δύο εβδομάδες, θα έχουν την ίδια εκκολαψιμότητα με αυτά τα αυγά που έχουν ελεγχθεί κατά την εισαγωγή τους. Γενικότερα στη χώρα μας, η απουσία ελέγχου και τήρησης πρωτοκόλλων σχετικά με τη διαχείριση των αυγών του μεταξοσκώληκα έχει οδηγήσει στην αποτυχία πολλών εκτροφών, ενώ η εισαγωγή αυγών από διάφορες χώρες υπό αδιευκρίνιστες συνθήκες διατήρησής τους μέχρι τη διάθεσή τους στους εκτροφείς, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σηροτροφίας στη χώρα μας. Συνοπτικά, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι η ανάθεση της εμπορίας αυγών μεταξοσκώληκα σε ιδιώτες εισαγωγείς/εμπόρους έχει αποτύχει στη χώρα μας, καθώς ήταν και συνεχίζει να είναι μια καταστροφική πρακτική.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Anonymous. (1985). *New Illustrated Sericulture Book*. National Federation of Sericultural Cooperatives of Japan.

Aruga, H. (1994). *Principles of Sericulture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=qYZds1N0Q-YC

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., & Tokoro Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Banno, Y., Nagasaki, K., Tsukada, M., Minohara, Y., Banno, J., Nishikawa, K., Yamamoto, K., Tamura, K., & Fujii, T. (2013). Development of a method for long-term preservation of Bombyx mori silkworm strains using frozen ovaries. *Cryobiology*, *66*(3), 283-287. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2013.03.004

Chen, A., Liao, P., Li, Q., Zhao, Q., Yang, W., Zhu, S., Wu, F., He, R., Dong, Z., & Huang, P. (2015). The Structural Variation Is Associated with the Embryonic Lethality of a Novel Red Egg Mutant Fuyin-lre of Silkworm, Bombyx mori. *PloS one*, *10*(6), e0128211. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128211

Chen, D. B., Zhang, R. S., Bian, H. X., Li, Q., Xia, R. X., Li, Y. P., Liu, Y. Q., & Lu, C. (2019). Comparative mitochondrial genomes provide new insights into the true wild progenitor and origin of domestic silkworm Bombyx mori. *Int J Biol Macromol*, *131*, 176-183. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.002

Eguchi, R., Shimazaki, A., Ichiba, M., Shibukawa,, & A. (1995). Breeding of the high yielding silkworm races "shoho" (N 02 x C 02) and "Ohwashi" (N 150 x C 150). *Bull. Natl. Inst. Seric.Entomol. Sci.*, *12*.

Fukumori, H., Teshiba, S., Shigeoka, Y., Yamamoto, K., Banno, Y., & Aso, Y. (2014). Purification and characterization of cocoonase from the silkworm Bombyx mori. *Biosci Biotechnol Biochem*, *78*(2), 202-211. https://doi.org/10.1080/09168451.2014.878215

Fukumori, H., Yoshida, M., Tanaka, D., & Banno, Y. (2020). Embryonic stage selection for cryopreservation of the silkworm Bombyx mori and the effects of cryopreservation on embryo tissues. *Cryobiology*, *95*, 9-14. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2020.06.016

Ganga, G. (2003). *Comprehensive Sericulture*. Science. https://books.google.gr/books?id=Ud0AAAAACAAJ

Goldsmith, M. R., Shimada, T., & Abe, H. (2005). The Genetics and Genomics of the silkworm, Bombyx mori. *Annual Review of Entomology*, *50*(1), 71-100. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130456

Hiratsuka, E. (1969). *Silkwrom Breeding* (1st Edition ed.). Sericulture Science Research Centre/CRC Press.

Hirobe, T. (1969). Development of Autosexing Silkworm Breeds in Japan.

Jingade, A. H., Lekha, G., Srinivasa, B. G., Manjula, A., & Sivaprasad, V. (2015). A feasibility study towards cryopreservation of silkworm eggs: response of non-diapause silkworm eggs to low temperature. *Cryo Letters*, *36*(1), 19-24.

Jingade, A. H., Srinivasa Babu, G. K., Lehka, G., Nair, C. V., Ananda Rao, A., & Manjula, A. (2013). Silkworm (Bombyx mori) cryopreservation: embryonic development as revealed by microscopic studies. *Cryo Letters*, *34*(1), 90-99.

Kim, S.-W., Kim, M. J., Kim, S.-R., Park, J. S., Kim, K.-Y., Kim, K. H., Kwak, W., & Kim, I. (2022). Whole-genome sequences of 37 breeding line Bombyx mori strains and their phenotypes established since 1960s. *Scientific data*, *9*(1), 189. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01289-3

Krishnaswami, S. (1979). *Sericulture Manual: Silkworm rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=o9DhngEACAAJ

Li, D., Guo, Y., Shao, H., Tellier, L. C., Wang, J., Xiang, Z., & Xia, Q. (2010). Genetic diversity, molecular phylogeny and selection evidence of the silkworm mitochondria implicated by complete resequencing of 41 genomes. *BMC Evol Biol*, *10*, 81. https://doi.org/10.1186/1471-2148-10-81

Lim, S. H., Food, Nations, A. O. o. t. U., Kim, Y. T., Lee, S. P., Rhee, I. J., Lim, J. S., & Lim, B. H. (1990). *Sericulture Training Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=_Lc4zvd9fxMC

Liu, H., Chen, B., Hu, S., Liang, X., Lu, X., & Shao, Y. (2016). Quantitative Proteomic Analysis of Germination of Nosema bombycis Spores under Extremely Alkaline Conditions. *Frontiers in microbiology*, *7*, 1459-1459. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01459

Midorikawa, E., Aso, T., Shirota, T., Kiyono, C. (1975). Breeding and characteristics of a hybrid, Asahi x Tokai for spring rearing. *Bull. Natl. Inst. Seric. Entomol. Sci.*, *2*, 7-26.

Mochida, Y., Takemura, Y., Kanda, T., & Horie, Y. (2003). Fertilized eggs obtained from transplantation of frozen ovaries and parthenogenesis in combination with artificial insemination of frozen semen of the silkworm, Bombyx mori. *Cryobiology*, *46*(2), 153-160. https://doi.org/10.1016/s0011-2240(03)00021-x

Osanai-Futahashi, M., Tatematsu, K. I., Yamamoto, K., Narukawa, J., Uchino, K., Kayukawa, T., Shinoda, T., Banno, Y., Tamura, T., & Sezutsu, H. (2012). Identification of the Bombyx red egg gene reveals involvement of a novel transporter family gene in late steps of the insect ommochrome biosynthesis pathway. *J Biol Chem*, *287*(21), 17706-17714. https://doi.org/10.1074/jbc.M111.321331

Osanai-Futahashi, M., Uchino, K., Tamura, T., & Sezutsu, H. (2022). The red egg gene as a novel effective egg color marker for silkworm transgenesis. *Insect Biochem Mol Biol*, *143*, 103728. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2022.103728

Otsuki, R. (1997). *Silkworm Egg Production*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=eGboPAAACAAJ

Shekar, P., & Hardingham, M. (1995). *Sericulture and Silk Production: A Handbook*. Intermediate Technology Publications. https://books.google.gr/books?id=ue1JAAAAYAAJ

Suraporn, S., & Terenius, O. (2020). Sensitivity of Polyvoltine Thai Strains of Bombyx mori to a BmNPV Isolate From Mahasarakham. *Journal of insect science (Online)*, *20*(2). https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa023

Tazima, Y. (1941). A simple method of sex discrimination by means of larval markings in Bombyx mori. *J. Seric. Sci. Jpn.*, *12*, 184-188. https://cir.nii.ac.jp/crid/1573950398851307008

Tazima, Y. (1964). *The Genetics of the Silkworm*. Logos Press. https://books.google.gr/books?id=6JnwAAAAMAAJ

Tazima, Y. (1978). *The Silkworm: An Important Laboratory Tool*. Kodansha. https://books.google.gr/books?id=JprwAAAAMAAJ

Veda, K., Nagai, I., & Horikomi, M. (1997). *Silkworm Rearing*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=huhJAAAAYAAJ

Wang, S., Li, P., Food, Nations, A. O. o. t. U., Pan, R., & Ou, B. (1989). *Silkworm Egg Production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=XZJfamWZyRMC

Wang, X., Fan, Y., Ge, Q., Xu, J., Taha, R. H., Yuan, Y., & Chen, K. (2021). Time-Course Transcriptome Analysis Reveals Global Gene Expression Profiling and Dynamic Developmental Signatures across Complete Life Cycle of Bombyx mori. *Processes*, *9*(10), 1730. https://www.mdpi.com/2227-9717/9/10/1730

Xia, Q., Guo, Y., Zhang, Z., Li, D., Xuan, Z., Li, Z., Dai, F., Li, Y., Cheng, D., Li, R., Cheng, T., Jiang, T., Becquet, C., Xu, X., Liu, C., Zha, X., Fan, W., Lin, Y., Shen, Y., Jiang, L., Jensen, J., Hellmann, I., Tang, S., Zhao, P., Xu, H., Yu, C., Zhang, G., Li, J., Cao, J., Liu, S., He, N., Zhou, Y., Liu, H., Zhao, J., Ye, C., Du, Z., Pan, G., Zhao, A., Shao, H., Zeng, W., Wu, P., Li, C., Pan, M., Li, J., Yin, X., Li, D., Wang, J., Zheng, H., Wang, W., Zhang, X., Li, S., Yang, H., Lu, C., Nielsen, R., Zhou, Z., Wang, J., Xiang, Z., & Wang, J. (2009). Complete resequencing of 40 genomes reveals domestication events and genes in silkworm (Bombyx). *Science (New York, N.Y.)*, *326*(5951), 433-436. https://doi.org/10.1126/science.1176620

Xiang, H., Liu, X., Li, M., Zhu, Y. n., Wang, L., Cui, Y., Liu, L., Fang, G., Qian, H., Xu, A., Wang, W., & Zhan, S. (2018). The evolutionary road from wild moth to domestic silkworm. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(8), 1268-1279. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0593-4

Yamamoto, T., Mase, K., Nagasaka, K., Okada, E., Itsubo, T., Miyajima, T., Enokijima, M., Kumai, T., & Izumi, S. (1999). Breeding of the silkworm race, Hakugin, with superthin cocoon filament. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *68*(2), 125-132. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.68.125

Zhang, Y.-L., Huang, Y., Wang, P.-Y., Li, Q., Bi, L.-H., Zhao, A.-C., Xiang, Z.-H., & Long, D.-P. (2022). Very Early Corona Treatment-Mediated Artificial Incubation of Silkworm Eggs and Germline Transformation of Diapause Silkworm Strains [Original Research]. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.843543

Ελληνόγλωσση

Ρουσόπουλος, Α. Ο. (1900). *Σηροτροφικά*. Εκδ.: Λεώνης Π.

Σταυριανός, Δ. (1893). *Εγχειρίδιον του Σκωληκοτρόφου*. Εκδ.: Σταιυριανός Δ. (Χειρόγραφο).

Φιλιππίδης, Σ. (1890). *Μελέται επί του Μεταξοσκώληκος*. Εκδ.: Κεφαλίδης, Ν.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Γιατί χρησιμοποιούμε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος για να ενεργοποιήσουμε την ανάπτυξη του εμβρύου του μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Τα έμβρυα του μεταξοσκώληκα εισέρχονται σε διάπαυση λίγο μετά την εναπόθεση των αυγών από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα. Για να αναστείλουμε ή να σταματήσουμε αυτήν τη διάπαυση, χρησιμοποιούμε διαλύματα υδροχλωρικού οξέος για να προκαλέσουμε ανάπτυξη του εμβρύου μέσα στο αυγό.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Σε ποια θερμοκρασία πρέπει να επωάζουμε τα αυγά του μεταξοσκώληκα και πόσο διαρκεί η επώαση των αυγών μέχρι την εκκόλαψή τους;

Απάντηση

Τα αυγά του μεταξοσκώληκα πρέπει να επωάζονται σε θερμοκρασία 25 βαθμών Κελσίου και συνήθως η διάρκεια της επώασης των αυγών μέχρι την εκκόλαψή τους είναι 12 ημέρες.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Σε ποια θερμοκρασία πρέπει να διατηρούμε τα αυγά του μεταξοσκώληκα πριν την έναρξη της επώασής τους;

Απάντηση

Τα αυγά του μεταξοσκώληκα πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασία 2 βαθμών Κελσίου για ένα διάστημα από τον Φεβρουάριο μέχρι και τις αρχές Μαΐου όταν ξεκινά η επώαση των αυγών.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Για ποιο παθογόνο θα πρέπει να ελέγχονται τα αυγά του μεταξοσκώληκα όταν παράγονται ή όταν εισάγονται από άλλη χώρα;

Απάντηση

Τα αυγά του μεταξοσκώληκα θα πρέπει να ελέγχονται για την παρουσία του μικροσποριδίου που προκαλεί την ασθένεια του μεταξοσκώληκα που είναι γνωστή ως *πιπερίτιδα*.

Κεφάλαιο 6: Εκτροφή του Μεταξοσκώληκα

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία εκτροφής των προνυμφών του μεταξοσκώληκα από το στάδιο της εκκόλαψης του αυγού μέχρι και το στάδιο έναρξης πλοκής του κουκουλιού. Στις πρώτες ενότητες του κεφαλαίου παρουσιάζονται η διαδικασία εκτροφής των νεαρών ηλικιών του μεταξοσκώληκα και οι διάφορες μέθοδοι εκτροφής με στόχο την επίτευξη της μέγιστης δυνατής παραγωγής σε βάρος κελύφους κουκουλιού. Στις πρώτες ενότητες του κεφαλαίου περιέχεται ένας αναλυτικός πίνακας εκτροφής των προνυμφών του μεταξοσκώληκα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ιδανικός οδηγός για τις εργασίες που πρέπει να γίνονται σε κάθε ημέρα εκτροφής των προνυμφών. Στις τελευταίες ενότητες παρουσιάζονται παραγωγικά δεδομένα και δίνονται συμβουλές και χρήσιμες πληροφορίες για την εκτροφή των μεγάλων ηλικιών των προνυμφών. Στόχος του κεφαλαίου είναι να μπορεί οποιοσδήποτε να ολοκληρώσει με επιτυχία την εκτροφή του μεταξοσκώληκα χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρέχονται σε αυτό το κεφάλαιο.

Προαπαιτούμενη γνώση
Μπρούφας, Γ., & Παππά, Μ. (2015). *Εργαστηριακές ασκήσεις γεωργικής ζωολογίας* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/903

6.1 Χαρακτηριστικά του μεταξοσκώληκα

Ο μεταξοσκώληκας, σε αντίθεση με πολλά άγρια έντομα, δεν μπορεί να μεγαλώσει αν απλά έχουμε τα αυγά του και φύλλα μουριάς. Επειδή ο μεταξοσκώληκας έχει γίνει ένα οικόσιτο ζώο, καθώς εκτρέφεται από τον άνθρωπο για χιλιάδες χρόνια, έχει αναπτύξει χαρακτήρες που είναι πολύ διαφορετικοί από τους χαρακτήρες των άγριων εντόμων. Ο μεταξοσκώληκας δεν έχει ικανότητα πτήσης και έτσι είναι το μοναδικό οικόσιτο ζώο που δεν μπορεί να επιβιώσει χωρίς την παρουσία του ανθρώπου. Η επιβίωση του μεταξοσκώληκα εξαρτάται αποκλειστικά από τον άνθρωπο και το έντομο αυτό θα εξαφανιζόταν άμεσα χωρίς την ανθρώπινη φροντίδα.

Όταν, λοιπόν, εκτρέφουμε μεταξοσκώληκες, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τους ιδιαίτερους χαρακτήρες τους και να προετοιμάσουμε τους χώρους εκτροφής σύμφωνα με αυτούς τους χαρακτήρες πολύ πριν την έναρξη της εκτροφής.

Παρακάτω παρατίθενται περιληπτικά αυτοί οι ιδιαίτεροι χαρακτήρες του μεταξοσκώληκα. Ο μεταξοσκώληκας έχει εκτραφεί αποκλειστικά από τους ανθρώπους εδώ και χιλιάδες χρόνια και δεν υπάρχει ως είδος στο φυσικό περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, οι ικανότητές του να προσαρμοστεί στο φυσικό περιβάλλον έχουν υποπλαστεί ή/και εξαφανιστεί σε σχέση με τα πολύ συγγενικά του είδη, όπως το *Bombyx mandiarina* (Εικόνα 6.1).

Εικόνα 6.1 *Φωτογραφία του αρσενικού (male) και θηλυκού (female) ενήλικου ατόμου (νυχτοπεταλούδα) του είδους Bombyx mandarina (αριστερά) που είναι συγγενικό με το είδος Bombyx mori (δεξιά) (Πηγή: (Lu et al., 2020), CC-BY άδεια).*

Έτσι, καταρχήν, η ικανότητα συγκράτησης των μεταξοσκωλήκων πάνω σε κλαδιά ή στερεά αντικείμενα είναι πολύ ασθενική. Αυτό σημαίνει ότι οι προνύμφες δεν μπορούν να σκαρφαλώσουν σε ένα δέντρο μουριάς και ακόμη και αν τις αφήσουμε σε ένα κλαδί μουριάς θα πέσουν στο έδαφος ακόμη και με ένα ελαφρό φύσημα του αέρα (Ayuzawa, 1972; Tazima, 1964, 1978).

Επίσης, έχουν απωλέσει σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα να έρπουν πάνω σε ένα κλαδί ή να ψάχνουν, κατ' επέκταση, για τροφή. Μια άγρια προνύμφη, όταν δεν υπάρχει τροφή τριγύρω, θα αρχίσει να έρπει για να βρει τροφή μέχρι να πεθάνει από ασιτία. Οι μεταξοσκώληκες δεν θα το κάνουν αυτό και θα μετακινηθούν για μερικές δεκάδες εκατοστά μόνο αν δεν βρίσκουν τροφή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν απωλέσει σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα όσφρησης της τροφής τους και αυτό δεν ενεργοποιεί την ικανότητα αναζήτησης τροφής (Bisch-Knaden et al., 2014; Tanaka et al., 2009). Οι μεταξοσκώληκες, όταν δεν βρίσκουν τροφή, θα μετακινηθούν για μικρή απόσταση και στη συνέχεια θα παραμείνουν νηστικοί μέχρι να πεθάνουν από ασιτία.

Επίσης, οι μεταξοσκώληκες τρέφονται μόνο με φύλλα μουριάς, αλλά και για αυτά τα φύλλα η αίσθηση της όσφρησής τους είναι ασθενική. Αν βάλουμε φύλλα μουριάς 1 μέτρο μακριά από τις προνύμφες, αυτές δεν μπορούν να τα αντιληφθούν και θα πεθάνουν από ασιτία αν τα φύλλα δεν είναι κοντά τους (Tanaka et al., 2009).

Επίσης, το ενήλικο άτομο, η νυχτοπεταλούδα, δεν μπορεί να πετάξει. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες για αυτό όπως ότι έχουν απωλέσει οι μεταξοσκώληκες την ικανότητά τους για πτήση ή ότι είχαν ικανότητα για πτήση οι προγονικοί μεταξοσκώληκες πριν την εξημέρωσή τους από τους ανθρώπους, αλλά εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αρκετά είδη Λεπιδοπτέρων στα οποία το θηλυκό δεν πετά και επίσης το συγγενικό είδος του μεταξοσκώληκα, το *Bombyx mandarina*, έχει και αυτό περιορισμένη ικανότητα πτήσης (Kim et al., 2022; Lu et al., 2020). Η θηλυκή νυχτοπεταλούδα του μεταξοσκώληκα δεν πετά και δεν χρησιμοποιεί ιδιαίτερα τις πτέρυγές της, αλλά μετακινείται βαδίζοντας για μερικά εκατοστά και όχι παραπάνω. Το αρσενικό άτομο κουνά τις πτέρυγές του δραστήρια, αλλά δεν μπορεί να απογειωθεί από το έδαφος και όταν πέφτει από ένα ύψος δεν χρησιμοποιεί τις πτέρυγές του και προσγειώνεται σε ευθεία γραμμή από το σημείο που έπεσε. Χάρη σε χημειοϋποδοχείς που φέρει στις κεραίες του, το αρσενικό αναγνωρίζει τη φερορμόνη που εκκρίνουν τα θηλυκά άτομα, τη βομβυκόλη (bombykol) (Matsumoto et al., 2007; Sakurai et al., 2014; Tabuchi et al., 2013) και κινείται προς το θηλυκό άτομο προσπαθώντας να ζευγαρώσει με αυτό. Ωστόσο, αυτή η αίσθηση όσφρησης της φερορμόνης του θηλυκού είναι πάρα πολύ ασθενής σε σχέση με την ικανότητα άλλων εντόμων να αναγνωρίζουν τις φερορμόνες των θηλυκών από πολύ μεγάλη απόσταση και να πετάνε προς αυτά (Matsumoto et al., 2007; Sakurai et al., 2014; Tabuchi et al., 2013). Η αρσενική νυχτοπεταλούδα του μεταξοσκώληκα δεν μπορεί να αναγνωρίσει τη φερορμόνη του θηλυκού ατόμου αν αυτό βρίσκεται 2 μέτρα μακριά, ενώ το αρσενικό άτομο εμφανίζει έντονη συμπεριφορά ζευγαρώματος όταν μυρίσει τη φερορμόνη που βρίσκεται, για παράδειγμα, στα χέρια ενός ανθρώπου που έχει αγγίξει πριν ένα θηλυκό άτομο, χωρίς να αντιλαμβάνεται το αρσενικό άτομο ότι αυτό με το οποίο προσπαθεί να ζευγαρώσει δεν είναι ένα θηλυκό άτομο, αλλά δάκτυλα ανθρώπου που φέρουν φερορμόνη. Ως αποτέλεσμα, για να ζευγαρώσουν τα ενήλικα άτομα του μεταξοσκώληκα πρέπει να βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο και αυτό συχνά απαιτεί την ανθρώπινη παρέμβαση. Για παράδειγμα, η ανθρώπινη παρέμβαση απαιτείται όταν ένα αρσενικό άτομο προσπαθεί συνεχώς να ζευγαρώσει με ένα θηλυκό άτομο, το οποίο ζευγαρώνει ήδη με ένα άλλο αρσενικό, παρά το γεγονός ότι ένα άλλο θηλυκό άτομο μπορεί να είναι διαθέσιμο για ζευγάρωμα σε σχετικά κοντινή απόσταση (Ayuzawa, 1972; Hiratsuka, 1969).

Συνολικά, λόγω της εντατικής εκτροφής και βελτίωσής του για την παραγωγή πολλών αυγών και μεγάλων και καλών κουκουλιών, αλλά και λόγω της αναγκαιότητας να εκτρέφεται εύκολα, ο μεταξοσκώληκας έχει χάσει ή μειώσει πολλές από τις φυσιολογικές του λειτουργίες (Goldsmith et al., 2005; Tong et al., 2022). Ως αποτέλεσμα, δεν μπορεί να επιβιώσει χωρίς την ανθρώπινη φροντίδα και μάλιστα χωρίς την ανθρώπινη φροντίδα δεν μπορεί να ολοκληρώσει ούτε έναν κύκλο ζωής του (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Hiratsuka, 1969; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

6.2 Ανάπτυξη της προνύμφης του μεταξοσκώληκα

Το πρώτο στάδιο στην ανάπτυξη της προνύμφης είναι η εκκόλαψη. Η προνύμφη όταν εκκολαφθεί από το αυγό έχει μήκος περίπου 3 χιλιοστά και καλύπτεται από μαύρες τρίχες (Εικόνα 6.2).

Εικόνα 6.2 *Φωτογραφία από προνύμφες μεταξοσκώληκα που μόλις εκκολάφθηκαν από το αυγό τους. Παρατηρούνται με λευκό χρώμα τα κελύφη των αυγών από τα οποία μόλις εκκολάφθηκαν οι προνύμφες. Επίσης, παρατηρείται η ύπαρξη αυγών με γκριζωπό χρώμα μέσα στα οποία βρίσκεται ακόμη το έμβρυο το οποίο θα εκκολαφθεί τις επόμενες ώρες. Τέλος, παρατηρείται η παρουσία κοπράνων (μαύρα στίγματα) που είναι προϊόντα του μεταβολισμού των θρεπτικών συστατικών που περιείχε η λέκιθος του αυγού και τα οποία χρησιμοποίησε το έμβρυο για την ανάπτυξή του. Οι νεαρές προνύμφες φέρουν πολλά τριχίδια στο σώμα τους και ψάχνουν δραστήρια για φύλλα μουριάς για να τραφούν (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Σε 25-30 ημέρες ανάλογα με τις συνθήκες, η προνύμφη θα δημιουργήσει ένα κουκούλι. Αυτό είναι το διάστημα το οποίο αποκαλείται *διάστημα εκτροφής του μεταξοσκώληκα*. Κατά το διάστημα αυτό, η προνύμφη σταματά να τρέφεται 4 φορές και υφίσταται έκδυση του επιδερμιδίου της. Αυτά τα διαστήματα διακοπής της διατροφής ονομάζονται *εκδύσεις* (ή σε κοινή γλώσσα «ύπνοι») διαρκούν από 24 έως 36 ώρες και στα διαστήματα αυτά η προνύμφη παραμένει ακίνητη και δεν τρέφεται. Τα διαστήματα των εκδύσεων είναι πολύ σημαντικά. Σκοπό έχουν να αποβληθεί το περιοριστικό επιδερμίδιο που περιορίζει την ανάπτυξη του σώματος και στα διαστήματα αυτά οι προνύμφες χρειάζονται ιδιαίτερη φροντίδα ως προς τη θερμοκρασία και υγρασία του χώρου εκτροφής (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Οι προνύμφες, μετά την εκκόλαψη, τρέφονται δραστήρια και μεγαλώνουν γρήγορα. Σε 1-2 ημέρες μετά την εκκόλαψη, εφόσον τρέφονται ικανοποιητικά, το σώμα των προνυμφών εκτείνεται και η γενικότερη εμφάνιση της προνύμφης δείχνει ότι οι τρίχες που κάλυπταν το σώμα έχουν πέσει (Εικόνα 6.3).

Εικόνα 6.3 *Φωτογραφία από προνύμφες την 3η ημέρα της 1ης ηλικίας που τρέφονται δραστήρια με φύλλα μουριάς. Τα τριχίδια πάνω στο σώμα των προνυμφών είναι ευδιάκριτα, αλλά σύντομα και αυτά θα απορριφθούν (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Κατόπιν, σε 2-3 ημέρες η προνύμφη σταματά να τρέφεται, παραμένει ακίνητη και δημιουργεί το νέο επιδερμίδιο κάτω από αυτό που ήδη υπάρχει. Στο τέλος αυτής της περιόδου ακινησίας, η προνύμφη βγαίνει από το παλιό επιδερμίδιο και ψάχνει για τροφή. Το διάστημα, λοιπόν, από την εκκόλαψη μέχρι τη στιγμή της αφαίρεσης του επιδερμιδίου καλείται 1η ηλικία της προνύμφης. Κατόπιν και με τον ίδιο τρόπο έχουμε τη 2η ηλικία, την 3η ηλικία, την 4η ηλικία και την 5η ηλικία. Η διάρκεια της κάθε ηλικίας στο στάδιο της προνύμφης φαίνεται στον Πίνακα 6.1. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι η διάρκεια της κάθε ηλικίας εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες εκτροφής και την ποιότητα των φύλλων μουριάς, ενώ υπάρχουν φυλές και υβρίδια με διαφορετικής διάρκειας ηλικίες (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Ηλικία Προνύμφης	**Διάρκεια Διατροφής (Ημέρες)**	**Διάρκεια Έκδυσης (Ημέρες)**
1η	3	1
2η	2,5	1
3η	3	1,5
4η	4	2
5η	8	-
Σύνολο	20,5	5,5

Πίνακας 6.1 *Διάρκεια των σταδίων διατροφής και έκδυσης της προνύμφης του μεταξοσκώληκα (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

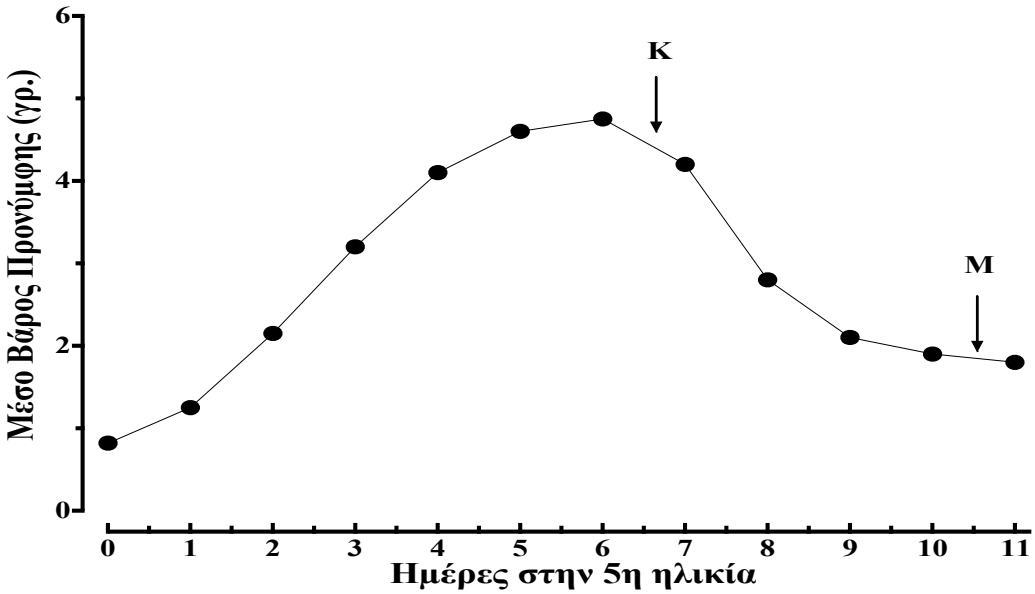
Στην πράξη, οι 3 πρώτες ηλικίες καλούνται *στάδιο νεαρών ηλικιών*, ενώ οι 2 τελευταίες ηλικίες καλούνται *στάδιο ώριμων ή μεγάλων ηλικιών*. Ο λόγος για τη διάκριση αυτή είναι ζήτημα φυσιολογίας, καθώς οι χαρακτήρες των προνυμφών στις νεαρές ηλικίες είναι διαφορετικοί από τους χαρακτήρες των προνυμφών στις μεγάλες ή ώριμες ηλικίες. Κατά συνέπεια, διαφορετικές συνθήκες εκτροφής εφαρμόζονται στο στάδιο των νεαρών ηλικιών από ότι στο στάδιο των μεγάλων ηλικιών. Η ανάπτυξη της προνύμφης εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και σε γενικές γραμμές, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο γρήγορη είναι η ανάπτυξη της προνύμφης (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Ωστόσο, υπάρχουν όρια σε αυτόν τον γενικό κανόνα. Για παράδειγμα, σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες οι προνύμφες παράγουν μικρά κουκούλια, γιατί η ανάπτυξή τους στην 5η ηλικία γίνεται πολύ γρήγορα. Επίσης, στις υψηλές θερμοκρασίες οι προνύμφες προσβάλλονται από ασθένειες ευκολότερα. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, οι μεταξοσκώληκες αργούν να τραφούν, και αυτό με τη σειρά του αυξάνει τη διάρκεια του σταδίου της προνύμφης και αυξάνει τον φόρτο εργασίας, ενώ κάνει τους μεταξοσκώληκες επιρρεπείς στις προσβολές από παθογόνα. Οι κατάλληλες συνθήκες εκτροφής είναι 26-28°C και 90% υγρασία για τις νεαρές ηλικίες και 23-25 °C και 70-80% υγρασία για τις μεγάλες ηλικίες. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2, το βάρος της προνύμφης στο μέγιστο της ανάπτυξής της είναι 8000-10000 φορές παραπάνω από το βάρος της κατά την εκκόλαψη (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Ηλικία Προνύμφης	**Λόγος βάρους ως προς το βάρος στην εκκόλαψη**
Εκκόλαψη	1
Αρχή 2ης ηλικίας	10-15
Αρχή 3ης ηλικία	75-100
Αρχή 4ης ηλικίας	350-500
Αρχή 5ης ηλικίας	1800-2200
Μέγιστο ανάπτυξης στην 5η ηλικία	8000-10000

Πίνακας 6.2 *Ρυθμός αύξησης σωματικού βάρους στο στάδιο της προνύμφης του μεταξοσκώληκα (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Η προνύμφη του μεταξοσκώληκα φτάνει το μέγιστο βάρος της μια ημέρα πριν την έναρξη πλοκής του κουκουλιού της και το βάρος αυτό μπορεί να ξεπερνά και τα 5 γραμμάρια ανά προνύμφη στις θηλυκές προνύμφες (Εικόνα 6.4) (Sakurai, 1983, 1984), Υπάρχει έντονος φυλετικός διμορφισμός ως προς το βάρος της προνύμφης, καθώς, ενώ οι αρσενικές προνύμφες έχουν γενικότερα μικρότερο βάρος, παρόλα αυτά, στην πλειονότητά τους ξεκινούν την πλοκή των κουκουλιών ταυτόχρονα με τις θηλυκές προνύμφες. Μετά την έναρξη πλοκής των κουκουλιών, το βάρος της προνύμφης μειώνεται δραματικά (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4 *Μέσος όρος βάρους της προνύμφης του μεταξοσκώληκα κατά τη διάρκεια της 5ης ηλικίας. Κ: Χρονική στιγμή έναρξης πλοκής κουκουλιού. Μ: Χρονική στιγμή μεταμόρφωσης σε νύμφη (Πηγή: Προσαρμογή από (Sakurai, 1984)).*

6.3 Περίοδοι εκτροφής του μεταξοσκώληκα κατά τη διάρκεια του έτους

Η περίοδος εκτροφής του μεταξοσκώληκα ως αγροτική δραστηριότητα περιορίζεται και οριοθετείται από την περίοδο κατά την οποία οι μουριές φέρουν φύλλα που είναι καλά για τη διατροφή του μεταξοσκώληκα. Έτσι, για παράδειγμα, η εκτροφή του μεταξοσκώληκα μπορεί να γίνει στις περιοχές της Νότιας Ελλάδας από τον Απρίλιο μέχρι και τον Νοέμβριο, ενώ στη Βόρεια Ελλάδα (π.χ. στην περιοχή του Σουφλίου) η περίοδος εκτροφής περιορίζεται από τον Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο ή τις αρχές Οκτωβρίου.

Η παραγωγή φύλλων από τη μουριά δεν επηρεάζεται από τη δριμύτητα του χειμώνα, αλλά καθορίζεται από την προσαρμογή των μουριών στις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες. Υπάρχουν ποικιλίες μουριάς που είναι προσαρμοσμένες στην πρώιμη παραγωγή φύλλων την άνοιξη, αλλά αυτό δεν αποτελεί πλεονέκτημα για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα, καθώς θα πρέπει να διατηρείται υψηλή θερμοκρασία κατά τις πρώτες ηλικίες και αυτό αυξάνει το κόστος εκτροφής παρά το γεγονός ότι μπορεί να υπάρχουν διαθέσιμα φύλλα μουριάς (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Αν η εκτροφή του μεταξοσκώληκα δεν αποτελεί αγροτική δραστηριότητα, τότε η εκτροφή του μεταξοσκώληκα μπορεί να γίνει σε όλη τη διάρκεια του έτους με την κατάλληλη διαχείριση των αυγών του μεταξοσκώληκα και τη χρήση τεχνητής δίαιτας. Οι πλέον ιδανικές συνθήκες είναι αυτές κατά τις οποίες έχουμε βροχόπτωση τους μήνες του καλοκαιριού και αυτό σημαίνει ότι περιοχές της Δυτικής Ελλάδας και ιδιαίτερα της Νοτιοδυτικής Ελλάδας έχουν καλύτερες κλιματικές συνθήκες για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα σε σχέση με περιοχές της Βορειοανατολικής Ελλάδας. Αποτελεί, λοιπόν, οξύμωρο σχήμα η διαπίστωση ότι στη Βορειοανατολική Ελλάδα έχει διατηρηθεί η εκτροφή του μεταξοσκώληκα, ενώ στη Νοτιοδυτική Ελλάδα έχει εξαφανιστεί.

Ακόμη και υπό δύσκολες κλιματικές συνθήκες, η εκτροφή του μεταξοσκώληκα μπορεί να γίνει στη χώρα μας σε 3 περιόδους όμοιες με αυτές που γίνονται σε άλλες χώρες όπως η Ιαπωνία. Αυτές οι περίοδοι είναι η περίοδος Μάιος-Ιούνιος, όπου γίνεται η λεγόμενη *ανοιξιάτικη εκτροφή*. Σε αυτήν την περίοδο τα φύλλα της

μουριάς μεγαλώνουν έντονα και συνήθως έχουμε τις καλύτερες συνθήκες για μια παραγωγική εκτροφή του μεταξοσκώληκα, γιατί η διατροφική αξία των φύλλων είναι η καλύτερη.

Η δεύτερη εκτροφή, η λεγόμενη *καλοκαιρινή εκτροφή*, μπορεί να γίνει από τα τέλη Ιουνίου μέχρι και τον Ιούλιο. Στην περίοδο αυτή, οι θερμοκρασίες στη χώρα μας είναι υψηλές και τα φύλλα της μουριάς αρχίζουν να χάνουν υγρασία. Για αυτούς τους λόγους, χρειάζονται ιδιαίτερες φροντίδες για να επιτευχθεί υψηλή παραγωγή που συνήθως ποτέ δεν είναι τόσο υψηλή όσο η ανοιξιάτικη εκτροφή. Έχει παρατηρηθεί ότι κατά τη διάρκεια αυτής της εκτροφής υπάρχουν οι μεγαλύτερες απώλειες στην παραγωγή, γιατί είναι συχνή η εμφάνιση ασθενειών λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της μειωμένης ποιότητας των φύλλων, ενώ συχνά οι αιτίες των μειωμένων αποδόσεων οφείλονται στον ατελή καθαρισμό και την απουσία απολύμανσης των χώρων του σηροτροφείου μετά την ανοιξιάτική εκτροφή (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η τρίτη εκτροφή, η λεγόμενη και *φθινοπωρινή εκτροφή*, γίνεται τον Σεπτέμβριο με Οκτώβριο και όσο πιο νωρίς, τόσο καλύτερα. Στην περίοδο αυτή, η θερμοκρασία πέφτει σταδιακά και τα φύλλα της μουριάς δεν μεγαλώνουν πολύ και σκληραίνουν και είναι δύσκολο να βρεθούν καλά και ποιοτικά φύλλα. Επίσης, επειδή πέφτουν οι θερμοκρασίες, είναι απαραίτητη η θέρμανση των χώρων εκτροφής.

Παρά το γεγονός ότι η διενέργεια 3 εκτροφών μεταξοσκωλήκων έχει επικρατήσει στις περιοχές με εύκρατο κλίμα, δεν υπάρχει κανένας φυσιολογικός περιορισμός στο να γίνονται περισσότερες εκτροφές στο διάστημα, για παράδειγμα, από τον Μάιο έως και τον Οκτώβριο. Με δεδομένη την ύπαρξη αυγών μεταξοσκώληκα όλη την περίοδο από τον Μάιο έως και τον Οκτώβριο, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5, με κατάλληλη διαχείριση και διαρρύθμιση των χώρων εκτροφής του σηροτροφείου και λαμβάνοντας μέτρα για την αποφυγή ασθενειών, οι παραγωγικές εκτροφές με τη μορφή επικαλυπτόμενων εντατικών εκτροφών μπορούν να είναι παραπάνω από τρεις. Είναι προφανές ότι οι παραγωγικές αποδόσεις σε κουκούλια θα είναι μικρότερες το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, αλλά θα μπορούν να υπάρχουν παραγωγικές αποδόσεις και αγροτικό εισόδημα από αυτές τις εκτροφές (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

6.4 Προετοιμασία για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα

6.4.1 Δημιουργία του πλάνου εκτροφών

Επειδή ο στόχος της εκτροφής μεταξοσκωλήκων είναι η παραγωγή καλών και ποιοτικών κουκουλιών, είναι σημαντικό να δημιουργείται ένα πλάνο εκτροφής πολύ πριν την έναρξη των εκτροφών και το ιδανικό αλλά και προτεινόμενο είναι οι προετοιμασίες να ξεκινούν από τον προηγούμενο χρόνο.

Οι προετοιμασίες αυτές αφορούν στο κλάδεμα και την προετοιμασία του μορεώνα τον προηγούμενο χρόνο ανάλογα με το πόσες εκτροφές θα γίνουν τον επόμενο χρόνο. Πρέπει επίσης να φροντίσουμε για την εξασφάλιση των αναγκαίων στρεμμάτων μουριάς, ώστε να υπάρχει ικανή παροχή φύλλων αλλά και την εξασφάλιση αγοράς συγκεκριμένης ποσότητας κουτιών αυγών μεταξοσκώληκα ανάλογα με τη δυνατότητα παραγωγής φύλλων και την ύπαρξη του αναγκαίου αριθμού μουριών και του αναγκαίου προσωπικού. Απολύτως απαραίτητο είναι να φροντίσουμε για την εξασφάλιση (ενοικίαση ή παραχώρηση χρήσης) ύπαρξης ενός καλού σηροτροφείου, όπου οι βέλτιστες φροντίδες εκτροφής μπορούν να εφαρμοστούν και να εξασφαλίζεται η δυνατότητα διαχείρισης των παραγόμενων κουκουλιών (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Οι παράγοντες που πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη είναι οι εξής:

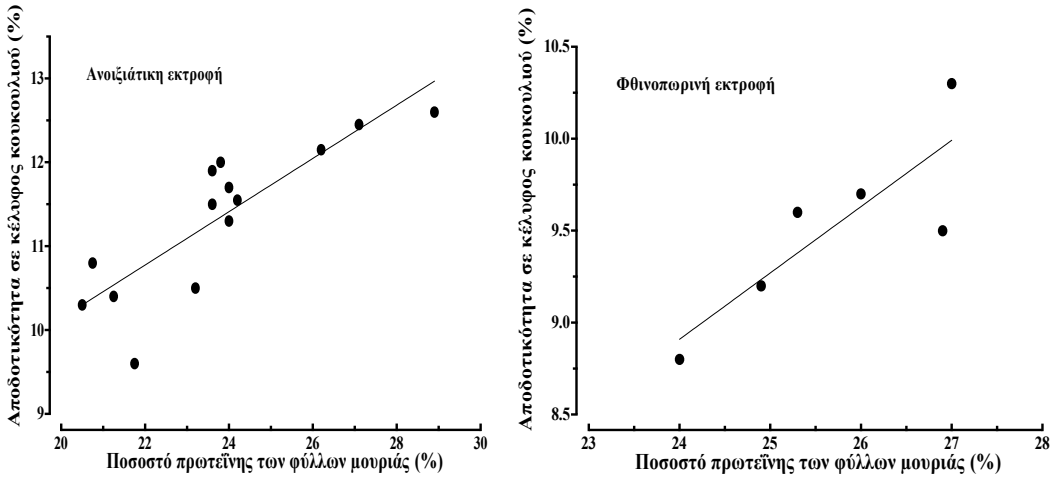
6.4.1.1 Εκτίμηση της παραγόμενης ποσότητας φύλλων ανά στρέμμα μορεώνα

Αυτή η παράμετρος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο πλάνο εκτροφής. Με βάση τις γνώσεις που υπάρχουν για τις διατροφικές απαιτήσεις των μεταξοσκωλήκων, χρειάζονται περίπου 650 κιλά φρέσκα φύλλα για την εκτροφή ενός κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα στην ανοιξιάτικη εκτροφή και περίπου 500-570 κιλά φρέσκα φύλλα απαιτούνται για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή.

Γνωρίζουμε επίσης από εργαστηριακές μελέτες ότι η κάθε προνύμφη παραγωγικών υβριδίων στην 5η ηλικία καταναλώνει περίπου 25 γραμμάρια φρέσκων φύλλων και συνολικά για όλη τη διάρκεια του σταδίου της προνύμφης 33-36 γραμμάρια φρέσκων φύλλων στην ανοιξιάτικη εκτροφή, ενώ λιγότερο είναι το ποσό των φύλλων που καταναλώνεται στις άλλες εκτροφές (Machii & Katagiri, 1991). Από τις τιμές του βάρους του κελύφους των κουκουλιών που παράγονται από τη διατροφή με διάφορες ποικιλίες μουριάς έχει βρεθεί ότι υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού πρωτεΐνης που περιέχουν τα φύλλα της μουριάς και του δείκτη παραγωγικής απόδοσης σε βάρος κελύφους του κουκουλιού. Ο δείκτης παραγωγικής απόδοσης σε βάρος κελύφους κουκουλιού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Δείκτης παραγωγικής απόδοσης σε βάρος κελύφους κουκουλιού} = \frac{\text{Βάρος κελύφους κουκουλιού (γρ.)}}{\text{ποσό φρέσκων φύλλων που καταναλώθηκαν (γρ.)}} \quad (6.1)$$

Ο δείκτης αυτός εξαρτάται από την ποικιλία της μουριάς για κάθε συγκεκριμένο υβρίδιο μεταξοσκώληκα και κυμαίνεται περίπου από 13-8 όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.5 (Machii & Katagiri, 1991). Αυτός ο δείκτης είναι χρήσιμος για την επιλογή της κατάλληλης ποικιλίας μουριάς για τη διατροφή των μεταξοσκωλήκων, αλλά απαιτεί τον υπολογισμό του ποσοστού πρωτεΐνης στα φύλλα διαφόρων ποικιλιών μουριάς για να γνωρίζουμε συγκριτικά εάν μια ποικιλία μουριάς είναι καλύτερη από μια άλλη (Εικόνα 6.5).



Εικόνα 6.5 *Συσχέτιση ανάμεσα στο ποσοστό πρωτεΐνης των φύλλων της μουριάς και τον δείκτη παραγωγικής απόδοσης σε βάρος κελύφους κουκουλιού (Υ-άξονας, αποδοτικότητα σε βάρος κελύφους κουκουλιού) για διάφορες ποικιλίες μουριάς κατά την ανοιξιάτικη και τη φθινοπωρινή περίοδο εκτροφής των μεταξοσκωλήκων (Πηγή: Προσαρμογή από (Machii & Katagiri, 1991)).*

Το ποσό των φύλλων που θα πάρουμε από ένα στρέμμα μουριάς εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες και αυτοί είναι η ποικιλία της μουριάς που έχουμε φυτέψει, το καλλιεργητικό σχήμα (δηλαδή πυκνότητα φύτευσης, ύψος του δέντρου και ηλικία του δέντρου), τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του έτους, την ποιότητα του εδάφους και τη λίπανση, τον τρόπο κλαδέματος και συλλογής των φύλλων και γενικότερα τη διαχείριση που κάνουμε σε έναν μορεώνα σε βάθος χρόνου.

Δυστυχώς δεν υπάρχει μια σταθερή τιμή για την εκτίμηση της παραγωγής φύλλων από έναν μορεώνα και παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές και διάσπαρτες αναφορές στη βιβλιογραφία, αυτές δεν μπορούν να λαμβάνονται υπόψη, γιατί αναφέρονται σε συγκεκριμένες χώρες, περιοχές ή καλλιεργητικές πρακτικές που δεν εφαρμόζονται και δεν μπορούν να εφαρμοστούν στην Ελλάδα. Για παράδειγμα, δεν υπάρχει λόγος να αναφέρει κανείς ότι παράγονται Χ κιλά φύλλων από συγκεκριμένη ποικιλία τα οποία συλλέγονται με μηχανές συλλογής φύλλων, όταν η μηχανική συλλογή φύλλων δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην Ελλάδα, καθώς η διαμόρφωση των δέντρων της μουριάς σε μεγάλο ύψος δεν επιτρέπει την εκμηχάνιση της συγκομιδής φύλλων.

Υπάρχουν, ωστόσο, δεδομένα όπως αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3 που δείχνουν την πραγματική παραγωγική δυνατότητα ενός μορεώνα. Τα δεδομένα του Πίνακα 6.3 είναι από μια συγκεκριμένη σηροτροφική μονάδα της Ιαπωνίας (Akutsu, 2022) και είναι δεδομένα από παραγωγικές συνθήκες εκτροφής και όχι από εργαστηριακές συνθήκες εκτροφής. Τα δεδομένα του Πίνακα 6.3 δείχνουν ότι σε ετήσιο επίπεδο, για την εκτροφή ενός κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα χρησιμοποιούνται 0,54 στρέμματα μορεώνα. Από εμπειρικούς υπολογισμούς για την περιοχή του Σουφλίου έχει υπολογιστεί ότι για την εκτροφή 1 κουτιού

των 20000 αυγών στην ανοιξιάτικη εκτροφή απαιτούνται 0,6 στρέμματα μορεώνα. Με άλλα λόγια, ένας μορεώνας σε μια μονάδα εκτροφής μεταξοσκωλήκων στην Ιαπωνία έχει μια παραγωγή περίπου 1166 κιλών φύλλων (630 κιλά φύλλα ανά κουτί / 0,54), ενώ στην περιοχή του Σουφλίου η τιμή αυτή για την ανοιξιάτικη εκτροφή είναι 1050 κιλά φύλλα ανά στρέμμα (630 κιλά φύλλα ανά κουτί / 0,6).

Αυτές οι αδρές αλλά πρακτικές τιμές είναι πολύ χρήσιμες για να καταστρώσουμε ένα πλάνο εκτροφής, γνωρίζοντας ότι οι αποδόσεις του μορεώνα ανά στρέμμα θα κινούνται σε αυτά τα ποσοτικά πλαίσια. Οι παραπάνω αναφερόμενες τιμές απόδοσης ενός μορεώνα αφορούν καλά καλλιεργούμενους μορεώνες (Πίνακας 2) και είναι αυτονόητο ότι σε μορεώνες που δεν καλλιεργούνται συστηματικά, αυτές οι αποδόσεις θα είναι μειωμένες.

Έτος	**Εκτροφές**	**Στρέμματα Μουριάς (Α)**	**Κουτιά αυγών (Β)**	**Παραγωγή κουκουλιών (Γ)**	**Παραγωγή / κουτί (Γ/Β)=Δ**	**Βάρος Κουκουλιού**	**Παραγωγή /Στρέμμα (Γ/Α)=Ε**	**Απόδοση /Στρέμμα Δ/Ε**
2015	1	1	1,25	46,8	37,4	1,87	46,8	0,799
2016	3	5,4	6,25	215,5	34,5	1,66	39,9	0,864
2017	4	5,4	8,75	315,5	36,1	1,67	58,4	0,618
2018	4	5,4	10	348,5	34,9	1,68	64,5	0,541
2019	4	5,4	10	388,5	38,9	1,77	71,9	0,541
2020	4	5,4	10	422,9	42,3	1,76	78,3	0,540
2021	4	5,4	10	387	38,7	1,84	71,7	0,539

Πίνακας 6.3 *Δεδομένα παραγωγικότητας σε σηροτροφική μονάδα στην Ιαπωνία (Πηγή: Προσαρμογή από (Akutsu, 2022)).*

6.4.1.2 Εργατοώρες για την παραγωγή κουκουλιών

Σχετικά με τις εργατοώρες που απαιτούνται για την παραγωγή κουκουλιών δεν μπορούν να εξαχθούν στατιστικά στοιχεία με ευκολία. Αυτό συμβαίνει, όπως είναι κατανοητό, επειδή υπάρχουν πολύ διαφορετικές μέθοδοι εκτροφής των μεταξοσκωλήκων σε διάφορες χώρες. Έτσι, ό,τι μπορεί να ισχύει σε μια χώρα μπορεί να μην ισχύει καθόλου σε μια άλλη. Επίσης, υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση ή στη μείωση των εργατοωρών για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων, αλλά και στην αύξηση ή στη μείωση των ωρών εργασίας για την καλλιέργεια του μορεώνα.

Από παλιότερα στοιχεία που υπάρχουν για την παραγωγή κουκουλιών στην Ιαπωνία, έχει υπολογιστεί ότι απαιτούνται 344 ώρες συνολικά για την παραγωγή κουκουλιών ανά στρέμμα μορεώνα και αυτές οι εργατοώρες κατανέμονται σε 65 ώρες για την καλλιέργεια 1 στρέμματος μορεώνα και 279 ώρες για την εκτροφή των προνυμφών (Ayuzawa, 1972). Αν λάβουμε υπόψη την απόδοση ανά στρέμμα του Πίνακα 6.3 ως 0,54, αυτό σημαίνει ότι με 344 εργατοώρες εκτρέφονται 1,85 κουτιά κουκούλια των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα και παράγονται 84,6 κιλά φρέσκων κουκουλιών στην καλύτερη περίπτωση (Πίνακας 6.3).

Με αυτούς τους σχετικούς υπολογισμούς μπορούμε να υπολογίσουμε ότι για την παραγωγή 84,6 κιλών φρέσκων κουκουλιών απαιτείται η εργασία 1,43 ατόμων που θα εργαστούν για 8 ώρες την ημέρα και για 30 ημέρες που διαρκεί η εκτροφή. Αυτοί οι υπολογισμοί δεν απεικονίζουν την πραγματικότητα και μπορεί να θεωρηθούν ως θεωρητικοί υπολογισμοί, δίνουν, ωστόσο, μια διάσταση των μεγεθών και των ωρών εργασίας που απαιτούνται στην εκτροφή των μεταξοσκωλήκων. Επίσης, οι παραπάνω υπολογισμοί δεν έχουν γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους, καθώς, όσο αυξάνεται η παραγωγή κουκουλιών, οι ανάγκες σε εργατοώρες υπερδιπλασιάζονται.

Έχει επίσης υπολογιστεί από παλιότερα ιαπωνικά δεδομένα (Ayuzawa, 1972) ότι απαιτούνται 277,2 ώρες για την παραγωγή 100 κιλών φρέσκων κουκουλιών και από αυτές τις ώρες, 12,4 ώρες αφορούσαν την προετοιμασία της εκτροφής, 75,7 ώρες αφορούσαν τη συλλογή φύλλων, 97,2 ώρες αφορούσαν τη διατροφή των μεταξοσκωλήκων, 49,3 ώρες αφορούσαν τις εργασίες κατά την πλοκή των κουκουλιών, 28,8 ώρες για τη συλλογή των κουκουλιών και 13,8 ώρες για άλλες εργασίες. Και εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα δεδομένα αυτά δεν αφορούν την Ελλάδα και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με ιδιαίτερη προσοχή. Είναι κυρίως οι συσχετισμοί ανάμεσα σε αυτές τις εργατοώρες που είναι σημαντικοί πάρα οι ακριβείς αριθμοί. Με βάση, λοιπόν, τέτοια δεδομένα θα πρέπει να προετοιμαστεί και το πλάνο των εκτροφών.

Εδώ θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι συνολικά η εκτροφή του μεταξοσκώληκα δεν απαιτεί από την έναρξή της την παρουσία όλου του εργατικού δυναμικού που αναφέρεται παραπάνω. Κατά γενικό κανόνα, η εκτροφή των νεαρών ηλικιών απαιτεί την παρουσία ενός ατόμου που μπορεί να κάνει όλες τις καλλιεργητικές φροντίδες

με την προϋπόθεση ότι υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε έναν μορεώνα. Ένα άτομο μπορεί εύκολα να φροντίσει την εκτροφή πολλών κουτιών των 20000 αυγών μέχρι και την 3η ηλικία. Κατά τη διάρκεια των μεγάλων ηλικιών και πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια της 5ης ηλικίας, οι απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό αυξάνονται κατακόρυφα και εκεί υπάρχει μεγάλη ανάγκη για εργατικά χέρια.

Το διάστημα από την έναρξη της 5ης ηλικίας μέχρι την ολοκλήρωση της πλοκής κουκουλιών που μπορεί να διαρκέσει 10 ημέρες, είναι αυτό που απαιτεί το υψηλό εργατικό δυναμικό και στην περίοδο αυτή είναι συχνό το φαινόμενο να απαιτείται εργασία που μπορεί να φτάνει και τις 12-14 ώρες την ημέρα (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Γενικότερα, στις παραγωγικές εκτροφές της Ιαπωνίας, μετά από χρόνια ερευνών και πρακτικών μετρήσεων σε επίπεδο παραγωγής, έχει υπολογιστεί ότι από 1 στρέμμα μορεώνα χαμηλής διαμόρφωσης των δέντρων παίρνουμε 2000 κιλά φύλλων, με αυτά ταΐζουμε 62000 προνύμφες (ή 3,1 κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα), από τις οποίες παίρνουμε 100 κιλά φρέσκα κουκούλια, από τα οποία παίρνουμε 18,5 κιλά μετάξι, με το οποίο φτιάχνουμε 13,87 κιλά ύφασμα (Anonymous, 1985).

Με αντίστροφους υπολογισμούς, για να φτιάξουμε 1 κιλό μεταξωτό ύφασμα χρειαζόμαστε 1,32 κιλά ακατέργαστο μετάξι, το οποίο παίρνουμε από 7,18 κιλά φρέσκα κουκούλια που τα παίρνουμε μετά την εκτροφή 3960 προνυμφών ταΐζοντάς τες με 143,7 κιλά φύλλα (Anonymous, 1985).

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι κατά μέσο όρο 1 προνύμφη καταναλώνει 36,3 γραμμάρια φύλλα στη διάρκεια του σταδίου διατροφής της και άρα ένα κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα απαιτεί διατροφή με 726 κιλά φύλλα, εάν θεωρήσουμε ότι δεν έχουμε απώλειες από προσβολές και ασθένειες. Από τους ίδιους υπολογισμούς προκύπτει ότι μια απώλεια προνυμφών περίπου 11% πρέπει να θεωρείται δεδομένη κατά τη διάρκεια της εκτροφής (Anonymous, 1985).

6.4.1.3 Προετοιμασία του σηροτροφείου και των υλικών εκτροφής

Ο απαραίτητος χώρος εκτροφής και τα υλικά που χρειάζονται ποικίλλουν ανάλογα με τη μέθοδο εκτροφής, τη μορφή της εκτροφής και τον αριθμό των μεταξοσκωλήκων που εκτρέφονται. Στην Ελλάδα η εκτροφή γινόταν και γίνεται παραδοσιακά σε κρεβάτια εκτροφής (Εικόνα 6.6).

Εικόνα 6.6 *Κρεβάτια εκτροφής μεταξοσκωλήκων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα. Στην αριστερή φωτογραφία φαίνονται τα κρεβάτια εκτροφής κατά την έναρξη πλοκής των κουκουλιών. Η δεξιά φωτογραφία παρουσιάζει παρόμοιες κατασκευές που χρησιμοποιούνται στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας στην Πάδοβα της Ιταλίας, όπου τα κρεβάτια είναι μετακινούμενα και μπορούν να στοιβάζονται κάθετα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Αυτά έχουν διάφορες διαστάσεις και συνήθως είναι πλάτους 1,5 μέτρου και μήκους 3-4 μέτρων. Τα κρεβάτια αυτά τοποθετούνται σε 3 ή 4 επίπεδα και είναι σταθερά στερεωμένα. Στην Ιταλία έχει επικρατήσει η εκτροφή στο πάτωμα σε θερμοκήπια ή μεγάλες αίθουσες με την τοποθέτηση των μεταξοσκωλήκων σε σειρές (Εικόνα 6.7).

Εικόνα 6.7 *Εκτροφή μεταξοσκωλήκων σε κατασκευές σαν θερμοκήπια τύπου τολ στην Ιταλία (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Στην Ιαπωνία η εκτροφή του μεταξοσκώληκα έχει επικρατήσει να γίνεται σε κατασκευές που μοιάζουν με μεγάλα κοίλα κρεβάτια (Εικόνα 6.8).

Εικόνα 6.8 *Εκτροφή μεταξοσκωλήκων σε κατασκευές σαν καλάθια στην Ιαπωνία (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Παλιότερα οι εκτροφές γίνονταν σε πολλαπλά ράφια (Εικόνα 6.9).

Εικόνα 6.9 *Εκτροφή μεταξοσκωλήκων σε ράφια στην Ιαπωνία. Τα ράφια αυτά μπορεί να είναι κατασκευασμένα από πλαστικό ή ξύλο (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Σε οποιαδήποτε μέθοδο εκτροφής από τις παραπάνω υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, ο τρόπος εκτροφής στην Ελλάδα δεν προσφέρει ευελιξία και προκαλεί ανομοιομορφία στην ανάπτυξη των προνυμφών ανάλογα με το επίπεδο του κρεβατιού εκτροφής (ψηλά ή χαμηλά), καθώς η θερμοκρασία σε ένα δωμάτιο εκτροφής είναι μεγαλύτερη στην κορυφή από ότι κοντά στο πάτωμα.

Από την άλλη πλευρά, η εκτροφή σύμφωνα με την ιαπωνική και ιταλική μέθοδο επιφέρει σωματική καταπόνηση στους εκτροφείς που αναγκάζονται να σκύβουν ή να βρίσκονται σε επικλινή θέση σώματος καθώς ταΐζουν τις προνύμφες. Αυτή η σωματική καταπόνηση είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη θεώρηση ότι η εκτροφή μεταξοσκωλήκων είναι μια κοπιώδης ενασχόληση. Ως ιδανική προτείνεται η εκτροφή των προνυμφών σε ένα επίπεδο σε κρεβάτια υπερυψωμένα σε ύψος 1-1,2 μέτρα (Εικόνα 6.10) που θα φέρουν κοιλότητα ή πλευρικά τοιχώματα για να προστατεύονται οι προνύμφες. Τα κρεβάτια αυτά πρέπει να έχουν πλάτος 1,2-1,5

μέτρο, μήκος απεριόριστο ή όσο επιτρέπει η έκταση του δωματίου εκτροφής και να επιτρέπουν την πρόσβαση στα κρεβάτια από όλες τις μεριές του κρεβατιού με διαδρόμους διαμέτρου 1,2-1,5 μέτρου.

Εικόνα 6.10 *Εκτροφή μεταξοσκωλήκων σε ένα επίπεδο σε σηροτροφείο στο Σουφλί. Στη δεξιά φωτογραφία φαίνεται ο χώρος μετά την πλοκή των κουκουλιών πάνω στο κρεβάτι εκτροφής (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Ως προς τα απαραίτητα υλικά εκτροφής των προνυμφών, και αυτά ποικίλλουν ανάλογα με τον τρόπο εκτροφής. Τα απαραίτητα υλικά εκτροφής των μεταξοσκωλήκων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.4) (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Είδος	**Ποσότητα/Μέγεθος**
Δωμάτιο Εκτροφής	60-65 τετρ. μέτρα
Επιφάνεια Εκτροφής	25 τετρ. μέτρα
Δωμάτιο Αποθήκευσης φύλλων	10 τετρ. μέτρα
Δίχτυα συλλογής προνυμφών διαφόρων μεγεθών	5 x 25 τετρ. μέτρα
Χαρτί επικάλυψης επιφανειών	10 x 25 τετρ. μέτρα
Πλαστικό κάλυμμα προνυμφών	5 x 10 τετρ. μέτρα
Καλάθια μεταφοράς φύλλων	4
Μαχαίρια κοπής φύλλων	2
Επιφάνεια κοπής φύλλων	2 τετρ. μέτρα
Ηλεκτρικά ψαλίδια κοπής κλαδιών	2
Μαχαίρια κοπής φύλλων (μασέτες)	2
Υγρόμετρο	2
Θερμόμετρο	2
Θερμαντική πηγή	1
Υλικά πλοκής κουκουλιών ιαπωνικού τύπου	13
Φτερά ή πινέλα	2
Μηχανή αφαίρεσης γναφάλων	1
Λεκάνες συλλογής κουκουλιών	10
Μηχανή απολύμανσης σηροτροφείου	1

Πίνακας 6.4 *Απαραίτητα υλικά για την εκτροφή ενός κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

6.4.1.4 Επιλογή του κατάλληλου υβριδίου μεταξοσκώληκα

Για να έχουμε σταθερή παραγωγή καλών κουκουλιών, είναι απαραίτητο να επιλέξουμε το κατάλληλο υβρίδιο για την ανοιξιάτικη και την καλοκαιρινή ή φθινοπωρινή εκτροφή. Τα υβρίδια που θα επιλεγούν θα πρέπει να είναι πιστοποιημένα και να ενδείκνυνται για την κάθε εκτροφή. Τα υβρίδια για την ανοιξιάτικη εκτροφή παράγουν καλύτερης ποιότητας μετάξι, αλλά υστερούν στην ευρωστία των προνυμφών, ενώ αυτά για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή εμφανίζουν πιο εύρωστες προνύμφες, αλλά υπολείπονται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κουκουλιού και του μεταξιού (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga,

2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Καθώς στην Ελλάδα δεν παράγονται αυγά υβριδίων μεταξοσκώληκα, είναι ορθό οι συμφωνίες για την προμήθεια αυγών υβριδίων μεταξοσκώληκα να κλείνονται 1 έτος πριν την εκτροφή για να μπορούν οι παραγωγοί των αυγών του εξωτερικού να καθορίσουν τη ζήτηση που υπάρχει και ανάλογα να προσαρμόσουν την παραγωγή αυγών.

Τα τελευταία χρόνια οι χώρες από τις οποίες εισάγονται αυγά υβριδίων μεταξοσκώληκα στην Ελλάδα είναι η Κίνα, η Βουλγαρία, η Τουρκία, η Ιταλία και η Ιαπωνία. Η εισαγωγή των αυγών υβριδίων μεταξοσκώληκα δεν γίνεται με οργανωμένο και συντονισμένο τρόπο και εναπόκειται σε ιδιώτες εμπόρους αυγών υβριδίων μεταξοσκώληκα να πωλήσουν τα κουτιά αυγών στους εκτροφείς μεταξοσκωλήκων. Όπως τονίζεται και σε άλλα κεφάλαια αυτού του βιβλίου, δεν έχει γίνει καμία αξιολόγηση των αποδόσεων των εμπορικών υβριδίων μεταξοσκώληκα που εισάγονται στην Ελλάδα εδώ και πολλές δεκαετίες και έτσι τα υβρίδια που εισάγονται δεν μπορούν να θεωρηθούν ότι αποδίδουν το μέγιστο στις συνθήκες εκτροφής που υπάρχουν στην Ελλάδα και φυσικά δεν μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι προσαρμοσμένα και ενδεδειγμένα για τις συνθήκες εκτροφής στην Ελλάδα.

Από την άλλη πλευρά, και παρά το γεγονός ότι υπάρχει συνεχής αναφορά σε αυτό το βιβλίο για τα εμπορικά υβρίδια του μεταξοσκώληκα, δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στην εκτροφή φυλών μεταξοσκώληκα στην Ελλάδα για την παραγωγή κουκουλιών. Από καθαρά τεχνική άποψη, η εκτροφή φυλών μεταξοσκώληκα δεν διαφέρει από την εκτροφή υβριδίων. Από φυσιολογική άποψη, οι φυλές μεταξοσκώληκα προφανώς έχουν μικρότερες αποδόσεις σε βάρος κουκουλιού, αλλά αυτό έχει λίγη σημασία όταν τα κουκούλια δεν αναπηνίζονται επί του παρόντος στην Ελλάδα. Επίσης, η εκτροφή φυλών απαλλάσσει τους εκτροφείς από το κόστος αγοράς υβριδίων, που σε τιμές του 2022 αγγίζει τα 20-22 Ευρώ ανά κουτί των 20000 αυγών, καθώς τους δίνει τη δυνατότητα να παράγουν αυγά από τη φυλή που εκτρέφουν και να τα χρησιμοποιούν.

6.4.2 Απολύμανση του σηροτροφείου

Η τέλεια εκτροφή του μεταξοσκώληκα καθορίζεται από:

1. τη σωστή επιλογή υβριδίου,
2. τη σωστή διαμόρφωση του χώρου εκτροφής για να προσφέρεται το κατάλληλο περιβάλλον ανάπτυξης των προνυμφών,
3. τη σωστή διατροφή με καλά φύλλα μουριάς,
4. την πρόληψη ασθενειών μέσω της απολύμανσης των σηροτροφείων και των υλικών της εκτροφής.

Οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα προκαλούνται από παθογόνα που μπορεί να βρίσκονται στον χώρο εκτροφής ή να εισάγονται μέσω των φύλλων ή των ανθρώπων που εισέρχονται στον χώρο εκτροφής. Επειδή η εκτροφή του μεταξοσκώληκα γίνεται σε συνθήκες πολύ υψηλού συγχρωτισμού των προνυμφών και σε κλιματικές συνθήκες που ευνοούν την προσβολή από παθογόνα, είναι σημαντικό να γίνεται η καλύτερη δυνατή απολύμανση των χώρων εκτροφής.

Ο πολύ υψηλός συγχρωτισμός των προνυμφών δημιουργεί συνθήκες όπου μια αρχική μικρή προσβολή μπορεί να εξελιχθεί σε ολική απώλεια της εκτροφής και είναι συχνό το φαινόμενο, οι εκτροφείς να εγκαταλείπουν την εκτροφή του μεταξοσκώληκα όταν συστηματικά έχουν προσβολές από παθογόνα τις οποίες δεν αντιμετωπίζουν.

6.4.2.1 Προετοιμασία για την απολύμανση του σηροτροφείου

Η συχνότητα απολύμανσης του σηροτροφείου εξαρτάται από τη συχνότητα διεξαγωγής των εκτροφών. Ως γενικός κανόνας, μετά το τέλος μιας εκτροφής πρέπει να γίνεται μια γενική απολύμανση του σηροτροφείου και όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εκτροφή.

Εφόσον θα γίνουν περισσότερες εκτροφές στον ίδιο χώρο και για το διάστημα από Μάιο έως τον Οκτώβριο, τότε θα πρέπει να μεσολαβεί μέγιστο διάστημα 15 ημερών από το τέλος μιας εκτροφής μέχρι την έναρξη της επόμενης ώστε άμεσα να γίνει η απολύμανση του σηροτροφείου και όλων των υλικών εκτροφής. Εφόσον γίνεται μόνο μια εκτροφή ανά έτος (η ανοιξιάτικη εκτροφή), τότε και πάλι θα πρέπει να γίνεται απολύμανση του χώρου εκτροφής μετά το τέλος της για να είναι ο χώρος εκτροφής διαθέσιμος για άλλες

χρήσεις. Ωστόσο, πάντα πρέπει να γίνεται μια γενική απολύμανση του σηροτροφείου πριν την έναρξη της περιόδου εκτροφών τον Απρίλιο κάθε έτους (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Τα δωμάτια του σηροτροφείου και τα υλικά εκτροφής θα πρέπει να πλένονται προσεκτικά με νερό και αφήνονται να στεγνώσουν. Το στέγνωμα στον ήλιο (όπου είναι δυνατόν) είναι μια καλή μέθοδος απολύμανσης λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου που σκοτώνει τους μικροοργανισμούς. Επίσης, αν το πλύσιμο με νερό συνδυαστεί με τη χρήση 1/500 αραίωσης χλωρίνης, τότε τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα.

Μια μέθοδος απολύμανσης βασίζεται στη χρήση βραστού νερού και ατμού. Η μέθοδος αυτή είναι καλή για υλικά φτιαγμένα από ξύλο ή μέταλλο, αλλά δεν είναι καλή για την απολύμανση των δωματίων του σηροτροφείου και οι εγκαταστάσεις που απαιτούνται για μια τέτοιου είδους απολύμανση είναι γενικά ακριβές. Για τους λόγους αυτούς δεν είναι εύκολη η χρήση της.

Η καλύτερη και πλέον ενδεδειγμένη μέθοδος απολύμανσης είναι η χημική απολύμανση με χρήση διαλύματος 3% φορμαλδεΰδης. Η φορμαλδεΰδη στην εμπορική της συσκευασία έχει περιεκτικότητα 37% (δηλαδή στο 1 λίτρο τα 370 χιλιοστόλιτρα είναι φορμαλδεΰδη). Αυτό το διάλυμα του 37% το αραιώνουμε 11 φορές με νερό για να φτιάξουμε ένα διάλυμα 3% φορμαλδεΰδης που θα χρησιμοποιήσουμε.

Δύο είναι τα σημεία που πρέπει να προσέξουμε όταν φτιάχνουμε αυτό το διάλυμα: 1) Θα πρέπει να διαβάσουμε την ετικέτα του σκευάσματος και να σιγουρευτούμε ότι είναι 37% φορμαλδεΰδη, γιατί συχνά υπάρχουν και εμπορικά σκευάσματα 3% φορμαλδεΰδης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα χωρίς αραίωση και τα οποία μπορεί να φέρουν την ονομασία *φορμόλη* ή *διάλυμα φορμόλης*. 2) Θα πρέπει να κάνουμε τις αραιώσεις σωστά, γιατί όταν η συγκέντρωση της φορμαλδεΰδης είναι >3%, τότε αυτή η χημική ένωση γίνεται ιδιαίτερα επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. Επίσης, όταν η συγκέντρωση φορμαλδεΰδης είναι <3%, τότε δεν πετυχαίνουμε σωστή απολύμανση του χώρου.

Η φορμαλδεΰδη είναι ιδιαίτερα τοξική για τον άνθρωπο και για τους ζωντανούς οργανισμούς. Δρα δεσμεύοντας το οξυγόνο και αυτό προκαλεί ασφυξία, ενώ σε κυτταρικό επίπεδο η δέσμευση με το οξυγόνο δημιουργεί συνθήκες νέκρωσης των κυττάρων και μουμιοποίησης των ιστών. Λόγω αυτού του τρόπου δράσης της, η νέκρωση των παθογόνων οργανισμών είναι μη αναστρέψιμη και έτσι επιτυγχάνεται η αποστείρωση των χώρων του σηροτροφείου. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η φορμαλδεΰδη είναι κατάλληλη για την αποστείρωση και των υλικών εκτροφής, φτάνει αυτά να μην αποτελούνται από σίδηρο, γιατί αυτή η χημική ένωση έχει την τάση να προκαλεί οξείδωση (σκουριά) του σιδήρου.

Ως γενικό κανόνα έχουμε ότι για 100 τετραγωνικά μέτρα σηροτροφείου χρειαζόμαστε 90 Λίτρα διαλύματος φορμαλδεΰδης 3%, δηλαδή 90 Λίτρα (3%)/11 φορές αραίωση=8,18 Λίτρα φορμαλδεΰδης 37%, και 81,8 Λίτρα νερό.

Η χορήγηση αυτής της ποσότητας φορμαλδεΰδης στον χώρο του σηροτροφείου γίνεται με τη χρήση ψεκαστήρων. Η χρήση μηχανικών ψεκαστήρων που χρησιμοποιούνται στις αγροτικές καλλιέργειες είναι μια καλή επιλογή, αλλά δεν εξασφαλίζει ότι το διάλυμα φορμαλδεΰδης θα διοχετευθεί σε όλες τις επιφάνειες, ενώ είναι δύσκολη η χρήση τους σε διαδρόμους ή μικρούς χώρους.

Έτσι, είναι προτιμότερη η χρήση ατομικών ψεκαστήρων που τους χειρίζεται ένας άνθρωπος και μπορεί να κατευθύνει τον ψεκασμό σε όλα τα σημεία του σηροτροφείου. Είναι απαραίτητο κάθε σημείο του χώρου να εμποτιστεί με το διάλυμα φορμαλδεΰδης και είναι προτιμότερο να έχουμε τα κινητά στοιχεία του χώρου εκτροφής (π.χ. ράφια) τοποθετημένα κάθετα για να ψεκαστούν. Για να έχουμε καλά αποτελέσματα, πρέπει να διατηρούμε τη θερμοκρασία του χώρου πάνω από τους 20ºC. Πρέπει επίσης να σφραγίσουμε τον χώρο εκτροφής (κλείσιμο τρυπών, σφράγισμα παραθύρων και εισόδων) καθώς και κάθε άλλο σημείο του χώρου που απολυμαίνουμε για να αποφύγουμε την είσοδο αέρα στον χώρο και την έξοδο της φορμαλδεΰδης, διαφορετικά δεν υπάρχει κανένας λόγος να κάνουμε την απολύμανση αν υπάρχει αερισμός του χώρου ταυτόχρονα.

Η δράση της φορμαλδεΰδης ως απολυμαντικό βασίζεται στην απουσία παροχής οξυγόνου στον χώρο όπου υπάρχει η φορμαλδεΰδη. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι χώροι που σχεδιάζονται πρόχειρα ή φέρουν δομικές ατέλειες δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως σηροτροφεία. Τα σηροτροφεία θα πρέπει να δημιουργούνται για αποκλειστική χρήση ως τέτοια και να παρέχουν τη δυνατότητα πλήρους απολύμανσης του εσωτερικού τους χώρου.

Ο χώρος που απολυμάναμε πρέπει να μείνει απολύτως σφραγισμένος για τουλάχιστον 15 ώρες ή παραπάνω για να έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα. Αν κάνουμε την απολύμανση του χώρου νωρίς τον Απρίλιο και σφραγίσουμε τον χώρο για 1 εβδομάδα, τότε έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα στην ανοιξιάτικη εκτροφή (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η φορμαλδεΰδη είναι ιδιαίτερα τοξική για τον άνθρωπο. Έτσι, συνιστάται ο ψεκασμός του σηροτροφείου να γίνεται από ομάδα 2-3 ανθρώπων ως εξής: Κατά την απολύμανση του σηροτροφείου, κάθε χειριστής της μηχανής απολύμανσης και των διαλυμάτων φορμαλδεΰδης πρέπει να φορά ολόσωμη φόρμα που καλύπτει το σώμα και να φορά επίσης αντιασφυξιογόνο μάσκα καλής ποιότητας. Η απολύμανση πρέπει να γίνεται από ομάδα 2-3 ατόμων. Καθώς ένα άτομο ψεκάζει τον χώρο του σηροτροφείου, άλλα 1 ή 2 άτομα πρέπει να βρίσκονται έξω και κοντά για να βοηθήσουν το άτομο που ψεκάζει σε περίπτωση που αισθανθεί δυσφορία. Κάθε άτομο ψεκάζει για 15 λεπτά μέσα στον χώρο και όχι παραπάνω και ο ψεκασμός ολοκληρώνεται με αυτόν τον διαδοχικό τρόπο εργασίας και παράλληλης επίβλεψης. Η χρήση ολόσωμης φόρμας εργασίας συνιστάται, γιατί η φορμαλδεΰδη μπορεί να προκαλέσει ελαφρά εγκαύματα στο δέρμα. Η χρήση αντιασφυξιογόνου μάσκας είναι απολύτως απαραίτητη κα πρέπει να καλύπτει επίσης τα μάτια, γιατί τα μάτια είναι το πιο ευαίσθητο σημείο του ανθρωπίνου σώματος σε σχέση με τη φορμαλδεΰδη.

Σε περίπτωση που κάποιος χειριστής του ψεκαστήρα απολύμανσης αισθανθεί δυσφορία ή ανικανότητα να αναπνεύσει, τότε πρέπει να του χορηγούνται άμεσα οι πρώτες βοήθειες που συνίστανται στην έκθεσή του σε καθαρό αέρα. Οι άνθρωποι που κάνουν τέτοιου είδους απολύμανση πρέπει να έχουν σχετική εμπειρία, να γνωρίζουν από χορήγηση πρώτων βοηθειών σε άλλα άτομα και, φυσικά, θα πρέπει να γνωρίζουν ότι δεν θα πρέπει να υπερβάλουν και να ακολουθούν τους παραπάνω κανόνες εναλλασσόμενου ψεκασμού του απολυμαντικού.

Παρά το γεγονός ότι η χρήση της φορμαλδεΰδης για την αποστείρωση του σηροτροφείου μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα για την ανθρώπινη υγεία, είναι η μοναδική ασφαλής και αποτελεσματική λύση για την απολύμανση του σηροτροφείου και των υλικών εκτροφής και η χρήση της μεθόδου αυτής είναι γενικευμένη. Στο παρελθόν, στην Ελλάδα χρησιμοποιούνταν η απολύμανση με ατμούς θείου ή η χρήση ασβέστη, αλλά καμία από αυτές τις μεθόδους δεν είναι αποτελεσματική για την εξόντωση παθογόνων, όπως οι ιοί που κυρίως προσβάλλουν τους μεταξοσκώληκες στις εκτροφές στην Ελλάδα. Έχει επίσης προταθεί η χρήση παραφορμαλδεΰδης σε μορφή ατμών (χρήση 60 γραμμαρίων ανά 10 τετραγωνικά μέτρα χώρου) μετά από θέρμανσή της, αλλά υπάρχει ο κίνδυνος ανάφλεξης αυτής της χημικής ένωσης (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η απολύμανση των χώρων πρέπει να είναι γενικευμένη και συνολική και πρέπει να απολυμαίνουμε ακόμη και βοηθητικούς χώρους. Επίσης, οι εργαζόμενοι στον χώρο εκτροφής θα πρέπει να ακολουθούν καθημερινά τις εξής διαδικασίες υγιεινής: Θα πρέπει όταν εισέρχονται στον χώρο εκτροφής να βγάζουν τα παπούτσια τους και να αλλάζουν τα ρούχα τους, γιατί και αυτά μπορεί να είναι μολυσμένα με παθογόνα. Μια καλή πρακτική είναι η χρήση μιας πετσέτας ή χαλιού στην είσοδο του σηροτροφείου, το οποίο να είναι συνεχώς εμποτισμένο με διάλυμα φορμαλδεΰδης 3%, στο οποίο οι εργαζόμενοι εμβαπτίζουν τα παπούτσια που θα φορέσουν για να εισέλθουν στον χώρο εκτροφής. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ειδικό αντιμικροβιακό κάλυμμα στην είσοδο του σηροτροφείου (Εικόνα 6.11) ή ποδονάρια μιας χρήσεως.

Εικόνα 6.11 *Ειδικό αντιμικροβιακό δάπεδο που τοποθετείται στην είσοδο του χώρου εκτροφής στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας στην Πάδοβα της Ιταλίας. Κάθε άτομο που εισέρχεται στον χώρο εκτροφής υποχρεούται να βγάλει τα παπούτσια του και να φορέσει συγκεκριμένες παντόφλες ή ποδονάρια και να πατήσει πάνω σε αυτό το δάπεδο πριν την είσοδό του στον χώρο εκτροφής (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Για τους εργαζόμενους που χειρίζονται τους μεταξοσκώληκες ισχύουν οι ίδιες προφυλάξεις καθώς επίσης και ότι θα πρέπει να πλένουν τα χέρια τους με απολυμαντικό διάλυμα και είναι καλό να χρησιμοποιούν φτηνά γάντια μιας χρήσεως όταν χειρίζονται τις προνύμφες και ειδικά τις νεαρές προνύμφες. Τέλος, θα πρέπει να

σημειωθεί ότι θα πρέπει να αποθαρρύνονται οι επισκέψεις ξένων ατόμων στο σηροτροφείο και ιδιαίτερα οι επισκέψεις από άτομα που διενεργούν εκτροφές ταυτόχρονα σε άλλα σηροτροφεία.

6.5 Εκκόλαψη των αυγών και εκτροφή των νεαρών προνυμφών

Όταν αποφασιστεί η ημέρα της εκκόλαψης των προνυμφών σύμφωνα με το πλάνο εκτροφής που έχουμε εκπονήσει, τότε βγάζουμε τα κουτιά των αυγών που πρόκειται να εκκολαφθούν από τους 2C όπου τα διατηρούμε και τα βάζουμε προς εκκόλαψη.

Συνήθως, η εκκόλαψη των αυγών του μεταξοσκώληκα γίνεται 12 ημέρες μετά τη μεταφορά τους από τους 2 ºC στους 25 ºC, όπου γίνεται η επώαση των αυγών. Αυτό το διάστημα των 12 ημερών ποικίλλει ανάλογα με το υβρίδιο που χρησιμοποιούμε και μπορεί να είναι 10 ή 11 ημέρες αλλά ποτέ λιγότερο. Σε περίπτωση που το διάστημα αυτό είναι λιγότερο από 10 ή 11 ημέρες, τότε σίγουρα τα αυγά του μεταξοσκώληκα δεν έχουν διαχειριστεί σωστά και είναι καλύτερο να μην χρησιμοποιηθούν.

Ο σηροτρόφος θα πρέπει να διατηρεί ένα ημερολόγιο, αλλά και άλλα αποδεικτικά στοιχεία που θα πιστοποιούν ότι η επώαση των αυγών μέχρι την εκκόλαψή τους διήρκεσε λιγότερο από 10 ημέρες. Εξίσου σημαντικό είναι ο σηροτρόφος να μετρά το ποσοστό εκκολαψιμότητας των αυγών που επωάστηκαν διατηρώντας έναν μικρό αριθμό αυγών σε διακριτό σημείο του χώρου επώασης και μετρώντας, μετά την εκκόλαψη των αυγών, το ποσοστό εκκολαψιμότητας που εκφράζεται πάντα ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Αυτό μπορεί να γίνει, για παράδειγμα, χωρίζοντας 300 αυγά σε ομάδες των 100 αυγών και διατηρώντας τις τρεις αυτές ομάδες αυγών σε διακριτά σημεία ξεχωριστά, αλλά κοντά με τα άλλα αυγά που επωάζονται. Μετά την εκκόλαψη των αυγών, μπορούν να μετρηθούν αυτά που δεν εκκολάφθηκαν και να υπολογιστεί το ποσοστό εκκολαψιμότητας. Κρατώντας τέτοιες και άλλες λεπτομερείς σημειώσεις, ένας σηροτρόφος μπορεί να γνωρίζει ότι η συγκεκριμένη αγορά αυγών υβριδίων μεταξοσκώληκα από συγκεκριμένο έμπορο αυγών μεταξοσκώληκα είναι μια αξιόπιστη ή όχι αγορά προϊόντος.

Εικόνα 6.12 *Στάδιο εμφάνισης των φύλλων της μουριάς την άνοιξη στο οποίο πρέπει να αρχίζει η επώαση των αυγών του μεταξοσκώληκα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η συλλογή και διατήρηση τέτοιων υπολογισμών και στοιχείων από τους σηροτρόφους στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα είναι εξαιρετικά σημαντική ώστε να καταφέρνουν να επιλύουν προβλήματα και να κάνουν τις σωστές επιλογές.

Εάν πρόκειται για οποιονδήποτε λόγο να καθυστερήσουμε το πρώτο τάισμα των προνυμφών, τότε τοποθετούμε τα αυγά κατά τη διάρκεια της επώασης για 3-4 ημέρες στους 5 ºC. Αν επίσης, για οποιονδήποτε λόγο δεν μπορούμε να κάνουμε το πρώτο τάισμα των προνυμφών, τότε τοποθετούμε τις προνύμφες που έχουν εκκολαφθεί στους 7-10 ºC για 1-2 ημέρες. Και οι δύο αυτές πρακτικές θα πρέπει, ωστόσο, να αποφεύγονται και θα πρέπει να είναι οι τελευταίες λύσεις που έχουμε όταν δεν μπορούμε να κάνουμε το πρώτο τάισμα την ημέρα της εκκόλαψης (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

6.5.1 Εκκόλαψη των προνυμφών

Η καλύτερη περίοδος για την εκκόλαψη των προνυμφών είναι όταν υπάρχουν 4-5 φύλλα στο δέντρο της μουριάς την άνοιξη. Υπό κανονικές συνθήκες, όταν ένας οφθαλμός στη μουριά έχει φουσκώσει, σε 3-4 ημέρες εμφανίζονται τα άκρα των φύλλων στον οφθαλμό (Εικόνα 6.12) και σε 2-3 ημέρες φαίνονται τα πρώτα φύλλα. Σε αυτές τις 2-3 ημέρες είναι η περίοδος που πρέπει να ξεκινήσει η επώαση των αυγών του μεταξοσκώληκα.

Η εκκόλαψη των αυγών μετά την έναρξη της επώασής τους γίνεται 2-3 ημέρες από τη στιγμή που θα δούμε την ευδιάκριτη αλλαγή στο χρώμα των αυγών που συνοδεύεται από την εμφάνιση της κεφαλικής κάψας του εμβρύου ως μπλε-μαύρη κηλίδα κάτω από το κέλυφος και η οποία εμφανίζεται καθώς το έμβρυο καταπίνει τη λέκιθο του αυγού και αλλάζει θέση μέσα στο αυγό.

Για την εκκόλαψη των αυγών στην καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή θα πρέπει να εξασφαλίσουμε με το κατάλληλο κλάδεμα της μουριάς ότι θα έχουμε τρυφερά φύλλα διαθέσιμα και επίσης θα πρέπει να εξασφαλίσουμε καλής ποιότητας αυγά, τα οποία δεν θα πρέπει να εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες μετά την έναρξη της επώασης.

Οι προνύμφες εκκολάπτονται συνήθως το πρωί και μέχρι τις 8-9 το πρωί, οι προνύμφες που πρόκειται να εκκολαφθούν την ημέρα της εκκόλαψης, έχουν εκκολαφθεί. Τα αυγά που δεν εκκολάφθηκαν το πρωί θα εκκολαφθούν το πρωί της επόμενης ημέρας, εφόσον φαίνονται να είναι σε καλή κατάσταση. Η χρήση φωτοπεριόδου βοηθά ώστε να γίνει συγχρονισμένα η εκκόλαψη όλων των αυγών και συνήθως η εκκόλαψη γίνεται μέσα σε λίγες ώρες από την έναρξη της φωτοπεριόδου (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Για τις επόμενες 1-2 ώρες οι νεαρές προνύμφες αρχίζουν να ψάχνουν για τροφή και πρέπει οπωσδήποτε να ταϊστούν, γιατί αν αυτό δεν γίνει εκείνη τη στιγμή, πολλές προνύμφες δεν θα καταφέρουν να επιβιώσουν. Έχοντας ήδη προετοιμάσει τα ράφια ή κρεβάτια όπου θα εκτρέφονται οι προνύμφες, είναι καλύτερο να έχουμε χωρίσει την εκτροφή του κάθε κουτιού αυγών σε συγκεκριμένο ράφι ή κρεβάτι εκτροφής και να έχουμε το κάθε κρεβάτι στο ίδιο επίπεδο με όλα τα άλλα στα οποία θα βρίσκονται οι προνύμφες.

Αυτό που κάνουμε είναι το εξής: Βάζουμε τα αυγά του κάθε κουτιού πάνω σε ένα αντικολλητικό χαρτί διαστάσεων όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (βλέπε Πίνακα 6.5).

Απλώνουμε τα αυγά σε όλη την επιφάνεια σύμφωνα με τις οδηγίες του Πίνακα 6.5 ώστε να καλύψουν την επιφάνεια που αναφέρεται. Όταν οι προνύμφες εκκολαφθούν και πριν αρχίσουν να περιφέρονται, βάζουμε πάνω τους ένα κομμάτι πλαστικό δίχτυ με διαστάσεις τρύπας ικανό για να περάσει ανάμεσά της μια προνύμφη (Εικόνα 6.13). Στην πράξη, ένα αντικουνουπικό δίχτυ, όπως αυτά που βάζουμε στα παράθυρα για να μην περνάνε τα κουνούπια, είναι ιδανικό.

Εικόνα 6.13 *Έναρξη εκκόλαψης των αυγών από 1 κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα. Μετά την προσθήκη του διχτυού πάνω στα αυγά θα χορηγηθεί το 1ο γεύμα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Ηλικία	Ημέρα εκτροφής	Θερμοκρασία	Υγρασία (%)	Ώρες παροχής φύλλων	Τάισμα ανά ηλικία	Ποσότητα φύλλων ανά τάισμα (κιλά)	Μέγεθος φύλλων σε εκατοστά (τετράγωνα)	Επιφάνεια κρεβατιού (τετραγωνικά μέτρα)	Τεχνική μεταχείριση
1η Ηλικία	1	28,3	95	10:00	1	0,08	0,5	0,1	Συλλογή και απολύμανση μεταξοσκωλήκων στο 1ο τάισμα
				15:00	2	0,05	0,6	0,12	Διευθέτηση κρεβατιών
				22:00	3	0,09	0,7	0,2	Αραίωμα κρεβατιών
	2	28	95	08:00	4	0,14	0,7	0,3	Αραίωμα και διευθέτηση κρεβατιών
				15:00	5	0,2	1		Διευθέτηση κρεβατιών
				22:00	6	0,25	1	0,45	Αραίωμα και διευθέτηση κρεβατιών, επίστρωση ξηραντικού υλικού
	3	28	95	08:00	7	0,29	1,3	0,7	Αραίωμα και διευθέτηση κρεβατιών, επίστρωση ξηραντικού υλικού
				15:00	8	0,2	1		Διακοπή ταΐσματος και διαχωρισμός των καθυστερημένων προνυμφών στην έκδυση
1η Εκδυση		26,7	85	22:00	9	0,05	Ορθογώνια τεμάχια φύλλου		Προστασία στο στάδιο της έκδυσης
	4			08:00					
2η Ηλικία		27,2	95	15:00	1	0,27	1,6	0,8	Απολύμανση, τάισμα μετά την τοποθέτηση διχτυού
				22:00	2	0,36	1,6		
	5	26,7	95	08:00	3	0,45	1,6	1	Απομάκρυνση διχτυού
				15:00	4	0,5	2		Διευθέτηση κρεβατιών
				22:00	5	0,6	2	1,4	Αραίωμα κρεβατιών
	6	27	95	08:00	6	0,68	2,3	1,6	Τοποθέτηση διχτυού

				15:00	7	0,45	1,6		Καθάρισμα πριν την έκδυση
2η Εκδυση		25,5	85	22:00	8	0,05	Ορθογώνια τεμάχια φύλλου		Διακοπή ταΐσματος και διαχωρισμός των καθυστερημένων στην έκδυση
	7			08:00					Προστασία στο στάδιο της έκδυσης
3η Ηλικία				15:00	1	0,63	Χοντροκομμένα φύλλα	1,6	Απολύμανση, τάισμα μετά την τοποθέτηση διχτυού
				22:00	2	0,63	Φύλλα		
	8	25,5	90	08:00	3	0,9	Φύλλα	2,4	Καθάρισμα μετά την έκδυση
				15:00	4	1,1	Φύλλα		Διευθέτηση κρεβατιών
				22:00	5	1,3	Φύλλα		Αραίωμα κρεβατιών
	9	25	90	08:00	6	1,6	Φύλλα		Διευθέτηση κρεβατιών
				15:00	7	2,2	Φύλλα	3,2	Αραίωμα κρεβατιών
				22:00	8	2,5	Φύλλα		
	10	25	90	08:00	9	3	Φύλλα	3,6	Επίστρωση ξηραντικού υλικού και τοποθέτηση διχτυού
				15:00	10	2	Φύλλα		Καθάρισμα πριν την έκδυση
3η Εκδυση				22:00	11	0,3	Φύλλα		Τάισμα κατά περιοχές
	11	24	80	08:00					Προστασία στο στάδιο της έκδυσης
4η Ηλικία				15:00					
				22:00	1	2,7	Φύλλα		Απολύμανση, τοποθέτηση διχτυού και τάισμα
	12	24	75	07:30	2	3,2	Φύλλα	3,6	Καθάρισμα πριν από το τάισμα
				13:00	3	3,6	Φύλλα	4,8	Διευθέτηση κρεβατιών
				17:00	4	4	Φύλλα		
				22:30	5	5	Κλαδιά	6	Αραίωμα κρεβατιών
	13	24	75	07:30	6	6	Κλαδιά		Επίστρωση ξηραντικού υλικού

				13:00	7	6,8	Κλαδιά		Διευθέτηση κρεβατιών
				17:00	8	7,2	Κλαδιά		Αραίωμα κρεβατιών
				22:30	9	8,1	Κλαδιά	10	
	14	24	75	07:30	10	10	Κλαδιά		Επίστρωση ξηραντικού υλικού
				13:00	11	9	Κλαδιά		Καθάρισμα πριν από την έκδυση
				17:00	12	7,2	Χοντροκομμένα φύλλα		
				22:30	13	4,5	Φύλλα		
	15	24	75	07:30	14	1,8	Φύλλα		Διακοπή ταΐσματος
4η Εκδυση				13:00					
				17:00					
				22:30					
	16	24	75	07:30					
				13:00					Διαχωρισμός των καθυστερημένων στην έκδυση, προστασία στην έκδυση
				17:00					
				22:30					
5η Ηλικία	17	24	75	07:30	1	7,5	Κλαδιά	12	Απολύμανση και πρώτο τάισμα μετά την έκδυση
				13:00	2	8	Κλαδιά		Αραίωμα, ενδιάμεσο καθάρισμα
				17:00	3	8,5	Ολόκληρα κλαδιά		
				22:30	4	9	Ολόκληρα κλαδιά		
	18	24	75	07:30	5	10	Ολόκληρα κλαδιά		
				13:00	6	10	Ολόκληρα κλαδιά		
				17:00	7	10	Ολόκληρα κλαδιά	18	Αραίωμα, ενδιάμεσο καθάρισμα
				22:30	8	11	Ολόκληρα κλαδιά		
	19	24	75	07:30	9	12	Ολόκληρα κλαδιά		
				13:00	10	13	Ολόκληρα κλαδιά	21	Αραίωμα, ενδιάμεσο καθάρισμα
				17:00	11	14	Ολόκληρα κλαδιά		

				22:30	12	15	Ολόκληρα κλαδιά		
	20	24	75	07:30	13	16	Ολόκληρα κλαδιά		
				13:00	14	17	Ολόκληρα κλαδιά	25	Αραίωμα, ενδιάμεσο καθάρισμα
				17:00	15	18	Ολόκληρα κλαδιά		
				22:30	16	19	Ολόκληρα κλαδιά	28	Αραίωμα, ενδιάμεσο καθάρισμα
	21	24	75	07:30	17	20	Ολόκληρα κλαδιά		
				13:00	18	22	Ολόκληρα κλαδιά		
				17:00	19	25	Ολόκληρα κλαδιά		
				22:30	20	27	Ολόκληρα κλαδιά		
	22	24	75	07:30	21	29	Ολόκληρα κλαδιά		
				13:00	22	29	Ολόκληρα κλαδιά		
				17:00	23	30	Ολόκληρα κλαδιά		
				22:30	24	29	Ολόκληρα κλαδιά		
	23	24	75	07:30	25	27	Ολόκληρα κλαδιά		
				13:00	26	25	Ολόκληρα κλαδιά		
				17:00	27	22	Ολόκληρα κλαδιά		
				22:30	28	20	Ολόκληρα κλαδιά		
	24	24	75	07:30	29	18	Ολόκληρα κλαδιά		
				13:00	30	14	Ολόκληρα κλαδιά		
				17:00	31	13	Ολόκληρα κλαδιά	28	Έναρξη ωρίμανσης
				22:30	32	13	Ολόκληρα κλαδιά		
	25	24	75	07:30	33	7	Κλαδιά		Απολύμανση
				13:00	34	4	Κλαδιά		Πλοκή κουκουλιών
				17:00	35	3	Κλαδιά		
				22:30					Διαχείριση κατά την πλοκή κουκουλιών

Πίνακας 6.5 *Μέθοδος εκτροφής με κάλυψη των προνυμφών στις 3 πρώτες ηλικίες με διαφανές πλαστικό μόνο κατά τη διατροφή και όχι στις εκδύσεις. Όλα τα δεδομένα ισχύουν για 1 κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα, Η διάρκεια της κάθε ηλικίας μπορεί να διαφέρει ανά υβρίδιο. Το διαφανές πλαστικό είναι αυτό που χρησιμοποιείται στην εστίαση για κάλυψη τραπεζιών. Σε περίπτωση συνεταιριστικής εκτροφής, το πλάνο εκτροφής ακολουθείται από τη 12η ημέρα εκτροφής από τον κάθε εκτροφέα, ενώ η συνεταιριστική εκτροφή διαρκεί μέχρι και την 11η ημέρα του σταδίου της προνύμφης (Πηγή: Προσαρμογή από Ανώνυμο, 1989)).*

Απλώνουμε αμέσως μετά ένα πολύ λεπτό στρώμα φύλλων μουριάς που είναι κομμένα σε τετράγωνα κομμάτια όπως αναφέρεται στον Πίνακα 6.5. Είναι πολύ σημαντικό το στρώμα αυτό των φύλλων να είναι πολύ λεπτό και η ποσότητα των φύλλων θα πρέπει να είναι ακριβώς όπως περιγράφεται στον Πίνακα 6.5. Κατόπιν καλύπτουμε το ράφι ή κρεβάτι με αντικολλητικό χαρτί προσέχοντας να μην έρχεται σε επαφή με τις προνύμφες ή τα φύλλα (αναδιπλώνοντάς το στις άκρες).

Μια εναλλακτική μέθοδος είναι η χρήση του φτηνού πλαστικού που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των τραπεζιών στα εστιατόρια (Πίνακας 6.5). Καλύπτουμε με αυτό το ράφι ή κρεβάτι πριν την εκκόλαψη, βάζουμε πάνω σε αυτό ένα κομμάτι αντικολλητικό χαρτί και πάνω στο χαρτί τα αυγά ενός κουτιού και αφού βάλουμε ένα δίχτυ όπως παραπάνω και ταΐσουμε τις προνύμφες, κατόπιν καλύπτουμε το ράφι ή κρεβάτι με το ίδιο πλαστικό κάλυμμα.

Προσέχουμε ώστε να μην έχουμε ρεύμα αέρα, η θερμοκρασία να είναι συνεχώς 28ºC και η υγρασία στο 90%. Είναι καλό να υπάρχει φωτισμός του χώρου και ο φωτισμός αυτός θα πρέπει να ρυθμίζεται με χρονοδιακόπτη ώστε να είναι 12 ώρες φως και 12 ώρες σκοτάδι. Είναι επίσης πολύ σημαντικό να έχουμε όλα τα κουτιά που εκτρέφονται στο ίδιο επίπεδο, γιατί υπάρχουν πάντα διαφορές στη θερμοκρασία ενός δωματίου και μικρές διαφορές στη θερμοκρασία έχουν μεγάλη επίδραση στην ανάπτυξη των προνυμφών. Επειδή σε ένα δωμάτιο η θερμοκρασία είναι ψηλότερη στο ταβάνι και χαμηλότερη στο πάτωμα, αν η εκτροφή γίνεται σε ράφια, αυτά θα πρέπει να μετακινούνται συνεχώς πάνω ή κάτω κάθε φορά που ταΐζουμε για να αντισταθμίζουμε τη διαφορά θερμοκρασίας και την επίδραση αυτής της διαφοράς στην ανάπτυξη των προνυμφών. Έτσι προτιμάται η εκτροφή όλων των κουτιών σε ένα επίπεδο, γιατί οι διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη των προνυμφών λόγω διαφορετικής θέσης στο δωμάτιο εκτροφής δημιουργεί τεράστια προβλήματα στον συγχρονισμό της εκτροφής και αυξάνει πάρα πολύ τον φόρτο εργασίας.

Μετά από 5 ώρες από το πρώτο τάισμα, κάνουμε το 2ο τάισμα όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.5. Πριν ξεκινήσουμε το κόψιμο των φύλλων, είναι σημαντικό να αφαιρέσουμε τα καλύμματα από τα κρεβάτια για να αεριστεί η στρωμνή και οι προνύμφες που τρέφονται και να μειωθούν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα. Μετά το 2ο τάισμα, καλύπτουμε πάλι τις προνύμφες με το χαρτί ή το πλαστικό. Όταν κάνουμε το 3ο τάισμα το βράδυ της ίδιας ημέρας (ημέρα 1 της εκτροφής), τότε αφαιρούμε το δίχτυ (πριν το 3ο τάισμα) με τις προνύμφες που βρίσκονται πάνω σε αυτό, και το τοποθετούμε δίπλα από το χαρτί που περιέχει τα κελύφη των αυγών.

Κατόπιν κοιτάμε προσεκτικά εάν έχουν απομείνει προνύμφες κάτω από το δίχτυ και υπολογίζουμε τον αριθμό των αυγών που έχουν εκκολαφθεί. Εάν το ποσοστό των αυγών που δεν έχουν εκκολαφθεί είναι <3% και δεν υπάρχουν προνύμφες κάτω από το δίχτυ, τότε μπορούμε να απομακρύνουμε και να πετάξουμε το χαρτί με τα αυγά. Συνήθως, εάν η επώαση των αυγών δεν γίνει με ιδανικό τρόπο το ποσοστό των αυγών που δεν εκκολάφθηκαν είναι >3% και τότε βάζουμε το δίχτυ με τις προνύμφες που εκκολάφθηκαν ακριβώς δίπλα και λίγο απομακρυσμένα από το σημείο όπου υπάρχουν αυγά που δεν εκκολάφθηκαν, κάνουμε το 3ο τάισμα των προνυμφών, βάζουμε ένα κομμάτι δίχτυ πάνω από τα αυγά που δεν εκκολάφθηκαν και σκεπάζουμε με αντικολλητικό χαρτί ή πλαστικό όπως παραπάνω.

Είναι πολύ βασικό σημείο για τη σωστή εκτροφή η ποιότητα των φύλλων που δίνουμε στις προνύμφες. Τα φύλλα, ιδιαίτερα στην 1η ηλικία, θα πρέπει να είναι τα πιο ποιοτικά, γιατί αυτό εξασφαλίζει τη γρήγορη ανάπτυξη και την ομοιομορφία της εκτροφής. Τα φύλλα επίσης θα πρέπει να συλλέγονται αμέσως πριν το τάισμα στις πρώτες ηλικίες και να μην αφήνονται να μαραθούν. Επειδή η ποσότητα των φύλλων που χρειαζόμαστε ειδικά στις πρώτες ηλικίες είναι συγκριτικά πολύ μικρή, η συλλογή τους αμέσως πριν το τάισμα δεν είναι δύσκολη.

Στις 3 πρώτες ηλικίες οι προνύμφες προτιμούν την υψηλή υγρασία (90%) και μεγαλώνουν καλύτερα και γρηγορότερα στους 26-28 ºC, οπότε η πρακτική της κάλυψης των προνυμφών με πλαστικό στοχεύει στο να κρατήσει τη θερμοκρασία και την υγρασία υψηλή για να μην μαραίνονται τα φύλλα της μουριάς. Ωστόσο, θα πρέπει να αποφεύγεται η αύξηση της θερμοκρασίας >30C, γιατί τότε, αν υπάρχει προσβολή από ιούς, η προσβολή εξαπλώνεται πολύ γρήγορα. Επίσης, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 2% στο κρεβάτι εκτροφής και για αυτό θα πρέπει συχνά να ανοίγουμε το πλαστικό κάλυμμα για αερισμό των προνυμφών. Επίσης, θα πρέπει να επιτρέπουμε τον αερισμό του δωματίου εκτροφής 3 φορές την ημέρα.

Οι ιδανικές συνθήκες εκτροφής είναι αυτές που αναφέρονται στον Πίνακα 6.5, όπου φαίνεται ότι η θερμοκρασία πρέπει να είναι υψηλότερη στην 1η ηλικία και σταδιακά να μειώνεται. Όπως επίσης φαίνεται στον Πίνακα 6.5, κατά τη διάρκεια της έκδυσης (γνωστή στη σηροτροφική πρακτική ως «ύπνος») πρέπει να μειώνεται η υγρασία σημαντικά για να έχουμε ομοιόμορφη ανάπτυξη των προνυμφών. Έτσι, λίγο πριν και κατά τη διάρκεια του 1ου ύπνου αφαιρούμε το επάνω πλαστικό κάλυμμα ώστε να ξηραθεί σημαντικά η στρωμνή.

Μετά το τέλος της 1ης έκδυσης και εφόσον όλες οι προνύμφες έχουν εκδυθεί, προσθέτουμε ένα δίχτυ πάνω από τις προνύμφες και πάνω σε αυτό προσθέτουμε το πρώτο τάισμα της 2ης ηλικίας. Το δίχτυ αυτό θα πρέπει να έχει μεγαλύτερες οπές για να μπορούν οι προνύμφες να περάσουν από αυτό και να ανέβουν στα φύλλα. Καλύπτουμε και πάλι τις προνύμφες με το πλαστικό κάλυμμα και το πρωί της επόμενης ημέρας αφαιρούμε το δίχτυ με τις προνύμφες πάνω του και το βάζουμε στην άκρη. Παρατηρούμε τη στρωμνή που έχει μείνει και συλλέγουμε τις προνύμφες που έχουν μείνει κάτω από το δίχτυ ή πάνω στη στρωμνή κάτω από το δίχτυ.

Αν ακολουθήσουμε τις οδηγίες του Πίνακα 6.5 πιστά, τότε όλες οι προνύμφες θα βρίσκονται στα φύλλα πάνω από το δίχτυ. Αν έχουν μείνει πολλές προνύμφες κάτω από το δίχτυ που ακόμα βρίσκονται σε έκδυση, τότε οι φροντίδες μας δεν ήταν σωστές και η ανάπτυξη είναι ανομοιόμορφη. Για να μην φτάσουμε σε αυτήν την κατάσταση, θε έπρεπε να μην είχαμε βιαστεί να κάνουμε το πρώτο τάισμα στη 2η ηλικία, να είχαμε ξηράνει περισσότερο τη στρωμνή και να μην είχαμε βιαστεί να ανοίξουμε το πλαστικό κάλυμμα όταν ξεκίνησε η 1η έκδυση.

Η ανομοιόμορφη ανάπτυξη σημαίνει ότι σταδιακά θα αρχίσουμε να χάνουμε προνύμφες που θα σκεπάζονται από φύλλα, καθώς θα βρίσκονται σε στάδιο ύπνου, όταν οι άλλες προνύμφες τρέφονται δραστήρια. Η ποσότητα των φύλλων που δίνουμε στις προνύμφες σε κάθε γεύμα θα πρέπει να ζυγίζεται ακριβώς και είναι αυτή που αναφέρεται στον Πίνακα 6.5.

Ηλικία προνύμφης	**Ποσότητα φύλλων που χορηγήθηκε (κιλά)**	**Ποσότητα φύλλων που καταναλώθηκε (κιλά)**	**Ποσότητα φύλλων που χωνεύτηκε (κιλά)**
1η	1,19	0,288	0,154
2η	4,46	1,776	0,906
3η	19,40	9,608	3,846
4η	106,66	48,394	19,224
5η	703	392,21	153,102
Σύνολο	834,71	452,276	177,286

Πίνακας 6.6 *Ποσότητα φύλλων που χορηγήθηκε, καταναλώθηκε και χωνεύτηκε από 20000 προνύμφες ενός υβριδίου μεταξοσκώληκα σε πειραματική εκτροφή (Πηγή: Προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Στον Πίνακα 6.6 φαίνεται η ποσότητα των φύλλων που καταναλώνεται και αυτή που χωνεύτηκε από τις προνύμφες σε κάθε ηλικία. Παρατηρήστε ότι τα δεδομένα του Πίνακα 6.6 διαφέρουν από αυτά του Πίνακα 6.5, αλλά αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζονται δεδομένα από πειραματική εκτροφή υπό απόλυτα ιδανικές συνθήκες.

Η συχνότητα του ταΐσματος ποικίλλει και ενώ στον Πίνακα 6.5 προτείνεται η χορήγηση φύλλων 4 φορές την ημέρα, αν η ποιότητα των φύλλων είναι άριστη, τότε η χορήγηση των φύλλων στις πρώτες ηλικίες μπορεί να γίνεται 3 ή 2 φορές την ημέρα. Επίσης, η χορήγηση τροφής 1 φορά την ημέρα δεν είναι καλή πρακτική, αλλά αν είναι δύσκολο να βρεθούν και να χορηγηθούν άμεσα ποιοτικά φύλλα, τότε είναι μια ασφαλής πρακτική. Παρά το γεγονός ότι σε όλα τα εγχειρίδια σηροτροφίας προτείνεται η χορήγηση τροφής 4 ή 3 φορές στις μικρές ηλικίες, η χορήγηση τροφής 1 φορά την ημέρα σε καμία περίπτωση δεν κάνει κακό στις προνύμφες, απλά καθυστερεί την ανάπτυξή τους.

Αυτό που δεν πρέπει να γίνεται είναι η χορήγηση του ποσού της τροφής που πρέπει να δίνεται σε 3 γεύματα σε 1 γεύμα την ημέρα, γιατί αυτό προκαλεί απώλειες των προνυμφών και οδηγεί αναπόφευκτα στην ξήρανση των φύλλων. Αν πρόκειται να δίνουμε ένα γεύμα την ημέρα στις προνύμφες, αυτό δεν θα πρέπει να το κάνουμε λίγο πριν και αμέσως μετά την κάθε έκδυση, όπου η φροντίδα των προνυμφών πρέπει να είναι πολύ προσεκτική για να μην γίνει ανομοιόμορφη η ανάπτυξή τους. Επίσης, στην περίπτωση χορήγησης ενός γεύματος την ημέρα, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε οι προνύμφες να μην είναι συνεχώς σκεπασμένες με το πλαστικό κάλυμμα, γιατί δεν θα παρέχεται σε αυτές αρκετό οξυγόνο για την ανάπτυξή τους.

Τα φύλλα που χορηγούνται στις μικρές ηλικίες πρέπει να κόβονται σε μικρά τετράγωνα διαστάσεων όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.5. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε βάζοντας τα φύλλα σε στοίβα, κόβοντας την τριγωνική περιοχή στη βάση του μίσχου και αφαιρώντας την και κατόπιν κόβοντας τη στοίβα των φύλλων κάθετα και κατόπιν οριζόντια.

Για την κοπή των φύλλων για τις νεαρές ηλικίες προνυμφών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μηχανές που παρέχουν μεγάλη ευκολία και ταχύτητα στην προετοιμασία των τεμαχίων φύλλου, όπως η μηχανή που φαίνεται

στην Εικόνα 6.14, και η οποία βρίσκεται στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας στην Πάδοβα της Ιταλίας. Η μηχανή αυτή αποτελείται από 3 μέρη, ένα για κάθε μια από τις νεαρές ηλικίες προνυμφών. Το μεταλλικό τμήμα που προεξέχει είναι το σημείο χορήγησης των φύλλων στη μηχανή και μετά την κοπή τα φύλλα συλλέγονται σε καλάθι που τοποθετείται κάτω από τη μηχανή.

Αυτή και άλλες μηχανικές καινοτομίες έχουν δημιουργηθεί με σκοπό τη μείωση του φόρτου εργασίας και έχουν συμβάλει τα μέγιστα στο να θεωρείται η εκτροφή των νεαρών ηλικιών των προνυμφών μια εύκολη διαδικασία (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Εικόνα 6.14 *Μηχανή τεμαχισμού των φύλλων μουριάς που δημιουργήθηκε και λειτουργεί στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας της Πάδοβα στην Ιταλία. Η μηχανή αυτή μπορεί να τεμαχίσει φύλλα για όλες τις νεαρές ηλικίες των προνυμφών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

6.5.2 Επιλογή φύλλων μουριάς για νεαρές ηλικίες

Ενώ για την ανοιξιάτικη εκτροφή είναι εύκολο να βρούμε καλά και ποιοτικά φύλλα, για την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή εκτροφή θα πρέπει να καλλιεργήσουμε και να κλαδέψουμε με κατάλληλο τρόπο τη μουριά για να έχουμε ποιοτικά φύλλα τη στιγμή που τα χρειαζόμαστε.

Για να βρούμε ποια φύλλα θα πρέπει να μαζέψουμε για την κάθε ηλικία των νεαρών προνυμφών κάνουμε το εξής: Σε μια μουριά που έχει βγάλει νεαρούς βλαστούς, κρατάμε με το χέρι μας το πάνω μέρος του βλαστού ώστε να περιλαμβάνει την αυξανόμενη κορυφή του βλαστού. Καθώς κρατάμε την πάνω άκρη του βλαστού, κατεβάζουμε λίγο το χέρι μας και βλέπουμε ότι από τα φύλλα που κρατάμε υπάρχει ένα που είναι μεγαλύτερο από όλα τα άλλα και προεξέχει (Εικόνα 6.15). Αυτό το φύλλο καλείται το *μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο*. Αυτό το φύλλο μπορούμε να το εντοπίσουμε αν κρατήσουμε την άκρη του βλαστού και τη λυγίσουμε οριζόντια προς το έδαφος (Εικόνα 6.15). Το φύλλο που θα στέκεται όρθιο είναι το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο.

Εφόσον βρούμε το φύλλο αυτό, συλλέγουμε για την 1η ηλικία των προνυμφών το 4ο και 5ο φύλλο κάτω από αυτό το φύλλο. Για τη 2η ηλικία συλλέγουμε τα φύλλα 5-7 κάτω από αυτό το φύλλο και για την 3η ηλικία συλλέγουμε τα φύλλα 3-8 κάτω από αυτό το φύλλο. Σε κάθε περίπτωση, δεν χρησιμοποιούμε τα φύλλα πάνω από το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο. Εάν κρίνουμε ότι όλα τα φύλλα κάτω από το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο είναι πολύ μαλακά, λόγω περιορισμένης ηλιοφάνειας ή περίσσειας λίπανσης, τότε τροποποιούμε την αρίθμηση κατά 1 (δηλαδή φύλλο 5-6 για την 1η ηλικία) και το αντίθετο κάνουμε αν τα φύλλα είναι σκληρά λόγω ξηρασίας (δηλαδή κατεβάζουμε την αρίθμηση κατά 1). (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Εικόνα 6.15 *Εντοπισμός του μεγαλύτερου στιλπνού φύλλου σε βλαστούς μουριάς. Στην αριστερή εικόνα το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο διακρίνεται αριστερά από το χέρι που κρατά ολόκληρη την κορυφή του βλαστού. Στη δεξιά εικόνα το μεγαλύτερο στιλπνό φύλλο διακρίνεται να είναι στραμμένο προς τα δεξιά καθώς με το χέρι μας λυγίζουμε την άκρη του βλαστού προς τα κάτω (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Αν πρόκειται να ταΐζουμε βλαστούς στις προνύμφες, τότε πρέπει να επιλέγουμε νεαρούς βλαστούς με 5-6 φύλλα στην 1η ηλικία, 6-7 φύλλα στη 2η ηλικία και 9-10 φύλλα στην 3η ηλικία. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αποφεύγουμε τα πολύ μαλακά ή σκληρά φύλλα. Η πρακτική της χορήγησης νεαρών βλαστών στις νεαρές προνύμφες είναι καλό να αποφεύγεται παρά το γεγονός ότι διατηρεί την υγρασία των φύλλων περισσότερο από ότι η κοπή των φύλλων σε τεμάχια και είναι λιγότερο χρονοβόρα σαν εργασία. Ο κύριος λόγος που πρέπει να αποφεύγεται είναι γιατί δεν κάνει εύκολη τη χρήση διχτυού για καθαρισμό της στρωμνής.

Τα φύλλα είναι καλό να συλλέγονται νωρίς το πρωί ή αργά το βράδυ και να αποφεύγεται η συλλογή τους κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί μαραίνονται γρήγορα και είναι επίσης λιγότερο θρεπτικά. Τα φύλλα μπορούν να μπαίνουν σε ψυγείο σε χαμηλή θερμοκρασία και επίσης μπορούν να είναι βρεγμένα όταν χορηγούνται στις προνύμφες.

Ιδανικά τα φύλλα πρέπει να μαζεύονται το πρωί, γιατί τότε είναι τα πλέον θρεπτικά και να αποφεύγεται η συλλογή τους στη διάρκεια της ημέρας όταν κάνουμε 3 ταΐσματα την ημέρα. Ωστόσο, αν κάνουμε 2 ταΐσματα την ημέρα και έχουμε σχετικά μικρό αριθμό κουτιών στην εκτροφή, τότε η συλλογή των φύλλων αργά το απόγευμα δεν είναι κακή επιλογή, ειδικά αν δεν υπάρχουν δροσεροί χώροι (π.χ. ψυγεία) αποθήκευσής τους στη διάρκεια της ημέρας. Αν αποθηκεύουμε τα φύλλα, τότε αυτά δεν θα πρέπει να είναι στοιβαγμένα αλλά χαλαρά τοποθετημένα σε καλάθια και θα πρέπει να βρέχονται ελαφρά ώστε να μην μαραθούν. Οι μουριές από τις οποίες παίρνουμε φύλλα για τις νεαρές ηλικίες πρέπει να βρίσκονται όσο κοντά στο σηροτροφείο είναι δυνατόν και ιδανικό είναι να βρίσκονται δίπλα στο σηροτροφείο (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η 1η ηλικία ολοκληρώνεται όταν μετά από 4 ημέρες οι μεταξοσκώληκες έχουν μεγαλώσει και το σώμα τους αποκτά μια ελαφρώς γυαλιστερή όψη. Η μορφή αυτή είναι εύκολα διακριτή στον καθένα και είναι το χαρακτηριστικό που δείχνει ότι οι προνύμφες ετοιμάζονται να κάνουν την 1η έκδυση. Αυτή η γυαλιστερή όψη του σώματος είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα για την έναρξη της κάθε έκδυσης.

Σύμφωνα με μια πρακτική που δεν αναφέρεται στον Πίνακα 6.5, όταν πλησιάζει η έκδυση στην 1η ηλικία αλλά και στις επόμενες ηλικίες τοποθετούμε ένα δίχτυ με τρύπες λίγο μεγαλύτερων διαστάσεων από αυτό που βάλαμε πάνω στις προνύμφες όταν έγινε η εκκόλαψη των αυγών. Κατόπιν ρίχνουμε λεπτόκοκκο ασβέστη σε μικρή ποσότητα πάνω στις προνύμφες για να ξηράνουμε τα φύλλα και ταΐζουμε τις προνύμφες πάνω από το δίχτυ. Οι προνύμφες ανεβαίνουν πάνω στα φύλλα περνώντας μέσα από το δίχτυ και αφού ταΐσουμε για ακόμη 1 φορά, μαζεύουμε το δίχτυ και το απλώνουμε σε νέο κρεβάτι. Με την πρακτική αυτή καταφέρνουμε να έχουμε υγιείς και καλά συγχρονισμένες προνύμφες ως προς την ανάπτυξή τους. Το σοβαρό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι αν οι προνύμφες, για οποιονδήποτε λόγο, δεν έχουν συγχρονισμένη ανάπτυξη, τότε πολλές μένουν κάτω από το δίχτυ και αυτό μεγαλώνει τον φόρτο εργασίας και δημιουργεί ασύγχρονες συνθήκες ανάπτυξης.

Για τον λόγο αυτόν και επειδή στην πράξη δεν μπορούμε να έχουμε ομοιόμορφη ανάπτυξη των προνυμφών, ειδικά όταν εκτρέφονται πολλά κουτιά ταυτόχρονα, η πρακτική αυτή αποφεύγεται (Πίνακας 6.5), αν και συνιστάται από άλλα εγχειρίδια σηροτροφίας. Επίσης η πρακτική αυτή απαιτεί σχετικά μεγάλη εμπειρία

στην εκτροφή των μεταξοσκωλήκων από τον σηροτρόφο για να είναι αποδοτική. Αυτή η πρακτική, με τη χρήση διχτυού, επαναλαμβάνεται μετά την ολοκλήρωση της έκδυσης, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά αφού εκδυθούν οι προνύμφες. Οι λόγοι που συχνά δεν έχουμε ομοιόμορφη ανάπτυξη είναι η αδυναμία παροχής ομοιόμορφης θερμοκρασίας στον χώρο (ειδικά στην εκτροφή σε πολλά ράφια), αλλά και υγρασίας σε συνδυασμό με την παρουσία ρεύματος αέρα. Η χρήση διχτυού μετά την έκδυση είναι μια πρακτική που συνιστάται, γιατί, αν έχουμε μια σχετικά συγχρονισμένη ανάπτυξη των προνυμφών, μπορούμε να καθυστερήσουμε το 1ο τάισμα μετά την έκδυση έτσι ώστε όλες οι προνύμφες να έχουν εκδυθεί και να περιμένουν να ταϊστούν. Με άλλα λόγια, η χρήση διχτυού πριν την έκδυση μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, αν δεν έχουμε μια απόλυτα συγχρονισμένη ανάπτυξη, ενώ η χρήση διχτυού με λίγη καθυστέρηση μετά την έκδυση μπορεί να συγχρονίσει μια προηγούμενη ασύγχρονη ανάπτυξη.

Σε κάθε περίπτωση, κατά τη διάρκεια της έκδυσης αφαιρούμε το πλαστικό κάλυμμα που καλύπτει τις προνύμφες, μειώνουμε δραστικά την υγρασία και ρίχνουμε λεπτόκοκκο ασβέστη στις προνύμφες για να ξηράνουμε τα υπολείμματα φύλλων για να μην τα καταναλώσουν οι προνύμφες μετά την έκδυσή τους και έτσι να συγχρονιστεί η ανάπτυξή τους. Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, η ανάπτυξη της προνύμφης εξαρτάται απόλυτα από τη λήψη τροφής και δεν εξαρτάται από το πότε ολοκληρώθηκε η έκδυσή της. Εάν, για παράδειγμα, δύο προνύμφες εκδύθηκαν με διαφορά 8 ωρών, όταν ταϊστούν για πρώτη φορά μετά την έκδυσή τους θα έχουν τον ίδιο ρυθμό ανάπτυξης.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.5, καθώς οι προνύμφες αναπτύσσονται, είναι αναγκαίο να αυξάνουμε σταδιακά το μέγεθος του χώρου που καταλαμβάνουν στις διαστάσεις που ακριβώς ορίζονται στον Πίνακα 6.5. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *αραίωση* και πρέπει να γίνεται σε κάθε τάισμα. Ιδανικά μπορούμε, αν δεν χρησιμοποιούμε χάρακα ή μεζούρα, να σημειώνουμε με μολύβι πάνω στο χαρτί που καλύπτει το κρεβάτι τα όρια που θα πρέπει να απλωθεί η στρωμνή σε κάθε ηλικία ή μετά από κάθε γεύμα (Πίνακας 6.5) για να γνωρίζουμε τα όρια του αραιώματος που κάνουμε. Το αραίωμα επίσης επιβάλλεται να γίνεται κατά τη διάρκεια της έκδυσης, γιατί αυτό αποτρέπει τις προνύμφες από το να φάνε υπολείμματα φύλλων μετά την έκδυση.

Την αραίωση την κάνουμε με τα χέρια απλώνοντας με ελαφρές κινήσεις τη στρωμνή και φορώντας φτηνά διαφανή γάντια μιας χρήσεως, τα οποία συνιστάται να χρησιμοποιούμε και στο τάισμα των προνυμφών, για να αποφύγουμε να μεταφέρουμε παθογόνα στις προνύμφες. Για παράδειγμα, είναι απαγορευτικό όταν κατά τη διάρκεια του ταΐσματος με γυμνά χέρια βρούμε μια προνύμφη, που υποψιαζόμαστε ότι είναι άρρωστη και πρέπει να την απομακρύνουμε, να την απομακρύνουμε με τα γυμνά μας χέρια και κατόπιν να συνεχίσουμε το τάισμα. Αν το κάνουμε αυτό, τότε είναι πολύ πιθανό ότι θα μολύνουμε και άλλες προνύμφες.

Η σωστή πρακτική είναι να ταΐζουμε με φτηνά γάντια μιας χρήσεως και, αν βρούμε μια άρρωστη προνύμφη, την απομακρύνουμε διπλώνοντάς την μέσα στο γάντι καθώς το αφαιρούμε από το χέρι μας και συνεχίζουμε βάζοντας καινούρια γάντια. Η χρήση φτηνών γαντιών μιας χρήσεως είναι μια πρακτική που πρέπει να είναι καθολική σε όλη την εκτροφή των προνυμφών, γιατί μπορεί να περιορίσει αποτελεσματικά την προσβολή από παθογόνα.

Η ποσότητα ξηράς ουσίας φύλλων που καταναλώνει και που χωνεύει μια προνύμφη από την 3η ηλικία έως την ωρίμανσή της είναι 5 και 1,7 γραμμάρια για το αρσενικό και 5,8 και 1,9 γραμμάρια για το θηλυκό, αντίστοιχα. Η μέση πεπτικότητα των φύλλων σε αυτήν την περίοδο από την 3η ηλικία έως την ωρίμανση της προνύμφης είναι περίπου 33% και κάπως μεγαλύτερη στις μικρότερες από τις μεγαλύτερες ηλικίες.

Σε άλλες μελέτες έχει μετρηθεί ότι η κατανάλωση ξηράς ουσίας φύλλων από μια προνύμφη από την εκκόλαψη μέχρι την ωρίμανσή της είναι 6,27 γραμμάρια και από αυτά, τα 6,197 γραμμάρια καταναλώνονται στην 4η και 5η ηλικία. Αυτό σημαίνει ότι μια προνύμφη καταναλώνει περίπου 28,5 γραμμάρια φρέσκων φύλλων από την εκκόλαψη έως την ωρίμανσή της εάν θεωρήσουμε ότι το ποσοστό ξηράς ουσίας στα φύλλα είναι περίπου 22% κατά μέσο όρο. Αυτό, σε επίπεδο ενός κουτιού των 20000 αυγών, σημαίνει ότι περίπου 570 κιλά φύλλα καταναλώνονται από 1 κουτί αυγών μεταξοσκώληκα σε όλο το στάδιο της εκτροφής. Εάν επιπλέον θεωρήσουμε ότι στη διατροφή με βλαστούς, το εδώδιμο ποσοστό των φύλλων είναι 80%, τότε χρειαζόμαστε περίπου 710 κιλά βλαστών για την εκτροφή ενός κουτιού αυγών μεταξοσκωλήκων (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988)

6.6 Συνεταιριστική εκτροφή νεαρών ηλικιών μεταξοσκωλήκων

Η συνεταιριστική εκτροφή των νεαρών ηλικιών των μεταξοσκωλήκων είναι μια πρακτική που έχει προωθηθεί και επικρατήσει στις χώρες της Ασίας, αλλά δυστυχώς στην Ελλάδα δεν εφαρμόστηκε ποτέ. Με τον όρο συνεταιριστική εκτροφή νεαρών ηλικιών εννοείται η πρακτική της εκτροφής πολλών κουτιών αυγών μεταξοσκωλήκων σε μια τοποθεσία και όχι κατ' ανάγκη από έναν εκτροφέα. Αν για παράδειγμα σε μια στενή γεωγραφική περιοχή εκτρέφονται 100 κουτιά μεταξοσκώληκες κάθε άνοιξη, τότε οι προνύμφες από αυτά τα 100 κουτιά αυγών μεταξοσκωλήκων μπορούν να εκτραφούν σε μια τοποθεσία μέχρι την ολοκλήρωση της 3 ης ηλικίας και κατόπιν να μοιράζονται στους διάφορους εκτροφείς για να τις εκθρέψουν για τις επόμενες 2 ηλικίες. Η συνεταιριστική εκτροφή μπορεί να οργανώνεται από έναν συνεταιρισμό εκτροφέων ή μετά από συνεννόηση με όλους τους εκτροφείς μιας στενής γεωγραφικής περιοχής και να γίνεται από ομάδα εκτροφέων έναντι συμφωνηθείσας αμοιβής. Στην Ελλάδα, η πρακτική αυτή δεν έχει επικρατήσει λόγω του τρόπου με τον οποίο καθορίζεται η επιδότηση των εκτροφών μεταξοσκωλήκων από τις κρατικές συνδεδεμένες ενισχύσεις των εκτροφέων μεταξοσκώληκα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σοβαρή σπατάλη ζωικού κεφαλαίου αλλά και την ανώφελη σπατάλη εργατοωρών από τους εκτροφείς.

Η συνεταιριστική εκτροφή των νεαρών ηλικιών των μεταξοσκωλήκων, κατά γενική ομολογία, έχει μόνο πλεονεκτήματα και καθόλου μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της πρακτικής αυτής είναι η σταθεροποίηση της παραγωγής κουκουλιών. Αυτό συμβαίνει, γιατί όλες οι νεαρές προνύμφες λαμβάνουν την ίδια φροντίδα σε έναν ιδανικό χώρο εκτροφής και λαμβάνουν την καλύτερη δυνατή διατροφή για την ανάπτυξή τους (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Επειδή η βέλτιστη απόδοση μιας εκτροφής εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, οι οποίες συχνά διαφέρουν από σηροτροφείο σε σηροτροφείο ανάλογα με το πού έχουν κτιστεί, τον τρόπο που έχουν κτιστεί και τις φροντίδες που μπορούν να παρασχεθούν στις νεαρές προνύμφες, είναι πολύ συχνό το φαινόμενο διαφορετικοί παραγωγοί να έχουν διαφορετικές αποδόσεις παρά το γεγονός ότι εκτρέφουν το ίδιο εμπορικό υβρίδιο μεταξοσκώληκα. Για παράδειγμα, ένα σηροτροφείο που είναι κτισμένο σε ορεινή περιοχή θα έχει μεγαλύτερη δυσκολία και μεγαλύτερο κόστος να κρατήσει τη θερμοκρασία στους 28 ^{o}C στη διάρκεια της νύχτας, ειδικά αν δεν έχει σχεδιαστεί και κτιστεί με συγκεκριμένες προδιαγραφές, σε σχέση με ένα σηροτροφείο σε πεδινή περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι πολύ λιγότερες προνύμφες θα καταφέρουν να φτάσουν στην 4η ηλικία στο ορεινό σηροτροφείο σε σχέση με το πεδινό σηροτροφείο και η ανομοιομορφία ανάπτυξής τους θα είναι μεγαλύτερη.

Η μείωση του κόστους εκτροφής είναι ακόμη ένα σοβαρό πλεονέκτημα της συνεταιριστικής εκτροφής και αυτό συμβαίνει γιατί ο κάθε εκτροφέας δεν χρειάζεται να απασχολείται στην εκτροφή για 30 ημέρες, αλλά μόνο για 15 ημέρες (στις 2 τελευταίες ηλικίες του μεταξοσκώληκα). Η μείωση στη σπατάλη φύλλων είναι ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της συνεταιριστικής εκτροφής, καθώς περιορίζονται σημαντικά οι πιθανότητες μολύνσεων από παθογόνα ή δηλητηριάσεων των μεταξοσκωλήκων από εντομοκτόνα.

Οι μεταξοσκώληκες εκτρέφονται με φύλλα από έναν μορεώνα σε μια περιοχή και υπό τις καλύτερες συνθήκες. Προϋπόθεση για τη συνεταιριστική εκτροφή των μεταξοσκωλήκων είναι να υπάρχει ένα καλά σχεδιασμένο κτήριο εκτροφής, με καλή μόνωση, καλή διατήρηση των κατάλληλων συνθηκών και χρήση ενός μορεώνα ακριβώς δίπλα στο σηροτροφείο, που θα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών. Στη συνεταιριστική εκτροφή έχουμε σημαντική μείωση των προσβολών από ασθένειες, γιατί η απολύμανση μπορεί να γίνει με σχολαστική ακρίβεια, σε αντίθεση με την απολύμανση κάθε σηροτροφείου και ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι το συνεταιριστικό σηροτροφείο είναι συχνά απομακρυσμένο από τα άλλα σηροτροφεία και αποφεύγονται οι μολύνσεις λόγω γειτνίασης.

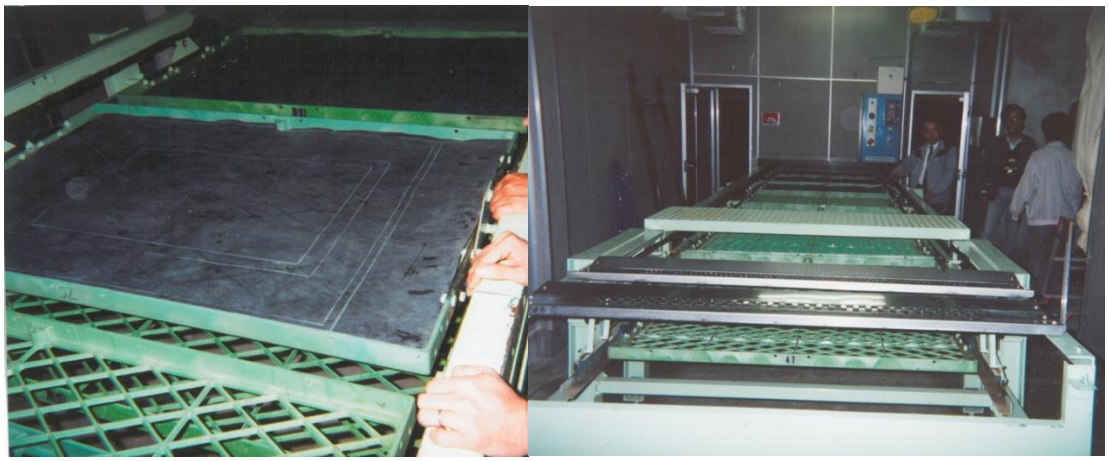
Το συνεταιριστικό σηροτροφείο μπορεί να αποτελείται από μεγάλα δωμάτια στα οποία εφαρμόζεται ομοιόμορφη θέρμανση και η εκτροφή γίνεται σε κουτιά ή ράφια. Μπορεί επίσης το συνεταιριστικό σηροτροφείο να αποτελείται από μικρά δωμάτια μέσα σε ένα μεγάλο κτήριο, τοποθετημένα στη σειρά και απέναντι το ένα από το άλλο, όπου η εκτροφή γίνεται σε ράφια. Επειδή η στρωμνή στις νεαρές ηλικίες δεν αποκτά μεγάλο πάχος, τα ράφια μπορούν να είναι πολύ κοντά το ένα με το άλλο, μειώνοντας έτσι τον απαιτούμενο χώρο εκτροφής.

Για παράδειγμα, η εκτροφή των νεαρών προνυμφών μπορεί να γίνεται με τη χρήση ξύλινων κουτιών διαστάσεων 1,8 μέτρα μήκος, 0,9 μέτρα πλάτος και 0,15 εκατοστών ύψος, τα οποία τα τοποθετούμε το ένα πάνω στο άλλο και το κάθε κουτί μπορεί να φιλοξενεί 1 κουτί αυγών μέχρι την 3η ηλικία και μπορούν να εφαρμοστούν αυτοματισμοί θέρμανσης και υγρασίας στον χώρο. Όπως γίνεται αντιληπτό, με την τεχνική αυτή σε ένα δωμάτιο 50 τετραγωνικών μέτρων μπορούν να εκτρέφονται 100 κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα

τοποθετημένα σε στοίβες των 10 κουτιών η κάθε μια στοίβα, αν και προτιμάται οι διαστάσεις του χώρου να είναι μεγαλύτερες.

Αν επιλεγεί η χρήση μικρών δωματίων, τότε σε ένα δωμάτιο μήκους 1,8 μέτρων, πλάτους 1,1 μέτρων και ύψους 1,8 μέτρων τοποθετείται κατασκευή που φέρει 10 ράφια και σε κάθε τέτοιο μικρό δωμάτιο εκτρέφονται 5 κουτιά μέχρι και την 3η ηλικία. Αυτά τα μικρά δωμάτια πρέπει να φέρουν παχιά τοιχώματα ή να βρίσκονται μέσα σε ένα μεγαλύτερο κτήριο που θα θερμαίνεται. Μια άλλη παραλλαγή αυτής της πρακτικής είναι η θέρμανση όλων των δαπέδων των μικρών δωματίων με υποδαπέδια θερμαντική πηγή και χρήση θερμοστάτη.

Η συνεταιριστική εκτροφή των νεαρών ηλικιών των μεταξοσκωλήκων έχει εκμηχανιστεί με την ανάπτυξη μηχανών εκτροφής που αποτελούνται από τη μηχανή εκτροφής, την αυτόματη ταΐστρα, τη μηχανή κοπής των φύλλων, τη συσκευή αδειάσματος των ραφιών, τον ιμάντα μετακίνησης, τα ράφια εκτροφής και την επιφάνεια μετακίνησης των ραφιών μέσω του ιμάντα μετακίνησης (βλέπε Εικόνα 6.16).



Εικόνα 6.16 *Μηχανή εκτροφής προνυμφών νεαρών ηλικιών του μεταξοσκώληκα. Παρατηρήστε στην αριστερή εικόνα ότι το κρεβάτι εκτροφής φέρει χαραγμένες τις μέγιστες διαστάσεις επέκτασης της στρωμνής για την κάθε ηλικία. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται όλη η μηχανή με τα μετακινούμενα μεταλλικά στοιχεία της που επιτρέπουν το τάισμα των προνυμφών από ένα σημείο της μηχανής (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Οι μηχανές αυτές μετακινούν τα ράφια εκτροφής συνεχώς και με μικρή ταχύτητα μεταξύ των άνω σημείων και των κάτω σημείων της μηχανής και έτσι αποφεύγεται η ασύγχρονη ανάπτυξη των προνυμφών. Με τέτοιες και άλλες παρόμοιες μηχανές μπορούν να εκτραφούν εκατοντάδες κουτιά ανά μηχανή και επίσης το τάισμα των προνυμφών μπορεί να γίνεται αυτόματα και σε λίγες ώρες. Όπως αναφέρεται και σε άλλα κεφάλαια του βιβλίου, τέτοιου είδους μηχανές είναι ένας από τους πολλούς τρόπους με τους οποίους η εκμηχάνιση της παραγωγής κουκουλιών έχει επιφέρει τεράστιες βελτιώσεις στον φόρτο εργασίας κατά την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων. Η εκμηχάνιση των εκτροφών έχει καταφέρει να σταθεροποιήσει την απόδοση σε προϊόν στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων και αν συνδυαστεί με τη συνεταιριστική εκτροφή των νεαρών ηλικιών μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μεγάλη αύξηση της παραγωγής ανά εκτροφέα ανά έτος.

6.7 Χαρακτηριστικά ανάπτυξης των μεγάλων προνυμφών

Ως μεγάλες προνύμφες, εννοούνται οι προνύμφες που βρίσκονται στην 4η και 5η ηλικία της προνύμφης. Οι προνύμφες, σε αυτές τις ηλικίες, διαφέρουν από τις νεαρές προνύμφες σε πολλά σημεία. Καταρχήν, δεν μεγαλώνουν καλά σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας και προτιμούν την παροχή ρεύματος αέρα κατά την ανάπτυξή τους σε αντίθεση με τις νεαρές προνύμφες.

Στην 4η και 5η ηλικία η ποσότητα τροφής που καταναλώνεται και χωνεύεται είναι προφανώς αυξημένη, αλλά ο λόγος πέψης τροφής προς κατανάλωση τροφής είναι μειωμένος σε σχέση με τις νεαρές προνύμφες (Πίνακας 6.5). Επίσης, στις μεγάλες ηλικίες οι προνύμφες μπορούν να καταναλώνουν μαραμένα και σκληρά φύλλα, αλλά μια τέτοια πρακτική επηρεάζει την ποιότητα του κουκουλιού και επιβραδύνει την ανάπτυξή τους και αυτό έχει σοβαρές επιπτώσεις στον φόρτο εργασίας.

Για τους παραπάνω λόγους, η εκτροφή των μεγάλων ηλικιών γίνεται σε μικρότερη θερμοκρασία και υγρασία, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.5. Ειδικά στην 4η ηλικία, οι προνύμφες δεν θα πρέπει να υποβάλονται

σε θερμοκρασίες κάτω από 20 ºC, γιατί τότε αυξάνεται η πιθανότητα προσβολής από ασθένειες και έτσι πρέπει να φροντίζουμε να θερμαίνεται το σηροτροφείο ιδιαίτερα το βράδυ.

Από την άλλη μεριά, οι μεγάλες προνύμφες είναι πολύ ευαίσθητες στις υψηλές θερμοκρασίες >30ºC και αυτό έχει επιπτώσεις στις εκτροφές που γίνονται στη διάρκεια του καλοκαιριού. Για τον λόγο αυτόν, θα πρέπει να φροντίζουμε τα σηροτροφεία να έχουν πάντα ένα ρεύμα αέρα στις μεγάλες ηλικίες είτε κτίζοντάς τα με συγκεκριμένη κατεύθυνση είτε χρησιμοποιώντας μηχανές ανακύκλωσης του αέρα. Επίσης, η χρήση μόνωσης στην οροφή του σηροτροφείου μπορεί να μειώσει τις ακραίες θερμοκρασίες μέσα στο σηροτροφείο. Για παράδειγμα, έχει βρεθεί ότι σε σηροτροφείο χωρίς μόνωση και με σκεπή από κεραμίδια ή λαμαρίνα, όταν η θερμοκρασία είναι 30 ºC βαθμοί στο περιβάλλον, η θερμοκρασία στο εσωτερικό και κοντά στην οροφή μπορεί να φτάσει τους 37 ºC, ενώ με την προσθήκη μόνωσης η θερμοκρασία πέφτει στους 33 ºC μέσα στο σηροτροφείο.

Αυτά και άλλα μέτρα, όπως η παροχή ψυχρού αέρα μέσω κλιματισμού, η φύτευση δέντρων γύρω από το σηροτροφείο, η ύγρανση του χώρου με νερό και η προσθήκη σκίαστρων γύρω από το σηροτροφείο είναι μερικές από τις πρακτικές με τις οποίες αποφεύγονται οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μέσα στο σηροτροφείο. Αυτό που είναι απολύτως αναγκαίο είναι η παροχή ρεύματος αέρα κατά τη διάρκεια της πλοκής των κουκουλιών, γιατί αυτός είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για να έχουμε υψηλής ποιότητας κουκούλια. Μια πολύ καλή πρακτική είναι η εγκατάσταση του σηροτροφείου για τις μεγάλες ηλικίες με κατεύθυνση ανατολική-δυτική και η ταυτόχρονη εγκατάσταση μεγάλων παραθύρων σε όλη τη βόρεια και νότια πλευρά του σηροτροφείου, τα οποία θα ανοίγουν προς τα έξω (ποτέ προς τα μέσα) και θα φέρουν δίχτυ ή σκίαστρο (π.χ. αντικουνουπικό δίχτυ). Μια τέτοια εγκατάσταση δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όταν δεν πρόκειται να εγκατασταθεί σύστημα παροχής ρεύματος αέρα (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

6.7.1 Παροχή φύλλων μουριάς για τις μεγάλες ηλικίες

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.5, κατά την 4η και 5η ηλικία χορηγούνται μεγάλες ποσότητες φύλλων στις προνύμφες. Τα φύλλα που χορηγούνται πρέπει να είναι υψηλής θρεπτικής αξίας με μεγάλη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη για να πετύχουμε υψηλή απόδοση σε παραγωγή μεταξιού.

Καθώς από την 3η ημέρα της 5ης ηλικίας οι μεταξογόνοι αδένες αναπτύσσονται έντονα, είναι ανάγκη από την περίοδο αυτή και μετά να δίνουμε στις προνύμφες φύλλα με υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης. Επίσης, η διατήρηση της θερμοκρασίας σε σταθερό σημείο είναι ιδιαίτερα κρίσιμης σημασίας, γιατί όταν πέφτει η θερμοκρασία οι προνύμφες σταματούν να καταναλώνουν τροφή και αυτό μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ασθενειών. Η ποσότητα της τροφής που πρέπει να δίνεται ανά γεύμα είναι αυτή ακριβώς που αναφέρεται στον Πίνακα 6.5 και για τον λόγο αυτόν είναι καλό να έχουμε μια ζυγαριά στο σηροτροφείο για να ζυγίζουμε την ποσότητα της τροφής που παρέχουμε.

Συνιστάται να αποφεύγουμε να δίνουμε σκληρά, μαραμένα ή βρώμικα φύλλα και μια καλή πρακτική είναι να μη δίνουμε φύλλα που έχουν πέσει στο έδαφος στον χώρο του σηροτροφείου, αλλά να τα πετάμε, γιατί τα φύλλα αυτά μπορεί να ήρθαν σε επαφή με παθογόνα στο πάτωμα του σηροτροφείου. Η καλύτερη ώρα συγκομιδής των φύλλων για τις μεγάλες ηλικίες είναι νωρίς το πρωί ή αργά το απόγευμα, αλλά, επειδή η κατανάλωση της τροφής από τις προνύμφες είναι πολύ εντατική, θα πρέπει να έχουμε καταστρώσει ένα πλάνο εργασίας και να έχουμε το απαραίτητο προσωπικό και τα μεταφορικά μέσα που θα εξασφαλίζουν τη σωστή και απρόσκοπτη παροχή φύλλων στις σωστές ώρες της ημέρας. Τα φύλλα που μεταφέρονται από τον μορεώνα για τη διατροφή των προνυμφών στην 5η ηλικία θα πρέπει να φτάνουν στο σηροτροφείο στα κλαδιά τους. Εκεί στους χώρους του σηροτροφείου θα πρέπει να τοποθετούνται τα κλαδιά όρθια σε έναν δροσερό χώρο ή δωμάτιο και να ψεκάζονται με νερό για να παραμείνουν δροσερά. Πρέπει να αποφεύγουμε να τοποθετούμε τα κλαδιά σε στοίβες στο έδαφος και θα πρέπει να μεταφέρουμε στο σηροτροφείο τόσα φύλλα όσα είναι απαραίτητα για το κάθε τάισμα.

Η χορήγηση βρεγμένων φύλλων (είτε λόγω βροχής είτε λόγω διαβροχής τους) δεν είναι ποτέ πρόβλημα, φτάνει να έχουμε τρόπους να μειώνουμε την υγρασία μέσα στον χώρο του σηροτροφείου. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η εκτροφή μεταξοσκωλήκων στην 5η ηλικία είναι μια ιδιαίτερα επίπονη εργασία για τον άνθρωπο και για τον λόγο αυτόν θα πρέπει να υπάρχει το απαραίτητο βοηθητικό προσωπικό για να βγάλει εις πέρας αυτήν την επίπονη εργασία. Αυτός είναι και ένας άλλος λόγος για τον οποίο η συνεταιριστική εκτροφή των νεαρών ηλικιών σε συνδυασμό με την ύπαρξη πλάνου εκτροφής είναι πολύ σημαντικά για την ολοκλήρωση μιας επιτυχημένης εκτροφής.

6.7.2 Καθαρισμός της στρωμνής και αραίωμα των προνυμφών

Στην 4η ηλικία είναι καλό να γίνεται ένας καθαρισμός της στρωμνής στη μέση της 4ης ηλικίας και ένας πριν την έναρξη της 4ης και τελευταίας έκδυσης χρησιμοποιώντας και πάλι δίχτυα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω για τις νεαρές προνύμφες, αλλά με πολύ μεγαλύτερη διάμετρο οπών όπως είναι προφανές.

Στην 5η ηλικία ο καθαρισμός της στρωμνής συνιστάται να γίνεται καθημερινά, αλλά αυτό ίσως να είναι και τεχνικά αδύνατο, ιδιαίτερα εάν πολύ μεγάλος αριθμός (>10) κουτιών εκτρέφονται σε ένα σηροτροφείο και δεν υπάρχει διαθέσιμο το απαραίτητο προσωπικό. Επειδή συνήθως ο καθαρισμός της στρωμνής δεν είναι εφικτό να γίνεται κάθε ημέρα, συνήθως στην 5η ηλικία προτιμάται να γίνεται η εκτροφή με ολόκληρους βλαστούς, ιδιαίτερα εάν είναι μεγάλος ο αριθμός των κουτιών που εκτρέφονται ταυτόχρονα. Ακόμη όμως και με την εκτροφή με ολόκληρους βλαστούς, συνιστάται ο καθαρισμός της στρωμνής τη 2η με 3η ημέρα της 5ης ηλικίας.

Για τον καθαρισμό της στρωμνής στην 5η ηλικία χρησιμοποιούμε και πάλι δίχτυα με μεγάλη διάμετρο οπών και καθαρίζουμε τη στρωμνή μετά από 2 γεύματα με φύλλα πάνω από τα δίχτυα που απλώσαμε. Κατόπιν σηκώνουμε το δίχτυ και το μεταφέρουμε μαζί με τις προνύμφες σε άλλο καθαρό κρεβάτι. Συχνά όμως επειδή οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να μην είναι ιδανικές, πολλές προνύμφες παραμένουν κάτω από το δίχτυ. Τις προνύμφες αυτές τις μαζεύουμε με ιδιαίτερη προσοχή με τη χρήση γαντιών μιας χρήσεως και προσέχουμε να μην είναι ασθενικές ή νεκρές. Αυτή η εργασία πρέπει να γίνεται συνήθως από έμπειρο άτομο δίνοντας προσοχή στην αποφυγή συλλογής ασθενικών προνυμφών (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Οι προνύμφες που συλλέγονται πρέπει να τοποθετούνται σε διακριτό χώρο και να ελέγχεται σχολαστικά η ανάπτυξή τους σε περίπτωση που είναι μολυσμένες με παθογόνα. Η στρωμνή, μετά τη συλλογή όλων των προνυμφών, πρέπει να μαζεύεται προσεκτικά και να απομακρύνεται από το σηροτροφείο. Είναι σημαντικό η στρωμνή που απομακρύνεται από το σηροτροφείο να πετιέται σε ένα συγκεκριμένο και ορισμένο σημείο σχετικά μακριά από το σηροτροφείο. Στο σημείο που πετιέται η στρωμνή πρέπει να σκεπάζεται με πλαστικό κάλυμμα και να μην είναι προσεγγίσιμη από το προσωπικό του σηροτροφείου.

Η κάλυψη με πλαστικό κάλυμμα και, όταν είναι δυνατόν, η αποτέφρωση της στρωμνής είναι μια ορθή πρακτική, ειδικά αν έχουμε προσβολή από παθογόνα κατά την εκτροφή. Η κάλυψή της αποτρέπει την κατανάλωση των νεκρών προνυμφών από άλλα άγρια ζώα που μπορούν να είναι ξενιστές-μεταφορείς των παθογόνων σε άλλα γειτονικά σηροτροφεία ή ακόμη και στον μορεώνα.

Η αποτέφρωση της στρωμνής μετά το τέλος της εκτροφής είναι η καλύτερη λύση για την αποφυγή μολύνσεων από παθογόνα που βρίσκονται στη στρωμνή. Παρά το γεγονός ότι η στρωμνή είναι ένα πολύ καλό είδος λιπάσματος, θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση της ως λίπασμα στις καλλιέργειες, γιατί αυτό οδηγεί στη διατήρηση και εξάπλωση των παθογόνων του μεταξοσκώληκα σε μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή. Θα πρέπει λοιπόν να είμαστε ιδιαίτερα επιφυλακτικοί και συχνά καχύποπτοι ως προς τη χρήση της στρωμνής ενός σηροτροφείου σε άλλες αγροτικές καλλιέργειες. Αυτό που σίγουρα θα πρέπει να αποφεύγεται είναι η χρήση της στρωμνής για λίπασμα των μορεώνων.

6.7.3 Πυκνότητα των μεταξοσκωλήκων κατά την εκτροφή

Για το θέμα των διαστάσεων των κρεβατιών εκτροφής που θα πρέπει να καταλαμβάνει ένα κουτί αυγών μεταξοσκώληκα έχουν γίνει από πολύ παλιά πολλές έρευνες.

Όλες αυτές οι έρευνες λήφθηκαν υπόψη στη δημοσίευση του S. Ueda (Ueda, 1981), ο οποίος οριοθέτησε τις ιδανικές συνθήκες πυκνότητας των μεταξοσκωλήκων στα κρεβάτια εκτροφής, αλλά επίσης παρουσίασε τα όρια μεγέθους κρεβατιών κάτω από τα οποία η ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα επιβραδύνεται. Οι διαστάσεις των κρεβατιών εκτροφής στη συνήθη πυκνότητα εκτροφής των προνυμφών είναι αυτές που θα πρέπει να ακολουθούνται, ενώ η πυκνότητα δεν θα πρέπει ποτέ να αυξάνεται πέρα από τη μέγιστη πυκνότητα.

Ηλικία Προνύμφης	Μέγιστη πυκνότητα (τετρ. μέτρα ανά 20000 προνύμφες)	Συνήθης πυκνότητα (τετρ. μέτρα ανά 20000 προνύμφες)
1η Ηλικία	0,164	0,8
2η Ηλικία	0,625	1,625
3η Ηλικία	1,6	3,2
4η Ηλικία	5	12,5
5η Ηλικία	18,18	25

Πίνακας 6.7 *Μέγιστη και συνήθης πυκνότητα εκτροφής των προνυμφών του μεταξοσκώληκα σε κάθε ηλικία του σταδίου της προνύμφης. Η συνήθης πυκνότητα πρέπει να χρησιμοποιείται ως μέτρο σχεδιασμού των διαστάσεων των σηροτροφείων, ενώ η μέγιστη πυκνότητα αναφέρεται σε συνθήκες εκτροφής όπου η ανάπτυξη των προνυμφών καθυστερεί λόγω υπερβολικού συγχρωτισμού (Πηγή: Προσαρμογή από (Ueda, 1981)).*

Το αραίωμα των μεταξοσκωλήκων στις νεαρές ηλικίες γίνεται με απαλές κινήσεις των δακτύλων μας με σκοπό να απλώσουμε τη στρωμνή στην επιθυμητή έκταση. Στις μεγάλες ηλικίες μπορούμε να απλώνουμε τη στρωμνή με τα χέρια μας, ενώ στην 5η ηλικία το αραίωμα των μεταξοσκωλήκων γίνεται με την αδρή μετακίνηση και ανακατανομή των κλαδιών πάνω στα οποία τρέφονται οι προνύμφες.

Είναι απόλυτα απαραίτητη η χρήση φτηνών γαντιών μιας χρήσης κατά τη διαδικασία αραίωσης των προνυμφών για να αποφύγουμε να αγγίζουμε με τα χέρια μας τις προνύμφες. Οι διαστάσεις των κρεβατιών εκτροφής που αναφέρονται στον Πίνακα 6.5 ταιριάζουν απόλυτα με αυτές που αναφέρονται στον Πίνακα 6.7, αν και είναι σχετικά μεγαλύτερες για να επιτρέψουν την ευελιξία στη διαχείριση των προνυμφών. Δεν συνιστάται να απλώσουμε τις προνύμφες από την αρχή στο μέγιστο εμβαδόν για κάθε ηλικία, αλλά είναι προτιμότερο να κάνουμε σταδιακό το αραίωμα των προνυμφών. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγουμε να ταΐζουμε υπερβολικά τις προνύμφες, ιδιαίτερα στην αρχή κάθε ηλικίας.

Ιδανική κατάσταση πυκνότητας είναι εκείνη στην οποία διαπιστώνουμε ομοιομορφία πυκνότητας των προνυμφών σε όλα τα σημεία της στρωμνής. Είναι πολύ εύκολο να καταλάβουμε ότι έχουμε ανομοιομορφία στην κατανομή των προνυμφών με τον εξής τρόπο: Όταν αμέσως μετά το τάισμα βρίσκουμε σημεία όπου η τροφή καταναλώνεται άμεσα, σε εκείνα τα σημεία οι προνύμφες χρήζουν αραίωσης.

6.7.4 Πρόληψη προσβολής από ασθένειες

Στις μεγάλες ηλικίες, λόγω του υπερβολικού φόρτου εργασίας αλλά και λόγω του μεγέθους των εκτροφών είναι δύσκολο, σε σύγκριση με τις νεαρές ηλικίες, να ελέγξουμε την εμφάνιση ασθενειών. Παρά το γεγονός ότι οι προνύμφες στις μεγάλες ηλικίες είναι σχετικά εύρωστες, η μεγάλη ποσότητα των φύλλων που εισαγάγουμε στον χώρο εκτροφής και γενικότερα ο μεγάλος φόρτος εργασίας μάς κάνει να αμελούμε την καθαριότητα των προνυμφών.

Για παράδειγμα, λόγω του μεγάλου όγκου των φύλλων που φέρνουμε στον χώρο εκτροφής, είναι πιθανή η εμφάνιση μυκητιάσεων και προσβολών από βακτήρια που προσβάλλουν τις προνύμφες. Οι άρρωστες προνύμφες είναι πιθανόν να παραμείνουν στη βάση της στρωμνής και να μην τις αντιληφθούμε κάτω από τον όγκο των φύλλων και κλαδιών που συνεχώς προστίθενται (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Έτσι, παρά το γεγονός ότι προτείνεται το σκόνισμα της στρωμνής με ψιλοκοσκινισμένο ασβέστη με χρήση κόσκινου, στην πράξη η χρήση του ασβέστη δεν βοηθά σε τίποτα παρά μόνο στην απορρόφηση της περίσσειας υγρασίας. Είναι πολύ σημαντικό να μπορούμε να έχουμε οπτική επαφή με όλες τις προνύμφες και επίσης κάθε σημείο του κρεβατιού θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμο με τα χέρια μας. Αυτός ο απλός κανόνας της οπτικής και απτικής επαφής με όλες τις προνύμφες είναι που θα πρέπει να καθοδηγεί τον σχεδιασμό και τη χωροταξία των κρεβατιών εκτροφής και είναι εξαιρετικής σημασίας για τη διαχείριση ασθενειών. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν πρέπει να έχουμε σταθερές κατασκευές με κρεβάτια σε μεγάλο ύψος ή κρεβάτια με μεγάλο πλάτος και είναι προτιμότερο να έχουμε όλα τα κρεβάτια εκτροφής στο ίδιο χαμηλό επίπεδο.

6.7.5 Μέθοδοι εκτροφής στις μεγάλες ηλικίες

Στις χώρες της Ασίας, η εκτροφή των μεταξοσκωλήκων στις μεγάλες ηλικίες σε ράφια πολλών επιπέδων ήταν μια συνήθης πρακτική (Εικόνα 6.9). Με τον τρόπο αυτόν εκτροφής, κάθε ράφι αποσυρόταν από τη θέση του, οι προνύμφες ταΐζονταν και το ράφι έμπαινε ξανά στη θέση του και ούτω καθεξής. Ο τρόπος αυτός εκτροφής περιορίζει τις διαστάσεις του χώρου εκτροφής, αλλά δεν επιτρέπει τον συνεχή και καλό έλεγχο της υγείας των προνυμφών. Ο τρόπος αυτός εκτροφής δεν έγινε ποτέ δημοφιλής στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα επικράτησε ο τρόπος εκτροφής με κλαδιά σε κρεβάτια σταθερών διαστάσεων και μόνιμης θέσης που συχνά είχαν 3 ή 4 πατώματα (Εικόνα 6.6). Στα κρεβάτια αυτά χορηγούνταν ολόκληρα κλαδιά στις μεγάλες ηλικίες. Μια άλλη πρακτική που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια είναι η χρήση θερμοκηπίων ή τολ εκτροφής, όπου οι μεταξοσκώληκες τοποθετούνται στο έδαφος και ταΐζονται με κλαδιά (Εικόνα 6.7). Αυτή η δεύτερη πρακτική είναι σχετικά εύκολη και απλή και είναι ιδανική για περιόδους όπου η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή, γιατί μπορούμε να παρέχουμε σκίαση και αερισμό ανοίγοντας την πλευρική κάλυψη της κατασκευής.

Τα πλεονεκτήματα της παραδοσιακής πρακτικής των στερεών κρεβατιών είναι ο περιορισμός της έκτασης του χώρου εκτροφής, αλλά τα μειονεκτήματα είναι περισσότερα, καθώς το βάρος που δημιουργείται στα κρεβάτια εκτροφής και συχνά το μεγάλο ύψος τους αυξάνει πάρα πολύ τον φόρτο εργασίας. Για παράδειγμα, σκάλες συχνά χρησιμοποιούνταν για να ταϊστούν προνύμφες σε κρεβάτι που βρισκόταν σε ύψος 2 μέτρων.

Η μέθοδος εκτροφής με τοποθέτηση των προνυμφών στο έδαφος έχει το πλεονέκτημα της ευκολίας εκτροφής, γιατί απλά τοποθετούμε κλαδιά πάνω στο έδαφος όπου βρίσκονται οι προνύμφες, αλλά δημιουργεί την αναγκαιότητα ύπαρξης χώρων πολύ μεγάλων διαστάσεων και μπορεί να είναι σωματικά επίπονη για τους εκτροφείς. Για παράδειγμα, περίπου 300 τετραγωνικά μέτρα επιφάνειας χρειάζονται για την εκτροφή 10 κουτιών μεταξοσκώληκα χωρίς να υπολογίζονται οι βοηθητικοί χώροι. Το μειονέκτημα της εκτροφής στο έδαφος έγκειται στο ότι συχνά οι διάδρομοι εκτροφής γίνονται δύσβατοι λόγω της παρουσίας προνυμφών, καθώς νεκρές προνύμφες μπορεί να βρεθούν στους διαδρόμους και η παροχή φύλλων πρέπει να γίνεται μέσω των διαδρόμων.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα της εκτροφής στο έδαφος είναι οι προσβολές από μυρμήγκια τα οποία πολύ γρήγορα μπορεί να επιτεθούν στις προνύμφες. Τα μυρμήγκια δεν μπορούν να μεταδώσουν άμεσα κάποια ασθένεια στις προνύμφες, αλλά τσιμπούν τις μεγάλες προνύμφες για να ρουφήξουν την αιμολέμφο τους και έτσι τις τραυματίζουν. Στις νεαρές προνύμφες είναι δυνατόν μια ομάδα μυρμηγκιών να προσπαθήσει να μεταφέρει μια προνύμφη στη φωλιά τους (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η καταπολέμηση των μυρμηγκιών γίνεται με εντομοκτόνα, αλλά τα εντομοκτόνα αυτά θα σκοτώσουν και τις προνύμφες και έτσι δεν πρέπει να ψεκάζουμε εντομοκτόνα στον χώρο εκτροφής. Ένας καλός τρόπος αντιμετώπισης των μυρμηγκιών είναι η απώθησή τους με εμβάπτιση των κρεβατιών εκτροφής με πετρέλαιο κυρίως στα σημεία που αγγίζουν το πάτωμα. Τα μυρμήγκια απωθούνται από το πετρέλαιο και έτσι δεν προσπαθούν να ανέβουν στα κρεβάτια. Ένα άλλος τρόπος είναι να βάζουμε τα πόδια από το πλαίσιο των κρεβατιών εκτροφής συνεχώς μέσα σε λεκάνες που έχουν νερό και με αυτόν τον τρόπο τα μυρμήγκια δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση στο κρεβάτι εκτροφής. Η χρήση πετρελαίου για την απώθηση των μυρμηγκιών δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην εκτροφή στο έδαφος και ίσως αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο η εκτροφή στο έδαφος δεν έγινε ποτέ δημοφιλής στην Ελλάδα.

6.7.5.1 Εκτροφή σε ένα επίπεδο

Αυτού του είδους η εκτροφή είναι κάτι ανάμεσα στην εκτροφή στο έδαφος και στην εκτροφή σε κρεβάτια 3-4 επιπέδων. Αυτού του είδους η εκτροφή γίνεται με τη χρήση κρεβατιών που είναι συνεχή και μπορεί να έχουν μήκος 20 μέτρα ή παραπάνω και πλάτος 1-1,5 μέτρο. Τα κρεβάτια φέρουν πλευρικά ανασηκωμένα τοιχώματα σε όλη την περιφέρειά τους και τα τοιχώματα αυτά μπορεί να είναι φτιαγμένα από πλαστικό, ενώ το βάθος του κρεβατιού μπορεί να είναι 20-30 εκατοστά ή παραπάνω. Ανάλογο με το βάθος του κρεβατιού είναι και το ύψος που τοποθετείται το κρεβάτι, ώστε οι χειρισμοί μας να είναι όσο το δυνατόν άνετοι, ενώ το κρεβάτι θα πρέπει να επιτρέπει την προσέγγιση από όλες τις πλευρές του. Με άλλα λόγια, δεν βάζουμε ποτέ τα κρεβάτια εκτροφής να ακουμπούν σε τοίχο.

Μια διαφορετική παραλλαγή της εκτροφής σε ένα επίπεδο, η οποία χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία αλλά και σε άλλες χώρες είναι αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 6.8. Και αυτή η τεχνική βασίζεται στην εκτροφή σε ένα επίπεδο, όμως τα κρεβάτια εκτροφής είναι στην ουσία «κάδοι» εκτροφής από αεριζόμενο διαμπερές πλαστικό που πλαισιώνεται σε μεταλλικά στοιχεία της περιφέρειας της κατασκευής και στηρίζεται από μεταλλικά στοιχεία που αγγίζουν στο έδαφος. Αυτή η φτηνή κατασκευή χρησιμοποιεί ένα μετακινούμενο βαγονέτο όπου φορτώνονται τα κλαδιά και το τάισμα γίνεται με άνεση.

Το σημαντικό με αυτήν την κατασκευή είναι ότι μπορεί να μαζευτεί όλη η στρωμνή σε μια στοίβα στο τέλος της εκτροφής και να απορριφθεί μέσω του πλαστικού που την καλύπτει, ενώ ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι όλη η κατασκευή μπορεί να λυθεί και να απομακρυνθεί αφήνοντας τον χώρο για άλλες χρήσεις όταν δεν εκτρέφονται μεταξοσκώληκες. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα αν σκεφτεί κανείς ότι στην Ελλάδα μέχρι τώρα γίνεται μόνο 1 ανοιξιάτικη εκτροφή από τους περισσότερους εκτροφείς. Γενικότερα, η χρήση συρόμενου βαγονέτου είτε σε μόνιμες είτε σε λυόμενες κατασκευές κρεβατιών έχει μόνο πλεονεκτήματα.

Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για τον τρόπο δόμησης ενός σηροτροφείου για τις μεγάλες ηλικίες πέρα από τη γνώση ότι για κάθε κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα χρειαζόμαστε 25 τετραγωνικά μέτρα επιφάνειας μέχρι το τέλος της εκτροφής. Το κτήριο που θα γίνει η εκτροφή θα πρέπει να είναι στιβαρό και καλά θεμελιωμένο. Θα πρέπει να είναι φτηνό στη δόμησή του και να μπορεί να θερμανθεί και να μονωθεί. Θα πρέπει επίσης να επιτρέπει τον αερισμό και την εύκολη πρόσβαση σε αυτό με αυτοκίνητα ή φορτηγά.

Οι διαστάσεις του εσωτερικού υποδεικνύουν τον αριθμό των κουτιών που μπορούν να εκτραφούν κάθε φορά. Για παράδειγμα, για 10 κουτιά αυγών εκτρεφόμενα σε ένα επίπεδο, 300 τετραγωνικά μέτρα επιφάνειας με διαστάσεις κρεβατιών με πλάτος 1,5 μέτρο, είναι ικανοποιητικά. Οι διαστάσεις προφανώς διαφοροποιούνται όταν η εκτροφή γίνεται σε κρεβάτια 2 επιπέδων ή 3 επιπέδων, σε αυτήν την περίπτωση όμως ο φόρτος εργασίας αυξάνεται πάρα πολύ.

Η χρήση κατασκευών που μοιάζουν με θερμοκήπια είναι ιδανική σε περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι σχετικά υψηλή κατά τη διάρκεια της περιόδου εκτροφής των μεταξοσκωλήκων (Εικόνα 6.7). Οι κατασκευές αυτές είναι μια καλή λύση για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχουν μόνιμα κατασκευασμένα κτήρια για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα. Το μειονέκτημά τους είναι ότι δεν προσφέρουν ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, ειδικά σε περιοχές όπου η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι μεγάλη κατά τη διάρκεια του 24ώρου.

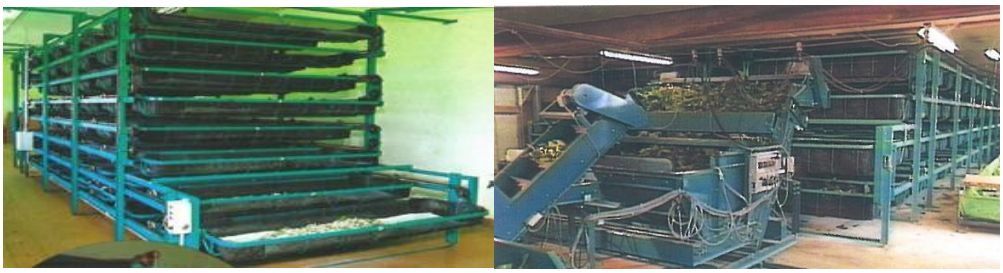
6.8 Εκμηχάνιση της εκτροφής των μεγάλων ηλικιών

Η εκμηχάνιση της εκτροφής των νεαρών μεταξοσκωλήκων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι μια σχετικά εύχρηστη πρακτική, γιατί επιτρέπει τη συνεταιριστική εκτροφή πολλών προνυμφών από δεκάδες κουτιά των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα σε μια εκτροφή με τη χρήση μηχανής εκτροφής που αποτελείται από μετακινούμενα ράφια (Εικόνα 6.17).

Εικόνα 6.17 *Μηχανή εκτροφής προνυμφών μεγάλων ηλικιών του μεταξοσκώληκα. Παρατηρήστε στην αριστερή εικόνα τα κρεβάτια εκτροφής καθώς μετακινούνται και υψώνονται μηχανικά για να επιτρέψουν το τάισμα των προνυμφών σε κάθε κρεβάτι εκτροφής. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται ένας εκτροφέας που ταΐζει τις προνύμφες σε ένα κρεβάτι εκτροφής που μεταφέρθηκε μηχανικά μπροστά στον εκτροφέα για να γίνει δυνατή η παροχή κλαδιών στις προνύμφες (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Όμως, η εκμηχάνιση της εκτροφής των μεγάλων ηλικιών είναι συμφέρουσα μόνο όταν στοχεύουμε σε μαζική και εντατική παραγωγή, κάτι που προς το παρόν είναι οικονομικά ασύμφορο υπό τις παρούσες συνθήκες στην Ελλάδα. Οι μηχανές εκτροφής για τις μεγάλες ηλικίες έχουν σημαντικό κόστος που δεν αποσβένεται εύκολα όταν δεν υπάρχει εντατική παραγωγή κουκουλιών. Βασίζονται κυρίως στην εκτροφή σε καλάθια (π.χ. 1,8 μέτρα μήκος, 1,8 μέτρα και 30 εκατοστά βάθος) στα οποία εκτρέφονται οι μεταξοσκώληκες. Τα καλάθια αυτά μετακινούνται συνεχώς πάνω σε ράγες, οι οποίες τα ανεβάζουν ψηλά ή τα κατεβάζουν χαμηλά καθώς κινούνται πάνω σε κυλιόμενες πλατφόρμες (Εικόνα 6.18). Το τάισμα γίνεται στη μια άκρη της μηχανής όπου γίνεται και το καθάρισμα της στρωμνής και οι άλλες φροντίδες (Εικόνα 6.19).

Στις μηχανές αυτές προστίθενται και μηχανισμοί αυτόματης κοπής (Εικόνα 6.20) και διαμόρφωσης των κλαδιών της μουριάς, αλλά μπορούν να προσαρμοστούν και αυτοματισμοί ταΐσματος. Παρά το γεγονός ότι αυτοματισμοί στην εκτροφή των μεταξοσκωλήκων έχουν αναπτυχθεί και στο παρελθόν, οι αυτοματισμοί αυτοί δεν έγιναν ευρύτερα αποδεκτοί και δημοφιλείς εξαιτίας του μεγάλου κόστους αγοράς, συντήρησης και διαχείρισης, καθώς πρόκειται για μηχανήματα πολύ μεγάλου μεγέθους τα οποία, τουλάχιστον για τα ελληνικά δεδομένα, θα χρησιμοποιούνται μόνο για μερικές ημέρες τον χρόνο.



Εικόνα 6.18 *Μηχανή εκτροφής προνυμφών μεγάλων ηλικιών του μεταξοσκώληκα. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται ολόκληρη η μηχανή εκτροφής, η οποία σε αυτήν την περίπτωση αποτελείται από καλάθια σχετικά μικρών διαστάσεων. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται μια μηχανή εκτροφής μεγάλων διαστάσεων που φέρει και μηχανή αυτόματης κοπής των κλαδιών μουριάς και παροχής τους στις προνύμφες. Η διαδικασία παροχής φύλλων από τη μηχανή στη δεξιά εικόνα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 6.19 *Μηχανή εκτροφής προνυμφών μεγάλων ηλικιών του μεταξοσκώληκα. Η συγκεκριμένη μηχανή φέρει συρτάρια για την εκτροφή των προνυμφών και επιτρέπει την εκτροφή μικρού αριθμού σε καθένα από τα πολλά συρτάρια που φέρει. Τα συρτάρια εκτροφής ανυψώνονται και μετακινούνται μηχανικά κάθετα και οριζόντια σε όλη την έκταση της μηχανής αποτρέποντας έτσι την ανομοιομορφία ανάπτυξης των προνυμφών. Η συγκεκριμένη μηχανή ενδείκνυται και για την εκτροφή νεαρών ηλικιών των προνυμφών του μεταξοσκώληκα. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται λεπτομέρεια του συρταριού εκτροφής και των μεταλλικών στοιχείων που επιτρέπουν τη μετακίνησή του (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 6.20 *Μηχανές κλαδέματος και συλλογής φύλλων μουριάς από τον μορεώνα. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται μια μηχανή που τη χειρίζεται ένας συλλέκτης κλαδιών. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται μια μεγαλύτερη παραλλαγή παρόμοιας μηχανής που τη χειρίζονται ένας οδηγός και ένας συλλέκτης κλαδιών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

6.9 Διαχείριση της εκτροφής των μεταξοσκωλήκων στις μεγάλες ηλικίες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ως μεγάλες ηλικίες εννοούμε την 4η και 5η ηλικία του σταδίου της προνύμφης του μεταξοσκώληκα. Εφόσον η εκτροφή των νεαρών ηλικιών του μεταξοσκώληκα γίνεται σε συνεταιριστικό επίπεδο, τότε η εκτροφή των προνυμφών της 4ης και 5ης ηλικίας γίνεται στο σηροτροφείο του κάθε εκτροφέα και διαρκεί περίπου 15 ημέρες μέχρι την πλοκή των κουκουλιών, οπότε το σηροτροφείο χρησιμοποιείται για την περίοδο αυτή συν το διάστημα της 1 εβδομάδας κατά την οποία τα κουκούλια παραμένουν εντός του χώρου του σηροτροφείου μέχρι να γίνει η συλλογή τους, εκτός και εάν η πλοκή των κουκουλιών γίνεται σε διαφορετικό χώρο από αυτόν της εκτροφής.

Εάν η εκτροφή των νεαρών ηλικιών γίνεται από έναν εκτροφέα σε ιδιωτικό και όχι συνεταιριστικό επίπεδο, τότε το σηροτροφείο χρησιμοποιείται από την έναρξη της εκτροφής, δηλαδή από την εκκόλαψη των αυγών μέχρι και τη συλλογή των κουκουλιών. Η εκτροφή από έναν εκτροφέα μπορεί να γίνει σε δύο χώρους που να απέχουν σημαντικά μεταξύ τους. Ο ένας χώρος μπορεί να είναι μικρού μεγέθους και να είναι αφιερωμένος στην επώαση των αυγών και στην εκτροφή των νεαρών ηλικιών και μπορεί να βρίσκεται σε διαφορετικό απομακρυσμένο κτίσμα ή σε δωμάτιο ξεχωριστό και ανεξάρτητο από τον χώρο που χρησιμοποιείται για τις μεγάλες ηλικίες. Η συνήθης πρακτική στην Ελλάδα, η οποία δεν είναι η ενδεδειγμένη, είναι να γίνεται η εκτροφή στον ίδιο χώρο, από την εκκόλαψη των προνυμφών μέχρι την πλοκή των κουκουλιών, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τις σοβαρές προσβολές από ασθένειες που έχουν οδηγήσει πολλούς σηροτρόφους στο να εγκαταλείψουν την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων.

Η ιδανική κατάσταση λοιπόν στη διαχείριση των μεγάλων ηλικιών των μεταξοσκωλήκων είναι να γίνεται η εκτροφή των προνυμφών στις μεγάλες ηλικίες σε ξεχωριστό χώρο για 15 περίπου ημέρες, κατόπιν η πλοκή των κουκουλιών να γίνεται σε άλλο χώρο και ο χώρος της εκτροφής των μεγάλων ηλικιών να καθαρίζεται και να απολυμαίνεται άμεσα, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύντομα για μια ακόμη εκτροφή. Αυτή είναι η ιδέα και η μεθοδολογία πίσω από τις πολλαπλές εκτροφές των μεταξοσκωλήκων, οι οποίες μπορεί να είναι όχι μόνο τρεις αλλά αρκετές μέσα στην περίοδο από Μάιο μέχρι Οκτώβριο με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επάρκεια φύλλων μουριάς σε όλο αυτό το διάστημα και επίσης ότι τηρούνται άριστες συνθήκες υγιεινής. Αν τηρούνται αυτές οι συνθήκες στο μέγιστο, τότε ένας εκτροφέας μπορεί να χρησιμοποιήσει τον χώρο εκτροφής των μεγάλων ηλικιών για 5-6 φορές από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο διατηρώντας έναν ξεχωριστό χώρο για την εκτροφή των νεαρών ηλικιών και ξεχωριστό χώρο για την πλοκή των κουκουλιών.

Εφόσον όμως η εκτροφή γίνεται από την εκκόλαψη των προνυμφών μέχρι τη συλλογή των κουκουλιών στον ίδιο χώρο, τότε μπορούμε να κάνουμε μέχρι 3 εκτροφές από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο. Από την άλλη πλευρά, όταν γίνεται συνεταιριστική εκτροφή των νεαρών ηλικιών και χρήση του χώρου εκτροφής για την εκτροφή των μεγάλων ηλικιών μέχρι και τη συλλογή των κουκουλιών, τότε ο αριθμός των εκτροφών ανά έτος μπορεί να είναι >3 αλλά μικρότερος από 6 (<6). Όλα αυτά θα πρέπει να καθορίζονται από το πλάνο εκτροφών που θα πρέπει να διαμορφώνει ο κάθε εκτροφέας από την αρχή της περιόδου των εκτροφών τον Απρίλιο και να το ακολουθεί πιστά.

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι ένας εκτροφέας λαμβάνει από συνεταιριστική εκτροφή 10 κουτιά των 20000 αυγών για να εκθρέψει την 4η και 5η ηλικία. Λαμβάνει δηλαδή προνύμφες που μόλις έχουν εκδυθεί στην 4η ηλικία και προέρχονται από 10 κουτιά των 20000 αυγών το καθένα. Οι προνύμφες πρέπει να μεταφερθούν με προσοχή στο σηροτροφείο και αυτό πρέπει να γίνει με μεταφορικά μέσα όπως φορτηγά λόγω του μεγάλου μεγέθους που καταλαμβάνουν. Οι προνύμφες τοποθετούνται στα κρεβάτια εκτροφής και ταΐζονται πλέον με βλαστάρια φύλλων ή κορυφές βλαστών μήκους 30-40 εκατοστών. Κατά τη διάρκεια της 4η ηλικίας οι προνύμφες μπορούν να εκτρέφονται με κάλυψη από φτηνό πλαστικό κάλυμμα για να διατηρούνται φρέσκα τα φύλλα, αλλά χρειάζεται προσοχή ώστε να μη δημιουργούνται συνθήκες υψηλής υγρασίας και αύξηση του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα κάτω από το πλαστικό (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Krishnaswami, 1979; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Ένας καλός τρόπος για να το διαπιστώνουμε αυτό είναι να προσέχουμε για εμφάνιση κηλίδων νερού στην κάτω μεριά του πλαστικού που είναι ένδειξη ότι πρέπει να αφαιρεθεί το πλαστικό κάλυμμα και να αεριστεί η στρωμνή των προνυμφών. Κατά τη διάρκεια της 4ης ηλικίας ακολουθούμε πιστά τις συνθήκες εκτροφής που αναφέρονται στον Πίνακα 6.5 ως προς τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία και το μέγεθος του κρεβατιού εκτροφής. Επειδή η διαχείριση των προνυμφών στην 4η ηλικία είναι σχετικά εύκολη και δεν υπάρχει μεγάλος φόρτος εργασίας, προσέχουμε και αφαιρούμε προνύμφες που είναι μικρές, καχεκτικές ή ύποπτες για προσβολή από ασθένεια και τις διατηρούμε σε ξεχωριστό κρεβάτι εκτροφής ελέγχοντας την ανάπτυξή τους συχνά. Είναι πάρα πολύ σημαντικό να έχουμε προνύμφες που αναπτύσσονται ομοιόμορφα σε όλο το κρεβάτι εκτροφής κατά

την 4η ηλικία, γιατί αυτό μειώνει πολύ σημαντικά τον φόρτο εργασίας στην 5η ηλικία. Στην 4η ηλικία το μέγεθος των προνυμφών αυξάνεται σημαντικά μέρα με τη μέρα και η κάλυψη του κρεβατιού εκτροφής γίνεται πολύ γρήγορα από τις προνύμφες.

Πειράματα υπό ελεγχόμενες συνθήκες από τη δεκαετία του ’80 έδειξαν ότι η 4η ηλικία διαρκεί περίπου 96 ώρες, δηλαδή 4 ημέρες και κατόπιν αρχίζει η τελική 4η έκδυση των προνυμφών. Η 4η έκδυση διαρκεί περίπου 36 ώρες και είναι η μεγαλύτερη σε διάρκεια έκδυση και στην έκδυση αυτή χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να υπάρχει ομοιομορφία στην ολοκλήρωση της έκδυσης από όλες τις προνύμφες. Και στην περίπτωση της 4ης έκδυσης χρησιμοποιούμε δίχτυα κατάλληλης διατομής για να συλλέξουμε τις προνύμφες που πρέπει να τραφούν ακόμα, καθώς δεν έχουν μπει στο στάδιο της έκδυσης και τις οποίες μεταφέρουμε με το δίχτυ σε άλλο σημείο του κρεβατιού εκτροφής.

Όπως και στις προηγούμενες εκδύσεις, έτσι και κατά την 4η έκδυση οι προνύμφες είναι αγκιστρωμένες σε ένα σταθερό σημείο με λίγες ίνες μεταξιού που αφήνουν στο σημείο αυτό για να μπορέσουν να εξέλθουν από το παλιό επιδερμίδιο μετά την έκδυσή τους χρησιμοποιώντας τις ίνες αυτές ως άγκιστρα για να ωθήσουν το σώμα τους έξω από το παλιό επιδερμίδιο. Το σώμα των προνυμφών κατά την έκδυση είναι ανασηκωμένο από το πρώτο ζευγάρι ψευδοποδίων μέχρι και το κεφάλι τους και σταδιακά κατά την έκδυση μπορούμε να παρατηρήσουμε την εμφάνιση της νέας κεφαλικής κάψας κάτω από την παλιά. Εάν διατηρούμε μια φωτοπερίοδο 12 ωρών φωτός και 12 ώρων σκοταδιού, τότε η έκδυση συμβαίνει κατά τη διάρκεια της νύχτας (σκοτοπερίοδος) 36 ώρες μετά την έναρξή της. Αυτό το σημείο είναι σημαντικό, γιατί θεωρητικά στην έναρξη της επόμενης φωτοπεριόδου (το πρωί της επόμενης ημέρας δηλαδή) θα δούμε στο κρεβάτι εκτροφής όλες τις προνύμφες να έχουν εκδυθεί στην 5η ηλικία.

Εφόσον όλες οι προνύμφες έχουν εκδυθεί στην 5η ηλικία, εφαρμόζουμε ένα δίχτυ κατάλληλου διαμετρήματος πάνω από τις προνύμφες και τις ταΐζουμε για τα επόμενα 2 γεύματα πάνω σε αυτό και κατόπιν το αφαιρούμε για να αφαιρέσουμε τη στρωμνή από την 4η ηλικία και να την απορρίψουμε. Εάν παρατηρούμε ανομοιομορφία στην έκδυση των προνυμφών, τότε πρέπει να περιμένουμε και συνήθης πρακτική είναι να περιμένουμε αφήνοντας τις προνύμφες χωρίς τάισμα για 1 ημέρα μέχρι να εκδυθούν όλες οι προνύμφες. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι, αντίθετα με την επικρατούσα αντίληψη μεταξύ των σηροτρόφων, η νηστεία των προνυμφών στην έναρξη της 5ης ηλικίας δεν επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξή τους, αλλά καθυστερεί την ολοκλήρωση της εκτροφής.

Πειράματα που έγιναν με την εφαρμογή νηστείας στις προνύμφες της 5ης ηλικίας έδειξαν ότι οι προνύμφες μπορούν να μείνουν νηστικές για έως και 4 ημέρες και κατόπιν όταν αρχίσουν να ταΐζονται, η ανάπτυξή τους αρχίζει από την ημέρα της έναρξης διατροφής τους και ολοκληρώνεται κανονικά. Αυτό σημαίνει ότι η ανάπτυξη των προνυμφών καθορίζεται από την τροφή που προσλαμβάνουν και η διάρκεια της κάθε ηλικίας της προνύμφης εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα της διατροφής όταν όλες οι άλλες συνθήκες διατηρούνται σταθερές. Η ανάπτυξη των προνυμφών στις μεγάλες ηλικίες επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία και η διάρκεια της 5ης ηλικίας μπορεί να μειωθεί κατά 1-2 ημέρες εάν η θερμοκρασία στο σηροτροφείο διατηρείται στους 28-30 ^{o}C, αλλά αυτό δεν είναι επιθυμητό, γιατί η κατανάλωση των γευμάτων γίνεται πολύ γρήγορα και οι προνύμφες είναι επιρρεπείς στις προσβολές από παθογόνα.

Η 5η ηλικία είναι το πιο σημαντικό στάδιο ανάπτυξης των προνυμφών, γιατί οι καλές συνθήκες εκτροφής σε αυτήν την ηλικία έχουν άμεση επίπτωση στο βάρος και την απόδοση σε ποιοτικά κουκούλια που θα πάρουμε. Η διάρκεια της εκτροφής στην 5η ηλικία είναι περίπου 168 έως 192 ώρες αν θεωρήσουμε ως ώρα 0 τη στιγμή του 1ου γεύματος στην 5η ηλικία, δηλαδή τη στιγμή που ταΐζονται για 1η φορά οι προνύμφες μετά την τελευταία έκδυσή τους. Αυτό σημαίνει ότι η 5η ηλικία διαρκεί 8 ή 9 ημέρες όταν γίνεται σωστά και επαρκώς η διατροφή τους. Ο υπολογισμός της διάρκειας διατροφής των προνυμφών πρέπει να θεωρεί ότι οι προνύμφες θα αρχίσουν την πλοκή των κουκουλιών τους την 8η ημέρα όταν ακολουθείται το πρόγραμμα που παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.5. Είναι συχνό όμως το φαινόμενο η διάρκεια της 5ης ηλικίας να διαρκεί περισσότερο από 8 ημέρες, ειδικά στα πολύ παραγωγικά εμπορικά υβρίδια, σε συνδυασμό με την εκτροφή πολλών κουτιών αυγών μεταξοσκώληκα.

Η ανάπτυξη των προνυμφών στην 5η ηλικία ακολουθεί δύο στάδια: το στάδιο της υποχρεωτικής σίτισης και το στάδιο της «προαιρετικής» σίτισης. Τα δύο αυτά στάδια έχουν καθοριστεί από μελέτες στον μεταξοσκώληκα και σε άλλα εκτρεφόμενα έντομα, οι οποίες βρήκαν ότι υφίσταται στα ζώα αυτά το αξίωμα του κρίσιμου βάρους για τη μεταμόρφωσή τους σε νύμφη.

Σύμφωνα με το αξίωμα αυτό, οι προνύμφες πρέπει να επιτύχουν ένα κρίσιμο βάρος για να ξεκινήσουν τη διαδικασία μεταμόρφωσής τους σε νύμφη. Αν δεν μπορούν να τραφούν και δεν αποκτήσουν το κρίσιμο βάρος τους, τότε δεν θα μεταμορφωθούν σε νύμφες, ενώ αν αποκτήσουν το κρίσιμο βάρος τους και δεν τραφούν περαιτέρω, τότε θα μεταμορφωθούν σε νύμφες. Το αξίωμα του κρίσιμου βάρους είναι πολύ σημαντικό να

λαμβάνεται υπόψη κατά την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων, ιδίως όταν η επάρκεια σε φύλλα είναι πολύ περιορισμένη ή όταν πρέπει να διαχειριστούμε τις ώριμες προνύμφες που πρόκειται να πλέξουν το κουκούλι τους. Στα περισσότερα εμπορικά υβρίδια μεταξοσκώληκα που εκτρέφονται υπό συνθήκες καλή διατροφής, το κρίσιμο βάρος επιτυγχάνεται περίπου μετά τις 84 ώρες της 5ης ηλικίας, δηλαδή στην έναρξη της 4ης ημέρας της εκτροφής. Μέχρι τη στιγμή εκείνη οι προνύμφες πρέπει υποχρεωτικά να τρέφονται και όσο καλύτερα τρέφονται τόσο πιο συγχρονισμένα θα επιτύχουν το κρίσιμο βάρος τους. Εφόσον επιτύχουν το κρίσιμο βάρος τους στις 84 ώρες της 5ης ηλικίας, αυτό θα σημαίνει ότι θα αρχίσουν την πλοκή των κουκουλιών την 8η ημέρα της εκτροφής. Κατά αναλογία, όσο πιο ανεπαρκώς τρέφονται, τόσο θα καθυστερεί η απόκτηση του κρίσιμου βάρους τους και τόσο θα καθυστερεί η έναρξη πλοκής των κουκουλιών.

Σε φυσιολογικό επίπεδο, η απόκτηση του κρίσιμου βάρους είναι η συνθήκη εκείνη κατά την οποία ο μεταβολισμός του ζώου έχει λάβει αρκετά θρεπτικά συστατικά ώστε να σηματοδοτήσει την ικανότητα του σώματος να οδηγηθεί στη μεταμόρφωση, καθώς υπάρχουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για να ολοκληρωθεί η μεταμόρφωση σε νύμφη. Το κρίσιμο βάρος ως μέγεθος διαφέρει ανάμεσα στα θηλυκά και τα αρσενικά άτομα και έχει γενετικό υπόβαθρο, καθώς υπάρχουν φυλές μεταξοσκώληκα που εμφανίζουν μικρότερο κρίσιμο βάρος, ενώ τα εμπορικά υβρίδια έχουν σχεδόν όλα μεγαλύτερο κρίσιμο βάρος σε σχέση με τις φυλές.

Η γενετική βελτίωση των πατρογονικών στελεχών από τα οποία προκύπτουν τα εμπορικά υβρίδια μεταξοσκώληκα βασίζεται στην απόκτηση του κρίσιμου βάρους όσο το δυνατόν αργότερα στην 5η ηλικία. Από την άλλη πλευρά, το κρίσιμο βάρος είναι μια συνθήκη που δεν μπορεί συνήθως να μειωθεί ακόμα και αν ταΐσουμε τις προνύμφες υπό τις καλύτερες συνθήκες, ενώ μπορεί να μειωθεί συνήθως κατά 1 ημέρα αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία και έχουμε τις καλύτερες δυνατές συνθήκες διατροφής. Αυτό όμως είναι σχεδόν αδύνατον να επιτευχθεί σε πραγματικές συνθήκες εκτροφής με πολλά κουτιά κουκουλιών, καθώς απαιτεί τεράστια επένδυση σε εργατοώρες.

Το αξίωμα του κρίσιμου βάρους σε πρακτικό επίπεδο επιβάλλει ότι αν δεν θέλουμε να καθυστερήσει η διάρκεια της εκτροφής μας, τότε τις 4 πρώτες ημέρες της 5ης ηλικίας οι προνύμφες θα πρέπει να ταΐζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Επίσης, το αξίωμα του κρίσιμου βάρους σε πρακτικό επίπεδο ορίζει ότι από την 4η ημέρα και μετά, το καλό τάισμα αποσκοπεί στην παραγωγή ποιοτικών κουκουλιών, καθώς οι προνύμφες θα αρχίσουν να πλέκουν κουκούλια την 8η ημέρα της 5ης ηλικίας και η ποιότητα και ποσότητα των κουκουλιών εξαρτάται από την ποιότητα και ποσότητα της τροφής που θα παρέχουμε. Όσες προνύμφες δεν αρχίσουν να πλέκουν κουκούλια την 8η ημέρα της 5ης ηλικίας, δεν είχαν πετύχει το κρίσιμο βάρος τους μετά την 84η ώρα της 5ης ηλικίας και θα αρχίσουν την πλοκή των κουκουλιών τους την 9η ημέρα της 5ης ηλικίας.

Πριν τις πρώτες ανακαλύψεις τη δεκαετία του ’80 σχετικά με την ύπαρξη του κρίσιμου βάρους ως μια σταθερά ανάπτυξης των εντόμων, έρευνες τη δεκαετία του ’70 στην Ιαπωνία έδειξαν ότι παρεμπόδιση της ορμονικής ρύθμισης της ανάπτυξης στον μεταξοσκώληκα, με σκοπό την αύξηση της απόδοσης σε μετάξι, έχει ως αποτέλεσμα την παράταση της 5ης ηλικίας έως και 4 ημέρες και την αύξηση των αποδόσεων σε μετάξι.

Πιο συγκεκριμένα, έρευνες από τον Καθ. Hiromu Akai με τη χρήση ενός ανάλογου της ορμόνης νεότητας έδειξαν ότι το βάρος του κελύφους του κουκουλιού μπορεί να φτάσει μέχρι πάνω από 1 γραμμάριο, ενώ το βάρος του κουκουλιού μπορεί να ξεπεράσει τα 4 γραμμάρια (Akai et al., 1989; Akai & Shibukawa, 1984; Akai et al., 1988; Kiuchi & Akai, 1985; Kobari & Akai, 1978; Shibukawa & Akai, 1981). Οι έρευνες αυτές κατέληξαν στη δημιουργία ενός εμπορικού σκευάσματος με την ονομασία Manta (Kobari & Akai, 1978; Shibukawa & Akai, 1981), το οποίο περιείχε τη δραστική ουσία methoprene, που είναι ένα ανάλογο της ορμόνης νεότητας, σε ποσό 6,25 mg σε ένα αιώρημα οργανικού διαλύτη 5 mL ανά φιαλίδιο. Σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης, το περιεχόμενο ενός φιαλίδιου αραιωνόταν σε 2,5 λίτρα νερό και με αυτό το νερό ψεκάζουμε τις προνύμφες από 1 κουτί μεταξοσκωλήκων των 20000 αυγών στην 5η ηλικία και στις 60 ή στις 72 ώρες της 5ης ηλικίας (Kobari & Akai, 1978; Shibukawa & Akai, 1981).

Ο ψεκασμός γίνεται απευθείας πάνω στο σώμα των προνυμφών. Όταν γίνεται η εφαρμογή αυτού του αναλόγου της ορμόνης νεότητας πάνω στις προνύμφες, τότε η διάρκεια της 5ης ηλικίας αυξάνεται κατά 2 ημέρες και ανάλογα αυξάνεται το βάρος των κουκουλιών, ενώ όταν αυξάνεται η συγκέντρωση αυτής της χημικής ένωσης, τότε η αύξηση του βάρους των κουκουλιών είναι πολύ μεγάλη και σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνά τα 4 γραμμάρια φρέσκου βάρους (Akai et al., 1989; Akai & Shibukawa, 1984; Akai et al., 1988; Kiuchi & Akai, 1985; Kobari & Akai, 1978; Shibukawa & Akai, 1981). Αυτά τα πειράματα έγιναν με σκοπό την αύξηση της παραγωγής σε μετάξι, αλλά ταυτόχρονα ανέδειξαν και την αντίληψη σχετικά με την ύπαρξη του κρίσιμου βάρους, καθώς εφαρμογή αυτού του ανάλογου της ορμόνης νεότητας μετά τις 84 ώρες της 5ης ηλικίας δεν είχε κανένα αποτέλεσμα στο βάρος του κουκουλιού.

Η ύπαρξη ενός κρίσιμου βάρους στην ανάπτυξη του μεταξοσκώληκα βρέθηκε αργότερα ότι συνδέεται με την εφαρμογή αυτού του ανάλογου της ορμόνης νεότητας για την αύξηση της απόδοσης σε μετάξι, καθώς αυτή η χημική ένωση σηματοδοτεί στην αναπτυσσόμενη προνύμφη ότι δεν έχει αποκτήσει ακόμη το κρίσιμο βάρος και άρα πρέπει να τραφεί περισσότερο. Αυτό συμβαίνει σε μοριακό επίπεδο με την παρεμπόδιση της αύξησης των επιπέδων των εκδυστεροειδών στο σώμα της προνύμφης, καθώς το ανάλογο της ορμόνης νεότητας επιδρά πάνω στους προθωρακικούς αδένες και παρεμποδίζει την αύξηση της σύνθεσης εκδυστεροειδών από τους αδένες αυτούς.

Η εμπορική χρήση του σκευάσματος Manta στην Ιαπωνία ξεκίνησε μετά τις πρώτες ανακαλύψεις το 1977, δεν είχε όμως την άμεση ανταπόκριση από την πλευρά των εκτροφέων ως προς τη χρήση του. Αυτό συνέβη, γιατί η χρήση αυτού του ορμονικού παρεμποδιστή δεν επέφερε καμία αλλαγή στην ποιότητα του παραγόμενου μεταξιού, αλλά μόνο στην ποσότητα.

Αυτή η αύξηση στην ποσότητα του κελύφους του κουκουλιού δημιουργούσε την αναγκαιότητα να ταΐζονται οι προνύμφες για περισσότερο διάστημα στην 5η ηλικία και αυτό αύξανε σημαντικά τον φόρτο εργασίας και την κατανάλωση των φύλλων. Μια άλλη αρνητική συνέπεια είναι ότι μερικές προνύμφες μπορεί να μην έφταναν ποτέ στο στάδιο της πλοκής κουκουλιού, αλλά να παρέμεναν για πολλές ημέρες ως τρεφόμενες προνύμφες (Akai et al., 1988). Με άλλα λόγια, η σχέση κόστους προς κέρδος για την εμπορική αξιοποίηση αυτού του χημικού ανάλογου της ορμόνης νεότητας ήταν πολύ μικρή, καθώς η αύξηση των εργατοωρών που επέφερε η χρήση του δεν ήταν τόσο αποδοτική όσο η καλή εκτροφή με ένα πολύ αποδοτικό υβρίδιο χωρίς τη χρήση αυτού του χημικού ανάλογου της ορμόνης νεότητας.

Από την άλλη μεριά, έχει προταθεί η χρήση των ανάλογων της εκδυσόνης ως ένας τρόπος ωρίμανσης των προνυμφών μετά την απόκτηση του κρίσιμου βάρους τους (Chandrakala et al., 1998; Takeda et al., 1991; Zhuang, 1992). Η εφαρμογή ανάλογων της εκδυσόνης στις προνύμφες πριν την απόκτηση του κρίσιμου βάρους τους οδηγεί στην εμφάνιση μιας ακόμη έκδυσης και αυτό δεν είναι επιθυμητό. Η εφαρμογή όμως ανάλογων της εκδυσόνης στις προνύμφες λίγο πριν την πλοκή των κουκουλιών προκαλεί την άμεση έναρξη της πλοκής κουκουλιών από τις προνύμφες και ουσιαστικά συγχρονίζει όλες τις προνύμφες ώστε να σταματήσουν να τρέφονται και να αρχίσουν την πλοκή των κουκουλιών.

Σκευάσματα που υπάρχουν στην Κίνα χρησιμοποιούνται για αυτήν την πρακτική που βασίζεται στον ψεκασμό των φύλλων της μουριάς με διάλυμα που περιέχει το ανάλογο της εκδυσόνης σε ποσότητα 1,25 mg και το οποίο αραιώνεται με 10 λίτρα νερού. Με αυτό το διάλυμα εμβαπτίζονται τα φύλλα της μουριάς την 7η ή 8η ημέρα της 5ης ηλικίας. Το πρόβλημα με την εφαρμογή αυτή είναι ότι ενεργοποιεί σημαντικά την ωρίμανση των προνυμφών και απαιτείται μεγάλος φόρτος εργασίας για την τοποθέτηση των προνυμφών προς πλοκή των κουκουλιών τους, κάτι που ουσιαστικά θα επερχόταν φυσιολογικά.

Η χρήση εξωγενών χημικών ενώσεων για τη βελτίωση των αποδόσεων των εκτροφών των μεταξοσκωλήκων δεν είναι μια νέα πρακτική. Αν ανατρέξει κανείς στη βιβλιογραφία, θα βρει εκατοντάδες αναφορές για εφαρμογή διαφόρων χημικών ενώσεων στις προνύμφες στην 5η ηλικία με σκοπό την αύξηση της απόδοσης σε βάρος κουκουλιού. Χημικές ενώσεις όπως αντιβιοτικά, ανθρώπινες ορμόνες, βιταμίνες, ιχνοστοιχεία και αμινοξέα έχουν δοκιμαστεί με πολύ αναξιόπιστα αποτελέσματα, καθώς η βελτίωση που επιφέρει η χρήση εξωγενών χημικών ενώσεων δεν ανταποκρίνεται στο κόστος τους, αλλά είναι επίσης ιδιαίτερα ασήμαντη σε σχέση με τη σημαντικότητα της εκτροφής των μεταξοσκωλήκων υπό ιδανικές συνθήκες σε συνδυασμό με τη χρήση εύρωστων και παραγωγικών υβριδίων.

Για παράδειγμα, δεν υπάρχει κανένας λόγος ή όφελος να χρησιμοποιούμε ενισχυτικά διατροφής των προνυμφών που αυξάνουν την απόδοση σε βάρος κουκουλιού κατά 0,2 γραμμάρια, όταν ο μέσος όρος κουκουλιού που παράγουμε από ένα υβρίδιο είναι 1,9 γραμμάρια κουκούλι κατά μέσο όρο, ενώ ένα άλλο υβρίδιο παράγει χωρίς τη χρήση ενισχυτικών διατροφής 2,2 γραμμάρια κατά μέσο όρο. Με άλλα λόγια, είναι προτιμότερο οι εκτροφείς μεταξοσκωλήκων να γνωρίζουν από πού θα προμηθευτούν παραγωγικά εμπορικά υβρίδια παρά να προσπαθούν να βελτιώσουν τις αποδόσεις λιγότερο παραγωγικών υβριδίων με τη χρήση χημικών ενώσεων.

Η εκτροφή των μεταξοσκωλήκων, ιδιαίτερα στην 5η ηλικία, είναι μια ιδιαίτερα κοπιαστική αγροτική ενασχόληση, ιδίως όταν πολλά κουτιά αυγών εκτρέφονται ταυτόχρονα. Οι εργασίες που πρέπει να κάνουν οι εκτροφείς στην 5η ηλικία είναι η καθημερινή συγκομιδή κλαδιών μουριάς σε πολύ μεγάλες ποσότητες, η μεταφορά και αποθήκευση των κλαδιών στο σηροτροφείο μέχρι το τάισμα, η διαλογή των τρυφερών βλαστών και των φύλλων από τα κλαδιά, το τάισμα των προνυμφών, το καθάρισμα της στρωμνής και η γενικότερη φροντίδα για διατήρηση του χώρου εκτροφής καθαρού και φροντισμένου.

Γενικά ένα άτομο μπορεί, εάν διαθέτει όχημα μεταφοράς κλαδιών μουριάς, να εκθρέψει 1 κουτί των 20000 αυγών, αλλά αυτό απαιτεί το άτομο αυτό να μπορεί να διαχειριστεί (κοπή, κουβάλημα, φόρτωση) βαριά

φορτία φύλλων. Βοηθά πάρα πολύ όταν το σηροτροφείο βρίσκεται δίπλα σε μορεώνα, αλλά το σύνολο των εργασιών απαιτεί οι εργαζόμενοι να είναι σε καλή φυσική κατάσταση, γιατί η εργασία είναι επίπονη. Σε περίπτωση που τα κουτιά των εκτρεφόμενων μεταξοσκωλήκων είναι >2, τότε είναι απαραίτητη η συμμετοχή εργαζόμενου προσωπικού για την ολοκλήρωση της εκτροφής. Σε κάθε περίπτωση, χρειάζεται να υπάρχει μια σχετική εμπειρία στην εκτροφή μεταξοσκωλήκων, να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες του Πίνακα 6.5 και να ακολουθούνται οι οδηγίες που αναφέρονται σε αυτό το βιβλίο σχετικά με τις καλύτερες και πιο εύκολες πρακτικές για την εκτροφή των προνυμφών. Σε περίπτωση που κάποιος αγρότης θέλει να ξεκινήσει να ασχολείται με την εκτροφή μεταξοσκωλήκων, είναι συνετό να ξεκινήσει με την εκτροφή μισού κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα και να κρατά καλές σημειώσεις σχετικά με την πορεία της εκτροφής και τα λάθη και παραλείψεις που έγιναν ως προς τη βέλτιστη απόδοση σε κουκούλια. Σταδιακά και μέσα σε 2-3 χρόνια αυτός ο νέος εκτροφέας μεταξοσκωλήκων θα έχει αποκτήσει την εμπειρία και τις ικανότητες να εκτρέφει 10-20 κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Akai, H., Kobayashi, J. U. N., Takabayashi, K., & Chida, I. (1989). Changes of ecdysteroid levels of Bombyx larvae after JH and ecdysterone treatments. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *58*(5), 436-438. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.58.436

Akai, H., & Shibukawa, A. (1984). The jumbo cocoons obtained by administration of juvenoids in domesticated silkworm, Bombyx mori. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *53*(1), 77-80. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.53.77

Akai, H., Takabayashi, K., & Kiuchi, M. (1988). Induction of spinning from JH-treated eternal larvae of Bombyx mori by ecdysteroid administration. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *57*(4), 341-344. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.57.341

Akutsu, K. (2022). *Silk Report No.72* (Silk Reports, Issue. D. S. Association.

Anonymous. (1985). *New Illustrated Sericulture Book*. National Federation of Sericultural Cooperatives of Japan.

Aruga, H. (1994). *Principles of Sericulture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=qYZds1N0Q-YC

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., Tokoro, Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Bisch-Knaden, S., Daimon, T., Shimada, T., Hansson, B. S., & Sachse, S. (2014). Anatomical and functional analysis of domestication effects on the olfactory system of the silkmoth, Bombyx mori. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *281*(1774), 20132582. https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2582

Chandrakala, M. V., Maribashetty, V. G., & Jyothi, H. K. (1998). Application of phytoecdysteroids in sericulture. *Current Science*, *74*(4), 341-346. http://www.jstor.org/stable/24101507

Ganga, G. (2003). *Comprehensive Sericulture*. Science. https://books.google.gr/books?id=Ud0AAAAACAAJ

Goldsmith, M. R., Shimada, T., & Abe, H. (2005). The Genetics and Genomics of the silkworm, Bombyx mori. *Annual Review of Entomology*, *50*(1), 71-100. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130456

Hiratsuka, E. (1969). *Silkwrom Breeding* (1st Edition ed.). Sericulture Science Research Centre/CRC Press.

Kim, M. J., Park, J. S., Kim, H., Kim, S. R., Kim, S. W., Kim, K. Y., Kwak, W., & Kim, I. (2022). Phylogeographic Relationships among Bombyx mandarina (Lepidoptera: Bombycidae) Populations and Their Relationships to B. mori Inferred from Mitochondrial Genomes. *Biology (Basel)*, *11*(1). https://doi.org/10.3390/biology11010068

Kiuchi, M., & Akai, H. (1985). Increase of cocoon shell weight and shell ratio by anti-JH administration during the fifth larval instar in Bombyx mori. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *54*(6), 527-528. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.54.527

Kobari, Y., & Akai, H. (1978). Utilization of the Manta (synthetic compound with juvenile hormone activity) for the silkworm rearing. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *47*(4), 315-319. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.47.315

Krishnaswami, S. (1979). *Sericulture Manual: Silkworm rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=o9DhngEACAAJ

Lim, S. H., Food, Nations, A. O. o. t. U., Kim, Y. T., Lee, S. P., Rhee, I. J., Lim, J. S., & Lim, B. H. (1990). *Sericulture Training Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=_Lc4zvd9fxMC

Lu, K., Liang, S., Han, M., Wu, C., Song, J., Li, C., Wu, S., He, S., Ren, J., Hu, H., Shen, J., Tong, X., & Dai, F. (2020). Flight Muscle and Wing Mechanical Properties are Involved in Flightlessness of the Domestic Silkmoth, Bombyx mori. *Insects*, *11*(4). https://doi.org/10.3390/insects11040220

Machii, H., & Katagiri, K. (1991). Varietal Differences in Nutritive Values of Mulberry Leaves for Rearing Silkworms. *Jarq-japan Agricultural Research Quarterly*, *25*, 202-208.

Matsumoto, S., Hull, J. J., Ohnishi, A., Moto, K., & Fónagy, A. (2007). Molecular mechanisms underlying sex pheromone production in the silkmoth, Bombyx mori: characterization of the molecular components involved in bombykol biosynthesis. *J Insect Physiol*, *53*(8), 752-759. https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.02.014

Sakurai, S. (1983). Temporal organization of endocrine events underlying larval-larval ecdysis in the silkworm, Bombyx mori. *Journal of Insect Physiology*, *29*(12), 919-932. https://doi.org/10.1016/0022-1910(83)90055-0

Sakurai, S. (1984). Temporal organization of endocrine events underlying larval-pupal metamorphosis in the silkworm, Bombyx mori. *Journal of Insect Physiology*, *30*(8), 657-664. https://doi.org/10.1016/0022-1910(84)90051-9

Sakurai, T., Namiki, S., & Kanzaki, R. (2014). Molecular and neural mechanisms of sex pheromone reception and processing in the silkmoth Bombyx mori. *Frontiers in physiology*, *5*, 125. https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00125

Shekar, P., & Hardingham, M. (1995). *Sericulture and Silk Production: A Handbook*. Intermediate Technology Publications. https://books.google.gr/books?id=ue1JAAAAYAAJ

Shibukawa, A., & Akai, H. (1981). Effects of Manta on the silk production of a silkworm race producing heavy cocoon shells. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *50*(2), 73-76. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.50.73

Singh, T. (2015). *Silkworm Rearing Technology: Principles and Management*. Discovery Publishing House PVT Limited. https://books.google.gr/books?id=QOjxrQEACAAJ

Tabuchi, M., Sakurai, T., Mitsuno, H., Namiki, S., Minegishi, R., Shiotsuki, T., Uchino, K., Sezutsu, H., Tamura, T., Haupt, S. S., Nakatani, K., & Kanzaki, R. (2013). Pheromone responsiveness threshold depends on temporal integration by antennal lobe projection neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(38), 15455-15460. https://doi.org/10.1073/pnas.1313707110

Takeda, S., Yanagawa, H.-A., & Sato, M. (1991). Effect of intake of 20-OH-ecdysone contained in the diet on changes of haemolymph ecdysteroid levels in the late 5th instar larvae of Bombyx mori. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *60*(5), 404-406. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.60.404

Tanaka, K., Uda, Y., Ono, Y., Nakagawa, T., Suwa, M., Yamaoka, R., & Touhara, K. (2009). Highly Selective Tuning of a Silkworm Olfactory Receptor to a Key Mulberry Leaf Volatile. *Current Biology*, *19*(11), 881-890. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.04.035

Tazima, Y. (1964). *The Genetics of the Silkworm*. Logos Press. https://books.google.gr/books?id=6JnwAAAAMAAJ

Tazima, Y. (1978). *The Silkworm: An Important Laboratory Tool*. Kodansha. https://books.google.gr/books?id=JprwAAAAMAAJ

Tong, X., Han, M. J., Lu, K., Tai, S., Liang, S., Liu, Y., Hu, H., Shen, J., Long, A., Zhan, C., Ding, X., Liu, S., Gao, Q., Zhang, B., Zhou, L., Tan, D., Yuan, Y., Guo, N., Li, Y. H., Wu, Z., Liu, L., Li, C., Lu, Y., Gai, T., Zhang, Y., Yang, R., Qian, H., Liu, Y., Luo, J., Zheng, L., Lou, J., Peng, Y., Zuo, W., Song, J., He, S., Wu, S., Zou, Y., Zhou, L., Cheng, L., Tang, Y., Cheng, G., Yuan, L., He, W., Xu, J., Fu, T., Xiao, Y., Lei, T., Xu, A., Yin, Y., Wang, J., Monteiro, A., Westhof, E., Lu, C., Tian, Z., Wang, W., Xiang, Z., & Dai, F. (2022). High-resolution silkworm pan-genome provides genetic insights into artificial selection and ecological adaptation. *Nature communications*, *13*(1), 5619. https://doi.org/10.1038/s41467-022-33366-x

Ueda, S. (1981). Theory of the Growth of Silkworm Larvae and Its Application. *Japan Agricultural Research Quarterly*, *15*(3), 180-184.

Veda, K., Nagai, I., & Horikomi, M. (1997). *Silkworm Rearing*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=huhJAAAAYAAJ

Wu, P., Chen, D., Food, Nations, A. O. o. t. U., Chen, Z., Liu, P., & Tang, H. (1988). *Silkworm Rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=Sf2KLVBbWHMC

Zhuang, D. H., M. Xiang, Z.Z. Gui,. (1992, Z28 June-July 4, 1992). The practical studies on the growth and development by insect hormones in the silkworm Bombyx mori. 19th International Congress Entomology,, Beijing, China.

Ελληνόγλωσση

Ανώνυμο. (1989). *Η αναφορά στη μελέτη βιωσιμότητας και το προκαταρκτικό σχέδιο για την αναβίωση και ανάπτυξη της σηροτροφίας στην περιοχή του Σουφλίου*.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Ποια είναι η ποσότητα φύλλων που απαιτούνται για την εκτροφή ενός κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Όπως αναφέρεται στον Πίνακα 6.5, η ποσότητα φύλλων για την εκτροφή ενός κουτιού των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα είναι περίπου 630 κιλά.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Ποιες είναι οι μέγιστες διαστάσεις των κρεβατιών εκτροφής για ένα κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Η μέγιστη διάσταση των κρεβατιών εκτροφής στο τέλος της 5ης ηλικίας της προνύμφης είναι 25 τετραγωνικά μέτρα για κάθε κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα. Η μέγιστη διάσταση των κρεβατιών εκτροφής ποτέ δεν πρέπει να είναι κάτω από 20 τετραγωνικά μέτρα για κάθε κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Ποια είναι η θερμοκρασία εκτροφής των μεγάλων ηλικιών της προνύμφης του μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Ιδανική θερμοκρασία εκτροφής των μεγάλων ηλικιών της προνύμφης είναι μεταξύ 23-25 βαθμών Κελσίου.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Ποια είναι η διάρκεια του σταδίου της προνύμφης μέχρι την έναρξη πλοκής του κουκουλιού;

Απάντηση

Η διάρκεια του σταδίου της προνύμφης ποικίλλει και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Όμως κατά μέσο όρο είναι περίπου 25 ημέρες από την εκκόλαψη των προνυμφών.

Κεφάλαιο 7: Παραγωγή Κουκουλιών

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει εκτενής παρουσίαση των μεθόδων παραγωγής των κουκουλιών του μεταξοσκώληκα ξεκινώντας από την ημέρα ωρίμανσης των προνυμφών στην 5η ηλικία της προνύμφης. Στις πρώτες ενότητες του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν οι φροντίδες που πρέπει να εφαρμοστούν κατά την πλοκή των κουκουλιών από τις ώριμες προνύμφες. Κατόπιν θα αναφερθούν τα υλικά πλοκής των κουκουλιών που χρησιμοποιούμε στη σηροτροφία. Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιαστούν οι τρόποι συγκομιδής, διαλογής, ξήρανσης και αποθήκευσης των κουκουλιών μέχρι την αναπήνισή τους στο αναπηνιστήριο. Το κεφάλαιο αυτό καλύπτει τη σημαντικότερη χρονική περίοδο κατά τη διάρκεια εκτροφής του μεταξοσκώληκα μετά το τέλος της διατροφής της προνύμφης και έως την προετοιμασία των κουκουλιών για αναπήνιση. Στόχος του κεφαλαίου είναι να παρέχει όλες τις χρήσιμες πληροφορίες και οδηγίες για την επιτυχή παραγωγή ποιοτικών κουκουλιών, παρουσιάζοντας τις μεθόδους παραγωγής των κουκουλιών που χρησιμοποιούνται σε άλλες χώρες.

Προαπαιτούμενη γνώση
Μη αναγκαία

7.1 Εισαγωγή

Εφόσον έχουμε ακολουθήσει το πλάνο εκτροφής με κάθε λεπτομέρεια, όπως αναφέρεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, φτάνουμε σε μία ημέρα της 5ης ηλικίας όπου οι προνύμφες, που μέχρι τώρα κατανάλωναν όλα τα φύλλα που τους χορηγούσαμε, τώρα δεν εμφανίζουν την ίδια δραστηριότητα στην κατανάλωση τροφής, ο εξωσκελετός τους εμφανίζει μια χαρακτηριστική στιλπνότητα και λαμπερή όψη και αυτό σημαίνει ότι την αμέσως επόμενη ημέρα οι προνύμφες θα μετατραπούν σε ώριμες προνύμφες (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Ως ώριμες προνύμφες, καλούνται οι προνύμφες του μεταξοσκώληκα που έχουν φτάσει στο τέλος της διατροφικής περιόδου της 5ης ηλικίας και αρχίζουν να αναζητούν ένα μέρος για να αρχίσουν να πλέκουν το κουκούλι τους. Μετά από περίπου 7 ημέρες στην 5η ηλικία οι προνύμφες, εφόσον, έχουν διατραφεί ικανοποιητικά, δεν έχουν ασθένειες και οι περιβαλλοντικές συνθήκες στο σηροτροφείο είναι ιδανικές, αρχίζουν να έχουν λιγότερη όρεξη για κατανάλωση φύλλων και κάποιες από τις προνύμφες ίσως να βρίσκονται στα άκρα του κρεβατιού προσπαθώντας να βρουν κατάλληλο ικρίωμα για να πλέξουν το κουκούλι τους. Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα ότι επέρχεται η έναρξη πλοκής των κουκουλιών είναι η χαρακτηριστική παρουσία φύλλων που δεν έχουν καταναλωθεί, ενώ οι προνύμφες φαίνονται υγιείς και εύρωστες. Αυτό το χαρακτηριστικό σημαίνει ότι οι προνύμφες την επόμενη ημέρα θα αρχίσουν την πλοκή των κουκουλιών τους. Συχνά εμφανίζεται ένα μικρό ποσοστό προνυμφών να ξεκινούν την πλοκή των κουκουλιών τους πολύ πιο πριν από το σύνολο των προνυμφών και αυτό είναι ένα ακόμη πιο χαρακτηριστικό σημάδι ότι την επόμενη ημέρα η πλειονότητα των προνυμφών θα ξεκινήσει την πλοκή των κουκουλιών. Οι πρώτες προνύμφες που θα πλέξουν κουκούλι είναι συχνά αρσενικές, γιατί γενικότερα οι αρσενικές προνύμφες έχουν σχετικά ταχύτερη ανάπτυξη σε σχέση με τις θηλυκές προνύμφες. Το σώμα των προνυμφών αποκτά μια λαμπερή όψη, γιατί οι μεταξογόνοι αδένες αποκτούν μεγάλο μέγεθος στο μπροστινό μέρος του σώματος της προνύμφης και δίνουν στο σώμα μια χαρακτηριστική λαμπερή όψη. Η λαμπερή όψη των προνυμφών είναι ιδιαίτερα πιο έντονη σε φυλές που πλέκουν κίτρινα κουκούλια, γιατί εκεί η παρουσία των χρωστικών στους μεταξογόνους αδένες δίνει μια ιδιαίτερα λαμπερή όψη στο σώμα τους.

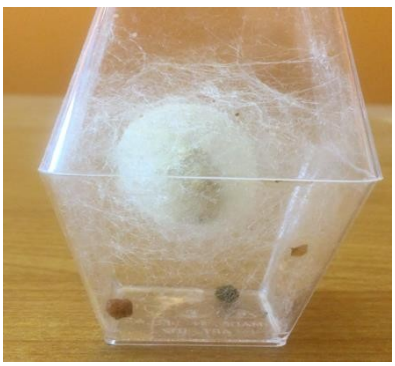
Όταν δούμε λοιπόν αυτά τα σημάδια και ιδιαίτερα όταν εμφανώς κάποιες προνύμφες έχουν αρχίσει να πλέκουν το κουκούλι τους, τότε πρέπει να κινητοποιηθούμε για να ετοιμάσουμε τους χώρους και τα υλικά πλοκής των κουκουλιών και να πάρουμε όλα εκείνα τα αναγκαία μέτρα για να έχουμε την καλύτερη δυνατή συγκομιδή κουκουλιών. Όλο το διάστημα εκτροφής των προνυμφών ουσιαστικά κορυφώνεται σε εργασία 2-3 ημερών από την οποία κρίνεται η επιτυχία όλης της παραγωγικής διαδικασίας (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η έναρξη πλοκής των κουκουλιών υπό φυσιολογικές συνθήκες συμβαίνει λίγο μετά το μεσημέρι της 8ης ή 9ης ημέρας της 5ης ηλικίας και χαρακτηρίζεται από έντονη κινητικότητα των δεκάδων χιλιάδων προνυμφών,

με χαρακτηριστική τη διάθεσή τους να κινηθούν προς τα άκρα του κρεβατιού εκτροφής και να εντοπίσουν ένα τριδιάστατο ικρίωμα. Όταν βρει μια τέτοια θέση η προνύμφη, αρχίζει να αποβάλει την ίνα μεταξιού από τις οπές των μεταξογόνων αδένων που βρίσκονται στην κεφαλική κάψα και ακριβώς κάτω από το στόμα (Εικόνα 7.1). Η κολλώδης υφή της ίνας του μεταξιού, που οφείλεται στην παρουσία στρώσεων σερικίνης, επιτρέπει την ίνα να κολλά σε ένα σταθερό σημείο και κατόπιν, με την κίνηση του σώματός της, η προνύμφη την κολλά σε άλλα σημεία δημιουργώντας έτσι ένα ικρίωμα από ίνες (Εικόνα 7.1). Η έκκριση της ίνας του μεταξιού είναι έτσι μια παθητική διαδικασία, καθώς η κολλημένη άκρη της ίνας είναι που καθοδηγεί την έκκριση περαιτέρω ίνας μέσω των οπών των μεταξογόνων αδένων και δεν ασκείται καμία πίεση από το εσωτερικό του σώματος της προνύμφης για την εξαγωγή της ίνας.

Εικόνα 7.1 *Μια ώριμη προνύμφη έχει μπει σε ένα κελί του ιαπωνικού υλικού πλοκής κουκουλιών και αρχίζει να δημιουργεί το ικρίωμα του κουκουλιού της. Αν δείτε προσεκτικά, θα διακρίνετε μια ίνα μεταξιού να εκτείνεται κάτω από τα στοματικά της εξαρτήματα έχοντας κολλήσει πάνω σε άλλες ίνες που έχει εναποθέσει η προνύμφη (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η δημιουργία του ικριώματος από την ώριμη προνύμφη μπορεί να διαρκέσει για 4-5 ώρες ανάλογα με το υβρίδιο που εκτρέφεται και το ικρίωμα των ινών που δημιουργείται και θα αποτελέσει το γνάφαλο που είναι οι αδρές ίνες που καλύπτουν το κουκούλι, οι οποίες αφαιρούνται κατά τη συγκομιδή των κουκουλιών και τη διαλογή τους (Εικόνα 7.2). Τα γνάφαλα αποτελούν το 1-2% του βάρους του κελύφους του κουκουλιού. Κατά τη διάρκεια πλοκής του ικριώματος ή και λίγο πριν από την αλλαγή συμπεριφοράς της προνύμφης, αυτή παράγει κόπρανα που είναι αρκετά διαφορετικού χρώματος από ότι τα συνήθη μαύρα κόπρανα και είναι αρκετά υδαρή (Εικόνα 7.2). Αυτό συμβαίνει καθώς η προνύμφη προετοιμάζεται να εκκενώσει πλήρως τον πεπτικό της σωλήνα, οπότε τα υπολείμματα της τροφής που κατανάλωσε περνούν από τον πεπτικό σωλήνα χωρίς να υφίστανται πλήρη πέψη και απορρόφηση της περίσσειας νερού.



Εικόνα 7.2 *Προνύμφη πλέκει το κουκούλι της μέσα σε προστατευτικό πλαίσιο που δεν επιτρέπει την αποβολή της υγρασίας. Προσέξτε τα δύο τεμάχια από κόπρανα διαφορετικού χρώματος που απέβαλε η προνύμφη, αλλά και τα εκκρίματα του πεπτικού σωλήνα στον πάτο του πλαισίου. Το περιεχόμενο του πλαισίου χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή υγρασία που θα πρέπει να αφαιρεθεί (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εάν η πλοκή του ικριώματος ολοκληρωθεί, τότε η προνύμφη εκτείνει την έδρα της (Εικόνα 7.3) από ένα σημείο των γναφάλων και αποβάλλει μια μεγάλη ποσότητα υγρού, το οποίο είναι το περιεχόμενο του πεπτικού της σωλήνα.

Εικόνα 7.3 *Μια προνύμφη, μέσα σε υλικό πλοκής κουκουλιών ιαπωνικού τύπου, έχει πλέξει το ικρίωμα του κουκουλιού της και είναι έτοιμη να αρχίσει την πλοκή του κουκουλιού εντός του οποίου θα κλειστεί. Πριν από αυτό, εκτείνει το πίσω μέρος του σώματός της και αποβάλλει το τελικό περιεχόμενο του πεπτικού της σωλήνα ως παχύρρευστο υγρό (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το υγρό αυτό είναι χρυσοκίτρινου χρώματος, παχύρρευστο και άοσμο και είναι η τελευταία κίνηση της προνύμφης πριν αρχίσει να πλέκει δραστήρια το κουκούλι της περικλεισμένη από αυτό. Υπό φυσιολογικές λοιπόν συνθήκες, η προνύμφη θα αρχίσει να ψάχνει για ικρίωμα πλοκής του κουκουλιού γύρω στο μεσημέρι, θα αποβάλλει τα υγρά του πεπτικού της σωλήνα αργά το απόγευμα και θα συνεχίσει να πλέκει το κουκούλι της έτσι ώστε νωρίς το πρωί της επόμενης ημέρας η προνύμφη δεν θα φαίνεται πίσω από το κέλυφος του κουκουλιού το οποίο θα συνεχίσει να πλέκει για τις επόμενες 2 ημέρες. Από την περίοδο της αποβολής των υγρών του πεπτικού σωλήνα και για τις επόμενες 2 ημέρες, δεν θα πρέπει να ενοχλούνται οι προνύμφες, γιατί κάθε ενόχληση σημαίνει ότι διακόπτουν την πλοκή του κουκουλιού και ως αποτέλεσμα η ίνα χάνει τη συνέχειά της και μειώνεται η ποιότητα του μεταξιού (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Ο χρόνος αποβολής των πεπτικών υγρών από τις προνύμφες μπορεί να παραταθεί εάν δεν βρίσκουν ένα κατάλληλο ικρίωμα. Επίσης, τα παραγωγικά υβρίδια έχουν έναν σχετικά αργό ρυθμό έναρξης της πλοκής των κουκουλιών τους. Αυτά τα δύο φαινόμενα μας επιτρέπουν να διαχειριστούμε τις προνύμφες με μαζικό τρόπο και να ξεκινήσουμε τις διαδικασίες πλοκής των κουκουλιών τους από νωρίς το πρωί της τελευταίας ημέρας εκτροφής. Παρά το γεγονός ότι οι προνύμφες στα παραγωγικά υβρίδια εκδηλώνουν αργά τη μετατροπή τους σε ώριμες προνύμφες, αυτό, ενώ εκ πρώτης όψεως μπορεί να θεωρηθεί ως μειονέκτημα, καθώς αυξάνει τον χρόνο εργασίας, στην πραγματικότητα είναι πλεονέκτημα, καθώς μας δίνει χρόνο να χειριστούμε μαζικά τις προνύμφες και να διαχωρίσουμε, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, τις ώριμες προνύμφες από τις μη ώριμες προνύμφες.

Επειδή όλη η εργασία για την εκτροφή των μεταξοσκωλήκων στόχο έχει την παραγωγή ποιοτικών κουκουλιών, το στάδιο της πλοκής των κουκουλιών έχει τη μεγαλύτερη σημασία από όλες τις εργασίες που κάνουμε κατά την εκτροφή. Κατά το στάδιο πλοκής των κουκουλιών θα πρέπει να παρέχουμε πλήρη αερισμό του χώρου χρησιμοποιώντας είτε δυνατούς ανεμιστήρες είτε παροχή ρεύματος αέρα με κλιματισμό, γιατί πρέπει να αφαιρεθεί από τον χώρο εκτροφής η υγρασία που προκύπτει από την αποβολή των υγρών του πεπτικού σωλήνα των προνυμφών, αλλά και η υγρασία από τον μεταβολισμό των προνυμφών και της στρωμνής. Θα πρέπει επίσης να αφιερώσουμε όλο μας τον χρόνο την ημέρα έναρξης της πλοκής των κουκουλιών για τη διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών για την πλοκή των κουκουλιών. Οι 2-3 ημέρες της έναρξης πλοκής των κουκουλιών είναι οι ημέρες παραγωγής στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα και όλη η προσπάθεια και προσοχή θα πρέπει να επικεντρωθεί σε αυτές τις ημέρες (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

7.2 Υλικά πλοκής των κουκουλιών

Η πλοκή των κουκουλιών γίνεται πάνω στα υλικά πλοκής των κουκουλιών που πρέπει να παρέχουμε εμείς στις προνύμφες. Αν δεν τοποθετήσουμε υλικά πλοκής των κουκουλιών, τότε οι προνύμφες θα πλέξουν το κουκούλι τους ως συσσωματώματα κουκουλιών, όπου το ένα κουκούλι λειτουργεί ως ικρίωμα για τα άλλα ή θα προσπαθήσουν να αναρριχηθούν εάν βρίσκουν σημείο αναρρίχησης ή θα πλέξουν τα κουκούλια τους μέσα στα φύλλα. Οι προνύμφες εμφανίζουν ισχυρό αρνητικό γαιοτακτισμό και δεν πηγαίνουν ποτέ προς τα κάτω και αυτός είναι ο λόγος που τοποθετούμε πάνω τους υλικά πλοκής κουκουλιών. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να μην υπάρχουν δοκάρια στερέωσης των κρεβατιών εκτροφής με την οροφή, γιατί πολλές προνύμφες θα αναρριχηθούν ως την οροφή και δεν πρέπει να αφήνουμε φύλλα στο κρεβάτι εκτροφής, γιατί θα πλέξουν το κουκούλι τους μέσα στα φύλλα και δεν πρέπει τα κρεβάτια εκτροφής να ακουμπούν στον τοίχο, γιατί δημιουργούν έτσι ικριώματα για τις ώριμες προνύμφες.

Το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε για την πλοκή των κουκουλιών θα πρέπει:

1. να παρέχει μεγάλο και τριδιάστατο χώρο για την πλοκή των κουκουλιών,
2. να μην μειώνει την αναπνευστικότητα των κουκουλιών,
3. να είναι φτηνό και ανθεκτικό,
4. να επιτρέπει τους άνετους χειρισμούς κατά την πλοκή των κουκουλιών,
5. να μειώνει τον χρόνο εργασίας για την πλοκή των κουκουλιών και τη συλλογή τους αργότερα.

Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει κανένα ιδανικό υλικό πλοκής των κουκουλιών και καμία μέθοδος πλοκής των κουκουλιών που να ικανοποιεί όλες τις παραπάνω απαιτήσεις, υπάρχουν μέθοδοι πλοκής των κουκουλιών που ικανοποιούν αρκετές από τις παραπάνω απαιτήσεις (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

7.2.1 Κλαδιά δρυός

Στην Ελλάδα η πλοκή των κουκουλιών γινόταν παραδοσιακά με τη χρήση κλαδιών από δρυ (Εικόνα 7.4), τα οποία τοποθετούνταν την ημέρα της πλοκής των κουκουλιών πάνω στο κρεβάτι εκτροφής και αφήνονταν εκεί για να ανέβουν οι προνύμφες και να πλέξουν τα κουκούλια τους.

Αυτή η μέθοδος πλοκής των κουκουλιών χαρακτηρίζει την παραδοσιακή μορφή παραγωγής κουκουλιών, αλλά είναι δυστυχώς μια κακή πρακτική που αυξάνει πάρα πολύ τον φόρτο εργασίας κατά τη συγκομιδή των κουκουλιών, ενώ υποβαθμίζει την ποιότητα των παραγόμενων κουκουλιών. Τα μοναδικά πλεονεκτήματα αυτής της πρακτικής, δηλαδή της χρήσης κλαδιών από δρυ για την πλοκή των κουκουλιών είναι ότι δεν έχει κόστος και είναι η μόνη πρακτική που δεν επιτρέπει την εξάπλωση ασθενειών, καθώς είναι συχνό το φαινόμενο τα υλικά πλοκής των κουκουλιών να μην απολυμαίνονται ικανοποιητικά και να αποτελούν πηγή μετάδοσης ασθενειών. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που έχουμε προσβολή από ασθένειες και έχουμε νεκρές προνύμφες πάνω στα επαναχρησιμοποιούμενα υλικά πλοκής κουκουλιών τότε, αν αυτά δεν απολυμανθούν σωστά και διεξοδικά, θα αποτελούν πηγή μόλυνσης και για τις επόμενες εκτροφές. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να δανείζονται τα υλικά πλοκής των κουκουλιών σε άλλους σηροτρόφους μετά τη χρήση τους. Θα μπορούσε να αντιπροτείνει κανείς ότι τα υλικά πλοκής των κουκουλιών, που θα αναφερθούν παρακάτω, θα μπορούσαν να είναι αναλώσιμα. Αυτό όμως θα έκανε την αγορά τους πολύ ακριβή, δεν θα δημιουργούσε κίνητρο χρήσης τους και θα δημιουργούσε μη διασπώμενα απόβλητα.

Εικόνα 7.4 *Κλαδιά δρυός τοποθετούνται πάνω στα κρεβάτια εκτροφής και οι προνύμφες αναρριχώνται πάνω σε αυτά για να πλέξουν το κουκούλι τους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα, Σουφλί 1993).*

Η χρήση κλαδιών από δρυ, σε περίπτωση που έχουμε ασθένειες στην εκτροφή, μπορεί να μεταφέρει ασθένειες στο περιβάλλον εάν τα κλαδιά δεν καούν μετά τη χρήση τους. Πιθανόν, τα κλαδιά από δρυ που απορρίπτονταν να ήταν και παλιότερα η πηγή μετάδοσης των ασθενειών στο περιβάλλον και η μόλυνση και άλλων εκτροφών. Η χρήση των κλαδιών από δρυ για την πλοκή των κουκουλιών έχει το μειονέκτημα ότι δεν επιτρέπει το τάισμα των μεταξοσκωλήκων που δεν πρόκειται να πλέξουν κουκούλια την ίδια ημέρα, όταν αυτά τοποθετούνται πάνω στο κρεβάτι εκτροφής. Συνήθως οι σηροτρόφοι βάζουν φύλλα μουριάς κάτω από τα κλαδιά της δρυός για να τραφούν και οι ανώριμες προνύμφες, αλλά αυτό διαταράσσει την πλοκή των κουκουλιών από τις ώριμες προνύμφες. Επίσης, ενώ η τοποθέτηση των κλαδιών είναι σχετικά εύκολη και γρήγορη, η συγκομιδή των κουκουλιών είναι μια ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία που μπορεί να διαρκέσει για ημέρες και γίνεται χειρωνακτικά, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ποσοστό των λερωμένων κουκουλιών. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι συχνά οι εκτροφείς βάζουν φύλλα εφημερίδων πάνω από τα κλαδιά για να αναγκάσουν τις προνύμφες που έφτασαν στην κορυφή των κλαδιών να πλέξουν το κουκούλι τους ανάμεσα στο φύλλο της εφημερίδας και τα κλαδιά της δρυός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλά κουκούλια να είναι παραμορφωμένα και κακής ποιότητας.

7.2.2 Υλικό πλοκής κουκουλιών κινεζικού τύπου

Αυτό το υλικό ονομάζεται κινεζικού τύπου, γιατί χρησιμοποιείται κυρίως στην Κίνα (αλλά όχι μόνο) για την πλοκή των κουκουλιών. Είναι ένα πλαστικό πλέγμα με τρύπες σε σχήμα ρόμβου μεγάλης διατομής, συνήθως 1,8 προς 2 εκατοστά, που διαμορφώνεται κατά την κατασκευή του σε κυματιστό σχήμα έχοντας κορυφές και κοιλότητες (Εικόνα 7.5).

Είναι φτιαγμένο από πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο. Η κατασκευή αυτή τοποθετείται πάνω στο κρεβάτι εκτροφής και οι προνύμφες ανεβαίνουν σε αυτήν και πλέκουν τα κουκούλια τους. Εναλλακτικά, το κρεβάτι εκτροφής καθαρίζεται από τη στρωμνή του την ημέρα πριν την έναρξη πλοκής των κουκουλιών και οι προνύμφες τοποθετούνται στο κρεβάτι εκτροφής με λίγα φύλλα για να τραφούν και κατόπιν την επόμενη ημέρα τοποθετείται το πλέγμα πλοκής των κουκουλιών πάνω από τις προνύμφες. Ένα μειονέκτημα του πλέγματος είναι ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταφερθούν όλες οι ώριμες προνύμφες σε άλλο χώρο πλοκής των κουκουλιών, όταν αυτές ανέβουν στο πλέγμα, γιατί οι προνύμφες μπορεί να πλέκουν κουκούλια και κάτω από αυτό. Αυτό το υλικό είναι αρκετά φτηνό, βρίσκεται διαθέσιμο για αγορά στο Διαδίκτυο και είναι σχετικά εύκολο να καθαριστεί, αλλά οι προνύμφες δεν θα πρέπει να βρίσκονται σε μεγάλη πυκνότητα, γιατί τότε αυξάνεται το ποσοστό διπλών και παραμορφωμένων κουκουλιών που δημιουργούνται. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να σκεπάζουμε το πλέγμα αυτό με εφημερίδες ή άλλο υλικό για να αναγκάσουμε τις προνύμφες να πλέξουν τα κουκούλια τους, αλλά συχνή πρακτική είναι να τοποθετείται και δεύτερο ή και τρίτο πλέγμα πάνω από το πρώτο. Το πλέγμα αυτό είναι ανθεκτικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές, αλλά η συγκομιδή των κουκουλιών απαιτεί σημαντικό χρόνο εργασίας. Η συγκομιδή των κουκουλιών μπορεί να γίνει και με μικρά εργαλεία, όπως ειδικές τσουγκράνες, αλλά σε αυτήν την περίπτωση πρέπει πρώτα να αφαιρεθούν τα νεκρά και λερωμένα κουκούλια.

Εικόνα 7.5 *Τα κινέζικα πλαίσια πλοκής κουκουλιών σε διαφορετικές εφαρμογές πάνω στα κρεβάτια εκτροφής ή σε βαγονέτα (δεξιά φωτογραφία) πλοκής κουκουλιών. Στην αριστερή εικόνα φαίνονται οι προνύμφες που έχουν αναρριχηθεί πάνω στο υλικό και άρχισαν να δημιουργούν το ικρίωμα του κουκουλιού τους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

7.2.3 Υλικό πλοκής κουκουλιών ιταλικού τύπου

Το υλικό αυτό ονομάζεται ιταλικού τύπου, γιατί έχει εφευρεθεί και χρησιμοποιείται στην Ιταλία. Η κατασκευή του υλικού αυτού περιλαμβάνει έναν πλαστικό σωλήνα μήκους 1,5 μέτρου με τετράγωνη διατομή πάνω στον οποίο τοποθετούνται στη σειρά 20 πλαστικά εξαρτήματα που φέρουν πλαστικές ακτίνες σε μορφή βεντάλιας και οι ακτίνες έχουν μήκος 20 εκατοστά από τη βάση τους.

Η σειριακή τοποθέτηση των εξαρτημάτων που μοιάζουν με βεντάλια πάνω στον πλαστικό άξονα δημιουργεί μια κατασκευή που μοιάζει με μεγάλη βούρτσα (Εικόνα 7.6 και Εικόνα 7.7). Η κατασκευή αυτή είναι φτιαγμένη από πολυπροπυλένιο και είναι ελαφριά και εύχρηστη, καθώς τα εξαρτήματα μπορούν να αφαιρεθούν και να απορριφθούν όσα μπορεί να έχουν σπασμένες ακτίνες. Οι κατασκευές αυτές μπαίνουν πάνω στο κρεβάτι εκτροφής η μια δίπλα στην άλλη και επειδή οι ακτίνες έχουν μεγάλο μήκος, επιτρέπουν την πλοκή των κουκουλιών ανάμεσά τους μειώνοντας την πιθανότητα εμφάνισης πιεσμένων και παραμορφωμένων κουκουλιών. Παρά το γεγονός ότι έχουν κόστος μεγαλύτερο από το υλικό του κινεζικού τύπου, έχουν αρκετά πλεονεκτήματα γιατί μειώνουν σημαντικά τον χρόνο εργασίας κατά τη συγκομιδή των κουκουλιών και επιτρέπουν τη μετακίνηση των προνυμφών που ανέβηκαν σε αυτά σε άλλο σημείο του σηροτροφείου. Μετά τη χρήση τους, τα τεμάχια που αποτελούν την κατασκευή μπορούν να αφαιρεθούν από τον σωλήνα και να αποθηκευτούν χωρίς να καταλαμβάνουν χώρο.

Εικόνα 7.6 *Τα ιταλικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών τοποθετημένα πάνω στα κρεβάτια εκτροφής των μεταξοσκωλήκων (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα, Σουφλί 2021).*

Επειδή η βάση τους, όταν τοποθετούνται πάνω στο κρεβάτι εκτροφής, είναι επίπεδη, δεν επιτρέπουν τη δημιουργία κουκουλιών από τις προνύμφες στο διάκενο ανάμεσα σε αυτά και το κρεβάτι εκτροφής. Και στην περίπτωση αυτή δεν θα πρέπει να τοποθετείται κάλυμμα πάνω από το υλικό πλοκής των κουκουλιών για να αναγκαστούν οι προνύμφες να πλέξουν το κουκούλι τους. Ένα μειονέκτημα αυτού του υλικού πλοκής κουκουλιών είναι ότι μπορεί να αυξάνει το ποσοστό λερωμένων κουκουλιών, καθώς οι σχετικά καθυστερημένες να ωριμάσουν προνύμφες ανεβαίνουν στα άκρα του υλικού και δημιουργούν εκεί κουκούλι λερώνοντας με τα πεπτικά υγρά τους τα υποκείμενα κουκούλια. Τα ιταλικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια πολύ δημοφιλή στην Ελλάδα στις περιοχές όπου γίνονται εκτροφές μεταξοσκώληκα.

Εικόνα 7.7 *Τα ιταλικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών τοποθετημένα πάνω στα δάπεδα εκτροφής των μεταξοσκωλήκων σε σηροτροφικές μονάδες της Ιταλίας, όπου εφαρμόζεται η επιδαπέδια εκτροφή του μεταξοσκώληκα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

7.2.4 Υλικό πλοκής κουκουλιών ιαπωνικού τύπου

Αυτό το υλικό πλοκής κουκουλιών ονομάζεται ιαπωνικού τύπου, γιατί έχει εφευρεθεί και χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία. Είναι όμως τόσο επιτυχημένο σχεδιαστικά που πλέον χρησιμοποιείται σε πολλές χώρες του κόσμου στις εκτροφές μεταξοσκώληκα.

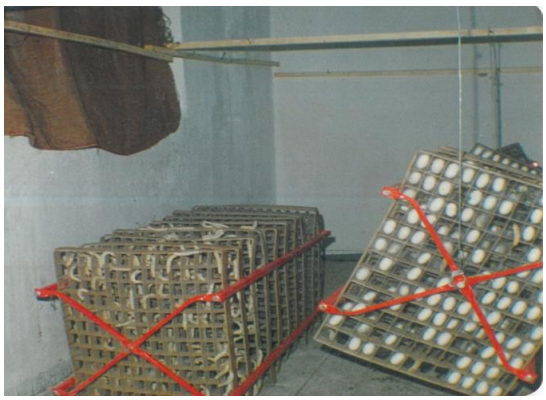
Ο σχεδιασμός του τού επιτρέπει να περιστρέφεται όταν κρεμιέται και είναι ιδιαίτερα ελαφρύ και ανθεκτικό. Το υλικό αυτό παρέχει, κατά γενική ομολογία, την καλύτερη ποιότητα κουκουλιών από οποιοδήποτε άλλο υλικό πλοκής κουκουλιών έχει ποτέ δοκιμαστεί. Η σχεδίασή του βασίζεται στη φυσική συμπεριφορά των προνυμφών να εμφανίζουν αρνητικό γαιοτακτισμό, δηλαδή να έχουν την τάση να ανέβουν στο ψηλότερο σημείο που θα βρουν για να πλέξουν το κουκούλι τους. Εκμεταλλευόμενοι αυτή τη συμπεριφορά των ώριμων προνυμφών, έχει φτιαχτεί ένα πλαίσιο από κελιά, το οποίο όταν περιστρέφεται ελαφριά αναγκάζει τις προνύμφες που έφτασαν στον άνω άκρο του πλαισίου και δεν βρήκαν μέρος για να πλέξουν το κουκούλι τους να έρθουν, με μια περιστροφή, στο κάτω άκρο του πλαισίου και να αρχίσουν να ανεβαίνουν και πάλι στο πλαίσιο. Με τον τρόπο αυτόν, οι προνύμφες βρίσκουν σύντομα ένα κελί στο οποίο εισέρχονται και αρχίζουν να πλέκουν το κουκούλι τους. Η περιστροφή του πλαισίου επιτυγχάνεται με την παρουσία προνυμφών στην κορυφή του και αυτό κάποια στιγμή μετατοπίζει το κέντρο βάρους του πλαισίου με αποτέλεσμα να του επιτρέπει μια περιστροφή 180 μοιρών και όχι παραπάνω, που φέρνει τις προνύμφες στο κάτω άκρο του και σταματά η κίνησή του.

Το υλικό πλοκής των κουκουλιών του ιαπωνικού τύπου είναι φτιαγμένο από σκληρό χαρτί, όπως αυτό που χρησιμοποιείται για τις χάρτινες συσκευασίες, είναι χρώματος καφέ και φέρει πλαίσια με 12 στήλες και 13 σειρές κελιών. Δέκα τέτοια πλαίσια τοποθετούνται σε έναν άξονα που φέρει 4 πλευρές από ξύλινα ή μεταλλικά πλαίσια στήριξης των 10 πλαισίων όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.8, στην Εικόνα 7.9 και στην Εικόνα 7.10. Η κατασκευή των 10 πλαισίων φέρει στα οριζόντια άκρα της γάντζους και μπορεί να κρεμιέται από την οροφή ενός δωματίου και να περιστρέφεται από μόνη της λόγω της κίνησης των μεταξοσκωλήκων ή μπορεί (καλύτερα) να την περιστρέφει ένα άτομο κατά 180 μοίρες ανά διαστήματα. Συχνά το πλαίσιο συνοδεύεται από ένα πλαστικό φιλμ στο κάτω άκρο του που δεν επιτρέπει κάποια προνύμφη να πέσει στο έδαφος, αλλά επίσης συγκρατεί και τα πεπτικά υγρά των προνυμφών. Το κάθε πλαίσιο των 156 κελιών αναδιπλώνεται μετά τη χρήση του, ενώ τα μεταλλικά του στοιχεία είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να κλείνουν και να μην πιάνουν χώρο. Τα πλαίσια των 156 κελιών είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά και δεν λερώνονται σημαντικά κατά τη χρήση τους.

Στόχος της χρήσης του πλαισίου είναι να το γεμίζουμε στο 80% της δυναμικότητάς του, δηλαδή (12x13x10)x0,8= 1250 περίπου ώριμες προνύμφες ανά συνολικό πλαίσιο. Το ισχυρό πλεονέκτημα αυτού του συστήματος πλοκής κουκουλιών είναι ότι μηδενίζει πρακτικά την εμφάνιση διπλών κουκουλιών και μειώνει δραστικά τα λερωμένα κουκούλια, καθώς οι προνύμφες δεν απορρίπτουν το περιεχόμενο του πεπτικού τους σωλήνα πάνω σε άλλα κουκούλια, κάτι που συμβαίνει σε πολύ μεγάλο βαθμό σε όλους τους άλλους τύπους πλαισίων πλοκής κουκουλιών. Το μειονέκτημα του τύπου αυτού είναι το κόστος, καθώς είναι αρκετά πιο ακριβό από τα άλλα υλικά και φυσικά δεν έχει κατασκευαστεί ποτέ στην Ελλάδα και έτσι είναι αναγκαία η εισαγωγή του από την Ιαπωνία.

Εικόνα 7.8 *Τα ιαπωνικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών κρεμασμένα από την οροφή του δωματίου μετά την αναρρίχηση των προνυμφών σε αυτά. Παρατηρήστε το πλαστικό κάλυμμα κάτω από κάθε πλαίσιο για τη συλλογή των εκκρίσεων των προνυμφών και των προνυμφών που πιθανόν θα πέσουν από το πλαίσιο (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 7.9 *Τα ιαπωνικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών τοποθετημένα όρθια έτοιμα να δεχθούν τις ώριμες προνύμφες τοποθετώντας 120 προνύμφες σε κάθε ένα από τα χάρτινα πλαίσια που φέρουν κελιά (αριστερή εικόνα). Τα ιαπωνικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών με προνύμφες που έχουν τοποθετηθεί πάνω σε αυτά και μια άλλη ομάδα προνυμφών πρόκειται να τοποθετηθεί στο τελευταίο από τα τέσσερα πλαίσια που φαίνονται στη δεξιά εικόνα. Μετά από μερικές ώρες τα τέσσερα πλαίσια της δεξιάς εικόνας θα κρεμαστούν από την οροφή (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*



Εικόνα 7.10 *Τα ιαπωνικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες και στην Ελλάδα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα, Σουφλί 1990).*

7.2.5 Άλλοι τύποι και υλικά πλοκής κουκουλιών

Υπάρχουν διάφορες άλλες μέθοδοι πλοκής κουκουλιών που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες, οι οποίες είναι κατά βάση παραδοσιακές μέθοδοι που χρησιμοποιούν φτηνά υλικά από φυτικές ίνες για να φτιαχτούν κατασκευές σαν λαβύρινθοι ή σαν οροφές όπου εισέρχονται οι ώριμες προνύμφες για να πλέξουν το κουκούλι τους. Ακόμη και ρολό από χαρτί εφημερίδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να πλέξουν μέσα σε αυτό το κουκούλι τους οι προνύμφες. Ως προς τα πλεονεκτήματά ή τα μειονεκτήματά τους, οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες δεν διαφέρουν από την παραδοσιακή ελληνική μέθοδο της πλοκής των κουκουλιών σε κλαδιά δρυός.

7.3 Μέθοδος τοποθέτησης των ώριμων προνυμφών στο υλικό πλοκής κουκουλιών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η παραδοσιακή ελληνική μέθοδος, η ιταλική μέθοδος και η κινεζική μέθοδος βασίζονται στην τοποθέτηση του υλικού πάνω στο κρεβάτι εκτροφής, όπου αφήνονται οι προνύμφες να πλέξουν τα κουκούλια τους.

Στην περίπτωση της παραδοσιακής ελληνικής μεθόδου δεν γίνεται καθαρισμός του κρεβατιού και έτσι όσες προνύμφες δεν έχουν την τάση να πλέξουν κουκούλι τη δεδομένη μέρα, μένουν κάτω στη στρωμνή και είτε ταΐζονται με την προσθήκη φύλλων στις άκρες του κρεβατιού είτε αφήνονται να ανέβουν στο υλικό πλοκής κουκουλιών την επόμενη ημέρα. Στην κινεζική μέθοδο συνιστάται το κρεβάτι εκτροφής να καθαρίζεται σχολαστικά την προηγούμενη ημέρα από την ημέρα έναρξης της πλοκής των κουκουλιών, καθώς το πλαίσιο πλοκής των κουκουλιών δεν έχει μεγάλο ύψος και δεν επιτρέπει την προσθήκη φύλλων παρά μόνο στις άκρες του κρεβατιού εκτροφής για τις προνύμφες που δεν θα πλέξουν κουκούλια τη δεδομένη ημέρα. Η κατάσταση

είναι παρόμοια με το ιταλικό υλικό πλοκής των κουκουλιών, μόνο που στη συγκεκριμένη περίπτωση το πλαίσιο μπορεί να μετακινηθεί και να τοποθετηθεί προσεκτικά σε άλλο σημείο του σηροτροφείου, ειδικά όταν δεν υπάρχουν προνύμφες που έχουν πλέξει κουκούλια ανάμεσα σε δύο πλαίσια.

Επειδή κατά τη διάρκεια της εκτροφής έχουμε φροντίσει να διαχωρίσουμε τις προνύμφες σε στάδια ή ημέρες ανάπτυξης ανά κρεβάτι, συνήθως όταν παρατηρούμε ότι σε ένα κρεβάτι το 10% των προνυμφών έχουν μετατραπεί σε ώριμες προνύμφες, τότε αρχίζουμε τη διαδικασία τοποθέτησης των παραπάνω ειδών πλοκής κουκουλιών. Η «ωρίμανση» του 10% των προνυμφών υπό κανονικές συνθήκες και υπό θερμοκρασία 25 ºC αρχίζει να συμβαίνει αργά το πρωί ή τις πρώτες μεσημβρινές ώρες. Μέχρι τότε, φροντίζουμε να δίνουμε αραιά φρέσκα φύλλα στο κρεβάτι, όπου θα τοποθετήσουμε τα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών και αφαιρούμε τα φύλλα και τα κλαδιά, ώστε να μειώσουμε σημαντικά το πάχος της στρωμνής και να κάνουμε την επιφάνειά του επίπεδη, ώστε να μην μπορούν να πλέξουν το κουκούλι τους οι προνύμφες ανάμεσα στα φύλλα. Φροντίζουμε επίσης περιοδικά να σπρώχνουμε τις μάζες από τις προνύμφες προς το εσωτερικό του κρεβατιού δημιουργώντας τους ενόχληση ώστε να μην βρίσκουν χώρο για να αρχίσουν την πλοκή του κουκουλιού. Ταυτόχρονα, φροντίζουμε να απομακρύνουμε από συγκεκριμένα κρεβάτια εκτροφής τις προνύμφες που είναι μικρές και δεν θα πλέξουν κουκούλι ή είναι ασθενικές. Η κατάλληλη χρονική στιγμή για να τοποθετήσουμε τα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών είναι όταν πάρα πολλές προνύμφες (περίπου το 40%) κάνουν χαρακτηριστικές κινήσεις ανάτασης του εμπρόσθιου μέρους του σώματός τους σε μια προσπάθεια ανίχνευσης ικριώματος (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Η τοποθέτηση των πλαισίων πλοκής κουκουλιών γίνεται με προσοχή και χωρίς βιασύνη και παρατηρούμε τη συμπεριφορά των προνυμφών συνεχώς. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να συλλέγουμε τις ώριμες προνύμφες από το κρεβάτι εκτροφής για να τις τοποθετήσουμε σε πλαίσια πλοκής κουκουλιών, γιατί αυτό είναι μια χρονικά σπάταλη διαχείριση και επίσης πολύ αναποτελεσματική, ειδικά όταν πρέπει να φροντίσουμε δεκάδες χιλιάδες προνύμφες ταυτόχρονα. Την ημέρα έναρξης πλοκής των κουκουλιών πρέπει να υπάρχει σαφής κατανομή των ρόλων των εργαζόμενων στην εκτροφή και να υπάρχουν διαθέσιμα εργατικά χέρια, γιατί η αναγκαία εργασία, ενώ δεν είναι κοπιαστική, είναι πολύωρη.

7.3.1 Μέθοδος τοποθέτησης των ώριμων προνυμφών στο υλικό πλοκής κουκουλιών με την ιαπωνική μέθοδο

Η ιαπωνική μέθοδος τοποθέτησης των ώριμων προνυμφών για πλοκή των κουκουλιών τους είναι αρκετά διαφορετική από τις παραπάνω, έχει πολλά στάδια που δεν εφαρμόζονται στις άλλες μεθόδους και δίνει έμφαση στην πλοκή των κουκουλιών ως την πιο σημαντική εργασία κατά την εκτροφή του μεταξοσκώληκα. Η ιαπωνική μέθοδος βασίζεται στην απομάκρυνση από το κρεβάτι εκτροφής των ώριμων προνυμφών, ενώ οι άλλες μέθοδοι βασίζονται στην παραμονή των προνυμφών στο κρεβάτι εκτροφής. Αυτή είναι η θεμελιώδης διαφορά της που κάνει όμως αναγκαία τη διαφορετική αρχιτεκτονική στον σχεδιασμό του σηροτροφείου και τη διαφορετική διαρρύθμιση των χώρων του σηροτροφείου (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι χρήσης του ιαπωνικού υλικού πλοκής των κουκουλιών που θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω.

Ο πρώτος τρόπος βασίζεται στη συλλογή των ώριμων προνυμφών με δίχτυα από το κρεβάτι εκτροφής και τοποθέτησή τους στο πλαίσιο πλοκής κουκουλιών που είναι τοποθετημένο στο πάτωμα ακουμπισμένο οριζόντια στον πλατύ του άξονα. Οι ώριμες προνύμφες, επειδή εμφανίζουν αρνητικό γαιοτακτισμό, ανεβαίνουν στο πλαίσιο και ψάχνουν να βρουν ένα κελί για να πλέξουν το κουκούλι τους. Συλλέγουμε τις προνύμφες από το κρεβάτι εκτροφής, όταν το 1/3 από αυτές είναι ώριμες, αλλά επειδή αυτό απαιτεί πολλά εργατικά χέρια και οι προνύμφες γίνονται ώριμες στην πλειονότητά τους το πρωί από τις 10 π.μ. μέχρι τις 2 μ.μ., η εργασία αυτή είναι εφαρμόσιμη όταν έχουν μικρό μέγεθος εκτροφής.

Πιο συγκεκριμένα, εφόσον έχουμε διαπιστώσει την προηγούμενη ημέρα ότι την επόμενη ημέρα θα έχουμε την έναρξη ωρίμανσης των προνυμφών κάνουμε τις εξής προπαρασκευαστικές εργασίες:

1. ετοιμάζουμε τα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών, τα οποία θα πρέπει να είναι ήδη καθαρά και απολυμασμένα,
2. ετοιμάζουμε και καθαρίζουμε τους χώρους όπου θα αφήσουμε τις προνύμφες να ανέβουν στα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών,

3. ετοιμάζουμε τους χώρους όπου θα κρεμαστούν τα πλαίσια πλοκής κουκουλιών φροντίζοντας να έχουμε εκεί παροχή ρεύματος αέρα,
4. ετοιμάζουμε και έχουμε σε σημαντική περίσσεια όλα τα υλικά που θα χρειαστούμε για την πλοκή των κουκουλιών (δίχτυα, πλαίσια, σεντόνια κ.ά.).

Την ημέρα πλοκής των κουκουλιών δεν θα πρέπει να σπαταλάμε χρόνο προσπαθώντας να συλλέξουμε τα υλικά πλοκής των κουκουλιών. Πολύ νωρίς το πρωί της ημέρας έναρξης πλοκής των κουκουλιών αφαιρούμε κλαδιά από το κρεβάτι εκτροφής και το κάνουμε κατά το δυνατόν επίπεδο. Κατόπιν στρώνουμε πάνω στις προνύμφες ένα στιβαρό δίχτυ (Εικόνα 7.11), που μπορεί να φέρει πλαίσιο στην περιφέρειά του, με οπές μεγάλου διαμετρήματος (2,1 εκατοστά) και τοποθετούμε φύλλα πάνω στο δίχτυ.

Εικόνα 7.11 *Τοποθέτηση στιβαρού διχτυού πάνω από τις ώριμες προνύμφες το πρωί της ημέρας έναρξης της πλοκής των κουκουλιών. Πάνω σε αυτό το δίχτυ θα τοποθετηθούν σε λίγο φύλλα μουριάς για να αναρριχηθούν σε αυτά όλες οι προνύμφες (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Περιμένουμε για 2 ώρες ώστε όλες οι προνύμφες να περάσουν το δίχτυ και να ανέβουν στα φύλλα. Συλλέγουμε κατόπιν το δίχτυ μαζί με τις προνύμφες και τα φύλλα και το μεταφέρουμε στον χώρο πλοκής των κουκουλιών με μεγάλη προσοχή. Το εναποθέτουμε στο πάτωμα (Εικόνα 7.12) και τοποθετούμε πάνω στις προνύμφες 1-2 ακόμη δίχτυα παρόμοιου διαμετρήματος οπών. Τότε μόνο οι ώριμες προνύμφες που δεν θέλουν να τραφούν, περνάνε μέσα από τις οπές των διχτυών. Σε όλο αυτό το διάστημα οι προνύμφες ωριμάζουν, αλλά επειδή ενοχλούνται από τον συγχρωτισμό, δεν μπορούν να ξεκινήσουν τη δημιουργία ικριώματος κουκουλιού. Αφήνουμε τις ώριμες προνύμφες να περάσουν από τις οπές για 2 ώρες και να έρθουν στην επιφάνεια. Κατόπιν μαζεύουμε το δίχτυ με τις ώριμες προνύμφες και το υποκείμενο στρώμα με τις μη ώριμες προνύμφες και τα φύλλα, το επιστρέφουμε στο κρεβάτι εκτροφής και ταΐζουμε τις μη ώριμες προνύμφες που θα ωριμάσουν την επόμενη ημέρα. Αυτές τις μη ώριμες προνύμφες δεν τις τοποθετούμε ξεχωριστά, αλλά μαζί με άλλες μη ώριμες προνύμφες και φροντίζει τη διατροφή τους μέλος του εργατικού δυναμικού που δεν συμμετέχει στη διαδικασία πλοκής των κουκουλιών.

Εικόνα 7 12 *Αριστερή εικόνα: Μετά την αναρρίχηση των ώριμων προνυμφών πάνω στο δίχτυ στο κρεβάτι εκτροφής, αυτές μεταφέρονται σε άλλο χώρο και διπλό δίχτυ τοποθετείται πάνω σε αυτές. Μεσαία εικόνα: Μετά από 2 περίπου ώρες, οι προνύμφες διαπερνούν τις οπές των διχτυών και ανεβαίνουν πάνω σε αυτό. Δεξιά εικόνα: Κατόπιν οι προνύμφες συλλέγονται και με ειδικό πλαίσιο σαν λεκάνη, και τοποθετούμε 1200 περίπου προνύμφες στο ιαπωνικό πλαίσιο πλοκής κουκουλιών και τις αφήνουμε να βρουν ένα κελί για να πλέξουν το κουκούλι τους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Τις ώριμες προνύμφες με το δίχτυ τις μαζεύουμε με προσοχή και ιδανικά τις ζυγίζουμε για να έχουμε κάποια γνώση του αριθμού τους γνωρίζοντας ότι κάθε προνύμφη ζυγίζει τότε περίπου 5 γραμμάρια κατά μέσο όρο. Κατόπιν χωρίζουμε τις προνύμφες σε ομάδες των 1200 ατόμων περίπου και τις τοποθετούμε στο πλαίσιο πλοκής των κουκουλιών είτε ως 120 άτομα ανά χάρτινο πλαίσιο είτε με τη χρήση μεγάλου φαρασιού ως 1200 άτομα ανά πλαίσιο. Αφήνουμε τις προνύμφες για μερικές (2-3) ώρες να ανέβουν στο πλαίσιο πλοκής των κουκουλιών και να βρουν κελί για να πλέξουν το κουκούλι τους. Καθώς οι προνύμφες εξερευνούν το πλαίσιο, αντιλαμβάνονται τα κελιά ως τριδιάστατα ικριώματα και σταδιακά εισέρχονται σε αυτά. Η παρουσία μιας προνύμφης σε ένα κελί εμποδίζει μια άλλη να μπει σε αυτό και έτσι σταδιακά και στοχαστικά κάθε προνύμφη βρίσκει το δικό της κελί.

Κατόπιν και με μεγάλη προσοχή κρεμάμε το πλαίσιο από την οροφή και αφήνουμε τις προνύμφες σε ηρεμία να βρουν ένα κελί για να πλέξουν το κουκούλι τους. Την επόμενη ημέρα το πρωί θα παρατηρήσουμε ότι όλες οι προνύμφες έχουν βρει ένα κελί και βρίσκονται μέσα στο κουκούλι τους. Ένα άτομο από το εργατικό δυναμικό του σηροτροφείου επιτηρεί τα πλαίσια έως αργά το βράδυ φροντίζοντας να μαζεύει τις προνύμφες που τυχόν έπεσαν από το πλαίσιο στο πάτωμα και να τις τοποθετεί σε άλλο πλαίσιο πλοκής κουκουλιών.

Ένας άλλος τρόπος διαχείρισης των ώριμων προνυμφών βασίζεται στο τίναγμα των προνυμφών από τα κλαδιά της μουριάς στο κρεβάτι εκτροφής. Σε αυτήν τη μέθοδο δεν τοποθετούμε δίχτυα πάνω στις προνύμφες στο κρεβάτι εκτροφής. Συλλέγουμε στην αρχή, νωρίς το πρωί τις πρώτες προνύμφες που είναι ιδιαίτερα ώριμες και τις τοποθετούμε στο πλαίσιο πλοκής των κουκουλιών με το χέρι εφόσον αυτό είναι χρονικά εφικτό. Κατόπιν συλλέγουμε με προσοχή από το κρεβάτι εκτροφής τα κλαδιά πάνω στα οποία είναι οι προνύμφες και τα φέρνουμε στους διαδρόμους του σηροτροφείου και τα τινάζουμε ελαφρά ώστε να πέσουν οι προνύμφες πάνω σε ένα πλαστικό ή καναβάτσο που έχουμε απλώσει. Το τίναγμα των προνυμφών δεν πρέπει να γίνεται από μεγάλο ύψος >1 μέτρο, γιατί η πτώση των προνυμφών μπορεί να τις προκαλέσει τραυματισμό ή να τις προκαλέσει έξοδο των πεπτικών τους υγρών από το στόμα και να έχουμε αργότερα δημιουργία λερωμένων κουκουλιών εξαιτίας αυτού (Ueda, 1985). Τινάζουμε τις προνύμφες από τα κλαδιά όσο το δυνατόν πιο κοντά στο έδαφος και είναι καλό να έχουμε τοποθετήσει ένα πολύ μαλακό στρώμα πάνω στο πάτωμα για να μειώσουμε την επίπτωση της πτώσης στις προνύμφες. Για τον σκοπό αυτόν έχουν δημιουργηθεί και ειδικές συσκευές μηχανικής ανατάραξης των κλαδιών (Εικόνα 7.13), που πολύ γρήγορα τινάζουν τις προνύμφες από τα κλαδιά.

Εικόνα 7.13 *Μηχάνημα ανατάραξης των κλαδιών της μουριάς πάνω στα οποία βρίσκονται οι προνύμφες. Επάνω στη μεγάλη σχάρα στην άνω επιφάνεια της μηχανής τοποθετούμε τα κλαδιά μουριάς από το κρεβάτι εκτροφής. Τα κλαδιά φέρουν τις προνύμφες που αναζητούν ικρίωμα για να πλέξουν το κουκούλι τους. Κατόπιν, με το πάτημα ενός κουμπιού, η μηχανή δημιουργεί κάθετες αναταράξεις (όχι οριζόντιες), οι οποίες τινάζουν τις προνύμφες από τα κλαδιά. Οι προνύμφες πέφτουν στην κεκλιμένη επιφάνεια (μπλε χρώμα στη φωτογραφία) και καταλήγουν σε λεκάνες ή καναβάτσα συλλογής τους. Οι αναταράξεις του άνω πλαισίου της μηχανής είναι έντονες αλλά διάρκειας μερικών δευτερολέπτων. Η μηχανή αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην απομάκρυνση των προνυμφών από τα κλαδιά της μουριάς (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Κατόπιν δίνουμε λίγα φύλλα σε όλες τις προνύμφες, ώστε αυτές που δεν είναι ώριμες να συνεχίσουν να τρέφονται, εκτός και εάν όλες οι προνύμφες είναι πλέον ώριμες. Κατόπιν τοποθετούμε 1-2 στρώσεις από το δίχτυ μεγάλου διαμετρήματος, όπως αναφέρεται παραπάνω, επάνω στις προνύμφες και οι ώριμες προνύμφες σε 1-2 ώρες ανεβαίνουν πάνω από τις στρώσεις των διχτυών, ενώ οι μη ώριμες παραμένουν κάτω και συνεχίζουν να τρέφονται. Όσες ανέβουν πάνω στο δίχτυ τις μαζεύουμε ελαφρά με ένα φαράσι ή τις αφαιρούμε συνολικά και τις τοποθετούμε στο πλαίσιο πλοκής των κουκουλιών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και επιστρέφουμε τις μη ώριμες προνύμφες πίσω στο κρεβάτι εκτροφής για τάισμα (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Εναλλακτικά, μπορούμε να έχουμε το πλαίσιο πλοκής των κουκουλιών τοποθετημένο κάθετα (όρθιο, Εικόνα 7.9 αριστερά) και να τοποθετούμε ποσότητα 120 προνυμφών, με βάση το βάρος τους, με ένα φαράσι σε κάθε ένα χάρτινο πλαίσιο του συνολικού πλαισίου. Όταν έχουμε το πλαίσιο τοποθετημένο κάθετα, τοποθετούμε τόση ποσότητα προνυμφών όσο το 80% των κελιών του κάθε χάρτινου πλαισίου, δηλαδή περίπου 120 άτομα, φροντίζοντας να τοποθετούμε περισσότερες προνύμφες στα άνω χάρτινα πλαίσια παρά στα κάτω χάρτινα πλαίσια, δεδομένου ότι κάποιες προνύμφες θα πέσουν στα κάτω πλαίσια λόγω βαρύτητας. Με τη μέθοδο του κάθετου (όρθιου) πλαισίου βασιζόμαστε στη φυσική συμπεριφορά εξερεύνησης του πλαισίου από τις προνύμφες με οριζόντια μετακίνησή τους πάνω στο κάθε χάρτινο πλαίσιο στερώντας από αυτές την ικανότητα να αναρριχηθούν. Και στη μέθοδο αυτή για τη σωστή κατανομή των προνυμφών βοηθά να έχουμε μια ζυγαριά για να ζυγίζουμε 120 προνύμφες μαζί θεωρώντας ότι το βάρος τους είναι περίπου 5 γραμμάτια ανά προνύμφη.

Όταν γεμίσουμε το πλαίσιο, το αφήνουμε για λίγες ώρες μέχρι να σιγουρευτούμε ότι όλες οι προνύμφες είναι καλά συγκρατημένες σε αυτό και κατόπιν το σηκώνουμε και το κρεμάμε από την οροφή του δωματίου. Είναι σημαντικό το δωμάτιο όπου γίνεται η πλοκή των κουκουλιών να είναι διαφορετικό από τον χώρο εκτροφής, ώστε να προσφέρει ελευθερία κινήσεων και εργασιών μας.

Ένας τρίτος τρόπος χρήσης των ιαπωνικών υλικών πλοκής κουκουλιών είναι να τοποθετούμε το πλαίσιο πλοκής των κουκουλιών με τον μεγάλο του άξονα να ακουμπά στο κρεβάτι εκτροφής (Εικόνα 7.14) το ένα δίπλα στο άλλο και σε επαφή με τις προνύμφες. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να έχουμε την επιφάνεια του κρεβατιού εκτροφής γεμάτη με μαλακά φύλλα για να αποτρέψουμε τη σύνθλιψη των προνυμφών από το βάρος του πλαισίου παρά το γεγονός ότι είναι αρκετά ελαφρύ. Αν οι προνύμφες είναι πολύ συγχρονισμένες στην ανάπτυξή τους, τότε τοποθετούμε ολόκληρη την κατασκευή των 10 πλαισίων πάνω στις προνύμφες όταν περίπου το 40% των προνυμφών είναι ώριμες. Αφήνουμε το πλαίσιο πάνω στο κρεβάτι εκτροφής για 2-3 ή περισσότερες ώρες και φροντίζουμε η θερμοκρασία να είναι 22-28ºC, ώστε να ωριμάσουν όλες οι προνύμφες. Αφήνουμε τα πλαίσια στο κρεβάτι εκτροφής για περισσότερες ώρες όταν οι συνθήκες θερμοκρασίας δεν είναι ιδανικές. Όταν το 80% των κελιών του πλαισίου έχει γεμίσει από προνύμφες, τότε το σηκώνουμε και το κρεμάμε από την οροφή στον χώρο πλοκής των κουκουλιών, ιδανικά σε χώρο διαφορετικό από αυτόν όπου βρίσκονται τα κρεβάτια εκτροφής. Με τον τρόπο αυτόν, χρησιμοποιούμε 20 πλαίσια για 1 κουτί των 20000 αυγών και τα τοποθετούμε στο κρεβάτι εκτροφής ανά δύο σε απόσταση 10-15 εκατοστά μεταξύ τους.

Εικόνα 7.14 *Τοποθέτηση του ιαπωνικού πλαισίου πλοκής κουκουλιών πάνω στο κρεβάτι εκτροφής. Παρατηρήστε πόσο καθαρισμένο είναι το κρεβάτι εκτροφής και πόσο επίπεδη είναι η επιφάνεια του κρεβατιού με τις προνύμφες σε πολύ μεγάλη πυκνότητα. Μετά από μερικές ώρες, όλες οι ώριμες προνύμφες αναρριχώνται στο πλαίσιο το οποίο κατόπιν απομακρύνουμε και το κρεμάμε από την οροφή του χώρου πλοκής κουκουλιών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Αυτός ο τρίτος τρόπος χρήσης των ιαπωνικών πλαισίων πλοκής κουκουλιών είναι ο πλέον άμεσος, αλλά δεν επιτρέπει τη διαχείριση των προνυμφών με ομοιογενή τρόπο και κάνει αναγκαία την προσαρμογή της πυκνότητας των προνυμφών πάνω στο κρεβάτι εκτροφής σε μεγέθη ανάλογα με αυτά που μπορούν να δεχθούν τα πλαίσια πλοκής κουκουλιών. Με άλλα λόγια, δεν πρέπει να έχουμε τις προνύμφες σε μεγάλη πυκνότητα, αλλά σε πυκνότητα ανάλογη με 1200 προνύμφες ανά μέγεθος ενός πλαισίου πλοκής κουκουλιών. Επίσης, θα πρέπει το κάθε κρεβάτι εκτροφής να καθαριστεί πλήρως την 6η ημέρα της 5ης ηλικίας και τα κρεβάτια εκτροφής να γίνουν επίπεδα με το τάισμα φύλλων την 7η ή 8η ημέρα της 6ης ηλικίας (δηλαδή την ημέρα πριν την ημέρα έναρξης της πλοκής των κουκουλιών). Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική, γιατί δεν απαιτεί μεγάλο φόρτο

εργασίας και βελτιώνει την ποιότητα των κουκουλιών, αλλά απαιτεί αρκετή προπαρασκευαστική εργασία για να είναι επιτυχής.

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι τρεις παραπάνω μέθοδοι επιφέρουν έναν σχετικά σημαντικό φόρτο εργασίας και προσοχής στη λεπτομέρεια, αλλά τα αποτελέσματα είναι πάρα πολύ ποιοτικά. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών θα πρέπει να τοποθετούνται όχι πολύ ψηλά από το πάτωμα και ίσως σε ύψος 50 εκατοστών από αυτό, γιατί συχνά κάποιες προνύμφες πέφτουν στο πάτωμα και μπορεί να τραυματιστούν. Καλό είναι επίσης να τοποθετείται ένα μαλακό υλικό κάτω από τα κρεμασμένα πλαίσια για να μην τραυματίζονται οι προνύμφες που πέφτουν, αλλά να μπορούν να συλλεγούν και να τοποθετηθούν σε άλλο πλαίσιο. Επίσης, οι χειρισμοί μας θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο προσεκτικοί όταν κρεμάμε τα πλαίσια.

Τα σύγχρονα υβρίδια του μεταξοσκώληκα έχουν γενικότερα μια αργή μεταβολή της συμπεριφοράς τους όταν πρόκειται να μετατραπούν σε ώριμες προνύμφες. Αυτό το γεγονός είναι επιθυμητό όταν είναι ανάγκη να γίνει διαχείριση πολλών δεκάδων χιλιάδων ώριμων προνυμφών σε μια ημέρα. Από την άλλη μεριά, ένας εκτροφέας, ακολουθώντας πιστά το πλάνο εκτροφής θα πρέπει να προετοιμαστεί για την ημέρα εμφάνισης των ώριμων προνυμφών, η οποία είναι η πιο σημαντική αλλά και χρονοβόρα ημέρα της εκτροφής, έχοντας εξασφαλίσει την ύπαρξη του απαραίτητου προσωπικού, των καταμερισμό των εργασιών, την ύπαρξη των απαραίτητων υλικών και χώρων, ειδικά όταν το μέγεθος της εκτροφής είναι μεγάλο. Πλέον υπάρχει μια σειρά από μηχανές, υλικά, χημικές ενώσεις και ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίες καθιστούν τη διαχείριση των ώριμων προνυμφών λιγότερο κοπιαστική. Για παράδειγμα, σκευάσματα εκδυστεροειδών υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμα η εφαρμογή των οποίων επιταχύνει την αργή μεταβολή των προνυμφών σε ώριμες προνύμφες και επιτρέπουν τη μεταβολή του συνόλου των προνυμφών σε ώριμες. Η χρήση όμως τέτοιων χημικών ενώσεων θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, ενώ γενικότερα η χρήση τους δεν έχει επικρατήσει εξαιτίας του υψηλού τους κόστους.

7.4 Προστασία των προνυμφών κατά την πλοκή των κουκουλιών

Ανεξάρτητα από το πλαίσιο πλοκής κουκουλιών που χρησιμοποιούμε, η θερμοκρασία κατά το διάστημα πλοκής των κουκουλιών πρέπει να διατηρείται στους 22 ºC και η υγρασία στο 60-70%, ενώ πολύ μεγάλη είναι η σημασία της ύπαρξης ρεύματος αέρα για την επίτευξη υψηλής ποιότητας μεταξιού (Ueda, 1973; Ueda, 1985). Όταν η θερμοκρασία ανέβει πάνω από 25 ºC, η ποιότητα των κουκουλιών μειώνεται, ενώ σε υψηλή υγρασία η αναπνιστικότητα των κουκουλιών επίσης μειώνεται. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο δεν θα πρέπει να καλύπτονται τα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών με οποιοδήποτε κάλυμμα, ενώ συνιστάται η ύπαρξη ανεμιστήρων οροφής.

Επειδή κάθε ώριμη προνύμφη αποβάλλει περίπου 0,4 χιλιοστόλιτρα πεπτικού υγρού, οι ώριμες προνύμφες ενός κουτιού 20000 αυγών αποβάλλουν συνολικά 8 λίτρα πεπτικών υγρών και αυτό ανεβάζει σημαντικά την υγρασία στον χώρο εκτροφής. Έχει επίσης υπολογιστεί ότι οι προνύμφες από ένα κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα παράγουν 45-50 λίτρα υδρατμών κατά τη διάρκεια πλοκής των κουκουλιών τους (Ueda, 1985). Αυτοί οι υδρατμοί προέρχονται κατά 30% από τα πεπτικά υγρά και τα κόπρανα των ώριμων προνυμφών και κατά 70% από την κρυστάλλωση της ίνας του μεταξιού, καθώς παράγεται από τις προνύμφες (Ueda, 1985). Αυτή η τεράστια ποσότητα υδρατμών που παράγονται δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στην αναπνιστικότητα των κουκουλιών. Η υγρασία που δημιουργείται θα πρέπει να απομακρυνθεί άμεσα, ανοίγοντας τα παράθυρα του σηροτροφείου και εφαρμόζοντας ρεύμα αέρα. Εάν χρησιμοποιούνται υλικά αποστράγγισης της υγρασίας, όπως εφημερίδες στο πάτωμα ή καναβάτσο, αυτά θα πρέπει να απομακρύνονται από τον χώρο πλοκής των κουκουλιών νωρίς την επόμενη ημέρα, όταν όλες οι προνύμφες έχουν φτιάξει λεπτά κουκούλια. Η διαχείριση της περίσσειας υδρατμών στον χώρο πλοκής των κουκουλιών είναι η επόμενη σημαντική εργασία που θα πρέπει να κάνουμε κάθε ημέρα μετά την τοποθέτηση των υλικών πλοκής των κουκουλιών, καθώς μπορεί να κάνουμε μια τέλεια εκτροφή και να μην μπορούμε να διαχειριστούμε την απομάκρυνση της υγρασίας και έτσι να υποβιβάσουμε την ποιότητα των κουκουλιών που παράγουμε (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Στα παραγωγικά υβρίδια η διαδικασία πλοκής του κουκουλιού διαρκεί περίπου 2 ημέρες από τη στιγμή που η προνύμφη αποβάλλει τα πεπτικά υγρά της. Κατόπιν και για διάστημα περίπου 2 ημερών η προνύμφη προετοιμάζεται μέσα στο κουκούλι για τη μεταμόρφωσή της σε νύμφη. Μετά τη μεταμόρφωσή της, η νύμφη έχει έναν ευαίσθητο εξωσκελετό, ο οποίος σκληραίνει σταδιακά μέσα σε 2 ημέρες, ενώ σε όλο αυτό το διάστημα το βάρος του κουκουλιού μειώνεται σταδιακά λόγω της υγρασίας που αποβάλλεται. Σε όλο αυτό το διάστημα

των 6 ημερών είναι σημαντικό να μην ενοχλούμε τα κουκούλια, αλλά να φροντίζουμε να απομακρύνουμε τυχόν ασθενικές προνύμφες και προνύμφες που είναι εμφανώς ανίκανες να πλέξουν κουκούλι. Αυτό το διάστημα των 6 ημερών μπορεί να καθυστερήσει όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την ενδεδειγμένη. Σε κάθε περίπτωση, αποφεύγουμε την οποιαδήποτε μετακίνηση των πλαισίων σε αυτό το διάστημα των 6 ημερών (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

7.5 Συλλογή των κουκουλιών

Κατά κανόνα, τα κουκούλια συλλέγονται την 7η ή 8η ημέρα από την ημέρα έναρξης της πλοκής τους, όταν το σώμα της νύμφης έχει σκληρύνει αρκετά, ώστε να μην τραυματίζεται κατά τους χειρισμούς μας. Αν τραυματίσουμε τις νύμφες κατά τη διάρκεια συλλογής των κουκουλιών, τότε αυτές αιμορραγούν μέσα στο κουκούλι, το λερώνουν εσωτερικά και μειώνουν την αναπηνιστικότητά του.
Το πρώτο πράγμα που κάνουμε κατά τη συλλογή των κουκουλιών είναι να αφαιρέσουμε τις νεκρές προνύμφες, τα λερωμένα κουκούλια και τα κακοσχηματισμένα κουκούλια ανεξάρτητα από το πλαίσιο πλοκής που χρησιμοποιήθηκε. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για να μην λερωθούν και τα καθαρά και καλά κουκούλια από τα λερωμένα.

Στην παραδοσιακή μέθοδο πλοκής στην Ελλάδα με τη χρήση δρυός, τα κουκούλια συλλέγονται με το χέρι, καθώς δεν υπάρχει κανένας τρόπος να τα αποκολλήσουμε από τα κλαδιά της δρυός. Αυτό αυξάνει υπερβολικά τον χρόνο εργασίας, καθώς απαιτεί πολλές ώρες εργασίας για να ολοκληρωθεί η συλλογή κουκουλιών ειδικά σε μεγάλες εκτροφές. Στα υλικά του κινεζικού και ιταλικού τύπου η συλλογή είναι πολύ πιο γρήγορη και μπορεί να γίνει με τα χέρια ή με ξύλινες κτένες με μεγάλα και αραιά δόντια (Εικόνα 7.15).

Εικόνα 7.15 *Παραδοσιακή συλλογή κουκουλιών από ιταλικά πλαίσια πλοκής κουκουλιών (Σουφλί, Ιούνιος 2021). Παραδοσιακά η ημέρα συλλογής των κουκουλιών αποτελούσε ευκαιρία για κοινωνικές συναθροίσεις φίλων, γειτόνων και συγγενών, όπου σε μια εύθυμη και φιλική ατμόσφαιρα οι άνθρωποι συλλέγουν τα κουκούλια συνοδευόμενοι από καλή παρέα, ποτό και γλέντι. Αυτή η παραδοσιακή πρακτική συλλογής των κουκουλιών αποτελούσε και αποτελεί ακλόνητο κομμάτι του κοινωνικού γίγνεσθαι στις περιοχές όπου εκτρέφεται ο μεταξοσκώληκας στην Ελλάδα ακόμη και σήμερα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Στην περίπτωση των ιαπωνικών πλαισίων, η συλλογή γίνεται αφού πρώτα αφαιρέσουμε κάθε ένα από τα 10 πλαίσια του μεγάλου πλαισίου από τα σημεία στήριξής τους και κατόπιν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα ξύλινο εκμαγείο 156 θέσεων ή 12 θέσεων στο οποίο εφαρμόζουμε το πλαίσιο μαλακά και τα κουκούλια εξέρχονται προς τα πάνω με την ελαφρά πίεση που ασκούμε κατά την εφαρμογή. Αυτό το πλαίσιο μπορεί να είναι ξύλινο και στην περίπτωση που έχουμε πλαίσιο 12 θέσεων τότε αφαιρούμε τα κουκούλια με τον ίδιο τρόπο κάνοντας 13 φορές την ίδια κίνηση για τις 13 σειρές κελιών του πλαισίου. Ένα τέτοιο εκμαγείο μπορεί να φτιαχτεί από ξύλο σχεδιασμένο να εφαρμόζει στα 156 κελιά του πλαισίου. Για την αφαίρεση των κουκουλιών από τα πλαίσια ιαπωνικού τύπου έχουν εφευρεθεί μηχανές που λειτουργούν ως πιεστήρια καθώς προωθούν τα 12 κελιά της κάθε σειράς του πλαισίου μέσα στη μηχανή (Εικόνα 7.16). Με τέτοιες μηχανές, η συγκομιδή κουκουλιών από 1 κουτί των 20000 αυγών τελειώνει σε πολύ λίγη ώρα.

Εικόνα 7.16 *Δύο διαφορετικά μοντέλα μηχανών αφαίρεσης των κουκουλιών από τα ιαπωνικά πλαίσια πλοκής των κουκουλιών. Τα πλαίσια εισάγονται οριζόντια στη μηχανή και στιβαρά εκμαγεία των κελιών που φέρει η μηχανή πιέζουν ελαφρά τα κουκούλια και τα αφαιρούν από το πλαίσιο. Κατόπιν τα κουκούλια πέφτουν μέσα σε δοχεία συλλογής τους και προωθούνται για την αφαίρεση των γναφάλων τους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

7.5.1 Αφαίρεση γναφάλων

Το ικρίωμα από ίνες μεταξιού που δημιουργεί η ώριμη προνύμφη όταν ξεκινά να πλέξει το κουκούλι της αποτελεί, μετά την ολοκλήρωση της πλοκής του κουκουλιού, μια άμορφη μάζα από ίνες, η οποία ονομάζεται *γνάφαλο*. Τα γνάφαλα των κουκουλιών παραμένουν στα κουκούλια μετά τη συγκομιδή τους και πρέπει να αφαιρούνται, γιατί συγκρατούν υγρασία, δυσκολεύουν την αξιολόγηση των κουκουλιών και, το πιο σημαντικό, δυσκολεύουν πολύ τη διαχείριση των κουκουλιών.

Τα γνάφαλα πρέπει να αφαιρούνται με τη μηχανή αφαίρεσης γναφάλων που είναι μια απλή κατασκευή που λειτουργεί με το χέρι ή με ηλεκτρισμό. Ο μηχανισμός αποτελείται από δύο ή περισσότερες ράβδους που περιστρέφονται πάνω σε ένα ξύλινο πλαίσιο και πάνω από τις οποίες περνάμε τα κουκούλια. Καθώς οι ράβδοι περιστρέφονται, τα γνάφαλα κολλάνε στη μία ράβδο και περιστροφικά αφαιρούνται και μένουν πάνω στη ράβδο, ενώ τα καθαρισμένα κουκούλια σπρώχνονται προς το σημείο συλλογής τους από τα ακαθάριστα που βάζουμε στη μηχανή. Αυτές οι μηχανές έχουν εφευρεθεί από πολύ παλιά, είναι πολύ απλές στη χρήση τους και δεν χρειάζονται εξειδίκευση από τον χρήστη. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα γνάφαλα των κουκουλιών δεν πρέπει να πετιούνται γιατί μπορούν να γίνουν χοντρό μεταξωτό νήμα με κατάλληλη επεξεργασία, ενώ επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το γέμισμα στρωμάτων ή μαξιλαριών αλλά και για πολλές άλλες χρήσεις. Η ποσότητα των γναφάλων μπορεί να είναι πολύ μεγάλη (Εικόνα 7.17 και Εικόνα 7.18) όταν η παραγωγή κουκουλιών είναι εκατοντάδων τόνων.

Εικόνα 7.17 *Παραδοσιακή συσκευή αφαίρεσης των γναφάλων στην Ιταλία. Οι 5 ράβδοι της συσκευής περιστρέφονται ταυτόχρονα και χειρωνακτικά και δεσμεύουν τα γνάφαλα αφαιρώντας τα από τα κουκούλια. Τα κουκούλια τοποθετούνται πάνω στη συσκευή σε λεπτό στρώμα και η αφαίρεση των γναφάλων γίνεται σε λίγα δευτερόλεπτα. Υπάρχουν πολλών ειδών τέτοιες συσκευές ακόμη και πλήρως αυτόματες ηλεκτρικές συσκευές. Οι χειροκίνητες συσκευές είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές και μπορεί να είναι λειτουργικές για αιώνες. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται και ποσότητα γναφάλων που έχει αφαιρεθεί από τα κουκούλια (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 7.18 *Ηλεκτρική μηχανή αφαίρεσης των γναφάλων στο αναπηνιστήριο μεταξιού στο Σουφλί. Τα ξηρά κουκούλια τροφοδοτούνται με το χέρι μέσα σε έναν κυλιόμενο ιμάντα (εικόνα αριστερά), φτιαγμένο από υλικό που συγκρατεί τα γνάφαλα. Τα κουκούλια συλλέγονται μέσα από μια χοάνη της μηχανής (μεσαία εικόνα) σε κάδους και είναι έτοιμα για αναπήνιση. Η μηχανή αυτή μπορεί να αφαιρέσει τα γνάφαλα από πολλά κιλά κουκούλια μέσα σε λίγα λεπτά. Η μεγάλη ποσότητα γναφάλων που προκύπτει (δεξιά εικόνα) είναι χρήσιμη για αναπήνιση του μεταξιού στο χέρι, αλλά και για χρήση τους ως μονωτικού υλικού (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

7.5.2 Διαλογή των κουκουλιών

Η τιμή των εμπορεύσιμων κουκουλιών αξιολογείται με βάση την ποιότητά τους και παράγοντες όπως το ποσοστό των ελαττωματικών κουκουλιών που βρίσκονται ανάμεσα στα καλά κουκούλια. Έτσι, εάν το ποσοστό των ελαττωματικών κουκουλιών είναι υψηλό, η τιμή τους μειώνεται. Για παράδειγμα, και όπως αναφέρθηκε σε άλλο κεφάλαιο, η τιμή των κουκουλιών Α΄ ποιότητας στην Ιταλία το 2022 ήταν 20 Ευρώ το κιλό φρέσκα κουκούλια, 12 Ευρώ το κιλό για Β΄ ποιότητας φρέσκα κουκούλια και 5 Ευρώ το κιλό για Γ΄ ποιότητας φρέσκα κουκούλια (S. Cappellozza, προφορική ενημέρωση). Αυτό δείχνει το πόσο σοβαρά μπορεί να επηρεαστεί η τιμή πώλησης των κουκουλιών, όταν δεν γίνεται διαλογή των κουκουλιών και όταν η παραγωγή κουκουλιών δεν είναι ιδανική. Να τονιστεί εδώ ότι στην Ιταλία δεν υπάρχει συνδεδεμένη ενίσχυση της παραγωγής κουκουλιών. Στην Ελλάδα αυτές οι τιμές δεν μπορούν να ισχύουν, λόγω της συνδεδεμένης ενίσχυσης της παραγωγής κουκουλιών. γιατί τέτοιες τιμές θα εκτίνασσαν το κόστος παραγωγής μεταξιού σε εξωπραγματικά ύψη.

Ως ελαττωματικά κουκούλια που θα πρέπει να αφαιρούνται κατά τη διαλογή (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988) θεωρούνται τα εξής:

Τα διπλά κουκούλια: Ένα διπλό κουκούλι δημιουργείται όταν δύο προνύμφες πλέκουν μαζί το κουκούλι τους και έτσι πλέκουν ένα κουκούλι στο οποίο οι δύο ίνες είναι ανάμεικτες και δεν αναπηνίζονται εύκολα. Τα διπλά κουκούλια χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός χονδροειδούς, μη ομοιόμορφου, νήματος που ονομάζεται «κουκουλάρικο» ή στα Αγγλικά «doupion», το οποίο παράγεται με χειρωνακτική αναπήνιση των διπλών κουκουλιών. Η εμφάνιση διπλών κουκουλιών προκαλείται από συνθήκες υψηλού συγχρωτισμού των προνυμφών κατά την πλοκή των κουκουλιών και είναι μηδενική μόνο στα περιστρεφόμενα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών που έχουν εφευρεθεί και χρησιμοποιούνται στην Ιαπωνία. Σε όλα τα άλλα πλαίσια πλοκής κουκουλιών η εμφάνιση διπλών κουκουλιών είναι αναπόφευκτη σε συνθήκες υψηλού συγχρωτισμού των προνυμφών. Επίσης, η υψηλή θερμοκρασία και η υγρασία μπορεί να προκαλέσουν εμφάνιση διπλών κουκουλιών. Υπάρχουν και γενετικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση διπλών κουκουλιών, αλλά αυτοί οι παράγοντες έχουν ουσιαστικά εξαφανιστεί λόγω της επιλογής που υφίστανται τα υβρίδια. Τα διπλά κουκούλια μπορεί να είναι δύσκολο να διακριθούν όταν οι εκτρεφόμενοι μεταξοσκώληκες παράγουν φυσιολογικά μεγάλου μεγέθους κουκούλια. Είναι γενικά μεγαλύτερα σε μέγεθος από τα «μονά» κουκούλια, αλλά το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ αδρή επιφάνεια που έχουν και η δυσκολία αφαίρεσης των γναφάλων από τα διπλά κουκούλια. Αυτό είναι ένα έντονο χαρακτηριστικό των διπλών κουκουλιών, καθώς, όταν προσπαθήσουμε να αφαιρέσουμε τα γνάφαλα, διαπιστώνουμε ότι όσο αφαιρούμε, τόσο περισσότερο αδρή είναι η επιφάνεια του κουκουλιού και τόσο περισσότερα γνάφαλα φαίνεται να έχει. Μερικές φορές τα διπλά

κουκούλια μπορεί να μη διακρίνονται εύκολα, ιδιαίτερα από έναν άπειρο χειριστή. Η ζύγιση του βάρους τους όμως τα προδίδει, γιατί συνήθως έχουν βάρος >3 γραμμάρια στα εμπορικά υβρίδια.

Κουκούλια λεκιασμένα εσωτερικά (νεκρή ή τραυματισμένη νύμφη): Τα κουκούλια που είναι λεκιασμένα εσωτερικά είναι κουκούλια στα οποία η προνύμφη ή η νύμφη έχει νεκρωθεί ή τραυματιστεί εσωτερικά και τα σωματικά υγρά της έχουν λεκιάσει το εσωτερικό του κουκουλιού. Αυτά τα κουκούλια διακρίνονται μόνο όταν δεν κάνουν έναν θόρυβο σαν κουδούνισμα όταν τα κουνήσουμε ελαφρά δίπλα στο αυτί μας. Αυτά τα κουκούλια είναι δύσκολο να επεξεργαστούν και λερώνουν το μετάξι κάνοντάς το θαμπό στο χρώμα. Η διαλογή τους είναι δυνατή από πολύ έμπειρους χειριστές κουκουλιών και γίνεται περνώντας τα κουκούλια με διαφανή ιμάντα πάνω από τραπέζι με γυαλί και ανάστροφο φωτισμό (φωτεινή εστία), ώστε να παρατηρείται η σκίαση της νύμφης μέσα στο κουκούλι. Για να αποφύγουμε την εμφάνιση τέτοιων κουκουλιών, τα κουκούλια πρέπει να συγκομίζονται μόνο μετά τη μεταμόρφωση της προνύμφης σε νύμφη και μερικές μέρες αργότερα από τη μεταμόρφωση σε νύμφη. Στην πράξη, η κατάλληλη ημέρα συγκομιδής είναι η έβδομη με δέκατη ημέρα από την ημερομηνία έναρξης της πλοκής των κουκουλιών. Εάν πραγματοποιηθεί πρόωρη συγκομιδή, τότε μπορεί να έχουμε θανατώσεις των προνυμφών μέσα στο κουκούλι και λέκιασμα του κουκουλιού εσωτερικά. Από την άλλη μεριά, η συγκομιδή των κουκουλιών και η απόπνιξη της νύμφης δεν πρέπει να καθυστερήσει, γιατί μπορεί να έχουμε έξοδο των νυχτοπεταλούδων από το κουκούλι και καταστροφή του.

Σημαντική είναι και η διαδικασία μεταφοράς των φρέσκων κουκουλιών μετά τη συγκομιδή τους για την εμφάνιση εσωτερικά λεκιασμένων κουκουλιών. Μετά τη σωστή συγκομιδή, πρέπει να απομακρύνονται τα λεκιασμένα και κατεστραμμένα κουκούλια. Για τη μεταφορά των φρέσκων κουκουλιών, αυτά θα πρέπει να τοποθετούνται σε όσο το δυνατόν λεπτότερες στοίβες πάνω σε μεγάλα ράφια, γιατί αν συνθλίβονται, τότε κάποια εμφανώς καλά αλλά εσωτερικά λεκιασμένα κουκούλια θα λεκιάσουν και τα άλλα. Προσοχή θα πρέπει να δίνεται ώστε να μη στοιβάζονται τα φρέσκα κουκούλια μέσα σε σακούλες για πολύ ώρα, γιατί η υγρασία που παράγεται τα κάνει μαλακά και μπορεί να συνθλιβούν. Αυτό προκαλεί λεκέδες στην εξωτερική επιφάνεια των κουκουλιών που γειτνιάζουν με εσωτερικά λερωμένα κουκούλια. Ιδανικό είναι η μεταφορά φρέσκων κουκουλιών να γίνεται πάνω σε μαλακές σπογγώδεις επιφάνειες, να γίνεται νωρίς το πρωί ή αργά το βράδυ και να μην περνούν περισσότερες από 2-3 ημέρες από τη συγκομιδή τους έως την απόπνιξη της νύμφης. Ιδανικά, η εξονυχιστική διαλογή των κουκουλιών θα πρέπει να γίνεται ταυτόχρονα με τη συγκομιδή τους στο σηροτροφείο και τα κουκούλια να μεταφέρονται προς αποξήρανση και να αποξηραίνονται ήδη διαχωρισμένα σε διαφορετικές ποιοτικές κατηγορίες.

Εξωτερικά λεκιασμένα κουκούλια: Αυτά αναγνωρίζονται από το χρώμα σκουριάς ή του κίτρινου ή του μαύρου χρώματος που βρίσκεται στο εξωτερικό τους, το οποίο δημιουργείται κατά τη διαδικασία πλοκής των κουκουλιών και προέρχεται από τα πεπτικά υγρά άλλων μεταξοσκωλήκων που πέφτουν πάνω στο κουκούλι. Το μαύρο χρώμα δημιουργείται όταν η νύμφη ή η προνύμφη πεθαίνει μέσα στο κουκούλι. Η αναπηνιστικότητα είναι πολύ κακή σε αυτήν την περίπτωση. Εξωτερικά λεκιασμένα κουκούλια μπορούν να δημιουργηθούν και με άλλους τρόπους, όπως κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, και αυτά θα πρέπει να διαχωρίζονται με κάθε λεπτομέρεια κατά τη διαλογή.

Τυπωμένα κουκούλια: Τα λεγόμενα τυπωμένα κουκούλια φέρουν μορφές πάνω στο κέλυφος ως αποτέλεσμα πλοκής του κουκουλιού πάνω σε ένα αντικείμενο. Για παράδειγμα, όταν η προνύμφη πλέξει το κουκούλι της πάνω σε ένα κλαδάκι, τότε η μορφή από αυτό το κλαδάκι αποτυπώνεται στο κέλυφος. Αυτό το ελάττωμα μπορεί να συμβεί λόγω ακατάλληλων πλαισίων πλοκής κουκουλιών και συμβαίνει πάντα κατά τη διάρκεια πλοκής των κουκουλιών κυρίως όταν υπάρχει υψηλός συγχρωτισμός. Γενικότερα, η χρήση των κλαδιών από δρυ προκαλεί την εμφάνιση τέτοιων κουκουλιών, ενώ η χρήση εφημερίδων για την κάλυψη των πλαισίων πλοκής των κουκουλιών μπορεί να προκαλέσει μαζική εμφάνιση τέτοιων κουκουλιών.

Κακοσχηματισμένα κουκούλια: Πρόκειται για κουκούλια ασυνήθιστου σχήματος, τα οποία μπορεί να προκύψουν από γενετική ανομοιομορφία του υβριδίου. Αυτό το ελάττωμα οφείλεται κυρίως σε φυλετικά και γενετικά χαρακτηριστικά και συμβαίνει επίσης όταν τα φύλλα της μουριάς είναι μολυσμένα με χημικά παρασιτοκτόνα.

Σαθρά κουκούλια: Στα κουκούλια αυτά το κέλυφος φτιάχνεται με λίγο μετάξι, δεν έχει πολλές στρώσεις και γενικότερα είναι πολύ μαλακό. Τα κουκούλια αυτά μπορούν εύκολα να βραστούν σε υπερβολικό βαθμό και παράγουν απόβλητα. Τέτοια κουκούλια παράγονται όταν οι προνύμφες διαταραχτούν νωρίς κατά την πλοκή

του κουκουλιού τους και απορρίψουν το ικρίωμα που έφτιαξαν για να φτιάξουν άλλο και στην πορεία σπαταλούν την ίνα που παράγουν. Τα σαθρά κουκούλια δεν παράγονται από υβρίδια και αυτός είναι ένας από τους βασικούς χαρακτήρες επιλογής και βελτίωσης των πατρογονικών φυλών ή καθαρών σειρών από τις οποίες προκύπτουν τα εμπορικά υβρίδια. Διάφορες φυλές μεταξοσκώληκα παράγουν σαθρά κουκούλια και θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα κουκούλια που παράγουν άγρια είδη, που είναι συγγενικά του μεταξοσκώληκα, είναι κυρίως σαθρά. Άλλωστε, η όλη ιστορική πορεία βελτίωσης των παραγωγικών χαρακτήρων του μεταξοσκώληκα βασίζεται στη μείωση του ποσοστού παραγωγής σαθρών κουκουλιών που επιτυγχάνεται με την επιλογή για άτομα που παράγουν κουκούλια με σκληρό κέλυφος. Παρόλα αυτά, τα σαθρά κουκούλια είναι αναπηνίσιμα και με κατάλληλες πρακτικές μπορούν να δώσουν σημαντική ποσότητα σε μετάξι. Άλλωστε, τέτοια κουκούλια χρησιμοποιούνταν μέχρι τις αρχές του 20ού αιώνα στη σηροτροφία, πριν την έλευση των εμπορικών υβριδίων.

Κουκούλια με λεπτά άκρα: Στα κουκούλια αυτά η μία ή και οι δύο άκρες του κουκουλιού είναι πολύ λεπτές και ανοίγουν συνήθως κατά την επεξεργασία τους. Η αιτία αυτού του ελαττώματος είναι κυρίως γενετική, καθώς υπάρχουν φυλές που παράγουν οξύληκτα κουκούλια, αλλά μπορεί να συμβεί και λόγω ακατάλληλης θερμοκρασίας και υγρασίας κατά την εκτροφή και την πλοκή των κουκουλιών.

Τρυπημένα κουκούλια: Τέτοια κουκούλια προκύπτουν όταν η νυχτοπεταλούδα έχει βγει από το κουκούλι ή όταν το κουκούλι φαγωθεί από σκαθάρια (δείτε Κεφάλαιο 9) ή όταν ένα ενδοπαράσιτο του μεταξοσκώληκα τρυπήσει το κουκούλι. Τα κουκούλια αυτά είναι ακατάλληλα για αναπήνιση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για αναπήνιση με το χέρι ή ως πρώτη ύλη για δημιουργία ακατέργαστων νημάτων από μετάξι.

7.6 Ξήρανση κουκουλιών

Ο βασικός στόχος της ξήρανσης των κουκουλιών είναι η απόπνιξη της νύμφης για να αποτρέψουμε τη μεταμόρφωσή της σε νυχτοπεταλούδα που θα βγει από το κουκούλι και θα το καταστρέψει κάνοντάς το μη αναπηνίσημο. Με την απόπνιξη της νύμφης μπορούμε να διατηρήσουμε το κουκούλι για απεριόριστο χρόνο, ακόμη και για εκατοντάδες χρόνια αν λάβουμε τις κατάλληλες προφυλάξεις (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

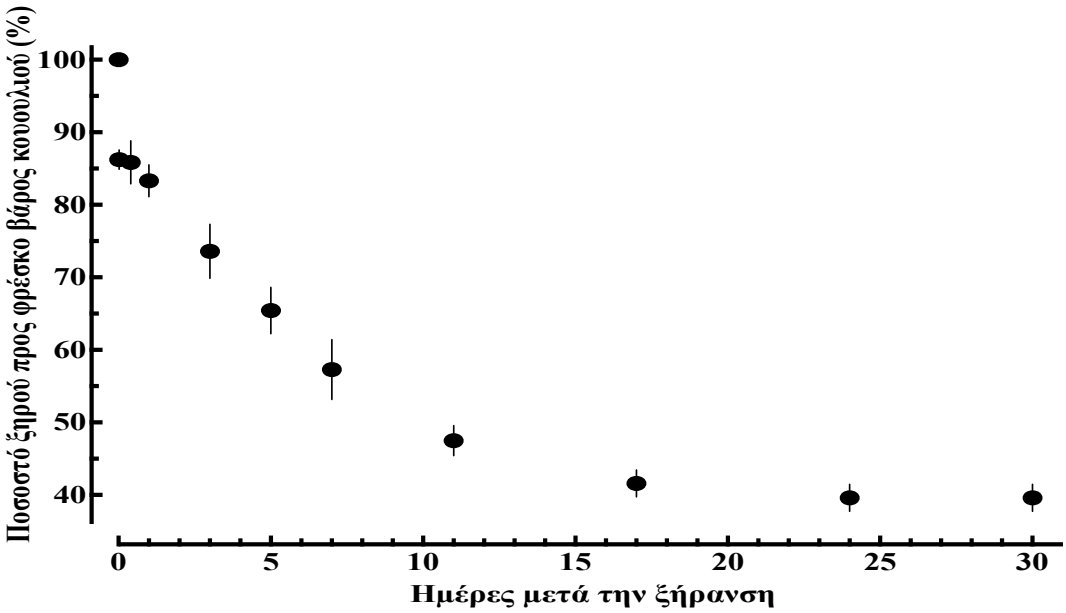
Η ξήρανση των κουκουλιών έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των ποσοστών υγρασίας στο κουκούλι όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 7.1.

Συστατικά του κουκουλιού	**Φρέσκο κουκούλι**	**Αποξηραμένο κουκούλι**
Κέλυφος	11-12%	6-7%
Νύμφη	75-79%	6-13%
Κουκούλι	61-64%	6-12%

Πίνακας 7.1 *Ποσοστά υγρασίας του κουκουλιού πριν και μετά την αποξήρανσή του. Παρατηρήστε ότι το βάρος του κελύφους δεν αλλάζει καθόλου πριν και μετά την αποξήρανση του κουκουλιού, αλλά η δραματική μείωση του βάρους του φρέσκου κουκουλιού οφείλεται αποκλειστικά στη μείωση του βάρους της νύμφης μετά την απόπνιξή της. Οι τιμές που αναφέρονται είναι σχετικά βελτιωμένες στα πλέον παραγωγικά σύγχρονα υβρίδια μεταξοσκώληκα που μπορεί να παράγουν 0,5-0,6 γρ. κελύφους (Πηγή: προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Τα δεδομένα του Πίνακα 7.1 δείχνουν ότι η απώλεια βάρους στα αποξηραμένα κουκούλια οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην απώλεια υγρασίας από το σώμα της νύμφης. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν επίσης ότι το αποξηραμένο κουκούλι δεν στερείται πλήρως υγρασίας, αλλά ένα μικρό ποσοστό υγρασίας παραμένει σε αυτό. Ο λόγος που ξηραίνουμε τα κουκούλια είναι για να αποπνίξουμε τη νύμφη και να μην επιτρέψουμε την εμφάνιση της νυχτοπεταλούδας που θα καταστήσει το κουκούλι ακατάλληλο για αναπήνιση. Έτσι, η απόπνιξη της νύμφης πρέπει να γίνει το μέγιστο μέσα σε 15-16 ημέρες από την έναρξη πλοκής των κουκουλιών από τις προνύμφες. Συνήθως η απόπνιξη γίνεται 8-10 ημέρες μετά την έναρξη πλοκής των κουκουλιών.

Η ξήρανση των κουκουλιών με σκοπό την απόπνιξη της προνύμφης μπορεί να διαρκέσει για πολύ μικρό διάστημα, καθώς έκθεση των κουκουλιών στους 85 °C για 30 λεπτά είναι αρκετή για να επιφέρει απόπνιξη της νύμφης μέσα στα πρώτα 10 περίπου λεπτά (Εικόνα 7.19).



Εικόνα 7.19 *Ξήρανση των κουκουλιών μετά από απόπνιξη της νύμφης στους 85°C για 30 λεπτά. Όπως φαίνεται στο γράφημα, το βάρος του κουκουλιού μειώνεται στο 87% του αρχικού βάρους μετά από 30 λεπτά στους 85 °C και κατόπιν απαιτούνται περίπου 20 ημέρες στους 25 °C και 65% υγρασία για να επιτύχουμε το βέλτιστο ποσοστό ξήρανσης (40% του αρχικού βάρους) των κουκουλιών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Όμως, αυτό κάνει τα κουκούλια να έχουν ακόμη αρκετή υγρασία, η οποία μειώνεται σταδιακά στις επόμενες 20 ημέρες, όταν διατηρούμε τα κουκούλια σε θερμοκρασία 25 °C και σχετική υγρασία 60-70%. Αυτός όμως ο τρόπος ξήρανσης των κουκουλιών δεν είναι εμπορικά αποδεκτός, παρότι, ιδιαίτερα γρήγορος και απλός, γιατί η υγρασία που παραμένει στα κουκούλια οδηγεί στην προσβολή των κουκουλιών από μύκητες, εάν στο περιβάλλον επικρατεί υψηλή υγρασία τις επόμενες 20 ημέρες. Το πρακτικό πρόβλημα με την υιοθέτηση αυτού του τρόπου ξήρανσης είναι ότι όταν πρέπει να αποξηράνουμε τόνους κουκουλιών πρέπει να διαθέτουμε και ανάλογους χώρους για να τα διατηρήσουμε μακριά από προσβολές για τις επόμενες 20 ημέρες, ώστε να μετατραπούν σε αποξηραμένα κουκούλια. Κάτι τέτοιο είναι πρακτικά δυσλειτουργικό και έτσι έχουν προταθεί και υιοθετηθεί πρωτόκολλα ξήρανσης πολλών ωρών που οδηγούν στην πλήρη ξήρανση των κουκουλιών.

Στην αρχή της ξήρανσης των κουκουλιών στις μηχανές απόπνιξης, η υγρασία του κελύφους αφαιρείται και κατόπιν, μετά την απόπνιξη της νύμφης (σε περίπου 10 λεπτά), η υγρασία του σώματός της μειώνεται δραματικά, καθώς το νερό στο σώμα της εξατμίζεται. Κατά τη διαδικασία της ξήρανσης, διατηρούμε σταθερή την απώλεια της υγρασίας για συγκεκριμένο χρόνο και κατόπιν μειώνουμε το ποσοστό απώλειας της υγρασίας σταδιακά για τον υπόλοιπο χρόνο ξήρανσης.

Η θερμοκρασία ξήρανσης παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην αναπηνιστικότητα των κουκουλιών, καθώς ακραίες υψηλές θερμοκρασίες αποδιατάσσουν τη σερικίνη και μειώνουν την αναπηνιστικότητα και την απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι (Ueda, 1985).

Σε θεωρητικό επίπεδο, η θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής του θερμού αέρα με το κουκούλι δεν πρέπει να ξεπερνά τους 115 °C± 5 °C, ενώ στην περίπτωση ξήρανσης με ατμό (υγρή ξήρανση), η θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής με το κουκούλι δεν πρέπει να ξεπερνά τους 102°C± 2 °C. Η τελική θερμοκρασία ξήρανσης δεν πρέπει να μειώνεται κάτω από 55 °C για ξήρανση με ξηρό αέρα και 50 °C για ξήρανση με ατμό. Έτσι, ένα πρακτικό πρωτόκολλο ξήρανσης κουκουλιών με ξηρό αέρα είναι 120 °C για 90 λεπτά, κατόπιν 110 °C για 90 λεπτά, μετά 85 °C για 90 λεπτά και τέλος 60 °C για 120 λεπτά.

Η υγρασία στον θάλαμο ξήρανσης των κουκουλιών δεν επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα των κουκουλιών, αλλά είναι καλό να είναι στο 4-5% στην αρχή της ξήρανσης και στο 15-20% στο τέλος της ξήρανσης για να μην ξηραθεί υπερβολικά το κέλυφος του κουκουλιού. Η υγρασία στη μηχανή ξήρανσης διατηρείται σταθερή όταν η παροχή αερισμού διατηρείται σταθερή μέσα στη μηχανή ξήρανσης.

Παρά τα θεωρητικά δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν διαφορετικά πρωτόκολλα ξήρανσης που διαφέρουν ανάλογα με τη χρήση των κουκουλιών που θα επακολουθήσει. Έτσι κανονική ξήρανση σημαίνει μείωση του βάρους του κουκουλιού στο 37-42% του αρχικού για αποθήκευση για 6-12 μήνες, χωρίς την εμφάνιση μυκητίασης στα κουκούλια κατά την αποθήκευση. Ενδιάμεση ξήρανση στο 70-80% γίνεται όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τα κουκούλια άμεσα, ενώ η ξήρανση για απόπνιξη της νύμφης

γίνεται στους 85 °C για 30 λεπτά και κατόπιν αφήνουμε τα κουκούλια να ξηραθούν περαιτέρω για διάστημα ενός μηνός (Εικόνα 7.19).

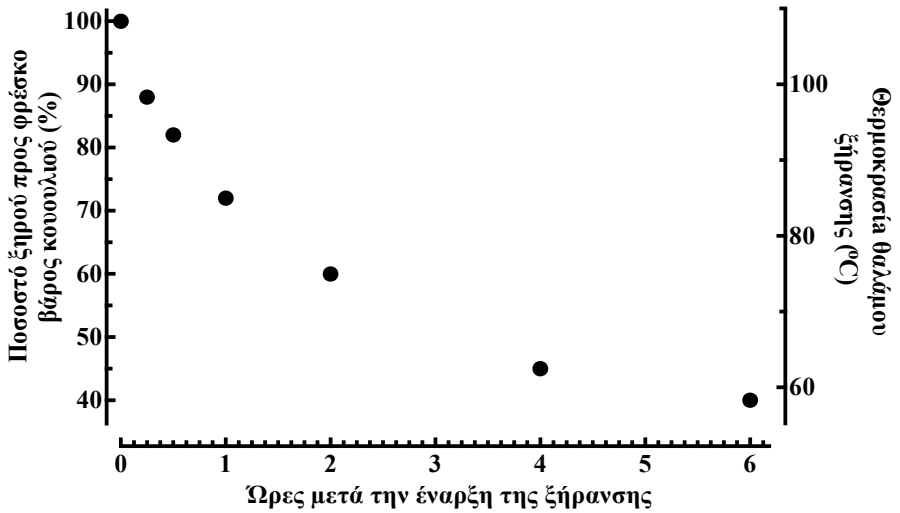
Στην περίπτωση ξήρανσης μέσω ατμού, εάν η θερμοκρασία αυξηθεί πολύ ψηλά, είναι πιθανό να προκαλέσει άνιση ξήρανση, καθώς η θερμότητα υποβαθμίζει την ποιότητα των κουκουλιών, προκαλώντας μη επιθυμητά αποτελέσματα. Εάν η αρχική θερμοκρασία για ξήρανση των κουκουλιών μειωθεί υπερβολικά, αυτό μπορεί να επιδεινώσει την ομοιομορφία και την καθαρότητα του ακατέργαστου μεταξιού (Εικόνα 7.20). Η ατελής ξήρανση μπορεί να προκαλέσει ανομοιόμορφα αποτελέσματα κατά τον βρασμό των κουκουλιών πριν την αναπήνιση και, κατά συνέπεια, να μειώσει την ποιότητα του ακατέργαστου μεταξιού σε σχέση με την ομοιομορφία και την καθαρότητά του.

7.6.1 Μηχανισμός ξήρανσης των κουκουλιών

Η περιεκτικότητα σε υγρασία σε ένα φρέσκο κουκούλι ποικίλλει ανάλογα με το είδος του υβριδίου ή της φυλής, την εποχή εκτροφής και το φύλο της νύμφης. Ο Πίνακας 7.1 δείχνει την περιεκτικότητα σε υγρασία σε ένα κουκούλι.

Καθώς το μεγαλύτερο μέρος της υγρασίας περιέχεται στο σώμα της νύμφης, το επίπεδο ξήρανσης εξαρτάται από την πραγματική περιεκτικότητα σε υγρασία της νύμφης. Καθώς η νύμφη νεκρώνεται στα 10 πρώτα λεπτά της ξήρανσης, το νερό στο σώμα της εξατμίζεται πολύ γρήγορα. Η ξήρανση στο κουκούλι συνεχίζεται σταδιακά και όταν η επιθυμητή ποσότητα νερού έχει εξατμιστεί, η ταχύτητα ξήρανσης μειώνεται σε σχέση με τη μείωση της υγρασίας μέχρι να ολοκληρωθεί η ξήρανση.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η θερμοκρασία ξήρανσης επηρεάζει το κέλυφος του κουκουλιού και την επακόλουθη απόδοση ακατέργαστου μεταξιού (Ueda, 1985). Έτσι, συνιστάται να τηρούνται τα ακόλουθα όρια: Για ξήρανση με θερμό αέρα συνιστάται η ξήρανση να γίνεται στους 115 ±5 °C, ως θερμοκρασία με την οποία έρχεται σε επαφή το κουκούλι (Εικόνα 7.20). Για ξήρανση με ατμό η θερμοκρασία είναι 102 °C. Επίσης, ενώ είναι καλό να έχουμε υψηλή θερμοκρασία στο τέλος της ξήρανσης για να πετύχουμε καλή απόδοση ξήρανσης, η αποδόμηση της σερικίνης μειώνεται όταν το ποσοστό ξήρανσης ξεπεράσει το 50%. Η τελική θερμοκρασία ξήρανσης θα πρέπει να μειώνεται σταδιακά στους 60 °C για την ξήρανση με ξηρό αέρα και στους 55 °C για ξήρανση με ατμό.



Εικόνα 7.20 *Ξήρανση των κουκουλιών σε μηχανή ξήρανσης θερμού αέρα. Όπως φαίνεται στο γράφημα, το βέλτιστο ποσοστό ξήρανσης επιτυγχάνεται μέσα σε λίγες ώρες με τη χρήση μηχανών ξήρανσης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η υγρασία του αέρα στον ξηραντήρα έχει μικρή επίδραση στην ποιότητα των κουκουλιών, ωστόσο ο κακός εξαερισμός μπορεί να προκαλέσει υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, γεγονός που θα βλάψει την αναπηνιστικότητα. Η ταχύτητα του αέρα στη μηχανή ξήρανσης έχει μικρή επίδραση στην ποιότητα των κουκουλιών. Ωστόσο, εάν η πίεση του αέρα δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το μηχάνημα ξήρανσης, υπάρχει κίνδυνος άνισης ξήρανσης των κουκουλιών.

7.6.2 Διάφορες μέθοδοι ξήρανσης των κουκουλιών

Η απόπνιξη της νύμφης και η ξήρανση των κουκουλιών απαιτούν την ύπαρξη συγκεκριμένων μηχανών εξειδικευμένων για αυτήν την επεξεργασία. Παρόλα αυτά, αν μια τέτοια μηχανή δεν υπάρχει, η ξήρανση μπορεί να γίνει σε φούρνους ή σε άλλο εξοπλισμό, φτάνει να μην υπερβαίνουμε τα όρια που αναφέρθηκαν παραπάνω. Μια παλιά πρακτική είναι η ξήρανση στον ήλιο, αλλά αυτή θα πρέπει να αποφεύγεται με κάθε τρόπο, παρότι είναι φτηνή και δεν κοστίζει. Σε χώρες με εντατική σηροτροφία, η ξήρανση γίνεται σε μεγάλες μηχανές με χρήση ξηρού αέρα, αλλά και η μέθοδος ξήρανσης με ατμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Anonymous, 1985; Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Ganga, 2003; Lim et al., 1990; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988).

Στην ξήρανση με ατμό, απαιτείται τα κουκούλια μετά την απόπνιξη της νύμφης να απλώνονται σε ευρύχωρα, καλά αεριζόμενα ράφια και να αφήνονται για τρεις έως τέσσερις ημέρες υπό μερική ξήρανση πριν από την αναπήνισή τους. Τα κουκούλια πρέπει να αναμοχλεύονται συχνά σε αυτό το διάστημα για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μούχλας. Εάν αφεθούν για παρατεταμένες περιόδους, όπως για περισσότερο από έναν μήνα, ο κίνδυνος μούχλας είναι έντονος ακόμη και με συχνή αναστροφή και ικανοποιητικό αερισμό. Αυτή η ζημιά είναι ιδιαίτερα οξεία αν επικρατούν υγρές συνθήκες και η εμφάνιση μούχλας είναι μια μη αναστρέψιμη καταστροφή των κουκουλιών.

Στη μέθοδο ξήρανσης με θερμό αέρα, τα φρέσκα κουκούλια τοποθετούνται σε θάλαμο ξήρανσης κατά προτίμηση σε όσο το δυνατόν λεπτά στρώματα. Ένας ανεμιστήρας διατηρεί σταθερό και ομοιόμορφο ρεύμα αέρα σε όλα τα στρώματα κουκουλιών και ένας ακόμη μηχανισμός χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση της υγρασίας από το εσωτερικό του θαλάμου. Μια πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του αέρα που διοχετεύεται από τον ανεμιστήρα. Ένας θερμοστάτης ρυθμίζει τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό της μηχανής ξήρανσης.

7.6.3 Βαθμός ξήρανσης των κουκουλιών

Το βέλτιστο ποσοστό ξήρανσης σημαίνει ότι τα φρέσκα κουκούλια έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία ώστε να φτάσουν στο 37 έως 42% του αρχικού τους βάρους για να αντέξουν την αποθήκευση για μεγάλο χρονικό διάστημα.

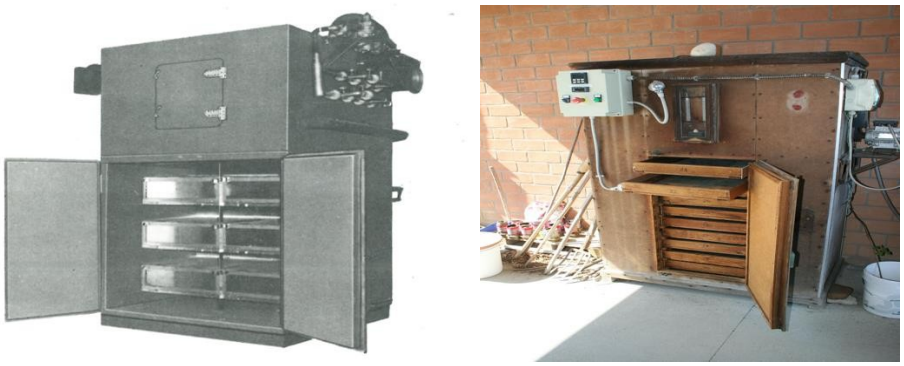
Η υπερβολική ξήρανση συμβαίνει όταν τα ποσοστά υπερβαίνουν αυτό το ιδανικό εύρος. Για παράδειγμα, το 40 τοις εκατό της ξήρανσης σημαίνει ότι 100 γραμμάρια φρέσκων κουκουλιών έχουν στεγνώσει μέχρι τα 40 γραμμάρια και αυτή η τιμή θα πρέπει να είναι ο στόχος της ολικής ξήρανσης. Ακόμα και αν ξηράνουμε για λίγο τα κουκούλια για να επέλθει απόπνιξη της νύμφης και τα αφήσουμε να ξηραθούν κατόπιν σε θερμοκρασία δωματίου, θα παρατηρήσουμε ότι στην τελική τους ξήρανση το βάρος τους θα μειωθεί στο 40% περίπου του αρχικού (Εικόνα 7.20). Η σωστή ξήρανση επιτρέπει στα κουκούλια να αντέχουν στη μακροπρόθεσμη αποθήκευση 6 έως 12 μηνών χωρίς την ανάπτυξη μούχλας. Ένας τρόπος για να δούμε ότι έχουμε πετύχει ολική ξήρανση είναι να κόψουμε ένα ξηρό κουκούλι και να πιέσουμε τη νύμφη με τα δάκτυλα. Εάν η νύμφη θρυμματιστεί, τότε έχουμε πετύχει την ολική ξήρανση. Ωστόσο, αυτή η εξέταση δεν μπορεί να γίνεται σύντομα μετά την ξήρανση των κουκουλιών και δεν είναι ένας απολύτως σωστός δείκτης του πότε έγινε η ξήρανση των κουκουλιών.

7.6.4 Τύποι μηχανών ξήρανσης κουκουλιών

Μια μορφή μηχανής ξήρανσης κουκουλιών είναι αυτή όπου η ξήρανση γίνεται στα κουκούλια μέσα σε έναν μεγάλο κλίβανο που φέρει ράφια με τρύπες στη βάση τους (Εικόνα 7.21). Μια μεγάλη σειρά από σωλήνες στο πάτωμα και στα τοιχώματα της μηχανής μεταφέρει θερμό ατμό που ζεσταίνει το εσωτερικό του θαλάμου. Ανεμιστήρες στα τοιχώματα του θαλάμου ωθούν τη θερμότητα σε όλο τον κλίβανο.

Τα κουκούλια τοποθετούνται στα ράφια με αρχική θερμοκρασία 102 έως 122 °C που σταδιακά μειώνεται στους 60-50 °C. Ο χρόνος για την ξήρανση στο ιδανικό σημείο είναι περίπου 7 ώρες. Λόγω της απλής δομής του, αυτός ο τύπος ξήρανσης μπορεί να μην είναι αποτελεσματικός, εάν ο έλεγχος και η κατανομή της θερμοκρασίας δεν πραγματοποιούνται σωστά. Απαιτείται επίσης σημαντική χειρωνακτική εργασία για το άπλωμα των κουκουλιών στα ράφια και την αφαίρεσή τους μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης. Μια πιο απλή και εύχρηστη παραλλαγή αυτού του τύπου χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ποιότητας των κουκουλιών και του μεταξιού

κατά τη βαθμονόμηση των κουκουλιών. Ο τύπος αυτός της μηχανής ξήρανσης είναι καλός για μικρά αναπηνιστήρια κα ερευνητικά ινστιτούτα.



Εικόνα 7.21 *Μηχανές ξήρανσης των κουκουλιών στατικής μορφής. Σε αυτές τις μηχανές, τα κουκούλια παραμένουν σε μια θέση και δεν γίνεται μετακίνησή τους με ιμάντες μέσα στη μηχανή. Αυτές οι μηχανές μπορεί να είναι πολύ απλές κατασκευές (δεξιά εικόνα) όταν η παραγόμενη ποσότητα κουκουλιών δεν είναι μεγάλη (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Ένας άλλος τύπος ξηραντήρα είναι αυτός που χρησιμοποιεί πολλαπλούς ιμάντες και πλαίσια, τα οποία μετακινούνται σε όλο το ύψος της μηχανής (Εικόνα 7.22). Καθώς ο θερμός αέρας εισέρχεται από την οροφή της μηχανής και τα κουκούλια απλώνονται σε ενσύρματα πλαίσια που κινούνται πάνω και κάτω, η αποδοτικότητα ξήρανσης βελτιώνεται, καθώς υπάρχει η δυνατότητα να διατηρούνται οι συνθήκες ξήρανσης σε αποδεκτό σημείο με τη σταθερή κυκλοφορία του αέρα. Η θερμοκρασία κατά την έναρξη της ξήρανσης είναι 110-115 ^{o}C και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά στους 100, 90, 80 και 70 ^{o}C μέχρι να επιτευχθεί η τελική θερμοκρασία των 60-55 ^{o}C. Η διάρκεια ξήρανσης των φρέσκων κουκουλιών μέχρι την τελική ξήρανση είναι 5,5 έως 6,0 ώρες, όταν επιτευχθεί ο βαθμός-στόχος της ξήρανσης του 39-42%. Υπάρχουν διάφορα είδη αυτού του τύπου ξηραντήριου, όπως με έξι, οκτώ και δέκα ιμάντες. Αυτός ο τύπος ξηραντήριου έχει ισχυρά πλεονεκτήματα, καθώς η ξήρανση επιτυγχάνεται με σωστή ανάμειξη των κουκουλιών και οικονομικές ρυθμίσεις θερμικής ενέργειας για ξήρανση, παρόλο που είναι ακριβός εξοπλισμός και απαιτεί πολύ χώρο για εγκατάσταση. Αυτός ο τύπος ξηραντήρα είναι καλός για σύγχρονες και μεγάλες βιομηχανίες αναπήνισης.

Εικόνα 7.22 *Μηχανές ξήρανσης των κουκουλιών με τη χρήση ιμάντων μετακίνησης των κουκουλιών. Αυτές οι μηχανές είναι πολύ μεγάλων διαστάσεων και βιομηχανικού επιπέδου και χρησιμοποιούνται πλέον σε χώρες όπου η παραγωγή κουκουλιών είναι πολλών εκατοντάδων ή χιλιάδων τόνων (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Ένας άλλος τύπος ξηραντήριου είναι αυτός του αεραγωγού χαμηλής θερμοκρασίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκη κουκουλιών μετά τη χρήση. Σε αυτόν τον ξηραντήρα, ο θερμός αέρας από το άνω μέρος του θαλάμου διέρχεται από την επιφάνεια των κουκουλιών και βγαίνει από το κάτω μέρος μετά την ξήρανση. Αν υπάρχουν παχιά στρώματα των κουκουλιών, μπορεί να προκληθεί ανώμαλη ξήρανση και έτσι η σωστή πλήρωση των ραφιών και η σωστή αραίωση των κουκουλιών είναι επιθυμητή. Τα φρέσκα κουκούλια για ξήρανση συσσωρεύονται και απλώνονται ομοιόμορφα μέσα στον χώρο ξήρανσης σε πάχος περίπου 15 εκατοστά και ο θερμός αέρας στους 80 ^{o}C διοχετεύεται μέσα στον χώρο για 4 ώρες. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί βάζοντας μετά ακόμη ένα στρώμα κουκουλιών και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι το

στρώμα των κουκουλιών να φτάσει στο επιθυμητό ύψος, Κατόπιν, ο θερμός αέρας μειώνεται σταδιακά κατά 5 ^{o}C σε διαστήματα των 4 ωρών μέχρι να φτάσει η εσωτερική θερμοκρασία στην ίδια θερμοκρασία που υπάρχει έξω από το δωμάτιο ξήρανσης. Η μέθοδος αυτή έχει ισχυρά πλεονεκτήματα, όπως το μικρότερο κόστος εγκατάστασης και ο διπλός σκοπός της ξήρανσης και της αποθήκευσης, εάν λαμβάνονται συνεχείς παραλαβές φρέσκων κουκουλιών κατά τη διάρκεια των εργασιών ξήρανσης. Υπάρχουν, ωστόσο, ορισμένοι περιορισμοί σε αυτήν τη μέθοδο. Είναι δύσκολο να ελεγχθεί ο βαθμός ξήρανσης των κουκουλιών και υπάρχει πιθανότητα η καθαρότητα του ακατέργαστου μεταξιού να επιδεινωθεί λόγω της ακατάλληλης διόγκωσης του στρώματος των κουκουλιών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να δίδεται μεγαλύτερη προσοχή κατά τον χειρισμό αυτού του ξηραντήριου.

Εάν δεν απαιτείται η άμεση αναπήνιση των κουκουλιών και υπάρχουν χώροι αποθήκευσής τους, τότε η ξήρανσή τους σε έναν φούρνο (οικιακό ή επαγγελματικό) στους 85C για 30 λεπτά είναι μια ιδανική κατάσταση κατά την οποία πετυχαίνουμε μια πολύ γρήγορη απόπνιξη της νύμφης και αφήνουμε την ξήρανση να ολοκληρωθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι το ιδανικό ποσοστό ξήρανσης. Σε αυτήν τη μέθοδο, το ιδανικό ποσοστό ξήρανσης των κουκουλιών επιτυγχάνεται σε περίπου 1 μήνα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτή η μέθοδος πλεονεκτεί, γιατί δεν απαιτεί ειδικά ξηραντήρια, είναι γρήγορη και στοχεύει στην απόπνιξη της νύμφης. Προϋπόθεση είναι να έχουμε ένα λεπτό στρώμα κουκουλιών προς ξήρανση κάθε φορά.

7.7 Αποθήκευση των κουκουλιών

Η αποθήκευση των κουκουλιών είναι μια αναγκαιότητα που είτε αφορά τους παραγωγούς είτε αφορά τη βιομηχανία αναπήνισης. Σε κάθε περίπτωση, τα κουκούλια πρέπει να αποθηκεύονται για να αποφύγουμε την εμφάνιση μούχλας ή την αλλοίωσή τους από παράσιτα. Στους χώρους αποθήκευσης θα πρέπει να υπάρχει αερισμός. Ρεύμα αέρα θα πρέπει να διοχετεύεται στο κάτω μέρος του χώρου ή στο πάτωμα για να μην έχουμε εμφάνιση υγρασίας. Οι χώροι αποθήκευσης πρέπει κατά προτίμηση να κατασκευαστούν με διπλούς τοίχους.

Εάν δεν υπάρχει διπλός τοίχος, θα πρέπει να καταβάλεται κάθε προσπάθεια για να έχουμε τους τοίχους όσο το δυνατόν παχύτερους. Τα παράθυρα πρέπει να είναι μικρά και να βρίσκονται σε υψηλό επίπεδο και να υπάρχει ανεμιστήρας που να αποτρέπει τη συσσώρευση υγρασίας στον χώρο αποθήκευσης. Επίσης, τα παράθυρα πρέπει να καλύπτονται με ένα δίχτυ πλέγματος περίπου 1,5 χιλιοστόμετρα. Ολόκληρο το εσωτερικό της αποθήκης ιδανικά πρέπει να είναι επενδυμένο με ξύλινη επένδυση, συμπεριλαμβανομένων όλων των τοίχων, της οροφής και του δαπέδου.

Οι σακούλες υφασμάτων ή πολυαιθυλενίου συνιστώνται ως δοχεία για την αποθήκευση αποξηραμένων κουκουλιών. Ποσότητα κουκουλιών όγκου 200 λίτρων τοποθετούνται γενικά σε μια τέτοια σακούλα. Θα πρέπει να υπάρχουν ράφια σε τρία έως τέσσερα επίπεδα και οι σακούλες με τα κουκούλια πρέπει να αποθηκεύονται πάνω σε αυτά. Οι σακούλες δεν πρέπει να στοιβάζονται μαζί. Εναλλακτικά, ο χώρος αποθήκευσης θα πρέπει να χωριστεί σε πολλά μικρά δωμάτια, στα οποία τα αποξηραμένα κουκούλια μπορούν να διατηρηθούν ανοικτά και όχι σε σακούλες. Είναι σημαντικό να αποφευχθεί η προσβολή από μύκητες που προκαλείται στα ξηρά κουκούλια κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ειδικά κατά τις υγρές εποχές.

Εάν η υγρασία υπερβαίνει το 70%, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για τη μείωση της υγρασίας, όπως η διασπορά χλωριούχου ασβεστίου (CaCl2) ή κόκκων πυριτίου στο πάτωμα. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας θερμαντήρας, αλλά πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις για την πρόληψη πυρκαγιών. Εάν εμφανιστεί μούχλα, είναι σκόπιμο να γίνει ξήρανση των κουκουλιών ξανά στους 60 ^{o}C για δύο ώρες.

Πολύ σημαντικό στην αποθήκευση των κουκουλιών είναι να αποφύγουμε επίσης προσβολές από τρωκτικά ή έντομα τα οποία καταναλώνουν τα κουκούλια δημιουργώντας τρύπες σε αυτά και τα κάνουν άχρηστα προς αναπήνιση. Οι φροντίδες για την προσβολή από έντομα που καταναλώνουν τα κουκούλια είναι οι ίδιες με αυτές που θα κάναμε στην περίπτωση μάλλινων υφασμάτων, γιατί τα έντομα που τρέφονται με μαλλί, θα τραφούν και με μετάξι αν το εντοπίσουν.

7.7.1 Διαλογή των κουκουλιών μετά την ξήρανση

Οι εκτροφείς μεταξοσκωλήκων, μετά την παραγωγή των κουκουλιών, θα πρέπει να κάνουν τη διαλογή τους προσέχοντας να αφαιρέσουν όλα τα κουκούλια που θεωρούνται ελαττωματικά και τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω. Η διαλογή πρέπει να γίνει υπό την παρουσία έντονου φωτισμού για να εντοπίσουμε ακόμη και ελαφρώς λερωμένα κουκούλια.

Για να μπορέσουμε να εντοπίσουμε κουκούλια που είναι λερωμένα στο εσωτερικό τους και δεν είναι εμφανώς ακατάλληλα, η καλύτερη διαλογή γίνεται περνώντας τα κουκούλια από ένα γυάλινο τραπέζι στο οποίο βάζουμε λάμπα φθορισμού ή λάμπα φωτός 60 Watt (Εικόνα 7.23). Το τραπέζι θα πρέπει να φέρει «γαλακτώδες» αδιάφανο λεπτό γυαλί που να επιτρέπει το φως να περνά δημιουργώντας σκιάσεις. Εναλλακτικά, μπορεί να είναι μια συσκευή που ονομάζεται «λευκό κουτί» και φέρει έντονο φωτισμό στο εσωτερικό της. Με τον τρόπο αυτόν μπορούμε να δούμε σκιές μέσα στα κουκούλια και να εντοπίσουμε κουκούλια με λεκέδες στο εσωτερικό τους και γενικότερα κουκούλια κατώτερης ποιότητας. Σκοπός μας είναι να έχουμε την καλύτερη δυνατή ποιότητα και ομοιομορφία κουκουλιών προς πώληση και χωρίς κανένα ελάττωμα ακόμη και μετά από αυστηρή επιλογή.

Εικόνα 7.23 *Μηχανή διαλογής των κουκουλιών μετά την ξήρανση. Τα κουκούλια διέρχονται από τα αριστερά σε μια επιφάνεια με εσωτερικό φωτισμό, όπου ένας εξειδικευμένος εργάτης τα εξετάζει και αφαιρεί τα ελαττωματικά κουκούλια (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Anonymous. (1985). *New Illustrated Sericulture Book*. National Federation of Sericultural Cooperatives of Japan.

Aruga, H. (1994). *Principles of Sericulture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=qYZds1N0Q-YC

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., Tokoro Y. . (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Ganga, G. (2003). *Comprehensive Sericulture*. Science. https://books.google.gr/books?id=Ud0AAAAACAAJ

Lim, S. H., Food, Nations, A. O. o. t. U., Kim, Y. T., Lee, S. P., Rhee, I. J., Lim, J. S., & Lim, B. H. (1990). *Sericulture Training Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=_Lc4zvd9fxMC

Shekar, P., & Hardingham, M. (1995). *Sericulture and Silk Production: A Handbook*. Intermediate Technology Publications. https://books.google.gr/books?id=ue1JAAAAYAAJ

Singh, T. (2015). *Silkworm Rearing Technology: Principles and Management*. Discovery Publishing House PVT Limited. https://books.google.gr/books?id=QOjxrQEACAAJ

Ueda, S. (1973). Effect of the air current in the spinning stage of the silkworm surrounded with high temperature and high humidity upon the reelability of cocoon. *The Journal of Sericultural Science of Japan*, *42*(2), 129-134. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.42.129

Ueda, S. (1985). Effects of Silkworm Rearing and Mounting Conditions on Cocoon Reelability. *Japan Agricultural Research Quarterly*, *19*(2), 132-136.

Veda, K., Nagai, I., & Horikomi, M. (1997). *Silkworm Rearing*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=huhJAAAAYAAJ

Wu, P., Chen, D., Food, Nations, A. O. o. t. U., Chen, Z., Liu, P., & Tang, H. (1988). *Silkworm Rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=Sf2KLVBbWHMC

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Ποιο είναι το μέσο βάρος κουκουλιού που παράγεται από μια προνύμφη κατά την ανοιξιάτικη εκτροφή;

Απάντηση

Το μέσο βάρος του ενός κουκουλιού εξαρτάται από το φύλο της προνύμφης (μεγαλύτερο για τις θηλυκές προνύμφες και μικρότερο για τις αρσενικές προνύμφες), αλλά και από το υβρίδιο που εκτρέφεται. Ένα μέσο βάρος από 2-2,1 γραμμάρια ανά φρέσκο κουκούλι στην ανοιξιάτική εκτροφή είναι μια πολύ καλή τιμή μέσου βάρους του κουκουλιού.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Γιατί δεν είναι καλή η παραδοσιακή μέθοδος πλοκής των κουκουλιών σε κλαδιά δρυός που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα;

Απάντηση

Διότι δεν επιτρέπει τη σωστή διαχείριση των προνυμφών που δεν έχουν ωριμάσει στο κρεβάτι εκτροφής και επειδή προκαλεί μείωση της ποιότητας των παραγόμενων κουκουλιών.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Πότε πρέπει να συλλέγουμε τα κουκούλια από τα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών;

Απάντηση

Τα κουκούλια πρέπει να συλλέγονται 8-10 ημέρες από την έναρξη πλοκής των κουκουλιών και ποτέ αργότερα από αυτό το διάστημα.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Ποιο είναι το τελικό βάρος του ξηρού κουκουλιού σε σχέση με το φρέσκο κουκούλι;

Απάντηση

Το βάρος του ξηρού κουκουλιού που είναιέτοιμο για αναπήνιση είναι το 40% του βάρους του φρέσκου κουκουλιού. Αναφέροντάς το διαφορετικά: βάρος φρέσκου κουκουλιού / βάρος ξηρού κουκουλιού = 2,5 / 1.

Κεφάλαιο 8: Ασθένειες του Μεταξοσκώληκα

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα που προκαλούνται από μικροοργανισμούς και παράσιτα. Οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα παρουσιάζονται με βάση τη νοσηρότητα που προκαλούν στον μεταξοσκώληκα, ενώ στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στη δηλητηρίαση των προνυμφών του μεταξοσκώληκα από εντομοκτόνα. Οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα αποτελούν ένα σημαντικό κεφάλαιο της σηροτροφίας, καθώς, λόγω της φύσης της εκτροφής των προνυμφών, μπορούν να οδηγήσουν σε μαζικές ή ολικές απώλειες της εκτροφής μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Αντίθετα με άλλες εκτροφές οικόσιτων ζώων, για τις ασθένειες του μεταξοσκώληκα δεν υπάρχουν τρόποι θεραπείας ή ανάσχεσης των ασθενειών παρά μόνο τρόποι πρόληψής τους. Στόχος του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστεί με σαφή τρόπο η συμπτωματολογία της κάθε ασθένειας και να δοθούν πρακτικές συμβουλές με τις οποίες οι εκτροφείς μεταξοσκωλήκων μπορούν να διαγνώσουν την ύπαρξη προσβολής από ένα παθογόνο στο σηροτροφείο τους.

Προαπαιτούμενη γνώση
Δεδούσης, Γ., Κώτσου, Μ., & Αμερικάνου, Χ. (2015). *Εργαστηριακές ασκήσεις βιολογίας κυττάρου* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/4372

Χατζηιωάννου, Μ., & Βαφείδης, Δ. (2015). *Εργαστηριακές ασκήσεις ιστολογίας* [Εργαστηριακός Οδηγός]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/5136

8.1 Εισαγωγή

Οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα δεν είναι πολλές σε αριθμό, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντικές, γιατί μπορούν να προκαλέσουν ολοκληρωτικές απώλειες στις εκτροφές. Παρά το γεγονός ότι γενικότερα οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα οδηγούν σε απώλειες του 5-10% της παραγωγής σε παγκόσμιο επίπεδο, στην Ελλάδα οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα, από προσωπικές μαρτυρίες σηροτρόφων στον Συγγραφέα, φαίνεται πως έχουν αποδεκατίσει ολόκληρες εκτροφές για συνεχόμενα έτη και έχουν οδηγήσει πολλούς εκτροφείς να παρατήσουν την εκτροφή του μεταξοσκώληκα, καθώς δεν προβλέπεται και δεν προβλεπόταν ποτέ η αποζημίωση των εκτροφέων για τις απώλειες που προκαλούνται από τις ασθένειες. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπήρξε ποτέ μια συστηματική καταγραφή της έκτασης και της ποικιλίας των ασθενειών που πλήττουν τις εκτροφές μεταξοσκώληκα στη χώρα μας και δεν υπάρχει καμία ερευνητική εργασία σχετικά με τις ασθένειες που προσβάλλουν τις εκτροφές του μεταξοσκώληκα στη χώρα μας ως προς τα επιδημιολογικά τους χαρακτηριστικά. Ωστόσο, προσβολές από τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης έχουν για σειρά δεκαετιών καταστρέψει τις εκτροφές του μεταξοσκώληκα στην περιοχή του Σουφλίου, όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη σε ποσοστό παραγωγή κουκουλιών στην Ελλάδα.

Ο λόγος που υπάρχει σημαντική εξάπλωση των ασθενειών των μεταξοσκωλήκων σε μια εκτροφή είναι ο συγχρωτισμός των μεταξοσκωλήκων, καθώς αν δεν υπήρχε συγχρωτισμός, η ικανότητα μετάδοσης ενός παθογόνου από μια προνύμφη στις άλλες θα ήταν αμελητέα έως μηδενική. Οι ασθένειες που προσβάλλουν τους μεταξοσκώληκες προκαλούνται από ιούς, μύκητες, βακτήρια και παρασιτικά έντομα. Στην ενότητα αυτή, ωστόσο, θα συμπεριληφθούν και οι απώλειες που προκαλούνται και από άλλα αίτια όπως εντομοκτόνα και άλλες τοξικές χημικές ενώσεις, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις η εμφάνιση νεκρών προνυμφών από τέτοια αίτια οδηγεί σε τεράστιες απώλειες της παραγωγής αλλά, το πιο σημαντικό, αντιμετωπίζονται αυτές οι περιπτώσεις από τους εκτροφείς, λόγω άγνοιας, ως ασθένειες, ενώ δεν είναι.

Παρακάτω θα αναφερθούν όλες οι ασθένειες του μεταξοσκώληκα με σειρά σημαντικότητας ως προς την ικανότητά τους να αποδεκατίσουν ολόκληρες εκτροφές. Θα αναφέρεται για κάθε ασθένεια το παθογόνο αίτιο, τα συμπτώματα της ασθένειας, ο τρόπος μετάδοσης, τα προληπτικά μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται καθώς και λεπτομερή στοιχεία για το πώς να διαχειριζόμαστε αυτές τις προσβολές και τι πρέπει να κάνει ένας εκτροφέας σε περίπτωση εμφάνισης τέτοιων ασθενειών ή προσβολών.

Παρά το γεγονός ότι δεν αναφέρεται στη βιβλιογραφία, κανένα από τα παθογόνα του μεταξοσκώληκα δεν είναι ικανό να μολύνει τον άνθρωπο και δεν είναι ικανό να αποτελέσει κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Δεν υπήρξε ποτέ καμία αναφορά για την προσβολή ανθρώπων από τα παθογόνα που προκαλούν τις ασθένειες του μεταξοσκώληκα.

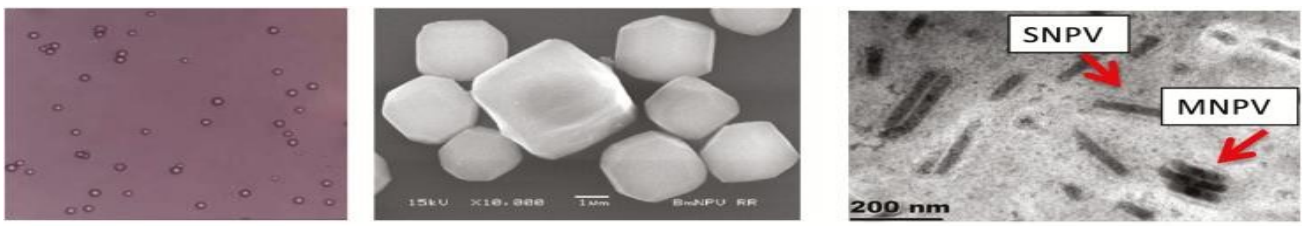
8.2 Ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης

Ταξινόμηση σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών (https://ictv.global/), όπως τροποποιήθηκε το 2021:
Ομοταξία: *Naldaviricetes*
Τάξη: *Lefavirales*
Οικογένεια: *Baculoviridae*
Γένος: *Alphabaculovirus*
Είδος: *Bombyx mori nucleopolyhedrovirus*

Ο ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης είναι γνωστός στη διεθνή βιβλιογραφία ως *Bombyx mori* Nuclear Polyhedrosis Virus ή από τα αρχικά των λέξεων ως BmNPV (Blissard & Theilmann, 2018; Jiang et al., 2021; Jiang & Xia, 2014) . Ο ιός αυτός είναι ένας διπλής έλικας DNA ιός που φέρει ένα κυκλικό γονιδίωμα μεγέθους 128413 βάσεων (Blissard & Theilmann, 2018; Jiang et al., 2021; Jiang & Xia, 2014) . Ο ιός αυτός ανήκει στην Οικογένεια Baculoviridae των ιών, οι οποίοι είναι ιοί που μολύνουν έντομα και δεν είναι ικανοί να μολύνουν ανθρώπους, οπότε δεν είναι επικίνδυνοι για τους εκτροφείς μεταξοσκωλήκων (Blissard & Theilmann, 2018; Jiang et al., 2021; Jiang & Xia, 2014). Η Οικογένεια Baculoviridae έχει πολλά μέλη, τα οποία μπορούν να μολύνουν έναν μεγάλο αριθμό άλλων ειδών εντόμων και στο φυσικό περιβάλλον αποτελούν μια από τις ασθένειες που προσβάλλουν τα άγρια έντομα. Το κάθε είδος αυτών των βακιλοϊών εμφανίζει συνήθως ιδιαίτερη επιλεκτικότητα για συγκεκριμένα είδη εντόμων και έτσι, για παράδειγμα, ένας ιός που μολύνει άλλα Λεπιδόπτερα δεν μπορεί να μολύνει τον μεταξοσκώληκα, αλλά ούτε ο ιός του μεταξοσκώληκα είναι παθογόνος για άλλα έντομα. Ωστόσο, είναι πιθανή η μεταφορά του ιού αυτού από άλλα έντομα στο περιβάλλον, καθώς τα άγρια έντομα μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν μεταφορείς αυτού του ιού.

Υπάρχει τεράστια βιβλιογραφία σχετικά με τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης του μεταξοσκώληκα (Aruga, 1994; Ayuzawa, 1972; Blissard & Theilmann, 2018; Jiang et al., 2021; Jiang & Xia, 2014; Tayal & Chauhan, 2017) και οι βιβλιογραφικές αναφορές που αναφέρονται αποτελούν ένα μικρό δείγμα. Παρόμοια, υπάρχει τεράστια βιβλιογραφία και για τους άλλους βακιλοϊούς της ίδιας οικογένειας και οι ιοί αυτοί χρησιμοποιούνται σε πληθώρα βιοτεχνολογικών εφαρμογών για την έκφραση και απομόνωση πρωτεϊνών από κυτταρικές καλλιέργειες εντόμων, ενώ έχουν προταθεί και ως μέθοδοι βιολογικής καταπολέμησης παρασιτικών εντόμων (Geisler & Jarvis, 2018; Grose et al., 2021; Jiang et al., 2021; Possee et al., 2020). Το σύστημα έκφρασης πρωτεϊνών, αντισωμάτων και αντιγόνων μέσω βακιλοϊών είναι ένα πολύ δημοφιλές και παραγωγικό σύστημα παραγωγής βιοτεχνολογικά σημαντικών μορίων.

Ο ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης παράγει πολύεδρα (Εικόνα 8.1), τα οποία περιέχουν το γονιδίωμα του ιού και έχουν ιδιαίτερη μορφή και είναι αρκετά μεγάλα με μέγεθος 5-10 μικρόμετρα και μορφή εξαεδρική ή σπάνια κυβική (Blissard & Theilmann, 2018; Jiang et al., 2021; Jiang & Xia, 2014).



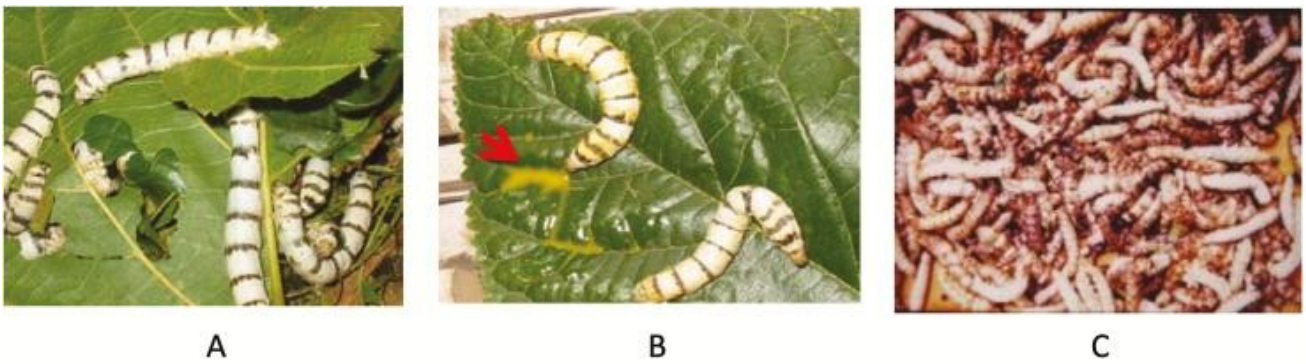
Εικόνα 8.1 *Πολύεδρα του ιού BmNPV του μεταξοσκώληκα. Α: Εμφάνιση των πολύεδρων κάτω από οπτικό μικροσκόπιο (x400 μεγέθυνση). Β: Πολύεδρα του ιού BmNPV διαφόρων μεγεθών και σχημάτων σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. C: Τα πολύεδρα σχηματίζονται στα μολυσμένα κύτταρα του μεταξοσκώληκα και μπορεί να περιέχουν μια κόπια του γονιδιώματος του ιού (SNPV) ή περισσότερες (MNPV). Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διέλευσης (Πηγή: (Suraporn & Terenius, 2020), CC-BY άδεια).*

Τα πολύεδρα δημιουργούνται μέσα στα κύτταρα του μεταξοσκώληκα και αποβάλλονται για να μολύνουν και άλλα κύτταρα νεκρώνοντας το κύτταρο στο οποίο δημιουργήθηκαν. Τα πολύεδρα αποτελούνται από την πρωτεΐνη πολυεδρίνη που παράγεται από το γονιδίωμα του ιού και η οποία διαμορφώνεται σε δομή που περιβάλλει το γονιδίωμα του ιού (Blissard & Theilmann, 2018; Jiang et al., 2021; Jiang & Xia, 2014).

Ο ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης μολύνει τον μεταξοσκώληκα κυρίως μέσω της πεπτικής οδού, καθώς τα πολύεδρα που έχουν παραχθεί από έναν μολυσμένο μεταξοσκώληκα αποβάλλονται από το σώμα του μετά τον θάνατό του και μολύνουν τα φύλλα με τα οποία τρέφονται οι άλλοι μεταξοσκώληκες (Blissard & Theilmann, 2018; Jiang et al., 2021; Jiang & Xia, 2014). Είναι σπάνια αλλά πιθανή η μόλυνση του μεταξοσκώληκα από πληγές στο σώμα του.

Ο ιός της πυρηνικής πολυέδρωσης είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος για τον μεταξοσκώληκα, καθώς τα πολύεδρά του είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στο περιβάλλον και μπορούν να είναι μολυσματικά για αρκετά χρόνια (Ayuzawa, 1972). Επίσης, επειδή ο ιός αυτός οδηγεί σε λύση της δομής του σώματος του μεταξοσκώληκα, υπάρχει η πιθανότητα τα πολύεδρά του να βρίσκονται στα σκεύη της εκτροφής, στα χαρτιά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των κρεβατιών εκτροφής, στις επιφάνειες εκτροφής, αλλά ακόμη και στο πάτωμα του χώρου εκτροφής ή στον μορεώνα (Ayuzawa, 1972).

Τα συμπτώματα της προσβολής από τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης είναι ευδιάκριτα για έναν έμπειρο εκτροφέα ή ειδικό, αλλά είναι παραπλανητικά για έναν άπειρο εκτροφέα και αυτό κάνει την ασθένεια πολύ επικίνδυνη. Επίσης, οι πρακτικές εκτροφής όπως η μη χρήση δικτυών για τη μεταφορά των μεταξοσκωλήκων σε άλλο κρεβάτι εκτροφής και ο μη καθαρισμός της στρωμνής βοηθούν να εξαπλωθεί η προσβολή με γεωμετρική πρόοδο (Ayuzawa, 1972).



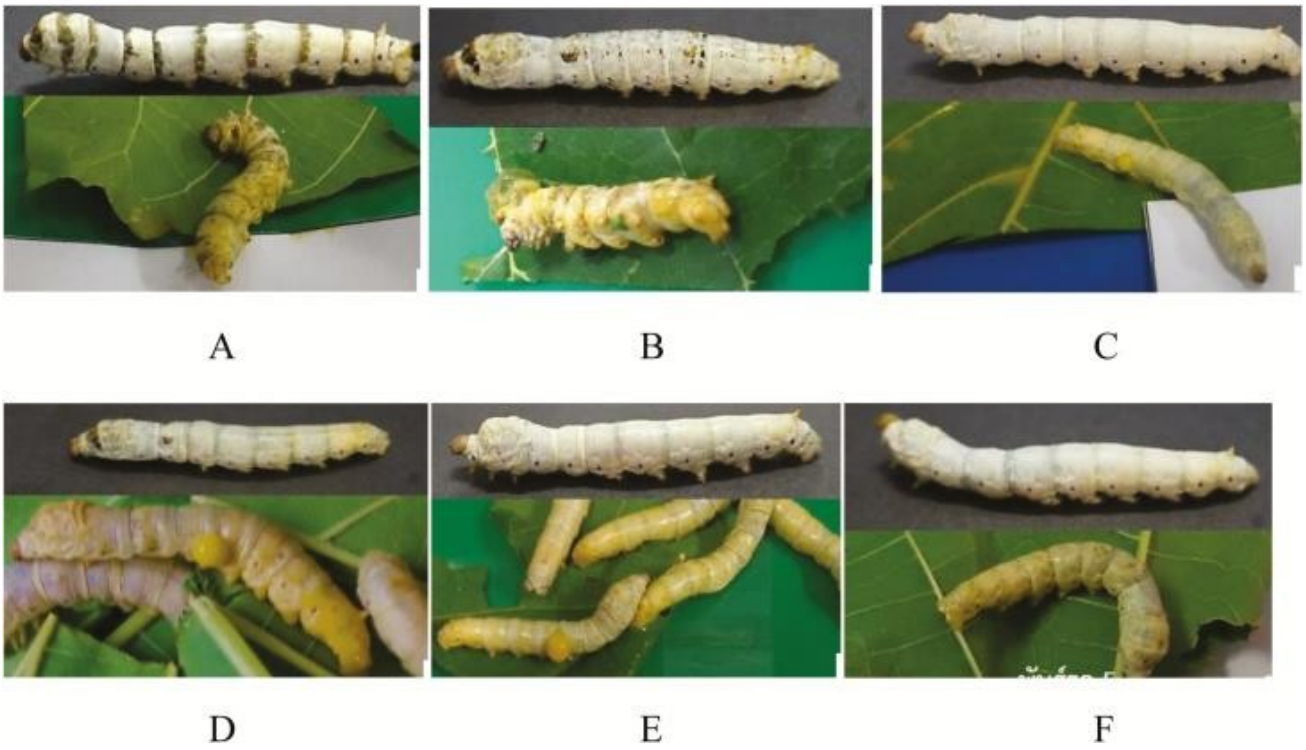
Εικόνα 8.2 *Προσβολή των προνυμφών του μεταξοσκώληκα από τον ιό BmNPV. Α: Υγιείς προνύμφες της ποικιλίας «Ζέβρα» του μεταξοσκώληκα. Β: Προνύμφες μολυσμένες με τον ιό BmNPV. Το κόκκινο βέλος δείχνει το πυώδες υγρό που αποβάλλεται από τη λύση του σώματος της προνύμφης και φέρει τα πολύεδρα του ιού. C: Προσβολή από τον ιό BmNPV σε μαζική εκτροφή και σε πολύ προχωρημένο στάδιο προσβολής (Πηγή: (Suraporn & Terenius, 2020), CC-BY άδεια).*

Τα συμπτώματα προσβολής σε μια προνύμφη εμφανίζονται 7-8 ημέρες μετά την αρχική προσβολή της από πολύεδρα (Εικόνα 8.2). Με άλλα λόγια, μετά την κατανάλωση των πολυέδρων και για αρκετές ημέρες, η προνύμφη δεν εμφανίζει κανένα σύμπτωμα (Ayuzawa, 1972; Tayal & Chauhan, 2017). Όμως, στα τελικά στάδια της προσβολής, 6 με 7 ημέρες μετά την αρχική προσβολή, η μολυσμένη προνύμφη εμφανίζει έντονη κινητικότητα, δεν έχει διάθεση να τραφεί και όταν εναποθέτουμε φύλλα για διατροφή των προνυμφών, οι μολυσμένες προνύμφες είναι αυτές που εμφανίζονται πρώτες πάνω στα φύλλα (Ayuzawa, 1972; Tayal & Chauhan, 2017). Οι μολυσμένες προνύμφες κινούνται προς τα άκρα του κρεβατιού εκτροφής και όταν αυτά δεν έχουν ανασηκωμένες τις πλευρές τους πέφτουν από τα κρεβάτια και το σώμα τους συνθλίβεται κατά την πτώση. Εδώ να σημειωθεί ότι οι υγιείς προνύμφες όταν πέφτουν στο πάτωμα συνήθως δεν τραυματίζονται, ενώ οι προνύμφες που είναι μολυσμένες με τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης συνήθως συνθλίβονται κατά την πτώση τους, ακριβώς γιατί η συνεκτικότητα του εξωτερικού τους περιβλήματος έχει αλλοιωθεί από τον ιό.

Στα τελευταία στάδια της προσβολής, το σώμα των προνυμφών εμφανίζεται γαλακτώδες και λαμπερό λευκό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της προσβολής από αυτόν τον ιό είναι η αναδίπλωση της επιδερμίδας της προνύμφης ανάμεσα στα μεταμερή του σώματος, μια εμφάνιση που είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική και ευδιάκριτη για έναν έμπειρο ειδικό η εκτροφέα. Πιο συγκεκριμένα, επειδή ο πεπτικός σωλήνας της προνύμφης βρίσκεται σε στάδια προχωρημένης λύσης και η αιμολέμφος της είναι γεμάτη από γαλακτώδες, πυώδες υγρό που φέρει τα πολύεδρα, το σώμα της προνύμφης εμφανίζεται συρρικνωμένο και προκύπτουν οι χαρακτηριστικές αναδιπλώσεις της επιδερμίδας ανάμεσα στα μεταμερή, ενώ η προνύμφη θα πεθάνει σε 12 ώρες από την εμφάνιση της αναδίπλωσης της επιδερμίδας ανάμεσα στα μεταμερή (Ayuzawa, 1972).

Η όλη εμφάνιση της προνύμφης μοιάζει με αυτή της ώριμης προνύμφης (Εικόνα 8.3) για έναν άπειρο εκτροφέα που νομίζει εσφαλμένα ότι οι προνύμφες αυτές έχουν ωριμάσει και θέλουν να πλέξουν κουκούλια. Έχει προταθεί η θεωρία ότι αυτός ο ιός αλλάζει τη συμπεριφορά της προνύμφης προσβάλλοντας τον εγκέφαλό

της και κάνοντάς την να έχει έντονη κινητικότητα με στόχο να επιτύχει τη διασπορά του στο περιβάλλον και σε άλλες προνύμφες (Kamita et al., 2005; Liu et al., 2022; van Houte et al., 2012).



Εικόνα 8.3 *Προσβολή των προνυμφών διαφόρων φυλών και ποικιλιών του μεταξοσκώληκα από τον ιό BmNPV. A-F: Φωτογραφίες υγιών (άνω) και προσβεβλημένων προνυμφών διαφόρων φυλών και ποικιλιών του μεταξοσκώληκα από τον ιό BmNPV μετά από 7 ημέρες από την προσβολή τους στην 5η ηλικία της προνύμφης (Πηγή: (Suraporn & Terenius, 2020), CC-BY άδεια).*

Είναι ακριβώς αυτή η αυξημένη κινητικότητα των προνυμφών και η εσφαλμένη αντίληψη των εκτροφέων ότι οι μολυσμένες προνύμφες είναι ώριμες προνύμφες (Εικόνα 8.4), αυτό που κάνει την ασθένεια αυτή πολύ επικίνδυνη: Οι μολυσμένες προνύμφες τοποθετούνται εσφαλμένα μαζί με τις υγιείς για να πλέξουν το κουκούλι τους, αλλά πεθαίνουν και μολύνουν ή λερώνουν και τα άλλα κουκούλια. Παρά το γεγονός ότι η ασθένεια προσβάλλει κάθε ηλικία εκτροφής και εμφανίζει τα ίδια συμπτώματα, είναι ιδιαίτερα εμφανής στην 5η ηλικία και οι προνύμφες μπορούν να μολυνθούν ακόμη και λίγο πριν την έναρξη πλοκής των κουκουλιών τους. Σε αυτήν την περίπτωση, οι προνύμφες πεθαίνουν μέσα στο κουκούλι τους και αυτό δημιουργεί μεγάλη εξάπλωση της ασθένειας, καθώς τα μολυσμένα κουκούλια μειώνουν την ποιότητα και των καλών κουκουλιών. Η πιο σημαντική περίπτωση προσβολής είναι αυτή κατά την οποία η ασθένεια ολοκληρώνει την εκθετική της πρόοδο στο στάδιο της ωρίμανσης των προνυμφών και τότε οι ώριμες προνύμφες είναι ουσιαστικά όλες μολυσμένες προνύμφες που δεν πλέκουν κουκούλια ή πλέκουν κουκούλια και πεθαίνουν μέσα σε αυτά.

Τα πολύεδρα του ιού λύνονται με επίδραση σε αλκαλικό pH και απελευθερώνουν κυλινδρικά σωματίδια μήκους 330 νανομέτρων και πλάτους 85 νανομέτρων, τα οποία περιέχουν το γονιδίωμα του ιού, αλλά χάνουν την ικανότητά τους να μολύνουν τις προνύμφες σε μικρό διάστημα ή για παράδειγμα αν εκτεθούν σε θερμοκρασία 50-60 °C για 10 λεπτά. Είναι, ωστόσο, τα πολύεδρα, τα οποία όταν απορρίπτονται μαζί με τη στρωμνή στο περιβάλλον, μεταφέρονται με διάφορους ξενιστές είτε πίσω στο σηροτροφείο είτε στον μορεώνα και αυτό δημιουργεί συνθήκες για επαναλαμβανόμενες προσβολές αν δεν ληφθούν προληπτικά μέτρα.

Ο ιός μεταδίδεται στον μεταξοσκώληκα μέσω του πεπτικού σωλήνα και μέσω του δέρματος, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά και μέσω πρόκλησης λόγω κακών καιρικών συνθηκών. Στην προσβολή μέσω του πεπτικού σωλήνα, οι προνύμφες καταναλώνουν φύλλα μολυσμένα με πολύεδρα και η διασπορά του ιού γίνεται κατόπιν από μια μολυσμένη προνύμφη προς τις γειτονικές της, όταν η μολυσμένη προνύμφη πεθάνει στο κρεβάτι εκτροφής. Η προνύμφη που προσβάλλεται από τον ιό μπορεί να αντισταθεί στην προσβολή, καθώς οι μεταξοσκώληκες έχουν αμυντικούς μηχανισμούς κατά των παθογόνων, όμως επειδή το αλκαλικό pH του πεπτικού σωλήνα της προνύμφης διαλύει τα πολύεδρα, όταν είναι μεγάλο το ιϊκό φορτίο, τότε η προνύμφη θα ασθενήσει. Όταν το ιϊκό φορτίο είναι χαμηλό και οι καιρικές συνθήκες είναι αντίξοες (π.χ. χαμηλή

θερμοκρασία), τότε η πρόκληση της ασθένειας γίνεται επειδή οι αμυντικοί μηχανισμοί του μεταξοσκώληκα εξασθενούν. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η προσβολή από την επιδερμίδα γίνεται όταν υπάρχουν τραυματισμοί των μεταξοσκωλήκων και εκεί χρειάζεται πολύ μικρό ιϊκό φορτίο να περάσει μέσα από το τραύμα για να εμφανιστεί η ασθένεια.

Εικόνα 8.4 *Προσβολή των ώριμων προνυμφών του μεταξοσκώληκα από τον ιό BmNPV. Η προσβολή των προνυμφών στο στάδιο πριν την πλοκή του κουκουλιού αποτελεί την πιο σοβαρή μορφή προσβολής από αυτόν τον ιό (Πηγή: S. Cappellozza και A. Saviane, Ιταλικό Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία. Άδεια προς δημοσίευση).*

Δεν υπάρχουν τρόποι θεραπείας των μεταξοσκωλήκων από την προσβολή από τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν αναφορές για σχετικά πιο ανθεκτικά υβρίδια ή βιοτεχνολογικές προσπάθειες για τη δημιουργία διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων που θα είναι ανθεκτικοί στον ιό αυτόν (Jiang et al., 2021; Liu et al., 2021). Προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση γίνονται και θα συνεχίσουν να γίνονται, ωστόσο, επί του παρόντος όλα τα υβρίδια και όλες οι φυλές του μεταξοσκώληκα είναι εν δυνάμει ευάλωτες σε αυτόν τον ιό. Η μόνη αντιμετώπιση αυτής της ασθένειας είναι μέσω της πρόληψης. Η ασθένεια αυτή προλαμβάνεται εάν ψεκάσουμε το σηροτροφείο με 3% διάλυμα φορμαλδεΰδης σε ποσό 1 λίτρου διαλύματος ανά κυβικό μέτρο του σηροτροφείου. Κατά την απολύμανση αυτή, βάζουμε όλα τα υλικά εκτροφής μέσα στο σηροτροφείο και τα απολυμαίνουμε και αυτά ταυτόχρονα. Εφόσον γίνει σωστή απολύμανση, δεν φέρνουμε μέσα στο σηροτροφείο υλικά που δεν έχουν απολυμανθεί. Επίσης, τα άτομα που μπαίνουν στο σηροτροφείο πρέπει να αλλάζουν τα παπούτσια τους και να χρησιμοποιούν παντόφλες που εμποτίζονται συνεχώς σε ύφασμα που είναι βρεγμένο με το διάλυμα απολύμανσης. Σε περίπτωση που έχουμε προηγούμενη προσβολή σε ένα σηροτροφείο, θα πρέπει να μην κάνουμε επικαλυπτόμενη εκτροφή στον χώρο, αλλά να διακόπτουμε την εκτροφή και να κάνουμε απολύμανση του χώρου πριν γίνει νέα εκτροφή. Όταν εμφανιστούν προνύμφες προσβεβλημένες με αυτόν τον ιό, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιούμε φτηνά πλαστικά γάντια μιας χρήσης και να απομακρύνουμε τις ασθενικές προνύμφες τοποθετώντας τες σε δοχείο για αυτόν τον σκοπό και ιδανικά καίγοντάς τες. Είναι επίσης καλή πρακτική να σκεπάζουμε τα σημεία όπου βρίσκουμε νεκρές προνύμφες με ασβέστη για να αποφύγουμε την κατανάλωση πολύεδρων από τις άλλες προνύμφες ή την επιμόλυνση των φύλλων, αλλά αυτό έχει κάποια πρακτικά όρια όταν η προσβολή είναι εκτεταμένη. Πρέπει να απορρίπτουμε και να καίμε τα γάντια που χρησιμοποιούμε για τη συλλογή των προσβεβλημένων προνυμφών, παρότι είναι πρακτικά αδύνατο σε πολύ σοβαρές περιπτώσεις προσβολών από τον ιό να σώσουμε την εκτροφή από ολική καταστροφή.

Η ασθένεια αυτή αποτελεί την κύρια πηγή απωλειών παραγωγής κουκουλιών σε παγκόσμιο επίπεδο και είναι η κυριαρχούσα ασθένεια των μεταξοσκωλήκων στις εκτροφές που γίνονται στην Ελλάδα. Εξαιτίας των συμπτωμάτων της ασθένειας, η έκταση της προσβολής υποτιμάται από άπειρους εκτροφείς, ενώ άλλες πρακτικές όπως η απόρριψη της στρωμνής μετά την εκτροφή στο περιβάλλον ή ακόμη χειρότερα στον μορεώνα, η απουσία διαλογής των κουκουλιών και η κακή απολύμανση των σηροτροφείων έχουν αποδεκατίσει πολλές εκτροφές στην Ελλάδα εδώ και δεκαετίες και έχουν οδηγήσει πολλούς εκτροφείς να παρατήσουν τη σηροτροφία ανήμποροι να αντιμετωπίσουν τις ολικές απώλειες παραγωγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμη και πολύ παλιά εγχειρίδια σηροτροφίας γραμμένα πριν από πάνω από 100 χρόνια στη χώρα μας (Βαμβάς, 1907; Κυριακού, 1903; Παπαναούμ, 1950; Ρουσόπουλος, 1900; Σταυριανός, 1893; Φιλιππίδης, 1890) αναφέρουν την ασθένεια αυτή, αλλά φυσικά δεν γνώριζαν οι συγγραφείς τους στοιχεία για τον παθογόνο ιό. Δυστυχώς, ακόμη και το 2022, η ασθένεια αυτή συνεχίζει να είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας απωλειών στις εκτροφές μεταξοσκώληκα.

Πέρα από τα πολύ εμφανή συμπτώματα που εμφανίζουν οι μολυσμένες προνύμφες, η διάγνωση αυτής της ασθένειας μπορεί να γίνει σε μικροσκόπιο όπου με μεγέθυνση x400 γίνονται ορατά τα πολύεδρα του ιού από δείγμα μολυσμένης προνύμφης (Suraporn & Terenius, 2020), ενώ η καλύτερη μέθοδος εντοπισμού είναι η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) χρησιμοποιώντας ειδικούς εκκινητές για τον συγκεκριμένο ιό και DNA του ιού απομονωμένο από μολυσμένες προνύμφες. Δυστυχώς, καμία από τις παραπάνω μεθόδους δεν εφαρμόζεται επί του παρόντος στη χώρα μας και η ασθένεια αυτή συνεχίζει να προκαλεί σοβαρές απώλειες στην παραγωγή.

8.3 Πιπερίτιδα

Ταξινόμηση σύμφωνα με την NCBI (National Center for Biotechnology Information) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/taxonomy/):
Βασίλειο: *Fungi (Μύκητες)*
Φύλο: *Microsporidia*
Υποτάξη: *Apansporoblastina*
Οικογένεια: *Nosematidae*
Γένος: *Nosema*
Είδος: *Nosema bombycis*

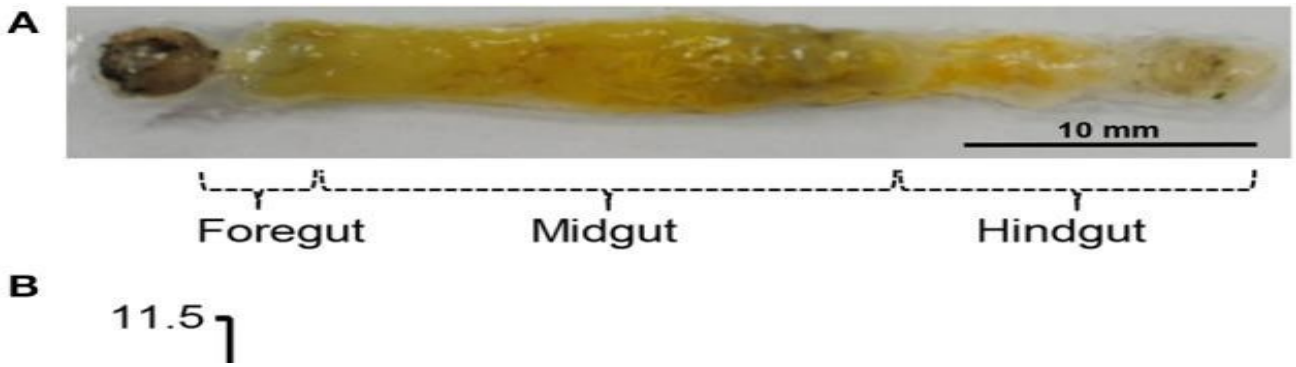
Η πιπερίτιδα, γνωστή στα Αγγλικά ως Pebrine disease, προκαλείται από το μικροσπορίδιο *Nosema bombycis,* το οποίο, ενώ παλιότερα ταξινομείτο ως Πρωτόζωο, πρόσφατες φυλογενετικές αναλύσεις έδειξαν ότι όλα τα Μικροσπορίδια ανήκουν στο Βασίλειο των Μυκήτων και είναι μια ομάδα Μυκήτων με ακαθόριστες φυλογενετικές σχέσεις με τους υπόλοιπους μύκητες, αλλά σίγουρα δεν ανήκουν στην ομάδα των Πρωτόζωων (Han & Weiss, 2017). Τα Μικροσπορίδια είναι ενδοκυτταρικά παράσιτα που ζουν μέσα στα κύτταρα των ξενιστών τους και προσβάλλουν μια μεγάλη ποικιλία από ζωικούς οργανισμούς (Han & Weiss, 2017). Το γονιδίωμα των μικροσποριδίων είναι ιδιαίτερα μειωμένο λόγω του παρασιτικού τρόπου διαβίωσής τους (Han & Weiss, 2017).

Το μικροσπορίδιο *Nosema bombycis* είναι ένα ευκαιριακό παράσιτο του μεταξοσκώληκα και δεν εξαρτάται η επιβίωσή του από τον μεταξοσκώληκα (Jagadish et al., 2021). Οι πρώτες αναφορές προσβολών από το παράσιτο αυτό σε εκτροφές μεταξοσκώληκα εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1840 έως 1850 όταν ολόκληρες εκτροφές στη Γαλλία αποδεκατίζονταν από αυτήν την τότε μυστηριώδη ασθένεια (Ayuzawa, 1972; Tayal & Chauhan, 2017; Veda et al., 1997). Ο γνωστός Γάλλος επιστήμονας Λουί Παστέρ κατάφερε μετά από συστηματική μελέτη να εντοπίσει το παθογόνο το 1870 (Pasteur, 1870) και έκτοτε έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την εξάλειψη της ασθένειας αυτής. Ωστόσο, πριν την εφεύρεση του τρόπου πρόληψης από την πιπερίτιδα στη Γαλλία, η ασθένεια αυτή είχε αποδεκατίσει τις εκτροφές μεταξοσκωλήκων σε πολλές περιοχές της Ευρώπης, κυρίως επειδή την εποχή εκείνη η αναπαραγωγή των μεταξοσκωλήκων γινόταν από τους εκτροφείς και δεν υπήρχαν διασταυρώσεις για την παραγωγή υβριδίων. Η εμφάνιση αυτής της ασθένειας ήταν κομβικό σημείο στην ανάπτυξη της σηροτροφίας στην Ευρώπη και καταλύτης για την επικράτηση ιστορικών αλλαγών, τόσο μεταξύ της συνεργασίας με χώρες της Άπω Ανατολής, όσο και της σηροτροφίας ως παραγωγικό κλάδο στην Ευρώπη (Veda et al., 1997). Η ασθένεια αυτή εξαπλώθηκε και σε χώρες της Ασίας, καθώς κατά τον 19ο και τις αρχές του 20ού αιώνα ήταν πολύ συνηθισμένη η ανταλλαγή παραγωγικών φυλών μεταξοσκώληκα μεταξύ των διαφόρων χωρών με σκοπό τη βελτίωση της παραγωγής μεταξιού. Έτσι, πολλές Ιαπωνικές εταιρείες και ιδιώτες μετέφεραν και εισήγαγαν στην Ιαπωνία παραγωγικές Ευρωπαϊκές φυλές, ενώ πολλές Ιαπωνικές φυλές μεταφέρθηκαν στην Ευρώπη για να αντικαταστήσουν τις Ευρωπαϊκές φυλές που είχαν αποδεκατιστεί από την πιπερίτιδα.

Η πιπερίτιδα έχει πλέον εξαφανιστεί από αρκετές χώρες της Ασίας καθώς, για παράδειγμα, η τελευταία αναφορά για την παρουσία πιπερίτιδας στην Ιαπωνία έγινε το 1923 (Prof. Y. Banno, προφορική ενημέρωση), ενώ λόγω του τρόπου ελέγχου των αυγών για την ύπαρξη πιπερίτιδας, η εμφάνιση της ασθένειας είναι σποραδική και ουσιαστικά το παθογόνο βρίσκεται πλέον μόνο σε συγκεκριμένα ερευνητικά εργαστήρια. Επίσης, λόγω του τρόπου με τον οποίο γίνεται πλέον η παραγωγή των αυγών των υβριδίων από συγκεκριμένα ερευνητικά κέντρα και συγκεκριμένες ιδιωτικές εταιρείες σε διάφορες χώρες και όχι από μεμονωμένους παραγωγούς για δική τους χρήση, η πιπερίτιδα δεν αποτελεί μια απειλητική ασθένεια για τη σηροτροφία στην Ελλάδα, καθώς δεν παράγονται, επί του παρόντος, αυγά μεταξοσκώληκα για εμπορική χρήση στην Ελλάδα. Κρίνεται, ωστόσο, σκόπιμο να παρουσιαστεί η πιπερίτιδα ως η δεύτερη πιο σημαντική ασθένεια του

μεταξοσκώληκα λόγω της ιστορικής σημασίας που έχει και λόγω της ικανότητας της ασθένειας αυτής να αποδεκατίσει μια εκτροφή μεταξοσκωλήκων, εάν δεν ληφθούν τα αναγκαία προληπτικά μέτρα.

Το μικροσπορίδιο *Nosema bombycis* στο ώριμό του στάδιο έχει σχήμα οβάλ με μήκος 3,8 μικρόμετρα, πλάτος 2 μικρόμετρα και λόγο μέγιστου μήκους προς μέγιστο πλάτος 1,9 (Εικόνα 8.5). Τα ανώριμα κύτταρα έχουν ακαθόριστο σχήμα και μέγεθος, Καλύπτονται από μια μεμβράνη στο ένα άκρο της οποίας υπάρχει μια σακοειδής δομή που ονομάζεται *πολική κάψα* και η οποία εκτείνεται προς το άλλο άκρο της μεμβράνης (Jagadish et al., 2021; Liu et al., 2016). Η πολική κάψα περιέχει το πολικό νημάτιο σε μορφή ελάσματος που είναι πάνω από 30 φορές μεγαλύτερο σε μήκος από το κύτταρο του παρασίτου. Όταν τα σπόρια του μικροσποριδίου εισέρχονται στο σώμα του μεταξοσκώληκα, το πολικό νημάτιο εξέρχεται από το σπόριο και το σπόριο μετατρέπεται σε αμοιβαδοειδές σωμάτιο 0,5-1,5 μικρομέτρων σε μέγεθος. Το αμοιβαδοειδές σωμάτιο κινείται και εισέρχεται στα κύτταρα του μεταξοσκώληκα και διαιρείται με διχοτόμηση. Όταν εισέρχεται στα κύτταρα του μεταξοσκώληκα, μετατρέπεται σε μεροζωίτη που έχει σφαιρικό, ελλειψοειδές ή κυλινδρικό σχήμα. Σε περίπου 2 εβδομάδες από την είσοδο του σπορίου στο σώμα του μεταξοσκώληκα, ώριμα σπόρια εισέρχονται σε διάφορα όργανα του μεταξοσκώληκα (Jagadish et al., 2021; Liu et al., 2016).



Εικόνα 8.5 *Εικόνα οπτικού μικροσκοπίου με σπόρια του μικροσπορίδιου Nosema bombycis, τα οποία έχουν απελευθερώσει το πολικό νημάτιο (δεξιά εικόνα, κόκκινα βέλη) ή δεν έχουν απελευθερώσει το πολικό νημάτιο (αριστερά εικόνα, μαύρα βέλη) (Πηγή: (Liu et al., 2016), CC-BY άδεια).*

Το μικροσπορίδιο *Nosema bombycis* προσβάλλει τους μεταξοσκώληκες είτε μέσω του πεπτικού σωλήνα είτε μέσω της θηλυκής νυχτοπεταλούδας, η οποία έχει προσβληθεί από το παθογόνο αίτιο και το μεταφέρει στα αυγά της από τα οποία εκκολάπτονται προνύμφες που είναι προσβεβλημένες με τα σπόρια του παθογόνου. Και στις δύο περιπτώσεις, οι νεαρές προνύμφες είναι οι πλέον ευάλωτες, καθώς εμφανίζουν ανομοιόμορφη ανάπτυξη, αδυναμία να πραγματοποιήσουν έκδυση (Εικόνα 8.6), ενώ σταδιακά το σώμα των νεαρών προνυμφών συρρικνώνεται και πεθαίνουν ως μικρές προνύμφες (Jagadish et al., 2021; Liu et al., 2016).

Εικόνα 8.6 *Δεξιά (Β) προνύμφη προσβεβλημένη από το μικροσπορίδιο Nosema bombycis και αριστερά (Α) υγιής προνύμφη σε παρόμοια ηλικία ανάπτυξης (Πηγή: (Liu et al., 2016), CC-BY άδεια).*

Εάν επιβιώσουν οι προνύμφες, παρότι μολυσμένες, τότε η ασθένεια γίνεται χρόνια και οι προνύμφες εμφανίζουν χαρακτηριστικά σημάδια στην επιδερμίδα τους που είναι χρώματος μαύρου έως καφέ και έχουν

μεγάλο ή μικρό σχήμα και ακαθόριστα όρια, καθώς τα σημάδια από αυτό το παράσιτο έχουν ακαθόριστα όρια και η περιφέρειά τους είναι ελαφρώς καφέ σε χρώμα (Εικόνα 8.6). Αυτοί οι χαρακτήρες των σημαδιών της επιδερμίδας των προνυμφών που προκαλούνται από τα μικροσπορίδια είναι διακριτοί από τα σημάδια που προκαλούνται στην επιδερμίδα των προνυμφών από τσιμπήματα από άλλα έντομα και από άλλους μύκητες ή από τραυματισμούς, γιατί στην περίπτωση αυτή τα σημάδια έχουν χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα και διακριτή περίμετρο.

Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά της προσβολής, δηλαδή η έντονα ανομοιόμορφη ανάπτυξη και η εμφάνιση των κηλίδων στο σώμα των προνυμφών είναι δηλωτικά της παρουσίας του παθογόνου και είναι σίγουρο ότι τα αυγά των νυχτοπεταλούδων θα είναι μολυσμένα με το μικροσπορίδιο, οπότε δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται. Το μικροσπορίδιο προσβάλλει όλους τους ιστούς της προνύμφης και στους μεταξογόνους αδένες προκαλεί την εμφάνιση λευκών αδιαφανών κηλίδων (Jagadish et al., 2021; Liu et al., 2016).

Η μόλυνση των αυγών του μεταξοσκώληκα γίνεται όταν μια θηλυκή νυχτοπεταλούδα που είχε μολυνθεί στο στάδιο της προνύμφης, αλλά δεν πέθανε, εναποθέτει τα αυγά της τα οποία είναι μολυσμένα, όπως ανακάλυψε ο Λουί Παστέρ (Pasteur, 1870). Επειδή το μικροσπορίδιο μολύνει όλους τους ιστούς του μεταξοσκώληκα, και οι ωοθήκες του θηλυκού εντόμου μολύνονται, καί τα σπόρια περνάνε στα αναπτυσσόμενα ωοθυλάκια. Όταν τα μολυσμένα αυγά εκκολαφθούν, τότε οι νεαρές μολυσμένες προνύμφες εμφανίζουν έντονη ανομοιόμορφη ανάπτυξη που είναι ευδιάκριτη στη 2η και 3η ηλικία, καθώς υπάρχουν μικροσκοπικές προνύμφες και άλλες μεγαλύτερες σε μέγεθος. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις ελαφριάς προσβολής του μητρικού ατόμου από τα αυγά του οποίου εκκολάφθηκαν οι προνύμφες. Όταν όμως η προσβολή του μητρικού ατόμου είναι σοβαρή, τότε τα αυγά δεν εκκολάπτονται και τα έμβρυα πεθαίνουν με αποτέλεσμα να μην εκκολαφθεί καμία προνύμφη. Στην ελαφριά περίπτωση όμως, όπου οι μολυσμένες προνύμφες εμφανίζουν ανομοιόμορφη ανάπτυξη, οι προνύμφες αποβάλλουν με τα κόπρανά τους τα μολυσματικά σπόρια του παθογόνου. Εάν στην περίπτωση αυτή οι μολυσμένες προνύμφες αναμειχθούν με υγιείς προνύμφες, κάτι που είναι συνήθης πρακτική σε μεγάλες εκτροφές, τότε και οι υγιείς προνύμφες μολύνονται στην 1η και 2η ηλικία και εμφανίζουν τα συμπτώματα στην 4η και 5η ηλικία και συνήθως πεθαίνουν πριν την ωρίμανσή τους. Εάν κάποιες προνύμφες μολυνθούν στην 4η και 5η ηλικία, τότε μεταμορφώνονται σε νυχτοπεταλούδες και αφήνουν τα αυγά τους που είναι μολυσμένα και έτσι συνεχίζεται ο κύκλος της προσβολής σταδιακά μολύνοντας όλες τις προνύμφες σε επακόλουθες εκτροφές (Ayuzawa, 1972; Krishnaswami, 1979; Singh, 2015; Tayal & Chauhan, 2017; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988). Αυτό συνέβη όταν παρατηρήθηκε αρχικά η ασθένεια στα μέσα της δεκαετίας 1840-1850 στη Γαλλία και επειδή την εποχή εκείνη οι εκτροφείς παρήγαγαν τα δικά τους αυγά από φυλές, η ασθένεια μεταδόθηκε και αφάνισε σημαντικό μέρος της παραγωγής.

Αυτός ο τρόπος μετάδοσης της ασθένειας, όταν ανακαλύφθηκε, οδήγησε στον έλεγχο των θηλυκών νυχτοπεταλούδων για την παρουσία σπορίων στο σώμα τους ως τρόπος παρεμπόδισης της μετάδοσης της ασθένειας. Πιο συγκεκριμένα, για να ελέγξουμε εάν μία ή πολλές νυχτοπεταλούδες είναι μολυσμένες με τα σπόρια του μικροσποριδίου, οι νυχτοπεταλούδες ξηραίνονται, θρυμματίζονται μέχρι να κονιορτοποιηθούν και τα προϊόντα της σύνθλιψής τους φιλτράρονται. Το φιλτραρισμένο διάλυμα εξετάζεται σε μικροσκόπιο για την παρουσία των σπορίων που έχουν μια πολύ χαρακτηριστική λαμπερή όψη (Εικόνα 8.5), γιατί αντανακλούν το φως και είναι εύκολο να εντοπιστούν (Ayuzawa, 1972; Krishnaswami, 1979; Singh, 2015; Tayal & Chauhan, 2017; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988). Αν εντοπιστούν σπόρια του μικροσποριδίου, τότε όλα τα αυγά του θηλυκού ατόμου καταστρέφονται και πρέπει να γίνει περαιτέρω έλεγχος για το μέγεθος της μόλυνσης. Αυτή η εξέταση των νυχτοπεταλούδων είναι μια εξέταση ρουτίνας που οφείλει να γίνεται από Ινστιτούτα και ιδιωτικές εταιρείες που παράγουν και εμπορεύονται αυγά μεταξοσκώληκα για παραγωγή κουκουλιών. Μετά την εξέταση, πρέπει να εκδίδεται πιστοποιητικό που θα συνοδεύει τα εμπορεύσιμα κουτιά αυγών μεταξοσκώληκα κατά την πώλησή τους. Είναι χαρακτηριστικό ότι η παραπάνω πρακτική και η μεθοδολογία εξέτασης των νυχτοπεταλούδων για προσβολή από πιπερίτιδα αναφέρεται αναλυτικά σε όλα τα παλιά εγχειρίδια για τη σηροτροφία που έχουν εκδοθεί στα Ελληνικά (Βαμβάς, 1907; Κυριακού, 1903; Παπαναούμ, 1950; Ρουσόπουλος, 1900; Σταυριανός, 1893; Φιλιππίδης, 1890).

Ωστόσο, και παρά το γεγονός ότι αυτό το είδος ελέγχου γίνεται εδώ και πολλές δεκαετίες, υπάρχουν χώρες στις οποίες παράγονται αυγά μεταξοσκώληκα στις οποίες η πιπερίτιδα δεν έχει εμφανιστεί εδώ και πολλές δεκαετίες και ως συνέπεια δεν συντρέχει λόγος για έκδοση τέτοιων πιστοποιητικών. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι αυτός ο μικροσκοπικός έλεγχος για την ύπαρξη σπορίων του παθογόνου είναι επιρρεπής σε λάθη (Jagadish et al., 2021), καθώς βασίζεται στην εμπειρία του χειριστή, στην αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος και στους χειρισμούς. Για τον λόγο αυτόν, έχουν δημοσιευθεί καλύτερες και πολύ πιο ευαίσθητες τεχνικές εντοπισμού των σπορίων του παθογόνου, που βασίζονται στην ποσοτική αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (qPCR) με τη μέθοδο TaqMan για τον επιλεκτικό εντοπισμό του γονιδίου της τουμπουλίνης που παθογόνου

(Jagadish et al., 2021). Η μέθοδος αυτή έχει εξαιρετική ευαισθησία, δεν βασίζεται στην εμπειρία του χρήστη και είναι εξίσου γρήγορη στον εντοπισμό του παθογόνου, καθώς χρησιμοποιείται πάντα ένας θετικός μάρτυρας. Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιήσει ως υλικό εντοπισμού ακόμη και τα αυγά, αλλά και ιστούς του μεταξοσκώληκα. Η ανάπτυξη αυτής της τεχνικής και γενικότερα η ανάπτυξη της ποσοτικής αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (qPCR) για τον εντοπισμό ιών αλλά και άλλων παθογόνων του μεταξοσκώληκα δίνει μια νέα διάσταση στις μεθόδους εντοπισμού των παθογόνων σε εκτροφές στη χώρα μας, καθώς η μέθοδος αυτή είναι πολύ ευαίσθητη και δίνει ποσοτικά στοιχεία σχετικά με την ύπαρξη παθογόνων σε εκτροφές μεταξοσκώληκα (Jagadish et al., 2021).

Τα σπόρια του παθογόνου μπορεί να παραμείνουν μολυσματικά για έναν χρόνο αν μείνουν σε ένα σκοτεινό δωμάτιο και είναι μολυσματικά για έναν μήνα ακόμη και με απουσία της καλυπτήριας μεμβράνης τους. Επίσης, εξαιτίας του γεγονότος ότι το παθογόνο είναι ένα ευκαιριακό παράσιτο, η απόρριψη της στρωμνής των εκτροφών στο περιβάλλον μετά την εκτροφή θα πρέπει να αποφεύγεται με κάθε τρόπο όταν υπάρχει προσβολή από αυτό το παθογόνο (Ayuzawa, 1972; Krishnaswami, 1979; Singh, 2015; Tayal & Chauhan, 2017; Veda et al., 1997; Wu et al., 1988). Ο μόνος τρόπος εξάλειψής του παθογόνου είναι η απολύμανση του σηροτροφείου και όλων των υλικών εκτροφής με διάλυμα 3% φορμαλδεΰδης, ακριβώς όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση του ιού της πυρηνικής πολυέδρωσης.

8.4 Ιός της κυτταροπλασματικής πολυέδρωσης

Ταξινόμηση σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών (https://ictv.global/), όπως τροποποιήθηκε το 2021:
Κλάδος: *Riboviria*
Βασίλειο: *Orthornavirae*
Φύλο: *Duplornaviricota*
Ομοταξία: *Resentoviricetes*
Τάξη: *Reovirales*
Οικογένεια: *Reoviridae*
Υπο-οικογένεια: *Spinareovirinae*
Γένος: *Cypovirus*
Είδος: *Bombyx mori cypovirus 1*

Η ασθένεια της κυτταροπλασματικής πολυέδρωσης προκαλείται από τον ιό της κυτταροπλασματικής πολυέδρωσης, ο οποίος είναι ένας ιός με γονιδίωμα αποτελούμενο από κυκλική διπλή έλικα RNA (dsRNA) και ανήκει στην Οικογένεια Reoviridae και στο Γένος Cypovirus. Η ονομασία του στα Αγγλικά είναι *Bombyx mori* Cytoplasmic Polyhedrosis Virus (BmCPV) (Ayuzawa, 1972) και η ταξινόμησή του έχει αλλάξει πολλές φορές. Ο ιός ανακαλύφθηκε στην Ιαπωνία το 1952 και έκτοτε έχουν καταγραφεί πολλά υποείδη (συνολικά 9 κατά μια αναφορά) του ιού αυτού που έχουν απομονωθεί από εκτροφές στην Κίνα και στην Ιαπωνία. Το γονιδίωμα του ιού αποτελείται από 10 τμήματα RNA συνολικού μεγέθους 24758 βάσεων για ένα από τα υποείδη (Arella et al., 1988; Cao et al., 2012; Hagiwara et al., 2002; Tan et al., 2003). Καθένα από τα 10 τμήματα διπλής έλικας RNA έχει μέγεθος από 0,3-0,8 έως 2,2-2,6 χιλιάδες βάσεις (kb) (James & Li, 2012). Το σωμάτιο του ιού έχει μέγεθος 60-70 νανόμετρα. Τα υποείδη του ιού διαχωρίζονται μεταξύ τους από το σχήμα των πολυέδρων και τον ενδοκυτταρικό εντοπισμό των πολυέδρων που παράγουν, τα οποία μπορεί να είναι εξάεδρα, εικοσάεδρα ή άλλα διαφορετικά πολύεδρα (Arella et al., 1988; Cao et al., 2012; Hagiwara et al., 2002; Tan et al., 2003). Και οι ιοί αυτοί εκφράζουν το γονίδιο της πολυεδρίνης, η οποία περικλείει πολλά ιϊκά σωμάτια μέσα στο πολύεδρο. Τα πολύεδρα έχουν διάφορα μεγέθη που κυμαίνονται από 1 έως 10 μικρόμετρα και παρατηρούνται κάτω από μικροσκόπιο σε μεγέθυνση x600, αλλά μερικές φορές μπορεί να τα μπερδέψουμε με παρόμοιες δομές που υπάρχουν στα κύτταρα του πεπτικού σωλήνα του μεταξοσκώληκα και για τον λόγο αυτόν χρειάζεται προσεκτική παρατήρηση και λύση των πολυέδρων σε αλκαλικό pH για περαιτέρω παρατήρηση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ο ιός μολύνει τις προνύμφες μέσω της πεπτικής οδού και είναι ιδιαίτερα ευδιάκριτος από άλλες παρόμοιες προσβολές (βλέπε παρακάτω), καθώς ο πεπτικός σωλήνας σε αυτήν την προσβολή εμφανίζεται λευκός και πυώδης στο οπίσθιο μέρος του και, καθώς επεκτείνεται η προσβολή, αυτός ο χρωματισμός επεκτείνεται σε όλο το μήκος του πεπτικού σωλήνα. Ο χρωματισμός οφείλεται στα πολύεδρα του ιού που προσβάλλουν τα κυλινδρικά και όχι τα κυβοειδή κύτταρα του πεπτικού σωλήνα (Ayuzawa, 1972).

Το ιδιαίτερο σύμπτωμα της ασθένειας είναι η εμφάνιση λευκών κοπράνων από τις μολυσμένες προνύμφες, τα οποία εναποτίθενται στη στρωμνή και καταναλώνονται από τις άλλες προνύμφες και με τον τρόπο αυτόν μεταδίδεται η ασθένεια. Οι προνύμφες που είναι μολυσμένες με τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης δεν αποβάλλουν πολύεδρα με τα κόπρανά τους. Γενικά η επώαση του ιού μέχρι τη θανάτωση της προνύμφης διαρκεί μία εβδομάδα και οι προνύμφες εμφανίζουν μειωμένη ανάπτυξη, αλλά δεν εμφανίζουν κινητικότητα και είναι ληθαργικές (Εικόνα 8.7).

Εικόνα 8.7 *Προνύμφες μεταξοσκώληκα μολυσμένες με τον ιό της κυτταροπλασματικής πολυέδρωσης (Πηγή: αρχείο του Συγγραφέα).*

Και στην περίπτωση αυτή, η απολύμανση με 3% διάλυμα φορμαλδεΰδης σκοτώνει τον ιό, ενώ τα πολύεδρα μπορεί να είναι ανθεκτικά στο περιβάλλον για μεγάλο διάστημα. Λόγω της ύπαρξης του γονιδιώματος αυτού του Γένους των ιών (βλέπε: https://silkpathdb.swu.edu.cn/), είναι ιδανική η χρήση της ποσοτικής αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (qPCR) για τον εντοπισμό τους παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν αναφορές για την παρουσία αυτού του ιού σε εκτροφές στην Ελλάδα. Επίσης, επειδή τα συμπτώματα προσβολής από αυτόν τον ιό είναι σχετικά παρόμοια με αυτά που θα αναφερθούν παρακάτω για άλλους ιούς είναι δύσκολο να διακριθεί αν σε παλιότερα βιβλιογραφικά δεδομένα από εκτροφές μεταξοσκώληκα στην Ελλάδα, είναι αυτός ο ιός ή κάποιος άλλος το παθογόνο αίτιο της ασθένειας που αναφερόταν παλιότερα ως ληθαργία (Βαμβάς, 1907; Κυριακού, 1903; Παπαναούμ, 1950; Ρουσόπουλος, 1900; Σταυριανός, 1893; Φιλιππίδης, 1890).

8.5 Ιός της μολυσματικής ληθαργίας

Ταξινόμηση σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών (https://ictv.global/), όπως τροποποιήθηκε το 2021:
Κλάδος: *Riboviria*
Βασίλειο: *Riboviria*
Φύλο: *Orthornavira*
Ομοταξία: *Pisoniviricetes*
Τάξη: *Picornavirales*
Οικογένεια: *Iflaviridae*
Γένος: *Iflavirus*
Είδος: *Bombyx mori iflavirus*

Ο ιός της μολυσματικής ληθαργίας είναι ένα ιός μονής έλικας RNA που έχει ταξινομηθεί στο ξεχωριστό Γένος Iflavirus από τη Διεθνή Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών (International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV)) το 2005. Η ονομασία του ιού στα Αγγλικά είναι *Bombyx mori* Infectious Flacherie Virus (BmIFV) (Isawa et al., 1998). Η λέξη Flacherie αποδίδεται στα Ελληνικά με τον όρο *μαλάκυνση* (από τη λατινική λέξη flaccus που σημαίνει πλαδαρός) ή εναλλακτικά με τον πιο εύστοχο όρο, *ληθαργία*, καθώς η λέξη ληθαργία περιγράφει καλύτερα τα συμπτώματα αυτής, αλλά και άλλων ασθενειών που περιγράφονται παρακάτω, και έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την καθυστερημένη ανάπτυξη. Ο ιός αυτός ανακαλύφθηκε στην Ιαπωνία το 1960.

Το γονιδίωμα του ιού έχει μέγεθος 9650 βάσεις και τα σωμάτια του ιού έχουν μέγεθος 27 νανόμετρα (Isawa et al., 1998). Ο ιός αυτός δεν δημιουργεί πολύεδρα και είναι ένας από τους πιο παλιούς γνωστούς ιούς

του μεταξοσκώληκα, αλλά είναι επίσης ένας από τους λιγότερο μελετημένους ιούς (Isawa et al., 1998; Suzuki et al., 2015; Vootla et al., 2013).

Ο ιός προσβάλλει τον πεπτικό σωλήνα του μεταξοσκώληκα και εντοπίζεται στα κυβοειδή κύτταρα του πεπτικού επιθηλίου σε αντίθεση με τους ιούς που αναφέρονται παρακάτω (Isawa et al., 1998; Suzuki et al., 2015; Vootla et al., 2013). Θεωρείται ότι η προσβολή από τον ιό αρχίζει στο πρόσθιο άκρο του πεπτικού σωλήνα και εκτείνεται προς το οπίσθιο και καθώς τα προσβεβλημένα κύτταρα του πεπτικού επιθηλίου νεκρώνονται, σωμάτια του ιού αποβάλλονται με τα κόπρανα και μολύνουν και τις άλλες προνύμφες (Ayuzawa, 1972).

Μερικά από τα συμπτώματα μπορεί να είναι η αποβολή πεπτικού υγρού από το στόμα και η συρρίκνωση του σώματος, αλλά αυτά τα συμπτώματα προκαλούνται και από βακτήρια και δεν είναι έτσι ειδική συμπτωματολογία της προσβολής (Ayuzawa, 1972).

Μερικά άλλα συμπτώματα είναι η εμφάνιση του πεπτικού σωλήνα με πυώδη και κίτρινη μορφή, η απουσία σωματιδίων τροφής στον πρόσθιο πεπτικό σωλήνα και η εμφάνιση κοπράνων που είναι μικρά, κίτρινου-καφέ χρώματος και συνδέονται μεταξύ τους σαν κομπολόι. Οι προσβεβλημένες προνύμφες πεθαίνουν (Εικόνα 8.8) μετά από 7-12 ημέρες από την προσβολή εμφανίζοντας ληθαργία, μαλάκυνση του σώματός τους και έντονη οσμή (Ayuzawa, 1972; James & Li, 2012).

Εικόνα 8.8 *Προνύμφη μεταξοσκώληκα που νεκρώθηκε μετά από προσβολή από τον ιό της μολυσματικής ληθαργίας. Το χαρακτηριστικό μαύρισμα του σώματος οφείλεται σε δευτερεύουσα αύξηση του μικροβιακού φορτίου στον πεπτικό σωλήνα της προνύμφης και επέκταση των βακτηρίων σε όλο το σώμα (Πηγή: αρχείο του Συγγραφέα).*

Και σε αυτήν την περίπτωση ασθένειας, δεν υπάρχουν μέτρα θεραπείας παρά μόνο πρόληψης. Ο καλός καθαρισμός των υλικών εκτροφής, η απομάκρυνση των ασθενικών προνυμφών και το κάψιμό τους και η απολύμανση με 3% διάλυμα φορμαλδεΰδης αποτελούν τις μόνες μεθόδους πρόληψης της εξάπλωσης της ασθένειας (Ayuzawa, 1972).

Η συμπτωματολογία της ασθένειας μοιάζει ιδιαίτερα με προσβολές από βακτήρια (δείτε παρακάτω) και έτσι, παρά το γεγονός ότι θεωρείται ότι έχει παγκόσμια εξάπλωση (Vootla et al., 2013), είναι οι συνθήκες υγιεινής στις εκτροφές και η παρουσία μεγάλου βακτηριακού φορτίου στον πεπτικό σωλήνα των προνυμφών αυτό που τελικά νεκρώνει τις προνύμφες. Από την άλλη μεριά, η προσβολή των κυττάρων του πεπτικού επιθηλίου από αυτόν τον ιό επιτρέπει τη μεγάλη ανάπτυξη των βακτηρίων στον πεπτικό σωλήνα της προνύμφης και αυτό επιβαρύνει περισσότερο την προσβολή από αυτόν τον ιό. Αυτός είναι και ο λόγος που παλαιότερα η έκφραση Infectious Flacherie χρησιμοποιείτο για μια σειρά από συμπτώματα που περιγράφονται παραπάνω και τα οποία θεωρούνταν ότι προέρχονται από τη συνδυαστική προσβολή της προνύμφης από βακτήρια και ιούς. Είναι λοιπόν πιθανό σε περιπτώσεις προσβολής από ιούς που προσβάλλουν αποκλειστικά τον πεπτικό σωλήνα των προνυμφών να έχουμε μεγάλη αύξηση του βακτηριακού φορτίου, ώστε τελικά να μην μπορεί να γίνει ταυτοποίηση της ύπαρξης ιού ή ιών παρά μόνο με μοριακές μεθόδους, όπως η qPCR (Vootla et al., 2013).

8.6 Ιός της πυκνοπυρήνωσης

Ταξινόμηση σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών (https://ictv.global/), όπως τροποποιήθηκε το 2021:
Κλάδος: *Monodnaviria*
Βασίλειο: *Shotokuvirae*
Φύλο: *Cossaviricota*
Ομοταξία: *Quintoviricetes*
Τάξη: *Piccovirales*
Οικογένεια: *Parvoviridae*
Υπο-οικογένεια: *Densovirinae*
Γένος: *Iteradensovirus*
Είδος: *Lepidopteran iteradensovirus 1 (Bombyx mori densovirus)*

Ο ιός της πυκνοπυρήνωσης ονομάζεται στα Αγγλικά *Bombyx mori* densovirus (BmDV) και έχει καταχωριστεί από τη Διεθνή Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών (https://ictv.global/) το 1993. Είναι ένας ιός μονής έλικας DNA με μέγεθος γονιδιώματος 5000 βάσεις νουκλεοτιδίων και μέγεθος 20 νανόμετρα (Ito et al., 2018; Ito et al., 2013; Kaufmann et al., 2011; Kidokoro et al., 2010; Li et al., 2001; Yu & Tijssen, 2014). Ο ιός αυτός αρχικά εντοπίστηκε στην περιοχή της Ιαπωνίας τη δεκαετία του ’70 και ονομάστηκε αρχικά *Bombyx mori* densonucleosis virus (Ayuzawa, 1972; Tayal & Chauhan, 2017) και από εκεί προέρχεται η μετάφραση του ονόματός του στα Ελληνικά. Αυτός ο ιός δεν παράγει έγκλειστα και προσβάλλει τα κυλινδρικά κύτταρα του πεπτικού σωλήνα του μεταξοσκώληκα και στα κύτταρα αυτά εντοπίζεται αποκλειστικά η προσβολή από αυτόν τον ιό (Ito et al., 2013; Kidokoro et al., 2010). Η μόλυνση της προνύμφης προκαλείται αποκλειστικά μέσω της πεπτικής οδού και η προσβολή της προνύμφης είναι οξεία (Ito et al., 2013; Kidokoro et al., 2010). Σε αντίθεση με τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης, η προσβολή δεν εντοπίζεται αρχικά στο οπίσθιο άκρο του πεπτικού σωλήνα. Ο ιός πολλαπλασιάζεται στα κυλινδρικά κύτταρα του επιθηλίου του πεπτικού σωλήνα και τα οποία όταν νεκρώνονται αποβάλλουν τον ιό μέσω των κοπράνων και έτσι προκαλείται επιπλέον μόλυνση των υγιών προνυμφών (Ito et al., 2013; Kidokoro et al., 2010).

Τα συμπτώματα της προσβολής που χαρακτηρίζουν αυτήν την ασθένεια είναι η καθυστερημένη ανάπτυξη με την εμφάνιση μικρών προνυμφών, η γενικότερη ληθαργία ή αλλιώς μαλάκυνση του σώματος των προνυμφών, ενώ μετά από ανατομή της ασθενικής προνύμφης, ο πεπτικός σωλήνας εμφανίζεται πυώδης και κίτρινος και χωρίς σωματίδια τροφής (Ayuzawa, 1972; Ito et al., 2013; Kidokoro et al., 2010; Tayal & Chauhan, 2017). Δεν υπάρχουν άλλα ιδιαίτερα συμπτώματα πέρα από τη ληθαργία, έλλειψη όρεξης και τη μειωμένη ανάπτυξη, ενώ οι προσβεβλημένες προνύμφες πεθαίνουν μετά από 7 ημέρες (δείτε φωτογραφίες στη δημοσίευση των Kidokoro et al., 2010), ενώ βακτήρια αναπτύσσονται στον πεπτικό σωλήνα της προσβεβλημένης προνύμφης χωρίς αυτά να είναι η αιτία θανάτου. Η προσβολή προκαλείται από την κατανάλωση φύλλων που φέρουν αυτόν τον ιό και εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή η ταξινόμηση του ιού τον κατατάσσει σε ιούς που δυνητικά προσβάλλουν και άλλα Λεπιδόπτερα, είναι πιθανό ο ιός να έχει ως ξενιστές και άλλα άγρια έντομα (Yu & Tijssen, 2014).

Η προσβολή από αυτόν τον ιό μπορεί να μη γίνει αντιληπτή όταν υπάρχουν κακές συνθήκες εκτροφής, καθώς η μαλάκυνση του σώματος και η ληθαργία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω αλλά θα αναφερθεί και παρακάτω, μπορεί να προέρχεται από την παρουσία ενός συνδυασμού παθογόνων.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι έχουν βρεθεί φυλές μεταξοσκώληκα, οι οποίες είναι ανθεκτικές στην προσβολή από αυτόν τον ιό και η ανθεκτικότητα της προσβολής οφείλεται στην έκφραση δύο γονιδίων του μεταξοσκώληκα, των *Nid-1* και *nsd-1* (Ito et al., 2018; Ito et al., 2013; Kidokoro et al., 2010). Εξαιτίας αυτής της ύπαρξης γονιδίων ανθεκτικότητας και της σχετικά παλιάς ανακάλυψης αυτής της περίπτωσης ανθεκτικότητας, είναι πιθανό τα εμπορικά υβρίδια, τα οποία προέρχονται από την Ιαπωνία, να είναι ανθεκτικά στη μόλυνση από αυτόν τον ιό (Ito et al., 2018; Ito et al., 2013; Kidokoro et al., 2010).

Και σε αυτήν την περίπτωση ασθένειας, δεν υπάρχουν μέτρα θεραπείας παρά μόνο πρόληψης. Ο καλός καθαρισμός των υλικών εκτροφής, η απομάκρυνση των ασθενικών προνυμφών και το κάψιμό τους και η απολύμανση με 3% διάλυμα φορμαλδεΰδης αποτελούν τις μόνες μεθόδους πρόληψης της εξάπλωσης της ασθένειας (Ayuzawa, 1972; Tayal & Chauhan, 2017).

8.7 Ιός της διπυκνοπυρήνωσης

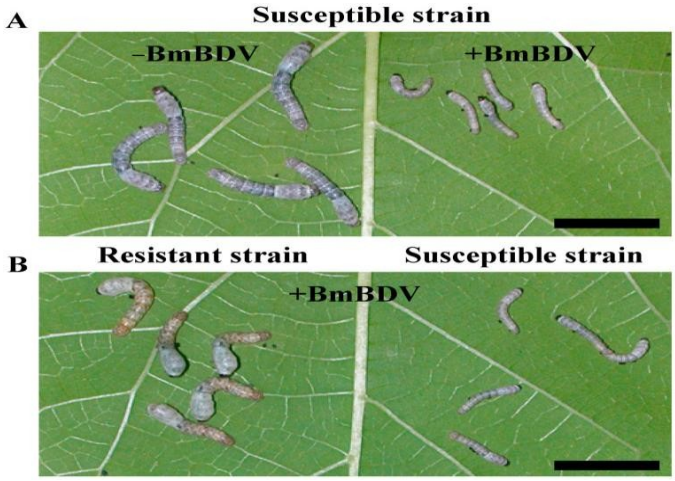
Ταξινόμηση σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών (https://ictv.global/), όπως τροποποιήθηκε το 2021:
Κλάδος: *Monodnaviria*
Βασίλειο: *Shotokuvirae*
Φύλο: *Cossaviricota*
Ομοταξία: *Mouviricetes*
Τάξη: *Polivirales*
Οικογένεια: *Bidnaviridae*
Γένος: *Bidensovirus*
Είδος: *Bombyx mori bidensovirus*

Ο ιός της διπυκνοπυρήνωσης ονομάζεται στα Αγγλικά *Bombyx mori* bidensovirus (BmBDV)(Ito et al., 2021; Li et al., 2014; Li et al., 2019). Είναι ένας ιός μονής έλικας DNA που φέρει δύο μόρια DNA με συνολικό μέγεθος γονιδιώματος 6000-6500 βάσεις νουκλεοτιδίων και μέγεθος 24 νανόμετρα (Ito et al., 2021; Li et al., 2014; Li et al., 2019). Σε ένα από τα δύο τμήματα DNA υπάρχει το ανοικτό πλαίσιο ανάγνωσης μιας DNA πολυμεράσης (Ito et al., 2021). Ο ιός καταχωρίστηκε στη βάση δεδομένων της Διεθνούς Επιτροπή Ταξινόμησης των Ιών μόλις το 2011 και υποείδη του έχουν εντοπιστεί στην Ιαπωνία και στην Κίνα. Η μετάφραση του ονόματός του εδώ στα Ελληνικά λαμβάνει υπόψη τα δύο μόρια DNA που φέρει καθώς και το γεγονός ότι η συμπτωματολογία της ασθένειας μοιάζει πολύ με τον ιό BmDV που αναφέρθηκε παραπάνω. Και αυτός ο ιός δεν παράγει έγκλειστα και προσβάλλει και αυτός τα κυλινδρικά κύτταρα του πεπτικού σωλήνα του μεταξοσκώληκα και στα κύτταρα αυτά εντοπίζεται αποκλειστικά η προσβολή από αυτόν τον ιό (P. Zhang et al., 2016).

Εικόνα 8.9 *Χαρακτηριστικά προσβολής από τον ιό της διπυκνοπυρήνωσης. Αριστερή φωτογραφία: Προσβεβλημένες προνύμφες. Μεσαία φωτογραφία: Υγιείς προνύμφες. Δεξιά φωτογραφία: Προσβεβλημένη προνύμφη που παράγει κόπρανα σε μορφή κομπολογιού, χαρακτηριστικό σύμπτωμα της προσβολής από αυτόν τον ιό (Πηγή: (P. Zhang et al., 2016), CC-BY άδεια).*

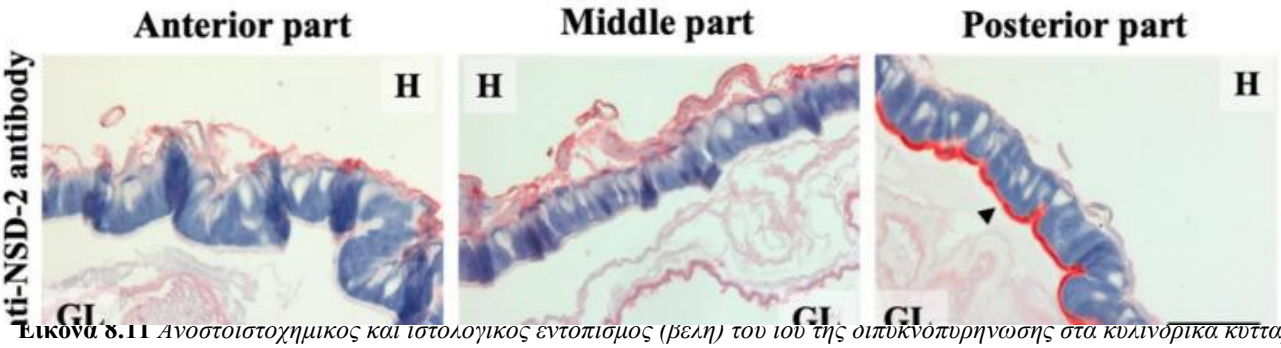
Κάποια υποείδη του ιού που εντοπίστηκαν στην Κίνα έχουν βρεθεί να προσβάλουν και τα κυβοειδή κύτταρα του πεπτικού επιθηλίου μετά την προσβολή των κυλινδρικών κυττάρων (P. Zhang et al., 2016). Η μόλυνση της προνύμφης προκαλείται αποκλειστικά μέσω της πεπτικής οδού και η προσβολή της προνύμφης είναι χρόνια, καθώς σε αντίθεση με τον ιό της πυκνοπυρήνωσης, οι μολυσμένες προνύμφες με τον ιό της διπυκνοπυρήνωσης δεν εμφανίζουν συμπτώματα την 6η-7η ημέρα, αλλά τα συμπτώματα εμφανίζονται μεταξύ της 10ης και 20ής ημέρας με αποτέλεσμα κάποιες προνύμφες να καταφέρουν να μεταμορφωθούν σε νύμφες (Ito et al., 2021). Και εδώ επίσης, σε αντίθεση με τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης, η προσβολή δεν εντοπίζεται αρχικά στο οπίσθιο άκρο του πεπτικού σωλήνα. Ο ιός πολλαπλασιάζεται στα κυλινδρικά κύτταρα του επιθηλίου του πεπτικού σωλήνα και τα οποία όταν νεκρώνονται αποβάλλουν τον ιό μέσω των κοπράνων (Εικόνα 8.9) και έτσι προκαλείται επιπλέον μόλυνση των υγιών προνυμφών (P. Zhang et al., 2016).

Οι ερευνητικές προσπάθειες που έχουν γίνει έχουν δείξει ότι υπάρχει μια πρωτεΐνη που εκφράζεται από το γονίδιο *nsd-2* στα κυλινδρικά κύτταρα του πεπτικού επιθηλίου και η οποία είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση ανθεκτικότητας των προνυμφών κάποιων φυλών ως προς την προσβολή από αυτόν τον ιό.



Εικόνα 8.10 *Προσβολή προνυμφών του μεταξοσκώληκα από τον ιό της Διπυκνοπυρήνωσης (BmBDV). Στην άνω εικόνα (Α) φαίνονται τα συμπτώματα σε ποικιλία μεταξοσκώληκα επιρρεπή στη μόλυνση από αυτόν τον ιό (Susceptible strain). Στην κάτω εικόνα (Β) φαίνονται τα συμπτώματα σε ποικιλία μεταξοσκώληκα ανθεκτική στη μόλυνση από αυτόν τον ιό (Resistant strain) (Πηγή: (Ito et al., 2021), CC-BY άδεια).*

Τα συμπτώματα της προσβολής που χαρακτηρίζουν και αυτήν την ασθένεια είναι η καθυστερημένη ανάπτυξη (Εικόνα 8.10) με την εμφάνιση μικρών προνυμφών και η γενικότερη ληθαργία ή αλλιώς μαλάκυνση του σώματος των προνυμφών. Η διαφορά είναι ότι η συμπτωματολογία της ασθένειας είναι σχετικά αργή σε σχέση με τον ιό της πυκνοπυρήνωσης.



Εικόνα 8.11 *Ανοσοϊστοχημικός και ιστολογικός εντοπισμός (βελη) του ιού της διπυκνοπυρηνωσης στα κυλινδρικά κύτταρα του πεπτικού σωλήνα του μεταξοσκώληκα. GL: Πεπτικός σωλήνας, Η: Αιμολέμφος (Πηγή: (Ito et al., 2021), CC-BY άδεια).*

Η προσβολή προκαλείται από την κατανάλωση φύλλων που φέρουν αυτόν τον ιό (Εικόνα 8.11) και η ύπαρξη υποειδών αυτού του ιού σε διάφορες χώρες σημαίνει ότι μπορεί να έχει ως ευκαιριακούς ξενιστές και άλλα άγρια έντομα (P. Zhang et al., 2016). Και στην περίπτωση αυτής της ασθένειας, η προσβολή από τον ιό μπορεί να μη γίνει αντιληπτή όταν υπάρχουν κακές συνθήκες εκτροφής, καθώς η μαλάκυνση του σώματος και η ληθαργία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά θα αναφερθεί και παρακάτω, μπορεί να προέρχεται από την παρουσία ενός συνδυασμού παθογόνων (Tayal & Chauhan, 2017). Και σε αυτήν την περίπτωση ασθένειας, δεν υπάρχουν μέτρα θεραπείας παρά μόνο πρόληψης. Ο καλός καθαρισμός των υλικών εκτροφής, η απομάκρυνση των ασθενικών προνυμφών και το κάψιμό τους και η απολύμανση με 3% διάλυμα φορμαλδεΰδης αποτελούν τις μόνες μεθόδους πρόληψης της εξάπλωσης της ασθένειας (Ayuzawa, 1972).

Τόσο για τον ιό της πυκνοπυρήνωσης όσο και για τον ιό της διπυκνοπυρήνωσης, δεν υπάρχουν επιδημιολογικά δεδομένα σχετικά με την εξάπλωσή τους στη χώρα μας. Από τη μια μεριά, αυτό οφείλεται στον τρόπο εκτροφής των μεταξοσκωλήκων στη χώρα μας, όπου η έμφαση δεν δίνεται στη συλλογή όλων των προνυμφών μετά από κάθε έκδυση, αλλά πολλές προνύμφες που είναι μικρές και έχουν καθυστερήσει να εκδυθούν συχνά απορρίπτονται. Από την άλλη μεριά, δεν έχει γίνει ποτέ στη χώρα μας καμία προσπάθεια συστηματικής καταγραφής των ασθενειών του μεταξοσκώληκα, ενώ οι εκτροφείς δεν προχωρούν σε ανατομή των ασθενικών προνυμφών για να ελέγξουν την πιθανή προσβολή του πεπτικού σωλήνα. Οι αναφορές σε παλιότερα εγχειρίδια σηροτροφίας γραμμένα στα Ελληνικά είναι αρκετά ασαφείς για να καταλάβει κανείς εάν αυτή η ασθένεια υπήρχε παλιότερα στην Ελλάδα.

8.8 Βακτηριακές προσβολές του μεταξοσκώληκα

Οι προσβολές των προνυμφών από βακτήρια χαρακτηρίζονται από τη μελάνωση (μαύρισμα) του σώματος της προνύμφης μετά τον θάνατό της και η μελάνωση αυτή προκαλείται από την ανοσολογική απόκριση της προνύμφης προς το παθογόνο (Ayuzawa, 1972). Παρότι υπάρχουν διαφορές στα συμπτώματα που προκαλούν οι βακτηριακές μολύνσεις των προνυμφών, τα συμπτώματα εμφανίζονται γρήγορα και ο θάνατος της προνύμφης είναι σχετικά γρήγορος μετά την προσβολή (Ayuzawa, 1972).

8.8.1 Προσβολή από το βακτήριο *Bacillus thuringiensis*

Τα παθογόνο που προκαλεί αυτήν την ασθένεια είναι ένα Gram-θετικό βακτήριο, που ονομάζεται Bacillus thuringiensis και είναι γνωστό και ως Bt, καθώς αποτελεί ένα βιολογικό εντομοκτόνο με ευρεία χρήση είτε ως μικροοργανισμός είτε μέσω χρήσης της τοξίνης του ως εντομοκτόνο. Το βακτήριο αυτό σκοτώνει την προνύμφη του μεταξοσκώληκα μέσω μιας συγκεκριμένης τοξίνης που παράγει το συγκεκριμένο είδος, αλλά και συγγενικά του είδη. Η συγκεκριμένη τοξίνη προκαλεί δημιουργία οπών στα κυλινδρικά κύτταρα του πεπτικού επιθηλίου του μεταξοσκώληκα προκαλώντας έτσι τη θανάτωση της προνύμφης, αλλά και τη μείωση της ανοσολογικής της απόκρισης σε άλλα βακτήρια ή άλλα παθογόνα. Η τοξίνη αυτή είναι γνωστή (Baxter et al., 2011; Li et al., 2020; Nagamatsu et al., 1998; Tanaka et al., 2016) και ο μηχανισμός δράσης της στην προνύμφη του μεταξοσκώληκα έχει ερευνηθεί διεξοδικά (Baxter et al., 2011; Li et al., 2020; Nagamatsu et al., 1998; Tanaka et al., 2016), καθώς παρόμοια είδη αυτού του βακτηρίου χρησιμοποιούνται για τη βιολογική καταπολέμηση παρασιτικών εντόμων.

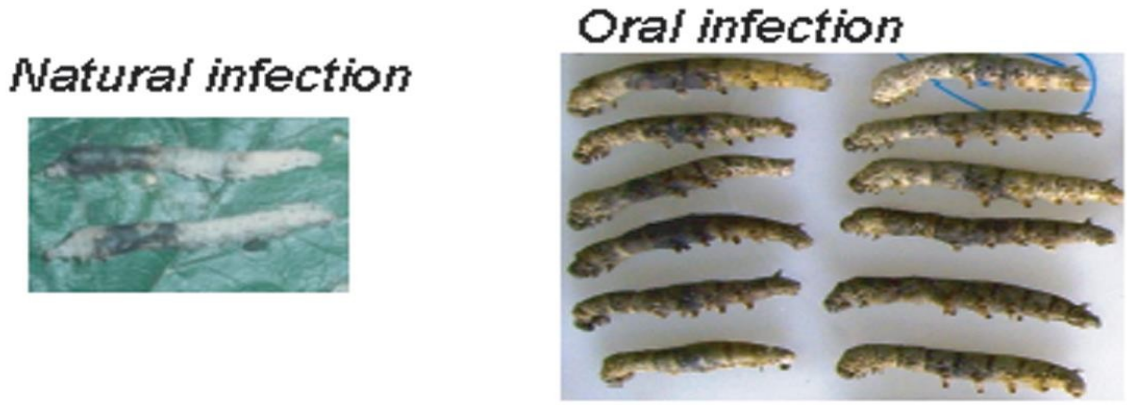
Παρότι η τοξίνη διατηρεί την παθογόνο δύναμή της στο φυσικό περιβάλλον για μερικά χρόνια, αποδιατάσσεται σε 3 ώρες, όταν εκτεθεί σε διάλυμα 3% φορμαλδεΰδης, ενώ άλλα κοινά αντισηπτικά μπορεί να μην είναι αποτελεσματικά ενάντια στην τοξίνη του βακτηρίου (Ayuzawa, 1972).

Όταν το βακτηριακό φορτίο που καταναλώνει η προνύμφη είναι μικρό, τότε εμφανίζει ληθαργία, χάνει την όρεξή της και τελικά πεθαίνει και το σώμα της παίρνει μαύρο χρώμα καθώς νεκρώνεται. Όταν το βακτηριακό φορτίο που καταναλώνει η προνύμφη είναι υψηλό, τότε η προνύμφη σταματά απότομα να τρέφεται, εμφανίζει σπασμούς και ασυνήθιστες κινήσεις του σώματος, αποβάλλει από το στόμα πεπτικό υγρό και σε λίγες ώρες πεθαίνει εμφανίζοντας μαλάκυνση του σώματος. Στη σοβαρή περίπτωση προσβολής, τα συμπτώματα είναι παρόμοια με αυτά της δηλητηρίασης από εντομοκτόνα και δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την αιτία θανάτου. Στην ελαφριά περίπτωση, τα συμπτώματα είναι τα ίδια με άλλες προσβολές από βακτήρια και απαιτείται ανάλυση των νεκρών προνυμφών για να εντοπίσουμε το παθογόνο αίτιο (Ayuzawa, 1972).

Πέρα από τη συνήθη απολύμανση του χώρου του σηροτροφείου και των υλικών εκτροφής, είναι καλή πρακτική να γνωρίζουμε το σημείο από το οποίο κόπηκαν τα φύλλα που ταΐστηκαν στις προνύμφες που εμφάνισαν τα παραπάνω συμπτώματα. Εάν η συλλογή των φύλλων από μουριές δεν γίνεται αποκλειστικά από έναν μορεώνα, τότε είναι καλή πρακτική να διατηρούμε έναν μικρό αριθμό προνυμφών ως μάρτυρες στις οποίες θα δίνουμε την προηγούμενη ημέρα λίγα από τα φύλλα τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε ως τροφή την επόμενη ημέρα. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να ελέγχουμε εάν τα φύλλα είναι μολυσμένα με κάτι που προκαλεί άμεση θανάτωση των προνυμφών (μάρτυρας) και έτσι να αποφεύγουμε τη συλλογή των φύλλων από συγκεκριμένες μουριές.

8.8.2 Σηψαιμία

Η σηψαιμία προκαλείται από βάκιλους, και συγκεκριμένα από τα είδη *Bacillus cereuss* (Ge et al., 2021; Li et al., 2015; Piligrimova et al., 2021), *Bacillus bombysepticus* (Huang et al., 2009), που είναι Gram-θετικά βακτήρια που προσβάλλουν την αιμολέμφο των μεταξοσκωλήκων μέσω πληγών της επιδερμίδας και μέσω του πεπτικού σωλήνα. Το βακτηριακό φορτίο που εισέρχεται μέσω της πληγής πρέπει να είναι αρκετά υψηλό για να υπερπηδήσει τους αμυντικούς μηχανισμούς της προνύμφης και να καταφέρει να την σκοτώσει. Στην περίπτωση του *Bacillus bombysepticus* (Huang et al., 2009), η προσβολή είναι παρόμοια με του Bacillus thuringiensis, αλλά ξεκινά από το 1-3 κοιλιακό μεταμερές τα οποία εμφανίζονται μαύρα και σύντομα, η προσβολή επεκτείνεται και σκοτώνει την προνύμφη, η οποία παίρνει μαύρο χρώμα, έχει άσχημη μυρωδιά και νεκρώνεται πάνω στο κρεβάτι εκτροφής (Εικόνα 8.12).



Εικόνα 8.12 *Φυσική (αριστερή εικόνα (Natural infection)) και τεχνητή επιμόλυνση (δεξιά εικόνα (Oral infection)) με το βακτήριο Bacillus bombysepticus (Bb) σε προνύμφες μεταξοσκώληκα. Παρατηρήστε τη διαφορετική εμφάνιση της προσβολής (μπλε κύκλος στη δεξιά εικόνα) στην περίπτωση της τεχνητής επιμόλυνσης (Πηγή: (Huang et al., 2009), CC-BY άδεια).*

Εικόνα 8.13 *Προσβολή προνυμφών από το βακτήριο Bacillus cereus. Στην αριστερή εικόνα φαίνονται υγιείς προνύμφες (μπλε βέλη) και προνύμφες προσβεβλημένες με το συγκεκριμένο βακτήριο (κόκκινα βέλη). Στη δεξιά εικόνα φαίνονται προνύμφες προσβεβλημένες μετά από 48 ώρες (a) και 24 ώρες (b) από την αρχική προσβολή (Πηγή: (Li et al., 2015), CC-BY άδεια).*

Στην περίπτωση του *Bacillus cereus* τα αρχικά συμπτώματα είναι λίγο διαφορετικά, αλλά η κατάληξη παρόμοια (Εικόνα 8.13). Και στην περίπτωση της προσβολής από βάκιλους, τα προληπτικά μέτρα είναι παρόμοια με αυτά της προσβολής από το *Bacillus thuringiensis* και οι νεκρές προνύμφες θα πρέπει προσεκτικά να απομακρύνονται και να καίγονται.

Σηψαιμία προκαλείται επίσης από τα είδη *Serratia marcescens* και *Enterococcus* mundii (Cappellozza et al., 2011; James & Li, 2012). Στην περίπτωση προσβολής από το είδος *Serratia marcescens*, το σώμα της νεκρής προνύμφης συρρικνώνεται και εμφανίζει μικρές καφέ κηλίδες. Οι νεκρές προνύμφες, αλλά και οι νύμφες και οι νυχτοπεταλούδες που προσβάλλονται από αυτό το βακτήριο, τελικά εμφανίζουν μαλακό σώμα με ροζ ή μαύρο χρωματισμό (Εικόνα 8.14).

Εικόνα 8.14 *Προσβολή προνυμφών από το βακτήριο Serratia marcescens (Πηγή: S. Cappellozza και A. Saviane, Ιταλικό Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία. Άδεια προς δημοσίευση).*

Στην περίπτωση προσβολής από το είδος *Enterococcus mundii* (Εικόνα 8.15), οι προνύμφες εμφανίζουν διαφανείς πράσινες ή αδιαφανείς πράσινες κηλίδες στο πρόσθιο τμήμα του θώρακα και χαρακτηριστικές δομές σαν φυσαλίδες κάτω από τον εξωσκελετό τους (James & Li, 2012). Η αιμολέμφος των νεκρών προνυμφών είναι θολή και οι νεκρές προνύμφες έχουν ιδιαίτερα άσχημη οσμή. Η προσβολή από αυτό το βακτήριο εμφανίζεται κυρίως στις μεγάλες ηλικίες (James & Li, 2012).

Εικόνα 8.15 *Προσβολή και νέκρωση προνυμφών από το βακτήριο Enterococcus mundii (Πηγή: S. Cappellozza και A. Saviane, Ιταλικό Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία. Άδεια προς δημοσίευση).*

Είναι προφανές ότι οι καλές συνθήκες εκτροφής και η αποφυγή διακυμάνσεων στη θερμοκρασία και υγρασία κατά τη διάρκεια της εκτροφής είναι πολύ σημαντικές για να μην επιβαρύνουμε τον φυσιολογικό ρυθμό ανάπτυξης των προνυμφών και να τις βοηθάμε να έχουν μια καλή ανοσολογική απόκριση σε τέτοιου είδους βακτηριακές προσβολές (Ayuzawa, 1972).

Λόγω της παγκόσμιας εξάπλωσης αυτών των βακτηρίων, υπάρχουν και στην Ελλάδα και είναι συχνό το φαινόμενο της θανάτωσης προνυμφών με τα συμπτώματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σε παλιά ελληνικά εγχειρίδια σηροτροφίας υπάρχουν εκτενείς αναφορές σε τέτοιες προσβολές, χωρίς φυσικά να αναφέρεται το παθογόνο αίτιο (Βαμβάς, 1907; Κυριακού, 1903; Παπαναούμ, 1950; Ρουσόπουλος, 1900; Σταυριανός, 1893; Φιλιππίδης, 1890).

8.8.3 Σηψαιμία από μη παθογόνα βακτήρια

Περιπτώσεις θανάτου των προνυμφών μπορούν να προκληθούν από βακτήρια για τα οποία οι προνύμφες εμφανίζουν ανθεκτικότητα, αλλά λόγω κακών συνθηκών εκτροφής, το βακτηριακό φορτίο που προσλαμβάνουν είναι τόσο υψηλό, ώστε τελικά να υποκύπτουν στην προσβολή από τέτοια μη παθογόνα βακτήρια. Τέτοιου είδους σηψαιμία προκαλείται από είδη βακτηρίων που βρίσκονται συνήθως στον πεπτικό σωλήνα των προνυμφών, όπως είδη του Γένους Enterococcus (κυρίως τα *E. faecalis* κα *E. faecium*) και μερικά είδη των Γενών Staphylococcus, Bacillus, Klebsiella, Alcaligenes και Pseudomonas. Τα συμπτώματα αυτής της προσβολής είναι τα ίδια, αλλά όχι τόσο έντονα με αυτά των άλλων προσβολών από βακτήρια και χαρακτηρίζονται από ληθαργία, συρρίκνωση του σώματος και θανάτωση με σταδιακό μαύρισμα του σώματος της νεκρής προνύμφης. Τέτοιου είδους προσβολές είναι χαρακτηριστικές πολύ κακών συνθηκών εκτροφής, όταν οι προνύμφες τρέφονται με χαμηλής ποιότητας φύλλα, βρίσκονται σε μεγάλη πυκνότητα στα κρεβάτια εκτροφής, επικρατεί έντονη υγρασία και ζέστη και η στρωμνή δεν καθαρίζεται τακτικά και επαρκώς. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι προνύμφες εμφανίζουν ανθεκτικότητα σε τέτοια είδη βακτηρίων, αλλά όταν οι συνθήκες εκτροφής είναι πολύ άσχημες, τότε δεν χρειάζεται να υπάρχει συγκεκριμένο παθογόνο για να εμφανιστεί αυτή η μη τυπική ασθένεια (James & Li, 2012).

Ένα χαρακτηριστικό όλων των βακτηριακών προσβολών του μεταξοσκώληκα είναι η ύπαρξη άσχημης μυρωδιάς στον χώρο του σηροτροφείου, ένα και πολύ διακριτό, σημάδι, ότι οι συνθήκες εκτροφής είναι κακές.

8.9 Ασθένειες του μεταξοσκώληκα που προκαλούνται από μύκητες

Οι ασθένειες που προκαλούνται από μύκητες οφείλονται σε εντομοπαθογόνους μύκητες, οι οποίοι ανήκουν σε μια μεγάλη κατηγορία μυκήτων που έχουν ως χαρακτηριστικό ότι παρασιτούν και σκοτώνουν έντομα. Η ομάδα αυτή των μυκήτων δεν είναι μονοφυλετική, αλλά διάφοροι μύκητες από διάφορες ταξινομικές ομάδες προσβάλλουν διάφορα έντομα. Επειδή δεν υπάρχει, στις περισσότερες περιπτώσεις, συγκεκριμένος ξενιστής για τον κάθε μύκητα, η προσβολή των προνυμφών του μεταξοσκώληκα δεν είναι εξειδικευμένη για ένα παθογόνο, αλλά το παθογόνο αυτό μπορεί να προσβάλει και άλλα είδη εντόμων. Πρόσφατα, έχει προσδιοριστεί η ομάδα μυκήτων με την ονομασία Entomophthorales (Boomsma et al., 2014; Elya & De Fine Licht, 2021), η οποία περιλαμβάνει πολλά από τα είδη που προσβάλλουν τον μεταξοσκώληκα. Η προσβολή των προνυμφών γίνεται πάντα από την επιδερμίδα, καθώς ακόμη και αν καταναλώσουν τα σπόρια του μύκητα, αυτά δεν προκαλούν ασθένεια, αλλά αποβάλλονται με τα κόπρανα (Ayuzawa, 1972).

8.9.1 Πράσινη μυκητίαση

Ταξινόμηση σύμφωνα με την NCBI (National Center for Biotechnology Information) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/taxonomy/):
Βασίλειο: *Fungi (Μύκητες)*
Κλάδος: *Ascomycota*
Ομοταξία: *Sordariomycetes*
Τάξη: *Hypocreales*
Οικογένεια: *Clavicipitaceae*
Γένος: *Metarhizium*
Είδος: *Metarhizium rileyi*

Το παθογόνο που προκαλεί αυτήν την ασθένεια ονομάζεται *Metarhizium rileyi* (S. Zhang et al., 2016) και είναι ένας εντομοπαθογόνος μύκητας που προσβάλλει τα Λεπιδόπτερα, αλλά δεν εμφανίζει εξειδίκευση στην προσβολή του στον μεταξοσκώληκα και μπορεί να προσβάλει και άλλα Λεπιδόπτερα, τα οποία μπορεί να είναι φορείς του παθογόνου (S. Zhang et al., 2016).

Σε ελαφριές περιπτώσεις προσβολής δεν υπάρχουν συγκεκριμένα συμπτώματα. Όταν όμως η προσβολή είναι σοβαρή, τότε οι προνύμφες δεν κινούνται, γίνονται ληθαργικές και εμφανίζουν περίεργες κηλίδες με διάφορα σχήματα που έχουν όμως διακριτή περιφέρεια σε αντίθεση με τη λευκή μυκητίαση που θα αναφερθεί παρακάτω (Ayuzawa, 1972).

Μετά τον θάνατο της προνύμφης, το σώμα της καλύπτεται από λευκά μυκήλια και κονιδιοφόρα και κατόπιν μετά από μερικές ημέρες το σώμα της προνύμφης καλύπτεται από πράσινα κονίδια. Τα κονίδια του μύκητα είναι σφαιρικά ή οβάλ, μεγέθους από 3,2-5,2 x 2 -3,2 μικρόμετρα. Στην κατάλληλη θερμοκρασία των 22-28 °C, το μυκήλιο εκτείνεται για 10 ώρες και στις 15-20 ώρες παράγει ένα σπόριο. Το μυκήλιο διακλαδίζεται και όταν διαπεράσει την επιδερμίδα και φτάσει στην αιμολέμφο, τότε δημιουργεί υφές που έχουν διαστάσεις 8-10 μικρόμετρα στον μεγάλο άξονά τους και 3-4 μικρόμετρα στο μικρό άξονά τους. Η διακλάδωση των υφών αυτού του μύκητα είναι σπειροειδής σε αντίθεση με αυτή της λευκής μυκητίασης που είναι ριζοειδής (Ayuzawa, 1972).

Το παθογόνο προσβάλλει την προνύμφη όταν το κονίδιο του μύκητα προσκολλάται στο σώμα της προνύμφης. Κατόπιν το κονίδιο αυξάνεται, μεγαλώνει για 15-20 ώρες και εισβάλλει στο σώμα της προνύμφης και αυτό το διάστημα είναι σχετικά πιο αργό σε σχέση με την προσβολή από τη λευκή μυκητίαση. Μια άλλη διαφορά με τη λευκή μυκητίαση είναι ότι η προσβολή από την πράσινη μυκητίαση είναι εύκολη στις προνύμφες των νεαρών ηλικιών, αλλά σχεδόν αδύνατη για τις προνύμφες των μεγάλων ηλικιών. Τα νέα κονίδια δημιουργούνται 5-15 ημέρες μετά τον θάνατο της προνύμφης (Ayuzawa, 1972).

Το συγκεκριμένο παθογόνο προσβάλλει πολλά άλλα άγρια έντομα στο φυσικό περιβάλλον (δείτε φωτογραφίες στη δημοσίευση των (L. Wang et al., 2021)), όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και αυτά τα είδη αποτελούν την πηγή προσβολής των προνυμφών του μεταξοσκώληκα από αυτό το παθογόνο.

8.9.2 Κίτρινη μυκητίαση

Ταξινόμηση σύμφωνα με την NCBI (National Center for Biotechnology Information) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/taxonomy/):
Βασίλειο: *Fungi (Μύκητες)*
Κλάδος: *Ascomycota*
Ομοταξία: *Sordariomycetes*
Τάξη: *Hypocreales*
Οικογένεια: *Clavicipitaceae*
Γένος: *Cordycipitaceae*
Είδος: *Cordyceps farinosa*

Το παθογόνο αίτιο της κίτρινης μυκητίασης είναι ο μύκητας *Cordyceps farinosa* (Kepler et al., 2017) που έχει κυρίως οβάλ κονίδια 2-3,7 x 1,5-3,5 μικρόμετρα σε μέγεθος. Όπως και στην πράσινη μυκητίαση, οι προσβεβλημένες προνύμφες χάνουν την όρεξή τους και δεν κινούνται και όταν πεθάνουν σε σύντομο χρονικό διάστημα το σώμα τους σκληραίνει και καλύπτεται από μυκήλια (Εικόνα 8.16). Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κίτρινης μυκητίασης είναι τα πολλά μικρά και μαύρα στίγματα στην επιδερμίδα στην αρχή της προσβολής, οι μεγάλες κηλίδες γύρω από τα στίγματα της προνύμφης, ενώ σε σοβαρές προσβολές μπορεί να έχουμε υδαρή κόπρανα και αποβολή πεπτικού υγρού από το στόμα της προνύμφης (Ayuzawa, 1972).

Εικόνα 8.16 *Τυπική προσβολή νεαρών προνυμφών από κίτρινη μυκητίαση. Παρατηρήστε την προσβολή και θανάτωση της νεαρής προνύμφης 2ης ηλικίας στα δεξιά σε σχέση με την υγιή προνύμφη αριστερά. Όπως και με όλους τους παθογόνους μύκητες του μεταξοσκώληκα, οι νεαρές προνύμφες είναι πιο ευάλωτες στις προσβολές από τις μεγαλύτερες προνύμφες (Πηγή: αρχείο του Συγγραφέα).*

Το κονίδιο, υπό κατάλληλες συνθήκες, γίνεται σφαιρικό και δημιουργεί δύο διεισδυτικούς σωληνίσκους. Το μυκήλιο, όταν εισέρχεται στο σώμα, έχει πολλές προεκβολές και παράγει κρυστάλλους οξαλικού ασβεστίου στην αιμολέμφο. Οι υφές του μύκητα διαχωρίζονται από το μυκήλιο και μεταφέρονται σε άλλα σημεία του σώματος, τα οποία διεισδύουν στην επιδερμίδα για να δώσουν μυκήλια που θα φέρουν κονιδιοφόρα. Τα κονιδιοφόρα συσσωματώνονται σε δομές που φέρουν πολλούς κλάδους πάνω στους οποίους μεγαλώνουν τα κονίδια. Τα κονίδια είναι σχετικά εύκολο να μολύνουν τις νεαρές προνύμφες, αλλά η προσβολή των μεγάλων προνυμφών είναι σχετικά αργή. Όταν όμως οι υφές του μύκητα εγκατασταθούν εσωτερικά στο σώμα, ο θάνατος της προνύμφης συμβαίνει γρήγορα (Ayuzawa, 1972).

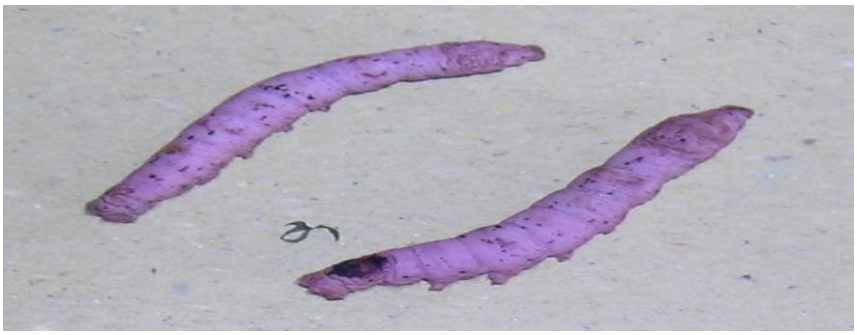
Ο παθογόνος μύκητας θεωρείται ότι προέρχεται από άγρια έντομα, τα οποία μπορεί να βρίσκονται στον μορεώνα, ενώ τα μέτρα πρόληψης ταυτίζονται με αυτά της πράσινης μυκητίασης και της λευκής μυκητίασης που αναφέρονται παρακάτω.

8.9.3 Μαύρη μυκητίαση

Ταξινόμηση σύμφωνα με την NCBI (National Center for Biotechnology Information) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/taxonomy/):
Βασίλειο: *Fungi (Μύκητες)*
Κλάδος: *Ascomycota*
Ομοταξία: *Sordariomycetes*
Τάξη: *Hypocreales*
Οικογένεια: *Clavicipitaceae*
Γένος: *Metarhizium*
Είδος: *Mattarhiziom anisopliae*

Το παθογόνο είναι ο μύκητας *Mattarhiziom anisopliae* που έχει οβάλ και σχετικά επιμήκη κονίδια με μέγεθος 2,5-5 x 2,5-3,5 μικρόμετρα. Η εμφάνιση αυτής της ασθένειας και ο τρόπος εξάπλωσής της στην προνύμφη δεν διαφέρει από τις άλλες μυκητιάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο συγκεκριμένος μύκητας παράγει μια τοξίνη που επηρεάζει, μεταξύ άλλων, και την ανοσολογική απόκριση των προνυμφών (J. Wang et al., 2021).

Η πορεία της ασθένειας είναι παρόμοια με αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω για τους άλλους παθογόνους μύκητες. Οι κηλίδες της προσβολής στο σώμα της προνύμφης είναι μεγάλες και υδαρείς και η περιφέρεια αυτών των κηλίδων δεν είναι διακριτή, αλλά είναι μαυριδερή. Μετά τον θάνατο της προνύμφης, το σώμα παίρνει μια κοκκινωπή όψη (Εικόνα 8.17) και, καθώς τα κονιδιοφόρα μεγαλώνουν στην επιφάνεια του σώματος, το σώμα έχει λευκή όψη που γίνεται πράσινη όταν τα κονίδια αρχίσουν να σχηματίζονται και μετά το χρώμα του σώματος της προνύμφης γίνεται σκούρο πράσινο και κατόπιν μαύρο (Ayuzawa, 1972). Σε παλαιότερα βιβλία σηροτροφίας από την Ευρώπη, αυτή η ασθένεια καλείται «πράσινη μυκητίαση».



Εικόνα 8.17 *Προσβολή προνυμφών από τον μύκητα Mattarhiziom anisopliae. Παρατηρήστε τη χαρακτηριστική κοκκινωπή εμφάνιση του σώματος αμέσως μετά τον θάνατο των προνυμφών και τη μεγάλη μαύρη κηλίδα στην κοιλιακή περιοχή στην προνύμφη στα δεξιά (Πηγή: S. Cappellozza και A. Saviane, Ιταλικό Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία. Άδεια προς δημοσίευση).*

8.9.4 Λευκή μυκητίαση

Ταξινόμηση σύμφωνα με την NCBI (National Center for Biotechnology Information) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/taxonomy/):
Βασίλειο: *Fungi (Μύκητες)*
Κλάδος: *Ascomycota*
Ομοταξία: *Sordariomycetes*
Τάξη: *Hypocreales*
Οικογένεια: *Clavicipitaceae*
Γένος: *Cordycipitaceae*
Είδος: *Beauveria bassiana*

Το παθογόνο αίτιο είναι ο μύκητας *Beauveria bassiana* και προσβάλλει τις προνύμφες αποκλειστικά μέσω της επίδερμίδας ή μέσω πληγών στην επιδερμίδα. Η λευκή μυκητίαση είναι η πλέον διαδεδομένη μορφή μυκητίασης (Xiao et al., 2012) στις εκτροφές και προσβάλλει τους μεταξοσκώληκες όταν οι συνθήκες είναι αντίξοες, όπως υψηλή υγρασία για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, χαμηλές θερμοκρασίες και έλλειψη αερισμού. Το παθογόνο επιβιώνει στο χώμα και, όπως και όλοι οι άλλοι μύκητες που αναφέρθηκαν παραπάνω, προσβάλλει έναν μεγάλο αριθμό άλλων εντόμων, τα οποία λειτουργούν ως φορείς του μύκητα (Xiao et al., 2012).

Η προσβολή προκαλείται από νεκρές προνύμφες ή άλλα νεκρά έντομα στα φύλλα που τρώνε οι μεταξοσκώληκες, από αναλώσιμα υλικά που είναι μολυσμένα από τα σπόρια του μύκητα και δεν έχουν απολυμανθεί, αλλά η κύρια αιτία προσβολής είναι τα φύλλα της μουριάς που μπορεί να φέρουν τα σπόρια του μύκητα. Το παθογόνο είναι ιδιαίτερα μολυσματικό μέσω του αέρα μέσα στον χώρο εκτροφής (Ayuzawa, 1972).

Εικόνα 8.18 *Προσβολή και νέκρωση προνυμφών από λευκή μυκητίαση. Στην εικόνα αριστερά φαίνονται τα ακριβή σημεία της προσβολής από το παθογόνο πάνω στο σώμα της προνύμφης (κόκκινα βέλη) σε σχέση με τον μάρτυρα (Control). Στη μεσαία εικόνα φαίνεται η εξάπλωση της προσβολής και σε άλλα σημεία του σώματος της προνύμφης (κόκκινα βέλη). Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η κάλυψη του σώματος της νεκρής προνύμφης από το λευκό επίχρισμα, χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης προσβολής (Πηγή: (Lü et al., 2017), CC-BY άδεια).*

Υπάρχουν τρία αναπτυξιακά στάδια αυτού του μύκητα: Το στάδιο του κονίδιου, το στάδιο του εγκατεστημένου μυκήλιου και το στάδιο του αερομεταφερόμενου μυκήλιου. Το κονίδιο είναι άχρωμο με σχήμα κυλινδρικό ή οβάλ και έχει χρώμα λευκής πορσελάνης όταν είναι σε πυκνή διάταξη. Το κονίδιο αναπτύσσεται σε 8-10 ώρες μετά την επαφή του με το δέρμα της προνύμφης (Εικόνα 8.18). Κατά την ανάπτυξή του, το κονίδιο διαπερνά την επιδερμίδα της προνύμφης εκκρίνοντας το ένζυμο χιτινάση, που διασπά το τοίχωμα της χιτίνης στην επιδερμίδα της προνύμφης. Εφόσον διαπεράσει την επιδερμίδα της προνύμφης και εισέλθει στην αιμολέμφο, το κονίδιο μετατρέπεται σε υφή, η οποία διακλαδίζεται και αποκόπτεται για να δημιουργηθούν νέες υφές. Οι υφές στη συνέχεια διαπερνούν την επιδερμίδα και δημιουργούν υφές στην εξωτερική επιφάνεια της επιδερμίδας, όπου δημιουργούνται κονιδιοφόρια και κάθε ένα από αυτά φέρει ένα ή δύο κονίδια σε μικρούς κλάδους των κονιδιοφόριων (Ayuzawa, 1972).

Τα αρχικά συμπτώματα δεν είναι εμφανή, αλλά, καθώς η προσβολή επεκτείνεται, υδαρείς κηλίδες εμφανίζονται στην επιδερμίδα της προνύμφης. (Εικόνα 8.19). Σε αυτό το στάδιο, η προνύμφη σταματά να τρέφεται και εμφανίζεται αδρανής. Το σώμα εμφανίζεται χαλαρό και ανελαστικό, η προνύμφη δεν κινείται και τελικά πεθαίνει με συμπτώματα που συνοδεύονται συχνά από υδαρή κόπρανα ή αποβολή πεπτικού υγρού από το στόμα. Μετά τον θάνατο, το σώμα της προνύμφης σκληραίνει σε 6-8 ώρες και γίνεται ροζ σε χρωματισμό όταν υπάρχει ταυτόχρονη προσβολή από το βακτήριο *Serratia marcescens*. Μετά από 1-2 ημέρες, υφές εμφανίζονται και καλύπτουν το σώμα της προνύμφης εκτός από την κεφαλή. Το σώμα της προνύμφης δεν αποσυντίθεται, αλλά παραμένει σκληρό, καθώς ο μύκητας εναποθέτει άλατα οξαλικού μαγνησίου και αμμωνίου που στερεοποιούν το σώμα (Lü et al., 2017).

Εικόνα 8.19 *Προσβολή προνυμφών από τον μύκητα Beauveria bassiana (Πηγή: S. Cappellozza και A. Saviane, Ιταλικό Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία. Άδεια προς δημοσίευση).*

Το συγκεκριμένο παθογόνο μπορεί να προσβάλει και το στάδιο της νύμφης (Εικόνα 8.20), αλλά και τη νυχτοπεταλούδα, δημιουργώντας συρρίκνωση του σώματος ή πτώση των πτερύγων της νυχτοπεταλούδας.

Εικόνα 8.20 *Εξέλιξη της προσβολής των νυμφών του μεταξοσκώληκα από λευκή μυκητίαση (Πηγή: (Lim et al., 2014), CC-BY άδεια).*

Και στην περίπτωση αυτής της προσβολής, δεν υπάρχουν μέτρα αποτροπής ή θεραπείας από την προσβολή, παρά μόνο μέτρα πρόληψης. Η απολύμανση με 3% διάλυμα φορμαλδεΰδης, η αποφυγή αποκλίσεων από τη βέλτιστη θερμοκρασία και υγρασία, η διατήρηση της ξηρασίας στη στρωμνή κατά τις εκδύσεις, αλλά και η απομάκρυνση και το κάψιμο των νεκρών προνυμφών είναι οι μόνες λύσεις.

Έχουν προταθεί διάφορα αντιμυκητιακά σκευάσματα για χρήση σε περίπτωση προσβολής, αλλά η χρήση τους θα πρέπει να αποφεύγεται, καθώς δεν είναι προληπτικά της εκδήλωσης της προσβολής και το κόστος τους ίσως δεν αντιστοιχεί με την αναγκαιότητα χρήσης τους.

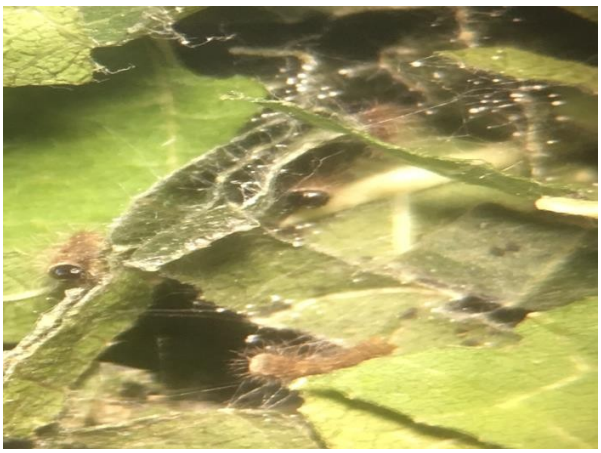
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι προσβολές από μύκητες σε εκτροφές της χώρας μας είναι ιδιαίτερα περιορισμένες λόγω των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο, όπου είναι δυνατή η εκτροφή του μεταξοσκώληκα. Οι εκτενείς αναφορές που γίνονται σε εγχειρίδια σηροτροφίας που προέρχονται από την Ινδία, την Κίνα και την Ιαπωνία σχετικά με τις προσβολές των προνυμφών από μύκητες λαμβάνουν υπόψη το γεγονός ότι υπάρχουν μεγάλες περίοδοι μέσα στους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η βροχόπτωση είναι αρκετά συχνή και αυτές οι περίοδοι ονομάζονται περίοδοι βροχών ή περίοδοι μουσώνων ή περίοδοι τροπικών καταιγίδων. Έτσι, είναι λογικό σε εγχειρίδια σηροτροφίας που προέρχονται από αυτές τις χώρες να δίνεται μεγάλη σημασία στις προσβολές από μύκητες, καθώς οι μυκητιάσεις του μεταξοσκώληκα προκύπτουν όταν έχουμε συνεχή υψηλή υγρασία στους χώρους εκτροφής και στο περιβάλλον. Στην Ελλάδα, οι κλιματικές συνθήκες είναι τελείως διαφορετικές από αυτές τις χώρες κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, γιατί έχουμε χαμηλή υγρασία και κυρίως απουσία βροχών. Έτσι, οι προσβολές από μύκητες είναι σημαντικά μειωμένες και είναι προφανές ότι δεν μπορεί να είναι ενδημικές λόγω των κλιματικών συνθηκών.

Εδώ υπάρχει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που αφορά την περιοχή του Σουφλίου, όπου συνεχίζουν να υπάρχουν εκτροφές μεταξοσκώληκα. Πριν από έναν αιώνα, στην περιοχή του Σουφλίου και στις πεδινές εκτάσεις ήταν συχνά τα πλημμυρικά φαινόμενα λόγω υπερχείλισης του ποταμού Έβρου. Σε εγχειρίδια σηροτροφίας από εκείνη την εποχή (Σταυριανός, 1893) υπάρχουν αναφορές για τη λευκή μυκητίαση και μάλιστα ιδιαίτερα αναλυτικές. Όμως, εγγειοβελτιωτικά έργα και έργα αποστράγγισης των υδάτων σε συνδυασμό με τη δημιουργία αναχωμάτων οδήγησαν σε σημαντικό περιορισμό των πλημμυρικών φαινομένων και σε σημαντική μείωση των προσβολών από τη λευκή μυκητίαση, καθώς είναι πλέον πολύ σπάνια η εμφάνισή της. Από το παράδειγμα αυτό φαίνεται ότι είναι η διαχείριση του περιβάλλοντος που παίζει σημαντικό ρόλο στην εξάλειψη ασθενειών στις εκτροφές μεταξοσκωλήκων. Μια άλλη διαπίστωση είναι ότι η αναφορά σε ασθένειες του μεταξοσκώληκα θα πρέπει πάντα να γίνεται με γνώμονα τη γνώση των συνθηκών εκτροφής σε κάθε χώρα.

8.9.5 Ασπεργίλλωση

Ταξινόμηση σύμφωνα με την NCBI (National Center for Biotechnology Information) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/guide/taxonomy/):
Βασίλειο: *Fungi (Μύκητες)*
Κλάδος: *Ascomycota*
Ομοταξία: *Eurotiomycetes*
Τάξη: *Eurotiales*
Οικογένεια: *Aspergillaceae*
Γένος: *Aspergillus*
Είδος: *A. flavus, A. ochraceus, A. oryzae*

Η Ασπεργίλλωση προκαλείται από διάφορα είδη του Γένους Aspergillus. Η παθογένεια είναι σοβαρότερη στις νεαρές ηλικίες και όχι στις μεγάλες ηλικίες.



Εικόνα 8.21 *Αρχικά στάδια προσβολής των νεαρών προνυμφών από Ασπεργίλλωση. Παρατηρήστε τα λευκά κονίδια που εξαπλώνονται σε όλη την επιφάνεια της στρωμνής έχοντας αρχίσει να έρχονται σε επαφή με τις νεαρές προνύμφες 1ης ηλικίας (Πηγή: αρχείο του Συγγραφέα).*

Όταν οι νεαρές προνύμφες προσβληθούν από αυτά τα παθογόνα (Εικόνα 8.21), το σώμα τους γίνεται σκληρό και γυαλιστερό και πεθαίνουν γρήγορα (Kumar et al., 2004; Matsumoto & Sekimizu, 2019; Yu et al., 2021). Κατόπιν μυκήλια αναπτύσσονται στο νεκρό σώμα και τα κονίδια έχουν χρώμα που διαφέρει ανά το είδος του παθογόνου. Ο κύκλος της μόλυνσης από το παθογόνο είναι ο ίδιος με τις άλλες μυκητιάσεις με τη διαφορά ότι τα μυκήλια αναπτύσσονται στο σημείο της προσβολής και το υπόλοιπο σώμα υφίσταται σήψη από βακτήρια του πεπτικού σωλήνα. Αυτό συμβαίνει σε μεγαλύτερες προνύμφες, ενώ οι πολύ μικρές προνύμφες καλύπτονται πλήρως από μυκήλια λόγω της σχέσης του μικρού σώματος με τον μεγάλο αριθμό μυκηλίων που το προσβάλλει (Ayuzawa, 1972). Το χαρακτηριστικό αυτών των μυκήτων είναι ότι εντοπίζονται και στους ανθρώπους και είναι πολύ κοινοί. Ένα άλλο κοινό τους χαρακτηριστικό είναι ότι δεν δημιουργούν υφές στο εσωτερικό του σώματος της προνύμφης όταν έρχονται σε επαφή με την αιμολέμφο (Ayuzawa, 1972).

Τα μέτρα προστασίας από την προσβολή και εδώ είναι προληπτικά, γιατί σε καμία από τις προσβολές από μύκητες δεν μπορούμε να εμποδίσουμε την εμφάνιση των μυκηλίων όταν αυτή η διαδικασία έχει ξεκινήσει. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι η μείωση της υγρασίας στο δωμάτιο της εκτροφής που έχει μεγάλη σημασία, καθώς τα μυκήλια δεν μπορούν να αναπτυχθούν σε υγρασία κάτω από 75%. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται κλιματισμός για τη θέρμανση των σηροτροφείων είναι σωστή πρακτική να έχουμε τοποθετήσει φίλτρα στα κλιματιστικά που θα συγκρατούν τα κονίδια του μύκητα (Ayuzawa, 1972).

8.10 Παράσιτα του μεταξοσκώληκα

Υπάρχουν πολλές βιβλιογραφικές αναφορές για είδη Διπτέρων που είναι παρασιτοειδή και χρησιμοποιούν ως ξενιστές τον μεταξοσκώληκα, αλλά και πολλά άλλα Λεπτιδόπτερα. Ως παρασιτοειδή καλούνται οι ζωικοί οργανισμοί που χρησιμοποιούν τον ξενιστή τους για να περάσουν ένα μέρος του κύκλου ζωής τους μέσα σε αυτόν εξερχόμενα από τον ξενιστή τους σε άλλα στάδια του κύκλου ζωής τους, αφού προκαλέσουν ή όχι τον θάνατο του ξενιστή τους.

Πέρα από τις παρασιτοειδείς μύγες της Οικογένειας Tachinidae, υπάρχει μια γκάμα από άλλα έντομα ή ακάρεα που χρησιμοποιούν τον μεταξοσκώληκα λειτουργώντας ως παρασιτοειδή. Σε αυτήν την κατηγορία δεν θα πρέπει να συνυπολογίζουμε τα έντομα που τρέφονται με κουκούλια και τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των παρασίτων αποθηκευμένων προϊόντων. Έτσι, τα παράσιτα που θα αναφερθούν παρακάτω είναι παράσιτα των προνυμφών του μεταξοσκώληκα. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών, τα παράσιτα που θα αναφερθούν παρακάτω δεν εμφανίζονται στην Ελλάδα και είναι ενδημικά της Νότιας και Νοτιοανατολικής Ασίας και επίσης δεν είναι παράσιτα αποκλειστικά του μεταξοσκώληκα, αλλά ο μεταξοσκώληκας αποτελεί ευκαιριακό ξενιστή για αυτά. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η οικονομική ζημιά που προκαλούν στις εκτροφές δεν είναι σημαντική, ούτε μπορεί να λάβει πανδημικές διαστάσεις, γιατί καθώς έχουν μεγάλο μέγεθος σώματος, γίνονται εύκολα αντιληπτά και η προσβολή από αυτά μπορεί εύκολα να προληφθεί, παραδείγματος χάριν με τη χρήση αντικουνουπικών σκιάστρων στα παράθυρα του σηροτροφείου ή με χρήση εντομοπαγίδων.

Παρακάτω θα γίνει αναφορά στα είδη της Οικογένειας Tachinidae, σε Κολεόπερα της Οικογένειας Dermestidae και σε μερικά άλλα είδη.

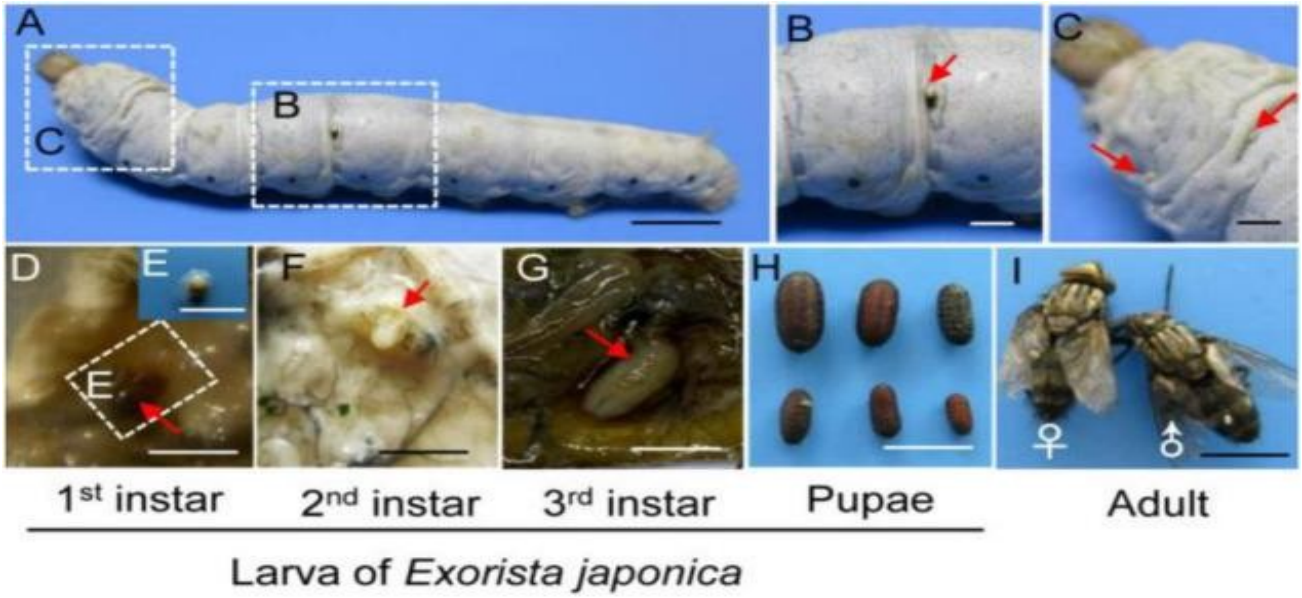
8.10.1 Παρασιτισμός από μύγες της Οικογένειας Tachinidae (Diptera)

Το είδος *Blepharipa zebina* παρασιτεί στον μεταξοσκώληκα μετά την κατανάλωση από την προνύμφη των αυγών που αφήνει η θηλυκή μύγα πάνω σε φύλλα μουριάς (James & Li, 2012; Rath & Sinha, 2005).

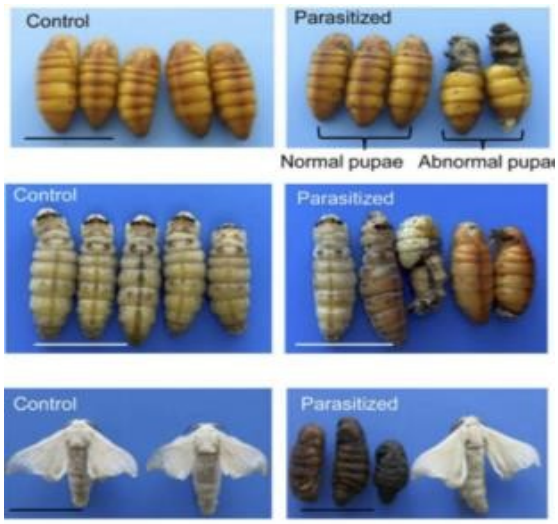
Τα αυγά που είναι κολλημένα πάνω στα φύλλα δεν μπορούν να καταναλωθούν από τις μικρές προνύμφες και πεθαίνουν χωρίς να εκκολαφθούν, αλλά καταναλώνονται από τις μεγάλες προνύμφες. Όταν εισέρχεται στον πεπτικό σωλήνα της προνύμφης, το αυγό του παρασίτου εκκολάπτεται σε 10 λεπτά και η νεαρή προνύμφη διαπερνά τον πεπτικό σωλήνα σε 1 ώρα και εισέρχεται στην αιμολέμφο και εγκαθίσταται μέσα στο σώμα της προνύμφης του μεταξοσκώληκα γύρω από τα στίγματα του σώματος. Στο σημείο αυτό συνεχίζει να μεγαλώνει τρεφόμενη από την αιμολέμφο του ξενιστή της και δραπετεύει ως ώριμη προνύμφη από το σώμα του ξενιστή της 10 ημέρες μετά την πλοκή κουκουλιού από τον μεταξοσκώληκα. Η ώριμη προνύμφη τρυπά το κουκούλι, σέρνεται προσπαθώντας να βρει έδαφος στο οποίο εισέρχεται μέσα και διαχειμάζει ως νύμφη. Η νύμφη μεταμορφώνεται σε ενήλικο άτομο τον Απρίλιο, βγαίνει από το έδαφος και, τρεφόμενη με εκκρίσεις αφίδων στα φύλλα της μουριάς και αφήνει τα αυγά της μετά το ζευγάρωμα στα φύλλα της μουριάς. Εάν τα φύλλα συλλεχθούν και ταϊστούν στους μεταξοσκώληκες, ο κύκλος ζωής του παρασίτου αρχίζει ξανά (Ayuzawa, 1972; James & Li, 2012).

Το συγγενικό, με το παραπάνω παρασιτοειδές, είδος, *Ctenophorocera pavida*, έχει και αυτό παρόμοιο κύκλο ζωής με το είδος *Blepharipa zebina,* αλλά στο *Ctenophorocera pavida* η προσβολή από την προνύμφη του παρασιτοειδούς είναι εμφανής λόγω της εμφάνισης μαύρων κηλίδων 1-2 χιλιοστών διαμέτρου στο σώμα του ξενιστή που μπορεί να είναι αρκετές ανάλογα με τον αριθμό των παρασιτοειδών. Η διάρκεια παρασιτισμού της προνύμφης του μεταξοσκώληκα είναι περίπου 10 ημέρες από την εκκόλαψη του αυγού (Ayuzawa, 1972; James & Li, 2012).

Δύο άλλα παρασιτοειδή της ίδιας Οικογένειας είναι το *Exorista bombycis,* αλλά και το συγγενικό είδος *Exorista sorbillans* (γνωστό με την κοινή του ονομασία το πρώτο ως Indian uzi fly και το δεύτερο ως uzi fly) (Dai et al., 2022; Dindo & Nakamura, 2018; Makwana et al., 2017; Shao et al., 2012; Yamawaki et al., 2002). Τα δύο αυτά είδη ανήκουν στο Γένος Exorista μαζί με πολλά άλλα παρασιτοειδή. Τα είδη αυτά διαφέρουν από τα παραπάνω αναφερθέντα παρασιτοειδή, γιατί το ενήλικο θηλυκό αφήνει τα αυγά του απευθείας πάνω στο σώμα των μεγάλων προνυμφών του μεταξοσκώληκα. Τα αυγά του παρασίτου εκκολάπτονται άμεσα και οι προνύμφες του παρασιτοειδούς, τρυπώντας την επιδερμίδα του ξενιστή τους, εισέρχονται και ζουν μέσα στη σωματική κοιλότητα της προνύμφης.



Εικόνα 8.22 *Παρασιτισμός της προνύμφης του μεταξοσκώληκα από το είδος Exorista japonica της Οικογένειας Tachinidae των Διπτέρων. Instar: Ηλικία προνύμφης του παρασίτου, Pupae: Νύμφη, Adult: Ενήλικο άτομο, Larva:Προνύμφη (Πηγή: (Dai et al., 2022), CC-BY άδεια).*



Εικόνα 8.23 *Παρασιτισμός της προνύμφης του μεταξοσκώληκα από το είδος Exorista japonica της Οικογένειας Tachinidae των Διπτέρων. Control: Μάρτυρας, Normal Pupae: Φυσιολογική νύμφη, Parasitized Pupae: Παρασιτιζόμενη νύμφη, Parasitized: Παρασιτιζόμενη (Πηγή: (Dai et al., 2022), CC-BY άδεια).*

Η είσοδος της νεαρής προνύμφης του παρασιτοειδούς συνοδεύεται από τη δημιουργία πληγής στην επιδερμίδα της προνύμφης του μεταξοσκώληκα (Εικόνα 8.22), η οποία επουλώνεται, αλλά είναι μεγάλη και ιδιαίτερα εμφανής. Η προνύμφη του παρασιτοειδούς, όταν ωριμάσει και είναι έτοιμη να μεταμορφωθεί σε νύμφη, εξέρχεται από την προνύμφη του μεταξοσκώληκα, σκοτώνοντάς την μέσω του τραύματος που της προκαλεί και ψάχνει ένα σκιερό μέρος στο σηροτροφείο κοντά στο χώμα για να μεταμορφωθεί σε νύμφη, η οποία σε σύντομο διάστημα μεταμορφώνεται σε ενήλικο άτομο, το οποίο μετά τη σύζευξη αφήνει τα αυγά του πάνω στο σώμα των προνυμφών του μεταξοσκώληκα για να ξεκινήσει άλλος ένας κύκλος ζωής (Dai et al., 2022). Όταν η προνύμφη του μεταξοσκώληκα προλάβει να πλέξει κουκούλι, τότε η ώριμη προνύμφη του παρασιτοειδούς σκοτώνει τη νύμφη (Εικόνα 8.23) και τρυπά το κουκούλι για να εξέλθει και κατά συνέπεια το καταστρέφει (Dai et al., 2022). Το είδος *Exorista bombycis* έχει γεωγραφική εξάπλωση σε όλη τη Νότια και Ανατολική Ασία, ενώ το είδος *Blepharipa zebina* εντοπίζεται αποκλειστικά στην Ιαπωνία.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτά τα είδη παρασιτοειδών, αλλά και τα παρασιτοειδή γενικότερα, έχουν μεγάλη βιολογική αξία ως φυσικοί εχθροί εντόμων που προσβάλλουν καλλιεργούμενα φυτά και για τον λόγο

αυτόν είναι σημαντική η έρευνα που γίνεται για τη χρήση τους στη βιολογική καταπολέμηση εντόμων που παρασιτούν σε καλλιεργούμενα φυτά (James & Li, 2012).

Το μέγεθος της προσβολής που προκαλούν στις εκτροφές του μεταξοσκώληκα μπορεί εύκολα να περιοριστεί αν οι εκτροφές του μεταξοσκώληκα γίνονται μέσα σε κτίσματα με καλή μόνωση και με αντικουνουπικά σκίαστρα στα παράθυρα, ενώ για την καταστροφή των αυγών των παρασίτων στα φύλλα έχει προταθεί η εμβάπτιση των φύλλων της μουριάς σε ζεστό νερό 50 ºC για 5 λεπτά, μια πρακτική που σκοτώνει τα αυγά του παρασιτοειδούς στα φύλλα (Ayuzawa, 1972).

Ένα άλλο είδος παρασίτου είναι το άκαρι, *Pediculoides* (=*Pyemotes*) *ventricosus* (James & Li, 2012), το οποίο συμπεριφέρεται ως εξωπαράσιτο του μεταξοσκώληκα, καθώς το θηλυκό άκαρι, μετά το ζευγάρωμά του, προσκολλάται στην εξωτερική επιφάνεια της προνύμφης στην επιδερμίδα ανάμεσα στα μεταμερή και εκεί συγκρατείται τρεφόμενη από την αιμολέμφο της προνύμφης του μεταξοσκώληκα καθώς κυοφορεί τα αυγά της. Το άκαρι τελικά σκοτώνει την προνύμφη. Αυτό το εξωπαράσιτο, ωστόσο, δεν είναι αποκλειστικό εξωπαράσιτο του μεταξοσκώληκα, καθώς παρασιτεί σε πλήθος από άλλα άγρια έντομα (Ayuzawa, 1972).

8.10.2 Παρασιτισμός από Κολεόπερα της Οικογένειας Dermestidae

Τα είδη *Dermestes ater* και *Anthrenus verbasci* είναι παράσιτα των αποθηκευμένων κουκουλιών και οι προνύμφες των ειδών αυτών προσελκύονται από τη μυρωδιά των κουκουλιών (Ayuzawa, 1972). Η προνύμφη τρυπά το κουκούλι (Εικόνα 8.24) για να τραφεί με την αποξηραμένη προνύμφη και έτσι καταστρέφει το κουκούλι, ενώ το ενήλικο άτομο προτιμά να αφήνει τα αυγά του πάνω στα κουκούλια. Το ενήλικο του δεύτερου είδους αφήνει τα αυγά του πάνω σε φυτικές ύλες και η προνύμφη του παρασίτου τρέφεται με τα κουκούλια του μεταξοσκώληκα τα οποία και καταστρέφει (Ayuzawa, 1972; Veer et al., 1996). Μια ιδιαίτερη εκτενής αναφορά σε πολλά άλλα είδη εντόμων που τρέφονται με κουκούλια ή μετάξι είναι αυτή των Vijay Veer *et al* (Veer et al., 1996), όπου ο αναγνώστης μπορεί να βρει πολλές λεπτομέρειες και για άλλα είδη που τρέφονται με κουκούλια και μετάξι ως αποθηκευμένα προϊόντα.

Εικόνα 8.24 *Προσβολή κουκουλιών από είδος Κολεόπτερου της Οικογένειας Dermestidae. Η χαρακτηριστική οπή στο κουκούλι είναι σημάδι αρχικής προσβολής και κατανάλωσης του κελύφους και της νύμφης από το Κολεόπτερο, ενώ σε προχωρημένη προσβολή μεγάλο τμήμα του κελύφους καταναλώνεται από το Κολεόπτερο. Παρά την ύπαρξη μιας οπής στο συγκεκριμένο κουκούλι, αυτό καθίσταται μη αναπηνίσιμο (Πηγή: αρχείο του Συγγραφέα).*

8.11 Δηλητηριάσεις του μεταξοσκώληκα από χημικές ενώσεις

Ο μεταξοσκώληκας, ως έντομο, είναι ευαίσθητος σε δηλητηριάσεις από εντομοκτόνα, αλλά και άλλες χημικές ενώσεις που μπορεί να βρίσκονται στα φύλλα, όπως μυκητοκτόνα και άλλα παρασιτοκτόνα. Οι δηλητηριάσεις από εντομοκτόνα είναι συχνά οι πλέον σοβαρές και ύπουλες προσβολές που οδηγούν σε μαζικό αφανισμό των εκτροφών, όταν ο μορεώνας από τον οποίο μαζεύουμε φύλλα βρίσκεται κοντά σε άλλους οπωρώνες ή εκτάσεις με καλλιεργούμενα φυτά στις οποίες εφαρμόζονται εντομοκτόνα. Κατά γενικό κανόνα, δεν εγκαθιστούμε ποτέ έναν μορεώνα σε μια περιοχή με εντατικές καλλιέργειες στις οποίες γίνεται χρήση εντομοκτόνων. Ένας δεύτερος κανόνας είναι ότι δεν συλλέγουμε φύλλα από μουριές, οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε πιθανούς ψεκασμούς από εντομοκτόνα, όπως, για παράδειγμα, αυλές κατοικιών, όπου πιθανά εφαρμόζεται απεντόμωση. Πρέπει, γενικά, να είμαστε επιφυλακτικοί στη χορήγηση φύλλων από μεμονωμένες μουριές, για τις οποίες δεν γνωρίζουμε την ποιότητα των φύλλων που θα συλλέξουμε (James & Li, 2012).

Σε κάθε περίπτωση, η δηλητηρίαση των μεταξοσκωλήκων από εντομοκτόνα οδηγεί στη θανάτωση των προνυμφών σε μερικά λεπτά ή ώρες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά την έκκριση στομαχικών υγρών από το στόμα, αναδίπλωση του σώματος, εμφάνιση σπασμών και άτακτων κινήσεων, εκβολή του ορθού από την έδρα (Εικόνα 8.25) και τελικά τον θάνατο με ή χωρίς αποχρωματισμό του εξωσκελετού. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της δηλητηρίασης από εντομοκτόνα, ιδιαίτερα όταν δεν είναι όλα τα φύλλα μολυσμένα, είναι η εμφάνιση μεμονωμένων περιοχών (Εικόνα 8.26) με νεκρές προνύμφες πάνω στο κρεβάτι εκτροφής. Η δηλητηρίαση με εντομοκτόνα είναι μη αναστρέψιμη και οι νεκρές προνύμφες πρέπει να απορρίπτονται, ενώ αυτές που είναι ζωντανές πρέπει να ταΐζονται με ποιοτικά φύλλα για να ανακάμψουν. Γενικότερα όμως, οι προνύμφες που θα ανακάμψουν από τη δηλητηρίαση θα έχουν καθυστερημένη ανάπτυξη. Πέρα από τη δηλητηρίαση από εντομοκτόνα, οι προνύμφες μπορεί να δηλητηριαστούν και από βαριά μέταλλα ή ρύπους, αλλά αυτή η δηλητηρίαση είναι ιδιαίτερα σπάνια και απαιτεί τη χορήγηση φύλλων, τα οποία είναι πάρα πολύ κακής ποιότητας και από περιοχές με έντονη εκβιομηχάνιση (James & Li, 2012).

Εικόνα 8.25 *Δηλητηρίαση προνυμφών 5ης ηλικίας από εντομοκτόνα. Παρατηρήστε τις διάσπαρτες νεκρές προνύμφες ανάμεσα στις υγιείς προνύμφες και τη χαρακτηριστική συρρίκνωση του σώματος των νεκρών προνυμφών (Πηγή: αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 8.26 *Δηλητηρίαση προνυμφών 5ης ηλικίας. Συχνά η δηλητηρίαση μπορεί να είναι μεμονωμένη και όχι εκτεταμένη όπως στην Εικόνα 25 (Πηγή: S. Cappellozza και A. Saviane, Ιταλικό Ινστιτούτο Σηροτροφίας, Πάδοβα, Ιταλία. Άδεια προς δημοσίευση).*

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Arella, M., Lavallée, C., Belloncik, S., & Furuichi, Y. (1988). Molecular cloning and characterization of cytoplasmic polyhedrosis virus polyhedrin and a viable deletion mutant gene. *J Virol*, *62*(1), 211-217. https://doi.org/10.1128/jvi.62.1.211-217.1988

Aruga, H. (1994). *Principles of Sericulture*. Taylor & Francis. https://books.google.gr/books?id=qYZds1N0Q-YC

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., Tokoro Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Baxter, S. W., Badenes-Pérez, F. R., Morrison, A., Vogel, H., Crickmore, N., Kain, W., Wang, P., Heckel, D. G., & Jiggins, C. D. (2011). Parallel evolution of Bacillus thuringiensis toxin resistance in lepidoptera. *Genetics*, *189*(2), 675-679. https://doi.org/10.1534/genetics.111.130971

Blissard, G. W., & Theilmann, D. A. (2018). Baculovirus Entry and Egress from Insect Cells. *Annu Rev Virol*, *5*(1), 113-139. https://doi.org/10.1146/annurev-virology-092917-043356

Boomsma, J. J., Jensen, A. B., Meyling, N. V., & Eilenberg, J. (2014). Evolutionary interaction networks of insect pathogenic fungi. *Annu Rev Entomol*, *59*, 467-485. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-162054

Cao, G., Meng, X., Xue, R., Zhu, Y., Zhang, X., Pan, Z., Zheng, X., & Gong, C. (2012). Characterization of the complete genome segments from BmCPV-SZ, a novel Bombyx mori cypovirus 1 isolate. *Can J Microbiol*, *58*(7), 872-883. https://doi.org/10.1139/w2012-064

Cappellozza, S., Saviane, A., Tettamanti, G., Squadrin, M., Vendramin, E., Paolucci, P., Franzetti, E., & Squartini, A. (2011). Identification of Enterococcus mundtii as a pathogenic agent involved in the "flacherie" disease in Bombyx mori L. larvae reared on artificial diet. *Journal of Invertebrate Pathology*, *106*(3), 386-393. https://doi.org/10.1016/j.jip.2010.12.007

Dai, M. L., Ye, W. T., Jiang, X. J., Feng, P., Zhu, Q. Y., Sun, H. N., Li, F. C., Wei, J., & Li, B. (2022). Effect of Tachinid Parasitoid Exorista japonica on the Larval Development and Pupation of the Host Silkworm Bombyx mori. *Frontiers in physiology*, *13*, 824203. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.824203

Dindo, M. L., & Nakamura, S. (2018). Oviposition Strategies of Tachinid Parasitoids: Two Exorista Species as Case Studies. *Int J Insect Sci*, *10*, 1179543318757491. https://doi.org/10.1177/1179543318757491

Elya, C., & De Fine Licht, H. H. (2021). The genus Entomophthora: bringing the insect destroyers into the twenty-first century. *IMA Fungus*, *12*(1), 34. https://doi.org/10.1186/s43008-021-00084-w

Ge, Q., Cao, W., Zhu, F., Yuan, Y., Chen, L., Xu, J., Li, J., Chen, H., Ma, S., Sun, L., Pan, H., Taha, R. H., Yao, Q., & Chen, K. (2021). Genomics and proteomics combined analysis revealed the toxicity response of silkworm Bombyx mori to the environmental pathogen Bacillus cereus ZJ-4. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *222*, 112467. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112467

Geisler, C., & Jarvis, D. L. (2018). Adventitious viruses in insect cell lines used for recombinant protein expression. *Protein Expr Purif*, *144*, 25-32. https://doi.org/10.1016/j.pep.2017.11.002

Grose, C., Putman, Z., & Esposito, D. (2021). A review of alternative promoters for optimal recombinant protein expression in baculovirus-infected insect cells. *Protein Expr Purif*, *186*, 105924. https://doi.org/10.1016/j.pep.2021.105924

Hagiwara, K., Rao, S., Scott, S. W., & Carner, G. R. (2002). Nucleotide sequences of segments 1, 3 and 4 of the genome of Bombyx mori cypovirus 1 encoding putative capsid proteins VP1, VP3 and VP4, respectively. *J Gen Virol*, *83*(Pt 6), 1477-1482. https://doi.org/10.1099/0022-1317-83-6-1477

Han, B., & Weiss, L. M. (2017). Microsporidia: Obligate Intracellular Pathogens Within the Fungal Kingdom. *Microbiol Spectr*, *5*(2). https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0018-2016

Huang, L., Cheng, T., Xu, P., Cheng, D., Fang, T., & Xia, Q. (2009). A Genome-Wide Survey for Host Response of Silkworm, Bombyx mori during Pathogen Bacillus bombyseptieus Infection. *PloS one*, *4*(12), e8098. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008098

Isawa, H., Asano, S., Sahara, K., Iizuka, T., & Bando, H. (1998). Analysis of genetic information of an insect picorna-like virus, infectious flacherie virus of silkworm: evidence for evolutionary relationships among insect, mammalian and plant picorna(-like) viruses. *Arch Virol*, *143*(1), 127-143. https://doi.org/10.1007/s007050050273

Ito, K., Kidokoro, K., Katsuma, S., Sezutsu, H., Uchino, K., Kobayashi, I., Tamura, T., Yamamoto, K., Mita, K., Shimada, T., & Kadono-Okuda, K. (2018). A single amino acid substitution in the Bombyx-specific mucin-like membrane protein causes resistance to Bombyx mori densovirus. *Sci Rep*, *8*(1), 7430. https://doi.org/10.1038/s41598-018-25388-7

Ito, K., Kidokoro, K., Shimura, S., Katsuma, S., & Kadono-Okuda, K. (2013). Detailed investigation of the sequential pathological changes in silkworm larvae infected with Bombyx densovirus type 1. *J Invertebr Pathol*, *112*(3), 213-218. https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.12.005

Ito, K., Ponnuvel, K. M., & Kadono-Okuda, K. (2021). Host Response against Virus Infection in an Insect: Bidensovirus Infection Effect on Silkworm (Bombyx mori). *Antioxidants (Basel)*, *10*(4). https://doi.org/10.3390/antiox10040522

Jagadish, A., Khajje, D., Tony, M., Nilsson, A., de Miranda, J. R., Terenius, O., Dubey, H., Mishra, R. K., & Ponnuvel, K. M. (2021). Development and optimization of a TaqMan assay for Nosema bombycis, causative agent of pébrine disease in Bombyx mori silkworm, based on the β-tubulin gene. *J Microbiol Methods*, *186*, 106238. https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106238

James, R. R., & Li, Z. (2012). Chapter 12 - From Silkworms to Bees: Diseases of Beneficial Insects. In F. E. Vega & H. K. Kaya (Eds.), *Insect Pathology (Second Edition)* (pp. 425-459). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384984-7.00012-9

Jiang, L., Goldsmith, M. R., & Xia, Q. (2021). Advances in the Arms Race Between Silkworm and Baculovirus. *Front Immunol*, *12*, 628151. https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.628151

Jiang, L., & Xia, Q. (2014). The progress and future of enhancing antiviral capacity by transgenic technology in the silkworm Bombyx mori. *Insect Biochem Mol Biol*, *48*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2014.02.003

Kamita, S. G., Nagasaka, K., Chua, J. W., Shimada, T., Mita, K., Kobayashi, M., Maeda, S., & Hammock, B. D. (2005). A baculovirus-encoded protein tyrosine phosphatase gene induces enhanced locomotory activity in a lepidopteran host. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(7), 2584-2589. https://doi.org/10.1073/pnas.0409457102

Kaufmann, B., El-Far, M., Plevka, P., Bowman, V. D., Li, Y., Tijssen, P., & Rossmann, M. G. (2011). Structure of Bombyx mori densovirus 1, a silkworm pathogen. *J Virol*, *85*(10), 4691-4697. https://doi.org/10.1128/jvi.02688-10

Kepler, R. M., Luangsa-ard, J. J., Hywel-Jones, N. L., Quandt, C. A., Sung, G.-H., Rehner, S. A., Aime, M. C., Henkel, T. W., Sanjuan, T., Zare, R., Chen, M., Li, Z., Rossman, A. Y., Spatafora, J. W., & Shrestha, B. (2017). A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). *IMA Fungus*, *8*(2), 335-353. https://doi.org/10.5598/imafungus.2017.08.02.08

Kidokoro, K., Ito, K., Ogoyi, D. O., Abe, H., Mita, K., & Kadono-Okuda, K. (2010). Non-susceptibility genes to Bombyx densovirus type 1, Nid-1 and nsd-1, affect distinct steps of the viral infection pathway. *J Invertebr Pathol*, *103*(1), 79-81. https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.10.006

Krishnaswami, S. (1979). *Sericulture Manual: Silkworm rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=o9DhngEACAAJ

Kumar, V., Singh, G. P., & Babu, A. M. (2004). Surface ultrastructural studies on the germination, penetration and conidial development of Aspergillus flavus Link:Fries infecting silkworm, Bombyx mori Linn. *Mycopathologia*, *157*(1), 127-135. https://doi.org/10.1023/b:myco.0000012225.79969.29

Li, G., Li, M., Wang, P., Hu, Z., Yao, Q., Tang, Q., & Chen, K. (2014). Characterization of recombinant expression of Bombyx mori bidensovirus ns1 using a modified vector. *Acta Biochim Pol*, *61*(4), 787-794.

Li, G. N., Xia, X. J., Zhao, H. H., Sendegeya, P., & Zhu, Y. (2015). Identification and Characterization of Bacillus cereus SW7-1 in Bombyx mori (Lepidoptera: Bombycidae). *Journal of insect science (Online)*, *15*(1). https://doi.org/10.1093/jisesa/iev121

Li, R., Chang, P., Lü, P., Hu, Z., Chen, K., Yao, Q., & Yu, Q. (2019). Characterization of the RNA Transcription Profile of Bombyx mori Bidensovirus. *Viruses*, *11*(4). https://doi.org/10.3390/v11040325

Li, X., Miyamoto, K., Takasu, Y., Wada, S., Iizuka, T., Adegawa, S., Sato, R., & Watanabe, K. (2020). ATP-Binding Cassette Subfamily A Member 2 is a Functional Receptor for Bacillus thuringiensis Cry2A Toxins in Bombyx mori, but not for Cry1A, Cry1C, Cry1D, Cry1F, or Cry9A Toxins. *Toxins (Basel)*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/toxins12020104

Li, Y., Zádori, Z., Bando, H., Dubuc, R., Fédière, G., Szelei, J., & Tijssen, P. (2001). Genome organization of the densovirus from Bombyx mori (BmDNV-1) and enzyme activity of its capsid. *J Gen Virol*, *82*(Pt 11), 2821-2825. https://doi.org/10.1099/0022-1317-82-11-2821

Lim, S. Y., Lee, S., Kong, H. G., & Lee, J. (2014). Entomopathogenicity of Simplicillium lanosoniveum Isolated in Korea. *Mycobiology*, *42*(4), 317-321. https://doi.org/10.5941/myco.2014.42.4.317

Liu, H., Chen, B., Hu, S., Liang, X., Lu, X., & Shao, Y. (2016). Quantitative Proteomic Analysis of Germination of Nosema bombycis Spores under Extremely Alkaline Conditions. *Frontiers in microbiology*, *7*, 1459-1459. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01459

Liu, X., Tian, Z., Cai, L., Shen, Z., Michaud, J. P., Zhu, L., Yan, S., Ros, V. I. D., Hoover, K., Li, Z., Zhang, S., & Liu, X. (2022). Baculoviruses hijack the visual perception of their caterpillar hosts to induce climbing behaviour thus promoting virus dispersal. *Molecular Ecology*, *31*(9), 2752-2765. https://doi.org/10.1111/mec.16425

Liu, Y., Chen, D., Zhang, X., Chen, S., Yang, D., Tang, L., Yang, X., Wang, Y., Luo, X., Wang, M., Hu, Z., & Huang, Y. (2021). Construction of Baculovirus-Inducible CRISPR/Cas9 Antiviral System Targeting BmNPV in Bombyx mori. *Viruses*, *14*(1). https://doi.org/10.3390/v14010059

Lü, D., Hou, C., Qin, G., Gao, K., Chen, T., & Guo, X. (2017). Molecular Cloning, Bioinformatic Analysis, and Expression of Bombyx mori Lebocin 5 Gene Related to Beauveria bassiana Infection. *Biomed Res Int*, *2017*, 9390803. https://doi.org/10.1155/2017/9390803

Makwana, P., Pradeep, A. N., Hungund, S. P., Ponnuvel, K. M., & Trivedy, K. (2017). The dipteran parasitoid Exorista bombycis induces pro- and anti-oxidative reactions in the silkworm Bombyx mori: Enzymatic and genetic analysis. *Arch Insect Biochem Physiol*, *94*(2). https://doi.org/10.1002/arch.21373

Matsumoto, Y., & Sekimizu, K. (2019). Silkworm as an experimental animal for research on fungal infections. *Microbiol Immunol*, *63*(2), 41-50. https://doi.org/10.1111/1348-0421.12668

Nagamatsu, Y., Toda, S., Yamaguchi, F., Ogo, M., Kogure, M., Nakamura, M., Shibata, Y., & Katsumoto, T. (1998). Identification of Bombyx mori midgut receptor for Bacillus thuringiensis insecticidal CryIA(a) toxin. *Biosci Biotechnol Biochem*, *62*(4), 718-726. https://doi.org/10.1271/bbb.62.718

Pasteur, L. (1870). *Études sur la maladie des vers à soie : moyen pratique assuré de la combattre et d'en prévenir le retour*. Gauthier-Villars, successeur de Mallet-Bachelier. https://www.biodiversitylibrary.org/item/208797

Piligrimova, E. G., Buzikov, R. M., Kazantseva, O. A., & Shadrin, A. M. (2021). Complete Genome Sequence of Bacillus cereus Sensu Stricto VKM B-370, Isolated from the Silkworm Bombyx mori. *Microbiol Resour Announc*, *10*(20). https://doi.org/10.1128/mra.00386-21

Possee, R. D., Chambers, A. C., Graves, L. P., Aksular, M., & King, L. A. (2020). Recent Developments in the Use of Baculovirus Expression Vectors. *Curr Issues Mol Biol*, *34*, 215-230. https://doi.org/10.21775/cimb.034.215

Rath, S. S., & Sinha, B. R. (2005). Parasitization of fifth instar tasar silkworm, Antheraea mylitta, by the uzi fly, Blepharipa zebina; a host-parasitoid interaction and its effect on host's nutritional parameters and parasitoid development. *J Invertebr Pathol*, *88*(1), 70-78. https://doi.org/10.1016/j.jip.2004.09.006

Shao, Y. J., Hu, X. Q., Peng, G. D., Wang, R. X., Gao, R. N., Lin, C., Shen, W. D., Li, R., & Li, B. (2012). Structure and evolution of the mitochondrial genome of Exorista sorbillans: the Tachinidae (Diptera: Calyptratae) perspective. *Mol Biol Rep*, *39*(12), 11023-11030. https://doi.org/10.1007/s11033-012-2005-1

Singh, T. (2015). *Silkworm Rearing Technology: Principles and Management*. Discovery Publishing House PVT Limited. https://books.google.gr/books?id=QOjxrQEACAAJ

Suraporn, S., & Terenius, O. (2020). Sensitivity of Polyvoltine Thai Strains of Bombyx mori to a BmNPV Isolate From Mahasarakham. *Journal of insect science (Online)*, *20*(2). https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa023

Suzuki, T., Takeshima, Y., Mikamoto, T., Saeki, J. D., Kato, T., Park, E. Y., Kawagishi, H., & Dohra, H. (2015). Genome Sequence of a Novel Iflavirus from mRNA Sequencing of the Pupa of Bombyx mori Inoculated with Cordyceps militaris. *Genome Announc*, *3*(5). https://doi.org/10.1128/genomeA.01039-15

Tan, Y. R., Sun, J. C., Lu, X. Y., Su, D. M., & Zhang, J. Q. (2003). Entry of Bombyx mori cypovirus 1 into midgut cells in vivo. *J Electron Microsc (Tokyo)*, *52*(5), 485-489. https://doi.org/10.1093/jmicro/52.5.485

Tanaka, S., Endo, H., Adegawa, S., Kikuta, S., & Sato, R. (2016). Functional characterization of Bacillus thuringiensis Cry toxin receptors explains resistance in insects. *Febs j*, *283*(24), 4474-4490. https://doi.org/10.1111/febs.13952

Tayal, M. K., & Chauhan, T. P. S. (2017). Silkworm Diseases and Pests. In Omkar (Ed.), *Industrial Entomology* (pp. 265-289). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3304-9_9

van Houte, S., Ros, V. I. D., Mastenbroek, T. G., Vendrig, N. J., Hoover, K., Spitzen, J., & van Oers, M. M. (2012). Protein Tyrosine Phosphatase-Induced Hyperactivity Is a Conserved Strategy of a Subset of BaculoViruses to Manipulate Lepidopteran Host Behavior. *PloS one*, *7*(10), e46933. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046933

Veda, K., Nagai, I., & Horikomi, M. (1997). *Silkworm Rearing*. Science Publishers. https://books.google.gr/books?id=huhJAAAAYAAJ

Veer, V., Negi, B. K., & Rao, K. M. (1996). Dermestid beetles and some other insect pests associated with stored silkworm cocoons in India, including a world list of dermestid species found attacking this commodity. *Journal of Stored Products Research*, *32*(1), 69-89. https://doi.org/10.1016/0022-474X(95)00032-3

Vootla, S. K., Lu, X. M., Kari, N., Gadwala, M., & Lu, Q. (2013). Rapid detection of infectious flacherie virus of the silkworm, Bombyx mori, using RT-PCR and nested PCR. *Journal of insect science (Online)*, *13*, 120. https://doi.org/10.1673/031.013.12001

Wang, J., Berestetskiy, A., & Hu, Q. (2021). Destruxin A Interacts with Aminoacyl tRNA Synthases in Bombyx mori. *J Fungi (Basel)*, *7*(8). https://doi.org/10.3390/jof7080593

Wang, L., Wang, J., Zhang, X., Yin, Y., Li, R., Lin, Y., Deng, C., Yang, K., Liu, X., & Wang, Z. (2021). Pathogenicity of Metarhizium rileyi against Spodoptera litura larvae: Appressorium differentiation, proliferation in hemolymph, immune interaction, and reemergence of mycelium. *Fungal Genetics and Biology*, *150*, 103508. https://doi.org/10.1016/j.fgb.2020.103508

Wu, P., Chen, D., Food, Nations, A. O. o. t. U., Chen, Z., Liu, P., & Tang, H. (1988). *Silkworm Rearing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=Sf2KLVBbWHMC

Xiao, G., Ying, S. H., Zheng, P., Wang, Z. L., Zhang, S., Xie, X. Q., Shang, Y., St Leger, R. J., Zhao, G. P., Wang, C., & Feng, M. G. (2012). Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in Beauveria bassiana. *Sci Rep*, *2*, 483. https://doi.org/10.1038/srep00483

Yamawaki, Y., Kainoh, Y., & Honda, H. (2002). Visual control of host pursuit in the parasitoid fly Exorista japonica. *J Exp Biol*, *205*(Pt 4), 485-492. https://doi.org/10.1242/jeb.205.4.485

Yu, Q., & Tijssen, P. (2014). Gene expression of five different iteradensoviruses: Bombyx mori densovirus, Casphalia extranea densovirus, Papilio polyxenes densovirus, Sibine fusca densovirus, and Danaus plexippus densovirus. *J Virol*, *88*(20), 12152-12157. https://doi.org/10.1128/jvi.01719-14

Yu, Y., Wolf, A. K., Thusek, S., Heinekamp, T., Bromley, M., Krappmann, S., Terpitz, U., Voigt, K., Brakhage, A. A., & Beilhack, A. (2021). Direct Visualization of Fungal Burden in Filamentous Fungus-Infected Silkworms. *J Fungi (Basel)*, *7*(2). https://doi.org/10.3390/jof7020136

Zhang, P., Miao, D., Zhang, Y., Wang, M., Hu, Z., Lü, P., & Yao, Q. (2016). Cloning and rescue of the genome of Bombyx mori bidensovirus, and characterization of a recombinant virus. *Virol J*, *13*, 126. https://doi.org/10.1186/s12985-016-0576-5

Zhang, S., Chen, X., Luan, F., He, L., Pu, S., & Li, Z. (2016). Genetic diversity and population structure of the Chinese Fungus Metarhizium rileyi causing green muscardine in silkworm. *Journal of Invertebrate Pathology*, *140*, 16-24. https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.08.005

Ελληνόγλωσση

Βαμβάς, Σ. (1907). *Μελέτη επί του Σηροτροφικού Ζητήματος*. Εκδ.: Ευστρατίου Δ.

Κυριακού, Γ. (1903). *Ο Μεταξοσκώληξ*. Εκδ.: Σύλλογος προς Διάδοσιν Ωφέλιμων Βιβλίων.

Παπαναούμ, Γ. (1950). *Σηροτροφία*. Εκδ.: Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Γεωργίας.

Ρουσόπουλος, Α. Ο. (1900). *Σηροτροφικά*. Εκδ.: Λεώνης Π.

Σταυριανός, Δ. (1893). *Εγχειρίδιον του Σκωληκοτρόφου*. Εκδ.: Σταυριανός Δ. (Χειρόγραφο).

Φιλιππίδης, Σ. (1890). *Μελέται επί του Μεταξοσκώληκος*. Εκδ.: Κεφαλίδης, Ν.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Ποιο είναι τα χαρακτηριστικό σύμπτωμα της προσβολής της προνύμφης του μεταξοσκώληκα από τον ιό της πυρηνικής πολυέδρωσης;

Απάντηση

Η χαρακτηριστική κινητικότητα της προνύμφης, που δεν τρέφεται, αλλά μετακινείται στις άκρες του κρεβατιού εκτροφής συμπεριφερόμενη ως ώριμη προνύμφη, η οποία τελικά πεθαίνει στις άκρες του κρεβατιού εκτροφής ή πέφτει από το κρεβάτι εκτροφής.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Γιατί η πιπερίτιδα είναι μια τόσο επικίνδυνη και σοβαρή ασθένεια του μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Διότι μπορεί να μεταδοθεί από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα, χωρίς αυτή να εμφανίζει διακριτά συμπτώματα, στα αυγά της και να προκαλέσει τη θανάτωση των εμβρύων του μεταξοσκώληκα.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Σε ποιο στάδιο της ανάπτυξης της προνύμφης είναι η προσβολή από μύκητες πλέον σοβαρή;

Απάντηση

Η προσβολή από μύκητες είναι περισσότερο σοβαρή στις νεαρές ηλικίες της προνύμφης.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Πώς μπορούμε να διακρίνουμε τη θανάτωση των προνυμφών μετά από κατανάλωση φύλλων μουριάς μολυσμένων από εντομοκτόνο από τη θανάτωση από τις άλλες ασθένειες του μεταξοσκώληκα;

Απάντηση

Η θανάτωση των προνυμφών μετά από κατανάλωση φύλλων μολυσμένων με εντομοκτόνα επέρχεται μετά από λίγες ώρες, ενώ όλες οι άλλες ασθένειες δεν προκαλούν τόσο άμεσο θάνατο των προνυμφών.

Κεφάλαιο 9: Παραγωγή Μεταξιού

Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι διαδικασίες παραγωγής του ακατέργαστου μεταξιού. Μετά την αποξήρανση των φρέσκων κουκουλιών, που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 7, τα ξηρά κουκούλια είναι έτοιμα προς αναπήνιση για την εξαγωγή του νήματος ακατέργαστου μεταξιού. Πριν την αναπήνιση, είναι απαραίτητο να γίνεται ποιοτικός έλεγχος των κουκουλιών για να υπολογιστούν σταθερές και παράμετροι που κρίνουν την απόδοση των κουκουλιών σε ακατέργαστο μετάξι. Στην αρχή αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κουκουλιών που αφορούν την παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού. Κατόπιν παρουσιάζονται τα δομικά χαρακτηριστικά της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού όπως παράγεται κατά την αναπήνιση. Μετά παρουσιάζεται η διαδικασία ποιοτικού ελέγχου και βαθμονόμησης των κουκουλιών. Στις τελευταίες ενότητες του κεφαλαίου παρουσιάζονται η διαδικασία της αναπήνισης του ακατέργαστου μεταξιού και η διαδικασία προετοιμασίας του για την παραγωγή μεταξωτών υφασμάτων. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται περιληπτικά τα άλλα έντομα από τα οποία παράγεται μετάξι σε διάφορες χώρες του κόσμου και περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία παραγωγής μεταξιού από αυτά τα έντομα.

Προαπαιτούμενη γνώση

Ελευθεριάδης, Ι., Νικολαΐδης, Ν., & Τσατσαρώνη, Ε. (2015). *Χημεία και τεχνολογία του χρώματος* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. https://hdl.handle.net/11419/822

9.1 Χαρακτηριστικά του κουκουλιού που αφορούν την παραγωγή μεταξιού

Στη βιομηχανία αναπήνισης του μεταξιού υπεισέρχονται μια σειρά από διαφορετικές τεχνολογίες και ένα φάσμα τεχνικών σε τέτοιο βαθμό που καθιστούν την ανάλυση και επεξήγηση αυτών των τεχνικών κατά ανάγκη διεπιστημονική. Από τον χειρισμό των φρέσκων κουκουλιών, την ξήρανση και αποθήκευση των κουκουλιών, το βράσιμο, την αναπήνιση, την επαναναπήνιση και την απογόμωση (φινίρισμα) του ακατέργαστου μεταξιού έως τη διαχείριση της ποσότητας και της ποιότητας του νερού αναπήνισης, τη χρήση των υποπροϊόντων της αναπήνισης και τη συντήρηση των μηχανημάτων αναπήνισης, οι διαδικασίες που εμπλέκονται κινούνται μεταξύ των πεδίων των φυσικών επιστημών και των επιστημών μηχανικής. Όλες αυτές οι τεχνικές και οι τεχνολογίες που τις υποστηρίζουν για την παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού υπόκεινται σε συνεχή βελτίωση λόγω της μεγάλης παγκόσμιας ζήτησης για ποιοτικό ακατέργαστο μετάξι και λεπτό μεταξωτό ύφασμα. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνικές με αρκετά αναλυτικό τρόπο, ώστε να είναι κατανοητές και για όσους δεν έχουν εμπειρία σχετικά με το μετάξι. Οι τεχνικές παραγωγής μεταξιού που παρουσιάζονται αφορούν εμπορικά υβρίδια που εκτρέφονται στις εύκρατες ζώνες, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει μια πληθώρα διαφορετικών τεχνικών παραγωγής ακατέργαστου μεταξιού που χρησιμοποιούνται σε τροπικές χώρες και διαφέρουν σημαντικά από αυτές που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

Στα σύγχρονα εμπορικά υβρίδια μεταξοσκώληκα, η προνύμφη, αν δεν διαταραχθεί κατά την πλοκή του κουκουλιού, μπορεί να παράγει μια συνεχή ίνα μεγάλης αντοχής μήκους 1500 μέτρων που είναι ουσιαστικά το κέλυφος του κουκουλιού. Η μια ίνα από έναν μεταξοσκώληκα είναι πολύ λεπτή για να είναι χρήσιμη στην ύφανση. Για τον λόγο αυτόν, πολλές ίνες συνδυάζονται μαζί για να δημιουργηθεί μετά από στρίψιμο των ινών το μεταξένιο νήμα. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως *αναπήνιση*.

Το κουκούλι του μεταξοσκώληκα είναι το εμπορεύσιμο προϊόν σε όλη τη διαδικασία της εκτροφής του μεταξοσκώληκα και ως εμπορεύσιμο προϊόν, στόχος της κάθε εκτροφής είναι να παραχθούν τα καλύτερης ποιότητας κουκούλια. Η σύσταση του κουκουλιού του μεταξοσκώληκα φαίνεται στον Πίνακα 9.1, όπου μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι το μεγαλύτερο μέρος του βάρους του φρέσκου κουκουλιού το καταλαμβάνει η νύμφη.

Όταν ξηραίνουμε τα κουκούλια για να μπορέσουμε έτσι να διατηρήσουμε τα κουκούλια για μεγάλο χρονικό διάστημα ως αποθηκευμένα προϊόντα, η αναλογία του βάρους του κελύφους προς το συνολικό βάρος του κουκουλιού αλλάζει (Πίνακας 9.1).

Περιεχόμενα κουκουλιού	Φρέσκο κουκούλι				Αποξηραμένο κουκούλι			
	Υβρίδιο 1		Υβρίδιο 2		Υβρίδιο 1		Υβρίδιο 2	
	Βάρος (γρ.)	Ποσοστό (%)	Βάρος (γρ.)	Ποσοστό (%)	Βάρος (γρ.)	Ποσοστό (%)	Βάρος (γρ.)	Ποσοστό (%)
Κουκούλι	2,0934	100	2,05	100	0,793	100	0,82	100
Κέλυφος	0,362	17,3	0,41	20	0,362	45,7	0,41	50
Νύμφη	1,719	82,1	1,525	78,3	0,419	52,8	0,396	48,3
Εξωσκελετός προνύμφης	0,0124	0,6	0,014	0,7	0,012	1,5	0,014	1,7

Πίνακας 9.1 *Περιεχόμενα κουκουλιού από δύο διαφορετικά υβρίδια και βάρος του κάθε περιεχόμενου πριν και μετά την ξήρανση του κουκουλιού. Παρατηρήστε ότι το βάρος του κελύφους δεν αλλάζει καθόλου πριν και μετά την ξήρανση του κουκουλιού, αλλά η δραματική μείωση του βάρους του φρέσκου κουκουλιού οφείλεται αποκλειστικά στη μείωση του βάρους της νύμφης μετά την απόπνιξή της. Οι τιμές που αναφέρονται είναι σχετικά βελτιωμένες στα πλέον παραγωγικά σύγχρονα υβρίδια μεταξοσκώληκα που μπορεί να παράγουν 0,5-0,6 γρ. κελύφους (Πηγή: προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το σχήμα του κουκουλιού σε γενικές γραμμές σχετίζεται με τη γεωγραφική περιοχή προέλευσης της φυλής με τις ιαπωνικές φυλές να παράγουν κουκούλια σε σχήμα φιστικιού, τις κινεζικές φυλές να παράγουν κουκούλια σε σχήμα ελλειψοειδές ή στρογγυλό, τις ευρωπαϊκές φυλές να παράγουν επιμήκη ελλειψοειδή κουκούλια και τις τροπικές φυλές να παράγουν ατρακτοειδή κουκούλια με οξύληκτα άκρα. Τα υβρίδια μεταξύ αυτών των φυλών παράγουν ενδιάμεσης μορφής κουκούλια, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 9.1.

Εικόνα 9.1 *Χαρακτηριστικό παράδειγμα παραγωγής ενδιάμεσης μορφής κουκουλιών από τη διασταύρωση δύο φυλών μεταξοσκώληκα. Η διασταύρωση της ιαπωνικής φυλής J106 (άνω αριστερά) με την κινεζικής προέλευσης φυλή Daizo (άνω δεξιά) μας δίνει ένα υβρίδιο με κίτρινο κουκούλι και ενδιάμεσους χαρακτήρες κουκουλιού (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Σχετικά με το χρώμα των κουκουλιών, παρότι υπάρχουν φυλές και μεταλλάξεις που δίνουν διάφορα χρώματα (Εικόνα 9.2), έχει επικρατήσει το λευκό χρώμα ως το εμπορεύσιμο πρότυπο.

Εικόνα 9.2 *Ποικιλία κουκουλιών με διάφορα χρώματα και σχήματα από διαφορετικές φυλές και υβρίδια μεταξοσκώληκα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το κουκούλι φέρει εξωτερικά τα γνάφαλα και εσωτερικά το σκληρό κέλυφος που αποτελείται από 2 ίνες φιβροΐνης τριγωνικής διατομής και ενωμένες μεταξύ τους με κάλυμμα από σερικίνη. Η ίνα του μεταξιού έχει μήκος 800-1500 μέτρα και το πάχος της είναι 2,3-2,8 Ντενιέ.

Παρότι θα εξηγηθεί παρακάτω πώς ορίζεται η παράμετρος Ντενιέ για το πάχος της ίνας του μεταξιού, αυτή αποτελεί μια εξαιρετικά σημαντική παράμετρο για την αξιολόγηση της ποιότητας του παραγόμενου μεταξιού αλλά και των κουκουλιών: Όταν κατά την αναπήνιση των κουκουλιών θέλουμε και ορίζουμε στην

αναπηνιστική μηχανή, να φτιάξουμε νήμα 20/22 Ντενιέ, αυτό σημαίνει με αδρούς υπολογισμούς ότι αν η ίνα του κουκουλιού που πρόκειται να αναπηνίσουμε είναι 2,8 Ντενιέ, δηλαδή παχιά, τότε θα χρησιμοποιήσουμε 7,5 κουκούλια ανά νήμα ακατέργαστου μεταξιού που θα παράγουμε (21/2,8), ενώ εάν η ίνα του κουκουλιού είναι 2,3 Ντενιέ, δηλαδή λεπτή, θα χρησιμοποιήσουμε 9 κουκούλια ανά νήμα (21/2,3). Η τιμή της παραμέτρου Ντενιέ είναι μια τιμή που ορίζει σε κάποιον βαθμό τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός εμπορικού υβριδίου μεταξοσκώληκα, αλλά υπάρχουν φυλές και υβρίδια μεταξοσκώληκα με τιμές χαμηλότερες από αυτές που αναφέρονται παρακάτω. Επίσης, η τιμή Ντενιέ εξαρτάται από πάρα πολλές παραμέτρους, καθώς υπολογίζεται από το μήκος της ίνας του κουκουλιού και το βάρος της ίνας του κουκουλιού και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τη μέθοδο πλοκής κουκουλιών, την εποχή και την ποιότητα της τροφής των προνυμφών. Παρά το γεγονός ότι οι παραγωγικοί δείκτες της σηροτροφίας έχουν βελτιωθεί τις τελευταίες δεκαετίες, ο δείκτης Ντενιέ, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 9.2, έχει παραμείνει σταθερός.

Στον παρακάτω Πίνακα 9.2 δίνεται με χρονολογική σειρά η βελτίωση που έχει επέλθει στην Ιαπωνία σε βάθος χρόνου στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων κουκουλιών σε σχέση με τη βελτίωση των μεθόδων αναπήνισης. Όπως φαίνεται, δεν είναι μόνο η μέθοδος αναπήνισης που φέρνει βελτιώσεις στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά, αλλά και η συνεχής βελτίωση των εμπορικών υβριδίων.

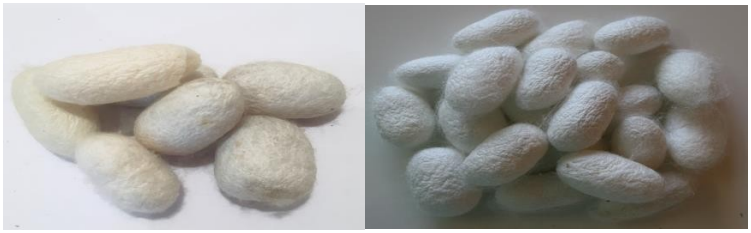
Έτος	**Ποσοστό παραγόμενου μεταξιού (%)**	**Μήκος ίνας ακατέργαστου μεταξιού (μέτρα)**	**Αναπηνιστικότητα (%)**	**Μέγεθος ίνας σε Ντενιέ**	**Ομοιομορφία (%)**	**Παρατηρήσεις**
1800	10,50	509	-	-	-	
1918	10,36	-	-	-	-	
1924	10,17	-	-	-	-	
1930	10,08	-	-	-	-	
1936	13,40	784	76	2,89	89,5	Απλή μηχανή αναπήνισης
1940	14,39	913	83	2,69	89,8	Απλή μηχανή αναπήνισης
1947	14,22	870	83	2,75	90,55	Απλή μηχανή αναπήνισης
1952	16,24	1038	82	2,70	92,67	Απλή μηχανή αναπήνισης
1956	16,62	1089	73	2,60	93,53	Μηχανή αναπήνισης πολλαπλών άκρων
1962	17,31	1157	74	2,50	94,27	Μηχανή αναπήνισης πολλαπλών άκρων
1966	17,49	1137	71	2,58	94,56	Αυτόματη μηχανή αναπήνισης
1970	18,10	1186	72	2,59	94,86	Αυτόματη μηχανή αναπήνισης

Πίνακας 9.2 *Ο πίνακας παρουσιάζει τη βελτίωση που έχει επέλθει στο μήκος της ίνας που παράγουν οι μεταξοσκώληκες και στην ποσότητα ακατέργαστου μεταξιού που παίρνουμε από τα κουκούλια κατά τη διάρκεια δεκαετιών του 20ού αιώνα στην Ιαπωνία (Πηγή: προσαρμογή από (Ayuzawa, 1972)).*

Το χρώμα του κουκουλιού είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για κάθε φυλή του μεταξοσκώληκα, αν και στην πλειονότητά τους οι φυλές που έχουν επικρατήσει και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υβριδίων έχουν λευκό χρώμα. Η χρήση του λευκού χρώματος επικράτησε από πολύ παλιά κυρίως γιατί συνδέεται άμεσα με τον έλεγχο της καθαρότητας του κελύφους κατά τη διαλογή των κουκουλιών. Όμως στη χώρα μας, όπως και σε άλλες χώρες, υπήρχαν και ήταν πολύ δημοφιλείς, πριν την επικράτηση των υβριδίων, μερικές κίτρινες φυλές, όπως η κίτρινη Ascoli (Παπαναούμ, 1950).

Το σχήμα του κουκουλιού είναι και αυτό ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της κάθε φυλής και συχνά μπορεί να επηρεάζεται από τις συνθήκες πλοκής του κουκουλιού. Για παράδειγμα, εάν οι προνύμφες πλέκουν τα κουκούλια τους σε συνθήκες υψηλής πυκνότητας, είναι συχνό το φαινόμενο να παράγουν διαφορετικού σχήματος κουκούλια από αυτά που πλέκουν οι περισσότερες προνύμφες. Γενικότερα, η ποικιλομορφία του σχήματος των κουκουλιών σε μια εμπορική εκτροφή είναι ένδειξη κακών συνθηκών εκτροφής ή παρουσίας γενετικής ποικιλομορφίας στο υβρίδιο που εκτράφηκε. Τα κουκούλια των εμπορικών υβριδίων έχουν σχήμα ενδιάμεσο των γονέων τους όπως, για παράδειγμα, επίμηκες ελλειψοειδές ή ρηχά συσφιγμένης μορφής φιστικιού (Εικόνα 9.1). Το σχήμα των κουκουλιών βοηθά στον προσδιορισμό του υβριδίου, καθώς και στην αξιολόγηση της αναπηνιστικότητάς του.

Σχετικά με τη ρυτίδωση του κουκουλιού, όταν αφαιρέσουμε το εξωτερικό πολύ χαλαρό στρώμα ινών που είναι γνωστό ως γνάφαλα, θα παρατηρήσουμε ότι το κουκούλι φέρει ελαφριά ή έντονη ρυτίδωση στην επιφάνειά του. Αυτή η ρυτίδωση είναι ουσιαστικά μικρές ακανόνιστες εγκολπώσεις σαν γραμμές που είναι πιο τραχιές στο εξωτερικό από ότι στο εσωτερικό του κουκουλιού. Παρότι υπάρχουν φυλές μεταξοσκωλήκων που δημιουργούν λίγη ρυτίδωση στα κουκούλια που παράγουν, η ρυτίδωση είναι εμφανής σχεδόν σε όλα τα κουκούλια που παράγονται και δημιουργείται από τον ακανόνιστο τρόπο με τον οποίο η προνύμφη πλέκει το κουκούλι της από το εσωτερικό του. Γενικότερα όμως θεωρείται ότι η έντονη ρυτίδωση του κουκουλιού είναι ενδεικτικό στοιχείο μη ικανοποιητικής αναπηνιστικότητας. Η ρυτίδωση των κουκουλιών διακρίνεται σε πολύ τραχιά, τραχιά, μεσαία, πυκνή και πολύ πυκνή και είναι χαρακτηριστικά διακριτή όταν βλέπουμε κουκούλια δύο διαφορετικών υβριδίων ή φυλών (Εικόνα 9.3).



Εικόνα 9.3 *Τα κουκούλια του εμπορικού ιαπωνικού υβριδίου (Shunrei x Shogetsu) αριστερά φέρουν λίγη ρυτίδωση, ενώ τα κουκούλια της φυλής «Βαγδάτης» δεξιά φέρουν σημαντική ρυτίδωση (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το μέγεθος ή ο όγκος του κουκουλιού είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό κατά την αξιολόγηση της ποιότητάς τους. Κατά γενική ομολογία, τα μεγαλύτερα κουκούλια αξιολογούνται καλύτερα και παρότι το μέγεθος του κουκουλιού διαφέρει ανάλογα με τη φυλή ή το υβρίδιο, την εποχή εκτροφής και τις συνθήκες πλοκής και εκτροφής, πάντα τα μεγαλύτερα κουκούλια κρίνονται μακροσκοπικά ως πιο ελκυστικά. Μια μονάδα μέτρησης του μεγέθους ή του όγκου των κουκουλιών είναι ο αριθμός των κουκουλιών ανά όγκο ενός λίτρου που κυμαίνεται από 60-100. Οι φυλές που έχουν πολλούς κύκλους ζωής ανά έτος έχουν αυτόν τον δείκτη > 100. Όσο μικρότερος είναι αυτός ο δείκτης, τόσο καλύτερα είναι τα κουκούλια μακροσκοπικά και συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται αυτός ο δείκτης ως δείκτης ποιότητας των κουκουλιών ενός υβριδίου. Τον δείκτη αυτόν τον μετράμε γεμίζοντας ένα δοχείο ενός λίτρου με κουκούλια και κατόπιν μετρώντας τον αριθμό των κουκουλιών που γέμισαν το ένα λίτρο του πρότυπου δοχείου.

Το πιο σημαντικό, όμως, εμπορικό χαρακτηριστικό των κουκουλιών είναι το βάρος. Τα κουκούλια πωλούνται στην αγορά με βάση το βάρος, καθώς αυτός ο δείκτης σηματοδοτεί την κατά προσέγγιση ποσότητα ακατέργαστου μεταξιού που μπορεί να παραχθεί από αυτά. Το βάρος ενός κουκουλιού εξαρτάται από τη φυλή ή το υβρίδιο του μεταξοσκώληκα, δηλαδή έχει γενετική βάση, αλλά εξαρτάται πολύ σημαντικά και από την εποχή εκτροφής, και τις συνθήκες πλοκής του κουκουλιών και τον τρόπο συγκομιδής τους. Στις καθαρές φυλές, το βάρος ενός κουκουλιού κυμαίνεται από 2,2 έως 1,5 γραμμάρια, αλλά υπάρχουν και φυλές με μικρότερο βάρος κουκουλιού. Στα υβρίδια το βάρος του κουκουλιού κυμαίνεται από 2,5 έως 1,8 γραμμάρια. Το βάρος ενός φρέσκου κουκουλιού δεν παραμένει σταθερό, αλλά αντίθετα, μετά την ολοκλήρωση της πλοκής του, συνεχίζει να μειώνεται μέχρι την έξοδο της νυχτοπεταλούδας από αυτό. Το βάρος του κουκουλιού μειώνεται σταδιακά λόγω εξάτμισης της υγρασίας της προνύμφης και του κουκουλιού, αλλά και λόγω του μεταβολισμού της νύμφης μέσα στο κουκούλι (Πίνακας 9.3).

Μέρες μετά την έναρξη πλοκής του κουκουλιού	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Μέρες μετά τη μεταμόρφωση σε νύμφη	2	3	4	5	6	7	8	9
Λόγος μείωσης του αρχικού βάρους του κουκουλιού (%)	100	99,4	98,8	98,3	97,7	97,0	96,1	95,1

Πίνακας 9.3 *Ο πίνακας παρουσιάζει τη μεταβολή του βάρους του κουκουλιού κατά τη διάρκεια του σταδίου της νύμφης έως και λίγες ημέρες πριν την εμφάνιση της νυχτοπεταλούδας. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, η συγκομιδή και ζύγιση των φρέσκων κουκουλιών είναι καλό να γίνεται την 4η ημέρα μετά τη μεταμόρφωση σε νύμφη για να μην έχουμε φυσιολογικές απώλειες στην παραγωγή λόγω απώλειας υγρασίας (Πηγή: προσαρμογή από (Lee, 1999)).*

Το πάχος του κελύφους του κουκουλιού δεν είναι σταθερό και αλλάζει ανάλογα με τα τρία τμήματα του. Το κεντρικό τμήμα του κουκουλιού είναι το παχύτερο τμήμα, ενώ οι διαστάσεις των τμημάτων στα δύο άκρα του είναι 80 έως 90% του κεντρικού τμήματος (Πίνακας 9.4).

Φυλή	**Α**	**Β**	**Γ**
Τμήματα του κουκουλιού	Χιλιοστά (mm)		
Άνω άκρο	0,336	0,302	0,228
Άνω μεσαίο τμήμα	0,594	0,596	0,580
Κέντρο	0,712	0,7	0,572
Κάτω μεσαίο τμήμα	0,568	0,590	0,486
Κάτω άκρο	0,382	0,333	0,348

Πίνακας 9.4 *Διαφορές στο πάχος του κελύφους του κουκουλιού σε τρεις διαφορετικές φυλές μεταξοσκώληκα. Τα δεδομένα αφορούν φυλές που χαρακτηρίζονται από κεντρική σύσφιξη στα κουκούλια που δημιουργούν οι προνύμφες. Ως άνω άκρο του κουκουλιού ορίζεται η μεριά προς την οποία βρίσκεται η κεφαλή της νύμφης (Πηγή: προσαρμογή από (Lee, 1999)).*

Το βάρος του κελύφους του κουκουλιού είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας ποιοτικά και ποσοτικά, καθώς το βάρος προβλέπει την απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι (Anonymous, 1985; Ayuzawa, 1972; Choe, 1982; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015). Το βάρος του κελύφους διαφέρει στις διάφορες φυλές και υβρίδια και επηρεάζεται σημαντικά από το σύνολο των συνθηκών εκτροφής και διαχείρισης των κουκουλιών. Στην πράξη, οι φυλές που έχουν έναν ή δύο κύκλους ζωής στο έτος έχουν βαρύτερο κέλυφος από αυτές που έχουν πάνω από δύο κύκλους ζωής στο έτος.

Ως αντοχή της ίνας εννοούμε το βάρος που μπορεί να αντέξει η ίνα μέχρι να σπάσει. Γενικότερα, η αντοχή της ίνας του μεταξιού είναι 9-10 γραμμάρια ή 3,5-4 γραμμάρια ανά Ντενιέ. Η ελαστικότητα της ίνας του μεταξιού είναι το ποσοστό επέκτασης του αρχικού μήκους της ίνας μέχρι αυτή να σπάσει και κυμαίνεται από 18-23%.

Η σκληρότητα του κουκουλιού συσχετίζεται με την υφή του κελύφους και επηρεάζεται από τις συνθήκες δημιουργίας του κουκουλιού. Για παράδειγμα, η χαμηλή υγρασία κατά τη διάρκεια της περιόδου πλοκής του κουκουλιού καθιστά το κέλυφος του κουκουλιού μαλακό, ενώ η υψηλή υγρασία το καθιστά σκληρό. Ο βαθμός σκληρότητας επηρεάζει επίσης τη διαπερατότητα του αέρα και του νερού των κουκουλιών κατά τον βρασμό τους πριν την αναπήνιση. Έτσι, ένα σκληρό κέλυφος έχει συνήθως μειωμένη αναπηνιστικότητα, ενώ ένα μαλακό κέλυφος έχει αυξημένα ποσοστά ελαττωματικής ίνας στο ακατέργαστο μετάξι. Εν ολίγοις, η μέτρια υγρασία κατά τη διάρκεια πλοκής του κουκουλιού προτιμάται για να έχουμε κουκούλια καλής ποιότητας.

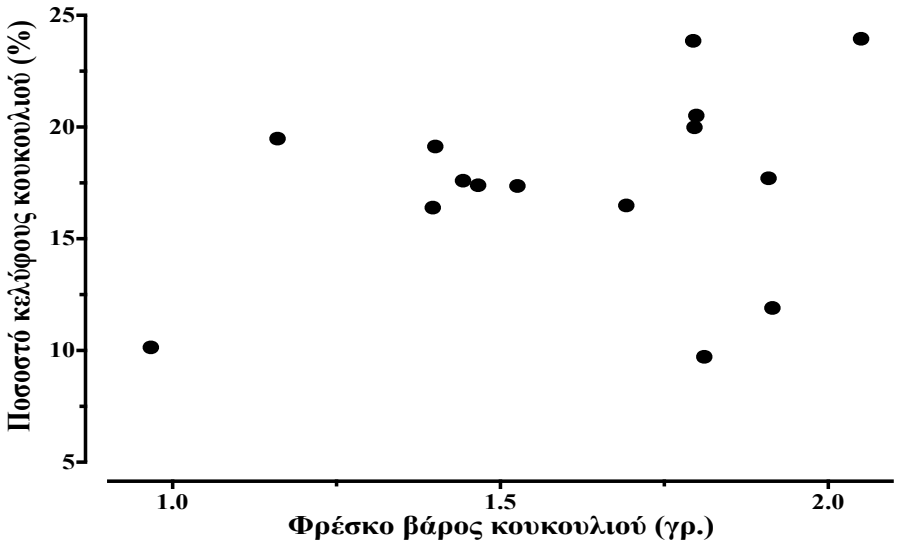
Καθώς ολόκληρο το κουκούλι, συμπεριλαμβανομένης της νύμφης, πωλείται ως πρώτη ύλη, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον λόγο του βάρους του κελύφους σε σχέση με το βάρος του κουκουλιού. Αυτή η σταθερά είναι η πιο σημαντική σταθερά στη σηροτροφία, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο περισσότερη είναι η απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι των κουκουλιών ανά μονάδα τιμής αγοράς τους. Αυτή η σταθερά εκφράζεται από τον τύπο:

$$(\text{Βάρος του κελύφους του κουκουλιού}/\text{Βάρος ολόκληρου του κουκουλιού}) \times 100 \qquad (9.1)$$

Για να βρούμε αυτό το ποσοστό, παίρνουμε δείγματα από φρέσκα κουκούλια (>10, όσο περισσότερα τόσο καλύτερα) με τυχαίο τρόπο. Αφού αφαιρέσουμε συνολικά τα γνάφαλα, κατόπιν κόβουμε με αιχμηρό χαρτοκόπτη τη μια άκρη του κουκουλιού προσέχοντας να μην τραυματίσουμε τη νύμφη. Βγάζουμε με προσοχή τη νύμφη από το κουκούλι και αφαιρούμε το επιδερμίδιο της προνύμφης που έχει αφαιρέσει η νύμφη μέσα στο κουκούλι της κατά τη μεταμόρφωση. Κατόπιν ελέγχουμε εσωτερικά το κέλυφος και το απορρίπτουμε εάν έχει οποιασδήποτε μορφής λεκέδες ή ακαθαρσίες. Εάν είναι τελείως καθαρό εσωτερικά, τότε το ζυγίζουμε σε ζυγαριά ακριβείας που έχει τουλάχιστον 3 δεκαδικά ψηφία. Η μέτρηση αυτή αποτελεί τον αριθμητή του παραπάνω τύπου. Κατόπιν, βάζουμε ξανά τη νύμφη και το επιδερμίδιό της μέσα στο κέλυφος και ζυγίζουμε όλο το κουκούλι. Αυτή η μέτρηση αποτελεί τον παρονομαστή στον παραπάνω τύπο. Πολλαπλασιάζοντας τον λόγο αυτόν επί 100 και βρίσκουμε το ποσοστό του κελύφους. Είναι σημαντικό η διαδικασία αυτή να γίνει σε μεγάλο αριθμό κουκουλιών για να έχουμε καλή στατιστική αξιοπιστία και θα πρέπει να μην μεροληπτούμε ως προς το μέγεθος των κουκουλιών, αλλά να μετράμε διάφορα μεγέθη κουκουλιών. Εξίσου σημαντικό είναι να γνωρίζουμε να διακρίνουμε τα αρσενικά από τα θηλυκά άτομα και να έχουμε στο δείγμα που μετράμε ίσο αριθμό από αρσενικά και θηλυκά άτομα.

Η τιμή του ποσοστού που υπολογίζουμε παρέχει ικανοποιητική ένδειξη της ποσότητας ακατέργαστου μεταξιού που μπορεί να ληφθεί από μια δεδομένη ποσότητα φρέσκων κουκουλιών που θα πουληθούν και ένας έμπορος κουκουλιών εξετάζει αυτό το ποσοστό κατά την αγορά των κουκουλιών. Ο υπολογισμός αυτού του ποσοστού βοηθά στην εκτίμηση της ακατέργαστης απόδοσης μεταξιού από τα προς πώληση κουκούλια, είτε

είναι ξηρά είτε φρέσκα, και διαμορφώνει την κατάλληλη τιμή πώλησης για τα κουκούλια. Η τιμή του ποσοστού του κελύφους διαφέρει ανάλογα με το υβρίδιο που εκτρέφεται ή τη φυλή του μεταξοσκώληκα και επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες εκτροφής. Η τιμή του ποσοστού μεταβάλλεται επίσης σε σχέση με τη χρονική στιγμή από την πλοκή του κουκουλιού, καθώς η νύμφη χάνει συνεχώς βάρος ενώ μεταμορφώνεται σε νυχτοπεταλούδα μέσα στο κουκούλι. Στα υβρίδια, τα ποσοστά του κελύφους κυμαίνονται από 18 έως 25% (Εικόνα 9.4) και οι αρσενικές προνύμφες δίνουν μεγαλύτερο ποσοστό κελύφους σε σχέση με τις θηλυκές, ενώ οι θηλυκές προνύμφες έχουν γενικότερα μεγαλύτερο βάρος κουκουλιού από ότι οι αρσενικές προνύμφες.



Εικόνα 9.4 *Ποσοστό του βάρους του κελύφους του κουκουλιού ως προς το συνολικό βάρος του κουκουλιού. Τα δεδομένα αφορούν εμπορικά υβρίδια και φυλές που εκτράφηκαν το 2021 στην περιοχή του Σουφλίου. Οι τιμές κάτω από 15% σε ποσοστό κελύφους κουκουλιού αφορούν φυλές μεταξοσκώληκα. Παρατηρείται μια μεγάλη διασπορά των τιμών ανάλογα με την προέλευση του υβριδίου και τη σηροτροφική μονάδα παραγωγής των κουκουλιών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού ενός κουκουλιού είναι ένας εξίσου σημαντικός δείκτης για την αξιολόγηση της τιμής των κουκουλιών. Είναι όμως ένας δείκτης ο οποίος απαιτεί την αναπήνιση δείγματος κουκουλιών για να υπολογίσουμε την τιμή του (Anonymous, 1985; Ayuzawa, 1972; Choe, 1982; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015).

Έτσι, αυτός ο δείκτης υπολογίζεται μόνο αν κάνουμε ποιοτικό έλεγχο στα κουκούλια και δεν είναι τόσο εύκολη η χρήση του, όσο ο υπολογισμός του ποσοστού του κελύφους των κουκουλιών, όταν γίνεται μια τυχαία αγοραπωλησία κουκουλιών. Ωστόσο, το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού είναι θεωρητικά ο πλέον ενδεδειγμένος δείκτης που θα πρέπει να χρησιμοποιείται στην αγοραπωλησία κουκουλιών, καθώς οποιαδήποτε αγοραπωλησία θα πρέπει να συνοδεύεται από πιστοποιητικό ποιότητας των προς πώληση κουκουλιών. Ο δείκτης αυτός έχει άμεσο αντίκτυπο, τόσο στην αγοραία τιμή των κουκουλιών, όσο και στο κόστος παραγωγής ακατέργαστου μεταξιού. Το φυσιολογικό εύρος του δείκτη αυτού είναι 65 έως 84% για το βάρος του κελύφους του κουκουλιού και 12 έως 20% για το βάρος ολόκληρου του φρέσκου κουκουλιού. Όσο μεγαλύτερος ο δείκτης αυτός, τόσο μεγαλύτερη η τιμή των κουκουλιών.

Για τον υπολογισμό του δείκτη αυτού, απαιτείται η δειγματοληπτική αναπήνιση κουκουλιών σε μηχανή αναπήνισης ενός κουκουλιού ανά θέση αναπήνισης (Εικόνα 9.5). Με τη διαδικασία αυτή μετράμε, όχι μόνο το βάρος της ίνας ενός κουκουλιού, αλλά και το μήκος της ίνας.

Από αυτές τις δύο τιμές που μετράμε υπολογίζουμε το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού με τον ακόλουθο τύπο:

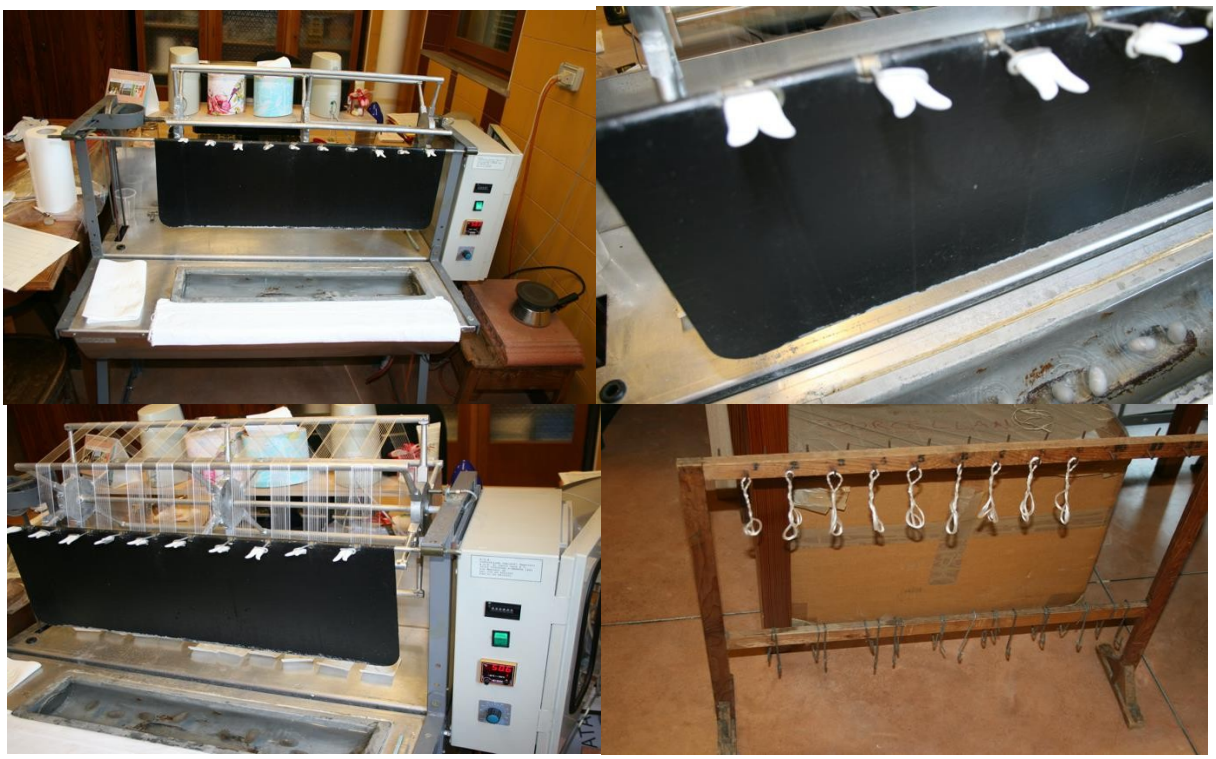
$$(\text{Ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού κουκουλιών (\%)} = (\text{Βάρος ίνας ακατέργαστου μεταξιού/Βάρος αποξηραμένου κουκουλιού}) \times 100 \text{ (ως μέσος όρος πολλών κουκουλιών)} \quad (9.2)$$

Από τον υπολογισμό του ποσοστού ακατέργαστου μεταξιού μπορούμε να υπολογίσουμε ακόμη μια πολύ σημαντική παράμετρο της παραγωγής μεταξιού που αφορά την παραγωγική εκτροφή των μεταξοσκωλήκων.

Αυτή η παράμετρος ονομάζεται παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού από ένα κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα και προσδιορίζει το βάρος του ακατέργαστου μεταξιού που θα μας δώσει η παραγωγή κουκουλιών. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού από ένα κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα} = \text{Παραγωγή φρέσκων κουκουλιών (κιλά) x τελικό ποσοστό ξήρανσης των κουκουλιών x ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού κουκουλιών} \quad (9.3)$$

Για παράδειγμα, αν παράγουμε 30 κιλά φρέσκα κουκούλια ανά κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα με ποσοστό ξήρανσης 40% και ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού 18%, τότε παίρνουμε 30 x 0,4 x 0,18 = 2,16 κιλά ακατέργαστου μεταξιού ανά κουτί των 20000 αυγών μεταξοσκώληκα.



Εικόνα 9.5 *Μηχανή δειγματοληπτικής αναπήνισης κουκουλιών. Η μηχανή αυτή βρίσκεται στο Ινστιτούτο Σηροτροφίας της Πάδοβα στην Ιταλία και μπορεί να αναπηνίσει 10 κουκούλια κάθε φορά. Η μηχανή αποτελείται από λεκάνη τοποθέτησης των κουκουλιών, εσοχές αναπήνισης και ανέμη συλλογής της ίνας του μεταξιού. Λειτουργεί σε ταχύτητα αναπήνισης ρυθμιζόμενη ηλεκτρονικά (άνω αριστερή φωτογραφία). Στην άνω δεξιά φωτογραφία μπορεί να διακριθεί η ίνα του κάθε κουκουλιού καθώς περνά από τη λευκή εσοχή και συλλέγεται στην ανέμη καθώς τα κουκούλια ανπηνίζονται. Στην κάτω αριστερή φωτογραφία φαίνεται η ανέμη με τις ίνες ακατέργαστου μεταξιού μετά το τέλος της αναπήνισης. Μετά το τέλος της αναπήνισης, οι ίνες από κάθε κουκούλι συλλέγονται, στρίβονται και κρεμιούνται για να στεγνώσουν πριν μετρηθεί το βάρος τους (κάτω δεξιά φωτογραφία) (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η διαδικασία στη μηχανή δειγματοληπτικής αναπήνισης των κουκουλιών (Εικόνα 9.5) γίνεται ως εξής: Δέκα αποξηραμένα κουκούλια αντιπροσωπευτικά του δείγματος συλλέγονται και ζυγίζονται. Κατόπιν τα κουκούλια βράζονται για 5 λεπτά σε νερό για να μαλακώσουν και όταν το νερό κρυώσει στους 55 ^{o}C, τοποθετούνται στη λεκάνη της μηχανής (Εικόνα 9.5) στην ίδια θερμοκρασία νερού. Η άκρη της ίνας του κάθε κουκουλιού ανιχνεύεται από τον έμπειρο χειριστή της μηχανής με το χέρι και περνάει την κάθε ίνα μέσα από την εσοχή στην ανέμη. Αφού γίνει το ίδιο και για τα 10 κουκούλια, αρχίζει η αναπήνιση σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής της ανέμης. Ο χειριστής παρατηρεί τη διαδικασία και σταματά τη μηχανή όταν κοπεί η ίνα ενός κουκουλιού για να την επανασυνδέσει. Η ανέμη περιστρέφεται και κινείται οριζόντια για να μειωθεί η τριβή των ινών πάνω στην ανέμη. Ένας ηλεκτρονικός μετρητής του μήκους της ίνας καταγράφει το μήκος της ίνας που έχει αναπηνιστεί. Όταν η αναπήνιση ενός κουκουλιού τελειώσει και δεν μπορεί να συλλεχθεί περαιτέρω ίνα, ο χειριστής καταγράφει το μήκος της ίνας που συλλέχθηκε από το συγκεκριμένο κουκούλι. Τα υπολείμματα των

κουκουλιών συλλέγονται ξεχωριστά το καθένα και με το χέρι ο χειριστής αφαιρεί το υπόλοιπο του κελύφους του κουκουλιού που δεν αναπηνίστηκε και το κρατά για ξήρανση και ζύγιση ως βάρος παραπροϊόντων.

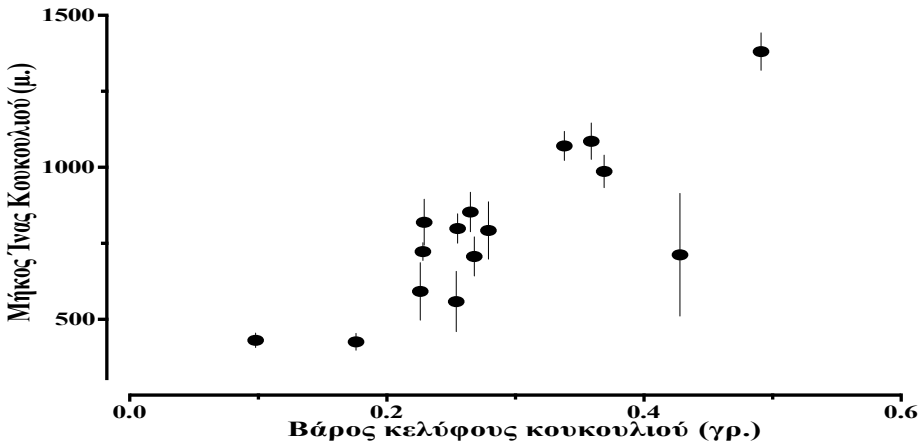
Οι ίνες του ακατέργαστού μεταξιού αφαιρούνται κατόπιν από την ανέμη μία προς μία, στρίβονται και κρεμιούνται για να ζυγιστούν ξεχωριστά η κάθε μία. Το βάρος της ίνας των κουκουλιών μετριέται όταν η ίνα στεγνώσει σε θερμοκρασία δωματίου μετά από 1 ημέρα. Το βάρος της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού δεν μπορεί να ισούται ποτέ με το βάρος του κελύφους, καθώς κατά την αναπήνιση των κουκουλιών υπάρχουν σημεία της ίνας στην αρχή και στο τέλος του μήκους της, τα οποία είναι μη αναπηνίσημα σε ένα αναπηνιστήριο και απορρίπτονται. Έτσι το βάρος του κελύφους του κουκουλιού δεν είναι ποτέ δείκτης αναπηνιστικότητας των κουκουλιών.

Από τη διαδικασία δειγματοληπτικής αναπήνισης των κουκουλιών μετράμε και το συνεχές μήκος της ίνας που παίρνουμε και αυτή η τιμή χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του μεγέθους της ίνας σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Μέγεθος της ίνας σε Ντενιέ} = (\text{Βάρος ίνας ακατέργαστου μεταξιού}/\text{Μήκος ίνας ακατέργαστου μεταξιού}) \times 9 \quad (9.4)$$

Το Ντενιέ (Αγγλικά: Denier, σε συντομογραφία: D) είναι μια διεθνής σταθερά που μετρά το μέγεθος της ίνας και εκφράζεται ως το βάρος μιας ίνας ανά 9000 μέτρα ίνας, θεωρώντας ότι 9000 μέτρα ίνας ακατέργαστου μεταξιού έχει βάρος 1 γραμμάριο. Από τον μέσο όρο των δειγματοληπτικών μετρήσεων του μήκους και του βάρους της ινάς των κουκουλιών υπολογίζουμε την τιμή του μεγέθους της ίνας για το δείγμα των κουκουλιών.

Στην πραγματικότητα, η σταθερά Ντενιέ ορίζεται ως το βάρος 450 μέτρων ίνας διαιρούμενο με 0,05 γραμμάρια βάρους και το πηλίκο πολλαπλασιαζόμενο με 9000. Όμως, αυτός ο τρόπος μέτρησης, αν και θεωρητικά σωστός, δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμος, καθώς η δειγματοληπτική αναπήνιση θα πρέπει να γίνεται ανά 450 μέτρα ίνας. Όμως το κυριότερο μειονέκτημα αυτού του τρόπου μέτρησης του Ντενιέ είναι ότι η διάμετρος της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού δεν είναι ίδια σε όλο το μήκος της ίνας, παρότι όλη η ίνα είναι αναπηνίσημη. Έτσι η μονάδα Ντενιέ μεγαλώνει στο μήκος της ίνας μεταξύ 200 έως 300 μέτρων ίνας, όταν η ίνα είναι στο παχύτερό της σημείο. Η μέση διάμετρος μιας ίνας μεταξιού είναι 15 έως 20 μικρόμετρα για τις φυλές που έχουν έναν ή δύο κύκλους ζωής ανά έτος.



Εικόνα 9.6 *Μήκος της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού σε σχέση με το βάρους του κελύφους του κουκουλιού. Τα δεδομένα αφορούν εμπορικά υβρίδια και φυλές που εκτράφηκαν το 2021 στην περιοχή του Σουφλίου. Παρατηρείται μια μεγάλη διασπορά των τιμών ανάλογα με την προέλευση του υβριδίου και τη σηροτροφική μονάδα παραγωγής των κουκουλιών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η μέτρηση του μήκους της ίνας ενός κουκουλιού (Εικόνα 9.6) είναι μια σημαντική παράμετρος, καθώς η μέτρησή της καθορίζει τον φόρτο εργασίας κατά την αναπήνιση του μεταξιού, τον ρυθμό παραγωγής, την ομοιομορφία του μεταξωτού νήματος και τις φυσικές ιδιότητες του παραγόμενου νήματος (Anonymous, 1985; Ayuzawa, 1972; Choe, 1982; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015).

Για παράδειγμα, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της ινας του κουκουλιού, τόσο λιγότερη είναι η πρόσθετη εργασία για την προσθήκη νέων κουκουλιών κατά την αναπήνιση και τη συμπλήρωση κομμένων ινών στο αναπηνιστήριο. Το μήκος της ίνας ενός κουκουλιού εξαρτάται από το είδος του υβριδίου που

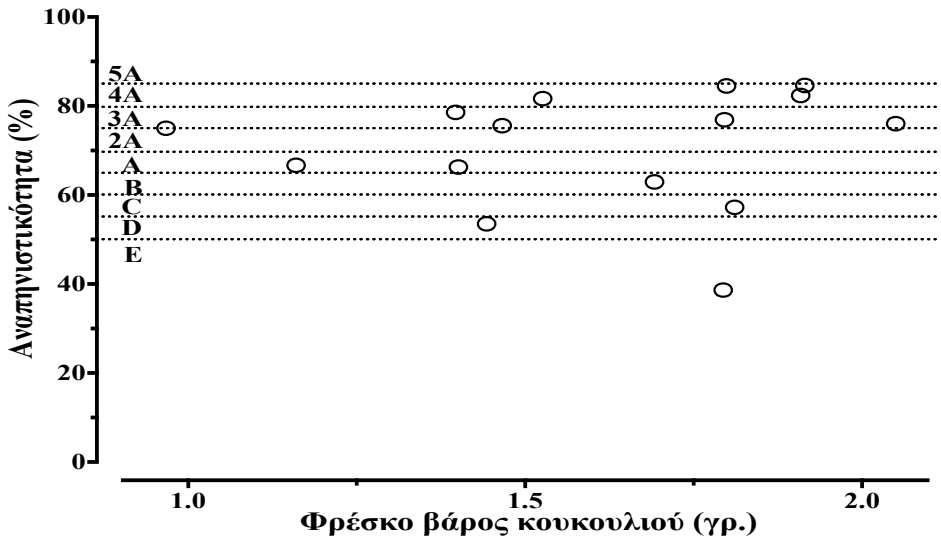
εκτράφηκε και έχει γενετικό υπόβαθρο. Εξίσου σημαντικές όμως είναι και οι συνθήκες εκτροφής. Το εύρος του συνολικού μήκους της ίνας ενός κουκουλιού είναι από 400 έως 1500 μέτρα εκ των οποίων περίπου το 80% είναι αναπηνήσιμο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Η αναπηνιστικότητα των κουκουλιών ορίζεται ως η καταλληλότητα των κουκουλιών για οικονομικά εφικτή αναπήνιση. Η κακή αναπηνιστικότητα των κουκουλιών δημιουργεί μια σειρά προβλημάτων στην παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού, όπως διακοπή της παραγωγής λόγω θραύσης των νημάτων και παραγωγή υψηλού ποσοστού αποβλήτων. Η αναπηνιστικότητα των κουκουλιών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την προσεκτική φροντίδα κατά τη διάρκεια της πλοκής των κουκουλιών, από την ξήρανση των κουκουλιών, την αποθήκευση των κουκουλιών, την προετοιμασία για την αναπήνιση, την ποιότητα της μηχανής αναπήνισης και την εμπειρία του χειριστή της μηχανής αναπήνισης.

Η αναπηνιστικότητα των κουκουλιών υπολογίζεται ως ποσοστό από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Αναπηνιστικότητα} = (\text{Βάρος ίνας ακατέργαστου μεταξιού}/(\text{Βάρος ίνας ακατέργαστου μεταξιού} + \text{βάρος υποπροϊόντων)) x } 100 \quad (9.5)$$

όπου βάρος υποπροϊόντων είναι τα μέρη του κελύφους του κουκουλιού που δεν είναι αναπηνίσημα, όπως περιγράφονται παραπάνω.



Εικόνα 9.7 *Η αναπηνιστικότητα των κουκουλιών δεν σχετίζεται με το βάρος τους. Τα δεδομένα αφορούν εμπορικά υβρίδια και φυλές που εκτράφηκαν το 2021 στην περιοχή του Σουφλίου (βλέπε Εικόνα 9.6 και 9.4). Παρατηρείται μια μεγάλη διασπορά των τιμών σε σχέση με το φρέσκο βάρος του κουκουλιού. Τιμές κάτω από 70% δεν θεωρούνται αποδεκτές. Οι τιμές 5Α έως Ε αφορούν τη βαθμονόμηση των κουκουλιών σύμφωνα με την ιαπωνική μέθοδο όπως θα αναφερθεί παρακάτω στο κείμενο (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

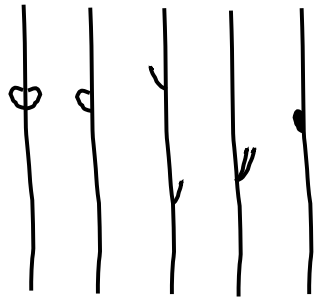
Ένας άλλος τρόπος να μετρήσουμε την αναπηνιστικότητα σε βιομηχανικό επίπεδο, δηλαδή κατά την αναπήνιση των κουκουλιών σε ένα αναπηνιστήριο, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Αναπηνιστικότητα}=(\text{Αριθμός αναπηνισμένων κουκουλιών}/\text{Αριθμό τροφοδοτούμενων άκρων}) \text{ x } 100 \quad (9.6)$$

όπου αριθμός τροφοδοτούμενων άκρων είναι ο αριθμός των κομμένων άκρων της ίνας που έπρεπε να αναπληρωθούν στη μηχανή αναπήνισης. Το ποσοστό αναπηνιστικότητας κυμαίνεται από 40 έως 90% (Εικόνα 9.7) με μεγάλες διακυμάνσεις να προκύπτουν ανάλογα με το είδος των κουκουλιών. Σημειώστε ότι τα λεκιασμένα κουκούλια γενικά έχουν κακή αναπηνιστικότητα.

Η ίνα του ακατέργαστου μεταξιού από ένα κουκούλι δεν είναι πάντα άριστης ποιότητας. Μια σειρά από μικρά ελαττώματα μπορεί να βρεθούν στην ίνα ενός κουκουλιού όπως βρόχοι, σπασίματα, χνούδιασμα, εγκοπές και διασπάσεις της ίνας (Εικόνα 9.8). Παρά το γεγονός ότι αυτά τα ελαττώματα εμφανίζονται σε διάφορα υβρίδια ή φυλές, οι συνθήκες πλοκής των κουκουλιών παίζουν πολύ μεγάλο ρόλο στην εμφάνισή τους. Αυτά

τα ελαττώματα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του ακατέργαστου μεταξιού. Τα ελαττώματα καθορίζουν τον δείκτη που ονομάζεται *ομοιομορφία του νήματος* (neatness) και δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται για παραγωγική εκτροφή υβρίδια με ποσοστό ομοιομορφίας της ίνας κάτω από 90%, ενώ το ιδανικό ποσοστό είναι 92-98%. Η μέτρηση της ομοιομορφίας του νήματος γίνεται σε ειδικό μηχάνημα που ονομάζεται Seriplane.



Εικόνα 9.8 *Η ίνα του ακατέργαστου μεταξιού μπορεί να έχει ατέλειες όπως βρόχοι (άκρα αριστερά ή δεύτερη από αριστερά ίνα), σπασίματα (μεσαία ίνα), χνούδιασμα (δεύτερη από δεξιά ίνα) ή/και κόμπους που επηρεάζουν την ομοιομορφία του νήματος (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το μηχάνημα αυτό ξετυλίγει νήματα ακατέργαστου μεταξιού σε πλαίσια τα οποία τοποθετούνται κατόπιν μπροστά από ένα κουτί που περιέχει εσωτερικό φωτισμό και γυάλινο ημιδιάφανο κάλυμμα. Πάνω στο γυάλινο κάλυμμα το νήμα του ακατέργαστου μεταξιού παρατηρείται από έμπειρο χειριστή ή φωτογραφίζεται και κατόπιν αναλύονται οι εικόνες για την παρουσία ελαττωμάτων στο νήμα.

Η καθαρότητα του νήματος αφορά ελαττώματα με τη μορφή τριχών στο νήμα του μεταξιού που καλούνται συλλογικά καθαρότητα του νήματος. Η μη καθαρότητα του νήματος προκύπτει όταν προνύμφες έχουν ταϊστεί υπερβολικά στην 5η ηλικία, ενώ σε υβρίδια μεταξοσκώληκα που παράγουν λεπτή ίνα η καθαρότητα του νήματος δεν αποτελεί πρόβλημα. Η μη καθαρότητα του νήματος προκύπτει επίσης όταν καθυστερήσουμε να τοποθετήσουμε τις προνύμφες στα πλαίσια πλοκής των κουκουλιών τους. Η καθαρότητα του νήματος είναι σημαντικό πρόβλημα στην υφαντουργία μεταξωτών όταν χρειάζεται να παραχθούν λεία σατέν υφάσματα και μεταξωτές γραβάτες. Όταν αυτά τα υφάσματα υφαίνονται με νήματα που έχουν χαμηλά ποσοστά καθαρότητας και κατόπιν βάφονται, τότε τα υφάσματα φαίνονται σαν να είναι καλυμμένα με ένα είδος επιχρίσματος ή έχουν πιο αχνά χρώματα από τα άλλα, γιατί τα ελαττώματα του νήματος δεν επιτρέπουν την εις βάθος βαφή του υφάσματος.

9.2 Δομικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της ίνας του μεταξιού

Η ποσότητα της φιβροΐνης στο κέλυφος του κουκουλιού είναι 72-81%, η ποσότητα της σερικίνης είναι 19-28%, η ποσότητα λιπαρών συστατικών είναι 0,8-1% και η ποσότητα χρωστικών και ανόργανων συστατικών είναι 1-1,4%. Οι τιμές αυτές δεν είναι ακριβείς και ποικίλλουν έντονα ανάλογα με το υβρίδιο ή/και τη φυλή του μεταξοσκώληκα και δεν λαμβάνουν υπόψη τα νεότερα δεδομένα που δείχνουν ότι υπάρχουν 286 πρωτεΐνες στο κέλυφος του κουκουλιού (Zhang et al., 2015). Η περιεκτικότητα σε σερικίνη του κελύφους του κουκουλιού ποικίλλει και βρίσκεται στο μέγιστο ποσοστό της στο εξωτερικό στρώμα 1 και μειώνεται σταδιακά στα μεσαία στρώματα 2 και 3 και φτάνει το απόλυτο ελάχιστο στο εσωτερικό στρώμα 4 (Πίνακας 9.5).

Φυλή	**Α**	**Β**	**Γ**	**Δ**
Τμήματα κελύφους				
Εξωτερικό τμήμα	31,40%	32,08%	34,13%	33,15%
Έξω μεσαίο τμήμα	23,45%	29,29%	27,50%	27,71%
Έσω μεσαίο τμήμα	20,11%	22,22%	23,96%	23,47%
Εσωτερικό τμήμα	18,12%	20,63%	21,54%	21,33%

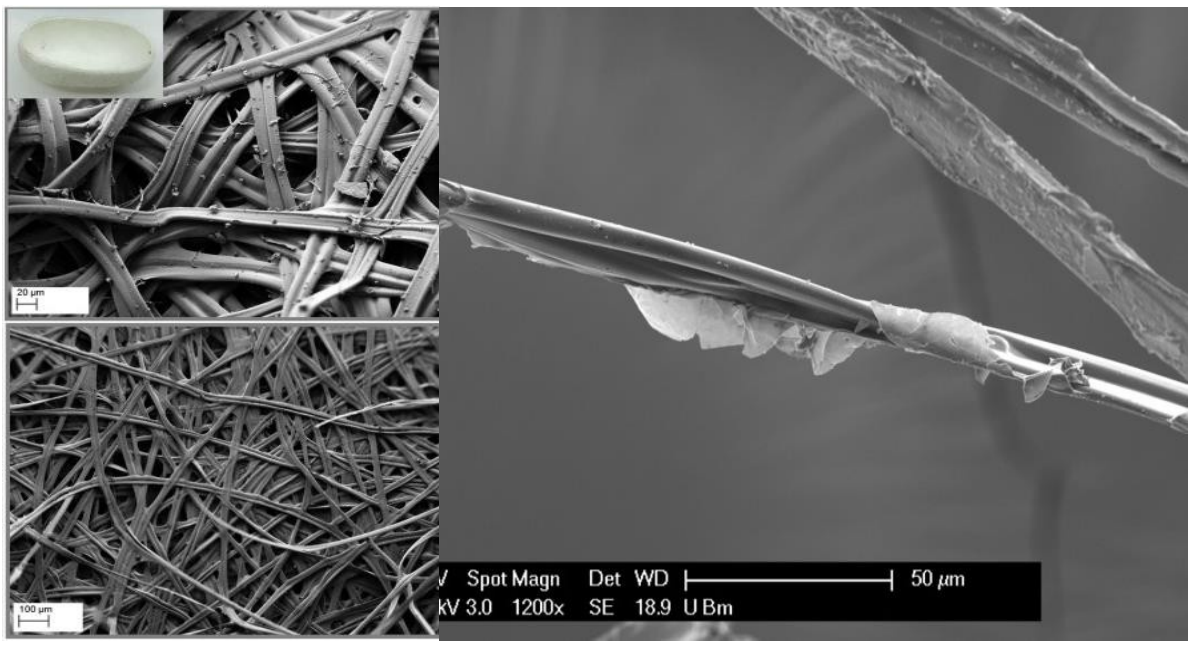
Πίνακας 9.5 *Περιεκτικότητα σε σερικίνη διαφόρων τμημάτων του κελύφους του κουκουλιού σε τέσσερις διαφορετικές φυλές μεταξοσκώληκα (Πηγή: προσαρμογή από (Lee, 1999)).*

Η σύσταση των αμινοξέων της φιβροΐνης και της σερικίνης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9.6).

Αμινοξύ	Φιβροΐνη	Σερικίνη	Αμινοξύ	Φιβροΐνη	Σερικίνη
Γλυκίνη	42,8	8,8	Γλουταμινικό οξύ	1,7	10,1
Αλανίνη	32,4	4	Σερίνη	14,7	30,1
Λευκίνη	0,7	0,9	Θρεονίνη	1,2	8,5
Ισολευκίνη	0,9	0,6	Φαινυλαλανίνη	1,2	0,6
Βαλίνη	3	3,1	Τυροσίνη	11,8	4,9
Αργινίνη	0,9	4,2	Προλίνη	0,6	0,5
Ιστιδίνη	0,3	1,4	Μεθειονίνη	0,2	0,1
Λυσίνη	0,5	5,5	Τρυπτοφάνη	0,5	0,5
Ασπαραγινικό οξύ	1,9	16,8	Κυστεΐνη	0,1	0,3

Πίνακας 9.6 *Περιεκτικότητα σε αμινοξέα της φιβροΐνης και της σερικίνης στην ίνα του μεταξιού. Οι τιμές δίνονται ως γραμμάριο αμινοξέων ανά 100 γραμμάρια πρωτεΐνης (Πηγή: προσαρμογή από (Lee, 1999)).*

Τα δομικά χαρακτηριστικά της ίνας του μεταξιού γίνονται ιδιαίτερα ευκρινή σε φωτογραφίες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης, όπου μπορούν να φανούν οι λεπτομέρειες της δομής της ίνας, τόσο στο κουκούλι, όσο και μετά την αφαίρεση της σερικίνης (Εικόνα 9.9).



Εικόνα 9.9 *Εικόνες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης που δείχνουν τη μορφή του κελύφους του κουκουλιού εξωτερικά (άνω αριστερή εικόνα) και εσωτερικά (κάτω αριστερή εικόνα). Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η μορφή της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού μετά την απογόμωσή της (Πηγή: (Tulachan et al., 2014) (Randrianandrasana et al., 2017), CC-BY άδεια).*

Το ειδικό βάρος της ίνας του μεταξιού κυμαίνεται από 1,32 έως 1,40. Γενικά, η σερικίνη είναι βαρύτερη κατά 0,06-0,09 σε σχέση με τη φιβροΐνη. Η αντοχή στον εφελκυσμό εκφράζεται ως το βάρος που μπορεί να υποστηρίξει μια ίνα μέχρι να σπάσει. Η τυπική αντοχή στον εφελκυσμό μιας ίνας μεταξιού είναι 3,6 έως 4,8 γραμμάρια ανά μονάδα Ντενιέ. Το μετάξι, μετά την αφαίρεση της σερικίνης, έχει μεγαλύτερη αντοχή από το ακατέργαστο μετάξι.

Ως ελαστικότητα της ίνας του μεταξιού εκφράζει το μήκος στο οποίο μπορεί να τεντωθεί μια ίνα πριν να σπάσει. Το ακατέργαστο μετάξι έχει ελαστικότητα 18 έως 23% του αρχικού μήκους του. Η υπερβολική υγρασία αυξάνει την ελαστικότητα του μεταξιού, αλλά μειώνει την αντοχή του στον εφελκυσμό (Malay et al., 2016).

Η υγροσκοπία του μεταξιού είναι σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την τιμή πώλησης του ακατέργαστου μεταξιού. Γενικότερα, ο αποδεκτός συντελεστής προσρόφησης υγρασίας για το μετάξι είναι 11% και το εμπορικό βάρος του μεταξιού προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη αυτόν τον συντελεστή.

Η συνεχής έκθεση στο φως εξασθενεί το μετάξι γρηγορότερα από ότι το βαμβάκι ή το μαλλί. Το ακατέργαστο μετάξι είναι πιο ανθεκτικό στο φως από το μετάξι μετά την απογόμωση. Γενικότερα, συνιστάται η προστασία των υφασμάτων μεταξιού από την άμεση έκθεση στο φως.

Το μετάξι είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού και συσσωρεύει στατικό ηλεκτρισμό μέσω τριβής. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να το καταστήσει δύσκολο στον χειρισμό του κατά τη διαδικασία δημιουργίας των νημάτων μεταξιού. Ο στατικός ηλεκτρισμός μπορεί να αφαιρεθεί με υψηλή υγρασία ή με τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας στο 65% στους 25 ^{o}C. Με βάση τις μονωτικές ιδιότητές του, το μετάξι χρησιμοποιείται εκτενώς για την κάλυψη καλωδίων στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Αυτά τα δεδομένα ισχύουν για το μετάξι στη στεγνή του μορφή ή κατάσταση (Tulachan et al., 2014). Ωστόσο, όταν το μετάξι υγρανθεί, επιτρέπει τη μεταφορά ηλεκτρισμού διαμέσου των ινών μέσω των κατιόντων και ανιόντων που περιέχει και αυτή η συμπεριφορά του μεταξιού εξαρτάται από τη θερμοκρασία (Tulachan et al., 2014).

Το μετάξι είναι μια εξαιρετικά απορροφητική ίνα, η οποία εύκολα εμποτίζεται με νερό. Το νερό, ωστόσο, δεν επηρεάζει μόνιμα τις ίνες μεταξιού. Η αντοχή του μεταξιού μειώνεται περίπου 20% όταν είναι υγρό και ανακτά την αρχική του αντοχή μετά το στέγνωμα. Η ίνα διαστέλλεται, αλλά δεν διαλύεται όταν βυθίζεται σε ζεστό νερό. Η ίνα απορροφά επίσης διαλυμένες χημικές ενώσεις που υπάρχουν στο νερό. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την αναπήνιση, το πλύσιμο, τη βαφή ή την απογόμωση.

Εάν το λευκό μετάξι θερμανθεί σε φούρνο στους 110 ^{o}C για 15 λεπτά, αρχίζει να κιτρινίζει. Στους 170 ^{o}C, το μετάξι αποσυντίθεται και στα σημεία καύσης του απελευθερώνει μια οσμή που είναι διακριτή και όμοια με αυτή που παράγει το μαλλί, όταν καίγεται. Να σημειωθεί ότι η καύση του νήματος του μεταξιού είναι ο ασφαλέστερος τρόπος για να διαπιστώσουμε εάν ένα ύφασμα είναι από μετάξι ή όχι. Σε περίπτωση που έχουμε και παρουσία συνθετικών ινών, τότε η καύση του υφάσματος είναι διαφορετική και είναι συνδυασμός της καύσης μαλλιού και πλαστικού, οπότε μπορούμε να αντιληφθούμε ότι τα νήματα που καίγονται δεν αποτελούνται μόνο από μετάξι.

Η επεξεργασία ινών μεταξιού με οξέα ή βάσεις προκαλεί υδρόλυση των πεπτιδικών δεσμών. Ο βαθμός υδρόλυσης επηρεάζεται από το pH. Η αποδιάταξη της ίνας του μεταξιού φαίνεται ως απώλεια αντοχής της ίνας σε εφελκυσμό ή αλλαγή του ιξώδους του διαλύματος.

Η υδρόλυση με οξύ είναι πιο εκτεταμένη από ότι με βάση και έχει υποτεθεί ότι η υδρόλυση με οξύ συμβαίνει σε διάφορα σημεία της πρωτοταγούς δομής των πρωτεϊνών, ενώ στα αρχικά στάδια της υδρόλυσης με βάση, η υδρόλυση συμβαίνει στα άκρα των πεπτιδικών αλυσίδων. Το υδροχλωρικό οξύ υδρολύει τη φιβροΐνη άμεσα, ειδικά όταν είναι ζεστό, και αυτό χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρολυμένης φιβροΐνης. Το ζεστό θειικό οξύ επίσης υδρολύει τη φιβροΐνη και προκαλεί σουλφονίωση της τυροσίνης. Το νιτρικό οξύ επίσης αποδιατάσσει τη φιβροΐνη. Τα οργανικά οξέα δεν επιδρούν σημαντικά στη φιβροΐνη σε θερμοκρασία δωματίου όταν είναι αραιωμένα, αλλά σε πυκνή μορφή μπορούν να υδρολύσουν τη φιβροΐνη ή να την αποδιατάξουν.

Τα πρωτεολυτικά ένζυμα δεν αποδιατάσσουν εύκολα τη φιβροΐνη στην ινώδη της μορφή, γιατί πιθανώς δεν υπάρχουν πολλές πλευρικές πεπτιδικές αλυσίδες στη δομή της. Σοβαρή αποδιάταξη της φιβροΐνης μπορεί να προκληθεί από νερό ή ατμό στους 100 ^{o}C.

Το υπεροξείδιο του υδρογόνου απορροφάται από το μετάξι και πιστεύεται ότι σχηματίζει συμπλέγματα με ομάδες αμινοξέων και δεσμούς πεπτιδίων. Έχει αποδειχθεί ότι το υπεροξείδιο του υδρογόνου μειώνει την περιεκτικότητα του μεταξιού σε τυροσίνη και περαιτέρω ότι οι δεσμοί πεπτιδίων σπάνε στα σημεία ύπαρξης της τυροσίνης. Η χλωρίνη είναι περισσότερο καταστροφική για το μετάξι από ότι το υποχλωριώδες νάτριο. Η οξείδωση που προκαλεί είναι κυρίως στην τυροσίνη.

9.3 Ποιότητα και βαθμονόμηση των κουκουλιών

Η ποιότητα του κουκουλιού επηρεάζεται από πρακτικούς παράγοντες λόγω:

1. διαφορών στην ποιότητα του κουκουλιού λόγω διαφορετικών μεθόδων πλοκής κουκουλιών στην ίδια εκτροφή,
2. διαφορών στα κουκούλια που παράγονται στην ίδια τοποθεσία από διαφορετικούς παραγωγούς που χρησιμοποιούν το ίδιο υβρίδιο,
3. διαφορών που οφείλονται στην εποχή εκτροφής. Για παράδειγμα, οι καλοκαιρινές και φθινοπωρινές εκτροφές δίνουν χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με την ανοιξιάτικη εκτροφή,
4. διαφορών σε περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την αναπηνιστικότητα των κουκουλιών, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία,
5. διαφορών στην τεχνική επεξεργασία κατά την αναπήνιση που επηρεάζει την απόδοση της αναπήνισης και την ποιότητα του ακατέργαστου μεταξιού,
6. διαφορών εξαιτίας των χρησιμοποιούμενων υβριδίων. Τα υβρίδια που έχουν δύο κύκλους ζωής τον χρόνο δίνουν καλύτερη ποιότητα μεταξιού από αυτά που έχουν πολλούς κύκλους ζωής τον χρόνο και χρησιμοποιούνται στις τροπικές περιοχές.

Η λίστα αυτή μπορεί να επεκταθεί σε μεγάλη έκταση και λεπτομέρεια, αλλά περιλαμβάνει περιληπτικά τους κύριους παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορές στην απόδοση των εμπορικών υβριδίων μεταξοσκώληκα.

Τα κουκούλια θα πρέπει υπό ιδανικές συνθήκες να αξιολογούνται και να βαθμονομούνται ιδιαίτερα όταν υπάρχει μεγάλη παραγωγή και ανταγωνισμός τιμών πώλησής τους. Οι τιμές βασίζονται στην ποιότητα των κουκουλιών. Όταν δεν υπάρχει μεγάλη παραγωγή, τότε τα κουκούλια πωλούνται με οπτική επιθεώρηση και η προσωπική εμπειρία του κάθε εμπόρου παίζει μεγάλο ρόλο στον καθορισμό της τιμής τους. Για τον λόγο αυτόν, οι παραγωγοί θα πρέπει να κάνουν καλή διαλογή των κουκουλιών τους για να πετύχουν την καλύτερη τιμή. Δεν υπάρχουν νόμοι ή παγκόσμιες νομοθεσίες σχετικά με την υποχρεωτική αξιολόγηση και την εμπορία των κουκουλιών. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα κουκούλια απλά δημοπρατούνται ή σε ορισμένες περιπτώσεις πωλούνται σε τιμή που καθορίζεται από κρατικές διατάξεις. Δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ τιμής και ποιότητας των κουκουλιών και μόνο ενδεικτικά μπορούν να γίνονται κάποιες συσχετίσεις τιμών και ποιότητας.

Χώρες που παράγουν μεγάλες ποσότητες κουκουλιών και είναι μέλη της Διεθνούς Επιτροπής Σηροτροφίας (ISC, International Sericultural Commission) έχουν προτείνει ένα διεθνές σύστημα αξιολόγησης και βαθμονόμησης της ποιότητας των κουκουλιών. Ωστόσο, η χρήση διαφορετικών υβριδίων μεταξοσκώληκα, οι τεχνικές αναπαραγωγής, αναπήνισης αλλά και άλλοι παράγοντες οδηγούν στην παραγωγή μη ομοιόμορφων κουκουλιών σε διάφορες χώρες. Αυτές οι παράμετροι υποβαθμίζουν την προσπάθεια ενοποίησης του εξοπλισμού και των μεθόδων αξιολόγησης (βλέπε Πίνακα 9.7) και έτσι δεν υπάρχει ένα διεθνώς αποδεκτό σύστημα βαθμονόμησης της ποιότητας των κουκουλιών (Anonymous, 1985; Ayuzawa, 1972; Choe, 1982; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015).

9.3.1 Βαθμονόμηση της ποιότητας των κουκουλιών

Η βαθμονόμηση της ποιότητας των κουκουλιών μπορεί να επιτευχθεί σε μια αυτόματη μηχανή αναπήνισης ενός ή πολλαπλών άκρων και η οποία είναι τυπικός εξοπλισμός ενός αναπηνιστηρίου. Οι μέθοδοι βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.7 και τα δεδομένα που περιγράφονται στον Πίνακα 9.7, αλλά και παρακάτω, αφορούν τη βιομηχανική αναπήνιση και την εμπορία πολύ μεγάλων ποσοτήτων κουκουλιών, όπου είναι αναγκαία η χορήγηση πιστοποιητικών ποιότητας.

Το δείγμα που λαμβάνεται από μια μεγάλη παραγωγή για τη βαθμονόμηση των κουκουλιών εξαρτάται από το μέγεθος της παραγωγής. Έτσι, αν έχουμε ως παραγωγή τον 1 τόνο, τότε παίρνουμε δείγμα 2 κιλών, αν έχουμε παραγωγή 2 τόνων, παίρνουμε δείγμα 4,5 κιλών και αν έχουμε παραγωγή 4 τόνων, τότε παίρνουμε δείγμα 6 κιλών για εξέταση και βαθμονόμηση. Όταν η αξιολόγηση γίνεται σε ξηρά κουκούλια, τότε για 400 κιλά κουκούλια παίρνουμε δείγμα 0,8 κιλών, για 800 κιλά κουκούλια παίρνουμε δείγμα 1,8 κιλών και για 1600 κιλά ξηρά κουκούλια παίρνουμε δείγμα 2,4 κιλών για εξέταση και βαθμονόμηση. Τα κουκούλια που παραλαμβάνονται πρέπει να ξηραίνονται το συντομότερο δυνατόν και σε αποδεκτό βαθμό. Για να γίνει αυτό, πρέπει να μετρηθεί η περιεκτικότητα σε υγρασία της νύμφης και το ποσοστό κελύφους του κουκουλιού. Η

ξήρανση πρέπει να γίνεται με μία συνεχή διαδικασία, όπου η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά από 98 °C σε 60 °C μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη αναλογία ξηρού βάρους.

Καταρχήν γίνεται έλεγχος για τον υπολογισμό του ποσοστού των κουκουλιών που απορρίπτονται. Αυτός ο έλεγχος γίνεται σε όλο το δείγμα κουκουλιών που πάρθηκαν με τυχαίο τρόπο, όπως περιγράφεται παραπάνω, και πραγματοποιείται συνήθως σε ένα τραπέζι υπό φυσικό φως. Εάν το φυσικό φως είναι ανεπαρκές με βάση την ώρα της ημέρας ή τις καιρικές συνθήκες, ο έλεγχος πραγματοποιείται υπό τεχνητό φως 500 lux. για τον υπολογισμό του ποσοστού των κουκουλιών που πρέπει να απορριφθούν σύμφωνα με τους όρους και τις προϋποθέσεις που καθορίζονται στη βαθμονόμηση των κουκουλιών που ισχύει. Τα κουκούλια που απορρίπτονται ανήκουν στις κατηγορίες των ελαττωματικών κουκουλιών.

Κίνα	**Ιαπωνία**	**Κορέα**
Οπτικός έλεγχος **Μέτρηση βάρους κελύφους σε 20 κουκούλια (Βαθμονόμηση σε 11 κατηγορίες)**		
Μηχανικός έλεγχος	**Μηχανικός έλεγχος**	**Μηχανικός έλεγχος**
Μέτρηση μήκους συνεχούς ίνας μεταξιού Βαθμονόμηση σε 20 κατηγορίες (950-340 μέτρα ίνας ακατέργαστου μεταξιού)	Μέτρηση ποσοστού ακατέργαστου μεταξιού (σε %)	Μέτρηση ποσοστού ακατέργαστου μεταξιού (σε %)
Ποσοστό αναπηνίσιμων κουκουλιών Βαθμονόμηση σε 8 κατηγορίες (94-82% του συνόλου των κουκουλιών)	Ποσοστό ελαττωματικών κουκουλιών (σε %)	Ποσοστό ελαττωματικών κουκουλιών (σε %)
	Αναπηνιστικότητα (σε %)	Μήκος ίνας ακατέργαστου μεταξιού (μέτρα)
Προσαρμογή βαθμονόμησης ως προς: Μέγεθος ίνας σε Ντενιέ Ποσοστό εσωτερικά λερωμένων κουκουλιών (σε %)	Βαθμονόμηση των κουκουλιών ως προς την αναπηνιστικότητά τους κατόπιν υπολογισμών: 5A: 100-85 4A: 84-80 3A:79-75 2A: 74-70 A: 69-65 B: 64-60 C: 59-55 D: 54-50 E: 49-	Βαθμονόμηση των κουκουλιών ως προς το μήκος της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού 10 κατηγορίες (33,5-42,5 βαθμοί) (1) Βαθμονόμηση των κουκουλιών ως προς την αναπηνιστικότητα 10 κατηγορίες (43,5-52,5 βαθμοί) (2)
		Τελική βαθμονόμηση κουκουλιών (1+2): A: >90 B: 88-89 C: 86-87 D: 84-85 E: <83

Πίνακας 9.7 *Μέθοδοι αξιολόγησης και βαθμονόμησης των κουκουλιών σε τρεις διαφορετικές χώρες. Παρατηρείτε την έλλειψη συμφωνίας μεταξύ των μεθόδων, η οποία περιπλέκει τη δυνατότητα ύπαρξης μιας παγκόσμιας μεθόδου αξιολόγησης της ποιότητας των κουκουλιών. Κατά τη γνώμη του συγγραφέα, η ιαπωνική μέθοδος είναι η πλέον απλή και αξιόπιστη, καθώς βασίζεται σε μετρήσιμες μεταβλητές και δεν περιλαμβάνει μεταβλητές όπως το μήκος της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού που μεροληπτικά είναι μεγαλύτερο στα παραγωγικά υβρίδια (Πηγή: προσαρμογή από (Lee, 1999)).*

Στη συνέχεια του ελέγχου ποιότητας των κουκουλιών γίνεται ομαδοποίηση των κουκουλιών προς αναπήνιση, μετά την απόρριψη των ελαττωματικών κουκουλιών και ένα μικρό δείγμα κουκουλιών, από το συνολικό δείγμα που έχει παρθεί για αξιολόγηση, βράζεται για να προσδιοριστούν οι σωστές συνθήκες βρασμού. Όταν αποφασιστούν οι σωστές συνθήκες βρασμού στο μικρό δείγμα του συνολικού δείγματος, τότε όλα τα υπόλοιπα κουκούλια του δείγματος υποβάλλονται σε βρασμό.

Οι συνθήκες αναπήνισης των κουκουλιών του δείγματος είναι: Θερμοκρασία νερού στη λεκάνη συλλογής των άκρων των ινών του ακατέργαστου μεταξιού: 80 °C, ταχύτητα αναπήνισης: 160 μέτρα/λεπτό, δείγματα αναπήνισης ανά λεκάνη αναπήνισης: 3, μήκος ανέμης: 8 εκατοστά, επιθυμητό μέγεθος ίνας: 21 Ντενιέ. Η σύστριψη ή επαναναπήνιση του ακατέργαστου μεταξιού γίνεται σε μεγάλους τροχούς με περίμετρο 1,5 μέτρο και τυπική ταχύτητα περιστροφής 160 κύκλοι ανά λεπτό.

9.3.2 Υπολογισμός αποτελεσμάτων αναπήνισης

Τα αποτελέσματα τουλάχιστον δύο ή τριών ανεξάρτητων ελέγχων αναπήνισης πρέπει να λαμβάνονται για τον υπολογισμό της βαθμονόμησης των κουκουλιών. Από την όλη διαδικασία αξιολόγησης της ποιότητας των κουκουλιών του δείγματος μέσω αναπήνισης μπορούν να εξαχθούν οι μετρήσεις για το βάρος του ακατέργαστου μεταξιού που παίρνουμε από δεδομένη ποσότητα κουκουλιών του δείγματος και να υπολογίσουμε το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού. Από τις προπαρασκευαστικές διαδικασίες πριν την αναπήνιση των κουκουλιών μπορούμε να έχουμε δεδομένα για το βάρος του κελύφους των φρέσκων κουκουλιών ή των αποξηραμένων κουκουλιών και μπορούμε να έχουμε υπολογίσει το ποσοστό των ελαττωματικών κουκουλιών. Έχοντας αυτά τα δεδομένα, υπολογίζουμε το μήκος της ίνας ακατέργαστου μεταξιού που παίρνουμε από την αναπήνιση συγκεκριμένου αριθμού κουκουλιών από τον τύπο:

$$\text{Μήκος ίνας κουκουλιών} = (\text{Μήκος ακατέργαστου μεταξιού (μέτρα) x Μέσος αριθμός κουκουλιών ανά νήμα}) \,/\, \text{Συνολικός αριθμός αναπηνισμένων κουκουλιών} \quad (9.7)$$

όπου ο συνολικός αριθμός των αναπηνισμένων κουκουλιών είναι ίσος με τον αριθμό των κουκουλιών του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε μείον τον αριθμό των μετατραπέντων χρησιμοποιημένων κουκουλιών, και ο μέσος αριθμός κουκουλιών ανά νήμα είναι ίσος με το πηλίκο: Άθροισμα των αναπηνισμένων κουκουλιών ανά νήμα / Άθροισμα του αριθμού άκρων που ελέγχθηκαν. Το μήκος του ακατέργαστου μεταξιού ελέγχεται από τον μετρητή της μηχανής αναπήνισης. Το άθροισμα του αριθμού ινών κουκουλιών ανά νήμα είναι ο συνολικός αριθμός αναπηνισμένων κουκουλιών που επαληθεύτηκε 20 φορές κατά τη διάρκεια της αναπήνισης (αυτό σημαίνει μία φορά ανά μονάδα εργασίας). Το μήκος του ακατέργαστου μεταξιού βασίζεται στον μέσο όρο κάθε μονάδας εργασίας και εκφράζεται με ένα δεκαδικό ψηφίο. Ο αριθμός των μετατραπέντων μη αναπηνίσημων κουκουλιών και ο αριθμός των μετατραπέντων χρησιμοποιημένων κουκουλιών υπολογίζεται μετατρέποντάς τα σε μήκος ίνας και εκφράζονται σε αριθμό κουκουλιών στο δείγμα στο ένα δεκαδικό ψηφίο.

Ο αριθμός κουκουλιών που μετατρέπεται σε πλήρες μήκος ίνας κουκουλιού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$1.00P + 0.77H + 0.39M + 0.12L \quad (9.8)$$

όπου P : ο αριθμός των κουκουλιών που βράστηκαν, αλλά δεν μπορούσαν να αναπηνιστούν. H: ο αριθμός των κουκουλιών στα αρχικά στάδια αναπήνισής τους που δεν μπορούσαν να αναπηνιστούν ή που έμειναν μη αναπηνισμένα, M: ο αριθμός των κουκουλιών που βρίσκονταν στα μεσαία στάδια αναπήνισής τους και δεν μπορούσαν να αναπηνιστούν ή που έμειναν μη αναπηνισμένα, L: ο αριθμός των κουκουλιών που βρίσκονταν στα τελικά στάδια αναπήνισής τους και δεν μπορούσαν να αναπηνιστούν ή που έμειναν μη αναπηνισμένα. Ο αριθμός των ινών από κουκούλια ανά νήμα υπολογίζεται σε δύο δεκαδικά ψηφία.

Η αναπήνιση δεν γίνεται μέχρι να χρησιμοποιηθεί και το τελευταίο κουκούλι του δείγματος, αλλά γίνεται με τη χρήση 50 περίπου κουκουλιών. Έτσι τα κουκούλια που μένουν μετά την αναπήνιση 50 κουκουλιών ονομάζονται ως «παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα». Τα κουκούλια αυτά χωρίζονται σε 3 κατηγορίες: Τα (H), δηλαδή κουκούλια όπου μόνο το εξωτερικό στρώμα έχει αναπηνιστεί. Τα (M), δηλαδή κουκούλια που αναπηνίστηκαν μέχρι το μεσαίο στρώμα του κελύφους τους, και τα (L), δηλαδή κουκούλια που αναπηνίστηκαν μέχρι το εσωτερικό μέρος του κελύφους τους αλλά όχι ολοκληρωτικά. Αυτές οι 3 κατηγορίες είναι κουκούλια που μπορούν να αναπηνιστούν τελείως μαζί με άλλα κουκούλια και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει να μετατραπούν σε πλήρες μήκος νήματος ή βάρος κουκουλιού και στη συνέχεια ο αριθμός τους που έχει μετατραπεί πρέπει να αφαιρεθεί από το συνολικό δείγμα κουκουλιών για να ληφθεί το ακριβές ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού ή το πραγματικό δείγμα.

Ο αριθμός κουκουλιών των 3 κατηγοριών (H, M και L) πολλαπλασιάζεται στην παραπάνω εξίσωση με κάποιες σταθερές που έχουν βρεθεί εμπειρικά ότι είναι αντιπροσωπευτικές σταθερές του βάρους και του μήκους της ίνας μεταξιού ανάλογα με το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η αναπήνισή τους. Επίσης, τα μη αναπηνίσημα κουκούλια μετατρέπονται με τις ίδιες σταθερές και συμμετέχουν στον υπολογισμό των παραπάνω εξισώσεων.

Ας δούμε ένα παράδειγμα για να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω:

Ας υποθέσουμε ότι πήραμε ένα δείγμα από 340 κουκούλια και ότι το τελικό μήκος του νήματος μεταξιού που πήραμε από αυτά είναι 55150 μέτρα. Ας υποθέσουμε επίσης ότι ο συνολικός αριθμός ινών μεταξιού που χρησιμοποιήθηκε στο νήμα ήταν 720 και είχαμε 91 φορές ένωση των άκρων της ίνας. Ας δεχθούμε επίσης ότι είχαμε 1 κουκούλι κατηγορίας H και 3 κουκούλια κατηγορίας M που ήταν μη αναπηνίσημα. Ας δεχθούμε

επίσης ότι είχαμε 5 κουκούλια κατηγορίας Η, 14 κουκούλια κατηγορίας Μ και 21 κουκούλια κατηγορίας L που έμεναν ως μη αναπηνισμένα στο τέλος του ελέγχου.

Έχουμε λοιπόν τον τύπο:

αριθμός κουκουλιών που μετατρέπεται σε πλήρες μήκος ίνας κουκουλιού = 1,00P + 0,77H + 0,39M + 0,12L και σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε ο τύπος μετατρέπεται σε 1 x (0) + 0,77 x (5) + 0,39 x (14) + 0,12 x (21) = 0 + 3,85 + 5,46 + 2,52 = 11,83 κουκούλια που έμειναν ως μη αναπηνισμένα. (9.9)

Και επίσης τον τύπο:

αριθμός κουκουλιών που μετατρέπεται σε πλήρες μήκος ίνας κουκουλιού = 1,00P + 0,77H + 0,39M + 0,12L = 1 x (0) +0,77 x (1) + 0,39 x (3) + 0,12 x (0)= 0 + 0,77 + 1,17 =1,94 κουκούλια που δεν ήταν αναπηνίσημα. Συνολικά 11,83 +1,94 = 13,77 =14 κουκούλια (9.10)

Αυτά τα 14 κουκούλια θα πρέπει να αφαιρεθούν από το δείγμα των 340 κουκουλιών και άρα 326 κουκούλια χρησιμοποιήθηκαν. Έτσι ο μέσος όρος κουκουλιών από τα οποία πάρθηκε ίνα ανά νήμα είναι 720/91 = 7,91 κουκούλια. Και το μήκος της ίνας των κουκουλιών αυτών είναι (55150 (μέτρα) x 7,91)/326 = 1338 μέτρα ίνας. Έτσι αν στον έναν έλεγχο βρήκαμε 1338 μέτρα και σε δεύτερο έλεγχο με παρόμοιο τρόπο βρήκαμε 1349 μέτρα ίνας, τότε ο μέσος όρος των 2 ελέγχων (δηλαδή 1344 μέτρα) είναι ο μέσος όρος του μήκους της ίνας που υπολογίστηκε από τους 2 ελέγχους.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το ποσοστό αναπηνισημότητας των κουκουλιών που αναπηνίστηκαν κατά τον έλεγχο του δείγματος. Το ποσοστό αναπηνισημότητας υπολογίζεται τώρα από το πηλίκο:

(αριθμός των αναπηνισμένων κουκουλιών / αριθμός των ινών που χρησιμοποιήθηκαν) x 100 (9.11)

Όπου

αριθμός των αναπηνισμένων κουκουλιών = αριθμός των κουκουλιών του δείγματος - αριθμός των μη αναπηνίσιμων κουκουλιών - αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπονται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα (9.12)

Ενώ

ο αριθμός των ινών που χρησιμοποιήθηκαν είναι = αριθμός των κουκουλιών των οποίων οι ίνες αναπηνίστηκαν + αριθμός των κουκουλιών που είναι παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα - αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπονται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα (9.13)

Το ποσοστό αναπηνισημότητας είναι ο μέσος όρος του αριθμού των ελέγχων σε παρτίδες που κάνουμε και εκφράζεται στο ένα δεκαδικό ψηφίο.

Ας δούμε ένα παράδειγμα υπολογισμού του ποσοστού αναπηνισημότητας: Έχουμε, όπως στο παραπάνω παράδειγμα, τον αριθμό των κουκουλιών του δείγματος να είναι 340 και τον συνολικό αριθμό ινών που προστέθηκαν στο νήμα να είναι 521. Επίσης ας δεχθούμε ότι έχουμε 1 μη αναπηνίσημο κουκούλι κατηγορίας Η και τα παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα κουκούλια είναι 5 κατηγορίας Η, 14 κατηγορίας Μ και 21 κατηγορίας L. Έτσι, χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο έχουμε:

ο αριθμός των αναπηνισμένων κουκουλιών = αριθμός των κουκουλιών του δείγματος - αριθμός των μη αναπηνίσιμων κουκουλιών - αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπονται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα = 340 – (1 x (0) + 0,77 (9.1)

x (1) + 0,39 x (0) + 0,12 x (0)) – (1 x (0) + 0,77 x (5) + 0,39 x (14) + 0,12 x (21))
= 340 -0,77 – 11,83 = 327 αναπηνισμένα κουκούλια

Και

αριθμός των ινών που χρησιμοποιήθηκαν είναι = αριθμός των κουκουλιών των οποίων οι ίνες αναπηνίστηκαν + αριθμός των κουκουλιών που είναι παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα - αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπονται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα = 521 + (5 + 14 + 21) - (1 x (0) + 0,77 x (5) + 0,39 x (14) + 0,12 x (21)) = 521 + 40 – 11,83 = 549 ίνες που χρησιμοποιήθηκαν (9.15)

Οπότε το ποσοστό αναπηνιστικότητας είναι (327/549) x 100= 59,56 και αν σε μια άλλη δοκιμή το ποσοστό αναπηνιστικότητας είναι, για παράδειγμα, 60,99, τότε το ποσοστό αναπηνιστικότητας είναι ο μέσος όρος των δύο μετρήσεων, δηλαδή (59,56 +60,99)/2= 60,27%.

Κατόπιν υπολογίζουμε το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού των κουκουλιών χρησιμοποιώντας τώρα τον παρακάτω τύπο:

Ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού των κουκουλιών = (((βάρος ίνας ενός κουκουλιού + απόδοση σε μετάξι των κουκουλιών που παρέμειναν ως μη αναπηνισμένα)/ βάρος του κουκουλιού)) x (λόγος ξηρού προς φρέσκο βάρος των κουκουλιών) x 100, (9.16)

όπου η απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι των κουκουλιών που παρέμειναν ως μη αναπηνισμένα ισούται με το βάρος του νήματος (γραμμάρια) επί τον αριθμό των κουκουλιών που παρέμειναν ως μη αναπηνισμένα και πρέπει να θεωρηθούν ως πλήρως αναπηνισμένα.

Το βάρος του νήματος σε γραμμάρια δίνεται από τον τύπο:

βάρος του νήματος (γραμμάρια)/αριθμός αναπηνισμένων κουκουλιών, όπου αριθμός αναπηνισμένων κουκουλιών είναι = αριθμός των κουκουλιών του δείγματος - αριθμός των μη αναπηνίσιμων κουκουλιών - αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπονται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα (9.17)

Το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού υπολογίζεται σε δύο δεκαδικά ψηφία. Το βάρος του νήματος υπολογίζεται σε τρία δεκαδικά ψηφία. Τα μετατρεπόμενα μη αναπηνίσημα κουκούλια και τα κουκούλια που θεωρούνται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα υπολογίζονται με βάση το βάρος του νήματος και εκφράζονται στο σύνολο σε ένα δεκαδικό ψηφίο.

Ας δούμε ένα παράδειγμα για τους παραπάνω υπολογισμούς: Ο αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπεται σε πλήρες βάρος κουκουλιού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$1{,}00P + 0{,}73H + 0{,}3M + 0{,}08L \quad (9.18)$$

Όπου P: ο αριθμός των κουκουλιών που βράστηκαν αλλά δεν αναπηνίστηκαν. H: ο αριθμός των κουκουλιών στα αρχικά στάδια αναπήνισής τους και που ήταν μη αναπηνίσημα ή που έμειναν μη αναπηνισμένα. M: ο αριθμός των κουκουλιών που βρίσκονταν στα μεσαία στάδια αναπήνισής τους και που ήταν μη αναπηνίσημα ή που έμειναν μη αναπηνισμένα και L: ο αριθμός των κουκουλιών που βρίσκονταν στα τελικά στάδια αναπήνισής τους και που ήταν μη αναπηνίσημα ή που έμειναν μη αναπηνισμένα. Ας δεχθούμε ότι κάνουμε 2 ελέγχους και έχουμε το βάρος του δείγματος των κουκουλιών στον έλεγχο 1 ως 300 γραμμάρια και στον έλεγχο 2 ως επίσης 300 γραμμάρια. Ας δεχθούμε ότι ο λόγος ξηρού βάρους προς φρέσκο βάρος των κουκουλιών είναι 0,428, όπως υπολογίστηκε στην αρχή της διαδικασίας ποιοτικού ελέγχου των κουκουλιών. Ας δεχθούμε ότι το βάρος του νήματος που πήραμε ήταν 131,05 γραμμάρια στον έλεγχο 1 και 131,75 γραμμάρια στον έλεγχο 2. Ας δεχθούμε ότι το δείγμα κουκουλιών στον έλεγχο 1 ήταν 340 κουκούλια και στον έλεγχο 2 ήταν επίσης 340 κουκούλια. Ας δεχθούμε ότι τα μη αναπηνίσημα κουκούλια ήταν στον έλεγχο 1 P=1 και M=3 και στον έλεγχο 2 ήταν P=1 και H=1. Ας δεχθούμε ότι ο αριθμός των μετατραπέντων κουκουλιών που

παρέμειναν ως μη αναπηνισμένα στον έλεγχο 1 ήταν H=5, M=14 και L=21 και στον έλεγχο 2 ήταν H=3, M=11 και L=27.

Τότε.

$$\text{αριθμός αναπηνισμένων κουκουλιών είναι} = \text{αριθμός των κουκουλιών του δείγματος - αριθμός των μη αναπηνίσιμων κουκουλιών - αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπονται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα} = 340 - (1{,}00 \text{ x } (1) + 0{,}73 \text{ x } (0) + 0{,}30 \text{ x } (3) + 0{,}08 \text{ x } (0)) - (1{,}00 \text{ x } (0) + 0{,}73 \text{ x } (5) + 0{,}30 \text{ x } (14) + 0{,}08 \text{ x } (21) = 340 - (1 + 0{,}9) - (3{,}65 + 4{,}2 + 1{,}68) = 340 - 1{,}9 - 9{,}53 = 328 \quad (9.19)$$

και για τον έλεγχο 2 έχουμε

$$\text{αριθμός αναπηνισμένων κουκουλιών είναι} = \text{αριθμός των κουκουλιών του δείγματος - αριθμός των μη αναπηνίσιμων κουκουλιών - αριθμός των κουκουλιών που μετατρέπονται ως παραμένοντα ως μη αναπηνισμένα} = 340 - (1{,}00 \text{ x } (1) + 0{,}73 \text{ x } (1) + 0{,}30 \text{ x } (0) + 0{,}08 \text{ x } (0)) - (1{,}00 \text{ x } (0) + 0{,}73 \text{ x } (3) + 0{,}30 \text{ x } (11) + 0{,}08 \text{ x } (27) = 340 - (1 + 0{,}73) - (2{,}19 + 3{,}3 + 2{,}16) = 340 - 1{,}73 - 7{,}65 = 330 \quad (9.20)$$

Τότε, το βάρος του νήματος για τον έλεγχο 1 είναι = (131,05 (γραμμάρια)/328) = 399,5 χιλιοστόγραμμα, και (131.75 (γραμμάρια) /330) = 399,2 χιλιοστόγραμμα για τον έλεγχο 2.

Επίσης, το βάρος του νήματος από τα μετατραπέντα ως μη αναπηνισμένα κουκούλια είναι για τον έλεγχο 1: 399,5 χιλιοστόγραμμα x 9,53 κουκούλια = 3,80 γραμμάρια και για τον έλεγχο 2 είναι 399,2 χιλιοστόγραμμα x 7,65 κουκούλια = 3, 05 γραμμάρια.

Οπότε, για τον έλεγχο 1

$$\text{ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού των κουκουλιών του δείγματος είναι} = ((131{,}05 \text{ γραμμάρια} + 3{,}80 \text{ γραμμάρια})/300 \text{ (συνολικό βάρος κουκουλιών) x (λόγος ξηρού προς φρέσκο βάρος των κουκουλιών) x } 100 = (134{,}85/300) \text{ x } 0{,}428 \text{ x } 100 = 19{,}238\%, \quad (9.21)$$

και για τον έλεγχο 2

$$\text{ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού των κουκουλιών του δείγματος είναι} = ((131{,}75 \text{ γραμμάρια} + 3{,}05 \text{ γραμμάρια})/300 \text{ (συνολικό βάρος κουκουλιών)) x (λόγος ξηρού προς φρέσκο βάρος των κουκουλιών) x } 100 = (134{,}8/300) \text{ x } 0{,}428 \text{ x } 100 = 19{,}231\%. \text{ Οπότε ο μέσος όρος των δύο τιμών είναι } (19{,}238+19{,}231)/2 = 19{,}234\% \quad (9.22)$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς και ανατρέχοντας στον Πίνακα 9.7 μπορούμε να βαθμονομήσουμε την ποιότητα των κουκουλιών που αναπηνίστηκαν, τόσο με την ιαπωνική όσο και με την κορεατική μέθοδο βαθμονόμησης. Για να χρησιμοποιήσουμε την κορεατική μέθοδο βαθμονόμησης, θα πρέπει να γνωρίζουμε τους βαθμούς που δίνονται στα διάφορα μήκη ίνας ακατέργαστου μεταξιού, αλλά και τη βαθμονόμηση που δίνεται στα ποσοστά αναπηνιστικότητας του δείγματος κουκουλιών που εξετάστηκαν. Η βαθμονόμηση σύμφωνα με το κορεάτικό σύστημα βαθμονόμησης δίνεται στον παρακάτω Πίνακα 9.8.

Μήκος ίνας (μέτρα)	Βαθμοί	Αναπηνιστικότητα (%)	Βαθμοί
<920	33,5	<34	43,5
921-990	34,5	34-39	44,5
991-1060	35,5	40-45	45,5
1061-1130	36,5	46-51	46,5
1131-1200	37,5	52-57	47,5
1201-1270	38,5	58-63	48,5
1271-1340	39,5	64-69	49,5
1341-1410	40,5	70-76	50,5
1411-1480	41,5	77-82	51,5
>1481	42,5	>83	52,5

Πίνακας 9.8 *Βαθμονόμηση της ποιότητας κουκουλιών μετά από αναπήνιση σύμφωνα με την κορεατική μέθοδο βαθμονόμησης (βλέπε Πίνακα 9.7). Μετά από πρόσθεση των βαθμολογιών για το μήκος της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού και του ποσοστού αναπηνιστικότητας, προκύπτει μια συνολική βαθμολογία που κατατάσσει τα κουκούλια σε 5 κατηγορίες (Α έως Ε, όπου Α είναι τα καλύτερα κουκούλια και Ε τα χειρότερα) σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 9.7 (Πηγή: προσαρμογή από (Lee, 1999)).*

9.3.3 Αγορά και πώληση κουκουλιών

Η τιμή των κουκουλιών που απαιτούνται για να παραχθεί 1 κιλό ακατέργαστου μεταξιού καλείται *παράμετρος τιμής κουκουλιών* και υπολογίζεται με βάση την ύπαρξη 10% ακατέργαστου μεταξιού στα κουκούλια για να δημιουργηθεί ακατέργαστο μετάξι ποιότητας 2Α. Η παράμετρος τιμή κουκουλιών για τον υπολογισμό της τιμής των κουκουλιών υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Παράμετρος Τιμής Κουκουλιών/10 κιλά κουκούλια} = (\text{Τιμή πώλησης ακατέργαστου μεταξιού} + \text{Εισόδημα από παραπροϊόντα μεταξιού}) - (\text{Κόστος παραγωγής και εμπορίας ακατέργαστου μεταξιού}) + \text{Έσοδα εμπορίας})/\ \text{Βάρος μονάδας πώλησης ακατέργαστου μεταξιού (60 κιλά).} \quad (9.23)$$

Για παράδειγμα: ας θεωρήσουμε ότι η τιμή πώλησης ακατέργαστου μεταξιού ανά κιλό είναι 61,683 Ευρώ (βλέπε παρακάτω) και το εισόδημα από τα παραπροϊόντα μεταξιού είναι 8 Ευρώ. Ας θεωρήσουμε επίσης ότι το κόστος παραγωγής και εμπορίας μεταξιού είναι 15 Ευρώ και τα Έσοδα εμπορίας είναι 4,317 Ευρώ.

Τότε: παράμετρος τιμής κουκουλιών/10 κιλά κουκούλια = (61,683+ 9 – 15+ 4,317))/60 κιλά και άρα, παράμετρος τιμής κουκουλιών / κιλό κουκουλιών = (75 -15)/6 = 10.

Να σημειωθεί ότι αυτοί οι υπολογισμοί, παρά το γεγονός ότι είναι χρήσιμοι, είναι αυθαίρετοι και θα πρέπει να γνωρίζουμε την παρούσα τιμή πώλησης του ακατέργαστου μεταξιού, το κέρδος από τα παραπροϊόντα, εάν υπάρχει, το κόστος παραγωγής και εμπορίας και τα έσοδα εμπορίας για να υπολογίσουμε την τιμή. Με άλλα λόγια, μόνο μια επιχείρηση που λειτουργεί ένα αναπηνιστήριο μπορεί να υπολογίσει την παράμετρο τιμής κουκουλιών.

Επειδή η παράμετρος τιμής κουκουλιών αντιστοιχεί στα κουκούλια κατηγορίας C της κορεατικής μεθόδου βαθμονόμησης, εάν τα προς πώληση κουκούλια είναι διαφορετικής κατηγορίας, τότε προσθέτουμε ή αφαιρούμε 2% από την παράμετρο τιμής κουκουλιών που υπολογίσαμε ανά διαφορετική κατηγορία, δηλαδή για τα κουκούλια κατηγορίας Α προσθέτουμε το 4% της τιμής της παραμέτρου τιμής κουκουλιών που υπολογίσαμε.

Η τιμή ενός κιλού κουκουλιών υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Τιμή κουκουλιών/κιλό} = (\text{παράμετρος τιμής κουκουλιών} \pm \text{Ποσοστό τροποποίησης της παραμέτρου}) \times \text{ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού} \times (1 - \text{ποσοστό αναπροσαρμογής της τιμής}) \quad (9.24)$$

Το ποσοστό του ακατέργαστου μεταξιού στην παραπάνω εξίσωση προκύπτει από τους ελέγχους για τον υπολογισμό του ακατέργαστου μεταξιού, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, και πολλαπλασιάζεται με τον

συντελεστή 0,9785 για να ισούται και να προσαρμόζεται με την απόδοση των φρέσκου κουκουλιού λόγω της απώλειας υγρασίας κατά το στάδιο της νύμφης (Πίνακας 9.3). Ο παραγωγός μεταξιού μπορεί να έχει μεγάλα αποθέματα κουκουλιών αποθηκευμένα και επειδή η αποθήκευσή τους έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού ακατέργαστου μεταξιού, εισάγουμε το ποσοστό του 2,15% ως ποσοστό αναπροσαρμογής της τιμής στην παραπάνω εξίσωση. Αυτό γίνεται γιατί το δείγμα δοκιμής του μεταξιού (βλέπε παραπάνω) δεν αντιστοιχεί στο πραγματικό ακατέργαστο μετάξι που πωλείται και το οποίο μπορεί να προέρχεται από αποθηκευμένα κουκούλια.

Για παράδειγμα: Ας υποθέσουμε ότι έχουμε κουκούλια Α κατηγορίας με ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού που υπολογίστηκε σε 19,234% (βλέπε παραπάνω) και παράμετρο τιμής κουκουλιών = 10.

Τότε:

$$\text{Τιμή των κουκουλιών ανά κιλό θα είναι} = 10 + (10 \text{ x } 0{,}04) \text{ x } 0{,}19234 \text{ x } (1\text{-}0{,}0215) = (10 + 0{,}4) \text{ x } 0{,}19234 \text{ x } 0{,}9785 = 10{,}4 \text{ x } 0{,}19234 \text{ x } 0{,}9785 = 1{,}957 \text{ Ευρώ ανά κιλό φρέσκα κουκούλια.} \quad (9.25)$$

Οι παραπάνω υπολογισμοί δεν θα έχουν καμιά πρακτική σημασία εάν δεν γνωρίζουμε την παράμετρο τιμής κουκουλιών που ουσιαστικά είναι ένας αριθμός που παρέχεται από τη βιομηχανία αναπήνισης κουκουλιών. Με άλλα λόγια, μόνο μια βιομηχανία ή βιοτεχνία αναπήνισης κουκουλιών μπορεί να καθορίσει την τιμή των φρέσκων κουκουλιών, εφόσον γίνονται οι έλεγχοι της ποιότητας των κουκουλιών και υπάρχουν δεδομένα για την αναπηνιστικότητα των κουκουλιών και το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού. Αν δεν γίνονται οι έλεγχοι κουκουλιών, τότε ούτε και η βιομηχανία αναπήνισης μπορεί ακριβώς να καθορίζει την τιμή πώλησης των φρέσκων κουκουλιών, αλλά μπορεί να έχει μια γνώση για την κατανομή των τιμών. Είναι επίσης προφανές ότι δεν μπορούν να ισχύουν τέτοιες τιμές φρέσκων κουκουλιών για τα ελληνικά οικονομικά δεδομένα.

Επί του παρόντος, ένας τόνος ακατέργαστου μεταξιού στο Χρηματιστήριο Αξιών της Κίνας είχε την 29/12/2021 ως τιμή 442812, 5 Γιουάν και αυτή η τιμή ήταν για ακατέργαστο μετάξι ποιότητας 3Α και 20/22 Ντενιέ. Δεδομένου ότι την ίδια ημέρα η ισοτιμία Γιουάν με Ευρώ ήταν 1 Γιουάν = 0,1393 Ευρώ, τότε 1 τόνος ακατέργαστου μεταξιού αγοράζεται με 61683,781 Ευρώ. Δηλαδή 1 κιλό ακατέργαστου μεταξιού αγοράζεται προς 61,683 Ευρώ (http://www.sunsirs.com/uk/prodetail-322.html).

Την ίδια στιγμή, ένας τόνος ξηρών κουκουλιών στο Χρηματιστήριο Αξιών της Κίνας είχε την 29/12/2021 ως τιμή 146000 Γιουάν και αυτή η τιμή ήταν για παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού ποιότητας 3Α με ποσοστό μεταξιού > 32% και αναπηνιστικότητα > 60%. Δεδομένου ότι την ίδια ημέρα η ισοτιμία Γιουάν με Ευρώ ήταν 1 Γιουάν = 0,1393 Ευρώ, τότε 1 τόνος ξηρών κουκουλιών αγοράζεται με 20337,8 Ευρώ (http://www.sunsirs.com/uk/prodetail-324.html). Δηλαδή, η τιμή 1 κιλού ξηρών κουκουλιών είναι 20,337 Ευρώ/κιλό. Αυτό σημαίνει ότι αν έχουμε ποσοστό ξήρανσης 42,8% (βλέπε παραπάνω), δηλαδή 1 κιλό φρέσκων κουκουλιών γίνεται 428 γραμμάρια ξηρά κουκούλια στο τελικό ποσοστό ξήρανσης, τότε η τιμή πώλησης των φρέσκων κουκουλιών είναι 20,337 x 0,428 = 8,70 Ευρώ ανά κιλό στο Χρηματιστήριο Αξιών της Κίνας.

Αν λάβουμε υπόψη το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού που βρήκαμε παραπάνω (19,234%) για 1 κιλό φρέσκων κουκουλιών, τότε μπορούμε να πούμε ότι η τιμή πώλησης του 1 κιλού φρέσκων κουκουλιών αντιστοιχεί σε (8,70/0,19234) = 45,232 Ευρώ ανά κιλό ακατέργαστου μεταξιού, ενώ το υπόλοιπο κόστος του ακατέργαστου μεταξιού (μέχρι την τιμή 61,683 Ευρώ) αποτελεί το λειτουργικό και όλα τα άλλα κόστη του αναπηνιστηρίου εξαιρώντας τα κέρδη εμπορίας και τα κέρδη από την πώληση των παραπροϊόντων. Δηλαδή, σε γενικές γραμμές (45,232/61,683) = 73,333% είναι το κόστος της πρώτης ύλης και 26,666% είναι τα υπόλοιπα λειτουργικά κόστη του αναπηνιστηρίου ή 16,451 Ευρώ ανά 1 κιλό ακατέργαστου μεταξιού για την πώληση 1 κιλού ακατέργαστου μεταξιού.

Επίσης, το πηλίκο συσχέτισης των ξηρών κουκουλιών με το ακατέργαστο μετάξι είναι 0,328 (20,337/61,683) και το πηλίκο συσχέτισης των φρέσκων κουκουλιών με το ακατέργαστο μετάξι είναι 0,141 (8,70/61,683). Αυτά τα πηλίκα συσχέτισης μπορούν να είναι ενδεικτικά των αναλογιών και των εκτιμήσεων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις συναλλαγές κατά την εμπορία των κουκουλιών και φυσικά θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη ότι αυτά ισχύουν για την αγορά της Κίνας.

Όταν δεν υπάρχει σύστημα βαθμονόμησης των κουκουλιών, με όλους τους υπολογισμούς που αναφέρονται παραπάνω, τότε χρησιμοποιείται ένα αυθαίρετο ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού με βάση την οπτική επιθεώρηση των κουκουλιών. Αυτό υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το ποσοστό κελύφους του κουκουλιού και σχετικές πληροφορίες για το προβλεπόμενο ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού από παλιότερα

έτη ή από τη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, όταν η παράμετρος τιμής κουκουλιών είναι 10 και το υποτιθέμενο ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού των κουκουλιών είναι 18%, η εμπορική τιμή ανά κιλό είναι 10 x 0,18 = 1,8 Ευρώ για κουκούλια κατηγορίας Α. Γενικότερα, οι παραγωγοί κουκουλιών θα πρέπει πάντα να υπολογίζουν το ποσοστό του κελύφους σε δείγμα κουκουλιών τους, να διαχωρίζουν καλά τα κουκούλια τους για να εμπορεύονται τα καλύτερα κουκούλια τους στις καλύτερες συνθήκες για να πετυχαίνουν τις καλύτερες τιμές και να γνωρίζουν ότι σε γενικές γραμμές ότι 1 κιλό φρέσκα κουκούλια δίνει 400 γραμμάρια ξηρών κουκουλιών, δηλαδή μια αναλογία 2,5 ξηρά προς 1 κιλό φρέσκα κουκούλια.

Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι οι παραπάνω υπολογισμοί της παραμέτρου τιμής των κουκουλιών ισχύουν για την αγορά της Κίνας, ενώ τα δεδομένα για τις ευρωπαϊκές αγορές είναι τελείως διαφορετικά, αλλά δεν βασίζονται σε υπολογισμούς και εξισώσεις, αλλά σε μια σειρά από πολλούς αστάθμιστους παράγοντες. Για παράδειγμα, στην Ιαπωνία, τον Ιανουάριο του 2021 το 1 κιλό αποξηραμένα κουκούλια ποιότητας 5Α είχε τιμή αγοράς 17,97 Ευρώ, και αυτό σημαίνει ότι το 1 κιλό φρέσκα κουκούλια ποιότητας 5Α αντίστοιχα είχαν τιμή 7,19 Ευρώ το κιλό (δεχόμενοι ποσοστό ξήρανσης 40%). Από την άλλη πλευρά, η τιμή 1 κιλού φρέσκων κουκουλιών της καλύτερης ποιότητας στην Ιταλία για το 2022 ήταν 20 Ευρώ ανά κιλό (S. Cappellozza, προφορική ενημέρωση). Όπως αντιλαμβάνεται κανείς, υπάρχει τεράστια διαφορά ανάμεσα στις τιμές των κουκουλιών στις διάφορες χώρες.

9.4 Αναπήνιση των κουκουλιών

9.4.1 Βρασμός κουκουλιών

Ο βρασμός των κουκουλιών πριν την αναπήνιση γίνεται για να γίνει δυνατή η αναπήνιση των κουκουλιών. Το βράσιμο των κουκουλιών διογκώνει τη διάταξη της ίνας και επιτρέπει το ξετύλιγμά της. Κατά την πλοκή του κουκουλιού, η σερικίνη με τις κολλώδεις ιδιότητές της συσσωματώνει την ίνα του μεταξιού. Κατά την ξήρανση των κουκουλιών, η σερικίνη αφυδατώνεται και γίνεται πιο συμπαγής δομικά. Με τον βρασμό η σερικίνη διογκώνεται και είναι δυνατή η αποκόλληση της ίνας σε μια ενιαία ευθυτενή μορφή (Anonymous, 1985; Ayuzawa, 1972; Choe, 1982; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015).

Τα κουκούλια μπορούν να βραστούν σε ένα δοχείο με νερό υπό βρασμό. Με έναν αναδευτήρα μπορούμε να μαζέψουμε τις άκρες από τα νήματα για να αρχίσουμε την αναπήνιση. Εναλλακτικά, τα κουκούλια τοποθετούνται σε έναν συρμάτινο κλωβό και τοποθετούνται στο βραστό νερό για 5 λεπτά. Κατόπιν μεταφέρουμε τον συρμάτινο κλωβό με τα κουκούλια σε άλλο δοχείο σε χαμηλή θερμοκρασία για να αναπηνίσουμε τις ίνες.

Υπάρχουν όμως και οι μηχανές βρασμού των κουκουλιών που αποτελούνται από 6 μέρη (Εικόνα 9.10): Το πρώτο είναι το τμήμα ενυδάτωσης, όπου τα κουκούλια τοποθετούνται σε νερό θερμοκρασίας 55 °C για να ενυδατωθεί η εξωτερική επιφάνεια των κουκουλιών. Στο δεύτερο τμήμα, τα κουκούλια μεταφέρονται σε περιβάλλον υδρατμών 90-95 °C με σκοπό τη θέρμανση του αέρα στο εσωτερικό των κουκουλιών σε θερμοκρασία ίση με την εξωτερική υψηλή θερμοκρασία του βραστού νερού. Κατόπιν, στο τρίτο τμήμα μεταφέρονται τα κουκούλια σε υδρατμούς χαμηλότερης θερμοκρασίας 65°C και προκαλείται συμπύκνωση των υδρατμών μέσα στο εσωτερικό του κουκουλιού και είσοδο υδρατμών μέσα σε αυτό. Στο τέταρτο τμήμα γίνεται ο βρασμός με ατμό και ο ατμός εισέρχεται στο κέλυφος του κουκουλιού και διογκώνει τη σερικίνη, ενώ παράλληλα το νερό στο εσωτερικό του κουκουλιού μετατρέπεται σε ατμό και εξέρχεται από το εσωτερικό του κουκουλιού. Είναι σημαντικό στη διαδικασία αυτή να μην έχουμε εναλλαγές στην πίεση των ατμών, γιατί τότε προκύπτουν κουκούλια που δεν είναι καλά βρασμένα ή είναι παραβρασμένα και τα οποία δημιουργούν δυσκολίες στην αναπήνιση και υποβιβάζουν την απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι. Στο πέμπτο τμήμα, η θερμοκρασία των ατμών βρασμού μειώνεται σταδιακά από 98 °C σε 65 °C και η συμπύκνωση των ατμών στο εσωτερικό του κουκουλιού οδηγεί στην ενυδάτωσή του, ενώ η σερικίνη σταθεροποιείται σε μια χαλαρή δομή. Στο έκτο τμήμα, τα κουκούλια μεταφέρονται σε νερό 50-60 °C και παραμένουν εκεί μέχρι το επόμενο στάδιο της αναπήνισης.

Εικόνα 9.10 *Τυπική μορφή μιας μοντέρνας μηχανής βρασμού κουκουλιών ικανής να υποστηρίξει τις ανάγκες μιας αυτόματης μηχανής αναπήνισης κουκουλιών των 40 άκρων. Οι μηχανές βρασμού διαφέρουν σε μέγεθος ανάλογα με τη δυναμικότητα του αναπηνιστηρίου, αλλά είναι πάντα ένα απαραίτητο μηχάνημα σε ένα αναπηνιστήριο.*

Παρότι η μηχανή αναπήνισης μπορεί να μας δώσει στοιχεία για το επίπεδο βρασμού των κουκουλιών μέσω των αποτελεσμάτων της αναπήνισης, τυπικά μπορούμε να έχουμε ενδείξεις για το επίπεδο βρασμού των κουκουλιών με ψηλάφησή τους, Τα καλά βρασμένα κουκούλια έχουν βελούδινη υφή και δεν είναι ούτε σκληρά ούτε μαλακά όταν τα πιέζουμε. Τα παραβρασμένα κουκούλια είναι μαλακά και συνθλίβονται εύκολα με πίεση των δακτύλων μας. Τα ατελώς βρασμένα κουκούλια είναι σκληρά. Επίσης, αν πιάσουμε την άκρη ενός κουκουλιού που είναι καλά βρασμένο, τότε μπορούμε να το ξετυλίξουμε χωρίς αντίσταση με τα δάκτυλά μας και χωρίς να σπάει η ίνα. Τα ατελώς βρασμένα κουκούλια έχουν κρεμ χρώμα και τα παραβρασμένα είναι γκρίζα-κίτρινα. Το κέλυφος του κουκουλιού έχει βάρος 5-6 φορές το αρχικό του βάρος. Αν είναι κάτω από 4,5 φορές, τότε είναι ατελώς βρασμένο και στα παραβρασμένα κουκούλια το κέλυφος είναι >6 φορές το αρχικό βάρος. Τα καλά βρασμένα κουκούλια είναι 10-11 φορές βαρύτερα από τα αρχικά ξηρά κουκούλια. Τέλος, δεν θα πρέπει να υπάρχουν θρυμματισμένα κουκούλια όταν τα κουκούλια έχουν βραστεί σωστά.

Ο σωστός βρασμός των κουκουλιών είναι πολύ σημαντικός για να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα κατά την αναπήνιση. Όταν τα κουκούλια είναι παραβρασμένα, τότε η ίνα κατά την αναπήνιση βγαίνει σε κομμάτια ή σβώλους στην ανέμη και αυξάνει τα σταματήματα και τις επιδιορθώσεις κατά την αναπήνιση. Κάθε φορά που γίνεται αυτό, η ίνα πρέπει να αφαιρείται και αυτό αυξάνει τα απόβλητα. Στα ατελώς βρασμένα κουκούλια η ίνα δεν ξεδιπλώνεται εύκολα, σπάει συχνά και αυξάνεται ο χρόνος εργασίας. Και στις δύο περιπτώσεις η αναπηνιστικότητα μειώνεται. Στις μοντέρνες αυτόματες μηχανές αναπήνισης, η μηχανή βρασμού των κουκουλιών που συνοδεύει τη μηχανή αναπήνισης είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται αυτοματοποιημένα ο άριστος βρασμός των κουκουλιών.

9.4.2 Αναπήνιση των κουκουλιών

Η αναπήνιση των κουκουλιών είναι η διαδικασία κατά την οποία ίνες των κουκουλιών αναπηνίζονται ταυτόχρονα για να παράγουμε ένα νήμα μεταξιού. Αυτό γίνεται με το ξετύλιγμα των ινών συλλογικά από μια ομάδα βρασμένων κουκουλιών που βρίσκονται σε μια λεκάνη ζεστού νερού και κατόπιν αναπηνίζοντας το νήμα αυτό σε μια ανέμη που περιστρέφεται γρήγορα (Anonymous, 1985; Ayuzawa, 1972; Choe, 1982; Shekar & Hardingham, 1995; Singh, 2015).

Η αναπήνιση του μεταξιού στην αρχαιότητα βασιζόταν στην αναπήνιση γναφάλων και χαλαρών ινών από κουκούλια όπως γινόταν με το μαλλί και το βαμβάκι. Αργότερα αναπτύχθηκε η αναπήνιση με το χέρι των ινών σε ένα κουβάρι και από το 1880 και μετά χρησιμοποιήθηκε η αναπήνιση με ανέμη. Αργότερα και περίπου πριν από 100 χρόνια επήλθε η χρήση της ηλεκτροκίνητης ανέμης και κατόπιν η χρήση της μηχανής αναπήνισης πολλαπλών άκρων. Από το 1952, όταν δημιουργήθηκε η πρώτη μηχανή αυτόματης αναπήνισης, η αναπήνιση με αυτήν τη μηχανή γενικεύτηκε και πλέον η χρήση της μηχανής αναπήνισης προκαθορισμένου μεγέθους νήματος είναι καθολική.

Η αναπήνιση του ακατέργαστου μεταξιού διακρίνεται στην άμεση αναπήνιση σε μια ανέμη σταθερού μεγέθους και στην έμμεση αναπήνιση σε ανέμες μικρού μεγέθους με επακόλουθη επαναναπήνιση από τις μικρές ανέμες σε ανέμη κανονικού μεγέθους με χρήση της μηχανής επαναναπήνισης. Η δεύτερη μέθοδος είναι αυτή που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες μονάδες αναπήνισης.

Παλιότερα, στη χειροκίνητη αναπήνιση κουκουλιών, με το ένα χέρι γυρίζαν την ανέμη και με το άλλο προσθέτονταν κουκούλια στην ανέμη. Τα κουκούλια βράζονταν σε ένα διαφορετικό σκεύος δίπλα στην ανέμη. Μια βελτιωμένη μορφή αυτής της μεθόδου ονομάζεται τύπος Charka και χρησιμοποιείται στην Ινδία.

Μια ακόμη πιο βελτιωμένη μορφή μηχανής αναπήνισης είναι η μηχανή αναπήνισης με κάθισμα. Στη μηχανή αυτή ο χειριστής είναι καθισμένος στη μηχανή και ο χειρισμός της ανέμης γίνεται με πεντάλ στα πόδια του χειριστή (Εικόνα 9.11).

Εικόνα 9.11 *Μηχανή αναπήνισης με κάθισμα. Η μηχανή αυτή βρίσκεται στο Σουφλί και είναι ιδανική για αναπήνιση της παραγωγής κουκουλιών από μια σηροτροφική μονάδα μεσαίας παραγωγικότητας, καθώς ικανοποιεί τα κριτήρια παραγωγής ακατέργαστου μεταξιού σε επίπεδο οικοτεχνίας (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

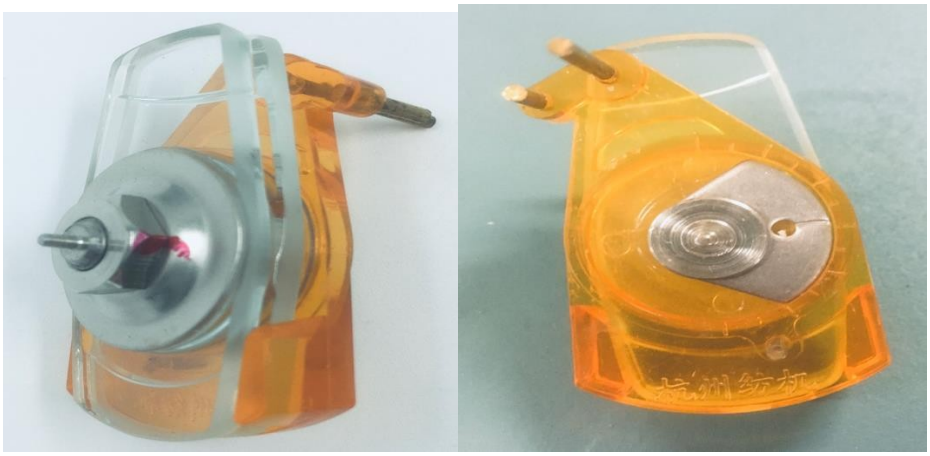
Στις μηχανές αυτές δεν μπορεί να παραχθεί πολύ καλής ποιότητας ακατέργαστο μετάξι, γιατί το νήμα αναπηνίζεται γρήγορα και δεν επιτυγχάνεται ομοιομορφία νήματος. Επίσης, αυτές οι μηχανές έχουν σημαντικά μειωμένη απόδοση. Η αυτόματη μηχανή αναπήνισης εφευρέθηκε στη δεκαετία του ’50 ως αναγκαιότητα για τη μείωση του κόστους εργασίας και του ελέγχου του αριθμού των ινών ανά νήμα. Με τη μηχανή αυτή μπορούμε να ελέγχουμε αυτόματα το μέγεθος του νήματος. Οι διαδικασίες αναπήνισης αυτοματοποιούνται με αυτήν τη μηχανή, αλλά απαιτείται η παρουσία εργατών για να λύνουν προβλήματα με το νήμα όταν τα εντοπίζουν.

Σε αυτήν τη μηχανή (Εικόνα 9.12) υπάρχει ένας μηχανισμός συγκράτησης των άκρων των κουκουλιών και όταν ο μηχανισμός αναγνώρισης της διαμέτρου του νήματος δίνει την εντολή τότε ο μηχανισμός συγκράτησης των άκρων παρέχει την ίνα ή τις ίνες που είναι απαραίτητες για να διατηρηθεί η διάμετρος του νήματος σταθερή.

Εικόνα 9.12 *Πλήρες σύστημα αυτόματης μηχανής αναπήνισης. Αυτή η αυτόματη μηχανή αναπήνισης είναι δυναμικότητας 40 άκρων και μπορεί να παράγει 750 κιλά ακατέργαστου μεταξιού το έτος καλύπτοντας μια παραγωγή 5 τόνων φρέσκων κουκουλιών. Στα δεξιά της εικόνας φαίνεται το τμήμα συγκομιδής των κουκουλιών, ενώ στα αριστερά φαίνεται το κυρίως σώμα της μηχανής όπου γίνεται η αναπήνιση των κουκουλιών (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των αυτόματων μηχανών αναπήνισης είναι ο ανιχνευτής του Ντενιέ (Εικόνα 9.13), δηλαδή της διαμέτρου του νήματος που έχουμε ορίσει στη μηχανή να παράγει. Αυτός ο ανιχνευτής του Ντενιέ είναι ένα μηχανισμός που μας επιτρέπει να καθορίζουμε τη διάμετρο του νήματος που

θέλουμε να παράγουμε και μπορούμε να τον ρυθμίζουμε ανάλογα ώστε να έχουμε μια σταθερή παραγωγή συγκεκριμένου μεγέθους νήματος.



Εικόνα 9.13 *Ο ανιχνευτής του μεγέθους του νήματος του μεταξιού είναι ένα μικρό εξάρτημα της αυτόματης μηχανής αναπήνισης η εφεύρεση του οποίου έφερε επανάσταση στην παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού και βελτίωσε τις συνθήκες εργασίας των εργατών στα αναπηνιστήρια, ενώ βελτίωσε εντυπωσιακά και τις αποδόσεις των αναπηνιστηρίων. Το νήμα του μεταξιού περνά ανάμεσα από τα λευκά πλαστικά πλαίσια (αριστερή εικόνα) όπου εδράζεται ο ανιχνευτής μεγέθους του νήματος και κάθε απόκλιση από το μέγεθος που αποδέχεται ο ανιχνευτής ενεργοποιεί τους μηχανισμούς επιδιόρθωσης του μεγέθους του νήματος από την αυτόματη μηχανή αναπήνισης Στις δύο εικόνες απεικονίζονται οι δύο πλευρές του μηχανισμού που περιβάλλει τον ανιχνευτή μεγέθους του νήματος του μεταξιού στην πλέον πρόσφατη τεχνολογική του εξέλιξη (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Αυτός ο μηχανισμός καθορίζει το πόσες ίνες πρέπει να παρέχουμε σε κάθε νήμα και αυτό γίνεται αυτόματα από τη μηχανή.

Η μηχανή αυτόματης αναπήνισης αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

1. Το τμήμα συγκομιδής των ινών των βρασμένων κουκουλιών.

Αυτό το τμήμα χωρίζεται στο τμήμα παροχής των βρασμένων κουκουλιών, το τμήμα συγκομιδής των ινών των κουκουλιών, το τμήμα συλλογής των άκρων των ινών, το τμήμα παροχής νερού και τον θερμοστάτη.

Εικόνα 9.14 *Το τμήμα συγκομιδής των ινών των βρασμένων κουκουλιών σε μια αυτόματη μηχανή αναπήνισης. Επάνω δεξιά στην εικόνα διακρίνεται το σύστημα του περιστρεφόμενου άξονα με τις βούρτσες που αρπάζουν τις άκρες της ίνας από τα κουκούλια κατά την περιστροφή τους. Αυτό το μηχάνημα βρίσκεται σε σύγχρονη αυτόματη μηχανή αναπήνισης που λειτουργεί στο Σουφλί (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

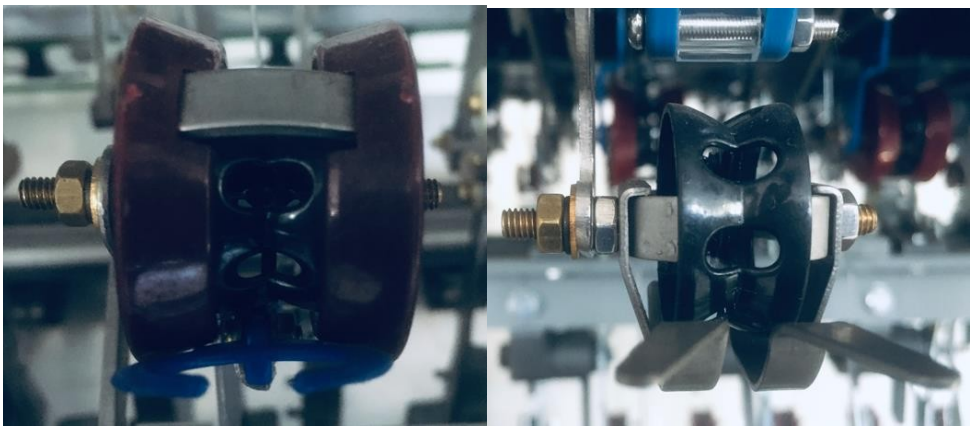
Στο τμήμα παροχής των βρασμένων κουκουλιών (Εικόνα 9.14) τροφοδοτούνται τα κουκούλια που μόλις έχουν βράσει και περιμένουν τη συγκομιδή των άκρων τους. Συνήθως 250 κουκούλια βρίσκονται κάθε φορά στο σημείο αυτό. Στο τμήμα συγκομιδής των ινών υπάρχουν 6 μεγάλες βούρτσες σε κυκλική διάταξη σε έναν άξονα που περιστρέφονται 20 φορές το λεπτό μπρος και πίσω για να βρουν οι βούρτσες τα άκρα των κουκουλιών και κατόπιν ανασηκώνονται και τα άκρα των ινών συγκρατούνται από ένα εξάρτημα συγκράτησής τους. Η περιστροφική κίνηση γίνεται κατά 180 ^{o} έως 360 ^{o} μοίρες σε 5 στάδια κινήσεων. Κατόπιν το τμήμα συλλογής των άκρων των κουκουλιών επιλέγει τις άκρες των κουκουλιών που θα αναπηνιστούν.

2. Το τμήμα αναπήνισης των ινών.

Στο τμήμα αυτό (Εικόνα 9.15 και Εικόνα 9.16) υπάρχει το τμήμα προσθήκης των άκρων της ίνας που αποτελείται από έναν μηχανισμό σαν πιρούνι που κρατά τις άκρες των κουκουλιών για να τις προσθέσει όταν απαιτείται ανάλογα με το πάχος της νήματος που ζητείται. Στο τμήμα συγκράτησης της ίνας, ένας ανελκτήρας συγκρατεί σφιχτά την άκρη της ίνας του κουκουλιού, ενώ το τμήμα τροφοδότησης της άκρης της ίνας τροφοδοτεί στο νήμα ένα ακόμη κουκούλι για να διατηρηθεί το καθορισμένο πάχος του νήματος σταθερό όταν αυτό μειώνεται. Το τμήμα τροφοδότησης της ίνας είναι μια τροχαλία που γυρίζει κατά 900 φορές το λεπτό (Εικόνα 9.17) και καθώς τροφοδοτεί το νήμα με μια καινούρια ίνα κουκουλιού, η ταχύτητα περιστροφής του κόβει την ίνα του κουκουλιού που είναι πολύ λεπτή.

Εικόνα 9.15 *Το τμήμα αναπήνισης των κουκουλιών σε μια αυτόματη μηχανή αναπήνισης. Οι κίτρινες λεκάνες γεμίζουν με κουκούλια από το τμήμα συγκομιδής των ινών των κουκουλιών και κινούνται συνεχώς και περιστροφικά του μηχανισμού αναπήνισης. Όταν το τμήμα μέτρησης του νήματος του ακατέργαστου μεταξιού ζητήσει την προσθήκη ενός ακόμη κουκουλιού, τότε ένα εξάρτημα σαν πιρούνι εκτείνεται και τραβά από την κίτρινη λεκάνη ένα κουκούλι και το προσθέτει σε αυτά που αναπηνίζονται (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Εικόνα 9.16 *Θέση και αρίθμηση των τροχαλιών και του ανιχνευτή μεγέθους του νήματος του μεταξιού πάνω στην αυτόματη μηχανή αναπήνισης του μεταξιού. Η 3η τροχαλία εμφανίζεται χαμηλότερα, καθώς συνδέεται με ένα εκτατό μεταλλικό έλασμα που έχει εκταθεί στη συγκεκριμένη εικόνα. Το νημα του μεταξιού από τα αναπηνιζόμενα κουκούλια ακολουθεί πορεία που περνά από τις τρεις πρώτες τροχαλίες, κατόπιν από τον ανιχνευτή μεγέθους του νήματος και κατόπιν από την 4η τροχαλία πριν συλλεχθεί στην ανέμη που βρίσκεται πάνω από την 4η τροχαλία (δεν εμφανίζεται στην εικόνα). Το μηχάνημα αυτό βρίσκεται σε σύγχρονη αυτόματη μηχανή αναπήνισης που λειτουργεί στο Σουφλί (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*



Εικόνα 9.17 *Λεπτομερής απεικόνιση της μορφής της 1ης τροχαλίας (αριστερή εικόνα) και της 3ης τροχαλίας (δεξιά εικόνα) της αυτόματης μηχανής αναπήνισης του μεταξιού που παρουσιάζεται στην εικόνα 9.16 (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Το τμήμα απομάκρυνσης των αναπηνισμένων κουκουλιών και των κουκουλιών με κομμένα άκρα της ίνας απομακρύνει τα κουκούλια αυτά, τα οποία στη συνέχεια περνάνε από μια εσοχή 8-10 χιλιοστών για να διαχωριστούν τα αναπηνισμένα κουκούλια, που πηγαίνουν προς απομάκρυνση της νύμφης, από τα κουκούλια με κομμένα άκρα της ίνας που μπαίνουν σε διαδικασία αναπήνισης ξανά. Στο τμήμα αναπήνισης, η κλίση της λεκάνης (Εικόνα 9.18) είναι τέτοια που επιτρέπει την απομάκρυνση των αναπηνισμένων κουκουλιών και αυτών με τα κομμένα άκρα της ίνας. Εδώ υπάρχει συνεχής ροή του νερού αναπήνισης για διατήρηση της στάθμης του στη λεκάνη αναπήνισης.

Εικόνα 9.18 *Ομάδες κουκουλιών στη μηχανή αναπήνισης καθώς αναπηνίζονται. Τα κουκούλια βρίσκονται σε ομάδες των περίπου 8 κουκουλιών που αναπηνίζονται ταυτόχρονα από ένα άκρο της μηχανής. Παρατηρήστε το διαφορετικό χρώμα των κουκουλιών ως αποτέλεσμα του γεγονότος ότι κάποια έχουν μόλις προστεθεί στην ομάδα (λευκά), ενώ σε κάποια το μεγαλύτερο μήκος της ίνας τους έχει αναπηνιστεί (γκρι χρώμα). Τα κουκούλια στα οποία ολοκληρώνεται η αναπήνιση της ίνας τους αφήνονται να κυλήσουν έξω από το σημείο αναπήνισης μέσω της εναλλαγής του νερού και της κλίσης της λεκάνης αναπήνισης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

3. Το τμήμα μέτρησης του νήματος.

Το τμήμα αυτό αποτελείται από το τμήμα μέτρησης του μήκους του νήματος στην ανέμη μέσω δεικτών μέτρησης των περιστροφών της ανέμης. Υπάρχει επίσης το τμήμα μέτρησης των αναπηνιζόμενων κουκουλιών ανά νήμα και το τμήμα μέτρησης των τροφοδοτούμενων άκρων των κουκουλιών. Στο τμήμα αυτό υπάρχει επίσης το τμήμα μέτρησης του μεγέθους του νήματος που προκύπτει από τα κουκούλια που αναπηνίζονται. Ο μηχανισμός αυτού του τμήματος είναι πολύπλοκος και βασίζεται στη μέτρηση του βάρους του νήματος που περνά ανάμεσα από δύο γυάλινες επιφάνειες. Αλλαγές στο βάρος του νήματος κατευθύνουν την τροφοδότηση με ίνα από ένα άλλο κουκούλι από τον μηχανισμό τροφοδότησης του νήματος που αναφέρθηκε παραπάνω. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί συνολικά να προσαρμοστεί για να αναπηνίζει νήμα πάχους συγκεκριμένου Ντενιέ που προκαθορίζουμε πριν την εκάστοτε έναρξη λειτουργίας της κάθε μηχανής.

4. Τμήμα σύστριψης του νήματος.

Το τμήμα αυτό συλλέγει και περιτυλίγει το νήμα σε ανέμες μικρών διαστάσεων. Στο τμήμα αυτό υπάρχει ο συλλέκτης των νημάτων που φέρει οπή διαστάσεων όσο είναι και το πάχος του νήματος που έχει προκαθοριστεί να δημιουργηθεί. Στο τμήμα αυτό υπάρχουν επίσης και 4 τροχαλίες που οδηγούν το νήμα προς την ανέμη και πρέπει να είναι χαλαρές για να μην προσθέτουν τριβή στο νήμα. Υπάρχει επίσης το τμήμα σταματήματος της ανέμης σε περίπτωση που η πίεση στο νήμα αυξάνεται και μέσω αισθητήρων τάσης γίνεται το σταμάτημα της ανέμης. Τέλος, υπάρχει το τμήμα διασποράς του νήματος πάνω στην ανέμη, ενώ η ανέμη είναι φτιαγμένη από αλουμίνιο με περιφέρεια 60 εκατοστά και πλάτος 7 εκατοστά. Συνήθως, κάθε ανεξάρτητο τμήμα αυτής της μηχανής έχει 400 άκρα και κάθε λεκάνη φέρει 20 άκρα. Πολλές συστοιχίες τέτοιων μηχανών μπορούν να τοποθετηθούν στη σειρά σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες αναπήνισης.

Εικόνα 9.19 *Το τμήμα σύστριψης του νήματος του ακατέργαστου μεταξιού βρίσκεται ψηλά σε κάθε μηχανή αναπήνισης και αποτελείται από σειρά από ανέμες μικρής διαμέτρου. Στη συγκεκριμένη φωτογραφία οι ανέμες αυτές διακρίνονται από το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα τους και το νήμα ακατέργαστου μεταξιού που φέρουν (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Ως ταχύτητα της ανέμης ορίζεται ως η ταχύτητα σύστριψης του νήματος ακατέργαστου μεταξιού στην ανέμη και μετριέται ως το μήκος του νήματος ακατέργαστου μεταξιού που πέρασε στην ανέμη κατά τη διάρκεια 1 λεπτού ή ως ο αριθμός περιστροφών της ανέμης ανά λεπτό. Συνήθως υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Ταχύτητα αναπήνισης (μέτρα/λεπτό)} = (\text{Μήκος συνεχούς νήματος (μέτρα) x αριθμός άκρων ίνας που προστέθηκαν ανά λεπτό και ανά ανέμη) / αριθμός κουκουλιών που χρησιμοποιήθηκαν ανά νήμα} \quad (9.26)$$

Για την αυτόματη μηχανή ο αριθμός άκρων ίνας που προστέθηκαν ανά λεπτό και ανά ανέμη είναι 1,2 έως 1,5. Ο αριθμός κουκουλιών που χρησιμοποιήθηκαν ανά νήμα βρίσκεται από τον τύπο:

$$\text{Αριθμός κουκουλιών που χρησιμοποιήθηκαν ανά νήμα} = \text{απαιτούμενη διάμετρος (σε Ντενιέ) του ακατέργαστου μεταξιού / τιμή Ντενιέ της ίνας μεταξιού} \quad (9.27)$$

Το μήκος συνεχούς νήματος (μέτρα) βρίσκεται από τον τύπο:

$$\text{Μήκος συνεχούς νήματος (μέτρα)} = \text{Μήκος της ίνας του κουκουλιού x ποσοστό αναπηνιστικότητας των κουκουλιών (\%).} \quad (9.28)$$

Οι τιμές αυτές παρέχονται από τους ελέγχους που κάνουμε στα δείγμα κουκουλιών για τον υπολογισμό της ποιότητας των κουκουλιών. Η ταχύτητα αναπήνισης είναι πολύ σημαντική παράμετρος, γιατί καθορίζει την απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι, την ποιότητα του μεταξιού και την αναπηνιστικότητα και θα πρέπει να καθορίζεται από την αρχή και να παραμένει σταθερή. Συνήθως παίρνει τιμές από 90-150 μέτρα ανά λεπτό, με τη χαμηλότερη ταχύτητα (90 μέτρα ανά λεπτό) να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς τους άλλους ποιοτικούς δείκτες του ακατέργαστου μεταξιού (Lee, 1999). Από τους παρακάνω τύπους της ταχύτητας αναπήνισης γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα για αυξημένο μέγεθος ίνας ανά κουκούλι και γενικότερα για αυξημένη ποιότητα κουκουλιών κατά την αναπήνιση. Το ποσοστό κομμένων άκρων κουκουλιών θα πρέπει να είναι 1,3-1,9% για να θεωρείται η διαδικασία αναπήνισης αποδοτική, γιατί διαφορετικά αυξάνεται ο χρόνος εργασίας για διόρθωση των βλαβών του νήματος του ακατέργαστου μεταξιού.

Το βούρτσισμα των κουκουλιών για τη συλλογή των άκρων τους είναι επίσης σημαντικό. Η θερμοκρασία του νερού στο σημείο αυτό της μηχανής δεν θα πρέπει να είναι πολύ υψηλή, γιατί διαλύεται η σερικίνη, αλλά ούτε και πολύ χαμηλή, γιατί μειώνεται η αναπηνιστικότητα και η ικανότητα συλλογής των άκρων των κουκουλιών. Καλές συνθήκες είναι η θερμοκρασία στους 75-80 ^{o}C, το pH του νερού στο 6,8-7 και ο αριθμός των κουκουλιών να είναι 70-90 κάθε φορά. Επίσης, το νερό σε αυτό το σημείο της μηχανής πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να αποφύγουμε τον αποχρωματισμό της ίνας λόγω της διαλυτότηττας της σερικίνης.

Στη λεκάνη αναπήνισης το νερό θα πρέπει να είναι μεταξύ 30-45 °C. Όταν είναι πολύ υψηλή η θερμοκρασία, τότε μειώνεται η απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι, υπάρχουν σπασίματα στο νήμα και η καθαρότητα του μεταξιού μειώνεται. Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, η αναπηνιστικότητα αυξάνεται και το ακατέργαστο μετάξι είναι πιο συμπαγές γιατί μειώνεται η συγκόλληση της σερικίνης. Το νερό στη λεκάνη αναπήνισης πρέπει να αλλάζει συχνά, γιατί γίνεται πηκτό, χρωματισμένο και όξινο μετά από συνεχή χρήση. Όταν υπάρχουν διαλυμένα συστατικά στο νερό και αυτό φαίνεται πηκτό, τότε η αναπηνιστικότητα μειώνεται, αλλά το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού αυξάνεται και το νήμα είναι ελαφρώς γκρίζο. Το pH του νερού θα πρέπει να είναι 6,8-7 και θα πρέπει να περιέχει λίγη σερικίνη.

Με την αναπήνιση του μεταξιού (Εικόνα 9.19) στοχεύουμε στη βελτίωση της ποιότητας του ακατέργαστου μεταξιού πέρα από την αύξηση της απόδοσης σε μετάξι και τη βελτίωση της αναπηνιστικότητας. Με τις βελτιώσεις στον εξοπλισμό που έχουν επέλθει, μπορούμε να διατηρούμε τη διάμετρο του νήματος σταθερό και αυτό είναι πολύ σημαντικό, γιατί αποφεύγουμε την ανομοιομορφία, τόσο του νήματος, όσο και την υποβάθμιση των υφασμάτων που θα παραχθούν. Οι αυτοματισμοί τροφοδότησης ινών από τα κουκούλια βοηθούν προς αυτήν την κατεύθυνση. Σημαντικό είναι επίσης να έχουμε καλή συνεκτικότητα του νήματος και αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη σύστριψη των ινών. Με τους αυτοματισμούς μειώνονται και οι αστοχίες και τα ελαττώματα του νήματος.

Σχετικά με το νερό που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ακατέργαστου μεταξιού, σε γενικές γραμμές, περίπου 850-1000 τόνοι νερού χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία 1 τόνου ακατέργαστου μεταξιού. Η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται στην αναπήνιση μεταξιού έχει σημαντική επίπτωση στην απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι και στην ποιότητα του μεταξιού. Για τον λόγο αυτόν, είναι απαραίτητο να κάνουμε τις αναλύσεις του νερού που χρησιμοποιεί ένα αναπηνιστήριο σε ένα διαπιστευμένο εργαστήριο αναλύσεων νερού. Με βάση τα αποτελέσματα του εργαστηρίου θα πρέπει να ζητάμε από το εργαστήριο που έκανε τις αναλύσεις να προτείνει παρεμβάσεις για την προσαρμογή των χαρακτηριστικών του νερού στα επιθυμητά επίπεδα (Lee, 1999).

9.4.3 Επαναναπήνιση και φινίρισμα του νήματος ακατέργαστου μεταξιού

Η επαναναπήνιση είναι η διαδικασία μεταφοράς του νήματος από τις μικρές ανέμες στις μεγάλες ανέμες που έχουν περίμετρο 150 εκατοστά και με τον τρόπο αυτόν να διορθώνουμε τη διάμετρο του νήματος και το βάρος του νήματος που δημιουργείται κάνοντάς το ομοιόμορφο.

Το νήμα που προκύπτει στις μικρές ανέμες έχει αρκετά ελαττώματα, τα οποία διορθώνονται και εξαφανίζονται κατά την επαναναπήνιση του ακατέργαστου μεταξιού. Με τη διαδικασία αυτή φτιάχνουμε κουβάρια ή δεσμίδες ακατέργαστου μεταξιού προς εμπορική χρήση. Τα κουβάρια πρέπει να έχουν περίμετρο 150 εκατοστά σύμφωνα με διεθνή πρότυπα. Ταυτόχρονα μειώνουμε τα ελαττώματα που μπορεί να έχουν τα νήματα του μεταξιού. Με την επαναναπήνιση, στόχος μας είναι να διογκωθεί η σερικίνη που βρίσκεται στο νήμα στις μικρές ανέμες. Αυτό γίνεται με εμβάπτιση των μικρών ανεμών για 10-30 λεπτά σε νερό ή με εμβάπτιση υπό κενό σε 30-35 °C και πίεση ατμών 40-60 εκατοστά υδραργύρου για 20-30 φορές. Η ταχύτητα επαναναπήνισης είναι 150-170 στροφές ανά λεπτό για νήμα 21 Ντενιέ και 130-160 στροφές ανά λεπτό για νήμα 14 Ντενιέ. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι στους 4℃, η σχετική υγρασία στους 36% και μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας το ποσοστό υγρασίας του νήματος πρέπει να φτάνει το 6,2%. Έχει υπολογιστεί ότι για διάμετρο νήματος 21 Ντενιέ, η ταχύτητα επαναναπήνισης είναι 160 στροφές ανά λεπτό και η απόδοση ανά μεγάλη ανέμη σε 8 ώρες είναι 1,2 κιλά ακατέργαστου μεταξιού. Μετά την επαναναπήνιση, η άκρη του νήματος δένεται με βαμβακερό κορδόνι για να βρίσκεται εύκολα και το κουβάρι περιστρέφεται 5 φορές στον εαυτό του για να μην μπλέκεται. Υπάρχουν δύο είδη κουβαριών μεταξιού, το μονό με βάρος 70 γραμμάρια και το διπλό με βάρος 125-135 γραμμάρια. Το δεύτερο είναι αυτό που συνήθως προτιμάται. Τα κουβάρια αφήνονται σε θερμοκρασία δωματίου και 65-70% υγρασία μέχρι να συσκευαστούν.

Η συσκευασία του ακατέργαστου μεταξιού γίνεται με 30 κουβάρια για τα μονά κουβάρια και 20 κουβάρια για τα διπλά. Κάθε συσκευασία έχει 5 σειρές κουβαριών σε 6 επίπεδα και όλα δένονται σε μια δεσμίδα με βαμβακερό κορδόνι. Το ακατέργαστο μετάξι πωλείται και εμπορεύεται σε συσκευασίες των 60 κιλών που αποτελούνται από 22-30 τέτοιες δεσμίδες. Όταν αναφερόμαστε σε τιμές ακατέργαστου μεταξιού, συνήθως εννοούμε την τιμή της συσκευασίας των 60 κιλών.

Το μετάξι πρέπει να αποθηκεύεται σε θερμοκρασία δωματίου μακριά από το ηλιακό φως που το αποχρωματίζει και σε περιβάλλον με χαμηλή υγρασία. Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στην αποφυγή προσβολών από έντομα που καταναλώνουν μετάξι και είναι τα ίδια έντομα που καταναλώνουν μαλλί. Οι προσβολές αυτές

αποφεύγονται με τη χρήση των κοινών συσκευών που απωθούν αυτά τα έντομα όπως ναφθαλίνη, χλωροπικρίνη κ.ά. Αν ακολουθούνται αυτά τα μέτρα και οι συσκευασίες παραμένουν κλειστές, τότε το μετάξι μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

9.4.4 Χρήση των παραπροϊόντων της αναπήνισης μεταξιού

Τα παραπροϊόντα της αναπήνισης είναι πολλά και ποικίλα και μπορεί να έχουν μια πληθώρα χρήσεων και εμπορική αξία. Τα παραπροϊόντα είναι τα κουκούλια που είναι ακατάλληλα για αναπήνιση μέσω των μηχανών, τα διπλά κουκούλια, τα υπολείμματα ινών κατά την αναπήνιση, τα κουκούλια που δεν μπορούν να αναπηνιστούν στις μηχανές, οι νύμφες και το νερό των αναπηνιστηρίων που περιέχει σερικίνη. Από τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι η σηροτροφία και η αναπήνιση του μεταξιού είναι μια ιδιαίτερα «πράσινη» παραγωγική διαδικασία, η οποία στην πράξη δεν αφήνει κανένα περιβαλλοντικό αποτύπωμα αν είναι στόχος μας να χρησιμοποιήσουμε όλα αυτά τα παραπροϊόντα αυτής της παραγωγικής διαδικασίας. Σε γενικές γραμμές, για την παραγωγή 60 κιλών ακατέργαστου μεταξιού, το οποίο είναι η εμπορική μονάδα συσκευασίας του ακατέργαστου μεταξιού, προκύπτουν: 1) 3,3 κιλά νήματος που δημιουργείται κατά το βούρτσισμα των βρασμένων κουκουλιών πριν την αναπήνισή τους, το οποίο ονομάζεται *φριζόν*, 2) 6,1 κιλά υπολείμματα ινών από αναπηνισμένα κουκούλια, τα οποία, αφού διαχωριστούν από τις νύμφες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία νημάτων και 3) περίπου 0,5 κιλό κουκουλιών που είναι ακατάλληλα για αναπήνιση.

Τα διπλά κουκούλια χρησιμοποιούνταν από παλιά για τη δημιουργία μεταξωτού νήματος τύπου Doupion, το οποίο είναι γνωστό στα Ελληνικά ως κουκουλάρικο. Το μετάξι αυτό έχει μεγάλη διάμετρο νήματος 225 Ντενιέ ή 100 Ντενιέ όταν αναπηνίζεται από μια ανέμη ή 60 Ντενιέ όταν αναπηνίζεται από 2 ανέμες. Η ταχύτητα αναπήνισης είναι 230 μέτρα το λεπτό και η θερμοκρασία του νερού είναι 80-90 ^{o}C. Ο χειριστής βουρτσίζει τα κουκούλια με το ένα χέρι με τη βούρτσα και με το άλλο χέρι τα φέρνει στο νήμα που περνά από την ανέμη. Για τη δημιουργία αυτού του είδους μεταξωτού νήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα μονά κουκούλια που κρίθηκαν ακατάλληλα για αναπήνιση με την προϋπόθεση ότι δεν θα προκαλούν αποχρωματισμό του νήματος (δηλαδή τα εσωτερικά λεκιασμένα), αλλά και τα κουκούλια που ήταν δύσκολο να αναπηνιστούν. Στόχος της δημιουργίας αυτού του μεταξωτού νήματος είναι να χρησιμοποιήσουμε όλα τα μη αναπηνίσημα κουκούλια και να μην τα απορρίψουμε.

Αδρό μετάξι μπορεί να παραχθεί από κάθε είδους κουκούλια, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται τα κουκούλια που είναι ακατάλληλα για αναπήνιση. Με το αδρό μετάξι μπορούμε να δημιουργήσουμε αδρές επιστρώσεις από μετάξι που έχουν καλή θερμομόνωση. Για να φτιάξουμε αδρό μετάξι, πρέπει να αφαιρέσουμε την κολλώδη σερικίνη από τη φιβροΐνη, να ανοίξουμε τα κουκούλια και να κάνουμε το φινίρισμα.

Για να κάνουμε την αφαίρεση της σερικίνης, χρησιμοποιούμε καυστικό νάτριο 0,05%, όξινο Ανθρακικό Νάτριο 0,2%, γαλακτοματοποιητές 0,03% και βρασμό για 70 λεπτά. Κατόπιν τα κουκούλια μπαίνουν σε καθαρό νερό και τα ανοίγουμε ένα προς ένα για να αφαιρέσουμε τη νύμφη και άλλες ακαθαρσίες. Μαζεύουμε πολλά κουκούλια μαζί και τα μετατρέπουμε σε μια άμορφη μάζα με τα δύο χέρια μας και τα απλώνουμε. Κατόπιν τα απλώνουμε σε ένα πλαίσιο μέχρι να έχουμε ένα στρώμα μεταξιού βάρους 6 γραμμαρίων. Κατόπιν αφαιρούμε το στρώμα αυτό από το πλαίσιο και το βάζουμε σε νερό ή σε 1% υπεροξείδιο του υδρογόνου (κοινώς οξυζενέ) για μερικές ώρες για να αποκτήσει καλό χρώμα. Τέλος, το στεγνώνουμε και το φτιάχνουμε στο σχήμα που θέλουμε και το αφήνουμε να στεγνώσει στη σκιά.

Γνεσμένο μετάξι μπορεί να παραχθεί από μικρά τμήματα του κουκουλιού που προκύπτουν ως παραπροϊόντα της αναπήνισης και είναι κυρίως μπλεγμένες και μη ανθεκτικές ίνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ύλη για τη δημιουργία νήματος που είναι μεν μαλακό, αλλά όχι τόσο ανθεκτικό και ελαστικό όσο το ακατέργαστο μετάξι. Το είδος αυτού του μεταξιού το παίρνουμε από κουκούλια ακατάλληλα για αναπήνιση, όπως αυτά από τα οποία βγήκε η νυχτοπεταλούδα ή από διπλά κουκούλια ή από γνάφαλα καθώς και από το αδρό μετάξι που δεν χρησιμοποιείται στην αρχή και στο τέλος της αναπήνισης. Αυτές οι ποσότητες μεταξιού μπορεί να είναι αρκετά σημαντικές, ειδικά όταν η παραγωγή από αναπήνιση είναι αρκετά μεγάλη. Οι χρήσεις αυτού του είδους μεταξιού είναι αναρίθμητες και ουσιαστικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νήμα ή επιφάνεια κάλυψης, παρά το γεγονός ότι δεν είναι τόσο ανθεκτικό και ελαστικό όσο το ακατέργαστο μετάξι, αλλά είναι πολύ πιο φτηνό. Αυτή η πρακτική δημιουργίας τέτοιου μεταξιού ήταν πολύ διαδεδομένη παλιότερα όταν το μετάξι αναπηνιζόταν για οικιακή χρήση.

9.4.5 Χωροταξικός σχεδιασμός αναπηνιστηρίου και κριτήρια επιλογής λοιπού εξοπλισμού

Για τον χωροταξικό σχεδιασμό ενός αναπηνιστηρίου, θα πρέπει να γνωρίζουμε το μέγεθος της παραγωγής κουκουλιών που μπορεί να διατεθεί προς αναπήνιση. Η ποσότητα της παραγωγής ακατέργαστου μεταξιού από το αναπηνιστήριο θα πρέπει να υπολογίζεται με βάση την απόδοση της μηχανής ή των μηχανών αναπήνισης ανά έτος δεχόμενοι ως περίπου 250 τις ημέρες λειτουργίας ανά έτος και το 8ωρο λειτουργίας των μηχανών. Υπό αυτές τις συνθήκες, μια μηχανή αναπήνισης 40 άκρων μπορεί να αποδώσει 750 κιλά ακατέργαστου μεταξιού ανά έτος. Αν δεχθούμε, όπως συμβαίνει στη συνήθη διεθνή πρακτική, ότι η μέση απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι ενός κιλού φρέσκων κουκουλιών είναι 170 γραμμάρια ή 17% (με εύρος 14-20%), τότε μια τέτοια μηχανή θα μπορεί να αναπηνίζει 4,4 τόνους φρέσκων κουκουλιών ανά έτος.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνει κανείς ότι είναι η ποσότητα παραγωγής κουκουλιών και το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού που στοχεύει να παράγει μια μονάδα αναπηνισης, τα δύο δεδομένα που καθορίζουν το μέγεθος και τον εξοπλισμό που απαιτείται.

Για τον σωστό σχεδιασμό του αναπηνιστηρίου, απαιτείται επίσης να γνωρίζουμε τον χρόνο παραλαβής κουκουλιών, την απόσταση από την οποία θα έρχονται τα κουκούλια και την ποιότητα των κουκουλιών που θα παραλαμβάνονται.

Ως προς την τοποθεσία του αναπηνιστηρίου, προτιμάται να βρίσκεται σε σχετικά λοφώδη περιοχή κοντά σε αστικά κέντρα και να έχει πρόσβαση σε μεγάλες ποσότητες νερού. Η ποιότητα του νερού αναπήνισης είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της τοποθεσίας του αναπηνιστηρίου γνωρίζοντας ότι περίπου 800 τόνοι νερού απαιτούνται για την αναπήνιση ενός τόνου ακατέργαστου μεταξιού στην αυτόματη μηχανή αναπήνισης.

Η επιλογή της αυτόματης μηχανής αναπήνισης εξαρτάται από την ποιότητα των κουκουλιών που είναι διαθέσιμα και υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι αυτόματων μηχανών αναπήνισης ανάλογα με το μέγεθος της παραγωγής. Σε γενικές γραμμές, η αυτόματη μηχανή αναπήνισης μπορεί να υπάρχει σε συστοιχίες μονάδων ανάλογα με το μέγεθος της παραγωγής. Κάθε μονάδα συνήθως φέρει 400 ανέμες, αλλά υπάρχουν και μοντέλα μηχανών με 200 έως 480 ανέμες. Η δυναμικότητα μιας τέτοιας μηχανής είναι 30 κιλά ακατέργαστου μεταξιού ανά 400 ανέμες ανά 8 ώρες ή 3,75 κιλά ακατέργαστου μεταξιού ανά ώρα. Δηλαδή, η δυναμικότητα της μηχανής αυτής είναι περίπου 22 κιλά φρέσκα κουκούλια ανά ώρα και ανά 400 άκρα, θεωρώντας την απόδοση σε ακατέργαστο μετάξι στο 17% του βάρους του φρέσκου κουκουλιού. Ωστόσο, αυτού του είδους η μηχανή προορίζεται για καλής ποιότητας κουκούλια με μεγαλύτερο ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού.

Η μηχανή επαναναπήνισης αποτελείται από μεγάλους τροχούς που αναπηνίζουν 5 ή 6 κουβάρια μεταξιού των 130 γραμμαρίων. Ένας τέτοιος τροχός για 5 κουβάρια μπορεί να επεξεργαστεί 10 κουβάρια σε 8 ώρες και συνήθως η μηχανή αυτή περιλαμβάνεται στις προσφορές που δίνουν οι εταιρείες που πωλούν μηχανές αναπήνισης ως απαραίτητος συνοδευτικός εξοπλισμός, η δυναμικότητα του οποίου είναι προσαρμοσμένη στη δυναμικότητα του αναπηνιστηρίου που πρόκειται να εγκατασταθεί.

Η μηχανή διαχείρισης παραπροϊόντων είναι απαραίτητη για μονάδες αναπήνισης που φέρουν πάνω από 1000 άκρα για να αποβάλεται η νύμφη από τα υπολείμματα του αναπηνισμένου κουκουλιού με αυτόματο τρόπο. Για μικρότερες μονάδες, η δουλειά αυτή γίνεται χειρωνακτικά.

Η μηχανή ενυδάτωσης του αναπηνισμένου μεταξιού είναι αναγκαία για την επεξεργασία του αναπηνισμένου μεταξιού των μικρών ανεμών πριν την επαναναπήνισή τους στις μεγάλες ανέμες. Η μηχανή αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για ανέμες για διπλά κουβάρια που έχουν πάνω από 70 γραμμάρια ακατέργαστου μεταξιού ανά ανέμη.

Η μηχανή δημιουργίας δεσμίδων ακατέργαστου μεταξιού αναδιπλώνει το νήμα και το συσκευάζει σε δεσμίδες για να γίνεται ομοιόμορφα η συσκευασία του για εμπορική πώληση.

Η μηχανή ανάλυσης της ποιότητας του ακατέργαστου μεταξιού αποτελείται από τον φούρνο ξήρανσης, την ειδική συσκευή ανάλυσης ποιότητας που ονομάζεται Seriplane, τη συσκευή φωτισμού του Seriplane, τη συσκευή μέτρησης του Ντενιέ και του μεγέθους του νήματος και τη συσκευή επαναναπήνισης του ακατέργαστου μεταξιού

Δύο άλλες συσκευές, ο σεριγράφος και η συσκευή μέτρησης συνεκτικότητας του ακατέργαστου μεταξιού είναι αναγκαίες για ερευνητικούς σταθμούς ανάλυσης του ακατέργαστου μεταξιού.

Ως προς τις μηχανές απόπνιξης των κουκουλιών και ξήρανσής τους, θα πρέπει να έχουν παραγωγική δυνατότητα προσαρμοσμένη στην κάθε γεωγραφική περιοχή που εγκαθίστανται. Για παράδειγμα, μια μηχανή απόπνιξης 200-5000 κιλών φρέσκων κουκουλιών τη φορά, μπορεί να εξυπηρετήσει την παραγωγή μιας περιοχής όταν αυτή φτάνει τους 10 τόνους φρέσκων κουκουλιών, δεδομένου ότι οι σηροτρόφοι δεν ξηραίνουν

τα κουκούλια τους όλοι την ίδια ημέρα σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Από την άλλη μεριά, όταν σε μια γεωγραφική περιοχή, απομακρυσμένη από τα κύρια κέντρα παραγωγής κουκουλιών και ύπαρξης αναπηνιστηρίου, παράγεται ποσότητα κουκουλιών λιγότερη από 1 τόνο, τότε είναι πιο συμφέρον να εγκατασταθεί σε αυτήν την περιοχή μια πολύ μικρή μηχανή απόπνιξης παρά να επιβαρύνονται οι σηροτρόφοι με το κόστος μεταφοράς των κουκουλιών σε κέντρα παραγωγής όπου υπάρχουν μηχανές απόπνιξης μεγαλύτερης δυναμικότητας. Η μηχανή απόπνιξης με σταθερά ράφια είναι ιδανική για μικρές ποσότητες παραγόμενων κουκουλιών. Οι άλλες μεγάλες μηχανές απόπνιξης με ιμάντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι ικανές να αποπνίξουν 5 έως 18 τόνους κουκούλια σε 24 ώρες και έτσι είναι καλές για πολύ μεγάλες μονάδες αναπήνισης κουκουλιών και φυσικά δεν είναι αναγκαίο να υπάρχουν στην Ελλάδα, καθώς η παρούσα παραγωγή κουκουλιών είναι αρκετά περιορισμένη.

Η μηχανή διαλογής που αποτελείται από τραπέζι διαλογής είναι καλή για μικρές μονάδες αναπήνισης. Μηχανές διαλογής των κουκουλιών με ιμάντες για συνεχή κίνηση και διαλογή των κουκουλιών είναι καλές για μεγάλες μονάδες.

Οι μηχανές βρασμού των κουκουλιών συνήθως συνοδεύουν τη μηχανή αναπήνισης και κάθε κατασκευαστής μηχανών αναπήνισης συνήθως προσφέρει τη μηχανή βρασμού ως συνοδευτική για τη μηχανή αναπήνισης που ταιριάζει και πρόκειται να αγοραστεί.

9.4.6 Έλεγχος ακατέργαστου μεταξιού

Η ύφανση του μεταξιού έχει φθάσει σε ένα πολύ υψηλό επίπεδο βιομηχανικής αποδοτικότητας. Πλέον, μια μεγάλη ποικιλία μεταξωτών υφασμάτων υφαίνεται σε μια μεγάλη ποικιλία αργαλειών, από απλούς χειροκίνητους αργαλειούς μέχρι μοντέρνους αργαλειούς υψηλής ισχύος. Αυτοί οι διαφορετικής ποιότητας αργαλειοί απαιτούν και διαφορετικές ποιότητες ακατέργαστου μεταξιού. Για να βοηθηθεί η βιομηχανία ύφανσης στην επιλογή του απαιτούμενου ακατέργαστου μεταξιού, πρέπει πρώτα αυτό το μετάξι να δοκιμαστεί και να ταξινομηθεί. Επιπλέον, η βιομηχανία παραγωγής ακατέργαστου μεταξιού απαιτεί καλά καθορισμένα πρότυπα, τα οποία μπορούν να επιτευχθούν μόνο με τους ελέγχους ποιότητας του μεταξιού. Δεδομένου ότι η ζήτηση για μετάξι είναι παγκόσμια και ορισμένες χώρες ανταγωνίζονται στο εμπόριο ακατέργαστου μεταξιού, είναι απαραίτητο να υπάρχουν βιομηχανικά πρότυπα για την ποιότητα του ακατέργαστου μεταξιού, ώστε να μπορούν οι αγοραστές να αγοράζουν ακατέργαστο μετάξι σε διεθνώς αποδεκτούς όρους. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο όλο το ακατέργαστο μετάξι που παράγεται πρέπει να συνοδεύεται από πιστοποιητικά αξιολόγησης της ποιότητάς του μετά από ελέγχους.

Τα πρότυπα ποιότητας του ακατέργαστου μεταξιού ορίστηκαν αρχικά εδώ και έναν αιώνα και αναπροσαρμόζονταν από τη Διεθνή Ένωση Μεταξιού (International Silk Association (ISA)), έναν διεθνή οργανισμό που δεν υφίσταται από το 2007. Δυστυχώς, επειδή η τεχνολογική ανάπτυξη της σηροτροφίας ακολούθησε διαφορετικές εξελικτικές πορείες σε διαφορετικές χώρες, υπάρχουν διαφορετικά πρότυπα ποιότητας που ισχύουν για διαφορετικές χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, η Ιαπωνία αλλά και στην Ευρώπη.

Έτσι, παρακάτω θα αναφερθούν οι έλεγχοι που γίνονται και θα παρουσιαστούν οι πρακτικές που ισχύουν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και θα πρέπει να θυμάται ο αναγνώστης ότι δεν υπάρχει ένα σύνολο ελέγχων που να είναι αποδεκτό παγκοσμίως.

Στον ποιοτικό έλεγχο του ακατέργαστου μεταξιού μετά την αναπήνιση γίνεται έλεγχος για γενικούς χαρακτήρες του νήματος και ο έλεγχος γίνεται σε όλο το εμπορεύσιμο δείγμα σε έναν χώρο με έντονο φωτισμό. Για παράδειγμα, ο έλεγχος ομοιομορφίας αφορά στην ομοιομορφία του χρώματος, της στιλπνότητας και της αφής του ακατέργαστου μεταξιού. Στον έλεγχο του γενικού φινιρίσματος γίνεται έλεγχος για ελαττώματα του νήματος όπως κολλημένα κουβάρια, κολλημένα σημεία στα κουβάρια, παρουσία πολλών άκρων και ανομοιόμορφες συστροφές του νήματος. Επίσης, ελέγχονται τα νήματα σχετικά με το αν είναι μπλεγμένα μεταξύ τους, για σπασίματα στα νήματα και νήματα που χάσκουν από το κουβάρι, για ανομοιομορφία στη συσκευασία, για παρουσία λεκέδων, προσβολών από έντομα ή μύκητες. Όλα αυτά τα ελαττώματα βαθμολογούνται σε κλίμακες και καταγράφονται στο πιστοποιητικό που χορηγείται. Το χρώμα, η στιλπνότητα και η υφή του ακατέργαστου μεταξιού βαθμολογούνται σε διάφορες κλίμακες, για παράδειγμα ως προς τη στιλπνότητα το ακατέργαστο μετάξι ορίζεται ως φωτεινό, μέσο και αδρό.

Για τον ποιοτικό έλεγχο δείγματος παίρνουμε 50 κουβάρια που είναι κάτω από 120 γραμμάρια σε βάρος ή 25 κουβάρια αν είναι πάνω από 120 γραμμάρια σε βάρος.

Πιο εξειδικευμένα, οι έλεγχοι που κάνουμε στα δείγματα είναι οι εξής:

1. Έλεγχος σύστριψης.
   Ο έλεγχος αυτός γίνεται στα 40 από τα 50 κουβάρια των 70 γραμμαρίων ή στα 20 από τα 25 κουβάρια των 140 γραμμαρίων. Για την έναρξη του ελέγχου χρησιμοποιούμε τα μισά κουβάρια και η ταχύτητα και η διάρκεια της περιστροφής καθορίζεται από τα Ντενιέ του νήματος. Στον έλεγχο αυτόν καταγράφουμε το πόσες φορές κόπηκε το νήμα και τον λόγο που κόπηκε.

2. Έλεγχος διακύμανσης του μεγέθους του νήματος.
   Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση αυτή είναι μια ανέμη μέτρησης μεγέθους, μια ζυγαριά ακριβείας και ένας πίνακας αναφοράς των Ντενιέ.

3. Έλεγχος ομοιομορφίας.
   Ο έλεγχος ομοιομορφίας γίνεται σε νήματα γνωστού Ντενιέ με τη χρήση της μηχανής Seriplane και πηγής φωτισμού. Χρησιμοποιούνται πολλά νήματα συγκεκριμένου μήκους και η ομοιομορφία τους ελέγχεται οπτικά σε σχέση με φωτογραφίες νημάτων που θεωρούνται ως πρότυπα. Η διακύμανση της ομοιομορφίας καταγράφεται και εκφράζεται ως ποσοστό επί του προτύπου.

4. Έλεγχος καθαρότητας και εμφάνισης.
   Ο έλεγχος καθαρότητας του νήματος γίνεται για να βρεθούν σοβαρά ελαττώματα, μεσαία ελαττώματα και μικρά ελαττώματα. Κάθε κατηγορία ελαττώματος φέρει έναν βαθμό ποινής που υπολογίζεται ως προς το 100 που είναι η απουσία ελαττωμάτων σε όλα τα δείγματα που ελέγχθηκαν. Ως ελαττώματα θεωρούνται αυτά που φαίνονται στην Εικόνα 9.8 και είναι σημεία όπου ένα ή περισσότερα νήματα έχουν κοπεί ή δεθεί ανώμαλα ή χάσκουν από το νήμα ή έχουν κόμπους. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι φωτογραφίες-πρότυπα των ελαττωμάτων, η μηχανή Seriplane και πηγή φωτισμού. Όταν βρεθεί σοβαρό ελάττωμα, η ποινή είναι 1%, σε μεσαίο ελάττωμα η ποινή είναι 0,4% και σε μικρό ελάττωμα η ποινή είναι 0,1% σε σχέση με τις φωτογραφίες-πρότυπα.

5. Έλεγχος αντοχής και επιμήκυνσης του νήματος.
   Για να ελεγχθεί η αντοχή του ακατέργαστου μεταξιού, το σημείο θραύσης (εκφραζόμενο σε γραμμάρια ανά Ντενιέ) και ο βαθμός αντοχής στον εφελκυσμό (%) του νήματος μέχρι τη θραύση τους, χρησιμοποιείται η συσκευή που ονομάζεται *σεριγράφος*. Αυτός ο έλεγχος γίνεται σε θερμοκρασία 20 °C και υγρασία 65% και χρησιμοποιούνται επίσης μια ζυγαριά ακριβείας και μια ανέμη. Με τον σεριγράφο ελέγχουμε την αντοχή του νήματος μέχρι τη θραύση του καθώς το εκτείνουμε, ενώ η ελαστικότητα εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής έκτασης του νήματος πριν τη θραύση του. Οι τιμές προσαρμόζονται ως προς το Ντενιέ του νήματος, γιατί νήματα με διαφορετικό Ντενιέ έχουν προφανώς διαφορετική αντοχή και ελαστικότητα.

6. Ο έλεγχος συνοχής του νήματος
   Αυτό ο έλεγχος γίνεται με χρήση της συσκευής που ονομάζεται Ντουπλάν (Duplan), η οποία χρησιμοποιεί την τριβή για να ανοίξει το περιελιγμένο νήμα στις ίνες από τις οποίες αποτελείται. Η συσκευή αυτή εκτελεί 140 παλμούς ανά λεπτό και σε κάθε 10 παλμούς σταματά για να γίνει ο έλεγχος εμφάνισης των ινών που αποτελούν το νήμα. Τα νήματα που ελέγχονται δεν θα πρέπει να έχουν ελαττώματα εμφάνισης και ανομοιομορφίας.

Ως προς τους ποσοτικούς ελέγχους του ακατέργαστου μεταξιού ελέγχουμε:

1. το προσαρμοσμένο βάρος λόγω υγρασίας του ακατέργαστου μεταξιού.

Το προσαρμοσμένο βάρος του ακατέργαστου μεταξιού μετριέται με ζύγιση του βάρους του ακατέργαστου μεταξιού πριν και μετά την ξήρανσή του και προσθήκη ενός ποσοστού 11% στο βάρος του ακατέργαστου μεταξιού μετά την ξήρανσή του. Αυτό το ποσοστό 11% είναι μια διεθνής σταθερά πρόσθετου βάρους λόγω υγρασίας στο ακατέργαστο μετάξι. Για να κάνουμε τις μετρήσεις αυτές, βάζουμε τα νήματα προς έλεγχο σε σταθερή θερμοκρασία και υγρασία για 12 ώρες υπό φυσιολογικές συνθήκες. Κατόπιν ξηραίνουμε μερικά από τα δείγματα νήματος στους 140 °C μέχρι να μην αλλάζει το βάρος τους κατά περισσότερο από 0,1 γραμμάρια όταν τα ζυγίζουμε κάθε 5 λεπτά. Η διάρκεια ξήρανσης μπορεί να υπολογιστεί εμπειρικά.

Το ποσοστό πρόσληψης υγρασίας υπολογίζεται κατόπιν ως

$$\text{Πρόσληψη υγρασίας (\%)} = (\text{αρχικό βάρος -ξηρό βάρος}) \,/\, \text{ξηρό βάρος}) \times 100 \quad (9.29)$$

Ενώ

$$\text{Το ποσοστό αρχικής υγρασίας είναι} = (\text{αρχικό βάρος -ξηρό βάρος})/\text{αρχικό βάρος}) \times 100 \quad (9.30)$$

Και

$$\text{Το ποσοστό πρόσληψης υγρασίας είναι} = (\text{αρχικό βάρος} - \text{ξηρό βάρος})/\,\text{ξηρό βάρος}) \times 100 \quad (9.31)$$

Για τη βαθμονόμηση του ακατέργαστου μεταξιού, αυτό χωρίζεται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με το βάρος του νήματος εκφραζόμενο σε Ντενιέ. Η πρώτη κατηγορία είναι για νήματα <18 Ντενιέ, η δεύτερη κατηγορία είναι για νήματα 19-33 Ντενιέ και η τρίτη είναι για νήματα >34 Ντενιέ. Σύμφωνα με το Ιαπωνικό σύστημα βαθμονόμησης, οι κατηγορίες είναι 5A, 4A, 3A, 2A, A, B, C, και D, ενώ παλιότερα η Διεθνής Ένωση Μεταξιού είναι βαθμονόμηση από 4A έως B. Η βαθμονόμηση γίνεται με βάση τον έλεγχο διακύμανσης του μεγέθους, τον έλεγχο ομοιομορφίας, καθαρότητας και εμφάνισης. Σε περίπτωση που ένα ή περισσότερα από αυτά τα αποτελέσματα πέσουν κάτω από τα ελάχιστα όρια που προβλέπονται για έναν βαθμό, η παρτίδα υποβιβάζεται στον αμέσως χαμηλότερο βαθμό. Η βαθμονόμηση και η έκδοση πιστοποιητικού ελέγχου ποιότητας του ακατέργαστου μεταξιού είναι πλέον μια διαδικασία που διενεργείται από ανεξάρτητες εταιρείες πιστοποίησης ποιότητας, οι οποίες έναντι αμοιβής εκτελούν ολοκληρωμένα πρωτοκολλά ανάλυσης ποιότητας, όχι μόνο για το ακατέργαστο μετάξι, αλλά και για όλες τις άλλες φυτικές ή ζωικές ίνες. Αυτές οι εταιρείες φέρουν πιστοποιητικά ISO που καθορίζουν τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθήσουν για την έκδοση πιστοποιητικού ποιότητας μιας παρτίδας ακατέργαστου μεταξιού.

9.5 Παραγωγή μεταξιού από άλλα έντομα

Παρά το γεγονός ότι το μετάξι που παράγεται από τον μεταξοσκώληκα, *Bombyx mori*, είναι το πλέον διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο μετάξι, υπάρχουν πολλά έντομα που παράγουν μετάξι (Peigler, 1993; Sutherland et al., 2010).

Τα μόνα, όμως, είδη εντόμων τα οποία παράγουν εμπορικά αξιοποιήσιμο μετάξι είναι αυτά που ανήκουν στην Τάξη Λεπιδόπτερα (Lee et al., 2022; Naskar et al., 2021; Peigler, 1993). Το μετάξι που παράγουν τα είδη εντόμων από τις άλλες τάξεις δεν είναι εμπορικά αξιοποιήσιμο, γιατί παράγεται από τα έντομα αυτά σε μικρή ποσότητα (Sutherland et al., 2010).

Τα είδη εντόμων που παράγουν εμπορικά αξιοποιήσιμο μετάξι, εκτός από τον μεταξοσκώληκα, είναι τα είδη *Samia ricini*, *Antheraea pernyi*, *Antheraea mylitta*, *Antheraea assamensis* και *Antheraea yamamai* (Lee et al., 2022; Peigler, 1993; Sutherland et al., 2010). Σε πολύ μικρότερη έκταση εκτρέφονται τα είδη *Attacus atlas*, *Antherina sunaka*, *Ceranchia apollina*, *Argemma mittrei*, καθώς και διάφορα είδη του Γένους Anaphe (Peigler, 1993; Sutherland et al., 2010).

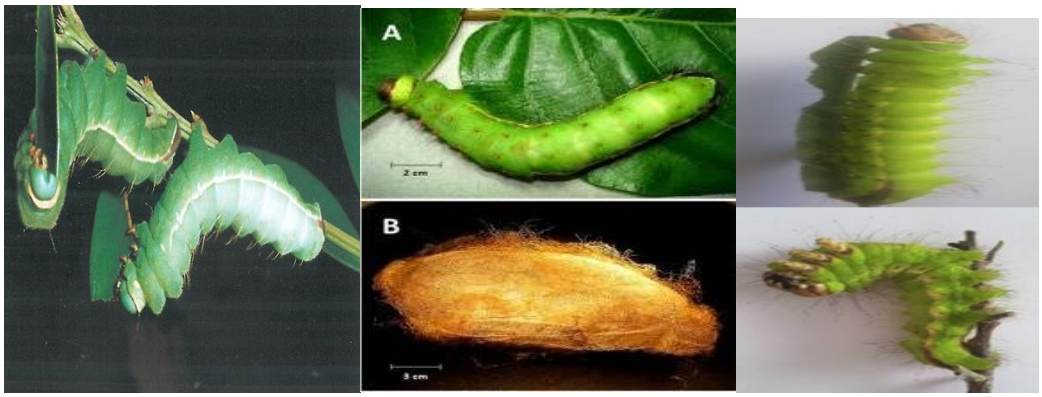
Το είδος *Attacus atlas* είναι ενδημικό στη Νοτιοανατολική Ασία και παράγει μετάξι που είναι γνωστό ως Fagana silk. Τα είδη *Antherina sunaka*, *Ceranchia apollina*, και *Argemma mittrei* είναι ενδημικά της Μαδαγασκάρης και παράγουν μετάξι που είναι γνωστό, αντίστοιχα, ως Sunaka silk, Ceranchia silk και Argemma silk από τα κουκούλια τους (Εικόνα 9.20). Τα υφάσματα από αυτά τα είδη μεταξιού, όπως και από τα είδη του Γένους Anaphe που παράγουν το μετάξι που είναι γνωστό ως Anaphe silk, είναι ιδιαίτερα σπάνια, αδρά στην εμφάνιση και υφαίνονται σε παραδοσιακούς αργαλειούς.

Εικόνα 9.20 *Κουκούλια του είδους Antherina sunaka (αριστερά) και του είδους Argemma mittrei (δεξιά) από τα οποία παράγονται υφάσματα από άγριο μετάξι σε περιοχές της Μαδαγασκάρης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Από τα είδη εντόμων που παράγουν εμπορικά αξιοποιήσιμο μετάξι, το είδος *Samia ricini* είναι ενδημικό σε χώρες της Ασίας και παράγει το μετάξι που είναι γνωστό ως Eri silk. Το είδος αυτό έχει ενδιαφέρον καθώς τρέφεται με το ιδιαίτερα τοξικό φυτό *Ricinus communis* (ρετσινολαδιά), με τα φύλλα του φυτού *Ailanthus altissima (*βρωμοκαρυδιά), αλλά και με φυτά των Γενών *Heteropanax*, *Manihot*, και *Plumeria* (Lee et al., 2022; Peigler, 1993; Sutherland et al., 2010). Αυτό το είδος εμφανίζει πολλούς κύκλους ζωής στη διάρκεια του έτους και παράγει κουκούλια με χρώμα λευκό, τα οποία αναπηνίζονται χειρωνακτικά μετά την έξοδο της νυχτοπεταλούδας από το κουκούλι (Εικόνα 9.21). Η προνύμφη του είδους είναι λευκού χρώματος, τρέφεται ιδιαίτερα δραστήρια, έχει την ικανότητα να σκαρφαλώνει σε δέντρα και για τον λόγο αυτόν η εκτροφή των προνυμφών μπορεί να γίνει πάνω σε δέντρα προστατευμένα με δίχτυ.

Το είδος *Antheraea yamamai* (Εικόνα 9.22) είναι ενδημικό της Ιαπωνίας, τρέφεται με φύλλα δρυός και παράγει μεγάλα κουκούλια που φτάνουν σε βάρος τα 6 γραμμάρια. Το μετάξι που παράγεται από αυτό το είδος ονομάζεται yamamai silk και είναι ιδιαίτερα ακριβό (περίπου 20 φορές πιο ακριβό από το μετάξι του μεταξοσκώληκα), καθώς απαιτούνται 36 κιλά κουκούλια για να παραχθεί 1 κιλό μετάξι yamamai. Η προνύμφη είναι χρώματος πράσινου και εκτρέφεται πάνω σε δέντρα δρυός προστατευμένα με δίχτυ σε πυκνότητα 30-40 προνύμφες ανά δέντρο. Εναλλακτικά, η προνύμφη μπορεί να εκτραφεί σε εσωτερικούς χώρους πάνω σε κλαδιά δρυός τοποθετημένα μέσα σε βάζα, σε αυτήν την περίπτωση όμως παράγει κουκούλια κίτρινου χρώματος (Εικόνα 9.21), ενώ όταν εκτρέφεται σε εξωτερικούς χώρους παράγει κουκούλια πράσινου χρώματος και ανάλογου χρώματος μετάξι.

Εικόνα 9.21 *Κουκούλια του είδους Samia cynthia (αριστερά) και του είδους Antheraea yamamai (δεξιά) από τα οποία παράγεται άγριο μετάξι που είναι γνωστό ως Eri silk και Yamamai silk, αντίστοιχα. Τα κουκούλια στη δεξιά εικόνα είναι κίτρινα, γιατί δημιουργήθηκαν από προνύμφες του είδους Antheraea yamamai μετά από εκτροφή σε εσωτερικούς χώρους (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*



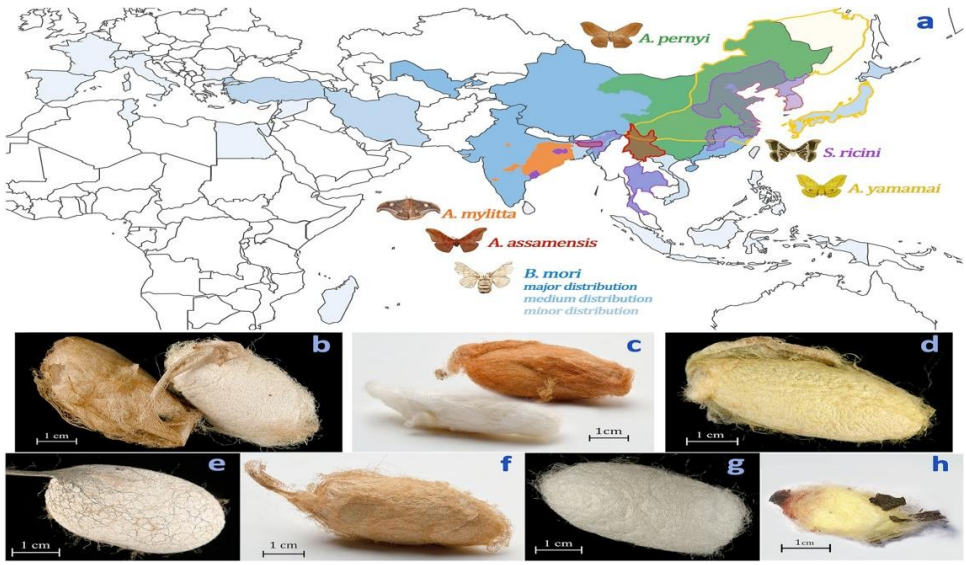
Εικόνα 9.22 *Αριστερή εικόνα: Προνύμφες του είδους Antheraea yamamai. Μεσαία εικόνα: Προνύμφη και κουκούλι (κάτω εικόνα) του είδους Antheraea assamensis. Δεξιά εικόνα: Προνύμφη του είδους Antheraea pernyi. Οι προνύμφες αυτών των ειδών έχουν πράσινο χρώμα (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα (αριστερή εικόνα), (Gupta et al., 2015) (μεσαία εικόνα) και (Geng et al., 2014) (δεξιά εικόνα), CC-BY άδεια).*

Το είδος *Antheraea pernyi* (και το συγγενικό του *Antheraea roylei)* (Εικόνα 9.22) είναι ενδημικό της Κίνας, τρέφεται με τα φύλλα δρυός, αλλά και με φύλλα των ειδών *Terminalia arjuna*, *Terminalia tomentosa*, *Shorea robusta*, *Zizyphus jujube* και παράγει μετάξι που είναι γνωστό ως Chinese tussah ή tasar ή tassah (Lee et al., 2022; Peigler, 1993). Από αυτό το είδος παράγεται η μεγαλύτερη ποσότητα άγριου μεταξιού παγκοσμίως, η οποία αποτελεί, ωστόσο, ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής μεταξιού από τον μεταξοσκώληκα.

Το είδος *Antheraea mylitta* είναι συγγενικό με το παραπάνω, αλλά είναι ενδημικό της Ινδίας και το μετάξι που παράγει είναι γνωστό ως Indian tussah ή tasar ή tassah (Lee et al., 2022; Peigler, 1993). Το χρώμα του μεταξιού που παράγεται από αυτό το είδος, αλλά και από το είδος *Antheraea pernyi,* είναι σε αποχρώσεις του καφέ χρώματος.

Τέλος, το είδος *Antheraea assamensis* (Εικόνα 9.22) αποτελεί μια ιδιαιτερότητα, καθώς τρέφεται με φύλλα των φυτών *Machilus bombycine* και *Litsea polyandra*, είναι ενδημικό της επαρχίας Assam της Ινδίας και από τα κουκούλια του παράγεται μετάξι χρώματος χρυσού-κίτρινου που είναι γνωστό ως Muga silk.

Όλα τα είδη του Γενους Antheraea που παράγουν εμπορικό μετάξι έχουν 1 ή 2 κύκλους ζωής ανά έτος. Η γεωγραφική κατανομή και η μορφή των κουκουλιών των ειδών που παράγουν εμπορικά αξιοποιήσιμο μετάξι φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 9.23).



Εικόνα 9.23 *(a) Γεωγραφική κατανομή των ειδών εντόμων που παράγουν εμπορικά αξιοποιήσιμο μετάξι και παραδείγματα κουκουλιών τους (b) κουκούλι του είδους Antheraea pernyi (c) κουκούλι του είδους Samia cynthia (d) κουκούλι του είδους Antheraea yamamai (e) κουκούλι του είδους Antheraea mylitta (f) κουκούλι του είδους Antheraea assamensis (g) κουκούλι του είδους Bombyx mori (h) κουκούλι του είδους Bombyx mandarina (το μετάξι αυτού του είδους έχει πολύ περιορισμένη εμπορική αξιοποίηση) (Πηγή: (Lee et al., 2022), CC-BY άδεια).*

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Anonymous. (1985). *New Illustrated Sericulture Book*. National Federation of Sericultural Cooperatives of Japan.

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., Tokoro Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Choe, B. H. (1982). *Sericultural technology*. Seoul National University Press.

Geng, P., Li, W., Lin, L., de Miranda, J. R., Emrich, S., An, L., & Terenius, O. (2014). Genetic characterization of a novel Iflavirus associated with vomiting disease in the Chinese oak silkmoth Antheraea pernyi. *PloS one*, *9*(3), e92107. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092107

Gupta, A. K., Mita, K., Arunkumar, K. P., & Nagaraju, J. (2015). Molecular architecture of silk fibroin of Indian golden silkmoth, Antheraea assama. *Sci Rep*, *5*, 12706. https://doi.org/10.1038/srep12706

Lee, B., Pires, E., Pollard, A. M., & McCullagh, J. S. O. (2022). Species identification of silks by protein mass spectrometry reveals evidence of wild silk use in antiquity. *Scientific Reports*, *12*(1), 4579. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08167-3

Lee, Y.-w. (19999). *Silk Reeling and Testing Manual*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. https://books.google.gr/books?id=459jxwEACAAJ

Malay, A. D., Sato, R., Yazawa, K., Watanabe, H., Ifuku, N., Masunaga, H., Hikima, T., Guan, J., Mandal, B. B., Damrongsakkul, S., & Numata, K. (2016). Relationships between physical properties and sequence in silkworm silks. *Sci Rep*, *6*, 27573. https://doi.org/10.1038/srep27573

Naskar, D., Sapru, S., Ghosh, A. K., Reis, R. L., Dey, T., & Kundu, S. C. (2021). Nonmulberry silk proteins: multipurpose ingredient in bio-functional assembly. *Biomed Mater*, *16*(6). https://doi.org/10.1088/1748-605X/ac20a0

Peigler, R. S. (1993). Wild Silks of the World. *American Entomologist*, *39*(3), 151-162. https://doi.org/10.1093/ae/39.3.15

Randrianandrasana, M., Wu, W. Y., Carney, D. A., Wagoner Johnson, A. J., & Berenbaum, M. R. (2017). Structural and Mechanical Properties of Cocoons of Antherina suraka (Saturniidae, Lepidoptera), an Endemic Species Used for Silk Production in Madagascar. *Journal of insect science (Online)*, *17*(1). https://doi.org/10.1093/jisesa/iew112

Shekar, P., & Hardingham, M. (1995). *Sericulture and Silk Production: A Handbook*. Intermediate Technology Publications. https://books.google.gr/books?id=ue1JAAAAYAAJ

Singh, T. (2015). *Silkworm Rearing Technology: Principles and Management*. Discovery Publishing House PVT Limited. https://books.google.gr/books?id=QOjxrQEACAAJ

Sutherland, T. D., Young, J. H., Weisman, S., Hayashi, C. Y., & Merritt, D. J. (2010). Insect Silk: One Name, Many Materials. *Annual Review of Entomology*, *55*(1), 171-188. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085401

Tulachan, B., Meena, S. K., Rai, R. K., Mallick, C., Kusurkar, T. S., Teotia, A. K., Sethy, N. K., Bhargava, K., Bhattacharya, S., Kumar, A., Sharma, R. K., Sinha, N., Singh, S. K., & Das, M. (2014). Electricity from the silk cocoon membrane. *Sci Rep*, *4*, 5434. https://doi.org/10.1038/srep05434

Zhang, Y., Zhao, P., Dong, Z., Wang, D., Guo, P., Guo, X., Song, Q., Zhang, W., & Xia, Q. (2015). Comparative Proteome Analysis of Multi-Layer Cocoon of the Silkworm, Bombyx mori. *PloS one*, *10*(4), e0123403. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123403

Ελληνόγλωσση

Παπαναούμ, Γ. (1950). *Σηροτροφία*. Εκδ.: Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Γεωργίας.

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Πόσα είδη ελέγχου της αναπηνιστικότητας των κουκουλιών υπάρχουν;

Απάντηση

Υπάρχουν τρία είδη ελέγχου της αναπηνιστικότητας των κουκουλιών:

1) Ο έλεγχος που γίνεται σε μικρό αριθμό κουκουλιών που αναπηνίζονται ανά μονάδα για να υπολογίσουμε και να βαθμονομήσουμε την ποιότητα των κουκουλιών πριν την αναπήνιση,
2) Ο έλεγχος δείγματος κουκουλιών που πάνε προς αναπήνιση για να υπολογίσουμε την αναπηνιστικότητά τους και να βαθμονομήσουμε την ποιότητα των κουκουλιών που θα αναπηνιστούν,
3) Ο έλεγχος που γίνεται στο αναπηνιστήριο κατά τη διάρκεια της αναπήνισης, ο οποίος μας δίνει τα πραγματικά δεδομένα ποιότητας των κουκουλιών που αναπηνίζονται.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Ποιο είναι το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού που θα περιμένουμε να δώσει μια ποιοτική παρτίδα κουκουλιών;

Απάντηση

Το ποσοστό ακατέργαστου μεταξιού από την αναπήνιση μιας καλής παρτίδας κουκουλιών περιμένουμε να είναι ίσο η μεγαλύτερο από 18% στο αναπηνιστήριο.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Τι καθορίζει τις τιμές πώλησης των ξηρών κουκουλιών και του ακατέργαστου μεταξιού σε παγκόσμιο επίπεδο;

Απάντηση

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η πρωτοκαθεδρία της Κίνας ως η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα σε κουκούλια και ακατέργαστο μετάξι είναι αυτή που καθορίζει την τιμή, τόσο των κουκουλιών, όσο και του ακατέργαστου μεταξιού.

Κριτήριο αξιολόγησης 4

Ποια άλλα έντομα παράγουν μετάξι που μπορεί να υφανθεί σε σημαντικές ποσότητες;

Απάντηση

Τα είδη εντόμων που παράγουν εμπορικά αξιοποιήσιμο μετάξι, εκτός από τον μεταξοσκώληκα, είναι τα είδη *Samia ricini*, *Antheraea pernyi*, *Antheraea mylitta*, *Antheraea assamensis* και *Antheraea yamamai*. Υπάρχουν και άλλα είδη Λεπιδοπτέρων που παράγουν μετάξι, αλλά η παραγωγή τους είναι τοπική και τα υφάσματα που παράγονται από αυτά τα είδη είναι σπάνια.

Κεφάλαιο 10: Χρήσεις του Μεταξιού

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται δεδομένα που αφορούν τις χρήσεις του μεταξιού ως υλικού ένδυσης αλλά και τις αναδυόμενες βιοτεχνολογικές χρήσεις του μεταξιού ως βιολογικού υλικού. Στην αρχή του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν σχετικά συνοπτικά τα υφάσματα που προκύπτουν από την ύφανση του μεταξιού. Κατόπιν θα παρουσιαστούν δεδομένα που αφορούν τη δομή της ίνας του μεταξιού. Στη συνέχεια θα γίνει εκτενής αναφορά στους εναλλακτικούς τρόπους χρήσης του μεταξιού ως βιοτεχνολογικού προϊόντος που βρίσκει χρήσεις την τελευταία δεκαετία σε πληθώρα εφαρμογών. Θα αναφερθούν οι εναλλακτικοί τρόποι χρήσης τόσο της ίνας του μεταξιού και των παραπροϊόντων που προκύπτουν από τη σηροτροφία γενικότερα, όπως η σερικίνη. Θα δειχθεί, μέσω των δεδομένων που θα παρουσιαστούν, ότι η σηροτροφία είναι μια «πράσινη» αγροτική ενασχόληση που δεν αφήνει κανένα οικολογικό αποτύπωμα στο περιβάλλον και σχεδόν όλα τα προϊόντα και παραπροϊόντα της είναι ανακυκλώσιμα.

Προαπαιτούμενη γνώση
Ελευθεριάδης, Ι., Νικολαΐδης, Ν., & Τσατσαρώνη, Ε. (2015). *Χημεία και τεχνολογία του χρώματος* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις https://hdl.handle.net/11419/822

10.1 Το μετάξι ως υλικό ένδυσης

Πέρα από τη μακρά ιστορία που έχει η ίνα του μεταξιού ως υλικό ένδυσης των ανθρώπων, είναι σημαντικό να παρουσιαστούν τα διάφορα είδη μεταξωτών υφασμάτων που μπορούν να δημιουργηθούν είτε από το ακατέργαστο μετάξι, είτε από το μετάξι των διπλών κουκουλιών, είτε από μετάξι αναπηνισμένο στο χέρι ή ακόμη και από μετάξι άλλων Λεπιδοπτέρων συγγενικών με τον μεταξοσκώληκα. Το μετάξι έχει εξαιρετική στιλπνότητα και δίνει μια ιδιαίτερη αίσθηση στο άγγιγμά του. Είναι ανθεκτικό ως ύφασμα και βάφεται εύκολα με διάφορες χρωστικές και μεθόδους.

Ανάλογα με τη χρήση που πρόκειται να γίνει σε ένα ύφασμα και την ύφανση που πρόκειται να κάνουμε, το ύφασμα μπορεί να υποστεί αφαίρεση της σερικίνης, που έχει μείνει σε κάποια ποσότητα στο ακατέργαστο μετάξι, στην ίνα, δηλαδή, του μεταξιού που χρησιμοποιήθηκε για την ύφανση του υφάσματος. Η αφαίρεση της σερικίνης γίνεται συνήθως με βρασμό στους 95 °C για 1 ώρα σε υδατόλουτρο που περιέχει 0,5% σαπούνι Μασσαλίας και 0,3% NaHCO3 (διττανθρακικό νάτριο) σε ποσότητα νερού 50 φορές την ποσότητα του μεταξιού (Lee et al., 2022) ή για 30 λεπτά βρασμό σε διάλυμα 0.02 M Na_2CO_3 (ανθρακικό νάτριο) με συνεχή ανάδευση (Marelli et al., 2016) σε ποσότητα νερού 50 φορές την ποσότητα του μεταξιού ή 1% σαπούνι Μασσαλίας και 0,1% Na_2CO_3 (ανθρακικό νάτριο) στους 98 °C για 1 ώρα σε ποσότητα νερού 50 φορές την ποσότητα του μεταξιού (Freddi et al., 2003). Η ποσότητα της σερικίνης που αφαιρείται από το κουκούλι με αυτές τις μεθόδους απογόμωσης φτάνει το 27% (Freddi et al., 2003). Αυτό σημαίνει ότι σε ένα κουκούλι με βάρος κελύφους 0,5 γραμμάρια, η ποσότητα της σερικίνης είναι 0,135 γραμμάρια. Εάν, δηλαδή, το ποσοστό κελύφους είναι 25% σε ένα φρέσκο κουκούλι 2 γραμμαρίων και η ποσότητα σερικίνης είναι 27% του βάρους του κελύφους, τότε ((0,5(25%) γρ. – 0,135(27%) γρ.)/2 γρ.) x100 = 18,25% είναι το ποσοστό της φιβροΐνης στο συνολικό βάρος του φρέσκου κουκουλιού.

Κατόπιν το νήμα ή το ύφασμα ξεπλένονται με άφθονο νερό για την απομάκρυνση υπολειμμάτων της σερικίνης. Έτσι διακρίνουμε δύο είδη υφασμάτων, τα υφάσματα που έχει αφαιρεθεί η σερικίνη και τα υφάσματα ακατέργαστου μεταξιού (Εικόνα 10.1). Για παράδειγμα, στα υφάσματα με τις ονομασίες σιφόν και οργάντζα δεν έχει αφαιρεθεί η σερικίνη για να διατηρηθεί η ιδιαίτερη αισθητική τους (Ayuzawa, 1972).

Εικόνα 10.1 *Δύο μεταξωτά υφάσματα κρεπ στα οποία στο ένα (αριστερά) έχει αφαιρεθεί και στο άλλο (δεξιά) δεν έχει αφαιρεθεί η σερικίνη. Παρατηρήστε τη χαρακτηριστική φωτεινότητα που προσδίδει στο μεταξωτό κρεπ η αφαίρεση της σερικίνης (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Τα υφάσματα από ακατέργαστο μετάξι υφίστανται προαιρετικά αφαίρεση της σερικίνης (φινίρισμα ή απογόμωση) μετά την ύφανσή τους και υφαίνονται από ακατέργαστο μετάξι ή από μετάξι από διπλά κουκούλια ή από μετάξι από άγριους μεταξοσκώληκες.

Ένα είδος υφάσματος ακατέργαστου μεταξιού είναι το λεγόμενο κρεπ που έχει συνήθως μικρό πλάτος. Φτιάχνεται από άστριφτο νήμα στο στημόνι με δύο νήματα που το καθένα είναι S-στριμμένο (αριστερόστροφο) και Z-στριμμένο (δεξιόστροφο) Στο υφάδι χρησιμοποιείται νήμα με 2000-3500 περιελίξεις ανά μέτρο. Μετά την ύφανση αφαιρείται η σερικίνη για να δώσει τη χαρακτηριστική αναδίπλωση στο ύφασμα.

Μια παραλλαγή αυτού του υφάσματος είναι το λείο κρεπ που φτιάχνεται με δύο S-στριμμένα (αριστερόστροφα) και δύο Z-στριμμένα (δεξιόστροφα) νήματα. Αυτό το είδος δεν έχει τόσες εμφανείς αναδιπλώσεις (Datta & Nanavaty, 2005; Sarkar et al., 2021).

Το ύφασμα κρεπ-ντε-σιν υφαίνεται με νήμα χωρίς σύστριψη στο στημόνι και με νήμα με υψηλή σύστριψη στο υφάδι. Τα νήματα στο υφάδι έχουν εναλλακτική 2x (διπλή) S-σύστριψη (αριστερόστροφη) και 2x (διπλή) Z-σύστριψη (δεξιόστροφη). Η ύφανση γίνεται πριν την απογόμωση (φινίρισμα) της σερικίνης. Στο κρεπ-ντε-σιν η πυκνότητα των στημονιών είναι σχετικά πιο αραιή από αυτή του κρεπ και έτσι η αναδίπλωση στο ύφασμα είναι πιο εμφανής. Μετά την αφαίρεση της σερικίνης, το ύφασμα αποκτά τη χαρακτηριστική γυαλάδα και λαμπρότητά του (Datta & Nanavaty, 2005).

Το κρεπ σατέν είναι ύφασμα που έχει δύο όψεις. Στη μία όψη εμφανίζεται ως σατέν, ενώ στην πίσω όψη του η εμφάνιση είναι σαν το κρεπ. Αυτό οφείλεται στη διαφορά που έχει ο αριθμός των νημάτων στο στημόνι σε σχέση με το υφάδι. Σε αυτό το ύφασμα, ένα νήμα από ακατέργαστο μετάξι 21 Ντενιέ ή 2-3 νήματα των 14 Ντενιέ χρησιμοποιούνται μαζί για το στημόνι. Για το υφάδι, χρησιμοποιείται S-συστριμμένο (αριστερόστροφο) και Z- συστριμμένο (δεξιόστροφο) νήμα που φτιάχνεται από 2-4 νήματα των 21 Ντενιέ. Το ύφασμα είναι παρόμοιο με το κανονικό κρεπ, αλλά η επιφάνειά του είναι λεία και μαλακή δεδομένου ότι το μοτίβο είναι από σατέν ύφανση (Datta & Nanavaty, 2005).

Στο ύφασμα με την ονομασία ζωρζέτα κρεπ, τα νήματα στο στημόνι και στο υφάδι έχουν εναλλακτική S-σύστριψη (αριστερόστροφη) και Z-σύστριψη (δεξιόστροφη) με 2500-3000 στρίψεις ανά μέτρο. Και για το στημόνι αλλά και για το υφάδι, δύο νήματα, ένα με S- σύστριψη και ένα με Z-σύστριψη, αναμειγνύονται και το ύφασμα συμπιέζεται και στην κατεύθυνση του στημονιού αλλά και του υφαδιού. Η ύφανση γίνεται πριν την απογόμωση (φινίρισμα) της σερικίνης. Είναι ένα εξαιρετικά λεπτό ύφασμα. Έχει λίγη αναδίπλωση, έχει σχετικά λίγη στιλπνότητα και είναι σχετικά αδρό στην αφή, είναι σχετικά από διαφανές έως αδιάφανο, αλλά είναι και ανθεκτικό ως ύφασμα. Υπάρχουν λευκά, βαμμένα αλλά και τυπωμένα ζωρζέτα κρέπ υφάσματα (Datta & Nanavaty, 2005).

Η οργάντζα είναι ύφασμα που υφαίνεται αραιά με νήματα από ακατέργαστο μετάξι στο στημόνι και στο υφάδι και τα οποία έχουν συστριφτεί. Το ύφασμα αυτό βάφεται χωρίς φινίρισμα για την απομάκρυνση της σερικίνης. Για τον λόγο αυτόν η οργάντζα είναι ένα ύφασμα αδρό στο άγγιγμα, ελαφρύ και διάφανο. Είναι σχεδόν παρόμοιο με το σιφόν, αλλά στο σιφόν μπορεί να γίνεται απογόμωση και έτσι αποκτά μια διαφορετική αίσθηση στο άγγιγμα (Ayuzawa, 1972; Sarkar et al., 2021).

Το σιφόν είναι ύφασμα από ακατέργαστο μετάξι με εξαιρετικά λεπτή επίπεδη ύφανση. Χρησιμοποιείται ακατέργαστο νήμα από μετάξι 28-42 Ντενιέ και φέρει 1400-1600 στρίψεις ανά μέτρο και στο στημόνι αλλά και στο υφάδι. Μετά την ύφανση, βάφεται χωρίς απογόμωση (Datta & Nanavaty, 2005).

Ως προς τα υφάσματα που γίνονται από φινιρισμένο νήμα, δηλαδή από νήμα από το οποίο αφαιρέθηκε η σερικίνη έχουμε:

Τον ταφτά που είναι ύφασμα που φτιάχνεται από νήμα με διαφορετικό πάχος στο στημόνι και φινιρισμένο ή βαμμένο νήμα στο υφάδι. Το νήμα όμως στο υφάδι είναι παχύτερο από αυτό του στημονιού και έτσι η πυκνότητα των νημάτων στο στημόνι είναι διπλάσια από αυτή στο υφάδι. Αυτό δημιουργεί ένα λεπτό αυλάκι στην κατεύθυνση του υφαδιού στην μπροστινή και πίσω πλευρά του υφάσματος. Το ύφασμα υφαίνεται σε απλή ύφανση ή με σχέδια. Είναι αρκετά παχύ και αδρό. Έχει μια συμπαγή, ογκώδη και χαρακτηριστική μη λεία υφή καθώς και ιδιαίτερη στιλπνότητα και ανθεκτικότητα (Datta & Nanavaty, 2005).

Το φινιρισμένο σατέν, όπου στο υφάδι χρησιμοποιείται βαμμένο και φινιρισμένο νήμα και για το στημόνι χρησιμοποιείται επίσης βαμμένο και φινιρισμένο νήμα με μονή συστρίψη. Είναι πολύ στιλπνό και λείο ύφασμα, αλλά όχι ανθεκτικό στην τριβή. Το σατέν υφαίνεται μετά από φινίρισμα του μεταξωτού νήματος (φινιρισμένο σατέν), αλλά υπάρχουν φορές που υφάσματα σατέν υφασμένα με ακατέργαστο μετάξι απογομώνονται μετά την ύφανση. Μερικές φορές στο φινιρισμένο σατέν 2-3 νήματα από ακατέργαστο μετάξι των 14 Ντενιέ χρησιμοποιούνται στο στημόνι και 3-4 απλά νήματα των 21 Ντενιέ χρησιμοποιούνται για το υφάδι μετά την απογόμωση και τη βαφή του μεταξωτού νήματος (Datta & Nanavaty, 2005).

Το μπροκάρ φτιάχνεται με βάση το σατέν, αλλά με χρήση νημάτων διαφόρων χρωμάτων στο στημόνι. Έχει διαφορετική την μπροστινή από την πίσω όψη του (Ayuzawa, 1972).

Στο γαλλικό τουίλ, σχετικά λεπτά διπλά στριμμένα νήματα χρησιμοποιούνται στο υφάδι και χοντρά και μονά στριμμένα νήματα χρησιμοποιούνται στο στημόνι. Τα νήματα είναι βαμμένα και φινιρισμένα, και στο στημόνι, και στο υφάδι (Ayuzawa, 1972).

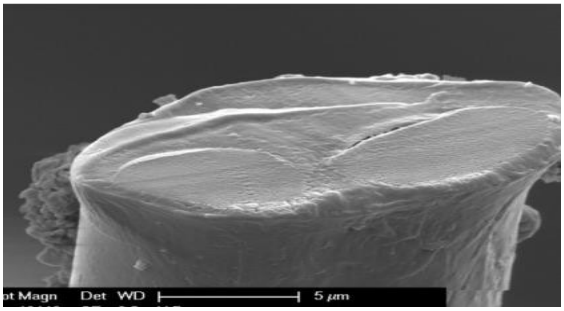
Το βελούδο από μετάξι περιέχει ένα άνω στρώμα από υφάδι πάνω από το βασικό υφάδι. Μερικές φορές χρησιμοποιείται μετάξι και στις δύο στρώσεις στο στημόνι, ενώ άλλες φορές χρησιμοποιείται μετάξι περιελιγμένο στο χέρι ή τεχνητό μετάξι για την επάνω στρώση στο στημόνι. Μετά από πίεση δύο βασικών στρώσεων στο υφάδι, η επάνω στρώση στο στημόνι τραβιέται προς τα επάνω και αυτός ο χειρισμός γίνεται σε όλη την έκταση του υφάσματος. Το χρώμα είναι λευκό, αλλά υπάρχουν και υφάσματα με απλή βαφή (Datta & Nanavaty, 2005).

Πέρα από τα παραπάνω είδη υφασμάτων, πρέπει να αναφερθεί επίσης το *κουκουλάρικο*, το οποίο υφαίνεται από λεπτό νήμα στο στημόνι και από δύο ή περισσότερα ανόμοια νήματα από διπλά κουκούλια στο υφάδι. Η επιφάνειά του είναι στιλπνή και η ύφανσή του συμπαγής και φέρει χαρακτηριστική αδρή και ακανόνιστη επιφάνεια.

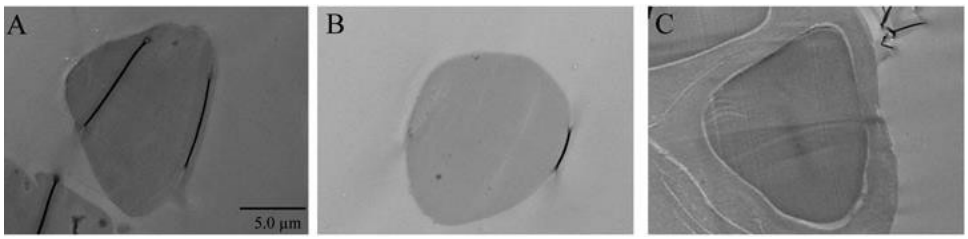
Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι υπάρχει μια τεράστια ποικιλία από διαφορετικά μεταξωτά υφάσματα και υφάνσεις που μπορεί να βρει κανείς σε μεταξωτά υφάσματα που παράγονται σε χώρες με μεγάλη παράδοση στην εκτροφή του μεταξοσκώληκα, από τα πανάκριβα περσικά μεταξωτά χαλιά μέχρι το ύφασμα χαμπουτάε που παράγεται από μετάξι στην Ιαπωνία ή τα μεταξωτά σαρί της Ινδίας (Sarkar et al., 2021). Τα είδη υφασμάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι αυτά που μπορεί να βρει κανείς σε άλλες χώρες της Ευρώπης αλλά και στην Ελλάδα.

10.2 Ιδιότητες της ίνας του μεταξιού

Η ίνα του μεταξιού είναι ένα σύνθετο βιολογικό πολυμερές (Εικόνα 10.2) που αποτελείται από πρωτεΐνες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν μια μοναδική οικογένεια βιοπολυμερών λόγω των καινοτόμων δομικών και βιολογικών ιδιοτήτων τους (Craig, 1997; Herold & Scheibel, 2017; Sutherland et al., 2010).



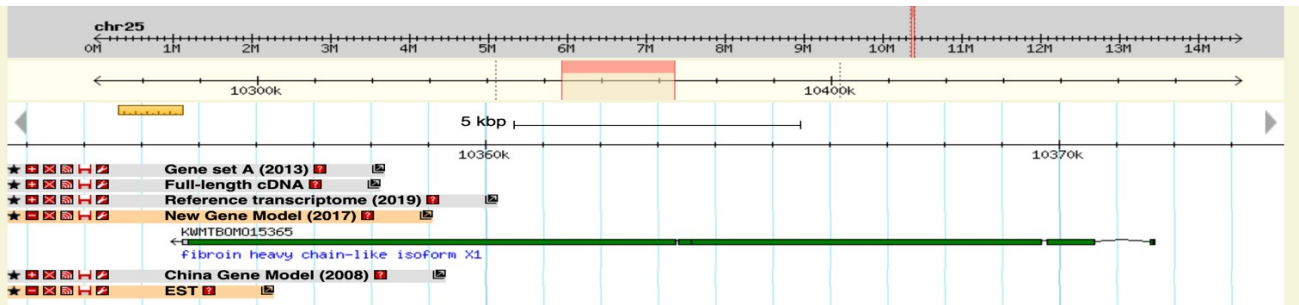
Εικόνα 10.2 *Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης που δείχνει κάθετη τομή από μια ίνα μεταξιού. Παρατηρήστε στο κάτω μέρος της τομής τους δύο λοβούς που αποτελούν τη φιβροΐνη του μεταξιού. Πηγή: (Randrianandrasana et al., 2017), CC-BY άδεια).*



Εικόνα 10.3 *Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης που δείχνει κάθετη τομή από μια ίνα μεταξιού, όπου έχει γίνει αφαίρεση της σερικίνης στην εικόνα Α και στην εικόνα Β, ενώ στην εικόνα C διακρίνει κανείς τη φιβροΐνη (κέντρο) καλυμμένη από στρώμα σερικίνης (Πηγή: (Wang et al., 2022), CC-BY άδεια).*

Οι πρωτεΐνες που δημιουργούν το μετάξι ανήκουν στην κατηγορία των δομικών πρωτεϊνών (Εικόνα 10.3), δηλαδή των πρωτεϊνών που η παρουσία ή συσσώρευσή τους δημιουργούν δομές στις οποίες εισέρχονται ή τοποθετούνται και άλλα οργανικά ή ανόργανα μόρια (Craig, 1997; Sutherland et al., 2010). Όπως έχουν δείξει και εργασίες ανασκόπησης (Craig, 1997; Sutherland et al., 2010), μετάξι δεν παράγουν μόνο οι μεταξοσκώληκες, αλλά και πολλά άλλα έντομα και αρθρόποδα.

Η κύρια πρωτεΐνη του μεταξιού είναι η φιβροΐνη, η οποία δεν είναι μια πρωτεΐνη αλλά τρεις: Η βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης, η ελαφριά αλυσίδα της φιβροΐνης και η πρωτεΐνη P25 (Inoue et al., 2000; Tanaka, Inoue, et al., 1999). Το γονίδιο (Εικόνα 10.4) που κωδικοποιεί για τη βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης βρίσκεται στο χρωμόσωμα 25, το αγγελιαφόρο RNA (mRNA) του γονιδίου έχει μέγεθος 15792 νουκλεοτίδια και κωδικοποιεί για μια πρωτεΐνη 5263 αμινοξέων, η οποία μετά από μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις έχει μοριακό βάρος 391 kDa (Inoue et al., 2000; Ma et al., 2022; Tanaka, Inoue, et al., 1999; Zhou et al., 2001).



Εικόνα 10.4 *Φωτογραφία από ιστοσελίδα αναπαράστασης του γονιδιώματος του μεταξοσκώληκα, Bombyx mori, όπου φαίνεται η περιοχή του γονιδιώματος, όπου εντοπίζεται το γονίδιο της βαριάς αλυσίδας της φιβροΐνης. Με τον ίδιο τρόπο, μπορούμε να αναπαραστήσουμε και κάθε άλλο γονίδιο του μεταξοσκώληκα ή να βρούμε την περιοχή του γονιδιώματος όπου εδράζεται το κάθε γονίδιο (Πηγή: Αρχείο του Συγγραφέα).*

Η πρωτεΐνη που ονομάζεται *βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης* αποτελείται από 12 περιοχές που ονομάζονται «κρυσταλλικές» και έχουν επαναλήψεις κυρίως του μοτίβου Γλυκίνη–Αλανίνη–Γλυκίνη–Αλανίνη–Γλυκίνη–Σερίνη ή σε συντομογραφία ονομαζόμενα Gly–X επαναλήψεις (Zhou et al., 2001), όπου το X είναι στο 65% των περιπτώσεων Αλανίνη, στο 23% των περιπτώσεων Σερίνη και στο 9% των περιπτώσεων Τυροσίνη. Υπάρχουν 2377 τέτοια μικρά μοτίβα σε όλη την έκταση της πρωτοταγούς αλληλουχίας της πρωτεΐνης. Το μοτίβο αυτό καλύπτει το 94% της πρωτοταγούς δομής της πρωτεΐνης και έχει έκταση 70 αμινοξέα, ενώ υπάρχουν περιοχές στο αμινοτελικό και καρβοξυτελικό άκρο, τα αμινοξέα των οποίων δεν εμφανίζουν μοτίβα (Zhou et al., 2001). Η συνολική δομή μοιάζει με β-πτυχωτές επιφάνειες που στοιβάζονται μεταξύ τους σε επάλληλα στρώματα με συνδέσεις Γλυκίνης/Γλυκίνης και X/X αμινοξέων (Zhou et al., 2001).

Το γονίδιο που κωδικοποιεί για την ελαφριά αλυσίδα της φιβροΐνης βρίσκεται στο χρωμόσωμα 14 και το αγγελιαφόρο RNA (mRNA) του γονιδίου έχει μέγεθος 1173 νουκλεοτίδια και κωδικοποιεί για μια πρωτεΐνη 262 αμινοξέων, η οποία μετά από μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις έχει μοριακό βάρος 25 kDa.

Το γονίδιο που κωδικοποιεί για την πρωτεΐνη P25, που ονομάζεται και φιβροεξαμερίνη, βρίσκεται στο χρωμόσωμα 2 και το αγγελιαφόρο RNA (mRNA) του γονιδίου έχει μέγεθος 603 νουκλεοτίδια και κωδικοποιεί για μια πρωτεΐνη 220 αμινοξέων, η οποία μετά από μετα-μεταφραστικές τροποποιήσεις έχει μοριακό βάρος 30 kDa.

Αυτές οι τρεις πρωτεΐνες διαμορφώνονται σε ένα μεγαλομοριακό σύμπλοκο (Das et al., 2021; Dong et al., 2019; Dong et al., 2013; Inoue et al., 2000; Tanaka, Kajiyama, et al., 1999) με μέγεθος 2300 kDa, που αποτελείται από 6 ομάδες της βαριάς αλυσίδας της φιβροΐνης ενωμένης με δισουλφιδικούς δεσμούς με 6 ομάδες της ελαφριάς αλυσίδας της φιβροΐνης και την πρωτεΐνη P25 σε αναλογία 6:6:1 (Das et al., 2021; Dong et al., 2019; Dong et al., 2013; Inoue et al., 2000; Tanaka, Kajiyama, et al., 1999). Μια συγκεκριμένη κυστεΐνη στο καρβοξυτελικό άκρο της βαριάς αλυσίδας της φιβροΐνης (η 20ή κυστεΐνη από το καρβοξυτελικό άκρο) συνδέεται με δισουλφιδικό δεσμό με την κυστεΐνη C-127 της ελαφριάς αλυσίδας της φιβροΐνης (Tanaka, Kajiyama, et al., 1999) και αυτό επιτρέπει την έκκριση του μακρομοριακού συμπλόκου από τα κύτταρα του οπίσθιου μεταξογόνου αδένα προς τον αγωγό του οπίσθιου μεταξογόνου αδένα. Καθώς αυτό το μακρομοριακό σύμπλοκο συνεχώς εκκρίνεται στον αγωγό του οπίσθιου μεταξογόνου αδένα, ιδίως κατά την 5η ηλικία της προνύμφης, πιέζεται προς τα εμπρός από τη συνεχή έκκριση περαιτέρω συμπλόκων και περνά στον μεσαίο μεταξογόνο αδένα όπου επενδύεται από τη σερικίνη, η οποία εκκρίνεται από τα επιθηλιακά κύτταρα του μεσαίου μεταξογόνου αδένα. Και η σερικίνη όμως δεν είναι μία πρωτεΐνη (Dong et al., 2019). Εκτενείς έρευνες έχουν δείξει ότι υπάρχουν 4 γονίδια που κωδικοποιούν για διαφορετικές ισομορφές της σερικίνης, οι οποίες προκύπτουν μετά από εναλλακτικό μάτισμα των αγγελιαφόρων RNA μεταγράφων αυτών των γονιδίων.

Το γονίδιο της σερικίνης 1 βρίσκεται στο χρωμόσωμα 11, έχει μήκος περίπου 23 χιλιάδων νουκεοτιδίων και κωδικοποιεί για αγγελιαφόρο RNA 3896 βάσεων νουκλεοτιδίων από το οποίο προκύπτει μια πρωτεΐνη 1217 αμινοξέων. Ωστόσο, μέσω εναλλακτικού ματίσματος έχει βρεθεί ότι προκύπτουν τουλάχιστον 5 ισομορφές της σερικίνης 1 (Takasu et al., 2002).

Το γονίδιο της σερικίνης 2 βρίσκεται στο χρωμόσωμα 11, έχει μήκος περίπου 12 χιλιάδων νουκεοτιδίων και κωδικοποιεί για αγγελιαφόρο RNA 5498 βάσεων νουκλεοτιδίων από το οποίο προκύπτει μια πρωτεΐνη 1758 αμινοξέων. Ωστόσο, μέσω εναλλακτικού ματίσματος έχει βρεθεί ότι προκύπτουν 2 ισομορφές της σερικίνης 2 μεγέθους 230 kDa και 120 kDa (Takasu et al., 2002).

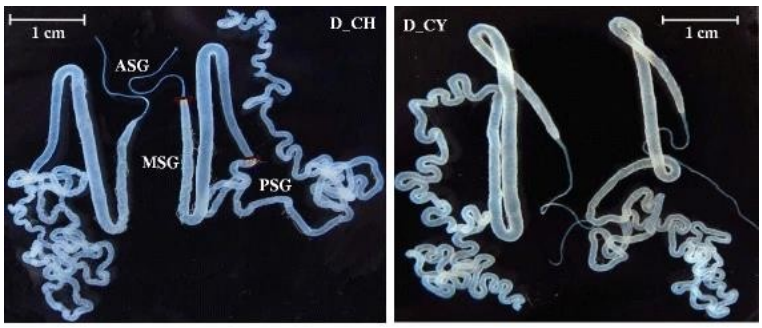
Το γονίδιο της σερικίνης 3 βρίσκεται στο χρωμόσωμα 11, έχει μήκος περίπου 6,6 χιλιάδων νουκεοτιδίων και κωδικοποιεί για αγγελιαφόρο RNA 3816 βάσεων νουκλεοτιδίων από το οποίο προκύπτει μια πρωτεΐνη 1271 αμινοξέων. Μόνο μια ισομορφή της πρωτεΐνης που κωδικοποιείται από το γονίδιο της σερικίνης 3 έχει βρεθεί και έχει μέγεθος 250 kDa (Takasu et al., 2007).

Το γονίδιο της σερικίνης 4 βρίσκεται στο χρωμόσωμα 11, έχει μήκος περίπου 40 χιλιάδων νουκεοτιδίων και κωδικοποιεί για αγγελιαφόρο RNA 7307 βάσεων νουκλεοτιδίων από το οποίο προκύπτει μια πρωτεΐνη 2270 αμινοξέων. Δύο ισομορφές της πρωτεΐνης που κωδικοποιείται από το γονίδιο της σερικίνης 4 έχουν βρεθεί με μέγεθος 260 kDa και 280 kDa (Dong et al., 2019).

Παρά το γεγονός ότι έχουν βρεθεί 4 γονίδια που κωδικοποιούν για σερικίνες, υπάρχει διαφορά στην έκφραση αυτών των γονιδίων ως προς τον τόπο και τον χρόνο. Έτσι, το γονίδιο της σερικίνης 1 εκφράζεται στο μεσαίο τμήμα του μεσαίου μεταξογόνου αδένα από την 1η ηλικία μέχρι και την 5η ηλικία. Το γονίδιο της σερικίνης 3 εκφράζεται στο πρόσθιο τμήμα του μεταξογόνου αδένα μετά την 5η ημέρα της 5ης ηλικίας. Οι πρωτεΐνες που προκύπτουν από την έκφραση αυτών των 2 γονιδίων είναι οι κύριες σερικίνες στην ίνα του μεταξιού και αποτελούν το ~26% και 3% των συνολικών πρωτεϊνών στην ίνα του μεταξιού.

Το γονίδιο της σερικίνης 2 εκφράζεται στο πρόσθιο τμήμα του μέσου μεταξογόνου αδένα από την 1η ηλικία μέχρι και την 5η ημέρα της 5ης ηλικίας και αυξάνεται από 2% σε 15% από την 1η έως την 4η ηλικία.

Οι πρωτεΐνες που παράγονται από το γονίδιο της σερικίνης 2 παίζουν ρόλο στην εδραίωση της προνύμφης σε υπόστρωμα κατά τη διάρκεια των εκδύσεών της. Το ίδιο συμβαίνει και με τις πρωτεΐνες που εκφράζονται από το γονίδιο της σερικίνης 4, το οποίο εκφράζεται στο μέσο και οπίσθιο τμήμα του μέσου μεταξογόνου αδένα. Οι πρωτεΐνες που δημιουργούνται από την έκφραση αυτού του γονιδίου παράγονται από τη 2η έως την 4η ηλικία, δεν αποτελούν μέρος της ίνας του κουκουλιού και χρησιμοποιούνται για την εδραίωση της προνύμφης στα υποστρώματα κατά την έκδυσή της. Πριν από την κάθε έκδυσή της, η προνύμφη εναποθέτει μια πολύ μικρή ποσότητα μεταξιού, το οποίο της επιτρέπει να στερεώνεται στο υπόστρωμα και να παραμένει ακίνητη, ενώ κατά την έκδυση αυτή η μικρή ποσότητα μεταξιού λειτουργεί ως αντίσταση, επιτρέποντας την πρόσθια κίνηση της προνύμφης στην προσπάθειά της να εκδυθεί και να αποβάλει τον παλιό εξωσκελετό. Η πρωτεΐνη φιβροεξαμερίνη ή P25, όπως είναι γνωστή (Tanaka, Inoue, et al., 1999), είναι μια γλυκοπρωτεΐνη, η οποία αλληλεπιδρά με τη βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης και την ελαφριά αλυσίδα της φιβροΐνης με υδροφοβικούς δεσμούς και θεωρείται ότι συμμετέχοντας στο σύμπλοκο βοηθά το σύμπλοκο των δύο φιβροϊνών να δημιουργηθεί και να εκκριθεί από τα κύτταρα του επιθηλίου του οπίσθιου μεταξογόνου αδένα (Tanaka, Inoue, et al., 1999). Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι το μετάξι είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο βιοπολυμερές, το οποίο καθώς δημιουργείται από έναν κεντρικό πυρήνα τριών πρωτεϊνών στον οπίσθιο μεταξογόνο αδένα, μετακινείται στο μεσαίο τμήμα του μεταξογόνου αδένα, όπου επιπρόσθετες πρωτεΐνες, οι σερικίνες, εναποτίθενται πάνω στη βαριά αλυσίδα και την ελαφριά αλυσίδα της φιβροΐνης, αλλά και στην P25, και κατόπιν όλο αυτό το σύμπλοκο μετακινείται προς τον εμπρόσθιο μεταξογόνο αδένα έτοιμο να εκκριθεί. Όσο το μετάξι βρίσκεται μέσα στον μεταξογόνο αδένα και μέσα στο σώμα της προνύμφης, βρίσκεται σε μια υδάτινη μορφή σαν τζελ (Εικόνα 10.5). Όταν αρχίσει η προνύμφη να πλέκει το κουκούλι της, τότε αυτό το υδαρές έκκριμα μετακινείται με μηχανικό τρόπο προς τα έξω μέσω των 2 οπών των μεταξογόνων αδένων που βρίσκονται ακριβώς κάτω από το στόμα της προνύμφης. Ο πρόσθιος μεταξογόνος αδένας έχει μια χαρακτηριστική δομή σαν στενωπό που συνεχώς μειώνει το πάχος των εκκρίσεων πριν την τελική έκκριση του μεταξιού στο εξωτερικό περιβάλλον. Θεωρείται ότι η κρυστάλλωση του μεταξιού συμβαίνει άμεσα, καθώς αυτό εκτίθεται στο εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 10.5 *Εικόνα του μεταξογόνου αδένα του μεταξοσκώληκα. Αριστερά: ο μεταξογόνος αδένας προνύμφης που πλέκει λευκά κουκούλια. Δεξιά ο μεταξογόνος αδένας προνύμφης που πλέκει κίτρινα κουκούλια. ASG: πρόσθιος, MSG: μέσος, και PSG: οπίσθιος μεταξογόνος αδένας (Πηγή: (Fang et al., 2015), CC-BY άδεια).*

Όμως, η πολυπλοκότητα του μηχανισμού δεν σταματά εκεί: Στην άκρη του πρόσθιου μεταξογόνου αδένα και σε κάθε έναν από τους δύο μεταξογόνους αδένες, βρίσκεται ένα μικροσκοπικό συσσωμάτωμα από μικρά κύτταρα, τα οποία αποτελούν τον λεγόμενο *αδένα του Filippi* (Sehadova et al., 2021; Wang et al., 2016). Ο αδένας αυτός ήταν γνωστός από πάρα πολύ παλιά, αλλά δεν είναι πλήρως καθορισμένος ο ρόλος των κυττάρων του στην παραγωγή του μεταξιού. Από πειράματα που έχουν γίνει (Sehadova et al., 2021; Wang et al., 2016) φαίνεται πως τα κύτταρα του αδένα αυτού συμβάλλουν στη συνεκτικότητα και στιβαρότητα του κουκουλιού του μεταξοσκώληκα, καθώς ο αδένας αυτός λείπει από άγριους μεταξοσκώληκες που παράγουν χαλαρά και μη συμπαγή κουκούλια (Sehadova et al., 2021). Έχει επίσης βρεθεί ότι τα κύτταρα αυτού του αδένα εκκρίνουν λιπίδια τα οποία πιθανόν τροποποιούν τις πρωτεΐνες του μεταξιού, καθώς εξέρχονται και κρυσταλλώνονται κατά τη δημιουργία του κουκουλιού (Wang et al., 2016). Συμπεραίνει, λοιπόν, κανείς ότι δεν υπάρχουν μόνο αυτές οι πρωτεΐνες που αναφέρθηκαν παραπάνω στην ίνα του μεταξιού, αλλά και άλλα πολλά συστατικά όπως πρωτεΐνες και λιπίδια τουλάχιστον. Η ύπαρξη και άλλων πρωτεϊνών στο κουκούλι έχει αποδειχθεί, καθώς μετά από πρωτεομική ανάλυση (Dong et al., 2013; Zhang et al., 2015b) δείχθηκε ότι υπάρχουν 286 πρωτεΐνες πάνω στα διάφορα στρώματα του κουκουλιού (Zhang et al., 2015a). Αυτό το εντυπωσιακό εύρημα σημαίνει ότι υπάρχουν πολλές άλλες πρωτεΐνες πάνω στην ίνα του μεταξιού και η συγκεκριμένη έρευνα (Zhang et al., 2015a)

έδειξε ότι αρκετές από τις αυτές τις 286 πρωτεΐνες έχουν αντιβακτηριακή καθώς και αντιμυκητιακή δράση κατά παθογόνων του μεταξοσκώληκα όπως ο μύκητας *Beauveria bassiana*. Φαίνεται, λοιπόν, ότι η σύνθεση και η έκκριση της ίνας του μεταξιού είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία στην οποία πολλοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο.

Πέρα από τις πρωτεΐνες που βρίσκονται στην ίνα του μεταξιού, υπάρχουν και μικρά οργανικά μόρια τα οποία δίνουν στην ίνα του μεταξιού τον χαρακτηριστικό χρωματισμό.

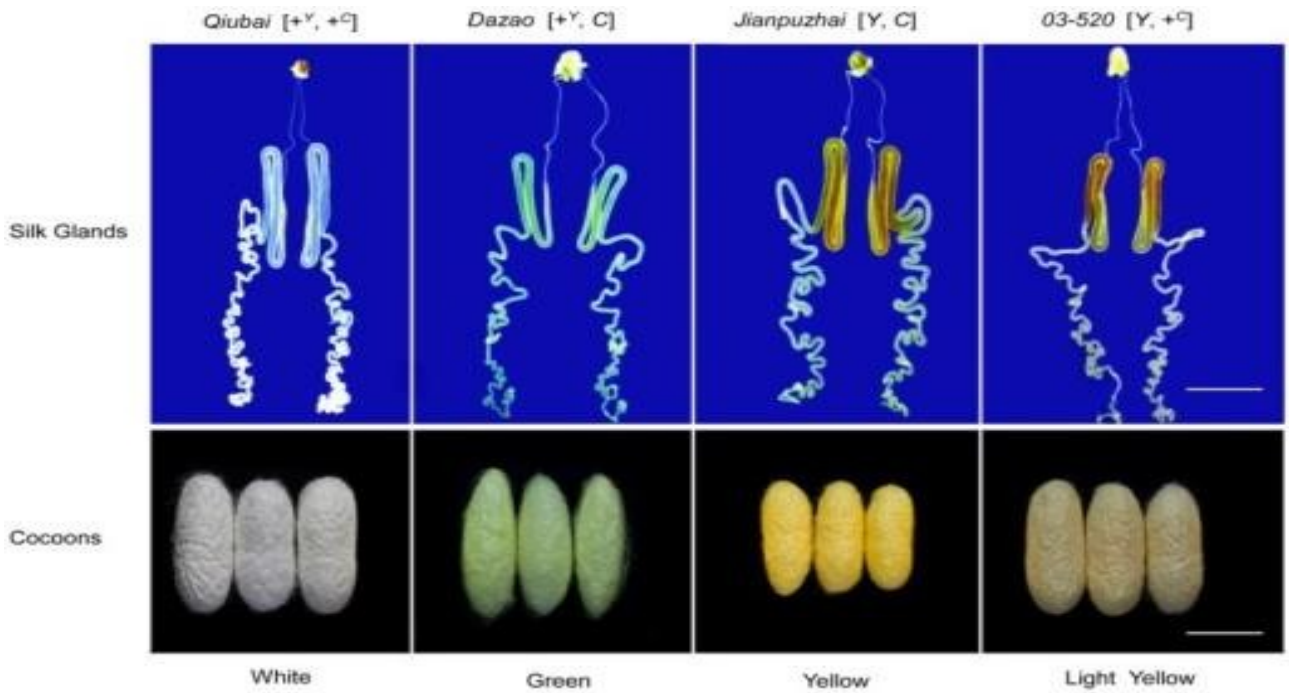
Εικόνα 10.6 *Χαρακτηριστική εικόνα των διαφόρων χρωμάτων των κουκουλιών που παράγουν διάφορες επιλεγμένες σειρές του μεταξοσκώληκα. Η χρώση των κουκουλιών οφείλεται σε διαφορετικούς συνδυασμούς διαφόρων χρωστικών που βρίσκονται στο στρώμα της σερικίνης (Πηγή: (Zhu & Zhang, 2014), CC-BY άδεια).*

Έτσι υπάρχουν φυλές και επιλεγμένες καθαρές σειρές μεταξοσκωλήκων που δημιουργούν κίτρινα, χρυσοκίτρινα, πράσινα και ροζ κουκούλια καθώς και διάφορους ενδιάμεσους χρωματισμούς μεταξύ αυτών των χρωμάτων (Εικόνα 10.6). Με μεθόδους πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, βρέθηκε ότι το κύριο συστατικό του κίτρινου χρώματος στα κουκούλια φυλών μεταξοσκώληκα που εμφανίζουν αυτό το χαρακτηριστικό είναι η χημική ένωση *all-trans*-lutein και επίσης άλλες 5 χημικές ενώσεις, οι οποίες είναι η all-*trans*-neoxanthin, η all-*trans*-violaxanthin, η all-*trans*-*α*-carotene, η all-*trans*-*β*-carotene και η 9-*cis*-*β*-carotene (Ma et al., 2016).

Το χρώμα στα πράσινα κουκούλια έχει βρεθεί ότι προέρχεται από τη δράση του ενζύμου quercetin 5-*O*-glucosyltransferase (Daimon et al., 2010), το οποίο ευθύνεται για τη γλυκοσυλίωση της χημικής ένωσης quercetin, η οποία βρίσκεται στα φύλλα της μουριάς και έτσι προκαλεί την εμφάνιση του χαρακτηριστικού χρώματος του πράσινου στα κουκούλια (Daimon et al., 2010; Xu et al., 2013). Το πράσινο χρώμα των κουκουλιών οφείλεται στην πρόσληψη αυτού του υδατοδιαλυτού φλαβονοειδούς από τα επιθηλιακά κύτταρα του μεσαίου μεταξογόνου αδένα και είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η παρουσία αυτού του χρωματισμού συνδέεται με την προστασία των κουκουλιών από την υπεριώδη ακτινοβολία, καθώς οι προνύμφες στο στάδιο πλοκής των κουκουλιών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην υπεριώδη ακτινοβολία (Daimon et al., 2010) και αυτό σημαίνει ότι το πράσινο χρώμα των κουκουλιών ίσως είναι ο προγονικός χαρακτήρας χρώματος των κουκουλιών του μεταξοσκώληκα (Daimon et al., 2010).

Συνολικά, η παρουσία χρωστικών χημικών ενώσεων στα κουκούλια είναι μια ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία, για την οποία αρκετές λεπτομέρειες είναι γνωστές, αλλά πολλά ακόμη μένει να ανακαλυφθούν (Chai et al., 2014; Daimon et al., 2010; Sakudoh et al., 2010; Sakudoh et al., 2013; Sakudoh et al., 2007; Tsuchida & Sakudoh, 2015; Wang et al., 2014). Έρευνες με γενετικές αναλύσεις έχουν δείξει ότι η εμφάνιση κίτρινων κουκουλιών ελέγχεται από 3 γονίδια, το γονίδιο της κίτρινης αιμολέμφου, το γονίδιο αναστολής της κίτρινης αιμολέμφου και το γονίδιο του κίτρινου κουκουλιού (Tsuchida & Sakudoh, 2015). Το γονίδιο της κίτρινης αιμολέμφου ελέγχει την πρόσληψη καροτενοειδών από την τροφή προς το επιθήλιο του πεπτικού σωλήνα. Το γονίδιο αναστολής του κίτρινης αιμολέμφου αποτρέπει τη μεταφορά των καροτενοειδών στην αιμολέμφο. Το γονίδιο του κίτρινου κουκουλιού ρυθμίζει τη μεταφορά των καροτενοειδών από την αιμολέμφο στα κύτταρα του επιθηλίου του μεσαίου μεταξογόνου αδένα (Chai et al., 2014; Tsuchida & Sakudoh, 2015). Η πρωτεΐνη πρόσδεσης των καροτενοειδών κωδικοποιείται από το γονίδιο της κίτρινης αιμολέμφου και το γονίδιο αυτό εκφράζεται στο επιθήλιο του πεπτικού σωλήνα και στα επιθηλιακά κύτταρα του μεσαίου μεταξογόνου αδένα στους μεταξοσκώληκες που φτιάχνουν κίτρινα κουκούλια (Tsuchida & Sakudoh, 2015; Wang et al., 2014). Σε μεταξοσκώληκες που δεν εκφράζεται αυτή η πρωτεΐνη, τα κουκούλια τους είναι λευκά λόγω της

αφαίρεσης αλληλουχίας βάσεων στο γονιδίωμα από ένα μεταθετό στοιχείο που είχε ως αποτέλεσμα το μη ορθό μάτισμα του mRNA της πρωτεΐνης CBP (Carotenpoid Bindng Protein) που δημιουργεί μη λειτουργικό mRNA της πρωτεΐνης αυτής (Sakudoh et al., 2007). Το γονίδιο του κίτρινου κουκουλιού κωδικοποιεί για τον υποδοχέα της λιποφορίνης και ο υποδοχέας αυτός επιτρέπει την επιλεκτική είσοδο των καροτενοειδών στα επιθηλιακά κύτταρα του μεσαίου μεταξογόνου αδένα (Tsuchida & Sakudoh, 2015). Ένα άλλα γονίδιο, το γονίδιο του ροζ (σαρκώδους) χρώματος οδηγεί στην εμφάνιση ροζ κουκουλιών όταν εκφράζεται αυτό και το γονίδιο της κίτρινης αιμολέμφου, αλλά ταυτόχρονα δεν εκφράζεται το γονίδιο του κίτρινου κουκουλιού (Tsuchida & Sakudoh, 2015). Το γενικότερο μοντέλο που έχει μέχρι τώρα προταθεί (Tsuchida & Sakudoh, 2015) προτείνει ότι τα καροτενοειδή προσλαμβάνονται επιλεκτικά από τα κύτταρα του επιθηλίου του πεπτικού σωλήνα, προσδένονται στην πρωτεΐνη-μεταφορέα των καροτενοειδών, μεταφέρονται μέσω της αιμολέμφου από τη λιποφορίνη στα κύτταρα του επιθηλίου του μεσαίου μεταξογόνου αδένα και, στα κύτταρα αυτά, η λιποφορίνη προσδένεται σε δύο διαφορετικούς υποδοχείς της που επιτρέπουν τη μεταφορά των καροτενοειδών στα κύτταρα του επιθηλίου του μεταξογόνου αδένα, όπου προσδένονται στην πρωτεΐνη πρόσδεσης των καροτενοειδών και εκκρίνονται στον αγωγό του μεσαίου μεταξογόνου αδένα και προσδένονται στη σερικίνη (Tsuchida & Sakudoh, 2015). Ωστόσο, παρά την ύπαρξη αυτού του πολύπλοκου μηχανισμού, το χρώμα των κουκουλιών των φυλών και των επιλεγμένων σειρών που παράγουν κουκούλια με χρώμα (Εικόνα 10.7) δεν παραμένει πάνω στη σερικίνη μετά την επεξεργασία των κουκουλιών. Για παράδειγμα, τα καροτενοειδή εναποτίθενται στη σερικίνη σε αυξημένο ποσοστό στο αρχικό τμήμα της ίνας που παράγεται και έτσι στα βαθύτερα στρώματα του κουκουλιού το ποσό των καροτενοειδών είναι χαμηλό. Επίσης, κατά την επεξεργασία των κουκουλιών, όπως απόπνιξη της νύμφης, βρασμό των κουκουλιών και αναπήνισή τους, αυτές οι χρωστικές των κουκουλιών μειώνονται σημαντικά, γιατί η σερικίνη των κουκουλιών διαλύεται στο νερό, ενώ όταν κάνουμε φινίρισμα (απογόμωση) του νήματος του ακατέργαστου μεταξιού για απομάκρυνση της σερικίνης, τότε το νήμα που προκύπτει είναι πάντα λευκό.

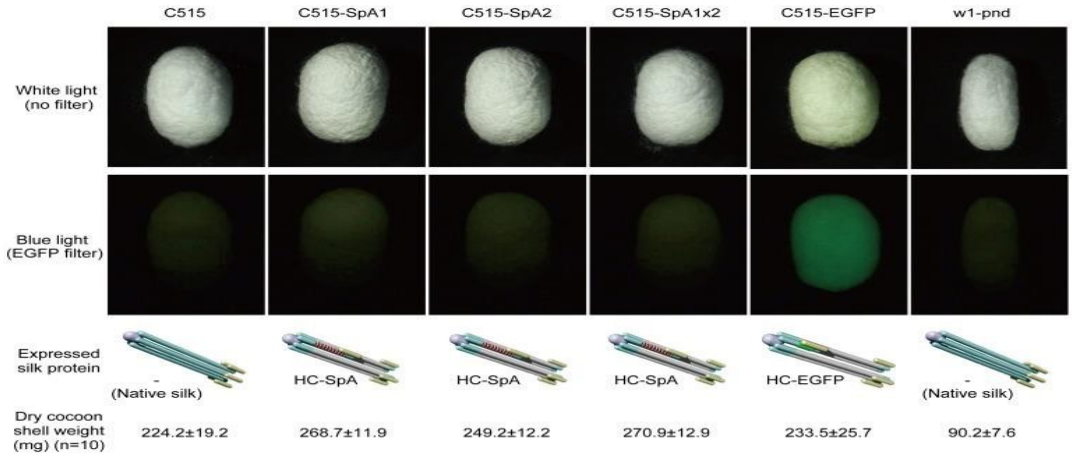


Εικόνα 10.7 *Εικόνα του μεταξογόνου αδένα του μεταξοσκώληκα από καθαρές σειρές που παράγουν λευκά (white), πράσινα (green), κίτρινα (yellow) και ελαφρώς κίτρινα (light yellow) κουκούλια. Στις επάνω εικόνες φαίνεται η εμφάνιση του μεταξογόνου αδένα από κάθε μια από αυτές τις καθαρές σειρές μεταξοσκωλήκων (Πηγή: (Wang et al., 2014) , CC-BY άδεια).*

Κουκούλια με διάφορα συνθετικά χρώματα μπορούν να παραχθούν από τους μεταξοσκώληκες (Baburaj & Das, 2021; Nisal et al., 2014; Tansil et al., 2011). Αυτό γίνεται με τη χρήση συνθετικών χημικών ενώσεων που είτε προστίθενται στην τεχνητή δίαιτα του μεταξοσκώληκα είτε ψεκάζονται ως διάλυμα στα φύλλα με τα οποία τρέφονται οι προνύμφες. Κάποιες συνθετικές χρωστικές που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι η φθορίζουσα χρωστική, ροδαμίνη, αλλά και άλλες χρωστικές, όπως οι χρωστικές της ομάδας azo (Baburaj & Das, 2021; Nisal et al., 2014; Tansil et al., 2011) αλλά, από τεχνικής άποψης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες

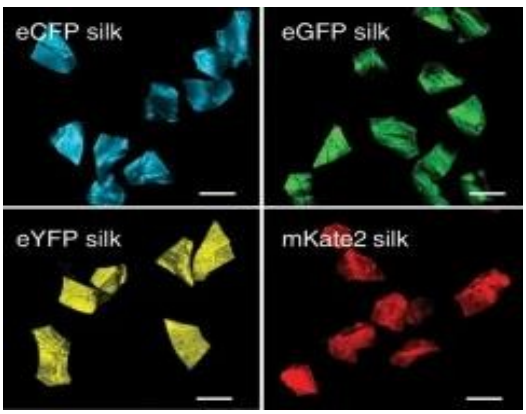
χρωστικές που δίνουν μεγάλη ποικιλία χρωμάτων στα κουκούλια. Με τους ίδιους ή παρόμοιους μηχανισμούς μεταφοράς μικρών οργανικών μορίων που αναφέρθηκαν παραπάνω (Tsuchida & Sakudoh, 2015; Wang et al., 2014), οι συνθετικές χρωστικές καταναλώνονται από τις προνύμφες, διαπερνούν τον πεπτικό σωλήνα, μεταφέρονται μέσω της αιμολέμφου στα επιθηλιακά κύτταρα του μεσαίου μεταξογόνου αδένα και εκκρίνονται στον αγωγό του μεταξογόνου αδένα. Αυτή η προσέγγιση, παρότι εγείρει σημαντικά ηθικά ζητήματα, είναι ιδανική όταν τα κουκούλια πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε καλλιτεχνικές κατασκευές (χειροτεχνίες, πίνακες, διακοσμήσεις), αλλά τα κουκούλια αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δημιουργία βιοτεχνολογικών υλικών, λόγω πιθανής τοξικότητας, ούτε όμως μπορεί να δημιουργηθεί μετάξι από τέτοια κουκούλια, γιατί οι συνθετικές χρωστικές απομακρύνονται κατά την αναπήνιση. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η χρήση τέτοιων χρωστικών πρέπει να είναι περιορισμένη εξαιτίας του υψηλού κόστους τους.

Η πρώτη δημιουργία διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων που εκφράζουν την πράσινη φθορίζουσα χρωστική (GFP) έγινε το 2000 (Tamura et al., 2000) και αυτό το επίτευγμα αποτέλεσε την απαρχή για πάρα πολλές ανακαλύψεις και εφαρμογές σχετικά με την παραγωγή μεταξιού από διαγονιδιακούς μεταξοσκώληκες (Kato et al., 2010; Masahiro Tomita, 2011; Tomita et al., 2003; Xu, 2014). Χρησιμοποιώντας το μεταθετό στοιχείο Piggy Bac, οι Ιάπωνες ερευνητές κατάφεραν να ενσωματώσουν στο γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα την πράσινη φθορίζουσα χρωστική (GFP) και έτσι να ανοίξουν τον δρόμο για περισσότερες μελέτες με τη χρήση διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων. Η δημιουργία διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων επιτυγχάνεται με έγχυση (ένεση) μικρής ποσότητας DNA από δύο πλασμίδια: ένα που οδηγεί στην έκφραση της μεταθετάσης του μεταθετού στοιχείου Piggy Bac και ενός πλασμιδίου που φέρει αλληλουχίες αναγνωρίσιμες από τη μεταθετάση, οι οποίες περικλείουν την αλληλουχία του cDNA της πράσινης φθορίζουσας πρωτεΐνης (Tamura et al., 2000). Η δημιουργία των διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων είναι εφικτή μόνο με ένεση του DNA των πλασμιδίων αμέσως μετά την εναπόθεση των γονιμοποιημένων αυγών από τη θηλυκή νυχτοπεταλούδα. Σε κατοπινές έρευνες δείχθηκε η δυνατότητα έκφρασης και έκκρισης πρωτεϊνών πάνω στο μετάξι των κουκουλιών (Kato et al., 2010; Masahiro Tomita, 2011; Tomita et al., 2003; Xu, 2014), όπως για παράδειγμα του κολλαγόνου του ανθρώπου (Tomita et al., 2003), ενώ η συνεχής βελτίωση των μεθόδων δημιουργίας διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων οδήγησε στην παραγωγή διαγονιδιακού μεταξιού που έφερε μια χιμαιρική μορφή της βαριάς αλυσίδας της φιβροΐνης, στην οποία είχαν εισαχθεί 3 διαφορετικές παραλλαγές της πράσινης φθορίζουσας πρωτεΐνης (Iizuka et al., 2013). Έτσι έγινε δυνατή η παραγωγή φθορίζοντος μεταξιού, το οποίο μετά από αναπήνιση έδωσε φθορίζον ακατέργαστο μετάξι από το οποίο έγινε ύφανση υφάσματος με φθορίζουσες ιδιότητες (Iizuka et al., 2013). Έγινε, με τα επιτεύγματα αυτά, δυνατή η εισαγωγή διαφόρων γονιδίων μέσα στο γονίδιο της βαριάς ή/και ελαφριάς αλυσίδας της φιβροΐνης και παράλληλα έγινε προσπάθεια χρήσης των διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων για την παραγωγή μεταξιού από αράχνες. Το μετάξι που παράγουν διάφορα είδη αράχνης έχει καλύτερα φυσικά χαρακτηριστικά από αυτά του μεταξιού των εντόμων (Kuwana et al., 2014; Tang et al., 2021; Teulé et al., 2012; Xu et al., 2018). Όμως η συγκομιδή αρκετής ποσότητας μεταξιού από της αράχνες παρουσιάζει πολλά προβλήματα με κυριότερο την εμφάνιση κανιβαλισμού μεταξύ ατόμων του ίδιου είδους αράχνης όταν αυτά εκτρέφονται ή στεγάζονται σε περιορισμένους χώρους εκτροφής (Kuwana et al., 2014; Tang et al., 2021; Teulé et al., 2012; Xu et al., 2018). Αυτό κάνει σχεδόν αδύνατη τη συγκομιδή ποσοτήτων μεταξιού από τις αράχνες και έτσι πολλές ερευνητικές ομάδες (Kuwana et al., 2014; Tang et al., 2021; Teulé et al., 2012; Xu et al., 2018) στράφηκαν στην παραγωγή χιμαιρικών μορφών μεταξιού αποτελούμενου από χιμαιρικά μόρια βαριάς αλυσίδας φιβροΐνης και πρωτεϊνών του μεταξιού διαφόρων ειδών αραχνών (Kuwana et al., 2014; Tang et al., 2021; Teulé et al., 2012; Xu et al., 2018). Τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά, καθώς το χιμαιρικό μετάξι που παρήγαγαν οι διαγονιδιακοί μεταξοσκώληκες εμφάνιζε αυξημένη ανθεκτικότητα και ελαστικότητα σε σχέση με το μετάξι του μεταξοσκώληκα. Σε μία περίπτωση (Kuwana et al., 2014) έγινε δυνατή και η παραγωγή υφάσματος από χιμαιρικό μετάξι που έφερε και πρωτεΐνες μεταξιού αράχνης.

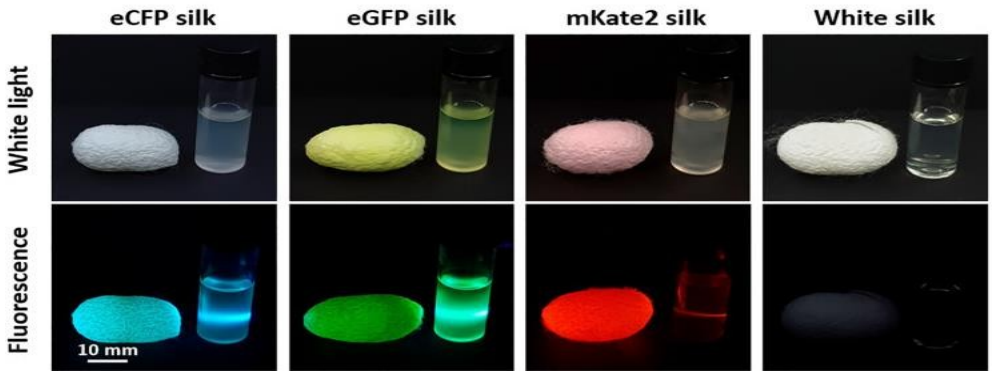


Εικόνα 10.8 *Εικόνα από κουκούλια διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων που εκφράζουν χιμαιρικά μόρια φιβροΐνης που φέρουν μόρια φιβροΐνης από αράχνες. Το πράσινο κουκούλι στη δεύτερη σειρά εικόνων είναι από διαγονιδιακό μεταξοσκώληκα που εκφράζει την πράσινη φθορίζουσα πρωτεΐνη (EGFP) ως χιμαιρική πρωτεΐνη με τη βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης (Πηγή: (Kuwana et al., 2014), CC-BY άδεια).*

Τα παραπάνω ερευνητικά αποτελέσματα (Εικόνα 10.8) δείχνουν ότι ο οπίσθιος μεταξογόνος αδένας του μεταξοσκώληκα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας βιοαντιδραστήρας (Ma et al., 2014) στον οποίο μπορούμε να εξαλείψουμε την έκφραση της βαριάς αλυσίδας της φιβροΐνης και να την αντικαταστήσουμε με οποιαδήποτε πρωτεΐνη που θα παράγεται σε μεγάλες ποσότητες στον οπίσθιο μεταξογόνο αδένα είτε μόνη της είτε ως χιμαιρική πρωτεΐνη (Yanagisawa et al., 2007). Οι συνολικές ερευνητικές προσπάθειες εισάγουν την παραγωγή μεταξιού και τον μεταξοσκώληκα γενικότερα στον χώρο της Συνθετικής Βιολογίας (Roberts et al., 2019) και ένα από τα πλέον εμβληματικά παραδείγματα αυτών των προσεγγίσεων είναι η δημιουργία διαφόρων μορφών φθορίζοντος μεταξιού και η ανάμειξή τους για την παραγωγή ραβδωτού κώδικα στις ετικέτες των τροφίμων ο οποίος θα είναι βρώσιμος (Leem et al., 2020). Οι ερευνητές που έκαναν τη συγκεκριμένη δημοσίευση (Leem et al., 2020) δημιούργησαν διαγονιδιακούς μεταξοσκώληκες που παρήγαγαν μετάξι που έφερε μπλε, κίτρινες ή κόκκινες ισομορφές της πράσινης φθορίζουσας πρωτεΐνης σε χιμαιρικές μορφές με τη βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης. Αντί όμως να δημιουργήσουν υφάσματα από αυτές τις μορφές φθορίζοντος μεταξιού, δημιούργησαν μικροσκοπικά τεμάχια αυτού του μεταξιού, τα οποία όταν τοποθετούνταν σε οποιαδήποτε σειρά δημιουργούσαν στοχαστικά μοναδικούς ραβδωτούς κώδικες που μπορούν να είναι βρώσιμοι (Leem et al., 2020). Αυτή η ιδιοφυής προσέγγιση (Εικόνα 10.9) φέρνει στην επιφάνεια την ανακυκλώσιμη αντίληψη σχετικά με το μετάξι (Dutta et al., 2022; Marzoli et al., 2022), η οποία συμβαδίζει με το γενικότερο κίνημα μεταστροφής από τη χρήση πλαστικών και μη ανακυκλώσιμων υλικών (Roberts et al., 2019) και εισάγει το μετάξι ως υλικό προς χρήση σε αισθητήρες ταυτοποίησης και κωδικοποίησης (Kim et al., 2022).



Εικόνα 10.9 *Εικόνα από μικροσκοπικά τεμάχια κουκουλιών που παρήγαγαν διαγονιδιακοί μεταξοσκώληκες που εκφράζουν την μπλε (eCFP), την πράσινη (eGFP), την κίτρινη (eYFP) ή την κόκκινη (mKate2) μορφή της πράσινης φθορίζουσας πρωτεΐνης ως χιμαιρικό μόριο με τη βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης (Πηγή: (Leem et al., 2020), CC-BY άδεια).*



Εικόνα 10.10 *Εικόνα που δείχνει την εμφάνιση του μεταξιού και των κουκουλιών διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων που εκφράζουν την μπλε (eCFP), την πράσινη (eGFP) ή την κόκκινη (mKate2) μορφή της πράσινης φθορίζουσας πρωτεΐνης ως χιμαιρικό μόριο με τη βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης υπό κανονικό φωτισμό (άνω σειρά) και υπό φθορίζοντα φωτισμό (κάτω σειρά). Στην άκρα δεξιά φωτογραφία φαίνεται ένας μάρτυρας από λευκό κουκούλι που δεν εκπέμπει φθορίζουσα ακτινοβολία (Πηγή: (Leem et al., 2022), CC-BY άδεια).*

Μια 3η προσέγγιση για την παραγωγή φθορίζοντος μεταξιού είναι αυτή της παρέμβασης στις ίνες του μεταξιού με φυσικοχημικές μεθόδους μετά την παραγωγή του. Και σε αυτήν την περίπτωση μια πληθώρα δημοσιεύσεων έχει γίνει τα τελευταία χρόνια (Lee et al., 2020; Leem et al., 2022) και αυτό το πεδίο έρευνας και εφαρμογών (Εικόνα 10.10) υπόσχεται να είναι ιδιαίτερα παραγωγικό, καθώς δεν απαιτείται η χρήση διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων που υπόκεινται σε πνευματικά δικαιώματα χρήσης τους ούτε απαιτείται η χρήση χημικών ενώσεων που πρέπει να ταϊστούν στους μεταξοσκώληκες, κάτι που μπορεί να εμπεριέχει κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η χρήση διαφόρων φυσικοχημικών μεθόδων για την παραγωγή φθορίζοντος μεταξιού μέχρι σήμερα έχουν αναφερθεί συνοπτικά (Lee et al., 2020).

10.2.1 Το μετάξι ως βρώσιμο υλικό

Η αντίληψη ότι το μετάξι μπορεί να είναι και ένα βρώσιμο υλικό (Εικόνα 10.11) προς ανθρώπινη κατανάλωση εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 2016 (Marelli et al., 2016), όταν δείχθηκε για πρώτη φορά ότι η υδρολυμένη φιβροΐνη μετά από κατεργασία μπορεί να δημιουργήσει εδώδιμα υδροτζέλ. Όταν εμβαπτιστούν φρούτα, που έχουν μικρή διάρκεια παραμονής στο ράφι, τα φρούτα αυτά, όπως οι μπανάνες και οι φράουλες, διατηρούν για περισσότερο καιρό τη φρεσκάδα τους και το υδροτζέλ φιβροΐνης που τα καλύπτει μπορεί να καταναλωθεί χωρίς να χρειάζεται να αφαιρεθεί (Marelli et al., 2016).

Ακριβώς επειδή το μετάξι είναι μια πρωτεΐνη ζωικής προέλευσης, η κατανάλωσή της από τους ανθρώπους είναι δυνατή χωρίς αρνητικές συνέπειες για την υγεία. Επίσης, επειδή το υδροτζέλ φιβροΐνης που καλύπτει τα τρόφιμα είναι λεπτό, διαφανές και καλύπτει συνεκτικά την επιφάνεια του φρούτου, η παρουσία του δεν αλλοιώνει την εμφάνιση του φρούτου (Marelli et al., 2016). Για τη δημιουργία εδώδιμων υδροτζέλ φιβροΐνης τα κελύφη των κουκουλιών υφίστανται βρασμό σε διάλυμα 0,02 M ανθρακικού νατρίου για την πλήρη απομάκρυνση της σερικίνης. Στη συνέχεια, οι ίνες φιβροΐνης υδρολύονται σε διάλυμα 9,3 M βρωμιούχου λιθίου, το οποίο στη συνέχεια απομακρύνεται και δημιουργείται ένα διάλυμα 5% υδρολυμένης φιβροΐνης σε απεσταγμένο νερό, στο οποίο εμβαπτίζονται τα τρόφιμα. Το βρωμιούχο λίθιο έχει την ιδιότητα να διασπά τη φιβροΐνη σε μικρότερα τεμάχια, δηλαδή να υδρολύει τη φιβροΐνη. Τα μικρότερα αυτά τεμάχια ανασυντίθενται κατόπιν σε β-πτυχωτές επιφάνειες όταν βρίσκονται σε υδάτινη μορφή χωρίς την παρουσία του βρωμιούχου λιθίου. Ξεκινώντας από αυτήν την πρώτη δημοσίευση της χρήσης της φιβροΐνης ως εδώδιμου υλικού, άλλες έρευνες (Ghosh et al., 2021; Liu et al., 2019) έχουν επεκτείνει αυτές τις εφαρμογές, ενώ η χρήση υδροτζέλ φιβροΐνης έχει προταθεί ως βελτιωτικό υλικό στη βλάστηση των σπόρων των φυτών (Zvinavashe et al., 2019). Παρατηρεί κανείς, λοιπόν, ότι η φιβροΐνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ένα υλικό συσκευασίας τροφίμων, το οποίο είναι βιοδιασπώμενο, κατάλληλο για βρώση και απόλυτα συμβατό με την επίκαιρη μεταστροφή των καταναλωτικών συνηθειών μακριά από τη χρήση πλαστικών. Αυτή η προσέγγιση αποτελεί επίσης ένα παράδειγμα αντίληψης της ίνας του μεταξιού ως ενός υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους επικερδείς τρόπους που ξεφεύγουν από τη χρήση του μεταξιού αποκλειστικά ως υλικού ένδυσης.

Εικόνα 10.11 *Εφαρμογή εδώδιμης επικάλυψης από υδρολυμένη φιβροΐνη πάνω σε φράουλες. Επτά ημέρες μετά την εφαρμογή της εδώδιμης επικάλυψης από μετάξι η εμφάνιση της φράουλας (δεξιά) είναι εμφανώς καλύτερη από αυτήν του μάρτυρα (αριστερά). Παρατηρήστε πόσο διαφανής είναι η εδώδιμη επικάλυψη από μετάξι (Πηγή: (Marelli et al., 2016), CC-BY άδεια).*

10.2.2 Το μετάξι ως βιοϋλικό σε ιατρικές εφαρμογές

Η ιδέα της χρήσης του μεταξιού ως βιοϋλικού στις ιατρικές εφαρμογές έχει επεκταθεί δραματικά κυρίως στις δύο τελευταίες δεκαετίες (H. Liu et al., 2022; Tomeh et al., 2019). Στο γεγονός αυτό βοήθησε η βελτιστοποίηση και παρουσίαση μεθόδων εύκολης απομόνωσης της φιβροΐνης (Rockwood et al., 2011), αλλά και η ανάπτυξη πολλών μεθόδων δημιουργίας μεμβρανών, σπόγγων, νημάτων, μικροσφαιριδίων, αλλά και άλλων υλικών από τη φιβροΐνη (H. Liu et al., 2022). Έτσι πλέον, η φιβροΐνη χρησιμοποιείται ως υλικό για την επιδιόρθωση ιστών όπως τα οστά, ο χόνδρος, τα αγγεία, ο αμφιβληστροειδής χιτώνας, το δέρμα, το αναπαραγωγικό σύστημα (Rockwood et al., 2011; Tomeh et al., 2019), ενώ δεν θα πρέπει να παραλειφθεί η δυνατότητα χρήσης της φιβροΐνης ως νήμα καθαρισμού των δοντιών ή ως νήμα επούλωσης τραυμάτων, κάτι που έχει ήδη βρει εφαρμογή από παλιότερα.

Η φιβροΐνη χρησιμοποιείται, όχι μόνο ως επίθεμα στην επιδιόρθωση βλαβών των μεγάλων οστών και των αρτηριών (Rockwood et al., 2011), αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως υλικό για τη μεταφορά φαρμάκων μέσα στο σώμα ή ακόμη και ως υλικό για τη δημιουργία μικροβελονών για την έγχυση φαρμάκων στο σώμα μέσω της ενσωμάτωσής της σε υφάσματα ή σε δερματικά επιθέματα (Tsioris et al., 2012). Όλες αυτές οι νέες εφαρμογές βασίζονται στην ικανότητα να παραχθούν και να απομονωθούν μεγάλες ποσότητες φιβροΐνης, η οποία είναι ιστοσυμβατή με τους ανθρώπινους ιστούς και βιοδιασπώμενη, ενώ υπάρχει τόσο μεγάλη δυναμική στην έρευνα σε αυτό το πεδίο (Shimanovich et al., 2017) που ουσιαστικά θα μπορούσε να λεχθεί ότι υπάρχουν πολλές άλλες εφαρμογές που δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί.

Μία από αυτές τις εφαρμογές, η οποία έχει αρχίσει να αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια, είναι αυτή που βασίζεται στη χημεία ‘κλικ’ (click chemistry), η οποία είναι μια τεχνική προσέγγιση της πράσινης χημείας, κατά την οποία μπορούμε να προσδέσουμε ένα μικρό μόριο σε ένα μεγαλύτερο μόριο γρήγορα και άμεσα και με μεγάλη αποτελεσματικότητα (Ebrahimi et al., 2015; Moh & Packer, 2021; Mohanty et al., 2018; Raynal et al., 2018; Zhao et al., 2014).

Η χρίση της χημείας ‘κλικ’ στο μετάξι έγινε δυνατή μέσω της επέκτασης του γενετικού κώδικα στον μεταξοσκώληκα, ώστε να μπορούν να εισαχθούν στις πρωτεΐνες του και μη φυσικά αμινοξέα, όπως η αζιδοφαινυλαλανίνη (Teramoto & Kojima, 2014). Αυτό έγινε εφικτό μέσω της έκφρασης σε βακτήρια *E. coli* του γονιδίου της συνθετάσης του tRNA της φαινυλαλανίνης. Ανάλυση των μεταλλάξεων που δημιουργούνταν στα βακτήρια *E. coli* οδήγησε στον εντοπισμό κλώνων που μπορούσαν να εισαγάγουν μη φυσικά αμινοξέα στην εκφραζόμενη πρωτεΐνη (Teramoto & Kojima, 2014). Απομόνωση των κλώνων της μεταλλαγμένης πρωτεΐνης και εισαγωγή τους στα έμβρυα του μεταξοσκώληκα με σκοπό τη δημιουργία διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων οδήγησε στην παραγωγή διαγονιδιακών σειρών μεταξοσκώληκα που ενσωμάτωναν την αζιδοφαινυλαλανίνη αντί της φαινυλαλανίνης στην πρωτοταγή δομή της φιβροΐνης (Teramoto & Kojima, 2014). Το μετάξι από αυτούς τους διαγονιδιακούς μεταξοσκώληκες υποβαλλόταν κατόπιν σε αντίδραση μέσω χημείας ‘κλικ’ (Teramoto & Kojima, 2014) για να προκύψει μετάξι που έφερε φθορίζουσες χρωστικές στην ίνα. Κατοπινές μελέτες έδειξαν ότι η μέθοδος αυτή εισαγωγής εξωγενών χημικών ενώσεων πάνω στη φιβροΐνη, με στόχο την παραγωγή μεταξωτής ίνας με ιδιαίτερες φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες, μπορεί να επεκταθεί με την εισαγωγή διαφορετικών εξωγενών χημικών ενώσεων και κατά συνέπεια, επέκταση της λειτουργικότητας της ίνας του μεταξιού (Teramoto et al., 2018; Teramoto et al., 2019; Teramoto & Kojima, 2014, 2015; Teramoto et al., 2016). Αυτή η πολύ μοντέρνα προσέγγιση στη δημιουργία μεταξωτών ινών με

αυξημένες λειτουργικές ικανότητες, βασίζεται στη δημιουργία διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων και είναι μια παραλλαγή της μεθόδου δημιουργίας διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων μέσω εισαγωγής εξωγενών πρωτεϊνών μέσα στην πρωτοταγή δομή της φιβροΐνης, ενώ άλλες προσεγγίσεις χρησιμοποιούν τη χημεία 'κλικ' για απευθείας πρόσδεση ξένων οργανικών ενώσεων στη φιβροΐνη (Ebrahimi et al., 2015; Moh & Packer, 2021; Mohanty et al., 2018; Raynal et al., 2018; Zhao et al., 2014).

10.2.3 Το μετάξι ως υλικό σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές

Πέρα από τη χρήση του μεταξιού ως βιοϋλικού σε ιατρικές εφαρμογές (Holland et al., 2019; Nguyen et al., 2019), η χρήση του μεταξιού είχε από παλιά προταθεί για την αντικατάσταση των πλαστικών αλλά και των στιβαρών υλικών με άλλα φιλικά προς το περιβάλλον και βιοαποικοδομήσιμα υλικά (Mohanty et al., 2018) Έτσι, και εξαιτίας των ευνοϊκών ιδιοτήτων του μεταξιού αλλά και της ευρείας χρήσης του ως βιοϋλικού στην ιατρική πρακτική, την τελευταία εικοσαετία έχουν επεκταθεί δραματικά οι δημοσιεύσεις σχετικά με τη χρήση του στην οπτική και τη φωτονική, την ηλεκτρονική και τις οπτικο-ηλεκτρονικές εφαρμογές και αυτές οι εφαρμογές χρησιμεύουν ως μια ευρεία έμπνευση για την περαιτέρω ανάπτυξη μεθόδων, τόσο για τη σύνθεση όσο και για την επεξεργασία των υλικών της φύσης για περαιτέρω τεχνολογικές εφαρμογές. Από άποψη επιστήμης υλικών, τα μετάξι από αράχνες και μεταξοσκώληκες είναι μια από τις ισχυρότερες και σκληρότερες φυσικές ίνες, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10.1).

Υλικό	**Ορια μέγιστης αντοχής σε εφελκυσμό (MPa)**	**Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)**	**Ποσοστό παραμόρφωσης τη στιγμή θραύσης (%)**
Μετάξι *Bombyx mori* με σερικίνη	500	5-12	19
Μετάξι *Bombyx mori* χωρίς σερικίνη	610-690	15-17	4-16
Μετάξι αράχνης (*Nephila clavipes*)	875-972	11-13	17-18
Κολλαγόνο	0,9-7,4	0,0018-0,046	24-68
Πλέγμα κολλαγόνου	47-72	0,4-0,8	12-16
Πολυμερές γαλακτικού οξέος	28-50	1,2-3,0	2-6
Τένοντας	150	1,5	12
Οστό	160	20	3
Ανθρακόνημα Kevlar (49 ινών)	3600	130	2,7
Συνθετικό καουτσούκ	50	0,001	850

Πίνακας 10.1 *Σύγκριση των μηχανικών ιδιοτήτων των βιο-αποδομήσιμων πολυμερών υλικών. Το μέτρο ελαστικότητας, γνωστό ως σταθερά ή λόγος του Young (Young's modulus) εκφράζεται σε Γίγα-Πασκάλ (GPa). Το όριο μέγιστης αντοχής σε εφελκυσμό (Ultimate tensile strength (UTS)) εκφράζεται σε Μέγα-Πασκάλ (MPa). Το Young's modulus καθορίζεται ως ο λόγος της εφαρμοζόμενης πίεσης (Stress) προς την προκαλούμενη παραμόρφωση (Strain). Προσαρμογή από (Altman et al., 2003).*

Αυτές οι ιδιότητες του μεταξιού έχουν βρει εφαρμογή σε μια ποικιλία από νέες μορφές υλικών, όπως υδροτζέλ, υπεριώδεις μεμβράνες, επιστρώσεις υλικών, χοντρές μεμβράνες, σύμμορφες επιστρώσεις, 3D πορώδεις ή στερεές μήτρες, τριδιάστατες εκτυπώσεις, ίνες με διαμέτρους που εκτείνονται από νανο- στη μακρο-κλίμακα και πολλές άλλες σχετικές μορφές υλικών, καθώς το μετάξι είναι μηχανικά σταθερό, βρώσιμο, βιοσυμβατό και εμφυτεύσιμο στο ανθρώπινο σώμα (Andersson et al., 2016; DeBari et al., 2021; Holland et al., 2019; Hu et al., 2020; Mu et al., 2020; Pereira et al., 2016; Prakash et al., 2021; Sammi et al., 2022; Seib, 2021; Shi et al., 2021; M. Tomita, 2011; Wen et al., 2021; Whittall et al., 2021). Αυτό που διακρίνει ιδιαίτερα το μετάξι από άλλα βιοπολυμερή για εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας είναι οι στιβαρές μηχανικές του ιδιότητες, ο εύκαμπτος έλεγχος των ιδιοτήτων του μέσω του ελέγχου της περιεκτικότητάς του σε νερό κατά την επεξεργασία του, η προγραμματιζόμενη/ελεγχόμενη (από στιγμιαία σε χρόνια) διάρκεια ζωής και οι μοναδικές οπτικές και ηλεκτρονικές ιδιότητές του (Tao et al., 2012).

Επειδή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μπορούμε να αφαιρέσουμε εύκολα τη σερικίνη από τη φιβροΐνη και κατόπιν να υποβάλουμε σε υδρόλυση τη φιβροΐνη σε μορφή πηκτώματος, το πήκτωμα αυτό μπορεί να κρυσταλλώνεται μέσω αυτο-συναρμολόγησης των πρωτεϊνών κατά την έκθεσή τους στον αέρα, χωρίς να χρειάζεται να καταφεύγουμε σε εξωγενείς αντιδράσεις ή σύνδεση με άλλα αδρανή ή μη αδρανή υλικά μετά την επεξεργασία για σταθεροποίηση (Tao et al., 2012). Με τον τρόπο αυτόν δημιουργούμε μια κατηγορία φιλμ

ελεύθερης στήριξης με πρότυπο (π.χ. οπτικά στοιχεία) ή ένα μηχανικά εύρωστο, βιοσυμβατό και βιοαποδομήσιμο υπόστρωμα για φωτονικές και ηλεκτρονικές συσκευές λεπτής μεμβράνης (Tao et al., 2012). Έτσι το πήκτωμα φιβροΐνης γίνεται κατάλληλο για εφαρμογές μαλακής λιθογραφίας, καθώς με αφυδάτωση του πηκτώματος πάνω σε επιφάνειες με σχέδια και τοπογραφίες μπορούν να αναπαραχθούν σε μεγέθη μικρότερα από 10 νανόμετρα στο κρυσταλλωμένο φιλμ μεταξιού εμφανίζοντας ποικιλία αντοχής. Επίσης, σε συνδυασμό με την οπτική διαφάνεια των πηκτώματος φιβροΐνης, μια ποικιλία φωτονικών δομών μπορεί να κατασκευαστεί με μονοδιάστατες και διδιάστατες δομές, ολογράμματα, πρίσματα, φωτονικά πλέγματα και συστοιχίες μικροφακών (Tao et al., 2012).

Επίσης, τα πηκτώματα φιβροΐνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε νανοεκτύπωση μεταξωτών μεμβρανών μέσω ρύθμισης της θερμοκρασίας κρυστάλλωσής τους, η οποία εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό και την υγρασία των μεμβρανών φιβροΐνης. Παράλληλα, το πήκτωμα φιβροΐνης έχει βρει εφαρμογές τα τελευταία χρόνια στην τριδιάστατη εκτύπωση (3D printing), μια ταχύτατα αναπτυσσόμενη και πολλά υποσχόμενη τεχνολογική εφαρμογή μέσω της οποίας, και με τη χρήση του μεταξιού, μπορούν να εκτυπωθούν απευθείας οπτικές συσκευές (Agostinacchio et al., 2021; Belda Marín et al., 2020; Mu et al., 2020; Naskar et al., 2021).

Μία άλλη δυνατότητα που δίνει το πήκτωμα φοβροΐνης είναι η ικανότητα διατήρησης της λειτουργίας εξωγενών βιολογικών μορίων εντός των μεμβρανών μεταξιού όπως, για παράδειγμα, η διατήρηση της ενεργότητας ενζύμων, όπως η οξειδάση της γλυκόζης, η λιπάση και η υπεροξειδάση, των οποίων η δραστικότητα διατηρείται για πάνω από έναν χρόνο ακόμη και στους 37 ºC (Tao et al., 2012). Αντίθετα, αυτά τα ένζυμα χάνουν γρήγορα τη δραστικότητά τους (μέσα σε ημέρες) σε παρόμοιες συνθήκες εκτός της μήτρας του μεταξιού.

Τέλος, ο συνδυασμός απλών διαδικασιών νανο-αποτύπωσης με την εξίσου απλή ανάμειξη υλικών μέσα σε αιωρήματα φιβροΐνης, προσφέρει μια λογική οδό για να συνδυάσει κανείς νανο-αποτυπωμένες πλάκες και λειτουργικές ταινίες μεταξιού (Tao et al., 2012). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της προσθήκης οργανικών και ανόργανων προσμείξεων που αναμειγνύονται εύκολα σε αιωρήματα φιβροΐνης και της επακόλουθης αποτύπωσης κατάλληλων φωτονικών δομών σχεδιασμένων για να ταιριάζουν με τις οπτικές ιδιότητες που προσδίδουν οι προσμείξεις αυτές. Με τη μέθοδο αυτή, έχει επιτευχθεί αποτύπωση φωτονικών πλεγμάτων σε φθορίζοντα μεταξωτά υποστρώματα (Mondia et al., 2010).

Επειδή με τη νανο-αποτύπωση μπορούμε να έχουμε παραγωγή διατεταγμένων χαρακτηριστικών συστοιχιών σε νανοκλίμακα, οι οποίες έχουν προκαθορισμένες ιδιότητες σκέδασης όταν βρίσκονται πάνω σε πρωτεϊνικά φιλμ φιβροΐνης, μπορούμε να επιτύχουμε τον εντοπισμό του χρώματος όταν φωτίζεται αυτή η συστοιχία από το λευκό φως και με τον τρόπο αυτόν να παράγουμε φωτονικές εφαρμογές (Tao et al., 2012). Με την εναπόθεση μετάλλων σε πρωτεϊνικά φιλμ φιβροΐνης μπορούμε να δημιουργήσουμε επίσης μικροηλεκτρονικές εφαρμογές όπως, για παράδειγμα, επίπεδες μικροηλεκτρονικές δομές, χρησιμοποιώντας το μετάξι για την παραγωγή ηλεκτρονικού χαρτιού (Wang et al., 2011). Το μετάξι μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο για παραδοσιακά στρώματα ανόργανων οξειδίων, όπως το διοξείδιο του πυριτίου ή το ακρυλικό γυαλί (Tao et al., 2012).

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, το μετάξι έχει γίνει ένα σημαντικό εργαλείο στην επιστήμη υλικών και ίσως έχουμε δει μέχρι τώρα ένα πολύ μικρό μέρος της πληθώρας των εφαρμογών στις οποίες θα μπορούσε ίσως να κυριαρχήσει τις επόμενες δεκαετίες (Agostinacchio et al., 2021; Mu et al., 2020; Omenetto & Kaplan, 2010; Wang et al., 2021; Wang et al., 2018). Αυτή ακριβώς η δυνατότητα χρήσης του μεταξιού σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές ίσως μεταστρέψει τις επόμενες δεκαετίες τη σηροτροφία από μια αγροτική σε μια βιοτεχνολογική ενασχόληση.

10.2.4 Η χρήση της σερικίνης σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές

Η σερικίνη έχει και αυτή αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια σε μια πρωτεΐνη με ιδιαίτερο βιοτεχνολογικό ενδιαφέρον. Παρότι ήδη παράγεται, συσκευάζεται και πωλείται ως παραπροϊόν της αναπήνισης και του φινιρίσματος του μεταξιού σε ιδιαίτερα ακριβή τιμή (π.χ. τα 5 γραμμάρια σερικίνης κοστίζουν 364 Ευρώ από την εταιρεία Sigma-Aldrich, τιμή Αυγούστου 2022), η χρήση της υπολείπεται αυτής της φιβροΐνης, γιατί είναι μια υδατοδιαλυτή, μη ινώδη πρωτεΐνη, η οποία πρέπει να απομονωθεί και να καθαριστεί για να προκύψει σε καθαρή μορφή (Ahsan et al., 2018; Cao & Zhang, 2017; Das et al., 2021; J. Liu et al., 2022; Shitole et al., 2020). Οι εφαρμογές τις σερικίνης μέχρι τώρα ήταν κυρίως ως συστατικό των καλλυντικών, καθώς έχει βρεθεί να έχει ωφέλιμες ιδιότητες στο δέρμα (Kunz et al., 2016; Suryawanshi et al., 2020).

Παρόλο που η σερικίνη δεν έχει μέχρι τώρα φτάσει το εύρος εφαρμογών της φιβροΐνης, η ποσότητά της που αφαιρείται κατά την αναπήνιση των κουκουλιών και το φινίρισμα του ακατέργαστου μεταξιού είναι σε παγκόσμιο επίπεδο τεράστια αν κρίνει κανείς από τους χιλιάδες τόνους ακατέργαστου μεταξιού που παράγονται κάθε χρόνο. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι η σερικίνη αποτελεί το 27% του βάρους του κελύφους του κουκουλιού (Freddi et al., 2003) και έχουμε ετησίως παραγωγή 100000 τόνων ακατέργαστου μεταξιού (βλέπε εισαγωγικό κεφάλαιο), τότε μπορούμε να υπολογίσουμε ότι παράγονται 27000 τόνοι σερικίνης ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο, η οποία παραμένει αχρησιμοποίητη ως παραπροϊόν της παραγωγής μεταξιού. Η σερικίνη λοιπόν είναι ένα παραπροϊόν των σταδίων αναπήνισης των κουκουλιών και δημιουργίας υφασμάτων που παράγεται σε μεγάλες ποσότητες αλλά μένει αχρησιμοποίητη. Για να πάρουμε, όμως, τη σερικίνη σε καθαρή μορφή, θα πρέπει να έχουμε συγκεκριμένες διαδικασίες απομόνωσής της είτε άμεσα μέσω κατεργασίας των κουκουλιών με διάλυμα, για παράδειγμα, 0,02 M ανθρακικού νατρίου για την πλήρη απομάκρυνση της σερικίνης ή από το ακατέργαστο μετάξι με την ίδια διαδικασία (Freddi et al., 2003; Lee et al., 2022). Το κρίσιμο αλλά και οικονομικά ακριβό σημείο στην όλη διαδικασία είναι η περαιτέρω συμπύκνωση του διαλύματος και ο καθαρισμός της πρωτεΐνης από τον μεγάλο όγκο διαλύματος στον οποίο θα βρίσκεται και αυτό απαιτεί την ύπαρξη συγκεκριμένων εγκαταστάσεων και εργαστηριακών οργάνων.

Η σερικίνη έχει χαρακτηριστική αντιβακτηριακή δράση και παρέχει προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία, ενώ διατηρεί την υγρασία της ίνας του ακατέργαστου μεταξιού. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιείται ήδη ως υλικό στην επούλωση πληγών στη σύσφιξη του δέρματος και στη διατήρηση της υγρασίας δερματικών επιθεμάτων. Υπάρχουν πολλές μελέτες ήδη που αναφέρουν τη χρήση της σερικίνης σε διάφορες εφαρμογές ως βιοϋλικό και η τάση αυτή προβλέπεται να συνεχιστεί, καθώς η πρωτεΐνη αυτή παράγεται σε μεγάλες ποσότητες κατά τη δημιουργία του κουκουλιού από τους μεταξοσκώληκες (Ahsan et al., 2018; Cao & Zhang, 2017; Das et al., 2021; J. Liu et al., 2022; Shitole et al., 2020; Suryawanshi et al., 2020).

10.2.5 Η φιλική προς το περιβάλλον διάσταση της σηροτροφίας

Μία παράμετρος της εκτροφής του μεταξοσκώληκα, αλλά και γενικότερα της συνολικής παραγωγικής δραστηριότητας που αφορά την παραγωγή του μεταξιού, είναι το γεγονός ότι από τη φύση της δεν παράγει μη βιοδιασπώμενα απόβλητα, ενώ όλα τα παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη σε άλλες παραγωγικές διαδικασίες.

Για παράδειγμα, η στρωμνή που παράγεται στα κρεβάτια εκτροφής του μεταξοσκώληκα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλη επεξεργασία και χωρίς την απόρριψή της για την εκτροφή μανιταριών (Madan et al., 1989; Sharma et al., 1999). Η καλλιέργεια των μανιταριών μπορεί να γίνει μέσα στον χώρο εκτροφής των μεταξοσκωλήκων μετά το τέλος της εκτροφής και τη συλλογή των κουκουλιών.

Εναλλακτικά, η στρωμνή των μεταξοσκωλήκων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα σε άλλες καλλιέργειες με την προϋπόθεση ότι είναι ελεύθερη ασθενειών του μεταξοσκώληκα, όπως αναφέρθηκε και σε άλλο κεφάλαιο. Λόγω της παρουσίας των κοπράνων του προνυμφών, η στρωμνή έχει τις ίδιες ιδιότητες με το οργανικό λίπασμα από άλλα είδη ζώων (Sharma et al., 1999). Ακόμη και τα κλαδιά της μουριάς που χρησιμοποιούμε στην εκτροφή των προνυμφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θερμαντικό υλικό εάν διατηρηθούν.

Κατά την αναπήνιση των κουκουλιών παράγεται σημαντική ποσότητα αποβλήτων που είναι κυρίως νεκρές, αποξηραμένες νύμφες και μεταξωτή ίνα από τα κουκούλια που δεν αναπηνίζονται ή υπολείμματα ινών που δεν αναπηνίστηκαν. Κατά την αναπήνιση των κουκουλιών αυτά τα δύο είδη παραπροϊόντων μπορούν να διαχωριστούν (Ayuzawa, 1972) ακόμα και μηχανικά και να χρησιμοποιηθούν. Οι νεκρές νύμφες μπορούν να αποτελέσουν τροφή για ψάρια ή να κονιορτοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν για τη διατροφή άλλων ζώων (Sadat et al., 2022; Sheikh et al., 2018; Tassoni et al., 2022), αλλά και για τη διατροφή του ανθρώπου, καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση κινείται προς την υιοθέτηση των εντόμων ως πηγής πρωτεΐνης για ανθρώπινη χρήση.

Οι μεταξωτές ίνες των κουκουλιών που δεν αναπηνίστηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πάρα πολλές εφαρμογές, από τη δημιουργία νημάτων έως την ύφανση υφασμάτων, αλλά και σε άλλες βιοτεχνολογικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη δημιουργία επιστρώσεων μετά από συσσώρευση και μορφοποίηση της μάζας τους.

Παρατηρεί κανείς, λοιπόν, ότι με συστηματική αξιοποίηση των παραπροϊόντων της σηροτροφίας, αυτή η αγροτική απασχόληση μπορεί να μην αφήνει κανένα οικολογικό αποτύπωμα και να δημιουργεί κερδοφορία ακόμη και με εφαρμογές που παλιότερα δεν θεωρούνταν ως κερδοφόρες (Sharma et al., 1999).

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Agostinacchio, F., Mu, X., Dirè, S., Motta, A., & Kaplan, D. L. (2021). In Situ 3D Printing: Opportunities with Silk Inks. *Trends in Biotechnology*, *39*(7), 719-730. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.11.003

Ahsan, F., Ansari, T. M., Usmani, S., & Bagga, P. (2018). An Insight on Silk Protein Sericin: From Processing to Biomedical Application. *Drug Res (Stuttg)*, *68*(6), 317-327. https://doi.org/10.1055/s-0043-121464

Altman, G. H., Diaz, F., Jakuba, C., Calabro, T., Horan, R. L., Chen, J., Lu, H., Richmond, J., & Kaplan, D. L. (2003). Silk-based biomaterials. *Biomaterials*, *24*(3), 401-416. https://doi.org/10.1016/s0142-9612(02)00353-8

Andersson, M., Johansson, J., & Rising, A. (2016). Silk Spinning in Silkworms and Spiders. *Int J Mol Sci*, *17*(8). https://doi.org/10.3390/ijms17081290

Ayuzawa, C., Sekido, I, Yamakawa, K., Sakurai, U., Kurata, W., Yaginuma, Y., Tokoro Y. (1972). *Hantlbook of Silkworm Rearing*. Fuji Publishing Co.

Baburaj, A., & Das, S. (2021). Dye Fed Silkworms to Produce Naturally Coloured Silk Cocoons. *Journal of Natural Fibers*, 1-12. https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1889430

Belda Marín, C., Fitzpatrick, V., Kaplan, D. L., Landoulsi, J., Guénin, E., & Egles, C. (2020). Silk Polymers and Nanoparticles: A Powerful Combination for the Design of Versatile Biomaterials. *Front Chem*, *8*, 604398. https://doi.org/10.3389/fchem.2020.604398

Cao, T. T., & Zhang, Y. Q. (2017). The potential of silk sericin protein as a serum substitute or an additive in cell culture and cryopreservation. *Amino Acids*, *49*(6), 1029-1039. https://doi.org/10.1007/s00726-017-2396-3

Chai, C., Zhang, Y., Sun, W., Ding, G., Wang, W., Liu, Y., Dai, F., & Lu, C. (2014). Analysis of a silkworm F_1 hybrid with yellow cocoon generated by crossing two white-cocoon strains: further evidences for the roles of Cameo2 and CBP in formation of yellow cocoon. *Gene*, *534*(1), 119-123. https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.10.030

Craig, C. L. (1997). Evolution of arthropods silk. *Annual Review of Entomology*, *42*(1), 231-267. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.42.1.231

Daimon, T., Hirayama, C., Kanai, M., Ruike, Y., Meng, Y., Kosegawa, E., Nakamura, M., Tsujimoto, G., Katsuma, S., & Shimada, T. (2010). The silkworm Green b locus encodes a quercetin 5-O-glucosyltransferase that produces green cocoons with UV-shielding properties. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(25), 11471-11476. https://doi.org/10.1073/pnas.1000479107

Das, G., Shin, H. S., Campos, E. V. R., Fraceto, L. F., Del Pilar Rodriguez-Torres, M., Mariano, K. C. F., de Araujo, D. R., Fernández-Luqueño, F., Grillo, R., & Patra, J. K. (2021). Sericin based nanoformulations: a comprehensive review on molecular mechanisms of interaction with organisms to biological applications. *J Nanobiotechnology*, *19*(1), 30. https://doi.org/10.1186/s12951-021-00774-y

Datta, R. K., & Nanavaty, M. (2005). *Global Silk Industry: A Complete Source Book*. Universal Publishers. https://books.google.com.bz/books?id=-zdWP6eGvP8C

DeBari, M. K., King, C. I., 3rd, Altgold, T. A., & Abbott, R. D. (2021). Silk Fibroin as a Green Material. *ACS Biomater Sci Eng*, *7*(8), 3530-3544. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00493

Dong, Z., Guo, K., Zhang, X., Zhang, T., Zhang, Y., Ma, S., Chang, H., Tang, M., An, L., Xia, Q., & Zhao, P. (2019). Identification of Bombyx mori sericin 4 protein as a new biological adhesive. *International Journal of Biological Macromolecules*, *132*, 1121-1130. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.166

Dong, Z., Zhao, P., Wang, C., Zhang, Y., Chen, J., Wang, X., Lin, Y., & Xia, Q. (2013). Comparative Proteomics Reveal Diverse Functions and Dynamic Changes of Bombyx mori Silk Proteins Spun from

Different Development Stages. *Journal of Proteome Research*, *12*(11), 5213-5222. https://doi.org/10.1021/pr4005772

Dutta, S., Pal, S., Panwar, P., Sharma, R. K., & Bhutia, P. L. (2022). Biopolymeric Nanocarriers for Nutrient Delivery and Crop Biofortification. *ACS Omega*, *7*(30), 25909-25920. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02494

Ebrahimi, D., Tokareva, O., Rim, N. G., Wong, J. Y., Kaplan, D. L., & Buehler, M. J. (2015). Silk-Its Mysteries, How It Is Made, and How It Is Used. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *1*(10), 864-876. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.5b00152

Fang, S. M., Hu, B. L., Zhou, Q. Z., Yu, Q. Y., & Zhang, Z. (2015). Comparative analysis of the silk gland transcriptomes between the domestic and wild silkworms. *BMC Genomics*, *16*(1), 60. https://doi.org/10.1186/s12864-015-1287-9

Freddi, G., Mossotti, R., & Innocenti, R. (2003). Degumming of silk fabric with several proteases. *Journal of Biotechnology*, *106*(1), 101-112. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2003.09.006

Ghosh, T., Mondal, K., Giri, B. S., & Katiyar, V. (2021). Silk nanodisc based edible chitosan nanocomposite coating for fresh produces: A candidate with superior thermal, hydrophobic, optical, mechanical and food properties. *Food Chem*, *360*, 130048. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130048

Herold, H. M., & Scheibel, T. (2017). Applicability of biotechnologically produced insect silks. *Z Naturforsch C J Biosci*, *72*(9-10), 365-385. https://doi.org/10.1515/znc-2017-0050

Holland, C., Numata, K., Rnjak-Kovacina, J., & Seib, F. P. (2019). The Biomedical Use of Silk: Past, Present, Future. *Advanced Healthcare Materials*, *8*(1), 1800465. https://doi.org/10.1002/adhm.201800465

Hu, F., Lin, N., & Liu, X. Y. (2020). Interplay between Light and Functionalized Silk Fibroin and Applications. *iScience*, *23*(4), 101035-101035. https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101035

Iizuka, T., Sezutsu, H., Tatematsu, K.-i., Kobayashi, I., Yonemura, N., Uchino, K., Nakajima, K., Kojima, K., Takabayashi, C., Machii, H., Yamada, K., Kurihara, H., Asakura, T., Nakazawa, Y., Miyawaki, A., Karasawa, S., Kobayashi, H., Yamaguchi, J., Kuwabara, N., Nakamura, T., Yoshii, K., & Tamura, T. (2013). Colored Fluorescent Silk Made by Transgenic Silkworms. *Advanced functional materials*, *23*(42), 5232-5239. https://doi.org/10.1002/adfm.201300365

Inoue, S., Tanaka, K., Arisaka, F., Kimura, S., Ohtomo, K., & Mizuno, S. (2000). Silk Fibroin of Bombyx mori Is Secreted, Assembling a High Molecular Mass Elementary Unit Consisting of H-chain, L-chain, and P25, with a 6:6:1 Molar Ratio*. *Journal of Biological Chemistry*, *275*(51), 40517-40528. https://doi.org/10.1074/jbc.M006897200

Kato, T., Kajikawa, M., Maenaka, K., & Park, E. Y. (2010). Silkworm expression system as a platform technology in life science. *Appl Microbiol Biotechnol*, *85*(3), 459-470. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2267-2

Kim, M. S., Lee, G. J., Leem, J. W., Choi, S., Kim, Y. L., & Song, Y. M. (2022). Revisiting silk: a lens-free optical physical unclonable function. *Nature communications*, *13*(1), 247. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27278-5

Kunz, R. I., Brancalhão, R. M., Ribeiro, L. F., & Natali, M. R. (2016). Silkworm Sericin: Properties and Biomedical Applications. *Biomed Res Int*, *2016*, 8175701. https://doi.org/10.1155/2016/8175701

Kuwana, Y., Sezutsu, H., Nakajima, K., Tamada, Y., & Kojima, K. (2014). High-toughness silk produced by a transgenic silkworm expressing spider (Araneus ventricosus) dragline silk protein. *PloS one*, *9*(8), e105325. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105325

Lee, B., Pires, E., Pollard, A. M., & McCullagh, J. S. O. (2022). Species identification of silks by protein mass spectrometry reveals evidence of wild silk use in antiquity. *Scientific Reports*, *12*(1), 4579. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08167-3

Lee, O. J., Sultan, M. T., Hong, H., Lee, Y. J., Lee, J. S., Lee, H., Kim, S. H., & Park, C. H. (2020). Recent Advances in Fluorescent Silk Fibroin [Review]. *Frontiers in Materials*, *7*. https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00050

Leem, J. W., Jeon, H. J., Ji, Y., Park, S. M., Kwak, Y., Park, J., Kim, K. Y., Kim, S. W., & Kim, Y. L. (2022). Edible Matrix Code with Photogenic Silk Proteins. *ACS Cent Sci*, *8*(5), 513-526. https://doi.org/10.1021/acscentsci.1c01233

Leem, J. W., Kim, M. S., Choi, S. H., Kim, S. R., Kim, S. W., Song, Y. M., Young, R. J., & Kim, Y. L. (2020). Edible unclonable functions. *Nature communications*, *11*(1), 328. https://doi.org/10.1038/s41467-019-14066-5

Liu, H., Sun, Z., & Guo, C. (2022). Chemical Modification of Silk Proteins: Current Status and Future Prospects. *Advanced Fiber Materials*. https://doi.org/10.1007/s42765-022-00144-9

Liu, J., Li, F., Liang, L., Jiang, Y., & Chen, J. (2019). Fibroin Delays Chilling Injury of Postharvest Banana Fruit via Enhanced Antioxidant Capability during Cold Storage. *Metabolites*, *9*(7). https://doi.org/10.3390/metabo9070152

Liu, J., Shi, L., Deng, Y., Zou, M., Cai, B., Song, Y., Wang, Z., & Wang, L. (2022). Silk sericin-based materials for biomedical applications. *Biomaterials*, *287*, 121638. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121638

Ma, M., Hussain, M., Dong, S., & Zhou, W. (2016). Characterization of the pigment in naturally yellow-colored domestic silk. *Dyes and Pigments*, *124*, 6-11. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.08.003

Ma, S., Shi, R., Wang, X., Liu, Y., Chang, J., Gao, J., Lu, W., Zhang, J., Zhao, P., & Xia, Q. (2014). Genome editing of BmFib-H gene provides an empty Bombyx mori silk gland for a highly efficient bioreactor. *Scientific Reports*, *4*, 6867-6867. https://doi.org/10.1038/srep06867

Ma, Y., Zeng, W., Ba, Y., Luo, Q., Ou, Y., Liu, R., Ma, J., Tang, Y., Hu, J., Wang, H., Tang, X., Mu, Y., Li, Q., Chen, Y., Ran, Y., Xiang, Z., & Xu, H. (2022). A single-cell transcriptomic atlas characterizes the silk-producing organ in the silkworm. *Nature communications*, *13*(1), 3316. https://doi.org/10.1038/s41467-022-31003-1

Madan, M., Vasudevan, P., & Saluja, N. (1989). Silkworm litter: Use as nitrogen replacement for vegetable crop cultivation and substrate for mushroom cultivation. *Biological Wastes*, *27*(3), 209-216. https://doi.org/10.1016/0269-7483(89)90002-5

Marelli, B., Brenckle, M. A., Kaplan, D. L., & Omenetto, F. G. (2016). Silk Fibroin as Edible Coating for Perishable Food Preservation. *Sci Rep*, *6*, 25263. https://doi.org/10.1038/srep25263

Marzoli, F., Antonelli, P., Saviane, A., Tassoni, L., Cappellozza, S., & Belluco, S. (2022). Bombyx mori from a food safety perspective: A systematic review. *Food Res Int*, *160*, 111679. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111679

Moh, E. S. X., & Packer, N. H. (2021). Enzymatic Azido-GalNAc-Functionalized Silk Fibroin for Click Chemistry Conjugation. *Biomacromolecules*, *22*(4), 1752-1755. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c01791

Mohanty, A. K., Vivekanandhan, S., Pin, J. M., & Misra, M. (2018). Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations. *Science (New York, N.Y.)*, *362*(6414), 536-542. https://doi.org/10.1126/science.aat9072

Mondia, J. P., Amsden, J. J., Lin, D., Negro, L. D., Kaplan, D. L., & Omenetto, F. G. (2010). Rapid Nanoimprinting of Doped Silk Films for Enhanced Fluorescent Emission. *Advanced Materials*, *22*(41), 4596-4599. https://doi.org/10.1002/adma.201001238

Mu, X., Sahoo, J. K., Cebe, P., & Kaplan, D. L. (2020). Photo-Crosslinked Silk Fibroin for 3D Printing. *Polymers*, *12*(12). https://doi.org/10.3390/polym12122936

Naskar, D., Sapru, S., Ghosh, A. K., Reis, R. L., Dey, T., & Kundu, S. C. (2021). Nonmulberry silk proteins: multipurpose ingredient in bio-functional assembly. *Biomed Mater*, *16*(6). https://doi.org/10.1088/1748-605X/ac20a0

Nguyen, T. P., Nguyen, Q. V., Nguyen, V.-H., Le, T.-H., Huynh, V. Q. N., Vo, D.-V. N., Trinh, Q. T., Kim, S. Y., & Le, Q. V. (2019). Silk Fibroin-Based Biomaterials for Biomedical Applications: A Review. *Polymers*, *11*(12), 1933. https://doi.org/10.3390/polym11121933

Nisal, A., Trivedy, K., Mohammad, H., Panneri, S., Sen Gupta, S., Lele, A., Manchala, R., Kumar, N. S., Gadgil, M., Khandelwal, H., More, S., & Laxman, R. S. (2014). Uptake of Azo Dyes into Silk Glands for Production of Colored Silk Cocoons Using a Green Feeding Approach. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *2*(2), 312-317. https://doi.org/10.1021/sc400355k

Omenetto, F. G., & Kaplan, D. L. (2010). New opportunities for an ancient material. *Science (New York, N.Y.)*, *329*(5991), 528-531. https://doi.org/10.1126/science.1188936

Pereira, R. F. P., Sentanin, F., Pawlicka, A., Gonçalves, M. C., Silva, M. M., & de Zea Bermudez, V. (2016). Smart Windows Prepared from Bombyx mori Silk. *ChemElectroChem*, *3*(7), 1084-1097. https://doi.org/10.1002/celc.201600095

Prakash, N. J., Mane, P. P., George, S. M., & Kandasubramanian, B. (2021). Silk Fibroin As an Immobilization Matrix for Sensing Applications. *ACS Biomater Sci Eng*, *7*(6), 2015-2042. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00080

Randrianandrasana, M., Wu, W. Y., Carney, D. A., Wagoner Johnson, A. J., & Berenbaum, M. R. (2017). Structural and Mechanical Properties of Cocoons of Antherina suraka (Saturniidae, Lepidoptera), an Endemic Species Used for Silk Production in Madagascar. *Journal of insect science (Online)*, *17*(1). https://doi.org/10.1093/jisesa/iew112

Raynal, L., Allardyce, B. J., Wang, X., Dilley, R. J., Rajkhowa, R., & Henderson, L. C. (2018). Facile and versatile solid state surface modification of silk fibroin membranes using click chemistry [10.1039/C8TB02508H]. *Journal of Materials Chemistry B*, *6*(48), 8037-8042. https://doi.org/10.1039/C8TB02508H

Roberts, A. D., Finnigan, W., Wolde-Michael, E., Kelly, P., Blaker, J. J., Hay, S., Breitling, R., Takano, E., & Scrutton, N. S. (2019). Synthetic biology for fibres, adhesives and active camouflage materials in protection and aerospace. *MRS communications*, *9*(2), 486-504. https://doi.org/10.1557/mrc.2019.35

Rockwood, D. N., Preda, R. C., Yücel, T., Wang, X., Lovett, M. L., & Kaplan, D. L. (2011). Materials fabrication from Bombyx mori silk fibroin. *Nature Protocols*, *6*(10), 1612-1631. https://doi.org/10.1038/nprot.2011.379

Sadat, A., Biswas, T., Cardoso, M. H., Mondal, R., Ghosh, A., Dam, P., Nesa, J., Chakraborty, J., Bhattacharjya, D., Franco, O. L., Gangopadhyay, D., & Mandal, A. K. (2022). Silkworm pupae as a future food with nutritional and medicinal benefits. *Current Opinion in Food Science*, *44*, 100818. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100818

Sakudoh, T., Iizuka, T., Narukawa, J., Sezutsu, H., Kobayashi, I., Kuwazaki, S., Banno, Y., Kitamura, A., Sugiyama, H., Takada, N., Fujimoto, H., Kadono-Okuda, K., Mita, K., Tamura, T., Yamamoto, K., & Tsuchida, K. (2010). A CD36-related transmembrane protein is coordinated with an intracellular lipid-binding protein in selective carotenoid transport for cocoon coloration. *J Biol Chem*, *285*(10), 7739-7751. https://doi.org/10.1074/jbc.M109.074435

Sakudoh, T., Kuwazaki, S., Iizuka, T., Narukawa, J., Yamamoto, K., Uchino, K., Sezutsu, H., Banno, Y., & Tsuchida, K. (2013). CD36 homolog divergence is responsible for the selectivity of carotenoid species migration to the silk gland of the silkworm Bombyx mori. *J Lipid Res*, *54*(2), 482-495. https://doi.org/10.1194/jlr.M032771

Sakudoh, T., Sezutsu, H., Nakashima, T., Kobayashi, I., Fujimoto, H., Uchino, K., Banno, Y., Iwano, H., Maekawa, H., Tamura, T., Kataoka, H., & Tsuchida, K. (2007). Carotenoid silk coloration is controlled

by a carotenoid-binding protein, a product of the Yellow blood gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(21), 8941-8946. https://doi.org/10.1073/pnas.0702860104

Sammi, A., Divya, Mahapatra, S., Kumar, R., & Chandra, P. (2022). Nano-bio-engineered silk matrix based devices for molecular bioanalysis. *Biotechnol Bioeng*, *119*(3), 784-806. https://doi.org/10.1002/bit.28021

Sarkar, A. K., Tortora, P. G., & Johnson, I. (2021). *The Fairchild Books Dictionary of Textiles*. Bloomsbury Publishing. https://books.google.gr/books?id=471VEAAAQBAJ

Sehadova, H., Zavodska, R., Rouhova, L., Zurovec, M., & Sauman, I. (2021). The Role of Filippi's Glands in the Silk Moths Cocoon Construction. *Int J Mol Sci*, *22*(24). https://doi.org/10.3390/ijms222413523

Seib, F. P. (2021). Emerging Silk Material Trends: Repurposing, Phase Separation and Solution-Based Designs. *Materials (Basel, Switzerland)*, *14*(5), 1160. https://doi.org/10.3390/ma14051160

Sharma, S., Mathur, R. C., & Vasudevan, P. (1999). Composting Silkworm Culture Waste. *Compost Science & Utilization*, *7*(2), 74-81. https://doi.org/10.1080/1065657X.1999.10701967

Sheikh, I., Banday, M. T., Baba, I. A., Adil, S., Nissa, S. S., Zaffer, B., & Bulbul, K. H. (2018). Utilization of silkworm pupae meal as an alternative source of protein in the diet of livestock and poultry: A review. *Journal of entomology and zoology studies*, *6*, 1010-1016.

Shi, C., Hu, F., Wu, R., Xu, Z., Shao, G., Yu, R., & Liu, X. Y. (2021). New Silk Road: From Mesoscopic Reconstruction/Functionalization to Flexible Meso-Electronics/Photonics Based on Cocoon Silk Materials. *Adv Mater*, *33*(50), e2005910. https://doi.org/10.1002/adma.202005910

Shimanovich, U., Ruggeri, F. S., De Genst, E., Adamcik, J., Barros, T. P., Porter, D., Müller, T., Mezzenga, R., Dobson, C. M., Vollrath, F., Holland, C., & Knowles, T. P. J. (2017). Silk micrococoons for protein stabilisation and molecular encapsulation. *Nature communications*, *8*(1), 15902. https://doi.org/10.1038/ncomms15902

Shitole, M., Dugam, S., Tade, R., & Nangare, S. (2020). Pharmaceutical applications of silk sericin. *Ann Pharm Fr*, *78*(6), 469-486. https://doi.org/10.1016/j.pharma.2020.06.005

Suryawanshi, R., Kanoujia, J., Parashar, P., & Saraf, S. A. (2020). Sericin: A Versatile Protein Biopolymer with Therapeutic Significance. *Curr Pharm Des*, *26*(42), 5414-5429. https://doi.org/10.2174/1381612826666200612165253

Sutherland, T. D., Young, J. H., Weisman, S., Hayashi, C. Y., & Merritt, D. J. (2010). Insect Silk: One Name, Many Materials. *Annual Review of Entomology*, *55*(1), 171-188. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085401

Takasu, Y., Yamada, H., Tamura, T., Sezutsu, H., Mita, K., & Tsubouchi, K. (2007). Identification and characterization of a novel sericin gene expressed in the anterior middle silk gland of the silkworm Bombyx mori. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *37*(11), 1234-1240. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2007.07.009

Takasu, Y., Yamada, H., & Tsubouchi, K. (2002). Isolation of Three Main Sericin Components from the Cocoon of the Silkworm, Bombyx mori. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *66*(12), 2715-2718. https://doi.org/10.1271/bbb.66.2715

Tamura, T., Thibert, C., Royer, C., Kanda, T., Eappen, A., Kamba, M., Kômoto, N., Thomas, J.-L., Mauchamp, B., Chavancy, G., Shirk, P., Fraser, M., Prudhomme, J.-C., & Couble, P. (2000). Germline transformation of the silkworm Bombyx mori L. using a piggyBac transposon-derived vector. *Nature Biotechnology*, *18*(1), 81-84. https://doi.org/10.1038/71978

Tanaka, K., Inoue, S., & Mizuno, S. (1999). Hydrophobic interaction of P25, containing Asn-linked oligosaccharide chains, with the H-L complex of silk fibroin produced by Bombyx mori. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *29*(3), 269-276. https://doi.org/10.1016/S0965-1748(98)00135-0

Tanaka, K., Kajiyama, N., Ishikura, K., Waga, S., Kikuchi, A., Ohtomo, K., Takagi, T., & Mizuno, S. (1999). Determination of the site of disulfide linkage between heavy and light chains of silk fibroin produced

by Bombyx mori. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure and Molecular Enzymology*, *1432*(1), 92-103. https://doi.org/10.1016/S0167-4838(99)00088-6

Tang, X., Ye, X., Wang, X., Zhao, S., Wu, M., Ruan, J., & Zhong, B. (2021). High mechanical property silk produced by transgenic silkworms expressing the spidroins PySp1 and ASG1. *Sci Rep*, *11*(1), 20980. https://doi.org/10.1038/s41598-021-00029-8

Tansil, N. C., Li, Y., Teng, C. P., Zhang, S., Win, K. Y., Chen, X., Liu, X. Y., & Han, M.-Y. (2011). Intrinsically Colored and Luminescent Silk. *Advanced Materials*, *23*(12), 1463-1466. https://doi.org/10.1002/adma.201003860

Tao, H., Kaplan, D. L., & Omenetto, F. G. (2012). Silk materials--a road to sustainable high technology. *Adv Mater*, *24*(21), 2824-2837. https://doi.org/10.1002/adma.201104477

Tassoni, L., Cappellozza, S., Dalle Zotte, A., Belluco, S., Antonelli, P., Marzoli, F., & Saviane, A. (2022). Nutritional Composition of Bombyx mori Pupae: A Systematic Review. *Insects*, *13*(7). https://doi.org/10.3390/insects13070644

Teramoto, H., Amano, Y., Iraha, F., Kojima, K., Ito, T., & Sakamoto, K. (2018). Genetic Code Expansion of the Silkworm Bombyx mori to Functionalize Silk Fiber. *ACS Synthetic Biology*, *7*(3), 801-806. https://doi.org/10.1021/acssynbio.7b00437

Teramoto, H., Iga, M., Tsuboi, H., & Nakajima, K. (2019). Characterization and Scaled-Up Production of Azido-Functionalized Silk Fiber Produced by Transgenic Silkworms with an Expanded Genetic Code. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(3), 616. https://www.mdpi.com/1422-0067/20/3/616

Teramoto, H., & Kojima, K. (2014). Production of Bombyx mori silk fibroin incorporated with unnatural amino acids. *Biomacromolecules*, *15*(7), 2682-2690. https://doi.org/10.1021/bm5005349

Teramoto, H., & Kojima, K. (2015). Incorporation of Methionine Analogues Into Bombyx mori Silk Fibroin for Click Modifications. *Macromol Biosci*, *15*(5), 719-727. https://doi.org/10.1002/mabi.201400482

Teramoto, H., Nakajima, K.-i., & Kojima, K. (2016). Azide-Incorporated Clickable Silk Fibroin Materials with the Ability to Photopattern. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *2*(2), 251-258. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.5b00469

Teulé, F., Miao, Y. G., Sohn, B. H., Kim, Y. S., Hull, J. J., Fraser, M. J., Jr., Lewis, R. V., & Jarvis, D. L. (2012). Silkworms transformed with chimeric silkworm/spider silk genes spin composite silk fibers with improved mechanical properties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(3), 923-928. https://doi.org/10.1073/pnas.1109420109

Tomeh, M. A., Hadianamrei, R., & Zhao, X. (2019). Silk Fibroin as a Functional Biomaterial for Drug and Gene Delivery. *Pharmaceutics*, *11*(10), 494. https://www.mdpi.com/1999-4923/11/10/494

Tomita, M. (2011). Transgenic silkworms that weave recombinant proteins into silk cocoons. *Biotechnology Letters*, *33*(4), 645-654. https://doi.org/10.1007/s10529-010-0498-z

Tomita, M. (2011). Transgenic silkworms that weave recombinant proteins into silk cocoons. *Biotechnol Lett*, *33*(4), 645-654. https://doi.org/10.1007/s10529-010-0498-z

Tomita, M., Munetsuna, H., Sato, T., Adachi, T., Hino, R., Hayashi, M., Shimizu, K., Nakamura, N., Tamura, T., & Yoshizato, K. (2003). Transgenic silkworms produce recombinant human type III procollagen in cocoons. *Nature Biotechnology*, *21*(1), 52-56. https://doi.org/10.1038/nbt771

Tsioris, K., Raja, W. K., Pritchard, E. M., Panilaitis, B., Kaplan, D. L., & Omenetto, F. G. (2012). Fabrication of Silk Microneedles for Controlled-Release Drug Delivery. *Advanced functional materials*, *22*(2), 330-335. https://doi.org/10.1002/adfm.201102012

Tsuchida, K., & Sakudoh, T. (2015). Recent progress in molecular genetic studies on the carotenoid transport system using cocoon-color mutants of the silkworm. *Arch Biochem Biophys*, *572*, 151-157. https://doi.org/10.1016/j.abb.2014.12.029

Wang, C.-H., Hsieh, C.-Y., & Hwang, J.-C. (2011). Flexible Organic Thin-Film Transistors with Silk Fibroin as the Gate Dielectric. *Advanced Materials*, *23*(14), 1630-1634. https://doi.org/10.1002/adma.201004071

Wang, H. Y., Zhang, Y. Q., & Wei, Z. G. (2021). Dissolution and processing of silk fibroin for materials science. *Crit Rev Biotechnol*, *41*(3), 406-424. https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1853030

Wang, W., Huang, M.-H., Dong, X.-L., Chai, C.-L., Pan, C.-X., Tang, H., Chen, Y.-H., Dai, F.-Y., Pan, M.-H., & Lu, C. (2014). Combined effect of Cameo2 and CBP on the cellular uptake of lutein in the silkworm, Bombyx mori. *PloS one*, *9*(1), e86594-e86594. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086594

Wang, X., Li, Y., Peng, L., Chen, H., Xia, Q., & Zhao, P. (2016). Comparative transcriptome analysis of Bombyx mori spinnerets and Filippi's glands suggests their role in silk fiber formation. *Insect Biochem Mol Biol*, *68*, 89-99. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2015.11.003

Wang, Y., Guo, J., Zhou, L., Ye, C., Omenetto, F. G., Kaplan, D. L., & Ling, S. (2018). Design, Fabrication, and Function of Silk-Based Nanomaterials. *Advanced functional materials*, *28*(52), 1805305. https://doi.org/10.1002/adfm.201805305

Wang, Y., Liang, Y., Huang, J., Gao, Y., Xu, Z., Ni, X., Yang, Y., Yang, X., & Zhao, Y. (2022). Proteomic Analysis of Silk Fibroin Reveals Diverse Biological Function of Different Degumming Processing From Different Origin [Original Research]. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.777320

Wen, D. L., Sun, D. H., Huang, P., Huang, W., Su, M., Wang, Y., Han, M. D., Kim, B., Brugger, J., Zhang, H. X., & Zhang, X. S. (2021). Recent progress in silk fibroin-based flexible electronics. *Microsyst Nanoeng*, *7*, 35. https://doi.org/10.1038/s41378-021-00261-2

Whittall, D. R., Baker, K. V., Breitling, R., & Takano, E. (2021). Host Systems for the Production of Recombinant Spider Silk. *Trends Biotechnol*, *39*(6), 560-573. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.09.007

Xu, H. (2014). The advances and perspectives of recombinant protein production in the silk gland of silkworm Bombyx mori. *Transgenic Res*, *23*(5), 697-706. https://doi.org/10.1007/s11248-014-9826-8

Xu, J., Dong, Q., Yu, Y., Niu, B., Ji, D., Li, M., Huang, Y., Chen, X., & Tan, A. (2018). Mass spider silk production through targeted gene replacement in Bombyx mori. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(35), 8757-8762. https://doi.org/10.1073/pnas.1806805115

Xu, X., Wang, M., Wang, Y., Sima, Y., Zhang, D., Li, J., Yin, W., & Xu, S. (2013). Green cocoons in silkworm Bombyx mori resulting from the quercetin 5-O-glucosyltransferase of UGT86, is an evolved response to dietary toxins. *Molecular Biology Reports*, *40*(5), 3631-3639. https://doi.org/10.1007/s11033-012-2437-7

Yanagisawa, S., Zhu, Z., Kobayashi, I., Uchino, K., Tamada, Y., Tamura, T., & Asakura, T. (2007). Improving Cell-Adhesive Properties of Recombinant Bombyx mori Silk by Incorporation of Collagen or Fibronectin Derived Peptides Produced by Transgenic Silkworms. *Biomacromolecules*, *8*(11), 3487-3492. https://doi.org/10.1021/bm700646f

Zhang, Y., Zhao, P., Dong, Z., Wang, D., Guo, P., Guo, X., Song, Q., Zhang, W., & Xia, Q. (2015a). Comparative proteome analysis of multi-layer cocoon of the silkworm, Bombyx mori. *PloS one*, *10*(4), e0123403-e0123403. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123403

Zhang, Y., Zhao, P., Dong, Z., Wang, D., Guo, P., Guo, X., Song, Q., Zhang, W., & Xia, Q. (2015b). Comparative Proteome Analysis of Multi-Layer Cocoon of the Silkworm, Bombyx mori. *PloS one*, *10*(4), e0123403. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123403

Zhao, H., Heusler, E., Jones, G., Li, L., Werner, V., Germershaus, O., Ritzer, J., Luehmann, T., & Meinel, L. (2014). Decoration of silk fibroin by click chemistry for biomedical application. *J Struct Biol*, *186*(3), 420-430. https://doi.org/10.1016/j.jsb.2014.02.009

Zhou, C.-Z., Confalonieri, F., Jacquet, M., Perasso, R., Li, Z.-G., & Janin, J. (2001). Silk fibroin: Structural implications of a remarkable amino acid sequence. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, *44*(2), 119-122. https://doi.org/10.1002/prot.1078

Zhu, L., & Zhang, Y.-Q. (2014). Identification and analysis of the pigment composition and sources in the colored cocoon of the silkworm, Bombyx mori, by HPLC-DAD. *Journal of insect science (Online)*, *14*, 31-31. https://doi.org/10.1093/jis/14.1.31

Zvinavashe, A. T., Lim, E., Sun, H., & Marelli, B. (2019). A bioinspired approach to engineer seed microenvironment to boost germination and mitigate soil salinity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(51), 25555-25561. https://doi.org/10.1073/pnas.1915902116

Κριτήρια αξιολόγησης

Κριτήριο αξιολόγησης 1

Ποια είναι η σύσταση της ίνας του μεταξιού;

Απάντηση

Η ίνα του μεταξιού αποτελείται κυρίως από τη φιβροΐνη και τη σερικίνη. Σε πολύ μικρότερη ποσότητα υπάρχουν και πολλές άλλες πρωτεΐνες αλλά και ανόργανα και οργανικά συστατικά που εναποτίθενται πάνω στην ίνα του μεταξιού. Η φιβροΐνη δεν είναι μια πρωτεΐνη, αλλά τρεις: η βαριά αλυσίδα της φιβροΐνης, η ελαφριά αλυσίδα της φιβροΐνης και η πρωτεΐνη P25. Υπάρχουν επίσης 4 διαφορετικά γονίδια σερικίνης που κωδικοποιούν για διάφορες ισομορφές της σερικίνης, οι οποίες εκκρίνονται και εναποτίθενται πάνω στην ίνα του μεταξιού.

Κριτήριο αξιολόγησης 2

Πώς μπορούμε να επιτύχουμε την αφαίρεση της σερικίνης από την ίνα του μεταξιού;

Απάντηση

Η αφαίρεση της σερικίνης γίνεται συνήθως με βρασμό στους 95 ^{o}C για 1 ώρα σε υδατόλουτρο που περιέχει 0,5% σαπούνι Μασσαλίας και 0,3% NaHCO3 (διττανθρακικό νάτριο) σε ποσότητα νερού 50 φορές την ποσότητα του μεταξιού ή για 30 λεπτά βρασμό σε διάλυμα 0,02 M Na_2CO_3 (ανθρακικό νάτριο) με συνεχή ανάδευση σε ποσότητα νερού 50 φορές την ποσότητα του μεταξιού ή 1% σαπούνι Μασσαλίας και 0,1% Na_2CO_3 (ανθρακικό νάτριο) στους 98 ^{o}C για 1 ώρα σε ποσότητα νερού 50 φορές την ποσότητα του μεταξιού.

Κριτήριο αξιολόγησης 3

Πώς μπορούμε να πετύχουμε την υδρόλυση της φιβροΐνης;

Απάντηση

Οι ίνες φιβροΐνης υδρολύονται σε διάλυμα 9,3 M βρωμιούχου λιθίου.

Κεφάλαιο 11: Πηγές δεδομένων, Βάσεις Δεδομένων και Ιστοσελίδες για τη Σηροτροφία

Σύνοψη
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται πηγές και βάσεις δεδομένων και ιστοσελίδες που περιέχουν πολλές διαφορετικές και σημαντικές πληροφορίες για μια πληθώρα θεμάτων που αφορούν τη σηροτροφία. Κάτω από κάθε αναφορά μιας ιστοσελίδας υπάρχει μια σύντομη επεξήγηση/σχόλια σχετικά με το περιεχόμενο της ιστοσελίδας και το τι πληροφορίες θα μπορέσει να βρει κανείς εκεί. Δίνεται περισσότερη έμφαση σε ιστοσελίδες από την Ευρώπη, οι οποίες είναι δυστυχώς οι λιγότερες, αλλά και σε ιστοσελίδες όπου οι σηροτρόφοι μπορούν να προμηθευτούν υλικά ή τεχνική βοήθεια. Παρουσιάζονται επίσης και σύνδεσμοι από μικρής διάρκειας βίντεο που μπορεί να βρει κανείς στο Διαδίκτυο σχετικά με τη σηροτροφία. Παρά την προσπάθεια να παρουσιαστούν όσο περισσότερες πηγές πληροφοριών είναι δυνατόν, πολλές άλλες πηγές πληροφοριών δεν παρουσιάζονται ενώ, όπως μπορεί να αντιληφθεί κανείς, πολλές από τις ιστοσελίδες που παρουσιάζονται μπορεί να καταστούν ανενεργές στο μέλλον.

Προαπαιτούμενη γνώση
Μη αναγκαία

11.1 Πηγές δεδομένων για τη μουριά

https://www.aua.gr/roussos/Roussos/Lab_Excs_9.php
Ιστοσελίδα με εργαστηριακές σημειώσεις στα Ελληνικά σχετικά με τον αγενή και εγγενή πολλαπλασιασμό των καρποφόρων δέντρων, από τον Καθ. Δενδροκομίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Δρ. Πέτρο Ρούσσο. Οι σημειώσεις αυτές, παρά το γεγονός ότι δεν αναφέρονται στη μουριά, περιέχουν δεδομένα που είναι άμεσα εφαρμόσιμα στη μουριά.

https://www.fao.org/3/x9895E/x9895e00.htm
Διαδικτυακά πρακτικά συνεδρίου του 2000 που διοργανώθηκε από τη Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO). Στα διαδικτυακά περιεχόμενα του συνεδρίου υπάρχουν πολλές ιστοσελίδες με πληροφορίες για τις ποικιλίες και τη χρήση της μουριάς σε διάφορες χώρες.

https://morus.swu.edu.cn/morusdb/
Ιστοσελίδα που περιέχει δεδομένα και στοιχεία σχετικά με το γονιδίωμα του είδους *Morus notabilis* που δημοσιεύτηκε από κινέζικη ομάδα ερευνητών.

https://mmdb.biodb.org/
Ιστοσελίδα που περιέχει δεδομένα και στοιχεία σχετικά με τους δευτερεύοντες μεταβολίτες και μικρές οργανικές ενώσεις που εντοπίζονται στη μουριά.

https://serinnovation.it/lino-bernardo/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Vivai Plante Bernardo, του κ. Lino Bernardo, ο οποίος παράγει πιστοποιημένα δενδρύλλια μουριάς στην Πάδοβα της Ιταλίας. Η δράση Serinnovation (https://serinnovation.it/) αποτελεί μια συνεταιριστική προσπάθεια ανάπτυξης της σηροτροφίας στην Ιταλία.

https://www.aua.gr/roussos/Roussos/Lab_Excs_9.php
Ιστοσελίδα του Καθηγητή Δενδροκομίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Δρ. Πέτρου Ρούσσου, που περιέχει κείμενα εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος *Δενδροκομία,* του 9ου εξαμήνου του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών, σχετικά με τον πολλαπλασιασμό των καρποφόρων φυτών.

11.2 Διεθνείς οργανισμοί και οργανώσεις σχετικά με τον μεταξοσκώληκα και τη σηροτροφία

https://www.bacsa-silk.org/
Ιστοσελίδα του οργανισμού BACSA (Black, Caspian Sea and Central Asia Association), ο οποίος είναι μια μη κερδοσκοπική οργάνωση για την προώθηση της σηροτροφίας στην Ευρώπη και τη Δυτική Ασία. Η ιστοσελίδα περιέχει πολλές ενδιαφέρουσες πληροφορίες και συνδέσμους για ποικίλα θέματα σχετικά με τη σηροτροφία.

https://inserco.org/
Ιστοσελίδα της Διεθνούς Επιτροπής Σηροτροφίας (ISC), έναν διεθνή οργανισμό με έδρα την Ινδία και αποτελούμενο από πολλά κράτη-μέλη. Η ιστοσελίδα περιέχει πολλές ενδιαφέρουσες πληροφορίες και συνδέσμους για ποικίλα θέματα σχετικά με τη σηροτροφία.

http://en.worldsilk.com.cn/
Ιστοσελίδα της Διεθνούς Ένωσης Μεταξιού (ISU), έναν οργανισμό με έδρα την Κίνα, ο οποίος αποσκοπεί στη διάδοση της χρήσης του μεταξιού. Η ιστοσελίδα περιέχει πάρα πολλές ενδιαφέρουσες αναφορές και συνδέσμους κυρίως σχετικά με το μετάξι. Περιέχει οικονομικά δεδομένα, αναφορές σχετικά με την παραγωγή και την εμπορία του μεταξιού από διάφορες χώρες και πολλά άλλα τεχνικά στοιχεία για το μετάξι.

11.3 Στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη σηροτροφία

https://inserco.org/en/statistics
Ιστοσελίδα της Διεθνούς Επιτροπής Σηροτροφίας (ISC) που περιέχει στατιστικά στοιχεία σχετικά με την παραγωγή μεταξιού από διάφορες χώρες.

http://www.sunsirs.com/uk/prodetail-324.html
Τιμές των ξηρών κουκουλιών στο Χρηματιστήριο Αξιών της Κίνας. Σε αυτήν την ιστοσελίδα μπορεί να παρακολουθεί κανείς τις τιμές των κουκουλιών στη μεγαλύτερη χώρα παραγωγής κουκουλιών και αυτά τα δεδομένα αποτελούν «βαρόμετρο» για τις διεθνείς τιμές κουκουλιών. Για παράδειγμα, στο Χρηματιστήριο Αξιών της Κίνας στις 13/9/2022 1 κιλό ξηρά κουκούλια ποιότητας >3A είχαν αξία 20,99 Ευρώ. Αυτό σημαίνει, δεχόμενοι την αναλογία 1 κιλό φρέσκα κουκούλια = 0,4 κιλά ξηρά κουκούλια, ότι η τιμή των χλωρών κουκουλιών ήταν 8,40 Ευρώ.

http://www.sunsirs.com/uk/prodetail-322.html
Τιμές του ακατέργαστου μεταξιού στο Χρηματιστήριο Αξιών της Κίνας. Σε αυτήν την ιστοσελίδα μπορεί να παρακολουθεί κανείς τις τιμές του ακατέργαστου μεταξιού στη μεγαλύτερη χώρα παραγωγής του και αυτά τα δεδομένα αποτελούν «βαρόμετρο» για τις διεθνείς τιμές ακατέργαστου μεταξιού. Για παράδειγμα, στο Χρηματιστήριο Αξιών της Κίνας στις 13/9/2022 1 κιλό ακατέργαστου μεταξιού ποιότητας 3A και κατηγορίας 20/22 D είχε αξία 64,40 Ευρώ.

https://silk.or.jp/
Ιστοσελίδα της Dai Nippon Silk Foundation. Στην ιστοσελίδα αυτού του οργανισμού δημοσιεύεται κάθε δύο μήνες η περιοδική αναφορά “Silk Report” που περιέχει πολλά στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή κουκουλιών και μεταξιού στην Ιαπωνία καθώς και οικονομικά δεδομένα της παραγωγής.

11.4 Περιοδικά αφιερωμένα στη σηροτροφία

https://inserco.org/en/about_sericologia
Περιοδικό αφιερωμένο σε όλα τα θέματα της σηροτροφίας, το οποίο φιλοξενείται στην ιστοσελίδα της Διεθνούς Επιτροπής Σηροτροφίας (ISC). Το πιο πρόσφατο τεύχος εκδόθηκε το 2019.

https://silk.or.jp/publications/#link01
Περιοδική ενημερωτική έκδοση της Dai Nippon Silk Foundation, η οποία φιλοξενείται στην ιστοσελίδα αυτού του οργανισμού. Αυτή η περιοδική αναφορά ονομάζεται "Silk Report" και περιέχει μικρά άρθρα και ενδιαφέροντα στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη σηροτροφία στην Ιαπωνία. Η έκδοση είναι στα ιαπωνικά.

https://www.jstage.jst.go.jp/browse/kontyushigen/-char/en
Το περιοδικό με την ονομασία *The Journal of Sericultural Science of Japan* δημοσιευόταν μέχρι το 2005 από την Ιαπωνική Εταιρεία Σηροτροφίας. Η έκδοσή του έχει πλέον σταματήσει, αλλά όλα τα τεύχη του περιοδικού είναι διαθέσιμα για ανάγνωση σε ηλεκτρονική μορφή και πολλά άρθρα είναι ελεύθερης πρόσβασης, ενώ αρκετά άρθρα είναι στα Αγγλικά.

11.5 Εταιρείες και οργανισμοί εμπορίας αυγών μεταξοσκώληκα και κουκουλιών

http://www.kozabirlik.com.tr/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Kozabirlik στην Προύσα της Τουρκίας, η οποία εμπορεύεται αυγά υβριδίων του μεταξοσκώληκα.

https://ses-vratza.bacsa-silk.org/en/home/
Ιστοσελίδα του Επιστημονικού Κέντρου Σηροτροφίας στη Βράτσα της Βουλγαρίας, το οποίο παράγει και εμπορεύεται αυγά υβριδίων του μεταξοσκώληκα.

https://uzbekipaksanoat.uz/en/
Ιστοσελίδα του Βιομηχανικού Συνεταιρισμού Μεταξιού του Ουζμπεκιστάν. Περιέχει πολλές πληροφορίες για τη σηροτροφία στο Ουζμπεκιστάν που είναι η 3η σε δυναμικότητα παραγωγός χώρα κουκουλιών στον κόσμο.

http://www.guangtongsilkwormeggs.com/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Shandong guangtong silkworm eggs co.ltd. στη Σχαντόνγκ της Κίνας που παράγει και εμπορεύεται αυγά κινέζικων υβριδίων μεταξοσκώληκα.

https://www.nosan.co.jp/business/fodder/ist.htm
Ιστοσελίδα της εταιρείας Nosan της Ιαπωνίας που παράγει την τεχνητή δίαιτα SilkMate για την εκτροφή μεταξοσκωλήκων.

https://kougensha.com/contact/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Kougensha της Ιαπωνίας που παράγει και εμπορεύεται τεχνητή δίαιτα για τους μεταξοσκώληκες, αλλά και άλλα υλικά σχετικά με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα.

http://www.ehime-sanshu.jp/index.html
Ιστοσελίδα της εταιρείας Ehime sanshu στο Εχίμε της Ιαπωνίας που παράγει και εμπορεύεται αυγά υβριδίων του μεταξοσκώληκα.

https://ueda-sanshu.com/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Ueda sanshu στην Ουέντα της Ιαπωνίας που παράγει και εμπορεύεται αυγά υβριδίων του μεταξοσκώληκα.

https://www.mapion.co.jp/phonebook/M26027/07213/20730127453/
Ιστοσελίδα με πληροφορίες για την εταιρεία Tomita sansyu στην πόλη Date της επαρχίας Φουκουσίμα της Ιαπωνίας που παράγει και εμπορεύεται αυγά υβριδίων του μεταξοσκώληκα.

11.6 Βάσεις δεδομένων σχετικά με τον μεταξοσκώληκα

https://silkworm.nbrp.jp/index_en.html
Ιστοσελίδα του National Bioresource project της Ιαπωνίας σχετικά με τον μεταξοσκώληκα. Περιέχει συνδέσμους σε άλλες βάσεις δεδομένων για τον μεταξοσκώληκα.

https://silkworm.nbrp.jp/jikkentan/
Ιστοσελίδα του National Bioresource project της Ιαπωνίας σχετικά με τον μεταξοσκώληκα. Περιέχει πίνακα περιεχομένων και πολλές φωτογραφίες για τα μεταλλαγμένα στελέχη του μεταξοσκώληκα.

https://silkpathdb.swu.edu.cn/
Βάση δεδομένων σχετικά με τις ασθένειες του μεταξοσκώληκα.

https://sgp.dna.affrc.go.jp/
Ιστοσελίδα του ιαπωνικού προγράμματος για το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα. Σε αυτήν την ιστοσελίδα μπορεί κανείς να αναλύσει δεδομένα και να λάβει πληροφορίες για το γονιδώμα του μεταξοσκώληκα.

https://kaikobase.dna.affrc.go.jp/
Βάση δεδομένων του ιαπωνικού προγράμματος για το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα. Περιέχει την τελευταία και πλέον επίκαιρη (2019) έκδοση του γονιδιώματος του μεταξοσκώληκα. Σε αυτήν την ιστοσελίδα μπορεί κανείς να αναλύσει δεδομένα και να λάβει πληροφορίες για το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα.

https://sgp.dna.affrc.go.jp/ETDB/
Βάση δεδομένων σχετικά με τις τεχνικές παραγωγής διαγονιδιακών μεταξοσκωλήκων. Περιέχει πολλές ενδιαφέρουσες φωτογραφίες.

https://shigen.nig.ac.jp/silkwormbase/topAction.do
Βάση δεδομένων σχετικά με τις μεταλλάξεις που υπάρχουν στον μεταξοσκώληκα αλλά και άλλες πληροφορίες σχετικά με το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα. Περιέχει πολλές ενδιαφέρουσες φωτογραφίες.

http://kaiko2ddb.dna.affrc.go.jp/cgi-bin/search_2DDB.cgi
Ιστοσελίδα σχετικά με τις πρωτεΐνες του μεταξοσκώληκα. Απαιτεί γνώση των τεχνικών ανάλυσης και έχει αρκετά εξειδικευμένο περιεχόμενο.

https://silkorgan.biodb.org/
Ιστοσελίδα σχετικά με τις πρωτεΐνες του μεταξοσκώληκα και την έκφρασή τους στους ιστούς του εντόμου. Ιδιαίτερα πληροφοριακή αλλά εξειδικευμένη ιστοσελίδα.

https://silkdb.bioinfotoolkits.net/main/species-info/-1
Ιστοσελίδα του κινέζικου προγράμματος για το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα. Σε αυτήν την ιστοσελίδα μπορεί κανείς να αναλύσει δεδομένα και να λάβει πληροφορίες για το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα. Ιδιαίτερα πλήρης και αναλυτική με πληθώρα περιεχομένων.

https://silkbase.ab.a.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/index.cgi
Βάση δεδομένων για βιοπληροφορική ανάλυση των γονιδίων του μεταξοσκώληκα αλλά και συγγενικών του μεταξοσκώληκα ειδών νυχτοπεταλούδων.

http://sgid.popgenetics.net/
Εκτενής βάση δεδομένων σχετικά με το γονιδίωμα και τα γονίδια του μεταξοσκώληκα. Μέρος του κινέζικου προγράμματος για το γονιδίωμα του μεταξοσκώληκα.

http://www.cdfd.org.in/wildsilkbase/home.php
Βάση δεδομένων για βιοπληροφορική ανάλυση των γονιδίων των άγριων νυχτοπεταλούδων που παράγουν μετάξι. Περιέχει πολλές ενδιαφέρουσες φωτογραφίες.

https://shigen.nig.ac.jp/wildmoth/
Βάση δεδομένων σχετικά με το γονιδίωμα άγριων νυχτοπεταλούδων που παράγουν μετάξι. Περιέχει πολλές ενδιαφέρουσες φωτογραφίες.

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/
https://www.jstor.org/
Δύο ιστοσελίδες πρόσβασης σε δημοσιεύσεις που περιλαμβάνουν και τον μεταξοσκώληκα ή το μετάξι.

https://www.biodiversitylibrary.org/
Στην ιστοσελίδα της Biodiversity Heritage Library μπορεί να έχει κανείς πρόσβαση σε σπάνια και παλιά βιβλία, πολλά από τα οποία αφορούν τη σηροτροφία.

https://www.ekt.gr/el/library
Ιστοσελίδα του Εθνικού Κέντρου Τεκμηρίωσης της Ελλάδος, όπου μπορεί να βρει κανείς δημοσιεύσεις σε ψηφιακή μορφή αλλά και να έχει πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων.

11.7 Μουσεία για το μετάξι και τη σηροτροφία

https://www.silkmuseum.gr/index.php
Ιστοσελίδα του Μουσείου Τέχνης του Μεταξιού στο Σουφλί.

https://www.micromegamondo.com/en-gb/esapolis
Ιστοσελίδα του Μουσείου Σηροτροφίας Esapolis στην Πάδοβα της Ιταλίας.

https://silkmuseum.ge/en/
Ιστοσελίδα του Μουσείου του Μεταξιού στην Τιφλίδα της Γεωργίας.

https://www.szsilkmuseum.com/#/
Ιστοσελίδα του Μουσείου του Μεταξιού στο Σούζιου της Κίνας.

https://www.museosetacomo.com/
Ιστοσελίδα του Μουσείου του Μεταξιού στο Κόμο της Ιταλίας.

https://macclesfieldmuseums.co.uk/
Ιστοσελίδα του Μουσείου του Μεταξιού στο Μάκλσφιλντ της Αγγλίας.

http://www.tomioka-silk.jp/hp/index.html
https://worldheritage.pref.gunma.jp/whc/
http://worldheritage.pref.gunma.jp/kinuisan
Ιστοσελίδες του παραδοσιακού αναπηνιστηρίου Tomioka στην επαρχία Γκούνμα της Ιαπωνίας, το οποίο είναι μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς της Ουνέσκο (Tomioka Silk Mill and Related Silk Industry Sites Gunma).

https://www.silkcenter-kbkk.jp/museum
Μουσείο Μεταξιού στη Γιοκοχάμα της Ιαπωνίας (Silk Museum, International Trade and Tourism Center).

http://komagane-silk.com/
Μουσείο μεταξιού στην πόλη Κομαγκάνε της επαρχίας Ναγκάνο της Ιαπωνίας (Komagane Silk Museum).

https://fondazioneratti.org/
Ιστοσελίδα του Fondazione Antonio Ratti στην Ιταλία, ενός Κέντρου Καλών Τεχνών για το μετάξι.

11.8 Διεθνείς κρατικές επιστημονικές εταιρείες και ινστιτούτα

http://jssst.sakura.ne.jp
Ιστοσελίδα της Japan Silk Society.

http://jsss.or.jp
Ιστοσελίδα της Japan Society of Sericulture.

http://www.naro.affrc.go.jp
Ιστοσελίδα του National Institute of Advanced Agricultural and Food Sciences της Ιαπωνίας.

http://www.kinujinsen.com
Ιστοσελίδα της Japan Silk Textile Manufacturers Association.

http://www.pref.gunma.jp/07/p14710007.html
Ιστοσελίδα του Gunma Silk Technology Center.

http://www.pref.gunma.jp/07/p20210013.html
Ιστοσελίδα του Gunma Textile Institute.

11.9 Εταιρείες παραγωγής και εμπορίας ειδών από μετάξι

https://www.amsilk.com/
Ιστοσελίδα της AMSilk που ειδικεύεται σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές του μεταξιού.

https://spiber.inc/en/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Spider Inc. που ειδικεύεται σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές του μεταξιού.

https://boltthreads.com/
Ιστοσελίδα της εταιρείας BoltThreads που ειδικεύεται σε πρωτοποριακά είδη ρουχισμού από μετάξι.

https://www.kraiglabs.com/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Kraig Biocraft Laboratories που ειδικεύεται σε βιοτεχνολογικές εφαρμογές του μεταξιού των αραχνών.

http://www.silk-center.or.jp
Ιστοσελίδα του Japan Silk Center του εμπορικού τμήματος της Dai Nippon Silk Foundation. Ειδικεύεται στην πώληση προϊόντων από μετάξι και σε πληροφορίες για εκθέσεις σχετικά με το μετάξι.

https://www.sericyne.fr/en/sericyne-la-fibre-of-reves/
Ιστοσελίδα της γαλλικής εταιρείας Sericyne που παράγει προϊόντα από μετάξι.

https://www.mori.com/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Mori που παράγει εδώδιμες επικαλύψεις τροφίμων από μετάξι.

https://silk-on-valley.atsumaru.jp/en/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Atsumaru Holdings Co., Ltd, που έχει μονάδα καθετοποιημένης παραγωγής κουκουλιών στην Ιαπωνία.

11.10 Εταιρείες ποιοτικού ελέγχου μεταξιού και ειδών από μετάξι

https://www.textilecomo.com/
Ιστοσελίδα της εταιρείας Centro Tessile Serico που εξειδικεύεται στον ποιοτικό έλεγχο νήματος και υφασμάτων από μετάξι. Στην ιστοσελίδα της εταιρείας υπάρχουν εκτενή στοιχεία σχετικά με τα μοντέρνα πρότυπα ποιοτικού ελέγχου του μεταξιού.

https://www.mirtec.gr/
Ιστοσελίδα της ανώνυμης εταιρείας βιομηχανικής έρευνας, τεχνολογικής ανάπτυξης και εργαστηριακών δοκιμών, πιστοποίησης και ποιότητας, EBETAM A.E., που μπορεί να διεξάγει ποιοτικό έλεγχο του μεταξιού.

11.11 Σύνδεσμοι βίντεο μικρής διάρκειας σχετικά με την εκτροφή του μεταξοσκώληκα

Υπάρχουν εκατοντάδες παρόμοια βίντεο κυρίως από Ινδούς επιστήμονες. Παρακάτω αναφέρονται μόνο μερικά βίντεο από την Ιαπωνία ή την Ινδία σε μορφή ντοκιμαντέρ, τα οποία δεν περιέχουν ηχητικές πληροφορίες ή εκφώνηση κειμένου. Η παρακολούθηση αυτών των βίντεο αξίζει όσο χιλιάδες λέξεις αυτού του βιβλίου.

https://www.youtube.com/watch?v=1F3_LKTes08

https://www.youtube.com/watch?v=RShupyKp31A

https://www.youtube.com/watch?v=tx03dNxeLOw

https://www.youtube.com/watch?v=7rQ3n8ZzOoY

https://www.youtube.com/watch?v=rfroa47Pr7g

https://www.youtube.com/watch?v=6ZbO1hLQBvM

https://www.youtube.com/watch?v=4BPYPtXTiUs

https://www.youtube.com/watch?v=tx03dNxeLOw

https://www.youtube.com/watch?v=rAtT_YgPPTI

https://www.youtube.com/watch?v=pydE2jz46nA

https://www.youtube.com/watch?v=EBPCj5M_aK8

https://www.youtube.com/watch?v=-9hrSjsJDDM

https://www.youtube.com/watch?v=3Z11e3F2nWY

https://www.youtube.com/watch?v=xzJLx2EXYWE

Το σύγγραμμα «Σηροτροφία» αποτελεί ένα ακαδημαϊκό σύγγραμμα για φοιτητές/-τριες της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Μέσα από τα 11 κεφάλαια του συγγράμματος και αφού γίνει μια εισαγωγή στο ιστορικό παρελθόν και την παρούσα κατάσταση της σηροτροφίας στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως (Κεφάλαιο 1), ο αναγνώστης μαθαίνει για τους τρόπους καλλιέργειας της μουριάς (Κεφάλαιο 2) και τη χρήση των φύλλων της για την εκτροφή του μεταξοσκώληκα. Σε επόμενα κεφάλαια ο αναγνώστης μαθαίνει για τη δομή του σώματος του μεταξοσκώληκα (Κεφάλαιο 3), την ανάπτυξη και διατροφή του (Κεφάλαιο 4), τη διαχείριση των αυγών του (Κεφάλαιο 5), την εκτροφή της προνύμφης (Κεφάλαιο 6), τους τρόπους παραγωγής των κουκουλιών (Κεφάλαιο 7) και τις ασθένειες που προσβάλλουν τον μεταξοσκώληκα (Κεφάλαιο 8). Καθώς η παραγωγή κουκουλιών είναι ο λόγος για τον οποίο εκτρέφεται ο μεταξοσκώληκας, στα τελευταία κεφάλαια του συγγράμματος ο αναγνώστης μαθαίνει για τον ποιοτικό έλεγχο και την αναπήνιση των κουκουλιών για την παραγωγή μεταξιού (Κεφάλαιο 9) και για τις αναδυόμενες χρήσεις του μεταξιού (Κεφάλαιο 10) ως βιοτεχνολογικού και φιλικού προς το περιβάλλον υλικού, καθώς υπάρχει μια σαφής στροφή στη διεθνή βιβλιογραφία προς τη χρήση του μεταξιού ως ενός ζωικού προϊόντος σε πληθώρα εφαρμογών, πέρα από τη χρήση του ως υλικού ένδυσης.

Καθώς η εκτροφή του μεταξοσκώληκα για την παραγωγή μεταξιού υπερβαίνει τα όρια της πρωτογενούς αγροτικής παραγωγής, κρίθηκε αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν πολλά και εξειδικευμένα συγγράμματα γραμμένα στα ιαπωνικά, στα αγγλικά και στα ιταλικά για τη συγγραφή των κειμένων. Πολλές πληροφορίες επίσης αντλήθηκαν από ιδιαίτερα σπάνια βιβλία που δεν είναι διαθέσιμα πλέον σε έντυπη μορφή. Ωστόσο, παρέχεται στον αναγνώστη μια σειρά από ιστοσελίδες και συνδέσμους (Κεφάλαιο 11), για πρόσβαση σε οπτικοακουστικό υλικό και βάσεις δεδομένων που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών σχετικών με τη σηροτροφία.

aracne
ADVOCATING THE ROLE OF SILK ART AND CULTURAL HERITAGE AT NATIONAL AND EUROPEAN SCALE

Το παρόν σύγγραμμα δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του Έργου ΚΑΛΛΙΠΟΣ+	
Χρηματοδότης	Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Προγράμματα ΠΔΕ, ΕΠΑ 2020-2025
Φορέας υλοποίησης	ΕΛΚΕ ΕΜΠ
Φορέας λειτουργίας	ΣΕΑΒ/Παράρτημα ΕΜΠ/Μονάδα Εκδόσεων
Διάρκεια 2ης Φάσης	2020-2023
Σκοπός	Η δημιουργία ακαδημαϊκών ψηφιακών συγγραμμάτων ανοικτής πρόσβασης (περισσότερων από 700) • Προπτυχιακών και μεταπτυχιακών εγχειριδίων • Μονογραφιών • Μεταφράσεων ανοικτών textbooks • Βιβλιογραφικών Οδηγών
Επιστημονικά Υπεύθυνος	Νικόλαος Μήτρου, Καθηγητής ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ
ISBN: 978-618-5726-84-3	**DOI:** http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-207

Το παρόν σύγγραμμα χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων του Υπουργείου Παιδείας.