

MANUEL C. MOLLES JR.

Οικολογία

Έννοιες, εφαρμογές

ΜΕΤΑΙΧΜΙΟ 

Σύνοψη περιεχομένων

1 Εισαγωγή: Τι είναι οικολογία; 1

Μέρος I Φυσική ιστορία 11

I

- 2 Η ζωή στην ξηρά 12
- 3 Η ζωή στο νερό 47

Μέρος II Άτομα 81

II

- 4 Θερμοκρασιακές σχέσεις 82
- 5 Υδατικές σχέσεις 108
- 6 Ενέργεια και θρεπτικές σχέσεις 133
- 7 Κοινωνικές σχέσεις 157

Μέρος III Πληθυσμιακή οικολογία 183

III

- 8 Γενετική πληθυσμών και φυσική επιλογή 184
- 9 Κατανομή και αφθονία πληθυσμών 210
- 10 Δυναμική πληθυσμών 231
- 11 Αύξηση πληθυσμών 256
- 12 Βιολογικές ιστορίες 274

Μέρος IV Αλληλεπιδράσεις 299

IV

- 13 Ανταγωνισμός 300
- 14 Εκμεταλλευτικές αλληλεπιδράσεις: θήρευση, φυτοφαγία, παρασιτισμός και ασθένεια 322
- 15 Αμοιβαιότητα 351

Μέρος V Κοινότητες και οικοσυστήματα 373

V

- 16 Αφθονία και ποικιλότητα των ειδών 374
- 17 Αλληλεπιδράσεις ειδών και κοινοτική δομή 395
- 18 Πρωτογενής παραγωγή και ροή ενέργειας 415
- 19 Ανακύκλωση και διατήρηση θρεπτικών 436
- 20 Διαδοχή και σταθερότητα 458

Μέρος VI Οικολογία μεγάλης κλίμακας 484

VI

- 21 Οικολογία τοπίου 485
- 22 Γεωγραφική οικολογία 510
- 23 Παγκόσμια οικολογία 534

Περιεχόμενα

Σημείωμα του μεταφραστή xiii
Πρόλογος xv

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή: Τι είναι η οικολογία; 1

- Επισκόπηση της οικολογίας 2
- Η οικολογία των δασόβιων πτηνών: Η χρήση μελετών πεδίου για τον έλεγχο της θεωρίας 3
- Δασικά ισοζύγια θρεπτικών: Καταγραφές και πειράματα μεγάλης κλίμακας 5
- Αλλαγές στη βλάστηση: Πληροφορίες από καταγραφές γύρης και δημιουργία μοντέλων 7
- Η φύση και το αντικείμενο της οικολογίας 8
- Έρευνα των στοιχείων 1:** Η επιστημονική μέθοδος – ερωτήσεις και υποθέσεις 9

Μέρος I

ΦΥΣΙΚΗ ΙΣΤΟΡΙΑ

Κεφάλαιο 2 Η ζωή στην ξηρά 12

Χερσαίες διαπλάσεις 14

Έννοιες 14

2.1 Πρότυπα μεγάλης κλίμακας της κλιματικής αλλαγής 14

Θερμοκρασία, ατμοσφαιρική κυκλοφορία και βροχόπτωση 15

Κλιματικά διαγράμματα 16

Έννοια 2.1 ανασκόπηση 19

Έρευνα των στοιχείων 2: Προσδιορισμός της μέσης τιμής του δείγματος 19

2.2 Έδαφος: Το θεμέλιο των χερσαίων διαπλάσεων 20

Έννοια 2.2 ανασκόπηση 21

2.3 Φυσική ιστορία και γεωγραφία των διαπλάσεων 21

Τροπικό δάσος βροχής 21

Τροπικό ξηρό δάσος 23

Τροπική σαβάνα 25

Έρημος 27

Μεσογειακά δάση και θαμνώνες 30

Εύκρατα λιβάδια 32

Εύκρατο δάσος 33

Βόρειο δάσος 36

Αρκτική τούντρα 38

Βουνά: Νησιά στον ουρανό 40

Έννοια 2.3 ανασκόπηση 43

Εφαρμογές: Κλιματική μεταβολή και ο δείκτης σοβαρότητας ξηρασίας του Palmer 43

Κεφάλαιο 3 Η ζωή στο νερό 47

Έννοιες 48

3.1 Ο υδρολογικός κύκλος 48

Έννοια 3.1 ανασκόπηση 49

3.2 Η φυσική ιστορία των υδάτινων περιβαλλόντων 49

Οι ωκεανοί 49

Η ζωή στα ρηχά νερά της θάλασσας: Δάση φυκών και κήποι κοραλλιών 54

Έρευνα των στοιχείων 3: Προσδιορισμός της διάμεσου του δείγματος 55

Θαλάσσιες ακτές: Η ζωή μεταξύ υψηλών και χαμηλών παλιρροιών 59

Εκβολές, αλμυρά έλη και μαγκρόβια δάση 63

Ποταμοί και ρεύματα: Το αίμα και ο σφυγμός ζωής των ηπείρων 67

Λίμνες: Μικρές θάλασσες 71

Έννοια 3.2 ανασκόπηση 77

Εφαρμογές: Βιολογική ακεραιότητα – αξιολόγηση της υγείας των υδάτινων συστημάτων 77

Αριθμός ειδών και σύνθεση των ειδών 77

Τροφική σύνθεση 77

Αφθονία και κατάσταση των ψαριών 78

Μια δοκιμή 78

Μέρος II

ΑΤΟΜΑ

Κεφάλαιο 4 Θερμοκρασιακές σχέσεις 82

Έννοιες 83

4.1 Μικροκλίματα 83

Υψόμετρο 84

Έκθεση 84

Βλάστηση 84

Χρώμα του εδάφους 85

Η παρουσία βράχων και υπόγειων φωλιών 85

Οι θερμοκρασίες του νερού 86

Έννοια 4.1 ανασκόπηση 87

4.2 Θερμοκρασία και απόδοση των οργανισμών 87

Θερμοκρασία και απόδοση των ζώων 87

Έρευνα των στοιχείων 4: Εργαστηριακά πειράματα 88

Ακραίες θερμοκρασίες και φωτοσύνθεση 89

Θερμοκρασία και μικροβιακή δραστηριότητα 90

Έννοια 4.2 ανασκόπηση 91

4.3 Ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος 91

Εξισορρόπηση κέρδους και απώλειας θερμότητας 91

Ρύθμιση της θερμοκρασίας από τα φυτά 92

Ρύθμιση της θερμοκρασίας από τα εκτόθερμα ζώα 95

Ρύθμιση της θερμοκρασίας από τα ενδόθερμα ζώα 97

Ρύθμιση της θερμοκρασίας από τα θερμογόνα φυτά 101
Έννοια 4.3 ανασκόπηση 101

4.4 Επιβίωση στις ακραίες θερμοκρασίες 101

Αδράνεια 101
Μείωση του μεταβολικού ρυθμού 102
Χειμερία νάρκη ενός τροπικού είδους 103
Έννοια 4.4 ανασκόπηση 104

Εφαρμογές: Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω αλλαγής του κλίματος και η τοπική εξάλειψη ενός χερσαίου σαλιγκαριού 104

Κεφάλαιο 5 Υδατικές σχέσεις 108

Έννοιες 110

5.1 Διαθεσιμότητα του νερού 110

Περιεκτικότητα του αέρα σε νερό 110
Κίνηση του νερού σε υδάτινα περιβάλλοντα 11
Κίνηση του νερού μεταξύ των εδαφών και των φυτών 112
Έννοια 5.1 ανασκόπηση 114

5.2 Ρύθμιση του νερού στην ξηρά 114

Πρόσληψη του νερού από τα ζώα 115
Πρόσληψη του νερού από τα φυτά 117
Διατήρηση του νερού από φυτά και ζώα 118
Έρευνα των στοιχείων 5: Μέγεθος δείγματος 119
Ανόμοιοι οργανισμοί με παρόμοιες προσεγγίσεις στη ζωή της ερήμου 122
Δύο αρθρόποδα με αντίθετες προσεγγίσεις στη ζωή της ερήμου 123
Έννοια 5.2 ανασκόπηση 125

5.3 Το νερό και η εξισορρόπηση των αλάτων σε υδάτινα περιβάλλοντα 126

Θαλάσσια ψάρια και ασπόνδυλα 126
Τα ψάρια και τα ασπόνδυλα του γλυκού νερού 127
Έννοια 5.3 ανασκόπηση 129

Εφαρμογές: Χρήση των σταθερών ισοτόπων στη μελέτη της πρόσληψης νερού από τα φυτά 129
Ανάλυση σταθερών ισοτόπων 129
Χρήση των σταθερών ισοτόπων για τον προσδιορισμό των πηγών νερού των φυτών 130

Κεφάλαιο 6 Ενέργεια και θρεπτικές σχέσεις 133

Έννοιες 134

6.1 Πηγές ενέργειας 134

Φωτοσύνθεση 135
Ετερότροφοι 139
Χημειοσύνθεση 145
Έννοια 6.1 ανασκόπηση 146

6.2 Ενεργειακός περιορισμός 146

Ροή φωτονίων και καμπύλες φωτοσυνθετικής απόκρισης 146
Πυκνότητα τροφής και λειτουργική απόκριση των ζώων 147
Έννοια 6.2 ανασκόπηση 148

6.3 Θεωρία της βέλτιστης αναζήτησης τροφής 148

Έλεγχος της θεωρίας της βέλτιστης αναζήτησης τροφής 149

Βέλτιστη διατροφή των φυτών 150

Έρευνα των στοιχείων 6: Μεταβλητότητα των στοιχείων 151

Έννοια 6.3 ανασκόπηση 153

Εφαρμογές: Βιοθεραπεία – χρησιμοποίηση της τροφικής ποικιλομορφίας των βακτηρίων για την επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων 153

Διαρροή από υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης 153
Κυανίδιο και νιτρικά στα απόβλητα των ορυχείων 154

Κεφάλαιο 7 Κοινωνικές σχέσεις 157

Έννοιες 160

7.1 Επιλογή συντρόφου 160

Επιλογή συντρόφου και σεξουαλική επιλογή στα ψάρια guppies 160
Επιλογή συντρόφου μεταξύ των σκορπιόμυγων 164
Μη τυχαίο ζευγάρι στο άγριο ραπάνι 168
Έννοια 7.1 ανασκόπηση 169

7.2 Κοινωνικότητα 169

Οργανισμοί που συνεργάζονται στην αναπαραγωγή 170
Έρευνα των στοιχείων 7: Διάγραμμα διασποράς και η σχέση μεταξύ των μεταβλητών 172
Έννοια 7.2 ανασκόπηση 175

7.3 Ευκοινωνικότητα 175

Ευκοινωνικά είδη 176
Εξέλιξη της ευκοινωνικότητας 178
Έννοια 7.3 ανασκόπηση 179

Εφαρμογές: Οικολογία της συμπεριφοράς και διατήρηση 180
Το πλαίσιο του Tinbergen 180
Περιβαλλοντικός εμπλουτισμός και ανάπτυξη της συμπεριφοράς 180

Μέρος III

ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Κεφάλαιο 8 Γενετική πληθυσμών και φυσική επιλογή 184

Έννοιες 186

8.1 Ποικιλότητα στους πληθυσμούς 186

Ποικιλότητα στους φυτικούς πληθυσμούς 187
Ποικιλότητα στους ζωικούς πληθυσμούς 189
Έννοια 8.1 ανασκόπηση 192

8.2 Hardy-Weinberg 192

Υπολογισμός γονιδιακών συχνοτήτων 193
Έννοια 8.2 ανασκόπηση 195

8.3 Η διαδικασία της φυσικής επιλογής 195

Σταθεροποιούσα επιλογή 195
Κατευθύνουσα επιλογή 195
Διασπαστική επιλογή 196
Έννοια 8.3 ανασκόπηση 197

8.4 Εξέλιξη διά της φυσικής επιλογής 197

Εξέλιξη διά της φυσικής επιλογής και της γενετικής ποικιλότητας 197

Έρευνα των στοιχείων 8: Υπολογισμός της κληρονομησιμότητας με τη χρήση της ανάλυσης παλινδρόμησης 198

Προσαρμοστική αλλαγή στις αποικίζουσες σαύρες 198
Γρήγορη προσαρμογή των εντόμων *soarberry bugs*
σε νέα φυτά ξενιστές 200

Έννοια 8.4 ανασκόπηση 202

8.5 Τυχαία Αλλαγή 202

Στοιχεία γενετικής εκτροπής στην ερυθρελάτη της
Chihuahua 202

Γενετική ποικιλότητα στους πληθυσμούς των
νησιών 203

Γενετική ποικιλότητα και εξάλειψη πεταλούδων 204

Έννοια 8.5 ανασκόπηση 205

Εφαρμογές: Υπολογισμός της γενετικής ποικιλότητας
στους πληθυσμούς 205

Μοριακές προσεγγίσεις της γενετικής ποικιλότητας 205

Ένας μεταπληθυσμός μιας αλπικής πεταλούδας 238
Διασπορά σε ένα μεταπληθυσμό του *falco*
maurannii 239

Έννοια 10.2 ανασκόπηση 240

10.3 Πρότυπα επιβίωσης 240

Εκτίμηση προτύπων επιβίωσης 240

Υψηλή επιβίωση μεταξύ των νέων ατόμων 241

Σταθεροί ρυθμοί επιβίωσης 243

Υψηλή θνησιμότητα μεταξύ των νεαρών ατόμων 243

Τρεις τύποι καμπυλών επιβίωσης 243

Έννοια 10.3 ανασκόπηση 244

10.4 Ηλικιακή κατανομή 244

Σταθεροί και φθίνοντες πληθυσμοί δένδρων 244

Ένας δυναμικός πληθυσμός σε ένα ασταθές κλίμα 245

Έννοια 10.4 ανασκόπηση 246

10.5 Ρυθμοί πληθυσμιακής αλλαγής 246

Εκτίμηση ρυθμών για ένα ετήσιο φυτό 246

Εκτίμηση των ρυθμών όταν οι γενιές

επικαλύπτονται 248

Έννοια 10.5 ανασκόπηση 249

Έρευνα των στοιχείων 10: Υποθέσεις και στατιστική
σημασία 250

Εφαρμογές: Χρήση της δυναμικής των πληθυσμών για την
εκτίμηση των επιπτώσεων των ρύπων 251

Κεφάλαιο 9 Κατανομή και αφθονία πληθυσμών 210

Έννοιες 212

9.1 Όρια κατανομής 212

Οι κατανομές των καγκουρό και το κλίμα 212

Ένα σκαθάρι τίγρης των ψυχρών κλιμάτων 213

Κατανομές των φυτών κατά μήκος μιας κλίσης
υγρασίας-θερμοκρασίας 215

Κατανομές των βαλάνων κατά μήκος μιας κλίσης της
παλιρροϊκής έκθεσης 216

Έννοια 9.1 ανασκόπηση 217

9.2 Πρότυπα στις μικρές κλίμακες 217

Κλίμακα, κατανομές και μηχανισμοί 217

Κατανομές αποικιών των τροπικών μελισσών 218

Κατανομές των θάμνων της ερήμου 218

Έννοια 9.2 ανασκόπηση 220

9.3 Πρότυπα στις μεγάλες κλίμακες 220

Πληθυσμοί πουλιών κατά μήκος της Βόρειας
Αμερικής 220

Έρευνα των στοιχείων 9: Συναθροιστική, τυχαία,
και ομοιομερής κατανομή 221

Κατανομές φυτών κατά μήκος κλίσεων υγρασίας 223

Έννοια 9.3 ανασκόπηση 224

9.4 Μέγεθος οργανισμών και πυκνότητα πληθυσμών 224

Μέγεθος ζώων και πυκνότητα πληθυσμών 224

Μέγεθος φυτών και πυκνότητα πληθυσμών 225

Έννοια 9.4 ανασκόπηση 226

Εφαρμογές: Σπανιότητα και ευπάθεια στην εξαφάνιση 226

Επτά μορφές σπανιότητας και μια αφθονίας 226

Κεφάλαιο 10 Δυναμική πληθυσμών 231

Έννοιες 233

10.1 Διασπορά 233

Διασπορά επεκτεινόμενων πληθυσμών 233

Αλλαγές περιοχών εξάπλωσης ως απόκριση στην
αλλαγή του κλίματος 234

Διασπορά ως απόκριση στη μεταβολή της
προμήθειας τροφής 235

Διασπορά στους ποταμούς και τα ρεύματα 236

Έννοια 10.1 ανασκόπηση 237

10.2 Μεταπληθυσμοί 237

Κεφάλαιο 11 Αύξηση πληθυσμών 256

Έννοιες 257

11.1 Γεωμετρική και εκθετική αύξηση πληθυσμών 257

Γεωμετρική αύξηση 258

Εκθετική αύξηση 259

Εκθετική αύξηση στη φύση 259

Έννοια 11.1 ανασκόπηση 261

11.2 Λογιστική αύξηση πληθυσμών 261

Έννοια 11.2 ανασκόπηση 264

11.3 Όρια στην αύξηση πληθυσμών 264

Έρευνα των στοιχείων 11: Συχνότητα των

εναλλακτικών φαινοτύπων σε έναν πληθυσμό 264

Περιβάλλον και ρυθμοί γεννήσεων και θανάτων
στους σπίνους των νησιών Galápagos 265

Έννοια 11.3 ανασκόπηση 268

Εφαρμογές: Ο ανθρώπινος πληθυσμός 268

Κατανομή και αφθονία 269

Δυναμική των πληθυσμών 270

Πληθυσμιακή αύξηση 271

Κεφάλαιο 12 Βιολογικές ιστορίες 274

Έννοιες 275

12.1 Αριθμός απογόνων έναντι του μεγέθους 276

Μέγεθος και αριθμός αυγών στα ψάρια 276

Μέγεθος και αριθμός σπερμάτων στα φυτά 278

Έννοια 12.1 ανασκόπηση 282

12.2 Επιβίωση ενήλικων και αναπαραγωγική κατανομή 282

Ποικιλότητα των βιολογικών ιστοριών μεταξύ των
ειδών 282

Ποικιλότητα των βιολογικών ιστοριών μέσα στα είδη 284

Έννοια 12.2 ανασκόπηση 286

- 12.3 Ταξινόμηση βιολογικών ιστοριών 286**
 Επιλογή r και K 287
 Βιολογικές ιστορίες των φυτών 288
Έρευνα των στοιχείων 12: Ένας στατιστικός έλεγχος για το πρότυπο κατανομής 288
 Καιροσκοπικές, ισορροπίας και περιοδικές βιολογικές ιστορίες 290
 Αναπαραγωγική προσπάθεια, μέγεθος απογόνων και αναλογία οφέλους-κόστους 293
 Έννοια 12.3 ανασκόπηση 294
Εφαρμογές: Χρησιμοποίηση των πληροφοριών της βιολογικής ιστορίας για την αποκατάσταση των παρόχθιων δασών 294

Μέρος IV

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Κεφάλαιο 13 Ανταγωνισμός 300

Έννοιες 302

- 13.1 Ενδοειδικός ανταγωνισμός 302**
 Ενδοειδικός ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών 302
 Ενδοειδικός ανταγωνισμός μεταξύ των planthoppers 303
 Ανταγωνισμός παρέμβασης μεταξύ χερσαίων ισοπόδων 304
 Έννοια 13.1 ανασκόπηση 304
- 13.2 Οικοθέσεις 304**
 Οι διατροφικές οικοθέσεις των σπίνων των Galápagos 305
 Η οικοθέση ενός αγρωστώδους φυτού των αλμυρών ελών 307
 Έννοια 13.2 ανασκόπηση 307
- 13.3 Μαθηματικά και εργαστηριακά μοντέλα 307**
 Διαμόρφωση μοντέλων διαειδικού ανταγωνισμού 308
 Εργαστηριακά μοντέλα του ανταγωνισμού 309
 Έννοια 13.3 ανασκόπηση 311
- 13.4 Ανταγωνισμός και οικοθέσεις 311**
 Οικοθέσεις και ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών 311
 Επικάλυψη οικοθέσεων και ανταγωνισμός μεταξύ των βαλάνων 312
 Ο ανταγωνισμός και ο βιότοπος ενός αγρωστώδους φυτού των αλμυρών ελών 313
 Ανταγωνισμός και οικοθέσεις των μικρών τρωκτικών 314
 Μετατόπιση χαρακτήρα 316
Έρευνα των στοιχείων 13: Πειράματα πεδίου 317
 Στοιχεία για τον ανταγωνισμό στη φύση 318
 Έννοια 13.4 ανασκόπηση 318
- Εφαρμογές:** Ανταγωνισμός μεταξύ των ιθαγενών και των εισβαλλόντων ειδών 318

Κεφάλαιο 14 Εκμεταλλευτικές αλληλεπιδράσεις: Θήρευση, φυτοφαγία, παρασιτισμός και ασθένεια 322

Έννοιες 323

- 14.1 Σύνθετες αλληλεπιδράσεις 323**
 Παράσιτα και παθογόνα που ρυθμίζουν τη συμπεριφορά των ξενιστών 324
 Η εμπλοκή της εκμετάλλευσης με τον ανταγωνισμό 326
 Έννοια 14.1 ανασκόπηση 327
- 14.2 Εκμετάλλευση και αφθονία 327**
 Ένα φυτοφάγο έντομο ρευμάτων και η τροφή του, τα φύκη 328
 Ένας εισαγόμενος κάκτος και ένα φυτοφάγο λεπιδόπτερο 329
 Ένα παθογόνο παράσιτο, ένας θηρευτής και το θήραμά του 331
Έρευνα των στοιχείων 14: Τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής 332
 Έννοια 14.2 ανασκόπηση 332
- 14.3 Δυναμική 333**
 Κύκλοι αφθονίας στους αμερικάνικους λαγούς και τους θηρευτές τους 333
 Πειραματικός έλεγχος των επιδράσεων της τροφής και της θήρευσης 336
 Οι πληθυσμιακοί κύκλοι σε μαθηματικά και εργαστηριακά μοντέλα 336
 Έννοια 14.3 ανασκόπηση 339
- 14.4 Καταφύγια 339**
 Καταφύγια και η διατήρηση του ξενιστή σε μαθηματικά και εργαστηριακά μοντέλα 340
 Οργανισμοί υπό εκμετάλλευση και η μεγάλη ποικιλία των καταφυγίων τους 341
 Έννοια 14.4 ανασκόπηση 346
- Εφαρμογές:** Χρησιμοποίηση των θηρευτών για τον έλεγχο ενός παράσιτου 346

Κεφάλαιο 15 Αμοιβαιότητα 351

Έννοιες 353

- 15.1 Αμοιβαία συνεργασία των φυτών 353**
 Απόδοση των φυτών και μυκορριζικοί μύκητες 353
 Τα μυρμηγκία και οι ακακίες με διογκωμένα αγκάθια 356
 Μια αμοιβαιότητα προστασίας ενός εύκρατου φυτού 359
 Έννοια 15.1 ανασκόπηση 361
- 15.2 Αμοιβαία συνεργασία κοραλλιών 361**
 Ζωοξανθέλλες και κοράλλια 361
 Μια αμοιβαιότητα προστασίας κοραλλιών 362
 Έννοια 15.2 ανασκόπηση 364
- 15.3 Εξέλιξη της αμοιβαιότητας 365**
Έρευνα των στοιχείων 15: Διαστήματα εμπιστοσύνης 366
 Προαιρετικές αμοιβαίες σχέσεις προστασίας μυρμηγκιών-φυτών 367
 Έννοια 15.3 ανασκόπηση 368
- Εφαρμογές:** Αμοιβαιότητα και άνθρωποι 368
 Ο οδηγός μελιού 368
 Καθοδηγητική συμπεριφορά 368

Μέρος V

ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Κεφάλαιο 16 Αφθονία και ποικιλότητα των ειδών 374

Έννοιες 376

16.1 Αφθονία των ειδών 376

Η λογαριθμική κανονική κατανομή 376

Έννοια 16.1 ανασκόπηση 377

16.2 Ποικιλότητα των ειδών 377

Ένας ποσοτικός δείκτης της ποικιλότητας των ειδών 378

Καμπύλες τάξης-αφθονίας 378

Έρευνα των στοιχείων 16: Υπολογισμός του αριθμού των ειδών στις κοινότητες 380

Έννοια 16.2 ανασκόπηση 381

16.3 Περιβαλλοντική πολυπλοκότητα 381

Δασική πολυπλοκότητα και ποικιλότητα των ειδών των πουλιών 381

Οικοθέσεις, ετερογένεια και ποικιλότητα των φυκών και των φυτών 382

Οι οικοθέσεις των φυκών και των χερσαίων φυτών 382

Πολυπλοκότητα στα περιβάλλοντα των φυτών 383

Εδαφική και τοπογραφική ετερογένεια και η ποικιλότητα των δένδρων των τροπικών δασών 384

Ποικιλότητα ειδών φυκών και φυτών και αυξημένη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών 385

Εμπλουτισμός αζώτου και ποικιλότητα εκτομυκορριζικών μυκήτων 386

Έννοια 16.3 ανασκόπηση 386

16.4 Διαταραχή και ποικιλότητα 386

Η φύση της ισορροπίας 386

Η Φύση και οι πηγές της διαταραχής 387

Υπόθεση της ενδιάμεσης διαταραχής 387

Διαταραχή και ποικιλότητα στην παλιρροϊκή ζώνη 387

Διαταραχή και ποικιλότητα στα εύκρατα λιβάδια 388

Έννοια 16.4 ανασκόπηση 390

Εφαρμογές: Ανθρωπογενής διαταραχή 390

Ανθρωπογενής διαταραχή: ένα πανάρχαιο χαρακτηριστικό της βιόσφαιρας 390

Ανθρωπογενής διαταραχή και η ποικιλότητα των ασβεστολιθικών λιβαδιών 392

Κεφάλαιο 17 Αλληλεπιδράσεις ειδών και κοινοτική δομή 395

Έννοιες 396

17.1 Δίκτυα κοινοτήτων 396

Λεπτομερή τροφικά δίκτυα αποκαλύπτουν τεράστια πολυπλοκότητα 396

Ισχυρές αλληλεπιδράσεις και δομή τροφικού δικτύου 398

Έννοια 17.1 ανασκόπηση 398

17.2 Βασικά είδη 398

Δομή τροφικού δικτύου και ποικιλότητα ειδών 399

Πειραματική απομάκρυνση του αστερία 400

Επιδράσεις των σαλιγκαριών στην ποικιλότητα των φυκών 401

Τα Ψάρια ως βασικά είδη στα τροφικά δίκτυα των ποταμών 404

Έρευνα των στοιχείων 17: Χρήση των διαστημάτων εμπιστοσύνης για τη σύγκριση των πληθυσμών 405

Έννοια 17.2 ανασκόπηση 407

17.3 Εξωτικοί θηρευτές 407

Εισαγόμενα ψάρια: Θηρευτές που απλοποιούν τα υδάτινα τροφικά δίκτυα 407

Έννοια 17.3 ανασκόπηση 408

17.4 Συμβιωτικά βασικά είδη 409

Ένα ψάρι καθαριστής ως βασικό είδος 409

Συμβιωτικοί διασπορείς σπερμάτων ως βασικά είδη 409

Έννοια 17.4 ανασκόπηση 410

Εφαρμογές: Ο άνθρωπος ως βασικό είδος 410

Το άδειο δάσος: Κυνηγοί και ζωικές κοινότητες τροπικών δασών βροχής 410

Μυρμήγκια και γεωργία: Βασικοί θηρευτές για τον έλεγχο των παράσιτων 411

Κεφάλαιο 18 Πρωτογενής παραγωγή και ροή ενέργειας 415

Έννοιες 417

18.1 Πρότυπα της χερσαίας πρωτογενούς παραγωγής 417

Πραγματική εξατμισοδιαπονή και χερσαία πρωτογενής παραγωγή 417

Γονιμότητα εδάφους και χερσαία πρωτογενής παραγωγή 418

Έννοια 18.1 ανασκόπηση 419

18.2 Πρότυπα της υδάτινης πρωτογενούς παραγωγής 419

Πρότυπα και μοντέλα 420

Πειράματα ολόκληρων λιμνών για την πρωτογενή παραγωγή 420

Παγκόσμια πρότυπα θαλάσσιας πρωτογενούς παραγωγής 421

Έννοια 18.2 ανασκόπηση 422

18.3 Επιδράσεις των καταναλωτών 422

Ιχθυοφάγα, πλαγκτοφάγα και πρωτογενής παραγωγή των λιμνών 423

Βόσκηση από τα μεγάλα θηλαστικά και η πρωτογενής παραγωγή στο Serengeti 425

Έρευνα των στοιχείων 18: Σύγκριση δύο πληθυσμών με το t-test 426

Έννοια 18.3 ανασκόπηση 427

18.4 Τροφικά επίπεδα 428

Μια δυναμική τροφική άποψη των οικοσυστημάτων 428

Η ροή ενέργειας σε ένα εύκρατο φυλλοβόλο δάσος 428

Έννοια 18.4 ανασκόπηση 430

Εφαρμογές: Χρήση της ανάλυσης σταθερών ισοτόπων για τον εντοπισμό της ροής της ενέργειας μέσω των οικοσυστημάτων 430

Τροφικά επίπεδα ψαριών των τροπικών ποταμών 431

Χρήση των σταθερών ισοτόπων για τον προσδιορισμό των πηγών ενέργειας σε ένα αλατούχο έλος 431

Τροφικές συνήθειες των προϊστορικών ανθρώπινων πληθυσμών 433

Κεφάλαιο 19 Ανακύκλωση και διατήρηση θρεπτικών 436

- Ο κύκλος του φωσφόρου 437
- Ο κύκλος του αζώτου 438
- Ο κύκλος του άνθρακα 439

Έννοιες 440

19.1 Ρυθμοί αποικοδόμησης 440

- Αποικοδόμηση σε δύο μεσογειακά οικοσυστήματα δασικών περιοχών 440
- Αποικοδόμηση σε δύο εύκρατα δασικά οικοσυστήματα 442
- Αποικοδόμηση σε υδάτινα οικοσυστήματα 443

Έρευνα των στοιχείων 19: Υποθέσεις για στατιστικούς ελέγχους 445

Έννοια 19.1 ανασκόπηση 446

19.2 Οργανισμοί και θρεπτικές ουσίες 446

- Ανακύκλωση των θρεπτικών στα τρεχούμενα νερά 446
- Τα ζώα και η ανακύκλωση των θρεπτικών στα χερσαία οικοσυστήματα 448
- Τα φυτά και η δυναμική των θρεπτικών στα οικοσυστήματα 450

Έννοια 19.2 ανασκόπηση 451

19.3 Διαταραχή και θρεπτικές ουσίες 451

- Διαταραχή και απώλειες θρεπτικών στο Πειραματικό Δάσος του Hubbard Brook 452
- Πλημμύρες και εκροή θρεπτικών από τα ρεύματα 452

Έννοια 19.3 ανασκόπηση 454

Εφαρμογές: Αλλαγή στα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα 454

Κεφάλαιο 20 Διαδοχή και σταθερότητα 458

Έννοιες 460

20.1 Αλλαγές της κοινότητας κατά τη διάρκεια της διαδοχής 460

- Πρωτογενής διαδοχή στον Κόλπο των Παγετώνων 460
- Δευτερογενής διαδοχή στα εύκρατα δάση 461
- Διαδοχή στις βραχώδεις παλιρροϊκές κοινότητες 462
- Διαδοχή στις κοινότητες των ρευμάτων 463

Έννοια 20.1 ανασκόπηση 464

20.2 Αλλαγές του οικοσυστήματος κατά τη διάρκεια της διαδοχής 464

- Αλλαγές του οικοσυστήματος στον Κόλπο των Παγετώνων 464
- Τέσσερα εκατομμύρια χρόνια αλλαγής του οικοσυστήματος 465
- Αποκατάσταση της διατήρησης των θρεπτικών ύστερα από διαταραχή 467
- Διαδοχή και ιδιότητες των οικοσυστημάτων των ρευμάτων 468

Έννοια 20.2 ανασκόπηση 470

20.3 Μηχανισμοί της διαδοχής 470

- Μηχανισμοί διαδοχής στη βραχώδη παλιρροϊκή ζώνη 471
- Μηχανισμοί διαδοχής στα δάση 472

Έννοια 20.3 ανασκόπηση 474

20.4 Σταθερότητα της κοινότητας και του οικοσυστήματος 474

- Μερικοί ορισμοί 474

Διδάγματα από το πείραμα του Park Grass 474

Έρευνα των στοιχείων 20: Μεταβλητότητα γύρω από τη διάμεσο 476

Οι επανειλημμένες διαταραχές και η σταθερότητα των ρευμάτων της ερήμου 477

Έννοια 20.4 ανασκόπηση 479

Εφαρμογές: Η Χρησιμοποίηση της επαναλαμβανόμενης φωτογράφισης για την ανίχνευση της μακροχρόνιας αλλαγής 480

Μέρος VI

ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Κεφάλαιο 21 Οικολογία τοπίου 485

Έννοιες 487

21.1 Η δομή του τοπίου 487

- Η δομή έξι τοπίων στο Οχάιο 487
- Η μορφολογική γεωμετρία των τοπίων 489

Έννοια 21.1 ανασκόπηση 490

21.2 Λειτουργίες του τοπίου 491

- Η δομή του τοπίου και η διασπορά των μικρών θηλαστικών 491
- Το μέγεθος των κομματιών του οικοτόπου, η απομόνωση και η πυκνότητα των πληθυσμών των πεταλούδων 492
- Διάδρομοι οικοτόπων και μετακίνηση των οργανισμών 493
- Η θέση του τοπίου και η χημική σύσταση της λίμνης 495

Έρευνα των στοιχείων 21: Σύγκριση δύο δειγμάτων με τη χρήση ενός στατιστικού τεστ αθροίσματος βαθμού 496

Έννοια 21.2 ανασκόπηση 497

21.3 Προέλευση της δομής και της αλλαγής του τοπίου 497

- Γεωλογικές λειτουργίες, το κλίμα και η δομή του τοπίου 497
- Οργανισμοί και δομή του τοπίου 500
- Η φωτιά και η δομή ενός μεσογειακού τοπίου 503

Έννοια 21.3 ανασκόπηση 504

Εφαρμογές: Αποκατάσταση ενός παραποτάμιου τοπίου 504
Αποκατάσταση ποταμού: Ο ποταμός Kissimmee 505

Κεφάλαιο 22 Γεωγραφική οικολογία 510

Έννοιες 512

22.1 Έκταση, απομόνωση και αφθονία ειδών 512

- Έκταση δειγματοληψίας και αριθμός των ειδών 512
- Νησιωτική έκταση και αφθονία των ειδών 512
- Απομόνωση νησιών και αφθονία ειδών 513

Έννοια 22.1 ανασκόπηση 515

22.2 Το μοντέλο της ισορροπίας στη βιογεωγραφία των νησιών 515

- Η κυκλική αντικατάσταση των ειδών στα νησιά 517
- Πειραματική βιογεωγραφία των νησιών 517
- Αποικισμός νέων νησιών από τα φυτά 518
- Χειρισμός της νησιωτικής έκτασης 519

- Αναπροσαρμογή της βιογεωγραφίας των νησιών 520
Έννοια 22.2 ανασκόπηση 520
- 22.3 Κλίσεις γεωγραφικού πλάτους στην αφθονία των ειδών 520**
Κλίσεις έκτασης και γεωγραφικού πλάτους στην αφθονία των ειδών 522
Ηπειρωτική έκταση και αφθονία ειδών 523
Έννοια 22.3 ανασκόπηση 524
- 22.4 Ιστορικές και περιφερειακές επιδράσεις 524**
Ασυνήθιστα πρότυπα της ποικιλότητας 524
Έρευνα των στοιχείων 22: Ανασκόπηση του μεγέθους του δείγματος 525
Ιστορικές και περιφερειακές ερμηνείες 526
Έννοια 22.4 ανασκόπηση 528
- Εφαρμογές:** Παγκόσμια συστήματα προσδιορισμού θέσης, τηλεπισκόπηση και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών 528
Παγκόσμια συστήματα προσδιορισμού θέσης 528
Τηλεπισκόπηση 529
Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών 530
- Κεφάλαιο 23 Παγκόσμια οικολογία 534**
- Το ατμοσφαιρικό περιβάλλον και το θερμοκήπιο η γη 535
Έννοιες 536
- 23.1 Ένα παγκόσμιο σύστημα 536**
Το ιστορικό νήμα 537
Το El Niño και το La Niña 538
Το El Niño και οι θαλάσσιοι πληθυσμοί 538
Το El Niño και η Μεγάλη Αλμυρή Λίμνη 541
- Το El Niño και οι χερσαίοι πληθυσμοί στην Αυστραλία 542
Έννοια 23.1 ανασκόπηση 543
- 23.2 Ανθρώπινη δραστηριότητα και ο παγκόσμιος κύκλος του αζώτου 543**
Έννοια 23.2 ανασκόπηση 544
- 23.3 Αλλαγές στην κάλυψη της γης 544**
Αποδάσωση των τροπικών 544
Έρευνα των στοιχείων 23: Ανακαλύπτοντας τι έχει ανακαλυφθεί 548
Έννοια 23.3 ανασκόπηση 549
- 23.4 Ανθρώπινη επίδραση στην ατμοσφαιρική σύνθεση 550**
Μείωση και αποκατάσταση της στιβάδας του όζοντος 552
Το μέλλον 553
Έννοια 23.4 ανασκόπηση 553
- Εφαρμογές:** Ερευνητικά δίκτυα συνεργασίας για την παγκόσμια οικολογία 554
- Παράρτημα Α Στατιστικοί πίνακες 558**
Παράρτημα Β Απαντήσεις στις ερωτήσεις ανασκόπησης των εννοιών 562
Παράρτημα Γ Απαντήσεις στην Αξιολόγηση των στοιχείων 571
Γλωσσάρι 573
Βιβλιογραφικές αναφορές 583

Έννοιες

- 7.1 Η επιλογή συντρόφου από το ένα φύλο και/ή ο ανταγωνισμός για τους συντρόφους μεταξύ των ατόμων του ίδιου φύλου μπορούν να οδηγήσουν στην επιλογή ατόμων με ιδιαίτερα γνωρίσματα, μια διαδικασία που ονομάζεται σεξουαλική επιλογή.
- 7.2 Η εξέλιξη της κοινωνικότητας συνοδεύεται γενικά από συνεργασία στη διατροφή, υπεράσπιση της κοινωνικής ομάδας και περιορισμένες αναπαραγωγικές ευκαιρίες.
- 7.3 Η επιλογή συγγένειας φαίνεται να παίζει βασικό ρόλο στην εξέλιξη της ευκοινωνικότητας.

7.1 Επιλογή συντρόφου

Η επιλογή συντρόφου από το ένα φύλο και/ή ο ανταγωνισμός για τους συντρόφους μεταξύ των ατόμων του ίδιου φύλου μπορούν να οδηγήσουν στην επιλογή ατόμων με ιδιαίτερα γνωρίσματα, μια διαδικασία που ονομάζεται σεξουαλική επιλογή. Ο Δαρβίνος (1871) υποστήριξε ότι το κοινωνικό περιβάλλον, ιδιαίτερα το περιβάλλον ζευγαρώματος, θα μπορούσε να ασκήσει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά των οργανισμών. Η περιέργειά του υποκινήθηκε ιδιαίτερα από την ύπαρξη αυτών που ονόμασε «δευτερεύοντα σεξουαλικά χαρακτηριστικά», την προέλευση των οποίων δεν θα μπορούσε να εξηγηθεί παρά μόνο με τα πλεονεκτήματα που δίνουν στα άτομα κατά τη διάρκεια του ανταγωνισμού για τους συντρόφους. Ο Δαρβίνος χρησιμοποίησε τον όρο *δευτερεύοντα σεξουαλικά χαρακτηριστικά* εννοώντας τα χαρακτηριστικά των αρσενικών ή των θηλυκών που δεν συμμετέχουν άμεσα στη διαδικασία της αναπαραγωγής. Μερικά από τα γνωρίσματα που είχε στο μυαλό του ο Δαρβίνος ήταν «φантаχτερά χρώματα και διάφορα στολίδια..., η δύναμη του τραγουδιού και άλλα τέτοια χαρακτηριστικά». Πώς να εξηγήσουμε την ύπαρξη χαρακτηριστικών, όπως τα κέρατα των αρσενικών ελαφιών, η φανταχτερή ουρά του παγωνιού, ή το γιγαντιαίο μέγεθος και η μεγάλη μύτη του αρσενικού θαλάσσιου ελέφαντα; Προκειμένου να εξηγήσει την ύπαρξη τέτοιων δευτερευόντων σεξουαλικών χαρακτηριστικών, ο Δαρβίνος πρότεινε μια διαδικασία που ονόμασε **σεξουαλική επιλογή**. Η σεξουαλική επιλογή προκύπτει από διαφορές στους αναπαραγωγικούς ρυθμούς μεταξύ των ατόμων, ως αποτέλεσμα των διαφορών στην επιτυχία του ζευγαρώματός τους.

Η σεξουαλική επιλογή θεωρείται ότι είναι σημαντική κάτω από δύο περιστάσεις. Η πρώτη είναι όταν τα άτομα του ενός φύλου ανταγωνίζονται μεταξύ τους για τους συντρόφους, πράγμα το οποίο οδηγεί σε μια διαδικασία που ονομάζεται **ενδοσεξουαλική επιλογή**. Για παράδειγμα, όταν τα αρσενικά ορεινά πρόβατα ή οι θαλάσσιοι ελέφαντες φιλονικούν μεταξύ τους για κυριαρχία ή για τις περιοχές ζευγαρώματος, ο μεγαλύτερος και ο πιο ισχυρός κερδίζει γενικά τέτοιες μάχες. Σε τέτοιες καταστάσεις συχνά το αποτέλεσμα είναι η επιλογή για το μεγαλύτερο μέγεθος σώματος και τα αποτελεσματικότερα όπλα, όπως τα κέρατα ή τα δόντια. Δεδομένου ότι αυτή η επιλογή είναι αποτέλεσμα του ανταγωνισμού μεταξύ των ατόμων μέσα σε ένα φύλο, ονομάζεται ενδοσεξουαλική επιλογή.

Η σεξουαλική επιλογή μπορεί να εμφανιστεί επίσης όταν μέλη του ενός φύλου επιλέγουν με συνέπεια τους συντρόφους μεταξύ των μελών του αντίθετου φύλου, με βάση κάποιο ιδιαίτερο γνώρισμα. Επειδή εμπλέκονται τα δύο φύλα, αυτή η

μορφή ονομάζεται **διασεξουαλική επιλογή**. Παραδείγματα των γνωρισμάτων που χρησιμοποιούνται για την επιλογή συντρόφων περιλαμβάνουν τα θηλυκά πουλιά που διαλέγουν μεταξύ των πιθανών αρσενικών συντρόφων τους με βάση τη φωτεινότητα των χρωμάτων των φτερών τους ή την ποιότητα του τραγουδιού τους. Ο Δαρβίνος ισχυρίστηκε ότι όταν τα άτομα ενός φύλου αρχίζουν να επιλέγουν συντρόφους με βάση κάποιο ανατομικό γνώρισμα ή γνώρισμα συμπεριφοράς, η σεξουαλική επιλογή θα ευνοήσει την τελειοποίηση του γνωρίσματος. Για παράδειγμα, το χρώμα των φτερών των αρσενικών πουλιών μπορεί να γίνει φωτεινότερο με το χρόνο ή το τραγούδι τους πιο ωραίο ή και τα δύο.

Ωστόσο, πόσο η σεξουαλική επιλογή μπορεί να διαμορφώσει ένα χαρακτηριστικό πριν τα αρσενικά στον πληθυσμό αρχίσουν να υφίστανται υψηλότερη θνησιμότητα λόγω άλλων αιτιών φυσικής επιλογής; Ο Δαρβίνος υποστήριξε ότι η σεξουαλική επιλογή θα συνεχίσει να διαμορφώνει ένα γνώρισμα μέχρις ότου εξισορροπηθεί από άλλες αιτίες φυσικής επιλογής, όπως η θήρευση. Από την αρχική εργασία του Δαρβίνου για το θέμα, η έρευνα αποδείχτηκε πολύ παραγωγική για το πώς οι οργανισμοί επιλέγουν τους συντρόφους με βάση τη σεξουαλική επιλογή. Ένα εξαιρετικό πρότυπο για τέτοιου είδους μελέτες είναι το ψάρι *Poecilia reticulata*, γνωστό με το κοινό όνομα guppy.

Επιλογή συντρόφου και σεξουαλική επιλογή στα ψάρια guppies

Θα ήταν δύσκολο για τους πειραματικούς οικολόγους που ενδιαφέρονται για την επιλογή συντρόφου και τη σεξουαλική επιλογή να βρουν άλλο καλύτερο πειραματικό ζώο από το ψάρι guppy (Εικόνα 7.3). Τα ψάρια αυτά είναι ιθαγενή των ρευμάτων και των ποταμών των Trinidad και Tobago, νησιών της νοτιοανατολικής Καραϊβικής, και των ποταμών που αποστραγγίζουν τις γειτονικές περιοχές της νοτιοαμερικανικής ηπειρωτικής χώρας. Τα νερά που κατοικούνται από τα guppies κυμαίνονται από τα μικρά καθαρά ρεύματα των βουνών έως τα θολά, πεδινά ποτάμια. Κατά μήκος αυτής της κλίσης των φυσικών καταστάσεων, τα ψάρια guppies αντιμετωπίζουν επίσης μια μεγάλη σειρά βιολογικών συνθηκών. Στα άνω μέρη των πηγών των ρευμάτων πάνω από τους καταρράκτες, τα guppies ζουν εν απουσία θηρευτών ψαριών ή με το ψάρι killifish *Rivulus hartii*, το οποίο τρώει κυρίως τα νεαρά ψάρια και δεν είναι πολύ αποτελεσματικός θηρευτής των ενήλικων guppies. Αντίθετα, τα guppies



Εικόνα 7.3 Ένα ζωηρόχρωμο αρσενικό ψάρι guppy που φλερτάρει ένα θηλυκό: Πώς η επιλογή συντρόφου από τα θηλυκά και η φυσική επιλογή από τους θηρευτές επηρεάζουν τον πλούσιο χρωματισμό των αρσενικών;

στα πεδινά ποτάμια ζουν με μια μεγάλη ποικιλία θηρευτών ψαριών, συμπεριλαμβανομένων των λούτσων *Crenicichla alta* της οικογένειας Cichlidae, που είναι πολύ αποτελεσματικοί οπτικοί θηρευτές των ενήλικων guppies.

Τα αρσενικά guppies παρουσιάζουν πλούσια χρώματα, τόσο μέσα στον ίδιο πληθυσμό όσο και μεταξύ των πληθυσμών. Ποιοι παράγοντες μπορεί να προκαλέσουν αυτή τη μεγάλη ποικιλομορφία; Φαίνεται πως τα θηλυκά guppies, αν είχαν μια επιλογή, θα ζευγάρωναν με τα πιο φανταχτερά έγχρωμα αρσενικά. Εντούτοις, τα φανταχτερά έγχρωμα αρσενικά προσβάλλονται συχνότερα από τους οπτικούς θηρευτές. Αυτή η ανταλλαγή μεταξύ της υψηλότερης επιτυχίας ζευγαρώματος από τα πιο φανταχτερά αρσενικά αλλά με μεγαλύτερη ευπάθεια στους θηρευτές παρέχει μια μηχανιστική εξήγηση για την παραλλαγή στο χρωματισμό των αρσενικών μεταξύ των διαφορετικών βιότοπων. Τα εντονότερα έγχρωμα αρσενικά guppies βρίσκονται στους πληθυσμούς που εκτίθενται σε λίγους θηρευτές, ενώ εκείνα που εκτίθενται στους θηρευτές, όπως οι λούτσοι *Crenicichla alta*, είναι πολύ λιγότερο φανταχτερά (Endler 1995). Κατά συνέπεια ο χρωματισμός των αρσενικών guppies στους τοπικούς πληθυσμούς μπορεί να καθοριστεί από μια δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ της φυσικής επιλογής που ασκείται από τους θηρευτές και από την επιλογή συντρόφου των θηλυκών.

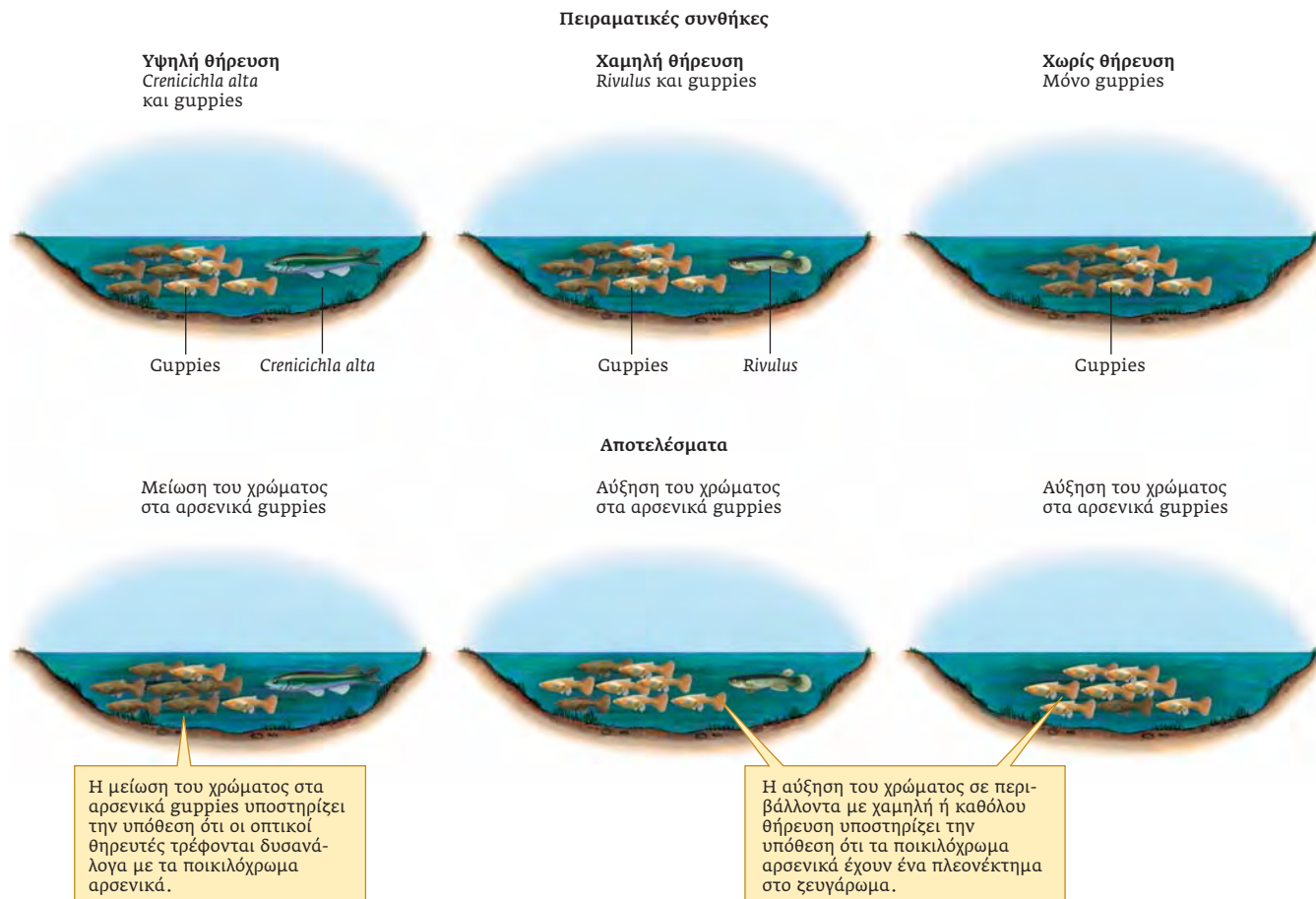
Ενώ οι παρατηρήσεις πεδίου είναι σύμφωνες με την εξισορρόπηση μεταξύ της σεξουαλικής επιλογής που οφείλεται στην επιλογή συντρόφου και της φυσικής επιλογής που οφείλεται στη θήρευση, τα στοιχεία θα ήταν πιο πειστικά με μια πειραματική μελέτη. Ο John Endler (1980) πραγματοποίησε

μια τέτοια δοκιμή σε μια υποδειγματική μελέτη της φυσικής επιλογής για τα σχέδια των χρωμάτων των guppies.

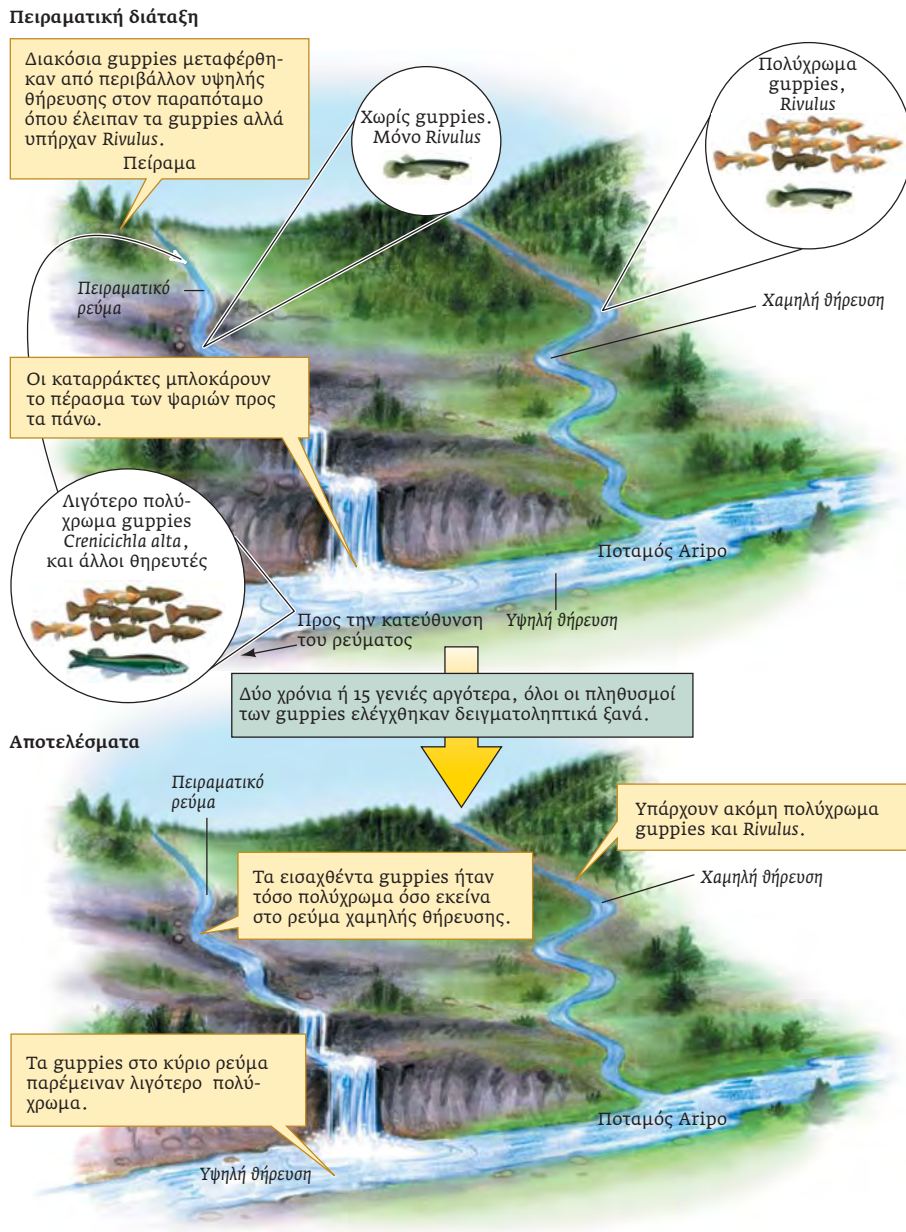
Πειραματικοί έλεγχοι

Ο Endler πραγματοποίησε δύο πειράματα, το ένα σε τεχνητές λίμνες στο θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου του Princeton (Εικόνα 7.4) και το άλλο σε φυσικές περιοχές (Εικόνα 7.5). Για τα πειράματα του θερμοκηπίου, ο Endler κατασκεύασε δέκα μικρές λίμνες παρόμοιες κατά κάποιο τρόπο με τις μικρές λίμνες στα ρεύματα της βόρειας οροσειράς στο Trinidad. Τέσσερις από αυτές τις λιμνούλες ήταν μεγέθους 2,4 m x 1,2 m x 40 cm, τυπικού μεγέθους των μικρών λιμνών που κατοικούνται από ένα μόνο λούτσο *Crenicichla alta* στα μικρότερα ρεύματα. Κατά τη διάρκεια της τελικής φάσης του πειράματος, ο Endler τοποθέτησε έναν και μόνο λούτσο σε καθεμία από αυτές τις λίμνες. Οι άλλες έξι λίμνες ήταν παρόμοιου μεγέθους (2,4 m x 1,2 m x 15 cm) με τις μικρές λίμνες των ρευμάτων των πηγών που περιέχουν περίπου 6 *Rivulus*. Τελικά ο Endler τοποθέτησε 6 *Rivulus* σε 4 από αυτές τις λιμνούλες και διατήρησε τις άλλες δύο χωρίς θηρευτές ως μάρτυρες. Τι δημιούργησε ο Endler με αυτή τη σειρά μικρών λιμνών και τους συνδυασμούς των θηρευτών; Αυτές οι τρεις ομάδες λιμνών αντιπροσώπευαν τρία επίπεδα θήρευσης: υψηλή θήρευση (λούτσοι *Crenicichla*), χαμηλή θήρευση (*Rivulus*), και χωρίς θήρευση.

Ωστόσο, πριν εισαγάγει τους θηρευτές, ο Endler δημιούργησε παρόμοια φυσικά περιβάλλοντα στις μικρές λίμνες και τις εφοδίασε με προσεκτικά επιλεγμένα guppies. Τοποθέτησε σε όλες τις λίμνες βαμμένα χαλίκια που διατίθενται στο εμπόριο, προσέχοντας να βάλει τις ίδιες αναλογίες σε καθεμία από



Εικόνα 7.4 Περίληψη του πειραματικού σχεδιασμού του θερμοκηπίου και τα αποτελέσματα (πληροφορίες από Endler 1980).



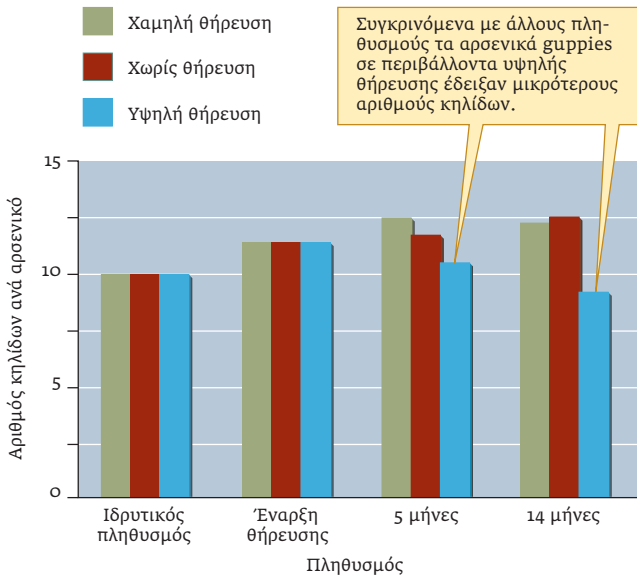
Εικόνα 7.5 Πείραμα πεδίου για τις επιδράσεις της θήρευσης στο χρωματισμό των αρσενικών guppies (πληροφορίες από Endler 1980).

τις λίμνες. Το χαλίκι που χρησιμοποίησε σε όλες τις λίμνες ήταν μαύρο 31,4%, λευκό 34,2%, πράσινο 25,7%, και επιπλέον 2,9% για το καθένα από τα χρώματα μπλε, κόκκινο και κίτρινο.

Ο Endler εφοδίασε την πειραματική λίμνη με 200 guppies, που προήλθαν από 18 διαφορετικούς πληθυσμούς του Trinidad και της Βενεζουέλας. Επιλέγοντας guppies από τόσο πολλούς πληθυσμούς, ο Endler εξασφάλισε ότι οι πειραματικοί πληθυσμοί θα περιελάμβαναν μια σημαντική ποσότητα χρωματικής ποικιλομορφίας. Όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 8, η γενετική ποικιλότητα είναι μια ουσιαστική προϋπόθεση για την εξελικτική αλλαγή των πληθυσμών.

Το δεύτερο πείραμα του Endler πραγματοποιήθηκε στη φύση μέσα στο δίκτυο των παραποτάμων του ποταμού Ατίρο (Εικόνα 7.5), όπου οριοθέτησε τρεις ξεχωριστές καταστάσεις σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων. Μέσα στο κυρίως ρεύμα του ποταμού Ατίρο, τα guppies συνυπήρχαν με μια ευρεία ποικιλία θηρευτών, συμπεριλαμβανομένων των λούτσων *Crenicichla*, που παρείχαν μια περιοχή «υψηλής θήρευσης».

Προς τα πάνω από την περιοχή υψηλής θήρευσης, ο Endler ανακάλυψε έναν μικρό παραπόταμο που κυλούσε πάνω από μια σειρά καταρράκτων κοντά στη σύνδεσή του με το κύριο ρεύμα του ποταμού. Επειδή οι καταρράκτες εμπόδιζαν τα περισσότερα ψάρια να κολυμπούν προς τα πάνω, αυτός ο παραπόταμος ήταν τελείως ελεύθερος από guppies, αλλά συντηρούσε έναν πληθυσμό του αναποτελεσματικού θηρευτή *Rivulus*. Αυτή η πιθανή περιοχή «χαμηλής θήρευσης» παρείχε μια ιδανική κατάσταση για την παρακολούθηση της εξέλιξης του χρώματος των αρσενικών. Η τρίτη περιοχή, που ήταν λίγο μακρύτερα προς το πάνω μέρος του ρεύματος, ήταν ένας μικρός παραπόταμος που συντηρούσε guppies μαζί με *Rivulus*. Αυτή η τρίτη περιοχή έδωσε στον Endler μια περιοχή αναφοράς χαμηλής θήρευσης για τη μελέτη του. Ο Endler έπιασε 200 guppies από το περιβάλλον υψηλής θήρευσης, μέτρησε το χρωματισμό τους, και έπειτα τα έβαλε στην περιοχή απ' όπου έλειπαν τα guppies. Έξι μήνες μετά την εισαγωγή των guppies, οι απόγονοί τους είχαν εξαπλωθεί σε



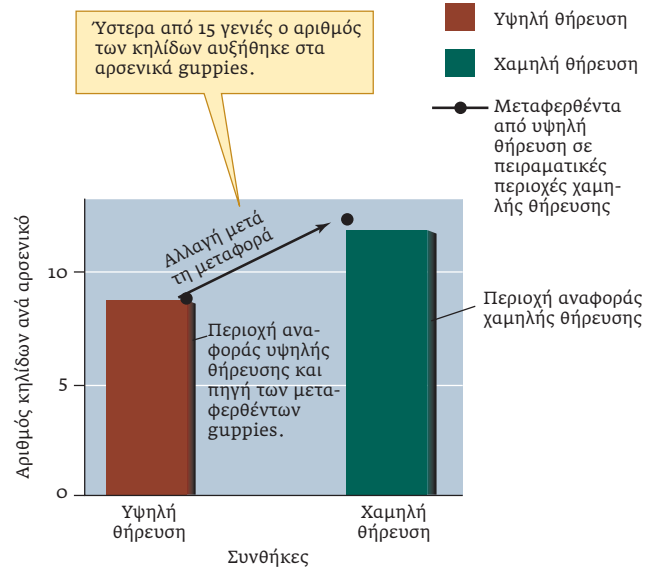
Εικόνα 7.6 Αποτελέσματα του πειράματος θερμοκηπίου στο οποίο οι πληθυσμοί των *guppies* τέθηκαν σε περιβάλλοντα μη θήρευσης, χαμηλής θήρευσης (*Rivulus*) και σε περιβάλλοντα υψηλής θήρευσης (*Crenicichla alta*) (στοιχεία από Endler 1980).

όλο τον παραπόταμο όπου προηγουμένως δεν υπήρχαν. Τελικά, 2 χρόνια ή περίπου 15 γενιές μετά την εισαγωγή των *guppies*, ο Endler επέστρεψε και συνέλεξε δείγματα *guppies* και από τις τρεις περιοχές μελέτης.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων, τόσο από το θερμοκήπιο όσο και από το πεδίο, συνέκλιναν. Όπως φαίνεται στο σχήμα της Εικόνας 7.6, ο αριθμός των έγχρωμων κηλίδων των αρσενικών *guppies* αυξήθηκε στις μικρές λίμνες του θερμοκηπίου χωρίς θηρευτές και με *Rivulus* αλλά μειώθηκε στις λίμνες υψηλής θήρευσης που περιείχαν τους λούτσους *Crenicichla*. Το σχήμα της Εικόνας 7.7, το οποίο συνοψίζει τα αποτελέσματα του υπαίθριου πειράματος του Endler, συγκρίνει τον αριθμό των κηλίδων στα αρσενικά της υψηλής θήρευσης και στα περιβάλλοντα των ρευμάτων χαμηλής θήρευσης με *guppies* που μεταφέρθηκαν από ένα περιβάλλον υψηλής θήρευσης σε ένα περιβάλλον χαμηλής θήρευσης. Να σημειωθεί ότι ο μεταφερθείς πληθυσμός συνέκλινε με τα αρσενικά της περιοχής αναφοράς χαμηλής θήρευσης κατά τη διάρκεια του πειράματος. Με άλλα λόγια, όταν τα αρσενικά *guppies* απελευθερώθηκαν από τη θήρευση, ο μέσος αριθμός των κηλίδων τους αυξήθηκε αισθητά. Αυτό το αποτέλεσμα μαζί με τα αποτελέσματα του πειράματος του θερμοκηπίου ενισχύουν την υπόθεση ότι η θήρευση μειώνει την επιδεικτικότητα των αρσενικών στους πληθυσμούς των *guppies*.

Επιλογή συντρόφου από τα θηλυκά *guppies*

Ποιο είναι το σήμα ή το γνώρισμα που χρησιμοποιούν τα θηλυκά *guppies* για να επιλέξουν τους συντρόφους τους; Η Anne Houde (1997), η οποία συνόψισε τα συμπεράσματα πολυάριθμων μελετών, διαπίστωσε ότι διάφορα γνωρίσματα των αρσενικών συνδέθηκαν με μεγαλύτερη επιτυχία ζευγαρώματος. Όπως δείχνουν ορισμένα στοιχεία, ο χρωματισμός των αρσενικών συμβάλλει σημαντικά στην επιτυχία του ζευγαρώματός τους. Τα χαρακτηριστικά του χρώματος που αποδείχθηκαν ότι παρέχουν ένα πλεονέκτημα ζευγαρώματος στα αρσενικά περιλαμβάνουν «τη φωτεινότητα», τον αριθμό των κόκκινων κηλίδων, τον αριθμό των μπλε κηλίδων, την ιριδίζουσα περιοχή,



Εικόνα 7.7 Αποτελέσματα του υπαίθριου πειράματος που περιλαμβάνει τη μεταφορά των *guppies* από περιοχή υψηλής θήρευσης στην περιοχή με το *Rivulus*, έναν αρκετά αναποτελεσματικό θηρευτή (στοιχεία από Endler 1980).

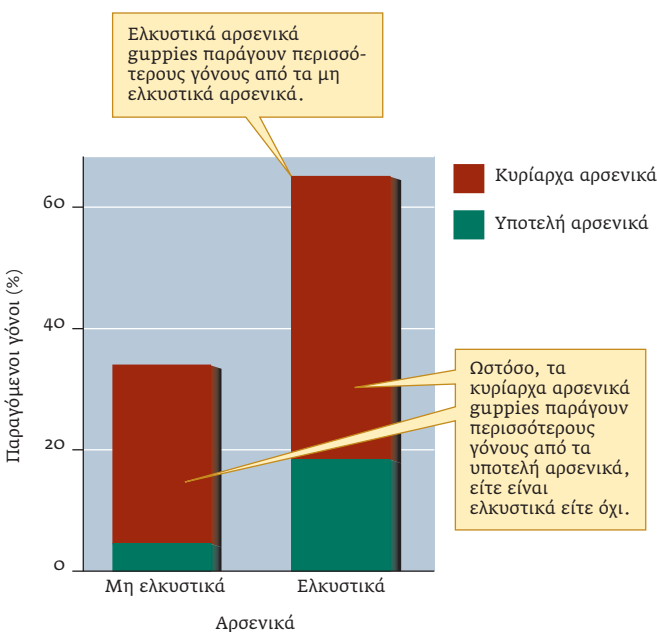
τη συνολικά χρωματισμένη περιοχή, και την καροτινοειδή ή πορτοκαλόχρωμη περιοχή. Αυτά τα αποτελέσματα φαίνεται να επιβεβαιώνουν την αύξηση του πλούσιου χρωματισμού των αρσενικών που παρατήρησε ο Endler σε απουσία της θήρευσης ή στην παρουσία χαμηλής πίεσης θήρευσης. Δηλαδή η προτίμηση των θηλυκών για πιο ζωηρόχρωμα αρσενικά τους έδωσε τη μεγαλύτερη αρμοστικότητα όταν απουσίαζε η έντονη θήρευση. Κατά συνέπεια, ο πλούσιος χρωματισμός των αρσενικών αυξάνεται στους πληθυσμούς μελέτης υπό χαμηλή θήρευση ή σε περιβάλλοντα χωρίς καθόλου θήρευση. Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι η συμπεριφορά των αρσενικών, ειδικά ο ρυθμός των επιδείξεων ερωτοτροπίας, συνδέεται με αύξηση της επιτυχίας ζευγαρώματος των αρσενικών.

Είναι λιγότερες οι μελέτες για το πώς ο ανταγωνισμός μεταξύ των αρσενικών, που είναι μια ενδοεξουαλική επιλογή, μπορεί να επηρεάσει την επιτυχία ζευγαρώματος των αρσενικών. Ας δούμε μια από τις λίγες μελέτες που εξετάζει αυτό το θέμα. Η Astrid Kodric-Brown (1993) εξέτασε αν οι ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αρσενικών συμβάλλουν στην αλλαγή της επιτυχίας ζευγαρώματός τους. Για τα πειράματά της με αντικείμενο τη συμπεριφορά πήρε *guppies* από το απόθεμα που είχε συλλέξει αρχικά ο John Endler από τους ποταμούς *Atipo* και *Paria* στο *Trinidad*. Τα αρσενικά και θηλυκά που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα συμπεριφοράς αναπτύχθηκαν χωριστά. Τα αρσενικά κρατήθηκαν σε ενυδρεία 95 λίτρων σε πληθυσμούς αποτελούμενους από 10 αρσενικά και 20 θηλυκά. Εντωμεταξύ τα παρθένα θηλυκά εκτρέφονταν σε αποκλειστικά θηλυκές ομάδες αδελφών έως την ηλικία των 6 μηνών. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου δεν είχαν καμία οπτική επαφή με τα αρσενικά. Και τα αρσενικά και τα θηλυκά ακολούθησαν μια τυποποιημένη διατροφή, διατηρήθηκαν στις ίδιες θερμοκρασίες και εκτέθηκαν τις ίδιες ώρες στο σκοτάδι και το φως.

Από τους πληθυσμούς των αποθεμάτων της η Kodric-Brown επέλεξε 59 ζευγάρια αρσενικών με διαφορές στα χρώματα και 59 θηλυκά. Για να ελέγξει την προτίμηση των θηλυκών, τοποθέτησε ένα μοναδικό θηλυκό στον κεντρικό θάλαμο μιας δεξαμενής δοκιμής και κάθε μέλος ενός αρσενι-

κού ζευγαριού σε δευτερεύοντες θαλάμους που πλαισίωσαν τον κεντρικό θάλαμο. Οθόνες που κάλυπταν τα γυάλινα χωρίσματα απέτρεπαν αρχικά την οπτική επαφή μεταξύ των αρσενικών και θηλυκών. Ύστερα από 10 λεπτά εγκλιματισμού των guppies, η Kodric-Brown αφαιρούσε τις οθόνες. Μόλις απομακρύνονταν οι οθόνες, τα αρσενικά άρχιζαν συνήθως την ερωτοτροπία των επιδείξεων, και το θηλυκό επιθεωρούσε τα αρσενικά μέσα από το γυάλινο χωρίσμα. Η Kodric-Brown κατέγραφε τη συμπεριφορά των αρσενικών και θηλυκών στη δεξαμενή επίδειξης για 10 λεπτά, σημειώνοντας το χρόνο και τους ρυθμούς στους οποίους έκαναν επίδειξη τα αρσενικά, και το χρονικό διάστημα που ξόδευε το θηλυκό μέσα σε απόσταση 5 εκατοστών από το χωρίσμα του γυαλιού από κάθε αρσενικό. Χαρακτήρισε το αρσενικό για το οποίο το θηλυκό ξόδεψε τον περισσότερο χρόνο ως προτιμώμενο ή ελκυστικό αρσενικό και το αρσενικό για το οποίο το θηλυκό ξόδεψε το λιγότερο χρόνο ως μη προτιμώμενο ή μη ελκυστικό αρσενικό.

Ύστερα από αυτό το αρχικό δεκάλεπτο στη διάρκεια του οποίου τα θηλυκά έδειξαν τις προτιμήσεις τους, η Kodric-Brown αφαιρέσει τα χωρίσματα γυαλιού που χώριζαν τα guppies, επιτρέποντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αρσενικών και του θηλυκού. Η Kodric-Brown παρατήρησε ότι τα αρσενικά συμμετείχαν σε αγωνιστικές αλληλεπιδράσεις, όπως η καταδίωξη και η επίδειξη, σε πάνω από 94% των προσπαθειών ζευγαρώματος, γεγονός που της έδωσε μια βάση για να προσδιορίσει ποια αρσενικά ήταν κυρίαρχα και ποια ήταν κατώτερα από την άποψη της συμπεριφοράς. Η Kodric-Brown κατέγραψε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δύο αρσενικών και μεταξύ των αρσενικών και του θηλυκού μέχρι 5 λεπτά έπειτα από κάθε ζευγάρισμα. Ύστερα από μια προσπάθεια ζευγαρώματος, το θηλυκό μετακινήθηκε προς μια δεξαμενή εκτροφής όπου τελικά γέννησε. Οι απόγονοι από κάθε θηλυκό ανατράφηκαν χωριστά. Προκειμένου να προσδιοριστεί η πατρότητα, οι αρσενικοί απόγονοι ανατράφηκαν έως την ωριμότητα, οπότε εκφράστηκε ο πλήρης χρωματισμός τους, ο οποίος κληρονομείται από τους πατέρες τους.



Εικόνα 7.8 Σχετική αναπαραγωγική επιτυχία των ελκυστικών έναντι των μη ελκυστικών και των κυρίαρχων έναντι των υποτελών αρσενικών guppies (στοιχεία από Kodric-Brown 1993).

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων της Kodric-Brown δείχνουν ότι η αναπαραγωγική επιτυχία καθορίστηκε από έναν συνδυασμό της ελκυστικότητας των αρσενικών και της θέσης κυριαρχίας τους. Η προτίμηση ζευγαρώματος των θηλυκών που προσδιορίστηκε όταν τα guppies είχαν μόνο οπτική επαφή συσχετίστηκε ιδιαίτερα με την επιτυχία ζευγαρώματος των αρσενικών που επακολούθησε (Εικόνα 7.8). Τα αρσενικά που προσέλκυσαν τα θηλυκά όταν υπήρχε οπτική επαφή μέσω του χωρίσματος του γυαλιού στη συνέχεια γέννησαν έναν μεγαλύτερο αριθμό απογόνων από τα μη ελκυστικά αρσενικά. Περίπου 67% των απογόνων γεννήθηκαν από τα ελκυστικά αρσενικά έναντι 33% που γεννήθηκαν από μη ελκυστικά αρσενικά. Εντούτοις, φαίνεται πως η θέση κυριαρχίας των αρσενικών συμβάλλει επίσης στην αναπαραγωγική τους επιτυχία. Μεταξύ των μη ελκυστικών αρσενικών που γέννησαν απογόνους, το 87,5% ήταν κυρίαρχα. Το συμπέρασμα ότι η αναπαραγωγική επιτυχία καθορίζεται από ένα συνδυασμό μεταξύ του ανταγωνισμού των αρσενικών και της επιλογής του θηλυκού ενισχύεται από τη χαμηλή αναπαραγωγική επιτυχία των αρσενικών που δεν ήταν ούτε ελκυστικά ούτε κυρίαρχα. Αυτά τα αρσενικά, τα οποία στερήθηκαν τα προφανή πλεονεκτήματα που συνδέθηκαν είτε με την κυριαρχία είτε με την ελκυστικότητα, γέννησαν μόνο το 4% των απογόνων. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι οι αναπαραγωγικές ευκαιρίες είναι ιδιαίτερα περιορισμένες για αυτά τα αρσενικά.

Τα χαρακτηριστικά που συνδέονται με την επιτυχία ζευγαρώματος των αρσενικών μεταξύ των guppies συσχετίζονται συχνά. Η Kodric-Brown παρατήρησε ότι τα ελκυστικά αρσενικά έτειναν να είναι κυρίαρχα, να φλερτάρουν περισσότερο, και να έχουν περισσότερα και φωτεινότερα πορτοκαλόχρωμα και ιριδίζοντα σημεία. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνδέονται πολύ με την ανατομία και τη φυσιολογία ενός αρσενικού. Ας εξετάσουμε ένα σύστημα ζευγαρώματος όπου η ελκυστικότητα του αρσενικού εξαρτάται από σύνθετες συμπεριφορές που στην ουσία επεκτείνουν τον αρσενικό φαινότυπο.

Επιλογή συντρόφου μεταξύ των σκορπιόμυγων

Οι σκορπιόμυγες (Εικόνα 7.9) ανήκουν στην τάξη μηκόπτερα, μια ομάδα εντόμων πιο κοντά στα caddisflies (τάξη Trichoptera), τους σκόρους και τις πεταλούδες (τάξη Lepidoptera). Το κοινό όνομα «σκορπιόμυγες» έχει να κάνει με τον



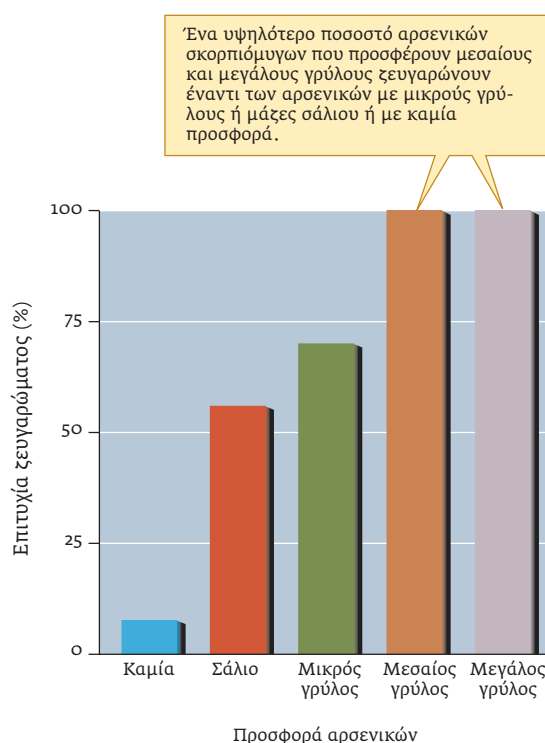
Εικόνα 7.9 Μια αρσενική σκορπιόμυγα όπως αυτή ανταγωνίζεται σθεναρά με κάθε άλλη αρσενική για τις θηλυκές σκορπιόμυγες.

τρόπο που τα αρσενικά κρατούν τα γεννητικά τους όργανα πάνω από το πίσω μέρος της κοιλιάς τους, σε μια θέση που θυμίζει το κεντρί ενός σκορπιού. Παρά την εμφάνισή τους, οι αρσενικές σκορπιόμυγες είναι τελείως ακίνδυνες για τον άνθρωπο. Σε σύγκριση με έντομα όπως οι σκόροι ή τα σκαθάρια, σχετικά λίγα είδη σκορπιόμυγας υπάρχουν σήμερα. Εντούτοις, αποτέλεσαν μια πλούσια πηγή πληροφοριών για την οικολογία της συμπεριφοράς, ιδιαίτερα στην εξέλιξη και την οικολογία των συστημάτων του ζευγαρώματος. Ο Randy Thornhill είναι μια κεντρική μορφή στην έρευνα για την επιλογή συντρόφου και τη σεξουαλική επιλογή, και οι μελέτες του για τα συστήματα ζευγαρώματος στις σκορπιόμυγες θεωρούνται κλασικές της εξέλιξης και της οικολογίας των συστημάτων του ζευγαρώματος (π.χ., Thornhill 1981, Thornhill και Alcock 1983).

Οι ενήλικες σκορπιόμυγες του γένους *Panorpa* τρέφονται με νεκρά αρθρόποδα που βρίσκουν στους θάμνους και τα χορτάρια στον υπόροφο των δασών. Διάφορα στοιχεία δείχνουν ότι ο ανεφοδιασμός με νεκρά αρθρόποδα που είναι διαθέσιμα στις σκορπιόμυγες είναι περιορισμένος και ότι η ένταση του ανταγωνισμού για τα νεκρά αρθρόποδα είναι μεγάλη, ειδικά μεταξύ των αρσενικών. Ο Thornhill παρατήρησε ότι οι αρσενικές σκορπιόμυγες παλεύουν πάνω από τα νεκρά αρθρόποδα και τα κλέβουν ακόμα και από τον ιστό της αράχνης, μια συμπεριφορά που οδηγεί σε σημαντική θνησιμότητα τις σκορπιόμυγες. Γιατί οι σκορπιόμυγες παλεύουν τόσο σθεναρά διακινδυνεύοντας πάνω από τα νεκρά αρθρόποδα; Ένας λόγος είναι ότι η αρσενική *Panorpa* χρησιμοποιεί τα νεκρά αρθρόποδα για να προσελκύσει τα θηλυκά. Εάν ένα αρσενικό βρει ένα νεκρό αρθρόποδο και μπορεί επιτυχώς να το υπερασπιστεί από άλλα αρσενικά, θα σταθεί δίπλα στο αρθρόποδο και θα εκκρίνει μια φερομόνη, η οποία μπορεί να προσελκύσει τα θηλυκά από αρκετά μέτρα μακριά. Ένα θηλυκό που προσελκύεται από τη φερομόνη θα τραφεί συνήθως με το αρθρόποδο ενώ το αρσενικό θα ζευγαρώσει μαζί του. Εντούτοις, εάν ένα αρθρόποδο δεν είναι διαθέσιμο ως γαμήλια προσφορά, το αρσενικό θα εκκρίνει μια μάζα σάλιου από τους διευρυμένους σιελογόνους αδένες και θα το χρησιμοποιήσει για να προσελκύσει τα θηλυκά. Τέλος, τα αρσενικά χωρίς δώρα μπορούν να επιχειρήσουν αναγκαστικά ζευγαρώματα.

Σε μία σειρά πειραματικές μελέτες, ο Thornhill ερευνήσε τις λεπτομέρειες των εναλλακτικών στρατηγικών ζευγαρώματος των αρσενικών και τις οικολογικές συνθήκες που συνδέονται με καθεμιά από αυτές. Σε μια από τις πιο βασικές μελέτες του, αναρωτήθηκε αν υπάρχει διαφορά στην επιτυχία ζευγαρώματος μεταξύ των αρσενικών που χρησιμοποιούν διαφορετικές στρατηγικές. Ο Thornhill δημιούργησε ένα κλειστό περιβάλλον όπου μπορούσε να ελέγξει τη διαθεσιμότητα των νεκρών αρθροπόδων και τον αριθμό των αρσενικών *Panorpa* που ανταγωνίζονταν γι' αυτά. Εγκατέστησε 12 παρόμοια περιβάλλοντα σε «terrariums» χωρητικότητας 10 γαλονιών. Τοποθέτησε μέσα σε καθένα από τα «terrariums» 6 νεκρούς γρύλους, 2 μεγάλους, 2 μεσαίους και 2 μικρούς, και πρόσθεσε 12 αρσενικά *P. latipennis* στο καθένα τους. Η επίθεση των αρσενικών στους γρύλους, που άρχισε αμέσως μετά την εισαγωγή τους, τελείωσε ύστερα από περίπου τρεις ώρες. Εκείνη την ώρα καθένας από τους γρύλους είχε κερδηθεί από ένα και μοναδικό αρσενικό, το οποίο στεκόταν κοντά στο αντίστοιχο βραβείο και εξέκρινε φερομόνη. Η πλειονότητα των υπόλοιπων 6 αρσενικών εξέκρινε μια μάζα σάλιου, την οποία φύλαγαν ενώ εξέκριναν φερομόνες. Τελικά, μερικά αρσενικά δεν είχαν καμία γαμήλια προσφορά.

Αφού ο ανταγωνισμός των αρσενικών *Panorpa* για την

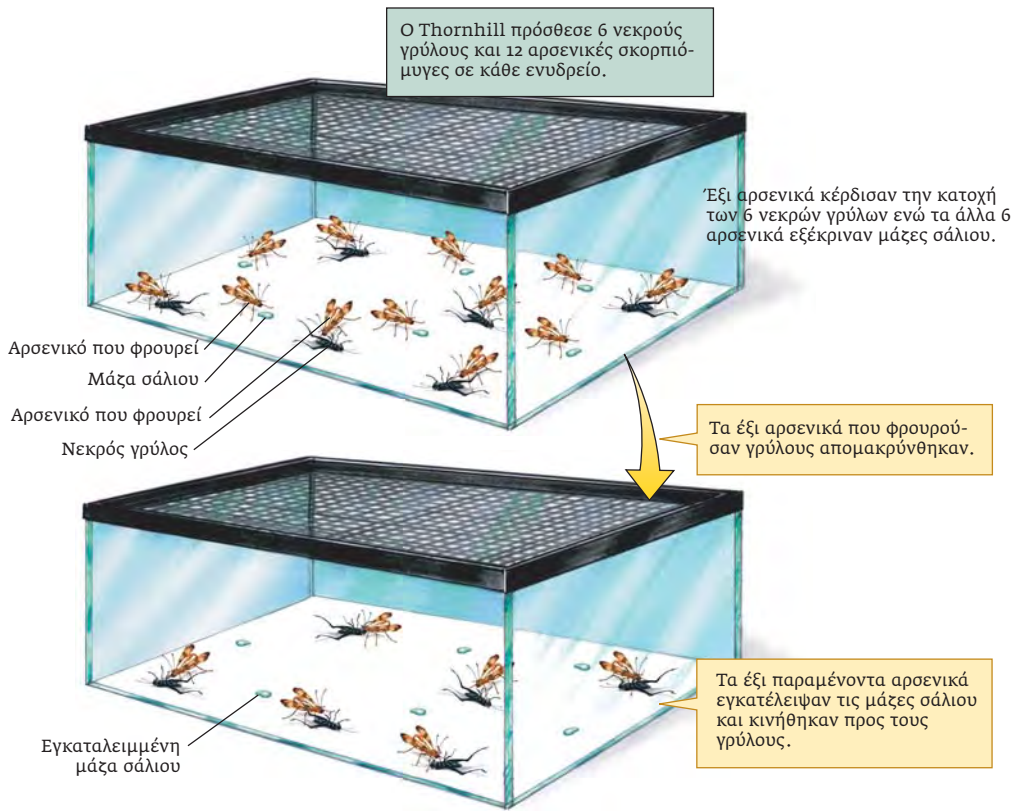


Εικόνα 7.10 Επίδραση των εναλλακτικών γαμήλιων προσφορών στην επιτυχία ζευγαρώματος των αρσενικών σκορπιόμυγων *Panorpa latipennis* (στοιχεία από Thornhill 1981).

κατοχή των νεκρών γρύλων είχε κριθεί, ο Thornhill εισήγαγε 12 θηλυκά και κατέγραψε τη δραστηριότητα ζευγαρώματος μια φορά ανά ώρα για 3 ώρες. Στα 12 «terrariums» υπήρχαν 144 αρσενικά *Panorpa* και 144 θηλυκά. Από τα αρσενικά, τα 72 πήραν γρύλους στην κατοχή τους, τα 45 είχαν εκκρίνει μάζες σάλιου, και τα 27 δεν είχαν καμία γαμήλια προσφορά. Πώς διέφερε η επιτυχία ζευγαρώματος μεταξύ αυτών των ομάδων αρσενικών; Το σχήμα της Εικόνας 7.10 δείχνει ότι τα αρσενικά με έναν μεσαίο ή μεγάλο γρύλο ως γαμήλια προσφορά είχαν σαφές πλεονέκτημα έναντι αυτών που πρόσφεραν στα θηλυκά έναν μικρό γρύλο, μια μάζα σάλιου ή κανένα γαμήλιο δώρο.

Ποιο κέρδος έχουν τα θηλυκά ζευγαρώνοντας με αρσενικά τα οποία προσφέρουν μεγαλύτερα αρθρόποδα; Ένα από τα πιο φανερά οφέλη είναι ότι τα θηλυκά, που τρέφονται με τα αρθρόποδα που προσφέρονται από τα αρσενικά, δεν θα αναζητήσουν τροφή για τον εαυτό τους και έτσι αποφεύγουν τον κίνδυνο να φαγωθούν από τις αράχνες ή άλλους θηρευτές καθώς αυτές πετούν στον υπόροφο του δάσους. Επιπλέον η διατροφή με αυτές τις μεγαλύτερες γαμήλιες προσφορές δίνει στα θηλυκά ένα αναπαραγωγικό πλεονέκτημα. Ο Thornhill έδειξε ότι ο ρυθμός εναπόθεσης αυγών είναι υψηλότερος μεταξύ των θηλυκών που ζευγαρώνουν με αρσενικά που τους παρέχουν θήραμα αρθροπόδων σε σχέση με τα θηλυκά που ζευγαρώνουν με τα αρσενικά που προσφέρουν μόνο σάλιο. Εντωμεταξύ, τα θηλυκά που ζευγάρωσαν με τα αρσενικά που δεν είχαν καμία προσφορά γέννησαν πολύ λίγα αυγά. Τι δημιούργησε αυτή την αντίθεση μεταξύ των θηλυκών που ζευγάρωσαν με αρσενικά που είχαν διαφορετικά γαμήλια δώρα; Τα αποτελέσματα του Thornhill απεικονίζουν πιθανώς τη μεγαλύτερη θρεπτική ωφέλεια του θηράματος των αρθροπόδων ως προς το σάλιο και την έλλειψη μιας θρεπτικής συμβολής από τα αρσενικά χωρίς δώρα.

Στη συνέχεια, ο Thornhill αναρωτήθηκε ποιοι παράγο-

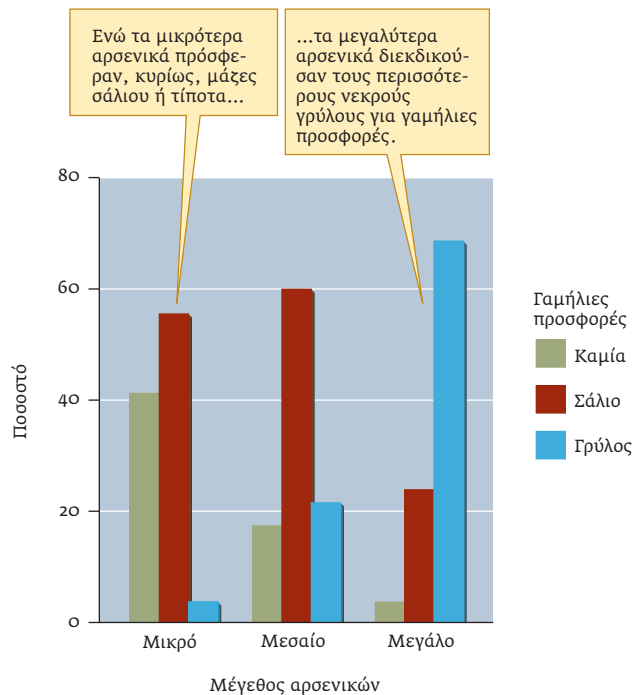


Εικόνα 7.11 Πειραματικός έλεγχος της επίδρασης των γαμήλιων προσφορών στην επιτυχία ζευγαρώματος των αρσενικών σκορπιόμυγων (πληροφορίες από Thornhill 1981).

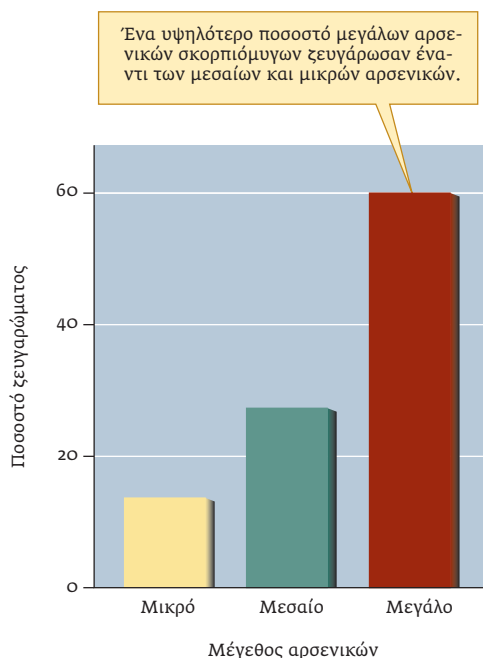
ντες καθορίζουν αν τα αρσενικά ανταγωνίζονται επιτυχώς για τις προσφορές αρθροπόδων ή καταφεύγουν στις εναλλακτικές λύσεις της προσφοράς μάζας σάλιου ή κανενός γαμήλιου δώρου. Μια από τις πιο βασικές ερωτήσεις που θα μπορούσε κανείς να θέσει είναι αν τα αρσενικά προσηλώνονται σε ιδιαίτερες συμπεριφορές. Δηλαδή, αν τα αρσενικά που δεν ανταγωνίστηκαν επιτυχώς για την κατοχή ενός νεκρού αρθροπόδου θα προσεγγίσουν στη συνέχεια ένα από αυτά, θα το πάρουν υπό την κατοχή τους και θα διαφημίσουν το απόκτημά τους με την έκκριση της φερορμόνης. Ο Thornhill αντιμετώπισε αυτή την ερώτηση με μια σειρά από ελεγχόμενα πειράματα με τα κλειστά αυτά συστήματα. Πάλι τοποθέτησε 6 γρύλους, όλους μεσαίου μεγέθους, σε καθένα από τα 12 «terrariums» και πρόσθεσε 12 αρσενικά *Panorpa* σε καθένα από αυτά. Όπως στα προηγούμενα πειράματα, 6 από τα αρσενικά πήραν στην κατοχή τους 6 νεκρούς γρύλους σε κάθε ενυδρείο, αφήνοντας 6 αρσενικά χωρίς αρθρόποδα. Πάλι, τα αρσενικά χωρίς αρθρόποδα εξέκριναν μάζα σάλιου δίπλα από την οποία στάθηκαν καθώς εξέκριναν φερορμόνη. Σε αυτό το σημείο ο Thornhill απομάκρυνε όλα τα αρσενικά που είχαν γρύλους σε όλα τα «terrariums». Μέσα σε μισή ώρα περίπου, σχεδόν όλα τα υπόλοιπα αρσενικά κινήθηκαν από τις μάζες σάλιου στους διαθέσιμους γρύλους και εξέκριναν φερορμόνη (Εικόνα 7.11). Επομένως, φαίνεται ότι όταν τους δοθεί η ευκαιρία τα αρσενικά *Panorpa* θα πάρουν στην κατοχή τους και θα περιφρουρήσουν τα νεκρά αρθρόποδα.

Ποιοι παράγοντες καθορίζουν αν το αρσενικό *Panorpa* θα είναι ικανό να απαιτήσει με επιτυχία ένα νεκρό αρθρόποδο σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον; Τα αρσενικά που ανταγωνίζονται πάνω από ένα νεκρό αρθρόποδο συνήθως κάνουν πρώτα μια επίδειξη το ένα στο άλλο. Ωστόσο, οι οπτικές επιδείξεις συχνά γρήγορα κλιμακώνονται με χτυπήματα στο

κεφάλι και μαστιγώματα του ενός επί του άλλου με το σκορπιοειδές γεννητικό τους σύστημα, που είναι εφοδιασμένο με ένα ζευγάρι κοφτερών γεννητικών εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα της αρσενικής σκορπιόμυγας είναι ικανά να κόψουν τα φτερά ή άλλα μέρη του σώματος ενός αντιπάλου. Κατά συνέ-



Εικόνα 7.12 Ο τύπος της γαμήλιας προσφοράς έχει σημαντική επίδραση στην επιτυχία ζευγαρώματος στις αρσενικές σκορπιόμυγες (στοιχεία από Thornhill 1981).



Εικόνα 7.13 Το μέγεθος των αρσενικών σκορπιόμυγων έχει σημαντική επίδραση στην επιτυχία ζευγαρώματος στις αρσενικές σκορπιόμυγες (στοιχεία από Thornhill 1981).

πεια, αυτές οι μάχες πάνω από τα νεκρά έντομα μπορεί να αποβούν επικίνδυνες και για τους δύο αντιπάλους. Επειδή το μέγεθος του σώματος των αρσενικών ποικίλλει ευρέως μέσα στους πληθυσμούς και η επίθεση των αρσενικών πάνω από τα νεκρά αρθρόποδα περιλαμβάνει συχνά απευθείας μάχη, ο Thornhill υποστήριξε ότι τα μεγαλύτερα αρσενικά θα είναι πιο επιτυχημένα ως ανταγωνιστές για τα αρθρόποδα.

Ο Thornhill διερεύνησε τη σχέση του μεγέθους των αρσενικών με τη δυνατότητά τους ν' ανταγωνίζονται για την απόκτηση και την κατοχή του θηράματος αρθροπόδων κάνοντας ένα άλλο πείραμα. Αυτή τη φορά διεξήγαγε το πείραμά του σε δεκατέσσερις μεγαλύτερες 3' x 3' x 3' περιφράξεις, με οθόνες που τοποθέτησε έξω στο έδαφος του δάσους της περιοχής μελέτης του. Επειδή οι περιφράξεις δεν είχαν πάτωμα περιέκλεισαν ακριβώς μια περιοχή 9 τετραγωνικών ποδιών της ποώδους βλάστησης που αναπτυσσόταν στο δασικό έδαφος. Στην πραγματικότητα περιέκλεισαν ένα κομμάτι του βιότοπου της σκορπιόμυγας. Ο Thornhill έβαλε από 4 γρύλους στις επτά περιφράξεις και από 2 στις άλλες επτά. Έπειτα πρόσθεσε 10 αρσενικές και 10 θηλυκές σκορπιόμυγες σε καθεμία από τις περιφράξεις ώστε οι πυκνότητες να είναι παρόμοιες με τις φυσικές πυκνότητες των πληθυσμών. Τα αρσενικά σε κάθε περίφραξη ήταν 3 μεγάλα αρσενικά (55-64 mg), 4 μεσαία αρσενικά (42-53 mg), και 3 μικρά αρσενικά (33-41 mg). Επειδή οι σκορπιόμυγες είναι νυχτόβιες, ο Thornhill τις παρακολούθησε από το ηλιοβασιλέμα ως την ανατολή με εξοπλισμό νυχτερινής όρασης. Οι παρατηρήσεις συνεχίστηκαν κάθε νύχτα για μια εβδομάδα, στη διάρκεια της οποίας ο Thornhill πρόσθετε περιοδικά φρέσκους νεκρούς γρύλους και αντικαθιστούσε όποια θηλυκή ή αρσενική σκορπιόμυγα πέθαινε με νέα άτομα για να κρατήσει τις πυκνότητες πληθυσμών σταθερές.

Τα αποτελέσματα του πειράματος πεδίου επιβεβαίωσαν την υπόθεση ότι κατά τη διάρκεια του ανταγωνισμού για τα νεκρά αρθρόποδα τα μεγαλύτερα αρσενικά έχουν ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τα μικρότερα αρσενικά. Το σχήμα της Εικόνας 7.12 συγκρίνει τις γαμήλιες προσφορές των μικρών, των



Εικόνα 7.14 Το άγριο ραπάνι *Raphanus sativus* έγινε ένα μοντέλο για τη μελέτη της συμπεριφοράς του ζευγαρώματος στα φυτά.

μεσαίων και των μεγάλων αρσενικών στις περιφράξεις με 2 γρύλους. Ενώ τα περισσότερα μικρά αρσενικά είτε δεν είχαν καμία προσφορά ή είχαν μια μάζα σάλιου, τα μεσαία αρσενικά γενικά πρόσφεραν μάζες σάλιου και περιστασιακά ανταγωνίζονταν επιτυχώς για ένα γρύλο. Αντίθετα, τα μεγάλα αρσενικά πρόσφεραν γενικά στα θηλυκά ένα γρύλο και μόνο περιστασιακά πρόσφεραν σάλιο ή δεν είχαν καμία γαμήλια προσφορά.

Η μελέτη του Thornhill αποκάλυψε τον υφιστάμενο μηχανισμό ποικιλομορφίας μεταξύ των αρσενικών ως προς την ικανότητά τους να ανταγωνιστούν για γαμήλιες προσφορές. Τα μεγαλύτερα αρσενικά είναι πιο πιθανό να υπερασπίσουν επιτυχώς τις διαθέσιμες προσφορές αρθροπόδων λόγω των πλεονεκτημάτων τους στις επιθετικές αναμετρήσεις. Τώρα, η διαφορά στις γαμήλιες προσφορές μεταφράζεται άραγε σε διαφορετική επιτυχία ζευγαρώματος μεταξύ των αρσενικών; Η απάντηση δίνεται στο σχήμα της Εικόνας 7.13, το οποίο παρουσιάζει το ποσοστό ζευγαρώματος που παρατηρήθηκε από τον Thornhill στα κλουβιά με 2 γρύλους. Τα μεγάλα αρσενικά συμμετείχαν κατά 60% στα παρατηρηθέντα ζευγαρώματα σε σχέση με το 27% για τα μεσαία αρσενικά και με το 13% για τα μικρά αρσενικά. Σαφώς, η δυνατότητα των μεγάλων αρσενικών να υπερασπίσουν την υψηλή ποιότητα γαμήλιων προσφορών μεταφράζεται άμεσα σε μεγαλύτερη επιτυχία ζευγαρώματος.

Τώρα ας αφήσουμε τα ζώα και ας δούμε τα φυτά. Αν και γνωρίζουμε πολύ λιγότερα για τη συμπεριφορά των φυτών, φαίνεται ότι η αναπαραγωγική οικολογία τους περιλαμβάνει επίσης δυνατότητες για την επιλογή συντρόφων και τη σεξουαλική επιλογή. Ένα από τα καλύτερα μελετημένα συστήματα ζευγαρώματος στα φυτά είναι αυτό του άγριου ραπανιού *Raphanus sativus*.

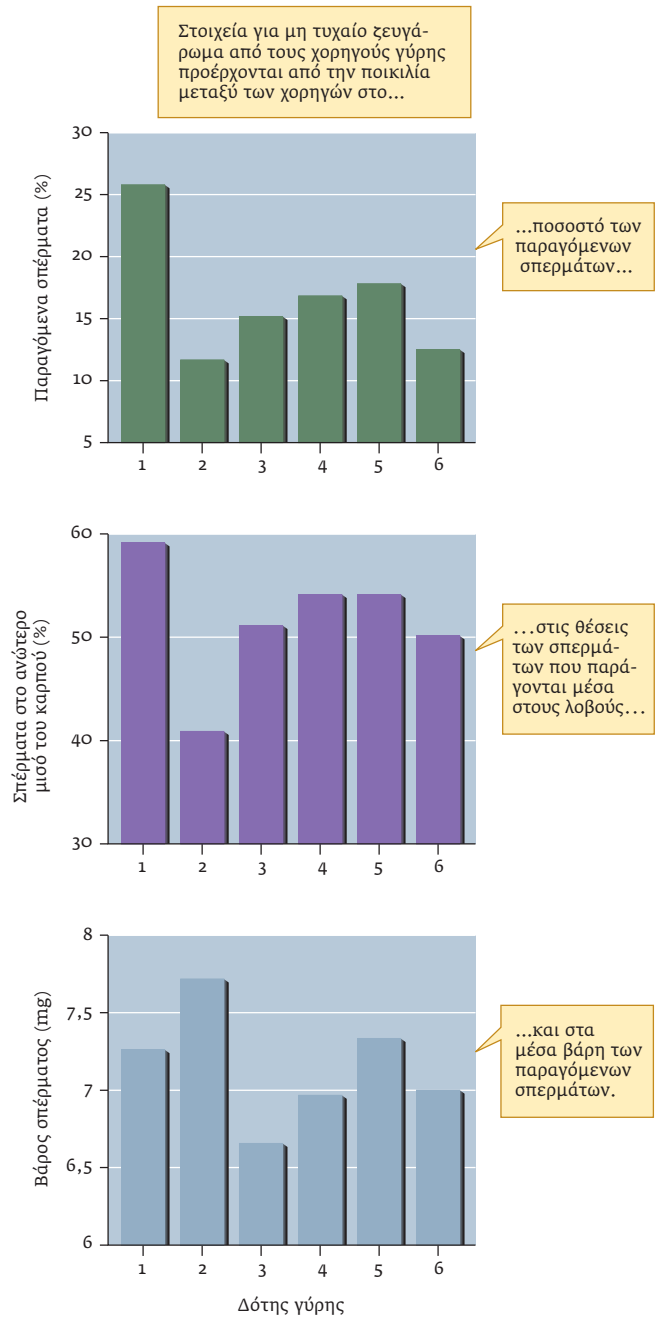
Μη τυχαίο ζευγάρωμα στο άγριο ραπάνι

Το άγριο ραπάνι ευδοκίμει σαν μονοετές ζιζάνιο στην Καλιφόρνια, όπου μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί συχνά κατά μήκος των οδοστρωμάτων και σε εγκαταλειμμένους αγρούς (Εικόνα 7.14). Οι σπόροι του άγριου ραπανιού βλαστάνουν μετά τις πρώτες βροχές του χειμώνα του μεσογειακού κλίματος της Καλιφόρνιας (βλ. Εικόνα. 2.22) και τα φυτά ανθίζουν από τον Ιανουάριο. Η άνθιση μπορεί να συνεχιστεί ως αργά την άνοιξη ή τις πρώτες μέρες του καλοκαιριού, ανάλογα με τη διάρκεια της υγρής εποχής. Κατά τη διάρκεια της άνθισής τους, τα άγρια ραπάνια επικονιάζονται από μια ευρεία ποικιλία εντόμων, συμπεριλαμβανομένων των μελισσών, των μυγών της οικογένειας Syrphidae (βλ. Εικόνα. 6.13b) και των πεταλούδων. Τα έντομα που επικονιάζουν το άγριο ραπάνι φτάνουν γενικά στα άνθη μεταφέροντας γύρη από πολλά διαφορετικά φυτά, και ως συνέπεια ένα άγριο φυτό ραπανιού έχει τυπικά περί τους επτά συντρόφους. Τα άνθη των άγριων ραπανιών έχουν και το αρσενικό (**στήμονες**) και το θηλυκό (**ύπερος**) μέρος και παράγουν γύρη και ωάρια. Εντούτοις, ένα άγριο φυτό ραπανιού δεν μπορεί να επικονιαστεί μόνο του, μια κατάσταση που λέγεται **αυτοασυμβατότητα**. Επειδή πρέπει να ζευγαρώσουν με άλλα φυτά, ένας ερευνητής που εργάζεται πάνω στο άγριο ραπάνι μπορεί πιο εύκολα να ελέγξει το ζευγάρωμα μεταξύ των φυτών.

Ένας τέτοιος ερευνητής, η Diane Marshall, εξέτασε αν η δημιουργία των απογόνων στο άγριο ραπάνι είναι μια τυχαία διαδικασία. Με άλλα λόγια, οι επτά σύντροφοι ενός τυπικού άγριου φυτού ραπανιού έχουν ίση πιθανότητα γονιμοποίησης των διαθέσιμων ωαρίων; Το εναλλακτικό, μη τυχαίο ζευγάρωμα, θα υποδείκνυε τη δυνατότητα επιλογής συντρόφων και τη σεξουαλική επιλογή. Ποιοι μηχανισμοί θα μπορούσαν να προκαλέσουν το μη τυχαίο ζευγάρωμα μεταξύ των φυτών του άγριου ραπανιού; Το μη τυχαίο ζευγάρωμα θα μπορούσε να προκύψει από τον μητρικό έλεγχο πάνω στη διαδικασία της γονιμοποίησης, από τον ανταγωνισμό μεταξύ της γύρης ή από συνδυασμό των δύο διαδικασιών. Αν εμφανίζεται στα φυτά μη τυχαίο ζευγάρωμα, αυτό δημιουργεί τις απαραίτητες συνθήκες για σεξουαλική επιλογή στα φυτά. Εντούτοις, όπως επισήμαναν οι Diane Marshall και Michael Folsom (1991), αν και η σεξουαλική επιλογή είναι καλά τεκμηριωμένη στα ζώα, η ύπαρξή της μεταξύ των φυτών παραμένει αμφισβητούμενο και ανοιχτό θέμα.

Ενώ η ύπαρξη της σεξουαλικής επιλογής στα φυτά παραμένει αμφισβητούμενη, το μη τυχαίο ζευγάρωμα είναι καλά τεκμηριωμένο. Η Marshall και οι συνεργάτες της έχουν καταδείξει επανειλημμένα μη τυχαίο ζευγάρωμα στο άγριο ραπάνι. Για παράδειγμα, η Marshall (1990) πραγματοποίησε πειράματα θερμοκηπίου τα οποία έδειξαν μη τυχαίο ζευγάρωμα μεταξύ 3 μητρικών φυτών και 6 χορηγών γύρης. Σε αυτό το πείραμα, η Marshall ζευγάρωσε 3 γονείς σπερμάτων ή μητρικά φυτά με 6 χορηγούς γύρης, δηλαδή τα φυτά που θα ενεργούσαν ως πηγές γύρης για να επικονιάσουν τα άνθη των φυτών που παράγουν σπέρματα.

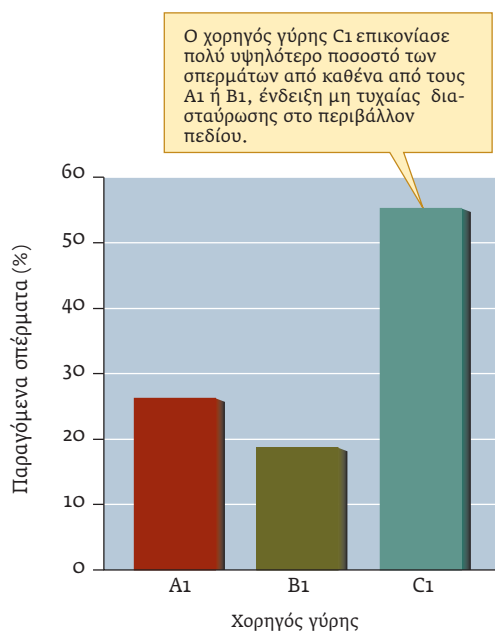
Η Marshall χρησιμοποίησε τους 6 δότες γύρης για να κάνει 63 είδη διασταυρώσεων, 6 διασταυρώσεις ενός δότη συν 57 διασταυρώσεις από αναμειγμένους δότες σε κάθε μητρικό φυτό. Οι διασταυρώσεις της περιέλαβαν όλα τα πιθανά μεγέθη γύρης από 1 έως 6 δότες. Τα φυτά επικονιάστηκαν μέσα στο θερμοκήπιο με το χέρι. Όλες οι επικονιάσεις εκτελέστηκαν σε πρόσφατα ανοιγμένα άνθη το πρωί, όταν η ατμόσφαιρα ήταν αρκετά δροσερή για να εργαστούν άνετα οι ερευνητές. Η γύρη συλλέχθηκε χτυπώντας ελαφριά τα άνθη στο εσωτερικό



Εικόνα 7.15 Στοιχεία για την άνιση επιτυχία ζευγαρώματος μεταξύ των χορηγών γύρης, στα άγρια ραπάνια, σε περιβάλλον θερμοκηπίου (στοιχεία από Marshall 1990).

μικρών καψών petri από έναν ίσο αριθμό λουλουδιών από καθένα δότη γύρης. Η γύρη στη συνέχεια αναμείχθηκε και εφαρμόστηκε στα στίγματα των ανθέων στα μητρικά φυτά χρησιμοποιώντας λαβίδες τυλιγμένες σε λεπτό ύφασμα. Εφαρμόστηκε ικανοποιητική ποσότητα γύρης για να καλύψει κάθε στίγμα. Επειδή κάθε διασταύρωση επαναλήφθηκε από 2 έως 20 φορές, ανάλογα με τον τύπο της διασταύρωσης, ο συνολικός αριθμός των επικονιάσεων που διενεργήθηκαν σε καθένα από τα φυτά ήταν 300.

Ένας από τους τρόπους που η Marshall αξιολόγησε τη δυνατότητα του μη τυχαίου ζευγαρώματος ήταν μέσω της απόδοσης των δότην γύρης. Υπολόγισε την απόδοση χορηγών γύρης με τρεις τρόπους: 1. με τον αριθμό των σπερμάτων που δημιουργούνται στις μεικτές επικονιάσεις· 2. με τις θέσεις



Εικόνα 7.16 Ποικιλία στην επιτυχία ζευγαρώματος στους χορηγούς γύρης, στα άγρια ραπάνια, σε περιβάλλον πεδίου (στοιχεία από Marshall και Fuller 1994).

των σπερμάτων που δημιουργήθηκαν· 3. με το βάρος των σπερμάτων που δημιουργήθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρουσιάζονται στο σχήμα της Εικόνας 7.15, όπου φαίνεται καθαρά ότι οι δότες της γύρης ποικίλλουν ευρέως στην απόδοσή τους. Με άλλα λόγια, το ζευγάρι σε αυτό το πείραμα δεν ήταν τυχαίο.

Επειδή η Marshall πραγματοποίησε τη μελέτη της το 1990 κάτω από συνθήκες θερμοκηπίου, μπορούμε να ρωτήσουμε αν το μη τυχαίο ζευγάρι εμφανίζεται επίσης κάτω από συνθήκες πεδίου. Με άλλα λόγια, θα μπορούσε το μη τυχαίο ζευγάρι που τεκμηρίωσε να ήταν αποτέλεσμα των συνθηκών του θερμοκηπίου; Η Marshall και ο Ollar Fuller (Marshall και Fuller 1994) σχεδίασαν μια μελέτη για να απαντήσουν σε αυτό το ερώτημα. Γιατί το μη τυχαίο ζευγάρι να περιορίζεται στο περιβάλλον του θερμοκηπίου; Οι Marshall και Fuller επισημαίνουν ότι τα σκληρά και ποικίλα περιβάλλοντα στα οποία εκτίθενται τα φυτά στη φύση μπορεί να σημαίνουν ότι οι συνθήκες των μητρικών φυτών μπορεί να είναι καθοριστικής σημασίας στον προσδιορισμό του αριθμού των σπερμάτων που παράγονται, το βάρος των σπερμάτων, και ούτω καθεξής. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, η μη τυχαία επικονίαση που προκαλεί τις διαφορές στο βάρος των σπερμάτων στο θερμοκήπιο μπορεί να είναι μη ανιχνεύσιμη και βιολογικά ασήμαντη.

Οι Marshall και Fuller επέλεξαν τέσσερα μητρικά φυτά και ανέπτυξαν τους απογόνους τους στις εγκαταστάσεις ενός αγρού. Επιλέχτηκαν τρεις άλλες μητρικές σειρές (A, B, C) για να λειτουργήσουν σαν δότες γύρης. Στο πεδίο, τα μητρικά φυτά καλύφθηκαν με νάιλον σακούλες λεπτού πλέγματος μέχρι να ολοκληρωθούν οι πειραματικές επικονιάσεις. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των λαβίδων και του λεπτού υφάσματος που περιγράφηκε παραπάνω, οι Marshall και Fuller εκτέλεσαν αρκετά είδη επικονιάσεων με το χέρι, συμπεριλαμβανομένων μεικτών επικονιάσεων με τη χρήση γύρης και από τους τρεις δότες γύρης. Όταν οι επικονιάσεις που έγιναν με το χέρι ολοκληρώθηκαν, οι νάιλον σακούλες λεπτού πλέγματος αφαιρέθηκαν από τα άνθη.

Το αποτέλεσμα αυτού του πειράματος παρείχε σαφή υπο-

στήριξη για το μη τυχαίο ζευγάρι στους πληθυσμούς της υπαίθρου. Το σχήμα της Εικόνας 7.16 δείχνει ότι κατά τη διάρκεια των επικονιάσεων των δότην μεικτής γύρης ο δότης γύρης C1 (56,5%) παρήγαγε πολύ μεγαλύτερη αναλογία σπερμάτων σε σχέση με το δότη γύρης A1 (24,8%) και B1 (18,7%). Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μη τυχαίο ζευγάρι που παρατηρήθηκε στις προηγούμενες μελέτες επικονίασης στο θερμοκήπιο δεν ήταν αποτέλεσμα των συνθηκών του θερμοκηπίου.

Ενώ οι οικολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των φυτών είναι συχνά πολύ λιγότερο εμφανείς από εκείνες των ζώων, τα προσεκτικά και έξυπνα πειράματα όπως εκείνα της Marshall και των συνεργατών της αποδεικνύουν ότι κάθε μέρος είναι πλούσιο και συναρπαστικό.

Σε αυτή την ενότητα είδαμε πώς οργανισμοί τόσο διαφορετικοί, όπως τα ψάρια, τα έντομα και τα φυτά, ανταγωνίζονται και επιλέγουν τους συντρόφους. Ενώ ο ανταγωνισμός για τους συντρόφους μπορεί να είναι έντονος, η μεγάλη πλειονότητα των ώριμων θηλυκών στους περισσότερους πληθυσμούς ζευγαρώνει και μπορεί επίσης να ζευγαρώνει ένα μεγάλο ποσοστό των αρσενικών. Ωστόσο στους πληθυσμούς που έχουν αναπτύξει υψηλό βαθμό κοινωνικότητας, οι ευκαιρίες για ζευγάρι είναι συχνά περιορισμένες σε σχετικά λίγα άτομα.

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ, το μέλλον του είδους μας εξαρτάται από το πόσο καλά κατανοούμε τις σχέσεις μεταξύ των οργανισμών και του περιβάλλοντος. Το βιβλίο του Manuel C. Molles Jr. μας εισάγει στη συναρπαστική επιστήμη της Οικολογίας. Δεν αποσκοπεί να δώσει απλώς στον φοιτητή και τον εκπαιδευτικό κάποιες οικολογικές γνώσεις αλλά να τους παρουσιάσει την ιστορική διαδρομή τους, τις προσπάθειες και τα επιστημονικά πειράματα που τις τεκμηριώσαν, και να δείξει πώς οι αφηρημένες ιδέες και οι γενικές σχέσεις μπορούν να εφαρμοστούν στα οικολογικά προβλήματα. Στα είκοσι τρία κεφάλαιά του περιγράφονται και αναλύονται όλοι οι τομείς της Οικολογίας –από την επίδραση των οικολογικών παραγόντων στους οργανισμούς και τους πληθυσμούς έως τη δομή και τη λειτουργία των βιοκοινοτήτων και των οικοσυστημάτων–, καθώς και η πλανητική οικολογία. Βιβλίο απαραίτητο για τους σπουδαστές της Οικολογίας και των Βιολογικών Επιστημών, καθώς και για τους διδάσκοντες του κλάδου αυτού.

Ο **Δρ Manuel C. Molles Jr.** είναι Ομότιμος Καθηγητής Βιολογίας στο Πανεπιστήμιο του New Mexico. Είναι επίσης Επισκέπτης Καθηγητής στο Τμήμα Ζωολογίας του Πανεπιστημίου της Coimbra στην Πορτογαλία, στο εργαστήριο της Υδροβιολογίας του Πολυτεχνικού Πανεπιστημίου της Μαδρίτης και στον Βιολογικό Σταθμό της Λίμνης Flathead του Πανεπιστημίου της Montana.



ISBN 978-960-455-535-2



ΒΟΗΘ. ΚΩΔ. ΜΗΧ/ΣΗΣ 4535