

Περιεχόμενα

Λίστα Συνεργατών *xi*

Πρόλογος στην Τρίτη Έκδοση *xiii*

Πρόλογος στη Δεύτερη Έκδοση *xv*

Πρόλογος στην Πρώτη Έκδοση *xvii*

Πρόλογος Ελληνικής Έκδοσης *xix*

Ευχαριστίες *xxi*

1. Εισαγωγή 1

John S. Lucas

- 1.1 Τι είναι και τι δεν είναι Υδατοκαλλιέργεια, 1
- 1.2 Η προέλευση της Υδατοκαλλιέργειας και της Γεωργίας, 3
- 1.3 Υδατοκαλλιέργεια και Παραγωγή από Συλλεκτική Αλιεία, 6
- 1.4 Η Αποτελεσματικότητα της Υδατοκαλλιέργειας στην Παραγωγή Τροφίμων, 10
- 1.5 Έχει Υπάρξει η 'Γαλάζια' Επανάσταση; 12
- 1.6 Οι Μεγάλοι Παραγωγοί, 14
- 1.7 Κίνα, 16
- 1.8 Ζητήματα για τις Αναπτυγμένες Χώρες, 18
- 1.9 Μια Αλληγορία, 20
- 1.10 Η Ποικιλομορφία της Υδατοκαλλιέργειας, 21
- 1.11 Ενίσχυση και Αποκατάσταση Αλιευτικών Αποθεμάτων, 22
- 1.12 Περίληψη, 23
Βιβλιογραφία 24

2. Αρχές της Υδατοκαλλιέργειας 25

Paul C. Southgate και John S. Lucas

- 2.1 Εισαγωγή, 25
- 2.2 Ένταση της Υδατοκαλλιέργειας, 25
- 2.3 Πολυκαλλιέργεια, 29
- 2.4 Ολοκληρωμένα Συστήματα Αγρο-Υδατοκαλλιέργειας, 33
- 2.5 Στατικά, Ανοιχτά, Ημίκλειστα και Ανακυκλούμενα (Κλειστά) Συστήματα, 34
- 2.6 Επιλογή Νέου Είδους για Καλλιέργεια, 38
- 2.7 Ανάπτυξη Νέας Καλλιέργειας ή Νέων Καλλιεργούμενων Ειδών, 43
- 2.8 Μελέτες Περιπτώσεων, 46
- 2.9 Περίληψη, 54
Βιβλιογραφία, 55

3. Σχεδιασμός Συστημάτων Υδατοκαλλιέργειας 57

Igor Pirozzi, Paul C. Southgate και John S. Lucas

- 3.1 Εισαγωγή, 57
- 3.2 Επιλογή Τοποθεσίας και Ανάπτυξη, 57
- 3.3 Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας, 60
- 3.4 Υδραυλικές Εγκαταστάσεις και Αντλίες, 78
- 3.5 Συστήματα Εκκολαπτηρίου, 85
- 3.6 Περίληψη, 87
Βιβλιογραφία, 88

4. Ποιότητα νερού 89

Claude E. Boyd και Craig S. Tucker

- 4.1 Εισαγωγή, 89
- 4.2. Παράμετροι της Ποιότητας του Νερού, 89
- 4.3. Επίδραση της Ποιότητας του Νερού στα Υδρόβια Ζώα, 105
- 4.4. Διαχείριση της Ποιότητας του Νερού σε Λιμνοδεξαμενές, 113
- 4.5. Απόβλητα, 130
- 4.6. Περίληψη, 132
Βιβλιογραφία, 133

5. Χρήση Πόρων και Περιβάλλον 135

Claude E. Boyd, Aaron A. Mc Nevin και Craig S. Tucker

- 5.1 Εισαγωγή, 135
- 5.2 Επισκόπηση της Χρήσης των Πόρων και Περιβαλλοντικά Ζητήματα, 136
- 5.3 Χρήση Γης, 140
- 5.4 Χρήση Νερού, 143
- 5.5 Χρήση Ενέργειας, 146
- 5.6 Χρήση Ιχθυοτροφών, 147

- 5.7 Χημικές Ουσίες, 151
- 5.8 Ρύπανση των Νερών, 154
- 5.9 Βέλτιστες Πρακτικές Διαχείρισης, 159
- 5.10 Υπεράσπιση του Περιβάλλοντος στην Υδατοκαλλιέργεια, 161
- 5.11 Περίληψη, 162
Βιβλιογραφία, 163

6. Αναπαραγωγή, Κύκλοι Ζωής και Αύξηση 165

John S. Lucas και Paul C. Southgate

- 6.1 Εισαγωγή, 165
- 6.2 Φυσιολογία της Αναπαραγωγής, 165
- 6.3 Κύκλοι ζωής, 170
- 6.4 Αύξηση, 177
- 6.5 Περίληψη, 184
Βιβλιογραφία, 185

7. Γενετική 187

Rex Dunham

- 7.1 Εισαγωγή, 187
- 7.2 Βασική Γενετική, 188
- 7.3 Επιγενετική, 191
- 7.4 Προσαρμογή και Αξιολόγηση Σειρών, 191
- 7.5 Επιλογή, 193
- 7.6 Ενδογαμία και Διατήρηση Γενετικής Ποικιλότητας, 201
- 7.7 Διασταύρωση και Υβριδισμός, 201
- 7.8 Χρωμοσωμικές Τεχνικές, 207
- 7.9 Ξενογένεση, 215
- 7.10 Γενετική Μηχανική, 216
- 7.11 Γονιδιακή Τροποποίηση, 224
- 7.12 Συνδυάζοντας Προγράμματα Γενετικής Βελτίωσης, 225
- 7.13 Αλληλεπιδράσεις Γονότυπου – Περιβάλλοντος, 226
- 7.14 Μελλοντικές Εξελίξεις, 227
- 7.15 Περίληψη, 227
Βιβλιογραφία, 228

8. Διατροφή και Τροφές 229

Lou D'Abramo

- 8.1 Εισαγωγή, 229
- 8.2 Κατανάλωση και Κατανομή της Ενέργειας (Βιοενεργητική), 230
- 8.3 Η Σχέση Μεταξύ Αύξησης και Κατανάλωσης Τροφής, 232
- 8.4 Απαιτήσεις και Μεταβολικές Λειτουργίες

- Θρεπτικών Ουσιών, 234
- 8.5 Πέψη και Αφομοίωση Τροφής, 248
- 8.6 Σύσταση, Παραγωγή και Πεπτικότητα Τροφών, 250
- 8.7 Στρατηγικές Διαχείρισης της Διατροφής, 260
- 8.8 Διαχείριση Σίτισης, 263
- 8.9 Αναδυόμενα Ερευνητικά Πεδία, 264
- 8.10 Περίληψη, 265
Βιβλιογραφία, 266

9. Εκκολαπτήρια και Τροφές Προνυμφών 269

Paul C. Southgate

- 9.1 Εισαγωγή, 269
- 9.2 Τροφές για Συστήματα Καλλιέργειας σε Εκκολαπτήρια, 269
- 9.3 Στρατηγική Σίτισης για Καλλιέργειες Προνυμφών, 288
- 9.4 Σύνθετες Τροφές Εκκολαπτηρίων, 290
- 9.5 Ανάπτυξη Μικροδιαιτών για Προνύμφες Ψαριών, 291
- 9.6 Συγκομιδή Φυσικού Πλαγκτού, 293
- 9.7 Λίπανση Λιμνοδεξαμενών ως Πηγή Τροφής για Υδατοκαλλιέργειες, 294
- 9.8 Περίληψη, 296
Βιβλιογραφία, 297

10. Θεμελιώδεις Αρχές Ασθενειών 299

Leigh Owens

- 10.1 Εισαγωγή στις Ασθένειες, 299
- 10.2 Γενικές Αρχές Μολυσματικών Ασθενειών στην Υδατοκαλλιέργεια, 300
- 10.3 Η Φιλοσοφία Ελέγχου των Ασθενειών, 302
- 10.4 Τεχνικές Γενικευμένης Διαχείρισης Ασθενειών, 304
- 10.5 Κύριες Ασθένειες, 307
- 10.6 Περίληψη, 320
Βιβλιογραφία, 320

11. Παθογόνα και Παράσιτα 321

Kate S. Hutson και Kenneth D. Cain

- 11.1 Εισαγωγή, 321
- 11.2 Ιοί, 322
- 11.3 Βακτήρια, 330
- 11.4 Μύκητες, 340
- 11.5 Πρωτόζωα, 342
- 11.6 Μυξόζωα, 348

- 11.7 Πλατυέλμινθες, 350
- 11.8 Νηματούδες, 356
- 11.9 Ακανθοκέφαλα, 358
- 11.10 Βδέλλες, 358
- 11.11 Καρκινοειδή, 360
- 11.12 Ιχθυογενείς Ζωονοσογόνοι Παράγοντες και Υδατοκαλλιέργεια 364
- 11.13 Υδροπονία, 367
- 11.14 Περίληψη, 367
Βιβλιογραφία, 368

12. Πρόληψη Ασθενειών με Εμβολιασμό 369

Andrew Barnes

- 12.1 Εισαγωγή, 369
- 12.2 Οδηγός για Αρχάριους στην Ανοσολογία Ψαριών, 371
- 12.3 Εμβολιασμός των Ψαριών, 385
- 12.4 Τύποι Εμβολίων, 386
- 12.5 Οδοί Χορήγησης, 391
- 12.6 Ανοσοενισχυτικά, 394
- 12.7 Εμβολιασμός στην Πράξη, 395
- 12.8 Διαδικασία Έρευνας και Ανάπτυξης Εμπορικών Εμβολίων Ψαριών, 396
- 12.9 Μελλοντικές Τάσεις: Ο Εμβολιασμός στην Εποχή της Γονιδιωματικής, 398
- 12.10 Συμπεράσματα, 399
- 12.11 Περίληψη, 400
Βιβλιογραφία, 401

13. Τεχνολογία και Επεξεργασία μετά τη Συγκομιδή 403

Allan Bremner

- 13.1 Εισαγωγή, 403
- 13.2 Βασικά Χαρακτηριστικά, 404
- 13.3 Ασφάλεια και Υγεία, 404
- 13.4 Πτυχές της Διατροφής, 406
- 13.5 Ισορροπία μεταξύ Ασφάλειας και Διατροφής, 407
- 13.6 Προϊόντα Υδατοκαλλιέργειας και Αλιείας, 407
- 13.7 Συγκομιδή, 408
- 13.8 Μεταφορά Ζωντανών Οργανισμών, 408
- 13.9 Μυϊκή Δομή: Ακαμψία και Υφή, 411
- 13.10 Αναισθητοποίηση και Επεξεργασία Μετά τη Θανάτωση, 413
- 13.11 Επιδράσεις της Διατροφής στο Προϊόν, 419
- 13.12 Προϊόντα για Εξειδικευμένες Αγορές, 420
- 13.13 Γεύσεις και Αλλοιώσεις, 420

- 13.14 Υφή, 422
- 13.15 Έννοιες: Ποιότητα, Φρεσκότητα, Διάρκεια Ζωής Προϊόντος και Δείκτης Ποιότητας, 422
- 13.16 Μικροβιολογία, Ειδικοί Αλλοιογόνοι Μικροοργανισμοί (SSO) και Λοιπές Διαδικασίες Αλλοίωσης, 425
- 13.17 Κατάψυξη και Αποθήκευση, 426
- 13.18 Συσκευασία, 430
- 13.19 Ποιοτικός Έλεγχος, Διασφάλιση Ποιότητας, HACCP και Αξιολόγηση Κινδύνου, 433
- 13.20 Ιχνηλασιμότητα, Ταυτοποίηση και Προέλευση, 436
- 13.21 Κονσερβοποίηση, 437
- 13.22 Κάπνισμα, 438
- 13.23 Περίληψη, 439
Βιβλιογραφία, 439

14. Οικονομικά 441

Clem Tisdell

- 14.1 Εισαγωγή, 441
- 14.2 Κερδοφορία από Επιχειρηματική Σκοπιά (Μοντέλα Εκτροφής), 442
- 14.3 Αγορές και Μάρκετινγκ, 446
- 14.4 Οικονομίες Κλίμακας και Ίδιοι Συντελεστές, 451
- 14.5 Επιτρέποντας και Αντιμετωπίζοντας τον Επιχειρηματικό Κίνδυνο και την Αβεβαιότητα, 455
- 14.6 Οικονομική Αξιολόγηση από Κοινωνική Άποψη, 458
- 14.7 Περίληψη, 461
Βιβλιογραφία, 462

15. Μακροφύκη και Μικροφύκη 463

Μακροφύκη: Nicholas A. Paul και Μικροφύκη: Michael Borowitzka

- 15.1 Γενική Εισαγωγή, 463
- 15.2 Θαλασσομακροφύκη, 463
- 15.3 Μικροφύκη, 484
- 15.4 Περίληψη, 496
Βιβλιογραφία, 497

16. Κυπρίνοι 499

Sena De Silva και Qidong Wang

- 16.1 Εισαγωγή, 499
- 16.2 Βιολογία των Σημαντικών Κυπρίνων στην Υδατοκαλλιέργεια, 504
- 16.3 Τεχνητή Αναπαραγωγή, 517

- 16.4 Διατροφή, 521
- 16.5 Τεχνικές Εκτροφής, 522
- 16.6 Ασθένειες, 531
- 16.7 Γενετική Βελτίωση, 531
- 16.8 Ενίσχυση της Αλιείας μέσω της Εκτροφής (CBF), 532
- 16.9 Συμπεράσματα, 533
- 16.10 Περίληψη, 534
Βιβλιογραφία, 535

17. Σολομοειδή 537

John Purser

- 17.1 Εισαγωγή, 537
- 17.2 Βιολογία, 539
- 17.3 Υδατοκαλλιέργεια Γλυκών Νερών, 543
- 17.4 Θαλάσσια Ιχθυοκαλλιέργεια, 559
- 17.5 Τροφές, 567
- 17.6 Διαλογή και Πυκνότητα Εκτροφής, 571
- 17.7 Ωρίμανση, Αναστροφή Φύλου και Τριπλοειδία, 572
- 17.8 Υγεία των Ψαριών, 575
- 17.9 Εξαλίευση και Προϊόντα, 576
- 17.10 Περιβαλλοντικά Θέματα, 577
- 17.11 Περίληψη, 578
Βιβλιογραφία, 579

18. Τιλάπια 581

Victor Suresh και Ram C. Bhujel

- 18.1 Πρόλογος, 581
- 18.2 Οικογένεια, Είδη και Γενετική Ποικιλομορφία, 584
- 18.3 Οικολογία και Κατανομή, 587
- 18.4 Προσδιορισμός Φύλου και Αναπαραγωγή, 588
- 18.5 Έλεγχος της Αναπαραγωγής, 591
- 18.6 Παραγωγή Ιχθυοιδίων, 593
- 18.7 Διατροφή, Τροφές και Σίτιση, 595
- 18.8 Συστήματα Πάχυνσης, 601
- 18.9 Διαχείριση Ασθενειών, 608
- 18.10 Συγκομιδή, Επεξεργασία και Εμπορία, 611
- 18.11 Περίληψη, 613
Βιβλιογραφία, 614

19. Γατόψαρα 615

*Craig S. Tucker, Aaron A. McNevin,
Les Torrans και Brian Bosworth*

- 19.1 Εισαγωγή, 615

- 19.2 Γατόψαρα της Οικογένειας Pangasiidae, 616
- 19.3 Γατόψαρα της Οικογένειας Ictaluridae, 624
- 19.4 Γατόψαρα της Οικογένειας Clariidae, 639
- 19.5 Περίληψη, 644
Βιβλιογραφία, 645

20. Υδατοκαλλιέργεια Θαλάσσιων Ψαριών 647

*Wade O. Watanabe, Md Shah Alam, Patrick
M. Carroll, Harry V. Daniels και Jeffrey M.
Hinshaw*

- 20.1 Εισαγωγή, 647
- 20.2 Σημασία της Υδατοκαλλιέργειας Θαλάσσιων Ψαριών, 647
- 20.3 Εκκολαπήρια, 650
- 20.4 Συστήματα Εκτροφής - Πάχυνσης, 658
- 20.5 Θρεπτική Αξία και Τροφές, 663
- 20.6 Θαλάσσια Ψάρια στην Υδατοκαλλιέργεια, 665
- 20.7 Γαλατόψαρο, 665
- 20.8 Λαβράκι, 673
- 20.9 Τσιπούρα, 677
- 20.10 Μαγιάτικο 682
- 20.11 Ιαπωνικό φαγγρί, 686
- 20.12 Κόμπια, 690
- 20.13 Πλατύψαρο, 695
- 20.14 Οξύρρυγχος, 710
- 20.15 Περίληψη, 717
Βιβλιογραφία, 718

21. Χελώνες Μαλακού Κελύφους 721

Qingjun Shao και John S. Lucas

- 21.1 Εισαγωγή, 721
- 21.2 Βιολογία, 721
- 21.3 Ανάπτυξη της Υδατοκαλλιέργειας, 724
- 21.4 Εγκαταστάσεις Καλλιέργειας, 726
- 21.5 Στάδια Καλλιέργειας, 730
- 21.6 Ποιότητα Νερού, 733
- 21.7 Θρέψη, Διατροφή και Σύσταση Τροφής, 734
- 21.8 Μεταδοτικές Ασθένειες, 737
- 21.9 Συγκομιδή και Επεξεργασία, 739
- 21.10 Το Μέλλον της Καλλιέργειας Χελωνών Μαλακού Κελύφους, 742
- 21.11 Περίληψη, 743
Βιβλιογραφία, 744

22. Γαρίδες 745*Darryl Jory*

- 22.1 Εισαγωγή, 745
- 22.2 Καλλιεργούμενα Είδη, 749
- 22.3 Συστήματα Πάχυνσης, 751
- 22.4 Προετοιμασία Λιμνοδεξαμενών, 755
- 22.5 Αναπαραγωγή και Γεννητική Ωρίμανση, 759
- 22.6 Σχεδιασμός Εκκολαπτηρίου και Καλλιέργεια Προνυμφών, 762
- 22.7 Ποιότητα των Μεταπρονυμφών και Αποθεματοποίηση, 764
- 22.8 Διαχείριση Παραγωγής και Συγκομιδή, 767
- 22.9 Διατροφή, Τυποποιημένες Τροφές και Διαχείριση της Σίτισης, 775
- 22.10 Αναδυόμενες Τεχνολογίες Παραγωγής και άλλα Θέματα, 781
- 22.11 Υπεύθυνη Καλλιέργεια Γαρίδας και η Πρόκληση της Βιωσιμότητας, 785
- 22.12 Περίληψη, 786
Βιβλιογραφία, 787

23. Δεκάποδα Καρκινοειδή Εσωτερικών Νερών 789*Chaoshu Zeng, John S. Lucas and Paul C. Southgate*

- 23.1 Εισαγωγή, 789
- 23.2 Εκτρεφόμενα Είδη, 792
- 23.3 Κινέζικος Κάβουρας, 793
- 23.4 Καραβίδες Εσωτερικών Νερών, 802
- 23.5 Γαρίδες Εσωτερικών Νερών, 812
- 23.6 Περίληψη, 820
Βιβλιογραφία, 821

24. Δίθυρα Μαλάκια 823*John S. Lucas*

- 24.1 Εισαγωγή, 823
- 24.2 Στοιχεία Βιολογίας, 824
- 24.3 Εκτρεφόμενα Δίθυρα, 828
- 24.4 Φάσεις Υδατοκαλλιέργειας Διθύρων, 832
- 24.5 Προβλήματα στις Καλλιέργειες, 840
- 24.6 Εισαγωγές και άλλα Περιβαλλοντικά Ζητήματα, 845
- 24.7 Βιομηχανικές Αξιολογήσεις, 846
- 24.8 Το Μέλλον της Υδατοκαλλιέργειας Διθύρων, 853
- 24.9 Περίληψη, 854
Βιβλιογραφία, 855

25. Αλιώτιδα 857*Petek Cook*

- 25.1 Εισαγωγή, 857
- 25.2 Παραγωγή από την Αλιεία και τις Καλλιέργειες, 858
- 25.3 Βιολογία, 862
- 25.4 Τεχνικές Καλλιέργειας, 863
- 25.5 Μεταπρονύμφες και Νεαρά Ατομα, 867
- 25.6 Συστήματα Πάχυνσης, 868
- 25.7 Ασθένειες και Παράσιτα, 871
- 25.8 Η Παγκόσμια Αγορά Αλιώτιδας, 873
- 25.9 Περίληψη, 873
Βιβλιογραφία, 874

26. Υδατοκαλλιέργεια στη Βιομηχανία των Ενουδρείων 875*Thane A. Militz*

- 26.1 Εισαγωγή, 875
- 26.2 Η Βιομηχανία Ενουδρείων, 876
- 26.3 Η Ανάγκη για Υδατοκαλλιέργεια στη Βιομηχανία Ενουδρείων, 877
- 26.4 Υδατοκαλλιέργεια Τροπικών Οργανισμών Εσωτερικών Νερών, 884
- 26.5 Υδατοκαλλιέργεια Τροπικών Θαλάσσιων Οργανισμών, 897
- 26.6 Βιώσιμη Ανάπτυξη, 916
- 26.7 Το Μέλλον της Υδατοκαλλιέργειας στη Βιομηχανία των Ενουδρείων, 918
- 26.8 Περίληψη, 919
Βιβλιογραφία, 919

27. Το Μέλλον της Υδατοκαλλιέργειας 921*John Hargreaves, Randall Brummett και Craig S. Tucker*

- 27.1 Εισαγωγή, 921
- 27.2 Οδηγοί Μελλοντικής Ζήτησης και Προμήθειας, 924
- 27.3 Ανταπόκριση στις Προκλήσεις του Μέλλοντος, 934
- 27.4 Περίληψη, 949
Βιβλιογραφία, 950

Ευρετήριο 951



Εικόνα 1.2 Ο κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*). Πηγή: Φωτογραφία του Piet Spaans. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 4.0.

θρώπους, κατοικίδια ζώα και ευκαιριακά παράσιτα οδήγησαν στη μετάδοση ασθενειών. Ο κυνηγός-τροφοσυλλέκτης είχε την τάση πιθανώς να είναι πιο υγιής, να έχει μια πιο ποικίλη διατροφή και λιγότερη έκθεση σε ασθένειες.

Η προέλευση της υδατοκαλλιέργειας ανάγεται μερικές χιλιάδες χρόνια μετά τη Νεολιθική Εποχή, όταν η καλλιέργεια του κοινού κυπρίνου (*Cyprinus carpio*) αναπτύχθηκε στην Κίνα, όπου ο κυπρίνος είναι ένα αυτόχθονο είδος (**Εικόνα 1.2**). Υπάρχει μια μακρά ιστορία της υδατοκαλλιέργειας στην Κίνα (ενότητα 1.6). Η εκτροφή του κοινού κυπρίνου γινόταν ήδη από το 2000–1000 π.Χ.⁴ Το πρώτο κείμενο υδατοκαλλιέργειας αποδίδεται σε έναν Κινέζο πολιτικό, τον Φαν Λέι (Fan Lei), και χρονολογείται περίπου το 500 π.Χ. Ο Φαν Λέι αποδίδει την πηγή του πλούτου του στις λιμνοδεξαμενές εκτροφής ψαριών που διέθετε, με αποτέλεσμα η καλλιέργεια των ψαριών να είναι κάτι παραπάνω από προσφιλή ενασχόληση για τον ίδιο. Ωστόσο, σε τρεις ηπείρους, την Αφρική, την Αμερική και την Αυστραλία, η υδατοκαλλιέργεια ήταν άγνωστη και δεν ασκείτο παρά μόνο μέχρι την εισαγωγή της τους τελευταίους αιώνες.

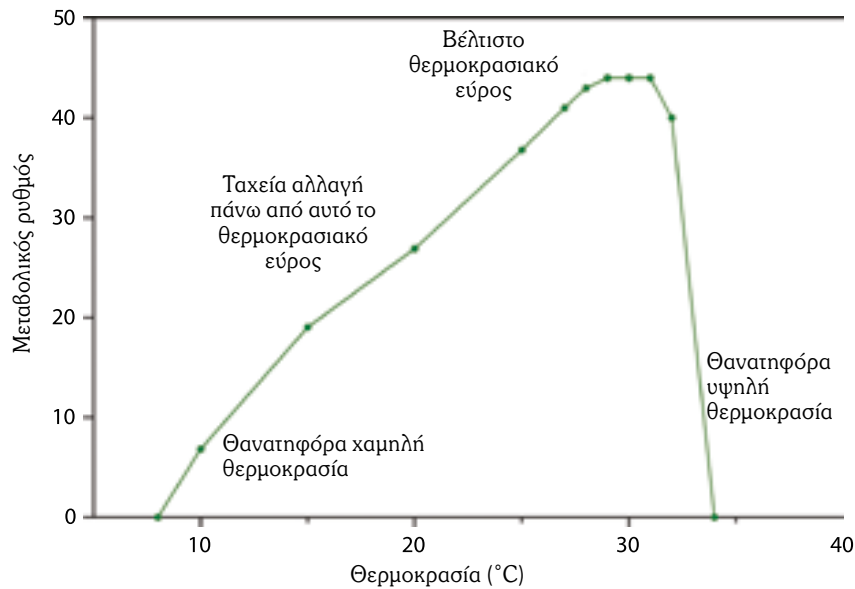
Η καθυστερημένη ενασχόληση με την υδατο-

καλλιέργεια σε σύγκριση με τη γεωργία και η αποτυχία της να αναπτυχθεί σε ορισμένες ηπείρους οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι οι άνθρωποι είναι χερσαίοι οργανισμοί. Δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε εύκολα τις παραμέτρους του υδάτινου περιβάλλοντος. Υπάρχουν ορισμένοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν βαθιά τους υδρόβιους οργανισμούς, όπως:

- η πολύ χαμηλή περιεκτικότητα του O₂ στο νερό (<1%) σε σύγκριση με τον αέρα (21%)
- η υψηλή διαλυτότητα του CO₂ στο νερό
- το pH
- η αλατότητα
- η ρυθμιστική ικανότητα
- τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά
- τα μόρια τοξικών αζωτούχων αποβλήτων
- η θολερότητα
- τα βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά μόρια στο διάλυμα
- οι συγκεντρώσεις φυτό- και ζωοπλαγκτού, και
- η ταχύτητα των ρευμάτων

Πολλές από τις ασθένειες που πλήττουν τους υδρόβιους οργανισμούς είναι αρκετά άγνωστες σε μας. Επιπλέον, σχεδόν όλα τα ζώα που εκτρέφονται στην υδατοκαλλιέργεια είναι ποικιλόθερμα (η θερμοκρασία του σώματός τους μεταβάλλεται και επηρεάζεται έντονα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος) (“ψυχρόαιμα”). Οι μεταβολι-

⁴ <http://www.fao.org/docrep/field/009/ag158e/AG158E02.htm> (ανακτήθηκε τον Ιανουάριο του 2007)



Εικόνα 1.3 Διακύμανση του μεταβολικού ρυθμού των ποικιλόθερων οργανισμών σε συνάρτηση με την θερμοκρασία. Ο μεταβολικός ρυθμός αντανακλάται στον ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου των ζώων. Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

κοί ρυθμοί τους, και όλες οι λειτουργίες που εξαρτώνται με το μεταβολικό τους ρυθμό, επηρεάζονται έντονα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος με τρόπους που εμείς οι άνθρωποι ως “θερμόαιμα” θηλαστικά αδυνατούμε να κατανοήσουμε (**Εικόνα1.3**).

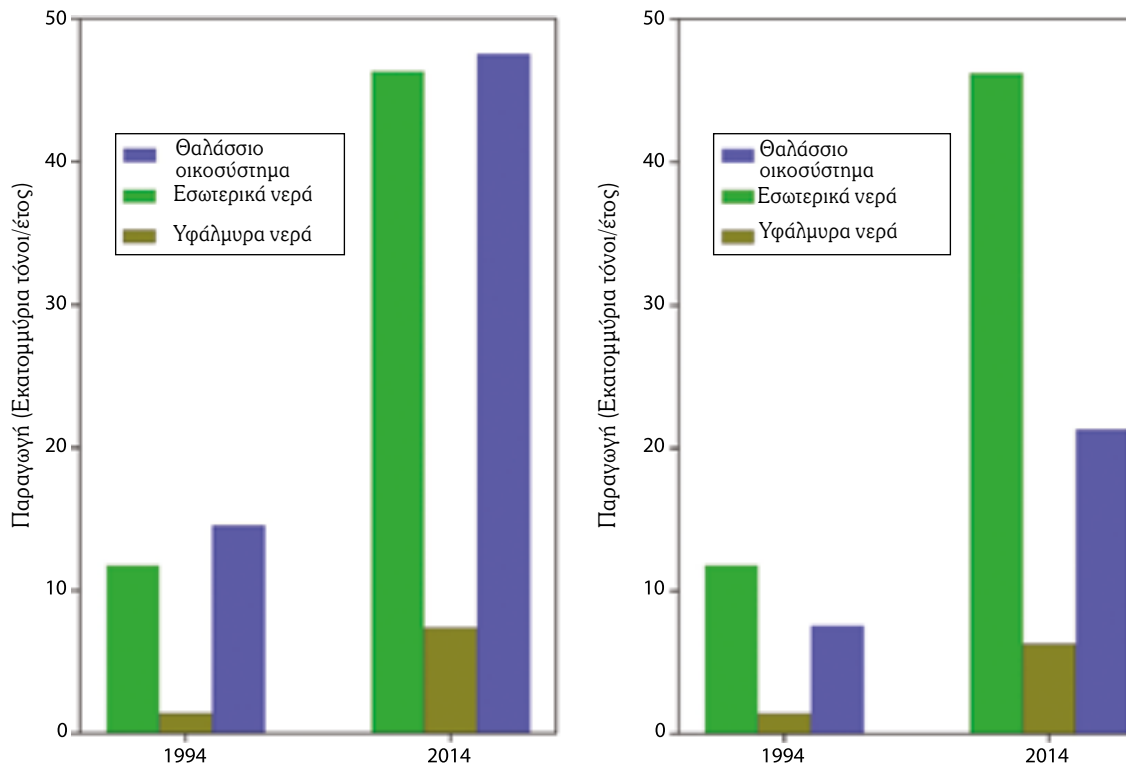
Οι δυσκολίες στην αξιολόγηση και τον έλεγχο των επιπτώσεων αυτών των περιβαλλοντικών παραγόντων εξακολουθούν να υφίστανται και σήμερα, με αποτέλεσμα τα προγράμματα υδατοκαλλιέργειας να απαιτούν μια μεγαλύτερη περίοδο εξέλιξης και ανάπτυξης από άλλες μορφές παραγωγής τροφίμων. Ακόμη και στην περίπτωση που υπάρχει καλώς εδραιωμένη τεχνολογία για έναν οργανισμό θα εξακολουθούν να υπάρχουν εξειδικευμένα θέματα τοποθεσίας και προοδευτική επίτευξη της βέλτιστης εκτροφής. Στη γεωργία είμαστε πολύ πιο εύκολα σε θέση να εκτιμήσουμε τις παραμέτρους που επηρεάζουν την επιτυχία ή ανεξαρτήτως αποτελέσματος, υπάρχει πολύ μεγάλο ιστορικό απόκτησης των δεξιοτήτων που απαιτούνται.

Μια άλλη σημαντική συνέπεια της καθυστερημένης έναρξης της υδατοκαλλιέργειας είναι ότι υπήρξε σχετικά μικρή γενετική επιλογή για πολλά είδη εάν την συγκρίνουμε με τα εξαιρετικά γενετικά επιλεγμένα φυτά και ζώα της γεωργίας. Η σύγχρονη γεωργία βασίζεται σε οργανισμούς που είναι πολύ διαφορετικοί από τους άγριους προγόνους

τους, και σε πολλές περιπτώσεις οι άγριοι πρόγονοί τους δεν υπάρχουν πλέον. Αυτή η επιλογή για τα επιθυμητά γνωρίσματα πραγματοποιήθηκε σταθερά και χωρίς καμία επιστημονική βάση κατά τη διάρκεια χιλιάδων ετών εξημέρωσης. Ωστόσο, ήταν πιο έντονη τον περασμένο αιώνα με τα επιστημονικά προγράμματα αναπαραγωγής. Η σύγχρονη γεωργία θα ήταν εντελώς αντικοινωνική, και ο σημερινός παγκόσμιος πληθυσμός θα λιμοκτονούσε χωρίς αυτά τα εξημερωμένα και γενετικά επιλεγμένα γεωργικά φυτά και ζώα. Αντίθετα, μεγάλο μέρος της υδατοκαλλιέργειας βασίζεται σε φυτά και ζώα που εξακολουθούν να παραμένουν “άγρια”. Υπάρχουν ορισμένα είδη που έχουν υποβληθεί σε ισχυρή γενετική επιλογή, υβριδισμό και υποβλήθηκαν σε μοριακές και γονιδιωματικές τεχνικές (Κεφάλαιο 7) όπως:

- ο κοινός κυπρίνος (*Cyprinus carpio*)
- ο σολομός του Ατλαντικού (*Salmo salar*)
- η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*)
- η τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*)
- το γατόψαρο (*Ictalurus punctatus*)

Η αναπαραγωγή τους βασίζεται σε γεννήτορες που διαφέρουν σημαντικά από τους προγόνους τους στη γενετική τους. Πολλά άλλα είδη υδατοκαλλιέργειας βασίζονται σε άγριους γεννήτορες που προέρχονται από φυσικούς πληθυσμούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο κύκλος ζωής δεν έχει



Εικόνα 1.9 Αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής υδρόβιων ζώων από την υδατοκαλλιέργεια ανά περιβάλλον μεταξύ 1984 και 2014. α) Δεδομένα για όλα τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας. β) Δεδομένα μόνο για τα ζωικά προϊόντα. Δεδομένα από <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

1.6 Οι Μεγάλοι Παραγωγοί

Υπάρχει ένα ακόμη πολύ σημαντικό στατιστικό στοιχείο σχετικά με την αύξηση της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια: η σημαντική διαίρεση μεταξύ των λιγότερο ανεπτυγμένων/αναπτυσσόμενων χωρών και των ανεπτυγμένων χωρών (ταξινόμηση FAO¹⁰). Από την αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας κατά 73,3 εκατομμύρια τόνους/έτος σε διάστημα δύο δεκαετιών, 1994 έως 2014, 72,2 εκατομμύρια τόνοι/έτος προέρχονταν από τις λιγότερο ανεπτυγμένες/αναπτυσσόμενες χώρες (Πίνακας 1.1). Η παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας στις χώρες αυτές αυξήθηκε με αξιοσημείωτα ποσοστά 8,4 και 7,0% ανά έτος, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια αυτών των δύο δεκαετιών (Πίνακας 1.1). Σε σύγκριση με αυτό, η αύξηση της παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας κατά 1,9% ανά έτος στις ανεπτυγμένες χώρες ήταν μέ-

τρια¹¹. Η “Καφέ Επανάσταση” στην υδατοκαλλιέργεια, όπως και η “Πράσινη Επανάσταση” στη γεωργία, σημειώθηκε κυρίως στις λιγότερο ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Στην πραγματικότητα, υπήρχε μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της κατηγορίας ανάπτυξης και του ποσοστού ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας (χαμηλότερο = ταχύτερος κ.λπ.).

Οι 10 μεγαλύτερες χώρες όσον αφορά την ποσότητα της παραγωγής από την υδατοκαλλιέργεια το 2014, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.4. Όλες εκτός από τις χαμηλότερες στην κατάταξη Νορβηγία και Αίγυπτος, είναι Ασιατικές χώρες και μόνο δύο, η Νορβηγία και η Ιαπωνία, είναι αναπτυγμένες χώρες (ταξινόμηση FAO). Το τεράστιο χάσμα μεταξύ της παραγωγής της Κίνας και των επόμενων χωρών είναι αξιοσημείωτο. Αξιοσημείωτη είναι και η αύξηση της ποσότητας από την υδατοκαλλιέργεια της Ιν-

¹⁰ Βάση του εισοδήματος/κατά κεφαλήν και άλλων κριτηρίων. Ορισμένες χώρες της Αφρικής και ορισμένες χώρες της Ασίας και του Ειρηνικού θεωρούνται λιγότερο αναπτυγμένες.

¹¹ Ωστόσο, αυτό είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από τον επίσημο ρυθμό αύξησης της ζωικής παραγωγής κατά την περίοδο 1997/1999 έως το 2015: βόειο κρέας 1,4%, χοιρινό 1,4%, πουλερικά 2,9%, αρνί 2,1% με παγκόσμιο μέσο όρο 1,5% ετησίως. <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e07.htm> (Ανακτήθηκε τον Μάρτιο του 2016) (Πίνακας 5.2).

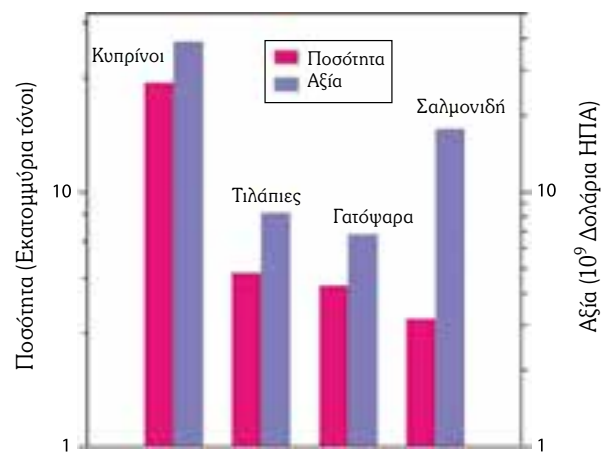
Πίνακας 1.4 Οι 10 κορυφαίες χώρες κατά ποσοστό της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας το 2014.

Σειρά	Χώρα	% Παγκόσμια Παραγωγή
1	Κίνα	58,1
2	Ινδονησία	14,2
3	Ινδία	4,8
4	Βιετνάμ	3,4
5	Φιλιππίνες	2,3
6	Μπαγκλαντές	1,9
7	Νότια Κορέα	1,5
8	Αίγυπτος	1,4
9	Νορβηγία	1,3
10	Ιαπωνία	1,0

δονησίας τα τελευταία χρόνια για να την κατατάξει στη δεύτερη θέση του καταλόγου αυτού. Η αύξηση βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επέκταση της παραγωγής μακροφυκών.

Αν και οι αναπτυσσόμενες Ασιατικές χώρες διαθέτουν βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας με προϊόντα υψηλής αξίας, όπως γαρίδες και χτένια, για κερδοφόρες εξαγωγικές αγορές, ένα υψηλό ποσοστό υδατοκαλλιέργειας στις χώρες αυτές εξακολουθεί να προέρχεται από την παραδοσιακή καλλιέργεια ψαριών εσωτερικών νερών, κυρίως κυπρίνων και άλλων κυπρινοειδών (Κεφάλαιο 16). Η **Εικόνα 1.10** δείχνει ότι οι κυπρίνοι μαζί με άλλα κυπρινοειδή είναι μακράν τα σημαντικότερα είδη ψαριών ανά ποσότητα στην παγκόσμια παραγωγή. Είναι σχεδόν ένα μέγεθος μεγαλύτερο από τις επόμενες τρεις μεγάλες ομάδες ψαριών στην υδατοκαλλιέργεια: γατόψαρα, τιλάπιες και σαλμονιδή (σολομός και πέστροφα). Οι κυπρίνοι είναι τα πιο πολύτιμα ψάρια στη συνολική παγκόσμια παραγωγή, αλλά είναι σημαντικά χαμηλότερα σε αξία/μονάδα βάρους από τα σαλμονιδή, τα οποία αντιπροσωπεύουν το άκρο της αγοράς με τις υψηλές τιμές. Υπάρχει δέκα φορές μεγαλύτερη παραγωγή από την καλλιέργεια κυπρίνων από ότι υπάρχει σε σαλμονιδή, αλλά η συνολική τους αξία δεν είναι πολύ περισσότερο από δύο φορές την αξία των σαλμονιδών.

Τα ψάρια εσωτερικών νερών συχνά καλλιεργούνται μαζί ως συμπληρωματικά είδη (πολυκαλλιέργεια, ενότητα 2.3). Αυτά τα είδη ψαριών είναι φυτοφάγα (herbivores), παμφάγα (omnivores) και σαπροφάγα-τριματοφάγα (detritivores), τρέφονται χαμηλά στην τροφική αλυσίδα και απαιτούν τη χορήγηση μικρής ποσότητας συμπληρω-



Εικόνα 1.10 Ετήσια παραγωγή μεγάλων ομάδων ψαριών το 2014. Σημειώστε ότι και οι δύο άξονες Y είναι λογαριθμικοί και υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές. Δεδομένα από <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

ματικής τροφής. Αυτή η υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνει συχνά λιμνοδεξαμενές, βασική τεχνολογία και χαμηλή πυκνότητα εκτροφής (**Εικόνα 2.4**). Η παραγωγή συχνά ενισχύεται με τη χρήση φθηνών οργανικών λιπασμάτων, όπως απόβλητα φυτικών, οικόσιτων ζώων και ανθρώπων, για τη διατροφή των καλλιεργούμενων ψαριών και για την ενίσχυση της πρωτογενούς παραγωγής στις λιμνοδεξαμενές (Ολοκληρωμένα Συστήματα Αγρο-Υδατοκαλλιέργειας, ενότητα 2.4). Στις αγροτικές κοινότητες όπου οι ζωικές πρωτεΐνες είναι λιγοστές και είναι απαγορευτικά δαπανηρές από άλλες πηγές, τα καλλιεργημένα ψάρια μπορούν να αποτελέσουν την κύρια, αν όχι την αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης.

Κατά την εξέταση της παραγωγής σε σχέση με

την κατανάλωση, υπάρχει μια περαιτέρω επιπλοκή όταν λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία για τη συνολική παραγωγή βρώσιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής από την υδατοκαλλιέργεια μαζί με την συλλεκτική αλιεία (**Πίνακας 1.3**). Δεδομένου ότι η περιοχή της Ασίας περιλαμβάνει τους σημαντικότερους παραγωγούς υδατοκαλλιέργειας, έχει μακράν τη μεγαλύτερη παραγωγή, αλλά οι περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικανικής είναι σχετικά μεγαλύτεροι εισαγωγείς. Παρά την πολύ υψηλή παραγωγή θαλάσσιων προϊόντων διατροφής στην Ασία, όταν οι συνολικές διαθέσιμες προμήθειες βρώσιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής σχετίζονται με το μέγεθος του πληθυσμού, η κατανάλωση kg/κατά κεφαλήν/έτος είναι μεγαλύτερη στις περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής (**Πίνακας 1.5**). Αυτές οι εύπορες περιοχές καταναλώνουν επίσης τις μεγαλύτερες ποσότητες ζωικών προϊόντων από την κτηνοτροφία. Η ευημερία υποστηρίζει την υψηλή κατανάλωση ζωικής πρωτεΐνης που παράγεται τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα. Οι Αφρικανικές χώρες, οι οποίες κατά μέσο όρο έχουν χαμηλή πρόσληψη ζωικών προϊόντων /κατά κεφαλήν/έτος από την κτηνοτροφία, έχουν επίσης χαμηλή κατανάλωση θαλάσσιων προϊόντων διατροφής.

Η σχέση μεταξύ της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ζωικών πρωτεϊνών δεν ισχύει μόνο για τις χώρες, αλλά και για τους ανθρώπους εντός των χωρών. Καθώς οι μεσαίες τάξεις αυξάνονται στις ανα-

πτυσσόμενες χώρες, το μέσο επίπεδο κατά κεφαλήν κατανάλωσης θαλάσσιων προϊόντων διατροφής θα αυξάνεται. Προβολές από το τρέχον επίπεδο της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας στα μελλοντικά επίπεδα παγκόσμιων πληθυσμών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την αύξηση του πληθυσμού, αλλά και την αύξηση της μεσαίας τάξης σε ορισμένες χώρες.

Υπάρχει μια άλλη αντίθεση μεταξύ της υδατοκαλλιέργειας στις αναπτυσσόμενες Ασιατικές χώρες και στις ανεπτυγμένες χώρες. Πάνω από το 60% της παραγωγής ψαριών στις ανεπτυγμένες χώρες βασίζεται σε σαρκοφάγα είδη ψαριών υψηλής εμπορικής αξίας (**Εικόνα 2.7**). Τα ψάρια αυτά εκτρέφονται σε μονοκαλλιέργεια σε υψηλές πυκνότητες εκτροφής και απαιτείται χορήγηση τροφών υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες. Οι τροφές με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι ακριβές και συνήθως απαιτούν ιχθυάλευρα ως πηγή ζωικής πρωτεΐνης και λιπιδίων για τη σαρκοφάγα διατροφή. Έτσι, αυτή η μορφή υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιεί προϊόντα χαμηλής αγοραστικής αξίας από την αλιεία ως ιχθυοτροφή για να αυξήσει την αξία του τελικού προϊόντος από την καλλιέργεια. Αυτό είναι αναποτελεσματικό.

1.7 Κίνα

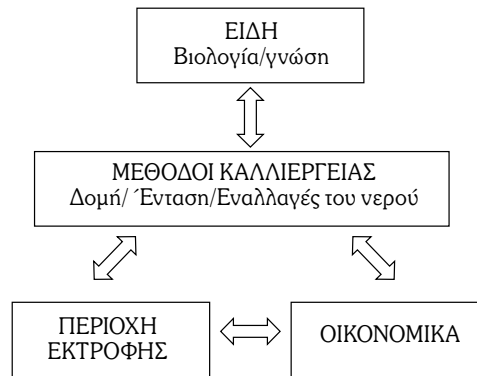
Η Κίνα είχε ένα καταπληκτικό ξεκίνημα στην ανάπτυξη της σύγχρονης υδατοκαλλιέργειας. Υπάρ-

Πίνακας 1.5 Ετήσια παραγωγή εδώδιμων ψαριών* (εκατομμύρια τόνους) από την υδατοκαλλιέργεια και την συλλεκτική αλιεία στις μεγάλες περιοχές του κόσμου. Συμπεριλαμβάνεται επίσης η κατανάλωση εδώδιμων ψαριών/κατά κεφαλήν/έτος. Η τιμή της Συνολικής παροχής τροφίμων (Total food supply) είναι το άθροισμα των θετικών (παραγωγής και εισαγωγών) και αρνητικών (χρήση όχι ως τροφή και εξαγωγών) τιμών.

	Αφρική	Βόρεια Αμερική	Κεντρική Αμερική	Ασία	Ευρώπη	Ωκεανία	Παγκόσμια
Συνολική παραγωγή εδώδιμων ψαριών	8,0	6,8	10,9	82,3	15,9	1,6	134,6
Χρήση όχι ως τροφή	-1,2	-0,9	12,9	-10,1	-3,5	-0,4	-28,8
Εισαγωγές	2,5	5,0	1,3	12,5	15,4	0,5	37,3
Εξαγωγές	-1,8	-3,1	-3,8	-14,6	12,8	-0,9	-38,8
Συνολική παροχή τροφίμων	7,6	8,0	4,0	70,2	15,2	0,8	106,7
Κατανάλωση kg/κατά κεφαλήν/έτος	8,3	24,1	8,7	17,8	20,7	24,6	16,4

*Ο όρος εδώδιμα ψάρια σε αυτόν τον Πίνακα αναφέρεται σε ψάρια, καρκινοειδή και μαλάκια που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση (βλ. Κεφάλαιο 26).

Δεδομένα από FAO 2007



Εικόνα 2.1 Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των καλλιεργούμενων ειδών, των μεθόδων καλλιέργειας, της περιοχής καλλιέργειας και της οικονομίας σε μια επιχείρηση υδατοκαλλιέργειας.

2.2.1 Φυσικά Υδάτινα Οικοσυστήματα

Όλα τα οικοσυστήματα, φυσικά και τεχνητά, χρειάζονται την εισαγωγή κάποιας μορφής ενέργειας για να διατηρηθούν. Ακόμα κι αν υπάρχει τέλεια ανακύκλωση οργανικής ύλης, θα υπάρξει απώλεια ενέργειας μέσω του μεταβολισμού και αυτή η ενέργεια πρέπει να αντικατασταθεί.

Τα φυσικά υδάτινα οικοσυστήματα αποτελούνται συνήθως από πρωτογενείς παραγωγούς, διάφορα επίπεδα καταναλωτών (πρωτογενή, δευτερογενή, κ.λπ.) και αποικοδομητές. Αυτά είναι αυτοσυντηρούμενα με την ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών και την εισαγωγή ενέργειας από τον ήλιο. Χαρακτηρίζονται από μακριά και σύνθετα τροφικά πλέγματα. Υπάρχουν πολύ μεγάλες απώλειες ενέργειας σε αυτήν την τροφική αλυσίδα. Η μεταφορά ενέργειας από το ένα επίπεδο στο άλλο στην τροφική αλυσίδα είναι της τάξεως του 10% ως εμπειρικός κανόνας. Τα ακόλουθα είναι ένα υποθετικό παράδειγμα έξι επιπέδων σε μια τροφική αλυσίδα:

1. ηλιακή ενέργεια + ανόργανα θρεπτικά συστατικά →
2. φυτοπλαγκτόν (π.χ. δινομαστιγωτά και διάτομα) →
3. ζωοπλαγκτόν και ηθμοφάγα (π.χ. κωπήποδα, προνύμφες ασπονδύλων, δίθυρα) →
4. μεγαλύτερο ζωοπλαγκτόν (π.χ., προνύμφες ψαριών, πλαγκτονοφάγα ψάρια) →
5. νεαρά ψάρια - ιχθύδια (juvenile) →
6. μεγάλα σαρκοφάγα ψάρια.

Έτσι, σε αυτό το παράδειγμα που αποτελείται

από έξι επίπεδα σε μια τροφική αλυσίδα, σε επίπεδα (1) έως (6).

$$(1) 100\% \rightarrow (2) 10\% \rightarrow (3) 1\% \rightarrow (4) 0,1\% \rightarrow (5) 0,01\% \rightarrow (6) 0,001\%$$

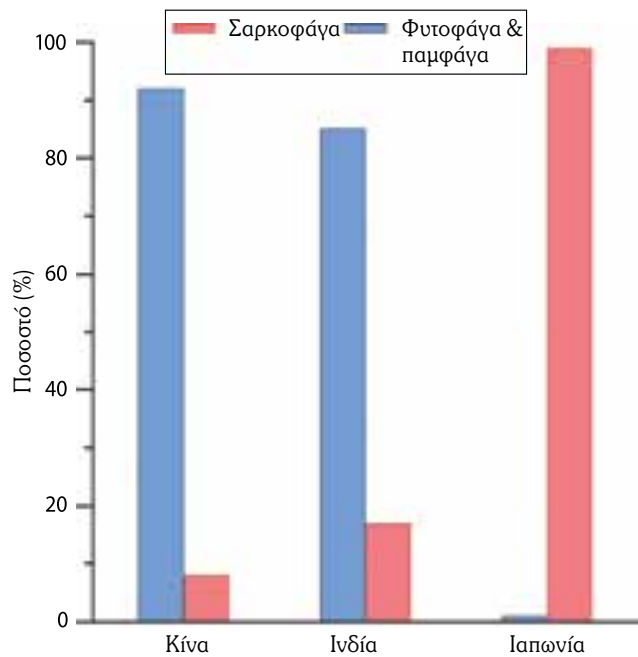
Πρόκειται για μια πολύ πρόχειρη (χονδρική) προσέγγιση, αλλά δείχνει ότι το τελικό στάδιο αυτής της τροφικής αλυσίδας, για παράδειγμα το μεγάλο σαρκοφάγο ψάρι, έχει λιγότερη ενέργεια (και τροφή) διαθέσιμη σε αυτό από τα χαμηλότερα επίπεδα στην τροφική αλυσίδα. Η απώλεια ενέργειας σε κάθε βήμα (περίπου 90%) χάνεται μέσω:

- Μεταβολισμού: η μεταβολική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του οργανισμού, π.χ. κίνηση, διατροφή, πέψη τροφής, κυκλοφορία σωματικών υγρών.
- Μεταβολικών αποβλήτων που εκκρίνονται και τα άπεπτα υλικά (κόπρανα) που απορρίπτονται.
- Ενέργειας που καταναλώνεται στην αναπαραγωγή.
- Ενέργειας που χάνεται στο περιβάλλον ως θερμότητα, επειδή οι μεταβολικές διαδικασίες, όπως οι μηχανές, δεν είναι 100% αποδοτικές.

Αυτές οι σημαντικές μειώσεις της ενέργειας με κάθε βήμα στην τροφική αλυσίδα έχουν προφανείς επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια: είναι αποτελεσματικότερο να καλλιεργούνται πρωτογενείς παραγωγοί ή ζώα που τρέφονται σε χαμηλό επίπεδο στην τροφική αλυσίδα. Αυτός είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τα αναπτυσσόμενα κράτη, όπου τα προϊόντα υδατοκαλλιέργει-

ας αποτιμώνται ως σημαντική πηγή ζωικών πρωτεϊνών και εκτρέφονται για επισιτιστική ασφάλεια αντί για εξαγωγικό εμπόριο. Με εξαίρεση την υδατοκαλλιέργεια ειδών όπως η γαρίδα, η οποία απευθύνεται στις διεθνείς αγορές, οι περισσότερες υδατοκαλλιέργειες στις αναπτυσσόμενες χώρες, π.χ. Κίνα και Ινδία, προέρχεται από εκτατική (extensive) ή ημι-εντατική (semi-intensive) καλλιέργεια βασισμένη σε είδη που τρέφονται χαμηλά στην τροφική αλυσίδα (**Εικόνα 2.2**). Δεν είναι μόνο μη αποδοτική η παραγωγή σαρκοφάγων ειδών μέσω μιας πολυεπίπεδης διατροφικής αλυσίδας, αλλά η παραγωγικότητα θα είναι πολύ φτωχή ανά μονάδα επιφάνειας ή όγκου από τέτοια εκτατικά ή ημι-εντατικά συστήματα.

Σε πολλά ανεπτυγμένα κράτη ωστόσο, η ζήτηση αφορά προϊόντα υδατοκαλλιέργειας που είναι υψηλά στην τροφική αλυσίδα, π.χ. στην Ιαπωνία. Στην πραγματικότητα, η μεγαλύτερη ζήτηση αφορά τα σαρκοφάγα ψάρια και τις γαρίδες, καθώς θεωρούνται ποιοτικά προϊόντα (**Εικόνα 2.3**). Αυτά



Εικόνα 2.2. Σχετικά ποσοστά σαρκοφάγων ψαριών έναντι φυτοφάγων και παμφάγων ψαριών που παράγονται από την υδατοκαλλιέργεια στην Κίνα, την Ινδία και την Ιαπωνία το 2014.



Εικόνα 2.3. Ιχθυαγορά Tsukiji, Τόκιο, με κατεψυγμένο ερυθρό τόνο (*Thunnus thynnus*) και εμπόρους που τους αγοράζουν. Προσέξτε την απαιτούμενη κατάσταση των ψαριών: από βαθεία κατάψυξη, εκσπλαχνισμένα, χωρίς πτερύγια και βράγχια. Πηγή: Φωτογραφία από Humanoid one. Αναπαραγωγή με την άδεια Αναφοράς Δημιουργού - Παρόμοιας Διανομής Creative Commons, CC-BY-SA 3.0.

πρέπει να τρέφονται με τροφές υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, συνήθως με ιχθυάλευρα ως κύρια πηγή πρωτεΐνης. Έτσι, ένα είδος λιγότερο πολύτιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής χρησιμοποιείται για την παραγωγή πιο πολύτιμων θαλάσσιων προϊόντων διατροφής, με την επακόλουθη απώλεια ενέργειας.

2.2.2 Συστήματα Εντατικής Υδατοκαλλιέργειας

Τα συστήματα εντατικής υδατοκαλλιέργειας είναι σε πλήρη αντίθεση με τα φυσικά συστήματα. Στην εντατική υδατοκαλλιέργεια όλη η διατροφή για το εκτρεφόμενο απόθεμα προέρχεται από εισαγόμενες τροφές, χωρίς τη χρήση φυσικής διατροφής. Τα εντατικά συστήματα μπορεί να είναι:

- Λιμνοδεξαμενές (ponds) (π.χ., για γαρίδες σε τροπικές/υποτροπικές περιοχές) (**Εικόνα 3.1**).
- Κλωβοί (cages) (π.χ. για θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια) (**Εικόνα 3.5**).
- Καναλόμορφες δεξαμενές (raceways) (π.χ., για είδη πέστροφας σε εύκρατες περιοχές (**Εικόνα 3.10**).
- Δεξαμενές (tanks) (π.χ., για χέλια στην Ιαπωνία).

Η μέγιστη πυκνότητα εκτροφής που επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από το να είναι σε θέση να διατηρήσει τις συνθήκες ποιότητας του νερού που απαιτούνται από τον καλλιεργούμενο οργανισμό. Γενικά, οι πυκνότητες καλλιέργειας είναι οι χαμηλότερες στις λιμνοδεξαμενές (ponds), ακολουθούν τα κλουβιά (cages) και οι μεγαλύτερες πυκνότητες επιτυγχάνονται στις καναλόμορφες δεξαμενές (raceways) και τις δεξαμενές (tanks). Η εντατική υδατοκαλλιέργεια χαρακτηρίζεται από:

- Πολύ απλές τροφικές αλυσίδες, δηλ. παρασκευασμένες ζωοτροφές → καλλιεργημένοι οργανισμοί.
- Χαμηλή απώλεια ενέργειας από την εισαγωγή της τροφής, με υψηλούς συντελεστές μετατροψιμότητας της τροφής (FCRs)¹ από εξειδικευμένες τεχνητές ζωοτροφές.

¹ Συντελεστής μετατροψιμότητας της τροφής (FCR, Food Conversion Ratio) είναι ο λόγος του βάρους της τροφής/κέρδους ζωντανού βάρους από τα εκτρεφόμενα ζώα. Μπορεί να είναι κοντά στο 1,0 όπου η τεχνητή τροφή έχει αναπτυχθεί διεξοδικά για να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες του καλλιεργημένου ζώου.

- Καμία ανακύκλωση της ενέργειας και εντελώς μη αυτοσυντηρούμενη.
- Την απαίτηση για υψηλές εισροές ενέργειας (π.χ. τάισμα, οξυγόνωση, φιλτράρισμα, άντληση).
- Υψηλές αποδόσεις ανά μονάδα επιφάνειας ή μονάδα όγκου.

Η ποιότητα του νερού διατηρείται συνήθως με υψηλούς ρυθμούς εναλλαγής και, σε ορισμένες περιπτώσεις, με μηχανικά μέσα. Στην εντατική καλλιέργεια σε εσωτερικές (στεγασμένες) δεξαμενές, η αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών αποβλήτων, η ανταλλαγή των αερίων και η παραγωγή οξυγόνου πραγματοποιούνται με μηχανικά μέσα. Σε εξωτερικά εντατικά συστήματα με υπόστρωμα εδάφους και ανάπτυξη φυτοπλαγκτού, υπάρχει καθίζηση των αιωρούμενων στερεών αποβλήτων, αποικοδόμηση από βακτήρια και ανταλλαγή αερίων ενισχυμένη με μηχανικό αερισμό. Η πυκνότητα καλλιέργειας (μάζα εκτρεφόμενων ζώων ανά μονάδα όγκου ή επιφανείας νερού, εκφραζόμενη σε kg/m³ ή kg/εκτάριο) σε εντατικά συστήματα, ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του συστήματος και τον εκτρεφόμενο οργανισμό, αλλά είναι πάντα σχετικά υψηλή.

2.2.3 Εκτατικά Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας

Η εκτατική υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιείται ευρέως, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Είναι η κύρια πηγή της υδατοκαλλιεργητικής παραγωγής στον κόσμο.

Τα εκτατικά και εντατικά συστήματα υδατοκαλλιέργειας αντιπαρατίθενται στον **Πίνακα 2.1**. Αυτά διαφέρουν σημαντικά, καθώς η εκτατική υδατοκαλλιέργεια αποτελεί μέρος ενός φυσικού οικοσυστήματος και εξαρτάται από αυτό για τη διατήρηση της ποιότητας των υδάτων και το μεγαλύτερο μέρος της τροφή των ζώων και άλλες απαιτήσεις. Συνεπώς, ένα εκτατικό σύστημα υδατοκαλλιέργειας έχει περιορισμένες εισροές για τη διατήρηση της ανάπτυξης και της επιβίωσης των ζώων, δηλαδή μπορεί να έχει μερικά βασικά οργανικά λιπάσματα, όπως ζωικά και φυτικά απόβλητα, αλλά χωρίς αερισμό κ.λπ. Τα συστήματα αυτά έχουν συνήθως χαμηλή πυκνότητα καλλιέργειας (stocking density), συνήθως <500 kg/εκτάριο, ενώ

ποιότητα του νερού εκροής (effluent), στο βαθμό που μπορεί να ανακυκλωθεί στο σύστημα υδατοκαλλιέργειας ή να απορριφθεί, αλλά και να παραχθεί μια εμπορική καλλιέργεια από τους οργανισμούς επεξεργασίας των εκροών.

Για τα συστήματα εντατικής υδατοκαλλιέργειας που βρίσκονται στη στεριά, όπως η καλλιέργεια γαρίδων, η περιβαλλοντική νομοθεσία για τις απορροές έχει γίνει πιο αυστηρή παγκοσμίως και αυτό έχει δώσει ώθηση στην ανάπτυξη βελτιωμένων συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων, πέρα από τα στοιχειώδη συστήματα που χρησιμοποιούν λιμνοδεξαμενές ως δεξαμενές καθίζησης. Οι σύγχρονες προσεγγίσεις σε αυτό το πρόβλημα περιλαμβάνουν συστήματα πολλαπλών σταδίων που διαδοχικά αφαιρούν τα αιωρούμενα σωματίδια και τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά (Castine et al., 2013), και μπορεί να περιλαμβάνουν αφομοίωση των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών σε βιομάζα που μπορεί να συγκομιστεί, όπως τα μακροφύκη (**Εικόνα 2.5**) παρέχοντας δευτερογενή προϊόντα σημαντικής εμπορικής αξίας. Μια άλλη σχετικά πρόσφατη εξέλιξη είναι αυτή των συστημάτων

φίλτρων άμμου υποβοηθούμενων από πολύχαιτους (PASF, Polychaete Assisted Sand Filter) όπου χρησιμοποιούν ρηχές κλίνες άμμου που περιέχουν πολύχαιτους, (*Perinereis* spp) για να φιλτράρουν τις εκροές της υδατοκαλλιέργειας. Τα φίλτρα άμμου με σκώληκες μπορούν να απομακρύνουν σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων στερεών, χλωροφύλλη, άζωτο και φώσφορο και να παράγουν αξιόλογο υποπροϊόν (σκουλήκια) που χρησιμοποιούνται στη διατροφή κατά την ωρίμανση των γαρίδων και ως δολώματα για την αλιεία (Palmer, 2010). Αυτές οι αναπτυσσόμενες μορφές πολυκαλλιέργειας διαφέρουν από την παραδοσιακή πολυκαλλιέργεια, στο ότι τα συμπληρωματικά είδη είναι απομονωμένα σε διαφορετικά μέρη του συστήματος.

Παρόμοια τεχνολογία χρησιμοποιείται επίσης σε μερικές χώρες για να “αναβαθμίσουν” την ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού και να αυξήσουν την αξία του ως πηγή κατά τρόπο ουδέτερο ως προς το κόστος. Ανακυκλωμένο νερό υδατοκαλλιέργειας, που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν για άρδευση καλλιέργειας φυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κηπουρικές δραστηριότητες.



Εικόνα 2.5. Πειραματικά καναλόμορφα συγκοινωνούνται συστήματα καλλιέργειας 150.000 L που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του νερού εκροής από μια καλλιέργεια γαρίδας στο Βόρειο Queensland της Αυστραλίας. Οι καναλόμορφες δεξαμενές περιέχουν πράσινα μακροφύκη (*Ulva* sp.) που αφαιρούν διαλυμένα θρεπτικά συστατικά, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα δευτερεύον εμπορικό προϊόν για την καλλιέργεια. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από την MBO Energy Ltd.



Εικόνα 2.6. Λιμνοδεξαμενές με ψάρια και λαχανόκηποι σε μια καλλιέργεια κοντά στο Yangshuo, Guangxi, νότια Κίνα. Το υπόστεγο πάνω από τη λίμνη χρησιμοποιείται πιθανώς ως υπαίθρια τουαλέτα και ως αποθήκη. Πηγή: Αναπαράγεται με άδεια από τον John Lucas.

2.4 Ολοκληρωμένα Συστήματα Αγρο-Υδατοκαλλιέργειας

Η υδατοκαλλιέργεια αναπτύχθηκε παραδοσιακά σε ολοκληρωμένη βάση και πολλές υδατοκαλλιέργειες στις Ασιατικές χώρες εξακολουθούν να λειτουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο. Η ενσωμάτωση περιλαμβάνει:

- Καλλιέργεια (growing) ποικιλίας υδρόβιων ειδών σε μια ενιαία μάζα νερού.
- Επαναχρησιμοποίηση νερού για διαδοχικά είδη υδατοκαλλιέργειας ή άλλων καλλιεργειών (crops).
- Ολοκλήρωση της υδατοκαλλιέργειας με άλλες γεωργικές παραγωγές ή υποπροϊόντα.

Η παραδοσιακή ολοκληρωμένη υδατοκαλλιέργεια εμφανίζεται συνήθως σε οικογενειακές καλλιέργειες στις οποίες υπάρχουν φυτικές καλλιέργειες, καλλιέργεια ζώων και υδατοκαλλιέργεια. Η υδατοκαλλιέργεια είναι εκτατική και τα εκτρεφόμενα ζώα είναι χαμηλά στο τροφικό πλέγμα. Οι λιμνοδεξαμενές λιπαίνονται με περιττώματα από χοίρους, πάπιες, ανθρώπους κλπ., οτιδήποτε εκτρέ-

φεται ή χρησιμοποιείται στη καλλιέργεια (**Εικόνα 2.6**). Τα απόβλητα από καλλιέργειες, π.χ. στάχια από καλλιέργειες δημητριακών, μπορούν να προστεθούν στις λίμνες ως τροφή για βενθικούς καταναλωτές και αποικοδομητές. Οι λιμνοδεξαμενές δεν αποστραγγίζονται αλλά επαναχρησιμοποιούνται για διαδοχικές σοδειές υδατοκαλλιέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ζώα υδατοκαλλιέργειας προστίθενται σε χωράφια όπου η καλλιέργεια, συνήθως ρυζιού, καλλιεργείται μερικώς κατακλισμένη σε νερό. Οι καραβίδες του γλυκού νερού (ενότητα 23.4.5.2) και τα Κινέζικα καβούρια (ενότητα 23.3.3.5, **Εικόνες 23.6** και **23.7**) αποτελούν παραδείγματα αυτού. Τα καλλιεργούμενα ζώα εκτρέφονται με φυτικά απόβλητα και αναπτύσσονται και συλλέγονται μετά την καλλιέργεια, όταν το χωράφι αποστραγγίζεται. Μια διπλή σοδειά, φυτά και ζώα, λαμβάνεται από τον χωράφι.

Η σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια στις ανεπτυγμένες χώρες έχει κινηθεί ενάντια στην ενοποιημένη (integrated) υδατοκαλλιέργεια. Η κίνηση ήταν προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης συστημάτων μονοκαλλιέργειας για είδη υψηλής αξίας με

χρήση του νερού μία φορά. Ωστόσο, η περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού και η συνειδητοποίηση της παγκόσμιας σημασίας των υδάτινων πόρων οδήγησε σε μια στροφή προς την ενοποίηση της υδατοκαλλιέργειας στις χώρες όπου αναπτύχθηκαν οι μονοκαλλιεργητικές βιομηχανίες.

Τα ολοκληρωμένα συστήματα γεωργό-υδατοκαλλιέργειας (IASSs, Integrated Agri-Aquaculture Systems) έχουν οριστεί με διαφορετικό τρόπο (βλ. Cohen, 1997; Edwards, 1998). Η βασική προϋπόθεση των IAAS είναι η πολλαπλή χρήση του νερού τόσο για την παραδοσιακή χερσαία γεωργία όσο και για την υδατοκαλλιέργεια κατά τρόπο κερδοφόρο και οικολογικά βιώσιμο. Ως αποτέλεσμα, η ολοκληρωμένη γεωργό-υδατοκαλλιέργεια (IASS) περιλαμβάνει μια ποικιλία πρακτικών, συστημάτων και λειτουργιών.

Το νερό είναι ένας από τους πιο πολύτιμους και αναποτελεσματικούς φυσικούς πόρους στον κόσμο. Η ενσωμάτωση των γεωργικών πρακτικών για την αύξηση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού θα συμβάλλει στην οικολογικά βιώσιμη ανάπτυξη των φυσικών πόρων. Τα IASSs επιτρέπουν να αρδεύονται συστήματα καλλιέργειας και πολλαπλή χρήση του ίδιου νερού, τυπικά πρώτα για την παραγωγή ιχθύων και στη συνέχεια για άρδευση γεωργικών εκτάσεων.

Προσφάτως, τα IAASs εμφανίζονται συχνότερα σε χώρες με πολύ περιορισμένους υδάτινους πόρους. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου και στο Ισραήλ, τα IASSs είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένα και κάνουν βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου νερού. Στο Ισραήλ, τα γλυκά επιφανειακά νερά και τα υφάλμυρα υπόγεια νερά έχουν χρησιμοποιηθεί στην ολοκληρωμένη καλλιέργεια ποικιλίας ειδών ψαριών με ποικιλία γεωργικών σοδειών. (Cohen, 1997). Στις Ασιατικές χώρες, τα ψάρια, οι σοδειές ρυζιού και οι πάπιες έχουν ενσωματωθεί για να αξιοποιήσουν καλύτερα το διαθέσιμο νερό, τη γη και τα θρεπτικά συστατικά.

Στις ανεπτυγμένες χώρες, όπως στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη, η τεχνολογία των IAAS περιορίστηκε γενικά σε συστήματα μικρής κλίμακας που συνδέονται με την αρδευτική γεωργία. Οι ευκαιρίες περιλαμβάνουν συνήθως τη χρήση παραδοσιακών εγκαταστάσεων αποθήκευσης νερού (φράγματα), κανάλια άρδευσης, υπόγεια και επιφανεια-

κά νερά και υπόγεια υφάλμυρα νερά. Με τις τεχνολογικές εξελίξεις, όπως οι πλωτές καναλόμορφες δεξαμενές, δοκιμάζονται πλέον συστήματα μεγάλης κλίμακας.

2.5 Στατικά, Ανοικτά, Ημίκλειστα και Ανακυκλούμενα (Κλειστά) Συστήματα

2.5.1 Στατικά συστήματα

Μεγάλο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής της υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιεί παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας σε λιμνοδεξαμενές. Αυτές οι λιμνοδεξαμενές είναι στατικές (με στάσιμο νερό), χωρίς ανταλλαγή νερού κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Μπορεί να υπάρχει κάποια συμπλήρωση νερού για να αντισταθμιστεί η εξάτμιση.

Η στατική καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές είναι συνήθως εκτατική λόγω των μεγάλων προβλημάτων στη διατήρηση της ποιότητας του νερού υπό συνθήκες μεγάλης βιομάζας καλλιεργούμενων οργανισμών ανά μονάδα όγκου στάσιμου νερού (**Πίνακας 2.3**). Η αύξηση της βιομάζας απαιτεί αυξημένες εισροές λιπασμάτων και συμπληρωματική χορήγηση τροφής για τη διατήρηση της παραγωγικότητας. Αυτό, με τη σειρά του, απαιτεί διαχείριση για τέτοια προβλήματα ποιότητας των νερών όπως μη αποδεκτά επίπεδα αζωτούχων ενώσεων και χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (DO, Dissolved Oxygen) τη νύχτα. Με συμπληρωματικό αερισμό μπορεί να είναι δυνατή η διατήρηση του διαλυμένου οξυγόνου με υψηλότερη βιομάζα και επίτευξη μεγαλύτερης παραγωγικότητας (**Εικόνες 3.12 και 4.9**). Ωστόσο, οι αεριστήρες συχνά δεν είναι διαθέσιμοι ή εφικτοί (χωρίς ηλεκτρική ενέργεια) σε αγροτικές περιοχές όπου ασκείται η καλλιέργεια σε λιμνοδεξαμενές με στάσιμο νερό.

2.5.2 Ανοικτά Συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα το περιβάλλον είναι η εγκατάσταση υδατοκαλλιέργειας, π.χ. οι εκτροφόμενοι οργανισμοί περιορίζονται ή προστατεύονται μέσα στην εκτροφή σε μεγάλη ποσότητα νερού (π.χ. λίμνη ή ωκεανό), έτσι ώστε η ποιότητα του νε-



Εικόνα 2.7. Μαγιάτικο, *Seriola rivoliana*, που καλλιεργείται σε υψηλή πυκνότητα σε κλουβί ανοιχτής θαλάσσης στα ανοικτά την ακτής Kona της Χαβάης. Πηγή: Καλλιέργεια Kampachi. Αναπαράγεται με άδεια από τον N. A. Sims, Co-CEO, Kampachi Farms, LLC.

ανάπτυξης και οι τοπικές διαφορές στο περιβάλλον μπορεί επίσης να προκαλέσουν μεγάλες διαφορές στην ανάπτυξη και την επιβίωση. Η κλιματική αλλαγή έχει πλέον εισαγάγει μια πρόσθετη μεταβλητή στη επιλογή της τοποθεσίας νέων καλλιέργειών και στη λειτουργία των υφιστάμενων καλλιέργειών. Τα ιστορικά δεδομένα για την ποιότητα του νερού που χρησιμοποιούνταν έως τώρα για να υποδείξουν την πιθανή μελλοντική ποιότητα του νερού ενδέχεται να έχουν περιορισμένη χρήση. Θα απαιτηθούν δοκιμές σεναρίων, δηλαδή πιθανές αλλαγές στην ποιότητα των υδάτων που μπορεί να προκύψουν με την αλλαγή του κλίματος, για να ενημερωθούν οι επιλογές για τον εντοπισμό και τη διαχείριση της καλλιέργειας. Η πιθανή άνοδος της στάθμης του νερού της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής μπορεί επίσης να έχει αντίκτυπο στις βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας στις εκβολές ή σε δέλτα ποταμών. Για παράδειγμα, η βιομηχανία καλλιέργειας γατόψαρου στο Βιετνάμ μπορεί να έχει μεγαλύτερη πηγή αλμυρού νερού στο μέλλον.

Τα ανοικτά συστήματα είναι επίσης πιο επιρρεπή σε θηρευτές. Η θήρευση μπορεί να ελεγχθεί με την προσθήκη ορισμένων συσκευών προστασίας (**Εικόνα 5.2**). Επιπλέον, οι μέθοδοι ελέγχου των

θηρευτών στις περισσότερες χώρες πρέπει να είναι μη καταστρεπτικές (δεν επιτρέπεται το κυνήγι!) και είναι γενικά δαπανηρές για να λειτουργούν και να συντηρούνται. Η θήρευση μπορεί επίσης να εκτείνεται πέρα από τα άγρια ζώα όπως στην ανθρώπινη παρέμβαση ή τη λαθροθηρία. Παρόλο που η παρέμβαση σε εξοπλισμό και αποθέματα υδατοκαλλιέργειας αποτελεί αδίκημα στις περισσότερες χώρες, η επιβολή της νομοθεσίας είναι δύσκολη και η ευθύνη για την προστασία του εξοπλισμού και των αποθεμάτων συχνά είναι στην ευθύνη του διαχειριστή του συστήματος.

2.5.3 Ημίκλειστα Συστήματα

Τα ημίκλειστα συστήματα περιλαμβάνουν λιμνοδεξαμενές, δεξαμενές και καναλόμορφες συγκοινωνούντες δεξαμενές όπου η παροχή νερού περιορίζεται σε διακριτές μονάδες με κάποια ροή νερού. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σαφώς μεταξύ στατικών και ανοιχτών συστημάτων όσον αφορά την ανταλλαγή του νερού με παρακείμενες πηγές νερού. Υπάρχει ένας βαθμός ανταλλαγής νερού σε ημίκλειστα συστήματα που είναι σημαντικά μεγαλύτερος από ότι στα στατικά συστήματα και πολύ μικρότερος από ότι στα ανοικτά συ-