



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΝΑ ΜΕΛΛΟΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

2025

Ακαδημία

Υδατοκαλλιέργεια για ένα μέλλον ανθεκτικό στην κλιματική αλλαγή

Συγγραφείς: Vlasta BARTULOVIĆ, Anželika DAUTARTĖ, Ergün DEMİR, Tatjana DOBROSLAVIČ, Dimitris KLAOUDATOS, Halyna KRUSIR, Maryna MARDAR, Olha SAHDIEJEVA, Muhittin ZENGİN, Alvydas ŽIBAS, Gražina ŽIBIENĖ

Συντάκτης: Anželika DAUTARTĖ

Αναθεωρητές:

1. Assoc. Prof. Dr. Midona DAPKIENĖ, Vytautas Magnus University
2. Assoc. Prof. Dr. Daiva ŠILEIKIENĖ, Vytautas Magnus University

Αυτή η έκδοση αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου Erasmus+ ‘Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa (No. 2023-1-LT01-KA220-HED-000154247).

Η υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στην παραγωγή αυτής της δημοσίευσης δεν συνιστά έγκριση του περιεχομένου, το οποίο αντικατοπτρίζει αποκλειστικά τις απόψεις των συγγραφέων και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν.

Όλα τα δικαιώματα διατηρούνται. Κανένα μέρος αυτής της δημοσίευσης δεν επιτρέπεται να αναπαραχθεί, να αποθηκευτεί σε σύστημα ανάκτησης ή να μεταδοθεί σε οποιαδήποτε μορφή ή με οποιοδήποτε μέσο — ηλεκτρονικό, μηχανικό, φωτοτυπικό, ηχογράφηση ή άλλο— χωρίς την προηγούμενη άδεια του εκδότη, εκτός από σύντομες παραθέσεις που χρησιμοποιούνται για διάδοση.



Πρόλογος

Ο σύγχρονος κόσμος υφίσταται ταχεία μεταμόρφωση. Οι ενδείξεις ότι η κλιματική αλλαγή δεν είναι μια μακρινή προοπτική, αλλά μια παρούσα πραγματικότητα, περιλαμβάνουν την αύξηση της θερμοκρασίας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα, την οξίνιση των ωκεανών και τις διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας. Αυτό το φαινόμενο έχει εκτεταμένες συνέπειες για όλες τις πτυχές της κοινωνίας, επηρεάζοντας τα άτομα, τα οικοσυστήματα, τα γεωργικά συστήματα και τις κοινότητες. Η υδατοκαλλιέργεια, συστατικό στοιχείο της αλιείας, είναι ένας τομέας που είναι ιδιαίτερα ευάλωτος σε αυτές τις αλλαγές. Αποτελεί ζωτική πηγή πρωτεΐνης για έναν αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό και θεωρείται πρότυπο για το μέλλον της βιώσιμης παραγωγής τροφίμων.

Στόχος αυτής της έκδοσης είναι να διευκολύνει την κατανόηση των αναγνωστών σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υδατοκαλλιέργεια και να δώσει έμφαση στις γνώσεις και τις λύσεις που απαιτούνται για τη διασφάλιση της ανθεκτικής, ηθικής και βιώσιμης ανάπτυξης του κλάδου. Αυτός ο δεσμός σηματοδοτεί τη σύγκλιση επιστημονικών, τεχνολογικών και πρακτικών τομέων, υπογραμμίζοντας την ύψιστη σημασία της ανθρώπινης προσαρμοστικότητας, της συνεργασίας και της τάσης να υποκινεί την αλλαγή.

Ο παρών τόμος διερευνά όχι μόνο τις συνέπειες των περιβαλλοντικών αλλαγών – όπως το θερμικό στρες, τα κρούσματα ασθενειών, την αποδοτικότητα των ζωοτροφών, τη γενετική προσαρμογή και τη χρήση βιοτεχνολογιών – αλλά και τα συστήματα, τις μεθόδους και τα μέτρα πολιτικής που μπορούν να βοηθήσουν τον τομέα να προχωρήσει. Τα θέματα περιλαμβάνουν την προσαρμογή των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS), την εφαρμογή ολοκληρωμένης πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας (IMTA), τη διαχείριση των στρατηγικών διατροφής υπό μεταβαλλόμενα καθεστώτα θερμοκρασίας και τη χρήση καινοτομιών για τον μετριασμό των επιπτώσεων της οξίνισης των ωκεανών.

Ωστόσο, η παρούσα έκδοση δεν ασχολείται αποκλειστικά με συστήματα και τεχνολογίες. Το επίκεντρο αυτής της μελέτης είναι σε ανθρώπινα θέματα. Αυτό το κείμενο αφορά τους μαθητές που πρόκειται να καθορίσουν τη γαλάζια οικονομία του μέλλοντος. Η ακόλουθη ομιλία αφορά παιδαγωγούς που είναι επιφορτισμένοι με την ευθύνη να ενσταλάξουν αξίες στους μαθητές τους. Η ακόλουθη ομιλία αφορά τις προσπάθειες των αγροτών και των ερευνητών στην αναζήτησή τους για λύσεις τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό αφορά όλα τα άτομα που ανησυχούν για την κληρονομιά που πρόκειται να αφεθεί στους επόμενους.

Αυτή η έκδοση αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου με τίτλο «The Digital Blue Career for a Post-Carbon Future – Curriculum Innovations in Aquaculture». Αυτή η πρωτοβουλία έχει σχεδιαστεί για να ενθαρρύνει μια πιο εις βάθος εξέταση του θέματος, να προωθήσει την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών και να ενσταλάξει το αίσθημα ευθύνης σε όλα τα άτομα. Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, η πρακτική της υδατοκαλλιέργειας πρέπει να εξεταστεί τόσο από την άποψη των προκλήσεων όσο και από την άποψη των ευκαιριών.

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Dr. Anželika Dautartė

Τμήμα Επιστημών Περιβάλλοντος και Οικολογίας

Σχολή Δασικών Επιστημών και Οικολογίας, Ακαδημία Γεωργίας VMU

Συντομογραφίες

DHA – Εικοσιδυαεξανοϊκό οξύ

EPA – Εικοσαπεντανοϊκό οξύ

FCR – Αναλογία μετατροπής ζωοτροφών

FER – Λόγος απόδοσης τροφοδοσίας

GE – Ακαθάριστη Ενέργεια

GHG – Αέρια θερμοκηπίου

HAB – Επιβλαβής άνθιση φυκιών

IMTA – Ολοκληρωμένη Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια

LCA – Ανάλυση Κύκλου Ζωής

MO – Βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων

NE – Καθαρή Ενέργεια

pH – μια κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του όξινου ή βασικού νερού

ppt – Μέρη ανά χίλια

PUFA – Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα

RAS – Σύστημα Υδατοκαλλιέργειας με Ανακύκλωση

SCO – Μονοκύτταροι οργανισμοί.



Περιεχόμενα

Πρόλογος	ii
Συντομογραφίες	iii
Κεφάλαιο 1. Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην ποιότητα των υδάτων και επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια	1
Εισαγωγή.....	1
1. Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην ποιότητα των υδάτων	2
2. Επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια.....	12
Περίληψη	18
Βιβλιογραφία.....	19
Κεφάλαιο 2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας από την άποψη της υπερθέρμανσης του πλανήτη	22
Εισαγωγή.....	22
1. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου	23
2. Χρήση ενέργειας και αειφορία.....	27
4. Παραγωγή ζωοτροφών και χρήση πόρων	31
5. Ρύπανση και υπολειμματικές ουσίες.....	35
Περίληψη	38
Βιβλιογραφία.....	39
Κεφάλαιο 3. Υπερθέρμανση του πλανήτη και αναπαραγωγή, βιοτεχνολογία στην υδατοκαλλιέργεια ..	43
Εθνικό Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Οδησσού	43
Εισαγωγή.....	43
1. Κλιματική αλλαγή και αναπαραγωγή των ειδών	44
2. Προηγμένες μέθοδοι αναπαραγωγής	46
3. Γενετική Μηχανική και CRISPR.....	50
4. Τεχνολογίες Κρυοσυντήρησης και Υποβοηθούμενης Αναπαραγωγής	58
5. Δεοντολογικά, περιβαλλοντικά και ρυθμιστικά ζητήματα	64
Περίληψη	68
Βιβλιογραφία.....	70
Κεφάλαιο 4. Μεταβολές στις ζωοτροφές και τη διατροφή στην υδατοκαλλιέργεια λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη	72
Εισαγωγή.....	72
1. Μεταβολές στη διατροφική φυσιολογία	73



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

2. Βιώσιμα συστατικά ζωοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια.....	75
3. Πρακτικές διαχείρισης ζωοτροφών.....	84
4. Μετριασμός των επιπτώσεων της οξίνισης των ωκεανών.....	87
5. Ενίσχυση της αποδοτικότητας και της πεπτικότητας των ζωοτροφών.....	89
Περίληψη	94
Βιβλιογραφία.....	95
Κεφάλαιο 5. Επιδράσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια και προστατευτικές εφαρμογές	103
Πανεπιστήμιο Vytautas Magnus.....	103
Εισαγωγή.....	103
1. Κοινές ασθένειες και οι επιπτώσεις τους.....	105
2. Μέτρα προστασίας και βιοτεχνολογικές εφαρμογές για τον μετριασμό των επιπτώσεων των ασθενειών.....	115
3. Επιδράσεις του κλίματος στις ασθένειες και μελλοντικές λύσεις	126
Περίληψη	129
Βιβλιογραφία.....	129
Κεφάλαιο 6. Επιλογή συστήματος κατά της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια.....	131
Εισαγωγή.....	131
1. Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας	132
2. Βασικά κριτήρια για την επιλογή συστήματος	134
3. Καινοτόμα συστήματα για την αντιμετώπιση των κλιματικών προκλήσεων.....	137
4. Πολιτικές και οικονομικές εκτιμήσεις	139
Περίληψη	141
Βιβλιογραφία.....	142
Γλωσσάριο.....	145

Κεφάλαιο 1. Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην ποιότητα των υδάτων και επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια. Dr. Anželika Dautartė
Πανεπιστήμιο Vytautas Magnus

Εισαγωγή

Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής επηρεάζει σημαντικά τα υδάτινα οικοσυστήματα, ιδίως τις μεταβολικές και αναπτυξιακές διαδικασίες των υδρόβιων ειδών. Οι αυξημένες θερμοκρασίες επιταχύνουν τους μεταβολικούς ρυθμούς, αυξάνοντας τις απαιτήσεις των υδρόβιων οργανισμών σε οξυγόνο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε προκλήσεις ανάπτυξης και αναπαραγωγής. Το παρόν κεφάλαιο διερευνά την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβολών της θερμοκρασίας και των φυσιολογικών διεργασιών των υδρόβιων ειδών, παρέχοντας πληροφορίες για το πώς αυτές οι δυναμικές επηρεάζουν την ποιότητα του νερού και την υγεία των οικοσυστημάτων. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει επίσης σε μεγάλο βαθμό τα παράκτια και εκβολικά οικοσυστήματα, με τις διακυμάνσεις της αλατότητας να αναδεικνύονται σε κρίσιμη συνέπεια. Το λιώσιμο των πολικών πάγων και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχοπτώσεων συμβάλλουν σημαντικά στις μεταβολές των επιπέδων αλατότητας, ιδίως σε περιοχές κοντά σε εισροές γλυκού νερού. Αυτές οι διακυμάνσεις θέτουν προκλήσεις για τους υδρόβιους οργανισμούς που εξαρτώνται από σταθερές συνθήκες αλατότητας, μεταβάλλοντας τη δυναμική των οικοσυστημάτων και απειλώντας τη βιοποικιλότητα (Guimbeau et al., 2024; Mensah et al., 2025).

Οι μεταβολές της αλατότητας λόγω της κλιματικής αλλαγής διαταράσσουν περαιτέρω τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Οι μεταβολές της αλατότητας, οι οποίες οφείλονται στο λιώσιμο των πολικών πάγων, στην αλλαγή των κατακρημνισμάτων και στην αύξηση των ρυθμών εξάτμισης, επηρεάζουν την κατανομή των θαλάσσιων ειδών, επηρεάζοντας τη βιοποικιλότητα και περιπλέκοντας τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας. Η επιβάρυνση με θρεπτικά συστατικά από γεωργικές απορροές, βιομηχανικές απορρίψεις και αστική ρύπανση επιδεινώνει τον ευτροφισμό, οδηγώντας σε επιβλαβείς ανθίσεις φυκών (HAB), μείωση του οξυγόνου και σοβαρές διαταραχές στα θαλάσσια οικοσυστήματα και τα οικοσυστήματα γλυκού νερού. Ο ευτροφισμός, που γίνεται όλο και πιο διαδεδομένος λόγω των ανθρωπογενών επιδράσεων και της κλιματικής αλλαγής, έχει εκτεταμένες οικολογικές και οικονομικές συνέπειες (Zhang et al., 2024; Mensah et al., 2025).

Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα του νερού απειλούνται όλο και περισσότερο από τις διπλές πιέσεις της κλιματικής αλλαγής και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι ξηρασίες και η λειψυδρία, που επιδεινώνονται από την άνοδο της θερμοκρασίας και τα απρόβλεπτα πρότυπα βροχοπτώσεων,

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

μεταβάλλουν τους υδρολογικούς κύκλους σε παγκόσμιο επίπεδο. Ταυτόχρονα, η υποβαθμισμένη ποιότητα των υδάτων λόγω ρύπανσης και κακής διαχείρισης θέτει σημαντικές προκλήσεις για τα οικοσυστήματα και τους ανθρώπινους πληθυσμούς (DeNicola et al., 2015- Moussa et al., 2025). Η υπερθέρμανση του πλανήτη θέτει επίσης προκλήσεις για την υδατοκαλλιέργεια, καθώς μεταβάλλει τις περιβαλλοντικές συνθήκες που είναι απαραίτητες για τα υδρόβια είδη. Καθώς οι θερμοκρασίες του νερού αυξάνονται, πολλά είδη δυσκολεύονται να ευδοκιμήσουν εκτός των βέλτιστων θερμικών περιοχών τους, οδηγώντας σε μειωμένες αποδόσεις και αυξημένη θνησιμότητα. Επιπλέον, τα θερμότερα νερά δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για παθογόνους μικροοργανισμούς και παράσιτα, επιδεινώνοντας τους κινδύνους για την υδατοκαλλιέργεια (DeNicola et al., 2015; Moussa et al., 2025). Αυτά τα αλληλένδετα ζητήματα επηρεάζουν σημαντικά τη βιωσιμότητα και την κερδοφορία της υδατοκαλλιέργειας.

Η γεωγραφική κατανομή των ζωνών υδατοκαλλιέργειας αναδιαμορφώνεται λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η άνοδος της θερμοκρασίας της θάλασσας, η μετατόπιση των ωκεάνιων ρευμάτων και η αλλαγή των κατακρημνισμάτων μεταβάλλουν την καταλληλότητα των παραδοσιακών περιοχών υδατοκαλλιέργειας. Η μετατόπιση αυτή απαιτεί στρατηγικές προσαρμογές, όπως η μετεγκατάσταση των δραστηριοτήτων σε νέες κατάλληλες ζώνες, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει τις προκλήσεις που θέτουν τα χωροκατακτητικά είδη, τα οποία ευδοκιμούν σε μεταβαλλόμενες συνθήκες και διαταράσσουν τα ενδημικά οικοσυστήματα. Οι διαταραχές αυτές συνεπάγονται σημαντικές κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες και απαιτούν άμεση προσοχή από τους φορείς χάραξης πολιτικής, τους ερευνητές και τους ενδιαφερόμενους φορείς του κλάδου.

1. Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην ποιότητα των υδάτων

1.1 Θερμική διαστρωμάτωση και μείωση του οξυγόνου στα υδάτινα οικοσυστήματα

1.1.1 Μηχανισμοί θερμικής στρωμάτωσης και εξάντλησης οξυγόνου

Η θερμική διαστρωμάτωση συμβαίνει όταν οι διαφορές στη θερμοκρασία του νερού δημιουργούν διακριτά στρώματα μέσα σε ένα υδάτινο σώμα. Η διαδικασία αυτή επιδεινώνεται από την υπερθέρμανση του πλανήτη, καθώς η άνοδος της επιφανειακής θερμοκρασίας εντείνει το διαχωρισμό μεταξύ του θερμότερου, ελαφρύτερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου, πυκνότερου βαθιού νερού. Αυτά τα στρώματα εμποδίζουν την κατακόρυφη ανάμιξη, περιορίζοντας την καθοδική κίνηση του οξυγόνου και την ανοδική κίνηση των θρεπτικών ουσιών. Κατά συνέπεια, τα επίπεδα οξυγόνου στα βαθύτερα ύδατα μειώνονται, οδηγώντας σε υποξία ή ανοξικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν σοβαρά τα θαλάσσια οικοσυστήματα (Bhuiyan et al., 2024; Burke et al., 2022).

Η μείωση του οξυγόνου ήταν ιδιαίτερα εμφανής σε περιοχές με ασθενή αερισμό και υψηλή αποσύνθεση οργανικής ύλης. Για παράδειγμα, ο ανατολικός τροπικός Ειρηνικός (ETP) και η Αραβική Θάλασσα παρουσιάζουν εκτεταμένες ζώνες ελάχιστου οξυγόνου (OMZ), όπου τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου είναι κάτω από 20 $\mu\text{mol/L}$, σε βάθη 100 έως 1.000 μέτρων. Οι περιοχές αυτές αναδεικνύουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της αργής ωκεάνιας κυκλοφορίας, της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και της περιορισμένης αναπλήρωσης του οξυγόνου (Bhuiyan et al., 2024).

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Περιφερειακές και παγκόσμιες τάσεις

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η περιεκτικότητα των ωκεανών σε οξυγόνο έχει μειωθεί κατά περίπου 2% από το 1960. Η τάση αυτή αποδίδεται στην εντεινόμενη στρωματοποίηση, τον ευτροφισμό και την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι παράκτιες περιοχές, συμπεριλαμβανομένου του Κόλπου του Μεξικού και του Κόλπου Τσέξαπικ, έχουν βιώσει σημαντική επέκταση των υποξικών ζωνών, που συνήθως αναφέρονται ως "νεκρές ζώνες". Οι περιοχές αυτές οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην απορροή θρεπτικών ουσιών, η οποία τροφοδοτεί την άνθιση των φυκών, οδηγώντας σε αυξημένη αποσύνθεση οργανικής ύλης και κατανάλωση οξυγόνου (Bhuiyan et al., 2024).

Τα δορυφορικά μοντέλα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη δυναμική του διαλυμένου οξυγόνου, δείχνοντας πώς οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της αλατότητας συσχετίζονται με τα επίπεδα οξυγόνου. Για παράδειγμα, οι περιοχές που επηρεάζονται από ανοδικές κινήσεις, όπως το ρεύμα της Καλιφόρνιας, αποκαλύπτουν υψηλότερη μεταβλητότητα του οξυγόνου λόγω της αλληλεπίδρασης των πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά ψυχρών υδάτων και της βιολογικής παραγωγικότητας (Sundararaman & Shanmugam, 2024).

Επιπτώσεις στη θαλάσσια ζωή

Η μείωση του οξυγόνου επηρεάζει άμεσα τα υδρόβια είδη μειώνοντας τις κατοικήσιμες ζώνες και μεταβάλλοντας τη δυναμική του οικοσυστήματος. Οι βενθικοί οργανισμοί και η βενθική πανίδα υποφέρουν περισσότερο, καθώς δεν μπορούν να ξεφύγουν από τις συνθήκες χαμηλού οξυγόνου. Τα ψάρια και τα κινητά ασπόνδυλα αντιμετωπίζουν συμπίεση των ενδιαιτημάτων τους, αναγκάζοντάς τα σε ρηχότερα στρώματα πλούσια σε οξυγόνο, γεγονός που αυξάνει τον ανταγωνισμό και τον κίνδυνο θήρευσης. Επιπλέον, η παρατεταμένη υποξία μπορεί να διαταράξει την αναπαραγωγή και την ανάπτυξη, οδηγώντας σε μείωση των πληθυσμών των εμπορικά σημαντικών ειδών (Burke et al., 2022- Sundararaman & Shanmugam, 2024).

Στρατηγικές μετριασμού

1. **Ενισχυμένη παρακολούθηση:** Οι εξελίξεις στην τηλεπισκόπηση και τα βιογεωχημικά μοντέλα παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη δυναμική του οξυγόνου και των θρεπτικών συστατικών, βοηθώντας στην έγκαιρη ανίχνευση υποξικών συνθηκών.
2. **Διαχείριση θρεπτικών στοιχείων:** Η μείωση της γεωργικής απορροής και η εφαρμογή βιώσιμων γεωργικών πρακτικών μπορούν να μετριάσουν τον ευτροφισμό και τη συναφή μείωση του οξυγόνου.
3. **Συστήματα οξυγόνωσης:** Στην υδατοκαλλιέργεια, τεχνολογίες όπως η έγχυση υγρού οξυγόνου και τα συστήματα αερισμού έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανακούφιση του στρες χαμηλού οξυγόνου σε ιχθυοκαλλιέργειες, με μικτή επιτυχία ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Burke et al., 2022).
4. **Μετριασμός της κλιματικής αλλαγής:** Η αντιμετώπιση των βαθύτερων αιτίων της υπερθέρμανσης του πλανήτη μέσω μειωμένων εκπομπών άνθρακα είναι κρίσιμη για την αντιστροφή των τάσεων διαστρωμάτωσης και τη διατήρηση της θαλάσσιας βιοποικιλότητας (Bhuiyan et al., 2024).

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

1.1.2 Μεταβολικοί ρυθμοί και ζήτηση οξυγόνου

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες επηρεάζουν άμεσα τους μεταβολικούς ρυθμούς των υδρόβιων οργανισμών, οδηγώντας σε αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου για την κάλυψη των αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων. Μελέτες δείχνουν ότι η εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία υποξία αποτελεί σημαντική πρόκληση, καθώς η διαθεσιμότητα του οξυγόνου μειώνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας, περιορίζοντας έτσι τις αερόβιες ικανότητες των οργανισμών (Seibel, 2024). Για παράδειγμα, ο μεταβολικός δείκτης καταδεικνύει ότι η παροχή οξυγόνου καθίσταται ανεπαρκής για την κάλυψη της ζήτησης σε υψηλότερες θερμοκρασίες, περιορίζοντας την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή (Deutsch et al., 2020).

Τα είδη ψαριών είναι ιδιαίτερα ευάλωτα, καθώς οι αυξημένοι μεταβολικοί ρυθμοί απαιτούν μεγαλύτερη πρόσληψη οξυγόνου, η οποία είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε θερμότερα νερά με μειωμένη διαλυτότητα οξυγόνου. Αυτή η φυσιολογική καταπόνηση δεν εμποδίζει μόνο την ανάπτυξη αλλά επηρεάζει επίσης τα ποσοστά επιβίωσης, ιδίως για τα είδη που ζουν σε ρηχά ή θερμικά στρωματοποιημένα περιβάλλοντα (Okon et al., 2024).

Ανάπτυξη και αναπαραγωγικές προκλήσεις

Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας μεταβάλλουν σημαντικά τις πορείες ανάπτυξης και τους αναπαραγωγικούς κύκλους των υδρόβιων ειδών. Για πολλά ψάρια, τα θερμότερα νερά οδηγούν σε πρόωγη ωρίμανση αλλά σε μικρότερη διάρκεια ζωής, διαταράσσοντας τη δυναμική των πληθυσμών και τις ισορροπίες των οικοσυστημάτων (Liu et al., 2024). Επιπλέον, οι αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα των γαμετών και την επιτυχία της αναπαραγωγής, μειώνοντας την αναπαραγωγική παραγωγή. Για παράδειγμα, είδη στον βορειοδυτικό Ειρηνικό έχουν παρουσιάσει αλλαγές στις στρατηγικές αναπαραγωγής τους ως άμεση απόκριση στη μεταβολή του θερμικού καθεστώτος, τονίζοντας τη βαθιά επίδραση της θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά της ιστορίας ζωής (Liu et al., 2024).

Επιπτώσεις στην υγεία του οικοσυστήματος

Οι αλυσιδωτές επιπτώσεις των μεταβολικών αλλαγών και της ανάπτυξης επεκτείνονται στην ευρύτερη υγεία του οικοσυστήματος. Οι αυξημένοι μεταβολικοί ρυθμοί οδηγούν σε μεγαλύτερη πρόσληψη θρεπτικών ουσιών και αποβολή αποβλήτων, γεγονός που μπορεί να επιδεινώσει τον ευτροφισμό σε πλούσια σε θρεπτικά συστατικά ύδατα. Επιπλέον, η θερμική καταπόνηση μπορεί να αποδυναμώσει τις ανοσολογικές αντιδράσεις, καθιστώντας τα είδη πιο ευάλωτα σε παθογόνους μικροοργανισμούς και ασθένειες, όπως παρατηρείται στα παγκόσμια συστήματα υδατοκαλλιέργειας (Okon et al., 2024). Αυτές οι αλληλεπιδράσεις υπογραμμίζουν την κρίσιμη ανάγκη για ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης για τον μετριασμό των στρεσογόνων παραγόντων που προκαλούνται από το κλίμα στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Προσαρμοστικές αντιδράσεις και στρατηγικές μετριασμού

Τα υδρόβια είδη παρουσιάζουν διάφορους βαθμούς φαινοτυπικής πλαστικότητας για την αντιμετώπιση της θερμικής καταπόνησης. Για παράδειγμα, τα ευρύαλλα είδη προσαρμόζουν τους ωσμωρυθμιστικούς μηχανισμούς τους για να διαχειρίζονται τις αυξημένες διακυμάνσεις της

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αλατότητας και της θερμοκρασίας (Esbaugh, 2025). Ωστόσο, η έκταση αυτών των προσαρμογών περιορίζεται από τους ενεργειακούς περιορισμούς, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία των προληπτικών μέτρων για τον μετριασμό των επιπτώσεων της θερμοκρασίας.

Οι αποτελεσματικές στρατηγικές περιλαμβάνουν την αποκατάσταση της παρόχθιας βλάστησης για τη σκίαση των υδάτινων σωμάτων και τη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης, καθώς και την ενίσχυση της ροής του νερού σε στρωματοποιημένα συστήματα για τη βελτίωση της κατανομής του οξυγόνου. Επιπλέον, οι παγκόσμιες προσπάθειες για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παραμένουν ουσιαστικές για την αντιμετώπιση των βαθύτερων αιτιών της αύξησης της θερμοκρασίας που προκαλείται από το κλίμα (Seibel, 2024).

1.2 Χημική Σύσταση: Οξύτητα, Αλατότητα και Θρεπτικά

1.2.1 Επίπεδα pH και Οξίνιση των ωκεανών

Η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από τους ωκεανούς αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα της οξίνισης των ωκεανών, προκαλώντας μετρήσιμη μείωση των επιπέδων του pH. Από την προβιομηχανική εποχή, το pH των επιφανειακών ωκεανών έχει μειωθεί κατά περίπου 0,1 μονάδες, που αντιστοιχεί σε αύξηση της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου κατά 26% (Duarte et al., 2022). Αυτή η οξίνιση προκύπτει από την ένωση του CO_2 με το θαλασσινό νερό προς σχηματισμό ανθρακικού οξέος, το οποίο διαχωρίζεται σε διττανθρακικά και ιόντα υδρογόνου, μειώνοντας το pH και μειώνοντας τη διαθεσιμότητα των ανθρακικών ιόντων (Grabba et al., 2024). Τα ανθρακικά ιόντα είναι απαραίτητα για τους ασβεστολιθικούς οργανισμούς, όπως τα οστρακοειδή και τα κοράλλια, για να οικοδομήσουν και να διατηρήσουν τις δομές ανθρακικού ασβεστίου τους. Η μειωμένη διαθεσιμότητα ανθρακικών έχει συνδεθεί με λεπτότερα, ασθενέστερα κελύφη και μειωμένη σκελετική ακεραιότητα σε θαλάσσια είδη (Andreyeva et al., 2024).

Η οξίνιση των ωκεανών επηρεάζει σοβαρά τους ασβεστολιθικούς οργανισμούς, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις μεταβολές της κατάστασης κορεσμού των ανθρακικών αλάτων. Εργαστηριακές μελέτες σε δίθυρα, όπως τα μύδια και τα στρείδια, καταδεικνύουν ότι οι συνθήκες μειωμένου pH εμποδίζουν τον σχηματισμό του κελύφους, καθυστερούν την ανάπτυξη και αυξάνουν τα ποσοστά θνησιμότητας κατά τα πρώιμα στάδια της ζωής (Hamilton et al., 2022). Για παράδειγμα, το μύδι *Mytilus galloprovincialis* έχει δείξει ανθεκτικότητα σε χαμηλό pH, αλλά εξακολουθεί να εμφανίζει αυξημένους τραυματισμούς του κελύφους και μειωμένους ρυθμούς ανάπτυξης σε συνθήκες οξίνισης (Andreyeva et al., 2024). Τέτοιες φυσιολογικές καταπονήσεις θέτουν σε κίνδυνο την επιβίωση και τις επιδόσεις αυτών των ειδών τόσο στα φυσικά ενδιαίτηματα όσο και στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Η οξίνιση των ωκεανών βλάπτει επίσης τα μη ασβεστολιθικά είδη, μεταβάλλοντας τις αισθητήριες λειτουργίες, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή. Σε ψάρια και ασπόνδυλα έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στη συμπεριφορά, όπως μειωμένη αποφυγή θηρευτών και μεταβαλλόμενες προτιμήσεις ενδιαιτημάτων, σε συνθήκες χαμηλού pH (Grabba et al., 2024). Επιπλέον, η οξίνιση σε συνδυασμό με άλλους στρεσογόνους παράγοντες, όπως η υποξία, επιδεινώνει αυτές τις αρνητικές επιδράσεις, οδηγώντας σε επιδεινούμενες επιπτώσεις στη θαλάσσια βιοποικιλότητα (Andreyeva et al., 2024).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Οικονομικές και οικολογικές συνέπειες

Οι οικονομικές επιπτώσεις της οξίνισης των ωκεανών είναι βαθιές, ιδίως για τις βιομηχανίες που εξαρτώνται από τους ασβεστολιθικούς οργανισμούς. Η αλιεία οστρακοειδών και η υδατοκαλλιέργεια αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις, με προβλεπόμενες απώλειες στην παραγωγή και την αξία της αγοράς λόγω της υποβαθμισμένης ποιότητας του κελύφους και των ποσοστών επιβίωσης (Mangi et al., 2018). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι οικονομικές απώλειες που αποδίδονται στην οξίνιση των ωκεανών θα μπορούσαν να κυμανθούν από 14% έως 28% της καθαρής παρούσας αξίας της αλιείας σε σενάρια υψηλών εκπομπών (Mangi et al., 2018). Αυτές οι οικονομικές πιέσεις υπογραμμίζουν τον επείγοντα χαρακτήρα της αντιμετώπισης της οξίνισης για τη διασφάλιση των θαλάσσιων πόρων και των μέσων διαβίωσης.

Από οικολογική άποψη, η διατάραξη των θαλάσσιων τροφικών πλεγμάτων αποτελεί κρίσιμη ανησυχία. Οι μειωμένοι πληθυσμοί ασβεστολιθικών οργανισμών μπορεί να έχουν αλυσιδωτές επιπτώσεις στη δυναμική θηρευτών-θηραμάτων, στον κύκλο των θρεπτικών ουσιών και στη συνολική σταθερότητα του οικοσυστήματος (Duarte et al., 2022). Ολοκληρωμένες προσεγγίσεις, όπως τα πολυτροφικά συστήματα υδατοκαλλιέργειας, έχουν δείξει ότι υπόσχονται τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων με τη χρήση φυκιών για τη ρυθμιστική ρύθμιση των επιπέδων pH και την υποστήριξη των ασβεστολιθικών ειδών (Hamilton et al., 2022).

Στρατηγικές μετριασμού και μελλοντικές προοπτικές

Η αντιμετώπιση της οξίνισης των ωκεανών απαιτεί συντονισμένες παγκόσμιες προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την εφαρμογή στρατηγικών προσαρμογής. Η αποκατάσταση των λιβαδιών θαλάσσιου χόρτου και των μαγγρόβιων φυτών μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητα των ακτών απορροφώντας το CO₂ και παρέχοντας καταφύγια για τους θαλάσσιους οργανισμούς (Hamilton et al., 2022). Επιπλέον, η προώθηση των πρακτικών υδατοκαλλιέργειας για την ενσωμάτωση τεχνικών απομόνωσης του pH, όπως η χρήση φυκιών, μπορεί να μετριάσει τον αντίκτυπο της οξίνισης στην καλλιέργεια οστρακοειδών (Hamilton et al., 2022).

Η μακροχρόνια παρακολούθηση και έρευνα είναι απαραίτητες για την κατανόηση των πολύπλευρων επιπτώσεων της οξίνισης και την ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών. Η ενισχυμένη διεθνής συνεργασία και η ενσωμάτωση των επιστημονικών πορισμάτων σε πλαίσια πολιτικής, όπως το Παγκόσμιο Πλαίσιο Βιοποικιλότητας του Κουνμίνγκ-Μοντρεάλ, είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό της οξίνισης και την προστασία της θαλάσσιας βιοποικιλότητας (Grabba et al., 2024).

1.2.2 Μεταβολές στην αλατότητα

Οι κύριες αιτίες των διακυμάνσεων της αλατότητας περιλαμβάνουν τις εισροές γλυκού νερού από το λιώσιμο των παγετώνων, τις αυξημένες βροχοπτώσεις και τις εποχιακές διακυμάνσεις της εκροής των ποταμών. Για παράδειγμα, στον Βόρειο Κόλπο της Αλάσκας, οι εισροές γλυκού νερού από παγετώδεις λεκάνες απορροής συμβάλλουν σε έντονες εποχικές και χωρικές διακυμάνσεις της αλατότητας. Οι μεταβολές αυτές διαμορφώνονται περαιτέρω από την ανάμιξη λόγω ανέμων και τα παράκτια ρεύματα, τα οποία επηρεάζουν την κατανομή των εκοβλών γλυκού νερού (Reister et al., 2024). Παρομοίως, η Θάλασσα Βερίνγκ έχει υποστεί σημαντική ανανέωση λόγω της μειωμένης παραγωγής θαλάσσιου πάγου και των αυξημένων όγκων νερού τήξης, οδηγώντας σε αποδυνάμωση

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

της στρωματοποίησης και μετατοπίσεις στον κύκλο των θρεπτικών συστατικών (Mensah et al., 2025).

Επιπτώσεις στους θαλάσσιους και εκβολικούς οργανισμούς

Οι οργανισμοί που ζουν σε εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις διακυμάνσεις της αλατότητας. Για τα είδη που εξαρτώνται από τη σταθερή αλατότητα, όπως τα οστρακοειδή και συγκεκριμένοι πληθυσμοί ψαριών, οι μεταβολές της αλατότητας μπορούν να διαταράξουν τις φυσιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της ωσμωρύθμισης, της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής (Guimbeau et al., 2024). Για παράδειγμα, μελέτες στο Μπαγκλαντές αποκαλύπτουν ότι η αυξημένη έκθεση στην αλατότητα κατά τη διάρκεια κρίσιμων αναπτυξιακών περιόδων οδηγεί σε καχεκτική ανάπτυξη των παιδιών, αναδεικνύοντας τις ευρύτερες κοινωνικο-οικολογικές συνέπειες των αλλαγών της αλατότητας (Guimbeau et al., 2024).

Τα εκβολικά συστήματα, όπως αυτά του Κόλπου Τσέζαπικ, αντιμετωπίζουν σύνθετη πίεση από τον εμπλουτισμό με θρεπτικά συστατικά και τις αλλαγές στην αλατότητα. Τα αυξημένα επίπεδα αλατότητας έχουν συνδεθεί με μειωμένη ποικιλότητα ειδών και αλλαγές στη σύνθεση της κοινότητας, καθώς τα λιγότερο ανεκτικά είδη αντικαθίστανται από ευκαιριακά είδη (Zhang et al., 2024). Αυτή η μείωση της βιοποικιλότητας έχει αλυσιδωτές επιπτώσεις στη σταθερότητα του τροφικού πλέγματος και στις υπηρεσίες του οικοσυστήματος.

Ευρύτερες οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές συνέπειες

Οι διακυμάνσεις της αλατότητας επηρεάζουν όχι μόνο τη βιοποικιλότητα αλλά και την παραγωγικότητα της παράκτιας αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, η διείσδυση αλμυρού νερού σε συστήματα γλυκού νερού μειώνει τη διαθεσιμότητα ενδιαιτημάτων κατάλληλων για είδη γλυκού και υφάλμυρου νερού. Στην υδατοκαλλιέργεια, η αυξομείωση της αλατότητας δυσχεραίνει τη διατήρηση των βέλτιστων συνθηκών, επηρεάζοντας την ανάπτυξη και την επιβίωση των καλλιεργούμενων ειδών (Mensah et al., 2025).

Επιπλέον, οι αλλαγές αυτές επιδεινώνουν τα υφιστάμενα τρωτά σημεία των παράκτιων κοινοτήτων. Η μειωμένη γεωργική παραγωγικότητα σε περιοχές όπως το δέλτα του Γάγγη-Μπραχμαπούτρα έχει συνδεθεί με την αλάτωση του αρδευτικού νερού, υπογραμμίζοντας τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των διακυμάνσεων της αλατότητας (Guimbeau et al., 2024).

Στρατηγικές μετριασμού και προσαρμογής

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων των διακυμάνσεων της αλατότητας απαιτεί ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης. Η αποκατάσταση της παράκτιας βλάστησης, όπως τα μαγκρόβια και τα θαλάσσια χόρτα, μπορεί να αμβλύνει τις μεταβολές της αλατότητας σταθεροποιώντας τα ιζήματα και ενισχύοντας την κατακράτηση νερού. Επιπλέον, η βελτιωμένη μοντελοποίηση των εισροών γλυκού νερού και της δυναμικής της αλατότητας μπορεί να δώσει πληροφορίες για προσαρμοστικές πρακτικές διαχείρισης, όπως η τροποποίηση των προγραμμάτων άρδευσης και η επιλογή ποικιλιών καλλιεργειών που αντέχουν στην αλμύρα (Zhang et al., 2024).

Σε ευρύτερη κλίμακα, η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη για τον μετριασμό των υποκείμενων παραγόντων της κλιματικής αλλαγής. Οι επενδύσεις σε παγκόσμια



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

συστήματα παρακολούθησης και τα σχέδια προσαρμογής σε κοινοτικό επίπεδο μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω την ανθεκτικότητα στις μεταβολές της αλατότητας σε ευάλωτες περιοχές (Guimbeau et al., 2024; Mensah et al., 2025).

Μηχανισμοί των μετατοπίσεων κατανομής που προκαλούνται από την αλατότητα

Οι διακυμάνσεις της αλατότητας οφείλονται κυρίως στις εισροές γλυκού νερού, στο λιώσιμο των παγετώνων και στις μεταβαλλόμενες βροχοπτώσεις. Για παράδειγμα, οι παράκτιες περιοχές κοντά σε εκβολές ποταμών παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση της αλατότητας λόγω εποχιακών και κλιματικών αλλαγών (Guimbeau et al., 2024). Στις εκβολές της Δυτικής Αυστραλίας, η υπεραλατότητα αναπτύσσεται όταν οι εισροές γλυκού νερού μειώνονται και η εξάτμιση υπερβαίνει τις εισροές νερού, αναγκάζοντας τα είδη να μεταναστεύσουν σε λιγότερο αλατούχες περιοχές ή να αντιμετωπίσουν μείωση του πληθυσμού τους (Hoeksema et al., 2023).

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί παρουσιάζουν διαφορετική ανοχή στις μεταβολές της αλατότητας, γεγονός που επηρεάζει την κατανομή τους. Τα ευρύαλα είδη, ικανά να προσαρμόζονται σε μεγάλα εύρη αλατότητας, κυριαρχούν σε περιοχές με κυμαινόμενη αλατότητα. Ωστόσο, τα στενόαλα είδη, τα οποία απαιτούν σταθερά επίπεδα αλατότητας, συχνά υποχωρούν σε καταφύγια ή υφίστανται πληθυσμιακές μειώσεις όταν η αλατότητα αποκλίνει από τα βέλτιστα επίπεδα (Rahman & Hung, 2024).

Επιπτώσεις στην κατανομή των ειδών και την υδατοκαλλιέργεια

Οι μεταβολές της αλατότητας μεταβάλλουν σημαντικά τη χωρική κατανομή των θαλάσσιων ειδών. Για παράδειγμα, η βαθύβια γαρίδα *Parapenaeus longirostris* στη Μεσόγειο Θάλασσα έχει μετατοπίσει το εύρος εξάπλωσής της ως απάντηση στην αύξηση της θερμοκρασίας και την αλατοποίηση, με τους πληθυσμούς να μετακινούνται προς τα βόρεια και βαθύτερα για να αποφύγουν τις λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες (Mingote et al., 2024). Αυτές οι μετατοπίσεις διαταράσσουν τα τοπικά οικοσυστήματα και την αλιεία, μεταβάλλοντας τη δυναμική θηρευτών-θηραμάτων και τη διαθεσιμότητα των πόρων.

Οι δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας αντιμετωπίζουν επίσης προκλήσεις λόγω της μεταβλητότητας της αλατότητας. Είδη όπως η τσιπούρα, τα οποία είναι ευαίσθητα στην αλατότητα κατά την αναπαραγωγή, παρουσιάζουν μειωμένη κινητικότητα του σπέρματος και επιτυχία της γονιμοποίησης σε μη βέλτιστες συνθήκες αλατότητας. Αυτό επηρεάζει τις λειτουργίες των εκκολαπτηρίων και τη βιωσιμότητα των πρακτικών υδατοκαλλιέργειας (Rahman & Hung, 2024). Στο Μπαγκλαντές, η προοδευτική αλάτωση έχει περιορίσει την παραγωγικότητα της υδατοκαλλιέργειας και έχει οδηγήσει σε αυξημένη κοινωνικοοικονομική ευπάθεια στις παράκτιες κοινότητες (Guimbeau et al., 2024).

Ευρύτερες οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις

Οι αλλαγές στην κατανομή των ειδών λόγω αλατότητας έχουν αλυσιδωτές επιπτώσεις στις υπηρεσίες του οικοσυστήματος. Οι αλλαγές στη σύνθεση της κοινότητας επηρεάζουν τον κύκλο των θρεπτικών συστατικών, την πρωτογενή παραγωγή και τη σταθερότητα των θαλάσσιων τροφικών πλεγμάτων (Hoeksema et al., 2023). Για παράδειγμα, καθώς αναπτύσσεται υπεραλατότητα στις εκβολές των

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ποταμών, η αφθονία των ειδών που κατοικούν στις εκβολές μειώνεται, οδηγώντας σε μειωμένη βιοποικιλότητα και αλλοιωμένη λειτουργία του οικοσυστήματος.

Από οικονομική άποψη, η αλιεία που εξαρτάται από συγκεκριμένα είδη αντιμετωπίζει αβεβαιότητες καθώς οι πληθυσμοί-στόχοι μεταναστεύουν σε λιγότερο προσβάσιμες περιοχές. Αυτό έχει παρατηρηθεί στη Μεσόγειο, όπου οι αλλαγές στην αλατότητα και τη θερμοκρασία έχουν επηρεάσει τη διαθεσιμότητα οικονομικά πολύτιμων ειδών, όπως η γαρίδα rose (Mingote et al., 2024). Επιπλέον, οι διακυμάνσεις της αλατότητας θέτουν προκλήσεις για την υδατοκαλλιέργεια, καθιστώντας αναγκαίες τις επενδύσεις σε προσαρμοστικές υποδομές και πρακτικές για τον μετριασμό των επιπτώσεων στην παραγωγή.

Στρατηγικές μετριασμού και μελλοντικές κατευθύνσεις

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων των αλλαγών της αλατότητας στην κατανομή των θαλάσσιων ειδών απαιτεί ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης. Οι προσπάθειες θα πρέπει να επικεντρωθούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τη σταθεροποίηση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η αποκατάσταση της παράκτιας βλάστησης, όπως τα μαγκρόβια και τα θαλάσσια λιβάδια, μπορεί να αμβλύνει τις αλλαγές της αλατότητας και να παρέχει ενδιαιτήματα για τους θαλάσσιους οργανισμούς (Guimbeau et al., 2024).

Οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας μπορούν να επωφεληθούν από τεχνολογικές καινοτομίες, όπως τα κλειστά συστήματα υδατοκαλλιέργειας (RAS) και η επιλεκτική εκτροφή ειδών ανθεκτικών στην αλμύρα. Η βελτιωμένη παρακολούθηση και τα μοντέλα πρόβλεψης των αλλαγών της αλατότητας μπορούν επίσης να ενημερώσουν τις στρατηγικές προσαρμοστικής διαχείρισης, εξασφαλίζοντας την ανθεκτικότητα της υδατοκαλλιέργειας και της αλιείας στις προκλήσεις που προκαλούνται από την αλατότητα (Rahman & Hung, 2024).

1.2.3 Μηχανισμοί φόρτωσης θρεπτικών συστατικών και ευτροφισμού

Τα πλεονάζοντα θρεπτικά συστατικά, ιδίως το άζωτο και ο φώσφορος, εισάγονται στα υδάτινα συστήματα μέσω της απορροής από τις γεωργικές εκτάσεις, τα αστικά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα. Αυτά τα θρεπτικά συστατικά προωθούν την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και των φυκών, οδηγώντας σε ανθίσεις φυκών που μειώνουν τα επίπεδα οξυγόνου καθώς αποσυντίθενται (Reister et al., 2024). Στον Κόλπο του Μεξικού, η επιβάρυνση με θρεπτικά συστατικά από τη λεκάνη του ποταμού Μισισσιππή έχει δημιουργήσει μία από τις μεγαλύτερες υποξικές ζώνες παγκοσμίως, επηρεάζοντας την αλιεία και τη βιοποικιλότητα (Day et al., 2024).

Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει τη φόρτιση με θρεπτικά συστατικά μέσω της αύξησης των βροχοπτώσεων και των ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία ενισχύουν την απορροή θρεπτικών συστατικών στα υδάτινα σώματα. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες συμβάλλουν περαιτέρω στον ευτροφισμό επιταχύνοντας την ανάπτυξη των φυκών και μεταβάλλοντας τη δυναμική των οικοσυστημάτων (Mensah et al., 2025). Αυτές οι σύνθετες επιδράσεις εντείνουν τη συχνότητα και τη διάρκεια των HABs, οι οποίες απελευθερώνουν τοξίνες επιβλαβείς για τη θαλάσσια ζωή και την ανθρώπινη υγεία (Zhang et al., 2024).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Επιπτώσεις του ευτροφισμού

Ο ευτροφισμός επηρεάζει βαθιά τα υδάτινα οικοσυστήματα διαταράσσοντας τα τροφικά πλέγματα και μειώνοντας τη βιοποικιλότητα. Η εξάντληση του οξυγόνου, ή υποξία, αναγκάζει τα ψάρια και τα ασπόνδυλα να μεταναστεύσουν ή να αντιμετωπίσουν θνησιμότητα, ενώ τα βενθικά ενδιαιτήματα υποφέρουν από ανοξία των ιζημάτων (Reister et al., 2024). Για παράδειγμα, μελέτες στον κόλπο Chesapeake Bay αποκαλύπτουν σημαντική μείωση των πληθυσμών ψαριών λόγω επαναλαμβανόμενων υποξικών φαινομένων (Zhang et al., 2024).

Οι επιβλαβείς ανθίσσεις φυκών θέτουν πρόσθετες προκλήσεις, καθώς παράγουν τοξίνες που επηρεάζουν τους θαλάσσιους οργανισμούς και τους ανθρώπινους πληθυσμούς. Είδη όπως η **Karenia brevis** και η **Microcystis aeruginosa** έχουν συνδεθεί με μαζικούς θανάτους ψαριών, μόλυνση οστρακοειδών και αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο (Mensah et al., 2025). Οι οικονομικές απώλειες από τους HABs είναι σημαντικές, ιδίως για την αλιεία, τον τουρισμό και τη δημόσια υγεία.

Στρατηγικές μετριασμού

Ο αποτελεσματικός μετριασμός της θρεπτικής επιβάρυνσης και του ευτροφισμού απαιτεί ολοκληρωμένη διαχείριση των λεκανών απορροής και παρεμβάσεις πολιτικής. Η μείωση της γεωργικής απορροής μέσω βιώσιμων γεωργικών πρακτικών, όπως η καλλιέργεια με κάλυψη, οι ρυθμιστικές ζώνες και η λίπανση ακριβείας, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εισροές θρεπτικών ουσιών (Reister et al., 2024). Οι αστικές περιοχές μπορούν να επωφεληθούν από προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων που απομακρύνουν την περίσσεια θρεπτικών ουσιών πριν από την απόρριψη.

Η αποκατάσταση των υγροτόπων και των παρόχθιων ζωνών προσφέρει φυσικές λύσεις φιλτράροντας τα θρεπτικά συστατικά και βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού. Επιπλέον, η δημόσια εκπαίδευση και οι μεταρρυθμίσεις πολιτικής, συμπεριλαμβανομένων των κανονισμών για τη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών και των κινήτρων για βιώσιμες πρακτικές, είναι κρίσιμες για την αντιμετώπιση των βαθύτερων αιτιών του ευτροφισμού (Day et al., 2024).

1.3 Υδρολογικά ακραία φαινόμενα και οι συνέπειές τους στην ποιότητα του νερού

1.3.1 Παράγοντες Ξηρασίας και Λειψυδρίας

Οι ξηρασίες οφείλονται κυρίως σε κλιματικές μεταβολές, όπως η μείωση των βροχοπτώσεων και η άνοδος της θερμοκρασίας, που εντείνουν την εξατμισοδιαπνοή. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η μη βιώσιμη απόληψη νερού και η υποβάθμιση της γης, επιδεινώνουν περαιτέρω αυτά τα φυσικά φαινόμενα (Zucca et al., 2021). Για παράδειγμα, σε άνυδρες περιοχές όπως η Σαουδική Αραβία, δεκαετίες υπεράντλησης υπόγειων υδάτων και κακές πρακτικές άρδευσης έχουν εξαντλήσει κρίσιμους υδροφορείς, επιδεινώνοντας τις επιπτώσεις της φυσικής λειψυδρίας (DeNicola et al., 2015).

Η κλιματική αλλαγή ενισχύει αυτές τις προκλήσεις μεταβάλλοντας τα πρότυπα βροχόπτωσης, οδηγώντας σε συχνότερες και σοβαρότερες ξηρασίες. Οι χώρες του Συμβουλίου Συνεργασίας του Κόλπου (ΣΣΚ), οι οποίες χαρακτηρίζονται από υπερξηρό κλίμα, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες. Η ταχεία αστικοποίηση και η αύξηση του πληθυσμού στις περιοχές αυτές αυξάνουν τη ζήτηση νερού,

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

επιβαρύνοντας τους ήδη περιορισμένους πόρους. Καινοτόμες στρατηγικές, όπως η ανακύκλωση λυμάτων και η αφαλάτωση, έχουν υιοθετηθεί για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, αλλά παραμένουν ενεργοβόρες και περιβαλλοντικά επιβαρυντικές (Moussa et al., 2025).

1.3.2 Επιπτώσεις της Υποβαθμισμένης Ποιότητας των Υδάτων

Η υποβαθμισμένη ποιότητα των υδάτων συχνά συμπίπτει με τη λειψυδρία, καθώς οι περιορισμένοι πόροι μολύνονται όλο και περισσότερο από τις γεωργικές απορροές, τις βιομηχανικές απορρίψεις και τα αστικά λύματα. Για παράδειγμα, η υπερβολική φόρτωση θρεπτικών ουσιών στις λεκάνες απορροής ποταμών οδηγεί σε ευτροφισμό, επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών και υποξικές συνθήκες, οι οποίες διαταράσσουν τα υδάτινα οικοσυστήματα και απειλούν τη βιοποικιλότητα (Giri, 2021). Στη Σαουδική Αραβία, τα ακραία καιρικά φαινόμενα που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή επιδεινώνουν τη μόλυνση των υδάτων, εισάγοντας παθογόνους μικροοργανισμούς και ρύπους στις πηγές γλυκού νερού (DeNicola et al., 2015).

Οι κοινωνικοοικονομικές συνέπειες της υποβαθμισμένης ποιότητας των υδάτων είναι βαθιές. Η κακή ποιότητα του νερού περιπλέκει τις διαδικασίες επεξεργασίας, αυξάνει το κόστος και υπονομεύει τη δημόσια υγεία. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι υδατογενείς ασθένειες που οφείλονται σε μολυσμένο πόσιμο νερό αποτελούν κύρια αιτία νοσηρότητας και θνησιμότητας, ιδίως σε κοινότητες με χαμηλό εισόδημα (Giri, 2021). Στο ΣΣΚ, οι μειώσεις της γεωργικής παραγωγής που οφείλονται στη λειψυδρία απειλούν την επισιτιστική ασφάλεια, καταδεικνύοντας τις αλυσιδωτές επιπτώσεις των προβλημάτων ποιότητας του νερού (Moussa et al., 2025).

Στρατηγικές Μετριασμού

Η αντιμετώπιση των διπλών προκλήσεων της ξηρασίας και της υποβαθμισμένης ποιότητας των υδάτων απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις που συνδυάζουν την τεχνολογική καινοτομία, τις μεταρρυθμίσεις πολιτικής και τη δέσμευση της κοινότητας. Οι πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων, όπως η συλλογή βρόχινου νερού και τα αποδοτικά συστήματα άρδευσης, είναι απαραίτητες για τη μείωση της εξάρτησης από τις υπερεκμεταλλευόμενες πηγές νερού (Moussa et al., 2025). Η αποκατάσταση φυσικών οικοσυστημάτων, όπως οι υγρότοποι, μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του νερού φιλτράροντας τους ρύπους και ρυθμίζοντας τους υδρολογικούς κύκλους (Zucca et al., 2021).

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία της αφαλάτωσης και της επεξεργασίας λυμάτων προσφέρουν πιθανές λύσεις για τις περιοχές με λειψυδρία. Ωστόσο, οι τεχνολογίες αυτές πρέπει να αναπτυχθούν με βιώσιμο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να διασφαλιστεί η προσβασιμότητα των ευάλωτων πληθυσμών. Η διεθνής συνεργασία και η ανάπτυξη ικανοτήτων είναι ζωτικής σημασίας για την ανταλλαγή γνώσεων και πόρων για την αντιμετώπιση των υδατικών προκλήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο (DeNicola et al., 2015).

2. Επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια

1.4. Οικολογική και οικονομική ευπάθεια των ειδών

1.4.1 Ευαισθησία στη θερμοκρασία και ευπάθεια των ειδών

Τα υδρόβια είδη εξαρτώνται από τις σταθερές θερμοκρασίες του νερού για τις φυσιολογικές και μεταβολικές τους διεργασίες. Οι αποκλίσεις από τις βέλτιστες τιμές μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και την επιβίωση. Για παράδειγμα, τα τροπικά είδη, όπως οι γαρίδες και οι τιλάπιες, είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, οι οποίες διαταράσσουν τις ενζυμικές δραστηριότητες και τη μεταβολική αποτελεσματικότητα (Giri, 2021). Μελέτες δείχνουν ότι η παρατεταμένη έκθεση σε θερμοκρασίες εκτός των ορίων ανοχής ενός είδους μπορεί να οδηγήσει σε θνησιμότητα λόγω στρες και σε χαμηλότερες αποδόσεις υδατοκαλλιέργειας (DeNicola et al., 2015).

Σε περιοχές όπως η Αραβική Χερσόνησος, όπου οι θερμοκρασίες των υδάτων αυξάνονται ταχύτερα από τον παγκόσμιο μέσο όρο, οι υδατοκαλλιέργειες αντιμετωπίζουν επιπρόσθετες προκλήσεις. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες όχι μόνο μειώνουν τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου αλλά αυξάνουν επίσης την τοξικότητα της αμμωνίας, απειλώντας περαιτέρω την υγεία των υδάτων (Moussa et al., 2025). Αυτές οι επιπτώσεις υπογραμμίζουν την ανάγκη για προσαρμοστικά μέτρα, όπως η επιλεκτική αναπαραγωγή για είδη ανθεκτικά στη θερμοκρασία και η ανάπτυξη συστημάτων υδατοκαλλιέργειας που ρυθμίζουν το θερμικό περιβάλλον.

Ασθένειες και πολλαπλασιασμός παρασίτων

Οι θερμότερες θερμοκρασίες νερού επιταχύνουν τον κύκλο ζωής των παθογόνων μικροοργανισμών και των παρασίτων, οδηγώντας σε συχνότερες και σοβαρότερες επιδημίες. Για παράδειγμα, ασθένειες που προκαλούνται από *Vibrio* spp. και παράσιτα όπως οι θαλάσσιες ψείρες ευδοκιμούν σε αυξημένες θερμοκρασίες, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές απώλειες στην υδατοκαλλιέργεια (Zucca et al., 2021). Η αυξημένη επικράτηση αυτών των απειλών έχει καταγραφεί σε εκτροφεία γαρίδων σε ολόκληρη τη Νοτιοανατολική Ασία και σε εκτροφεία σολομού στον Βόρειο Ατλαντικό, όπου η άνοδος της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας διευκόλυνε την εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών (DeNicola et al., 2015).

Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της δυναμικής των ασθενειών περιπλέκεται περαιτέρω από τις κλιματικά επαγόμενες αλλαγές στη χημεία του νερού, όπως η οξίνιση και η μετατόπιση της αλατότητας. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να αποδυναμώσουν την αντίσταση του ξενιστή, καθιστώντας τα είδη πιο ευάλωτα στις λοιμώξεις (Giri, 2021). Η αποτελεσματική διαχείριση των ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια απαιτεί, επομένως, έναν συνδυασμό βελτιωμένων συστημάτων παρακολούθησης, μέτρων βιοασφάλειας και έρευνας για ανθεκτικά στην ασθένεια στελέχη.

Στρατηγικές μετριασμού και προσαρμογής

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια απαιτεί προληπτικές και ολοκληρωμένες στρατηγικές. Οι τεχνολογικές καινοτομίες, όπως τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακυκλοφορία (RAS) και οι λίμνες με ελεγχόμενη θερμοκρασία, μπορούν να μετριάσουν τη θερμική καταπόνηση των υδρόβιων ειδών (Moussa et al., 2025). Επιπλέον, η

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

εφαρμογή προγραμμάτων εμβολιασμού και η εξέλιξη των τεχνολογιών ανίχνευσης ασθενειών μπορούν να συμβάλουν στη διαχείριση των κινδύνων από παθογόνους παράγοντες.

Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι ενδιαφερόμενοι φορείς πρέπει επίσης να δώσουν προτεραιότητα στη διατήρηση του περιβάλλοντος για τη σταθεροποίηση των οικοσυστημάτων. Η αποκατάσταση των μαγκρόβια και των υγροτόπων, για παράδειγμα, μπορεί να προστατεύσει τις υδατοκαλλιέργειες από τις επιπτώσεις των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και να παρέχει φυσικό φιλτράρισμα για τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, η προώθηση της διεθνούς συνεργασίας για πρακτικές υδατοκαλλιέργειας ανθεκτικές στο κλίμα θα είναι απαραίτητη για τη διατήρηση αυτής της ζωτικής σημασίας βιομηχανίας υπό μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες (Zucca et al., 2021).

1.4.2 Οικονομικές συνέπειες του αντίκτυπου της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις υδατοκαλλιέργειες

Η υπερθέρμανση του πλανήτη διαταράσσει την ισορροπία των υδάτινων οικοσυστημάτων, επηρεάζοντας άμεσα τους πληθυσμούς των ψαριών και των οστρακοειδών. Η άνοδος της θερμοκρασίας της θάλασσας, η οξίνιση και η αλλαγή των ωκεάνιων ρευμάτων μεταβάλλουν τα ενδιαιτήματα και τη φυσιολογία των υδρόβιων ειδών. Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών μειώνει τη διαθεσιμότητα οξυγόνου στο νερό, προκαλώντας στρες στη θαλάσσια ζωή και οδηγώντας σε χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης και αναπαραγωγικής επιτυχίας (Baag & Mandal, 2022). Αυτοί οι στρεσογόνοι παράγοντες οδηγούν σε σημαντική μείωση των ιχθυαποθεμάτων και των αποδόσεων οστρακοειδών, με αλυσιδωτές επιπτώσεις στην κερδοφορία των υδατοκαλλιεργειών (Doney et al., 2009).

Οι συνδυασμένες επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας και της οξίνισης επηρεάζουν σημαντικά τις διαδικασίες ασβεστοποίησης στα οστρακοειδή, όπως τα στρείδια και τα μύδια. Τα μειωμένα επίπεδα pH εμποδίζουν την ανάπτυξη και την επιβίωσή τους, θέτοντας σε κίνδυνο τη διαθεσιμότητά τους για την υδατοκαλλιέργεια. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι ασβεστοποιητικοί οργανισμοί είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στη μείωση των συγκεντρώσεων ανθρακικών ιόντων που προκαλείται από την αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ (Nienhuis et al., 2010). Ως αποτέλεσμα, οι φορείς υδατοκαλλιέργειας αντιμετωπίζουν τη διπλή πρόκληση του μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της διατήρησης των επιπέδων παραγωγής.

Υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και ξεσπάσματα ασθενειών

Η ποιότητα του νερού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την υδατοκαλλιέργεια και η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει την υποβάθμισή της. Οι αυξημένες θερμοκρασίες της θάλασσας ευνοούν τον πολλαπλασιασμό των επιβλαβών ανθίσεων φυκών (HAB), οι οποίες μειώνουν τα επίπεδα οξυγόνου και απελευθερώνουν τοξίνες επιβλαβείς για τα υδρόβια είδη. Αυτές οι ανθίσεις, που οδηγούνται από την πλούσια σε θρεπτικά συστατικά απορροή και την αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων, έχουν συνδεθεί με μαζικούς θανάτους ψαριών και οικονομικές απώλειες στην υδατοκαλλιέργεια (USEPA, 2014).

Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες νερού επιταχύνουν την εξάπλωση ασθενειών μεταξύ των υδρόβιων ειδών. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί ευδοκιμούν σε θερμότερες συνθήκες, οδηγώντας σε

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αυξημένα κρούσματα ασθενειών στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, μελέτες σχετικά με την υδατοκαλλιέργεια στρειδιών αποκαλύπτουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αποδυναμώνει την ανοσία των στρειδιών και αυξάνει την ευαισθησία τους σε λοιμώξεις, μειώνοντας τα ποσοστά επιβίωσης και την παραγωγή (Neokye et al., 2024). Αυτοί οι παράγοντες μειώνουν συλλογικά την οικονομική βιωσιμότητα των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας αυξάνοντας τα ποσοστά θνησιμότητας και το κόστος θεραπείας.

Κόστος προσαρμογής

Η προσαρμογή στις προκλήσεις που προκαλούνται από το κλίμα απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές και πρακτικές διαχείρισης. Οι εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας πρέπει να ενσωματώνουν ανθεκτικές τεχνολογίες, όπως συστήματα ελεγχόμενης θερμοκρασίας και είδη ανθεκτικά στις ασθένειες, για να διατηρήσουν τα επίπεδα παραγωγής. Ωστόσο, αυτές οι προσαρμογές έχουν σημαντικό κόστος, το οποίο μπορεί να επιβαρύνει τους οικονομικούς πόρους των φορέων υδατοκαλλιέργειας, ιδίως σε περιοχές με χαμηλό εισόδημα (Naylor et al., 2023).

Η ανάγκη για προσαρμοστικά μέτρα υπογραμμίζεται περαιτέρω από τη μεταβαλλόμενη γεωγραφική κατανομή των κατάλληλων περιοχών υδατοκαλλιέργειας. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα αναγκάζουν τη μετεγκατάσταση των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας σε περιοχές με πιο σταθερές συνθήκες, προσθέτοντας το κόστος μετεγκατάστασης στην οικονομική επιβάρυνση. Επιπλέον, οι πολιτικές που αποσκοπούν στον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως οι αυστηρότεροι κανονισμοί για τη διαχείριση των αποβλήτων και τη χρήση των πόρων, απαιτούν επενδύσεις σε μέτρα συμμόρφωσης και προηγμένες τεχνολογίες (Garlock et al., 2022).

Περιφερειακές και παγκόσμιες επιπτώσεις

Οι οικονομικές συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια είναι άνισα κατανεμημένες. Οι περιοχές με ιδιαίτερα ευάλωτα οικοσυστήματα, όπως οι τροπικές περιοχές, αντιμετωπίζουν πιο έντονες προκλήσεις. Η υψηλή αλατότητα, η ξηρασία και τα χωροκατακτητικά είδη διαταράσσουν τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας, ιδίως για είδη όπως η γαρίδα και η τιλάπια. Αντίθετα, οι εύκρατες περιοχές βιώνουν σχετικά μέτριες επιπτώσεις, αλλά δεν είναι απρόσβλητες από τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως η μεταβολή των κατακρημνισμάτων και η αύξηση της συχνότητας των καταιγίδων (Mahu et al., 2022).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ζήτηση για προϊόντα υδατοκαλλιέργειας συνεχίζει να αυξάνεται, λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της ανάγκης για βιώσιμες πηγές πρωτεϊνών. Αυτό δημιουργεί μια παράδοξη κατάσταση, όπου ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας πρέπει να αυξήσει την παραγωγή για να καλύψει τη ζήτηση, ενώ παράλληλα να αντιμετωπίσει το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Η αποτυχία αντιμετώπισης αυτών των προκλήσεων ενέχει τον κίνδυνο επιδείνωσης της επισιτιστικής ανασφάλειας και των οικονομικών ανισοτήτων (FAO, 2022).

Πολιτική και Διακυβέρνηση

Τα αποτελεσματικά πλαίσια πολιτικής είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό των οικονομικών επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια. Οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί πρέπει να εφαρμόσουν στρατηγικές για την υποστήριξη βιώσιμων πρακτικών και να προωθήσουν την έρευνα για ανθεκτικά συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, οι επενδύσεις στη γενετική έρευνα για την ανάπτυξη ανθεκτικών στο κλίμα ειδών και η δημιουργία συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για τους HAB μπορούν να μειώσουν τα τρωτά σημεία και να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα του τομέα (Handisyde et al., 2017).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των πολιτικών υδατοκαλλιέργειας σε ευρύτερα σχέδια δράσης για το κλίμα εξασφαλίζει μια συντονισμένη προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Οι πολιτικές θα πρέπει να εξισορροπούν την οικονομική ανάπτυξη με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, επιτρέποντας στους φορείς υδατοκαλλιέργειας να προσαρμόζονται χωρίς να διακυβεύεται η οικολογική ακεραιότητα (Naylor et al., 2023).

1.5 Επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις γεωγραφικές μετατοπίσεις των υδατοκαλλιεργειών

1.5.1 Αλλαγή ζωνών: Υδατοκαλλιέργειες: Μετεγκατάσταση των κατάλληλων περιοχών υδατοκαλλιέργειας

Οι περιβαλλοντικές αλλαγές που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή οδηγούν στη μετατόπιση των ζωνών υδατοκαλλιέργειας. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες των ωκεανών ωθούν τα είδη και τις δραστηριότητες προς τον πόλο, καθώς πολλές παραδοσιακές περιοχές υδατοκαλλιέργειας καθίστανται λιγότερο βιώσιμες λόγω της θερμικής καταπόνησης και της μειωμένης ποιότητας του νερού (Zarzyczny et al., 2024). Η τροπικοποίηση των θαλάσσιων περιβαλλόντων αποτελεί παράδειγμα αυτού του φαινομένου, όπου τροπικά είδη επεκτείνονται σε εύκρατες περιοχές, μεταβάλλοντας τις δομές των οικοσυστημάτων και δημιουργώντας νέες κοινότητες (Zarzyczny et al., 2024).

Εκτός από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, η μετατόπιση των κατακρημνισμάτων και η διαθεσιμότητα γλυκού νερού επηρεάζουν την υδατοκαλλιέργεια στην ενδοχώρα. Για παράδειγμα, η μειωμένη ροή νερού και η αυξημένη αλατότητα στις εκβολές των ποταμών επηρεάζουν την ανάπτυξη ειδών που εξαρτώνται από συγκεκριμένα επίπεδα αλατότητας (Priya et al., 2023). Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας αντιμετωπίζουν αυξημένο κόστος που συνδέεται με τη μετεγκατάσταση σε περιοχές με πιο σταθερές και κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες (Mdoe et al., 2025). Η μετεγκατάσταση αυτή απαιτεί συχνά λεπτομερείς περιβαλλοντικές αξιολογήσεις για τον εντοπισμό περιοχών που μπορούν να υποστηρίξουν βιώσιμα την υδατοκαλλιέργεια, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την οικολογική υποβάθμιση.

Επιπλέον, η διαδικασία μετεγκατάστασης δεν είναι μόνο μια τεχνική πρόκληση αλλά και μια κοινωνικοοικονομική πρόκληση. Πολλές κοινότητες που εξαρτώνται από την υδατοκαλλιέργεια για τα προς το ζην μπορεί να αντιμετωπίσουν εκτοπισμό ή απώλεια θέσεων εργασίας εάν οι επιχειρήσεις απομακρυνθούν. Οι προσπάθειες για τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων απαιτούν τη συμμετοχή

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

των ενδιαφερόμενων μερών, προγράμματα επανεκπαίδευσης και υποστήριξη εναλλακτικών επιλογών διαβίωσης.

Χωροκατακτητικά είδη: Οικολογικές και λειτουργικές διαταραχές

Οι μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες επιτρέπουν τον πολλαπλασιασμό των χωροκατακτητικών ειδών, τα οποία ανταγωνίζονται τα ενδημικά είδη και διαταράσσουν τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, η τροπικοποίηση των εύκρατων ζωνών διευκολύνει την εγκατάσταση χωροκατακτητικών ειδών, όπως το λεοντόψαρο και ορισμένοι τύποι φυκών, τα οποία μπορούν να ανταγωνίζονται τους γηγενείς οργανισμούς και να υποβαθμίζουν την υγεία των οικοσυστημάτων (Woods et al., 2016). Αυτές οι εισβολές συχνά απαιτούν από τους φορείς υδατοκαλλιέργειας να εφαρμόζουν δαπανηρές στρατηγικές διαχείρισης για τη διατήρηση των επιπέδων παραγωγής.

Επιπλέον, η άφιξη διεισδυτικών παθογόνων μικροοργανισμών, η οποία διευκολύνεται από την άνοδο της θερμοκρασίας και το παγκόσμιο εμπόριο, αυξάνει τη συχνότητα εμφάνισης ασθενειών. Αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό για είδη υψηλής αξίας, όπως οι γαρίδες και ο σολομός, τα οποία είναι ευάλωτα σε μολύνσεις σε θερμότερα ύδατα (Ross et al., 2023). Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε μέτρα βιοασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων των βελτιωμένων συστημάτων παρακολούθησης και της ανάπτυξης φυλών ανθεκτικών στα παθογόνα. Διερευνώνται προηγμένα βιοτεχνολογικά εργαλεία, όπως η γονιδιακή επεξεργασία με βάση το CRISPR, για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στις ασθένειες των ειδών υδατοκαλλιέργειας.

Τα χωροκατακτητικά είδη διαταράσσουν επίσης τη φυσική ισορροπία των οικοσυστημάτων, οδηγώντας σε απώλεια της βιοποικιλότητας. Για παράδειγμα, τα χωροκατακτητικά φύκια μπορούν να σχηματίσουν πυκνούς τάπητες που πνίγουν τους κοραλλιογενείς υφάλους και τα θαλάσσια λιβάδια, απαραίτητα ενδιαιτήματα για πολλούς θαλάσσιους οργανισμούς. Οι οικολογικές επιπτώσεις επεκτείνονται πέρα από την υδατοκαλλιέργεια, επηρεάζοντας την αλιεία, τον τουρισμό και τη συνολική θαλάσσια βιοποικιλότητα.

1.5.2 Στρατηγικές προσαρμογής

Η προσαρμογή σε αυτές τις προκλήσεις περιλαμβάνει ένα συνδυασμό τεχνολογικής καινοτομίας, πολιτικής παρέμβασης και προσεγγίσεων με βάση το οικοσύστημα. Οι βασικές στρατηγικές περιλαμβάνουν:

1. **Ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA):** Με την ενσωμάτωση ειδών από διαφορετικά τροφικά επίπεδα, τα συστήματα IMTA μετριάζουν τις επιπτώσεις των χωροκατακτητικών ειδών και ενισχύουν την οικολογική ανθεκτικότητα (Mdoe et al., 2025). Η προσέγγιση αυτή μεγιστοποιεί επίσης την αποδοτικότητα των πόρων με την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών εντός του συστήματος.

2. **Γενετικές βελτιώσεις:** Η ανάπτυξη φυλών που είναι πιο ανθεκτικές στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και στις ασθένειες αποτελεί κρίσιμο βήμα για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας (Ross et al., 2023). Χρησιμοποιούνται προγράμματα επιλεκτικής αναπαραγωγής και γονιδιωμικά εργαλεία για τη δημιουργία στελεχών ψαριών και οστρακοειδών που μπορούν να ευδοκιμήσουν υπό μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

3. Ενισχυμένα συστήματα παρακολούθησης και έγκαιρης προειδοποίησης: Η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και η προγνωστική μοντελοποίηση μπορούν να βοηθήσουν τους φορείς εκμετάλλευσης να προβλέψουν και να ανταποκριθούν στις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών και στις επιδημίες χωροκατακτητικών ειδών (Wang et al., 2021). Για παράδειγμα, οι δορυφορικές εικόνες και οι αναλύσεις με βάση την τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την παρακολούθηση των θερμοκρασιών των ωκεανών, των ανθίσεων των φυκών και άλλων κρίσιμων παραμέτρων.

4. Πολιτική και κανονισμοί: Η εφαρμογή και η επιβολή ισχυρών πολιτικών που προωθούν βιώσιμες πρακτικές και προστατεύουν τη βιοποικιλότητα είναι ζωτικής σημασίας. Για παράδειγμα, οι πολιτικές που αποσκοπούν στη διαχείριση των χωροκατακτητικών ειδών και στην πρόληψη της εξάπλωσής τους μπορούν να μειώσουν τις οικολογικές και οικονομικές ζημιές (Priya et al., 2023). Τα συνεργατικά διεθνή πλαίσια, όπως οι στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών, μπορούν να παρέχουν καθοδήγηση και υποστήριξη για τέτοιες προσπάθειες.

5. Κοινωνική δέσμευση: Η επιτυχής προσαρμογή απαιτεί τη συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η ενδυνάμωση των κοινοτήτων μέσω πρωτοβουλιών εκπαίδευσης και ανάπτυξης ικανοτήτων διασφαλίζει ότι οι στρατηγικές προσαρμογής είναι τόσο αποτελεσματικές όσο και δίκαιες.

Περιφερειακές διαφορές στον αντίκτυπο

Οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις ζώνες υδατοκαλλιέργειας διαφέρουν σημαντικά ανά περιοχή. Οι τροπικές περιοχές, οι οποίες αντιμετωπίζουν ήδη υψηλές θερμοκρασίες, αντιμετωπίζουν τις μεγαλύτερες προκλήσεις, καθώς καθίστανται λιγότερο κατάλληλες για τα παραδοσιακά είδη υδατοκαλλιέργειας. Αντίθετα, στις εύκρατες περιοχές παρατηρείται εισροή τροπικών ειδών, γεγονός που παρουσιάζει ευκαιρίες για διαφοροποίηση, αλλά και κινδύνους που σχετίζονται με την ανισορροπία των οικοσυστημάτων (Zarzeczny et al., 2024).

Οι παράκτιες περιοχές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και στα κύματα καταιγίδων, τα οποία προκαλούν ζημιές στις υποδομές υδατοκαλλιέργειας και διαταράσσουν τους κύκλους παραγωγής. Σε απάντηση, ορισμένες επιχειρήσεις μεταφέρονται σε εσωτερικές ή υπεράκτιες περιοχές με πιο σταθερές συνθήκες, αν και η μετάβαση αυτή συνεπάγεται σημαντικό κόστος και υλικοτεχνική πολυπλοκότητα (Woods et al., 2016). Η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια, αν και πολλά υποσχόμενη, απαιτεί εξελίξεις στη μηχανική για να αντέξει στις σκληρές συνθήκες του ωκεανού και να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Περιφέρειες με ισχυρή διακυβέρνηση και ερευνητικές ικανότητες, όπως η Βόρεια Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική, είναι σε καλύτερη θέση να προσαρμοστούν σε αυτές τις προκλήσεις. Αντίθετα, οι περιοχές με χαμηλό εισόδημα, ιδίως στον Παγκόσμιο Νότο, αντιμετωπίζουν σημαντικά εμπόδια, συμπεριλαμβανομένης της περιορισμένης πρόσβασης σε χρηματοδότηση, τεχνολογία και εμπειρογνώμοσύνη. Η αντιμετώπιση αυτών των ανισοτήτων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας και της δίκαιης ανάπτυξης.

Περίληψη

Η θερμική στρωμάτωση και η μείωση του οξυγόνου αποτελούν σημαντικές απειλές για τα υδάτινα οικοσυστήματα, με εκτεταμένες οικολογικές και οικονομικές συνέπειες. Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που οδηγούν σε αυτές τις αλλαγές είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών μετριασμού. Με την ενσωμάτωση των τεχνολογικών εξελίξεων και των βιώσιμων πρακτικών, οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στα υδάτινα συστήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα.

Οι αυξανόμενες παγκόσμιες θερμοκρασίες αποτελούν τρομερές προκλήσεις για τα υδρόβια είδη, καθώς αυξάνουν τις μεταβολικές απαιτήσεις και προκαλούν προβλήματα ανάπτυξης και αναπαραγωγής. Αυτές οι φυσιολογικές αλλαγές δεν απειλούν μόνο μεμονωμένα είδη αλλά θέτουν σε κίνδυνο και την ακεραιότητα του οικοσυστήματος. Η ολοκληρωμένη κατανόηση αυτών των δυναμικών, σε συνδυασμό με στοχευμένες προσπάθειες μετριασμού, είναι ζωτικής σημασίας για τη διαφύλαξη της υδάτινης βιοποικιλότητας και τη διατήρηση της ποιότητας των υδάτων σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα.

Οι διακυμάνσεις της αλατότητας που προκαλούνται από το κλίμα επηρεάζουν σημαντικά τα παράκτια και θαλάσσια οικοσυστήματα, διαταράσσοντας την κατανομή των ειδών και τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας, ενώ παράλληλα θέτουν προκλήσεις για τις εξαρτώμενες κοινότητες. Η αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση που ενσωματώνει οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές εκτιμήσεις. Με την ιεράρχηση στρατηγικών προσαρμογής, συμπεριλαμβανομένων πρακτικών βιώσιμης διαχείρισης και ισχυρών πλαισίων πολιτικής, είναι δυνατόν να μετριαστούν αυτές οι προκλήσεις και να διασφαλιστούν η βιοποικιλότητα και τα μέσα διαβίωσης.

Η επιβάρυνση με θρεπτικά συστατικά και ο ευτροφισμός παραμένουν κρίσιμες απειλές για τα υδάτινα οικοσυστήματα, οδηγώντας σε επιβλαβείς ανθίσεις φυκών, μείωση του οξυγόνου και υποβάθμιση των οικοσυστημάτων. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές μετριασμού πρέπει να επικεντρωθούν στη μείωση των εισροών θρεπτικών ουσιών, στην αποκατάσταση της ισορροπίας των οικοσυστημάτων και στην προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερομένων, των φορέων χάραξης πολιτικής και των επιστημόνων για την επίτευξη βιώσιμων αποτελεσμάτων.

Η λειψυδρία, η οποία επιδεινώνεται από την υπερθέρμανση του πλανήτη και τις ανθρώπινες δραστηριότητες, θέτει σημαντικές προκλήσεις για την παγκόσμια ασφάλεια των υδάτων. Οι ξηρασίες, οι απρόβλεπτες βροχοπτώσεις και η υποβαθμισμένη ποιότητα του νερού απειλούν τόσο τα οικοσυστήματα όσο και τους ανθρώπινους πληθυσμούς. Η ιεράρχηση πρακτικών βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων, η προώθηση της διεθνούς συνεργασίας και η εφαρμογή καινοτόμων λύσεων είναι απαραίτητες για τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων και την προστασία των ζωτικών υδάτινων πόρων για τις μελλοντικές γενιές.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει επίσης σε μεγάλο βαθμό την υδατοκαλλιέργεια, αυξάνοντας την ευπάθεια των ειδών στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και κλιμακώνοντας τους κινδύνους από ασθένειες και παράσιτα. Οι προκλήσεις αυτές έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στην επισιτιστική ασφάλεια και την οικονομική σταθερότητα των παράκτιων κοινοτήτων. Οι συνεργατικές

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

προσπάθειες μεταξύ των ερευνητών, των φορέων χάραξης πολιτικής και των ενδιαφερόμενων φορέων του κλάδου είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και εφαρμογή καινοτόμων λύσεων που ενισχύουν την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας.

Η γεωγραφική ανακατανομή των ζωνών υδατοκαλλιέργειας λόγω της κλιματικής αλλαγής απαιτεί προληπτικές στρατηγικές προσαρμογής. Η άνοδος της θερμοκρασίας της θάλασσας, η μετατόπιση των ρευμάτων και η αλλαγή των προτύπων βροχόπτωσης απαιτούν τη μετεγκατάσταση των δραστηριοτήτων και την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών. Η ενσωμάτωση της παραδοσιακής οικολογικής γνώσης με τις σύγχρονες επιστημονικές εξελίξεις μπορεί να δημιουργήσει ολιστικές λύσεις σε αυτές τις προκλήσεις, εξασφαλίζοντας την ανθεκτικότητα του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας και τη συνεχή συμβολή του στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια.

Βιβλιογραφία

- Andreyeva, A. Y., Kukhareva, T. A., Gostyukhina, O. L., & Vialova, O. Y. (2024). Impacts of ocean acidification and hypoxia on cellular immunity, oxygen consumption, and antioxidant status in Mediterranean mussel. *Fish and Shellfish Immunology*, 154, 109932. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109932>
- Baag, S., & Mandal, S. (2022). Combined effects of ocean warming and acidification on marine fish and shellfish: A molecule to ecosystem perspective. *Science of the Total Environment*, 802, 149807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149807>
- Bhuiyan, M. M. U., Rahman, M., Naher, S., Shahed, Z. H., Ali, M. M., & Islam, A. R. M. T. (2024). Oxygen decline in the coastal ocean over the twenty-first century: Driving forces, trends, and impacts. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100621. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100621>
- Burke, M., Grant, J., Filgueira, R., & Swanson, A. (2022). Oxygenation effects on temperature and dissolved oxygen at a commercial Atlantic salmon farm. *Aquacultural Engineering*, 99, 102287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102287>
- Day, J. W., Rybczyk, J. M., & Stephens, J. R. (2024). Climate change effects on nutrient loading and coastal eutrophication. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 6(18), 627–637. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90798-9.00112-8>
- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Deutsch, C., Penn, J. L., & Seibel, B. A. (2020). Climate change constrains fish metabolic scope and habitat suitability globally. *Science Advances*, 6(22), eaax0194. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0194>
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: The other CO₂ problem. *Annual Review of Marine Science*, 1(1), 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>
- Duarte, J. A., Villanueva, R., Seijo, J. C., & Vela, M. A. (2022). Ocean acidification effects on aquaculture of a high resilient calcifier species: A bioeconomic approach. *Aquaculture*, 559, 738426. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738426>
- Esbaugh, A. J. (2025). Physiological responses of euryhaline marine fish to naturally-occurring hypersalinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 299, 111768. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2024.111768>
- FAO. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org>
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M. D., & Tveterås, R. (2022). Aquaculture's role in sustainable food systems. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Giri, S. (2021). Water quality prospective in the twenty-first century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies, and impediments. *Environmental Pollution*, 271, 116332. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Grabba, K. C., Ghosh, A., Adekunbi, F. O., Williamson, P., & Widdicombe, S. (2024). Ocean acidification: Causes, impacts, and policy actions. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (pp. 51–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14082-2.00011-9>
- Guimbeau, A., Ji, X. J., Long, Z., & Menon, N. (2024). Ocean salinity, early-life health, and adaptation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 125, 102954. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.102954>
- Hamilton, S. L., Elliott, M. S., deVries, M. S., Adelaars, J., & Rintoul, M. D. (2022). Integrated multi-trophic aquaculture mitigates the effects of ocean acidification: Seaweeds raise system pH and improve growth of juvenile abalone. *Aquaculture*, 560, 738571. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738571>
- Handisyde, N., Ross, L. G., Badjeck, M.-C., & Allison, E. H. (2017). Climate change and aquaculture: Vulnerability and adaptation in the tropics. *Aquaculture*, 467, 357–367. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.012>
- Hoeksema, S. D., Chuwen, B. M., Tweedley, J. R., & Potter, I. C. (2023). Ichthyofaunas of nearshore, shallow waters of normally-closed estuaries are highly depauperate and influenced markedly by salinity and oxygen concentration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 291, 108410. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108410>
- Liu, S., Liu, Y., & Xing, Q. (2024). Climate change drives fish communities: Changing multiple facets of fish biodiversity in the Northwest Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 955, 176854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176854>
- Mahu, E., et al. (2022). Climate-induced hazards and their impacts on aquaculture. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Mangi, S. C., Lee, J., Pinnegar, J. K., & Law, R. J. (2018). The economic impacts of ocean acidification on shellfish fisheries and aquaculture in the United Kingdom. *Environmental Science and Policy*, 86, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.008>
- Mdoe, C. N., Mahonge, C. P., & Ngowi, E. E. (2025). Mapping the trends, knowledge production, and practices of climate-smart aquaculture. *Aquaculture*, 598, 741939. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741939>
- Mensah, V., Chen, Y.-C., & Ohshima, K. I. (2025). Multidecadal decline in sea ice meltwater volume and implications for nutrient dynamics. *Progress in Oceanography*, 230, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103377>
- Mingote, M. G., Galimany, E., Sala-Coromina, J., Bahamon, N., Ribera-Altimir, J., Santos-Bethencourt, R., & Clavel-Henry, M. (2024). Warming and salinization effects on the deep-water rose shrimp, *Parapenaeus longirostris*, distribution along the NW Mediterranean Sea: Implications for bottom trawl fisheries. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115838. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115838>
- Moussa, L. G., Mohan, M., Arachchige, P. S. P., Rathnasekara, H., Abdullah, M., & Abulibdeh, A. (2025). Impact of water availability on food security in GCC: Systematic literature review-based policy recommendations for a sustainable future. *Environmental Development*, 54, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101122>
- Naylor, R., et al. (2023). A global view of aquaculture policy. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Neokye, E. O., et al. (2024). Climate change impacts on oyster aquaculture: Part II. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Nienhuis, S., et al. (2010). Ocean acidification effects on calcifying organisms. *Marine Ecology Progress Series*, 400, 287–302. <https://doi.org/10.3354/meps08307>
- Okon, E. M., Oyesiji, A. A., & Eissa, E. H. (2024). The escalating threat of climate change-driven diseases in fish: Evidence from a global perspective. *Environmental Research*, 263, 120184. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120184>
- Priya, A. K., Muruganandam, M., & Sivarethinamohan, R. (2023). Impact of climate change and anthropogenic activities on aquatic ecosystems. *Environmental Research*, 238, 117233. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117233>
- Rahman, M. M., & Hung, T.-C. (2024). Impact of salinity and body size on sperm motility in three California smelt species. *Aquaculture Reports*, 39, 102503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102503>
- Reister, I., Danielson, S., & Aguilar-Islas, A. (2024). Perspectives on Northern Gulf of Alaska salinity field structure, freshwater pathways, and controlling mechanisms. *Progress in Oceanography*, 229, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103373>
- Ross, F. W. R., Boyd, P. W., & Filbee-Dexter, K. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 885, 163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Seibel, B. A. (2024). On the validity of using the Metabolic Index to predict the responses of marine fishes to climate change. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 3, 549–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00167-1>

Sundararaman, H. K., & Shanmugam, P. (2024). Estimates of the global ocean surface dissolved oxygen and macronutrients from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 311, 114243. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114243>

USEPA. (2014). *Harmful algal blooms: Impacts on aquatic ecosystems*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>

Wang, Y.-S., & Gu, J.-D. (2021). Ecological responses, adaptation and mechanisms of mangrove wetland ecosystems to global climate change. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 162, 105248. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105248>

Woods, J. S., Veltman, K., & Huijbregts, M. A. J. (2016). Towards a meaningful assessment of marine ecological impacts in life cycle assessment. *Environment International*, 89–90, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.033>

Zarzczy, K. M., Rius, M., & Williams, S. T. (2024). The ecological and evolutionary consequences of tropicalisation. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(3), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.10.006>

Zhang, T., Liu, H., Lu, Y., Wang, Q., & Loh, Y. C. (2024). Impact of climate change on coastal ecosystem and outdoor activities: A comparative analysis among four largest coastline covering countries. *Environmental Research*, 250, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118405>

Zucca, C., Middleton, N., Kang, U., & Liniger, H. (2021). Shrinking water bodies as hotspots of sand and dust storms: The role of land degradation and sustainable soil and water management. *Catena*, 207, 105669. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105669>

Κεφάλαιο 2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας από την άποψη της υπερθέρμανσης του πλανήτη

Καθηγήτρια Vlasta Bartulović, PhD

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια. Tatjana Dobroslavic, PhD

Πανεπιστήμιο του Ντουμπρόβνικ

Εισαγωγή

Εν όψει της κλιματικής αλλαγής, ο αντίκτυπος της υδατοκαλλιέργειας στο περιβάλλον αποτελεί αυξανόμενη ανησυχία, καθώς ο κλάδος συμβάλλει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στην καταστροφή των οικοτόπων και στην εξάντληση των πόρων. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), του μεθανίου (CH_4), του οξειδίου του αζώτου (N_2O) και των φθοριούχων αερίων, συμβάλλουν σημαντικά στην υπερθέρμανση του πλανήτη, καθώς παγιδεύουν θερμότητα στην ατμόσφαιρα της Γης. Ενώ το CO_2 βρίσκεται συχνά στο επίκεντρο, το CH_4 είναι ένα εξαιρετικά ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, οι αυξημένες εκπομπές του οποίου οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αποψίλωση των δασών, η εξόρυξη, η καύση βιομάζας και οι βιομηχανικές διεργασίες (Wróbel et al., 2023). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) έχει τονίσει ότι ο ανθρώπινος αντίκτυπος στην κλιματική αλλαγή είναι αδιαμφισβήτητος, καθώς η εκβιομηχάνιση και η αστικοποίηση οδηγούν σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σημειώνουν ρεκόρ. Οι τομείς των μεταφορών, της ενέργειας και της γεωργίας εξακολουθούν να συμβάλλουν σημαντικά στην κλιματική αλλαγή, επηρεάζοντας τα καιρικά φαινόμενα, τη στάθμη της θάλασσας και τη βιοποικιλότητα.

Ενώ η παγκόσμια βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας είναι απαραίτητη για την επισιτιστική ασφάλεια, αποτελεί επίσης σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι ενεργοβόρες λειτουργίες, η αλλαγή χρήσης γης, η παραγωγή ζωοτροφών και η διαχείριση αποβλήτων συμβάλλουν στο αποτύπωμα άνθρακα της (MacLeod et al., 2019). Πολλές εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα, γεγονός που αυξάνει τις εκπομπές CO_2 , ιδίως σε περιοχές όπου ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο κυριαρχούν στην παραγωγή ενέργειας (Bujas et al., 2022). Επιπλέον, η ταχεία επέκταση του κλάδου έχει οδηγήσει στη μετατροπή ενδιαιτημάτων, ιδίως σε οικολογικά ευαίσθητες περιοχές, όπως τα μαγκρόβια και οι υγρότοποι,

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

συμβάλλοντας στην απώλεια βιοποικιλότητας και στην υποβάθμιση των οικοσυστημάτων (Barbier et al., 2011).

Μία από τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας είναι η παραγωγή ζωοτροφών, η οποία αντιπροσωπεύει έως και το 90 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις ιχθυοκαλλιέργειες (FAO, 2022). Η καλλιέργεια ζωοτροφών, συμπεριλαμβανομένων των ιχθυαλεύρων και των φυτικών συστατικών, απαιτεί μεγάλη έκταση γης, νερού και ενέργειας, γεγονός που επιδεινώνει περαιτέρω τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Επιπλέον, η υδατοκαλλιέργεια παράγει σημαντικά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των μη φαγωμένων ζωοτροφών, των περιττωμάτων, των μεταβολικών υποπροϊόντων και των χημικών υπολειμμάτων, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των υδάτων και να διαταράξουν τα υδάτινα οικοσυστήματα (Wu, 1995; Dalsgaard & Krause-Jensen, 2006; Holmer et al., 2008). Η έκταση αυτών των επιπτώσεων ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία της εκμετάλλευσης, τα καλλιεργούμενα είδη, την πυκνότητα του ζωικού κεφαλαίου και την αποδοτικότητα των ζωοτροφών. Καθώς η παγκόσμια ζήτηση για θαλασσινά συνεχίζει να αυξάνεται, αποτελεί επείγουσα πρόκληση να συμβιβαστεί η ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Οι βιώσιμες πρακτικές στη χρήση ενέργειας, τη διαχείριση της γης, την παραγωγή ζωοτροφών και την επεξεργασία αποβλήτων είναι απαραίτητες για την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος άνθρακα του κλάδου και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

1. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) επηρεάζουν σημαντικά την ατμόσφαιρα της Γης, καθώς παγιδεύουν θερμότητα. Τα αέρια αυτά περιλαμβάνουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και τα φθοριούχα αέρια. Ενώ το CO₂ συζητείται συχνά, το CH₄ διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η μετατροπή υγροτόπων, η υγειονομική ταφή, η κατασκευή φραγμάτων, η καύση βιομάζας, η αποψίλωση των δασών, η εξόρυξη και οι βιομηχανίες φυσικού αερίου και άνθρακα έχουν αυξήσει δραστικά τις εκπομπές CH₄. Παρά τη μικρότερη ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του, το CH₄ είναι πολύ πιο αποτελεσματικός αποδέκτης θερμότητας από το CO₂ (United Nations Environment Programme, 2022). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) αναφέρει ότι "η ανθρώπινη επίδραση στο κλιματικό σύστημα είναι σαφής και οι πρόσφατες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι οι υψηλότερες στην ιστορία". Οι ανθρωπίνες δραστηριότητες από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά έχουν αυξήσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων, οδηγώντας σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και σε επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η ταχεία εκβιομηχάνιση και αστικοποίηση πολλών περιοχών έχουν επιδεινώσει περαιτέρω τα επίπεδα εκπομπών. Ο τομέας των μεταφορών, η παραγωγή ενέργειας και οι βιομηχανικές διεργασίες συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές CO₂. Επιπλέον, ο γεωργικός τομέας, συμπεριλαμβανομένης της κτηνοτροφίας και των ορυζώνων, αποτελεί αξιοσημείωτη πηγή εκπομπών CH₄ και N₂O. Οι εκπομπές αυτές έχουν εκτεταμένες συνέπειες, επηρεάζοντας τα καιρικά φαινόμενα, τη στάθμη της θάλασσας και τη βιοποικιλότητα. Η παγκόσμια βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας, αν και παρέχει μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στη σύλληψη άγριων ψαριών,

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι ενεργοβόρες λειτουργίες, οι αλλαγές στις χρήσεις γης, η παραγωγή ζωοτροφών και η διαχείριση αποβλήτων συμβάλλουν στο αποτύπωμα άνθρακα της υδατοκαλλιέργειας (MacLeod et al., 2019).

1.1. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο πλαίσιο της επέκτασης της υδατοκαλλιέργειας

Η υδατοκαλλιέργεια γνώρισε ταχεία ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες και έχει καταστεί σημαντικό μέρος της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων. Καθώς η ζήτηση για θαλασσινά αυξάνεται, η υδατοκαλλιέργεια έχει καταστεί μια πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση έναντι της παραδοσιακής κτηνοτροφίας. Ωστόσο, η επέκταση της υδατοκαλλιέργειας συνεπάγεται επίσης περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (GHG), κυρίως οξειδίων του αζώτου (N_2O), μεθανίου (CH_4) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), από τις ζωοτροφές, την κατανάλωση γεωργικής ενέργειας, τα λιπάσματα και τον μεταβολισμό των ζώων (MacLeod et al., 2019).

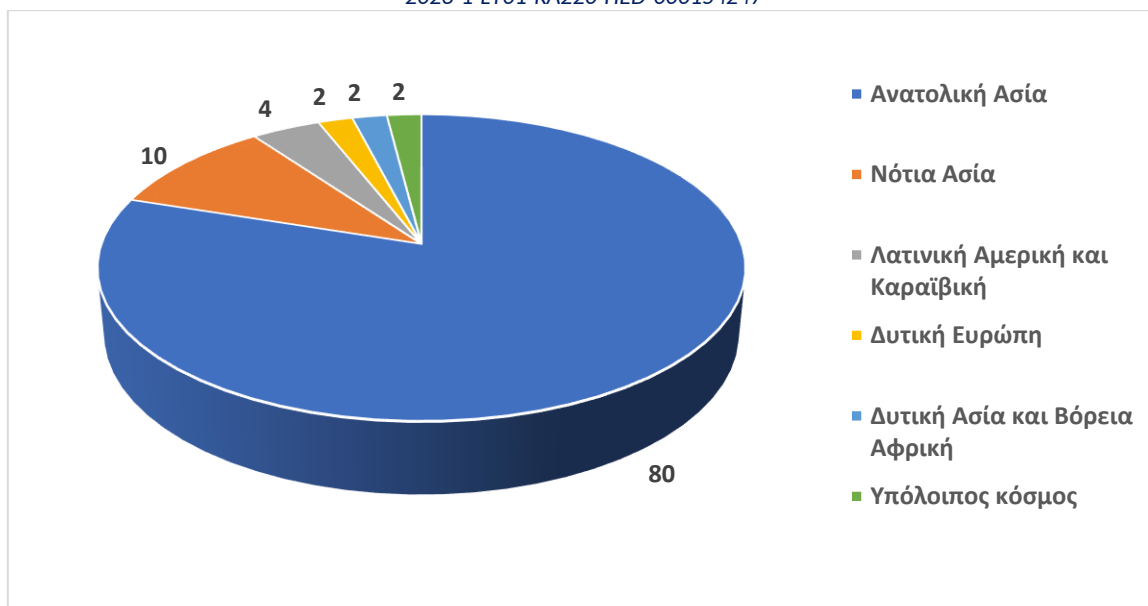
Οι αναερόβιες συνθήκες στις λίμνες υδατοκαλλιέργειας ευνοούν την παραγωγή CH_4 λόγω της διάσπασης της οργανικής ύλης σε περιβάλλοντα με έλλειψη οξυγόνου (Pu et al., 2022). Επιπλέον, οι εκπομπές N_2O συνδέονται με τη μικροβιακή δραστηριότητα σε περιβάλλοντα πλούσια σε άζωτο, όπως αυτά που προκύπτουν από την υπερβολική εφαρμογή λιπασμάτων ή ζωοτροφών (Bano et al., 2024).

Οι MacLeod κ.ά. (2019) εξέτασαν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας, ενός σύνθετου τομέα που αποτελείται από πολλά διαφορετικά είδη που εκτρέφονται σε διάφορα συστήματα και περιβάλλοντα. Η ανάλυση επικεντρώνεται στις κύριες ομάδες καλλιεργούμενων υδρόβιων ειδών, εξαιρουμένων των θαλάσσιων φυτών. Η Κίνα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός και καταναλωτής υδρόβιων προϊόντων στον κόσμο, με τον τομέα της υδατοκαλλιέργειας να διαδραματίζει βασικό ρόλο στη διασφάλιση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας (FAO, 2020). Ο τομέας της αλιείας στην Ινδονησία παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη το 2023, συμβάλλοντας κατά περίπου 3,2% στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) της χώρας (Sulistijowati et al., 2023). Συνολικά, η Ανατολική και η Νότια Ασία είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας το 90 % της συνολικής παραγωγής (Σχήμα 1).

Οι MacLeod κ.ά. (2019) εξέτασαν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας, ενός σύνθετου τομέα που αποτελείται από πολλά διαφορετικά είδη που εκτρέφονται σε διάφορα συστήματα και περιβάλλοντα. Η ανάλυση επικεντρώνεται στις κύριες ομάδες καλλιεργούμενων υδρόβιων ειδών, εξαιρουμένων των θαλάσσιων φυτών. Η Κίνα είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός και καταναλωτής υδρόβιων προϊόντων στον κόσμο, με τον τομέα της υδατοκαλλιέργειας να διαδραματίζει βασικό ρόλο στη διασφάλιση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας (FAO, 2020). Ο τομέας της αλιείας στην Ινδονησία παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη το 2023, συμβάλλοντας κατά περίπου 3,2% στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) της χώρας (Sulistijowati et al., 2023). Συνολικά, η Ανατολική και η Νότια Ασία είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας το 90 % της συνολικής παραγωγής (Σχήμα 2.1).

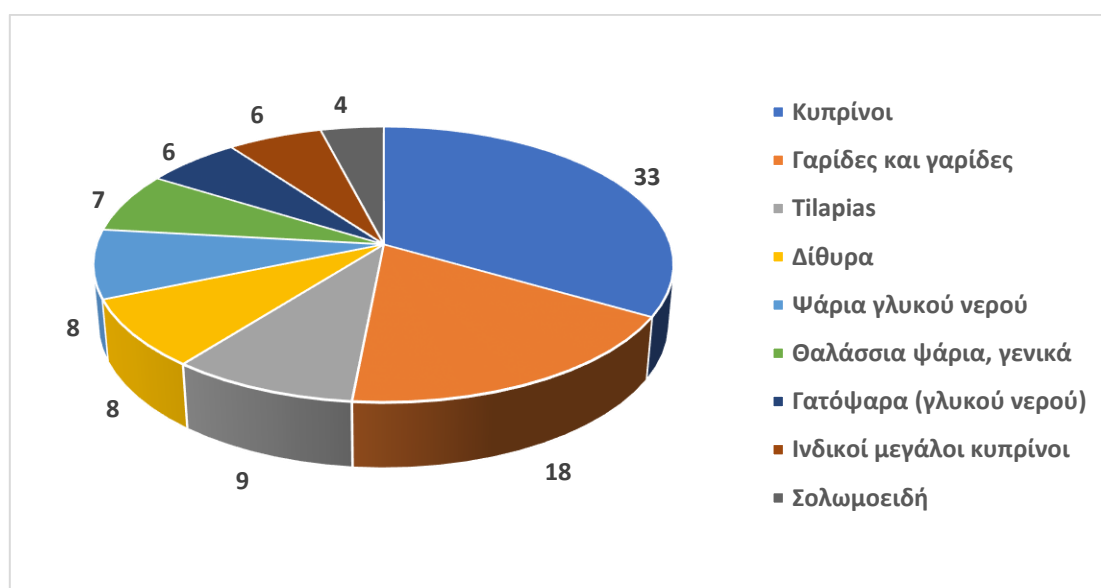
Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Σχήμα 2.1. Ποσοστιαίο μερίδιο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά περιοχή (MacLeod, et al., 2019).

Κατά την ανάλυση των δεδομένων για τα διάφορα είδη, γίνεται σαφές ότι η παραγωγή κυπρινοειδών αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό 33%, ακολουθούμενη από την υδατοκαλλιέργεια γαρίδας και γαρίδας σε ποσοστό 18%. Οι εντατικές γαριδοτροφικές λίμνες είχαν ιδιαίτερα υψηλότερη παραγωγικότητα και προκάλεσαν επίσης σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδίως στις παράκτιες περιοχές, καθώς παράγουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου λόγω των αναερόβιων συνθηκών που συχνά επικρατούν στους λασπώδεις πυθμένες των λιμνών (Σχήμα 2.1).

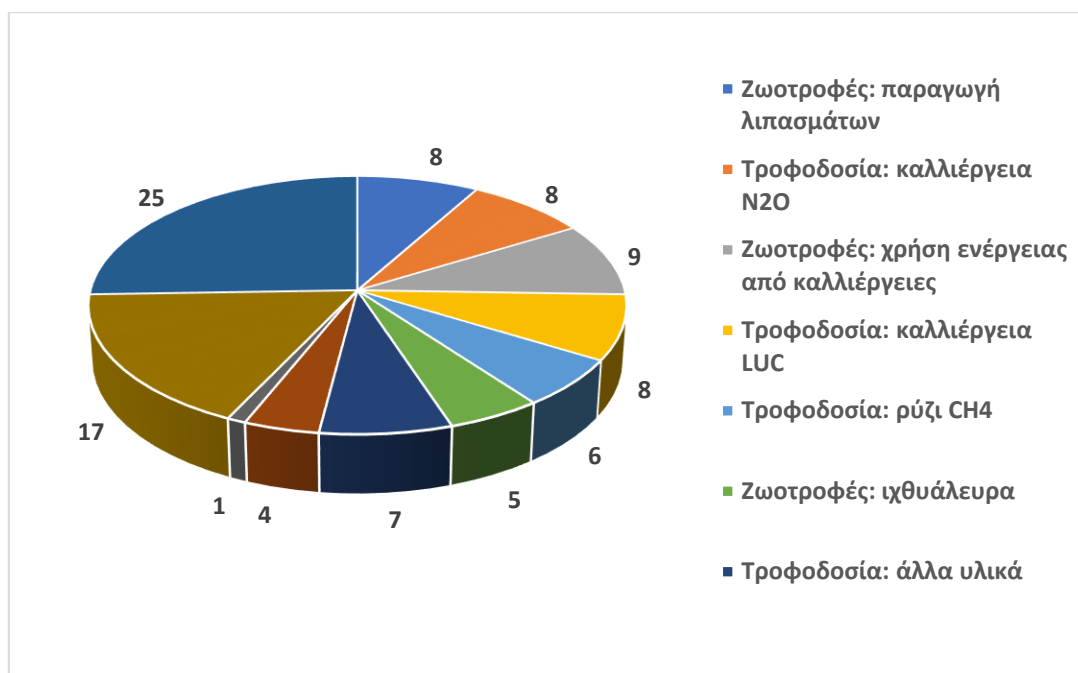


Σχήμα 2. Ποσοστιαίο μερίδιο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά ομάδα ειδών (MacLeod, et al., 2019).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Μετά τα διάφορα αέρια και τις πηγές τους, η παραγωγή υδρόβιων ζωοτροφών έχει τη μεγαλύτερη επιρροή με το 55 % όλων των αερίων του θερμοκηπίου. Η χρήση γεωργικής ενέργειας και το υδάτινο N₂O έχουν επίσης σημαντικό μερίδιο (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 3: Ποσοστιαίο μερίδιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά κατηγορία πηγής (MacLeod, et al., 2019).

1.2. Κύριες πηγές αερίων του θερμοκηπίου

Το N₂O παράγεται κυρίως από τη μικροβιακή μετατροπή του αζώτου στα εδάφη κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, αλλά και από τη μικροβιακή μετατροπή αζωτούχων ενώσεων από ζωοτροφές και λιπάσματα σε λίμνες υδατοκαλλιέργειας (MacLeod et al., 2019). Η IPCC (2007) ανέφερε αυξημένες συγκεντρώσεις σε N₂O και CH₄ από τη βιομηχανική εποχή, γεγονός που προκαλεί ανησυχία, δεδομένου ότι και τα δύο αέρια, αν και υπάρχουν σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με αυτές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), έχουν 298 (N₂O) και 25 φορές (CH₄) μεγαλύτερο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη από το CO₂ σε μια χρονική περίοδο 100 ετών. Ο ρυθμός σχηματισμού του N₂O καθορίζεται από διάφορους φυσικοχημικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα και το pH, οι οποίοι μπορεί να μεταβάλλονται εποχιακά. Αυξημένες εκπομπές N₂O από την υδατοκαλλιέργεια έχουν αναφερθεί σε συστήματα ιχθυοκαλλιέργειας υψηλής πυκνότητας, ιδίως στην Ασία, όπου η επέκταση της υδατοκαλλιέργειας είναι πιο σημαντική (FAO, 2020). Μελέτες δείχνουν ότι ακόμη και οι υδατοκαλλιέργειες μικρής κλίμακας μπορούν να συμβάλουν σε εκπομπές N₂O συγκρίσιμες με εκείνες από γεωργικές δραστηριότητες (Rahman et al., 2022).

Το CO₂ εκπέμπεται από την κατανάλωση ενέργειας πριν από τη λειτουργία (που σχετίζεται κυρίως με την παραγωγή ζωοτροφών και λιπασμάτων), την κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία (π.χ. άντληση νερού, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, χρήση άλλων καυσίμων) και τη διανομή και επεξεργασία μετά τη λειτουργία. Οι εκπομπές CO₂ προκύπτουν επίσης από τις μεταβολές στα

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αποθέματα άνθρακα πάνω και κάτω από το έδαφος που προκαλούνται από τη χρήση γης και την αλλαγή χρήσης γης (LUC) (μετατροπή βοσκοτόπων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις). Το CH₄, το οποίο παράγεται κυρίως από την αναερόβια αποσύνθεση της οργανικής ύλης στην πλημμυρισμένη καλλιέργεια ρυζιού, μπορεί επίσης να παραχθεί από τη διαχείριση των αποβλήτων των ιχθυοτροφείων. (MacLeod, 2019). Οι ιχθυοκαλλιέργειες παράγουν οργανικά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των μη καταναλωθεισών ζωοτροφών, των περιττωμάτων των ψαριών και άλλων υποπροϊόντων. Όταν αυτά τα υλικά αποσυντίθενται σε αναερόβιο περιβάλλον, όπως σε ιζήματα ή σε λιμνοδεξαμενές αποβλήτων με κακή διαχείριση, απελευθερώνεται μεθάνιο (CH₄) (Pu et al., 2022).

2. Χρήση ενέργειας και αειφορία

Το ανθρακικό αποτύπωμα των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας συνδέεται άμεσα με τις χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας. Σε πολλές περιοχές, οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα, η οποία απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η ένταση άνθρακα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με το ενεργειακό μείγμα μιας συγκεκριμένης περιοχής. Σε περιοχές όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως από άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, το αποτύπωμα άνθρακα των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας μπορεί να είναι σημαντικό. Η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας στις επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας συμβάλλει άμεσα στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση ενέργειας στην υδατοκαλλιέργεια μπορεί να είναι σημαντικές, ιδίως για μεγάλες, ενεργοβόρες επιχειρήσεις (Li et al., 2024).

2.1. Πηγές ενέργειας και ο περιβαλλοντικός τους αντίκτυπος

Παρά τη σημασία της υδατοκαλλιέργειας για την παραγωγή τροφίμων, έχουν εκφραστεί ανησυχίες σχετικά με την επέκτασή της (Naylor et al., 2000). Ορισμένα από τα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με την υδατοκαλλιέργεια είναι η παραγωγή ζωοτροφών και η απελευθέρωση πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον λόγω του μεταβολισμού των ζώων (Thomas et al., 2021). Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα των προϊόντων, των διαδικασιών ή των υπηρεσιών αξιολογείται συχνά με την Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (AKZ), η οποία είναι μια μεθοδολογία που ορίζεται από τα πρότυπα ISO 14040 και 14044 (ISO, 2006a, 2006b) για την ποσοτικοποίηση των δυνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, την ανθρώπινη υγεία και τους φυσικούς πόρους που προκαλούνται από προϊόντα και συστήματα καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους (Cucurachi et al., 2019). Η χρήση ενέργειας στην υδατοκαλλιέργεια είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των συνθηκών που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ειδών, όπως η κυκλοφορία του νερού, ο αερισμός, η ρύθμιση της θερμοκρασίας και η σίτιση (Πίνακας 2.1).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Πίνακας 2.1. Χρήση ενέργειας στα διάφορα στάδια των εργασιών υδατοκαλλιέργειας

Δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας	Ενεργειακές απαιτήσεις
Εκκολαπτήρια και φυτώρια	έλεγχο της θερμοκρασίας, φωτισμό και κυκλοφορία του νερού.
Συστήματα λιμνών και δεξαμενών	Αερισμός, άντληση και διήθηση
Συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακυκλοφορία (RAS)	επεξεργασία νερού και ρύθμιση θερμοκρασίας
Κλωβός και υπεράκτια συστήματα	Μεταφορά σκαφών, συστήματα σίτισης και συγκομιδή
Παραγωγή και επεξεργασία ζωοτροφών	Προμήθεια, κατασκευή και μεταφορά συστατικών υψηλής ενεργειακής έντασης

Ωστόσο, αυτές οι ενεργειακές απαιτήσεις, ιδίως όταν τροφοδοτούνται με ορυκτά καύσιμα, συμβάλλουν στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που επιδεινώνουν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Καθώς ο κλάδος συνεχίζει να επεκτείνεται, η κατανόηση και ο μετριασμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας που σχετίζονται με την ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητάς του. Για να επιτευχθεί η βιωσιμότητα στην υδατοκαλλιέργεια, είναι ζωτικής σημασίας η εξισορρόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με την κατανάλωση ενέργειας. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Πίνακας 2.2).

Πίνακας 2. Πρωτογενείς πηγές ενέργειας στην υδατοκαλλιέργεια

Πηγές ενέργειας	Μεταχειρισμένο
Ορυκτά καύσιμα (ντίζελ, άνθρακας, φυσικό αέριο)	γεννήτριες, εγκαταστάσεις μεταφοράς και παραγωγής.
Ηλεκτρική ενέργεια	Κυρίως από μη ανανεώσιμες πηγές, τροφοδοτώντας αντλίες νερού, συστήματα αερισμού και ψύξης.

Η επιλογή του συστήματος εκτροφής και, τέλος, η επιλογή ειδών με χαμηλότερες απαιτήσεις σε ποιότητα ζωοτροφών και νερού μπορεί να μειώσει τόσο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις όσο και τη χρήση ενέργειας. Το ενεργειακό κόστος της παραγωγής δεν περιλαμβάνει μόνο ζητήματα βιωσιμότητας όσον αφορά την αποδοτικότητα των πόρων του οικοσυστήματος και την εξάντληση των μη ανανεώσιμων πόρων, αλλά και το δυνητικό κόστος για τις μελλοντικές κοινωνίες μέσω της περιβαλλοντικής αλλαγής από τη ρύπανση και την παγκόσμια κλιματική αλλαγή (FAO, 2022- Parker et al., 2018).

2.2. Πηγές ενέργειας και ο περιβαλλοντικός τους αντίκτυπος

Η υδατοκαλλιέργεια είναι ένας πολύ ενεργοβόρος κλάδος στον οποίο οι διάφορες λειτουργίες απαιτούν σημαντικά ποσά ενέργειας για τη δημιουργία βέλτιστων συνθηκών για τα εκτρεφόμενα είδη. Οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν την κυκλοφορία του νερού, τον αερισμό, τον έλεγχο της θερμοκρασίας και τα συστήματα σίτισης, τα οποία είναι απαραίτητα για την προώθηση της ανάπτυξης και της υγείας των υδρόβιων οργανισμών. Η κατανάλωση ενέργειας που συνδέεται με αυτές τις δραστηριότητες ποικίλλει ανάλογα με την κλίμακα της επιχείρησης και τα είδη που εκτρέφονται.

1. Κυκλοφορία νερού και αερισμός: Η διατήρηση επαρκών επιπέδων οξυγόνου στις εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία και την επιβίωση των ψαριών και των οστρακοειδών. Τα συστήματα αερισμού χρησιμοποιούνται συνήθως για την αύξηση των επιπέδων οξυγόνου στο νερό, ιδίως σε εγκαταστάσεις εντατικής υδατοκαλλιέργειας όπου καλλιεργείται μεγάλος αριθμός οργανισμών σε περιορισμένο χώρο. Τα συστήματα αυτά απαιτούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας, ιδίως σε μεγάλες επιχειρήσεις. Τα συστήματα κυκλοφορίας του νερού χρησιμοποιούνται επίσης για να διασφαλιστεί ότι το οξυγόνο, τα θρεπτικά συστατικά και τα απόβλητα κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το νερό, αυξάνοντας περαιτέρω τις ενεργειακές απαιτήσεις (Tacon & Metian, 2009).

2. Έλεγχος θερμοκρασίας: Θερμοκρασία: Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών. Σε ορισμένες περιοχές, οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας πρέπει να ρυθμίζουν τις θερμοκρασίες του νερού ώστε να δημιουργούνται βέλτιστες συνθήκες για τα είδη που εκτρέφονται. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε ψυχρότερα κλίματα ή κατά την εκτροφή τροπικών ειδών σε εύκρατες περιοχές. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας απαιτεί συχνά ενεργοβόρα συστήματα, όπως θερμαντήρες, ψύκτες και εναλλάκτες θερμότητας. Τα συστήματα αυτά είναι σημαντικά για να διασφαλιστεί ότι το νερό παραμένει στο ιδανικό εύρος θερμοκρασίας για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή, αλλά συμβάλλουν επίσης στην υψηλή κατανάλωση ενέργειας (Boyd & McNevin, 2015).

2. Συστήματα σίτισης: Τα αυτοματοποιημένα συστήματα σίτισης χρησιμοποιούνται συνήθως στην υδατοκαλλιέργεια για τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της σίτισης και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Τα συστήματα αυτά τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια και χρησιμοποιούνται για τη διανομή τροφής σε μεγάλο αριθμό ψαριών ή οστρακοειδών με ελεγχόμενο τρόπο. Ενώ τα αυτοματοποιημένα συστήματα σίτισης μπορούν να βελτιώσουν τη μετατροπή της τροφής και τη συνολική παραγωγικότητα των επιχειρήσεων υδατοκαλλιέργειας, συμβάλλουν επίσης στις ενεργειακές απαιτήσεις της επιχείρησης (Matulić et al., 2020).

3. Αλλαγή χρήσης γης και μετατροπή οικοτόπων

Καθώς η παγκόσμια ζήτηση για ψάρια και θαλασσινά συνεχίζει να αυξάνεται, η συμφιλίωση της ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα αποτελεί μείζονα πρόκληση. Η ταχεία επέκταση της υδατοκαλλιέργειας έχει οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στη χρήση γης και στη μετατροπή οικοτόπων, επηρεάζοντας ιδιαίτερα οικολογικά πολύτιμα οικοσυστήματα όπως τα μαγκρόβια, οι υγρότοποι και οι παράκτιες περιοχές. Οι αλλαγές αυτές συμβάλλουν στην απώλεια της



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

βιοποικιλότητας, στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και στη συνολική υποβάθμιση των οικοσυστημάτων, εγείροντας ανησυχίες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας (Barbier et al., 2011).

Καταστροφή των μαγκρόβιων και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Η απώλεια ή η υποβάθμιση των οικοτόπων, ιδίως των παράκτιων οικοτόπων, όπως τα μαγκρόβια συστήματα και άλλοι υγρότοποι (λιβάδια θαλάσσιου χόρτου, αλυκές, παράκτιες λιμνοθάλασσες, εκβολές ποταμών), είναι μία από τις σημαντικότερες αρνητικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας (Wu, 1995; Dev, 1998; Naylor et al., 2000; Páez-Osuna, 2001; Ruiz et al., 2001; Pérez et al., 2008). Τα δάση των μαγκρόβιων, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για τα παράκτια οικοσυστήματα, αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή οργανικής ύλης σε αυτά τα περιβάλλοντα (Tidwell & Allan, 2001). Χρησιμεύουν επίσης ως κρίσιμα ενδιαιτήματα αναπαραγωγής για πολυάριθμα οικονομικά σημαντικά υδρόβια είδη, καθώς και ως περιοχές φωλιάσματος και ανάπαυσης για διάφορες άλλες ομάδες (Paez-Osuna, 2005). Επιπλέον, τα μαγκρόβια συμβάλλουν στην προστασία των ακτών, καθώς συγκρατούν ιζήματα, ρύπους, άζωτο και άνθρακα και μειώνουν τη διάβρωση (Alongi, 2002; Walters et al., 2008). Ωστόσο, ο ρυθμός αποψίλωσης των μαγκρόβιων δασών εκτιμάται σε 1-2 % ετησίως, με τις υδατοκαλλιέργειες γαριδών και ψαριών να αποτελούν την κύρια αιτία της απώλειας εκατομμυρίων εκταρίων μαγκρόβιων δασών σε χώρες όπως η Ταϊλάνδη, η Ινδονησία, ο Ισημερινός και η Μαδαγασκάρη (Naylor et al., 2000; Harper et al., 2007). Μελέτες που διεξήχθησαν σε θαλάσσια εκτροφεία κλωβών στην ακτογραμμή της Μεσογείου ανέφεραν την καταστροφή/ υποβάθμιση των λιβαδιών *Posidonia oceanica*, ως συνέπεια της υψηλής οργανικής και θρεπτικής φόρτισης από τις δραστηριότητες ιχθυοκαλλιέργειας. Η μετατροπή των δασών μαγκρόβιων σε γαριδοτροφικές μονάδες (Dev, 1998; Choo, 2001; Páez-Osuna, 2001) έχει προκαλέσει κυρίως την απώλεια περιοχών τροφοληψίας, αναπαραγωγής, καταφυγής και αναπαραγωγής για μια μεγάλη ποικιλία θαλάσσιων και χερσαίων ζώων (Ruiz et al., 2001; Pérez et al., 2008), καθώς και την απώλεια της φυσικής προστασίας από πλημμύρες, καταγίδες και τυφώνες (Dev, 1998; Choo, 2001; Páez-Osuna, 2001).

Η καταστροφή των μαγκρόβια για την υδατοκαλλιέργεια όχι μόνο τους στερεί την ικανότητά τους να αποθηκεύουν άνθρακα, αλλά και απελευθερώνει αποθηκευμένο άνθρακα από το έδαφος στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τον Alongi (2015), η μετατροπή των δασών μαγκρόβιας βλάστησης σε γαριδοκαλλιέργειες οδηγεί σε σημαντική αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Καθώς τα μαγκρόβια είναι από τα πιο πυκνά σε άνθρακα οικοσυστήματα στον πλανήτη και μπορούν να αποθηκεύσουν έως και πέντε φορές περισσότερο άνθρακα ανά εκτάριο από ό,τι τα τροπικά δάση, η απώλειά τους αποτελεί κρίσιμο περιβαλλοντικό ζήτημα (Barbier et al., 2011). Εκτός από την απώλεια άνθρακα, η υποβάθμιση των παράκτιων υγροτόπων αυξάνει την ευπάθεια στη διάβρωση και τις πλημμύρες, αποδυναμώνει την ανθεκτικότητα των παράκτιων περιοχών και καθιστά τις τοπικές κοινότητες πιο ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Barbier et al., 2011).

Μετατροπή υγροτόπων και γεωργικών εκτάσεων

Η επέκταση των υδατοκαλλιεργειών εσωτερικών υδάτων έχει επίσης οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στη χρήση γης, ιδίως μέσω της μετατροπής γεωργικών εκτάσεων και υγροτόπων σε υδατοκαλλιέργειες. Με γνώμονα τα οικονομικά πλεονεκτήματα της υδατοκαλλιέργειας, η οποία

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

συχνά αποφέρει υψηλότερες οικονομικές αποδόσεις σε σχέση με την παραδοσιακή γεωργία, η μετατροπή αυτή επιφέρει διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα (Ahmed & Thompson, 2019). Ένα μείζον ζήτημα είναι η καταστροφή των οικοσυστημάτων, καθώς οι υγρότοποι που είναι σημαντικοί για το φιλτράρισμα του νερού, τον έλεγχο των πλημμυρών και τη βιοποικιλότητα αποξηραίνονται για να δημιουργηθεί χώρος για λίμνες υδατοκαλλιέργειας. Αυτό οδηγεί σε απώλεια της βιοποικιλότητας και υποβαθμίζει την ικανότητα του τοπίου να αντιμετωπίσει τις περιβαλλοντικές αλλαγές.

Οι Rahman et al. (2022) δείχνουν ότι η μετατροπή της γεωργικής γης σε περιοχές υδατοκαλλιέργειας οδηγεί σε σημαντικές και συχνά μη αναστρέψιμες οικολογικές ζημιές, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές χρήσης της γης. Επιπλέον, η εντατική υδατοκαλλιέργεια μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση οργανικών αποβλήτων, χημικών ουσιών και περίσσειας θρεπτικών ουσιών στο έδαφος και το νερό, με αποτέλεσμα τον ευτροφισμό. Η διαδικασία αυτή, που χαρακτηρίζεται από υπερβολικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών, οδηγεί σε άνθιση των φυκών και μείωση του οξυγόνου και έχει σοβαρές επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα (Boyd et al., 2020).

Κατακερματισμός των οικοτόπων και απώλεια βιοποικιλότητας

Η επέκταση της υδατοκαλλιέργειας έχει συμβάλει στον κατακερματισμό των ενδιαιτημάτων, ο οποίος διαταράσσει την οικολογική συνδεσιμότητα και δυσχεραίνει τη μετανάστευση, την αναπαραγωγή και την πρόσβαση των ειδών σε τροφικούς πόρους. Αυτός ο κατακερματισμός μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των πληθυσμών και απώλεια της βιοποικιλότητας. Η εισαγωγή ξενικών ειδών για σκοπούς αναπαραγωγής επιδεινώνει αυτές τις επιπτώσεις, καθώς ανταγωνίζονται ή αποδεκατίζουν τα ενδημικά είδη, αποσταθεροποιώντας περαιτέρω τα οικοσυστήματα (Chavez et al., 2020).

Πρόσφατες μελέτες δείχνουν τις βαθιές επιπτώσεις του κατακερματισμού των ενδιαιτημάτων στη βιοποικιλότητα (Marrone et al., 2023). Η μετατροπή της γεωργικής γης σε περιοχές υδατοκαλλιέργειας έχει οδηγήσει σε μόνιμες οικολογικές αλλαγές, αναδεικνύοντας τη σημασία των βιώσιμων πρακτικών σε τέτοιες μεταβάσεις (Rahman et al., 2022). Η καταστροφή των ενδιαιτημάτων οδηγεί σε μείωση του μεγέθους των πληθυσμών και κατακερματισμό των περιοχών εξάπλωσης των ειδών, διαταράσσοντας τη μετακίνηση των ατόμων μεταξύ των τμημάτων ενδιαιτημάτων και μειώνοντας τις πιθανότητες επιβίωσής τους (Haddad et al., 2015).

4. Παραγωγή ζωοτροφών και χρήση πόρων

Η παραγωγή ζωοτροφών για την υδατοκαλλιέργεια αποτελεί σημαντική πτυχή του τομέα, αλλά έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η καλλιέργεια συστατικών ζωοτροφών, όπως το ιχθυάλευρο και τα φυτικά συστατικά, απαιτεί σημαντικούς φυσικούς πόρους, όπως γη, νερό και ενέργεια. Αυτό συμβάλλει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Εκτιμάται ότι έως και το 90% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις ιχθυοκαλλιέργειες οφείλεται στην παραγωγή ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας (FAO, 2022). Καθώς η ζήτηση για προϊόντα υδατοκαλλιέργειας αυξάνεται, οι βιώσιμες πρακτικές για την παραγωγή ζωοτροφών είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας του κλάδου.

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

4.1. Ζωοτροφές για την υδατοκαλλιέργεια και εναλλακτικές πηγές

Στην υδατοκαλλιέργεια χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ζωοτροφών για την κάλυψη των διατροφικών απαιτήσεων των εκτρεφόμενων ψαριών και θαλασσινών και για τη διασφάλιση της ανάπτυξης και της υγείας των ζώων. Παραδοσιακά, το ιχθυάλευρο είναι το κύριο συστατικό των ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας. Το ιχθυάλευρο προέρχεται από μικρά πελαγικά ψάρια όπως ο γάυρος και η σαρδέλα. Ωστόσο, λόγω των ανησυχιών για την υπεραλίευση, την εξάντληση των πόρων και τη βιωσιμότητα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, το ενδιαφέρον για εναλλακτικές πηγές ζωοτροφών έχει αυξηθεί (Tacon & Metian, 2009).

Ως απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις, ο κλάδος διερευνά εναλλακτικά συστατικά ζωοτροφών. Οι πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης, όπως η σόγια, το καλαμπόκι και το σιτάρι, είναι μερικές από τις πιο συχνά διερευνώμενες επιλογές. Τα συστατικά αυτά θεωρούνται ως δυνητικά υποκατάστατα του ιχθυάλευρου και χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας για τη μείωση της εξάρτησης από τους θαλάσσιους πόρους (Duarte et al., 2020; O'Flynn et al., 2021). Επιπλέον, οι πρωτεΐνες με βάση τα έντομα, π.χ. από μύγες-στρατιώτες και αλευρώδεις, έχουν πρόσφατα αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση. Αυτές οι πρωτεΐνες εντόμων μπορούν να καλλιεργηθούν σε οργανικά απόβλητα και προσφέρουν μια πιθανή λύση για τη μείωση της ανάγκης μετατροπής γης και την ελαχιστοποίηση των οικολογικών επιπτώσεων (Freda et al., 2022).

Συνολικά, η αναζήτηση εναλλακτικών συστατικών ζωοτροφών αντικατοπτρίζει την αυξανόμενη συνειδητοποίηση της ανάγκης συμφιλώσης της ιχθυοκαλλιέργειας με τη βιωσιμότητα. Αυτή η μετατροπή των πηγών ζωοτροφών αποσκοπεί στη μείωση της εξάρτησης από τους θαλάσσιους πόρους, διατηρώντας παράλληλα τη διατροφική ποιότητα της τροφής για τα εκτρεφόμενα είδη.

4.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ζωοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φυτικών ζωοτροφών

Η αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με συστατικά φυτικής προέλευσης, όπως η σόγια και ο αραβόσιτος, μειώνει την πίεση στα θαλάσσια οικοσυστήματα, αλλά δημιουργεί νέα περιβαλλοντικά προβλήματα (Tacon & Metian, 2009). Η αυξανόμενη ζήτηση για αυτές τις εναλλακτικές λύσεις έχει οδηγήσει σε μεγάλης κλίμακας μετατροπή της γης, ιδίως στις τροπικές περιοχές, για να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση για γεωργικούς πόρους (Fargione et al., 2023). Αυτή η αλλαγή στη χρήση της γης έχει οδηγήσει σε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της αποψίλωσης των δασών, της απώλειας οικοτόπων και της μείωσης της βιοποικιλότητας. Τα τροπικά δάση πλήττονται ιδιαίτερα, καθώς μεγάλες εκτάσεις εκχερσώνονται για την καλλιέργεια καλλιεργειών όπως η σόγια και ο αραβόσιτος, οι οποίες είναι σημαντικές για την παραγωγή ζωοτροφών (Fargione et al., 2023).

Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή και στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Εκτός από τη μετατροπή της γης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ζωοτροφών με βάση τις καλλιέργειες επεκτείνονται στην επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής μέσω της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Η μετατροπή των δασών σε γεωργική γη για την παραγωγή ζωοτροφών συμβάλλει

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

σημαντικά στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Αυτό συμβαίνει όχι μόνο άμεσα μέσω της απώλειας της αποθήκευσης άνθρακα στα δάση, αλλά και μέσω των ενεργοβόρων διαδικασιών που εμπλέκονται στην εκχέρσωση και τη μεταφορά (Soussana et al., 2021). Επιπλέον, η χρήση συνθετικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στην καλλιέργεια των φυτών οδηγεί στην έκλυση οξειδίου του αζώτου (N₂O), ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου που επιδεινώνει την υπερθέρμανση του πλανήτη (Pardoe et al., 2022). Αυτές οι εκπομπές αποσταθεροποιούν τόσο το τοπικό όσο και το περιφερειακό κλίμα και καθιστούν τη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας πιο ευάλωτη στις προκλήσεις που σχετίζονται με το κλίμα.

Υποβάθμιση της γης, κατανάλωση νερού και γεωργική βιοποικιλότητα

Ως βασικό συστατικό πολλών ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας, η σόγια έχει καταστεί σημαντικός παράγοντας διαφόρων περιβαλλοντικών προβλημάτων, ιδίως όσον αφορά την υποβάθμιση του εδάφους, την υπερβολική κατανάλωση νερού και την απώλεια της γεωργικής βιοποικιλότητας (Magrin et al., 2020). Η ταχεία επέκταση των μονοκαλλιιεργειών σόγιας έχει οδηγήσει σε ανησυχίες σχετικά με τη διάβρωση του εδάφους, την απορροή θρεπτικών στοιχείων και την αυξημένη ευαισθησία σε παράσιτα και ασθένειες. Τα προβλήματα αυτά απαιτούν συχνά την αυξημένη χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, τα οποία επιδεινώνουν περαιτέρω την περιβαλλοντική ζημία. Τέτοιες πρακτικές συμβάλλουν στη ρύπανση των υδάτων και τον ευτροφισμό, βλάπτοντας τόσο τα οικοσυστήματα των γλυκών υδάτων όσο και τα θαλάσσια οικοσυστήματα (Pardoe et al., 2022). Επιπλέον, η καταστροφή πολύτιμων οικοσυστημάτων όπως οι υγρότοποι και τα δάση για την επέκταση της γεωργίας διαταράσσει τους τοπικούς κύκλους του άνθρακα, μειώνει την ικανότητα του τοπίου να προσαρμόζεται στην κλιματική αλλαγή και αυξάνει την ευπάθεια σε ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι πλημμύρες και οι ξηρασίες (Fargione et al., 2023).

Ανθρακικό αποτύπωμα και κατανάλωση ενέργειας

Εκτός από τις αλλαγές στις χρήσεις γης, οι γεωργικές διεργασίες μεγάλης κλίμακας για την παραγωγή ζωοτροφών αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Soussana et al., 2021). Οι ενεργοβόρες διεργασίες που συνδέονται με τη μετατροπή της γης, καθώς και η υψηλή ζήτηση λιπασμάτων και μεταφορών, συμβάλλουν σε ένα σημαντικό αποτύπωμα άνθρακα. Επιπλέον, η μεταποίηση φυτικών υλικών σε ιχθυοτροφές περιλαμβάνει συχνά ενεργοβόρες διαδικασίες, γεγονός που επιδεινώνει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα σοβαρό όταν στις διαδικασίες παραγωγής περιλαμβάνονται ορυκτά καύσιμα. Ως αποτέλεσμα, αυτές οι περιβαλλοντικές προκλήσεις υπογραμμίζουν τις ανησυχίες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των εναλλακτικών ζωοτροφών φυτικής προέλευσης ενόψει της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.

4.3. Επιλογή ζωοτροφών και διατροφή στην υδατοκαλλιέργεια

Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της τροφής

Η επιλογή της τροφής για τα εκτρεφόμενα ψάρια και καρκινοειδή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των διατροφικών συνηθειών των ειδών (φυτοφάγα, παμφάγα ή σαρκοφάγα), της αγοραίας αξίας των ειδών και του χρησιμοποιούμενου συστήματος εκτροφής. Το

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

σύστημα εκτροφής, είτε πρόκειται για χωμάτινη λίμνη, περίφραξη, ιχθυοτροφείο ή κλωβό, επηρεάζει επίσης την επιλογή της τροφής. Τα εντατικά συστήματα απαιτούν ειδικά διαμορφωμένες ζωοτροφές για τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης και του ρυθμού μετατροπής της τροφής (FCR), ενώ τα εκτατικά συστήματα μπορούν να βασίζονται περισσότερο σε φυσικούς τροφικούς οργανισμούς (Tacon et al., 2013).

Οικονομικές και περιβαλλοντικές εκτιμήσεις στην επιλογή ζωοτροφών

Ένας άλλος βασικός παράγοντας είναι η διαθεσιμότητα ζωοτροφών που παρασκευάζονται στο εμπόριο. Εάν αυτές δεν είναι διαθέσιμες ή ακατάλληλες, οι κτηνοτρόφοι μπορούν να στραφούν σε ζωοτροφές που παράγονται στο σπίτι από τοπικά συστατικά, όπως ψάρια χαμηλής ποιότητας ή γεωργικά υποπροϊόντα. Οι οικονομικοί πόροι του κτηνοτρόφου, όπως το κόστος των ζωοτροφών, της αποθήκευσης και της εργασίας, παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Tacon et al., 2013). Οι κακές στρατηγικές σίτισης, όπως η υπερβολική σίτιση, μπορεί να οδηγήσουν σε σπατάλη θρεπτικών συστατικών και ρύπανση του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, η διαχείριση των ζωοτροφών πρέπει επίσης να επιτυγχάνει ισορροπία μεταξύ της οικονομικής αποδοτικότητας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (White, 2013).

Ποιότητα και αποδοτικότητα ζωοτροφών

Ένα σημαντικό μέλημα στην υδατοκαλλιέργεια είναι η κάλυψη των διατροφικών απαιτήσεων των ψαριών μέσω της κατάλληλης χορήγησης τροφής που βελτιστοποιεί την ανάπτυξη και τον FCR. Οι απαιτήσεις των ειδών ψαριών σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά μπορεί να διαφέρουν καθημερινά, εποχιακά και από άτομο σε άτομο. Οι μη ισορροπημένες δίαιτες, η υποθρενία ή η υπερθρενία μπορούν να μειώσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής και να συμβάλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, ιδίως στην εκτροφή σε κλωβούς (Bureau, et al., 2006- Thorpe and Cho, 1995). Για την ελαχιστοποίηση της σπατάλης και την επίτευξη τόσο της οικονομικής όσο και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, οι κατάλληλες στρατηγικές διαχείρισης των ζωοτροφών είναι απαραίτητες (Talbot, Corneillie and Korsøen, 1999; Cho and Bureau, 1998).

Υπεραλίευση

Η εκμετάλλευση των άγριων πόρων και της βιοποικιλότητας για την παραγωγή ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας και την προμήθεια σπόρων και γόνου μπορεί να προκαλέσει σημαντική ζημία στα υδάτινα οικοσυστήματα (Dev, 1998; Choo, 2001; Pérez-Osuna, 2001). Άγρια είδη ψαριών χαμηλής εμπορικής αξίας, όπως ο ιαπωνικός γαύρος και το σκουμπρί, χρησιμοποιούνται συχνά ως τροφή για σαρκοφάγα ψάρια ή ως συμπληρωματική τροφή για είδη όπως οι γαρίδες, η τιλάπια και το γαλατόψαρο. Η πρακτική αυτή ασκεί πρόσθετη πίεση στα ήδη υπεραλιευμένα αποθέματα άγριων ψαριών. Η απομάκρυνση άγριων ψαριών όπως το χέλι, η σφυρίδα, η κιτρινόψαρο και ο τόνος συμβάλλει περαιτέρω στην εξάντληση των φυσικών πληθυσμών.

Η συλλογή σπόρων γαρίδας και οστρακοειδών άγριας αλιείας είναι ιδιαίτερα επιβλαβής, καθώς όχι μόνο απειλεί τα είδη-στόχους, αλλά σκοτώνει και οργανισμούς μη-στόχους, όπως άλλα είδη γαρίδας, μακροζωοπλαγκτόν και νεαρά ψάρια και οστρακοειδή. Αυτή η διατάραξη του τροφικού πλέγματος

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

επηρεάζει ένα ευρύ φάσμα οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των υδρόβιων πτηνών, των ερπετών και των θηλαστικών, με αποτέλεσμα αυξημένη θνησιμότητα και μειωμένη επιτυχία αναπαραγωγής (Choo, 2001). Επιπλέον, η απομάκρυνση άγριων ειδών μπορεί να οδηγήσει σε γενετική υποβάθμιση των γηγενών πληθυσμών και καταστροφή των φυσικών ενδιαιτημάτων, με αποτέλεσμα την περαιτέρω διατάραξη του υδάτινου οικοσυστήματος (Dev, 1998). Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα είδη που αλιεύονται σε μεγάλο βαθμό και εκείνα με χαμηλή αναπαραγωγική ικανότητα. Όσο η παραγωγή γόνου σε αιχμαλωσία είναι δαπανηρή, η αγορά άγριων αναπαραγωγικών ατόμων είναι πιθανό να συνεχιστεί και να προκαλέσει περαιτέρω περιβαλλοντική ζημία (Nash, 2005).

5. Ρύπανση και υπολειμματικές ουσίες

Οι εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας μπορούν να παράγουν σημαντικές ποσότητες αποβλήτων/εκροών που περιέχουν ποικίλες ουσίες, όπως σωματιδιακό υλικό (κυρίως από μη φαγώμενη τροφή και κόπρανα), διαλυμένα προϊόντα μεταβολισμού (από την απέκκριση μέσω των βράγχων και των νεφρών) και διάφορες μορφές χημικών ουσιών (π.χ. θεραπευτικά, λιπάσματα, βαρέα μέταλλα), με ανεπιθύμητες συνέπειες για το περιβάλλον (Wu, 1995; Dev, 1998; Pérez-Osuna, 2001; Read & Fernandes, 2003). Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τα σωματιδιακά και διαλυμένα οργανικά και ανόργανα υλικά (Πίνακας 2.3) είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς οι ενώσεις αυτές εισέρχονται άμεσα στο περιβάλλον και επηρεάζουν τόσο τη στήλη νερού όσο και το ίζημα (Dalsgaard & Krause-Jensen, 2006; Holmer et al., 2007). Η έκταση αυτών των επιπτώσεων εξαρτάται κυρίως από την τοποθεσία της εκμετάλλευσης, το είδος των ζώων, τον τύπο της καλλιέργειας, την πυκνότητα του ζωικού κεφαλαίου, την πεπτικότητα της τροφής και άλλους παράγοντες εκτροφής, όπως οι πρακτικές διατροφής και η κατάσταση των ασθενειών (Wu, 1995).

Πίνακας 2.3. Οδηγοί, πιέσεις, καταστάσεις, επιπτώσεις και αντιδράσεις για μια υποθετική ανάπτυξη υδατοκαλλιέργειας (Serpa & Duarte, 2008)

Οδηγός	Πίεση	Κράτος	Επιπτώσεις	Απάντηση
Ιχθυοκαλλιέργεια	Αυξημένες ροές θρεπτικών ουσιών	Αυξημένα θρεπτικά και οργανικά συγκεντρώσεις ύλης	Αυξημένο φυτοπλαγκτόν βιομάζα/ευτροφισμός	Παραγωγή φυκιών για την απομάκρυνση περίσσεια θρεπτικών συστατικών
	Αυξημένες ροές οργανικής ύλης Μειωμένα επίπεδα οξυγόνου	Μειωμένα επίπεδα οξυγόνου. Συσσώρευση οργανικής ύλης στα ιζήματα	Υψηλότερη θνησιμότητα των βενθικών οργανισμοί/μειωμένη βενθική ποικιλομορφία	Αερισμός πυθμένα
	Αυξημένες δυνάμεις αντίστασης	Μειωμένη ροή και αυξημένος χρόνος παραμονής	Αυξημένη απόθεση ιζημάτων	Ανακατανομή σε περιοχές με μεγαλύτερη έντονη υδροδυναμική

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

	Απελευθέρωση ξеноβιοτικών	Βιοσυγκέντρωση	Αυξημένη θνησιμότητα μη στοχευόμενων είδη	Λιγότερο εντατική γεωργία για μείωση της διάδοσης των ασθενειών
--	------------------------------	----------------	--	--

Τα μετεωρολογικά (π.χ. πρότυπα ανέμων), υδρογραφικά (π.χ. βαθυμετρία, ρεύματα, παλιρροιακό καθεστώς, κυματική δράση, ρυθμοί καθίζησης) και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των περιοχών υδατοκαλλιέργειας (Nordvang & Hakanson, 2002; Kalantzi & Karakassis, 2006), επηρεάζουν έντονα την τύχη κάθε είδους αποβλήτων που απελευθερώνονται στη στήλη του νερού.

Τα λύματα από συστήματα εντατικής παραγωγής, με μεγάλη εισροή ζωοτροφών, έχουν συνήθως μεγαλύτερες αρνητικές επιπτώσεις από τα λύματα από ημιεντατικά ή εκτατικά συστήματα με μικρή ή καθόλου προσθήκη ζωοτροφών (Kautsky et al., 2000; PérezOsuna, 2001).

Τα απόβλητα των υδατοκαλλιεργειών, συμπεριλαμβανομένων των μη καταναλωθεισών ζωοτροφών, των περιττωμάτων των ψαριών και των χημικών υπολειμμάτων, έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η περίσσεια θρεπτικών συστατικών, όπως το άζωτο και ο φώσφορος, συμβάλλουν στη ρύπανση των υδάτων και τον ευτροφισμό, οδηγώντας σε μείωση του οξυγόνου και σε επιβλαβείς ανθίσεις φυκών. Η χρήση χημικών στην υδατοκαλλιέργεια μπορεί να οδηγήσει σε ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά και σε διαταραχή του οικοσυστήματος, ενώ η υποβάθμιση των οικοτόπων, όπως η αποψίλωση των μαγκρόβιων δασών, απειλεί τη βιοποικιλότητα. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί βιώσιμες πρακτικές, όπως η βελτιωμένη διαχείριση των αποβλήτων και οι φιλικές προς το περιβάλλον τεχνικές εκτροφής, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας στο περιβάλλον.

5.1. Απορρίψεις θρεπτικών ουσιών

Τα απόβλητα της υδατοκαλλιέργειας, ιδίως οι μη καταναλωθείσες ζωοτροφές και τα περιττώματα των ψαριών, εισάγουν υψηλά επίπεδα αζώτου και φωσφόρου στα γύρω ύδατα. Αυτός ο εμπλουτισμός με θρεπτικά συστατικά μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό, ο οποίος χαρακτηρίζεται από υπερβολική άνθιση φυκών που μειώνει τα επίπεδα οξυγόνου και βλάπτει την υδρόβια ζωή.

Οι εισροές ανόργανων ενώσεων (π.χ. αμμωνία, νιτρικά, νιτρώδη και φωσφορικά άλατα) μέσω της διάσπασης της οργανικής ύλης, των εκκρίσεων των ζώων και της λίπανσης των λιμνών μπορεί επίσης να έχουν δυνητικά επικίνδυνες επιπτώσεις στο περιβάλλον (Wu, 1995; Dev, 1998; Tovar et al., 2000; Pérez-Osuna, 2001; Pearson & Black, 2001; Read & Fernandes, 2003; Biao & Kaijin 2007; Pérez et al., 2008). Οι περισσότερες από τις ανεπιθύμητες οικολογικές συνέπειες που σχετίζονται με την υπερβολική διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών από τις απορρίψεις υδατοκαλλιεργειών σχετίζονται με τον ευτροφισμό και περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, την υπερτροφία και την εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου που προκαλούν την υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων (Tovar et al., 2000a; Read & Fernandes, 2003). Τα θρεπτικά φορτία συμβάλλουν επίσης στη συγκέντρωση φυτικών θρεπτικών συστατικών στα υδάτινα συστήματα, διεγείροντας την ανάπτυξη των



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

πρωτογενών παραγωγών (Read & Fernandes, 2003; Biao & Kaijin, 2007) και μεταβάλλοντας ακόμη και τη δομή και τη σύνθεση αυτών των βασικών κοινοτήτων.

Εάν ο εμπλουτισμός με θρεπτικά συστατικά συμπέσει με ορισμένες φυσικές συνθήκες και άλλους, ελάχιστα κατανοητούς παράγοντες, μπορεί να υπάρξει ανάπτυξη τοξικών ειδών φυτοπλαγκτού, οδηγώντας στο σχηματισμό επιβλαβών ανθίσεων φυκών (Harmful Algal Blooms, HAB) (Biao & Kaijin, 2007). Για παράδειγμα, αναφορές HAB της *Chattonella marina*, που πιθανώς προκλήθηκαν από απορρίψεις λυμάτων από γαριδοτροφικές μονάδες, καταγράφηκαν κατά μήκος της ακτής στα βόρεια της Κίτρινης Θάλασσας το 1993 και το 1995 (Biao & Kaijin, 2007). Οι τοξικές ανθίσεις φυτοπλαγκτού μπορεί να παράγουν διάφορους τύπους τοξινών (π.χ. DSP- διαρροϊκή δηλητηρίαση οστρακοειδών, PSP - παραλυτική δηλητηρίαση οστρακοειδών και ASD - αμνησιακή νόσος των οστρακοειδών), που συχνά προκαλούν δηλητηρίαση οστρακοειδών και θνησιμότητα της βενθικής πανίδας και των άγριων/εκτρεφόμενων ψαριών, απειλώντας έτσι την οικονομική βιωσιμότητα των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας (Pearson & Black, 2001; Read & Fernandes, 2003; Gyllenhamman & Hakanson, 2005). Αν και το ενδεχόμενο ευτροφισμού φαίνεται απίθανο για τις θαλάσσιες εκτροφές σε κλωβούς λόγω της επίδρασης αραίωσης του θαλασσινού νερού (Wu, 1995; Pearson & Black, 2001), δεν μπορεί να αποκλειστεί η πιθανότητα τοπικού ευτροφισμού σε περιοχές με κακή έκπλυση (Wu, 1995; Pearson & Black, 2001). Όσον αφορά τις περιοχές περιορισμένης ανταλλαγής, όπως οι παράκτιες λιμνοθάλασσες και οι εκβολές ποταμών, η υπερβολική διαθεσιμότητα θρεπτικών μπορεί να επηρεάσει την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος και σε ορισμένες περιπτώσεις να επηρεάσει αρνητικά την ίδια τη δραστηριότητα της υδατοκαλλιέργειας (Dev, 1998; Pérez-Osuna, 2001b).

5.2. Επιπτώσεις της χρήσης αντιβιοτικών και χημικών ουσιών

Η χρήση αντιβιοτικών και άλλων χημικών ουσιών στην υδατοκαλλιέργεια για την πρόληψη ασθενειών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την είσοδο υπολειμμάτων στο περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές μπορεί να διαταράξουν τα τοπικά οικοσυστήματα και να συμβάλουν στην ανάπτυξη βακτηρίων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά. Η έρευνα δείχνει ότι οι ρύποι από τις υδατοκαλλιέργειες διασκορπίζονται γρήγορα στα ποτάμια, αλλά τα λύματα από τις ιχθυοκαλλιέργειες συμβάλλουν σε λιγότερο από το 1% των συνολικών αιωρούμενων στερεών, της βιολογικής ζήτησης οξυγόνου και του φωσφόρου που απορρίπτονται στο περιβάλλον. Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: 1) πρόσθετα ζωοτροφών (π.χ. βιταμίνες, χρωστικές ουσίες, μέταλλα και ορμόνες), 2) απολυμαντικά (π.χ. χλωρίνη, πράσινο του μαλαχίτη) και φυτοφάρμακα (π.χ. μαλακισοκτόνα και ιχθυοκτόνα), 3) ασβεστοποιητικά υλικά, 4) μέταλλα (π.χ. αντιρρυπαντικά) και 5) κτηνιατρικά φάρμακα, συμπεριλαμβανομένων αντιβιοτικών, αναισθητικών, παρασιτοκτόνων και εμβολίων (Read & Fernandes, 2003) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο εξωτερικών και εσωτερικών παρασίτων ή μικροβιακών λοιμώξεων (Costello et al., 2001).

Η χρήση αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια έχει διάφορες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η ευρεία χρήση αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη βακτηρίων ανθεκτικών στα αντιβιοτικά, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν τα γονίδια αντοχής τους σε άλλα

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

βακτήρια, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προκαλούν ασθένειες στον άνθρωπο και σε άλλα ζώα (Okocha et al., 2018). Τα αντιβιοτικά μπορούν να έχουν τοξικές επιδράσεις στις κοινότητες μικροοργανισμών σε υδάτινα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των κοινοτήτων φυκιών, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία των υδάτινων οικοσυστημάτων (Li et al., 2024). Επιπλέον, τα αντιβιοτικά και τα υποπροϊόντα τους μπορούν να παραμείνουν στο φυσικό περιβάλλον λόγω της δύσκολης βιοαποδόμησής τους, συσσωρεύονται σε ιζήματα, υδάτινες επιφάνειες και υπόγεια ύδατα, οδηγώντας σε μακροχρόνια μόλυνση του περιβάλλοντος. Η παρουσία αντιβιοτικών σε υδάτινα περιβάλλοντα μπορεί να προκαλέσει σοβαρές αλλαγές στη σύνθεση και τη δομή των βακτηριακών κοινοτήτων, επηρεάζοντας τη συνολική υγεία και τη βιοποικιλότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων (Luthman et al., 2024). Επιπλέον, η χρήση αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια μπορεί να οδηγήσει στην παρουσία υπολειμματικών αντιβιοτικών στα ψάρια και σε άλλα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας, δημιουργώντας κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων που καταναλώνουν τα προϊόντα αυτά. Η αδιάκριτη χρήση αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια μπορεί επίσης να οδηγήσει σε διαταραχή της φυσιολογικής εντερικής χλωρίδας των υδρόβιων ζώων, οδηγώντας σε αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και την ανάπτυξή τους. Επιπλέον, η συσσώρευση αντιβιοτικών στο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών ανθεκτικών στα αντιβιοτικά, οι οποίοι μπορούν να εξαπλωθούν σε άλλα οικοσυστήματα και να αποτελέσουν απειλή τόσο για την υδρόβια όσο και για τη χερσαία ζωή (Farias et al., 2024).

Χρησιμοποιούνται επίσης άλλα βιολογικά προϊόντα, όπως αποικοδομητές οργανικής ύλης (π.χ. βακτήρια και παρασκευάσματα ενζύμων) (Gräslund & Bengtsson, 2001). Η εφαρμογή αυτών των χημικών ουσιών εξαρτάται κυρίως από το σύστημα καλλιέργειας. Για παράδειγμα, ενώ οι ημιεντατικές γαριδοκαλλιέργειες απαιτούν ελάχιστη χρήση χημικών ουσιών, κυρίως λιπασμάτων και ασβεστοποιητικών υλικών (Boyd & Massaut, 1999; Choo, 2001; Gräslund & Bengtsson, 2001), καθώς η παραγωγή γαρίδας εντατικοποιείται, η διαχείριση γίνεται πιο προβληματική και ο αριθμός και η ποικιλία των χημικών ενώσεων αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό (Gräslund & Bengtsson, 2001).

Η εντατική καλλιέργεια σε λίμνες απαιτεί επίσης μεγαλύτερη ποικιλία χημικών ουσιών σε σύγκριση με τα συστήματα σε κλωβούς, τα οποία χρησιμοποιούν κυρίως απολυμαντικά, αντιρρυπαντικά και κτηνιατρικά φάρμακα (Kelly & Elberizon, 2001; Read & Fernandes, 2003). Οι κυριότεροι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που συνδέονται με τη χρήση χημικών ενώσεων αφορούν: i) την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, ii) την παρέμβαση στις βιογεωχημικές διεργασίες, iii) την άμεση τοξικότητα στην άγρια πανίδα και χλωρίδα, iv) την ανάπτυξη ανθεκτικότητας από παθογόνους οργανισμούς και v) τη μείωση της προφυλακτικής αποτελεσματικότητας των θεραπευτικών ουσιών (Costello et al., 2001). Η ακατάλληλη χρήση χημικών ενώσεων μπορεί επίσης να επηρεάσει την ασφάλεια των προϊόντων υδατοκαλλιέργειας, αποτελώντας απειλή για την ανθρώπινη υγεία (Choo, 2001; Islam et al., 2004).

Περίληψη

Η υδατοκαλλιέργεια διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, αλλά η ταχεία επέκτασή της έχει εγείρει σημαντικές περιβαλλοντικές ανησυχίες, ιδίως στην εποχή της κλιματικής αλλαγής. Ο κλάδος αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου,

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

καταστροφής οικοτόπων και εξάντλησης πόρων. Το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το οξείδιο του αζώτου απελευθερώνονται μέσω των ενεργοβόρων λειτουργιών, της παραγωγής ζωοτροφών και της διαχείρισης αποβλήτων. Πολλές εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ενώ οι αναερόβιες συνθήκες στις λίμνες των ψαριών συμβάλλουν στην απελευθέρωση μεθανίου. Επιπλέον, οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου προκύπτουν από περιβάλλοντα πλούσια σε άζωτο που δημιουργούνται από την περίσσεια ζωοτροφών και λιπασμάτων. Η ταχεία επέκταση της υδατοκαλλιέργειας έχει επίσης οδηγήσει σε εκτεταμένες αλλαγές στη χρήση γης, ιδίως στα παράκτια και υδροτοπικά οικοσυστήματα. Τα μαγγρόβια και άλλοι ζωτικοί βιότοποι έχουν εκχερσωθεί για να δημιουργηθεί χώρος για γαριδοτροφικές μονάδες και ιχθυόσκαλες, οδηγώντας σε απώλεια βιοποικιλότητας, διάβρωση των ακτών και μειωμένη δέσμευση άνθρακα. Η παραγωγή ζωοτροφών είναι ένας από τους μεγαλύτερους συντελεστές του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της υδατοκαλλιέργειας, αντιπροσωπεύοντας την πλειονότητα των εκπομπών. Οι παραδοσιακές ζωοτροφές με βάση το ιχθυάλευρο ασκούν πίεση στους θαλάσσιους πόρους, ενώ οι εναλλακτικές λύσεις με βάση τα φυτά, όπως η σόγια, συμβάλλουν στην αποψίλωση των δασών, την υποβάθμιση της γης και την υπερβολική χρήση του νερού. Οι πρωτεΐνες με βάση τα έντομα και άλλες νέες πηγές ζωοτροφών προσφέρουν πιθανές λύσεις, αλλά η υιοθέτηση σε μεγάλη κλίμακα παραμένει περιορισμένη λόγω οικονομικών και υλικοτεχνικών προκλήσεων. Ένα άλλο μείζον ζήτημα είναι η παραγωγή αποβλήτων, καθώς οι μη καταναλωθείσες ζωοτροφές, τα περιττώματα των ψαριών και τα χημικά κατάλοιπα συμβάλλουν στη ρύπανση των υδάτων, τον ευτροφισμό και την επιβλαβή άνθιση των φυκών, οδηγώντας σε μείωση του οξυγόνου και ανισορροπίες των οικοσυστημάτων. Η χρήση αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια εγείρει ανησυχίες σχετικά με την ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά, η οποία μπορεί να επηρεάσει τόσο το υδατικό περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη υγεία. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί στροφή προς βιώσιμες πρακτικές, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της βελτιστοποίησης της αποδοτικότητας των ζωοτροφών, της υιοθέτησης υπεύθυνων στρατηγικών χρήσης γης και της εφαρμογής αποτελεσματικών λύσεων διαχείρισης αποβλήτων. Καθώς η παγκόσμια ζήτηση θαλασσιών συνεχίζει να αυξάνεται, η εξισορρόπηση της ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας με την περιβαλλοντική υπευθυνότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας του κλάδου και την ελαχιστοποίηση των οικολογικών του επιπτώσεων.

Βιβλιογραφία

- Ahmed, N., & Thompson, S. (2019). The blue revolution and the changing land use pattern in aquaculture development. *Aquaculture Reports*, 14, 100219.
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331–349.
- Alongi, D. M. (2015). The impact of shrimp farming on mangrove ecosystems. *Environmental Science & Policy*, 56, 1–10.
- Bano, S., Wu, Q., Yu, S., Wang, X., & Zhang, X. (2024). Soil properties drive nitrous oxide accumulation patterns by shaping denitrifying bacteriomes. *Environmental Microbiome*, 19, 94.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R. (2011). The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Biao, X., & Kaijin, Y. (2007). Shrimp farming in China: Environmental impact and sustainability. *Aquaculture International*, 15(5), 21–39.
- Boyd, C. E., et al. (2020). Environmental assessment and management in aquaculture. *Aquaculture International*, 28(2), 697–716.
- Boyd, C. E., & Massaut, L. (1999). Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 20(2), 113–132.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, resource use, and the environment*. Wiley-Blackwell.
- Bujas, T., Koričan, M., Vukić, M., Soldo, V., Vladimir, N., & Fan, A. (2022). Review of energy consumption by the fish farming and processing industry in Croatia and the potential for zero-emissions aquaculture. *Energies*, 15(21), 8197.
- Bureau, D. P., & Cho, C. Y. (2006). Feeding strategies and diet formulation to reduce waste outputs in aquaculture. *Aquaculture Research*, 37(3), 123–135.
- Chavez, J., et al. (2020). Effects of aquaculture on habitat fragmentation and ecosystem dynamics. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 452–465.
- Choo, P. S. (2001). Mangroves, shrimps and aquaculture in Malaysia. *Aquaculture Asia Magazine*, 6(2), 5–7.
- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (1998). Diet formulation and feeding systems to reduce environmental impact in aquaculture. *Aquaculture Research*, 29(3), 123–135.
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J., & Tukker, A. (2019). Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, 1(3), 292–297.
- Dalsgaard, T., & Krause-Jensen, D. (2006) Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, 256, 302–310.
- Dev, A. K. (1998) Fake Blue Revolution: Environmental and Socio-Economic Impacts of Shrimp Culture in the Coastal Areas of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 41, 63–88.
- Duarte, T. A., Correia, D. M., & Silva, J. L. (2020). The role of alternative protein sources in sustainable aquaculture: Plant-based proteins. *Aquaculture Research*, 51(4), 1234–1247.
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. FAO.
- Fargione, J., Tilman, D., & Clark, M. (2023). Agricultural expansion and its impact on biodiversity: A global perspective. *Nature Sustainability*, 6(3), 182–190.
- Farias, D. R., Ibarra, R., Estévez, R. A., Tlustý, M. F., Nyberg, O., Troell, M., Avendaño-Herrera, R., & Norden, W. (2024). Towards Sustainable Antibiotic Use in Aquaculture and Antimicrobial Resistance: Participatory Experts' Overview and Recommendations. *Antibiotics*, 13(9), 887.
- Freda, C. G., Smith, M., & Gupta, M. (2022). Insect protein as a sustainable alternative for aquaculture: An environmental review. *Journal of Insect Science*, 22(1), 10–20.
- Gräslund, S., & Bengtsson, B. E. (2001). Chemicals and biological products used in south-east Asian shrimp farming, and their potential impact on the environment – A review. *The Science of the Total Environment*, 280(1–3), 93–131.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Diez, J. M., Damschen, E. I., & Holt, R. D. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on biodiversity. *Nature Communications*, 6, 7926.
- Harper, G. J., Steininger, M. K., Tucker, C. J., Juhn, D. & Hawkins, F. (2007). Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation*, 34(4), 325–333.
- Holmer, M., Hansen, P. K., Karakassis, I., Borg, J. A., & Schembri, P. J. (2008). Monitoring of Environmental Impacts of Marine Aquaculture. In M. Holmer, K. Black, C. M. Duarte, N. Marbà, I. Karakassis (eds.), *Aquaculture in the Ecosystem*. Springer, Dordrecht.
- Holmer, M., Duarte, C. M., & Marbà, N. (2007). Sediment biogeochemical changes associated with fish farms in coastal Mediterranean regions. *Environmental Pollution*, 118(2), 313–319.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Islam, M. S., Kabir, M. S., Khan, S. I., Ekramullah, M., Nair, G. B., Sack, R. B., & Sack, D. A. (2004). Wastewater-grown duckweed may be safely used as fish feed. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(1), 51–56.
- Kalantzi, I., & Karakassis, I. (2006). Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data. *Marine Pollution Bulletin*, 52(5), 484–493.
- Kautsky, N., Berg, H., Folke, C., Larsson, J., & Troell, M. (2000). Ecological footprint and trophic level impact of aquaculture: Implications for sustainability. *Marine Ecology Progress Series*, 199, 1–12.
- Kelly, L. A., & Elberizon, I. R. (2001). Freshwater finfish cage culture. In K. D. Black (ed.), *Environmental Impacts of Aquaculture* (pp. 1–32). Sheffield Academic Press.
- Li, Z., He, H., Ding, J., Zhang, Z., Leng, Y., Liao, M. & Xiong, W. (2024). Effects of Three Antibiotics on Nitrogen-Cycling Bacteria in Sediment of Aquaculture Water. *Water*, 16(9), 1256.
- Li, H., Liu, H., Zhou, X., Gao, L., Liang, J., Chen, L., Guo, Y., & Liang, S. (2024). Carbon footprint assessment and reduction strategies for aquaculture: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 56(1), n/a.
- Luthman, O., Robb, D. H., F., Jørgensen, P. S., & Troell, M. (2024). Global overview of national regulations for antibiotic use in aquaculture production. *Aquaculture International*, 32, 9253–9270.
- MacLeod, M., Hasan, M. R., Robb, D. H. F. & Mamun-Ur-Rashid, M. (2019). Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from global aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 626*. Rome, FAO.
- Magrin, G. O., Rojas, S. M., & Tschakert, P. (2020). Soybean monocultures and their environmental impact: A case study of the expansion in South America. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074010.
- Matulić, D., Tomljanović, T., & Piria, M. (2020). Feeding systems in aquaculture: Efficiency and environmental impact. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 11(3), 123–135.
- Marrone, A., Mangano, M. C., Deidun, A., Berlino, M., & Sarà, G. (2023). Effects of habitat fragmentation of a Mediterranean marine reef on the associated fish community: Insights from biological traits analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(10), 1957.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., & Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790), 1017–1024.
- Nash, C. E. (2005). *The history of aquaculture*. Blackwell Publishing.
- Nordvang, L., & Håkanson, L. (2002). Predicting the environmental impacts of fish farms using flow models. *Aquaculture International*, 10(5), 359–379.
- O'Flynn, N., FitzGerald, R. J., & Hayes, M. (2021). Plant-based proteins as alternatives to fishmeal in aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 27(3), 123–135.
- Okocha, R. C., Olatoye, I. O. & Adediji, O. B. (2018). Food safety impacts of antimicrobial use and their residues in aquaculture. *Public Health Rev*, 39, 21.
- Páez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. *Environmental Management*, 28(1), 131–140.
- Paez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaricultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1, 21–31.
- Pardoe, J. R., Leach, D. H., & Minchinton, T. E. (2022). Environmental challenges of plant-based feed ingredients in aquaculture: Implications for water and nutrient management. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111–121.
- Parker, R., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., & Watson, R. A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333–337.
- Pearson, T. H., & Black, K. D. (2001). *Environmental impacts of aquaculture*. Sheffield Academic Press.
- Pérez, M., Romero, J., & Duarte, C. M. (2008). *Nutrient dynamics in seagrass ecosystems*. Springer.
- Pu, Y., Zhang, Mi., Jia, L., Zhang, Z., Xiao, W., Liu, Shoudong., Zhao, J., Xie, Y & Lee, X. (2022). Methane emission of lake aquaculture farm and its response to ecological restoration. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 330, 107883.
- Rahman, M., et al. (2022). Land use transformation and environmental consequences of aquaculture expansion in Sundarbans. *Environmental Sustainability*, 25(1), 87–104.

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Read, P., & Fernandes, T. (2003). Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 226(1–4), 139–163.
- Ruiz, J. M., Pérez, M., & Romero, J. (2001). Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: Seagrass decline after organic loading cessation. *Marine Pollution Bulletin*, 42(1), 38–41.
- Serpa, D., Duarte, P. (2008). Impacts of Aquaculture and Mitigation Measures. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 2, Special Issue 1, 1–20.
- Soussana, J. F., Lemaire, G., & Van de Kuilen, S. (2021). Greenhouse gas emissions from agriculture: Global impact of feed production. *Agricultural Systems*, 181, 102808.
- Sulistijowati, R., Yulianti, L., Komariyah, S. & Musaiyaro, A., (2023). Analysis of Trade, Investment, and Global Value Chain on the Gross Domestic Product of Fisheries Sector in Indonesia. *International Journal of professional business review*, 8(6).
- Sun, Z., Wang, L., Tian, H., Jiang, H., Mou, X., & Sun, W. (2013). Fluxes of nitrous oxide and methane in different coastal Suaeda salsa marshes of the Yellow River estuary, China. *Chemosphere*, 90, 856–865.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2009). Aquaculture feed and the environment: A global perspective. *Aquaculture*, 292(1–2), 1–13.
- Talbot, C., Corneillie, S., & Korsøen, O. (1999). Optimal feeding strategies for cage farming of salmonids. *Aquaculture International*, 7(2), 123–135.
- Tidwell, J. H., & Allan, G. L. (2001). Fish as food: aquaculture's contribution. Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries. *EMBO Reports*, 2(11), 958–963.
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & Lecocq, T. (2021). When more is more: Taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological Reviews*, 96(2), 767–784.
- Thorpe, J. E., & Cho, C. Y. (1995). Nutritional requirements and feeding strategies for salmonids. *Aquaculture Nutrition*, 1(1), 77–87.
- Tovar, A., Moreno, C., Manuel-Vez, M. P., & Garcia-Vargas, M. (2000). Environmental impacts of intensive aquaculture: A critical review. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7–12), 550–563.
- United Nations Environment Programme. (2022). *How do greenhouse gases actually warm the planet?* <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-do-greenhouse-gases-actually-warm-planet>
- Walters, B. B., Ronnback, P. J., Kovacs, J. M., Bradley B., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 220–236.
- White, P. (2013). Environmental consequences of poor feed quality and feed management. In M.R. Hasan and M.B. New, eds. On-farm feeding and feed management in aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583*. Rome, FAO, 553–564.
- Wróbel, J., Gałczyńska, M., Tański, A., Korzelecka-Orkisz, A., & Formicki, K. (2023). The challenges of aquaculture in protecting the aquatic ecosystems in the context of climate changes. *Journal of Water and Land Development*, 57, 231–241.
- Wu, R. S. S. (1995). The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4–12), 159–166.

Κεφάλαιο 3. Υπερθέρμανση του πλανήτη και αναπαραγωγή, βιοτεχνολογία στην υδατοκαλλιέργεια

Καθηγήτρια Halyna Krusir
Καθηγήτρια, Dr. Maryna Mardar
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Olha Sahdieieva
Εθνικό Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Οδησού

Εισαγωγή

Τα υδάτινα οικοσυστήματα, τα οποία είναι απαραίτητα για την παγκόσμια βιοποικιλότητα και τα μέσα διαβίωσης του ανθρώπου, υφίστανται πρωτοφανείς αλλαγές λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες, που προκαλούνται από την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή, διαταράσσουν τους κύκλους αναπαραγωγής, τα ποσοστά επιβίωσης και τη γενετική ακεραιότητα των υδρόβιων ειδών. Ταυτόχρονα, ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας αντιμετωπίζει αυτές τις προκλήσεις μέσω καινοτόμων βιοτεχνολογικών λύσεων. Με την εξάρτηση του κόσμου από τους υδάτινους πόρους να αυξάνεται για την κάλυψη των απαιτήσεων επισιτιστικής ασφάλειας, η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών αναπαραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της επιλεκτικής αναπαραγωγής, της γονιδιωματικής επιλογής και της επεξεργασίας γονιδίων CRISPR/Cas9, προσφέρει μετασχηματιστικές δυνατότητες για την αντιμετώπιση της διπλής κρίσης της κλιματικής αλλαγής και της βιώσιμης υδατοκαλλιέργειας.

Το κεφάλαιο αυτό εμβαθύνει στην περίπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των περιβαλλοντικών αλλαγών και των βιοτεχνολογικών εξελίξεων στην υδατοκαλλιέργεια. Ξεκινά με τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η υπερθέρμανση του πλανήτη μεταβάλλει τους κύκλους αναπαραγωγής και τη δυναμική επιβίωσης των υδρόβιων ειδών, προκαλώντας σημαντικές αλλαγές στις δομές του πληθυσμού και τις λειτουργίες του οικοσυστήματος. Στη συνέχεια, η εστίαση μετατοπίζεται σε πρωτοποριακές βιοτεχνολογικές λύσεις, όπως η επιλεκτική αναπαραγωγή και η γονιδιωματική επιλογή, οι οποίες ενισχύουν την ανθεκτικότητα και την παραγωγικότητα των ειδών υδατοκαλλιέργειας. Επιπλέον, συζητείται η επαναστατική τεχνολογία επεξεργασίας γονιδίων CRISPR/Cas9, τονίζοντας τις εφαρμογές της στη βελτίωση της αντοχής στις ασθένειες, των ρυθμών ανάπτυξης και της περιβαλλοντικής προσαρμοστικότητας σε διάφορα είδη ψαριών. Τέλος, εξετάζονται οι ηθικοί, περιβαλλοντικοί και ρυθμιστικοί προβληματισμοί που περιβάλλουν αυτές τις τεχνολογίες, τονίζοντας την ανάγκη για βιώσιμη και υπεύθυνη καινοτομία στην υδατοκαλλιέργεια.

Οι επιπτώσεις αυτών των συζητήσεων είναι εκτεταμένες, επηρεάζοντας όχι μόνο το μέλλον της υδατοκαλλιέργειας αλλά και τις παγκόσμιες προσπάθειες για τον μετριασμό της απώλειας βιοποικιλότητας και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Αυτή η εισαγωγή θέτει τις βάσεις για μια ολοκληρωμένη ανάλυση των προκλήσεων και των ευκαιριών που παρουσιάζονται από την

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ενσωμάτωση της βιοτεχνολογίας στην υδατοκαλλιέργεια υπό τη σκιά της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

1. Κλιματική αλλαγή και αναπαραγωγή των ειδών

1.1. Αλλαγές στους κύκλους αναπαραγωγής

Η υπερθέρμανση του πλανήτη, που προκαλείται από την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή, έχει βαθύ αντίκτυπο στα οικοσυστήματα σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των υδάτινων περιβαλλόντων. Μία από τις σημαντικότερες περιοχές που επηρεάζονται από τις αυξανόμενες θερμοκρασίες είναι η αναπαραγωγή υδρόβιων ειδών. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού μεταβάλλουν τους κύκλους αναπαραγωγής, τους χρόνους ωοτοκίας, τους ρυθμούς ανάπτυξης και τα ποσοστά επιβίωσης των απογόνων, οδηγώντας σε αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία των υδρόβιων πληθυσμών. Αυτή η βιβλιογραφική ανασκόπηση στοχεύει να διερευνήσει πώς αυτές οι περιβαλλοντικές αλλαγές επηρεάζουν τα υδρόβια είδη, εστιάζοντας στις αλλαγές στους κύκλους αναπαραγωγής και τη γενετική προσαρμογή.

Αλλαγές στους κύκλους αναπαραγωγής. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες του νερού λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι ένας από τους κύριους παράγοντες αλλαγών στην αναπαραγωγική συμπεριφορά των υδρόβιων ειδών. Πολλά είδη βασίζονται σε συγκεκριμένες ενδείξεις θερμοκρασίας για να ξεκινήσουν την αναπαραγωγή. Με την αύξηση των θερμοκρασιών, ο χρόνος των αναπαραγωγικών γεγονότων έχει μετατοπιστεί και αυτές οι μετατοπίσεις μπορούν να οδηγήσουν σε αναντιστοιχίες μεταξύ των ειδών και των οικοτόπων τους.

Χρόνοι αναπαραγωγής. Μελέτες έχουν δείξει ότι πολλά υδρόβια είδη αναπαράγονται νωρίτερα φέτος λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών του νερού. Για παράδειγμα, είδη ψαριών όπως ο μπακαλιάρος του Ατλαντικού (*Gadus morhua*) και η ευρωπαϊκή πέρκα (*Perca fluviatilis*) έχουν παρατηρηθεί να αναπαράγονται νωρίτερα στην εποχή ως απάντηση στις αυξημένες θερμοκρασίες του νερού (Tomprkins et al., 2017). Ενώ η πρόωμη ωοτοκία μπορεί αρχικά να φαίνεται ευεργετική, συχνά οδηγεί σε αναντιστοιχία με τη διαθεσιμότητα πόρων τροφής για τις προνύμφες, καθώς το φυτοπλαγκτόν, μια κύρια πηγή τροφής για πολλά νεαρά ψάρια, μπορεί να μην είναι διαθέσιμο ταυτόχρονα (Durant et al., 2007). Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μειωμένα ποσοστά επιβίωσης των απογόνων, επηρεάζοντας περαιτέρω τη δυναμική του πληθυσμού.

Επιπλέον, η πρόωμη ωοτοκία δεν εγγυάται απαραίτητα την επιτυχία, καθώς τα είδη μπορούν να αναπαραχθούν πριν οι συνθήκες είναι βέλτιστες για την επιβίωση των προνυμφών. Η αναντιστοιχία στο χρονοδιάγραμμα μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο αριθμό βιώσιμων απογόνων, οδηγώντας ενδεχομένως σε μακροπρόθεσμη μείωση του πληθυσμού (O'Reilly et al., 2008).

Ρυθμοί ανάπτυξης και μεταβολικές επιδράσεις. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού επηρεάζει επίσης τους μεταβολικούς ρυθμούς των υδρόβιων ειδών. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες συνήθως επιταχύνουν την ανάπτυξη πολλών ειδών επιταχύνοντας τις μεταβολικές διεργασίες (Angilletta et al., 2004). Ωστόσο, αυτή η αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης μπορεί να μην είναι πάντα ευεργετική. Τα είδη που αναπτύσσονται πολύ γρήγορα σε θερμότερα νερά μπορεί να μην αναπτύξουν το απαραίτητο μέγεθος ή δύναμη για να επιβιώσουν στην ενήλικη ζωή, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ασθενέστερα άτομα με χαμηλότερες πιθανότητες επιτυχούς αναπαραγωγής (Heath et al., 2014). Επιπλέον, η ταχύτερη ανάπτυξη δεν συσχετίζεται πάντα με την αύξηση της αναπαραγωγικής

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

επιτυχίας, καθώς το είδος μπορεί να αντιμετωπίσει αναντιστοιχία στο χρονοδιάγραμμα των αναπτυξιακών ορόσημων και των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών. Τα πρώτα στάδια ζωής των υδρόβιων ειδών είναι συχνά τα πιο ευάλωτα στις περιβαλλοντικές αλλαγές και η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων μπορεί να επιδεινώσει περαιτέρω αυτά τα τρωτά σημεία. Οι αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα οξυγόνου στο νερό, επηρεάζοντας τα ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών, τα οποία απαιτούν υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου για σωστή ανάπτυξη (Pörtner et al., 2014). Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να στρεσάρουν τους νεαρούς οργανισμούς, αφήνοντάς τους λιγότερο ικανούς να χειριστούν άλλες περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως η θήρευση ή η έλλειψη τροφής (Walther et al., 2002).

1.2 Γενετική προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή

Ενώ οι περιβαλλοντικές αλλαγές προκαλούν προκλήσεις για τα υδρόβια είδη, ορισμένα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν γενετικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Η γενετική προσαρμογή περιλαμβάνει αλλαγές στη γενετική σύνθεση των πληθυσμών με την πάροδο του χρόνου που επιτρέπουν στα είδη να αντιμετωπίσουν περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των υψηλότερων θερμοκρασιών.

Προσαρμογή στις αλλαγές θερμοκρασίας. Η έρευνα έχει δείξει ότι ορισμένα είδη έχουν δείξει κάποιο βαθμό γενετικής προσαρμογής στις αυξανόμενες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, μελέτες για τον γάδο του Ατλαντικού έχουν βρει στοιχεία τοπικής προσαρμογής σε ποικίλες θερμικές συνθήκες σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (Jorgensen et al., 2017). Ορισμένοι πληθυσμοί γάδου που ζουν σε θερμότερα νερά έχουν αναπτύξει γενετικά χαρακτηριστικά που τους επιτρέπουν να αναπαράγονται με επιτυχία σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Ομοίως, ορισμένα είδη ψαριών μπορεί να παρουσιάσουν αλλαγές στον αναπαραγωγικό χρόνο ή τη φυσιολογική ανοχή τους, προσαρμοζόμενα σε θερμότερα περιβάλλοντα για πολλές γενιές (Lynch et al., 2014).

Ωστόσο, η ικανότητα των ειδών να προσαρμοζονται γενετικά περιορίζεται από παράγοντες όπως η γενετική ποικιλότητα και η ταχύτητα με την οποία συμβαίνουν οι περιβαλλοντικές αλλαγές. Τα είδη με χαμηλή γενετική ποικιλότητα ή εκείνα που βρίσκονται σε ταχέως θερμαινόμενα ενδιαιτήματα μπορεί να δυσκολευτούν να προσαρμοστούν αρκετά γρήγορα για να αποφύγουν τη μείωση του πληθυσμού (Fischer et al., 2014). Επιπλέον, η διαδικασία γενετικής προσαρμογής είναι αργή και ο ρυθμός θέρμανσης μπορεί να υπερβεί την ικανότητα ορισμένων ειδών να προσαρμοστούν γενετικά εγκαίρως.

Μειωμένη αναπαραγωγική επιτυχία και μείωση του πληθυσμού. Ενώ ορισμένα είδη μπορούν να προσαρμοστούν επιτυχώς στις υψηλές θερμοκρασίες, άλλα μπορεί να αντιμετωπίσουν προκλήσεις που μειώνουν την αναπαραγωγική τους επιτυχία ή οδηγούν σε μείωση του πληθυσμού. Για παράδειγμα, είδη με εξειδικευμένες απαιτήσεις αναπαραγωγής, όπως εκείνα που βασίζονται σε πολύ συγκεκριμένα εύρη θερμοκρασιών για αναπαραγωγή, μπορεί να δυσκολευτούν να αντιμετωπίσουν τις ταχείες μεταβολές της θερμοκρασίας που προκαλούνται από την υπερθέρμανση του πλανήτη (Parmesan, 2006). Σε τέτοιες περιπτώσεις, η αναπαραγωγική επιτυχία μπορεί να μειωθεί και οι πληθυσμοί μπορεί να βιώσουν μείωση του αριθμού ή ακόμα και τοπικές εξαφανίσεις.



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Τα είδη που δεν προσαρμόζονται γενετικά στις αυξανόμενες θερμοκρασίες μπορεί να μην είναι σε θέση να αναπαραχθούν επιτυχώς στα ενδιαιτήματά τους, οδηγώντας σε απώλεια γενετικής ποικιλότητας και μειώνοντας περαιτέρω τις πιθανότητες επιβίωσής τους ενόψει της κλιματικής αλλαγής (Chevin et al., 2010).

Ο αντίκτυπος της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην αναπαραγωγή υδρόβιων ειδών είναι πολύπλευρος, περιλαμβάνοντας αλλαγές στους κύκλους αναπαραγωγής, αλλαγές στους ρυθμούς ανάπτυξης και μεταβολές στα ποσοστά επιβίωσης των απογόνων. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες έχουν οδηγήσει σε πρώιμη ωοτοκία σε πολλά είδη, αλλά αυτό μπορεί να προκαλέσει αναντιστοιχία με τη διαθεσιμότητα τροφής και τις βέλτιστες περιβαλλοντικές συνθήκες, με αποτέλεσμα χαμηλότερα ποσοστά επιβίωσης για τις προνύμφες. Ενώ ορισμένα είδη μπορεί να είναι σε θέση να προσαρμοστούν γενετικά στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες, ο ρυθμός της περιβαλλοντικής αλλαγής μπορεί να υπερβεί την ικανότητά τους να το πράξουν, οδηγώντας σε μειωμένη αναπαραγωγική επιτυχία και πιθανή μείωση του πληθυσμού. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την κατανόηση των μακροπρόθεσμων συνεπειών αυτών των αλλαγών στα υδάτινα οικοσυστήματα και για την ανάπτυξη στρατηγικών για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα είδη αυτά.

2. Προηγμένες μέθοδοι αναπαραγωγής

2.1. Επιλεκτική αναπαραγωγή

Η υδατοκαλλιέργεια είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας, που συμβάλλει σημαντικά στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια. Καθώς το κλίμα συνεχίζει να αλλάζει, η υδατοκαλλιέργεια αντιμετωπίζει αυξανόμενες προκλήσεις, όπως οι αυξανόμενες θερμοκρασίες και τα συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, οι βιοτεχνολογικές εξελίξεις, ιδίως όσον αφορά την επιλεκτική αναπαραγωγή και τη γονιδιωματική επιλογή, εφαρμόζονται όλο και περισσότερο για την ανάπτυξη ειδών υδατοκαλλιέργειας που είναι πιο ανθεκτικά στις πιέσεις που σχετίζονται με το κλίμα.

Η επιλεκτική αναπαραγωγή αποτελεί ακρογωνιαίό λίθο της υδατοκαλλιέργειας εδώ και δεκαετίες, συμβάλλοντας στην ενίσχυση της παραγωγικότητας και της ανθεκτικότητας των εκτρεφόμενων ειδών. Η διαδικασία περιλαμβάνει την επιλογή ατόμων με επιθυμητά χαρακτηριστικά για αναπαραγωγή, βελτιώνοντας έτσι σταδιακά τη γενετική σύνθεση των πληθυσμών. Η παραδοσιακή επιλεκτική αναπαραγωγή στην υδατοκαλλιέργεια έχει επικεντρωθεί σε χαρακτηριστικά όπως ο ρυθμός ανάπτυξης, η αντοχή στις ασθένειες και η αποτελεσματικότητα μετατροπής των ζωοτροφών. Με την κλιματική αλλαγή να εντείνει τους περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, δίνεται αυξανόμενη έμφαση στην αναπαραγωγή χαρακτηριστικών που προσδίδουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις αυξημένες θερμοκρασίες του νερού και σε άλλες προκλήσεις που σχετίζονται με το κλίμα.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η επιλεκτική αναπαραγωγή μπορεί να βοηθήσει τα είδη υδατοκαλλιέργειας, όπως τα ψάρια και τα οστρακοειδή, να προσαρμοστούν σε θερμότερα περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, μελέτες σχετικά με τον σολομό του Ατλαντικού έχουν δείξει ότι η επιλεκτική αναπαραγωγή μπορεί να ενισχύσει την ανοχή στη θερμότητα, επιτρέποντας ενδεχομένως στους εκτρεφόμενους πληθυσμούς να επιβιώσουν σε θερμότερα νερά που προκύπτουν από την κλιματική



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αλλαγή (Gjøsøn et al., 2018). Επιπλέον, τα προγράμματα επιλεκτικής αναπαραγωγής επικεντρώνονται όλο και περισσότερο σε χαρακτηριστικά όπως η αντοχή στις ασθένειες και η ικανότητα αντοχής σε υποξικές συνθήκες, οι οποίες είναι πιθανό να γίνουν πιο διαδεδομένες καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες του νερού (Houston et al., 2018).

Η επιλεκτική αναπαραγωγή για την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει επίσης την ενίσχυση των χαρακτηριστικών συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, τα ψάρια που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανοχή σε στρεσογόνους παράγοντες όπως ο συνωστισμός και ο χειρισμός μπορούν να αντέξουν καλύτερα τις σκληρότερες συνθήκες που δημιουργούνται από την κλιματική αλλαγή (Huntingford et al., 2020). Αυτά τα προγράμματα αναπαραγωγής έχουν ως στόχο να διασφαλίσουν ότι τα είδη υδατοκαλλιέργειας μπορούν να συνεχίσουν να ευδοκιμούν υπό ένα μεταβαλλόμενο κλίμα, συμβάλλοντας στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα.

2.2. Γονιδιωματική επιλογή

Η χρήση της σύγχρονης βιοτεχνολογίας για την ενίσχυση της παραγωγής υδρόβιων ειδών έχει μεγάλες δυνατότητες όχι μόνο για την κάλυψη της ζήτησης αλλά και για τη βελτίωση της υδατοκαλλιέργειας. Η γενετική τροποποίηση και η βιοτεχνολογία προσφέρουν επίσης τεράστιες δυνατότητες βελτίωσης της ποιότητας και της ποσότητας των ψαριών που εκτρέφονται στην υδατοκαλλιέργεια. Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για υδατοκαλλιέργεια. Η βιοτεχνολογία μπορεί να συμβάλει στην ικανοποίηση αυτής της ζήτησης. Όπως συμβαίνει με όλα τα τρόφιμα ενισχυμένα με βιοτεχνολογία, η υδατοκαλλιέργεια θα ρυθμίζεται αυστηρά πριν εγκριθεί για κυκλοφορία. Η βιοτεχνολογική υδατοκαλλιέργεια προσφέρει επίσης περιβαλλοντικά οφέλη. Όταν ενσωματωθεί κατάλληλα με άλλες τεχνολογίες για την παραγωγή τροφίμων, γεωργικών προϊόντων και υπηρεσιών, η βιοτεχνολογία μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην κάλυψη των αναγκών ενός αυξανόμενου και όλο και περισσότερο αστικοποιημένου πληθυσμού στην επόμενη χιλιετία. Η επιτυχής ανάπτυξη και εφαρμογή της βιοτεχνολογίας είναι δυνατή μόνο όταν υπάρχει μια ευρεία βάση έρευνας και γνώσης στη βιολογία, την παραλλαγή, την αναπαραγωγή, τη γεωπονία, τη φυσιολογία, την παθολογία, τη βιοχημεία και τη γενετική του χειραγωγούμενου οργανισμού. Τα οφέλη που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς συνεχή δέσμευση για βασική έρευνα. Τα βιοτεχνολογικά προγράμματα πρέπει να είναι πλήρως ενσωματωμένα σε ένα ερευνητικό υπόβαθρο και δεν μπορούν να βγουν εκτός πλαισίου για να επιτύχουν.

Το σχήμα 3.1 δείχνει το ρόλο της βιοτεχνολογίας στην ενίσχυση της παραγωγής ψαριών.

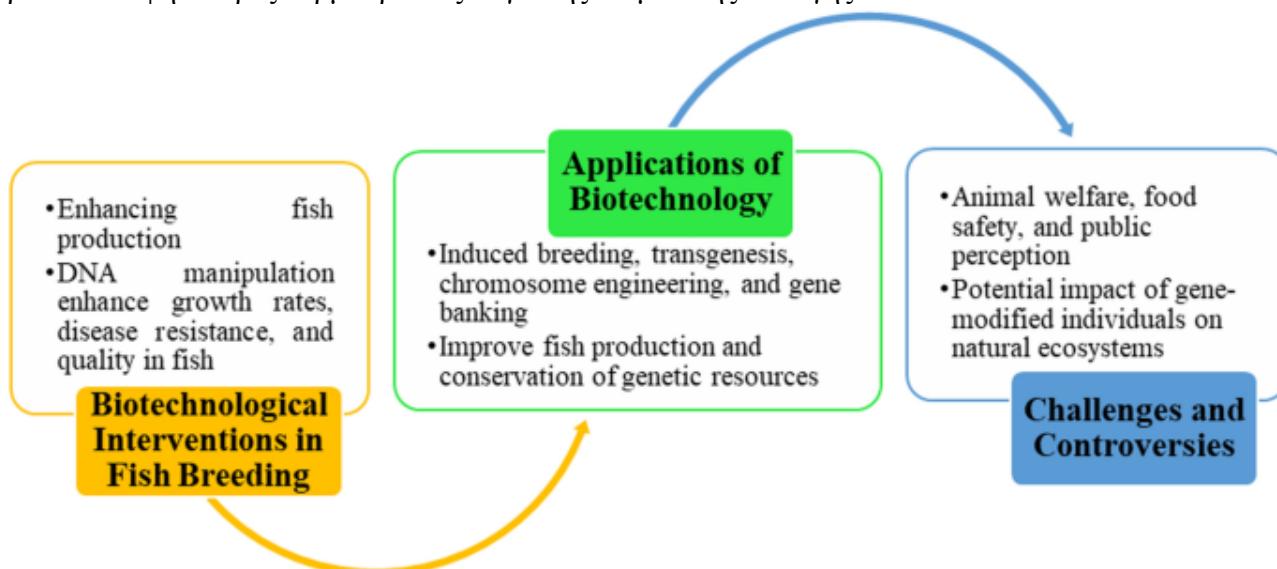
Η γονιδιωματική επιλογή, η οποία χρησιμοποιεί γονιδιωματικά εργαλεία για τον εντοπισμό και τη διάδοση επιθυμητών χαρακτηριστικών, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό άλμα προς τα εμπρός στην εκτροφή υδατοκαλλιέργειας. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τη συσχέτιση γενετικών δεικτών με χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος, επιτρέποντας πιο αποτελεσματική επιλογή. Η γονιδιωματική επιλογή μπορεί να επιταχύνει τα προγράμματα αναπαραγωγής, επιτρέποντας στους εκτροφείς να εντοπίζουν άτομα με το καλύτερο γενετικό δυναμικό για ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες.

Μία από τις πιο ελπιδοφόρες εφαρμογές της γονιδιωματικής επιλογής στην υδατοκαλλιέργεια είναι η βελτίωση της αντοχής στη θερμότητα. Μια μελέτη για την ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) διαπίστωσε ότι η γονιδιωματική επιλογή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

δεικτών που συνδέονται με την ανοχή στη θερμότητα, επιτρέποντας την ανάπτυξη στελεχών που είναι καλύτερα εξοπλισμένα για να επιβιώσουν σε θερμότερα νερά (Liu et al., 2020). Με την εφαρμογή γονιδιωματικής επιλογής σε προγράμματα αναπαραγωγής, τα είδη υδατοκαλλιέργειας μπορούν να προσαρμοστούν γενετικά για να ευδοκιμήσουν σε περιβάλλοντα που αναμένεται να βιώσουν υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω της κλιματικής αλλαγής.



Σχήμα 3.1. Ο ρόλος της βιοτεχνολογίας στην ενίσχυση της παραγωγής ψαριών (Yang et al., 2021).

Εκτός από την ανοχή στη θερμότητα, η γονιδιωματική επιλογή χρησιμοποιείται για τη βελτίωση άλλων χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το κλίμα, όπως η αντοχή στις ασθένειες και η ικανότητα επιβίωσης σε περιβάλλοντα χαμηλού οξυγόνου. Για παράδειγμα, γονιδιωματικά εργαλεία χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό γενετικών δεικτών που σχετίζονται με την αντοχή στο παθογόνο *Vibrio anguillarum*, το οποίο αποτελεί σημαντική απειλή για τα είδη υδατοκαλλιέργειας σε θερμότερα νερά (Vázquez et al., 2018). Με τη χρήση της γονιδιωματικής επιλογής για την αναπαραγωγή ψαριών που είναι πιο ανθεκτικά στις ασθένειες, τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας μπορούν να γίνουν πιο βιώσιμα και λιγότερο εξαρτημένα από αντιβιοτικά, τα οποία εξετάζονται όλο και περισσότερο λόγω των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

Η γονιδιωματική επιλογή ενσωματώνεται επίσης στην παραδοσιακή επιλεκτική αναπαραγωγή για τη μεγιστοποίηση του γενετικού κέρδους. Ο συνδυασμός γονιδιωματικών πληροφοριών με φαινοτυπικά δεδομένα επιτρέπει στους εκτροφείς να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τα άτομα που θα επιλέξουν για αναπαραγωγή. Για παράδειγμα, τα γονιδιωματικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της μελλοντικής απόδοσης των απογόνων, συμβάλλοντας στην αποφυγή ζητημάτων όπως η ενδογαμία και διασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη γενετική υγεία των πληθυσμών υδατοκαλλιέργειας (Gjøsøen et al., 2018).



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Ενσωμάτωση της επιλεκτικής αναπαραγωγής και της γονιδιοματικής επιλογής. Η ενσωμάτωση της επιλεκτικής αναπαραγωγής και της γονιδιοματικής επιλογής θεωρείται ισχυρή στρατηγική για τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας των ειδών υδατοκαλλιέργειας έναντι της κλιματικής αλλαγής. Η επιλεκτική αναπαραγωγή παρέχει μια σταθερή βάση βελτιώνοντας χαρακτηριστικά όπως ο ρυθμός ανάπτυξης και η αντοχή στις ασθένειες, ενώ η γονιδιοματική επιλογή επιταχύνει τη διαδικασία και ενισχύει την ακρίβεια των προγραμμάτων αναπαραγωγής. Μαζί, αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν την ταχεία ανάπτυξη στελεχών που είναι καλύτερα προσαρμοσμένα στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στην περίπτωση του σολομού του Ατλαντικού, για παράδειγμα, τόσο η επιλεκτική αναπαραγωγή όσο και η γονιδιοματική επιλογή έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία στελεχών που είναι πιο ανθεκτικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες και ασθένειες (Gjøsen et al., 2018). Ο συνδυασμός αυτών των δύο προσεγγίσεων έχει τη δυνατότητα να αυξήσει σημαντικά τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας αναπτύσσοντας στελέχη που μπορούν να ευδοκιμήσουν σε θερμότερες και πιο μεταβλητές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις. Ενώ οι βιοτεχνολογικές εξελίξεις υπόσχονται πολλά για τη βελτίωση της ιχθυοκαλλιέργειας, υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μία από τις βασικές ανησυχίες είναι η πιθανότητα γενετικής ομογενοποίησης σε εκτρεφόμενους πληθυσμούς, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε κατάθλιψη ενδογαμίας και μειωμένη γενετική ποικιλότητα. Είναι ζωτικής σημασίας για τα προγράμματα αναπαραγωγής να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τη γενετική ποικιλότητα, διασφαλίζοντας ότι τα είδη υδατοκαλλιέργειας παραμένουν προσαρμόσιμα στις μελλοντικές περιβαλλοντικές αλλαγές (Houston et al., 2018).

Επιπλέον, η εφαρμογή της γονιδιοματικής επιλογής απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε γονιδιοματικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης υψηλής ποιότητας γονιδιωμάτων αναφοράς και γενετικών δεικτών. Ενώ τα γονιδιοματικά εργαλεία έχουν γίνει πιο προσβάσιμα τα τελευταία χρόνια, το κόστος και η πολυπλοκότητα αυτών των εργαλείων εξακολουθούν να αποτελούν εμπόδιο για ορισμένους κλάδους υδατοκαλλιέργειας (Huntingford et al., 2020).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, η συνεχής ανάπτυξη γονιδιοματικών τεχνολογιών, σε συνδυασμό με την πρόοδο των υπολογιστικών εργαλείων και των στρατηγικών αναπαραγωγής, έχει μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης της ανθεκτικότητας των ειδών υδατοκαλλιέργειας στην κλιματική αλλαγή.

Η βιοτεχνολογική πρόοδος στην εκτροφή υδατοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της επιλεκτικής αναπαραγωγής και της γονιδιοματικής επιλογής, προσφέρει ελπιδοφόρες λύσεις στις προκλήσεις που θέτει η κλιματική αλλαγή. Ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των ειδών υδατοκαλλιέργειας στις αυξανόμενες θερμοκρασίες, τις ασθένειες και άλλους περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να συμβάλουν στη διασφάλιση της βιωσιμότητας του κλάδου. Η ενσωμάτωση της γονιδιοματικής επιλογής με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις αναπαραγωγής είναι πιθανό να αποτελέσει βασική στρατηγική για την ανάπτυξη πιο ανθεκτικών στο κλίμα στελεχών ψαριών και οστρακοειδών. Καθώς ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας εξακολουθεί να αντιμετωπίζει τις πιέσεις της κλιματικής αλλαγής, αυτές οι βιοτεχνολογικές καινοτομίες θα διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση ότι η υδατοκαλλιέργεια παραμένει βιώσιμη και βιώσιμη πηγή τροφίμων για τον παγκόσμιο πληθυσμό.

3. Γενετική Μηχανική και CRISPR

1.1 Γενετική Μηχανική στην Υδατοκαλλιέργεια

Η χρήση βιοτεχνολογικών μεθόδων για τη βελτίωση της ευημερίας των καλλιεργούμενων οργανισμών, την αύξηση της παραγωγικότητας και την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων έχει αποφέρει ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Εμβόλια και ανοσοδιεγερτικά, προβιοτικά, πρεβιοτικά, συμβιωτικά, παραπροβιοτικά, θεραπεία φάγων, αντιμικροβιακά πεπτίδια, γονιδιακή θεραπεία, παρεμβολή RNA και άλλες βιοτεχνολογικές θεραπείες είναι μεταξύ αυτών. Οι γενετικές εξελίξεις στην υδατοκαλλιέργεια διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αύξηση της παραγωγικότητας, στη μείωση του κόστους παραγωγής και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Παραδείγματα μεθόδων για την επεξεργασία γονιδιωμάτων ψαριών περιλαμβάνουν το CRISPR-Cas9, νουκλεάσες τελεστή που μοιάζουν με ενεργοποιητή μεταγραφής και νουκλεάσες ψευδαργύρου-δακτύλου. Η μοριακή βιολογία και η διαγένεση, η τράπεζα γονιδίων, ο χειρισμός χρωμοσωμάτων, οι ορμονικές θεραπείες, η εκτροφή ψαριών με έναν ή περισσότερους γονείς, η δημιουργία ψαριών με διαφορετικό αριθμό κυττάρων (πολυπλοειδές, τριπλοειδές, απλοειδές, γυναικογενετικό και ανδρογενετικό) και η χρήση συνθετικών ορμονών στην αναπαραγωγή ψαριών είναι άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη βιοτεχνολογία ψαριών.

Οι καινοτομίες στις βιοτεχνολογικές τεχνολογίες έχουν φέρει επανάσταση στη γενετική αναπαραγωγή ψαριών, οδηγώντας σε σημαντικές εξελίξεις στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας (Yang et al., 2021).

Τεχνικές όπως η γενετική μηχανική και η CRISPR-Cas9 επέτρεψαν την ακριβή τροποποίηση των γονιδιωμάτων των ψαριών, με αποτέλεσμα στελέχη με αυξημένους ρυθμούς ανάπτυξης, αντοχή στις ασθένειες και βελτιωμένη αποτελεσματικότητα μετατροπής τροφής. Τα προγράμματα επιλεκτικής αναπαραγωγής έχουν βελτιστοποιηθεί μέσω επιλογής με τη βοήθεια δεικτών, επιτρέποντας την ταυτοποίηση και τη διάδοση των επιθυμητών γενετικών χαρακτηριστικών πιο αποτελεσματικά. Επιπλέον, οι αναπαραγωγικές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της ωοτοκίας που προκαλείται από ορμόνες και της κρυοσυντήρησης γαμετών, έχουν ενισχύσει την επιτυχία αναπαραγωγής και τη γενετική ποικιλότητα. Αυτές οι βιοτεχνολογικές εξελίξεις έχουν συμβάλει σε πιο βιώσιμες και παραγωγικές πρακτικές ιχθυοκαλλιέργειας, ικανοποιώντας την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για θαλασσινά. Τα εργαλεία αυτά διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην αποφυγή της εξαφάνισης απειλούμενων ειδών ιχθύων και στη βελτίωση της εμπορικής παραγωγής ιχθύων. Επιπλέον, άλλες βιοτεχνολογικές μέθοδοι, όπως η χρήση συνθετικών ορμονών, η παραγωγή monosex και η διαγένεση, συμβάλλουν στην πρόοδο της αναπαραγωγής ψαριών. Τα εργαλεία αυτά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη της εξαφάνισης απειλούμενων ειδών ψαριών και στην ενίσχυση της εμπορικής παραγωγής ιχθύων. Επιπλέον, άλλες βιοτεχνολογικές μέθοδοι, όπως η χρήση συνθετικών ορμονών, η παραγωγή monosex και η διαγένεση, συμβάλλουν σημαντικά στην πρόοδο της ιχθυοκαλλιέργειας. Το σχήμα 3.2 δείχνει τις διάφορες βιοτεχνολογικές καινοτομίες στην αναπαραγωγή ψαριών (Sankaran & Mandal, 2024).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



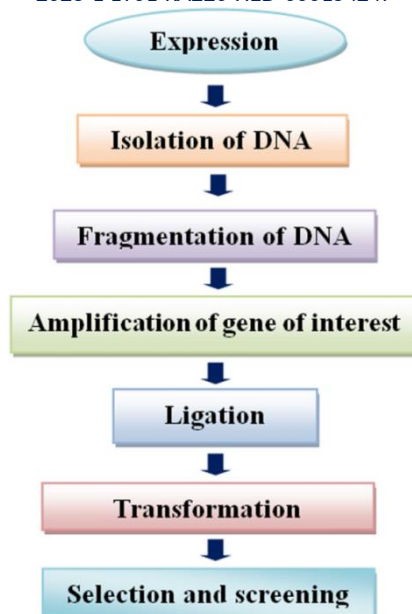
Σχήμα 3.2. Βιοτεχνολογικές καινοτομίες στην ιχθυοκαλλιέργεια

Η γενετική ποικιλότητα αντιπροσωπεύει έναν σημαντικό πόρο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έναρξη προγραμμάτων επιλεκτικής αναπαραγωγής, τα οποία αποδεδειγμένα βελτιώνουν σημαντικά την απόδοση του τομέα της υδατοκαλλιέργειας. Η διευκόλυνση της μεταφοράς κατάρτισης και τεχνολογίας σε διάφορους τομείς υδατοκαλλιέργειας μπορεί να ωφελήσει σημαντικά τα είδη χαμηλότερης αξίας, ενισχύοντας την παραγωγικότητα και τη βιωσιμότητά τους.

Το γονιδίωμα ενός οργανισμού μπορεί να τροποποιηθεί με την εισαγωγή συνθετικού DNA από διάφορες πηγές χρησιμοποιώντας μια διαδικασία γνωστή ως τεχνολογία ανασυνδυασμένου DNA. Η εμφύτευση ενός γενετικού θραύσματος που περιέχει το γονίδιο-στόχο μας σε ένα υπάρχον γονιδίωμα είναι το πρώτο βήμα στη διαδικασία. Σε αυτή την τεχνική, τα ένζυμα περιορισμού, οι φορείς και τα κύτταρα ξενιστές χρησιμοποιούνται ως εργαλεία. Μια ποικιλία ενζύμων εμπλέκονται στις διαδικασίες κοπής, σύνθεσης και δέσμευσης. Ένζυμα όπως τα περιοριστικά ένζυμα αποτελούν μέρος αυτής της ομάδας. Για τη μεταφορά και την ενσωμάτωση γονιδίων-στόχων, οι φορείς είναι χρήσιμοι. Οι εφαρμογές της τεχνολογίας ανασυνδυασμένου DNA περιλαμβάνουν την κλωνοποίηση γονιδίων, τη γονιδιακή θεραπεία και τη γεωργία. Το σχήμα 3.3 δείχνει τα διάφορα βήματα που εμπλέκονται στην τεχνολογία ανασυνδυασμένου DNA (Sankaran & Mandal, 2024).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Σχήμα 3.3 Κύρια βήματα που εμπλέκονται στην τεχνολογία ανασυνδυασμένου DNA (Sankaran & Mandal, 2024)

1.2 CRISPR στην υδατοκαλλιέργεια

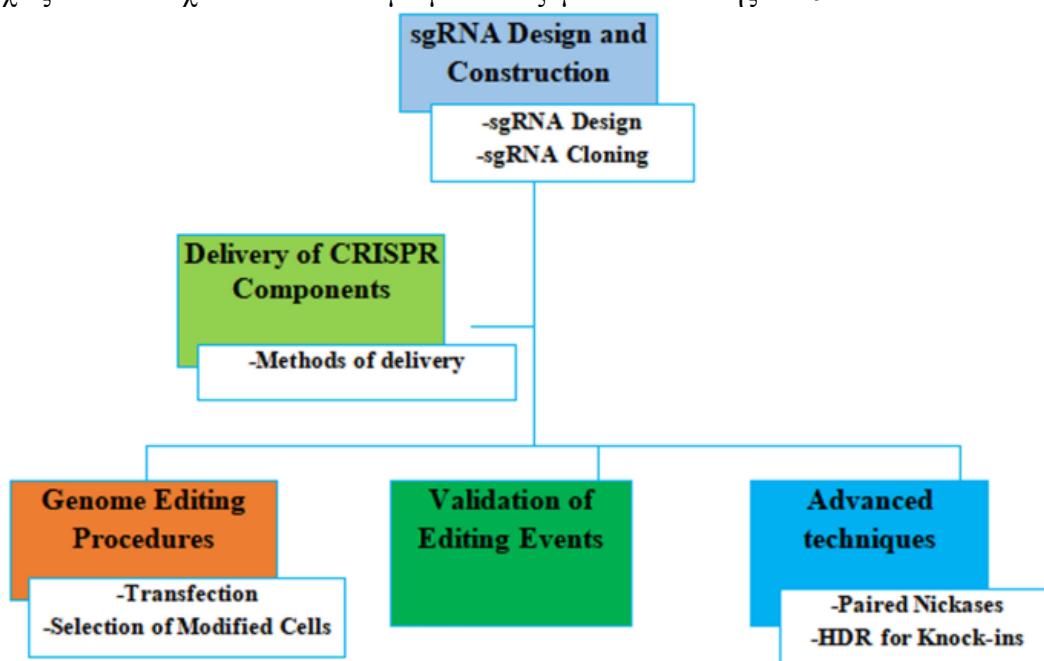
Το CRISPR / Cas9 αντιπροσωπεύει ένα επαναστατικό εργαλείο στη γενετική μηχανική, επιτρέποντας ακριβείς και στοχευμένες τροποποιήσεις του DNA των ψαριών για την ενίσχυση χαρακτηριστικών όπως η μελάγχρωση, η ανάπτυξη, η ποιότητα των μυών και η αντοχή στις ασθένειες. Αυτή η τεχνολογία ξεπερνά τις παραδοσιακές μεθόδους αναπαραγωγής προσφέροντας μια φθηνότερη, ευκολότερη και ακριβέστερη προσέγγιση στη γενετική ενίσχυση. Οι εφαρμογές του περιλαμβάνουν τη βελτίωση της απόδοσης ανάπτυξης (π.χ. σωματικό βάρος, μήκος και μυϊκή ανάπτυξη), την ποιότητα των μυών, την αντίσταση στις ασθένειες και τον προσδιορισμό του φύλου. Επιπλέον, το CRISPR/Cas9 παρέχει πολλά υποσχόμενες λύσεις για την αύξηση της αντοχής στις ασθένειες, στοχεύοντας γονίδια που σχετίζονται με το ανοσοποιητικό σύστημα και οδούς αναγνώρισης παθογόνων, μειώνοντας την ανάγκη για αντιβιοτικά και χημικές θεραπείες. Αυτή η τεχνολογία έχει προωθήσει σημαντικά την υδατοκαλλιέργεια βελτιστοποιώντας γενετικά τα βασικά χαρακτηριστικά στα είδη ψαριών. Για παράδειγμα, οι ερευνητές χειρίστηκαν με επιτυχία τα γεννητικά κύτταρα στον σολομό του Ατλαντικού για να ελέγξουν τη διαφοροποίηση των αναπαραγωγικών κυττάρων, βελτίωσαν την αποτελεσματικότητα μετατροπής της τροφής για ανάπτυξη στο κίτρινο γατόψαρο, πέτυχαν στοχευμένες τροποποιήσεις γονιδίων στην τιλάπια και ελαχιστοποίησαν τις ακούσιες επιδράσεις εκτός στόχου (Zhu et al., 2024).

Το σχήμα 3.4 δείχνει τις μεθόδους CRISPR/Cas9 που εμπλέκονται στην επεξεργασία γονιδίων. Το ένζυμο Cas9 και το RNA οδηγός είναι τα δύο κύρια μέρη του συστήματος. Μια βελτιωμένη παραλλαγή του αντιικού αμυντικού συστήματος CRISPR-Cas9 που βρίσκεται στα βακτήρια χρησιμεύει ως βάση για το σύστημα CRISPR-Cas9. Η *in vivo* επεξεργασία γονιδίων καθίσταται δυνατή με την εισαγωγή ενός συνθετικού RNA οδηγού (gRNA) συμπλοκοποιημένου με τη νουκλεάση Cas9 σε ένα κύτταρο και στη συνέχεια κόβοντας το γονιδίωμα σε μια συγκεκριμένη θέση. Επειδή επιτρέπει την εύκολη, προσιτή και ακριβή επεξεργασία των γονιδιωμάτων *in vivo*, αυτή η

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

μέθοδος είναι βαθιά σημαντική στη βιοτεχνολογία και την ιατρική. Εκτός από τη δυνητική χρησιμότητά του στη διαχείριση παρασίτων και ασθενειών, έχει και άλλες πιθανές εφαρμογές στην ανάπτυξη νέων γεωργικών προϊόντων, γενετικά τροποποιημένων οργανισμών και φαρμακευτικών προϊόντων. Επιπλέον, δείχνει πολλά υποσχόμενη στη διαχείριση κληρονομικών διαταραχών και διαταραχών που προκαλούνται από σωματικές μεταλλάξεις, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου. Το σύστημα CRISPR/Cas9 προσφέρει μια απλή μέθοδο καθοδηγούμενη από RNA για την πρόκληση στοχευμένων αλλοιώσεων σε συγκεκριμένα σημεία. Ορισμένοι φαινότυποι, συμπεριλαμβανομένου του χρώματος των ματιών ή της ευαισθησίας σε ασθένειες, μπορούν να προκληθούν από αυτές τις αλλοιώσεις του DNA. Το σύστημα χρησιμοποιεί μόρια RNA σχεδιασμένα να ταιριάζουν με αλληλουχίες DNA στόχου σε συνδυασμό με το ένζυμο νουκλεάσης Cas9.



Σχήμα 3.4. Επεξεργασία γονιδίων CRISPR/Cas9 (Sankaran & Mandal, 2024)

Αν και η CRISPR/Cas9 έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον τομέα της γενετικής μηχανικής, δεν είναι χωρίς περιορισμούς. Η ακρίβεια της επεξεργασίας του γονιδιώματος είναι μια σημαντική ανησυχία, καθώς οδηγεί σε μόνιμες αλλαγές στο γονιδίωμα. Επιπλέον, η χρήση του στην ανθρώπινη γενετική τροποποίηση βλαστικής σειράς είναι εξαιρετικά αμφιλεγόμενη. Γενικά, η χρήση της επεξεργασίας γονιδίων CRISPR/Cas9 έχει την ικανότητα να φέρει επανάσταση στους τομείς της βιοτεχνολογίας και της ιατρικής. Ωστόσο, η άσκηση σύνεσης και η εξέταση των ηθικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την εφαρμογή της είναι ζωτικής σημασίας (Sankaran & Mandal, 2024).

1.2.1 Αντοχή στις ασθένειες

Η ανθεκτικότητα στις ασθένειες είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό στην υδατοκαλλιέργεια, αντανakλώντας την ικανότητα ενός είδους να αντέχει σε λοιμώξεις, κακή ποιότητα νερού και περιβαλλοντικές αλλαγές. Η επεξεργασία γονιδιώματος με τη μεσολάβηση CRISPR / Cas9 έχει αναδειχθεί ως μια ισχυρή μέθοδος για την ενίσχυση αυτής της αντίστασης. Με την ενσωμάτωση αντιμικροβιακών πεπτιδικών γονιδίων (AMGs) στα γονιδιώματα των ψαριών, το CRISPR / Cas9

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

μειώνει τον βακτηριακό αποικισμό, αυξάνει την επιβίωση μετά τη μόλυνση και μεταβάλλει την έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με το ανοσοποιητικό. Αυτή η επεξεργασία ακριβείας έχει οδηγήσει σε σημαντικές προόδους, όπως η ενίσχυση της αντοχής στη λοιμώδη παγκρεατική νέκρωση (IPN) και τη βακτηριακή ασθένεια κρύου νερού στον σολομό και η στόχευση του γονιδίου JAM-A στον κυπρίνο χόρτου για να εμποδίσει την είσοδο του ιού, προσδίδοντας ανοσία στον ρεοϊό κυπρίνου χόρτου (GCRV).

Στην τιλάπια, το CRISPR/Cas9 έχει επεξεργαστεί γονίδια που συνδέονται με ανοσολογικές αποκρίσεις, βελτιώνοντας την αντίσταση σε βακτηριακά παθογόνα όπως *Streptococcus agalactiae* και *Aeromonas hydrophila*. Ομοίως, στο γατόψαρο, αυτή η τεχνολογία έχει στοχεύσει σε ανοσορυθμιστικά γονίδια, αυξάνοντας τα ποσοστά επιβίωσης μετά την έκθεση σε παθογόνα. Αυτές οι εξελίξεις έχουν συμπληρωθεί από τεχνικές χτυπήματος για την εισαγωγή ξένων γονιδίων, βελτιώνοντας την αντοχή στις ασθένειες ενισχύοντας παράλληλα την ανάπτυξη και τη θρεπτική αξία σε είδη όπως η τιλάπια και το γατόψαρο (Zhu et al., 2024).

1.2.2 Ανάπτυξη ψαριών και ποιότητα μυών

Το CRISPR/Cas9 έχει συμβάλει στη βελτίωση των ρυθμών ανάπτυξης και της ποιότητας των μυών σε όλα τα είδη υδατοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της τιλάπιας του Νείλου, του γατόψαρου καναλιού, του κοινού κυπρίνου και της ιριδίζουσας πέστροφας. Στοχεύοντας γονίδια που σχετίζονται με την αυξητική ορμόνη, όπως η *μυοστατίνη (mstn)*, η οποία αναστέλλει την ανάπτυξη των μυών, οι ερευνητές έχουν επιτύχει σημαντικές βελτιώσεις στη σωματική μάζα και την ανάπτυξη των μυών. Για παράδειγμα, το γατόψαρο καναλιού με διαταραγμένα γονίδια *mstn* έδειξε αύξηση 29,7% στο σωματικό βάρος, ενώ παρόμοιες τροποποιήσεις στη χωματίδα ελιάς και την τσιπούρα ενίσχυσαν τη μυϊκή μάζα και το βελτιστοποιημένο εμπορικό μέγεθος ψαριών.

Πέρα από την ανάπτυξη, το CRISPR/Cas9 επιτρέπει τη μελέτη αναπτυξιακών διαδικασιών και μοντέλων ανθρώπινων ασθενειών χρησιμοποιώντας το ψάρι-ζέβρα, έναν ευρέως χρησιμοποιούμενο οργανισμό για γενετική έρευνα. Οι διαγονιδιακές τεχνικές έχουν προωθήσει περαιτέρω την ιχθυοκαλλιέργεια υπερεκφράζοντας γονίδια αυξητικής ορμόνης σε είδη όπως ο σολομός του Ατλαντικού, επιτυγχάνοντας ταχεία ανάπτυξη και υψηλότερες αποδόσεις για την κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης πρωτεϊνών. Αυτές οι γενετικές τροποποιήσεις, σε συνδυασμό με τη βελτιστοποιημένη διατροφή και την επιλεκτική αναπαραγωγή, ενισχύουν την υφή των μυών και τη συνολική αποτελεσματικότητα της υδατοκαλλιέργειας (Zhu et al., 2024).

1.2.3 Επιδράσεις εκτός στόχου σε CRISPR/Cas9

Ενώ η CRISPR/Cas9 προσφέρει απaráμιλλη ακρίβεια, τα αποτελέσματα εκτός στόχου παραμένουν ανησυχητικά. Αυτές οι ακούσιες επεξεργασίες μπορούν να επηρεάσουν περιοχές γονιδιώματος που δεν αποτελούν στόχο, προκαλώντας ενδεχομένως δυσμενείς επιπτώσεις. Οι πρόσφατες εξελίξεις, συμπεριλαμβανομένων των παραλλαγών Cas9 υψηλής πιστότητας (π.χ. SpCas9-HF1, eSpCas9), έχουν μειώσει σημαντικά τη δραστηριότητα εκτός στόχου. Βελτιωμένος σχεδιασμός οδηγού RNA (gRNA) και αλγόριθμοι όπως το CRISPR-DO έχουν βελτιωμένη εξειδίκευση. Επιπλέον, νέα εργαλεία όπως οι βασικοί και πρωταρχικοί επεξεργαστές επιτρέπουν ακριβείς τροποποιήσεις γονιδιώματος χωρίς να προκαλούν σπασίματα διπλού κλώνου, ελαχιστοποιώντας τις μεταλλάξεις

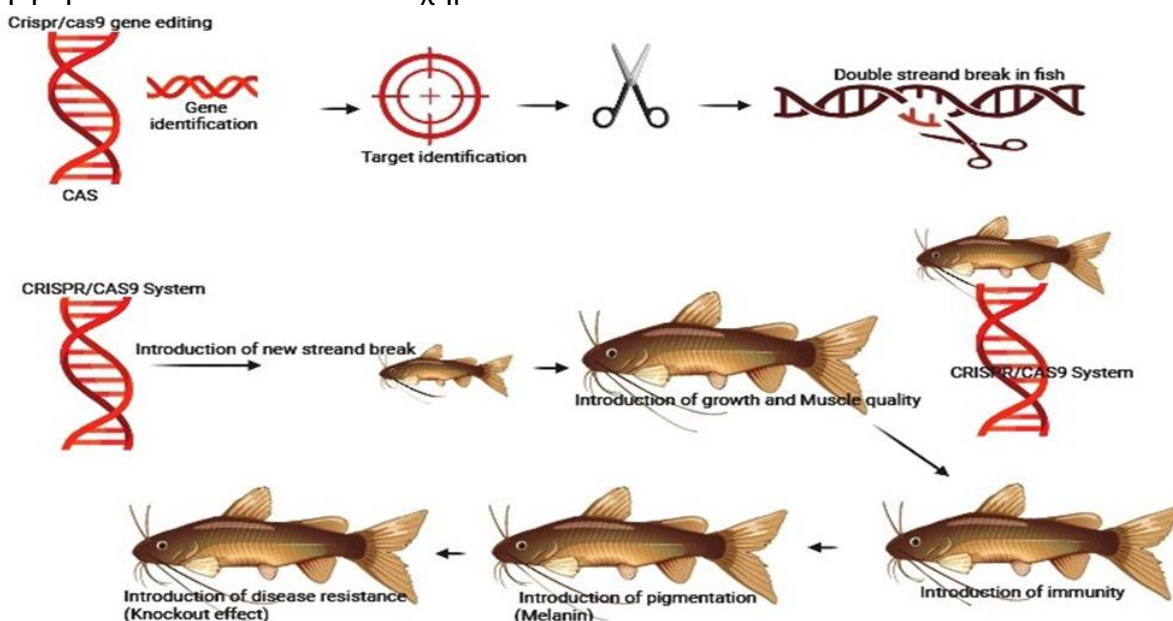
Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

εκτός στόχου. Τα προηγμένα συστήματα χορήγησης, όπως τα νανοσωματίδια και οι ιικοί φορείς, αυξάνουν περαιτέρω την ακρίβεια στις εφαρμογές επεξεργασίας γονιδίων.

Το ψάρι-ζέβρα και άλλα είδη υδατοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της τιλάπιας και του σολομού του Ατλαντικού, έχουν επωφεληθεί από αυτές τις εξελίξεις. Η επεξεργασία υψηλής πιστότητας επέτρεψε στους ερευνητές να ενισχύσουν την ανάπτυξη, την αντοχή στις ασθένειες και άλλα χαρακτηριστικά, διατηρώντας παράλληλα τη γονιδιωματική ακεραιότητα.

Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται από το CRISPR/Cas9 σε γονίδια νοκ-άουτ σε διαφορετικά είδη ψαριών υποδεικνύεται στο σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5. Βήματα εφαρμογής του CRISPR/Cas9 στην υδατοκαλλιέργεια (Πρώτον, ένα συγκεκριμένο gRNA έχει σχεδιαστεί για να ταιριάζει με την αλληλουχία γονιδίων-στόχων. Στη συνέχεια, η πρωτεΐνη Cas9 συνδέεται με το DNA-στόχο, προκαλώντας θραύση διπλού κλώνου. Τέλος, το σπάσιμο επισκευάζεται) (Zhu et al., 2024)

1.2.4 Προσδιορισμός φύλου

Ο προσδιορισμός του φύλου στα ψάρια περιλαμβάνει γενετικούς, περιβαλλοντικούς και επιγενετικούς παράγοντες, καθιστώντας τον έναν πολύπλοκο αλλά ζωτικό τομέα μελέτης στην υδατοκαλλιέργεια. Το CRISPR/Cas9 έχει φωτίσει τους μηχανισμούς διαφοροποίησης των φύλων στοχεύοντας με ακρίβεια τα σχετικά γονίδια. Για παράδειγμα, η επεξεργασία του γονιδίου *amh* στην τιλάπια του Νείλου οδήγησε σε φαινοτυπικά θηλυκά από γενετικά αρσενικά, αποδεικνύοντας το ρόλο του γονιδίου στον προσδιορισμό του αρσενικού φύλου. Παρόμοιες μελέτες στο ψάρι-ζέβρα έχουν διερευνήσει γονίδια όπως το *dmrt1* και το *sox9a*, αποκαλύπτοντας την πολυγονιδιακή φύση του προσδιορισμού του φύλου σε αυτό το είδος. Επιπλέον, οι προβολές CRISPR / Cas9 σε όλο το γονιδίωμα έχουν εντοπίσει κύριους ρυθμιστές όπως το γονίδιο *sdY* στην ιριδίζουσα πέστροφα, προωθώντας την κατανόησή μας για τη διαφοροποίηση των φύλων.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

1.2.5 Επιδράσεις της χρήσης του CRISPR/Cas9 στην επεξεργασία γονιδίων σε διαφορετικά είδη ψαριών

Το CRISPR/Cas9 αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως οι εξάρσεις ασθενειών, οι χαμηλοί ρυθμοί ανάπτυξης και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος στην υδατοκαλλιέργεια. Οι εφαρμογές του επεκτείνονται στον έλεγχο των χωροκατακτητικών ειδών, στη μηχανική μικροοργανισμών για περιβαλλοντική αποκατάσταση και στη δημιουργία γενετικά τροποποιημένων ψαριών για βιώσιμη παραγωγή. Η επεξεργασία γονιδιώματος προσφέρει λύσεις για την ενίσχυση των χαρακτηριστικών των ψαριών, μετριάζοντας παράλληλα το οικολογικό αποτύπωμα της υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, τα διαγονιδιακά ψάρια με βελτιωμένη αποδοτικότητα μετατροπής ζωοτροφών μειώνουν τη χρήση πόρων, υποστηρίζοντας φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές.

Επιτρέποντας ακριβείς γενετικές τροποποιήσεις, η CRISPR/Cas9 έχει μεταμορφώσει την υδατοκαλλιέργεια, ανοίγοντας το δρόμο για βιώσιμες και αποτελεσματικές πρακτικές ιχθυοκαλλιέργειας. Οι συνεχείς εξελίξεις στις τεχνικές επεξεργασίας, τις ηθικές εκτιμήσεις και την περιβαλλοντική διαχείριση θα βελτιστοποιήσουν περαιτέρω την εφαρμογή του στον κλάδο. Ο πίνακας 3.1 παρέχει μια σύνοψη των χαρακτηριστικών που στοχεύουν συχνότερα στην επεξεργασία γονιδιώματος στην ιχθυοκαλλιέργεια (Blix et al., 2021).

Πίνακας 3.1. Επιδράσεις της CRISPR/Cas9 στις βιολογικές και περιβαλλοντικές πτυχές των ειδών ψαριών

Εφαρμόσιμα πεδία	Επιπτώσεις
Αντοχή στις ασθένειες	Χρησιμοποιείται για τη μείωση της ιογενούς λοίμωξης από τον ιό της αιμορραγικής σηψαιμίας (VHSV) των κυττάρων φυσικού εμβρύου hirame (HINAE) από τον ιό της ιογενούς αιμορραγικής σηψαιμίας (VHSV).
	Επιτρέπει την επεξεργασία γονιδίων σε είδη ψαριών όπως ο σολομός, η τιλάπια και οι γαρίδες για να αυξήσουν την αντοχή τους στις ασθένειες.
	Βοηθά στη διαγραφή του γονιδίου <i>JAM-A</i> στα κύτταρα κυπρίνου χόρτου, γεγονός που ενισχύει σημαντικά την αντίσταση στη μόλυνση από ρεοϊό κυπρίνου χόρτου (GCRV).
	Βοηθά στην ενίσχυση των κυτταρικών σειρών ψαριών για την απόκριση του ξενιστή και τη γενετική αντοχή έναντι μολυσματικών ασθενειών, χρησιμοποιώντας σολομό του Ατλαντικού και ιριδίζουσα πέστροφα ως πρότυπα συστήματα στην υδατοκαλλιέργεια.
Περιβαλλοντική προσαρμογή	Βοηθά στην επεξεργασία γονιδίων σε είδη ψαριών, όπως ο σολομός εκτροφής, για να προσαρμοστούν σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα
Βελτιωμένοι ρυθμοί ανάπτυξης και μύες	Αυξάνει την ανάπτυξη των μυών χτυπώντας τα γονίδια υποδοχέα μελανοκορτίνης (<i>mc4r</i>) και έχει δοκιμαστεί πειραματικά σε γατόψαρο καναλιού και ψάρια medaka.
	Βελτίωσε τους ρυθμούς ανάπτυξης και αύξησε τη μυϊκή μάζα του γατόψαρο καναλιού τροποποιώντας το γονίδιο μυοστατίνης στα έμβρυα γατόψαρο καναλιού.
	Βοηθά στην αύξηση της μυϊκής μάζας της αμβλύ τσιπούρας ρύγχους λόγω της διαταραχής του <i>mstna</i>

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Η τεχνολογία επεξεργασίας γονιδίων CRISPR / Cas9 έχει φέρει επανάσταση στην υδατοκαλλιέργεια, επιτρέποντας ακριβείς γενετικές τροποποιήσεις για τη βελτίωση χαρακτηριστικών όπως η αντοχή στις ασθένειες, η ανάπτυξη και η βιωσιμότητα. Αυτό το εργαλείο διευκολύνει επίσης τις γονιδιακές κινήσεις, αυξάνοντας το ποσοστό κληρονομικότητας των τροποποιημένων γονιδίων σε σχεδόν 100%, επιταχύνοντας την εξάπλωση των επιθυμητών χαρακτηριστικών στους πληθυσμούς.

Οι Li et al., 2021 χρησιμοποίησαν το CRISPR/Cas9 για να δημιουργήσουν στείρους, αποκλειστικά αρσενικούς πληθυσμούς τιλάπιας του Νείλου, με αποτέλεσμα ταχύτερους ρυθμούς ανάπτυξης και μειωμένους οικολογικούς κινδύνους από διαφυγόντα εκτρεφόμενα ψάρια. Ομοίως, οι Wargelius et al. ενίσχυσαν την ανθεκτικότητα στις ασθένειες του σολομού του Ατλαντικού τροποποιώντας γονίδια απαραίτητα για ιογενείς λοιμώξεις, αντιμετωπίζοντας σημαντικές απώλειες στην υδατοκαλλιέργεια που προκαλούνται από παθογόνα όπως το IPNV και το SAV.

Άλλες μελέτες έχουν αξιοποιήσει το CRISPR / Cas9 για την ενίσχυση της αντοχής στις ασθένειες σε κυπρίνους, τιλάπια και γατόψαρα, στοχεύοντας γονίδια που σχετίζονται με το ανοσοποιητικό σύστημα ή οδούς αναγνώρισης παθογόνων. Η επεξεργασία γονιδίων που σχετίζεται με την ανάπτυξη έχει επίσης αποφέρει αξιοσημείωτες επιτυχίες, όπως *νοκ άουτ μυοστατίνης* σε κοινό κυπρίνο, γατόψαρο καναλιού και τσιπούρα, οδηγώντας σε αυξημένο μέγεθος σώματος και ρυθμούς ανάπτυξης.

Οι εφαρμογές της CRISPR/Cas9 εκτείνονται πέρα από τα χαρακτηριστικά παραγωγής, επιτρέποντας τη δημιουργία νέων φαινοτύπων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τιλάπια αλμπίνο Νείλου και τροποποιημένα στρείδια του Ειρηνικού με ενισχυμένη ανάπτυξη. Η ευελιξία της τεχνολογίας καλύπτει επίσης είδη όπως οι γαρίδες κορυφογραμμής, αποδεικνύοντας περαιτέρω το μετασχηματιστικό δυναμικό της στην υδατοκαλλιέργεια (πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2. Εφαρμογές του CRISPR/Cas9 σε διάφορα είδη ψαριών και οι επιπτώσεις τους (Zhu κ.ά., 2024)

Είδη ψαριών	Τεχνολογικές επιπτώσεις
Τιλάπια του Νείλου	Χρησιμοποιείται για την παραγωγή στείρων πληθυσμών τιλάπιας του Νείλου, μειώνοντας τον κίνδυνο περιβαλλοντικής βλάβης από τα ψάρια που διαφεύγουν.
Σολομός Ατλαντικού	Βοηθά στην επεξεργασία γονιδίων για τη δημιουργία ειδών που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά σε ιογενείς λοιμώξεις, π.χ. σολομός
Ψάρι Ζέβρα	Επιτρέπει στους επιστήμονες να μελετήσουν μεταλλάξεις και γενετικές παραλλαγές στο ψάρι-ζέβρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιτυχή ενσωμάτωση σύνθετων ετικετών σε έμβρυα ψαριού-ζέμπρα, επιτρέποντας την ακριβή επισήμανση και απεικόνιση κυτταρικών δομών ή πρωτεϊνών. Αυτό προσφέρει δυνατότητες για τη μελέτη της δυναμικής των πρωτεϊνών, της γονιδιακής έκφρασης και άλλων βιολογικών διεργασιών σε αυτόν τον οργανισμό-μοντέλο.
Ιριδίζουσα πέστροφα	Έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την έκφραση του γονιδίου <i>igfbp-2b</i> στην ιριδίζουσα πέστροφα, επηρεάζοντας την αύξηση και την ανάπτυξη, αλλά η επίδρασή του στη συνολική απόδοση και το ενδοκρινικό σύστημα παραμένει ασαφής.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

<i>Σολομός Ατλαντικού και ιριδίζουσα πέστροφα</i>	Έχει χρησιμοποιηθεί για να στοχεύσει μοναδικά γονίδια που σχετίζονται με την ανάπτυξη και την ανοσία στον σολομό του Ατλαντικού, την ιριδίζουσα πέστροφα και τα κύτταρα σολομού coho.
<i>Ιαπωνικό medaka</i>	Έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την ανάπτυξη των μυών και το σωματικό βάρος σε εκτρεφόμενα είδη ψαριών όπως η medaka. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να προσδιοριστεί ο αντίκτυπος της στην απόδοση παραγωγής και στην υγεία των ψαριών.
<i>Χωματίδα</i>	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαταράξει το γονίδιο μυοστατίνης στη χωματίδα της ελίας, αυξάνοντας ενδεχομένως το σωματικό βάρος και τον μυϊκό ιστό, αλλά απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να κατανοηθούν οι επιπτώσεις του στην αποδοτικότητα της παραγωγής και την υγεία των ψαριών
<i>Γατόψαρο</i>	Έχει χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση του γονιδίου μυοστατίνης στο γατόψαρο Channel για τη βελτίωση της μυϊκής ανάπτυξης και ποιότητας, αλλά απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την πλήρη κατανόηση των επιπτώσεών του.

4. Τεχνολογίες Κρυοσυντήρησης και Υποβοηθούμενης Αναπαραγωγής

1.3 Υδατοκαλλιέργεια και κρυοσυντήρηση

Η αναπαραγωγή ψαριών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες και ακόμη και οι πιο έμπειροι χειριστές εκκολαπτηριών αντιμετωπίζουν συχνά μερικές ή πλήρεις αποτυχίες στη διαδικασία αναπαραγωγής. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποσότητα σπόρων, η επαγόμενη αναπαραγωγή θεωρείται ευρέως ως αποτελεσματική μέθοδος. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει την ωρίμανση και την αναπαραγωγή των ψαριών υπό δυσμενείς συνθήκες, όπως ανεπαρκείς βροχοπτώσεις ή ακραία κλιματικά σενάρια. Ωστόσο, οι επαναλαμβανόμενες προσπάθειες αναπαραγωγής μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την υγεία των γεννητόρων εντός της περιορισμένης διάρκειας ζωής τους. Η αντικατάσταση των γεννητόρων είναι δύσκολη λόγω υλικοτεχνικών και φυσιολογικών ζητημάτων που σχετίζονται με τη μεταφορά τους. Κατά συνέπεια, η μεταφορά γαμετών έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση, προσφέροντας οφέλη παρόμοια με αυτά που παρατηρούνται στην κτηνοτροφία.

Η ενσωμάτωση βιοτεχνολογικών εργαλείων στα προγράμματα αναπαραγωγής ψαριών είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση συνεπούς και βιώσιμης παραγωγής σπόρων. Η κρυοσυντήρηση αποτελεί μια βιώσιμη λύση για την παραγωγή σπόρων υψηλής ποιότητας και γενετικά ανώτερων ποικιλιών ψαριών. Αναγνωρίζοντας τις δυνατότητές της, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) έχει προσδιορίσει την κρυοσυντήρηση ως κρίσιμη στρατηγική για τη διατήρηση των γενετικών πόρων των ψαριών (Betsy et al., 2022).

Η κρυοσυντήρηση αναφέρεται στη διατήρηση βιολογικών δειγμάτων σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αναστέλλοντας αποτελεσματικά τις μεταβολικές δραστηριότητες και διατηρώντας τη δομική και λειτουργική ακεραιότητα για αόριστο χρονικό διάστημα. Αυτή η τεχνολογία έχει γίνει ακρογωνιαίος λίθος της αναπαραγωγικής βιολογίας, προσφέροντας κρίσιμα οφέλη για τις βιομηχανίες κτηνοτροφίας και υδατοκαλλιέργειας. Διατηρώντας τις θερμοκρασίες κάτω από -130 °



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

C, οι μεταβολικές δραστηριότητες σταματούν εντελώς, επιτρέποντας σε βιολογικά δείγματα, όπως κύτταρα, ιστούς, ακόμη και ολόκληρους οργανισμούς, να παραμείνουν βιώσιμα μετά την απόψυξη. Η κρυοσυντήρηση έχει ιδιαίτερη σημασία για τη διατήρηση πολύτιμου γενετικού υλικού, την ενίσχυση των προγραμμάτων αναπαραγωγής και την υποστήριξη των προσπαθειών διατήρησης της βιοποικιλότητας (Fletcher & Rise, 2012).

Μηχανισμοί διατήρησης

Η κρυοσυντήρηση επιτρέπει τη διατήρηση των γαμετών για παρατεταμένες περιόδους, που συχνά εκτείνονται σε αρκετά χρόνια, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η γονιμοποιητική τους ικανότητα. Με τη μείωση της θερμοκρασίας σε περίπου -196°C , όλες οι βιολογικές και βιοχημικές δραστηριότητες σταματούν, αποτρέποντας τις διαδικασίες που οδηγούν σε κυτταρικό θάνατο και υποβάθμιση του DNA. Η τεχνική αυτή αποτελεί ισχυρό εργαλείο για την υποστήριξη της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας της υδατοκαλλιέργειας και της διατήρησης της βιοποικιλότητας. Ωστόσο, ο σχηματισμός πάγου μέσα στα βιολογικά συστήματα παρουσιάζει μια σημαντική πρόκληση, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μηχανική βλάβη και οσμωτική ανισορροπία. Οι ελεγχόμενες διαδικασίες ψύξης διασφαλίζουν ότι ο πάγος σχηματίζεται εξωκυτταρικά, δημιουργώντας έτσι μια βαθμίδα συγκέντρωσης που διευκολύνει την εκροή νερού από τα κύτταρα. Αυτή η διαδικασία αποτρέπει τον θανατηφόρο σχηματισμό ενδοκυτταρικού πάγου. Οι πρόοδοι στους κρυοπροστατευτικούς παράγοντες (CPA) ήταν ζωτικής σημασίας για τον μετριάσμό αυτών των βλαβών, επιτρέποντας την επιτυχή διατήρηση διαφορετικών τύπων κυττάρων, ιστών και μικρών βιολογικών δομών. Βελτιώνοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των ρυθμών ψύξης, των συγκεντρώσεων CPA και των ειδικών χαρακτηριστικών των κυττάρων, οι ερευνητές έχουν βελτιώσει τα αποτελέσματα της κρυοσυντήρησης.

Κρυοπροστατευτικοί παράγοντες

Οι κρυοπροστατευτικοί παράγοντες διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στη μείωση του ενδοκυτταρικού σχηματισμού πάγου και στη διατήρηση της ακεραιότητας των πρωτεϊνών και των μεμβρανών κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και της απόψυξης. Αυτοί οι παράγοντες εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες: διαπερατοί και μη διαπερατοί. Διαπερατά CPA, όπως DMSO, γλυκερόλη και μεθανόλη, διεισδύουν στην κυτταρική μεμβράνη για να εξισορροπήσουν τις ενδοκυτταρικές και εξωκυτταρικές οσμωτικές πιέσεις. Τα μη διαπερατά CPA, συμπεριλαμβανομένων των σακχάρων και ορισμένων πρωτεϊνών, δρουν κυρίως εξωκυτταρικά για να τροποποιήσουν το σημείο πήξης του διαλύματος και να παρέχουν πρόσθετη προστασία. Παρά τα οφέλη τους, τα CPA πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, καθώς μπορούν να προκαλέσουν τοξικότητα, οσμωτικό στρες και χρωμοσωμικές ανωμαλίες εάν εφαρμοστούν ακατάλληλα. Η εξισορρόπηση των προστατευτικών επιδράσεων και των πιθανών δυσμενών αποτελεσμάτων είναι ένας κρίσιμος τομέας της συνεχιζόμενης έρευνας.

Πρωτόκολλα ψύξης και απόψυξης

Η επιτυχία της κρυοσυντήρησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ακριβή έλεγχο των πρωτοκόλλων ψύξης και απόψυξης. Οι ρυθμοί ελεγχόμενης κατάψυξης, που συνήθως κυμαίνονται από $-40^{\circ}\text{C} / \text{min}$ έως βραδύτερους ρυθμούς, είναι απαραίτητοι για την ελαχιστοποίηση του

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

σχηματισμού κρυστάλλων πάγου. Εξειδικευμένοι βιοκαταψύκτες και μέθοδοι ατμών αζώτου χρησιμοποιούνται ευρέως για την επίτευξη αυτών των ελεγχόμενων συνθηκών. Αντίθετα, η απόψυξη πρέπει να είναι ταχεία για να αποφευχθεί η ανακρυστάλλωση του πάγου, η οποία μπορεί να βλάψει σοβαρά τις κυτταρικές δομές. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των προγραμματιζόμενων συσκευών κατάψυξης και των προηγμένων τεχνικών απόψυξης, στοχεύουν στην τυποποίηση και βελτιστοποίηση αυτών των διαδικασιών για διάφορα βιολογικά υλικά, βελτιώνοντας έτσι τα ποσοστά επιβίωσης και τη λειτουργική ανάκτηση (Fletcher & Rise, 2012).

1.3.1 Κρυοσυντήρηση γαμετών

Κρυοσυντήρηση σπέρματος

Η κρυοσυντήρηση σπέρματος αποτελεί μία από τις πιο επιτυχημένες εφαρμογές της κρυοβιολογίας, με καθιερωμένα πρωτόκολλα στην κτηνοτροφία και επέκταση των εφαρμογών στην υδατοκαλλιέργεια. Ωστόσο, το σπέρμα ψαριών παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από το σπέρμα των θηλαστικών, απαιτώντας μοναδικές προσεγγίσεις. Βασικά χαρακτηριστικά των σπερματοζωαρίων ψαριών περιλαμβάνουν την ακινησία τους στο σπερματικό πλάσμα, την ενεργοποίηση της κινητικότητας κατά την έκθεση σε ενεργοποιητικά διαλύματα, την υψηλή ευαισθησία στις οσμωτικές αλλαγές και τη σχετικά χαμηλή παραγωγή ATP. Αυτά τα μοναδικά χαρακτηριστικά υπογραμμίζουν την ανάγκη για προσαρμοσμένες στρατηγικές κρυοσυντήρησης για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της λειτουργικότητας κατά την απόψυξη.

Η ανάπτυξη αποτελεσματικών πρωτοκόλλων κρυοσυντήρησης σπέρματος ψαριών περιλαμβάνει διάφορα κρίσιμα βήματα:

- **Συλλογή σπέρματος:** Η λήψη σπέρματος υψηλής ποιότητας απαλλαγμένου από μολυσματικούς παράγοντες είναι απαραίτητη. Τεχνικές όπως το κοιλιακό μασάζ, η αναρρόφηση ή η άμεση εξαγωγή από τους όρχεις χρησιμοποιούνται συνήθως, ανάλογα με το είδος. Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή μόλυνσης με ουσίες όπως τα ούρα, τα οποία μπορούν να ενεργοποιήσουν πρόωρα την κινητικότητα.
- **Ανάλυση ποιότητας:** Η αξιολόγηση της ποιότητας του σπέρματος είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή δειγμάτων κατάλληλων για κατάψυξη. Παράμετροι όπως η κινητικότητα, η βιωσιμότητα, το pH και η ωσμωτικότητα αξιολογούνται, συχνά χρησιμοποιώντας προηγμένα μηχανογραφικά συστήματα για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια.
- **Σύνθεση επέκτασης:** Τα αραιωτικά είναι ρυθμιστικά διαλύματα που έχουν σχεδιαστεί για να αποτρέπουν την πρόωρη ενεργοποίηση της κινητικότητας και να παρέχουν ένα βέλτιστο περιβάλλον για κατάψυξη. Τα κοινά συστατικά περιλαμβάνουν γλυκόζη, κρόκο αυγού, αντιοξειδωτικά και CPA όπως DMSO ή γλυκερόλη. Η επιλογή της επέκτασης ποικίλλει ανάλογα με το είδος και τις ειδικές απαιτήσεις.
- **Κατάψυξη και απόψυξη:** Το σπέρμα συνήθως φορτώνεται σε γαλλικά καλαμάκια ή κρυοβιάλ και καταψύχεται με ελεγχόμενους ρυθμούς πριν αποθηκευτεί σε υγρό άζωτο (-196 °C). Η απόψυξη πρέπει να διεξάγεται ταχέως σε υδατόλουτρο ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη βιωσιμότητα. Το σχήμα 3.6 απεικονίζει τις διαδικασίες κατάψυξης σπέρματος

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Σχήμα 3.6. Διαδικασία κατάψυξης σπέρματος: (Α) εξαγωγή σπέρματος πέστροφας με *capulation*, (Β) αραίωση σε κρυοπροστατευτικό αραιωτικό, (Γ) φόρτωση σε γαλλικά καλαμάκια 0,5 cc (ένθετο με διαφορετικά καλαμάκια, κρυοβιάλ και σκόνη PVA για σφράγιση άχυρου), (Δ) κατάψυξη πάνω από πλωτή συσκευή σε κουτί φελιζόλ που περιέχει N₂I, (Ε) αποθήκευση σε δεξαμενή N₂I, (F) συλλογή αυγών, (G) απόψυξη σπέρματος σε υδατόλουτρο, και (Η–J) γονιμοποίηση (Fletcher & Rise, 2012).

Κρυοσυντήρηση ωαρίων

Σε αντίθεση με τα σπερματοζώαρια, τα ωάρια παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις για κρυοσυντήρηση. Το μεγάλο τους μέγεθος, η πολύπλοκη δομή τους και η περιορισμένη διαπερατότητα στα CPA τα καθιστούν ιδιαίτερα ευαίσθητα σε κρυοβλαβές. Ζητήματα όπως η ευαισθησία στην ψύξη, ο ενδοκυτταρικός σχηματισμός πάγου και η τοξικότητα CPA είναι ιδιαίτερα έντονα. Επιπλέον, η παρουσία πολλαπλών στρωμάτων μεμβράνης και υψηλής περιεκτικότητας σε λιπίδια περιπλέκει περαιτέρω τη διαδικασία συντήρησης.

Πρόσφατες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη διατήρηση των ωαρίων σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια, όπου η δομική τους απλότητα μπορεί να μειώσει την ευαισθησία σε κρυοβλαβές. Οι στρατηγικές περιλαμβάνουν σταδιακή αφαίρεση CPA για την ελαχιστοποίηση της τοξικότητας, μελέτες σχετικά με την αντίσταση στην ψύξη και την εφαρμογή τεχνικών υαλοποίησης. Η υαλοποίηση, η οποία περιλαμβάνει εξαιρετικά γρήγορη κατάψυξη με υψηλές συγκεντρώσεις CPA, προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση εξαλείφοντας τον σχηματισμό κρυστάλλων πάγου. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όσον αφορά την επίτευξη ομοιόμορφης κατανομής CPA και την ελαχιστοποίηση της τοξικότητας.

1.4 Κρυοσυντήρηση εμβρύων

Η κρυοσυντήρηση εμβρύων ψαριών, η οποία αποσκοπεί στη διατήρηση τόσο του μητρικού όσο και του πατρικού γενετικού υλικού, έχει σημαντικές δυνατότητες ενίσχυσης της αναπαραγωγικής



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

διαχείρισης της υδατοκαλλιέργειας. Παρά την υπόσχεσή της, η επιτυχής κρυοσυντήρηση εμβρύων ψαριών παραμένει μια πρόκληση λόγω της βιολογικής πολυπλοκότητας των εμβρύων, όπως το μεγάλο τους μέγεθος, η πολυδιαμερισματική δομή τους και η περιορισμένη διαπερατότητα σε κρυοπροστατευτικούς παράγοντες (CPAs). Αυτοί οι παράγοντες, σε συνδυασμό με την παρουσία φραγμών όπως η συγκυτιακή στιβάδα του κρόκου (YSL), εμποδίζουν την αποτελεσματική κατανομή των CPAs και του νερού σε όλο το έμβρυο (Εικ. 3.7, Hagedorn et al., 1997).



Σχήμα 3.7. Καλκάνι εμβρύου στο στάδιο του ουραίου οφθαλμού που δείχνει τους διαφορετικούς φακέλους και διαμερίσματα: χόριο (βέλος), συγκυτιακό στρώμα κρόκου (αιχμή βέλους), σάκος κρόκου (ys), χώρος περιβιτελίνης (pvs) και διαμέρισμα εμβρύου (ec) (Hagedorn et al., 1997)

Ένα σημαντικό εμπόδιο είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό στα έμβρυα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό πάγου και κυτταρική βλάβη κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και της απόψυξης. Τα έμβρυα πρώιμου σταδίου, τα οποία θεωρητικά προσφέρουν απλούστερες δομικές ιδιότητες για συντήρηση, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην ψύξη και την τοξικότητα CPA, περιπλέκοντας περαιτέρω τις προσπάθειες κρυοσυντήρησης.

Μελέτες σχετικά με την ευαισθησία ψύξης σε έμβρυα ψαριών έχουν δείξει ότι τα πρώιμα αναπτυξιακά στάδια είναι πιο ευάλωτα σε χαμηλές θερμοκρασίες από ό, τι τα μεταγενέστερα στάδια. Οι στρατηγικές για τον μετριασμό των τραυματισμών ψύξης περιλαμβάνουν την τροποποίηση της δομής του εμβρύου και τη χρήση προστατευτικών ουσιών όπως οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες (AFPs). Αυτές οι προσεγγίσεις έχουν δείξει δυνατότητες ενίσχυσης της αντοχής σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά δεν έχουν ακόμη επιτύχει σταθερή επιτυχία.

Η χρήση της υαλοποίησης, μιας τεχνικής που εξαλείφει το σχηματισμό πάγου μέσω εξαιρετικά γρήγορης κατάψυξης, έχει προταθεί ως ένας τρόπος για να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις. Ωστόσο, η υαλοποίηση απαιτεί υψηλές συγκεντρώσεις CPAs, οι οποίες μπορεί να είναι τοξικές και δύσκολο να κατανεμηθούν ομοιόμορφα μέσα στο έμβρυο λόγω της περιορισμένης διαπερατότητάς του. Διάφορες πειραματικές τεχνικές, όπως η αύξηση της διαπερατότητας των εμβρύων και η βελτίωση των συστημάτων παράδοσης CPA, διερευνώνται για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών.

Οι πρόσφατες εξελίξεις περιλαμβάνουν μεθόδους για την παράκαμψη εμποδίων όπως το YSL και τη βελτίωση της διείσδυσης CPA. Τεχνικές όπως η μικροέγχυση CPAs ή η γενετική μηχανική για την

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ενίσχυση της διαπερατότητας του εμβρύου έχουν δείξει πολλά υποσχόμενες. Επιπλέον, η χρήση φυσικών αντιψυκτικών πρωτεϊνών έχει δείξει δυνατότητες στη μείωση του σχηματισμού κρυστάλλων πάγου και στην άμβλυση των βλαβών που προκαλούνται από το πάγωμα. Αν και αυτές οι μέθοδοι βρίσκονται ακόμη σε πειραματικά στάδια, προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για το μέλλον της κρυοσυντήρησης εμβρύων.

Η αντιμετώπιση των προκλήσεων της κρυοσυντήρησης εμβρύων ψαριών θα απαιτήσει διεπιστημονική συνεργασία και τεχνολογική καινοτομία. Οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην ενίσχυση της κρυοπροστασίας σε κυτταρικό επίπεδο και στη βελτίωση των τεχνικών χορήγησης CPA. Πολλά υποσχόμενες κατευθύνσεις περιλαμβάνουν τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών λείζερ για τη δημιουργία προσωρινών πόρων στα έμβρυα και την ανάπτυξη γενετικά τροποποιημένων στελεχών με αυξημένη αντοχή σε βλάβες κατάψυξης.

Με τη συνέχιση της έρευνας, η κρυοσυντήρηση εμβρύων ψαριών θα μπορούσε να αποτελέσει αξιόπιστο εργαλείο για την υδατοκαλλιέργεια, υποστηρίζοντας τη διατήρηση των γενετικών πόρων και προωθώντας βιώσιμες πρακτικές στην ιχθυοκαλλιέργεια.

Η τεχνολογία κρυοσυντήρησης έχει αναπτυχθεί για πολλά είδη ψαριών (Betsy et al., 2022):

- Αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση του milt του καλύτερου γεννήτορα ηλικιακής ομάδας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά πάσα στιγμή στο μέλλον.
- Μπορεί επίσης να εξαλείψει το πρόβλημα της ενδογαμίας, καθώς τα κρυοσυντηρημένα σπερματοζωάρια μπορούν εύκολα να ανταλλάγουν μεταξύ των εκκολαπτηριών.
- Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία, τα σπερματοζωάρια μπορούν να διατεθούν οποιαδήποτε εποχή του χρόνου.
- Καθιστά δυνατή την αναπαραγωγή εκτός εποχής.
- Συγχρονίζει τη διαθεσιμότητα γαμετών και των δύο φύλων οδηγώντας στην οικονομία του σπέρματος.
- Απλοποιεί τη διαχείριση των γεννητόρων στις εκμεταλλεύσεις.
- Βοηθά στην παραγωγή βιώσιμων και ισχυρών απογόνων με υβριδισμό εντός του είδους.
- Ξεπερνά τις δυσκολίες που προκύπτουν λόγω της σύντομης χρονικής βιωσιμότητας των γαμετών.
- Επιτρέπει τη γενετική διατήρηση των επιθυμητών γραμμών.
- Επιτρέπει τη διασταύρωση σε διαφορετικές χρονικές στιγμές του έτους.
- Βοηθά στην αποθήκευση γενετικού πλάσματος για προγράμματα γενετικής επιλογής ή διατήρησης ειδών.
- Τα κρυοσυντηρημένα σπερματοζωάρια μπορούν να βοηθήσουν στα προγράμματα υβριδισμού και στην έρευνα γενετικής μηχανικής στα ψάρια.
- Οδηγεί σε πολλές άλλες οδούς, όπως η κρυοαποθήκευση βιώσιμων γαμετών, όπως στην περίπτωση της ζωικής παραγωγής και της ανάπτυξης τράπεζας γονιδίων και της γενετικής τροποποίησης στα ψάρια.

Η κρυοσυντήρηση αντιπροσωπεύει ένα μετασχηματιστικό εργαλείο στη βιοτεχνολογία υδατοκαλλιέργειας, προσφέροντας σημαντικά οφέλη για τη γενετική διατήρηση, τα προγράμματα αναπαραγωγής και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Ενώ οι προκλήσεις παραμένουν, ιδιαίτερα



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

στη διατήρηση εμβρύων και ωαρίων, οι συνεχείς εξελίξεις στις κρυοπροστατευτικές μεθόδους, τα γενετικά εργαλεία και τη διεπιστημονική έρευνα υπόσχονται να ξεπεράσουν αυτά τα εμπόδια. Οι μελλοντικές εξελίξεις πιθανότατα θα επεκτείνουν το πεδίο εφαρμογής και την αποτελεσματικότητα της κρυοσυντήρησης, διασφαλίζοντας την ευρύτερη εφαρμογή της στην υδατοκαλλιέργεια και πέραν αυτής. Μέσω της συνεχούς καινοτομίας, η κρυοσυντήρηση είναι έτοιμη να διαδραματίσει αναπόσπαστο ρόλο στην υποστήριξη της βιώσιμης ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας και της διατήρησης της υδρόβιας βιοποικιλότητας (Fletcher & Rise, 2012).

5. Δεοντολογικά, περιβαλλοντικά και ρυθμιστικά ζητήματα

1.5 Ηθικές ανησυχίες στη βιοτεχνολογία υδατοκαλλιέργειας

Καλή μεταχείριση των ζώων στη γενετική τροποποίηση

Οι ηθικές επιπτώσεις της γενετικής τροποποίησης στην υδατοκαλλιέργεια είναι βαθιές, ιδίως όσον αφορά την καλή μεταχείριση των ζώων. Οι γενετικές παρεμβάσεις, όπως η διαγένεση και η επεξεργασία γονιδίων, συχνά στοχεύουν στην ενίσχυση των χαρακτηριστικών παραγωγής όπως οι ρυθμοί ανάπτυξης, η αντοχή στις ασθένειες ή η περιβαλλοντική ανοχή. Ωστόσο, αυτές οι τροποποιήσεις μπορούν ακούσια να προκαλέσουν φυσιολογικό στρες ή επιπλοκές στην υγεία. Για παράδειγμα, η επιταχυνόμενη ανάπτυξη των διαγονιδιακών ψαριών μπορεί να οδηγήσει σε σκελετικές παραμορφώσεις, μειωμένη ανοσολογική λειτουργία ή αλλοιωμένους μεταβολικούς ρυθμούς. Οι επικριτές υποστηρίζουν ότι η προτεραιότητα της παραγωγικότητας έναντι της ευημερίας μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ηθική μεταχείριση αυτών των οργανισμών, εγείροντας ερωτήματα σχετικά με την ισορροπία μεταξύ καινοτομίας και ανθρωπιστικών πρακτικών.

Ο περιορισμένος χαρακτήρας των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας ενισχύει περαιτέρω αυτές τις ανησυχίες. Τα ψάρια που εκτρέφονται σε τέτοια περιβάλλοντα συχνά υποβάλλονται σε υψηλή πυκνότητα εκτροφής, οδηγώντας σε άγχος, ευαισθησία σε ασθένειες και αλλαγές συμπεριφοράς. Οι ηθικοί προβληματισμοί επεκτείνονται στο κατά πόσον τα γενετικά τροποποιημένα ψάρια είναι περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλα για να ευδοκιμήσουν σε τέτοιες συνθήκες σε σύγκριση με τους άγριους ομολόγους τους. Η ανάπτυξη μετρήσεων καλής μεταχείρισης ειδικά προσαρμοσμένων για γενετικά τροποποιημένα υδρόβια είδη είναι ουσιαστικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι η ποιότητα ζωής τους δεν διακυβεύεται αδικαιολόγητα.

Οικολογική ακεραιότητα και βιοποικιλότητα

Πέρα από την ατομική ευημερία, οι ηθικές ανησυχίες περιλαμβάνουν τις ευρύτερες οικολογικές επιπτώσεις των βιοτεχνολογικών παρεμβάσεων. Η εισαγωγή γενετικώς τροποποιημένων ή επιλεκτικά εκτρεφόμενων ειδών σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας ή φυσικούς οικοτόπους ενέχει κινδύνους για την οικολογική ακεραιότητα. Για παράδειγμα, τα διαγονιδιακά ψάρια με αυξημένους ρυθμούς ανάπτυξης μπορεί να ανταγωνίζονται τα αυτόχθονα είδη για πόρους, διαταράσσοντας τα τοπικά οικοσυστήματα και ενδεχομένως οδηγώντας στη μείωση ή την εξαφάνιση των άγριων πληθυσμών. Οι ανησυχίες αυτές υπογραμμίζουν την ηθική ευθύνη να διασφαλιστεί ότι οι εφαρμογές

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

της βιοτεχνολογίας δεν υπονομεύουν τη βιοποικιλότητα και την ανθεκτικότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Η δεοντολογική συζήτηση αγγίζει επίσης την ανθρώπινη διαχείριση της βιοποικιλότητας. Ενώ η βιοτεχνολογία μπορεί να βοηθήσει στις προσπάθειες διατήρησης, όπως μέσω της κρυοσυντήρησης του γενετικού υλικού των απειλούμενων ειδών, εγείρει επίσης ερωτήματα σχετικά με το δικαίωμα της ανθρωπότητας να τροποποιεί τους γενετικούς κώδικες για οικονομικούς ή οικολογικούς σκοπούς. Η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της μόχλευσης της βιοτεχνολογίας για θετικά αποτελέσματα και της διατήρησης των φυσικών εξελικτικών διαδικασιών των υδρόβιων ειδών παραμένει βασική ηθική πρόκληση.

1.6 Κανονιστικά Πλαίσια

Παγκόσμια πρότυπα και κατευθυντήριες γραμμές

Η διακυβέρνηση των βιοτεχνολογικών εφαρμογών στην υδατοκαλλιέργεια είναι ένας σύνθετος και εξελισσόμενος τομέας. Διεθνείς οργανισμοί όπως ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και η Σύμβαση για τη Βιολογική Ποικιλότητα (CBD) έχουν θεσπίσει πλαίσια για την καθοδήγηση της ασφαλούς και ηθικής χρήσης της βιοτεχνολογίας. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές τονίζουν την αρχή της προφύλαξης, υποστηρίζοντας διεξοδικές αξιολογήσεις κινδύνου και παρακολούθηση πριν από την έγκριση και την απελευθέρωση γενετικά τροποποιημένων οργανισμών (ΓΤΟ) στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Μια βασική πτυχή των παγκόσμιων προτύπων είναι η εναρμόνιση των κανονισμών μεταξύ των χωρών για τη διασφάλιση της συνέπειας στα μέτρα ασφαλείας και την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό δεδομένης της διασυνοριακής φύσης των υδάτινων οικοσυστημάτων και της πιθανότητας οι δραπότες να επηρεάσουν τα ύδατα των γειτονικών εθνών. Η συνεργασία μεταξύ των χωρών μέσω συνθηκών και συμφωνιών διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην καθιέρωση ομοιόμορφων πρακτικών και στον μετριασμό των κινδύνων

Εθνικές ρυθμιστικές προσεγγίσεις

Σε εθνικό επίπεδο, τα ρυθμιστικά πλαίσια ποικίλλουν ευρέως, αντανakλώντας διαφορετικές προτεραιότητες, τεχνολογικές ικανότητες και κοινωνικές στάσεις απέναντι στη βιοτεχνολογία. Ορισμένες χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και ο Καναδάς, διαθέτουν ισχυρά συστήματα για την αξιολόγηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων εκτεταμένων διαδικασιών αναθεώρησης που περιλαμβάνουν επιστημονικές, περιβαλλοντικές και αξιολογήσεις δημόσιας υγείας. Αντίθετα, άλλες περιφέρειες ενδέχεται να μην διαθέτουν ολοκληρωμένες ρυθμιστικές δομές, γεγονός που οδηγεί σε κενά στην εποπτεία και δυνητικούς κινδύνους.

Οι ρυθμιστικές προσεγγίσεις συχνά περιλαμβάνουν διαδικασίες πολλαπλών σταδίων, ξεκινώντας με εργαστηριακές δοκιμές και προχωρώντας μέσω ελεγχόμενων δοκιμών πεδίου πριν από την εφαρμογή πλήρους κλίμακας. Οι διαδικασίες αυτές αποσκοπούν στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων των νέων βιοτεχνολογιών. Η δημόσια διαβούλευση και η διαφάνεια αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο ως κρίσιμες συνιστώσες των ρυθμιστικών πλαισίων,



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ενισχύοντας την εμπιστοσύνη και διασφαλίζοντας ότι οι αποφάσεις αντικατοπτρίζουν τις κοινωνικές αξίες.

Αξιολογήσεις ασφάλειας και διαδικασίες έγκρισης

Οι αξιολογήσεις ασφάλειας είναι κεντρικής σημασίας για τα κανονιστικά πλαίσια, παρέχοντας μια επιστημονική βάση για την αξιολόγηση των δυνητικών κινδύνων των εφαρμογών της βιοτεχνολογίας. Οι αξιολογήσεις αυτές αφορούν συνήθως διάφορους βασικούς τομείς:

- **Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι:** Αξιολόγηση της πιθανότητας διαφυγής και των πιθανών οικολογικών επιπτώσεων των ΓΤΟ, συμπεριλαμβανομένου του ανταγωνισμού με τα αυτόχθονα είδη, του υβριδισμού και της τροποποίησης των οικοτόπων.
- **Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία:** Διασφάλιση ότι τα γενετικά τροποποιημένα ψάρια που προορίζονται για κατανάλωση είναι απαλλαγμένα από αλλεργιογόνα, τοξίνες ή ακούσιες γενετικές επιδράσεις που θα μπορούσαν να βλάψουν τους καταναλωτές.
- **Παρακολούθηση οικοσυστημάτων:** Εφαρμογή προγραμμάτων παρακολούθησης μετά την έγκριση για τον εντοπισμό και τον μετριασμό απρόβλεπτων επιπτώσεων, διασφαλίζοντας μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα.

Οι διαδικασίες έγκρισης συχνά περιλαμβάνουν συντονισμό μεταξύ πολλών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των αρχών περιβάλλοντος, γεωργίας και δημόσιας υγείας. Οι αυστηρές επιστημονικές αξιολογήσεις, σε συνδυασμό με τη συμβολή του κοινού, αποσκοπούν στην εξισορρόπηση της καινοτομίας με ζητήματα ασφάλειας και δεοντολογίας.

1.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιοτεχνολογίας υδατοκαλλιέργειας

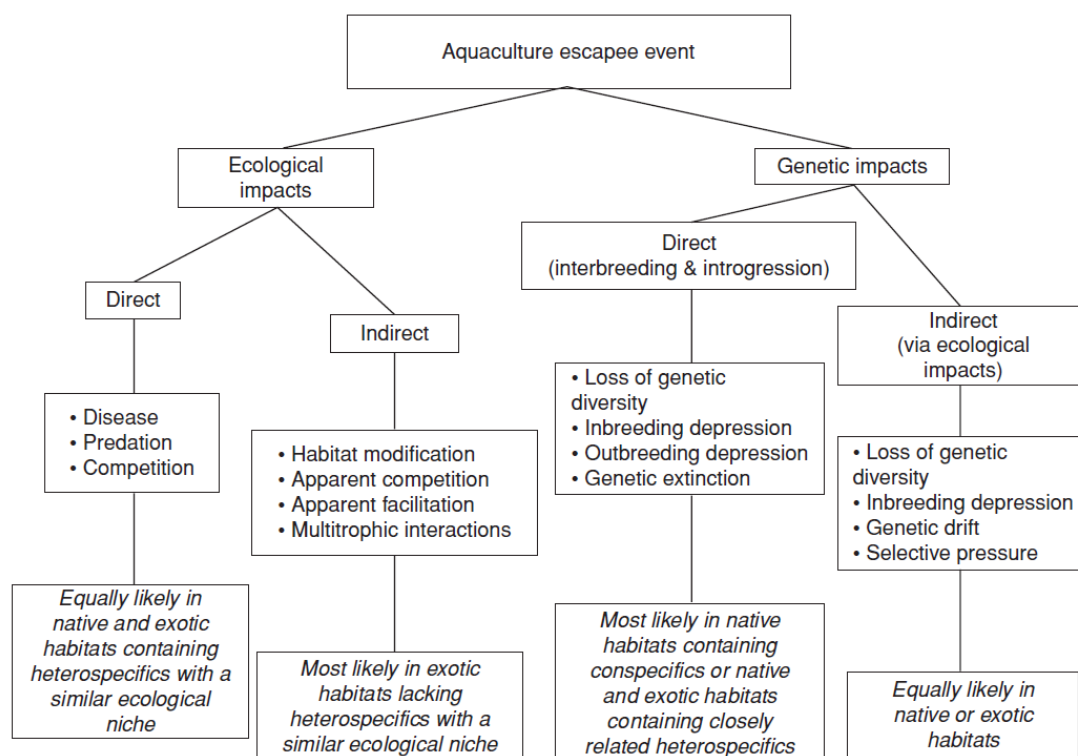
1.7.1 Δυναμική οικοσυστημάτων και γενετική ρύπανση

Ένας από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους της βιοτεχνολογίας υδατοκαλλιέργειας είναι η γενετική ρύπανση, όπου γονίδια από γενετικά τροποποιημένα ή επιλεκτικά εκτρεφόμενα είδη μεταφέρονται σε άγριους πληθυσμούς. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω της διασταύρωσης, οδηγώντας σε γενετική ομογενοποίηση και απώλεια τοπικά προσαρμοσμένων χαρακτηριστικών σε άγρια είδη. Οι μακροπρόθεσμες συνέπειες μιας τέτοιας γενετικής διείσδυσης περιλαμβάνουν μειωμένη ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές αλλαγές και μειωμένη βιοποικιλότητα.

Οι επιπτώσεις της επιλογής εξημέρωσης στα γενετικά και φαινοτυπικά χαρακτηριστικά των ζώων υδατοκαλλιέργειας οδηγούν σε διάφορες πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την απελευθέρωσή τους στη φύση. Το σχήμα 3.8 συνοψίζει τους μηχανισμούς που ευθύνονται για τέτοιες επιπτώσεις σε τέσσερις κατηγορίες: άμεσες οικολογικές επιπτώσεις, έμμεσες οικολογικές επιδράσεις, άμεσες γενετικές επιδράσεις και έμμεσες γενετικές επιδράσεις.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Σχήμα 3.8. Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραπέτων υδατοκαλλιεργειών

Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε συμβάντα διαφυγής, όπου τα εκτρεφόμενα ψάρια εισέρχονται σε φυσικά οικοσυστήματα. Αυτοί οι δραπέτες μπορούν να ανταγωνιστούν τους άγριους πληθυσμούς για πόρους, να εισάγουν ασθένειες και να διαταράξουν τη δυναμική του τροφικού ιστού. Ο μετριασμός αυτών των κινδύνων απαιτεί ισχυρές στρατηγικές περιορισμού, όπως φυσικούς φραγμούς, και ανάπτυξη στείρων γενετικά τροποποιημένων ψαριών για την πρόληψη της αναπαραγωγής στη φύση.

Αλληλεπιδράσεις με άγριους πληθυσμούς

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ εκτρεφόμενων και άγριων πληθυσμών εκτείνονται πέρα από τις γενετικές επιπτώσεις. Τα διαγονιδιακά ψάρια με ενισχυμένα χαρακτηριστικά, όπως ταχύτερη ανάπτυξη ή μεγαλύτερη αντοχή στις ασθένειες, μπορεί να έχουν οικολογικά πλεονεκτήματα έναντι των άγριων ομολόγων τους. Αυτά τα πλεονεκτήματα μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγές στις σχέσεις θηρευτή-θηράματος, αλλιωμένη δυναμική ανταγωνισμού και αλλαγές στη χρήση των οικοτόπων. Η έρευνα σχετικά με τη συμπεριφορά και τους οικολογικούς ρόλους των γενετικά τροποποιημένων ψαριών είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη και τη διαχείριση αυτών των αλληλεπιδράσεων. Οι μακροπρόθεσμες οικολογικές μελέτες, σε συνδυασμό με την προγνωστική μοντελοποίηση, μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό πιθανών κινδύνων και να καθοδηγήσουν τις πρακτικές διαχείρισης.

Μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα

Η διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας της βιοτεχνολογίας υδατοκαλλιέργειας απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη τις οικολογικές, οικονομικές και κοινωνικές

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

διαστάσεις. Αυτό περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση της καταστροφής των οικοτόπων, τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων και την προστασία των άγριων πληθυσμών. Η πρόοδος στη βιοτεχνολογία, όπως η ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον ζωοτροφών και η βελτίωση των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων, μπορεί να συμβάλει σε πιο βιώσιμες πρακτικές υδατοκαλλιέργειας.

Η παρακολούθηση και η προσαρμοστική διαχείριση αποτελούν κρίσιμες συνιστώσες της βιώσιμης υδατοκαλλιέργειας. Αξιολογώντας συνεχώς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των βιοτεχνολογικών παρεμβάσεων και προσαρμόζοντας ανάλογα τις πρακτικές, τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να εξισορροπήσουν την παραγωγικότητα με την οικολογική ευθύνη

1.7.2 Εξισορρόπηση προόδου και ευθύνης

Η ενσωμάτωση της βιοτεχνολογίας στην υδατοκαλλιέργεια προσφέρει τεράστιες ευκαιρίες για την αντιμετώπιση παγκόσμιων προκλήσεων όπως η επισιτιστική ασφάλεια και η διατήρηση της βιοποικιλότητας. Ωστόσο, η πρόοδος αυτή πρέπει να συνοδεύεται από ισχυρή δέσμευση για δεοντολογικές αρχές, αυστηρή ρυθμιστική εποπτεία και προληπτική περιβαλλοντική διαχείριση. Με την προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των επιστημόνων, των υπευθύνων χάραξης πολιτικής, των ενδιαφερόμενων μερών της βιομηχανίας και του κοινού, η υδατοκαλλιέργεια μπορεί να εξελιχθεί με καινοτόμο και βιώσιμο τρόπο.

Οι δεοντολογικές, περιβαλλοντικές και κανονιστικές εκτιμήσεις δεν αποτελούν απλώς εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν, αλλά αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της υπεύθυνης προόδου της βιοτεχνολογίας υδατοκαλλιέργειας. Μέσω προσεκτικού σχεδιασμού, διαφανούς λήψης αποφάσεων και συνεχούς έρευνας, ο τομέας μπορεί να αξιοποιήσει τις δυνατότητές του, διασφαλίζοντας παράλληλα την ευημερία των υδάτινων οικοσυστημάτων και των κοινοτήτων που εξαρτώνται από αυτά (Fletcher & Rise, 2012).

Περίληψη

Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει διαταράξει σημαντικά τους κύκλους αναπαραγωγής, τους ρυθμούς ανάπτυξης και την επιβίωση των υδρόβιων ειδών. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες του νερού μεταβάλλουν τους χρόνους ωοτοκίας και τους μεταβολικούς ρυθμούς, οδηγώντας σε αναντιστοιχίες με τη διαθεσιμότητα τροφής και τις μη βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των προνυμφών. Είδη όπως ο μπακαλιάρος του Ατλαντικού και η πέρκα αναπαράγονται νωρίτερα, με αποτέλεσμα μειωμένα ποσοστά επιβίωσης για τους απογόνους τους. Επιπλέον, οι αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα οξυγόνου στο νερό, καταπονώντας τις προνύμφες και επηρεάζοντας τη νεανική ανάπτυξη. Ενώ ορισμένα είδη παρουσιάζουν γενετικές προσαρμογές για να αντιμετωπίσουν αυτές τις αλλαγές, οι ταχείες περιβαλλοντικές αλλαγές συχνά ξεπερνούν την ικανότητα προσαρμογής των πληθυσμών, οδηγώντας σε μακροπρόθεσμες μειώσεις.

Η υδατοκαλλιέργεια έχει αγκαλιάσει τη βιοτεχνολογία για να μετριάσει αυτές τις προκλήσεις και να ενισχύσει την ανθεκτικότητα στα εκτρεφόμενα είδη. Τα προγράμματα επιλεκτικής αναπαραγωγής επικεντρώνονται σε χαρακτηριστικά όπως η ανοχή στη θερμότητα, η αντοχή στις ασθένειες και η αποτελεσματικότητα της ανάπτυξης. Η γονιδιωματική επιλογή επιταχύνει αυτή τη διαδικασία

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

χρησιμοποιώντας γενετικούς δείκτες για τη διάδοση επιθυμητών χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, ο σολομός του Ατλαντικού έχει εκτραφεί για να ανέχεται υψηλότερες θερμοκρασίες και υποξικές συνθήκες, ενώ γονιδιωματικά εργαλεία έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανθεκτικών στις ασθένειες στελεχών ιριδίζουσας πέστροφας και άλλων ειδών.

Η τεχνολογία CRISPR/Cas9 έχει αναδειχθεί ως ένα επαναστατικό εργαλείο στην υδατοκαλλιέργεια, επιτρέποντας ακριβείς και στοχευμένες τροποποιήσεις στα γονιδιώματα των ψαριών. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την ενίσχυση βασικών χαρακτηριστικών όπως η ανάπτυξη, η ποιότητα των μυών, η αντοχή στις ασθένειες και η περιβαλλοντική προσαρμογή. Για παράδειγμα, οι γενετικές τροποποιήσεις σε είδη όπως η τιλάπια του Νείλου και το γατόψαρο του καναλιού έχουν οδηγήσει σε ταχύτερους ρυθμούς ανάπτυξης και βελτιωμένη ανάπτυξη μυών στοχεύοντας το γονίδιο μυοστατίνης (*mstn*). Ομοίως, το CRISPR / Cas9 έχει χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της αντοχής στις ασθένειες στον σολομό του Ατλαντικού και τον κυπρίνο χόρτου με την επεξεργασία γονιδίων που σχετίζονται με το ανοσοποιητικό σύστημα και οδών αναγνώρισης παθογόνων.

Εκτός από τη βελτίωση των ατομικών χαρακτηριστικών, το CRISPR έχει εφαρμογές στον προσδιορισμό του φύλου και τη διαχείριση του πληθυσμού. Τεχνικές όπως η δημιουργία στειρών πληθυσμών μειώνουν τους οικολογικούς κινδύνους που συνδέονται με τα εκτρεφόμενα ψάρια που διαφεύγουν. Παρά τις εξελίξεις αυτές, η τεχνολογία δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Οι επιπτώσεις εκτός στόχου και οι ηθικές ανησυχίες σχετικά με την επεξεργασία γονιδιώματος, ιδίως όσον αφορά την καλή διαβίωση των ζώων και τους οικολογικούς κινδύνους, απαιτούν ισχυρή ρυθμιστική εποπτεία και περαιτέρω έρευνα.

Η κρυοσυντήρηση είναι μια άλλη βασική τεχνολογία, προσφέροντας λύσεις για τη διατήρηση των γενετικών πόρων και την αποτελεσματικότητα της αναπαραγωγής. Διατηρώντας γαμέτες και έμβρυα σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αυτή η τεχνική υποστηρίζει προγράμματα διατήρησης και αναπαραγωγής της βιοποικιλότητας σε όλες τις εποχές και γεωγραφικές περιοχές. Ωστόσο, προκλήσεις όπως η ευαισθησία στην ψύξη και η κρυοπροστατευτική τοξικότητα, ειδικά στα ωάρια και τα έμβρυα, υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχή έρευνα για τη βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων και τη βελτίωση των ποσοστών επιτυχίας.

Η ενσωμάτωση της βιοτεχνολογίας στην υδατοκαλλιέργεια εγείρει βαθιά ηθικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Η δυνατότητα των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών (ΓΤΟ) να διαφύγουν στα φυσικά οικοσυστήματα και να διασταυρωθούν με άγριους πληθυσμούς ενέχει κινδύνους για τη γενετική ακεραιότητα και τη βιοποικιλότητα. Τα ρυθμιστικά πλαίσια τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση αυτών των ανησυχιών, δίνοντας έμφαση στις εκτιμήσεις κινδύνου, την παρακολούθηση και τη συμμετοχή του κοινού. Οι ηθικοί προβληματισμοί επεκτείνονται στην καλή μεταχείριση των ζώων, ιδίως όσον αφορά τη διασφάλιση ότι οι βιοτεχνολογικές παρεμβάσεις δεν θέτουν σε κίνδυνο την υγεία και την καλή διαβίωση των εκτρεφόμενων ειδών.

Το μέλλον της υδατοκαλλιέργειας εξαρτάται από την εξισορρόπηση της τεχνολογικής προόδου με τη βιωσιμότητα. Καινοτομίες όπως η CRISPR/Cas9 και η γονιδιωματική επιλογή έχουν τεράστιες δυνατότητες ενίσχυσης της ανθεκτικότητας και της παραγωγικότητας. Ωστόσο, η διεπιστημονική συνεργασία, η ισχυρή διακυβέρνηση και η περιβαλλοντική διαχείριση είναι απαραίτητες για την ελαχιστοποίηση των οικολογικών επιπτώσεων και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

βιωσιμότητας. Δίνοντας προτεραιότητα στις δεοντολογικές πρακτικές και τη βιωσιμότητα, η υδατοκαλλιέργεια μπορεί να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην αντιμετώπιση των παγκόσμιων προκλήσεων επισιτιστικής ασφάλειας και στη διατήρηση της υδρόβιας βιοποικιλότητας.

Το κεφάλαιο αυτό υπογραμμίζει τον επείγοντα χαρακτήρα της αντιμετώπισης των αλληλένδετων προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής και της βιωσιμότητας της υδατοκαλλιέργειας μέσω καινοτόμων και υπεύθυνων βιοτεχνολογικών λύσεων. Αξιοποιώντας το δυναμικό αυτών των εξελίξεων, ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας μπορεί να συμβάλει στις παγκόσμιες προσπάθειες για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή και την επισιτιστική ασφάλεια.

Βιβλιογραφία

Angilletta, M. J., Steury, T. D., & Sears, M. W. (2004). Temperature, growth rate, and body size in ectotherms: Fitting pieces of a life-history puzzle. *Integrative and Comparative Biology*, 44(6), 498–509. <https://doi.org/10.1093/icb/44.6.498>

Betsy, C. J., C, S., & Sampath Kumar, J. S. (2022). Cryopreservation and its application in aquaculture. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99629>

Blix, T. B., Dalmo, R. A., Wargelius, A., & Myhr, A. I. (2021). Genome editing on finfish: Current status and implications for sustainability. *Reviews in Aquaculture*, 13(4), 2344–2363. <https://doi.org/10.1111/raq.12571>

Chevin, L. M., Lande, R., & Mace, G. M. (2010). Adaptation to climate change: Combining plasticity and evolution in a changing world. *Ecology Letters*, 13(11), 1318–1333. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x>

Durant, J. M., Hjermann, D. Ø., Ottersen, G., & Stenseth, N. C. (2007). Trophic match–mismatch and climate change: Linking phenologies in predator and prey. *Ecology*, 88(8), 2405–2412. <https://doi.org/10.1890/06-2089.1>

Fischer, J. R., Brommer, J. E., Helm, B., & Visser, M. E. (2014). Evolutionary responses of aquatic species to climate change. *Nature Climate Change*, 4, 42–51. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>

Fletcher, G. L., & Rise, M. L. (Eds.). (2012). *Aquaculture biotechnology*. Wiley-Blackwell.

Gjøen, H. M., Refstie, T., Sahara, E., Ruane, N. M., L'Abe-Lund, T. M., & Fjelldal, P. G. (2018). Aquaculture breeding programs for climate resilience. *Aquaculture Reports*, 12, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.02.003>

Hagedorn, M., Hsu, E., Kleinhans, F. W., & Wildt, D. E. (1997). New approaches for studying the permeability of fish embryos: Toward successful cryopreservation. *Cryobiology*, 34(4), 335–347. <https://doi.org/10.1006/cryo.1997.2030>

Heath, M. R., Speirs, D. C., & Steele, J. H. (2014). Climate change and fish growth. *Fish and Fisheries*, 15(3), 319–329. <https://doi.org/10.1111/faf.12025>

Houston, R. D., Bishop, S. C., Hamilton, A., Guy, D. R., Tinch, A. E., Taggart, J. B., McAndrew, B. J. (2018). Selective breeding for disease resistance in aquaculture species: Challenges and progress. *Fisheries Research*, 200, 166–181. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.09.020>

Huntingford, F. A., Turnbull, J. F., Kadri, S., Bergeron, R., Klinger, E., Ruthin, M. L. (2020). The potential of selective breeding for climate resilience in aquaculture species. *Aquaculture*, 525, 735303. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735303>

Yang, Z., Yu, Y., Tay, Y. X., & Yue, G. H. (2022). Genome editing and its applications in genetic improvement in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 178–191. <https://doi.org/10.1111/raq.12591>

Jørgensen, C., Ernande, B., Fiksen, Ø., & Dieckmann, U. (2017). Local adaptation of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to thermal variation. *Journal of Evolutionary Biology*, 30(11), 2435–2446. <https://doi.org/10.1111/jeb.13199>

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Li, M., Dai, S., Liu, X., Xiao, H., & Wang, D. (2021). A detailed procedure for CRISPR/Cas9-mediated gene editing in tilapia. *Hydrobiologia*, 848, 3865–3881. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04524-5>

Lynch, M., & Lande, R. (1993). Evolution and extinction in changing environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(7), 142–144. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90245-Y](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90245-Y)

Liu, Y., et al. (2020). Genomic selection for heat tolerance in rainbow trout: A practical approach. *Journal of Fish Biology*.

O'Reilly, C. M., Alin, S. R., Plisnier, P.-D., Cohen, A. S., & McKee, B. A. (2008). Impacts of climate change on fish populations. *Science*, 319(5865), 183–186. <https://doi.org/10.1126/science.1149477>

Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>

Pörtner, H. O., Langenbuch, M., & Reipschläger, A. (2004). Biological impact of elevated CO₂ in aquatic ecosystems: Lessons from animal physiology and Earth history. *Journal of Oceanography*, 60(4), 705–718. <https://doi.org/10.1007/s10872-004-5763-6>

Tompkins, E. M., White, E. C. & Reeves, A. R. (2017). Effects of warming on fish breeding patterns. *Global Change Biology*, 23(9), 3365–3375. <https://doi.org/10.1111/gcb.13643>

Vázquez, R., Ponzoni, R. W., Nguyen, N. H., & Houston, R. D. (2018). Genomic selection in aquaculture for disease resistance. *Aquaculture International*, 26(1), 65–75. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0192-7>

Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389–395. <https://doi.org/10.1038/416389a>

Wargelius, A., Leininger, S., Skaftnesmo, K. O., Kleppe, L., Andersson, E., Taranger, G. L., Schulz, R. W., & Edvardsen, R. B. (2016). Dnd knockout ablates germ cells and demonstrates germ cell independent sex differentiation in Atlantic salmon. *Scientific Reports*, 6, 21284. <https://doi.org/10.1038/srep21284>

Zhu, M., Sumana, S. L., Abdullateef, M. M., Falayi, O. C., Shui, Y., Zhang, C., Zhu, J., & Su, S. (2024). CRISPR/Cas9 technology for enhancing desirable traits of fish species in aquaculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9299. <https://doi.org/10.3390/ijms25179299>

Κεφάλαιο 4. Μεταβολές στις ζωοτροφές και τη διατροφή στην υδατοκαλλιέργεια λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη

Καθηγητής Ergün Demir, MD

Επίκουρος Καθηγητής Δρ Muhittin Zengin

Πανεπιστήμιο Balıkesir

Εισαγωγή

Η υδατοκαλλιέργεια είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους γεωργικούς τομείς παγκοσμίως και είναι όλο και πιο σημαντική για την παραγωγή βιώσιμης και υγιεινής διατροφής με σχετικά χαμηλές κλιματικές επιπτώσεις. Η ιχθυοκαλλιέργεια προβλέπεται να αυξηθεί κατά 32% έως το 2030 (FAO, 2020). Οι δυνάμεις της αγοράς συμφωνούν ότι η ενθάρρυνση της ανάπτυξης της ευρωπαϊκής υδατοκαλλιέργειας είναι ο μόνος βιώσιμος τρόπος για να ικανοποιηθεί η ζήτηση για αύξηση της προσφοράς ιχθύων. Ωστόσο, είναι δύσκολο να επιτευχθεί βιώσιμη παραγωγή που θα συμβάλει στην υγιεινή διατροφή, θα επιτύχει τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης και θα στοχεύσει στο Net Zero (Messeder, 2021). Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, εκτιμάται ότι η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών προβλέπεται να μειωθεί (Cheung et al., 2023). Η έλλειψη ζωοτροφών και συστατικών ζωοτροφών υψηλής ποιότητας και η ασφάλεια και ποιότητα των υδρόβιων προϊόντων δημιουργούν πολλά προβλήματα για τη βιώσιμη ανάπτυξη αυτού του τομέα (Ma and Hu., 2023).

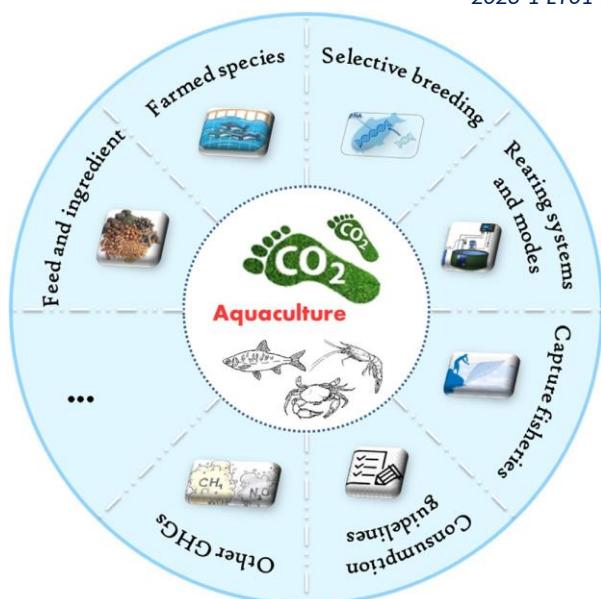
Η ιχθυοκαλλιέργεια δημιουργεί 250 εκατομμύρια τόνους ισοδυνάμων CO₂ ετησίως παγκοσμίως (MacLeod et al., 2020). Η εκτροφή σολομού παράγει 10 εκατομμύρια τόνους ισοδυνάμου CO₂ ετησίως. Οι ζωοτροφές ευθύνονται κατά μέσο όρο για το 75% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) σολομού που παράγεται στη Νορβηγία (Ziv-Douki, 2020). Σε σύγκριση με τη ζωική παραγωγή, ειδικά το βόειο κρέας, η παραγωγή θαλασσινών έχει χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα.

Οι αλλαγές στη θερμοκρασία προκαλούν κακή ανάπτυξη και επιβίωση των ειδών κρύου νερού, επιδείνωση της ποιότητας του νερού, εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα των ειδών ψυχρού νερού, εξασθενημένη ικανότητα καταβόθρας άνθρακα των ωκεανών και αυξημένη λοιμογόνο δύναμη των παθογόνων θερμότερων υδάτων. Δεδομένου ότι οι ζωοτροφές συμβάλλουν σημαντικά στο αποτύπωμα άνθρακα της υδατοκαλλιέργειας, θα πρέπει να στοχεύονται σημαντικές μειώσεις εκπομπών στην παραγωγή ζωοτροφών (Σχήμα 4.1) (Zhang et al., 2024).



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Σχήμα 4.1. Τομείς παρέμβασης για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην υδατοκαλλιέργεια (προσαρμογή από Zhang et al., 2024).

1. Μεταβολές στη διατροφική φυσιολογία

1.1 Θερμοκρασία και μεταβολισμός

Η υδατοκαλλιέργεια είναι εγγενώς πιο ευαίσθητη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής λόγω της μεγάλης εξάρτησής της από το περιβάλλον. Η υπερθέρμανση του πλανήτη αυξάνει τις θερμοκρασίες του νερού, γεγονός που μπορεί να αυξήσει τους μεταβολικούς ρυθμούς των ειδών υδατοκαλλιέργειας, απαιτώντας αλλαγές στη σύνθεση των ζωοτροφών για την κάλυψη των αυξημένων διατροφικών απαιτήσεων (Reid et al., 2019). Οι βασικές ενεργειακές απαιτήσεις των ψαριών, τα οποία είναι ποικιλόθερμα ζώα, επηρεάζονται άμεσα από τη θερμοκρασία του νερού. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται ο τυπικός μεταβολικός ρυθμός τους και το ίδιο συμβαίνει και με τις ενεργειακές και πρωτεϊνικές απαιτήσεις συντήρησης. Επιπλέον, ο βαθμός στον οποίο οι θερμοκρασίες εντός του βέλτιστου εύρους επηρεάζουν το βασικό μεταβολισμό ποικίλλει ανάλογα με το είδος. Οι κλιματικές αλλαγές αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους παράγοντες πίεσης στην υδατοκαλλιέργεια.

1.2. Πέψη και απορρόφηση θρεπτικών ουσιών

Οι μεταβολές του μεταβολικού ρυθμού που προκαλούνται από τη θερμοκρασία επηρεάζουν όχι μόνο την ενέργεια της διαίτας αλλά και τον λόγο απόδοσης της τροφής (FER, κέρδος/τροφή) ή τον λόγο μετατροπής της τροφής (FCR, τροφή/κέρδος). Μια διαφορά θερμοκρασίας νερού μερικών βαθμών μπορεί να προκαλέσει μεγάλες διαφορές στη μετατροπή της τροφής σε ορισμένα είδη (Siikanen et al., 2012). Οι αλλαγές FCR που προκαλούνται από αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού μπορεί επίσης να προκαλέσουν αλλαγές στην πεπτικότητα ορισμένων κατηγοριών θρεπτικών συστατικών, όπως τα λιπαρά οξέα στα σολομοειδή (Huguet et al., 2015). Από την άλλη, μπορεί να ειπωθεί ότι η επίδραση της θερμοκρασίας του νερού στην πεπτικότητα των θρεπτικών ουσιών στα υδρόβια ζώα

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

είναι γενικά ελάχιστη. Από αυτή την άποψη, μελέτες που διεξήχθησαν με σολομό έχουν δείξει ότι η πεπτικότητα των πρωτεϊνών και των λιπιδίων μπορεί να παρουσιάσει μικρές αλλαγές με τη θερμοκρασία (Amin et al. 2014). Μερικές μελέτες δείχνουν ότι ο «εντερικός χρόνος διέλευσης των ζωοτροφών» μπορεί να επηρεαστεί από θερμότερο νερό ανάλογα με το είδος. Μελέτες τονίζουν ότι οι υψηλές θερμοκρασίες του νερού θα έχουν ελάχιστη επίδραση στη θρεπτική ή ενεργειακή πεπτικότητα των υδρόβιων ζώων μέχρι να ξεπεραστεί το βέλτιστο εύρος (Reid et al., 2019).

Πρόσληψη τροφής και μεταβολικός ρυθμός

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και οι επακόλουθες κλιματικές αλλαγές οδηγούν σε θέρμανση και οξίνιση των υδάτινων σωμάτων, αλλαγές στις βροχοπτώσεις και τα πρότυπα ανέμου και, συνεπώς, επηρεάζουν τα ρεύματα νερού, τις αναταράξεις και τη θολότητα. Αυτές οι αλλαγές προκαλούν αλλαγές στη διατροφή και το ενδοκρινικό σύστημα στα υδρόβια ζώα (Nadernann et al., 2019). Οι κλιματικές αλλαγές και οι αλλαγές στο υδάτινο περιβάλλον που προκαλούνται από την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου στην ατμόσφαιρα μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη φυσιολογία και τη συμπεριφορά των ψαριών, καθώς και τη διατροφή και τον ενδοκρινικό έλεγχο της σίτισης (Ahmed et al., 2019; Volkoff, 2019).

Τα ψάρια, που είναι εκτόθερμα πλάσματα, είναι πολύ ευαίσθητα στις αλλαγές της θερμοκρασίας του νερού. Οι αυξήσεις στη θερμοκρασία του νερού αυξάνουν την κατανάλωση οξυγόνου και τους μεταβολικούς ρυθμούς και, κατά συνέπεια, τις ενεργειακές απαιτήσεις (Sandblom et al., 2014). Αν και αυτές οι αλλαγές ποικίλλουν ανάλογα με το είδος, η πρόσληψη τροφής αυξάνεται με μέτριες αυξήσεις θερμοκρασίας στα ψάρια (Sharma et al., 2017). Μελέτες δείχνουν ότι οι αυξήσεις του CO₂ και το χαμηλό pH του νερού μειώνουν την πρόσληψη τροφής στα ψάρια και διαταράσσουν την ικανότητά τους να αντιλαμβάνονται χημικά σήματα και τρόφιμα διαταράσσοντας την αίσθηση της όσφρησης (Porteus et al., 2018). Δεδομένου ότι τα ψάρια απαιτούν αυξημένες μυϊκές κινήσεις για να διατηρήσουν την ισορροπία σε ταραγμένα νερά, τα ψάρια αυξάνουν επίσης την ενέργειά τους και οι συνθήκες χαμηλής ορατότητας επηρεάζουν επίσης αρνητικά τη διατροφή των ψαριών.

Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη μικροχλωρίδα ή το μικροβίωμα των ψαριών

Η μορφολογία του πεπτικού συστήματος των ψαριών έχει άμεση επίδραση στην πεπτική ικανότητα και την ανοσολογική κατάσταση των ψαριών, αλλά είναι επίσης ευάλωτα στο θερμικό στρες, το οποίο επηρεάζει την υγεία τους (Geda et al., 2012). Είναι γνωστό ότι το θερμικό στρες μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στις λάχνες και στην περιοχή απορρόφησης στο πεπτικό σύστημα διαφόρων ζωικών ειδών όπως οι χοίροι και τα κοτόπουλα. Ωστόσο, οι επιδράσεις του θερμικού στρες στη μορφολογία των εντέρων των ψαριών δεν είναι πλήρως κατανοητές. Η μικροχλωρίδα του εντέρου αλληλεπιδρά γενικά με το έντερο του ξενιστή με πολύπλοκο τρόπο και συμμετέχει σε όλες σχεδόν τις φυσιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένου του μεταβολισμού και της ανοσίας (Gardiner et al., 2020; Yadav and Jha, 2019) και είναι ευαίσθητο στις αλλαγές θερμοκρασίας. Η αυξημένη θερμοκρασία του νερού έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί μείωση των ευεργετικών βακτηρίων γαλακτικού οξέος και αύξηση του δυνητικά επικίνδυνου *Vibrio* spp. στον σολομό του Ατλαντικού (*Salmo salar*) (Amin et al., 2016). Ωστόσο, οι επιδράσεις του θερμικού στρες στη μικροχλωρίδα του εντέρου φαίνεται να είναι συγκεκριμένες για κάθε είδος.

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Το μικροβίωμα αναγνωρίζεται ευρέως ως σημαντικό συστατικό για τη διατήρηση της συνολικής υγείας των ψαριών, όπως υποστηρίζεται από πολυάριθμες μελέτες (Legrand et al., 2020). Η θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός μη βιολογικός παράγοντας που επηρεάζει τη φυσιολογική κατάσταση των ζώων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τους υδρόβιους οργανισμούς, όπου η θερμοκρασία του σώματος ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού (Sepulveda and Moeller, 2020). Το άγχος μπορεί να διαταράξει την εντερική μικροβιακή δομή και έτσι να επηρεάσει το φυσιολογικό και ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών (Blacher et al., 2017). Εκτός από την αλλαγή της δομής της εντερικής μικροχλωρίδας, η θερμοκρασία μπορεί επίσης να επηρεάσει τον μεταβολισμό του ξενιστή και να οδηγήσει σε αλλαγές στον φαινότυπο (Guillen et al., 2019). Οι Trinh et al. (2017) βρήκαν σημαντικές διαφορές στην εντερική μικροχλωρίδα των νεαρών ψαριών με διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης και πρότειναν ότι η μικροχλωρίδα μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό ανάπτυξης των νεαρών ψαριών ενισχύοντας τα κέρδη του ενεργειακού μεταβολισμού. Οι Rimoldi et al. (2020) έδειξαν ότι η κυρίαρχη εντερική μικροχλωρίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κατάστασης υγείας του ευρωπαϊκού λαβρακιού.

2. Βιώσιμα συστατικά ζωοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια

Η υδατοκαλλιέργεια θα μπορούσε να παράγει ζωικές πρωτεΐνες με χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την χερσαία κτηνοτροφία (Hilborn et al., 2018). Ως εκ τούτου, η υδατοκαλλιέργεια είναι ένας πιο φιλικός προς το κλίμα τομέας παραγωγής πρωτεϊνών από άλλους τύπους ζώων (NOAA Fisheries, 2022). Οι ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας χρησιμοποιούν περισσότερο από το 70% των παγκόσμιων ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων (FMFO). Σε παγκόσμιο επίπεδο, από τους περίπου 30 εκατομμύρια τόνους μικρών ψαριών που αλιεύονται στον ωκεανό κάθε χρόνο, περίπου 17 εκατομμύρια τόνοι χρησιμοποιούνται σε ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας (Cottrell et al., 2020). Έτσι, η χρήση εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών για ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας μπορεί να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας, παράγοντας ενδεχομένως οικονομικά αποδοτικότερες ζωοτροφές και αναπτύσσοντας έναν ανταγωνιστικό τομέα. Οι εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης, όπως τα άλγυρα εντόμων, δεν είναι καινούργιες, αλλά οι πρόσφατες επενδύσεις σε αυτόν τον τομέα τον φέρνουν πιο κοντά στο να είναι έτοιμος για την αγορά. Ένα καλό παράδειγμα αυτού είναι οι νέες πρωτοβουλίες που δρομολογήθηκαν για να βοηθήσουν τους εκτροφείς σολομού να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα κατά 30% έως το 2030. Άλλες πηγές ζωοτροφών, ιδίως φύκια/φύκια, θα πρέπει να αναπτυχθούν περαιτέρω. Η εξερεύνηση των βιομηχανικών ζωοτροφών που βασίζονται στη βιοτεχνολογία είναι ένας άλλος αναδυόμενος τομέας. Η εξώθηση αυξάνει την πεπτικότητα και την απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών στις ζωοτροφές (Zhang et al., 2024).

2.1. Εναλλακτικές πηγές ζωοτροφών/πρωτεϊνών

Στην ΕΕ, η παραγωγή πρωτεϊνών πρέπει να διπλασιαστεί έως το 2050. Ωστόσο, δεδομένου ότι η ΕΕ δεν είναι αυτάρκης στην παραγωγή πρωτεϊνών, εισάγεται περίπου το 70% των πρωτεϊνών ζωοτροφών. Ως εκ τούτου, η ΕΕ πρέπει να βρει βιώσιμες εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών που μπορούν να παραχθούν οικονομικά σε ποσότητες που θα καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση της βιομηχανίας τροφίμων και ζωοτροφών (Smárason, 2023). Η βιωσιμότητα των πόρων ζωοτροφών για

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

την υδατοκαλλιέργεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα ποιοτικών συστατικών ζωοτροφών, όπως το FMFO. Αυτά τα παραδοσιακά συστατικά ζωοτροφών βρίσκονται υπό αυξανόμενη πίεση λόγω της ταχείας επέκτασης της υδατοκαλλιέργειας για ανθρώπινη κατανάλωση, της μείωσης των αλιευόμενων ψαριών και της κλιματικής αλλαγής (Idenyi et al., 2022).

Περισσότερο από το 90% των αερίων του θερμοκηπίου στην υδατοκαλλιέργεια παράγονται από τις χρησιμοποιούμενες ιχθυοτροφές. Η προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ζωοτροφών σε ιχθυοκαλλιέργειες χρησιμοποιώντας νέα βιο-υλικά για την επίτευξη των στόχων της κλιματικής αλλαγής (Tait, 2021). Σήμερα, περίπου το 70% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας κατά βάρος εξαρτάται από την παροχή εξωτερικών εισροών ζωοτροφών. Η κατάσταση αυτή αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τη μελλοντική βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας, η οποία απαιτεί την ανάπτυξη εναλλακτικών συστατικών ζωοτροφών (Reid et al., 2019).

Η περιορισμένη και φθίνουσα παγκόσμια αλιεία προκαλεί μείωση της παγκόσμιας παραγωγής ιχθυαλεύρων (περίπου 5 εκατομμύρια τόνοι ετησίως) και ιχθυελαίων (περίπου 1 εκατομμύριο τόνοι ετησίως). Επειδή το 60-80% αυτού του ιχθυάλευρου και περίπου το 70-80% του ιχθυελαίου χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια (FAO, 2022). Λαμβάνοντας υπόψη την αυξανόμενη ζήτηση για FMFO που προκύπτει από τη συνεχώς αναπτυσσόμενη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας, είναι επιτακτική ανάγκη να βρεθούν κατάλληλα υποκατάστατα για FMFO για βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια.

Ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια (FMFO) ως κύρια συστατικά ζωοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια

Η υδατοκαλλιέργεια είναι βασικά μια γραμμή παραγωγής που χρησιμοποιεί είδη «τροφής» όπως γαρίδες, λαβράκι και σολομό και είδη «μη ταϊσμένα» όπως ασημένιος κυπρίνος, φύκια, στρείδια. Παραδοσιακά, η τροφοδοτούμενη υδατοκαλλιέργεια βασιζόταν σε ιχθυοτροφές που περιείχαν υψηλά επίπεδα FMFO (Froehlich et al., 2018). Ωστόσο, η χρήση FMFO θεωρείται κορυφαίος μη βιώσιμος παράγοντας στην υδατοκαλλιέργεια, επειδή αυξάνει την πίεση στα ιχθυαποθέματα και διαταράσσει την ισορροπία των υδρόβιων τροφικών ιστών (Hua et al., 2019). Η εξάρτηση της υδατοκαλλιέργειας από ιχθυοτροφές συνιστά απειλή για τη θαλάσσια βιοποικιλότητα και την επισιτιστική ασφάλεια. Όπως είναι γνωστό, η κλιματική αλλαγή και το Ελ Νίνιο επηρεάζουν αρνητικά πολλές φυσικές πηγές υδρόβιων τροφίμων, ειδικά το φυτοπλαγκτόν. Για τους λόγους αυτούς, η ποσότητα FMFO που χρησιμοποιείται στις υδρόβιες ζωοτροφές μειώνεται με την πάροδο των ετών. Ένα άλλο πρόβλημα που προκαλείται από τα ιχθυάλευρα είναι η αυξημένη συσσώρευση βαρέων μετάλλων, χημικών ουσιών και μικροπλαστικών στα θαλάσσια ψάρια (Hanachi et al., 2019).

Φυτικές ζωοτροφές/έλαια και περιβαλλοντικές προκλήσεις

Τα τελευταία χρόνια, οι παραγωγοί ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας στρέφονται σε γεωργικά προϊόντα, όπως η σόγια, το καλαμπόκι και η ελαιοκράμβη, αντί του FMFO. Η χρήση διαγονιδιακών σπόρων, νερού, φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων στην παραγωγή αυτών των προϊόντων επηρεάζει αρνητικά την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Ως εκ τούτου, η αντικατάσταση των συστατικών FMFO με συστατικά χερσαίων προϊόντων φαίνεται να απέχει πολύ από την επίτευξη του στόχου της

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ύπαρξης μηδενικού αποτυπώματος άνθρακα. Έχουν επίσης χαμηλή ποιότητα θρεπτικών συστατικών, πεπτικότητα και ανεπάρκεια αμινοξέων όπως λυσίνη, θρεονίνη και τρυπτοφάνη. Για το λόγο αυτό, δεν είναι ακόμα δυνατή η αντικατάσταση της πρωτεΐνης ιχθυάλευρου με φυτική πρωτεΐνη. Δεδομένου ότι τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα συνθετικά αμινοξέα που προστίθενται στη ζωοτροφή σε επαρκείς ποσότητες, περισσότερα μεταβολικά απόβλητα N απελευθερώνονται στο περιβάλλον και αυτό δημιουργεί περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα PUFA μακράς αλυσίδας, όπως το δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA) και το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA), είναι τα κύρια περιοριστικά λιπαρά οξέα στα χερσαία φυτικά έλαια. Ομοίως, τα φυτικά συστατικά ζωοτροφών περιέχουν αντιθρεπτικά συστατικά που μπορούν να αλλάξουν τη δομή των ευεργετικών βακτηρίων στο πεπτικό σύστημα του ξενιστή και να επηρεάσουν αρνητικά τον μεταβολισμό (Idenyi et al., 2022). Ένα άλλο πρόβλημα με τις φυτικές τροφές είναι ότι περίπου το 70% του φωσφόρου σε αυτές δεσμεύεται να φυτικό άλας, δημιουργώντας ένα δυναμικό ευτροφισμού και επίσης να μειώσει την πεπτικότητα των πρωτεϊνών και να αυξήσει την απέκκριση του N.

Υποπροϊόντα ως τροφή στην υδατοκαλλιέργεια

Υποπροϊόντα μεταποίησης ιχθύων

Κάθε χρόνο, οι απορρίψεις από την παγκόσμια αλιεία αντιπροσωπεύουν ποσό ισοδύναμο με το 25% της συνολικής παραγωγής θαλάσσιας αλιείας. Η ποσότητα αυτή υπερβαίνει τα 20 εκατομμύρια τόνους παγκοσμίως και τα 5 εκατομμύρια τόνους ετησίως στην ΕΕ (Shahin et al., 2023). Περίπου το 25-35% των ιχθυαλεύρων προέρχεται από υποπροϊόντα επεξεργασίας ψαριών και περίπου το 70% προέρχεται από την αλιεία. Η συλλογή υποπροϊόντων μεταποίησης ιχθύων γενικά δεν θεωρείται οικονομικά βιώσιμη λόγω υλικοτεχνικών και τεχνικών περιορισμών (Sarker 2023).

Η σημαντικότερη μέθοδος διάθεσης αυτών των υποπροϊόντων είναι η χρήση τους σε σκευάσματα ζωοτροφών ζωικών ειδών και ειδών υδατοκαλλιέργειας. Σύμφωνα με τον κανονισμό 1069/2009 της ΕΕ, τα υποπροϊόντα ψαριών και υδατοκαλλιέργειας αποτελούν μέρος των υποπροϊόντων της κατηγορίας 3, τα οποία επιτρέπεται να περιλαμβάνονται στη διατροφή των ζώων προκειμένου να συμβάλλουν υπεύθυνα στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία (Gasco et al., 2020). Τα απορριπτόμενα υποπροϊόντα αλιείας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή FMFO (Li et al., 2019). Η ενζυματική υδρόλυση των αλιευτικών αποβλήτων είναι μια άλλη τεχνική για την επεξεργασία αποβλήτων σε προϊόντα υδρόλυσης πρωτεϊνών ψαριών (Gasco et al., 2020).

Σε μια μελέτη (Warwas, 2023) τρία διαφορετικά υποπροϊόντα επεξεργασίας ψαριών (φιλέτα και γαρνιτούρες) χρησιμοποιήθηκαν σε τροφές ιριδίζουσας πέστροφας χωρίς διαχωρισμό των κλασμάτων λίπους και πρωτεΐνης και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το αν τα υποπροϊόντα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως άμεσα συστατικά εξαρτάται από τις συνθήκες αποθήκευσης και την επεξεργασία. Η συμπερίληψη 50% φρέσκων τριμμάτων γαύρου στη ζωοτροφή, αύξησε την ανάπτυξη και την πρόσληψη τροφής και την καλή εντερική υγεία. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης μειονεκτήματα από τη χρήση αυτών των υποπροϊόντων, όπως οι τιμές πρωτεϊνών και απαραίτητων αμινοξέων, τα προβλήματα υγιεινής, η διάρκεια ζωής του προϊόντος και η απαγόρευση που επιβάλλεται από τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 της ΕΕ, εμποδίζοντας τη χορήγηση αυτών των υποπροϊόντων στα ίδια είδη υδατοκαλλιέργειας (Gasco et al., 2020).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Σπατάλη τροφίμων

Τα απόβλητα τροφίμων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως πηγή πρωτεΐνης στην παραγωγή ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας (Shahin et al., 2023). Τα απόβλητα τροφίμων περιλαμβάνουν ωμά και μαγειρεμένα υλικά τροφίμων και ανακυκλωμένα υπολείμματα τροφίμων. Είναι γνωστό ότι παράγονται ετησίως περίπου 1,5 δισεκατομμύρια τόνοι ανθρώπινων υπολειμμάτων τροφίμων, που αντιστοιχούν περίπου στο 1/3 της συνολικής ετήσιας ανθρώπινης παραγωγής τροφίμων. Αν και δεν είναι κατάλληλα για όλα τα είδη υδατοκαλλιέργειας, αυτά τα απόβλητα τροφίμων έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για ορισμένα παμφάγα είδη όπως η τιλάπια (Nasser et al., 2018) και άλλα είδη χαμηλού τροφικού επιπέδου, όπως ο κυπρίνος και ο κέφαλος (Mo et al., 2014). Ωστόσο, στο πλαίσιο της αρχής της «προφύλαξης» που εφαρμόζεται στην πολιτική της ΕΕ για την ασφάλεια των τροφίμων, δεν επιτρέπεται η χρήση απορριμμάτων τροφίμων για ψάρια τροφίμων ή αναπτυσσόμενα έντομα (Fowles and Nansen, 2020).

Μονοκύτταροι οργανισμοί / πρωτεΐνες

Μικροοργανισμοί όπως *μικροφύκη*, *φύκια* (*μακροφύκη*), *ζύμες*, *μύκητες*, *βακτήρια* και άλλα εναλλακτικά συστατικά αποτελούν σημαντικό δυναμικό στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας λόγω των πηγών πρωτεϊνών/αμινοξέων, λιπιδίων ή ωμέγα-3. Με την αυξανόμενη χρήση αυτών των μικροοργανισμών στην υδατοκαλλιέργεια μαζί με τις τεχνολογικές καινοτομίες, θα είναι επίσης δυνατή η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας (Sarker, 2023). Αυτές οι SCO μπορούν να θεωρηθούν βιώσιμη πηγή ζωοτροφών επειδή αναπτύσσονται γρήγορα, χρησιμοποιούν πολύ λίγο γλυκό νερό και δεν απαιτούν γεωργική γη για την αναπαραγωγή τους (Albrektsen et al., 2022).

Μιροφύκη (φυτοπλαγκτό)

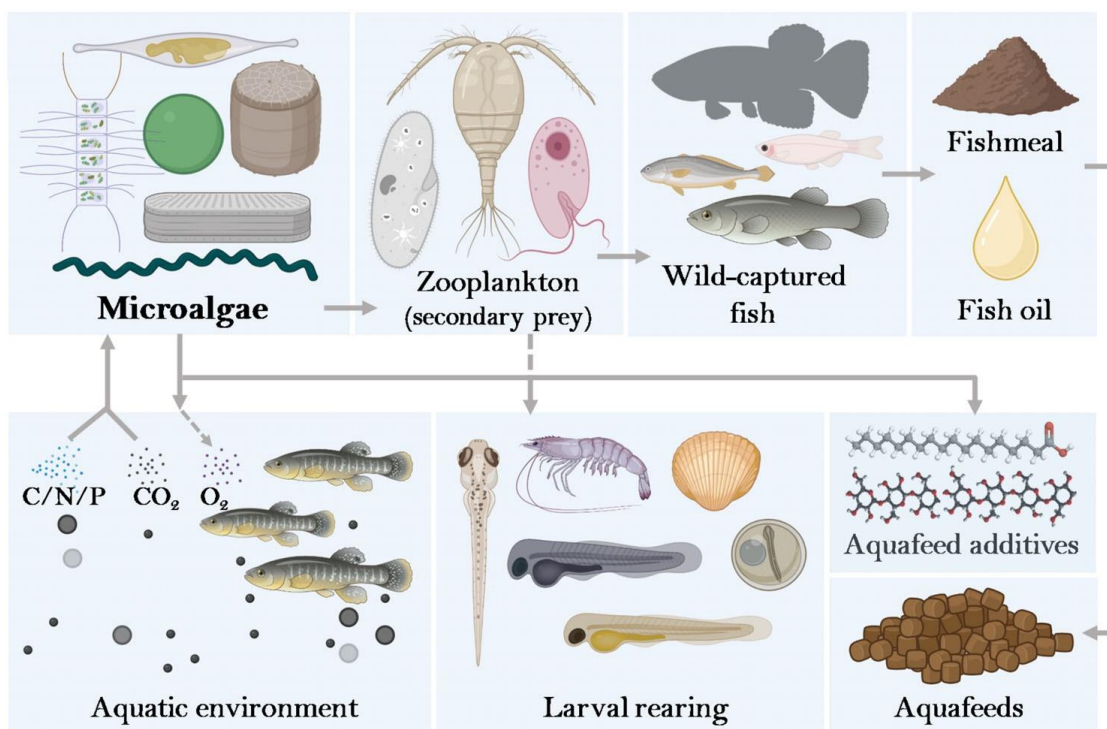
Στην υδατοκαλλιέργεια, τα μικροφύκη διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο λόγω τόσο των επιπτώσεών τους στο υδάτινο περιβάλλον όσο και του ρόλου τους ως πηγής θρεπτικών συστατικών (Σχήμα 4.2) (Wu & Hu, 2023). Τα είδη μικροφυκών αποτελούν λιγότερο από το 1% της φωτοσυνθετικής βιομάζας της Γης, αλλά συμβάλλουν περίπου στο 50% της παγκόσμιας βιογενούς δέσμευσης του άνθρακα (Field et al., 1998). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός του φυτοπλαγκτού ανανεώνεται κατά μέσο όρο κάθε 2 έως 6 ημέρες (Behrenfeld et al., 2006). Επιπλέον, τα μικροφύκη είναι πλούσια σε ωμέγα-3 PUFA, καροτενοειδή, απαραίτητα αμινοξέα, β-1-3-γλυκάνη, μέταλλα και βιταμίνες.

Η πρωτεΐνη και το έλαιο μικροφυκών έχουν επίσης τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν το FMFO στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας. Η περιεκτικότητα σε ακατέργαστες πρωτεΐνες στα μικροφύκη είναι σε επίπεδα 50-70% (Nagappan et al., 2021; Ma and Hu, 2023). Δεδομένου ότι τα μικροφύκη μπορούν να συνθέσουν όλα τα αμινοξέα *de novo*, τα προφίλ αμινοξέων τους ήταν καλά ισορροπημένα για τις ζωοτροφές υδρόβιων ζώων (Becker et al., 2013). Η συνολική περιεκτικότητα των μικροφυκών σε λιπίδια μπορεί να φτάσει έως και 45-60% σε βάρος ξηρών κυττάρων (Ahmad et al., 2022). Επειδή τα μικροφύκη έχουν την ικανότητα να συνθέτουν *de novo* ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, τα οποία μπορούν επίσης να καλύψουν τις απαιτήσεις της υδατοκαλλιέργειας σε λιπαρά οξέα.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Με την έναρξη της παραγωγής μικροφυκών σε βιομηχανική κλίμακα, η χρήση τους στις ζωτροφές υδατοκαλλιέργειας έχει επιταχυνθεί. Μεταξύ των θαλάσσιων μικροφυκών, *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis sp.* και *Schizochytrium sp.* θεωρούνται πολλά υποσχόμενες στις ζωτροφές υδατοκαλλιέργειας. Αναφέρεται ότι η *Isochrysis sp.* Τα μικροφύκη μπορούν να είναι μια καλή εναλλακτική λύση για το FMFO σε δίαιτες ιριδίζουσας πέστροφας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συμπληρώματα ωμέγα-3 και DHA σε δίαιτες (Sarker et al., 2020). Πρόσφατα, ορισμένες εταιρείες ζωτροφών υδατοκαλλιέργειας άρχισαν να παράγουν έλαιο πλούσιο σε DHA από *Schizochytrium sp.* για ζωτροφές σολομού (Tocher et al., 2020). Το σημερινό εξαιρετικά υψηλό κόστος παραγωγής μικροφυκών εμποδίζει την ευρεία χρήση τους στην υδατοκαλλιέργεια σήμερα (Nagappan et al., 2021).



Σχήμα 4.2. Ο ρόλος των μικροφυκών στην υδατοκαλλιέργεια ([Biorender.com](https://www.biorender.com) (Wu & Hu, 2023).

Φύκια (μακροφύκη)

Σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας φυκιών (δηλαδή μακροφυκών) αξίζει πάνω από 11 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ. Σήμερα, περισσότερο από το 99% της καλλιέργειας φυκιών πραγματοποιείται στην Ασία, με αυξανόμενη ανάπτυξη στην Αφρική (FAO, 2020). Η πλειοψηφία των φυκιών που παράγονται είναι ιαπωνικά φύκια (ιαπωνικά *wakame*) και χρησιμοποιούνται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Τα τελευταία χρόνια, τα φύκια έχουν αποκτήσει σημασία λόγω της δυνατότητας βιοαποκατάστασης, η οποία παρέχει μια εξαιρετικά βιώσιμη παραγωγή. Η περιεκτικότητα των φυκιών σε θρεπτικά συστατικά ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο των φυκιών, όπως κόκκινα, πράσινα και καφέ, και την εποχή, με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες 6-38% στα κόκκινα φύκια, 3-35% στα πράσινα φύκια και 2-17% στα καφέ φύκια. Τα επίπεδα λιπιδίων κυμαίνονται επίσης από <1-13%, <1-3% και <1-10%,

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αντίστοιχα (Nagappan et al., 2021). Η πλειοψηφία των ειδών έχουν πρωτεΐνες πλούσιες σε απαραίτητα αμινοξέα και περιέχουν υψηλές ποσότητες απαραίτητων ωμέγα-3 HUFAs και PUFA. Η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες είναι συνήθως το μεγαλύτερο συστατικό (15-65%), ανάλογα με το είδος (Nagappan et al., 2021). Η ποσότητα των ακατέργαστων ινών, δηλαδή του πολυσακχαρίτη, κυμαίνεται μεταξύ 25-75% του ξηρού βάρους της και δεν μπορεί να αφομοιωθεί εύκολα από σαρκοφάγα είδη.

Γενικά, αναφέρεται ότι όταν ολόκληρα φύκια προστίθενται στις ιχθυοτροφές σε χαμηλό ποσοστό (<10%) αντί για ιχθυάλευρο, υπάρχουν βελτιώσεις στην απόδοση ανάπτυξης και τη χρώση των ψαριών (Ragaza et al., 2021). Ωστόσο, όταν χρησιμοποιείται πάνω από 10%, η απόδοση ανάπτυξης και η πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών επηρεάζονται αρνητικά (Qiu et al., 2018). Προκειμένου τα φύκια να αντικαταστήσουν τα ιχθυάλευρα ως εναλλακτική πηγή, θα πρέπει να υποβληθούν σε βιοεξευγενισμό προκειμένου να απομονωθούν και να εμπλουτιστεί η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες (Aasen et al., 2022). Η ζύμωση προτείνεται επίσης ως μια άλλη πολλά υποσχόμενη διαδικασία βιοεξευγενισμού για φύκια (Ang et al., 2021). Αυτές οι ισχύουσες διαδικασίες βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη και οι ισχύοντες κανονισμοί της ΕΕ (κανονισμός ΕΕ 68/2013) επιτρέπουν μόνο τη χρήση βιομάζας φυκιών που παράγεται με ξήρανση και άλεση ως συστατικό ζωοτροφών χωρίς ειδική έγκριση.

Ζύμες

Οι ζύμες θεωρούνται ως εναλλακτική πηγή τροφής για την υδατοκαλλιέργεια λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε ακατέργαστες πρωτεΐνες (30-60%). Στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρωτεϊνικά συστατικά κυρίως *Saccharomyces cerevisiae*, διάφορα *Aspergillus* και *Fusarium venenatum*, καθώς και άλλα στελέχη όπως *Candida utilis*, *Candida*, *Hansenula*, *Pichia*, *Torulopsis* και *Kluyveromyces marxianus* (Jones et al., 2020; Glencross κ.ά., 2020). Οι ζυμομύκητες, κυρίως *Saccharomyces cerevisiae*, έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα παράγοντας ευεργετική ανοσοδιεγερτική δράση, κυρίως όταν αντικαθιστούν εν μέρει το ιχθυάλευρο στη διατροφή του σολομού. Η θαλάσσια μαγιά (*C. sake*) περιέχει 55% πρωτεΐνη και σημαντικά επίπεδα ωμέγα-3 λιπαρών οξέων. Επιπλέον, η αφομοιωσιμότητα του *C. sake* στην ιριδίζουσα πέστροφα είναι επίσης υψηλή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σκευάσματα διατροφής έως και 20% του συνολικού περιεχομένου χωρίς να προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις (Warwas, 2023).

Βακτήρια

Τα βακτήρια έχουν το πλεονέκτημα ότι αναπτύσσονται γρήγορα σε οργανικά υποστρώματα όπως μεθάνιο, μεθανόλη, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και σάκχαρα (Matassa et al., 2020). Ορισμένα βακτηριακά στελέχη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πολύ υψηλών περιεκτικοτήτων ακατέργαστων πρωτεϊνών (περίπου 60% έως 82% του βάρους των ξηρών κυττάρων) και απαραίτητων επιπέδων αμινοξέων (Ritala et al., 2016). Ένα βακτηριακό γεύμα περιέχει έως και 80% ακατέργαστη πρωτεΐνη (μέσος όρος = 60%) και περίπου 10% λίπος, παρόμοιο με το ιχθυάλευρο (Albrektsen et al., 2022). Πρόσφατα, η συμπερίληψη μωβ βακτηρίων χωρίς θείο, όπως το *Rhodopseudomonas palustris* και το *Rhodobacter capsulatus*, μια νέα αναδυόμενη πηγή μικροβιακής πρωτεΐνης, βρέθηκε ότι βελτιώνει την απόδοση ανάπτυξης, την αναλογία μετατροπής τροφής και την

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αντοχή σε ασθένειες και στρες στις γαρίδες (Alloul et al., 2021). Επιπλέον, αυτά τα μωβ φωτοτροφικά βακτήρια που παράγονται χρησιμοποιώντας λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποσότητες έως και 66% ιχθυάλευρων σε δίαιτες λαβρακιού χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στην απόδοση των ψαριών (Delamare-Deboutteville et al., 2019).

Αν και οι βακτηριακές πρωτεΐνες είναι ελκυστικές για μελλοντικές ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας, αντιμετωπίζουν δυσκολίες όπως το κόστος παραγωγής και η παγκόσμια υιοθέτησή τους ως ιχθυοτροφές (Sarker et al., 2023).

Έντομα στη διατροφή υδατοκαλλιέργειας

Η βιομηχανία ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας αναζητά εναλλακτικές λύσεις για το FMFO. Στο πλαίσιο αυτό, τα έντομα μπορούν να αποτελέσουν βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης για την υδατοκαλλιέργεια που χρησιμοποιεί απόβλητα τροφίμων. Έχει διαπιστωθεί ότι τουλάχιστον 16 από τα περίπου 1 εκατομμύριο γνωστά είδη εντόμων στον κόσμο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης στην υδατοκαλλιέργεια (Guerreiro et al., 2020). Οκτώ από τα είδη εντόμων έχουν δείξει πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα (Alfiko et al., 2022). Μεταξύ αυτών, τα είδη εντόμων όπως ο μεταξοσκώληκας (*Bombyx mori*), η *Hermetia illucens*, η *Musca Domestica*, η *Tenebrio molitor* και οι γρύλοι είναι τα πιο σημαντικά. Αναφέρεται ότι αυτά τα είδη εντόμων έχουν υψηλή ακατέργαστη πρωτεΐνη που κυμαίνεται από 42-60% και είναι συγκρίσιμα με τα ιχθυάλευρα και τα σογιάλευρα όσον αφορά τα απαραίτητα αμινοξέα (Allegretti et al., 2017). Το πλεονέκτημα των ζωοτροφών με βάση τα έντομα δεν είναι μόνο η ποσότητα των θρεπτικών ουσιών που περιέχουν, αλλά και οι μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις όσον αφορά την υψηλή απόδοση της μετατροπής των αποβλήτων και τη μετατροπή των υποπροϊόντων σε πολύτιμους πόρους ζωοτροφών.

Σε μια μελέτη διαπιστώθηκε ότι η μύγα φυκιών (*Coelopa frigida*) μπορεί να καλλιεργηθεί στα λύματα μιας φάρμας φυκιών που παράγει καφέ φύκια και ότι οι προνύμφες μύγας φυκιών μπορούν να αντικαταστήσουν το 40% του ιχθυάλευρου στη διατροφή χωρίς να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη και την εντερική υγεία της ιριδίζουσας πέστροφας (Warwas, 2023). Δίαιτες που δημιουργήθηκαν σε διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια εντόμων όπως προνύμφες, κουνάλια και ενήλικες έχουν δοκιμαστεί σε μελέτες. Μεταξύ αυτών των ειδών, έχει διαπιστωθεί ότι η μαύρη μύγα στρατιώτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γέυμα εντόμων, ειδικά για την ιριδίζουσα πέστροφα (*Onchorhynchus mykiss*) και τον σολομό του Ατλαντικού (*Salmo salar*) (Lock et al., 2018). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε επίσης τη συμπερίληψη των εντόμων στη διατροφή των υδρόβιων οργανισμών (κανονισμός 2017/893/EK, 2017). Ως αποτέλεσμα, πολλές επιχειρήσεις έχουν εγκατασταθεί στην Ευρώπη για την καλλιέργεια διαφορετικών ειδών εντόμων (Mancuso et al., 2019).

Θαλάσσιοι οργανισμοί χαμηλής τροφικής αλυσίδας

Τα θαλάσσια ζώα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος λόγω της πιθανής χρήσης τους ως υποκατάστατα FMFO περιλαμβάνουν *μύδια*, *αμφίποδα* και *πολυχαίτους*. Αυτοί οι χαμηλής τροφικής προέλευσης οργανισμοί λαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά τους από πρωτογενείς παραγωγούς όπως φυτοπλαγκτόν, βακτήρια και φύκια, καθώς και οργανικά απόβλητα στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Τα μύδια, όπως το πράσινο (*Perna viridis*) και το μπλε (*Mytilus edulis*), είναι μαλάκια που τρέφονται με φίλτρα και αντιπροσωπεύουν σήμερα περίπου το 56% της συνολικής παραγωγής

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

υδατοκαλλιέργειας θαλάσσιων ζώων (FAO, 2020). Τα μύδια μπορούν να περιγραφούν ως βιοδιορθωτές που ευδοκιμούν σε περιβάλλοντα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, μετατρέποντας τα απόβλητα θρεπτικά συστατικά σε πρωτεΐνες χωρίς πρόσθετη τροφή. Περιέχουν 50-70% πρωτεΐνη και 5-16% λιπίδια κατά ξηρό βάρος, παρόμοια με τα ιχθυάλευρα (Jusadi et al., 2021). Ο κύριος κίνδυνος που συνδέεται με τη χρήση μυδιών ως ζωοτροφών είναι η υψηλή συσσώρευση βαρέων μετάλλων (Rasidi et al., 2021).

Τα θαλάσσια αμφίποδα είναι μια τάξη μικρών, κυρίως βενθικών καρκινοειδών με περισσότερα από 10.000 καταγεγραμμένα είδη. Έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική πηγή ζωντανών ζωοτροφών για την υδατοκαλλιέργεια κεφαλόποδων, γαρίδων και ιππόκαμπων, καθώς και ως μερική αντικατάσταση ιχθυαλεύρων στην υδατοκαλλιέργεια ψαριών και οστρακοειδών (Ashour et al., 2021). Τα θαλάσσια αμφίποδα περιέχουν υψηλά επίπεδα πρωτεϊνών, PUFAs (EPA, DHA) και αμινοξέων.

Οι πολύχαιτοι (δηλαδή οι σκώληκες annelid) είναι παγκοσμίως καταναεμημένοι τροφοδότες πυθμένα και βιοθεραπευτές που καταναλώνουν φύκια και αποσυντιθέμενη ή σπαταλημένη οργανική ύλη και τα μετατρέπουν σε πολύτιμα θρεπτικά συστατικά. Οι πολύχαιτοι είναι σημαντική λεία για εμπορικά σημαντικά ψάρια και καρκινοειδή (Khan et al., 2018). Παραδοσιακά, χρησιμοποιούνται ως ζωντανό δόλωμα αλιείας ή ως πηγή τροφής υψηλής ποιότητας για ειδικές δίαιτες (Pombo et al., 2020). Περιέχουν υψηλές ποσότητες πρωτεϊνών (55-60% ξηρού βάρους), λιπιδίων (12-28% ξηρού βάρους) και PUFA, συνοδευόμενες από καλά ισορροπημένα προφίλ αμινοξέων, βιταμινών και ανόργανων συστατικών (Wang et al., 2019).

	Nutritional Composition	Sustainability			Consumer Perception	Commercial Feasibility
		Environmental	Economic	Social		
F & A by-products	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Food wastes	↓	↑	↓	↓	↓	↓
Insects	↑	↑	↑	↑	↔	↑
SCO	↑	↑	↓	↑	↑	↓
Seaweed	↓	↑	↑	↑	↑	↑
Low-trophic marine animals	↑	↑	↑	↑	↑	↔

Σχήμα 4.3. Ποιοτική αξιολόγηση του δυναμικού εναλλακτικών συστατικών για ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας (προσαρμογή από Shahin et al., 2023)

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

2.2. Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας

Στον τομέα της υδατοκαλλιέργειας, οι ζωοτροφές αντιπροσωπεύουν περίπου το 40-60% του κόστους και η πρωτεΐνη (ιχθυάλευρο) είναι το πιο ακριβό θρεπτικό συστατικό. Το 70% του FMFO που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών των υδρόβιων οργανισμών προέρχεται από την αλιεία. Η κατάσταση αυτή ασκεί μεγάλη πίεση στην αλιεία και επηρεάζει αρνητικά τη βιωσιμότητά της.

2.2.1. Θέματα υδατοκαλλιέργειας και βιωσιμότητας

Τα ζητήματα υδατοκαλλιέργειας και βιωσιμότητας μπορούν να ομαδοποιηθούν ως οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική βιωσιμότητα (Odeja, 2021). Οι βασικές στρατηγικές για τη μέτρηση της διατροφικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στην υδατοκαλλιέργεια μπορούν να βασίζονται σε τρία βασικά κριτήρια (Sarker et al., 2023)

1. *Πεπτικότητα των συστατικών των ζωοτροφών:* Η πεπτικότητα των συστατικών των ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη διαμόρφωση οικονομικά βιώσιμων και περιβαλλοντικά βιώσιμων ζωοτροφών. Είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η αφομοιωσιμότητα των συστατικών. Έτσι, το κόστος των ζωοτροφών, η ρύπανση από θρεπτικά συστατικά, όπως οι εκπομπές ευτροφισμού φωσφόρου και αζώτου, μπορούν να μειωθούν και τα ποσοστά μετατροπής των ζωοτροφών μπορούν να βελτιωθούν.
2. *Αναλογία μετατροπής ζωοτροφών (FCR):* Το οικονομικό πλεονέκτημα της βιώσιμης παραγωγής ζωοτροφών με τη χρήση εναλλακτικών συστατικών οφείλεται κυρίως στη χαμηλότερη FCR. Η FCR αποτελεί καλό δείκτη των περιβαλλοντικών επιδόσεων της υδατοκαλλιέργειας, καθώς παρέχει ένδειξη των δυνητικών αρνητικών συνεπειών των εκροών αποβλήτων φωσφόρου και αζώτου στο υδάτινο περιβάλλον, όπως ο ευτροφισμός, τα αέρια του θερμοκηπίου, η απώλεια βιοποικιλότητας και οι επιπτώσεις σε άλλα οικοσυστήματα. Ωστόσο, τα FCR της υδατοκαλλιέργειας μειώθηκαν από περίπου 3 σε περίπου 1,35 στην υδατοκαλλιέργεια και από περίπου 2-2,25 σε περίπου 0,9-1,2 στην εκτροφή σολομού, κυρίως λόγω των καλύτερων σκευασμάτων ζωοτροφών από το 1970 (Sarker et al., 2023).
3. *Ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ) για μέτρα οικολογικών επιπτώσεων:* Η AKZ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων τροφίμων για τη μέτρηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας. Μπορούν να εκτιμηθούν κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της βιώσιμης ανάπτυξης ζωοτροφών, της χρήσης εναλλακτικών συστατικών, της αποδοτικής χρήσης πόρων όπως η γη, το νερό και τα λιπάσματα, των εκπομπών υπερθέρμανσης του πλανήτη, των εκπομπών ευτροφισμού, της απώλειας βιοποικιλότητας και των αρνητικών εξωτερικοτήτων όπως η οξίνιση των ωκεανών (Sarker et al., 2011). Είναι απαραίτητο να δούμε τις επιπτώσεις της AKZ της υψηλής ποιότητας νέας παραγωγής πρωτεϊνών και λίπους στο FMFO στις ζωοτροφές.

Βιωσιμότητα της παραγωγής ιχθυοτροφών

Η παραγωγή ζωοτροφών αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος τόσο του περιβαλλοντικού όσο και του οικονομικού αποτυπώματος των σύγχρονων δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας και, ως εκ τούτου, η βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση βιώσιμων ζωοτροφών

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

(Warwas, 2023). Οι νέες κατευθυντήριες γραμμές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής περιλαμβάνουν την υδατοκαλλιέργεια ως μέρος της στρατηγικής της ΕΕ «Από το αγρόκτημα στο πιάτο», η οποία αποσκοπεί στην επιτάχυνση της μετάβασης σε ένα βιώσιμο ευρωπαϊκό σύστημα τροφίμων. Η στρατηγική υπογραμμίζει τις δυνατότητες της βιώσιμης υδατοκαλλιέργειας να παρέχει τρόφιμα και ζωοτροφές με χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα, καθώς και να δημιουργεί οικονομικές ευκαιρίες και θέσεις εργασίας (Odeja, 2021). Επιπλέον, η Επιτροπή συνιστά στους παρασκευαστές ζωοτροφών να περιορίσουν την εξάρτησή τους από τα FMFO από τα άγρια αποθέματα και, αντ' αυτού, να χρησιμοποιούν εναλλακτικά πρωτεϊνικά συστατικά, όπως φύκια ή έντομα ή απόβλητα από άλλες βιομηχανίες. Ωστόσο, σήμερα οι περισσότερες από τις εμπορικές ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας αποτελούνται από FMFO. Αναμένεται ότι η ζήτηση για FMFO θα μπορούσε να υπερβεί την προσφορά μικρότερων ψαριών ήδη από το 2037. Αυτό σημαίνει ότι οι βιομηχανικές ζωοτροφές δεν είναι βιώσιμες σε εμπορική κλίμακα μακροπρόθεσμα (Smáráson, 2023). Για την προστασία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και τη μείωση της εξάντλησης των ωκεάνιων πόρων, οι ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας πρέπει να είναι βιώσιμες. Ενώ τα κύρια εναλλακτικά συστατικά ζωοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνουν ζωοτροφές με βάση τη σόγια και το καλαμπόκι, η παραγωγή τους έχει επικριθεί επειδή δεν είναι βιώσιμες και έχουν επίσης κακή πεπτικότητα. Ως εκ τούτου, η κυκλική βιοοικονομία αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία για το μέλλον της βιομηχανίας ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας (Bunting, 2021).

3. Πρακτικές διαχείρισης ζωοτροφών

3.1. Τεχνικές τροφοδοσίας ακριβείας

Καινοτόμες προσεγγίσεις, όπως οι ευέλικτες συνθέσεις συστατικών, τα ένζυμα, το βελτιστοποιημένο μικροβίωμα και η γενετική, διαδραματίζουν βασικό ρόλο στο να φέρουν πολλά είδη υδατοκαλλιέργειας πιο κοντά στη διατροφή ακριβείας. Η σίτιση ακριβείας περιλαμβάνει τροφή σχεδιασμένη για να ξεκλειδώσει τις δυνατότητες του DNA των ψαριών και των καρκινοειδών, του μικροβιώματος και των μεταβολικών αποκρίσεων για την πρόληψη ασθενειών και την αποτελεσματική ανάπτυξη (Howell, 2022).

Διατροφή με βάση το μικροβίωμα

Το μικροβίωμα εξακολουθεί να είναι κάτι σαν ένα «μαύρο κουτί» στη διατροφή της υδατοκαλλιέργειας. Τα τελευταία 5 χρόνια, έχει σημειωθεί αύξηση των επιστημονικών μελετών που εξετάζουν το μικροβίωμα του εντέρου στο πλαίσιο της υδατοκαλλιέργειας. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες γενετικής αλληλουχίας επέτρεψαν τη χαρτογράφηση μικροβιακών κοινοτήτων που ζουν στα έντερα περισσότερων από 20 ειδών εκτρεφόμενων ψαριών. Στο μέλλον, ο προσδιορισμός της ιδιότητας μέλους των μικροβιακών κοινοτήτων του εντέρου, ιδίως των λειτουργιών τους ή των λειτουργικών αποτελεσμάτων τους στο έντερο, θα αποτελέσει τομέα περαιτέρω διερεύνησης. Αυτή η μετατόπιση θα ρίξει φως σε τρέχοντα ερευνητικά ερωτήματα, όπως η σχέση μεταξύ μικροβιακής ποικιλομορφίας και παραγωγής μεταβολιτών και θα επιτρέψει στη βιομηχανία να καθιερώσει βασικές μετρήσεις για την υγεία του εντέρου. Η εστίαση στη λειτουργία του μικροβιώματος του εντέρου θα οδηγήσει επίσης σε βελτιώσεις στην πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών και στην απόδοση των ψαριών (Howell, 2022). Στο πλαίσιο της διασταύρωσης της γενετικής και της

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

διατροφής, η γενετική επιλογή στην υδατοκαλλιέργεια δεν στοχεύει πλέον μόνο στην αντοχή στις ασθένειες ή στη βελτίωση της ανάπτυξης, αλλά και στη χρήση θρεπτικών ουσιών. Αυτό θα καταστήσει ακόμη πιο σημαντικές τις ακριβείς τεχνικές διατροφής που βασίζονται στα γενετικά χαρακτηριστικά τους.

Καθαρή σύνθεση ζωοτροφών με βάση την ενέργεια

Η επόμενη φάση στη διατροφή ακριβείας θα προχωρήσει πέρα από την αντικατάσταση του FMFO από την αλιεία με εναλλακτικές λύσεις και θα περιλαμβάνει τη χρήση όλων των συστατικών των ζωοτροφών με ευέλικτους και βιώσιμους τρόπους. Στην υδατοκαλλιέργεια, η σύνθεση των ζωοτροφών βασίζεται κυρίως στην εύπεπτη ενέργεια (DE). Σε αυτό το σύστημα, θεωρείται ότι η ενέργεια χρησιμοποιείται με έναν τυποποιημένο τρόπο ανάπτυξης. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι είναι δύσκολο να μετρηθεί με ακρίβεια η απώλεια ενέργειας χωρίς κόπρανα στα ψάρια σε σύγκριση με τα χερσαία ζώα. Επομένως, εάν μπορεί να προσδιοριστεί, η χρήση τιμών μεταβολίσιμης ενέργειας (ME) και καθαρής ενέργειας (NE) αντί των τιμών DE για ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας θα προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα (Groot et al., 2021). Για να γίνει αυτή η στροφή και να χρησιμοποιηθούν τα συστατικά των ζωοτροφών με πιο βιώσιμο τρόπο, η βιομηχανία θα μπορούσε να υιοθετήσει σκευάσματα ζωοτροφών που εστιάζουν στην *καθαρή ενέργεια* και όχι στην *εύπεπτη ενέργεια*. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων είναι ότι το εύπεπτο ενεργειακό σύστημα υποθέτει ότι όλα τα διατροφικά μακροθρεπτικά συστατικά χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο από τα ψάρια, ενώ το σύστημα καθαρής ενέργειας υποθέτει ότι οι πρωτεΐνες, τα λίπη και οι υδατάνθρακες στις δίαιτες των ψαριών χρησιμοποιούνται διαφορετικά. Τα τελευταία χρόνια, οι διατροφολόγοι υδατοκαλλιέργειας έχουν σημειώσει σχετική επιτυχία στην ανάπτυξη μοντέλων καθαρής ενέργειας για διαφορετικά είδη ψαριών (Howell, 2022).

Δεδομένου ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ζωοτροφών καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τα συστατικά τους, υπάρχει η ευκαιρία να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας με τη διαμόρφωση ζωοτροφών με χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Wilfart et al., 2023). Σε ορισμένες μελέτες, οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ζωοτροφών έχουν ληφθεί υπόψη στη διαμόρφωση των ζωοτροφών (Mackenzie et al., 2016). Η διαμόρφωση ζωοτροφών σύμφωνα με περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια μπορεί να θεωρηθεί ως μια καινοτόμος προσέγγιση για την αντιμετώπιση των σημερινών προκλήσεων της ζωικής παραγωγής (Garcia-Launay et al. 2018).

Πολύκριτηριακό σκεύασμα ζωοτροφών (MO)

Η σύνθεση τροφής MO, η οποία στοχεύει στον συμβιβασμό μεταξύ χαμηλότερου κόστους και χαμηλότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μπορεί να θεωρηθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας (Wilfart et al., 2023). Πρόσφατα, οι Garcia-Launay et al. (2018) ανέπτυξαν μια *διατύπωση πολλαπλών στόχων (MO)* που χρησιμοποιεί τους περιορισμούς της σύνθεσης ελάχιστου κόστους (ποσοστά προσθήκης θρεπτικών ουσιών και συστατικών ζωοτροφών) και υπολογίζει μια συνάρτηση MO που περιλαμβάνει δείκτες κόστους ζωοτροφών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων που λαμβάνονται από την LCA (δηλ. κλιματική αλλαγή, χρήση μη ανανεώσιμης ενέργειας, ζήτηση P, κατοχή γης). Ωστόσο,

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

η ανάπτυξη των ψαριών μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο των πρώτων υλών ζωοτροφών. Για παράδειγμα, η αντικατάσταση όλων των FMFO με ακατέργαστα φυτικά συστατικά μείωσε την ανάπτυξη της ιριδίζουσας πέστροφας κατά 30% (Lazzarotto et al., 2018). Έχει αναπτυχθεί μια πολυκριτηριακή μέθοδος σύνθεσης ζωοτροφών που λαμβάνει υπόψη τόσο το κόστος όσο και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (που εκτιμώνται από την LCA) του μείγματος ζωοτροφών. Στο πρώτο βήμα, η σύνθεση ελάχιστου κόστους παρέχει μια βάση για το κόστος των ζωοτροφών και τις πιθανές επιπτώσεις ανά kg ζωοτροφών. Στη δεύτερη, η ελαχιστοποιημένη συνάρτηση MO περιλαμβάνει κανονικοποιημένες τιμές κόστους τροφοδοσίας και επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή, τη ζήτηση P, τη ζήτηση μη ανανεώσιμης ενέργειας και την κατάληψη γης. Ένας πρόσθετος παράγοντας σταθμίζει τη σχετική επίδραση των οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων.

Το δυναμικό της μεθόδου παρασκευής ζωοτροφών MO αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας δύο σενάρια διαμόρφωσης ζωοτροφών για χοίρους, κοτόπουλα πάχυνσης και νεαρούς ταύρους. Σε σύγκριση με τις βασικές ζωοτροφές, οι ζωοτροφές που διαμορφώθηκαν από MO βρέθηκαν να έχουν χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (-2 έως -48%) και μέτρια υψηλότερο κόστος (1-7%) και στα δύο σενάρια που μελετήθηκαν, εκτός από την κατάληψη γης ζωοτροφών κρεατοπαραγωγής. Η αναπτυγμένη μέθοδος συμπληρώνει άλλες στρατηγικές και θα πρέπει να διερευνηθεί στο μέλλον για τη βελτιστοποίηση ολόκληρου του συστήματος ζωικής παραγωγής για τη σημαντική μείωση των σχετικών επιπτώσεων (Garcia-Launay et al. 2018). Η σύνθεση MO μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χρήσιμο εργαλείο για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας χωρίς να διακυβεύεται η απόδοση των ζώων ή να αυξάνεται απαραίτητα το κόστος παραγωγής (Wilfart et al., 2023).

3.2 Τεχνολογίες προεπεξεργασίας και ζυμωμένες ζωοτροφές για τη διατροφή υδατοκαλλιέργειας

Οι φυτικές τροφές χρησιμοποιούνται συχνά ως κύρια πηγή πρωτεΐνης στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας λόγω της ευρείας διαθεσιμότητάς τους και του χαμηλού κόστους. Ωστόσο, συνήθως περιέχουν υψηλά επίπεδα πολυσακχαριτών χωρίς άμυλο (NSPs), γεγονός που περιορίζει τη χρήση τους στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας, ειδικά για σαρκοφάγα ψάρια. Έχουν επίσης χαμηλή γευστικότητα, μη ισορροπημένα προφίλ αμινοξέων και περιέχουν αντιθρεπτικούς παράγοντες (ANFs), οι οποίοι περιορίζουν τη χρήση τους και αυξάνουν την παραγωγή αποβλήτων. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματική χρήση αυτών των συστατικών από την υδατοκαλλιέργεια έχει μεγάλο ενδιαφέρον.

Η ζύμωση των ζωοτροφών είναι μια οικονομικά αποδοτική τεχνολογική διαδικασία που μπορεί να μειώσει τα επίπεδα ANFs βελτιώνοντας παράλληλα την πεπτικότητα των θρεπτικών ουσιών και την παραγωγή διαφόρων βιοδραστικών ενώσεων, αυξάνοντας τη θρεπτική αξία των συστατικών ζωοτροφών στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας. Η ζύμωση στερεάς κατάστασης χαρακτηρίζεται κυρίως από τη χρήση μικροοργανισμών όπως νηματοειδείς μύκητες που διεισδύουν αποτελεσματικά στο υπόστρωμα μέσω χαμηλού ελεύθερου νερού και ανάπτυξης υφάλων (Šelo et al., 2021). Ως εκ τούτου, μπορεί να υποστεί ζύμωση με μικροοργανισμούς όπως *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Bacillus subtilis* και *Bacillus licheniformis* και να χρησιμοποιηθεί σε στερεά κατάσταση ή υγρή κατάσταση. Αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να επηρεάσουν τις ζωοτροφές παράγοντας διάφορα ένζυμα όπως φυτάσες, λιπάσες, πρωτεάσες και καρβοϋδράσες όπως

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

κυτταρινάσες και ξυλανάσες. Οι μύκητες ειδικότερα ορίζονται ως εμπλουτισμός λιγνοκυτταρινούχων υλικών με μικροβιακές πρωτεΐνες και ένζυμα. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η περιεκτικότητα σε ακατέργαστες ίνες και αυξάνονται οι ακατέργαστες πρωτεΐνες, η διαλυτότητα στις πρωτεΐνες και η πεπτικότητα των πρωτεϊνών και των ινών (Godoy et al., 2018), γεγονός που αυξάνει τη θρεπτική αξία των φυτικών ζωοτροφών για χρήση υδατοκαλλιέργειας. Εάν πρόκειται να σχηματιστεί τροφή που έχει υποστεί ζύμωση στερεάς κατάστασης, το ζυμωμένο μείγμα αφήνεται να στεγνώσει σε θερμοκρασία και περιβάλλον που δεν θα βλάψει τη θρεπτική ουσία (Vieira et al., 2023; Zengin, et al., 2022).

4. Μετριασμός των επιπτώσεων της οξίνισης των ωκεανών

Οι ωκεανοί είναι φυσικά ανθρακικά ρυθμιστικά συστήματα και λειτουργούν ως δεξαμενή άνθρακα στο περιβάλλον, πολύ μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική και χερσαία περιεκτικότητα σε άνθρακα. Ο ωκεανός είναι ένας εξαιρετικός ρυθμιστής για την εξουδετέρωση μικρών αλλαγών στη σύνθεσή του. Καθώς περισσότερο ατμοσφαιρικό CO₂ διαλύεται στο νερό των ωκεανών, ο άνθρακας απελευθερώνεται από την καταβόθρα άνθρακα των ωκεανών, καθιστώντας τους ωκεανούς πιο όξινους (Ebenezzar et al., 2023). Οι ωκεανοί απορροφούν CO₂ από την ατμόσφαιρα, ενεργώντας ως ρυθμιστικό διάλυμα στα ατμοσφαιρικά επίπεδα CO₂. Εάν οι ωκεανοί απορροφούν περισσότερο CO₂, αυτό οδηγεί σε μειώσεις του pH του θαλασσινού νερού, των συγκεντρώσεων ανθρακικών ιόντων και των ορυκτών ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃), δημιουργώντας μια κατάσταση που ονομάζεται «οξίνιση των ωκεανών» (Reid et al., 2019).

Δεδομένου ότι οι ταυτόχρονες αυξήσεις του CO₂ (μειωμένο pH και κορεσμός αραγωνίτη) και της θερμοκρασίας θα συμβούν μαζί με αλλαγές στην αλατότητα και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μειωμένο οξυγόνο (Boyd et al., 2015). Η οξίνιση των ωκεανών και η θερμοκρασία είναι αλληλένδετες. Δεδομένης της πιθανότητας αρνητικών συνεργειών, η αύξηση της θερμοκρασίας θεωρείται το «κακό δίδυμο» της οξίνισης των ωκεανών. Η αύξηση των επιπέδων οξύτητας στο θαλασσινό νερό επηρεάζει επίσης αρνητικά τη φυσιολογία και το μεταβολισμό των υδρόβιων ειδών διαταράσσοντας τους μηχανισμούς ενδοκυτταρικής μεταφοράς. Έχει αναφερθεί ότι οι προνύμφες που εκτίθενται σε θαλασσινό νερό χαμηλότερου pH έχουν χαμηλότερο γαστρικό pH, γεγονός που οδηγεί σε μειωμένη πεπτική αποτελεσματικότητα και υψηλότερη κατανάλωση τροφής (Stumpp et al., 2013). Οι θερμές κλιματολογικές συνθήκες θα εξαντλούσαν επίσης το οξυγόνο στο νερό και θα είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση του φυτοπλαγκτού. Το πλαγκτόν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση του παγκόσμιου κλίματος απορροφώντας τις εκπομπές CO₂. Το φυτοπλαγκτόν αντιπροσωπεύει το ήμισυ της παγκόσμιας φωτοσύνθεσης και αποτρέπει σε μεγάλο βαθμό την υπερθέρμανση του πλανήτη (Huertas et al., 2011).

4.1. Ρυθμιστικοί παράγοντες για τον μετριασμό της οξίνισης των ωκεανών

Η ενσωμάτωση ρυθμιστικών παραγόντων σε σκευάσματα ζωοτροφών συμβάλλει στην εξουδετέρωση των επιπτώσεων της οξίνισης των ωκεανών στην πεπτική φυσιολογία των ειδών υδατοκαλλιέργειας. Οι ρυθμιστικοί παράγοντες στα σκευάσματα ζωοτροφών εξουδετερώνουν ή

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

σταθεροποιούν το pH στην πεπτική οδό και παρέχουν βέλτιστες συνθήκες απορρόφησης θρεπτικών ουσιών.

Οι ρυθμιστικοί παράγοντες είναι:

- Τα φύκια μειώνουν την οξίνιση των ωκεανών και αντισταθμίζουν τις εκπομπές. Τα φύκια, συμπεριλαμβανομένων των φυκιών, μειώνουν επίσης την οξίνιση των ωκεανών αφαιρώντας το διοξείδιο του άνθρακα από το νερό και δρουν ως τοπικός «ρυθμιστικός» παράγοντας που ωφελεί πολλά θαλάσσια είδη. Τα φύκια παράγουν επίσης διαλυμένο οξυγόνο, μειώνοντας την εξάπλωση των «νεκρών ζωνών» στο νερό. Η μεγάλης κλίμακας καλλιέργεια φυκιών διερευνάται επίσης ως μέσο απομάκρυνσης και απομόνωσης του διοξειδίου του άνθρακα από τον βαθύ ωκεανό (NOAA Fisheries, 2022).
- *Ανόργανα ρυθμιστικά διαλύματα*: Αυτά είναι συνήθως ενώσεις όπως το όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3), το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) ή το υδροξείδιο του μαγνησίου (Mg(OH)_2), τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διατήρηση της σταθερότητας του pH.
- *Οργανικά ρυθμιστικά διαλύματα*: Ενώσεις όπως άλατα κιτρικού οξέος (όπως κιτρικό νάτριο) ή οργανικά οξέα (όπως μυρμηκικό ή γαλακτικό οξύ) είναι επίσης πιθανοί ρυθμιστικοί παράγοντες. Τείνουν να είναι πιο συγκεκριμένοι στην ρυθμιστική τους ικανότητα και μπορούν επίσης να υποστηρίξουν την εντερική υγεία επηρεάζοντας τις μικροβιακές κοινότητες.
- *Φυτοχημικά και φυτικά ρυθμιστικά διαλύματα*: Ορισμένα φυτά παράγουν ενώσεις που μπορούν φυσικά να ρυθμίσουν τα επίπεδα pH και να παρέχουν πρόσθετα οφέλη, όπως αντιοξειδωτικές ιδιότητες ή αντιφλεγμονώδη αποτελέσματα. Αυτά μπορεί να είναι χρήσιμα σε συστήματα βιολογικής ή βιώσιμης υδατοκαλλιέργειας.

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση ρυθμιστικών παραγόντων σε σκευάσματα ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη στρατηγική για τη μείωση των επιπτώσεων της οξίνισης των ωκεανών. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο υποστηρίζει την υγεία και την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ειδών, αλλά αυξάνει επίσης την ανθεκτικότητα των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας στην κλιματική αλλαγή.

4.2. Διατροφικές στρατηγικές για τον μετριασμό της ωκεάνιας πρόσδεσης

Στην υδατοκαλλιέργεια, η βελτίωση της ανθεκτικότητας σε όξινες συνθήκες αποτελεί σημαντικό ζήτημα, ιδίως ενόψει της οξίνισης των ωκεανών, για την ανάπτυξη στρατηγικών ζωοτροφών και διατροφής για βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια (Parker et al., 2024). Αυτό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη θαλάσσια ζωή, ειδικά τα είδη που εξαρτώνται από σταθερά επίπεδα pH για σωστή ανάπτυξη, ανάπτυξη και υγεία, όπως τα ψάρια, τα οστρακοειδή και τα καρκινοειδή. Θα πρέπει να αναπτυχθούν στρατηγικές διατροφής και σίτισης που αυξάνουν την αντοχή, βελτιώνουν την υγεία και αυξάνουν την αντίσταση στο στρες.

Ορισμένες στρατηγικές διατροφής για τον μετριασμό της οξίνισης είναι:

1. Χρήση ορυκτών: Υπό όξινες συνθήκες, η διαθεσιμότητα ασβεστίου και μαγνησίου στο νερό μπορεί να μειωθεί και αυτά τα μέταλλα είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ακεραιότητας των κελυφών στα μαλάκια και τα καρκινοειδή. Το χαμηλό pH μπορεί να επηρεάσει τη διαλυτότητα των ιχνοστοιχείων στο νερό, οπότε η προσθήκη τους στις ζωοτροφές μπορεί να υποστηρίξει την υγεία

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

των ψαριών και των οστρακοειδών. Επομένως, η προσθήκη εξαιρετικά βιοδιαθέσιμων μορφών ασβεστίου και μαγνησίου στις ζωοτροφές μπορεί να βοηθήσει αυτά τα είδη να διατηρήσουν καλά τα κελύφη τους και να αναπτυχθούν σωστά.

2. Χρήση βιταμινών: Υπό συνθήκες στρες όπως η οξίνιση, τα ψάρια και τα οστρακοειδή μπορεί να εμφανίσουν οξειδωτικό στρες και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επαρκή συμπλήρωση των ζωοτροφών με βιταμίνη C. Η βιταμίνη E είναι ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που βοηθά στην προστασία των κυττάρων από οξειδωτική βλάβη που προκαλείται από περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της οξίνισης. Οι βιταμίνες B, όπως η B1 (θειαμίνη), η B2 (ριβοφλαβίνη) και η B12 (κοβαλαμίνη), παίζουν σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό μεταβολισμό, τη λειτουργία του νευρικού συστήματος και τη συνολική ανοχή στο στρες.

3. Απαραίτητα αμινοξέα και λιπαρά οξέα: Υπό συνθήκες στρες που προκαλούνται από την οξίνιση στους ωκεανούς, ο μεταβολισμός και η πρωτεϊνική σύνθεση στο σώμα της υδατοκαλλιέργειας μπορεί να αλλάξει. Η προσθήκη αμινοξέων όπως η μεθειονίνη, η λυσίνη και η θρεονίνη στη διατροφή μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της ανάπτυξης, στην επισκευή των ιστών και στις ανοσολογικές αποκρίσεις υπό αυτές τις συνθήκες στρες, είναι απαραίτητες για τη μείωση της φλεγμονής, την υποστήριξη της ανοσολογικής λειτουργίας και την προώθηση της συνολικής ανάπτυξης. Η συμπλήρωση της διατροφής υδατοκαλλιέργειας με EPA και DHA μπορεί να βοηθήσει στην άμβλυνση ορισμένων από τις αρνητικές φυσιολογικές επιπτώσεις της οξίνισης.

4. Προβιοτικά και πρεβιοτικά: Η προσθήκη ευεργετικών μικροοργανισμών άμεσης σίτισης μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική σε όξινα νερά, όπου το άγχος των αλλαγών του pH μπορεί να οδηγήσει σε ανισορροπίες του μικροβιώματος του εντέρου ή εξασθενημένη ανοσία. Τα πρεβιοτικά μπορούν επίσης να βελτιώσουν την πέψη και τη γενική υγεία τροφοδοτώντας ευεργετικά βακτήρια στο έντερο. Με την προώθηση υγιών μικροβιωμάτων, τα είδη υδατοκαλλιέργειας μπορεί να είναι σε καλύτερη θέση να αντιμετωπίσουν το περιβαλλοντικό στρες.

5. Αντιοξειδωτικά και φυτοχημικά: Σε οξινισμένα περιβάλλοντα, τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου τείνουν να συσσωρεύονται, προκαλώντας οξειδωτικό στρες. Η προσθήκη φυσικών αντιοξειδωτικών, όπως καροτενοειδή και πολυφαινόλες, στις ζωοτροφές μπορεί να βοηθήσει στην άμβλυνση της οξειδωτικής βλάβης και στην αύξηση της ανθεκτικότητας.

5. Ενίσχυση της αποδοτικότητας και της πεπτικότητας των ζωοτροφών

5.1. Επεξεργασία εξώθησης

Η επεξεργασία εξώθησης είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται για το μαγείρεμα και την παστερίωση των συστατικών των ζωοτροφών ή των ζωοτροφών εκθέτοντάς τα σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις για μικρό χρονικό διάστημα, εξαλείφοντας έτσι όλα τα ANF και αυξάνοντας την κατανάλωση τροφής, την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών και επομένως την ανάπτυξη των ψαριών. Τα συστατικά των ζωοτροφών που εξωθούνται με αυτόν τον τρόπο προάγουν υψηλότερα επίπεδα λιπιδίων στη ζωοτροφή, ζελατινοποίηση του αμύλου και αυξήσεις στην πεπτικότητα των πρωτεϊνών και της ενέργειας των ζωοτροφών. Η εξώθηση είναι επίσης απαραίτητη στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας, καθώς επηρεάζει θετικά τις φυσικές ιδιότητες όπως η μειωμένη λεπτότητα και άνωση και βύθιση.

Χρήση προσθέτων ενζύμων

Η χρήση προσθέτων ενζύμων για τη βελτίωση της πεπτικότητας των συστατικών των ζωοτροφών και την ενίσχυση της απορρόφησης θρεπτικών ουσιών, μεγιστοποιώντας έτσι την ανάπτυξη και την υγεία υπό μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι ζωτικής σημασίας για τη διατροφή της υδατοκαλλιέργειας. Ειδικότερα, η προσθήκη ενζύμων στις εξωθημένες ιχθυοτροφές για τη βελτίωση της πεπτικότητας του φωσφόρου, των υδατανθράκων και των πρωτεϊνών στις ζωοτροφές μπορεί να βελτιώσει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα εξασφαλίζοντας ότι λιγότερες ενώσεις απελευθερώνονται από τα ψάρια στο νερό. Στο πλαίσιο αυτό, είναι επίσης σημαντικό να αναπτυχθούν ζωοτροφές που διατηρούν την πεπτικότητα τους παρά τις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες του νερού λόγω υψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών νερού με την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Επειδή καθώς τα σημεία τήξης των λιπαρών οξέων στην τροφοδοσία αυξάνονται σε συνθήκες κρύου νερού, η πεπτικότητα μειώνεται, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την FCR. Αυτό το φαινόμενο είναι πολύ πιο έντονο σε θερμοκρασίες κρύου νερού παρά σε ζεστά νερά. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να αυξηθεί η γενική πεπτικότητα του λίπους ιδίως από τις λιπάσες (Howell, 2022). Τα ένζυμα πρωτεάσης μπορούν να διεγείρουν τις ενδογενείς πεπτιδάσες βελτιώνοντας την πεπτικότητα των πρωτεϊνών και υδρολύοντας πρωτεϊνικά αντιθρεπτικά συστατικά όπως λεκτίνες, αναστολείς θρυψίνης, αντιγονικές πρωτεΐνες και αντιθρεπτικές αλλεργιογόνες πρωτεΐνες όπως γλυκινίνη, β-κονγλυκινίνη και αφρίνη (Cowieson, 2008). Η χρήση φυτικών τροφών πλούσιων σε NSPs στο πεπτικό σύστημα των ψαριών, ενζύμων όπως ξυλανάσες, γλυκανάσες και κυτταρινάσες μπορεί να αυξήσει την πεπτικότητα και τη χρήση θρεπτικών συστατικών που παρέχονται από εναλλακτικά συστατικά (Sarker, 2023).

5.2 Λειτουργικές πρόσθετες ύλες ζωοτροφών

Οι λειτουργικές πρόσθετες ύλες ζωοτροφών είναι πρόσθετες ύλες ζωοτροφών που ενσωματώνονται σε σκευάσματα ζωοτροφών για την κάλυψη των βασικών διατροφικών απαιτήσεων των συμβατικών ζωοτροφών, καθώς και για τη βελτίωση της ανάπτυξης και της υγείας της υδατοκαλλιέργειας. Η χρήση τους στη σύνθεση ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας παρέχει οφέλη όπως η βελτίωση της εντερικής υγείας και των ευεργετικών εντερικών βακτηρίων, η αύξηση της παραγωγής ενζύμων και η τόνωση της όρεξης, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε βελτιωμένη απόδοση ανάπτυξης. Επιπλέον, αυτά τα πρόσθετα ζωοτροφών μπορούν να μειώσουν το αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα της υδατοκαλλιέργειας βελτιώνοντας την ποιότητα των υδάτων και τη χρήση εναλλακτικών πρωτεϊνών στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας (Onomu and Okuthe, 2024).

Η χρήση χερσαίας, φυτικής πρωτεΐνης ως μερικού ή πλήρους υποκατάστατου ιχθυαλεύρων χρειάζεται συμπληρώματα διατροφής. Τα αντιβιοτικά και τα χημειοθεραπευτικά που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια προκαλούν ανθεκτικά στα αντιβιοτικά βακτηριακά στελέχη και εξαλείφουν τα ακούσια φυσικά μικρόβια, καθώς και τα προβλήματα υπολειμμάτων αντιβιοτικών με βάση τα προϊόντα για τον άνθρωπο. Από την άλλη, τα προβιοτικά, τα πρεβιοτικά και τα φυτογονικά ως λειτουργικά πρόσθετα ζωοτροφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόληψη/μείωση ασθενειών και την ενίσχυση της ανοσίας του ξενιστή (Van Doan et al., 2020).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Ωστόσο, υπάρχουν λιγότερες πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργικές πρόσθετες ύλες ζωοτροφών από ό,τι σε άλλα ζώα, ιδίως όσον αφορά τη σχέση τους με τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας (Onomu and Okuthe, 2024).

Οι ρόλοι βιωσιμότητας των λειτουργικών πρόσθετων υλών ζωοτροφών βασίζονται στις πέντε κύριες επιπτώσεις τους στην υδατοκαλλιέργεια:

1. Αυξημένη χρήση ζωοτροφών
2. Ενισχυμένη βιώσιμη χρήση των πόρων
3. Ενισχυμένη αντοχή στις ασθένειες και ανοσία
4. Αυξημένη παρασιτική αντίσταση
5. Βελτίωση της ποιότητας των υδάτων

Προβιοτικά (μικροβιακά άμεσης ζωοτροφής: DFM), πρεβιοτικά και συμβιωτικά

Οι ευεργετικοί μικροοργανισμοί και οι πρεβιοτικές ενώσεις στις ζωοτροφές υποστηρίζουν την υγεία του εντέρου, ενισχύουν την ανοσία και βελτιώνουν τη συνολική αποδοτικότητα των ζωοτροφών ενόψει των στρεσογόνων παραγόντων που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Προβιοτικά

Τα προβιοτικά έχουν οριστεί ως ζώντες πρόσθετες ύλες ζωοτροφών που έχουν ευεργετικά αποτελέσματα βελτιώνοντας την εντερική μικροβιακή ισορροπία στα ζώα-ξενιστές (Fuller, 1989). Αυτές οι ουσίες συμβάλλουν στην αύξηση ή την ανάπτυξη αυξάνοντας την κατανάλωση τροφής, τη χρήση ζωοτροφών ή επηρεάζοντας το ανοσοποιητικό σύστημα στα ζώα (Demir et al., 2003). Τα προβιοτικά είναι ένα παγκοσμίως αποδεκτό λειτουργικό πρόσθετο ζωοτροφών στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας. Αν και υπάρχουν πολλοί ορισμοί των προβιοτικών όπως «ζωντανοί μικροοργανισμοί που όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες παρέχουν όφελος για την υγεία στον ξενιστή», αυτοί οι ορισμοί είναι κατάλληλοι για χερσαία ζώα και ανθρώπους, αλλά όχι για υδρόβια ζώα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υδρόβια ζώα και μικροοργανισμοί συνυπάρχουν στο ίδιο υδάτινο περιβάλλον. Επειδή στα υδρόβια ζώα, η αλληλεπίδραση μεταξύ μικροοργανισμών (συμπεριλαμβανομένων των προβιοτικών) και του ξενιστή συμβαίνει όχι μόνο στον εντερικό σωλήνα αλλά και στο νερό (Onomu and Okuthe, 2024).

Τα βακτηριακά παθογόνα γίνονται όλο και πιο ανθεκτικά στα αντιμικροβιακά φάρμακα, τα φυτοφάρμακα και τα απολυμαντικά που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο των υδρόβιων ασθενειών. Για το λόγο αυτό, η μελέτη προβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια είναι μια αυξανόμενη ζήτηση για την εξασφάλιση φιλικής προς το περιβάλλον βιώσιμης υδατοκαλλιέργειας ως εναλλακτική λύση στα αντιβιοτικά. Δυστυχώς, τα φυτικά συστατικά μπορούν να έχουν αρκετές αρνητικές επιπτώσεις στη διατροφή της υδατοκαλλιέργειας (Nielsen et al., 2022). Τα προβιοτικά σταθεροποιούν τον μικροβιακό πληθυσμό του γαστρεντερικού σωλήνα των ψαριών μέσω της εξάλειψης των παθογόνων μικροβίων και της αυξημένης πεπτικότητας και βιοδιαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών (Oscar et al., 2020).

Τα βακτήρια, οι ζυμομύκητες και τα φύκια χρησιμοποιούνται εκτενώς ως προβιοτικά στην υδατοκαλλιέργεια. Οι επιδράσεις των προβιοτικών μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες ανάλογα με τον στόχο της θεραπείας (Nathanailides et al., 2021):

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Παράμετροι ανάπτυξης και καλής διαβίωσης των ψαριών, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων στην ανάπτυξη των ψαριών και στις παραμέτρους μετατροπής των ζωοτροφών, στη μικροχλωρίδα και την ανατομία του εντέρου, στην ανοσία και στην αντοχή σε παθογόνους παράγοντες.
- Περιβαλλοντικές παράμετροι, συμπεριλαμβανομένων των λιμνών και/ή των δεξαμενών (ποιότητα νερού, ποικιλότητα υδρόβιων μικροβίων).

Πολλοί προβιοτικοί μικροοργανισμοί έχουν απομονωθεί και αξιολογηθεί για χρήση στην υδατοκαλλιέργεια στην πρόληψη και τον έλεγχο λοιμωδών νοσημάτων των ειδών υδατοκαλλιέργειας. Τα αποτελέσματα δύο μελετών που χρησιμοποίησαν δύο εμπορικά προβιοτικά για την αξιολόγηση των επιδράσεων των προβιοτικών στους θηλυκούς γεννήτορες ιριδίζουσας πέστροφας (Akbari Nargesi et al., 2020) και στην τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) (El-Kady et al., 2022) έδειξαν ότι τα προβιοτικά μπορούν να βελτιώσουν τις αναπαραγωγικές παραμέτρους, να μειώσουν το ολικό άζωτο αμμωνίας και αμμωνίας και να αυξήσουν την απόδοση ανάπτυξης και τη χρήση ζωοτροφών. σε σύγκριση με τον έλεγχο.

Πρεβιοτικά και συμβιωτικά

Τα πρεβιοτικά είναι μη εύπεπτα πρόσθετα ζωοτροφών, αποτελούμενα κυρίως από ολιγοσακχαρίτες που διεγείρουν και μεταβολίζουν ευεργετικούς μικροοργανισμούς στο γαστρεντερικό σωλήνα βελτιώνοντας παράλληλα την υγεία του ξενιστή (Bozkurt et al., 2014). Προκειμένου ένα πρόσθετο ζωοτροφών να κατηγοριοποιηθεί ως πρεβιοτικό, πρέπει να φτάσει στο παχύ έντερο χωρίς πέψη, να είναι ανθεκτικό στη γαστρική οξύτητα, να υδρολύεται από πεπτικά ένζυμα και να απορροφάται από το γαστρεντερικό σωλήνα (Davani-Davari et al., 2019). Η χρησιμότητα των πρεβιοτικών ως πρόσθετων υλών ζωοτροφών σχετίζεται με τα υποπροϊόντα που λαμβάνονται κατά τη ζύμωση από βακτήρια στο έντερο. Οι κύριοι τύποι πρεβιοτικών που χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια είναι ο ολιγοσακχαρίτης μαννάνης (MOS), οι φρουκτοολιγοσακχαρίτες (FOS), ο γαλακτοολιγοσακχαρίτης (GOS), ο ολιγοσακχαρίτης αραβινοξυλάνης (AXOS), η ινουλίνη και η β-γλυκάνη.

Τα προβιοτικά αναμεμειγμένα με διάφορα προβιοτικά στελέχη ή πρεβιοτικά (συμβιωτικά) έχουν ως αποτέλεσμα καλύτερα οφέλη όσον αφορά την ανάπτυξη και την υγεία σε σύγκριση με τα προβιοτικά / πρεβιοτικά μόνο. Αυτό συμβαίνει επειδή η χρήση πολλαπλών στελεχών ή συνβιοτικών θεωρείται ότι αλληλοσυμπληρώνονται, διευρύνοντας έτσι το φάσμα των επιδράσεών τους στον ξενιστή (Puvanasundram et al., 2021). Οι Widanarni et al. (2019) έδειξαν ότι η συμπλήρωση διαιτητικών ολιγοσακχαριτών μαννάνης (MOS) μέσω *Artemia* sp. θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά τις δραστηριότητες των πεπτικών ενζύμων μετά την προνύμφη, την ανάπτυξη, την επιβίωση και την αντίσταση στη λοίμωξη από *Vibrio harveyi*. Η συμπλήρωση διατροφής 1,5 g kg⁻¹ β-1,3 γλυκάνης και φρουκτοολιγοσακχαριτών σε λευκές γαρίδες του Ειρηνικού (*Litopenaeus vannamei*) μπορεί να είναι αποτελεσματική στην ενίσχυση της απόδοσης ανάπτυξης και των αντιοξειδωτικών δραστηριοτήτων και στη βελτίωση της μη ειδικής ανοσίας και της αντοχής στις ασθένειες (Eissa et al., 2023).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Φυτογονική

Η φυτογονική είναι μια ομάδα πρόσθετων υλών ζωοτροφών που προέρχονται από φύλλα, μίσχους, ρίζες, σπόρους, κονδύλους, φρούτα, θάμνους και μπαχαρικά. Τα φυτογονικά γενικά διεγείρουν την όρεξη, ενισχύουν τα ευεργετικά εντερικά βακτήρια και χρησιμοποιούνται σε ζώα εκτροφής για τα αντιοξειδωτικά, αντιμικροβιακά, αντικαρκινογόνα, αναλγητικά και αντιπαρασιτικά αποτελέσματά τους. Δεδομένου ότι περιέχουν δραστικές ενώσεις, μπορούν επίσης να έχουν τοξικές επιδράσεις. Οι ιδιότητες και η αποτελεσματικότητά τους ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και ποικίλλουν ανάλογα με το μέρος του φυτού που χρησιμοποιείται, την τεχνική εκχύλισης και τη συγκέντρωση που χρησιμοποιείται, την εποχή συγκομιδής και τη γεωγραφική τοποθεσία (Onomu and Okuthe, 2024).

Σε μια μελέτη, δύο φυτογενή πρόσθετα ζωοτροφών, το ένα πλούσιο σε καρβακρόλη και το άλλο πλούσιο σε θυμόλη, βελτίωσαν την αποδοτικότητα της τροφής σε σύγκριση με τη δίαιτα ελέγχου και αύξησαν τις αντιοξειδωτικές προστατευτικές ικανότητες στην ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) (Giannenas et al., 2012). Ρυθμίστηκε επίσης οι εντερικές μικροβιακές κοινότητες επηρεάζοντας αρνητικά τα συνολικά αναερόβια. Μια μελέτη των Abdel-Latif et al. (2020) εξέτασε την εφαρμογή διαιτητικού αιθέριου ελαίου θυμαριού (OEO) στον κυπρίνο (*Cyprinus carpio* L.). Κατά τη σύγκριση των ψαριών που τρέφονταν με OEO με την ομάδα ελέγχου, έδειξαν αξιοσημείωτη βελτίωση στις εντερικές μορφομετρικές παραμέτρους. Οι Ghafarifarsani et al. (2022) εξέτασαν τις επιδράσεις της κουερσετίνης, του αιθέριου ελαίου θυμαριού και της βιταμίνης C στη διατροφή του κοινού κυπρίνου (*Cyprinus carpio*). Διαπίστωσαν ότι τα ψάρια που τρέφονταν με δίαιτες κερσετίνης είχαν υψηλότερα επίπεδα αντιοξειδωτικών στον ορό και το συκώτι τους, συμπεριλαμβανομένης της καταλάσης, της δισμουτάσης υπεροξειδίου, της υπεροξειδάσης της γλουταθειόνης και της αναγωγάσης της γλουταθειόνης, στο τέλος της δοκιμής διατροφής 60 ημερών. Οι επιδράσεις του εκχυλίσματος μαντζουράνας στο κοινό ψάρι κυπρίνου, *Cyprinus carpio*, εξετάστηκαν από τους Yousefi et al. (2021). Το μέγιστο τελικό βάρος, η αύξηση βάρους και ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης, καθώς και η χαμηλότερη FCR, παρατηρήθηκαν όταν 200 mg kg⁻¹ εκχυλίσματος μαντζουράνας προστέθηκαν στη διατροφή.

Πρόσθετες ύλες ζωοτροφών κατά του στρες

Η σημαντικότερη επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι το άγχος που θα δημιουργήσει στην υδατοκαλλιέργεια λόγω περιβαλλοντικών πηγών. Τα τελευταία χρόνια, οι μελέτες για τη μείωση του στρες στα ψάρια αυξάνονται. Εκτός από την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών της υδατοκαλλιέργειας, είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν ορισμένα ευεργετικά πρόσθετα στις ζωοτροφές τους για να μειωθεί η αντίδραση στο στρες σε τυπικούς παράγοντες στρες. Η χρήση διαφορετικών προσθέτων στη διατροφή των ψαριών για τη μείωση των αντιδράσεων στο στρες έχει μελετηθεί σε βάθος. Σε αυτές τις μελέτες, έχουν αναφερθεί ανοσολογικές, διατροφικές και μεταβολικές αλλαγές, που σχετίζονται πάντα με ενδοκρινικές διεργασίες. Η βιοχημική φύση και η φυσιολογική λειτουργικότητα αυτών των πρόσθετων υλών ζωοτροφών επηρεάζουν έντονα την απόκριση στο στρες και στην πραγματικότητα μπορούν να λειτουργήσουν ως νευροδιαβιβαστές ή πρόδρομοι ορμονών, ενεργειακά υποστρώματα, συμπαράγοντες και άλλα βασικά στοιχεία, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν πολυσυστημικές και πολυοργανικές αποκρίσεις (Herrera et al., 2019).



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Μερικά από τα πρόσθετα ζωοτροφών για τη μείωση των φυσιολογικών επιπτώσεων του στρες είναι λιπίδια και λιπαρά οξέα, βιταμίνες, μέταλλα, αμινοξέα, νουκλεοτίδια, πρεβιοτικά και αντιοξειδωτικά. Οι Ding et al., (2022) εξέτασαν την επίδραση των συνθετικών PUFA στη μείωση της επίδρασης της θερμοκρασίας στα κοράλλια. Διαπίστωσαν ότι τόσο η ανάπτυξη των προνυμφών όσο και η διευθέτηση των προνυμφών ενισχύθηκαν σημαντικά στην ομάδα συμπληρωμάτων διατροφής, ενώ η δισμουτάση υπεροξειδίου, η καταλάση και τα ποσοστά θανάτου των κοραλλιών υπό πίεση μειώθηκαν. Μια άλλη μελέτη εξέτασε τις πιθανές ανοσορρυθμιστικές επιδράσεις του *Astragalus membranaceus* (AM) και του *Glycyrrhiza glabra* (γλυκόριζα) σε κίτρινη πέρκα (*Perca flavescens*), όπου επηρεάστηκαν οι τιμές των παραμέτρων στρες (Elabd et al., 2016). Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, ανέφεραν ότι η χορήγηση διαίτας AM και γλυκόριζας βελτίωσε σημαντικά την απόδοση ανάπτυξης, τα αντιοξειδωτικά και τα προφίλ ανοσολογικής απόκρισης - τα οποία είναι ευεργετικά ως φυσικά ανακουφιστικά στρες.

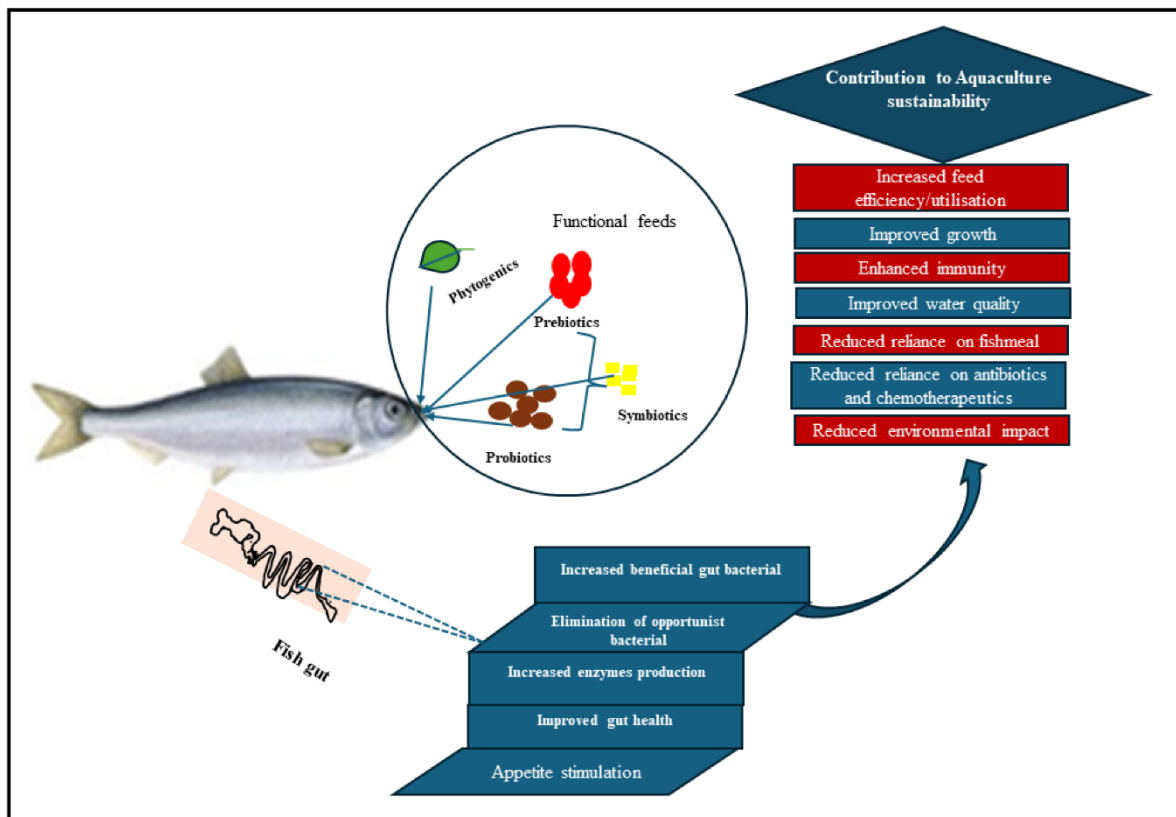


Figure 4.4. Επιδράσεις των λειτουργικών προσθέτων ζωοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια (προσαρμογή από Onomu & Okuthe, 2024)

Περίληψη

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του νερού, αυξάνοντας τους μεταβολικούς ρυθμούς των ειδών υδατοκαλλιέργειας, απαιτώντας αλλαγές στη σύνθεση των ζωοτροφών για την κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων σε θρεπτικά συστατικά. Θα πρέπει να γίνονται προσαρμογές στις αναλογίες πρωτεϊνών, λιπιδίων και υδατανθράκων στις ζωοτροφές ώστε

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες μεταβολικές ανάγκες και να εξασφαλίζεται η βέλτιστη ανάπτυξη και υγεία των ειδών. Καθώς τα ιχθυαποθέματα που χρησιμοποιούνται για ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή, εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών όπως τα άλευρα εντόμων, τα φύκια και οι φυτικές πρωτεΐνες καθίστανται σημαντικές για βιώσιμες ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας. Απαιτούνται καινοτομίες στη σύνθεση των ζωοτροφών για τη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος, όπως η χρήση συστατικών που προέρχονται από απόβλητα και η βελτιστοποίηση των ποσοστών μετατροπής των ζωοτροφών. Η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών σίτισης, όπως οι αυτοματοποιημένοι τροφοδότες και η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, είναι σημαντική για τη βελτιστοποίηση της διανομής των ζωοτροφών, τη μείωση των αποβλήτων και τη διασφάλιση της αποδοτικής χρήσης των πόρων. Οι συχνότητες και οι ποσότητες σίτισης θα πρέπει να τροποποιούνται ώστε να ταιριάζουν με τις μεταβαλλόμενες ορέξεις και ρυθμούς ανάπτυξης των ειδών υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες θερμοκρασίας. Ρυθμιστικοί παράγοντες θα πρέπει να προστίθενται στα σκευάσματα ζωοτροφών για να βοηθήσουν στην αντιστάθμιση των επιπτώσεων της οξίνισης των ωκεανών στην πεπτική φυσιολογία των ειδών υδατοκαλλιέργειας. Είναι χρήσιμο να αναπτυχθούν στρατηγικές ζωοτροφών που αυξάνουν την ανθεκτικότητα των ειδών υδατοκαλλιέργειας σε όξινες συνθήκες, όπως η συμπερίληψη ανόργανων στοιχείων και βιταμινών που υποστηρίζουν την αντοχή στο στρες. Η χρήση πρόσθετων ενζύμων για τη βελτίωση της πεπτικότητας των συστατικών των ζωοτροφών και την ενίσχυση της απορρόφησης θρεπτικών ουσιών είναι ζωτικής σημασίας, μεγιστοποιώντας έτσι την ανάπτυξη και την υγεία στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η προσθήκη ευεργετικών μικροοργανισμών και πρεβιοτικών ενώσεων στις ζωοτροφές για την υποστήριξη της υγείας του εντέρου, την ενίσχυση της ανοσίας και την αύξηση της συνολικής αποδοτικότητας των ζωοτροφών ενόψει των στρεσογόνων παραγόντων που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα.

Βιβλιογραφία

- Aasen, I. M., Sandbakken, I. S., Toldnes, B., Roleda, M. Y., & Slizyte, R. (2022). Enrichment of the protein content of the macroalgae *Saccharina latissima* and *Palmaria palmata*. *Algal research*, 65, 102727. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102727>
- Abdel-Latif, H. M., Abdel-Tawwab, M., Khafaga, A. F., & Dawood, M. A. (2020). Dietary oregano essential oil improved the growth performance via enhancing the intestinal morphometry and hepato-renal functions of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture*, 526, 735432. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735432>
- Ahmad, A., W. Hassan, S., & Banat, F. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: Food security and circular economy. *Bioengineered*, 13(4), 9521–9547. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>
- Ahmed, N., Thompson, S., & Glaser, M. (2019). Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability. *Environmental management*, 63, 159–172. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3>
- Akbari Nargesi, E., Falahatkar, B., & Sajjadi, M. M. (2020). Dietary supplementation of probiotics and influence on feed efficiency, growth parameters and reproductive performance in female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) broodstock. *Aquaculture Nutrition*, 26(1), 98–108. <https://doi.org/10.1111/anu.12970>
- Albrektsen, S., Kortet, R., Skov, P. V., Ytteborg, E., Gitlesen, S., Kleinegris, D., ... & Øverland, M. (2022). Future feed resources in sustainable salmonid production: A review. *Reviews in aquaculture*, 14(4), 1790–1812. <https://doi.org/10.1111/raq.12673>



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R. T., Wong, J., & Wang, L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and fisheries*, 7(2), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>
- Allegretti, G., Schmidt, V., & Talamini, E. (2017). Insects as feed: species selection and their potential use in Brazilian poultry production. *World's poultry science journal*, 73(4), 928–937. <https://doi.org/10.1017/S004393391700054X>
- Alloul, A., Wille, M., Lucenti, P., Bossier, P., Van Stappen, G., & Vlaeminck, S. E. (2021). Purple bacteria as added-value protein ingredient in shrimp feed: *Penaeus vannamei* growth performance, and tolerance against *Vibrio* and ammonia stress. *Aquaculture*, 530, 735788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735788>
- Amin, M. N., Barnes, R. K., & Adams, L. R. (2014). Effect of temperature and varying level of carbohydrate and lipid on growth, feed efficiency and nutrient digestibility of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814). *Animal feed science and technology*, 193, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.04.016>
- Amin, M. N., Carter, C. G., Katersky Barnes, R. S., & Adams, L. R. (2016). Protein and energy nutrition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at optimal and elevated temperatures. *Aquaculture nutrition*, 22(3), 527–540. <https://doi.org/10.1111/anu.12274>
- Ang, C. Y., Yong, A. S. K., Azad, S. A., Lim, L. S., Zuldin, W. H., & Lal, M. T. M. (2021). Valorization of macroalgae through fermentation for aquafeed production: A review. *Fermentation*, 7(4), 304. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040304>
- Ashour, M., Abo-Taleb, H. A., Hassan, A. K. M., Abdelzaher, O. F., Mabrouk, M. M., Elokaby, M. A., & Mansour, A. T. (2021). Valorization use of amphipod meal, *Gammarus pulex*, as a fishmeal substitute on growth performance, feed utilization, histological and histometric indices of the gut, and economic revenue of grey mullet. *Journal of marine science and engineering*, 9(12), 1336. <https://doi.org/10.3390/jmse9121336>
- Becker, E. W. (2013). Microalgae for aquaculture: nutritional aspects. *Handbook of microalgal culture: applied phycolgy and biotechnology*, 671–691. ISBN:9780470673898.
- Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., & Boss, E. S. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444(7120), 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature05317>
- Blacher, E., Levy, M., Tatirovsky, E., & Elinav, E. (2017). Microbiome-modulated metabolites at the interface of host immunity. *The journal of immunology*, 198(2), 572–580. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1601247>
- Boyd, C. E., McNevin, A. A., & Davis, R. P. (2022). The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food security*, 14(3), 805–827. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>
- Bozkurt, M., Aysul, N., Küçükyılmaz, K., Aypak, S., Ege, G., Catli, A. U., ... & Çınar, M. (2014). Efficacy of in-feed preparations of an anticoccidial, multienzyme, prebiotic, probiotic, and herbal essential oil mixture in healthy and *Eimeria* spp. – infected broilers. *Poultry science*, 93(2), 389–399. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03368>
- Bunting, M. (2021). *Making fish feed greener: by-products the key to a sustainable aquaculture industry*. 22 September 2021. <https://disruptr.deakin.edu.au/environment/making-fish-feed-greener-by-products-the-key-to-a-sustainable-aquaculture-industry/>
- Cheung, W. W. L., Maire, E., Oyinlola, M. A., Robinson, J. P. W., Graham, N. A. J., Lam, V. W. Y., McNeil, M. A., & Hicks, C. C. (2023). Climate change exacerbates nutrient disparities from seafood. *Nature Climate Change*, 13, 1242–1249. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01822-1>
- Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., & Froehlich, H. E. (2020). Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. *Nature food*, 1(5), 301–308. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0078-x>
- Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *British poultry science*, 49(1), 37–44. <https://doi.org/10.1080/0007166070181298>



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>

Delamare-Deboutteville, J., Batstone, D. J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salini, M., Tabrett, S., & Hülsen, T. (2019). Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fishmeal replacement in aquaculture. *Water research* X, 4, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100031>

Demir, E., Sarica, Ş., Özcan, M. A., & Sui Mez, M. (2003). The use of natural feed additives as alternatives for an antibiotic growth promoter in broiler diets. *British poultry science*, 44(S1), 44–45. <https://doi.org/10.1080/713655288>

Ding, D. S., Wang, S. H., Sun, W. T., Liu, H. L., & Pan, C. H. (2022). The effect of feeding on *briareum violacea* growth, survival and larval development under temperature and salinity stress. *Biology*, 11(3), 410. <https://doi.org/10.3390/biology11030410>

Ebeneezar, S., Singh, D. K., Sahoo, S., Prabu Linga, D., & Pal, A. K. (2023). *Outlook of Climate Change and Fish Nutrition*. Editors: Archana Sinha, Shivendra Kumar, Kavita Kumari. Springer, ISBN 978-981-19-5499-3, (eBook).

Eissa, E. S. H., Ahmed, R. A., Abd Elghany, N. A., Elfeky, A., Saadony, S., Ahmed, N. H., Sakr, S. E. S., Dayrit, G. B., Tolenada, C. P. S., Atienza, A. A. C., Mabrok, M., & Ayoub, H. F. (2023). Potential symbiotic effects of β -1,3 glucan, and fructooligosaccharides on the growth performance, immune response, redox status, and resistance of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei* to *Fusarium solani* infection. *Fishes*, 8(2), 105. <https://doi.org/10.3390/fishes8020105>

Elabd, H., Wang, H. P., Shaheen, A., Yao, H., & Abbass, A. (2016). Feeding *Glycyrrhiza glabra* (liquorice) and *Astragalus membranaceus* (AM) alters innate immune and physiological responses in yellow perch (*Perca flavescens*). *Fish & shellfish immunology*, 54, 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.04.024>

El-Kady, A. A., Magouz, F. I., Mahmoud, S. A., & Abdel-Rahim, M. M. (2022). The effects of some commercial probiotics as water additive on water quality, fish performance, blood biochemical parameters, expression of growth and immune-related genes, and histology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 546, 737249. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737249>

FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. FAO: Rome, Italy. ISBN 978-92-5-132692-3.

Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281(5374), 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>

Fowles, T. M., & Nansen, C. (2020). Insect-based bioconversion: value from food waste. *Food waste management: solving the wicked problem*, 321–346. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4_12

Froehlich, H. E., Jacobsen, N. S., Essington, T. E., Clavelle, T., & Halpern, B. S. (2018). Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nature sustainability*, 1(6), 298–303. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0077-1>

Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *The Journal of applied bacteriology*, 66(5), 365–378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>

Garcia-Launay, F., Dusart, L., Espagnol, S., Laisse-Redoux, S., Gaudre, D., Meda, B., & Wilfart, A., (2018). Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *British journal nutrition*, 120, 1298–1309. <https://doi.org/10.1017/s0007114518002672>

Gardiner, G. E., Metzler-Zebeli, B. U., & Lawlor, P. G. (2020). Impact of intestinal microbiota on growth and feed efficiency in pigs: A review. *Microorganisms*, 8(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121886>

Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P. P., De Angelis, A., ... & Roncarati, A. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian journal of animal science*, 19(1), 360–372. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1743209>

Geda, F., Rekecki, A., Decostere, A., Bossier, P., Wuyts, B., Kalmar, I. D., & Janssens, G. P. J. (2012). Changes in intestinal morphology and amino acid catabolism in common carp at mildly elevated temperature as affected by dietary



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

mannanooligosaccharides. *Animal feed science and technology*, 178(1–2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2012.09.008>

Ghafariarsani, H., Hoseinifar, S. H., Javahery, S., & Van Doan, H. (2022). Effects of dietary vitamin C, thyme essential oil, and quercetin on the immunological and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 553, 738053. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738053>

Giannenas, I., Triantafyllou, E., Stavrakakis, S., Margaroni, M., Mavridis, S., Steiner, T., & Karagouni, E. (2012). Assessment of dietary supplementation with carvacrol or thymol containing feed additives on performance, intestinal microbiota and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 350, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.027>

Glencross, B. D., Huyben, D., & Schrama, J. W. (2020). The application of single-cell ingredients in aquaculture feeds-a review. *Fishes*, 5(3), 22. <https://doi.org/10.3390/fishes5030022>

Godoy M. G., Amorim G. M., Barreto M. S., & Freire D. M. G. (2018). Chapter 12 – Agricultural Residues as Animal Feed: Protein Enrichment and Detoxification Using Solid-State Fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, C. R. Soccol (eds.), *In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 235–256). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00012-8>

Groot, R., Lyons, P., & Schrama, J. W. (2021). Digestible energy versus net energy approaches in feed evaluation for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 274, 114893. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2021.114893>

Guerreiro, I., Castro, C., Antunes, B., Coutinho, F., Rangel, F., Couto, A., ... & Enes, P. (2020). Catching black soldier fly for meagre: Growth, whole-body fatty acid profile and metabolic responses. *Aquaculture*, 516, 734613. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734613>

Guillen, A. C., Borges, M. E., Herrerias, T., Kandalski, P. K., de Arruda Marins, E., Viana, D., ... & Donatti, L. (2019). Effect of gradual temperature increase on the carbohydrate energy metabolism responses of the antarctic fish *notothenia rossii*. *Marine environmental research*, 150, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104779>

Hanachi, P., Karbalaee, S., Walker, T. R., Cole, M., & Hosseini, S. V. (2019). Abundance and properties of microplastics found in commercial fish meal and cultured common carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental science and pollution research*, 26, 23777–23787. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05637-6>

Herrera, M., Mancera, J. M., & Costas, B. (2019). The use of dietary additives in fish stress mitigation: comparative endocrine and physiological responses. *Frontiers in endocrinology*, 10, 447. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00447>

Hilborn, R., Banobi, J., Hall, S. J., Pucylowski, T., & Walsworth, T. E. (2018). The environmental cost of animal source foods. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(6), 329–335. <https://doi.org/10.1002/fee.1822>

Howell, M. (2022). *An insider's view of advances in aquaculture nutrition*. 23 September 2022. <https://thefishsite.com/articles/an-insiders-view-of-advances-in-aquaculture-nutrition-alltech-coppens>

Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., ... & Strugnell, J. M. (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One earth*, 1(3), 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>

Huertas, I. E., Rouco, M., Lopez-Rodas, V., & Costas, E. (2011). Warming will affect phytoplankton differently: evidence through a mechanistic approach. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1724), 3534–3543. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.0160>

Huguet, C. T., Norambuena, F., Emery, J. A., Hermon, K., & Turchini, G. M. (2015). Dietary n-6/n-3 LC-PUFA ratio, temperature and time interactions on nutrients and fatty acids digestibility in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 436, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.011>

Idenyi, J. N., Eya, J. C., Nwankwegu, A. S., & Nwoba, E. G. (2022). Aquaculture sustainability through alternative dietary ingredients: Microalgal value-added products. *Engineering microbiology*, 2(4), 100049. <https://doi.org/10.1016/j.engmic.2022.100049>

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Jones, S. W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B. T., & Tracy, B. P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current opinion in biotechnology*, 61, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.026>

Jusadi, D., Ekasari, J., Suprayudi, M. A., Setiawati, M., & Fauzi, I. A. (2021). Potential of underutilized marine organisms for aquaculture feeds. *Frontiers in marine science*, 7, 609471. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.609471>

Khan, M. A., Das, S. K., & Bhakta, D. (2018). Food and feeding habits, gastro-somatic index and gonado-somatic index of *Scylla serrata* from Hooghly-Matlah estuary of West Bengal, India. *Journal of the marine biological association of india*, 60(1), 14. <https://doi.org/10.6024/jmbai.2018.60.1.1994-02>

Lazzarotto, V., Médale, F., Larroquet, L., & Corraze, G. (2018). Long-term dietary replacement of fishmeal and fish oil in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth, whole body fatty acids and intestinal and hepatic gene expression. *PLoS One*, 13(1), e0190730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190730>

Legrand, T. P., Wynne, J. W., Weyrich, L. S., & Oxley, A. P. (2020). A microbial sea of possibilities: current knowledge and prospects for an improved understanding of the fish microbiome. *Reviews in aquaculture*, 12(2), 1101–1134. <https://doi.org/10.1111/raq.12375>

Li, Y., Kortner, T. M., Chikwati, E. M., Belghit, I., Lock, E. J., & Krogdahl, Å. (2020). Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 520, 734967. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734967>

Lock, E. J., Biancarosa, I., & Gasco, L. (2018). Insects as raw materials in compound feed for aquaculture. *Edible insects in sustainable food systems*, 263–276. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_16

Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. *Reviews in aquaculture*, 16(2), 818–835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>

Mackenzie, S. G., Leinonen, I., Ferguson, N., & Kyriazakis, I. (2016). Towards a methodology to formulate sustainable diets for livestock: accounting for environmental impact in diet formulation. *British journal of nutrition*, 115(10), 1860–1874. <https://doi.org/10.1017/S0007114516000763>

MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific reports*, 10(1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>

Mancuso, T., Pippinato, L., & Gasco, L. (2019). The European insects sector and its role in the provision of green proteins in feed supply. *Calitatea*, 20(S2), 374–381. <https://www.researchgate.net/publication/332504133>

Matassa, S., Papirio, S., Pikaar, I., Hülsen, T., Leijenhurst, E., Esposito, G., ... & Verstraete, W. (2020). Upcycling of biowaste carbon and nutrients in line with consumer confidence: the “full gas” route to single cell protein. *Green chemistry*, 22(15), 4912–4929. <https://doi.org/10.1039/D0GC01382J>

Messeder, T. (2021). *Innovation opportunities in European Aquaculture*. KTN AgriFood and EIT Food. March 2021.

Mo, W. Y., Cheng, Z., Choi, W. M., Man, Y. B., Liu, Y., & Wong, M. H. (2014). Application of food waste-based diets in polyculture of low trophic level fish: Effects on fish growth, water quality and plankton density. *Marine pollution bulletin*, 85(2), 803–809. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.020>

Nadermann, N., Seward, R. K., & Volkoff, H. (2019). Effects of potential climate change-induced environmental modifications on food intake and the expression of appetite regulators in goldfish. *Comparative biochemistry and physiology part a: molecular & integrative physiology*, 235, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.06.001>

Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S., Mahata, C., ... & Kumar, G. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Journal of biotechnology*, 341, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003>

Nasser, N., Abiad, M. G., Babikian, J., Monzer, S., & Saoud, I. P. (2018). Using restaurant food waste as feed for Nile tilapia production. *Aquaculture research*, 49(9), 3142–3150. <https://doi.org/10.1111/are.13777>



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Nathanailides, C., Kolygas, M., Choremi, K., Mavraganis, T., Gouva, E., Vidalis, K., & Athanassopoulou, F. (2021). Probiotics Have the Potential to Significantly Mitigate the Environmental Impact of Freshwater Fish Farms. *Fishes*, 6(4), 76. <https://doi.org/10.3390/fishes6040076>

Nielsen, T. B., Würtz, A. M. L., Tjønneland, A., Overvad, K., & Dahm, C. C. (2022). Substitution of unprocessed and processed red meat with poultry or fish and total and cause-specific mortality. *British Journal of Nutrition*, 127(4), 563–569. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001252>

NOAA Fisheries. (2022). *Climate Resilience and Aquaculture. Fact Sheet 2022*. www.fisheries.noaa.gov/aquaculture

Ojeda, J. (2021). *Can sustainable aquaculture help to achieve the UN SDGs?* 17 August, 2021. <https://www.eitfood.eu/blog/can-sustainable-aquaculture-help-to-achieve-the-un-sdgs>

Onomu, A. J., & Okuthe, G. E. (2024). The Role of Functional Feed Additives in Enhancing Aquaculture Sustainability. *Fishes*, 9(5), 167. <https://doi.org/10.3390/fishes9050167>

Oscar, E. V., Joshua, E. O., Felix, E., & Eyerituvie, A. F. (2020). A Review on the Application and Benefits of Probiotics Supplements in Fish Culture. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*, 11(4), 62–65. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2020.11.555817>

Parker, L. M., Scanes, E., O'Connor, W. A., Dove, M., Elizur, A., Pörtner, H. O., & Ross, P. M. (2024). Resilience against the impacts of climate change in an ecologically and economically significant native oyster. *Marine pollution bulletin*, 198, 115788. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115788>

Pombo, A., Baptista, T., Granada, L., Ferreira, S. M., Gonçalves, S. C., Anjos, C., ... & Costa, J. L. (2020). Insight into aquaculture's potential of marine annelid worms and ecological concerns: a review. *Reviews in aquaculture*, 12(1), 107–121. <https://doi.org/10.1111/raq.12307>

Porteus, C. S., Hubbard, P. C., Uren Webster, T. M., van Aerle, R., Canário, A. V., Santos, E. M., & Wilson, R. W. (2018). Near-future CO2 levels impair the olfactory system of a marine fish. *Nature climate change*, 8(8), 737–743. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0224-8>

Puvanasundram, P., Chong, C. M., Sabri, S., Yusoff, M. S., & Karim, M. (2021). Multi-strain probiotics: Functions, effectiveness and formulations for aquaculture applications. *Aquaculture reports*, 21, 100905. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100905>

Qiu, X., Neori, A., Kim, J. K., Yarish, C., Shpigel, M., Guttman, L., ... & Davis, D. A. (2018). Evaluation of green seaweed *Ulva* sp. as a replacement of fish meal in plant-based practical diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of applied phycology*, 30, 1305–1316. <https://www.researchgate.net/publication/320042463>

Ragaza, J. A., Hossain, M. S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Kotzamanis, Y., ... & Kumar, V. (2021). Brown seaweed (*Sargassum fulvellum*) inclusion in diets with fishmeal partially replaced with soy protein concentrate for Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) juveniles. *Aquaculture nutrition*, 27(4), 1052–1064. <https://doi.org/10.1111/anu.13246>

Rasidi, R., Jusadi, D., Setiawati, M., Yuhana, M., Zairin Jr, M., & Sugama, K. (2021). Dietary Supplementation of humic acid in the Feed of juvenile asian seabass, *Lates calcarifer* to counteract possible negative effects of Cadmium Accumulation on Growth and Fish Well-being when Green Mussel (*Perna viridis*) is used as a Feed ingredient. *Aquaculture research*, 52(6), 2550–2568. <https://doi.org/10.1111/are.15104>

Reid, G. K., Gurney-Smith, H., Marcogliese, D. J., Knowler, D., Benfey, T., Garber, A. F., Forster, I., Chopin, T., Brewer-Dalton, K., Moccia, R. D., Flaherty, M. S., Smith, C. T., de Silva, S. (2019). Climate change and aquaculture: considering biological response and resources. *Aquaculture environment interactions*, 11, 569–602. <https://doi.org/10.3354/aei00332>

Rimoldi, S., Torrecillas, S., Montero, D., Gini, E., Makol, A., Valdenegro, V. V. et al. (2020). Assessment of dietary supplementation with galactomannan oligosaccharides and phytogenics on gut microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) fed low fishmeal and fish oil based diet. *PLoS ONE* 15(4), e0231494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231494>



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single cell protein – state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in microbiology*, 8, 2009. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>

Sandblom, E., Gräns, A., Axelsson, M., & Seth, H. (2014). Temperature acclimation rate of aerobic scope and feeding metabolism in fishes: implications in a thermally extreme future. *Proceedings of the royal society b: biological sciences*, 281(1794), 20141490. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1490>

Sarker, P. K. (2023). Microorganisms in fish feeds, technological innovations, and key strategies for sustainable aquaculture. *Microorganisms*, 11(2), 439. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020439>

Sarker, P. K., Fournier, J., Boucher, E., Proulx, E., de la Noüe, J., & Vandenberg, G. W. (2011). Effects of low phosphorus ingredient combinations on weight gain, apparent digestibility coefficients, non-fecal phosphorus excretion, phosphorus retention and loading of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 168, 241–9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.086>

Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., McKuin, B., Fitzgerald, D. S., Nash, H. M., & Greenwood, C. (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Scientific reports*, 10(1), 19328. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75289-x>

Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Tomas, S., Koceva Komlenić, D., & Bucić-Kojić, A. (2021). A comprehensive review on valorization of agro-food industrial residues by solid-state fermentation. *Foods*, 10(5), 927. <https://doi.org/10.3390/foods10050927>

Sepulveda, J., & Moeller, A. H. (2020). The effects of temperature on animal gut microbiomes. *Frontiers in microbiology*, 11, 384. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00384>

Shahin, S., Okomoda, V. T., Ma, H., & Ikhwannuddin, M. (2023). Sustainable alternative feed for aquaculture: state of the art and future perspective. *Planetary sustainability*, 1(1), 62–96. <https://www.researchgate.net/publication/373874626>

Sharma, J., Singh, S. P., & Chakrabarti, R. (2017). Effect of temperature on digestive physiology, immune-modulatory parameters, and expression level of Hsp and LDH genes in *Catla catla* (Hamilton, 1822). *Aquaculture*, 479, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.031>

Siikavuopio, S.I., James, P., Lysne, H., & Saather, B. J. (2012). Effects of size and temperature on growth and feed conversion of juvenile green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, 354–355, 27–30. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.036>

Smáráson, B. Ö. (2023). *Why are sustainable feed need? Eit Food*. 01.07.2023. <https://www.eitfood.eu/blog/fish-feed-why-we-need-sustainable-alternatives>

Stumpp, M., Hu, M., Casties, I., Saborowski, R., Bleich, M., Melzner, F., & Dupont, S. (2013). Digestion in sea urchin larvae impaired under ocean acidification. *Nature climate change*, 3(12), 1044–1049. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2028>

Tait, J. (2021). *New approach to feed production can transform climate impact of industries including fish farming*. <https://www.sps.ed.ac.uk/news-events/news/new-approach-feed-production-can-transform-climate-impact-industries-including>

Tocher, D. R., Betancor, M. B., Sprague, M., Olsen, R. E., & Napier, J. A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11(1), 89. <https://doi.org/10.3390/nu11010089>

Trinh, L. T., Bakke, I., & Vadstein, O. (2017). Correlations of age and growth rate with microbiota composition in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *Scientific reports*, 7(1), 8611. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09073-9>

Van Doan, H., Hoseinifar, S. H., Tapingkae, W., Seel-Audom, M., Jaturasitha, S., Dawood, M. A., & Esteban, M. Á. (2020). Boosted growth performance, mucosal and serum immunity, and disease resistance Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings using corn-cob-derived xylooligosaccharide and *Lactobacillus plantarum* CR1T5. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 12, 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100953>



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Vieira, L., Filipe, D., Amaral, D., Magalhães, R., Martins, N., Ferreira, M., ... & Peres, H. (2023). Solid-state fermentation as green technology to improve the use of plant feedstuffs as ingredients in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Animals*, 13(17), 2692. <https://doi.org/10.3390/ani13172692>

Volkoff, H. (2019). Feeding and its regulation. In *Climate change and non-infectious fish disorders* (pp. 87–101). Wallingford UK: CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786393982.0087>

Warwas, N. (2023). *Novel Marine Ingredients for Aquaculture - Fish Nutrition, Physiology and Intestinal Health*. Doctoral thesis, University of Gothenburg Faculty of Science, Department of Biological and Environmental Sciences. Institutionen för biologi och miljövetenskap. ISBN 978-91-8069-513-8 978-91-8069-514-5

Widanarni, W., Taufik, A., Yuhana, M., & Ekasari, J. (2019). Dietary mannan ligosaccharides positively affect the growth, digestive enzyme activity, immunity and resistance against vibrio harveyi of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*, 19, 271–278. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_4_01

Wilfart, A., Garcia-Launay, F., Terrier, F., Soudé, E., Aguirre, P., & Skiba-Cassy, S. (2023). A step towards sustainable aquaculture: Multiobjective feed formulation reduces environmental impacts at feed and farm levels for rainbow trout. *Aquaculture*, 562, 738826.

Yadav, S., & Jha, R. (2019). Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of animal science and biotechnology*, 10, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>

Yousefi, M., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Rashidian, G., & Van Doan, H. (2021). Effects of dietary marjoram, *Origanum majorana* extract on growth performance, hematological, antioxidant, humoral and mucosal immune responses, and resistance of common carp, *Cyprinus carpio* against *Aeromonas hydrophila*. *Fish & shellfish immunology*, 108, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.019>

Zengin, M., Sur, A., İlhan, Z., Azman, M. A., Tavşanlı, H., Esen, S., Bacaksız, O. K., Demir, E. (2022). Effects of fermented distillers grains with solubles, partially replaced with soybean meal, on performance, blood parameters, meat quality, intestinal flora, and immune response in broiler. *Research in veterinary science*, 150, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.06.027>

Zhang, Z., Liu, H., Jin, J., Zhu, X., Han, D., & Xie, S. (2024). Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. *Water biology and security*, 3, 1–15, 100290. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290>

Ziv-Douki, H. (2020). Combining strengths for greater impact. *Cargill aqua nutrition sustainability report 2020. Healthy seafood for future generations*. <https://www.cargill.com/doc/1432196768685/cargill-aqua-nutrition-sustainability-report-2020.pdf>

Κεφάλαιο 5. Επιδράσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια και προστατευτικές εφαρμογές

**Gražina Žibienė, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
Alvydas Žibas, Επικεφαλής του Κέντρου Υδατοκαλλιέργειας**

Πανεπιστήμιο Vytautas Magnus

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή συνεχίζεται και επηρεάζει το υδάτινο περιβάλλον (οικοσυστήματα γλυκών, θαλάσσιων ή υφάλμυρων υδάτων) αυξάνοντας τη θερμοκρασία των υδάτων, τις μεταβολές της στάθμης των υδάτων και των καθεστώτων ροής, τον ευτροφισμό, την οξίνιση, τα μεταβαλλόμενα φορτία θρεπτικών ουσιών, την αύξηση της διείσδυσης του υπεριώδους φωτός (UV), τη μείωση των οικοτόπων και της υποβάθμισης, καθώς και την αύξηση της θερμικής καταπόνησης και της κατανομής των ειδών.

Οι διακυμάνσεις στο υδάτινο περιβάλλον, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα και το χρόνιο στρες των χαμηλών επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου, επηρεάζουν τους φραγμούς του βλεννογόνου, τα επιθήλια, τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος και το εσωτερικό περιβάλλον (δηλαδή τα σωματικά υγρά, τα κύτταρα, τους ιστούς και τα όργανα) στους υδρόβιους οργανισμούς. Αυτά οδηγούν σε μειωμένη ανοσολογική επάρκεια στους υδρόβιους οργανισμούς, κακή ανάπτυξη και χαμηλότερη αναπαραγωγική απόδοση.

Η κλιματική αλλαγή, η οποία περιλαμβάνει την υπερθέρμανση του πλανήτη, μπορεί επίσης να επηρεάσει δυσμενώς τα αποθέματα ενέργειας στα ψάρια, συμβάλλοντας στην αύξηση του οξειδωτικού στρες και στη μειωμένη θερμική ανοχή (Woo & Iwama, 2019).

Έχει υπολογιστεί ότι για να διατηρήσει η ανθρωπότητα την κατανάλωση θαλασσινών στα σημερινά επίπεδα, η υδατοκαλλιέργεια πρέπει να παράγει πάνω από 80 εκατομμύρια τόνους (t) έως το 2030, προκειμένου να διατηρηθεί η τρέχουσα κατά κεφαλήν κατανάλωση. Έτσι, η υδατοκαλλιέργεια θα πρέπει να παράγει επιπλέον 30 εκατομμύρια τόνους θαλασσινών σε λιγότερο από μιάμιση δεκαετία. Πιθανότατα δεν υπάρχει αρκετή ξηρά ή κατάλληλες θαλάσσιες περιοχές για να συμβεί αυτό χωρίς μαζικές διαταραχές σε πολλαπλά οικοσυστήματα. Ωστόσο, περίπου το 40% της συνολικής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας χάνεται λόγω ασθενειών, όπως ορίζεται ευρέως παρακάτω. Έτσι, απλώς αφαιρώντας ή περιορίζοντας τις επιπτώσεις των ασθενειών, η ανθρωπότητα θα μπορούσε σχεδόν να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις θαλασσινών χωρίς να αλλάξει καμία πρακτική χρήσης γης (Lucas et al., 2019).

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία του αέρα προβλέπεται να αυξηθεί κατά 0,5-1,5°C έως το 2030 και οι επιπτώσεις αναμένεται να επιταχυνθούν πέραν της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1-2°C. Η παγκόσμια θερμοκρασία των ωκεανών στα άνω των 100 μέτρων προβλέπεται να αυξηθεί κατά 0,6-2,0°C έως το 2100. Η θερμική διαστολή της θέρμανσης του ωκεάνιου νερού και το λιώσιμο των πάγων και των παγετώνων είναι πολύ πιθανό να προκαλέσουν αύξηση της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας κατά 10-35 cm έως το 2050. Η κλιματική αλλαγή έχει επίσης οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως καταιγίδες και ξηρασίες. Μέχρι το 2050, το κόστος των ακραίων καιρικών φαινομένων θα μπορούσε να φτάσει το 1% του παγκόσμιου ΑΕΠ ετησίως. Περίπου το 20-35% των εκπομπών CO₂ απορροφώνται από τους ωκεανούς, οδηγώντας σε οξίνιση των ωκεανών.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη αυξάνει τον επιπολασμό και την ένταση των ασθενειών. Οι αυξημένες θερμοκρασίες του νερού μπορούν να ενισχύσουν τους ρυθμούς ανάπτυξης και αναπαραγωγής των παθογόνων παραγόντων, οδηγώντας σε συχνότερες και σοβαρότερες εστίες ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες του νερού επιταχύνουν τους κύκλους ζωής πολλών υδρόβιων παθογόνων, αυξάνοντας τον επιπολασμό και τη λοιμογόνο δράση τους. Τα βακτήρια, οι ιοί και τα παράσιτα μπορεί να γίνουν πιο επιθετικά ή να αναπτύξουν αντίσταση στις θεραπείες. Πολλά είδη υδατοκαλλιέργειας έχουν στενό εύρος θερμικής ανοχής. Οι αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν να αποδυναμώσουν το ανοσοποιητικό τους σύστημα, καθιστώντας τους πιο επιρρεπείς σε λοιμώξεις και ασθένειες. Τα θερμότερα ύδατα μπορούν να επιτρέψουν στα τροπικά και υποτροπικά παθογόνα να επεκτείνουν το εύρος εξάπλωσής τους, εκθέτοντας τα είδη υδατοκαλλιέργειας σε εύκρατες περιοχές σε νέες ασθένειες.

Η κλιματική αλλαγή απειλεί μοναδικά και ευάλωτα οικοσυστήματα όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι. Στα χερσαία οικοσυστήματα και στα οικοσυστήματα γλυκού νερού, η κλιματική αλλαγή προκαλεί απώλειες βιοποικιλότητας και αυξημένο αποικισμό από χωροκατακτητικά είδη. Οι συνδυασμένες επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, της διάβρωσης των ακτών, της ρύπανσης και της οξίνισης των ωκεανών απειλούν τα παράκτια οικοσυστήματα (Lucas et al., 2019).

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υδατοκαλλιέργεια στο μέλλον είναι βαθιές. Καθώς η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε αυξημένη συχνότητα ξηρασιών και ακραίων καιρικών φαινομένων, μπορούν να αναμένονται διαταραχές στην παραγωγή σε λίμνες. Επιπλέον, οι μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών και η αυξημένη ζήτηση που συνδέονται με την αύξηση του πληθυσμού και την οικονομική ανάπτυξη θα δημιουργήσουν έλλειψη και θα αυξήσουν τις τιμές των βασικών καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα θα αυξήσουν την ευπάθεια της υδατοκαλλιέργειας στην παράκτια ζώνη, συμπεριλαμβανομένων των παράκτιων λιμνών γαρίδας και ψαριών, των σχεδίων οστρακοειδών και των κλωβών ψαριών, ιδίως στην Ασία με άφθονες υποδομές υδατοκαλλιέργειας.

Η οξίνιση των ωκεανών θα θέσει υπό αμφισβήτηση τη βιωσιμότητα της παράκτιας υδατοκαλλιέργειας δίθυρων οστρακοειδών. Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να επιδεινώσει την ευαισθησία της υδατοκαλλιέργειας σε συμβάντα ασθενειών (Lucas et al., 2019).

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Τα αυξημένα επίπεδα CO₂ οδηγούν σε οξίνιση των ωκεανών, η οποία επηρεάζει οργανισμούς ασβεστοποίησης όπως τα οστρακοειδή και τα κοράλλια. Οι όξινες συνθήκες αποδυναμώνουν τα κελύφη και τους σκελετούς τους, καθιστώντας τους πιο ευάλωτους σε ασθένειες και περιβαλλοντικό στρες. Η οξίνιση μπορεί να μεταβάλει τη σύνθεση και την υγεία των υδάτινων οικοσυστημάτων, επηρεάζοντας ενδεχομένως τα είδη που βασίζονται σε αυτά τα ενδιαίτηματα, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που εκτρέφονται σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην αλατότητα μέσω αλλοιωμένων μοτίβων βροχοπτώσεων και αυξημένης απορροής γλυκού νερού. Τα είδη υδατοκαλλιέργειας μπορεί να παρουσιάσουν ωσμωτικό στρες, οδηγώντας σε υψηλότερη ευαισθησία σε ασθένειες και μειωμένη ανάπτυξη. Οι διακυμάνσεις στην αλατότητα μπορούν να επηρεάσουν τον επιπολασμό ορισμένων παθογόνων και ασθενειών, απαιτώντας προσαρμογές στις πρακτικές διαχείρισης.

Λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, η αυξημένη απορροή θρεπτικών ουσιών από τη γεωργία και τις αστικές περιοχές μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό, προκαλώντας ανθίσεις φυκιών και υποξικές συνθήκες. Αυτές οι αλλαγές υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού και δημιουργούν περιβάλλοντα που ευνοούν την εκδήλωση ασθενειών.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να προκαλέσει επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών (HABs). Ορισμένες ανθίσεις φυκιών παράγουν τοξίνες που μπορούν να βλάψουν άμεσα τα είδη υδατοκαλλιέργειας ή να δημιουργήσουν συνθήκες που ευνοούν τους παθογόνους οργανισμούς.

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι καταιγίδες και οι πλημμύρες, μπορούν να προκαλέσουν υλικές ζημιές στις υποδομές υδατοκαλλιέργειας και να οδηγήσουν σε αιφνίδιες αλλαγές στην ποιότητα των υδάτων. Αυτοί οι στρεσογόνοι παράγοντες μπορούν να αποδυναμώσουν την υγεία των υδρόβιων ειδών και να αυξήσουν την ευπάθεια τους σε ασθένειες.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να μεταβάλει την κατανομή και την ποικιλομορφία των υδρόβιων παθογόνων. Νέα ή προηγουμένως σπάνια παθογόνα μπορεί να γίνουν πιο συνηθισμένα, θέτοντας νέες προκλήσεις για τη διαχείριση ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια.

Άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως η υποξία, η οξίνιση και οι αλλαγές στην αλατότητα, μπορούν να επιδεινώσουν το στρες και να βλάψουν περαιτέρω την ανοσολογική λειτουργία.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να μεταβάλει τους κύκλους ζωής και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ξενιστών και παρασίτων, οδηγώντας ενδεχομένως στην εμφάνιση νέων φορέων ασθενειών και οδών μετάδοσης. Οι δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας πρέπει να προσαρμοστούν στο μεταβαλλόμενο τοπίο των παθογόνων παραγόντων εφαρμόζοντας επικαιροποιημένες στρατηγικές παρακολούθησης και διαχείρισης ασθενειών.

1. Κοινές ασθένειες και οι επιπτώσεις τους

1.1 Ταξινόμηση και βασικά συμπτώματα

Εισαγωγή στις ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια

Η ασθένεια είναι η αντίδραση του σώματος σε δυσμενείς παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ως αποτέλεσμα, διακόπτεται η κανονική λειτουργία του σώματος και μειώνεται η ικανότητα προσαρμογής. Ταυτόχρονα, κινητοποιούνται οι αμυντικές λειτουργίες του σώματος.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

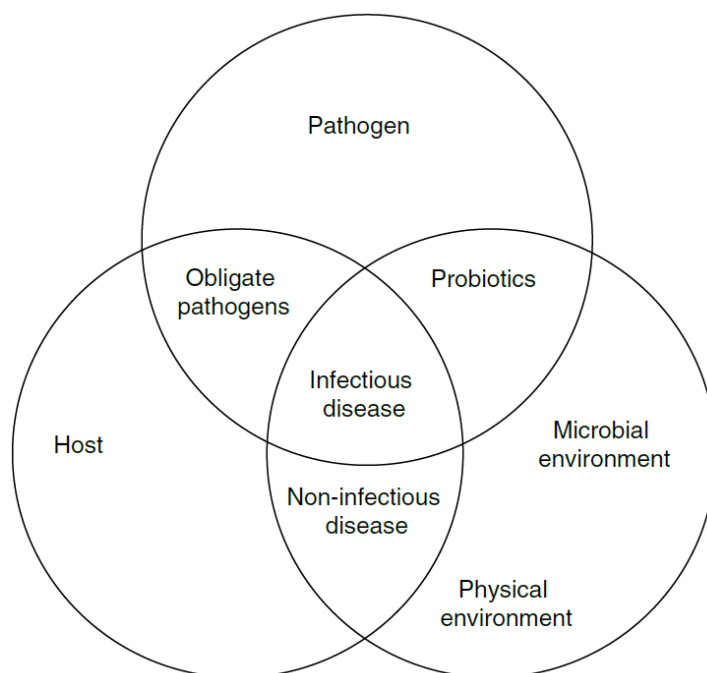
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Οι ασθένειες χαρακτηρίζονται από ορισμένα κλινικά φαινόμενα, συμπτώματα, αντίστοιχες βλάβες στη δομή των ιστών του σώματος και διαταραχές των λειτουργιών τους.

Οι τρεις δακτύλιοι Sneizko, διάγραμμα Venn των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ξενιστή (είδος υδατοκαλλιέργειας), παθογόνου και περιβάλλοντος (Σχήμα 5.1) απεικονίζει το γεγονός ότι, για να συμβεί, οι περισσότερες μολυσματικές ασθένειες είναι μια τριμερής αλληλεπίδραση που χρειάζεται όλα τα συστατικά:

- Παθογόνο;
- κεντρικός υπολογιστής;
- περιβάλλον.

Η μη λοιμώδης νόσος είναι μια αλληλεπίδραση μόνο μεταξύ του ξενιστή και του περιβάλλοντος. Η περιοχή επικάλυψης μεταξύ παθογόνου και ξενιστή αντιπροσωπεύει υποχρεωτικά παθογόνα: την πιο απειλητική ομάδα, καθώς δεν χρειάζονται περιβαλλοντικό στρες για να προκαλέσουν κλινική ασθένεια (Lucas et al., 2019).



Σχήμα 5.1. Τροποποιημένο μοντέλο τριών δακτυλίων Sneizko που απεικονίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ ξενιστή, παθογόνου και περιβάλλοντος (Lucas et al., 2019).

Συμπεριφορικές και σωματικές ανωμαλίες

Η μη φυσιολογική συμπεριφορά είναι συχνά η πρώτη ένδειξη ενός επικείμενου προβλήματος υγείας των ψαριών. Οι επαγγελματίες πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με την κανονική συμπεριφορά και εμφάνιση των ειδών ψαριών. Όλες οι συμπεριφορές, συμπεριλαμβανομένης της δραστηριότητας σίτισης και κολύμβησης, και η ανταπόκριση σε ξαφνική κίνηση πρέπει να παρακολουθούνται προσεκτικά. Ο παραγωγός ψαριών πρέπει να μάθει να διακρίνει τις αποχρώσεις στη συμπεριφορά. Τα υγιή ψάρια εμφανίζουν "φυσιολογική" συμπεριφορά. Ο πίνακας 5.1 παραθέτει ανωμαλίες που

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

μπορεί να παρατηρηθούν όταν τα ψάρια είναι άρρωστα. Αυτά τα σημάδια θα βοηθήσουν στη διάγνωση της αιτίας ενός προβλήματος (Timmons & Ebeling, 2013).

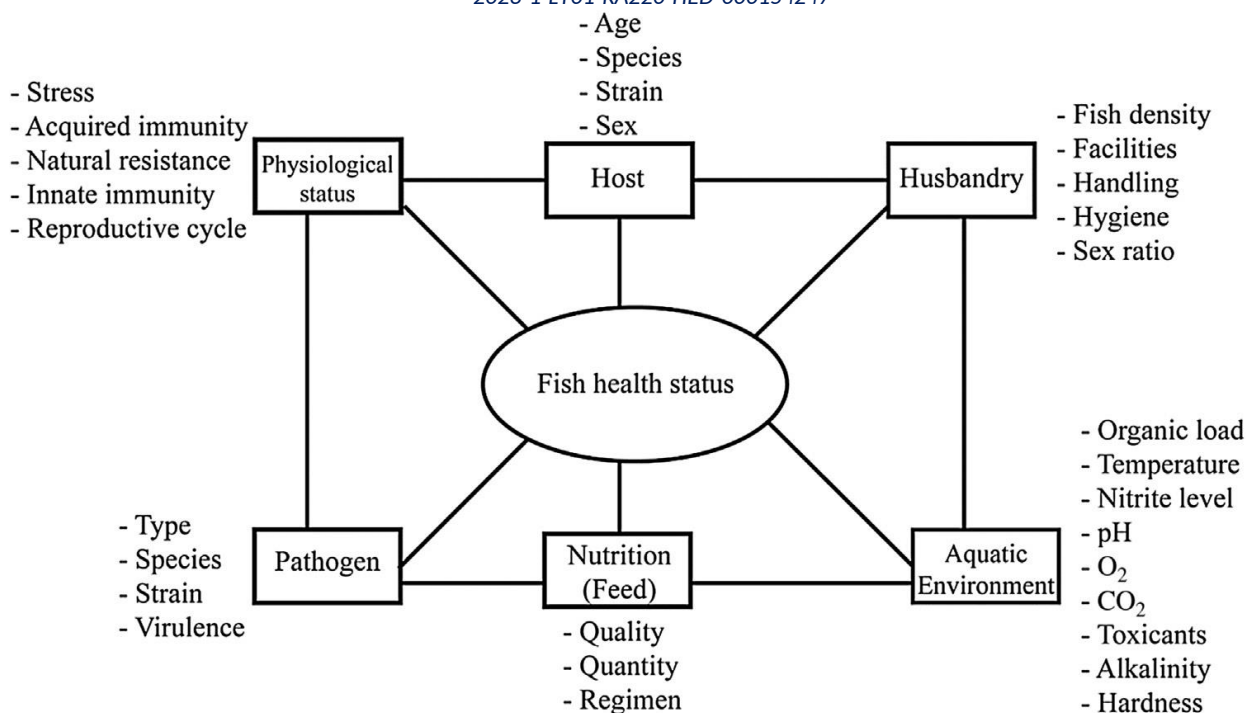
Πίνακας 5.1. Ψάρια συμπεριφορικά και φυσικά σημάδια για άγχος και ασθένεια (Timmons & Ebeling, 2013)

Συμπεριφορά ψαριών	Σημάδια που πρέπει να παρατηρήσετε
Κίνηση	Αδύναμη, ακανόνιστη ή ληθαργική κολύμβηση Αυξημένη ή μειωμένη αντίδραση σε εξωτερικά ερεθίσματα όπως θόρυβος ή κίνηση Ξύσιμο, αναβοσβήνει ή τρίβεται στη δεξαμενή τοιίχους ή πυθμένα Συσπάσεις, βελάκια, κλώση ή άλματα έξω από το νερό Συνωστισμός κοντά στην εισερχόμενη παροχή νερού Κολύμπι ανάποδα Λαχανιάζοντας στην επιφάνεια του νερού
Διατροφή	Μη σίτιση Μειωμένη σίτιση (ανιχνεύεται από καμπύλες ανάπτυξης καθώς και παρατήρηση)
Αναπνοή	Μειωμένος ρυθμός οπτικής κίνησης Αυξημένος ρυθμός οπτικής κίνησης
Φυσική κατάσταση	Ορατές βλάβες ή πληγές Θολά μάτια Προεξέχοντα μάτια Βράγχια πρησμένα, λευκά, ροζ ή ανοιχτό κόκκινο, διαβρωμένα, πρησμένο, αιματηρό, καφέ Απώλεια κλίμακας Πρησμένη κοιλιά Περίσσεια βλεννογόνου στο δέρμα και/ή βράγχια (Επίσης, ελέγξτε για περίσσεια βλέννας στις οθόνες δεξαμενών) Κηλίδες ή μύκητες στο δέρμα Ασυνήθιστοι χρωματισμοί στην επιφάνεια του σώματος, συμπεριλαμβανομένου του κόκκινου πρησμένες περιοχές, γκρι ή κίτρινες αλλοιώσεις Flared opercula (βραγχιακά καλύμματα) Φθαρμένα πτερύγια ή ουρά Φυσαλίδες στα μάτια ή στο δέρμα

Τα ψάρια που εκτρέφονται σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας αντιμετωπίζουν διάφορους τύπους στρεσογόνων παραγόντων που μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε αβιοτικούς και βιοτικούς στρεσογόνους παράγοντες. Οι επιδράσεις των αβιοτικών στρεσογόνων παραγόντων στα εκτρεφόμενα ψάρια είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν (Σχήμα 5.2). Μερικοί από τους βιοτικούς παράγοντες μπορούν εύκολα να ελεγχθούν και ένας προσεκτικός χειρισμός ορισμένων βιοτικών παραγόντων μπορεί να αποτρέψει με επιτυχία ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιήσει την απώλεια ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια (Jeney, 2017).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

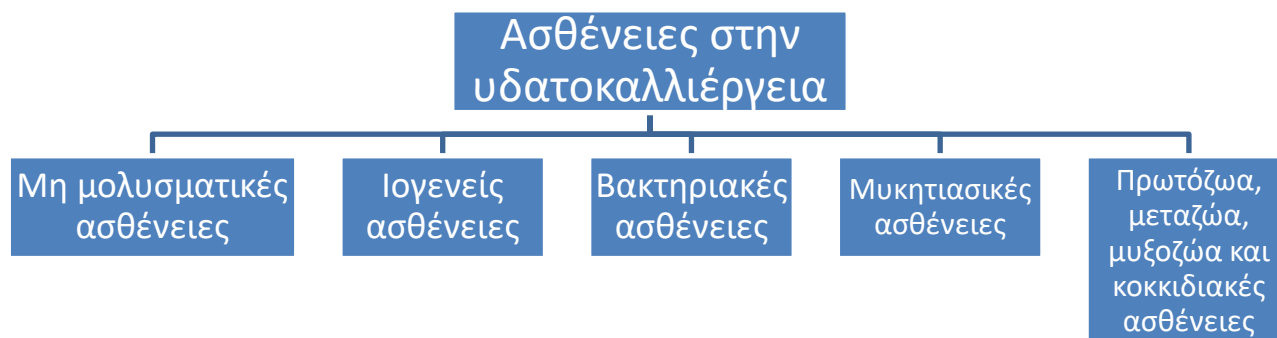
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Σχήμα 5.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση της υγείας των ψαριών (Jeney, 2017)

Ταξινόμηση ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια

Οι ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια μπορούν να χωριστούν σε μερικές ομάδες: μη μολυσματικές ασθένειες, ιογενείς ασθένειες, ασθένειες βακτηρίων, ασθένειες που προκαλούνται από μύκητες και μυκητιασικούς οργανισμούς και ασθένειες που προκαλούνται από παράσιτα (πρωτόζωα, μετάρζωα και μυξοζώα, κοκκίδια κ.λπ.) (Εικόνα 3).



Σχήμα 5.3. Ταξινόμηση ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια.

Λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις ασθένειες, την αιτιολογία, τη σηματοδότηση, τον παράγοντα κινδύνου, τη διαχείριση και την πρόληψη μπορούν να βρεθούν σε εξειδικευμένες πηγές, βιβλία, βάσεις δεδομένων, για παράδειγμα:

- Κλινικός οδηγός για την ιατρική των ψαριών. (2021). Στο Wiley eBooks.;
- Noga, E. J. (2010). Ασθένεια των ψαριών: διάγνωση και θεραπεία. John Wiley &; Υιοί.



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- <http://afs-fhs.org/bluebook/bluebook-index.php> Τμήμα Υγείας Ψαριών BLUE BOOK 2014 Edition. Προτεινόμενες διαδικασίες για την ανίχνευση και ταυτοποίηση ορισμένων παθογόνων ψαριών με πτερύγια και οστρακοειδών.
- <http://www.thefishsite.com/diseaseinfo/>
- https://www.dnr.state.mn.us/fish_diseases/index.html.

Παραδείγματα κοινών εξωτερικών ή εσωτερικών βλαβών ενδεικτικών παθήσεων σε καλλιεργούμενα ψάρια παρουσιάζονται στο σχήμα 4 και στο σχήμα 5.

Μη λοιμώδη νοσήματα

Τα μη λοιμώδη νοσήματα σχετίζονται με την ποιότητα του νερού (χαμηλό διαλυμένο οξυγόνο, υπερκορεσμός αερίων, βαρότραυμα, καταπόνηση θερμοκρασίας, στρες pH και τοξικότητα από αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά, χλώρια, βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, φυτοφάρμακα κ.λπ.) ή άλλες αιτίες (τραύμα, μυοπάθεια άσκησης, αποχρωματισμός πλευρικής γραμμής, υπερπλασία θυρεοειδούς, κύστεις βλεννομήτρας και ωοθηκών, κατακράτηση ή δέσμευση ωαρίων, δυστοκία, καταρράκτης, κερατοπάθεια λιπιδίων, ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών, γαστρεντερικά ξένα σώματα και νεοπλασία (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021)).

1.2 Λοιμώδεις ασθένειες ανά τύπο παθογόνου

Ιογενείς ασθένειες

Τα περισσότερα από τα κοινά γνωστά ιικά παθογόνα των ψαριών προέρχονται από τρεις οικογένειες:

- *Herpesviridae*, *Rhabdoviridae* και *Iridoviridae*.

Οι ακόλουθες ιογενείς ασθένειες των ψαριών είναι πιο επικίνδυνες και μπορούν να αναφερθούν στον ΟΙΕ (Παγκόσμιος Οργανισμός για την Υγεία των Ζώων), περιφερειακούς και εθνικούς οργανισμούς, αρμόδιους για τις ασθένειες των ζώων (Clinical Guide to Fish Medicine, 2021):

- Κοί ιός έρπητα
- ιογενής αιμορραγική σηψαιμία
- λοιμώδης αιματοποιητική νέκρωση
- Εαρινή ιαιμία του κυπρίνου
- επιζωοτική αιματοποιητική νέκρωση
- ιριδοϊός τσιπούρας
- λοιμώδης αναιμία σολομού
- αλφαϊός σαλμονιδών.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

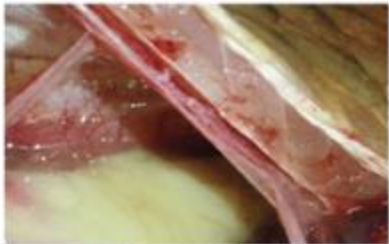
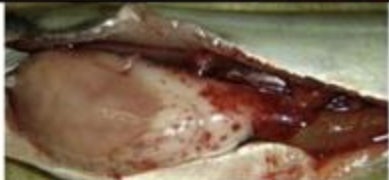
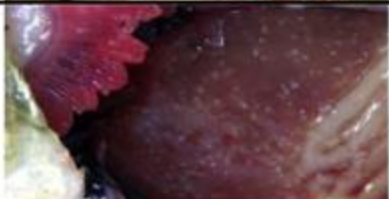
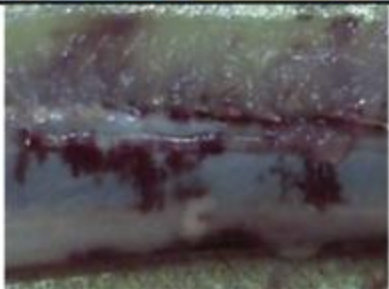
Πίνακας 5.2. Παραδείγματα κοινών εξωτερικών βλαβών που υποδηλώνουν παθολογικές καταστάσεις σε εκτρεφόμενα ψάρια (Jeney, 2017)

Abnormal Signs	Possible Disease Causes
	Multifocal to coalescing hemorrhage suggestive of a systemic viral and/or bacterial infection, or heavy external parasitism
	Diffuse hemorrhages, along with a hemorrhagic vent, suggestive of a systemic subacute viral and/or bacterial infection
	Furuncle suggestive of infection with <i>Aeromonas salmonicida</i>
	Deep hemorrhagic ulcer suggestive of bacterial infection
	Fin erosion and deep ulcer on the caudal peduncle suggestive of flavobacterial infection
	Exophthalmia with an ocular hemorrhage suggestive of a systemic viral and/or bacterial infection
	Severely pale gills suggestive of anemia, possibly induced by viral or bacterial infection
	Gills showing extensive tissue loss suggestive of flavobacterial infection and some viral infections (e.g., Koi herpesvirus)

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCá]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Πίνακας 5.3. Παραδείγματα κοινών εσωτερικών βλαβών που υποδηλώνουν παθολογικές καταστάσεις σε εκτρεφόμενα ψάρια (Jeney, 2017)

Abnormal Signs	Possible Disease Causes
	Presence of fluids in the abdominal cavity suggestive of a systemic bacterial and/or viral disease
	Hemorrhage in visceral fat suggestive of nutritional deficiency or systemic viral/bacterial disease
	Multiple whitish nodules in the liver suggestive of granulomatous diseases, such as mycobacteriosis, bacterial kidney disease, or piscirickettsiosis. The same lesions can be caused by encysted metacercariae of larval trematodes
	Hemorrhagic inflammation of the intestine suggestive of toxicosis or enteric redmouth disease caused by <i>Yersinia ruckeri</i>
	Hemorrhages in the swimbladder suggestive of systemic viral and/or bacterial disease
	Whitish nodules in the kidney parenchyma suggestive of bacterial kidney disease

Βακτηριακές ασθένειες

Οι περισσότερες βακτηριακές ασθένειες των ψαριών προκαλούνται από ευκαιριακούς Gram-αρνητικούς βακίλους (ράβδους).

Αναφέρονται ορισμένες σημαντικές Gram-θετικές βακτηριακές λοιμώξεις (π.χ. *Streptococcus* και *Renibacterium spp.*; *Μυκοβακτηρίδιο spp.* μπορεί επίσης να πάρει λεκέ Gram).

Η νοσηρότητα και η θνησιμότητα είναι συχνά δευτερεύουσες σε στρεσογόνους παράγοντες. Οι συστηματικές λοιμώξεις είναι πιο συχνές, αν και μπορεί να παρατηρηθούν τοπικές λοιμώξεις. Τα κλινικά συμπτώματα είναι συχνά μη ειδικά και η οριστική διάγνωση απαιτεί βοηθητικό έλεγχο. Η θεραπεία με αντιβιοτικά πρέπει να βασίζεται στα αποτελέσματα της καλλιέργειας και της ευαισθησίας.

(Κλινικός οδηγός για την ιατρική των ψαριών, 2021)

Μυκητιακές ασθένειες

Τα ψάρια είναι ευαίσθητα σε μια ποικιλία μυκητιακών και μυκητιακών ασθενειών. Ωομύκητες, *Exophiala spp.*, *Fusarium spp.*, τα μικροσπορίδια και τα μεσομυκητόζωα είναι τα πιο κοινά μυκητιακά παθογόνα.

- **Oomycota (Saprolegniasis)**

- Το Oomycota, κοινώς γνωστό ως oomycetes ή καλούπια νερού, είναι μυκητιασικοί οργανισμοί που μπορούν να μολύνουν το δέρμα ή τα βράγχια των ψαριών, των αυγών ψαριών και οποιασδήποτε αποσυντιθέμενης ύλης.
- Είναι κοινά ευκαιριακά παθογόνα ψαριών γλυκού νερού και υφάλμυρων ψαριών και αποτελούν ιδιαίτερο ζήτημα για το γατόψαρο στην υδατοκαλλιέργεια.
- Η μόλυνση είναι συχνά δευτερογενής σε στρεσογόνους παράγοντες τραύματος ή θερμοκρασίας.
- Οι τυπικοί ωομύκητες μπορούν να αντιμετωπιστούν χρησιμοποιώντας ιατρική και κτηνοτροφική διαχείριση, αν και η υποτροπή είναι κοινή.
- Οι άτυποι ωομύκητες είναι πιο επεμβατικοί και οδηγούν σε σοβαρή χρόνια φλεγμονή.
- Το *Aphanomyces invadans* είναι ένας άτυπος ωομύκητας που μπορεί να προκαλέσει εποχιακές επιζωοτίες σε άγρια και καλλιεργημένα ψάρια γλυκού νερού και υφάλμυρα.

Πρωτοζωικές, μεταζωικές, μυξόζωες και κοκκιδιακές ασθένειες

Το *Ichthyophthirius multifiliis* είναι ένα κροσσωτό πρωτόζωο εκτοπαράσιτο που μολύνει το δέρμα και τα βράγχια των οστεωδών ψαριών γλυκού νερού. Η ασθένεια ονομάζεται συχνά γλυκό νερό ich ή λευκό σημείο.

Τα μετάζωα είναι πολυκύτταροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί. Τα μονογενή είναι επίπεδα σκουλήκια (τρηματώδη) που είναι κοινά εκτοπαράσιτα ψαριών. Τα καψαλίδια είναι μεγάλα, ωοειδή, ωοτόκα μονογενή. Μολύνουν το δέρμα, τα μάτια και τα βράγχια των θαλάσσιων ψαριών. Οι βδέλλες είναι αιματοφάγα παράσιτα μεταζώων. Είναι συχνά ορατά στο δέρμα, στα πτερύγια.

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Τα μυξόζωα είναι κοινά παράσιτα άγριων ψαριών και υδατοκαλλιεργειών λιμνών. Τα περισσότερα από αυτά τα παράσιτα έχουν έμμεσο κύκλο ζωής, που συνήθως περιλαμβάνει ολιγοχαίτη, πολυχαίτη ή βρυόζωο.

1.3 Κυριότερες ασθένειες μαλακίων, καρκινοειδών

Παγκοσμίως, τα πρωτόζωα παράσιτα είναι η πιο σημαντική αιτία απωλειών στις δίθυρες βιομηχανίες. Αυτή η κυριαρχία των πρωτοζωικών παρασίτων αντικατοπτρίζεται σε έναν οδηγό ασθενειών για τον καλλιεργητή μαλακίων (Elston, 1990). Από τις 11 «αξιοσημείωτες ασθένειες στρειδιών» που περιγράφονται σε αυτόν τον οδηγό, επτά προκαλούνται από πρωτόζωα:

- *Marina Perkinsus*;
- *Haplosporidium nelsoni*;
- *Haplosporidium costalis*;
- *Bonamia mackini*;
- *Bonamia ostrea*;
- *Marteilia refringens*; και
- *Εξάμιτης nelsoni*.

Δεν είναι μόνο τα πρωτόζωα που προκαλούν ασθένειες στα μαλάκια, ωστόσο, εμπλέκονται επίσης ιοί και βακτήρια. Οι ιοί έχουν προκαλέσει θνησιμότητα στα εκκολαπτήρια και σημαντικά προβλήματα ανάπτυξης στη θαλάσσια καλλιέργεια γαρίδας. Ο πιο καταστροφικός ιός που είναι γνωστός μέχρι σήμερα είναι ο ιός του συνδρόμου λευκών κηλίδων (WSSV) (Lucas et al., 2019).

1.4 Εξάπλωση παθογόνων παραγόντων στην υδατοκαλλιέργεια

Η εξάπλωση παθογόνων παραγόντων είναι μια διαδικασία που εξαρτάται από την πυκνότητα και, ως εκ τούτου, επηρεάζεται από τα ποσοστά εκτροφής. Υπάρχει μια σχέση τέτοια ώστε όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ των γειτόνων. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη πιθανότητα οι παθογόνοι παράγοντες να διασχίζουν την απόσταση μεταξύ ξενιστών σε βιώσιμη κατάσταση.

Τα ακίνητα παθογόνα όπως οι ιοί, τα μη κινητά βακτήρια, τα σπορόζωα και τα αυγά παρασίτων ακολουθούν βασικά τους νόμους διάχυσης και, ως εκ τούτου, σε συνθήκες ακίνητου νερού θα σχηματιστεί μια βαθμίδα συγκέντρωσης των παθογόνων γύρω από ένα μολυσμένο άτομο.

Άλλα παθογόνα όπως βακτήρια, μυκητιακά ζωοσπόρια, πρωτόζωα και μετάζωα έχουν γενικά ενεργές αλλά μεταβλητές δυνατότητες διασποράς. Καθώς αυξάνεται η απόσταση, λιγότερα παθογόνα θα είναι σε θέση να φτάσουν σε ευαίσθητους ξενιστές για να δημιουργήσουν ή να συνεχίσουν μια επιδημία ασθένειας (ξέσπασμα). Καθώς υπάρχει φυσική φθορά παθογόνων στο περιβάλλον, εάν το παθογόνο δεν φτάσει σε έναν ευαίσθητο ξενιστή σε καθορισμένο χρονικό διάστημα, η πιθανότητα δημιουργίας νέας λοίμωξης είναι σχεδόν μηδενική (Lucas et al., 2019).

Με την αποθήκευση εγκαταστάσεων με μονοκαλλιέργειες, η υδατοκαλλιέργεια αποκλείει τόσο τους θηρευτές όσο και τους ανταγωνιστές των καλλιεργούμενων ειδών. Ένας μεγάλος αριθμός θηραμάτων των καλλιεργούμενων ειδών αποκλείεται επίσης. Ο αποκλεισμός των συμβιούντων ζώων έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση των ενδιάμεσων ξενιστών και των οριστικών ξενιστών από το οικοσύστημα υδατοκαλλιέργειας. Αυτό σπάει αποτελεσματικά τον κύκλο ζωής πολλών από τους

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ελμινθούς πολλαπλών ξενιστών (π.χ. διγενείς και πετάδες), οι οποίοι κατά συνέπεια έχουν μικρότερο ρόλο στις ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια από ό, τι σε άγριους πληθυσμούς. Τα θαλάσσια κλουβιά είναι πολύ λιγότερο αποτελεσματικά στο σπάσιμο αυτών των κύκλων ζωής από τις λίμνες ή τα συστήματα ανακυκλοφορίας (Lucas et al., 2019).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να μεταβάλει την κατανομή και τον επιπολασμό των παθογόνων παραγόντων μεταβάλλοντας τις περιβαλλοντικές συνθήκες και διαταράσσοντας τα οικοσυστήματα. Νέα παθογόνα μπορεί να εμφανιστούν ή προηγουμένως σπάνια παθογόνα μπορεί να γίνουν πιο κοινά. Τα είδη υδατοκαλλιέργειας ενδέχεται να αντιμετωπίσουν νέα ή πιο επιθετικά παθογόνα τα οποία δεν είναι προσαρμοσμένα να χειριστούν, αυξάνοντας τον κίνδυνο εκδήλωσης ασθενειών και περιπλέκοντας τις προσπάθειες διαχείρισης.

Μέθοδοι θεραπείας ασθενειών ψαριών

Διάφορες μέθοδοι θεραπείας και εφαρμογής φαρμάκων ελέγχουν τις ασθένειες των ψαριών, όπως περιγράφεται στο (Parker, R., 2011).

Εμβάπτιση. Στη μέθοδο εμβάπτισης, χρησιμοποιείται ένα ισχυρό διάλυμα μιας χημικής ουσίας για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι επικίνδυνη επειδή τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται είναι συγκεντρωμένα. Η διαφορά μεταξύ μιας αποτελεσματικής δόσης και μιας θανατηφόρας δόσης είναι συνήθως πολύ μικρή. Τα ψάρια τοποθετούνται συνήθως σε ένα δίχτυ και βυθίζονται σε ένα ισχυρό διάλυμα της χημικής ουσίας για μικρό χρονικό διάστημα, συνήθως 15 έως 45 δευτερόλεπτα, ανάλογα με τον τύπο της χημικής ουσίας, τη συγκέντρωση και το είδος των ψαριών που υποβάλλονται σε επεξεργασία.

Ξέπλυμα. Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά απλή και συνίσταται στην προσθήκη ενός αρχικού διαλύματος μιας χημικής ουσίας στο άνω άκρο της μονάδας που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία, επιτρέποντάς της στη συνέχεια να ξεπλυθεί μέσω της μονάδας. Πρέπει να υπάρχει επαρκής ροή νερού ώστε η χημική ουσία να μπορεί να ξεπλυθεί μέσω της μονάδας ή του συστήματος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λίμνες.

Παρατεταμένη. Υπάρχουν δύο τύποι παρατεταμένων θεραπειών: μια βραχυπρόθεσμη ή λουτρική θεραπεία και μια αόριστη παρατεταμένη θεραπεία.

Μπάνιο. Η απαιτούμενη ποσότητα χημικής ουσίας ή φαρμάκου προστίθεται απευθείας στη μονάδα εκτροφής ή διατήρησης και αφήνεται για καθορισμένο χρονικό διάστημα, συνήθως μία ώρα. Η χημική ουσία ή το φάρμακο στη συνέχεια ξεπλένεται γρήγορα με γλυκό νερό. Αρκετές προφυλάξεις πρέπει να τηρούνται με αυτή τη θεραπεία για την πρόληψη σοβαρών απωλειών. Αν και μπορεί να συνιστάται χρόνος θεραπείας μίας ώρας, τα ψάρια πρέπει να παρακολουθούνται κατά τη διάρκεια της περιόδου θεραπείας. Κατά το πρώτο σημάδι δυσφορίας, προστίθεται γρήγορα γλυκό νερό. Η χρήση αυτής της μεθόδου απαιτεί εξαιρετική προσοχή για να διασφαλιστεί ότι η χημική ουσία κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη τη μονάδα για να αποφευχθεί η εμφάνιση θερμού σημείου της χημικής ουσίας.

Αόριστη. Συνήθως αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για την επεξεργασία μικρών λιμνών ή δεξαμενών. Εφαρμόζεται χαμηλή συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας και αφήνεται να διαλυθεί φυσικά. Αυτή είναι γενικά μια από τις ασφαλέστερες μεθόδους θεραπείας. Ένα σημαντικό



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

μειονέκτημα είναι οι μεγάλες ποσότητες χημικών ουσιών που απαιτούνται, οι οποίες μπορεί να είναι απαγορευτικά ακριβές. Όπως και στην επεξεργασία λουτρού, η χημική ουσία πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη τη μονάδα για την αποφυγή θερμών σημείων.

Διατροφή. Για τη θεραπεία ορισμένων ασθενειών, το φάρμακο ή το φάρμακο πρέπει να τροφοδοτείται ή με κάποιο τρόπο να εισάγεται στο στομάχι του άρρωστου. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την ενσωμάτωση του φαρμάκου στο φαγητό είτε με τη στάθμιση της σωστής ποσότητας φαρμάκου, τοποθετώντας το σε μια κάψουλα ζελατίνης και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας ένα πιστόλι για να το εισάγετε στο στομάχι του ψαριού. Αυτός ο τύπος θεραπείας βασίζεται στο σωματικό βάρος.

Ενέσιμη. Τα μεγάλα και πολύτιμα ψάρια, ιδιαίτερα όταν εμπλέκονται μόνο μικροί αριθμοί, μπορούν μερικές φορές να αντιμετωπιστούν καλύτερα με την ένεση του φαρμάκου στην κοιλότητα του σώματος - ενδοπεριτοναϊκή (IP) - ή στον μυϊκό ιστό - ενδομυϊκή (IM). Τα περισσότερα φάρμακα δρουν πιο γρήγορα όταν εγχέονται IP από ό, τι IM. Οι ενέσεις IP απαιτούν προσοχή για να διασφαλιστεί ότι δεν έχουν υποστεί βλάβη τα εσωτερικά όργανα. Η ευκολότερη θέση για ενέσεις IP είναι η βάση ενός από τα πυελικά πτερύγια. Για τις ενέσεις IM, η καλύτερη θέση είναι συνήθως η περιοχή ακριβώς δίπλα στο ραχιαίο πτερύγιο (Parker, R., 2011).

Οι αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε μετατοπίσεις των πληθυσμών παθογόνων και στην εμφάνιση νέων ή πιο λοιμογόνων παθογόνων παραγόντων. Η εμφάνιση προηγούμενων μη αναγνωρισμένων ασθενειών, αυξημένων εστιών ασθενειών και προκλήσεων στη διάγνωση και τη θεραπεία.

2. Μέτρα προστασίας και βιοτεχνολογικές εφαρμογές για τον μετριασμό των επιπτώσεων των ασθενειών

Η διαχείριση της υγείας των ψαριών περιγράφει πρακτικές διαχείρισης που έχουν σχεδιαστεί για την πρόληψη των ασθενειών των ψαριών. Μόλις αρρωστήσουν τα ψάρια, η διάσωση είναι δύσκολη. Η επιτυχής διαχείριση της υγείας των ψαριών ξεκινά με την πρόληψη ασθενειών και όχι με τη θεραπεία. Η καλή διαχείριση της ποιότητας του νερού, η διατροφή και η αποχέτευση αποτρέπουν ασθένειες των ψαριών. Χωρίς αυτό το θεμέλιο, οι εστίες ευκαιριακών ασθενειών είναι αδύνατο να αποφευχθούν. Τα ψάρια λούζονται συνεχώς σε πιθανά παθογόνα, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, μυκήτων και παρασίτων. Η κακή ποιότητα του νερού, η κακή διατροφή ή η καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος που γενικά συνδέονται με αγχωτικές συνθήκες επιτρέπουν σε αυτά τα πιθανά παθογόνα να προκαλέσουν ασθένειες. Τα φάρμακα που χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία ασθενειών αγοράζουν χρόνο για τα ψάρια και τους επιτρέπουν να ξεπεράσουν ευκαιριακές λοιμώξεις, αλλά δεν υποκαθιστούν τη σωστή κτηνοτροφία. (Parker, 2011).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη απαιτεί τακτική και ολοκληρωμένη παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, των επιπέδων παθογόνων και των δεικτών υγείας. Η παρακολούθηση αυτή περιλαμβάνει τη χρήση προηγμένων διαγνωστικών εργαλείων και τεχνικών επιτήρησης για τον έγκαιρο εντοπισμό και την αντιμετώπιση εστιών ασθενειών.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

2.1 Η φιλοσοφία του ελέγχου των νοσημάτων

Ο έλεγχος των ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια επιχειρείται συνήθως με την υπόθεση ότι η απουσία παθογόνων είναι η επιθυμητή κατάσταση. Ωστόσο, η πιθανότητα έναρξης μιας επιχείρησης υδατοκαλλιέργειας χωρίς δυνητικά παθογόνα στο σύστημα είναι πολύ μικρή και τίθεται το ερώτημα εάν είναι οικονομικά αποδοτικό να επιτευχθεί μια κατάσταση απαλλαγμένη από παθογόνα. Αυτή η στρατηγική «ολικής εξάλειψης των παθογόνων» είναι η κλασική προσέγγιση για τον έλεγχο των ασθενειών: η παθοκεντρική προσέγγιση (Lucas et al., 2019).

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με μέτρα ελέγχου στην υδατοκαλλιέργεια:

- **Το κόστος του μέτρου ελέγχου.** Ορισμένα παθογόνα καθιστούν τον πολιτισμό αντιοικονομικό με την παρουσία τους και πρέπει να απομακρυνθούν εντελώς από το σύστημα καλλιέργειας.
- **Η πιθανότητα επαναμόλυνσης.** Στην ιδανική περίπτωση, δεν θα πρέπει να υπάρχει σχεδόν καμία πιθανότητα να αποκτηθεί εκ νέου ο παθογόνος παράγοντας από το περιβάλλον ή από άγρια αποθέματα στην περιοχή. Εναλλακτικά, η μόλυνση με παθογόνο και η επακόλουθη θεραπεία θα επιτρέψει συχνά στο ανοσοποιητικό σύστημα των σπονδυλωτών να προετοιμαστεί και έτσι οι περαιτέρω λοιμώξεις είναι περιορισμένες.
- **Επαρκής δοκιμασία για τον παθογόνο παράγοντα.** Πρέπει να είναι δυνατή η ακριβής ταυτοποίηση του παθογόνου παράγοντα ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση της επίδρασης των μέτρων καταπολέμησης στον παθογόνο παράγοντα.

Τεχνικές γενικευμένης διαχείρισης νόσων

Ο σημαντικότερος παράγοντας για τη μετακίνηση και την εισαγωγή παθογόνων παραγόντων στις εκμεταλλεύσεις και, μάλιστα, σε οποιαδήποτε γεωγραφική κλίμακα, είναι η μετακίνηση των ζώων. Αυτό περιλαμβάνει:

- ζώντες γεννήτορες·
- ζώντες μορφές προνυμφών για την εκτροφή·
- ζωντανοί εναλλακτικοί οικοδεσπότες.
- κατεψυγμένα σφάγια για κατανάλωση από τον άνθρωπο·
- ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας
- δόλωμα.

Η πλειοψηφία των νέων εισαγωγών παθογόνων σε μη μολυσμένα συστήματα οφείλεται στην ανεξέλεγκτη μετακίνηση μολυσμένων ζώων. Μερικές φορές αυτό είναι αναπόφευκτο, καθώς η υδατοκαλλιέργεια δεν υπάρχει χωρίς γεννήτορες ή ζώντα ιχθύδια για εκτροφή. Ωστόσο, η βιοασφάλεια των γεννητόρων, του υπ' αριθμόν ένα ρύπου, έχει συχνά παραμεληθεί και θα πρέπει να είναι το πρώτο σημείο που εξετάζεται. Έτσι, στην Ευρώπη είναι υποχρεωτικό να ελέγχονται οι γεννήτορες για ένα ευρύ φάσμα ασθενειών υποχρεωτικής δήλωσης (βακτηριακών και ιογενών) πριν επιτραπεί η μεταφορά (Lucas et al., 2019).



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι γεννήτορες απαλλαγμένοι από παθογόνους παράγοντες, ποια είναι η κατάσταση παθογόνου του γεννήτορα που χρησιμοποιείται; Για παράδειγμα, στην υδατοκαλλιέργεια θαλάσσιων ψαριών με πτερύγια και στην υδατοκαλλιέργεια γαρίδας, η ιογενής εγκεφαλοπάθεια και η αμφιβληστροειδοπάθεια και ο ιός του συνδρόμου λευκών κηλίδων, αντίστοιχα, μεταδίδονται κάθετα από γεννήτορες σε προνύμφες και στη συνέχεια διανέμονται μέσω μολυσμένων μεταπρονυμφών και νεαρών σε αγροκτήματα.

Ενώ είναι αδύνατο να έχουμε στρατηγικές που θα λειτουργήσουν για όλα τα παθογόνα, υπάρχουν ορισμένες διαδικασίες που μπορούν να βοηθήσουν στον περιορισμό των παθογόνων εντός των συστημάτων καλλιέργειας (Lucas et al., 2019).

- **Καλλιέργεια παρτίδας.** Η καλλιέργεια παρτίδας λειτουργεί με βάση την αρχή «όλα μέσα, όλα έξω».
- **Εισερχόμενη επεξεργασία νερού.** Η επεξεργασία του εισερχόμενου νερού είναι απαραίτητη στα συστήματα καλλιέργειας ανακύκλωσης και πιο χρήσιμη στα εκκολαπτήρια από τις καταστάσεις ανάπτυξης λόγω του τεράστιου όγκου νερού που εμπλέκεται στο τελευταίο. Η επεξεργασία νερού περιλαμβάνει χημική αποστείρωση (χλώριο, ιωδοφόρα, όζον) και φυσική αποστείρωση (υπεριώδες φως).
- **Χαμηλότερη πυκνότητα εκτροφής.** Με τη μείωση της πυκνότητας των ζώων, αυξάνεται η μέση απόσταση μεταξύ των ψαριών και μειώνεται η πιθανότητα ενός παθογόνου παράγοντα να φτάσει στον επόμενο ξενιστή σε εκθετική κλίμακα. Για θεωρητικούς λόγους, οι επιδημίες ασθενειών θα εξαφανιστούν, εκτός εάν υπάρχει ένας κατώτατος αριθμός ξενιστών σε μια δεδομένη περιοχή. Απλοϊκά, κάθε μολυσμένος ξενιστής πρέπει να μολύνει τουλάχιστον δύο άλλους ξενιστές καθώς υποκύπτει, διαφορετικά η επιδημία δεν θα διαδοθεί. Επιδιόρθωση, η είωση τη ρύπανση των ζώων θα ειώσει ερίση το ερίριεδρο του άγχους ρίου ριροκαλείται αριό την αλληλεπίδραση των αδελφών και τον ανταγωνισμό για χώρο και τροφή.
- **Μονή Σπορά (Single Spawning Stockings).** Η διαφορεική ανάπτυξη αποτελεί αξιόπιστο δείκτη κακής υγείας σε πληθυσμούς υπό εκτροφή. Τα «καχεκτικά» άτομα είναι πολύ χρήσιμα για τον έλεγχο ασθενειών, καθώς είτε παρουσιάζουν καθυστέρηση ανάπτυξης λόγω παθογόνων, είτε υφίστανται συμπεριφορικό και διατροφικό στρες επειδή βρίσκονται χαμηλότερα στην ιεραρχία του πληθυσμού. Τα ζώα αυτά, υπό συνθήκες στρες, θα εκδηλώσουν επίσης παθογόνους οργανισμούς. Αν χρησιμοποιηθεί μικτός πληθυσμός από διαφορετικές σπορές για τον εμπλουτισμό ενός συστήματος εκτροφής, η διαφορετική ανάπτυξη που οφείλεται στην ηλικία, στη γενετική ή σε διαφοροποιήσεις των συνθηκών εκκόλαψης θα καλύψει τη διαφορετική ανάπτυξη που προκαλείται από παθογόνους παράγοντες. Επομένως, η χρήση μιας μόνο σποράς είναι ιδιαίτερα επωφελής για τον παθολόγο υδρόβιων οργανισμών. Η τεχνική αυτή δεν είναι τόσο χρήσιμη σε πολλά είδη ψαριών, όπου η διαλογή κατά μέγεθος αποτελεί τακτική πρακτική της εκτροφής (π.χ. χέλια, σολομός και πέστροφα). Ωστόσο, λειτουργεί καλά σε ασπόνδυλα (π.χ. καραβίδες γλυκού νερού). Η τεχνική αυτή αναδεικνύει επίσης ένα συχνό πρόβλημα μεταξύ των ιχθυοκαλλιεργητών. Κατά τη συγκομιδή, οι περισσότεροι εκτροφείς τοποθετούν τα καχεκτικά άτομα, τα οποία είναι πολύ μικρά για να καλύψουν τις ανάγκες της αγοράς, σε μια δεξαμενή ή λίμνη, ώστε να μεγαλώσουν σε εμπορικό μέγεθος.



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Αυτό παραβλέπει τον πιθανότερο λόγο για τον οποίο δεν έφτασαν στο επιθυμητό μέγεθος: είναι άρρωστα. Στην πραγματικότητα, λοιπόν, ο εκτροφέας διατηρεί μια «δεξαμενή» μολυσμένων ατόμων στη μονάδα, τα οποία μπορούν να μολύνουν την επόμενη παρτίδα εκτρεφόμενων οργανισμών.

- **Γεννήτορες απαλλαγμένοι από ειδικά παθογόνα.** Τα περισσότερα παθογόνα είναι πιο λοιμογόνα στα νεότερα στάδια ενός ξενιστή. Με την παραγωγή απογόνων από γεννήτορες απαλλαγμένους από συγκεκριμένα παθογόνα, οι απόγονοι έχουν καλές πιθανότητες να αναπτυχθούν σε μη ευαίσθητο μέγεθος πριν μολυνθούν και έτσι μια καλλιέργεια μπορεί να παραχθεί ακόμη και σε μια περιοχή όπου η ασθένεια επηρεάζει τακτικά τα ζώα. Αυτό μπορεί επίσης να λειτουργήσει εάν όλα τα στάδια ζωής είναι εξίσου ευαίσθητα, αλλά με καθυστερημένη μόλυνση του ξενιστή, η καλλιέργεια μπορεί να καλλιεργηθεί για συγκομιδή πριν η ασθένεια έχει την ευκαιρία να εγκατασταθεί.
- **Μείωση του στρες.** Το στρες χρησιμοποιείται συχνά ως δικαιολογία για προβλήματα όταν δεν υπάρχει άλλη λογική εξήγηση. Παρά αυτή τη νεφελώδη χρήση της έννοιας του στρες, έχει μια πραγματική φυσιολογική βάση και συνέπειες. Οι δυσμενείς συνθήκες οδηγούν σε προσαρμοστική απόκριση και επιτυγχάνεται ένα νέο επίπεδο ομοιόστασης. Εάν αυτό δεν επιτευχθεί, τότε ακολουθεί εξάντληση μαζί με την υπερπαραγωγή των ορμονών του στρες. Οι δύο πιο πρακτικοί τρόποι περιορισμού της καταπόνησης είναι ο διπλασιασμός του αερισμού, ανακουφίζοντας έτσι τυχόν πίεση οξυγόνου που μπορεί να συμβεί, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια ζεστών καλοκαιριών, και η μείωση της πυκνότητας εκτροφής.
- **Εμβολιασμός.** Ο εμβολιασμός βασικά λειτουργεί με την προϋπόθεση ότι υπάρχει ανοσολογική μνήμη και ότι η προηγούμενη έκθεση σε παθογόνο θα επιτρέψει ισχυρότερη και ταχύτερη ανοσολογική απόκριση (Lucas et al. (2019).

2.2. Βιοτεχνολογίες στη διαχείριση ασθενειών

Εμβολιασμός ψαριών

Ο όρος εμβόλιο χρησιμοποιείται πλέον γενικότερα για να ορίσει κάθε παρασκεύασμα που χρησιμοποιείται για την παροχή ανοσίας σε μια ασθένεια με εμβολιασμό και η αρχή βασίζεται στο ότι ο λήπτης διαθέτει προσαρμοστικό ανοσοποιητικό σύστημα το οποίο ξεκινά μια απόκριση στα συστατικά του εμβολίου που έχει ως αποτέλεσμα τη μνήμη αυτών των συστατικών. Το ανοσοποιητικό σύστημα του εμβολιασμένου ατόμου είναι στη συνέχεια σε θέση να ανταποκριθεί πιο γρήγορα και να ενεργοποιήσει προστατευτικά συστήματα τελεστών με μεγαλύτερο μέγεθος σε επόμενες συναντήσεις με τα ίδια πρότυπα ή δομές (Σχήμα 5.4) (Lucas et al., 2019).

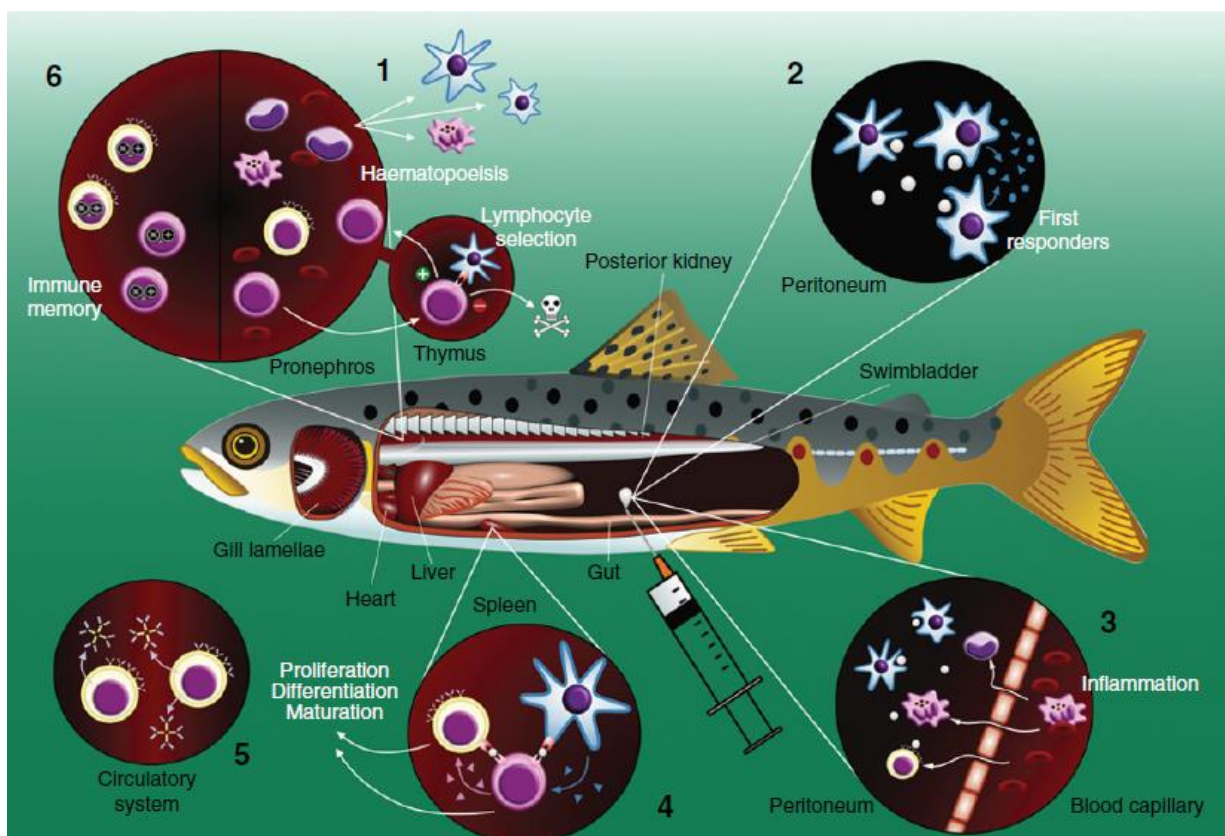
Η ανοσοποίηση των ψαριών υδατοκαλλιέργειας έχει ξεκινήσει για πάνω από 50 χρόνια. Ο εμβολιασμός είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για την πρόληψη βακτηριακών και ιογενών ασθενειών. Ο εμβολιασμός συμβάλλει επίσης στην περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική βιωσιμότητα του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας. Δυστυχώς, η ανάπτυξη εμβολίων στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας υστερεί πολύ σε σχέση με τον κλάδο της κτηνοτροφίας. Μόνο λίγα εμβόλια έχουν καταχωρηθεί και εφαρμόζονται στη βιομηχανία. Επιπλέον, ο εμβολιασμός στα ψάρια είναι μια διαδικασία έντασης εργασίας, όπου μεμονωμένα ψάρια εγχέονται χειροκίνητα με μια δόση εμβολίου. Τα από του

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

στόματος εμβόλια είναι μια εναλλακτική λύση στον παραδοσιακό εμβολιασμό έντασης εργασίας με ένεση χεριών. Ο εμβολιασμός από το στόμα ελαχιστοποιεί το χειρισμό και τη βλάβη στα ψάρια μειώνοντας έτσι τα ποσοστά θνησιμότητας κατά τη διάρκεια του εμβολιασμού. Η μικροενθυλάκωση, στην οποία ενσωματώνονται αντιγόνα από παθογόνα, μπορεί να είναι μια τεχνολογία για την παροχή εμβολίων από το στόμα στα ψάρια. Υπάρχουν τρόποι ανάπτυξης πρωτοποριακών εμβολίων για συστήματα χορήγησης από το στόμα. Ωστόσο, φαίνεται ότι επί του παρόντος δεν υπάρχει αποτελεσματικό εμβόλιο από το στόμα διαθέσιμο στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας (Yue & Shen, 2021).

Λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν και να χορηγηθούν εμβόλια για την προστασία των ειδών υδατοκαλλιέργειας από συγκεκριμένες ασθένειες. Η συνεχιζόμενη έρευνα για νέα εμβόλια και στρατηγικές ανοσοποίησης είναι απαραίτητη. Απαιτείται ανάπτυξη και εφαρμογή αποτελεσματικών προγραμμάτων εμβολιασμού για την πρόληψη της εκδήλωσης συγκεκριμένων ασθενειών που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή.



Σχήμα 5.4. Σχηματική αναπαράσταση του σολομού του Ατλαντικού parr που δείχνει τους κύριους ανοσοποιητικούς ιστούς και την εξέλιξη της απόκρισης στον εμβολιασμό με ενδοπεριτοναϊκή ένεση (Lucas et al. (2019).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Ανοσορυθμιστές και ανοσοδιεγέρτες

Οι ουσίες που προκαλούν, ενισχύουν ή καταστέλλουν την ανοσολογική απόκριση ονομάζονται συλλογικά ανοσοτροποποιητές και αυτοί έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά τις απώλειες που σχετίζονται με ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα ουσιών (ανασυνδυασμένες, συνθετικές και φυσικές) που προσφέρουν μια ελκυστική εναλλακτική λύση στα αντιβιοτικά, καθώς γενικά έχουν λιγότερες παρενέργειες από τα υπάρχοντα φάρμακα και είναι λιγότερο πιθανό το παθογόνο να αναπτύξει αντίσταση εναντίον τους (Jeney, 2017).

Τα ανοσοδιεγερτικά είναι ουσίες που διεγείρουν την ανοσολογική απόκριση των ψαριών επάγοντας ή αυξάνοντας την ανοσολογική δραστηριότητα των ψαριών, είτε μέσω αντιγονικών ειδικών αποκρίσεων, όπως εμβόλια, είτε μη ειδικά, ανεξάρτητα από την αντιγονική αναγνώριση, όπως ανοσοενισχυτικά ή μη ειδικοί ανοσοδιεγέρτες. Τα ανοσοενισχυτικά προστίθενται στα εμβόλια για να βοηθήσουν στη δημιουργία ισχυρότερης προστατευτικής απόκρισης στα αντιγόνα που υπάρχουν στο εμβόλιο και να παρέχουν αυξημένη προστασία έναντι του παθογόνου. Οι κυτοκίνες που παράγονται από το κυτταρικό ανοσοποιητικό σύστημα δρουν επίσης ως ανοσοδιεγέρτες και μπορούν να ενισχύσουν την ανοσολογική λειτουργία.

Τα ανοσοδιεγερτικά προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από συνθετικές πηγές. Παραδείγματα ανοσοδιεγερτικών περιλαμβάνουν β-γλυκάνες, χιτίνη, λακτοφερίνη, λεβαμισόλη, βιταμίνες B και C, αυξητική ορμόνη και προλακτίνη. Τα ανοσοδιεγερτικά έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την αντίσταση των ψαριών στις ασθένειες και ενισχύουν την ανοσολογική τους απόκριση σε περιόδους στρες. Η χρήση τους είναι πλέον συνηθισμένη στα προγράμματα ελέγχου ασθενειών για την πρόληψη μολυσματικών ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια, ειδικά επειδή μπορούν εύκολα να είναι

τροφοδοτείται στα ψάρια. Οι β-γλυκάνες είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ανοσοδιεγερτικά στην υδατοκαλλιέργεια, ειδικά η β-γλυκάνη (β-1,3 και 1,6-γλυκάνες) που προέρχεται από το κυτταρικό τοίχωμα της ζύμης αρτοποιίας *Saccharomyces cerevisiae*, αν και διερευνήθηκαν άλλες πηγές β-γλυκάνης (Jeney, 2017).

Προβιοτικά, πρεβιοτικά και προσαρμοστική διατροφή

Τα προβιοτικά είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί, που προέρχονται από «φυσιολογικά» περιβαλλοντικά ή εντερικά βακτήρια που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν οφέλη για την υγεία όταν χορηγούνται σε ψάρια. Ορίζονται ως «ωφέλιμοι ζωντανοί μικροοργανισμοί όταν χορηγούνται σε έναν ξενιστή σε αποτελεσματική δόση». Επιλεγμένα βακτήρια των ειδών *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Carnobacterium*, *Shewanella*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Saccharomyces*, *Pediococcus* και *Streptococcus* έχουν διερευνηθεί ως πιθανά προβιοτικά για την υδατοκαλλιέργεια. Η δράση των προβιοτικών βασίζεται στην ικανότητά τους να διεγείρουν την ανάπτυξη συγκεκριμένων μικροβίων στον εντερικό σωλήνα των ψαριών. Διατηρούν τη μικροβιακή ισορροπία του εντέρου ανταγωνιζόμενα τα παθογόνα βακτήρια για θέσεις προσκόλλησης στον βλεννογόνο του εντέρου και επίσης ανταγωνιζόμενα για θρεπτικά συστατικά. Έχουν ανταγωνιστική δράση έναντι του παθογόνου, καθώς παράγουν μια ποικιλία αντιμικροβιακών ουσιών (βακτηριοκτόνων ή βακτηριοστατικών) που εμποδίζουν την

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αντιγραφή ή/και σκοτώνουν το παθογόνο, εμποδίζοντας έτσι το παθογόνο να αποικίσει το έντερο του ψαριού. Επίσης, ενισχύουν άμεσα το ανοσοποιητικό του ξενιστή

απόκριση κατά του παθογόνου (Jeney, 2017).

Τα πρεβιοτικά είναι άπεπτοι υδατάνθρακες που παρέχουν οφέλη για την υγεία όταν χορηγούνται στον ξενιστή διεγείροντας την ανάπτυξη ή / και τη δραστηριότητα επιλεγμένων βακτηρίων στο έντερο των ζώων. Οι ζυμώσιμοι υδατάνθρακες θεωρούνται οι πιο ελπιδοφόροι από αυτούς, ασκώντας θετική επίδραση στη σύνθεση και τη δραστηριότητα της εγγενούς μικροχλωρίδας στο έντερο. Υπάρχουν αρκετοί πιθανοί πρεβιοτικοί υδατάνθρακες που έχουν δοκιμαστεί στην υδατοκαλλιέργεια. Τα πρεβιοτικά μεταβολίζονται στο έντερο του ξενιστή από βακτήρια όπως το *Lactobacillus* και το *Bifidobacterium*, και αυτά, με τη σειρά τους, παράγουν μεταβολίτες όπως λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας που είναι σημαντικά για την υγεία του παχέος εντέρου. Μειώνουν επίσης το επίπεδο των εντερικών παθογόνων που υπάρχουν στο έντερο (Jeney, 2017).

Η χρήση προβιοτικών και ανοσοδιεγερτικών στις ζωοτροφές για την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος των ειδών υδατοκαλλιέργειας, ενισχύοντας την αντοχή τους στις ασθένειες, είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών αλλαγών στην ανάπτυξη και την υγεία, είναι απαραίτητο να τροποποιηθούν τα σκευάσματα ζωοτροφών και οι πρακτικές διατροφής. Αυτό απαιτεί την προσαρμογή των θρεπτικών προφίλ με βάση τη θερμοκρασία και την ποιότητα του νερού και την παροχή εξειδικευμένων τροφών για την υποστήριξη της ανοσολογικής λειτουργίας και της ανθεκτικότητας στο στρες. Ταυτόχρονα, απαιτεί παρακολούθηση της αποδοτικότητας των ζωοτροφών και πραγματοποίηση προσαρμογών ανάλογα με τις ανάγκες. Τι πρέπει να αλλάξει τις ζωοτροφές και τη διατροφή στην υδατοκαλλιέργεια λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη περιγράφεται σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

2.3 Ολοκληρωμένες Στρατηγικές Διαχείρισης Παθογόνων Παραγόντων στην Ιχθυοκαλλιέργεια

Ο αντίκτυπος των παθογόνων παραγόντων στην υδατοκαλλιέργεια είναι σημαντικός - οι οικονομικές απώλειες εκτιμάται ότι ανέρχονται περίπου στο 20% της συνολικής αξίας παραγωγής. Ο κύριος στόχος της ολοκληρωμένης διαχείρισης παθογόνων (IPM) είναι να συνδυάσει όλες τις διαθέσιμες προληπτικές και θεραπευτικές μεθόδους για να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις των παθογόνων στην αλυσίδα παραγωγής και ταυτόχρονα να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και να αποφύγει μελλοντικές παρενέργειες, αυξάνοντας έτσι τη βιωσιμότητα, τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο (Jeney, 2017).

Ο όρος IPM περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

Ολοκληρωμένη: Πρόκειται για μια ολιστική προσέγγιση, καθώς συνδυάζει όλες τις διαθέσιμες στρατηγικές για τον έλεγχο της νόσου, με έμφαση στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ παθογόνου, ξενιστή και περιβάλλοντος. Η σχέση μεταξύ αυτών των τριών παραγόντων είναι πολύπλοκη, καθώς η απλή παρουσία ενός παθογόνου δεν οδηγεί απαραίτητα στην ανάπτυξη ασθένειας. Αυτή η αλληλεπίδραση, ενώ περιπλέκει την επιζωοτιολογία των ασθενειών, παρέχει ευκαιρίες ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων της λοίμωξης.



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

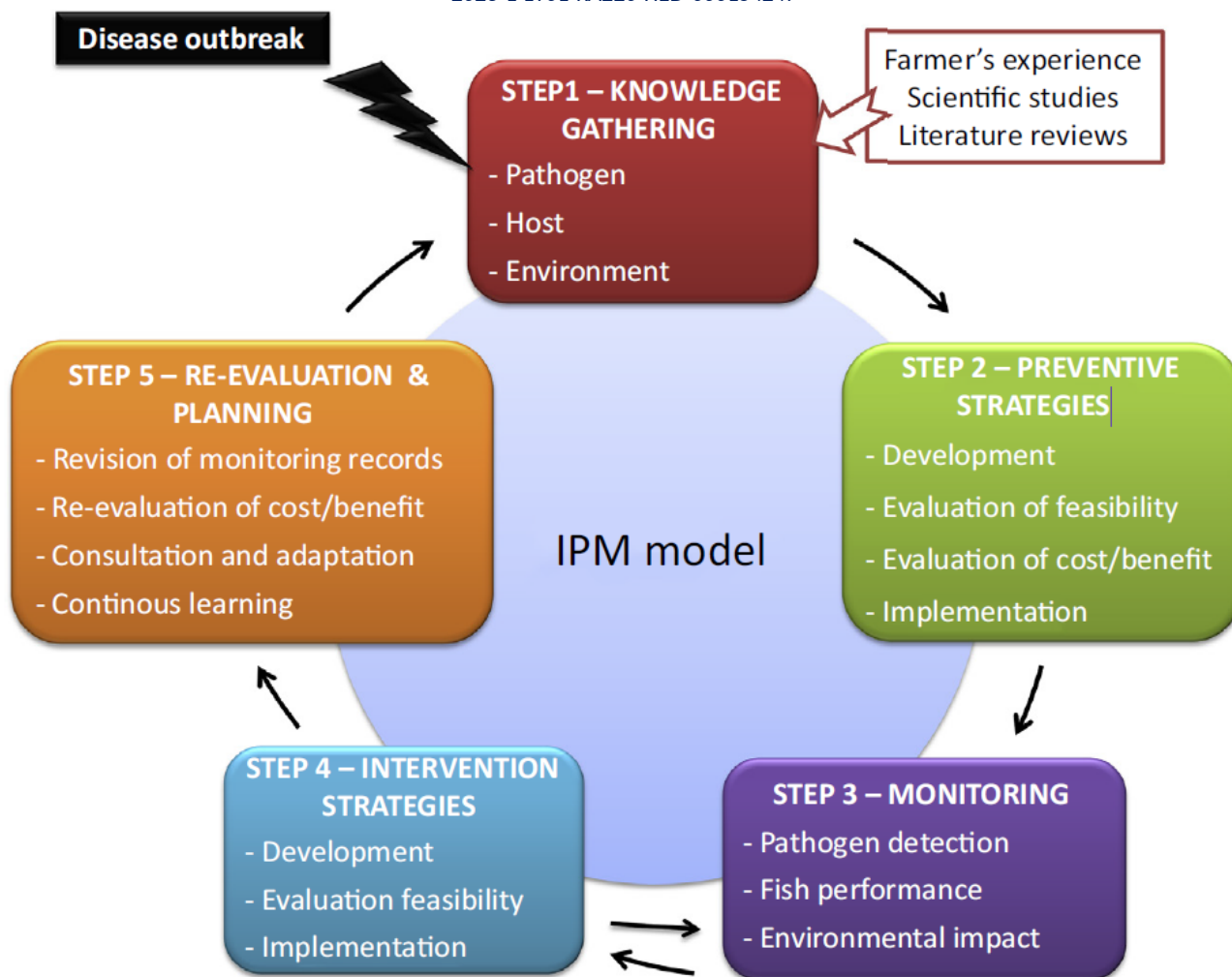
Παθογόνο: Σημαίνει κάθε οργανισμό που έρχεται σε σύγκρουση με τη φυτική ή ζωική παραγωγή. Εάν ένας οργανισμός δεν έχει σοβαρό αντίκτυπο, δεν αξίζει να αναπτυχθεί IPM γι' αυτό. Η ολοκληρωμένη φυτοπροστασία λειτουργεί ιδιαίτερα καλά για παθογόνους παράγοντες με πολύπλοκους κύκλους ζωής, παρέχοντας πολλαπλές ευκαιρίες παρέμβασης.

Διαχείριση: Είναι ένας τρόπος να διατηρηθούν τα παθογόνα κάτω από τα επίπεδα στα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή οικονομική ζημία. Δεν σημαίνει πάντα την εξάλειψη των παθογόνων παραγόντων. Σημαίνει την εξεύρεση στρατηγικών που είναι αποτελεσματικές και οικονομικές και διατηρούν την περιβαλλοντική ζημία στο ελάχιστο.

Η ανάπτυξη του IPMS είναι μια διαδικασία, που αποτελείται από διάφορα βήματα που συνοψίζονται στο σχήμα 5.5 (Jeney, 2017). Η διαδικασία ξεκινά όταν ένα παθογόνο προκαλεί ένα ξέσπασμα ασθένειας και το **πρώτο βήμα** συνίσταται στη συλλογή όλων των πιθανών **γνώσεων** σχετικά με τα βασικά παθογόνα (κύκλος ζωής, στρατηγικές εισβολής ξενιστών, φυσικοί εχθροί, φορείς κ.λπ.), καθώς και τους παράγοντες κινδύνου ξενιστών και περιβάλλοντος που ευνοούν την εξάπλωση και τις επιπτώσεις των παθογόνων σε έναν πληθυσμό ψαριών. Αυτές οι πληροφορίες προέρχονται αρχικά από την εμπειρία των αγροτών, επιστημονικές μελέτες και βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις. Το **δεύτερο βήμα είναι η πρόληψη**· συνεπάγεται την ανάπτυξη, την αξιολόγηση της σκοπιμότητας και του κόστους/οφέλους και την εφαρμογή των καλύτερων προληπτικών στρατηγικών για κάθε παθογόνο παράγοντα. Το **τρίτο βήμα είναι η παρακολούθηση** της νόσου, η οποία περιλαμβάνει την ανίχνευση του παθογόνου, την επιτήρηση της απόδοσης του ξενιστή και τις πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Όταν η πρόληψη δεν επαρκεί για να σταματήσει η ασθένεια, το **τέταρτο βήμα είναι η παρέμβαση**, σημαίνει την ανάπτυξη, την αξιολόγηση της σκοπιμότητας και του κόστους / οφέλους και την εφαρμογή φυσικών, χημικών ή / και βιολογικών θεραπειών. Η παρακολούθηση πραγματοποιείται επίσης μετά την παρέμβαση. Το **πέμπτο βήμα είναι η επαναξιολόγηση και ο σχεδιασμός** ενόψει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις διάφορες στρατηγικές, καθώς η ολοκληρωμένη φυτοπροστασία πρέπει να αξιολογείται και να βελτιώνεται συνεχώς για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη τους, με την αναθεώρηση των αρχείων ασθενειών, την επαναξιολόγηση του κόστους/οφέλους, τη διαβούλευση και την προσαρμογή στις καινοτομίες και τη συνεχή μάθηση. Στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει να επιτρέπει σε κάποιον, μακροπρόθεσμα, να καθορίσει μοντέλα πρόβλεψης. Το βήμα 5 ανατροφοδοτεί το βήμα 1, αυξάνοντας το σώμα της γνώσης. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τις διαθέσιμες επιλογές για τα περισσότερα από αυτά τα βήματα στην ιχθυοκαλλιέργεια, οι οποίοι είναι οι σημερινοί περιοριστικοί παράγοντες για την εφαρμογή τους στους χώρους παραγωγής, καθώς και τις μελλοντικές προοπτικές (Jeney, 2017).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Εικόνα 5.5. Διαδικασία ανάπτυξης στρατηγικών ολοκληρωμένης διαχείρισης παθογόνων (IPM) για ασθένειες των ψαριών (Jeney, 2017).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει σημαντικά τη συχνότητα εμφάνισης και τη διαχείριση ασθενειών στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Κατανοώντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των περιβαλλοντικών αλλαγών και της δυναμικής των ασθενειών, οι δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας μπορούν να εφαρμόσουν αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης για τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων. Η ενισχυμένη παρακολούθηση, ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της ποιότητας των υδάτων, οι πρακτικές διαχείρισης της υγείας και η ανθεκτικότητα των υποδομών είναι καίριας σημασίας για τη διατήρηση της υγείας και της παραγωγικότητας των ειδών υδατοκαλλιέργειας σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα.

Βασικές απαιτήσεις βιοπροφύλαξης στις εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας

Οι βασικές απαιτήσεις (τυπικές στη Λιθουανία) για τη βιοασφάλεια στις εκμεταλλεύσεις υδατοκαλλιέργειας είναι:



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

1. Κάθε επιχείρηση υδατοκαλλιέργειας πρέπει να εφαρμόζει σχέδιο βιοασφάλειας για την πρόληψη της εισόδου μόλυνσης στην εκμετάλλευση ή/και της εξάπλωσης της μόλυνσης εκτός της εκμετάλλευσης.
2. Οι τροχοί κάθε εισερχόμενου οχήματος ή άλλου μεταφορικού μέσου πρέπει να απολυμαίνονται.
3. Παρακολούθηση παραμέτρων ποιότητας νερού σε ιχθυοδεξαμενές και λίμνες.
4. Πατάκια ή μπανιέρες απολύμανσης πρέπει να τοποθετούνται σε κάθε είσοδο/έξοδο από τις εγκαταστάσεις, τόσο εντός όσο και εκτός του κτιρίου.
5. Οι εργαζόμενοι πρέπει να αλλάζουν ρούχα εργασίας όταν έρχονται στη δουλειά και να αλλάζουν ξανά όταν φύγουν.
6. Οι εργαζόμενοι που εργάζονται σε τμήματα διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης ψαριών πρέπει να απολυμαίνουν τα χέρια τους κάθε φορά που μετακινούνται από το ένα δωμάτιο στο άλλο.
7. Τα εργαλεία για την αλίευση, τη μεταφορά, τη σίτιση και τον καθαρισμό των ψαριών δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς χώρους.
8. Τα χρησιμοποιημένα εργαλεία και εξοπλισμός πρέπει να φυλάσσονται σε αλατούχο διάλυμα μέχρι την επόμενη χρήση.
9. Περιορίστε τον αριθμό των επισκεπτών και κατά την άφιξή τους, καταγράψτε τους και χρησιμοποιήστε ρούχα μιας χρήσης για προστασία.
10. Οι εργαζόμενοι μπορούν να εργάζονται μόνο σε μία εκμετάλλευση υδατοκαλλιέργειας για να αποφευχθεί η μετάδοση.

Ένα σχέδιο διαχείρισης της υγείας των ιχθύων σε επίπεδο εγκατάστασης είναι ανεκτίμητο, αλλά στην πραγματικότητα μπορεί να μην είναι επαρκές για την πρόληψη της εξάπλωσης παθογόνων παραγόντων προς ή από ευρύτερες γεωγραφικές τοποθεσίες. Ως εκ τούτου, πρέπει να εφαρμοστούν πολιτικές και κανονισμοί σε περιφερειακό/εθνικό και διεθνές επίπεδο (Jeney, 2017).

Άλλα προστατευτικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των ασθενειών

Πολύ σημαντικό για τις υποδομές υδατοκαλλιέργειας είναι η επιλογή περιοχών που μειώνουν τον κίνδυνο μεταφοράς ασθενειών και ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος καλλιέργειας και το είδος που καλλιεργείται, η σωστή επιλογή τοποθεσίας μπορεί να μειώσει σημαντικά τον κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών. Οι κατάλληλοι χώροι παρέχουν περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία νερού, αλατότητα κ.ο.κ.) που ελαχιστοποιούν το φυσιολογικό στρες, μειώνοντας έτσι τη συχνότητα εμφάνισης και τη σοβαρότητα μολυσματικών ασθενειών στην εγκατάσταση. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη η ποιότητα του διαθέσιμου νερού. Ο όγκος του νερού και η μεταβαλλόμενη διαθεσιμότητά του με την πάροδο του χρόνου ενδέχεται να περιορίζουν την παραγωγική ικανότητα. Οι εγκαταστάσεις με ανεπαρκή παροχή νερού συχνά μαστίζονται από κακή απόδοση ψαριών, περισσότερα προβλήματα ασθενειών και μειωμένη κερδοφορία. Για τις εγκαταστάσεις χωμάτινων λιμνών, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι τα εδάφη δεν μολύνονται με ενώσεις που ενδέχεται να εισέλθουν στη στήλη ύδατος και να επηρεάσουν

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

δυσμενώς την υγεία των ψαριών ή να μολύνουν με άλλο τρόπο τη σάρκα των ψαριών (Tucker & Hargreaves, 2009).

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν υλικές ζημιές στις υποδομές υδατοκαλλιέργειας, να οδηγήσουν σε αιφνίδιες αλλαγές στην ποιότητα των υδάτων και να εισαγάγουν παθογόνους παράγοντες και ρύπους στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εστίες ασθενειών και λειτουργικές διαταραχές.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και τα αποτελέσματά της μπορούν να προκαλέσουν φυσική ζημιά σε δεξαμενές ή κλουβιά, να επιδεινώσουν την ποιότητα του νερού και να αυξήσουν τη συχνότητα εμφάνισης ασθενειών λόγω μόλυνσης ή στρες. Επίσης, ενδέχεται να προκύψουν επιχειρησιακές προκλήσεις όσον αφορά τη διαχείριση και τη συντήρηση των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας.

Οι κατάλληλες τοποθεσίες μειώνουν επίσης την πιθανότητα τα φυσικά φαινόμενα (όπως πλημμύρες, κύματα καταιγίδας ή μεγάλες θάλασσες) να προκαλέσουν παραβιάσεις της βιοασφάλειας των εγκαταστάσεων που επιτρέπουν την απελευθέρωση παθογόνων παραγόντων ή τη διαφυγή μολυσμένων αποβλήτων. Η επιλογή τοποθεσίας θα πρέπει επίσης να εξετάζει κατά πόσον ευαίσθητοι πληθυσμοί άγριων ψαριών τίθενται σε κίνδυνο. Οι ευαίσθητοι πληθυσμοί μπορεί να περιλαμβάνουν απειλούμενα ή απειλούμενα είδη ή μεταναστευτικούς πληθυσμούς ευπαθών ειδών (Tucker & Hargreaves, 2009).

Λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, μπορεί να χρειαστεί να ενισχυθεί μια υπάρχουσα δομή, να ανυψωθούν οι εγκαταστάσεις για την πρόληψη ζημιών από πλημμύρες και να ενσωματωθούν ευέλικτα και ανθεκτικά συστήματα, να αναπτυχθούν και να διατηρηθούν σχέδια αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση ζημιών στις υποδομές, ζητημάτων ποιότητας νερού και επιδημιών ασθενειών που προκαλούνται από ακραία καιρικά φαινόμενα.

Μπορούν να επιλεγούν είδη υδατοκαλλιέργειας με μεγαλύτερη θερμική ανοχή ώστε να αντέχουν καλύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες και να μειώνουν την ευαισθησία σε ασθένειες.

Περισσότερα μέτρα και καινοτόμες λύσεις μπορούν να εφαρμοστούν στο RAS. Η διατήρηση του βέλτιστου εύρους θερμοκρασιών μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση του στρες και στη μείωση των κινδύνων ασθενειών. Ως προληπτικά μέτρα μπορούν να εφαρμοστούν τεχνολογίες ελέγχου θερμοκρασίας με δυνατότητες προσαρμογής των ρυθμίσεων βάσει δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι τακτικές δοκιμές και η βελτιστοποίηση ή οι παράμετροι ποιότητας του νερού, όπως το pH, το διαλυμένο οξυγόνο και τα επίπεδα θρεπτικών ουσιών κ.λπ., μπορούν να αυτοματοποιηθούν. Μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές όπως η σκίαση, ο αερισμός και η ελεγχόμενη σίτιση για τον μετριασμό των επιπτώσεων της θερμοκρασίας και άλλων περιβαλλοντικών στρεσογόνων παραγόντων στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Η επιλογή του συστήματος και τα μέτρα κατά της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια περιγράφονται σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

3. Επιδράσεις του κλίματος στις ασθένειες και μελλοντικές λύσεις

3.1. Επίδραση των κλιματικών παραγόντων

Εντατικοποίηση. Η εντατικοποίηση της παραγωγής, ακόμη και υπό σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες, ενέχει κινδύνους και προκλήσεις βιωσιμότητας που απαιτούν αυστηρή διαχείριση προκειμένου να είναι σε θέση να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στην ανίχνευση παθογόνων ή/και σε εστίες ασθενειών. Η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει αυτές τις απειλές και προκλήσεις.

Η μεγάλης κλίμακας παραγωγή ενός μόνο είδους σε ένα περιβάλλον παραγωγής χρειάζεται:

- 1) ταχεία αντίδραση σε ζώα που δεν τρέφονται με ζωοτροφές, ενδείξεις νοσηρότητας και θνησιμότητας·
- 2) ικανότητα απομόνωσης των προσβεβλημένων ζώων από μη προσβεβλημένους πληθυσμούς και εκμεταλλεύσεις· και
- 3) ικανότητα ερήμωσης των πληγείσων περιοχών όπου η θεραπεία δεν είναι εφικτή.

Όλο και περισσότερο, η εντατική γεωργία επηρεάζεται από ακραία καιρικά φαινόμενα που καταπονούν τα εκτρεφόμενα ζώα και εμποδίζουν τους μηχανισμούς διαχείρισης, π.χ. πρόληψη διαφυγών (καταστροφή συστημάτων εκμετάλλευσης) και απομόνωση ασθενών και στρεσαρισμένων ζώων από μη προσβεβλημένα ζώα (Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options, 2018).

Είδη και γενετική διαφοροποίηση. Τα τελευταία 30 έως 40 χρόνια, η υδατοκαλλιέργεια έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας τη διαφοροποίηση των ειδών (επιλογή ειδών που δείχνουν τα καλύτερα αποτελέσματα παραγωγής υπό συνθήκες εκτροφής) και γενετικά στελέχη που αναπτύχθηκαν υπό πειραματικές συνθήκες για εμπορική παραγωγή.

Και οι δύο μεθοδολογίες επιλογής περιλαμβάνουν την ανοχή στη νόσο (λοίμωξη χωρίς έκφραση σημαντικής θνησιμότητας) και την αντίσταση (ικανότητα πρόληψης της λοίμωξης). Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα επιλογής ειδών και στελεχών βασίζονται σε συνεπείς περιβαλλοντικές παραμέτρους σε ένα σύστημα παραγωγής, δηλαδή δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στις συνθήκες παραγωγής. Όταν οι συνθήκες αυτές υπόκεινται σε «ακραίες συνθήκες» (θερμοκρασία, αλατότητα, θολότητα), επιλεγμένα είδη ή/και στελέχη ενδέχεται να είναι πιο ευάλωτα σε υψηλές απώλειες από ό,τι τα λιγότερο επιλεγμένα και γενετικώς ποικίλα αποθέματα ιδίως εκείνες που προέρχονται από την περιοχή παραγωγής (Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options, 2018).

Επέκταση εκτός της γεωγραφικής κατανομής των φυσικών ειδών Τα αυτόχθονα είδη που χρησιμοποιούνται για την υδατοκαλλιέργεια και παρουσιάζουν εύρωστη εκτρεφόμενη παραγωγή υπόκεινται συχνά σε επέκταση της εκμετάλλευσης προς τις περιφέρειες ή εκτός της φυσικής γεωγραφικής κατανομής τους. Τα ζώα μπορεί να είναι σε θέση να αντέξουν ελαφρές εποχιακές μεταβολές θερμοκρασίας ή/και αλατότητας, αλλά βρίσκονται σε μειονεκτική θέση επιβίωσης όταν ακραίες συνθήκες επηρεάζουν τους φυσιολογικούς κύκλους αναπαραγωγής ή ανάπτυξης.

Όσον αφορά την εντατικοποίηση, τα είδη και τη γενετική διαφοροποίηση, όπου συμβαίνουν τέτοιες περιβαλλοντικές αλλαγές, η ανθεκτικότητα σε ευκαιριακές ή πρωτογενείς λοιμώξεις από παθογόνα

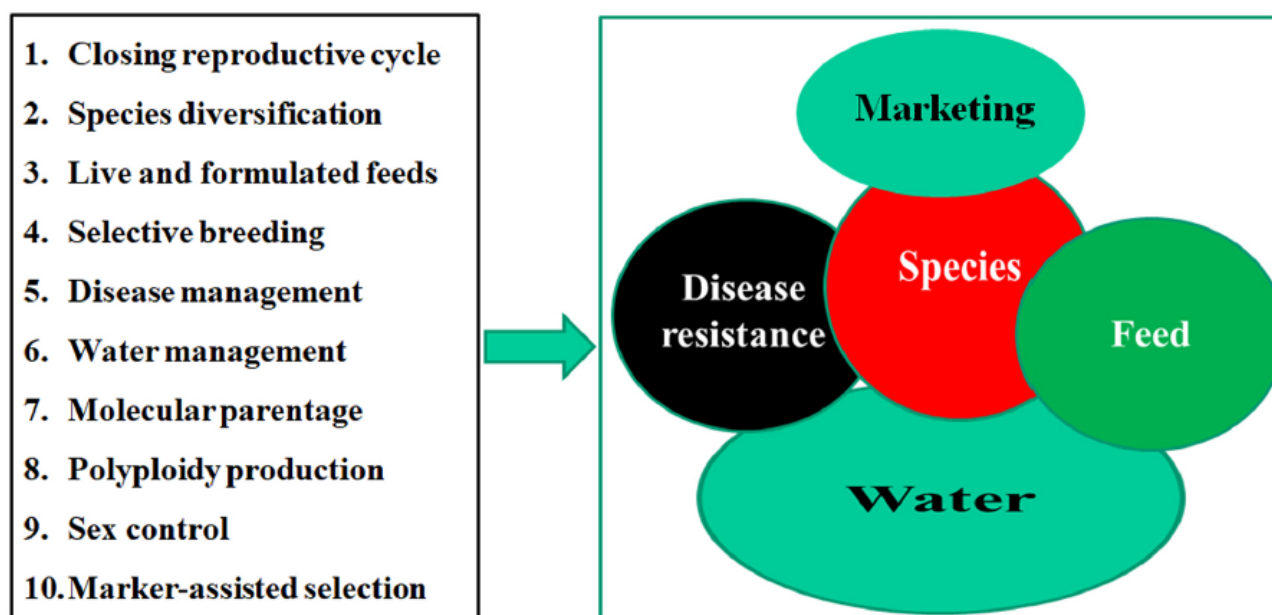
Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

μπορεί να μειωθεί σημαντικά (Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options, 2018).

3.2 Γενετική μηχανική, επιλογή με τη βοήθεια δεικτών και CRISPR

Οι βιοτεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου του φύλου, της πολυπλοειδοποίησης, της γυναικογένεσης και της ανδρογένεσης (Σχήμα 5.6), έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της παραγωγικότητας της υδατοκαλλιέργειας (Yue & Shen, 2021).



A. Technologies applied to aquaculture B. Important components in aquaculture

Σχήμα 5.6. Τεχνολογίες που εφαρμόζονται στην υδατοκαλλιέργεια και οδηγούν στην ταχεία αύξηση της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας (Yue & Shen, 2021).

Η γενετική βελτίωση μέσω της αναπαραγωγής υπήρξε το κλειδί για την άνθηση της παγκόσμιας υδατοκαλλιέργειας.

Ο συνδυασμός μοριακών τεχνολογιών σε υπάρχοντα προγράμματα αναπαραγωγής έχει επιταχύνει σημαντικά τη γενετική βελτίωση ορισμένων ειδών υδατοκαλλιέργειας. Η επιλογή με τη βοήθεια δείκτη (MAS) έχει ήδη εφαρμοστεί για τη βελτίωση της αντοχής στις ασθένειες (για παράδειγμα, αντοχή στο IPN στον σολομό) (Yue & Shen, 2021).

Η γονιδιωματική επιλογή (GS) είναι μια νέα προσέγγιση της μοριακής αναπαραγωγής. Η GS χρησιμοποιεί πολλούς δείκτες ως προγνωστικούς δείκτες απόδοσης και κατά συνέπεια παρέχει ακριβέστερες προβλέψεις των τιμών αναπαραγωγής. Με τις συνεχείς εξελίξεις στις τεχνολογίες αλληλούχισης και βιοπληροφορικής και τη μείωση του κόστους του γονότυπου SNP (μονονουκλεοτιδικός πολυμορφισμός), η GS χρησιμοποιώντας SNPs που καλύπτουν ολόκληρο το γονιδίωμα ή / και χρησιμοποιώντας επιλεγμένα SNPs που σχετίζονται με χαρακτηριστικά εφαρμόζεται όλο και περισσότερο σε όλο το ευρύ φάσμα των ειδών υδατοκαλλιέργειας για τη βελτιστοποίηση της επιλεκτικής αναπαραγωγής και την επιτάχυνση της γενετικής βελτίωσης (Yue & Shen, 2021).

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Η επεξεργασία γονιδιώματος (GE) χρησιμοποιώντας CRISPR / Cas είναι σε θέση να επιταχύνει τη γενετική βελτίωση των ειδών υδατοκαλλιέργειας όταν τα γονίδια που πρόκειται να επεξεργαστούν είναι γνωστά. Η GE επιτρέπει την ταχεία εισαγωγή ευνοϊκών αλληλόμορφων στο γονιδίωμα, για την αύξηση της συχνότητας των επιθυμητών αλληλόμορφων στους τόπους που καθορίζουν σημαντικά χαρακτηριστικά, για τη δημιουργία νέων αλληλόμορφων ή / και την εισαγωγή ευνοϊκών αλληλόμορφων από άλλα είδη. Τα είδη υδατοκαλλιέργειας είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για ΓΤ λόγω της υψηλής γονιμότητάς τους και της εξωτερικής γονιμοποίησης, η οποία επιτρέπει την επεξεργασία γονιδιώματος για πολλά άτομα ταυτόχρονα.

Η πρόοδος στην GS και τη GE είναι έτοιμη να αναμορφώσει δραματικά τον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας, συμβάλλοντας στη βελτίωση των οικονομικά σημαντικών χαρακτηριστικών πολλών ειδών υδατοκαλλιέργειας. Στο μέλλον, ο συνδυασμός GS και GE με προηγμένες συμβατικές στρατηγικές αναπαραγωγής και ώριμες βιοτεχνολογίες θα επιταχύνει σημαντικά τη γενετική βελτίωση στην υδατοκαλλιέργεια (Yue & Shen, 2021).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η αναπαραγωγή, η βιοτεχνολογία στην υδατοκαλλιέργεια περιγράφονται σε ξεχωριστό κεφάλαιο

3.3 Ανταπόκριση στις προκλήσεις του μέλλοντος

Οι νέες προσεγγίσεις έχουν μειώσει τη συχνότητα εμφάνισης ασθενειών και την εξάρτηση από αντιβιοτικά και χημικές θεραπείες. Στη Νορβηγία, η ανάπτυξη εμβολίων και η βελτίωση της βιοασφάλειας (έλεγχος και περιορισμός των ασθενειών) μείωσαν σημαντικά την ανάγκη για αντιβιοτικά στην παραγωγή σολομού. Οι απαιτούμενες επενδύσεις στη βιοπροφύλαξη για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου εκδήλωσης νόσων θα ποικίλλουν ανάλογα με τον τόπο και την κλίμακα, αλλά η ανάγκη βελτίωσης της ικανότητας διάγνωσης και επιτήρησης των εθνικών κτηνιατρικών υπηρεσιών είναι ένα κοινό στοιχείο. Αν και η υδατοκαλλιέργεια θα συνεχίσει να αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω νέων ασθενειών, θα αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες διαχείρισης της υγείας για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Το κόστος της αλληλούχισης του γονιδιώματος μειώνεται εκθετικά. Αυτό θα επιτρέψει την ανάπτυξη μεθόδων διαγνωστικών δοκιμών και φαρμάκων και άλλων θεραπειών προσαρμοσμένων για συγκεκριμένα παθογόνα στελέχη, υπό μορφή εξατομικευμένης θεραπείας ασθενειών. (Lucas et al., 2019).

Μια βασική μεγατάση είναι η επιτάχυνση της τεχνολογικής αλλαγής, ιδίως της βιοτεχνολογίας, της νανοτεχνολογίας και της τεχνολογίας πληροφοριών και υπολογιστών. Η έρευνα και η ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας σε όλο τον κόσμο επιταχύνεται, καθοδηγούμενη από την οικονομική ανάπτυξη και τις δημόσιες επενδύσεις. Οι αισθητήρες, το λογισμικό και η ασύρματη συνδεσιμότητα επιτρέπουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Συνδεδεμένο

Στις συσκευές εξόδου, αυτές επιτρέπουν έγκαιρες απαντήσεις σε εισόδους δεδομένων. Για παράδειγμα, η παρακολούθηση βίντεο της σίτισης σολομού επιτρέπει την αποτελεσματική σίτιση με καλύτερη μετατροπή τροφής, λιγότερη σπατάλη τροφής και λιγότερη ρύπανση. Οι αισθητήρες οξυγόνου σε λίμνες που συνδέονται με λογισμικό ανάλυσης και ελέγχου μπορούν να ενεργοποιήσουν αεριστήρες για τον έλεγχο της συγκέντρωσης οξυγόνου στη λίμνη. Το «Διαδίκτυο των πραγμάτων» θα υποστηριχθεί από την ανάπτυξη

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

αισθητήρων, αυτοματισμών, αυτόνομων μηχανών, drones και υποβρυχίων. Οι ψηφιακές και ρομποτικές τεχνολογίες θα αυξάνουν ή θα αντικαθιστούν όλο και περισσότερο τους εργαζομένους (Lucas et al., 2019).

Η τεχνολογία είναι καίριας σημασίας για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και των περιβαλλοντικών επιδόσεων της υδατοκαλλιέργειας. Βασικοί τομείς καινοτομίας είναι οι ζωοτροφές, η γενετική βελτίωση, ο έλεγχος των ασθενειών, η παραγωγή σπόρων και τα συστήματα παραγωγής ανάπτυξης (Lucas et al., 2019).

Η επένδυση στην έρευνα για την κατανόηση των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη στη δυναμική των ασθενειών και την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων για την πρόληψη και τη διαχείριση των ασθενειών είναι ουσιαστικής σημασίας.

Η εντατική συνεργασία με ερευνητές και ιδρύματα για τη διερεύνηση νέων τεχνολογιών, ανθεκτικών στις ασθένειες στελεχών και προσαρμοστικών πρακτικών διαχείρισης θα πρέπει να είναι τρόπος ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη και αποτελεσματικών πρακτικών διαχείρισης ασθενειών.

Η υδατοκαλλιέργεια απαιτεί όλο και περισσότερους εκπαιδευμένους επαγγελματίες και εμπειρογνώμονες. Τα εκπαιδευτικά εργαστήρια, τα διαδικτυακά σεμινάρια και οι πόροι σχετικά με την πρόληψη ασθενειών, την περιβαλλοντική διαχείριση και τις προσαρμοστικές στρατηγικές είναι πολύ χρήσιμα και απαιτούνται.

Περίληψη

Η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει την υγεία και τη διαχείριση των ειδών υδατοκαλλιέργειας μέσω διαφόρων μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένου του αυξημένου επιπολασμού ασθενειών, της μειωμένης ανοσολογικής λειτουργίας και της υποβάθμισης της ποιότητας του νερού. Η αποτελεσματική διαχείριση απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει ενισχυμένη παρακολούθηση, περιβαλλοντικό έλεγχο, διαχείριση της ποιότητας των υδάτων, διαχείριση της υγείας, ανθεκτικότητα των υποδομών και προσαρμοστικές πρακτικές ζωοτροφών. Με την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών και την ενημέρωση σχετικά με τις αναδυόμενες προκλήσεις και λύσεις, οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας μπορούν να προστατεύσουν καλύτερα τα είδη τους και να διασφαλίσουν τη βιώσιμη παραγωγή ενόψει της κλιματικής αλλαγής.

Βιβλιογραφία

- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., & Poulain, F. (eds.). (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627*. Rome, FAO, 628.
- Clinical Guide to Fish Medicine. (2021). In Wiley eBooks. <https://doi.org/10.1002/9781119259886>
- Elston, R. A. (1990). *Mollusc Diseases: Guide for the Shellfish Farmer*. Washington Sea Grant Program, University of Washington Press, Seattle.
- Ergün, D. et al. (2020). *Handbook on European Fish Farming*. Tudás Alapítvány, 326.
- Jeney, G. (2017). *Fish diseases: Prevention and Control Strategies*. Academic Press.
- Fish viruses and bacteria: pathobiology and protection. (2017). In CABI eBooks. <https://doi.org/10.1079/9781780647784.0000>



Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627*. Rome, FAO, 628.

Lal, J., Vaishnav, A., Singh, S. K., Meena, D. K., Biswas, P., Mehta, N. K., & Priyadarshini, M. B. (2024). Biotechnological innovation in fish breeding: from marker assisted selection to genetic modification. *Deleted Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44340-024-00007-6>.

Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. John Wiley & Sons.

Noga, E. J. (2010). *Fish disease: diagnosis and treatment*. John Wiley & Sons.

Parker, R. (2011). *Aquaculture Science*. Delmar.

Timmons, M. B., & Center, N. R. A. (2013). *Recirculating Aquaculture*.

Tucker, C. S., & Hargreaves, J. A. (eds.). (2009). *Environmental best management practices for aquaculture*. John Wiley & Sons.

Yue, K., & Shen, Y. (2021). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>

Woo, P. T., & Iwama, G. K. (eds.). (2019). *Climate change and non-infectious fish disorders*. CABI.

Κεφάλαιο 6. Επιλογή συστήματος κατά της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια

Αναπληρωτής καθηγητής Δρ Δημήτρης Κλαουδάτος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Π.Θ.)

Εισαγωγή

Η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει σημαντικά τα υδάτινα οικοσυστήματα και την υδατοκαλλιέργεια, καθιστώντας αναγκαία την υιοθέτηση ανθεκτικών συστημάτων για την αντιμετώπιση προκλήσεων όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, η εξάντληση του οξυγόνου και ο αυξημένος επιπολασμός ασθενειών. Οι βιώσιμες πρακτικές υδατοκαλλιέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων, με την επιλογή του συστήματος να διαδραματίζει καίριο ρόλο στη διασφάλιση της προσαρμοστικότητας και της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας. Το κεφάλαιο αυτό παρέχει μια ολοκληρωμένη εξέταση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, διερευνώντας καινοτόμες λύσεις και στρατηγικές για την καθοδήγηση των υπευθύνων χάραξης πολιτικής, των ερευνητών και των ενδιαφερόμενων μερών της βιομηχανίας για την προώθηση της βιωσιμότητας στον τομέα. Η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης τεχνολογιών ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή, όπως τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) και η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA), για την ενίσχυση της παραγωγικότητας και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (Boyd et al., 2022; Handisyde et al., 2017· Froehlich et al., 2018).

Η υδατοκαλλιέργεια είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς παραγωγής τροφίμων παγκοσμίως και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην κάλυψη των διατροφικών απαιτήσεων ενός αυξανόμενου ανθρώπινου πληθυσμού. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη έχουν δημιουργήσει σημαντικές προκλήσεις για τη βιωσιμότητά της. Οι αυξανόμενες παγκόσμιες θερμοκρασίες, η οξίνιση των ωκεανών, οι μεταβολές στην αλατότητα και ο πολλαπλασιασμός των παθογόνων αναδιαμορφώνουν τα υδάτινα οικοσυστήματα παρουσιάζοντας νέες προκλήσεις για τις επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας. Αυτές οι περιβαλλοντικές αλλαγές απειλούν όχι μόνο την οικονομική βιωσιμότητα του κλάδου της υδατοκαλλιέργειας, αλλά και την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και βιοποικιλότητα.

Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει το θερμικό στρες στα υδάτινα περιβάλλοντα, επηρεάζοντας τους μεταβολικούς ρυθμούς, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των εκτρεφόμενων ειδών. Σύμφωνα με τους Boyd και McNevin (2015), οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εκτός του βέλτιστου εύρους για τα είδη υδατοκαλλιέργειας μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη ζήτηση οξυγόνου, μειωμένες ανοσολογικές αποκρίσεις και υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας. Επιπλέον, τα θερμαινόμενα νερά δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών (HABs), οι οποίες μπορούν να καταστρέψουν τα επίπεδα οξυγόνου και να απελευθερώσουν τοξίνες επιβλαβείς για την υδρόβια ζωή

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

(Diaz & Rosenberg, 2008). Τα φαινόμενα αυτά απαιτούν καινοτόμες προσεγγίσεις στον σχεδιασμό και τη διαχείριση του συστήματος υδατοκαλλιέργειας.

Η οξίνιση των ωκεανών, άμεση συνέπεια των αυξημένων ατμοσφαιρικών επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), θέτει μια άλλη κρίσιμη πρόκληση. Τα όξινα νερά μειώνουν τη διαθεσιμότητα ανθρακικών ιόντων που είναι απαραίτητα για τα οστρακοειδή και άλλους ασβεστοποιητικούς οργανισμούς για την κατασκευή των κελυφών και των σκελετών τους. Μελέτες των Cooley et al. (2009) υπογραμμίζουν τους οικονομικούς και οικολογικούς κινδύνους που συνδέονται με την οξίνιση, ιδιαίτερα για τις βιομηχανίες οστρακοειδών. Επιπλέον, οι μεταβολές στην αλατότητα που προκαλούνται από το λιώσιμο των πάγων και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχοπτώσεων διαταράσσουν τη γεωγραφική κατανομή των ειδών υδατοκαλλιέργειας, απαιτώντας την προσαρμογή των επιχειρήσεων σε αυτές τις δυναμικές συνθήκες (Troell et al., 2003).

Ο πολλαπλασιασμός των ασθενειών αποτελεί κλιμακούμενη ανησυχία στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Οι θερμότερες θερμοκρασίες επιταχύνουν τους κύκλους ζωής πολλών παθογόνων και παρασίτων, αυξάνοντας τη συχνότητα και τη σοβαρότητα των εστιών. Για παράδειγμα, το *Vibrio* spp., ένα κοινό παθογόνο στην υδατοκαλλιέργεια, ευδοκιμεί σε υψηλές θερμοκρασίες, οδηγώντας σε σημαντικές οικονομικές απώλειες (Bondad-Reantaso et al., 2005). Οι προκλήσεις αυτές υπογραμμίζουν τη σημασία της υιοθέτησης ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή συστημάτων υδατοκαλλιέργειας που μπορούν να μετριάσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Η επιλογή συστήματος είναι ένα κρίσιμο βήμα για την προσαρμογή σε αυτές τις προκλήσεις. Τα κλειστά συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS), η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA) και τα υπεράκτια συστήματα υδατοκαλλιέργειας αντιπροσωπεύουν καινοτόμες προσεγγίσεις που μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα. Σύμφωνα με τους Martins et al. (2010), το RAS παρέχει ακριβή περιβαλλοντικό έλεγχο, μειώνοντας τους εξωτερικούς στρεσογόνους παράγοντες στα υδρόβια είδη. IMTA, ενσωματώνει είδη με συμπληρωματικούς οικολογικούς ρόλους, βελτιώνοντας τον κύκλο θρεπτικών ουσιών και την υγεία των οικοσυστημάτων. Η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια, που λειτουργεί σε βαθύτερα ύδατα με σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες, προσφέρει μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παράκτια συστήματα που είναι ευάλωτα στον ευτροφισμό και την υποξία που προκαλούνται από το κλίμα (Holmer, 2010; Pereira κ.ά., 2024).

1. Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας

Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει εισαγάγει σημαντικές προκλήσεις στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της θερμοκρασίας των υδάτων, της οξίνισης των ωκεανών και των μεταβαλλόμενων επιπέδων αλατότητας, που θέτουν σε κίνδυνο την υγεία και την παραγωγικότητα των υδρόβιων οργανισμών. Η αυξημένη θερμική καταπόνηση επιταχύνει τους μεταβολικούς ρυθμούς, ενώ ο ευτροφισμός και η υποξία απειλούν τα υδρόβια ενδιαιτήματα. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή ενισχύει τον πολλαπλασιασμό ασθενειών και παθογόνων

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

παραγόντων, ιδίως σε είδη με στενές περιβαλλοντικές ανοχές (Boyd & McNevin, 2015; Diaz & Rosenberg, 2008). Η κατανόηση αυτών των επιπτώσεων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη προσαρμοστικών στρατηγικών που διασφαλίζουν την ανθεκτικότητα της υδατοκαλλιέργειας.

1.1 Θερμική καταπόνηση

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη αποτελεί πρόκληση για τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, ιδίως για είδη με στενές θερμικές ανοχές. Για παράδειγμα, μελέτες δείχνουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού οδηγεί σε υψηλότερους μεταβολικούς ρυθμούς στα ψάρια, αυξάνοντας τη ζήτηση οξυγόνου και το άγχος (Boyd and McNevin, 2015).

Οι αυξανόμενες παγκόσμιες θερμοκρασίες θέτουν σημαντικές προκλήσεις για τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας, ιδίως για είδη με στενές θερμικές ανοχές. Τα ψάρια, τα οστρακοειδή και άλλοι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν συχνά ένα περιορισμένο εύρος βέλτιστων θερμοκρασιών που είναι απαραίτητες για τις φυσιολογικές τους λειτουργίες. Οι αυξημένες θερμοκρασίες αυξάνουν τους μεταβολικούς ρυθμούς, με αποτέλεσμα την αυξημένη ζήτηση οξυγόνου και το φυσιολογικό στρες (Boyd and McNevin, 2015). Με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, η διαθεσιμότητα οξυγόνου μειώνεται λόγω μειωμένης διαλυτότητας, δημιουργώντας συνθήκες υποξίας που προκαλείται από τη θερμοκρασία. Το φαινόμενο αυτό επιδεινώνει τα ποσοστά θνησιμότητας σε είδη όπως ο σολομός και η τιλάπια, ειδικά σε στρωματοποιημένα υδάτινα σώματα όπου τα επίπεδα οξυγόνου παρουσιάζουν ήδη διακυμάνσεις.

1.2 Ευτροφισμός και εξάπλωση ασθενειών

Ο ευτροφισμός που προκαλείται από το κλίμα επιταχύνει τη φόρτωση θρεπτικών ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα αυξάνοντας την απορροή θρεπτικών ουσιών από γεωργικές δραστηριότητες και εντείνοντας τις βροχοπτώσεις. Η περίσσεια θρεπτικών ουσιών, ιδιαίτερα το άζωτο και ο φώσφορος, οδηγούν σε επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών (HABs), οι οποίες απελευθερώνουν τοξίνες και καταστρέφουν το διαλυμένο οξυγόνο κατά την αποσύνθεσή τους. Ο ευτροφισμός είναι η κύρια αιτία των υποξικών ζωνών, που συχνά αναφέρονται ως «νεκρές ζώνες», οι οποίες καθιστούν τα υδρόβια ενδιαιτήματα ακατοίκητα. Για παράδειγμα, η υποξική ζώνη του Κόλπου του Μεξικού, που τροφοδοτείται από εισροές θρεπτικών ουσιών από τον ποταμό Μισισσιπή, έχει επεκταθεί λόγω τόσο ανθρωπογενών όσο και κλιματικών παραγόντων, επηρεάζοντας τα ιχθυαποθέματα και τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας.

Τα θερμότερα νερά δημιουργούν συνθήκες ευνοϊκές για παθογόνους παράγοντες και παράσιτα, αυξάνοντας τους κινδύνους στα συστήματα υδατοκαλλιέργειας. Για παράδειγμα, το *Vibrio* spp. ευδοκιμεί σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλώντας οικονομικές απώλειες στη γαρίδα και την ιχθυοκαλλιέργεια (Bondad-Reantaso et al., 2005; Pounds κ.ά., 2006). Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες αποδυναμώνουν το ανοσοποιητικό σύστημα των υδρόβιων οργανισμών, καθιστώντας τους πιο επιρρεπείς σε λοιμώξεις. Οι προσβολές από θαλάσσιες ψείρες σε εκτροφεία σολομού, για παράδειγμα, έχουν επιδεινωθεί τα τελευταία χρόνια, οδηγώντας σε σημαντικές οικονομικές απώλειες και αυξημένη εξάρτηση από χημικές επεξεργασίες, οι οποίες ενέχουν περιβαλλοντικούς κινδύνους (Abolofia et al., 2017).



1.3 Οξίνιση των ωκεανών και μεταβολές στην αλατότητα

Η οξίνιση των ωκεανών είναι ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα που επηρεάζει την υδατοκαλλιέργεια, ιδίως την οστρακοκαλλιέργεια. Καθώς το ατμοσφαιρικό CO₂ διαλύεται στους ωκεανούς, σχηματίζει ανθρακικό οξύ, το οποίο μειώνει τα επίπεδα pH και μειώνει τη διαθεσιμότητα ανθρακικών ιόντων που είναι απαραίτητα για το σχηματισμό κελύφους και σκελετού σε ασβεστοποιητικούς οργανισμούς (Cooley et al., 2009). Τα μαλάκια όπως τα στρείδια και τα μύδια είναι ιδιαίτερα ευάλωτα, με τα όξινα νερά να οδηγούν σε λεπτότερα κελύφη και χαμηλότερα ποσοστά επιβίωσης. Επιπλέον, η οξίνιση διαταράσσει τις αισθητηριακές λειτουργίες σε ορισμένα είδη ψαριών, μεταβάλλοντας τις συμπεριφορές αποφυγής των θηρευτών και τη δυναμική του οικοσυστήματος (Munday et al., 2009). Το λιώσιμο των πάγων και η αλλαγή των βροχοπτώσεων μεταβάλλουν τα επίπεδα αλατότητας σε θαλάσσια περιβάλλοντα και περιβάλλοντα εκβολών ποταμών, επηρεάζοντας την κατανομή και την παραγωγικότητα των ειδών υδατοκαλλιέργειας. Είδη όπως οι γαρίδες και το λαβράκι, τα οποία είναι ευαίσθητα στις διακυμάνσεις της αλατότητας, μπορεί να παρουσιάσουν μειωμένη ανάπτυξη και αναπαραγωγή (Troell et al., 2003). Στο Μπαγκλαντές, τα αυξανόμενα επίπεδα αλατότητας στα παράκτια ύδατα ανάγκασαν τις μονάδες εκτροφής γαρίδας να προσαρμοστούν εισάγοντας είδη ανθεκτικά στο αλάτι, αλλά αυτές οι αλλαγές έρχονται με σημαντικό οικονομικό και οικολογικό κόστος.

2. Βασικά κριτήρια για την επιλογή συστήματος

Η επιλογή συστημάτων υδατοκαλλιέργειας που μπορούν να αντέξουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα και την οικονομική βιωσιμότητα. Τα βασικά κριτήρια περιλαμβάνουν την ανθεκτικότητα στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, τον μετριασμό του ευτροφισμού, τον έλεγχο των παθογόνων παραγόντων, την ενεργειακή απόδοση και την προσαρμοστικότητα στις αλλαγές της αλατότητας. Συστήματα όπως τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) και η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA) αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά αυτές τις προκλήσεις προσφέροντας περιβαλλοντικό έλεγχο και κύκλο θρεπτικών ουσιών, αντίστοιχα (Martins et al., 2010; Pereira κ.ά., 2024). Τα κριτήρια αυτά εξασφαλίζουν την προσαρμοστικότητα των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας στις εξελισσόμενες κλιματικές συνθήκες.

2.1 Ανθεκτικότητα στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας

Τα κλειστά συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) προσφέρουν ακριβή έλεγχο θερμοκρασίας, ενισχύοντας την προσαρμοστικότητα του συστήματος στη θερμική καταπόνηση. Τα συστήματα πρέπει να προσαρμόζονται στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας ώστε να μειώνεται η θερμική καταπόνηση των υδρόβιων οργανισμών. Τα κλειστά συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά, προσφέροντας ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας του νερού και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων. Το RAS παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στη διατήρηση των βέλτιστων συνθηκών για την ανάπτυξη και την επιβίωση των ειδών (Martins et al., 2010) ένα παράδειγμα είναι η υδατοκαλλιέργεια σολομού στη Νορβηγία που χρησιμοποιεί την τεχνολογία RAS για να μετριάσει τις επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας της θάλασσας (Badiola et al., 2012).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Μετριασμός του ευτροφισμού

Η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA) ενσωματώνει τροφοδότες φίλτρων και φύκια για τη μείωση του φορτίου θρεπτικών ουσιών, την απορρόφηση περίσσειας θρεπτικών ουσιών, τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του νερού και τον μετριασμό του ευτροφισμού (Pereira et al., 2024). Η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA) είναι μια βιώσιμη λύση για τη διαχείριση θρεπτικών ουσιών. Το IMTA ενσωματώνει είδη όπως τα ψάρια, τα φύκια και τα οστρακοειδή για την ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και τη μείωση των κινδύνων ευτροφισμού. Οι φάρμες φυκιών στην Ασία έχουν επιδείξει αποτελεσματικό κύκλο θρεπτικών ουσιών, μειώνοντας τα HABs και βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού (Troell et al., 2003).

Έλεγχος παθογόνων

Η κλιματική αλλαγή έχει επιδεινώσει τους κινδύνους παθογόνων και ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια, καθώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες των υδάτων επιταχύνουν τους κύκλους ζωής επιβλαβών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των βακτηρίων, των ιών και των παρασίτων. Οι προηγμένες στρατηγικές ελέγχου παθογόνων είναι απαραίτητες για την προστασία των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας από αυτούς τους κινδύνους. Τα βιοασφαλή συστήματα, όπως τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS), διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο απομονώνοντας τα εκτρεφόμενα είδη από εξωτερικά περιβάλλοντα, μειώνοντας σημαντικά την έκθεση σε παθογόνους παράγοντες. Τεχνολογίες όπως η αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV), η επεξεργασία με όζον και τα βιοφίλτρα ελαχιστοποιούν αποτελεσματικά τα μικροβιακά φορτία στα συστήματα νερού, προστατεύοντας τα υδρόβια είδη (Bondad-Reantaso et al., 2005). Για παράδειγμα, οι φάρμες γαρίδας στη Νοτιοανατολική Ασία έχουν χρησιμοποιήσει με επιτυχία RAS σε συνδυασμό με αποστείρωση UV για την καταπολέμηση των εστιών *Vibrio*, οι οποίες συχνά προκαλούνται από την αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας (Aly and Fathi, 2024). Οι ανθεκτικές στα παθογόνα πρακτικές υδατοκαλλιέργειας, όπως η επιλεκτική αναπαραγωγή για ανοχή στις ασθένειες, ενισχύουν περαιτέρω την ανθεκτικότητα των ευάλωτων ειδών.

2.2 Ενεργειακή απόδοση και μείωση του αποτυπώματος άνθρακα

Τα ενεργειακά αποδοτικά συστήματα διαδραματίζουν καίριο ρόλο στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας. Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, και η υιοθέτηση αποδοτικών τεχνολογιών, όπως τα προηγμένα συστήματα αερισμού, είναι ζωτικής σημασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα. Τα ανακυκλούμενα συστήματα υδατοκαλλιέργειας (RAS), ενώ είναι ενεργοβόρα λόγω της άντλησης νερού, του αερισμού και της ρύθμισης της θερμοκρασίας, παρουσιάζουν μια βιώσιμη πορεία προς τη βιωσιμότητα όταν τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, οι υβριδικές ηλιακές ρυθμίσεις RAS έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν το λειτουργικό ενεργειακό κόστος κατά 30%, διατηρώντας παράλληλα την παραγωγικότητα (Manolache & Andrei, 2024).

Καινοτόμες ενεργειακές λύσεις, όπως τα συστήματα μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια που μετατρέπουν τα οργανικά απόβλητα υδατοκαλλιέργειας σε βιοαέριο, ενισχύουν περαιτέρω τη βιωσιμότητα αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις διαχείρισης αποβλήτων (Martins et al., 2010). Τα ηλιακά συστήματα υδατοκαλλιέργειας σε περιοχές με περιορισμένους πόρους, όπως η υποσαχάρια

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Αφρική, καταδεικνύουν πώς οι ενεργειακά αποδοτικές λύσεις μπορούν να προωθήσουν την περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα. Αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις αποδοτικές τεχνολογίες αερισμού, ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας μπορεί να μειώσει σημαντικά τον περιβαλλοντικό του αντίκτυπο, προωθώντας παράλληλα τη μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα και παραγωγικότητα (Badiola et al., 2012).

Προσαρμοστικότητα στις διακυμάνσεις της αλατότητας

Τα συστήματα που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές και περιοχές εκβολών ποταμών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις αλλαγές αλατότητας που προκαλούνται από την υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα είδη ευρυαλίνης, ικανά να ανέχονται ένα ευρύ φάσμα αλατότητας, μπορούν να έχουν προτεραιότητα. Τα προγράμματα επιλεκτικής αναπαραγωγής χρησιμοποιούνται συχνά για την ανάπτυξη ειδών με αυξημένη ανοχή στην αλατότητα (Rahman et al., 2021). Ένα παράδειγμα είναι οι επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας στο Μπαγκλαντές, προσαρμοσμένες στις εισβολές αλατότητας με την καλλιέργεια ειδών ανθεκτικών στο αλάτι, όπως η τιλάπια.

Η προσαρμοστικότητα στις διακυμάνσεις της αλατότητας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, ιδίως στις παράκτιες περιοχές και στις εκβολές ποταμών, όπου η κλιματική αλλαγή επιφέρει σημαντικές αλλαγές στα πρότυπα αλατότητας. Το λιώσιμο των πολικών πάγων, τα μεταβαλλόμενα μοτίβα βροχοπτώσεων και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας συμβάλλουν σε απρόβλεπτες διακυμάνσεις της αλατότητας, επηρεάζοντας τα είδη που είναι ευαίσθητα σε αυτές τις αλλαγές. Τα συστήματα πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στην επιλογή ειδών και στις τεχνολογικές λύσεις για τη διατήρηση της παραγωγικότητας υπό τέτοιες συνθήκες. Τα είδη ευρυαλίνης, τα οποία ανέχονται ένα ευρύ φάσμα επιπέδων αλατότητας, ευνοούνται συνήθως σε αυτά τα περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, η τιλάπια και το λαβράκι παρουσιάζουν ισχυρή ανθεκτικότητα στις διακυμάνσεις της αλατότητας, καθιστώντας τους ιδανικούς υποψηφίους για υδατοκαλλιέργεια σε μεταβλητά περιβάλλοντα (Tine et al., 2014; Rahman κ.ά., 2021).

Οι τεχνολογικές παρεμβάσεις, όπως τα προγράμματα επιλεκτικής αναπαραγωγής, έχουν προωθήσει την ανάπτυξη στελεχών με ενισχυμένη ανοχή στην αλατότητα. Η έρευνα για την τιλάπια έχει δείξει τη δυνατότητα αναπαραγωγής παραλλαγών ανθεκτικών στο αλάτι ικανών να ευδοκιμήσουν σε περιβάλλοντα που επηρεάζονται από την εισβολή αλατότητας (Yue et al., 2024). Επιπλέον, κλειστά συστήματα όπως τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) προσφέρουν ελεγχόμενα περιβάλλοντα όπου τα επίπεδα αλατότητας μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ανταποκρίνονται στις ειδικές απαιτήσεις του είδους, μειώνοντας το άγχος και ενισχύοντας τους ρυθμούς ανάπτυξης. Οι καινοτομίες στις τεχνολογίες φιλτραρίσματος και αφαλάτωσης νερού επιτρέπουν επίσης στους χειριστές να μετριάσουν αποτελεσματικά τις επιπτώσεις των διακυμάνσεων της αλατότητας (Martins et al., 2010).

Παραδείγματα προσαρμοστικών πρακτικών υδατοκαλλιέργειας περιλαμβάνουν επιχειρήσεις στο Μπαγκλαντές που έχουν μετατοπιστεί σε είδη ανθεκτικά στο αλάτι ως απάντηση στην αυξανόμενη παράκτια αλατότητα. Αυτές οι πρακτικές έχουν ελαχιστοποιήσει τις οικονομικές απώλειες και έχουν ενισχύσει την επισιτιστική ασφάλεια σε ευάλωτες περιοχές (Troell et al., 2023). Δίνοντας προτεραιότητα στην προσαρμοστικότητα, τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας μπορούν να αντέξουν

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

καλύτερα τις δυναμικές προκλήσεις που θέτει η υπερθέρμανση του πλανήτη, διασφαλίζοντας βιώσιμη παραγωγή και ανθεκτικότητα.

Οικονομική βιωσιμότητα και επεκτασιμότητα

Η οικονομική βιωσιμότητα και η επεκτασιμότητα των προηγμένων συστημάτων υδατοκαλλιέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ευρείας υιοθέτησής τους. Ενώ συστήματα όπως το RAS και το IMTA προσφέρουν μακροπρόθεσμα οφέλη, το υψηλό αρχικό κόστος τους μπορεί να αποτρέψει τους φορείς εκμετάλλευσης μικρής και μεσαίας κλίμακας. Οι μηχανισμοί επιμερισμού του κόστους, όπως οι συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα και οι κρατικές επιδοτήσεις, μπορούν να αντιμετωπίσουν τα οικονομικά εμπόδια. Επιπλέον, οι οικονομίες κλίμακας που επιτυγχάνονται μέσω μεγαλύτερων λειτουργιών ή συνεργατικών μοντέλων μπορούν να μειώσουν το κόστος ανά μονάδα. Μελέτες δείχνουν ότι η κλιμάκωση των συστημάτων IMTA στον Καναδά αύξησε την αποδοτικότητα της παραγωγής κατά 25% ενώ βελτίωσε σημαντικά τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα (Baltadakis, 2021). Οι καινοτομίες στα αρθρωτά συστήματα υδατοκαλλιέργειας, οι οποίες επιτρέπουν τη σταδιακή επέκταση, παρέχουν ευέλικτες και οικονομικά αποδοτικές λύσεις για τους νεοεισερχόμενους στον κλάδο.

3. Καινοτόμα συστήματα για την αντιμετώπιση των κλιματικών προκλήσεων

Καινοτόμα συστήματα υδατοκαλλιέργειας, όπως η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια, η RAS και η IMTA, παρουσιάζουν βιώσιμες λύσεις για την καταπολέμηση των προκλήσεων που προκαλούνται από το κλίμα. Η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια μειώνει τους κινδύνους από τον ευτροφισμό και την υποξία λειτουργώντας σε σταθερά περιβάλλοντα βαθέων υδάτων, ενώ το RAS παρέχει ακριβή περιβαλλοντικό έλεγχο, ελαχιστοποιώντας τις εξωτερικές επιπτώσεις. Το IMTA ενισχύει την οικολογική ανθεκτικότητα ενσωματώνοντας συμπληρωματικά είδη, βελτιώνοντας την ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και την ποιότητα του νερού (Holmer, 2010; Pereira κ.ά., 2024). Οι τεχνολογίες αυτές καταδεικνύουν τις δυνατότητες για βιώσιμες πρακτικές υδατοκαλλιέργειας που ευθυγραμμίζονται με περιβαλλοντικούς και οικονομικούς στόχους.

Υδατοκαλλιέργεια ανοικτής θάλασσας

Η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκαλούνται από το κλίμα στα παράκτια και παράκτια συστήματα. Λειτουργώντας σε βαθύτερα νερά, τα συστήματα αυτά επωφελούνται από σταθερά προφίλ θερμοκρασίας, υψηλότερα επίπεδα οξυγόνου και μειωμένη συσσώρευση θρεπτικών ουσιών, μετριάζοντας τους κινδύνους που σχετίζονται με τον ευτροφισμό και την υποξία (Holmer, 2010). Οι υπεράκτιοι κλωβοί, όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται για την τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) στη Μεσόγειο, καταδεικνύουν τη δυνατότητα αυτών των συστημάτων να επεκτείνουν την παραγωγή υδατοκαλλιέργειας ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Nielsen et al., 2021). Ωστόσο, τα υπεράκτια συστήματα απαιτούν σημαντικές επενδύσεις σε ισχυρές υποδομές για να αντέξουν σε ισχυρά ρεύματα και κυματική δράση,

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

καθώς και προηγμένες τεχνολογίες παρακολούθησης για τη διασφάλιση της λειτουργικής αποδοτικότητας.

Συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS)

Το RAS ελαχιστοποιεί τη χρήση νερού και επιτρέπει τον ακριβή περιβαλλοντικό έλεγχο, μειώνοντας τις επιπτώσεις από τις εξωτερικές κλιματικές διακυμάνσεις (Martins et al., 2010). Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) αντιπροσωπεύουν μια προσέγγιση αιχμής για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών περιορισμών και των περιορισμών των πόρων. Αυτά τα κλειστά συστήματα ανακυκλώνουν το νερό μέσα σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα, μειώνοντας σημαντικά τη χρήση νερού και περιορίζοντας τις επιπτώσεις των εξωτερικών περιβαλλοντικών διακυμάνσεων (Badiola et al., 2012). Το RAS επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας, των επιπέδων οξυγόνου και της διαχείρισης αποβλήτων, καθιστώντας τα κατάλληλα για είδη ευαίσθητα στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Για παράδειγμα, η εκτροφή σολομού στη Νορβηγία βασίζεται όλο και περισσότερο στο RAS για τον μετριασμό των επιπτώσεων της αύξησης της θερμοκρασίας των παράκτιων υδάτων. Ωστόσο, οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις και το λειτουργικό κόστος των RAS απαιτούν συνεχή καινοτομία για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης και της οικονομικής βιωσιμότητας (Martins et al., 2010).

Ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA)

Το IMTA ενισχύει την οικολογική ανθεκτικότητα ενσωματώνοντας είδη με συμπληρωματικές λειτουργίες, όπως ψάρια, οστρακοειδή και φύκια (Pereira et al., 2024). Η Ολοκληρωμένη Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια (IMTA) είναι ένα καινοτόμο σύστημα που ενσωματώνει πολλαπλά είδη από διαφορετικά τροφικά επίπεδα σε μία μόνο γεωργική δραστηριότητα. Αυτό το σύστημα αξιοποιεί τις φυσικές οικολογικές σχέσεις μεταξύ των ειδών για τη βελτίωση του κύκλου των θρεπτικών ουσιών και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για παράδειγμα, τα φύκια και τα δίθυρα μπορούν να απορροφήσουν την περίσσεια θρεπτικών ουσιών που παράγονται από την παραγωγή ψαριών, μετριάζοντας τον ευτροφισμό και βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού (Pereira et al., 2024). Στον Καναδά, τα συστήματα IMTA που ενσωματώνουν σολομό Ατλαντικού (*Salmo salar*), μύδια (*Mytilus edulis*) και φύκια (*Saccharina latissima*) έχουν επιδείξει οικολογικά και οικονομικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης παραγωγής βιομάζας και των μειωμένων φορτίων θρεπτικών ουσιών στα γύρω ύδατα (Troell et al., 2003).

Υδατοκαλλιέργεια φυκιών

Η καλλιέργεια φυκιών αναγνωρίζεται ως ένα ανθεκτικό στην κλιματική αλλαγή σύστημα υδατοκαλλιέργειας με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Τα φύκια απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα και θρεπτικά συστατικά από το νερό, αντισταθμίζοντας την οξίνιση των ωκεανών και τον ευτροφισμό. Επιπλέον, η καλλιέργεια φυκιών έχει προταθεί ως στρατηγική δέσμευσης άνθρακα για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Froehlich et al., 2019). Στην Ασία, οι μεγάλης κλίμακας φάρμες φυκιών συμβάλλουν σημαντικά στις τοπικές οικονομίες, βελτιώνοντας παράλληλα την υγεία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως οι υπεράκτιες πλατφόρμες καλλιέργειας φυκιών, επεκτείνουν περαιτέρω τις δυνατότητες βιώσιμης παραγωγής φυκιών σε περιοχές με περιορισμένο παράκτιο χώρο (Visch et al., 2023).

4.5 Έξυπνες τεχνολογίες υδατοκαλλιέργειας

Η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Internet of Things (IoT) και η τηλεπισκόπηση, έχει φέρει επανάσταση στις επιχειρήσεις υδατοκαλλιέργειας. Τα έξυπνα συστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα και το διαλυμένο οξυγόνο, επιτρέποντας στους αγρότες να ανταποκρίνονται προληπτικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες (Føre et al., 2018). Για παράδειγμα, τα αυτοματοποιημένα συστήματα σίτισης και τα διαγνωστικά υγείας που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη ενισχύουν τη λειτουργική αποδοτικότητα, μειώνοντας παράλληλα τα απόβλητα. Οι καινοτομίες αυτές στηρίζουν τη βιωσιμότητα και την επεκτασιμότητα των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας υπό τις πιέσεις της κλιματικής αλλαγής.

4. Πολιτικές και οικονομικές εκτιμήσεις

Η υιοθέτηση ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή συστημάτων υδατοκαλλιέργειας απαιτεί ολοκληρωμένη στήριξη πολιτικής και οικονομικά πλαίσια. Τα ρυθμιστικά κίνητρα, όπως οι επιδοτήσεις και οι επιχορηγήσεις, μπορούν να αντισταθμίσουν το υψηλό αρχικό κόστος, ενώ οι διεθνείς συνεργασίες και η ζήτηση για βιώσιμα προϊόντα που καθοδηγούνται από την αγορά οδηγούν στον μετασχηματισμό της βιομηχανίας. Τα συστήματα πιστοποίησης και τα οικολογικά σήματα παρέχουν οικονομικά κίνητρα για περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές. Επιπλέον, μηχανισμοί ασφάλισης προσαρμοσμένοι στους κλιματικούς κινδύνους διασφαλίζουν την επιχειρησιακή συνέχεια για τα ευάλωτα ενδιαφερόμενα μέρη (FAO, 2020· Μπους κ.ά., 2013). Αυτές οι εκτιμήσεις είναι απαραίτητες για την ευθυγράμμιση των πρακτικών υδατοκαλλιέργειας με τους παγκόσμιους στόχους βιωσιμότητας.

Κανονιστική υποστήριξη

Οι κυβερνήσεις διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην προώθηση συστημάτων υδατοκαλλιέργειας ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή. Οι πολιτικές θα πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στα κίνητρα για την υιοθέτηση βιώσιμων τεχνολογιών, όπως τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) και η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA). Για παράδειγμα, η Κοινή Αλιευτική Πολιτική (ΚΑΛΠ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης προωθεί τη βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια ενσωματώνοντας στρατηγικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή (FAO, 2020). Οι επιδοτήσεις, οι φορολογικές ελαφρύνσεις και οι επιχορηγήσεις μπορούν να ενθαρρύνουν περαιτέρω τις επενδύσεις σε καινοτόμα συστήματα. Επιπλέον, τα ρυθμιστικά πλαίσια πρέπει να αντιμετωπίζουν ζητήματα όπως η αποδοτικότητα της χρήσης νερού, η διαχείριση αποβλήτων και ο έλεγχος ασθενειών για την ευθυγράμμιση των πρακτικών υδατοκαλλιέργειας με τους στόχους περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (ΟΟΣΑ, 2021).

Οικονομική σκοπιμότητα

Το υψηλό αρχικό κόστος των προηγμένων συστημάτων, όπως το RAS και το IMTA, πρέπει να αντισταθμιστεί από μακροπρόθεσμα οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων απωλειών από τις επιπτώσεις που σχετίζονται με το κλίμα (Tett et al., 2011). Η μετάβαση σε προηγμένα συστήματα υδατοκαλλιέργειας συνεπάγεται συχνά υψηλό αρχικό κόστος, το οποίο μπορεί να αποτρέψει την

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ευρεία υιοθέτησή τους, ιδίως σε περιοχές χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος. Η ανάλυση κόστους-οφέλους είναι απαραίτητη για να καταδειχθούν τα μακροπρόθεσμα οικονομικά πλεονεκτήματα των ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων απωλειών από περιβαλλοντικές διαταραχές και διαταραχές που σχετίζονται με ασθένειες. Για παράδειγμα, το RAS μειώνει την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές νερού και ελαχιστοποιεί τους περιβαλλοντικούς κινδύνους, οδηγώντας σε χαμηλότερο λειτουργικό κόστος με την πάροδο του χρόνου (Badiola et al., 2012). Οι συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα και τα προγράμματα χρηματοδοτικής βοήθειας μπορούν να γεφυρώσουν τα χρηματοδοτικά κενά, εξασφαλίζοντας ευρύτερη προσβασιμότητα σε αυτές τις τεχνολογίες (Παγκόσμια Τράπεζα, 2013).

4.1 Διεθνής συνεργασία και ευαισθητοποίηση των καταναλωτών

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής υπερβαίνουν τα εθνικά σύνορα, καθιστώντας αναγκαία τη διεθνή συνεργασία. Οι συνεργατικές ερευνητικές πρωτοβουλίες, όπως αυτές που υπάγονται στο πλαίσιο του προγράμματος «Ορίζων Ευρώπη», επικεντρώνονται στην ανάπτυξη τεχνολογιών υδατοκαλλιέργειας ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή και στην ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Εξωτερικής Δράσης (2021). Επιπλέον, διεθνείς οργανισμοί όπως ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) παρέχουν τεχνική υποστήριξη και συστάσεις πολιτικής για την ενίσχυση της παγκόσμιας ανθεκτικότητας της υδατοκαλλιέργειας (FAO, 2024). Περιφερειακές συμμαχίες, όπως η Επιτροπή Αλιείας Ασίας-Ειρηνικού (APFIC), διευκολύνουν επίσης τη μεταφορά γνώσεων και τη συγκέντρωση πόρων, επιτρέποντας στις χώρες να υιοθετήσουν προσαρμοσμένες λύσεις για τις μοναδικές προκλήσεις τους (APFIC, 2019). Οι παγκόσμιες συμπράξεις μπορούν να διευκολύνουν την ανταλλαγή γνώσεων και τη χρηματοδότηση της έρευνας σχετικά με πρακτικές υδατοκαλλιέργειας ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή (Tett κ.ά., 2011).

Δυναμική της αγοράς

Οι δυνάμεις της αγοράς είναι καθοριστικής σημασίας για την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών υδατοκαλλιέργειας. Η αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για φιλικά προς το περιβάλλον θαλασσινά έχει δημιουργήσει οικονομικά κίνητρα για τους παραγωγούς να εφαρμόσουν βιώσιμα συστήματα. Τα συστήματα πιστοποίησης, όπως αυτά που προσφέρονται από το Συμβούλιο Διαχείρισης Υδατοκαλλιέργειας (ASC), παρέχουν πλεονεκτήματα στην αγορά ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα και προσφέροντας διαφάνεια στους καταναλωτές, προωθώντας τη στροφή προς τη βιωσιμότητα σε ολόκληρο τον κλάδο (Bush et al., 2013). Αυτές οι πιστοποιήσεις, σε συνδυασμό με εκπαιδευτικές εκστρατείες που τονίζουν τα περιβαλλοντικά οφέλη των πρακτικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, όπως τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) και η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA), επηρεάζουν σημαντικά την αγοραστική συμπεριφορά, ενθαρρύνοντας τη στροφή της αγοράς προς φιλικά προς το περιβάλλον θαλασσινά (Potts et al., 2021). Επιπλέον, οι ψηφιακές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της αλυσίδας blockchain, μετασχηματίζουν την αλυσίδα εφοδιασμού θαλασσινών επιτρέποντας την ιχνηλασιμότητα, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη και διασφαλίζοντας τη λογοδοσία μεταξύ καταναλωτών και παραγωγών (Probst, 2020). Με την ενσωμάτωση συστημάτων πιστοποίησης,

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

εκπαιδευτικών προσπαθειών και τεχνολογικών εξελίξεων, ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας ευθυγραμμίζεται σταδιακά με τους στόχους βιωσιμότητας, εξασφαλίζοντας τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά οφέλη.

Μηχανισμοί μετριασμού κινδύνου και ασφάλισης

Δεδομένου ότι οι κίνδυνοι που σχετίζονται με το κλίμα, όπως τα ακραία καιρικά φαινόμενα και οι επιδημικές εξάρσεις, αυξάνονται σε συχνότητα και ένταση, οι ισχυρές στρατηγικές μετριασμού των κινδύνων και οι προσαρμοσμένοι μηχανισμοί ασφάλισης είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας. Τα ασφαλιστικά προϊόντα που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την υδατοκαλλιέργεια, όπως η ασφάλιση καλλιεργειών για είδη υδατοκαλλιέργειας ή η παραμετρική ασφάλιση για ζημιές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, μπορούν να προσφέρουν οικονομική ασφάλεια στους φορείς εκμετάλλευσης. Η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων και ασφαλιστικών παρόχων είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη οικονομικά προσιτών και προσβάσιμων ασφαλιστικών συστημάτων. Για παράδειγμα, τα προγράμματα παραμετρικής ασφάλισης στις Φιλιππίνες παρείχαν με επιτυχία πληρωμές σε ιχθυοκαλλιεργητές που επλήγησαν από τυφώνες, επιτρέποντας γρήγορη ανάκαμψη και συνέχεια των δραστηριοτήτων (Van Anrooy et al., 2022). Τα εργαλεία εκτίμησης κινδύνου, όπως η μοντελοποίηση του κλίματος και τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, ενισχύουν περαιτέρω την ανθεκτικότητα, βοηθώντας τους φορείς εκμετάλλευσης να προβλέπουν και να μετριάζουν πιθανές διαταραχές (Allison et al., 2009).

Περίληψη

Οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην υδατοκαλλιέργεια υπογραμμίζουν την ανάγκη για στρατηγική επιλογή συστημάτων και βιώσιμες πρακτικές για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ανθεκτικότητας και παραγωγικότητας του κλάδου. Καθώς οι προκλήσεις που προκαλούνται από το κλίμα, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, η οξίνιση των ωκεανών και ο πολλαπλασιασμός των ασθενειών, συνεχίζουν να εντείνονται, η υιοθέτηση καινοτόμων και προσαρμοστικών συστημάτων υδατοκαλλιέργειας καθίσταται επιτακτική. Το κεφάλαιο αυτό έχει επισημάνει κρίσιμες προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS), της ολοκληρωμένης πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας (IMTA) και της υπεράκτιας υδατοκαλλιέργειας, ως βιώσιμες λύσεις για τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων.

Τα συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS) παρέχουν ακριβή περιβαλλοντικό έλεγχο, επιτρέποντας στις λειτουργίες να αντέχουν στις εξωτερικές κλιματικές διακυμάνσεις, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές νερού. Η ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA) προωθεί την ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και τη σταθερότητα του οικοσυστήματος, προσφέροντας μια ολιστική προσέγγιση στη βιωσιμότητα. Η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια, που λειτουργεί σε βαθύτερα και σταθερότερα ύδατα, ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις του παράκτιου ευτροφισμού και υποξίας, παρέχοντας μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση για την επέκταση της παραγωγής.

Η μετάβαση σε αυτά τα συστήματα απαιτεί ολοκληρωμένα πλαίσια πολιτικής και οικονομικά κίνητρα για την υπέρβαση των εμποδίων που συνδέονται με το υψηλό αρχικό κόστος. Οι κυβερνήσεις, οι ιδιωτικοί φορείς και οι διεθνείς οργανισμοί πρέπει να συνεργάζονται μέσω

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

μηχανισμών όπως διεθνείς συμφωνίες, προγράμματα χρηματοδότησης και πλατφόρμες ανταλλαγής γνώσεων. Ειδικά μέτρα, συμπεριλαμβανομένων επιδοτήσεων, φορολογικών ελαφρύνσεων και επιχορηγήσεων, θα είναι ουσιαστικής σημασίας για την ενθάρρυνση των επενδύσεων σε τεχνολογίες ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή, ιδίως για τους γεωργούς μικρής κλίμακας που είναι πιο ευάλωτοι σε κλιματικούς κλυδωνισμούς.

Η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και η ζήτηση της αγοράς για περιβαλλοντικά βιώσιμα θαλασσινά προϊόντα δημιουργούν πρόσθετες ευκαιρίες για τον μετασχηματισμό της βιομηχανίας. Τα συστήματα πιστοποίησης και τα οικολογικά σήματα μπορούν να δώσουν κίνητρα στους παραγωγούς να υιοθετήσουν πρακτικές ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή, ενισχύοντας παράλληλα την εμπιστοσύνη και τη διαφάνεια μεταξύ των καταναλωτών. Οι εκπαιδευτικές εκστρατείες και η παγκόσμια κλιμάκωση αυτών των πρωτοβουλιών μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω τον αντίκτυπο τους, ιδίως σε περιοχές με υψηλό δυναμικό υδατοκαλλιέργειας. Η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως η τεχνολογία blockchain για την ιχνηλασιμότητα της αλυσίδας εφοδιασμού θα διαδραματίσει επίσης ζωτικό ρόλο στην ενίσχυση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών.

Όσον αφορά το μέλλον, οι επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη είναι ζωτικής σημασίας για την καινοτομία και τη βελτίωση των συστημάτων υδατοκαλλιέργειας. Οι τομείς προτεραιότητας περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στο RAS, την ανάπτυξη συστημάτων IMTA χαμηλού κόστους και την προώθηση στρατηγικών ελέγχου παθογόνων. Η μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική παρακολούθηση και οι προορατικές στρατηγικές διαχείρισης θα διασφαλίσουν την προσαρμοστικότητα στην εξελισσόμενη κλιματική πραγματικότητα.

Με την ενσωμάτωση των τεχνολογικών εξελίξεων και των οικολογικών αρχών, ο τομέας της υδατοκαλλιέργειας μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής, οι ερευνητές και οι ενδιαφερόμενοι φορείς της βιομηχανίας πρέπει να δράσουν αποφασιστικά για την εφαρμογή συστημάτων που διασφαλίζουν τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του τομέα εν μέσω ενός μεταβαλλόμενου κλίματος. Μέσω μιας συλλογικής προσπάθειας, η υδατοκαλλιέργεια μπορεί να συνεχίσει να ευδοκimeί, συμβάλλοντας στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και την οικονομική ανάπτυξη σε μια εποχή κλιματικής αλλαγής.

Βιβλιογραφία

- Abolofia, J., Asche, F., & Wilen, J. E. (2017). The cost of lice: Quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329–349.
- Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M. C., Adger, W. N., Brown, K., Conway, D., ... & Dulvy, N. K. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries*, 10(2), 173–196.
- Aly, S. M., & Fathi, M. (2024). Advancing aquaculture biosecurity: A scientometric analysis and future outlook for disease prevention and environmental sustainability. *Aquaculture International*, 32(7), 8763–8789.
- Asia-Pacific Fishery Commission. (2014). *Regional overview of aquaculture trends in the Asia-Pacific region*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26–35.
- Baltadakis, A. (2021). Investigating integrated multi-trophic aquaculture at different spatial scales.
- World Bank. (2013). *Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture* (Report No. 83177-GLB). World Bank.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Bondad-Reantaso, M. G., et al. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary Parasitology*, 132(3–4), 249–272.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, resource use, and the environment*. John Wiley & Sons.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633.
- Bush, S. R., Belton, B., Hall, D., Vandergeest, P., Murray, F. J., Ponte, S., ... & Kusumawati, R. (2013). Certify sustainable aquaculture? *Science*, 341(6150), 1067–1068.
- Cooley, S. R., et al. (2009). Ocean acidification's potential to alter global seafood supply. *Oceanography*, 22(4), 172–181.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- European External Action Service. (2021). *Horizon Europe strategic plan 2021–2024*. European Union. https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/horizon_europe_strategic_plan_2021-2024.pdf
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO. (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action*. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Føre, M., Frank, K., Norton, T., Svendsen, E., Alfredsen, J. A., Dempster, T., ... & Berckmans, D. (2018). Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. *Biosystems Engineering*, 173, 176–193.
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2018). Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 2(11), 1745–1750.
- Froehlich, H. E., Afflerbach, J. C., Frazier, M., & Halpern, B. S. (2019). Blue growth potential to mitigate climate change through seaweed offsetting. *Current Biology*, 29(18), 3087–3093.
- Handisyde, N. T., Ross, L. G., Badjeck, M. C., & Allison, E. H. (2006). The effects of climate change on world aquaculture: A global perspective. *Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, Stirling Institute of Aquaculture. Final Technical Report, DFID, Stirling*, 151pp.
- Holmer, M. (2010). Environmental issues of fish farming in offshore waters: Perspectives, concerns, and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(1), 57–70.
- Manolache, A. I., & Andrei, G. (2024). A comprehensive review of multi-use platforms for renewable energy and aquaculture integration. *Energies*, 17(19), 4816.
- Martins, C. I., et al. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93.
- Munday, P. L., Dixon, D. L., Donelson, J. M., Jones, G. P., Pratchett, M. S., Devitsina, G. V., & Døving, K. B. (2009). Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1848–1852.
- Nielsen, R., Ankamah-Yeboah, I., & Llorente, I. (2021). Technical efficiency and environmental impact of seabream and seabass farms. *Aquaculture Economics & Management*, 25(1), 106–125.
- OECD. (2021). *Strengthening climate resilience: Guidance for governments and development co-operation*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4b08b7be-en>
- Pereira, R., Yarish, C., & Critchley, A. T. (2024). Seaweed aquaculture for human foods in land-based and IMTA systems. In *Applications of seaweeds in food and nutrition* (pp. 77–99). Elsevier.
- Potts, J., Wilkings, A., Lynch, M., & McFatridge, S. (2021). *State of sustainability initiatives review: Standards and the blue economy*. International Institute for Sustainable Development.

**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- Pounds, J. A., et al. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, 439(7073), 161–167.
- Probst, W. N. (2020). How emerging data technologies can increase trust and transparency in fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 77(4), 1286–1294.
- Rahman, M. L., Shahjahan, M., & Ahmed, N. (2021). Tilapia farming in Bangladesh: Adaptation to climate change. *Sustainability*, 13(14), 7657.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589).
- Tett, P., et al. (2011). Defining and detecting undesirable disturbance in the context of marine eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, 62(2), 1147–1155.
- Tine, M., Kuhl, H., Gagnaire, P. A., Louro, B., Desmarais, E., Martins, R. S., ... & Reinhardt, R. (2014). European sea bass genome and its variation provide insights into adaptation to euryhalinity and speciation. *Nature Communications*, 5(1), 5770.
- Troell, M., et al. (2003). Integrated mariculture: Asking the right questions. *Aquaculture*, 226(1–4), 69–90.
- Yue, G. H., Ma, K. Y., & Xia, J. H. (2024). Status of conventional and molecular breeding of salinity-tolerant tilapia. *Reviews in Aquaculture*, 16(1), 271–286.
- Van Anrooy, R., Espinoza Córdova, F., Japp, D., Valderrama, D., Karmakar, K. G., Lengyel, P., ... & Zhang, Z. (2022). *World review of capture fisheries and aquaculture insurance 2022* (Vol. 682). Food and Agriculture Organization.
- Visch, W., Layton, C., Hurd, C. L., Macleod, C., & Wright, J. T. (2023). A strategic review and research roadmap for offshore seaweed aquaculture: A case study from southern Australia. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1467–1479.

Γλωσσάριο

Οξίνιση (Acidification) – διαδικασία κατά την οποία το pH του νερού μειώνεται, καθιστώντας το πιο όξινο. Στους ωκεανούς αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της απορρόφησης CO₂ από την ατμόσφαιρα.

Προσαρμογή (Adaptation) – η προσαρμογή σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, που συμβαίνει μέσω της φυσικής εξέλιξης ή τεχνολογικών παρεμβάσεων (π.χ. επιλεκτική αναπαραγωγή για ανθεκτικότητα στη θερμότητα).

Αερόβια διεργασία (Aerobic process) – χημικές ή βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα παρουσία οξυγόνου.

Αναερόβιες συνθήκες (Anaerobic conditions) – περιβάλλοντα με πολύ λίγο ή καθόλου οξυγόνο, όπως ο πυθμένας λιμνών ή υγροτόπων. Υπό τέτοιες συνθήκες, η οργανική ύλη αποσυντίθεται χωρίς οξυγόνο, συχνά απελευθερώνοντας αέρια όπως το μεθάνιο.

Καλή διαβίωση ζώων (Animal welfare) – ηθική θεώρηση για τις συνθήκες διαβίωσης, την υγεία και την έκφραση της φυσικής συμπεριφοράς ψαριών και υδρόβιων ζώων σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Υδατοκαλλιέργεια (Aquaculture) – η αναπαραγωγή, καλλιέργεια και συγκομιδή ψαριών, καρκινοειδών, μαλακίων και υδρόβιων φυτών σε ελεγχόμενες συνθήκες. Ουσιαστικά πρόκειται για «γεωργία στο νερό» για τροφή, διατήρηση ή άλλους εμπορικούς και περιβαλλοντικούς σκοπούς.

Υδρόβιο οικοσύστημα (Aquatic ecosystem) – ένα υδατικό περιβάλλον όπου οι ζωντανοί οργανισμοί αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το φυσικό τους περιβάλλον.

Βιοποικιλότητα (Biodiversity) – η ποικιλία φυτών, ζώων και μικροοργανισμών σε μια δεδομένη περιοχή ή οικοσύστημα. Είναι ουσιαστική για τη σωστή λειτουργία των οικοσυστημάτων, καθώς κάθε είδος συμβάλλει στην οικολογική ισορροπία.

Βιοφίλτρο (Biofilter) – σύστημα φιλτραρίσματος που χρησιμοποιεί ζωντανούς οργανισμούς (π.χ. βακτήρια) για να αποδομούν τα απόβλητα σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Βιοασφάλεια (Biosecurity) – μέτρα για την πρόληψη της εισαγωγής και εξάπλωσης επιβλαβών οργανισμών, όπως παθογόνων, σε συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Carbon dioxide emissions) – η απελευθέρωση CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων.

Αποτύπωμα άνθρακα (Carbon footprint) – η συνολική ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO₂, αλλά και μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου) που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, κατασκευή προϊόντων ή υπηρεσιών. Μικρότερο αποτύπωμα σημαίνει χαμηλότερη περιβαλλοντική επίπτωση.

Δέσμευση άνθρακα (Carbon sequestration) – η διαδικασία παγίδευσης και αποθήκευσης CO₂ από την ατμόσφαιρα, συχνά με φυσικά μέσα, όπως η καλλιέργεια φυκιών.

Κλιματική αλλαγή (Climate change) – μακροπρόθεσμες παγκόσμιες ή περιφερειακές μεταβολές του κλίματος που συνδέονται με αυξημένες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Κλινικά σημεία (Clinical signs) – ορατά συμπτώματα ασθενειών που παρατηρούνται από κτηνίατρο ή ειδικό (π.χ. ερυθρότητα, ανώμαλη κολύμβηση).

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Κλειστά RAS (Closed RAS) – σύστημα στο οποίο το νερό ανακυκλώνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, μειώνοντας τη χρήση νερού και την περιβαλλοντική επίπτωση.

CRISPR–Cas9 – επαναστατικό εργαλείο γονιδιακής τροποποίησης που επιτρέπει ακριβείς αλλαγές στις αλληλουχίες DNA για τη βελτίωση χαρακτηριστικών ειδών υδατοκαλλιέργειας, όπως ανθεκτικότητα σε ασθένειες ή ρυθμός ανάπτυξης.

Νεκρές ζώνες (Dead zones) – υδάτινες περιοχές με κρίσιμα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου (συνήθως λόγω ευτροφισμού), όπου η πλειονότητα της θαλάσσιας ζωής δεν μπορεί να επιβιώσει.

Απονιτροποίηση (Denitrification) – αναερόβια διαδικασία κατά την οποία χημειοτροφικά βακτήρια μετατρέπουν τα νιτρικά άλατα (NO_3) σε αέριο άζωτο (N_2), υποξείδιο του αζώτου (N_2O) ή αμμωνία (NH_3).

Διάγνωση (Diagnosis) – η αναγνώριση της φύσης μιας ασθένειας· **διαγνωστικός** – σχετικός με τη διάγνωση.

Διαφορική διάγνωση (Differential diagnosis) – η διάκριση μεταξύ πολλών πιθανών ασθενειών για τον προσδιορισμό της πραγματικής αιτίας.

Επιζωτία (Disease outbreak) – η ταχεία εξάπλωση ασθένειας, που συχνά προκαλείται από υψηλότερες θερμοκρασίες και κακή ποιότητα νερού.

Ακεραιότητα οικοσυστήματος (Ecosystem integrity) – η ικανότητα ενός οικοσυστήματος να διατηρεί τη δομή, τις λειτουργίες και τις διεργασίες του, ενώ υποστηρίζει τη βιοποικιλότητα και τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις.

Οικοσυστημικές υπηρεσίες (Ecosystem services) – τα οφέλη που αποκομίζουν οι άνθρωποι από τα φυσικά οικοσυστήματα, όπως η παροχή τροφής, η καθαριότητα νερού και η δέσμευση άνθρακα.

Ευρύαλα είδη (Euryhaline species) – οργανισμοί που μπορούν να αντέξουν μεγάλο εύρος αλατότητας και να προσαρμοστούν σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα.

Ευτροφισμός (Eutrophication) – διαδικασία κατά την οποία υπερβολικά θρεπτικά στοιχεία, ιδιαίτερα άζωτο και φώσφορος, εισέρχονται σε υδάτινα σώματα, προκαλώντας υπερανάπτυξη φυτοπλαγκτού, μείωση διαύγειας νερού και έλλειψη οξυγόνου.

Δείκτης μετατρεψιμότητας τροφής (Feed conversion ratio) – η ποσότητα τροφής που απαιτείται για την παραγωγή συγκεκριμένης ποσότητας σωματικής μάζας σε ζώα υδατοκαλλιέργειας.

Δείκτης αποδοτικότητας τροφής (Feed efficiency ratio) – ο λόγος αύξησης μάζας προς την καταναλισκόμενη ποσότητα τροφής.

Φιλτραριστές (Filter feeders) – υδρόβιοι οργανισμοί, όπως καρκινοειδή, που τρέφονται φιλτράροντας λεπτά σωματίδια από το νερό και συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας νερού.

Παγκόσμια θέρμανση (Global warming) – η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης λόγω αυξανόμενων συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, οδηγώντας σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας, ακραία καιρικά φαινόμενα και αλλαγές στα οικοσυστήματα.

Αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse gases) – αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), που παγιδεύουν θερμότητα στην ατμόσφαιρα και συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στην κλιματική αλλαγή.

Ακαθάριστη ενέργεια (Gross energy) – η συνολική ενέργεια που περιέχεται στην τροφή.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Επιβλαβής άνθηση φυκιών (Harmful algal bloom) – ταχεία αύξηση φυκιών που παράγουν τοξίνες ή μειώνουν τα επίπεδα οξυγόνου, βλάπτοντας την υδροβία ζωή και την ανθρώπινη υγεία.

Υποξία (Hypoxia) – κατάσταση χαμηλής διαλυμένης συγκέντρωσης οξυγόνου στο νερό, ανεπαρκούς για την επιβίωση των περισσότερων υδροβίων οργανισμών.

Λοίμωξη (Infection) – η εισβολή και πολλαπλασιασμός παθογόνων οργανισμών στους ιστούς του σώματος.

Ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (Integrated Multi-Trophic Aquaculture) – συγκαλλιέργεια διαφορετικών ειδών (π.χ. ψάρια, καρκινοειδή, φύκια) για την ανακύκλωση θρεπτικών και τη μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) – μέθοδος αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εξόρυξη πρώτων υλών έως το τελικό προϊόν.

Επιλογή με δείκτες (Marker-assisted selection) – βιοτεχνολογική μέθοδος που χρησιμοποιεί γενετικούς δείκτες για την επιλογή ατόμων με επιθυμητά χαρακτηριστικά προς αναπαραγωγή.

Μεταβολικός ρυθμός (Metabolic rate) – η ταχύτητα με την οποία ένας οργανισμός χρησιμοποιεί ενέργεια για να διατηρήσει φυσιολογικές λειτουργίες· στα ψάρια αυξάνεται με τη θερμοκρασία και τη ζήτηση οξυγόνου.

Στρατηγικές μετριασμού (Mitigation strategies) – δράσεις για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής ή περιβαλλοντικών μεταβολών.

Δίαιτα πολλαπλών στόχων (MO diet) – πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση που λαμβάνει υπόψη οικολογικούς, οικονομικούς και άλλους παράγοντες ταυτόχρονα.

Καθαρή ενέργεια (Net energy) – ενέργεια διαθέσιμη στον οργανισμό.

Καθαρό μηδέν (Net zero) – η ισορροπία μεταξύ της ποσότητας αερίων θερμοκηπίου που παράγονται και εκείνων που αφαιρούνται από την ατμόσφαιρα.

Νιτροποίηση (Nitrification) – αερόβια διεργασία κατά την οποία βακτήρια μετατρέπουν την αμμωνία (NH_4^+) σε νιτρικά (NO_3^-).

Κύκλος θρεπτικών (Nutrient cycle) – η κυκλοφορία θρεπτικών στοιχείων σε ένα οικοσύστημα· τα συστήματα IMTA συχνά ενισχύουν αυτόν τον κύκλο.

Φορτίο θρεπτικών (Nutrient loading) – υπερβολική εισροή αζώτου και φωσφόρου σε υδάτινα σώματα από γεωργία, οικιακές ή βιομηχανικές πηγές.

Οξίνιση ωκεανών (Ocean acidification) – μείωση του pH των ωκεανών λόγω υπερβολικής απορρόφησης CO_2 από την ατμόσφαιρα, που επηρεάζει οργανισμούς με ασβεστολιθικό σκελετό.

Ανοικτή θάλασσα – Υδατοκαλλιέργεια (Offshore aquaculture) – συστήματα υδατοκαλλιέργειας τοποθετημένα μακριά από την ακτή, όπου οι συνθήκες είναι πιο σταθερές και η οικολογική επίπτωση χαμηλότερη.

Έλλειψη οξυγόνου (Oxygen deficiency) – κατάσταση πολύ χαμηλής ή ανύπαρκτης διαλυμένης συγκέντρωσης οξυγόνου στο νερό.

Παθογόνος μικροοργανισμός (Pathogen) – μικροοργανισμός (π.χ. βακτήριο, ιός, παράσιτο) ικανός να προκαλέσει ασθένεια σε υδροβίους οργανισμούς.

Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Φαινοτυπική πλαστικότητα (Phenotypic plasticity) – η ικανότητα ενός οργανισμού να προσαρμόζεται σε μεταβολές περιβάλλοντος μεταβάλλοντας φυσιολογία, μορφολογία ή συμπεριφορά.

Προβιοτικά και πρεβιοτικά –

- **Πρεβιοτικό συμπλήρωμα (Prebiotic supplement)** – διατροφικά προϊόντα (συνήθως πλούσια σε ίνες) που τρέφουν τη μικροβιακή χλωρίδα του οργανισμού.
- **Πρεβιοτικά (Prebiotics)** – συμπληρώματα με βάση φυτικές ίνες που προάγουν την ανάπτυξη ωφέλιμων μικροοργανισμών στο έντερο.
- **Προβιοτικό συμπλήρωμα (Probiotic supplement)** – διατροφικά προϊόντα που περιέχουν ζωντανούς μικροοργανισμούς.
- **Προβιοτικά (Probiotics)** – ζωντανοί μικροοργανισμοί που, όταν καταναλώνονται σε επαρκείς ποσότητες, βελτιώνουν τη μικροχλωρίδα του εντέρου και την υγεία του ξενιστή.

Καραντίνα (Quarantine) – απομόνωση ή περιορισμός μετακίνησης για την πρόληψη εξάπλωσης μεταδοτικής ασθένειας.

Συστήματα ανακυκλοφορίας υδατοκαλλιέργειας (Recirculating Aquaculture Systems – RAS) – κλειστά συστήματα όπου το νερό φιλτράρεται και επαναχρησιμοποιείται συνεχώς.

Ανθεκτικότητα (Resilience) – η ικανότητα ενός είδους ή οικοσυστήματος να επιβιώνει και να ανακάμπτει μετά από περιβαλλοντικές πιέσεις ή διαταραχές.

Διακυμάνσεις αλατότητας (Salinity fluctuations) – αλλαγές στη συγκέντρωση αλάτων σε υδάτινα σώματα λόγω βροχόπτωσης, τήξης παγετώνων ή ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Υδατοκαλλιέργεια φυκιών (Seaweed aquaculture) – η καλλιέργεια φυκιών για απορρόφηση CO₂, απομάκρυνση θρεπτικών και βιώσιμη παραγωγή τροφής.

Επιλεκτική αναπαραγωγή (Selective breeding) – η επιλογή γονέων με επιθυμητά χαρακτηριστικά για παραγωγή απογόνων με βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

Έξυπνη υδατοκαλλιέργεια (Smart aquaculture) – η χρήση προηγμένων τεχνολογιών (AI, IoT, αισθητήρες) για τη βελτιστοποίηση της υδατοκαλλιέργειας.

Πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης (Sustainable management practices) – μέθοδοι που στοχεύουν στην ισορροπία περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων για μακροχρόνια διατήρηση φυσικών πόρων.

Θερμική στρωμάτωση (Thermal stratification) – σχηματισμός θερμικών στρωμάτων σε υδάτινο σώμα που περιορίζουν την κατακόρυφη μεταφορά θρεπτικών και οξυγόνου.

Θερμικό στρες (Thermal stress) – φυσιολογικό στρες από θερμοκρασίες νερού έξω από το βέλτιστο εύρος ενός οργανισμού.

Διαγονιδιακά είδη (Transgenic species) – γενετικά τροποποιημένοι οργανισμοί με εισαγωγή γονιδίων από άλλα είδη.

Τροφικά επίπεδα (Trophic levels) – ιεραρχικά επίπεδα τροφικής αλυσίδας, μέσω των οποίων ρέει ενέργεια από παραγωγούς σε καταναλωτές και αποικοδομητές.

Αποστείρωση με UV (UV sterilisation) – χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας για την εξόντωση παθογόνων στο νερό, ιδίως σε συστήματα RAS.



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε μεταφορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες στο πρόγραμμα
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Εμβόλιο (Vaccine) – βιολογικό παρασκεύασμα που ενισχύει ή δημιουργεί ανοσία ενάντια σε συγκεκριμένες ασθένειες.

Vibrio spp. – ομάδα βακτηρίων που αναπτύσσονται σε θερμά νερά και προκαλούν ασθένειες σε ψάρια και γαρίδες.

Ποιότητα νερού (Water quality) – φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού που καθορίζουν την υγεία και παραγωγικότητα υδρόβιων οργανισμών.

Έλλειψη νερού (Water scarcity) – κατάσταση όπου οι υδατικοί πόροι δεν επαρκούν για τις οικολογικές και ανθρώπινες ανάγκες.