

ERASMUS+
KA220-HED - Συνεργασίες στην τριτοβάθμια εκπαίδευση

*Ο Ψηφιακός Μπλε φορέας για ένα Μέλλον μετά τον Άνθρακα -
Καινοτομίες Προγράμματος Σπουδών στην Υδατοκαλλιέργεια
[DiBluCa]
(2023-1-LT01-KA220-HED-000154247)*

**Οδηγίες βέλτιστης πρακτικής για
Ακαδημαϊκούς/Δάσκαλους/Εκπαιδευτές/Σπουδαστές
και Υπεύθυνους Λήψης Αποφάσεων στην
Υδατοκαλλιέργεια**

Το έργο αυτό χρηματοδοτήθηκε με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Αυτή η δημοσίευση αντικατοπτρίζει μόνο τις απόψεις του συγγραφέα και των εταίρων του έργου και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν.

Αναγνώριση εξόδου	WP3A3
Τίτλος αποτελέσματος:	Οδηγίες βέλτιστων πρακτικών για ακαδημαϊκούς/εκπαιδευτικούς/εκπαιδευτές/σπουδ αστές και υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στην υδατοκαλλιέργεια
Κατάσταση:	Τελικό κείμενο
Προετοιμάστηκε από:	Prof. Vlasta Bartulović, PhD; UNIDU, HR Assoc. prof. Tatjana Dobroslavić, PhD; UNIDU, HR Prof. Halyna Krusir, PhD; ONUT, UA Prof. Maryna Mardar, PhD; ONUT, UA Assoc. prof. Olha Sahdieieva, PhD; ONUT, UA
Τόπος/ημερομηνία:	Dubrovnik, Croatia Odesa, Ukraine 01.07.2025-30.09.2025

Οδηγίες βέλτιστης πρακτικής για Ακαδημαϊκούς/Δάσκαλους/Εκπαιδευτές/Σπουδαστές και Υπεύθυνους Λήψης Αποφάσεων στην Υδατοκαλλιέργεια

Η υδατοκαλλιέργεια είναι κρίσιμη για την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και την οικονομική ανάπτυξη, αλλά η κλιματική αλλαγή απειλεί τη βιωσιμότητά της μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας, της οξίνισης των ωκεανών, των αλλαγών στην αλατότητα και της εξάπλωσης ασθενειών. Αυτός ο οδηγός παρέχει τεκμηριωμένες στρατηγικές για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας της υδατοκαλλιέργειας, αντιμετωπίζοντας τις επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού, την υγεία των ειδών και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας. Διερευνά λύσεις όπως συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS), ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA), βιοτεχνολογίες όπως το CRISPR–Cas9 και βιώσιμες πρακτικές σίτισης για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την υποστήριξη της διατήρησης της βιοποικιλότητας.

Σκοπός. Αυτό το έγγραφο παρέχει πρακτικές συστάσεις για την προσαρμογή της υδατοκαλλιέργειας στην κλιματική αλλαγή και τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της επισιτιστικής ασφάλειας. Στόχος του είναι να παρέχει στους ενδιαφερόμενους εργαλεία για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων και την προώθηση ανθεκτικών υδάτινων οικοσυστημάτων.

Ακροατήριο. Αυτός ο οδηγός απευθύνεται σε επιστήμονες, εκπαιδευτικούς, φοιτητές και υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένων των υπευθύνων χάραξης πολιτικής και των επαγγελματιών του κλάδου. Αυτές οι ομάδες είναι κρίσιμες για την εφαρμογή καινοτόμων και βιώσιμων πρακτικών στην υδατοκαλλιέργεια.

Πώς να χρησιμοποιήσετε αυτό το έγγραφο. Κάθε ενότητα εξετάζει τις συγκεκριμένες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υδατοκαλλιέργεια και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων υδατοκαλλιέργειας και καταλήγει σε βασικές συστάσεις και πρακτικές δράσεις. Οι αναγνώστες ενθαρρύνονται να ασχοληθούν με τις ενότητες που σχετίζονται με τον ρόλο τους και να εφαρμόσουν τις στρατηγικές για βιώσιμες πρακτικές. Ο οδηγός υποστηρίζει τόσο τη θεωρητική κατανόηση όσο και τα πρακτικά βήματα για πρακτική εφαρμογή.

Μαθησιακά αποτελέσματα για την Καθοδήγηση Βέλτιστων Πρακτικών του DiBluC.a

Αυτός ο οδηγός δίνει τη δυνατότητα στους αναγνώστες να αναπτύξουν τις γνώσεις και τις δεξιότητες που απαιτούνται για τη βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής μέσω των ακόλουθων μαθησιακών αποτελεσμάτων:

Κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής:

οΕξήγηση πώς η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει τα υδάτινα οικοσυστήματα και την υδατοκαλλιέργεια μέσω αυξήσεων της θερμοκρασίας, μεταβολών της αλατότητας, οξίνισης και εξάπλωσης ασθενειών.

Εφαρμογή ανθεκτικών συστημάτων:

οΚατανόηση καινοτόμων συστημάτων υδατοκαλλιέργειας όπως τα RAS, IMTA και η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια για τον μετριασμό των παραγόντων στρες που σχετίζονται με το κλίμα.

Εξερεύνηση εφαρμογών της βιοτεχνολογίας:

οΚατανόηση των δυνατοτήτων των βιοτεχνολογιών όπως το CRISPR–Cas9 και η γονιδιοματική επιλογή για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των ειδών, λαμβάνοντας υπόψη τις ηθικές και

Υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών διατροφής:

οΧρησιμοποίηση εναλλακτικών πηγών τροφής (π.χ., άλευρο εντόμων, φύκια) και προηγμένες

Προώθηση συνεργατικών λύσεων:

οΥποστήριξη στο πλαίσιο πολιτικής τη συνεργασία των εμπλεκόμενων μερών για την υποστήριξη βιώσιμων πρακτικών υδατοκαλλιέργειας και επισιτιστικής ασφάλειας.

Περιεχόμενα

Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην ποιότητα των υδάτων και επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια	4
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας από την άποψη της υπερθέρμανσης του πλανήτη	8
Υπερθέρμανση του πλανήτη και αναπαραγωγή, βιοτεχνολογία στην υδατοκαλλιέργεια	13
Αλλαγές στις πρακτικές διατροφής και διατροφής στην υδατοκαλλιέργεια λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη	18
Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια και σε προστατευτικές εφαρμογές	23
Επιλογή συστημάτων υδατοκαλλιέργειας υπό συνθήκες υπερθέρμανσης του πλανήτη	28

Επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη στην ποιότητα των υδάτων και επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια

Εισαγωγή

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μεταβάλλει βαθιά τα υδάτινα οικοσυστήματα, οδηγώντας σε αλλαγές στη θερμοκρασία, την αλατότητα και τη δυναμική των θρεπτικών συστατικών που αμφισβητούν την ανθεκτικότητα των θαλάσσιων και γλυκών υδάτων. Αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν τις φυσιολογικές διεργασίες των υδρόβιων οργανισμών, την ποιότητα του νερού και τη βιωσιμότητα βιομηχανιών όπως η υδατοκαλλιέργεια. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τις πολύπλευρες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα υδάτινα συστήματα και υπογραμμίζει την αναγκαιότητα στρατηγικών προσαρμογής για τον μετριασμό των οικολογικών και κοινωνικοοικονομικών συνεπειών.

Επιπτώσεις της θερμοκρασίας στα υδρόβια είδη

Η παγκόσμια άνοδος της θερμοκρασίας επιταχύνει τον μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών, γεγονός που αυξάνει τη ζήτηση οξυγόνου και συχνά οδηγεί σε μειωμένη ανάπτυξη και αναπαραγωγική επιτυχία. Τα θερμότερα νερά αναγκάζουν τα είδη να εγκαταλείψουν το βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας τους, οδηγώντας σε φυσιολογικό στρες και υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας (DeNicola et al., 2015). Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν τα οικοσυστήματα, βλάπτουν τη βιοποικιλότητα και αποσταθεροποιούν τους τροφικούς ιστούς. Οι θερμότερες συνθήκες ευνοούν επίσης την εξάπλωση παθογόνων και παρασίτων, τα οποία απειλούν περαιτέρω την επιβίωση των ειδών και την παραγωγικότητα της υδατοκαλλιέργειας (Moussa et al., 2025).

Διακυμάνσεις αλατότητας και δυναμική οικοσυστήματος

Οι αλλαγές που σχετίζονται με το κλίμα, όπως το λιώσιμο των πολικών πάγων και οι αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων, οδηγούν σε σημαντικές διακυμάνσεις της αλατότητας στα παράκτια οικοσυστήματα και στα οικοσυστήματα των εκβολών ποταμών. Αυτές οι διακυμάνσεις επηρεάζουν την κατανομή και την επιβίωση των ευαίσθητων στο αλάτι ειδών, απειλούν τη βιοποικιλότητα και δυσκολεύουν τις δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας (Guimbeau et al., 2024). Σε περιοχές κοντά σε εισροές γλυκού νερού, για παράδειγμα, υπάρχουν έντονες μετατοπίσεις αλατότητας που αμφισβητούν την προσαρμοστική ικανότητα των θαλάσσιων οργανισμών και αλλάζουν τη δυναμική των οικοσυστημάτων (Mensah et al., 2025). Η αντιμετώπιση αυτών των αλλαγών απαιτεί προσαρμοστική διαχείριση προκειμένου να διατηρηθεί η οικολογική ισορροπία.

Εισαγωγή ουσιών και ευτροφισμός

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή αυξάνουν το φορτίο θρεπτικών ουσιών από τις γεωργικές απορροές και την αστική ρύπανση, γεγονός που προάγει τον ευτροφισμό των υδάτινων συστημάτων. Αυτή η διαδικασία οδηγεί σε επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών

(HABs), εξάντληση οξυγόνου και υποβάθμιση του οικοσυστήματος με σημαντικές οικολογικές και οικονομικές επιπτώσεις (Zhang et al., 2024). Τα αποτελεσματικά μέτρα μετριασμού περιλαμβάνουν τη μείωση των εισροών θρεπτικών ουσιών μέσω πρακτικών βιώσιμης χρήσης γης και την προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερομένων για την αποκατάσταση της υγείας του οικοσυστήματος (Mensah et al., 2025).

Λειψυδρία και προβλήματα ποιότητας νερού

Η υπερθέρμανση του πλανήτη επιδεινώνει τη λειψυδρία διαταράσσοντας τους υδρολογικούς κύκλους με ξηρασίες και απρόβλεπτα μοτίβα βροχοπτώσεων. Ταυτόχρονα, η ρύπανση και η κακοδιαχείριση υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτων και αποτελούν απειλή για τα οικοσυστήματα και τους ανθρώπινους πληθυσμούς (DeNicola et al., 2015). Αυτές οι προκλήσεις απειλούν την ασφάλεια του νερού, ειδικά σε περιοχές που βασίζονται στη συνεχή παροχή γλυκού νερού. Η βιώσιμη διαχείριση των υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των καινοτόμων τεχνικών διατήρησης και της διεθνούς συνεργασίας, είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία αυτού του ζωτικού πόρου (Moussa et al., 2025).

Η υδατοκαλλιέργεια υπό πίεση

Η υδατοκαλλιέργεια αντιμετωπίζει μεγάλες προκλήσεις λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του νερού, της αλλαγής των ωκεάνιων ρευμάτων και των μεταβαλλόμενων προτύπων βροχοπτώσεων. Αυτοί οι παράγοντες αλλάζουν την καταλληλότητα των παραδοσιακών περιοχών υδατοκαλλιέργειας και καθιστούν αναγκαία τη μετεγκατάσταση των εκμεταλλεύσεων σε πιο κερδοφόρες περιοχές. Τα θερμότερα νερά αυξάνουν επίσης τον επιπολασμό ασθενειών και χωροκατακτητικών ειδών που διαταράσσουν τα γηγενή οικοσυστήματα και μειώνουν τις αποδόσεις (DeNicola et al., 2015). Η ενσωμάτωση της παραδοσιακής οικολογικής γνώσης με τις σύγχρονες τεχνολογίες μπορεί να βελτιώσει την ανθεκτικότητα της υδατοκαλλιέργειας και να διασφαλίσει τον ρόλο της στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια (Moussa et al., 2025).

Θερμική διαστρωμάτωση και εξάντληση οξυγόνου

Η θερμική στρωματοποίηση, που επιδεινώνεται από την υπερθέρμανση του πλανήτη, μειώνει τη διαθεσιμότητα οξυγόνου στα υδάτινα συστήματα, δημιουργώντας υποξικές ζώνες που απειλούν την υδρόβια ζωή. Οι αλλαγές αυτές διαταράσσουν την οικολογική ισορροπία και έχουν οικονομικές συνέπειες για την αλιεία και την υδατοκαλλιέργεια. Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη στοχευμένων στρατηγικών μετριασμού, όπως η βελτιωμένη κυκλοφορία του νερού και οι πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης.

Στρατηγικές προσαρμογής και μετριασμού

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα υδάτινα οικοσυστήματα απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση.

Οι βασικές στρατηγικές περιλαμβάνουν:

- Βιώσιμες πρακτικές: χρήση φιλικών προς το περιβάλλον τεχνικών υδατοκαλλιέργειας και μείωση της απορροής θρεπτικών ουσιών μέσω βελτιωμένης διαχείρισης της γης.
- Πλαίσιο πολιτικής: Ανάπτυξη ορθών πολιτικών για τη ρύθμιση της χρήσης του νερού και την προστασία της βιοποικιλότητας.
- Τεχνολογικές καινοτομίες: Χρήση προόδων όπως συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών αλλαγών.
- Συνεργασία ενδιαφερομένων: Προώθηση συνεργασιών μεταξύ επιστημόνων, υπευθύνων χάραξης πολιτικής και ηγετών του κλάδου για την ανάπτυξη ανθεκτικών λύσεων.

Συμπέρασμα

Η κλιματική αλλαγή θέτει σύνθετες προκλήσεις για τα υδάτινα οικοσυστήματα, που κυμαίνονται από το φυσιολογικό στρες που προκαλείται από τη θερμοκρασία έως τις διακυμάνσεις της αλατότητας και τον ευτροφισμό που προκαλείται από θρεπτικά συστατικά. Τα προβλήματα αυτά απειλούν τη βιοποικιλότητα, την ποιότητα των υδάτων και τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας, με εκτεταμένες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Δίνοντας προτεραιότητα στις στρατηγικές προσαρμογής, ενσωματώνοντας επιστημονικές και παραδοσιακές γνώσεις και προωθώντας την παγκόσμια συνεργασία, είναι δυνατό να μετριαστούν αυτές οι επιπτώσεις και να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητα των υδάτινων συστημάτων για τις μελλοντικές γενιές.

Βασικές συστάσεις και λίστα ελέγχου

Προκλήσεις:

- Άνοδος της θερμοκρασίας του νερού
- Διακυμάνσεις αλατότητας
- Εξάντληση οξυγόνου και υποξικές ζώνες
- Επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών (HABs)

Συστάσεις:

Παρακολούθηση και απόκριση: Παρακολουθήστε συνεχώς τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και τα θρεπτικά συστατικά με όρια ειδοποίησης.

Συστήματα αναβάθμισης: Εγκαταστήστε και διατηρήστε τον αερισμό και την κυκλοφορία του νερού για την πρόληψη της υποξίας.

Πρόληψη στην πηγή: Μείωση της απορροής θρεπτικών ουσιών μέσω ζωνών ανάσχεσης και βιώσιμης διαχείρισης της γης.

Προγραμματίστε εκ των προτέρων: Προετοιμάστε μέτρα έκτακτης ανάγκης για καύσωνες και ακραία καιρικά φαινόμενα.

Λίστα ελέγχου:

- Έχουμε παρακολουθήσει σε πραγματικό χρόνο της θερμοκρασίας, του DO και των θρεπτικών συστατικών με καθορισμένα όρια;
- Τα συστήματα αερισμού και κυκλοφορίας εγκαθίστανται και συντηρούνται αποτελεσματικά;
- Εφαρμόζονται μέτρα για την ελαχιστοποίηση της απορροής θρεπτικών ουσιών από τη γύρω γη;
- Υπάρχει σχέδιο έκτακτης ανάγκης για καύσωνες και ακραία καιρικά φαινόμενα;

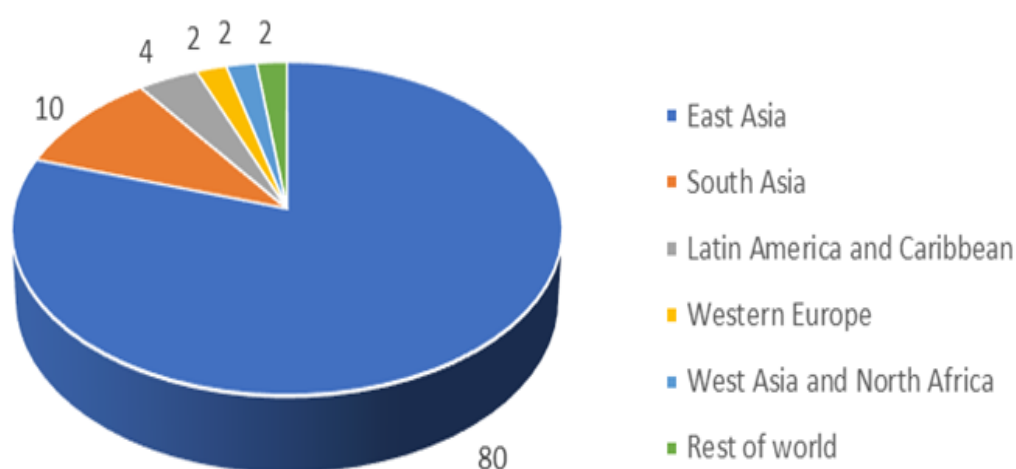
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας από την άποψη της υπερθέρμανσης του πλανήτη

Εισαγωγή

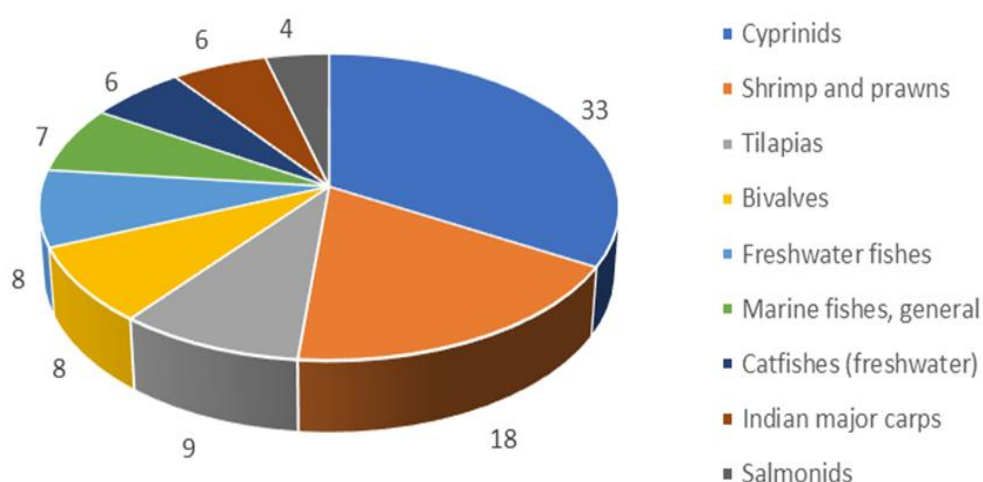
Η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας, αλλά η ταχεία ανάπτυξή της επιδεινώνει τις περιβαλλοντικές προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής. Η βιομηχανία συμβάλλει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στην υποβάθμιση των οικοτόπων και στην εξάντληση των πόρων, επιδεινώνοντας τις περιβαλλοντικές πιέσεις. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της υδατοκαλλιέργειας, εστιάζοντας στις εκπομπές, την αλλαγή χρήσης γης, την παραγωγή ζωοτροφών και τη διάθεση αποβλήτων. Ταυτόχρονα, προσδιορίζονται βιώσιμες στρατηγικές για τη συμφιλίωση της ανάπτυξης του κλάδου με την περιβαλλοντική ευθύνη.

Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην υδατοκαλλιέργεια

Οι δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας απελευθερώνουν σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), του μεθανίου (CH_4) και του υποξειδίου του αζώτου (N_2O), τα οποία παγιδεύουν τη θερμότητα και επιδεινώνουν την υπερθέρμανση του πλανήτη (Wrobel et al., 2023). Οι ενεργοβόρες διαδικασίες όπως ο αερισμός και η άντληση νερού βασίζονται συχνά στην ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα, ειδικά σε περιοχές που εξαρτώνται από άνθρακα ή πετρέλαιο (Bujas et al., 2022). Οι εκπομπές μεθανίου παράγονται από αναερόβιες συνθήκες σε λίμνες ψαριών, ενώ το υποξείδιο του αζώτου παράγεται από περίσσεια ζωοτροφών και λιπασμάτων σε περιβάλλοντα πλούσια σε άζωτο (MacLeod et al., 2019). Σύμφωνα με την IPCC, αυτές οι εκπομπές συμβάλλουν στην αλλαγή των καιρικών συνθηκών, στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και στην απώλεια βιοποικιλότητας.



Εικόνα 1. Ποσοστιαίο μερίδιο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά περιοχή (MacLeod et al., 2019)



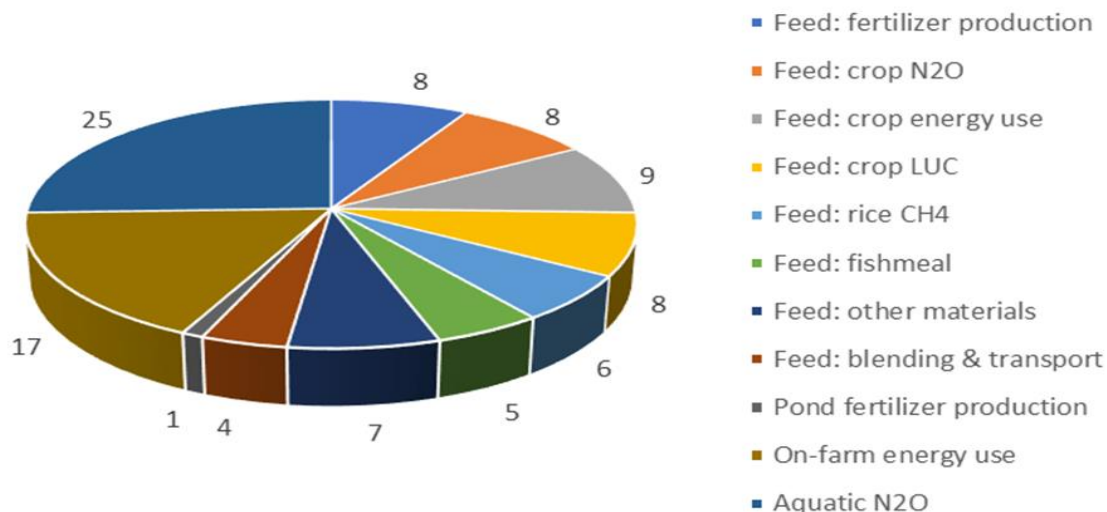
Εικόνα 2. Ποσοστιαίο μερίδιο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά ομάδα ειδών (MacLeod et al., 2019)

Καταστροφή οικοτόπων και αλλαγές στη χρήση γης

Η επέκταση της υδατοκαλλιέργειας έχει οδηγήσει σε σημαντική μετατροπή οικοτόπων, ιδιαίτερα σε οικολογικά ευαίσθητα παράκτια οικοσυστήματα όπως τα μαγγρόβια και οι υγρότοποι. Η αποψίλωση αυτών των περιοχών για εκτροφεία γαρίδας και λίμνες ψαριών οδηγεί σε απώλεια βιοποικιλότητας, διάβρωση των ακτών και μειωμένη δέσμευση άνθρακα (Barbier et al., 2011). Αυτές οι αλλαγές διαταράσσουν τις υπηρεσίες οικοσυστήματος, αποδυναμώνουν τη φυσική άμυνα έναντι των κλιματικών επιπτώσεων και επιδεινώνουν την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι στρατηγικές υπεύθυνης χρήσης γης είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση αυτών των σημαντικών οικοτόπων.

Παραγωγή ζωοτροφών: σημαντικός παράγοντας για τις επιπτώσεις στο περιβάλλον

Η παραγωγή ζωοτροφών αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της υδατοκαλλιέργειας και ευθύνεται για έως και το 90 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (FAO, 2022). Η καλλιέργεια ιχθυάλευρων και φυτικών συστατικών ζωοτροφών όπως η σόγια απαιτεί πολλή γη, νερό και ενέργεια, γεγονός που συμβάλλει στην αποψίλωση των δασών και στην εξάντληση των πόρων. Οι αναδυόμενες εναλλακτικές λύσεις, όπως οι πρωτεΐνες με βάση τα έντομα, είναι πολλά υποσχόμενες, αλλά έχουν προβλήματα επεκτασιμότητας λόγω οικονομικών και υλικοτεχνικών φραγμών. Η βελτιστοποίηση της απόδοσης των ζωοτροφών και η εξερεύνηση βιώσιμων πηγών ζωοτροφών είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση αυτών των επιπτώσεων.



Εικόνα 3. Ποσοστιαίο μερίδιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά κατηγορία πηγών (MacLeod et al., 2019)

Παραγωγή αποβλήτων και ποιότητα νερού

Η υδατοκαλλιέργεια παράγει σημαντικές ποσότητες αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των ζωοτροφών που δεν καταναλώνονται, των περιττωμάτων ψαριών και των χημικών καταλοίπων που υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού και προκαλούν ευτροφισμό (Wu, 1995; Dalsgaard & Krause-Jensen, 2006). Αυτά τα απόβλητα συμβάλλουν στην επιβλαβή άνθηση φυκιών και στην εξάντληση του οξυγόνου και διαταράσσουν τα υδάτινα οικοσυστήματα (Holmer et al., 2008). Επιπλέον, η χρήση αντιβιοτικών στην ιχθυοκαλλιέργεια εγείρει ανησυχίες σχετικά με την αντοχή στα αντιβιοτικά, η οποία αποτελεί απειλή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Τα αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό αυτών των επιπτώσεων.

Βιώσιμες πρακτικές για την υδατοκαλλιέργεια

Για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων της υδατοκαλλιέργειας, ο κλάδος πρέπει να υιοθετήσει βιώσιμες πρακτικές, όπως: - Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: μετάβαση σε ηλιακή, αιολική ή άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα.

- Βελτιστοποίηση ζωοτροφών: ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών ζωοτροφών και βελτίωση της μετατροπής των ζωοτροφών για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης πόρων.

- Υπεύθυνη διαχείριση γης: Προστασία μαγρόβιων και υγροτόπων μέσω στρατηγικών μέτρων χωροθέτησης και αποκατάστασης. - Λύσεις διαχείρισης αποβλήτων: εισαγωγή συστημάτων κλειστού βρόχου και προηγμένων συστημάτων φιλτραρίσματος για τη μείωση της ρύπανσης και του ευτροφισμού.

Συμπέρασμα

Ο ρόλος της υδατοκαλλιέργειας στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια είναι αναμφισβήτητος, αλλά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της

- εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, απώλεια οικοτόπων, παραγωγή ζωοτροφών έντασης πόρων και παραγωγή αποβλήτων
- αποτελούν σημαντική πρόκληση στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Δίνοντας προτεραιότητα στις βιώσιμες πρακτικές και ενθαρρύνοντας τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων, η βιομηχανία μπορεί να μειώσει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα καλύπτοντας παράλληλα την αυξανόμενη ζήτηση για θαλασσινά. Οι καινοτόμες λύσεις που βασίζονται στην περιβαλλοντική ευθύνη είναι απαραίτητες για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας και την υγεία των παγκόσμιων οικοσυστημάτων.

Βασικές συστάσεις και λίστα ελέγχου

Προκλήσεις:

- Υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση ενέργειας και τις διεργασίες των λιμνών
- Καταστροφή οικοτόπων και μη βιώσιμη χρήση γης
- Παραγωγή ζωοτροφών υψηλής έντασης πόρων
- Παραγωγή αποβλήτων και ρύπανση των υδάτων

Συστάσεις:

- Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Αλλάξτε τον αερισμό, την άντληση και τη θέρμανση σε ηλιακή, αιολική ή άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Βελτιστοποιήστε τις τροφές: Βελτιώστε τις αναλογίες μετατροπής των ζωοτροφών και υιοθετήστε βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις (έντομα, φύκια, υποπροϊόντα).
- Προστασία οικοτόπων: Αποφύγετε τη μετατροπή μαγγρόβιων και υγροτόπων. υποστήριξη πρωτοβουλιών αποκατάστασης.
- Διαχείριση απορριμμάτων: Εφαρμόστε συστήματα φιλτραρίσματος κλειστού βρόχου ή προηγμένα συστήματα φιλτραρίσματος για τη μείωση της ρύπανσης και του ευτροφισμού.

Λίστα ελέγχου:

Χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για βασικές δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας.

Έχουν υιοθετηθεί βιώσιμα ή εναλλακτικά συστατικά ζωοτροφών;

Προστατεύονται ή αποκαθίστανται οι οικοτόποι (μαγκρόβια, υγρότοποι) στον σχεδιασμό των γεωργικών εκμεταλλεύσεων;

Υπάρχουν συστήματα διαχείρισης αποβλήτων για την ελαχιστοποίηση της απόρριψης θρεπτικών ουσιών και της ρύπανσης των υδάτων;

Υπερθέρμανση του πλανήτη και αναπαραγωγή, βιοτεχνολογία στην υδατοκαλλιέργεια

Εισαγωγή

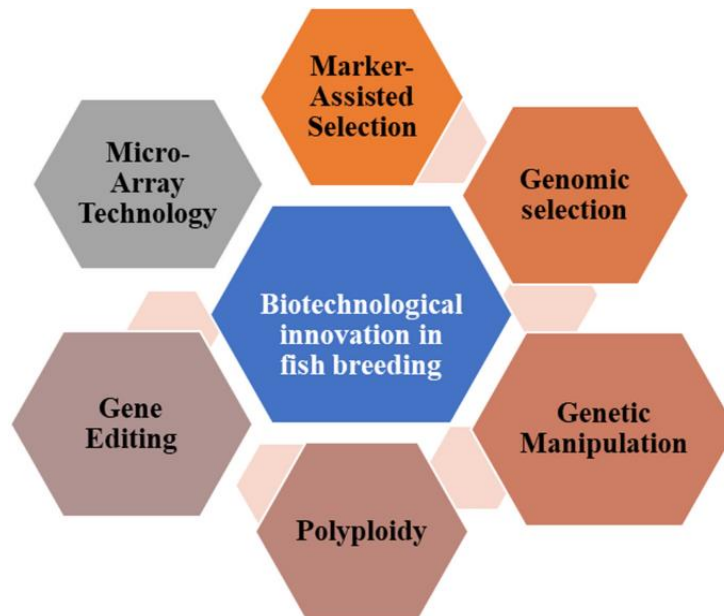
Τα υδάτινα οικοσυστήματα, τα οποία είναι κρίσιμα για τη βιοποικιλότητα και τα ανθρώπινα μέσα διαβίωσης, επηρεάζονται σοβαρά από την υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία μεταβάλλει τους αναπαραγωγικούς κύκλους, τα ποσοστά επιβίωσης και τη γενετική ποικιλότητα των υδρόβιων ειδών. Καθώς η υδατοκαλλιέργεια προσπαθεί να καλύψει την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για τρόφιμα, οι βιοτεχνολογικές καινοτομίες προσφέρουν πολλά υποσχόμενες λύσεις για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει πώς η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τα υδρόβια είδη και τον ρόλο των προηγμένων βιοτεχνολογιών - όπως η επιλεκτική αναπαραγωγή, η γονιδιωματική επιλογή, η επεξεργασία γονιδίων CRISPR-Cas9 και η κρυοσυντήρηση - στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Εξετάζει επίσης ηθικά, περιβαλλοντικά και ρυθμιστικά ζητήματα που είναι απαραίτητα για την υπεύθυνη καινοτομία (Tompkins et al., 2017).

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα υδρόβια είδη

Η άνοδος της θερμοκρασίας του νερού διαταράσσει τις διαδικασίες αναπαραγωγής και ανάπτυξης των υδρόβιων οργανισμών. Η αλλαγή των εποχών φωτοκίας που προκαλείται από θερμότερα νερά οδηγεί σε αναντιστοιχία μεταξύ της διαθεσιμότητας τροφής και του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών ειδών όπως ο μπακαλιάρος και η πέρκα. Οι αυξημένες θερμοκρασίες μειώνουν επίσης τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, γεγονός που προκαλεί άγχος στα νεαρά ψάρια και επηρεάζει την ανάπτυξή τους. Ενώ ορισμένα είδη έχουν γενετικές προσαρμογές, ο γρήγορος ρυθμός της περιβαλλοντικής αλλαγής συχνά υπερβαίνει την προσαρμοστική τους ικανότητα και απειλεί τη σταθερότητα των πληθυσμών και τη λειτουργικότητα των οικοσυστημάτων (Durant et al., 2007).

Επιλεκτική αναπαραγωγή και γονιδιωματική επιλογή

Στην υδατοκαλλιέργεια, η επιλεκτική αναπαραγωγή χρησιμοποιείται για τη βελτίωση χαρακτηριστικών όπως η ανοχή στη θερμότητα, η αντοχή στις ασθένειες και η αποτελεσματικότητα ανάπτυξης. Η γονιδιωματική επιλογή επιταχύνει αυτή τη διαδικασία εντοπίζοντας γενετικούς δείκτες που σχετίζονται με επιθυμητά χαρακτηριστικά και επιτρέπουν τον ταχύτερο πολλαπλασιασμό των ανθεκτικών στελεχών. Για παράδειγμα, ο σολομός του Ατλαντικού έχει εκτραφεί για να αντέχει σε υψηλότερες θερμοκρασίες και συνθήκες χαμηλού οξυγόνου, ενώ τα στελέχη ιριδίζουσας πέστροφας έχουν βελτιωμένη αντοχή στα παθογόνα. Αυτές οι εξελίξεις αυξάνουν την παραγωγικότητα και την προσαρμοστικότητα κάτω από δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες (Houston et al., 2018).

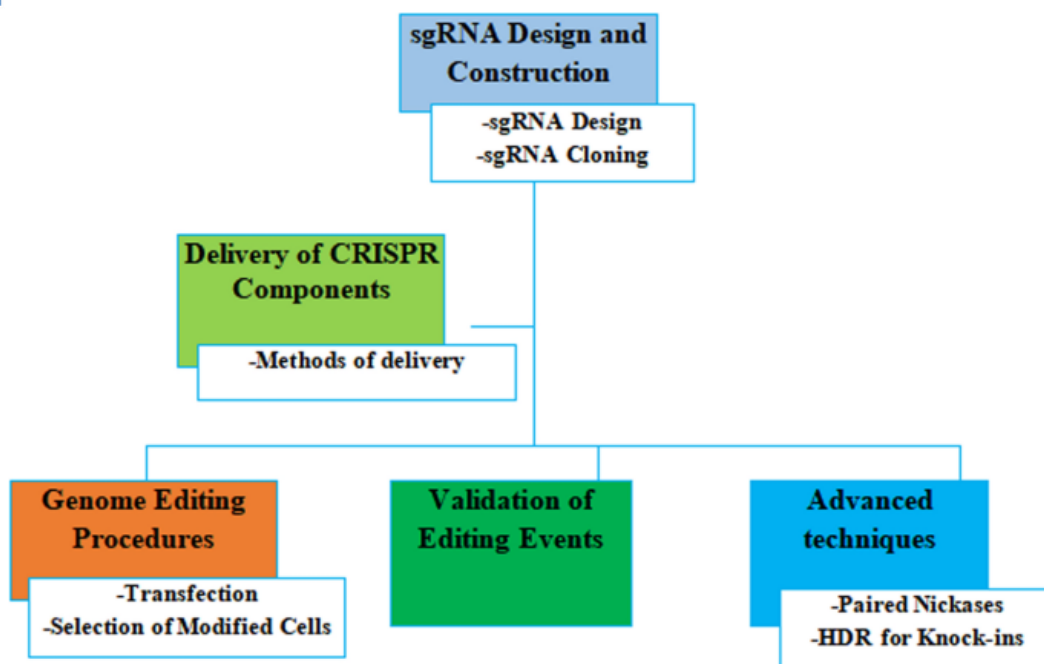


Εικόνα 4. Βιοτεχνολογικές καινοτομίες στην ιχθυοκαλλιέργεια

CRISPR–Cas9: αλλαγή παραδείγματος για την υδατοκαλλιέργεια Η επεξεργασία γονιδίου CRISPR–Cas9 επιτρέπει την ακριβή τροποποίηση των γονιδιωμάτων των ψαριών, βελτιώνοντας τα χαρακτηριστικά που είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας. Στοχεύοντας γονίδια όπως η μυοστατίνη (*mstn*), οι ερευνητές κατάφεραν να βελτιώσουν τους ρυθμούς ανάπτυξης και την ποιότητα των μυών σε είδη όπως η τιλάπια του Νείλου και το γατόψαρο καναλιού. Ομοίως, οι αλλαγές στα γονίδια που σχετίζονται με το ανοσοποιητικό έχουν αυξήσει την αντοχή στις ασθένειες στον σολομό του Ατλαντικού και στον κυπρίνο. Το CRISPR διευκολύνει επίσης τον προσδιορισμό του φύλου και τη στειρότητα, γεγονός που μειώνει τους οικολογικούς κινδύνους από τη διασταύρωση των εκτρεφόμενων ψαριών που διαφεύγουν με άγριους πληθυσμούς. Ωστόσο, οι πιθανές επιδράσεις εκτός στόχου απαιτούν στενή παρακολούθηση και περαιτέρω έρευνα (Yang et al., 2021).

Κρυοσυντήρηση για γενετική διατήρηση

Η κρυοσυντήρηση περιλαμβάνει τη διατήρηση γαμετών και εμβρύων σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που υποστηρίζει τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και τα ευέλικτα προγράμματα αναπαραγωγής. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την αναπαραγωγή όλο το χρόνο και τη διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας σε διάφορες περιοχές. Παρά τις δυνατότητές του, προκλήσεις όπως η ευαισθησία στο κρύο και η τοξικότητα των κρυοπροστατευτικών σε ωάρια και έμβρυα απαιτούν συνεχή βελτιστοποίηση του πρωτοκόλλου για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας (Betsy et al., 2022), (Sankaran & Mandal, 2024).



Εικόνα 5. Επεξεργασία γονιδίου CRISPR–Cas9 (Sankaran & Mandal, 2024)

Ηθικά και οικολογικά ζητήματα

Η βιοτεχνολογική πρόοδος εγείρει σημαντικές ηθικές και περιβαλλοντικές ανησυχίες. Οι γενετικά τροποποιημένοι οργανισμοί (ΓΤΟ) που εισέρχονται σε άγρια οικοσυστήματα θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο τη γενετική ακεραιότητα και τη βιοποικιλότητα. Τα ισχυρά ρυθμιστικά πλαίσια είναι απαραίτητα για την εκτίμηση κινδύνου, την παρακολούθηση των επιπτώσεων και τη συμμετοχή των ενδιαφερομένων. Η καλή διαβίωση των ζώων πρέπει επίσης να αποτελεί προτεραιότητα για να διασφαλιστεί ότι οι γενετικές τροποποιήσεις δεν θέτουν σε κίνδυνο την υγεία των ψαριών. Η διαφανής διακυβέρνηση και ο δημόσιος διάλογος είναι ζωτικής σημασίας για τη συμφιλίωση της καινοτομίας και της περιβαλλοντικής ευθύνης (Fletcher & Rise, 2012).

Βιώσιμη ενσωμάτωση της βιοτεχνολογίας

Για να διασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας, οι βιοτεχνολογίες πρέπει να ενσωματωθούν σε βιώσιμες πρακτικές.

Οι βασικές στρατηγικές περιλαμβάνουν:

Βελτιστοποιημένα προγράμματα αναπαραγωγής: Χρήση εργαλείων γονιδιοματικής για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας χωρίς οικολογική ζημιά.

Προηγμένη παρακολούθηση: Εφαρμόστε συστήματα σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των επιπτώσεων των ΓΤΟ στα οικοσυστήματα.

Ηθική διακυβέρνηση: Ανάπτυξη πολιτικών που δίνουν προτεραιότητα στην καλή διαβίωση των ζώων και τη βιοποικιλότητα.

Συνεργασία με ενδιαφερόμενα μέρη: Προώθηση συνεργασιών μεταξύ επιστημόνων, ρυθμιστικών αρχών και κοινοτήτων για την ευθυγράμμιση της καινοτομίας με τους στόχους βιωσιμότητας.

Συμπέρασμα

Οι βιοτεχνολογικές καινοτομίες όπως η επιλεκτική αναπαραγωγή, η γονιδιωματική επιλογή, το CRISPR–Cas9 και η κρυοσυντήρηση προσφέρουν μετασχηματιστικές δυνατότητες για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής στην υδατοκαλλιέργεια. Βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα και την παραγωγικότητα των ειδών, αυτές οι τεχνολογίες συμβάλλουν στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Ωστόσο, η επιτυχία τους εξαρτάται από την ηθική εφαρμογή, την ορθή ρύθμιση και τη διεπιστημονική συνεργασία για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων και τη διασφάλιση βιώσιμων αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου, η υδατοκαλλιέργεια μπορεί να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην αντιμετώπιση της διττής κρίσης της κλιματικής αλλαγής και της επισιτιστικής ασφάλειας.

Βασικές συστάσεις και λίστα ελέγχου

Προκλήσεις:

- Διαταραγμένοι κύκλοι αναπαραγωγής και μειωμένη προσαρμοστική ικανότητα υπό την κλιματική αλλαγή
- Ηθικοί και οικολογικοί κίνδυνοι από τη βιοτεχνολογία (διαφυγή ΓΤΟ, απώλεια βιοποικιλότητας, καλή διαβίωση των ζώων)
- Επιδράσεις εκτός στόχου και αβεβαιότητα σε εφαρμογές CRISPR–Cas9
- Κανονιστικοί φραγμοί και περιορισμένη επεκτασιμότητα των προηγμένων τεχνολογιών

Συστάσεις:

Ενίσχυση της αναπαραγωγής:

- Επέκταση της επιλεκτικής αναπαραγωγής και των γονιδιωματικών εργαλείων για τη βελτίωση της θερμικής ανοχής, της ανάπτυξης και της αντοχής στις ασθένειες.
- Επεξεργασία γονιδίων ελέγχου: Εφαρμόστε αυστηρά πρωτόκολλα παρακολούθησης και επικύρωσης για το CRISPR–Cas9 για να ελαχιστοποιήσετε τους κινδύνους εκτός στόχου. Διατήρηση της ποικιλομορφίας: Επενδύστε στην έρευνα κρυοσυντήρησης για την προστασία των γαμετών, των εμβρύων και της βιοποικιλότητας.
- Διασφάλιση διακυβέρνησης: Θέσπιση νομικών πλαισίων που δίνουν προτεραιότητα στη δεοντολογία, την προστασία της βιοποικιλότητας και την καλή διαβίωση των ζώων.
- Προώθηση της συνεργασίας: Προώθηση του διαλόγου μεταξύ επιστημόνων, ρυθμιστικών αρχών και κοινοτήτων για υπεύθυνη καινοτομία.

Λίστα ελέγχου:

- Εφαρμόζονται προγράμματα επιλεκτικής αναπαραγωγής ή γονιδιωματικής επιλογής για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή;
- Παρακολουθούνται οι εφαρμογές CRISPR–Cas9 για επιπτώσεις εκτός στόχου και οικολογικούς κινδύνους;
- Εφαρμόζονται τεχνικές κρυοσυντήρησης για τη διατήρηση των γενετικών πόρων; Ακολουθούνται ενεργά τα ηθικά και ρυθμιστικά πλαίσια στις βιοτεχνολογικές διαδικασίες;
- Υπάρχει συνεργασία με τα ενδιαφερόμενα μέρη για να διασφαλιστεί η υπεύθυνη και διαφανής χρήση της βιοτεχνολογίας;

Αλλαγές στις πρακτικές διατροφής και διατροφής στην υδατοκαλλιέργεια λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη

Εισαγωγή

Η υδατοκαλλιέργεια, ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας, είναι κεντρικής σημασίας για την κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης τροφίμων και έχει σχετικά χαμηλό αντίκτυπο στο κλίμα σε σύγκριση με άλλες πηγές πρωτεΐνης. Με την ιχθυοκαλλιέργεια να προβλέπεται να αυξηθεί κατά 32% έως το 2030 (FAO, 2020), η διασφάλιση της βιωσιμότητας και η αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής είναι κρίσιμης σημασίας. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας, ιδίως το αποτύπωμα άνθρακα, και διερευνά καινοτόμες στρατηγικές ζωοτροφών για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας και τη μείωση της οικολογικής ζημιάς. Με την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών και εναλλακτικών συστατικών, η υδατοκαλλιέργεια μπορεί να επιτύχει τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης και τον στόχο του καθαρού μηδενικού ισοζυγίου.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας

Η υδατοκαλλιέργεια προκαλεί σημαντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με την παγκόσμια ιχθυοκαλλιέργεια να παράγει περίπου 250 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂ ετησίως (MacLeod et al., 2020). Στην εκτροφή σολομού, οι ζωοτροφές αντιπροσωπεύουν περίπου το 75% των εκπομπών, οι οποίες μόνο στη Νορβηγία ανέρχονται σε 10 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂ ετησίως (Ziv-Douki, 2020). Ενώ η παραγωγή θαλασσινών έχει χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα από το βόειο κρέας, η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει προκλήσεις όπως η μειωμένη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, η μείωση της ποιότητας του νερού και η αυξημένη λοιμογόνος δράση των παθογόνων μικροοργανισμών (Cheung et al., 2023). Αυτοί οι παράγοντες απειλούν την ανάπτυξη και την υγεία των ειδών κρύου νερού και αποδυναμώνουν τις καταβόθρες άνθρακα των ωκεανών, απαιτώντας στοχευμένες παρεμβάσεις στην παραγωγή ζωοτροφών.



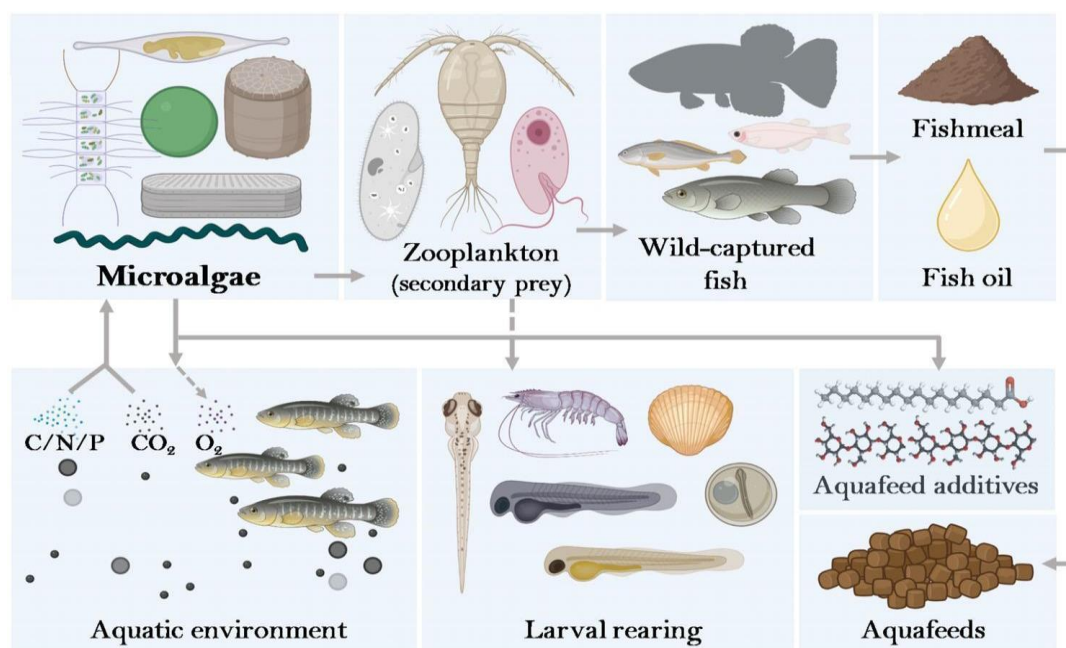
Εικόνα 6. Τομείς παρέμβασης για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα στην υδατοκαλλιέργεια (προσαρμογή από Zhang et al., 2024)

Προκλήσεις που σχετίζονται με το κλίμα για τη σύνθεση ζωοτροφών

Η άνοδος της θερμοκρασίας του νερού αυξάνει τους μεταβολικούς ρυθμούς των ειδών υδατοκαλλιέργειας, γεγονός που απαιτεί προσαρμογή της σύνθεσης της τροφής για την κάλυψη των αυξημένων απαιτήσεων σε θρεπτικά συστατικά. Μια αλλοιωμένη αναλογία πρωτεϊνών, λιπιδίων και υδατανθράκων είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη ανάπτυξη και την καλή υγεία κάτω από θερμότερες συνθήκες (Zhang et al., 2024). Επιπλέον, η οξίνιση των ωκεανών επηρεάζει τη φυσιολογία του πεπτικού συστήματος, επομένως απαιτούνται πρόσθετα ζωοτροφών όπως ρυθμιστικοί παράγοντες για τον μετριασμό των επιπτώσεων. Η κλιματική αλλαγή περιπλέκει επίσης την προμήθεια συμβατικών ιχθυόαλευρων και ιχθυελαίων, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις για τη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των ζωοτροφών (Ma & Hu, 2023).

Καινοτομίες στα βιώσιμα συστατικά ζωοτροφών

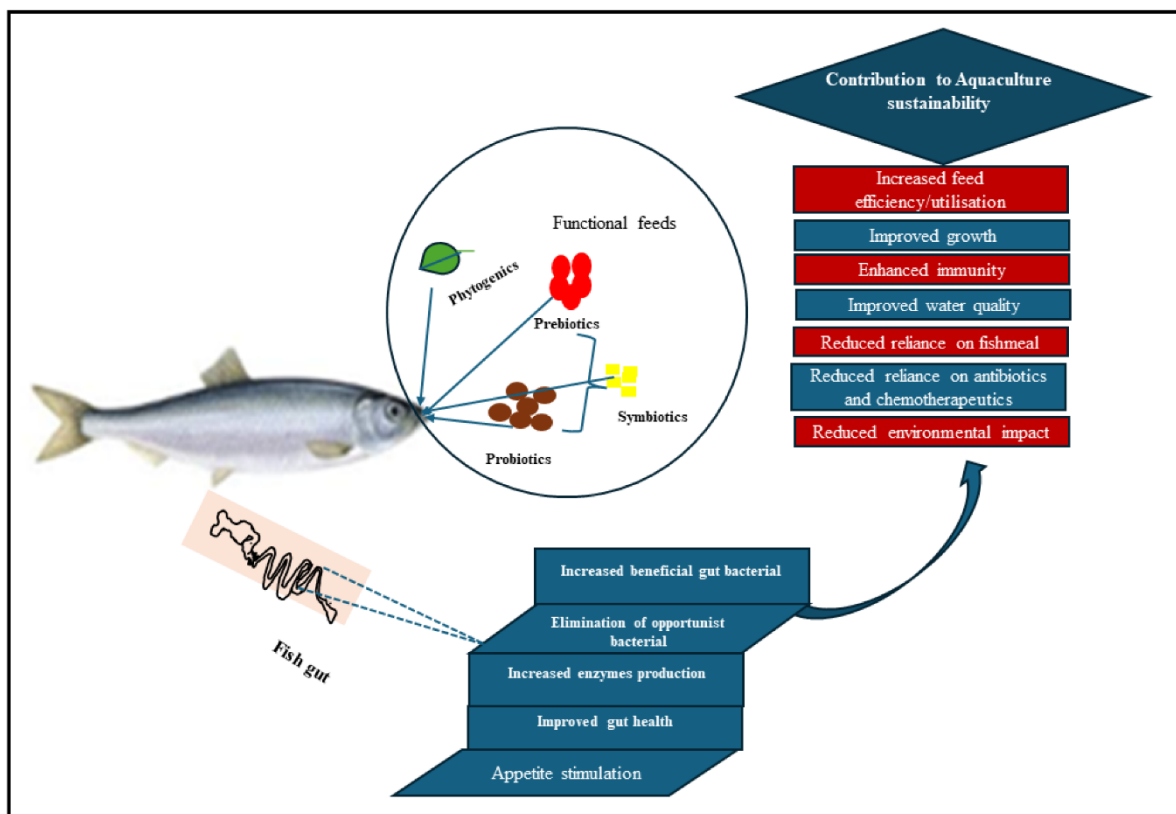
Για να μειωθεί η εξάρτηση από τα ιχθυόαλευρα, εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης όπως τα άλευρα εντόμων, τα φύκια και οι φυτικές πρωτεΐνες γίνονται όλο και πιο σημαντικές. Αυτά τα συστατικά μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μειώνοντας την πίεση στα θαλάσσια αποθέματα και τους χερσαίους πόρους. Τα συστατικά των ζωοτροφών που προέρχονται από απόβλητα, όπως τα υποπροϊόντα από την επεξεργασία τροφίμων, βελτιώνουν περαιτέρω τη βιωσιμότητα ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση πόρων. Τα συμπληρώματα ενζύμων βελτιώνουν την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, ενώ τα πρεβιοτικά και οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί υποστηρίζουν την υγεία του εντέρου και το ανοσοποιητικό σύστημα και ενισχύουν την ανθεκτικότητα σε στρεσογόνους παράγοντες που σχετίζονται με το κλίμα (Messeder, 2021).



Εικόνα 7. Ρόλοι των μικροφυκών που σχετίζονται με την υδατοκαλλιέργεια, Biorender.com (Wu & Hu, 2023)

Προηγμένες τεχνολογίες σίτισης

Η βελτιστοποίηση της παροχής ζωοτροφών είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητα. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας και τα συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν την ακριβή διανομή των ζωοτροφών, μειώνοντας τα απόβλητα και βελτιώνοντας τη μετατροπή των ζωοτροφών. Η προσαρμογή της συχνότητας και της ποσότητας σίτισης στη μεταβαλλόμενη όρεξη των ειδών σε θερμότερα νερά διασφαλίζει την αποτελεσματική χρήση των πόρων. Η συμπερίληψη μετάλλων και βιταμινών στις ζωοτροφές αυξάνει την αντοχή στο στρες, ειδικά υπό όξινες συνθήκες, και προάγει τη συνολική υγεία και παραγωγικότητα (Zhang et al., 2024).



Εικόνα 8. Επιδράσεις των λειτουργικών πρόσθετων ζωοτροφών στην υδατοκαλλιέργεια (προσαρμοσμένο από Onomu & Okuthe, 2024)

Στρατηγικές για βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια

Για να συμβιβαστεί η υδατοκαλλιέργεια με τους περιβαλλοντικούς στόχους και τους στόχους βιωσιμότητας, είναι απαραίτητες οι ακόλουθες στρατηγικές:

- Εναλλακτικές πηγές ζωοτροφών: Αυξημένη χρήση πρωτεϊνών από έντομα, φύκια και φυτά για τη μείωση της εξάρτησης από τα ιχθυάλευρα.
- Βελτιστοποίηση ζωοτροφών: Χρήση ενζύμων, πρεβιοτικών και ρυθμιστικών ουσιών για τη βελτίωση της πεπτικότητας και της αντοχής. Τεχνολογική ολοκλήρωση: χρήση

αυτοματοποιημένων συστημάτων τροφοδοσίας και εργαλείων παρακολούθησης για την ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων και την αύξηση της απόδοσης.

- Υποστήριξη πολιτικής: Προώθηση κανονισμών που δίνουν κίνητρα για βιώσιμη παραγωγή ζωοτροφών και πρακτικές χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Συμπέρασμα

Η ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας είναι κρίσιμη για την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, αλλά το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα, ιδιαίτερα μέσω της παραγωγής ζωοτροφών, αποτελεί πρόκληση σε έναν κόσμο που θερμαίνεται. Χρησιμοποιώντας εναλλακτικά συστατικά ζωοτροφών, προηγμένες τεχνολογίες και προσαρμοσμένες συνθέσεις, η βιομηχανία μπορεί να μειώσει τις εκπομπές, να βελτιώσει την ανθεκτικότητα των ειδών και να επιτύχει στόχους βιωσιμότητας. Η συνεργασία μεταξύ ερευνητών, παραγωγών και υπευθύνων χάραξης πολιτικής είναι ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι η υδατοκαλλιέργεια ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις οικολογικές επιπτώσεις της και συμβάλλοντας σε έναν πιο υγιή πλανήτη.

Βασικές συστάσεις και λίστα ελέγχου

Προκλήσεις:

- Υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με την παραγωγή ζωοτροφών
Μειωμένη διαθεσιμότητα και αυξανόμενο κόστος ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων
- Αυξημένες μεταβολικές απαιτήσεις των εκτρεφόμενων ειδών υπό συνθήκες θέρμανσης
- Η οξίνιση των ωκεανών βλάπτει την πέψη των ζωοτροφών και την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών

Συστάσεις:

- Εναλλακτικές λύσεις κλίμακας: Επενδύστε σε άλευρα εντόμων, φύκια, φυτικές πρωτεΐνες και υποπροϊόντα για να μειώσετε την εξάρτηση από τα ιχθυάλευρα.
- Αυτοματοποίηση τροφοδοσίας: Εισαγάγετε τεχνολογίες τροφοδοσίας ακριβείας για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των ζωοτροφών και τη μείωση των απορριμμάτων.
- Ενισχύστε την ανθεκτικότητα: Εφαρμόστε λειτουργικά πρόσθετα (ένζυμα, πρεβιοτικά, προβιοτικά, ρυθμιστικούς παράγοντες) για να βελτιώσετε την πεπτικότητα και την αντοχή στο στρες. Πολιτική υποστήριξης: Ανάπτυξη κινήτρων και κανονισμών για βιώσιμη παραγωγή ζωοτροφών και πρακτικές χαμηλών εκπομπών άνθρακα.
- Προώθηση της συνεργασίας: Συμμετοχή παραγωγών, ερευνητών και υπευθύνων χάραξης πολιτικής για την εξασφάλιση βιώσιμων πόρων ζωοτροφών.

Λίστα ελέγχου:

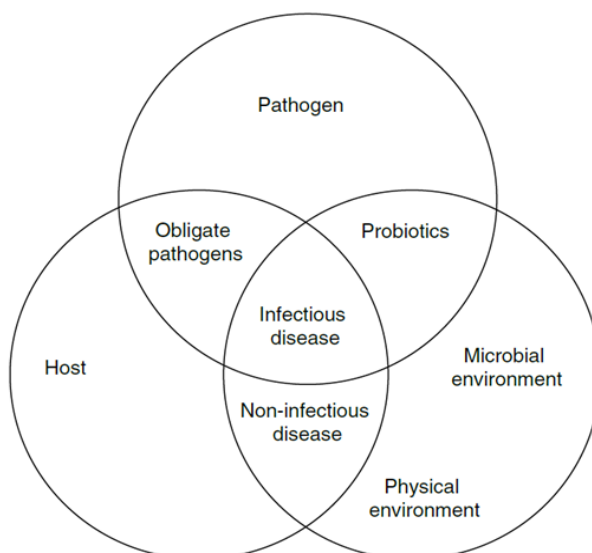


- Τα εναλλακτικά συστατικά ζωοτροφών (π.χ. έντομα, φύκια, υποπροϊόντα) ενσωματώνονται στις αλυσίδες εφοδιασμού ζωοτροφών;
- Εφαρμόζονται αυτοματοποιημένα συστήματα τροφοδοσίας ή συστήματα τροφοδοσίας ακριβείας για την ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων και τη βελτιστοποίηση της μετατροπής των ζωοτροφών;
- Χρησιμοποιούνται λειτουργικά πρόσθετα για τη βελτίωση της πεπτικότητας, της υγείας του εντέρου και της αντοχής στο στρες υπό συνθήκες θέρμανσης και οξίνισης;
- Υπάρχουν υποστηρικτικές πολιτικές ή συνεργατικές πρωτοβουλίες για την προώθηση της βιώσιμης παραγωγής ζωοτροφών και τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα;

Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις ασθένειες στην υδατοκαλλιέργεια και σε προστατευτικές εφαρμογές

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή έχει βαθύ αντίκτυπο στα υδάτινα οικοσυστήματα και απειλεί την ικανότητα της υδατοκαλλιέργειας να καλύψει την παγκόσμια ζήτηση για θαλασσινά, η οποία αναμένεται να αυξηθεί κατά 30 εκατομμύρια τόνους έως το 2030 (Lucas et al., 2019). Η άνοδος της θερμοκρασίας, η οξίνιση των ωκεανών, οι αλλαγές αλατότητας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα επιδεινώνουν την εξάπλωση ασθενειών, υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτων και καταπονούν τα είδη υδατοκαλλιέργειας. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει αυτές τις προκλήσεις και προτείνει προσαρμοστικές στρατηγικές διαχείρισης για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας, εστιάζοντας στον έλεγχο των ασθενειών, την περιβαλλοντική παρακολούθηση και τις βιώσιμες πρακτικές για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας του τομέα.



Εικόνα 9. Τροποποιημένο μοντέλο τριών δακτυλίων *Sneizko* που απεικονίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ ξενιστή, παθογόνου και περιβάλλοντος (Lucas et al., 2019)

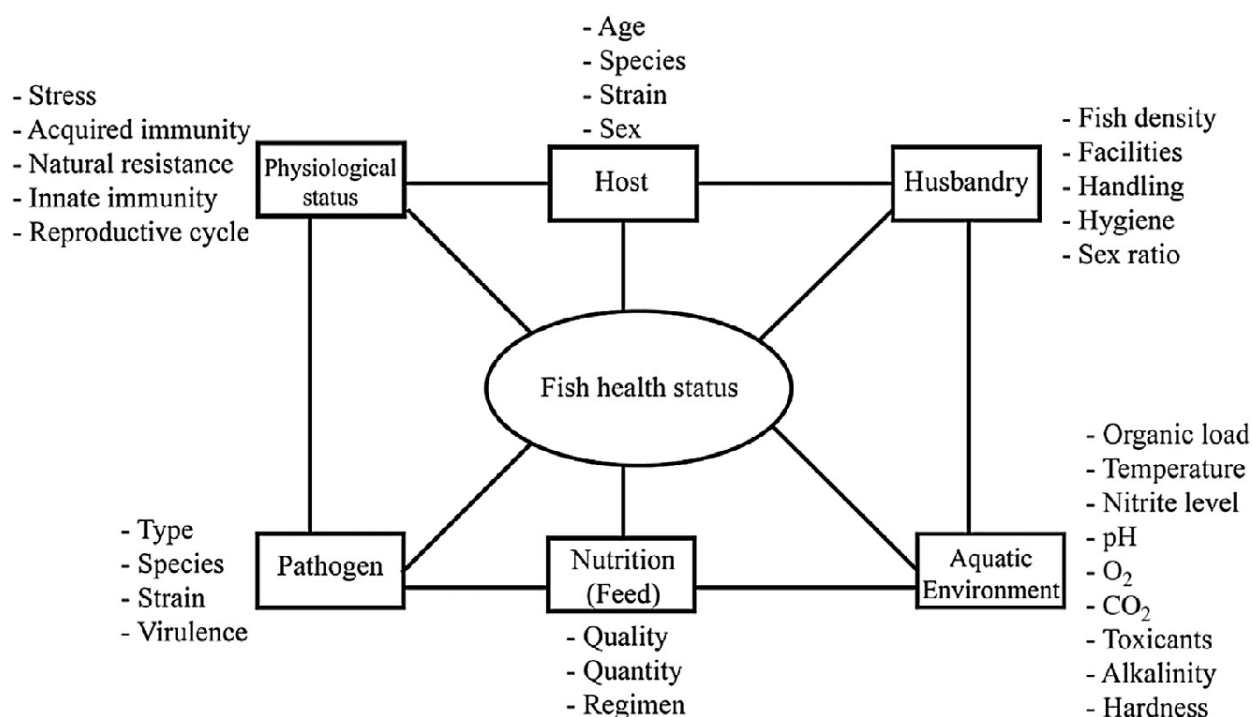
Περιβαλλοντικές αλλαγές που προκαλούνται από το κλίμα

Η υπερθέρμανση του πλανήτη αλλάζει το υδάτινο περιβάλλον μέσω διαφόρων παραγόντων στρες. Οι θερμοκρασίες της επιφάνειας των ωκεανών προβλέπεται να αυξηθούν κατά 0,6 έως 2,0 ° C έως το 2100 και η στάθμη της θάλασσας προβλέπεται να αυξηθεί κατά 10 έως 35 cm έως το 2050 λόγω της θερμικής διαστολής και του λιώσιμου των πάγων (IPCC, 2022). Αυτές οι αλλαγές, σε συνδυασμό με την αυξημένη απορρόφηση CO₂ (20-35% των εκπομπών), θα οδηγήσουν σε οξίνιση των ωκεανών, η οποία θα αποδυναμώσει ασβεστοποιητικούς οργανισμούς όπως τα οστρακοειδή και τα κοράλλια (Lucas et al., 2019). Οι αλλαγές στις βροχοπτώσεις και την απορροή οδηγούν σε

διακυμάνσεις της αλατότητας, ενώ η φόρτωση θρεπτικών ουσιών προάγει τον ευτροφισμό και τις επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών (HABs), δημιουργώντας υποξικές συνθήκες που υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού και ευνοούν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών (Cheung et al., 2023).

Επιπτώσεις στην υγεία των καλλιεργούμενων ειδών

Οι αυξημένες θερμοκρασίες του νερού επιταχύνουν τους κύκλους ζωής των παθογόνων μικροοργανισμών και αυξάνουν τον επιπολασμό και τη λοιμογόνο δράση βακτηρίων, ιών και παρασίτων (Woo & Iwama, 2019). Πολλά είδη υδατοκαλλιέργειας με στενά εύρη ανοχής θερμοκρασίας υποφέρουν από εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα, μειωμένη ανάπτυξη και χαμηλότερη αναπαραγωγική επιτυχία υπό θερμική καταπόνηση. Η οξίνιση βλάπτει το σχηματισμό κελύφους στα δίθυρα, ενώ οι αλλαγές στην αλατότητα προκαλούν οσμωτικό στρες και αυξάνουν την ευαισθησία σε ασθένειες. Τα HAB που επιδεινώνονται από την απορροή θρεπτικών ουσιών παράγουν τοξίνες που βλάπτουν τα ψάρια και δημιουργούν ένα περιβάλλον που ευνοεί τις εστίες ασθενειών (Lucas et al., 2019).



Εικόνα 10. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση της υγείας των ψαριών (Jeney, 2017)

Προκλήσεις ασθενειών και νέα παθογόνα

Η κλιματική αλλαγή αυξάνει τους κινδύνους ασθενειών στην υδατοκαλλιέργεια, καθώς τα τροπικά παθογόνα μπορούν να εισβάλουν σε εύκρατες περιοχές μέσω θερμότερων νερών και να αυξήσουν την αντοχή τους στις θεραπείες. Οι αλλαγές στη δυναμική ξενιστή-παρασίτου εισάγουν νέους φορείς ασθενειών και περιπλέκουν τη διαχείριση (Woo & Iwama, 2019) Περίπου το 40% της παραγωγής

υδατοκαλλιέργειας χάνεται λόγω ασθενειών, γεγονός που αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης για θαλασσινά (Lucas et al., 2019). Η αυξημένη επιτήρηση και η προσαρμοστική διαχείριση της νόσου είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση αυτών των εξελισσόμενων απειλών.

Ευπάθεια υποδομών και οικοσυστημάτων

Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καταιγίδες και πλημμύρες βλάπτουν υποδομές υδατοκαλλιέργειας, όπως παράκτιες λίμνες γαρίδας και κλωβούς ψαριών, ειδικά στην Ασία (Lucas et al., 2019). Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η διάβρωση των ακτών απειλούν εύθραυστα οικοσυστήματα όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι και μειώνουν τη διαθεσιμότητα οικοτόπων για εκτρεφόμενα είδη. Η αυξανόμενη συχνότητα των ξηρασιών επηρεάζει την παραγωγή σε λίμνες, ενώ οι χαμηλότερες αποδόσεις των καλλιεργειών για συστατικά ζωοτροφών αυξάνουν το κόστος και ασκούν περαιτέρω πίεση στη βιομηχανία (Cheung et al., 2023).

Προσαρμοστικές στρατηγικές διαχείρισης

Για να μετριαστούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, η υδατοκαλλιέργεια πρέπει να υιοθετήσει μια σειρά στρατηγικών:

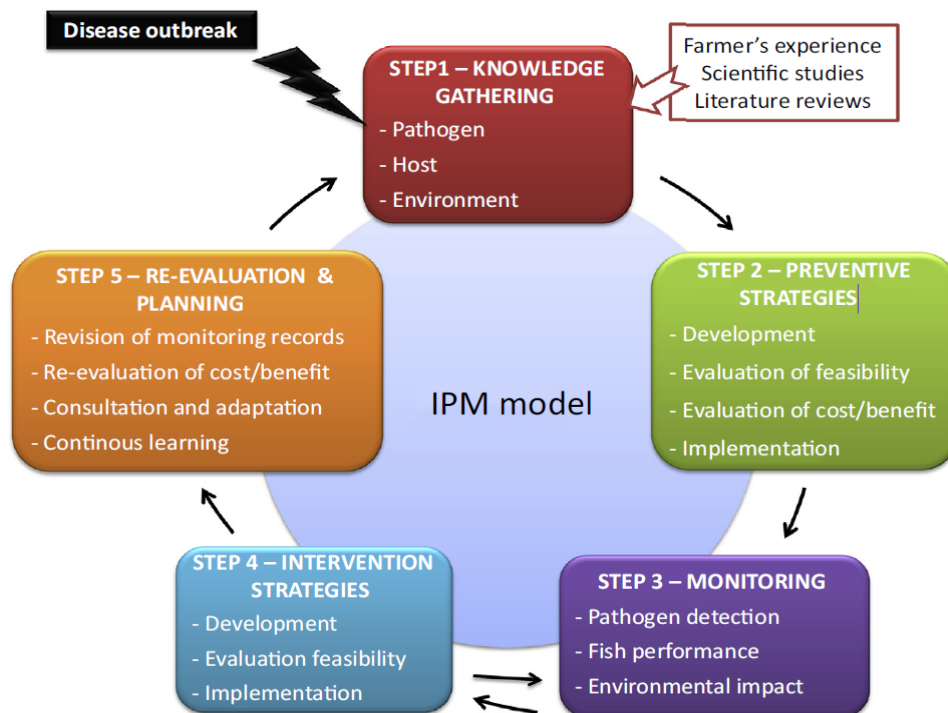
Βελτιωμένη επιτήρηση ασθενειών: εφαρμογή παρακολούθησης παθογόνων σε πραγματικό χρόνο για τον εντοπισμό και τον έλεγχο αναδυόμενων ασθενειών.

Διαχείριση της ποιότητας των υδάτων: χρήση συστημάτων αερισμού και διήθησης για την καταπολέμηση της υποξίας και του ευτροφισμού.

Ανθεκτική υποδομή: ανάπτυξη κλωβών και λιμνών ανθεκτικών στις καταιγίδες που αντέχουν σε ακραίες καιρικές συνθήκες.

Προσαρμόσιμες μέθοδοι διατροφής: χρήση εναλλακτικών συστατικών όπως φύκια και άλγυρα εντόμων για την καταπολέμηση των ελλείψεων ζωοτροφών και την υποστήριξη της υγείας των ζώων σε μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Περιβαλλοντικός έλεγχος: Ρύθμιση αλατότητας και θερμοκρασίας μέσω ελεγχόμενων συστημάτων για τη μείωση του στρες στα ζώα.



Εικόνα 11. Διαδικασία ανάπτυξης στρατηγικών ολοκληρωμένης διαχείρισης παθογόνων (IPM) για ασθένειες των ψαριών (Jeney, 2017)

Συμπέρασμα

Η κλιματική αλλαγή θέτει σημαντικές προκλήσεις για την υδατοκαλλιέργεια, από την αύξηση των ασθενειών και τις επιπτώσεις στην υγεία των ειδών έως την ευπάθεια των υποδομών και την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων. Με την ενσωμάτωση προηγμένης παρακολούθησης, ανθεκτικών υποδομών και βιώσιμων πρακτικών ζωοτροφών, η βιομηχανία μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτές τις αλλαγές καλύπτοντας παράλληλα την παγκόσμια ζήτηση για θαλασσινά. Η συνεργασία μεταξύ ερευνητών, παραγωγών και υπευθύνων χάραξης πολιτικής είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων που διασφαλίζουν τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα της υδατοκαλλιέργειας σε ένα ταχέως μεταβαλλόμενο κλίμα.

Βασικές συστάσεις και λίστα ελέγχου

Προκλήσεις:

- Αυξανόμενη συχνότητα εμφάνισης και λοιμογόνος δράση των υδρόβιων ασθενειών υπό συνθήκες θέρμανσης.
 - Περιβαλλοντικοί παράγοντες πρόκλησης στρες (οξίνιση, μετατοπίσεις αλατότητας, ευτροφισμός, επιβλαβείς ανθίσεις φυκιών) που αποδυναμώνουν την υγεία των ειδών
- Ευπάθεια των υποδομών υδατοκαλλιέργειας σε καταιγίδες, πλημμύρες και ξηρασίες

- Φόρτωση θρεπτικών ουσιών και υποβάθμιση της ποιότητας του νερού που ευνοεί την ανάπτυξη παθογόνων

Συστάσεις:

- Ενίσχυση της επιτήρησης: Εφαρμογή παρακολούθησης παθογόνων σε πραγματικό χρόνο και ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης ασθενειών.
- Περιβάλλον ελέγχου: Χρησιμοποιήστε αερισμό, διήθηση και έλεγχο ποιότητας νερού για να μειώσετε την υποξία και τον ευτροφισμό.
- Δημιουργήστε ανθεκτικότητα: Αναπτύξτε γεωδεξαμενές, ιχθυοκλωβούς και προσαρμοστικές υποδομές ανθεκτικές στις καταιγίδες.
- Υποστηρίξτε την υγεία των ζώων: Ενσωματώστε εναλλακτικές τροφές (έντομα, φύκια, λειτουργικά πρόσθετα) για να ενισχύσετε την αντοχή στο στρες.
- Υιοθετήστε προσαρμοστική διαχείριση: Συνδυάστε την παρακολούθηση, τον σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης και τις πρακτικές που βασίζονται στο οικοσύστημα για μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα.

Κατάλογος:

- Λειτουργούν συστήματα επιτήρησης και αναφοράς ασθενειών σε πραγματικό χρόνο; Εφαρμόζονται αερισμός, διήθηση ή άλλοι έλεγχοι ποιότητας του νερού για την πρόληψη της υποξίας και του ευτροφισμού;
- Οι υποδομές υδατοκαλλιέργειας έχουν σχεδιαστεί ή αναβαθμιστεί ώστε να αντέχουν σε ακραία καιρικά φαινόμενα;
- Χρησιμοποιούνται εναλλακτικές ή λειτουργικές τροφές για την ενίσχυση της υγείας των ειδών υπό κλιματικό στρες;
- Εφαρμόζονται προσαρμοστικές στρατηγικές διαχείρισης ασθενειών, που ενσωματώνουν την παρακολούθηση, τον σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης και την προστασία του οικοσυστήματος;

Επιλογή συστημάτων υδατοκαλλιέργειας υπό συνθήκες υπερθέρμανσης του πλανήτη

Εισαγωγή

Η υδατοκαλλιέργεια, ακρογωνιαίος λίθος της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας, αντιμετωπίζει αυξανόμενες προκλήσεις από την κλιματική αλλαγή, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της θερμοκρασίας, της οξίνισης των ωκεανών, των αλλαγών στην αλατότητα και της εξάπλωσης ασθενειών. Αυτοί οι στρεσογόνοι παράγοντες απειλούν την υγεία των ειδών, τη σταθερότητα των οικοσυστημάτων και τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει καινοτόμα συστήματα υδατοκαλλιέργειας - συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακύκλωση (RAS), ολοκληρωμένη πολυτροφική υδατοκαλλιέργεια (IMTA) και υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια - ως ανθεκτικές λύσεις για τον μετριασμό των κλιματικών επιπτώσεων. Εξετάζει επίσης τον ρόλο της πολιτικής, της συμμετοχής των καταναλωτών και της έρευνας στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας του τομέα (Boyd et al., 2022).

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υδατοκαλλιέργεια

Η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει τα υδάτινα οικοσυστήματα με διάφορους τρόπους. Η άνοδος της θερμοκρασίας του νερού αυξάνει τις μεταβολικές απαιτήσεις, βλάπτει την άμυνα του ανοσοποιητικού και μειώνει την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των εκτρεφόμενων ζώων (Boyd & McNevin, 2015). Η οξίνιση των ωκεανών που προκαλείται από τα αυξημένα επίπεδα CO₂ εμποδίζει το σχηματισμό κελύφους σε ασβεστοποιητικούς οργανισμούς όπως τα δίθυρα, απειλώντας την επιβίωση και την οικονομική βιωσιμότητά τους (Cooley et al., 2009). Οι διακυμάνσεις της αλατότητας που προκαλούνται από την αλλαγή της βροχόπτωσης και το λιώσιμο των πάγων διαταράσσουν την κατανομή των ειδών, ενώ η απορροή θρεπτικών ουσιών προάγει την επιβλαβή άνθηση φυκιών (HABs) και την υποξία και υποβαθμίζει την ποιότητα του νερού (Diaz & Rosenberg, 2008). Αυτές οι αλλαγές υπογραμμίζουν την ανάγκη για προσαρμοσμένα συστήματα υδατοκαλλιέργειας.

Εξάπλωση ασθενειών σε θερμότερα νερά

Τα θερμότερα νερά επιταχύνουν τους κύκλους ζωής των παθογόνων μικροοργανισμών και αυξάνουν τη συχνότητα και τη σοβαρότητα των εστιών ασθενειών. Για παράδειγμα, το *Vibrio* spp. ευδοκimeί σε υψηλές θερμοκρασίες και προκαλεί σημαντικές απώλειες στην υδατοκαλλιέργεια (Bondad-Reantaso et al., 2005). Οι παράγοντες στρες που σχετίζονται με το κλίμα, όπως η υποξία και η οξίνιση, αποδυναμώνουν περαιτέρω το ανοσοποιητικό σύστημα του είδους και αυξάνουν την ευαισθησία σε λοιμώξεις (Holmer, 2010). Η αποτελεσματική διαχείριση της νόσου απαιτεί

προηγμένη επιτήρηση και ανθεκτικά συστήματα για τον μετριασμό αυτών των κλιμακούμενων κινδύνων.

Καινοτόμα συστήματα υδατοκαλλιέργειας

Για την αντιμετώπιση των κλιματικών προκλήσεων, τρία συστήματα χαρακτηρίζονται από την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητά τους:

- **Συστήματα Υδατοκαλλιέργειας Ανακυκλοφορίας (RAS):** Αυτά τα κλειστά συστήματα παρέχουν ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της ποιότητας του νερού, μειώνουν την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές νερού και προστατεύουν τα είδη από τη μεταβλητότητα του κλίματος (Martins et al., 2010).
- **Ολοκληρωμένη Πολυτροφική Υδατοκαλλιέργεια (IMTA):** Με την καλλιέργεια συμπληρωματικών ειδών, η IMTA βελτιώνει τον κύκλο των θρεπτικών ουσιών και τη σταθερότητα του οικοσυστήματος, μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και βελτιώνει την αποδοτικότητα των πόρων (Handisyde et al., 2017).
- **Υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια:** Λειτουργώντας σε βαθύτερα, πιο σταθερά νερά, τα υπεράκτια συστήματα ελαχιστοποιούν την έκθεση σε παράκτιους στρεσογόνους παράγοντες όπως ο ευτροφισμός και τα HAB και παρέχουν μια επεκτάσιμη λύση για βιώσιμη παραγωγή (Pereira et al., 2024).

Πολιτική και χρηματοδοτική στήριξη

Η μετάβαση σε ανθεκτικά συστήματα απαιτεί ισχυρά πλαίσια πολιτικής και οικονομικά κίνητρα. Οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί μπορούν να υποστηρίξουν τη μετάβαση μέσω επιδοτήσεων, φορολογικών ελαφρύνσεων και επιχορηγήσεων, ειδικά για τους μικροκαλλιεργητές που είναι ευάλωτοι σε κλιματικούς κραδασμούς. Οι διεθνείς συμφωνίες και οι πλατφόρμες ανταλλαγής γνώσεων μπορούν να διευκολύνουν τη μεταφορά τεχνολογίας και βέλτιστων πρακτικών και να εξασφαλίσουν ισότιμη πρόσβαση σε λύσεις ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή (Froehlich et al., 2018).

Συμμετοχή των καταναλωτών και κίνητρα της αγοράς

Η ζήτηση των καταναλωτών για βιώσιμα θαλασσινά οδηγεί σε αλλαγές στον κλάδο. Τα συστήματα πιστοποίησης και τα οικολογικά σήματα δίνουν κίνητρα στους παραγωγούς να υιοθετήσουν βιώσιμες πρακτικές, ενώ η ιχνηλασιμότητα μέσω blockchain αυξάνει τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη (Boyd et al., 2022). Οι εκπαιδευτικές εκστρατείες μπορούν να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση και να ενθαρρύνουν τη στροφή της αγοράς προς περιβαλλοντικά βιώσιμα προϊόντα, ιδίως σε περιοχές υδατοκαλλιέργειας υψηλού δυναμικού.

Έρευνα και ανάπτυξη

Οι επενδύσεις στην έρευνα είναι κρίσιμες για τη βελτίωση των ανθεκτικών συστημάτων. Οι βασικοί τομείς περιλαμβάνουν:

- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του RAS για τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Ανάπτυξη προσιτών μοντέλων IMTA για ευρύτερη εφαρμογή.
- Περαιτέρω ανάπτυξη στρατηγικών ανίχνευσης και ελέγχου παθογόνων για την καταπολέμηση της εξάπλωσης ασθενειών.
- Εφαρμογή μακροπρόθεσμης περιβαλλοντικής παρακολούθησης για την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες.

Συμπέρασμα

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί σημαντική απειλή για την υδατοκαλλιέργεια, από το θερμικό στρες και τα κρούσματα ασθενειών έως την οξίνιση και την υποβάθμιση των οικοτόπων. Τα ανθεκτικά συστήματα, όπως το RAS, το IMTA και η υπεράκτια υδατοκαλλιέργεια, προσφέρουν καινοτόμες λύσεις για την ενίσχυση της βιωσιμότητας και της παραγωγικότητας. Υποστηριζόμενα από ισχυρή πολιτική, συμμετοχή των καταναλωτών και στοχευμένη έρευνα, αυτά τα συστήματα μπορούν να διασφαλίσουν τον ρόλο της υδατοκαλλιέργειας στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, μετριάζοντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων είναι απαραίτητη για την οικοδόμηση ενός μέλλοντος ανθεκτικού στο κλίμα για τον κλάδο.

Βασικές συστάσεις και λίστα ελέγχου

Προκλήσεις:

- Η άνοδος της θερμοκρασίας του νερού και οι διακυμάνσεις της αλατότητας στρεσάρουν τα εκτρεφόμενα είδη Αυξανόμενη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων που βλάπτουν τις υποδομές
- Ρύπανση από απόβλητα και θρεπτικές ουσίες που επηρεάζουν τα οικοσυστήματα και την παραγωγικότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων
- Περιορισμένη επεκτασιμότητα και υψηλό κόστος βιώσιμων συστημάτων

Συστάσεις:

- Υιοθετήστε το RAS: Εφαρμόστε συστήματα υδατοκαλλιέργειας ανακυκλοφορίας για τον έλεγχο της ποιότητας του νερού, τη μείωση των απορριμμάτων και την ενίσχυση της βιοασφάλειας.
- Επέκταση IMTA: Εισαγωγή ολοκληρωμένης πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας για την ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ανάπτυξη υπεράκτιας γεωργίας: Ανάπτυξη υπεράκτιων συστημάτων σε βαθύτερα νερά για προσαρμογή στους στρεσογόνους παράγοντες του παράκτιου κλίματος.
- Ενίσχυση των υποδομών: Επένδυση σε ανθεκτικούς στις καταιγίδες ιχθυοκλωβούς και γεωδεξαμενές για να αντέχουν σε ακραία καιρικά φαινόμενα.
- Ενεργοποίηση διακυβέρνησης: Προώθηση υποστηρικτικών πολιτικών, οικονομικών κινήτρων και συνεργασίας με τα ενδιαφερόμενα μέρη για την υιοθέτηση του συστήματος

Λίστα ελέγχου:

- Χρησιμοποιούνται συστήματα υδατοκαλλιέργειας με ανακυκλοφορία (RAS) για τη διαχείριση της ποιότητας του νερού και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων;
- Εφαρμόζονται πρακτικές ολοκληρωμένης πολυτροφικής υδατοκαλλιέργειας (IMTA) για την ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών και τη σταθεροποίηση των οικοσυστημάτων;
- Εξετάζονται οι επιλογές υπεράκτιας υδατοκαλλιέργειας για τη μείωση της ευπάθειας σε παράγοντες που ευνοούν το στρες του παράκτιου κλίματος;
- Οι υποδομές υδατοκαλλιέργειας έχουν σχεδιαστεί ή αναβαθμιστεί ώστε να αντέχουν σε ακραίες καιρικές συνθήκες;
- Υπάρχουν μηχανισμοί πολιτικής και χρηματοδοτικής στήριξης για τη διευκόλυνση της υιοθέτησης βιώσιμων συστημάτων;

Βιβλιογραφία

- 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.
- Betsy, C. J., C, S., & Sampath Kumar, J. S. (2022). Cryopreservation and its application in aquaculture. In *Cryopreservation and Its Application in Aquaculture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99629>
- 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
- 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.
- Cooley, S. R., et al. (2009). Ocean acidification's potential to alter global seafood supply. *Oceanography*, 22(4), 172–181.
- 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>
- Dalsgaard, T., & Krause-Jensen, D. (2006) Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, 256, 302–310.
- 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>
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- Durant, J. M., et al. (2007). "Trophic Match-Mismatch and Climate Change." *Ecology*.
- Fletcher, G. L., & Rise, M. L. (Eds.). (2012). *Aquaculture biotechnology*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- 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.
- 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>
- 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.
- 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.
- Houston, R. D., et al. (2018). "Selective breeding for disease resistance in aquaculture species: challenges and progress." *Fisheries Research*.
- Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. John Wiley & Sons.
- 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.
- 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>
- Messeder, T. (2021). *Innovation opportunities in European Aquaculture*. KTN AgriFood and EIT Food. March 2021.
- 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>
- 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.
- 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>
- 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>

- 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.
- Sankaran, G. B., & Mandal, A. (2024). Genetic improvements in aquaculture. *The Trout Journal of Atatürk University*, 2(1–2), 16–25. <https://doi.org/10.62425/tjau.1570599>
- Tompkins, E. M., et al. (2017). "Effects of Warming on Fish Breeding Patterns." *Global Change Biology*.
- Woo, P. T., & Iwama, G. K. (eds.). (2019). *Climate change and non-infectious fish disorders*. CABI.
- 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.
- Yang, Z., Yu, Y., Tay, Y. X., & Yue, G. H. (2021). Genome editing and its applications in genetic improvement in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 00(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/raq.12591>
- 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>
- 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>

Βασικές συστάσεις για ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή υδατοκαλλιέργεια

Αυτή η ενότητα συνοψίζει τις βασικές συστάσεις από όλα τα κεφάλαια για να βοηθήσει τους ενδιαφερόμενους να προσαρμόσουν την υδατοκαλλιέργεια στην κλιματική αλλαγή:

Παρακολουθήστε την ποιότητα του νερού

- Παρακολουθήστε τη θερμοκρασία, το οξύγνο, την αλατότητα και τα θρεπτικά συστατικά με συστήματα σε πραγματικό χρόνο.

Μειώστε τα απόβλητα και τη ρύπανση

- Μειώστε την απορροή θρεπτικών ουσιών, διαχειριστείτε τα λύματα και αποτρέψτε τον ευτροφισμό.

Προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων

- διατήρηση των οικοτόπων (μαγκρόβια, υγρότοποι) και της βιοποικιλότητας.

Υιοθετήστε βιώσιμες τροφές

- Χρησιμοποιήστε άλευρα εντόμων, φύκια, υποπροϊόντα και λειτουργικά πρόσθετα.

Ενίσχυση της ανθεκτικότητας των ειδών

- εφαρμογή επιλεκτικής αναπαραγωγής, γονιδιωματικών εργαλείων, κρυοσυντήρησης.

Διασφάλιση ηθικής βιοτεχνολογίας

- ρύθμιση του CRISPR–Cas9, δίνοντας προτεραιότητα στην καλή διαβίωση των ζώων και τη βιοασφάλεια.

Εφαρμογή προηγμένων συστημάτων

- επέκταση συστημάτων RAS, IMTA, και υπεράκτιας υδατοκαλλιέργειας.

Δημιουργήστε ανθεκτικές υποδομές

- Ανθεκτικά σε καταιγίδες ιχθυοκλωβούς, γεωδεξαμενές και εγκαταστάσεις ανθεκτικές στις κλιματικές συνθήκες.

Πρώθηση της συνεργασίας και της υποστήριξης πολιτικής

- ενεργοποίηση οικονομικών κινήτρων, πιστοποίηση και συνεργασία με τα εμπλεκόμενα μέρη.

Βασικές Συστάσεις για Ανθεκτική στην Κλιματική Αλλαγή Υδατοκαλλιέργεια



Εικόνα 12. Οπτική επισκόπηση των βασικών συστάσεων για ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή υδατοκαλλιέργεια