



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Τι πρέπει να αλλάξει τις 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.



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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 λοιμογόνος 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 (Zhang et al., 2024).

1. Διατροφικές απαιτήσεις και αλλαγές μεταβολισμού

1.1. Επίδραση της θερμοκρασίας στο μεταβολισμό

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. Αποδοτικότητα τροφής, πεπτικότητα θρεπτικών ουσιών και χρόνος εντερικής διέλευσης των ζωοτροφών

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 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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).

1.3. 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 (Nadermann 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.

1.4. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη μικροχλωρίδα ή τη μικροχλωρίδα στα ψάρια

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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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.

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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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 άλευρα 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 (Smárasón, 2023). Η βιωσιμότητα των πόρων ζωοτροφών για 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 ιχθυαλείου και περίπου το 70-80% του ιχθυελαίου χρησιμοποιούνται στην υδατοκαλλιέργεια (FAO, 2022). Λαμβάνοντας υπόψη την αυξανόμενη



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

ζήτηση για FMFO που προκύπτει από τη συνεχώς αναπτυσσόμενη βιομηχανία υδατοκαλλιέργειας, είναι επιτακτική ανάγκη να βρεθούν κατάλληλα υποκατάστατα για FMFO για βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια.

2.1.1. Ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια (FMFO) ως κύρια συστατικά ζωοτροφών για 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 ιχθυοαποθέματα 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).

2.1.2. 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 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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.

2.1.3. Υποπροϊόντα ως ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας

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 συμπίληψη 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).



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος 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).

2.1.4. Μονοκύτταροι οργανισμοί / πρωτεΐνες (SCO/SCP)

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 (φυτοπλαγκτόν)

Στην υδατοκαλλιέργεια, τα μικροφύκη διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο λόγω τόσο των επιπτώσεών τους στο υδάτινο περιβάλλον όσο και του ρόλου τους ως πηγής θρεπτικών συστατικών (Wu and 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

είναι σε επίπεδα 50-70% (Nagappan et al., 2021; Ma και 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.

Με την έναρξη της παραγωγής μικροφυκών σε βιομηχανική κλίμακα, η χρήση τους στις ζωοτροφές υδατοκαλλιέργειας έχει επιταχυνθεί. Μεταξύ των θαλάσσιων μικροφυκών, *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis sp.* και *Schizochytrium sp.* θεωρούνται πολλά υποσχόμενες στις ζωοτροφές 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 ζωοτροφών υδατοκαλλιέργειας άρχισαν να παράγουν έλαιο πλούσιο σε DHA από *Schizochytrium sp.* για ζωοτροφές σολομού (Tocher et al., 2020). Το σημερινό εξαιρετικά υψηλό κόστος παραγωγής μικροφυκών εμποδίζει την ευρεία χρήση τους στην υδατοκαλλιέργεια σήμερα (Nagappan et al., 2021).

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%, 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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 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 ζωτροφές υδατοκαλλιέργειας, αντιμετωπίζουν δυσκολίες όπως το κόστος παραγωγής και η παγκόσμια υιοθέτησή τους ως ιχθυοτροφές (Sarker et al., 2023).

2.1.5. 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 ιριδιζουσας πέστροφας (Warwas, 2023). Δίαιτες που δημιουργήθηκαν σε διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια εντόμων όπως προνύμφες, κουτάλια και ενήλικες έχουν δοκιμαστεί σε μελέτες. Μεταξύ αυτών των ειδών, έχει διαπιστωθεί ότι η μαύρη μύγα στρατιώτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γεύμα εντόμων, ειδικά για την



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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).

2.1.6. Χαμηλά τροφικά θαλάσσια ζώα

Τα θαλάσσια ζώα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος λόγω της πιθανής χρήσης τους ως υποκατάστατα FMFO περιλαμβάνουν *μύδια*, *αμφίποδα* και *πολυχαίτες*. 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 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 πολυχαίτες (δηλαδή οι σκώληκες annelid) είναι παγκοσμίως κατανομημένοι τροφοδότες πυθμένα και βιοθεραπευτές που καταναλώνουν φύκια και αποσυντιθέμενη ή σπαταλημένη οργανική ύλη και τα μετατρέπουν σε πολύτιμα θρεπτικά συστατικά. Οι Polychaetes είναι σημαντική λεία για εμπορικά σημαντικά ψάρια και καρκινοειδή (Khan et al., 2018). Παραδοσιακά, χρησιμοποιούνται ως ζωντανό δόλωμα αλιείας ή ως πηγή τροφής υψηλής



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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).

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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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.

2.2.2. 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 (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 (Smárason, 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).



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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).

3.1.1. 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 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.

3.1.2. 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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).

3.1.3. Πολυκριτηριακό 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, 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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).

3.1.4. 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

διδεισδύουν 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*, *Sacchromyces 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 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,



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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 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 (NaHCO₃), το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) 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.



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

- *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 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

στρεσογόνους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της οξίνισης. Οι βιταμίνες Β, όπως η Β1 (θειαμίνη), η Β2 (ριβοφλαβίνη) και η Β12 (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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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.

5.2. 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 γλυκίνη, β-κονγλυκίνη 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).



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

5.3. 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). 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

5.3.1. 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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):

- 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 ανοχή σε παθογόνους παράγοντες.
- Περιβαλλοντικές παράμετροι, συμπεριλαμβανομένων των λιμνών και/ή των δεξαμενών (ποιότητα νερού, ποικιλότητα υδρόβιων μικροβίων).



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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 συμβιοτικών 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).



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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, συμπράγοντες και άλλα βασικά στοιχεία, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν πολυσυστημικές και πολυοργανικές αποκρίσεις (Herrera et al., 2019).

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 ανοσορυθμιστικές 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 δίαιτας AM και γλυκόριζας βελτίωσε σημαντικά την απόδοση ανάπτυξης, τα αντιοξειδωτικά και τα προφίλ ανοσολογικής απόκρισης - τα οποία είναι ευεργετικά ως φυσικά ανακουφιστικά στρες.

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 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



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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 αποτελεσματικότητά.

Αναφορές

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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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>

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>

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>

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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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 phycology 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., Küçükyilmaz, 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/>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Cheung, W.W:L., Maire, E., Oyinlola, MA., 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>

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>

Ebenezzar, 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,



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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, 2020; 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>

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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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

Ghafarifarsani, 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: Pandey A., Larroche C., Soccol C.R., editors. *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.anifeedsci.2021.114893>

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



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

metabolism responses of the antarctic fish *notothenia rossii*. *Marine environmental research*, 150, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104779>

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>

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>

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>

Hanachi, P., Karbalaei, 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>

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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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>

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., & Kroghdahl, 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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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>

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>

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. 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>

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>

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



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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>

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? <https://www.eitfood.eu/blog/can-sustainable-aquaculture-help-to-achieve-the-un-sdgs> 17 August, 2021. Officials.

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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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>

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., 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>

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>

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>



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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., & Ikhwanuddin, 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>

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

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



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCá]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

xylooligosaccharide and *Lactobacillus plantarum* CR1T5. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 12, 400-411. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100953>

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>



Funded by
the European Union



Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

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>

Λεξιλόγιο

Υδατοκαλλιέργεια: Αναπαραγωγή, εκτροφή και συγκομιδή ψαριών, οστρακοειδών και υδρόβιων φυτών. Βασικά, καλλιεργεί στο νερό.

DFMs: Direct Feed Microbials, όπως προβιοτικά και ζύμες

DHA: Εικοσιδυαεξαενοϊκό οξύ

EPA: Εικοσιπεντανοϊκό οξύ

GHGs: Αέρια θερμοκηπίου

FER: Αναλογία αποδοτικότητας τροφοδοσίας (κέρδος/τροφοδοσία)

FCR: Αναλογία μετατροπής τροφοδοσίας (τροφοδοσία/κέρδος)

Δίαιτα MO: Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση των διατροφικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών πτυχών της διαίτας

NE: Καθαρή ενέργεια

Net-Zero: Η ισορροπία μεταξύ της ποσότητας του αερίου του θερμοκηπίου (GHG) που παράγεται και της ποσότητας που αφαιρείται από την ατμόσφαιρα.

AKZ: Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής



Funded by
the European Union



**Ο ψηφιακός μπλε φορέας για ένα μέλλον μετά τον άνθρακα - Καινοτομίες προγράμματος
σπουδών στην υδατοκαλλιέργεια [DiBluCa]"**

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247

Πρεβιοτικό συμπλήρωμα: Τρόφιμα (συνήθως τρόφιμα υψηλής περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες) που δρουν ως τρόφιμα για τη ζωική μικροχλωρίδα

Προβιοτικό συμπλήρωμα: Τρόφιμα ή συμπληρώματα που περιέχουν ζωντανούς μικροοργανισμούς.

PUFA: Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα

SCO: Μονοκύτταροι Οργανισμοί