

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αειφόρες ιχθυοτροφές στην υδατοκαλλιέργεια»

Σταυρούλα Κοκορόσκου

ΒΟΛΟΣ 2022

UNIVERSITY OF THESSALY
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC ENVIRONMENT AND
DEPARTMENT OF SPECIAL EDUCATION



JOINT POSTGRADUATE PROGRAMME
«EDUCATION FOR SUSTAINABILITY AND THE ENVIRONMENT»

JOINT POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

«Sustainable aquafeeds in aquaculture»

Stavroula Kokoroskou

VOLOS 2022

© ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, 2022 (έτος ολοκλήρωσης της Μ.Δ.Ε.) Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.), η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών: Εκπαίδευση για την Αειφορία και το Περιβάλλον και τα λοιπά αποτελέσματα αυτής αποτελούν συνιδιοκτησία του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα και το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, όπου εκπονήθηκε η Μ.Δ.Ε. καθώς και τον Επιβλέποντα Καθηγητή και την Επιτροπή Αξιολόγησης.

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπων*.

Στεριανή Ματσιώρη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

Σοφοκλής Δρίτσας, Ειδικό Διδακτικό Προσωπικό, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

Στην οικογένεια μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Ιωάννη Καραπαναγιωτίδη για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή της έρευνας όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κα Στεριανή Ματσιώρη και κ. Σοφοκλή Δρίτσα, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγηση τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και στον σύντροφό μου για την στήριξη τους καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
2. ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	12
2.1. Η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα	12
2.2. Η υδατοκαλλιέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση	15
2.3. Η υδατοκαλλιέργεια σε διεθνές επίπεδο	17
2.4. Βιώσιμη Υδατοκαλλιέργεια.....	18
2.5. Διατροφή στην υδατοκαλλιέργεια.....	21
2.5.1. Ιχθυάλευρα	23
2.5.2. Ιχθυέλαια	24
3. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΕΙΦΟΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ	26
3.1. ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΠΡΩΤΕΪΝΗ	26
3.1.1. Υποπροϊόντα πουλερικών	26
3.1.2. Κρεατάλευρα και οστεάλευρα.....	28
3.1.3. Υποπροϊόντα φιλετοποίησης ψαριών	30
3.1.4. Αιματάλευρα	31
3.1.5. Εντομάλευρα	33
3.1.6. Άλευρό από krill (Euphausia superba)	36
3.2. ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΠΡΩΤΕΪΝΗ	37
3.2.1. Μικροφύκη	39
3.3. ΠΗΓΗ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΑΠΟ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ.....	41
4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΕΙΦΟΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΙΧΘΕΛΑΙΟΥ.....	44
4.1. ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΕΛΑΙΑ	44
4.1.1. Πηγή ελαίου από έντομα	45
4.2. ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΕΛΑΙΑ	45
4.2.1. Πηγή ελαίου από μικροφύκη.....	47
5. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	49
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79
ABSTRACT	80

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υδατοκαλλιέργεια είναι ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος κλάδος ζωικής παραγωγής στον κόσμο, συνεισφέροντας σχεδόν στο 50% της παγκόσμιας κατανάλωσης ψαριών. Επί του παρόντος, τα εκτρεφόμενα είδη διατρέφονται με ιχθυοτροφές βασισμένες στο ιχθυάλευρο και το ιχθυέλαιο που προέρχεται από την αλιεία άγριων ψαριών. Ωστόσο, η αυξημένη χρήση άγριων ψαριών αποτελεί μια μη βιώσιμη πρακτική. Επομένως είναι αναγκαία η παραγωγή ιχθυοτροφών βασισμένη σε εναλλακτικές πηγες πρωτεΐνης και λιπιδίων, ώστε να καλυφθούν οι διατροφικές απαιτήσεις των εκτρεφόμενων ψαριών. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής διεξήχθη μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των κυριότερων πηγών πρωτεΐνης και λιπιδίων για αντικατάσταση του ιχθυάλευρου και του ιχθυελαίου από τις ιχθυοτροφές.

Λέξεις κλειδιά: υδατοκαλλιέργεια, ιχθυοτροφή, αειφόρα, ιχθυάλευρο, ιχθυέλαιο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχώς αυξάνετε και σύμφωνα με τις προβλέψεις το 2050 θα φτάσει στα 9,5 δισεκατομμύρια (Hunter et al. 2015). Αυτή η συνεχόμενη ανάπτυξη συνδέετε με εκτιμωμένη αύξηση 40-75 % στην συνολική ζήτηση πρωτεϊνών (NRC 2015). Για να αντιμετωπιστεί αυτή η ζήτηση, εκτιμάται ότι η παραγωγή σε ζωικά προϊόντα θα αυξηθεί σε 250-300 εκατομμύρια m.t. Ο στόχος της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας θα πρέπει να αναπροσαρμοστεί εξαιτίας της συνεχόμενης αύξησης του πληθυσμού και να εστιάζει σε πιο βιώσιμες πρακτικές ώστε να εξασφαλιστεί περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική ευημερία για τις τωρινές και τις μελλοντικές γενιές (NRC 2010).

Ένας από τους πλέον αναπτυσσόμενους κλάδους προσφοράς ζωικής πρωτεΐνης αποτελεί η υδατοκαλλιέργεια, καθώς προσφέρει τρόφιμα υψηλής ποιότητας πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Η υδατοκαλλιέργεια υπήρξε ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος παραγωγικός τομέας τις τελευταίες δεκαετίες (FAO 2018). Υπολογίζεται ότι το 50% των αναγκών μας σε ιχθυηρά καλύπτονται από την υδατοκαλλιέργεια, ενώ εκτιμάται ότι το ποσοστό αυτό θα αυξηθεί σε 60-70% μέχρι το 2030 (Subsinghe et. al 2009).

Η εντατική μορφή υδατοκαλλιέργειας, η οποία βασίζεται σε εκτρεφόμενα ψάρια με σκευάσματα ζωοτροφών, αποτελεί την κυρίαρχη μορφή υδατοκαλλιέργειας και εκτιμάται ότι θα αυξηθεί σε σχέση με την παγκόσμια παραγωγή στο μέλλον (Hua et. al 2019). Μέχρι το 2025, υπολογίζεται ότι θα χρειαστούν 73,15 εκατομμύρια τόνοι ιχθυοτροφής για να καλυφθούν τα εκτιμώμενα επίπεδα παραγωγής των εκτρεφόμενων ειδών (Boyd et. al 2020).

Οι κύριες πηγές παραγωγής ιχθυοτροφών ιστορικά βασίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις ιχθυάλευρου (πηγή πρωτεΐνης) και ιχθυελαίου (πηγή λιπιδίων) που προέρχονται από τη σύλληψη μικρών πελαγικών ψαριών. Δυστυχώς, η ταχεία άνοδος της υδατοκαλλιέργειας έχει θέσει σε σημαντικά ποσοστά πίεσης τα άγρια αποθέματα των μικρών πελαγικών ψαριών (Froehlich et. al 2018). Αυτό εγείρει ανησυχίες σχετικά με την διάσπαση της υδάτινης τροφικής αλυσίδας και τη βιωσιμότητα των προϊόντων που προέρχονται από την υδατοκαλλιέργεια, καθώς το 10% των ψαριών που αλιεύονται χρησιμοποιούνται για την διατροφή κυρίως των σαρκοφάγων εκτρεφόμενων ειδών (FAO 2018).

Ως εκ τούτου, για να καλυφθεί η ζήτηση σε ιχθυοτροφές εξερευνώνται εναλλακτικές με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και οικονομικά πιο αποδοτικές πηγές πρωτεϊνών και λιπιδίων. Οι περισσότερες έρευνες εστιάζουν σε αντικατάσταση ιχθυαλεύρου και ιχθυελαίου από χερσαία φυτά (Shukla et al. 2019). Οι νομοθετικοί περιορισμοί περιορίζουν τη χρήση κάποιων εναλλακτικών πηγών ζωικών πρωτεϊνών σε ιχθυοτροφές στην Ευρώπη. Η χρήση χερσαίας ζωικής πρωτεΐνης σε όλα τα εκτρεφόμενα ζώα απαγορεύτηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) το 2001, για την εξάλειψη ασθενειών. Ωστόσο από το 2013 επανεισήχθησαν ορθά μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες (π.χ. κρεατάλευρα χοίρου, υποπροϊόντα πουλερικών και φτεράλευρα) σε ιχθυοτροφές (European Commission, 2013). Λόγω των απαγορεύσεων η έρευνα για τη χρήση χερσαίας ζωικής πρωτεΐνης παρουσιάζει μια στατικότητα.

Τα τελευταία χρόνια, τα έντομα θεωρούνται ως μια νέα και ανανεώσιμη πηγή πρωτεΐνης για τις ζωοτροφές. Τα έντομα απαιτούν λιγότερους φυσικούς πόρους και παράγουν ζωική βιομάζα πλούσια σε πρωτεΐνη κατάλληλη για χρήση σε ιχθυοτροφές (Barroso et al., 2014). Τον Ιούλιο του 2017 η (ΕΕ) επέτρεψε τη χρήση εντομών ως συστατικό ιχθυοτροφών (European Commission, 2017). Οι έρευνες παρουσίασαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα στην αντικατάσταση ιχθυαλεύρου με εντομάλευρο. Άλλα συστατικά όπως τα μικρο- και μακροφυκη έχουν αρχίσει να εμφανίζονται ως πολλά υποσχόμενες εναλλακτικές πηγές.

Οι διάφορες εναλλακτικές πρώτες ύλες ιχθυοτροφών πρέπει να αξιολογούνται ως προς το κόστος και τα οφέλη τους τόσο για τον ίδιο τον οργανισμό, όσο και για τον καταναλωτή αλλά και για το περιβάλλον. Η παραγωγή τους θα πρέπει να υποστηρίζει τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης, η οποία βασίζεται σε κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και οικονομικούς πυλώνες.

Ως εκ τούτου στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θα διεξαχθεί μια βιβλιογραφική επισκόπηση με κύριο σκοπό να εντοπίσει εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών και λιπιδίων προς αντικατάσταση των ιχθυάλευρων και των ιχθυελαίων. Η έρευνα αυτή επιθυμεί να δώσει απαντήσεις στα εξής ερωτήματα:

1) κατά ποσό οι εναλλακτικές πηγές ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων μπορούν να προσφέρουν εξίσου στην παραγωγική απόδοση των εκτρεφόμενων ιχθύων αλλά και στα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά

2) και εάν η παραπάνω πηγές θα αποτελέσουν βιώσιμες πρακτικές και θα συμβάλλουν θετικά στην αειφορική ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας και στην ευρύτερη αειφορική διαχείριση του περιβάλλοντος.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας θα παρουσιαστεί η υφιστάμενη κατάσταση των υδατοκαλλιεργειών τόσο στη χώρα μας όσο και γενικότερα, καθώς και η διατροφή των ιχθύων, η οποία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του τομέα των υδατοκαλλιεργειών. Στο δεύτερο κεφάλαιο επιχειρείται να παρουσιαστούν οι σημαντικότερες βιβλιογραφικές πηγές για κάθε μια εναλλακτική πηγή ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων. Στο τέλος θα παρουσιαστούν τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία.

2. ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), υδατοκαλλιέργεια είναι: “η καλλιέργεια υδρόβιων οργανισμών σε ηπειρωτικές ή παράκτιες περιοχές η οποία περιλαμβάνει παρεμβάσεις στη διαδικασία της αύξησης και της εκκόλαψης προκειμένου να βελτιωθεί η παραγωγή και η ατομική ή συνεταιριστική ιδιοκτησία του καλλιεργούμενου αποθέματος”. Πρωτεύων στόχος των υδατοκαλλιεργειών αποτελεί η άμεση παραγωγή αλιευμάτων ευρείας κατανάλωσης. Ένας εξίσου σημαντικός στόχος είναι η παραγωγή υδρόβιων οργανισμών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται είτε ως τροφή για τα καλλιεργούμενα είδη είτε στην παραγωγή διατροφικών και φαρμακευτικών προϊόντων ή προϊόντων βιοτεχνολογίας. Τέλος, αρκετά συχνά η υδατοκαλλιέργεια στοχεύει στην παραγωγή καλλωπιστικών ειδών και στην παραγωγή γόνου (αβγά, προνύμφες, νεαρά άτομα) με σκοπό τον εμπλουτισμό των φυσικών αποθεμάτων.

Η πρόοδος της τεχνολογία και η αυξανόμενη ζήτηση σε αλιευτικά προϊόντα έχουν οδηγήσει σε υπερεκμετάλλευση πολλών αποθεμάτων άγριων ψαριών (Britten et al. 2021), γεγονός που παρουσιάζει μια στασιμότητα στη συλλεκτική αλιεία, οδηγώντας τον κλάδο των υδατοκαλλιεργειών να είναι ο κυριότερος προμηθευτής ιχθυηρών για τον άνθρωπο με παγκόσμια παράγωγή τους 122.58 εκατομμύρια τόνους (ΕΛΟΠΥ 2022). Επιπλέον, η υδατοκαλλιέργεια είναι ο πιο βιώσιμος και αποτελεσματικός τρόπος παράγωγης υδρόβιων προϊόντων (Maulu et al. 2021).

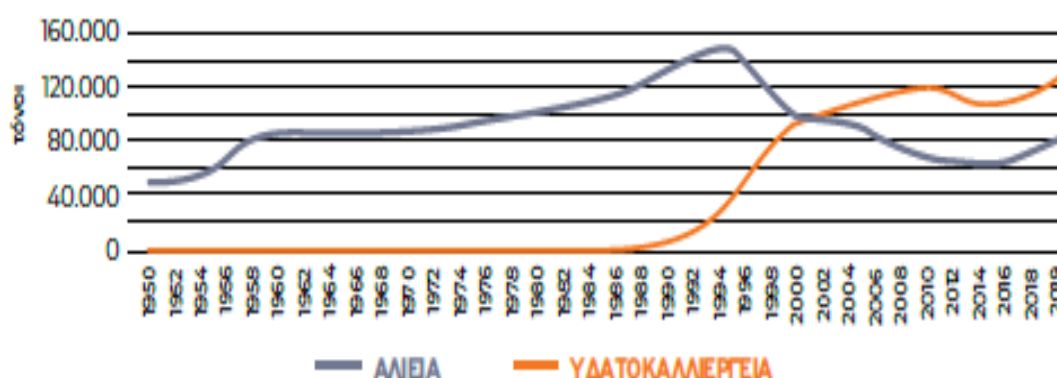
Η επισιτιστική ασφάλεια σε ένα πληθυσμό που συνεχώς αυξάνεται παραμένει για τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Η πρόκληση αυτή εντείνεται εάν συνυπολογίσουμε τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της εξάντλησης των φυσικών πόρων. Τα τελευταία 50 χρόνια η μέση ετήσια αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής ψαριών (3,2%) ξεπέρασε την αντίστοιχη αύξηση του πληθυσμού (1,6%) αλλά και εκείνη του κρέατος από όλα τα χερσαία ζώα μαζί (2,8%). Μέσα σε αυτά τα πλαίσια διαφαίνεται ότι η υδατοκαλλιέργεια αποτελεί μια σημαντική λύση για την εξασφάλιση της επάρκειας τροφίμων σε μεγάλες πληθυσμιακές ομάδες κυρίως των αναπτυσσόμενων χωρών (ΕΛΟΠΥ 2021).

2.1. Η υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα

Αν και η εκτροφή υδρόβιων οργανισμών είναι γνωστή στην Ελλάδα αιώνες τώρα, η υδατοκαλλιέργεια γνώρισε ταχύτατη ανάπτυξη στις αρχές τις δεκαετίας του

1980. Η συνεχομένη ζήτηση σε προϊόντα αλιείας σε συνδυασμό με το κατάλληλο κλίμα, την ποιότητα του νερού και την πλούσια ακτογραμμή της χώρας μας συνέβαλλαν θετικά στην ανάπτυξη του κλάδου, με αποτέλεσμα σήμερα να αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς κλάδους παραγωγής στα πλαίσια του πρωτογενή τομέα.

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία η εγχωρία παραγωγή αλιευτικών προϊόντων το 1980 που προέρχονταν από την υδατοκαλλιέργεια ήταν μόλις 2% (2.000 τόνοι) συγκριτικά με την παραγωγή από αλιεία, η οποία ανέρχονταν στο 98% (105.651 τόνοι). Ωστόσο από το 2003 η αναλογία αυτή άρχισε να αλλάζει και πλέον στις μέρες μας τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειάς να υπερβαίνουν κατά πολύ αυτά που προέρχονται από την αλιεία (Σχήμα 2.1.1.). Τα πρόσφατα στοιχεία του (FAO 2020) δείχνουν ότι στη χώρα μας η συνολική παραγωγή σε προϊόντα αλιείας προήλθε κατά 61% από την υδατοκαλλιέργεια και κατά 39% από τη συλλεκτική αλιεία (Σχήμα 2.1.2.). Οι υδατοκαλλιέργειες στη χώρα μας παρουσιάζουν σημαντικό εξαγωγικό χαρακτήρα.

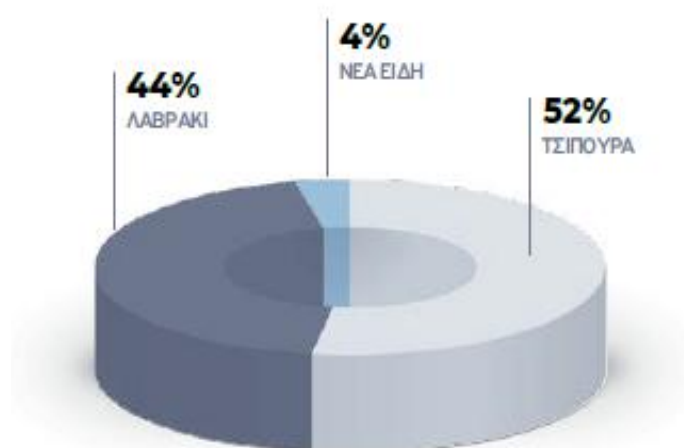


Σχήμα 2.1.1.: Παραγωγή αλιευτικών προϊόντων στην Ελλάδα 1950-2019 (FAO 2020)



Σχήμα 2.1.2.: Παραγωγή αλιευτικών προϊόντων (FAO 2020)

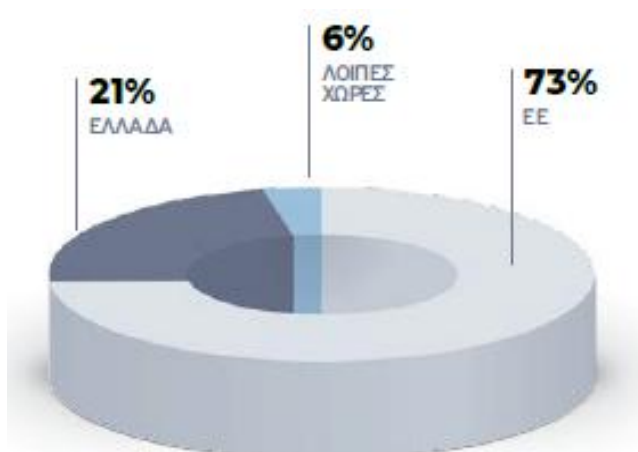
Η θαλάσσια ιχθυοκαλλιέργεια μεσογειακών ιχθύων αποτελεί εδώ και 40 χρονιά την πιο σημαντική δραστηριότητα στην Ελλάδα. Το 2020 αντιπροσώπευσε το 83,8% του όγκου και το 97% της αξίας της συνολικής παραγωγής υδατοκαλλιέργειας της χώρας (ΕΛΟΠΥ 2021). Τα κύρια είδη που εκτρέφονται είναι η τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) αποτελώντας περίπου το 96% των πωλήσεων, ενώ σε πολύ μικρότερες ποσότητες, περίπου 4%, εκτρέφονται όλα τα υπόλοιπα μεσογειακά είδη, όπως το λυθρίνι (*Pagellus erythrinus*) ο κρανιός (*Argyrosomus Regius*), η συναγρίδα (*Dentex dentex*) κ.α. (Σχήμα 2.1.3.). Η Ελλάδα κατέχει την 1^η θέση παραγωγής τσιπούρας και λαβρακιού στην Ε.Ε. καθώς αντιπροσωπεύει το 61% (117.000 τόνους) της παραγωγής τους (ΕΛΟΠΥ 2021).



Σχήμα 2.1.3.: Βασικά είδη εκτροφής στην Ελλάδα (ΕΛΟΠΥ 2021)

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής από την ελληνική υδατοκαλλιέργεια διατίθεται σε αγορές εκτός Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα το 2020 το 21% των πωλήσεων διατέθηκε στη χώρα μας (25.160 τόνοι)

και το υπόλοιπο 79% (91.840 τόνοι) στις υπόλοιπες αγορές, με το 73% να διανέμεται στην Ε.Ε. και το 6% σε όλες τις λοιπές χώρες (Σχήμα 2.1.4.). Οι κυριότερες αγορές ωστόσο είναι στην Ε.Ε. όπου παραδοσιακά οι χώρες Ιταλία, Ισπανία και Γαλλία απορροφούν σχεδόν το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής παραγωγής (ΕΛΣΤΑΤ 2020).

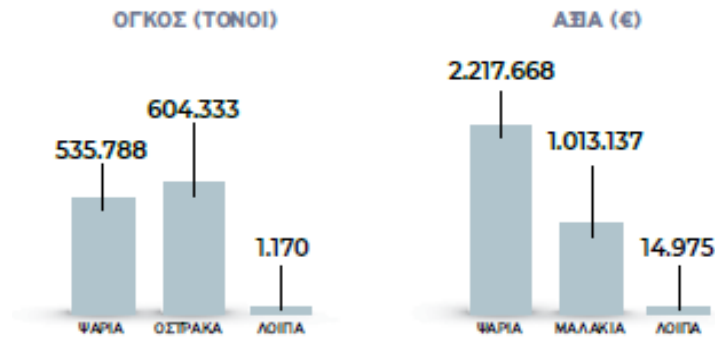


Σχήμα 2.1.4.: Πωλήσεις τσιπούρας & λαβρακιού (ΕΛΣΤΑΤ 2020)

2.2. Η υδατοκαλλιέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση

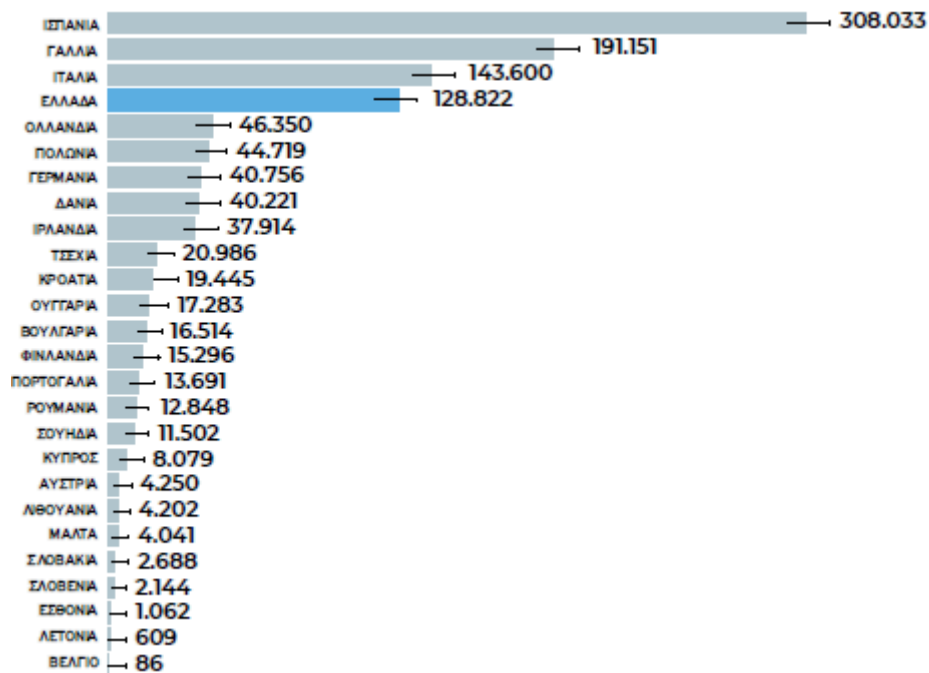
Οι δυο κύριες κατηγορίες εκτρεφόμενων ειδών στην Ε.Ε. είναι τα ψάρια και τα όστρακα, ενώ σε πολύ μικρότερες ποσότητες παράγονται καρκινοειδή και υδρόβια φυτά, αποτελώντας λιγότερο από το 1% της ευρωπαϊκής παραγωγής (FAO 2020). Αξίζει να σημειωθεί πως η ιχθυοκαλλιέργεια άρχισε να αναπτύσσεται στην Ε.Ε. από το 1980 και μετά ενώ μέχρι τότε η παραγωγή αποτελούνταν κυρίως από τα όστρακα.

Η εξάπλωση της πανδημίας του Covid-19 στις αρχές του 2020 σε όλο τον πλανήτη έφερε αρνητικά αποτελέσματα στην οικονομική και παραγωγική δραστηριότητα. Ο κλάδος της υδατοκαλλιέργειας δεν αποτέλεσε εξαίρεση στην Ε.Ε. Σύμφωνα με τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία του FAO, ο συνολικός όγκος παραγωγής στην Ε.Ε. ήταν 1.141.290 τόνοι αξίας 3.245.779 ευρώ παρουσιάζοντας πτώση -2,7% ως προς τον όγκο και -1,6% ως προς την αξία σε σχέση με το προηγούμενο έτος (1.173.958 τόνοι, 3.299.886 ευρώ) (FAO 2020). Τα κυριότερα είδη εκτροφής ως προς τον όγκο όσο και ως προς την αξία τους είναι, τα ψάρια και τα μύδια, ενώ σε πολύ μικρότερες ποσότητες παράγονται υδρόβια φυτά (φύκια), ασπόνδυλα, καρκινοειδή, αμφίβια κ.α. (Σχήμα 2.2.1.) (ΕΛΟΠΥ 2021).

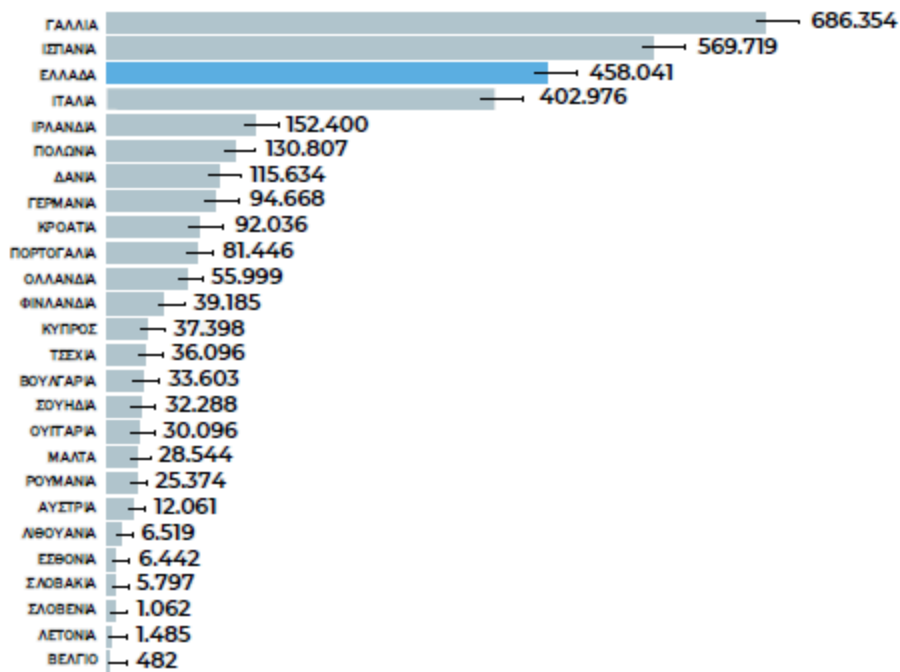


Σχήμα 2.2.1.: Παραγωγή υδατοκαλλιέργειας στην Ε.Ε. (FAO 2020)

Αναλυτικότερα σχετικά με τον όγκο παραγωγής τα κυριότερα είδη στην Ε.Ε. είναι τα μύδια (*Mytilidae spp.*) με 462.993 τόνους και η ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) με 179.362 τόνους. Η τσιπούρα και το λαβράκι κατατάσσονται στην 4^η και 5^η θέση με 93.639 και 84.430 τόνους αντίστοιχα. Ως προς την αξία τους κατά την πρώτη πώληση, στην κορυφή βρίσκεται η ιριδίζουσα πέστροφα με 562,21 εκατ. ευρώ, ακολουθούν τα μύδια 492,1 εκατ. ευρώ, η τσιπούρα με 434,22 εκατ. ευρώ και το λαβράκι με 431,75 εκατ. ευρώ. Η χώρα μας κατατάσσεται στην 3^η θέση ως προς την αξία και στην 4^η ως προς το όγκο παραγωγής υδατοκαλλιέργειας στην Ε.Ε. (Σχήμα 2.2.2.) & (Σχήμα 2.2.3.).



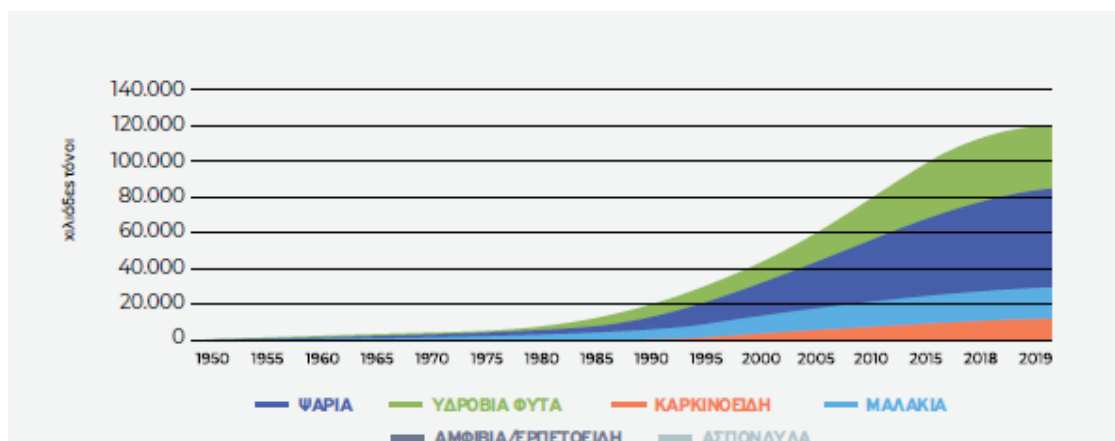
Σχήμα 2.2.2.: Παραγωγή υδατοκαλλιέργειας στην Ε.Ε. σε τόνους (ΕΛΟΠΥ 2021)



Σχήμα 2.2.3.: Παραγωγή υδατοκαλλιέργειας στην Ε.Ε. σε χιλιάδες ευρώ (ΕΛΟΠΥ 2021)

2.3. Η υδατοκαλλιέργεια σε διεθνές επίπεδο

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια έντονη αύξηση στην παραγωγή αλιευτικών προϊόντων. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ψαριών αυξήθηκε από 9 κιλά το 1961 σε 20,9 κιλά το 2019 (FAO 2020). Μόνο τα τελευταία 20 χρόνια η συνολική αύξηση της κατανάλωσης ιχθυηρών υπερδιπλασιάστηκε, ενώ μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η υδατοκαλλιέργεια είναι η κάλυψη των διατροφικών αναγκών ενός συνεχόμενα αυξανόμενου πληθυσμού (Σχήμα 2.3.1.).



Σχήμα 2.3.1.: Εξέλιξη παγκόσμιας παραγωγής υδατοκαλλιέργειας (FAO 2020)

Η υδατοκαλλιέργεια κατέχει το 46% της συνολικής παραγωγής και το 52% της παραγωγής ιχθύων για ανθρώπινη κατανάλωση. Σε διεθνές επίπεδο, η πρώτη χώρα σε παραγωγή αλιευτικών προϊόντων είναι η Κίνα με ποσοστό 35% της συνολικής παραγωγής για το 2018. Με εξαίρεση την Κίνα η Ασία είχε παραγωγή 34% το ίδιο έτος, ακολουθεί η Αμερική με 14%, η Ευρώπη με 10%, η Αφρική με 7% και τελευταία η Ωκεανία με συνολική παραγωγή 1% (FAO 2020).

2.4. Βιώσιμη Υδατοκαλλιέργεια

Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) (Εικόνα 2.4.1.) αποτελούν μια συλλογή 17 παγκοσμίων προτεραιοτήτων που ορίστηκαν από το Αναπτυξιακό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) το 2015. Μεταξύ των στόχων περιλαμβάνεται ο τερματισμός στην πείνα και η επίτευξη επισιτιστικής ασφάλειας (ΣΒΑ 2), η προώθηση βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης χωρίς περιορισμούς (ΣΒΑ 8) και η βιώσιμη χρήση των θαλασσών και των υδατικών πόρων (ΣΒΑ 14). Οι παραπάνω στόχοι αποτελούν ενδεικτικά παραδείγματα, όπου ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών θα μπορούσε να συμβάλει θετικά στην επιτυχία τους.



Εικόνα 2.4.1.: Οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (www.unric.org)

Στις μέρες μας δεν είναι λίγες οι συζητήσεις για το πως η ανάπτυξη των υδατοκαλλιεργειών σε πιο βιώσιμα πρότυπα θα μπορούσε να αποτελέσει ένα σπουδαίο εργαλείο στην ενισχύσει της επίτευξης των ΣΒΑ (Stead 2018). Ειδικότερα

η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για πρωτεΐνη, εντός των περιβαλλοντικών ορίων, είναι μια από τις παγκόσμιες προκλήσεις για το παγκόσμιο οργανισμό τροφίμων (FAO 2018). Η υδατοκαλλιέργεια είναι μια πιθανή λύση που δεν έχει ακόμη αξιοποίηση τις δυνατότητες της για τη διατροφή ενός πληθυσμού που συνεχώς αυξάνετε. Παραδοσιακά η εκτροφή ψαριών θεωρούνταν από πολλούς κυβερνητικούς φορείς, ως μια συμπληρωματική πηγή πρωτεΐνης στην παραγωγή των χερσαίων ζωικών οργανισμών ή των αλιευμάτων που προέρχονται από τη θαλασσιά αλιεία (Kaiser et al. 2002). Ωστόσο αυτή η άποψη αρχίζει να αλλάζει καθώς η υδατοκαλλιέργεια θεωρείται πλέον μια περιβαλλοντική υπεύθυνη μορφή εκτροφής και μια στρατηγική λύση στα πλαίσια του περιορισμού της επισιτιστικής ανασφάλειας.

Η υδατοκαλλιέργεια με τη χρήση βιώσιμων πόρων και της ορθολογικής διαχείρισης θα μπορέσει να προσφέρει περισσότερα στο υδάτινο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν οι ανθρώπινες κοινότητες και κυρίως αυτές που εξαρτώνται άμεσα από την αλιεία θα έχουν μια εναλλακτική ή συμπληρωματική πηγή επιθυμητών εκτρεφόμενων ψαριών καλής ποιότητας, προστατεύοντας έτσι το ήδη εύάλωτο φυσικό αλιευτικό απόθεμα (Ateweberhan et al. 2018). Παράλληλα τα υδάτινα οικοσυστήματα μπορούν να επωφεληθούν από την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών στη διαχείριση των υδατοκαλλιεργειών και να ενισχύσουν τη φυσική βιοποικιλότητα προσφέροντας ανανέωση του αποθέματος σε υδάτινες περιοχές όπου η υπεραλίευση και η θαλάσσια ρύπανση έχουν προκαλέσει σημαντική οικολογική καταστροφή.

Η Ε.Ε. λαμβάνοντας υπόψη τη σπουδαιότητα της βιώσιμης υδατοκαλλιέργειας δημοσίευσε το 2020 δυο νέες πολιτικές που αναμένεται να θέσουν τις προτεραιότητες και τις κατευθυντήριες γραμμές για μια πιο αειφόρο ανάπτυξη στον τομέα των υδατοκαλλιεργειών. Οι στρατηγικές αυτές περιλαμβάνουν την Ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία (The Green Deal), στα πλαίσια της οποίας η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεσμεύεται να αντιμετωπίσει την κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της που συσχετίζονται με το περιβάλλον και τη στρατηγική από το αγρόκτημα στο τραπέζι (Farm to Fork strategy) η οποία στοχεύει σε πιο βιώσιμα συστήματα παραγωγής τροφίμων (Εικόνα 2.4.2.), (ΕΛΟΠΥ 2021).



Εικόνα 2.4.2.: Στρατηγική από το αγρόκτημα στο τραπέζι (Farm to Fork strategy) (ΕΛΟΠΥ 2021)

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που εξέδωσε το 2021 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι υδατοκαλλιέργειες στην ΕΕ καλούνται να μεταβούν σε πιο βιώσιμη παραγωγή τροφίμων αλλά και να προωθήσουν την ανάπτυξη της βιοοικονομίας και τις κυκλικής οικονομίας (μέσω της χρήσης ανανεώσιμων υδρόβιων πόρων). Επιπλέον θα πρέπει να συνεισφέρει στη προστασία της βιοποικιλότητας, στην καταπολέμηση της ρύπανσης και στην καλή διαβίωση των ζώων, με απώτερο σκοπό να προσφέρει στο κοινό προϊόντα με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Οι ιχθυοτροφές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την παραγωγή των υδατοκαλλιεργειών, καθώς αποτελούν πάνω από το 50% του κόστους παραγωγής και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα, την ασφάλεια και τη θρεπτική αξία των εκτρεφόμενων ψαριών (Allen & Steedy 2011). Ωστόσο αρκετές φορές η εντατική παραγωγή και χρήση ιχθυοτροφών μπορεί να επιφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα όπως απορροή θρεπτικών ουσιών και υπερεκμετάλλευση των πόρων (Cao et al. 2015).

Η Ε.Ε. λαμβάνοντας υπόψη την σπουδαιότητα των ιχθυοτροφών στα πλαίσια της εκτροφής των θαλάσσιων οργανισμών αλλά και το αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα που μπορούν να επιφέρουν, προτείνει συγκεκριμένες οδηγίες μέσω των κατευθυντήριων γραμμών που εξέδωσε για μια πιο βιώσιμη και ανταγωνιστική υδατοκαλλιέργεια σχετικά με τις ιχθυοτροφές. Πιο συγκεκριμένα, προτείνει πιο βιώσιμες ιχθυοτροφές οι οποίες παράγονται με απολυτό σεβασμό στα οικοσυστήματα και στη βιοποικιλότητα, ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν καλή υγεία

και διαβίωση για του εκτρεφόμενους οργανισμούς. Ειδικότερα, προτείνει λιγότερη χρήση ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων που προέρχονται από μη εκτρεφόμενα αποθέματα και αντικατάσταση αυτών με εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης όπως (π.χ. μικροφύκη, έντομα ή υποπροϊόντα χερσαίων αγροτικών ζώων) (E.E. 2021).

Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι ο σύνδεσμος παράγωγων ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου (IFFO) έχει δημιουργήσει την αναλογία Fish In:Fish Out (FIFO), η οποία εξετάζει την απόδοση της υδατοκαλλιέργειας σε σχέση με τα άγρια ψαριά που χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές. Τέλος, η Marine Ingredients Certifications Ltd. ανέπτυξε το πρότυπο πρόγραμμα πιστοποίησης Marine Trust Standard (πρώην πρότυπο IFFO RS) (Εικόνα 2.4.3) που αποτελεί ένα αξιόπιστο, ισχυρό εργαλείο που δίνει τη δυνατότητα στους παραγωγούς της βιομηχανίας ιχθυάλευρων και ιχθυελαίων να αποδείξουν ότι τα θαλάσσια συστατικά τους προέρχονται από πρώτες ύλες που αλιεύονται με υπεύθυνη διαχείριση και παράγονται υπεύθυνα. Το πρότυπο αναθεωρείται τακτικά ώστε να συμμορφώνεται με το τον παγκόσμιο οργανισμό μελών για αξιόπιστα πρότυπα βιωσιμότητας. Μέχρι το 2021 τα μισά από τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια που παράγονται παγκοσμίως είχαν πιστοποιηθεί με το Marine Trust (www.marin-trust.com).



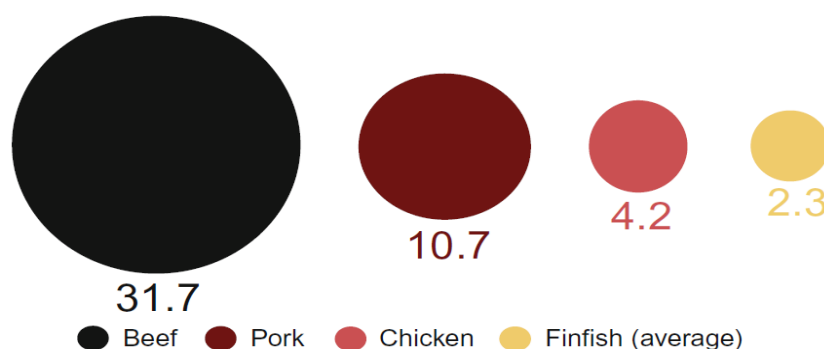
Εικόνα 2.4.3.: Πρότυπο Marine Trust (www.marin-trust.com)

2.5. Διατροφή στην υδατοκαλλιέργεια

Στο πλαίσιο μιας εντατικής μορφής υδατοκαλλιέργειας, η διατροφή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο καθώς οι ιχθυοτροφές αποτελούντο 40-70% του συνολικού τους κόστους παραγωγής και η βασικότερη πηγή αποβλήτων (Daudaa 2019). Οι ιχθυοτροφές τις περισσότερες φορές χορηγούνται υπό μορφή συμπύκτων (pellets), τα οποία αποτελούνται κυρίως από ιχθυάλευρο και ιχθυέλαιο. Σύμφωνα με τα τελευταία στατιστικά στοιχεία για το 2018, η ολική παραγωγή από τις υδατοκαλλιέργειες ανήλθε στα 179 εκατομμύρια τόνους από αυτά το 88% προορίζονταν για ανθρώπινη κατανάλωση και το 12% για άλλες χρήσεις, το 80%

αυτών των χρήσεων χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου (FAO 2020).

Το ιχθυάλευρο και το ιχθυέλαιο αποτελούν τις πλέον κατάλληλες πηγές διατροφής για τα εκτρεφόμενα θαλάσσια είδη, καθώς συμβάλλουν στη βέλτιστη ανάπτυξη τους. Πιο συγκεκριμένα, το ιχθυάλευρο προσφέρει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, οι οποίες ταιριάζουν με τις απαιτήσεις των ψαριών, ενώ το ιχθυέλαιο αποτελεί τη μοναδική εμπορική πηγή σε ευεργετικά ω -3 ΠΛΟ (Καραπαναγιωτίδης 2018). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα ψαριά παρουσιάζουν χαμηλές τιμές στο δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) και κατ' επέκταση πλεονεκτούν ως προς τη βιωσιμότητα σε σχέση με άλλα προϊόντα ζωικής προέλευσης (π.χ. για την παραγωγή 1kg βόειου κρέατος χρειάζονται 31,7kg τροφής, ενώ για την αντίστοιχη ποσότητα ψαριού μόνο 2,3kg τροφής) (Εικόνα 2.5.1) γεγονός το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια (Hall et al. 2011).



Εικόνα 2.5.1.: Δείκτης FCR σε προϊόντα ζωικής προέλευσης (Hall et al. 2011)

Ωστόσο πάρα την σπουδαιότητα των παραπάνω συστατικών η συνεχής χρήση τους δημιουργεί σημαντικά ζητήματα. Ειδικότερα αν αναλογιστεί κανείς ότι οι πρώτες ύλες για την παραγωγή των ιχθυοτροφών είναι μικρά πελαγικά ψαριά, τα οποία αποτελούν τροφή εκτός από τα ψαριά εκτροφής και για άλλους ζωικούς οργανισμούς άλλα και για τον άνθρωπο, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται έντονο φαινόμενο ανταγωνισμού ως προς τη ζήτηση. Παράλληλα δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία 820 εκατομμύρια άνθρωποι βρίσκονται σε κατάσταση υποσιτισμού (FAO 2020) αρά είναι αδικαιολόγητο ότι μεγάλο μέρος των ψαριών που συλλέγονται από τις θάλασσες (75%) να χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ιχθυοτροφών (Faisal & Hai 2018), (Lewandowski 2018). Στα πλαίσια του συνεχόμενου ανταγωνισμού των πρώτων υλών των ιχθυοτροφών, η βιομηχανία των

υδατοκαλλιέργειών έχει να αντιμετωπίσει και την ολοένα και αυξανόμενη τιμή των ιχθυαλεύρων και των ιχθυελαίων, που έχει υπερδιπλασιαστεί από το 2002 (Naylor et al. 2021). Με αποτέλεσμα, το αυξανόμενο κόστος παράγωγης στην υδατοκαλλιέργεια λόγω του αυξανόμενου κόστους σίτισης να απειλεί τη βιωσιμότητα του κλάδου (Dawood 2021).

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι άμεση η ανάγκη αντικατάστασης των συστατικών στα σιτηρά των ιχθύων. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη η αντικατάσταση των πρώτων υλών να μην επηρεάζει αρνητικά την παραγωγική απόδοση των εκτρεφόμενων ειδών (ρυθμό ανάπτυξης, FCR κ.α.) καθώς και την ποιότητα των ψαριών, ειδικότερα στη συγκέντρωση των ωφέλιμων λιπαρών οξέων ω-3 και ω-6. Βασικά κριτήρια εξέτασης μιας πηγής αντικατάστασης του ιχθυάλευρου και του ιχθυελαίου αποτελεί το προφίλ θρεπτικών συστατικών, η γευστικότητα, η πεπτικότητα, οι πιθανοί αντιδιατροφικοί παράγοντες, η διαθεσιμότητα και η τιμή της (Hodar et al. 2020).

2.5.1. Ιχθυάλευρα

Τα ιχθυάλευρα (Εικόνα 2.5.2.) αποτελούν την κυριότερη πηγή πρωτεϊνών για τις ιχθυοτροφές, παρασκευάζονται από την επεξεργασία (άλεσμα) διαφόρων ειδών ψαριών είτε από ολόκληρο το ψάρι (π.χ. άλευρο ρέγγας *Clupea havengus*, άλευρο γαύρου του Περού *Engraulis rigens*, άλευρο σαρδέλας *Clupea spp.* και *Sardinops spp.* κ.α.), είτε από τα υπολείμματα της φιλετοποίησης και μεταποίησης ψαριών (Εικόνα 2.5.3.) Τα παραπάνω πελαγικά είδη ψαριών αποτελούνται από μεγάλους πληθυσμούς που πολλαπλασιάζονται γρήγορα και έχουν μικρή διάρκεια ζωής.



Εικόνα 2.5.2: Ιχθυάλευρο
(www.feedipedia.org)



Εικόνα 2.5.3: Πρώτες ύλες ιχθυάλευρου
(www.feedipedia.org)

Η παρασκευή τους ξεκινάει με την με την αποστείρωση με άτμιση των ψαριών ή των υπολειμμάτων (υγρή μέθοδος) ή με απλό βρασμό (ξηρή μέθοδος). Στην υγρή μέθοδο χρησιμοποιούνται υδρατμοί με πίεση, ενώ στην ξηρή διεξάγεται βρασμός με ή χωρίς πίεση (απουσία νερού). Η υγρή μέθοδος χρησιμοποιείται σε αλιεύματα πλούσια σε λίπος, ενώ η ξηρή σε φτωχά σε λίπος. Εν συνέχεια ακολουθούν η συμπίεση, η αφυδάτωση και η άλεση (Καραπαναγιωτίδης 2018).

Τα ιχθυάλευρα αποτελούν το πλέον πιο επιθυμητό συστατικό των ιχθυοτροφών καθώς προσφέρει το απαραίτητο προφίλ αμινοξέων για τις ανάγκες των ψαρικών και των καρκινοειδών, είναι πλούσια σε πρωτεΐνη (56% έως 76%), έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση (4941 kcal/kg ιχθυάλευρου), προσφέρουν τα απαραίτητα λιπαρά οξέα και ιχνοστοιχεία, ενώ τέλος προσφέρουν ωραία γεύση στα ψάρια (Βουλτσιάδου et al. 2015).

Στις μέρες μας η αυξημένη ζήτηση σε ιχθυάλευρο και ειδικότερα στις ιχθυοκαλλιέργειες της Ευρώπης, όπου εκτρέφονται κυρίως σαρκοφάγα είδη (ιριδίζουσα πέστροφα, σολομός του Ατλαντικού, τσίπουρα, λαβράκι κ.α.), έχει οδηγήσει το συγκεκριμένο ιχθυαπόθεμα, από το οποίο παράγεται το ιχθυάλευρο στα όρια της βιωσιμότητας, σαν αποτέλεσμα τα τελευταία 20-25 χρόνια η παραγωγή ιχθυάλευρου να παραμένει στάσιμη (Καραπαναγιωτίδης 2018).

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες με σκοπό την μερική ή ολική αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με άλλες πηγές ζωικής πρωτεΐνης, όπως υποπροϊόντα πουλερικών, αλευρά εντομών ή φυτικές πηγές πρωτεΐνης, όπως σογιάλευρο ή άλευρο από μικροφύκη.

2.5.2. Ιχθυέλαια

Τα ιχθυέλαια είναι βασικό συστατικό των ιχθυοτροφών (Εικόνα 2.5.4.). Η παραγωγή τους προκύπτει έπειτα από συμπίεση, χημική επεξεργασία και διύληση ιχθύων. Κυρίες πηγές παραγωγής ιχθυελαιών είναι τα ίδια αλιεύματα από τα οποία παράγονται και τα ιχθυάλευρα. Τα ιχθυέλαια είναι πλούσια σε θρεπτικές ουσίες όπως ω-3 λιπαρά οξέα βιταμίνες Α και D, με αποτέλεσμα να προσφέρουν αυξημένο ενεργειακό προφίλ στις ιχθυοτροφίες. Επιπλέον, ικανοποιούν τις υψηλές ανάγκες των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών σε ω-3 και ω-6 λιπαρά οξέα και ιδιαίτερα των 20:5ω-3 (EPA) και 22:6ω-3 (DHA), τα οποία είναι δυσεύρετα σε αλλά συστατικά- πρώτες ύλες ιχθυοτροφών.



Εικόνα 2.5.4.: Ιχθυέλαιο (www. feedipedia.org)

Όπως και στην περίπτωση των ιχθυάλευρων έτσι και για τα ιχθυέλαια είναι επιτακτική ανάγκη η αντικατάστασή τους από άλλες πιο βιώσιμες πηγές λιπαρών οξέων. Ειδικότερα για τα ιχθυέλαια δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις παρουσίας οργανικών μολυσματικών παραγόντων (πολυχρωρωμένα διφαινύλια, διοξίνες κ.α.), τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι τοξικά τόσο για τον εκτρεφόμενο οργανισμό όσο και για τον άνθρωπο. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το λινέλαιο, το κραμβέλαιο, το φοινικέλαιο, το σογιέλαιο και το ελαιόλαδο είναι φυτικά έλαια με χαμηλή περιεκτικότητα σε ω -6 λιπαρά οξέα και αυξημένα $18:3\omega$ -3 λιπαρά οξέα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα από τα ψάρια για την παραγωγή ω -3 λιπαρών οξέων (Καραπαναγιωτίδης 2018).

3. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΕΙΦΟΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΙΧΘΥΑΛΕΥΡΟΥ

3.1. ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΠΡΩΤΕΙΝΗ

3.1.1. Υποπροϊόντα πουλερικών

Οι επεξεργασμένες ζωικές πρωτεΐνες μη μηρυκαστικών (PAPs) είναι υποπροϊόντα επεξεργασίας ζωικής προέλευσης που προέρχονται από μονογαστρικά εκτρεφόμενα ζώα που σύμφωνα με τον κανονισμό της ΕΚ 142/2011 είναι κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση. Έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, ευνοϊκά αμινοξέα, στερούνται αντιδιατροφικών παραγόντων και αποτελούνται από λιγότερους υδατάνθρακες σε σχέση με τα προϊόντα φυτικής προέλευσης, γεγονός που τα καθιστά σημαντικό συστατικό αντικατάστασης των ιχθυάλευρων στις ζωοτροφές. Η χρήση PAPs στις ιχθυοτροφές ενισχύει την βιώσιμη υδατοκαλλιέργεια καθώς έχουν μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα σε σχέση με τα ιχθυάλευρα και υποπροϊόντα φυτικής προέλευσης (den Hartog & Sijtsma 2013). Μεταξύ των PAPs ανήκουν και αυτά που προέρχονται από τα πουλερικά.

Τα υποπροϊόντα πουλερικών (PBM) είναι μια σημαντική πηγή ζωικής πρωτεΐνης που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ζωοτροφών (Meeker & Hamilton 2006). Το άλευρο πουλερικών παρασκευάζεται από καθαρά μέρη του ζώου όπως κεφάλι, λαιμός πόδια και μη ανεπτυγμένα αυγά δεν περιλαμβάνει φτερά, στομάχι και έντερα (Watson 2006). Τα υποπροϊόντα πουλερικών έχουν αναδειχθεί ως ένα από τα πλέον υποσχόμενα εναλλακτικά συστατικά για ιχθυάλευρα, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, είναι πλούσια σε αμινοξέα, εκτός της λυσίνης και της μεθειονίνης, είναι εύγεστα και περιλαμβάνει τα απαραίτητα λιπαρά οξέα, βιταμίνες και μέταλλα (Gonzalez-Rodriguez et al. 2016, Zhou et al. 2011). Επιπλέον είναι διαθέσιμα σε χαμηλότερη τιμή σε σχέση με τα ιχθυάλευρα (Render 2017) και είναι άμεσα διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ειδικά σε περιοχές παραγωγής πουλερικών όπως η Ασία (Abdul-Halim et al. 2014).

Η περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά συστατικά μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες εκτροφής τους (Watson 2006). Ορισμένα PBM έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη που μπορεί να φτάσει το 75-90% με σχετικά χαμηλή τεφρά (λιγότερη από 10%) και λίπος (λιγότερο από 15%). Αντίθετα υπάρχουν και PBM τα οποία αποτελούνται από μικρότερο ποσοστό πρωτεΐνης 55-75% υψηλότερη τεφρά (15%) και λίπος (15-30%) (www.feedipedia.org). Αυτή η

διακύμανση μπορεί να επιφέρει ανεπάρκεια σε ορισμένα αμινοξέα και μεταβολές στην πεπτικότητα (Davis & Arnold 2000, Robinson et al. 2001, Tacon et al. 2006, Garza de Yta et al. 2012, Dawson et al. 2018). Ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι η πεπτικότητα των πρωτεϊνών από PBM στα σαρκοφάγα ψαριά συμπεριλαμβανομένου και της τσιπούρας (*Sparus aurata*) είναι ιδιαίτερα υψηλή (Lupatsch et al. 1997, Davis et al. 2009, Hernandez et al. 2010, Yu et al. 2013).

Σε αρχικές μελέτες δεν μπορούσε το PBM να αντικαταστήσει το ιχθυάλευρο σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% (Fowler 1981, Gallagher & Degani 1988, Steffens 1994). Στα επόμενα χρόνια το PBM έχει αντικαταστήσει το 75% ή ακόμη και το 100% των ιχθυάλευρων, χωρίς σημαντική μείωση στην απόδοση των ψαριών (Alexis 1997, Nengas et al. 1999, Takagi et al. 2000). Αυτή η πρόοδος κυρίως οφείλεται στην βελτίωση των τεχνικών παρασκευής, η οποία επιφέρει βελτίωση στην ποιότητα των θρεπτικών συστατικών και την πεπτικότητα (Bureau et al. 1999).

Πολυάριθμες μελέτες υποστηρίζουν ότι το επίπεδο αντικατάστασης του ιχθυάλευρου με PBM επηρεάζεται από το είδος του ψαριού είτε αυτό είναι γλυκού νερού είτε αλμυρού. Ωστόσο το επίπεδο αντικατάστασης του ιχθυάλευρου επηρεάζει σημαντικά το τελικό βάρος στα θαλασσινά ψαριά και όχι τόσο στα ψαριά γλυκού νερού. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αποκαλύπτεται η δυνατότητα ολικής αντικατάστασης του ιχθυάλευρου με PBM στο ευρωπαϊκό χέλι (*Anguilla anguilla*) (Appelbaum et al., 1996), τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) (El-Sayed, 1998, Hernandez, 2010), *Catla catla* (Hasan et al., 1993), *Labeo rohita* (Hasan & Das, 1993) και *Tinca tinca* (Panicz et al., 2017).

Σε ερευνά των Abdul-Halim et al. 2014 στο *Channa striata* δεν επηρεάστηκε αρνητικά η απόδοση του, όταν διατράφηκε με ιχθυτροφή όπου η αντικατάσταση ιχθυάλευρου με PBM έφτασε το 40%. Σε αντίστοιχες μελέτες, η αντικατάσταση του ιχθυάλευρου δεν έθεσε σε κίνδυνο την ανάπτυξη της ιριδίζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) σε ποσοστό $\leq 59\%$ (Pares-Sierra et al. 2014), του ευρωπαϊκού χελιού (*Anguilla Anguilla*) $\leq 50\%$ (Gallagher & Degani 1988), του αφρικανικού γατόψαρου (*Clarias gariepinus*) $\leq 40\%$ (Abdel-Warith et al. 2001) και του *Tinca tinca* $\leq 25\%$ (Gonzalez-Rodriguez et al. 2016). Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι πολλά είδη ψαριών γλυκού νερού ανέχονται αντικατάσταση PBM έως και 100% του

ιχθυάλευρου, ενώ η πλειοψηφία δέχεται >50% σε PBM στη διατροφή χωρίς προβλήματα.

Το σύνολο της βιβλιογραφίας επιβεβαίωσε ότι η τελική ανάπτυξη των ψαριών αλμυρού νερού επηρεάζεται τόσο από ο είδος όσο και από το επίπεδο αντικατάστασης του ιχθυάλευρου με PBM. Ειδικότερα 90% αντικατάστασης από PBM στο *Centropristis stiata* δεν επηρέασε το τελικό βάρος (Dawson et al. 2018), 80% στο *Lateolabrax japonicus* (Wang et al. 2015), 67% στο *Totoaba macdonaldi* (Zapata et al. 2016), 59% στο *Pagrus major* (Takagi et al. 2000), 50% στο *Lutjanus guttatus* (Hernandez et al. 2014) και σε τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Nengas et al. 1999), ενώ τέλος 21% στο *Pagrus auratus* (Quartararo et al. 1998). Σε νεαρά ψαριά του είδους *Epinephelus fuscoguttatus* (Gunben et al. 2014) και *Cromileptes altivelis* (Shapawi et al. 2007) επιτεύχθηκε ολική αντικατάσταση ιχθυάλευρου με PBM χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη τους.

Τέλος σε πρόσφατη μελέτη των Karapanagiotidis et al. (2019), σε νεαρά ιχθύδια τσιπούρα (*Sparus aurata*) παρατηρήθηκε ότι η αντικατάσταση 50% και 100% της πρωτεΐνης από ιχθυάλευρο με πρωτεΐνη από PBM οδήγησε σε μειωμένη απόδοση ανάπτυξης, αν και η επιβίωση δεν επηρεάστηκε. Η μειωμένη ανάπτυξη πιθανότατα οφείλεται στα χαμηλά επίπεδα του αμινοξυ μεθειονίνη, τα οποία ήταν πολύ χαμηλότερα σε σχέση με τις ανάγκες του είδους. Επίσης, οι παραπάνω δίαιτες παρείχαν χαμηλά επίπεδα λυσίνης και άλλων απαραίτητων αμινοξέων σε σχέση με ιχθυοτροφές βασισμένης στο ιχθυάλευρο.

3.1.2. Κρεατάλευρα και οστεάλευρα

Μια ακόμη εξίσου σημαντική πηγή PΑPs, που παρασκευάζεται και επιτρέπεται για χρήση σε ιχθυοτροφές στην Ευρώπη είναι το κρεατάλευρο και οστεάλευρο από μη μηρυκαστικά είδη (MBM). Πρόκειται για ένα ζωικό υποπροϊόν, το οποίο προέρχεται από τα υπολείμματα των σφαγείων με σταθερή διαθεσιμότητα παγκοσμίως με μέση ετήσια παραγωγή στην Ε.Ε. τους 3,5 εκατομμύρια τόνους (Coutand et al. 2008). Τα MBM συγκριτικά με τα φυτικά συστατικά αποτελούνται από υψηλή πρωτεΐνη με ένα καλά ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων, είναι μια εξαιρετική πηγή ασβεστίου, φώσφορου και άλλων μετάλλων (K, Mg, Na κ.α.) και παρουσιάζουν έλλειψη αντιδιατροφικών παραγόντων (Suloma et al. 2013).

Ωστόσο παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε τεφρά και άλλη ανόργανη ύλη, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά τη χρήση τους σε τροφές ψαριών (Bureau et al. 1999). Επιπλέον, η θρεπτική τους σύσταση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των πρώτων υλών και τις τεχνικές επεξεργασίας τους (Kureshy et al. 2000). Εξαιτίας της αυστηρής νομοθεσίας που εφαρμόζεται κυρίως στην Ε.Ε. στην επεξεργασία των PAPs για αποφυγή ασθενειών, τα MBM υπόκεινται σε υπερβολική θερμότητα, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη βιοδιαθεσιμότητα της πρωτεΐνης και των αμινοξέων της.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το ποσοστό αντικατάστασης του ιχθυάλευρου από MBM διαφέρει πολύ μεταξύ των διάφορων ειδών. Πιο συγκεκριμένα, έρευνες παρουσίασαν ότι 40-60% ιχθυάλευρου θα μπορούσε να αντικατασταθεί από MBM στη διατροφή των *Pseudosciaena crocea* (Ai et al. 2006), *Bidyanus bidyanus* (Hunter et al. 2000) και *Paralichthys olivaceus* (Sato και Kikuchi 1997) χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η απόδοση αναπτυξής των ψαριών. Όμοια στα είδη *Pangasius hypophthalmus* και *Clarias gariepinus* η αντικατάσταση έφτασε το 67% και 75% αντίστοιχα (Goda et al. 2007, Kader et al. 2011) και ακόμη μεγαλύτερα ποσοστά αντικατάστασης 80% στο είδος *Epinephelus coioides* (Millamena 2002).

Από την άλλη πλευρά αρκετές έρευνες εστιάζουν σε χαμηλότερα ποσοστά αντικατάστασης ιχθυάλευρου με MBM. Ειδικότερα για το είδος *Oncorhynchus mykiss* το ποσοστό ήταν κάτω από 30% (Bureau et al. 2000), κάτω από 23% για το *Anguilla australis* (Engin και Carter 2005), κάτω από 20% *Paralichthys olivaceus* (Lee et al. 2012) και το *Carassius auratus gibelio* (Zhang et al. 2006). Ακόμη πιο χαμηλά ποσοστά παρουσίασαν το είδος *Sciaenops ocellatus* με ποσοστό 10% (Shiemenno et al. 1993). Οι παραπάνω αποκλίσεις αποδίδονται κυρίως στις ιδιαιτερότητες των διάφορων ειδών, στις συνήθειες διατροφής των ψαριών καθώς και στις διακυμάνσεις της ποιότητας των θρεπτικών συστατικών των διαφόρων MBM.

Στη μελέτη των Moutinho et al. (2017) σε νεαρά ψαριά του είδους *Sparus aurata*, παρατηρήθηκε ότι η απόδοση της ανάπτυξης των ιχθύων και η αποτελεσματικότητα της τροφής ήταν ίδια για 0% και 50% αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με MBM της τροφής, ενώ σε ποσοστό 75% ήταν χαμηλότερη. Η μειωμένη ανάπτυξη κατά τη δίαιτα με 75% MBM υποδηλώνει χαμηλή πεπτικότητα

σε υψηλά επίπεδα ενσωμάτωσης των MBM. Επιπλέον η διαίτα με 75% MBM επηρέασε τα ολικά λιπίδια και την ενέργεια τα οποία ήταν χαμηλότερα, ενώ τα απαραίτητα αμινοξέα δε επηρεάστηκαν από τη σύνθεση της τροφής. Τέλος σύμφωνα με την έρευνα η αντικατάσταση του 50% της πρωτεΐνης ιχθυάλευρου από MBM οδήγησε σε βελτίωση της οικονομικής απόδοσης.

3.1.3. Υποπροϊόντα φιλετοποίησης ψαριών

Τα υποπροϊόντα φιλετοποίησης ψαριών τα οποία προέρχονται είτε από την αλιεία είτε από τις υδατοκαλλιέργειες αποτελούνται κυρίως από σπλάχνα, κεφάλι, δέρμα, οστά και αίμα το 50-70% αυτών είναι μη βρώσιμα (Stevens et al. 2018). Αυτή η μη βρώσιμη ποσότητα θεωρείται πλέον ως μια πρακτική επιλογή για αντικατάσταση του ιχθυάλευρου, το οποίο προέρχεται από την αλιεία άγριων ψαριών (Stevens et al. 2018, Rustad et al. 2011, Olsen et al. 2014). Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία το 20% της παγκόσμιας παράγωγης ιχθυάλευρου προέρχεται από υποπροϊόντα αλιείας και 10% από υποπροϊόντα υδατοκαλλιέργειας (Ytrestoyl et al. 2015, Jackson & Newton 2016).

Όπως είναι γνωστό τα θρεπτικά συστατικά του ιχθυάλευρου διαφέρουν ανάλογα με την πρώτη υλη και τις διαδικασίες παράγωγής τους. Πιο συγκεκριμένα, το υψηλής ποιότητας ιχθυάλευρο από ολόκληρο ψαρί περιέχει 66-74% ολική πρωτεΐνη, 8-11% ολικά λιπίδια και <12% τέφρα (Heuze et al. 2015). Αντίθετα, το ιχθυάλευρο που παράγεται από υποπροϊόντα φιλετοποίησης ψαριών περιέχει 52-67% ολική πρωτεΐνη, 7-14% ολικά λιπίδια και 12-23% τέφρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ιχθυάλευρο που προέρχεται από υποπροϊόντα τόννου, το οποίο περιέχει 57-60% ολική πρωτεΐνη, 8-14% ολικά λιπίδια και 12-21% τέφρα (Goddard et al. 2008, Jeon et al. 2014, Hernandez et al. 2014, Kim et al. 2014).

Η διαφορά στην περιεκτικότητα της πρωτεΐνης και της τέφρας σε ιχθυάλευρο από υποπροϊόντα ψαριών είναι κάτι συνηθισμένο, καθώς η θρεπτική σύσταση διαφέρει μεταξύ ολόκληρων, φιλέτων και άλλων μερών του σώματος των ψαριών. Ωστόσο, τα υποπροϊόντα ψαριών παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές υψηλή πεπτικότητα και είναι γευστικά για τα ψάρια. Από την άλλη πλευρά ωστόσο ενδέχεται να παρουσιαστούν πιθανοί ιοί ή επιμολυντές, οι οποίοι μπορεί να είναι εξίσου τοξικοί τόσο για το εκτρεφόμενο είδος όσο και για τον καταναλωτή (Hardy 2000).

Έρευνες σχετικά με την αντικατάσταση ιχθυάλευρου με ιχθυάλευρο από υποπροϊόντα φιλετοποίησης ψαριών παρουσίασαν θετικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα αντικατάσταση του 25-30% ιχθυάλευρου υψηλής ποιότητας μπορεί να αντικατασταθεί από ιχθυάλευρο υποπροϊόντων τόννου σε ποσοστό 15,8-24,4% στο είδος *Lutjanus guttatus* χωρίς να επηρεαστεί η απόδοση της ανάπτυξης του (Hernandez et al. 2014). Όμοια 30% ιχθυάλευρου υψηλής ποιότητας στο είδος *Paralichthys olivaceus* μπορεί να αντικατασταθεί από 21% υποπροϊόντων τόννου (Kim et al. 2014) και 75% του ιχθυάλευρου για το είδος *Sebastes schlegeli* μπορεί να αντικατασταθεί σε ποσοστό 58,1% χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη του (Kim et al. 2018).

Τα υποπροϊόντα αλιείας και υδατοκαλλιεργειών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως προσθετά ζωοτροφών μιας και, στο είδος *Pagrus pagrus* όταν σιτίστηκε με άλευρο από κάβουρι παρατηρήθηκε βελτίωση στο χρώμα της σάρκας του (Garcia-Romero et al. 2014). Επίσης, έρευνα στο είδος *Larichthys croceus* έδειξε ότι συμπλήρωση 12-24% της τροφής με κέλυφος γαρίδας βελτίωσε σημαντικά το χρώμα του δέρματος, χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά η ανάπτυξη και ο ρυθμός μετατρεψιμότητας της τροφής (Yi et al. 2015).

Η μεταβαλλόμενη θρεπτική τους σύσταση αλλάζει ανάλογα με το είδος, το οποίο επεξεργάζεται, την εποχή αλίευσης του ή και τη διατροφή του για είδη που προέρχονται από εκτροφή (Καραπαναγιωτίδης 2018). Η χαμηλότερη θρεπτική αξία των υποπροϊόντων φιλετοποίησης σε σχέση με το υψηλής ποιότητας ιχθυάλευρο εγείρει ενστάσεις στην ολική αντικατάσταση του σε ιχθυοτροφές. Ωστόσο, το υποπροϊόν εξακολουθεί να είναι μια βιώσιμη λύση σε σχέση με το συμβατικό ιχθυάλευρο καθώς είναι μια πιο οικονομική και βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης (Kim et al. 2018). Ως εκ τούτου είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ένα ολοκληρωμένο δίκτυο μεταφοράς και των υποπροϊόντων αλιείας και υδατοκαλλιεργειών ακόμη και από τις πιο απομακρυσμένες περιοχές, καθώς και κατάλληλες υποδομές επεξεργασίας, ώστε να μειωθούν οι παράγοντες, οι οποίοι οδηγούν σε περιορισμό της χρήσης των υποπροϊόντων σε ορισμένες χώρες (Stevens et al. 2018).

3.1.4. Αιματάλευρα

Το αιματάλευρο (BM) αποτελεί μια ακόμη εναλλακτική επιλογή ζωικής πρωτεΐνης σε αντικατάσταση του ιχθυάλευρου σε τροφές ψαριών. Το BM

παρασκευάζεται με θέρμανση του αίματος σφαγμένων ζώων, όπως χοίροι, κοτόπουλα κ.α. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της πήξης, της ξήρανσης και της κονιορτοποίησης (Jedrejek et al. 2016). Το BM αποτελείται από πολύ υψηλά επίπεδα ολικής πρωτεΐνης 90% ή περισσότερο, μικρές ποσότητες λίπους περίπου 1% και τέφρα λιγότερη του 5%. Σε σχέση με άλλες πηγές ζωικής πρωτεΐνης το BM έχει κακή ισορροπία αμινοξέων, από τη μια πλευρά τα επίπεδα σε λυσίνη είναι σχετικά υψηλά (7-10%), από την άλλη πλευρά τα επίπεδα μεθειονίνης και ισολευκίνης είναι αρκετά χαμηλά (Maiga et al. 1996, Piepenbrink et al. 1998). Μετά το ξέσπασμα της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας των βοοειδών το 1992, οι πωλήσεις σε BM σε πολλές χώρες περιορίστηκαν. Ωστόσο το 2016 η Ε.Ε. εν μέρει αδειοδότησε τη χρήση του σε ζωοτροφές χοίρων, πουλερικών και ψαριών αλλά όχι σε μηρυκαστικά είδη (Jedrejek et al. 2016).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αντικατάσταση ιχθυάλευρου έως και 15% με BM στο είδος *Sparus aurata* δεν επηρέασε την ανάπτυξη και τη γεύση του, ωστόσο αντικατάσταση 30% επέφερε αλλαγή στη γεύση (Martinez-Llorens et al. 2008). Σε πρόσφατη έρευνα των Takakuwa et al. (2022) στο είδος *Pagrus major* παρασκευαστήκαν τροφές με ποσοστά αντικατάστασης ιχθυάλευρου με BM 0%, 10%, 20% και 30%, και παρατηρήθηκε ότι το τελικό σωματικό βάρος, ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης και το ποσοστό επιβίωσης δεν επηρεάστηκαν από την αύξηση του ποσοστού σε BM, ωστόσο η αποδοτικότητα της τροφής μειώνονταν με την αύξηση του BM, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι αντικατάσταση σε BM έως και 20% δεν επηρέασε αρνητικά την απόδοση της ανάπτυξης. Οι Ding et al. (2020) διεξήγαγαν έρευνα στο είδος *Micropterus salmoides* όπου εντόπισαν ότι το BM μπορούσε να αντικαταστήσει το ιχθυάλευρο σε ποσοστό 9,8%, ενώ αντικατάσταση του 19,6% οδήγησε σε μειωμένη πέψη και απορρόφηση των πρωτεϊνών.

Στη διατροφή του *Mylopharyngodon piceus* αντικατάσταση έως και 40% δεν έθεσε σε κίνδυνο την ανάπτυξη αλλά ούτε την δραστηριότητα των πεπτικών ενζύμων του εντέρου και την έμφυτη ανοσολογική απόκριση (Twahirwa et al. 2020). Σχετικά με το *Heterobranchus bidorsalis* έως και 25% ιχθυάλευρο μπορούσε να αντικατασταθεί από BM χωρίς αρνητικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη του είδους (Aliu & Ademiluyi 2020). Παράλληλα, έρευνα του (2002) από τους Abery et al. στο είδος *Maccullochella peelii* αντικατάσταση μεγαλύτερη του 8% επέφερε μειωμένη ανάπτυξη και πεπτικότητα της πρωτεΐνης και του λίπους, ωστόσο για το παραπάνω

είδος δεν είναι γνωστό το κατάλληλο επίπεδο αντικατάστασης. Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω αναφορές είναι φανερό ότι τα επιτυχημένα ποσοστά αντικατάστασης του ιχθυάλευρου με ΒΜ είναι σχετικά χαμηλά.

Δεν είναι λίγες οι έρευνες που μελέτησαν την πεπτικότητα των πρωτεϊνών του ΒΜ. Ειδικότερα, σε νεαρά άτομα του είδους *Ophicephalus argus* η πρωτεϊνική πέψη έφτασε το 77% (Yu et al. 2013) , ενώ στο υβριδικό είδος *Morone chrysops* x *M. saxatilis* έφτασε το 63% (Gaylord et al. 2004). Επιπλέον, το *Megalobrama amblycephal* παρουσίασε εξαιρετικά χαμηλή πεπτικότητα πρωτεΐνης μόλις στο 24% (Zhou et al. 2008), αντίθετα το *Bidyanus bidyanus* 90% (Allan et al. 2000) και το *Oncorhynchus mykiss* 89-94% (Lu et al. 2015, Sigiura et al. 2000).

3.1.5. Εντομάλευρα

Τα έντομα έχουν προσελκύσει την μεγαλύτερη προσοχή από την επιστημονική κοινότητα ως εναλλακτική βιώσιμη λύση στην αντικατάσταση των ιχθυάλευρων στις ιχθυοτροφές, εξαιτίας της καταλληλότητάς τους στις ιχθυοτροφές και της εύκολης παραγωγής τους. Το παραπάνω ενδιαφέρον όλο και μεγαλώνει μετά την πρόσφατη απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης που επιτρέπει τη χρήση των εντομάλευρων στις ιχθυοτροφές (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 893/2017). Αναφορικά με τα έντομα περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ολική πρωτεΐνη από 34-74% (Freccia et al. 2020, Gasco et al. 2020). Ωστόσο τα περισσότερα ολόκληρα έντομα περιέχουν 42-63,3% ολική πρωτεΐνη και σε περιπτώσεις που το άλευρο εντόμων απολιπαίνεται η πρωτεΐνη μπορεί να φτάσει το 74% (Alfiko et al. 2022).

Το εντομάλευρο περιλαμβάνει ένα καλά ισορροπημένο προφίλ απαραίτητων αμινοξέων, το οποίο μοιάζει με αυτό του ιχθυάλευρου, υψηλά επίπεδα λιπιδίων που κυμαίνονται από 10% έως 30% αν και η περιεκτικότητά τους σε DHA και EPA είναι αμυδρή, αν όχι σχετικά χαμηλή, είναι καλή πηγή βιταμινών όπως βιταμίνη B₁₂ και διαθέτει ορισμένα μέταλλα, όπως σίδηρο και ψευδάργυρο (Gasco et al. 2020, Alegbeleye et al. 2012). Παράλληλα, το άλευρο εντόμων περιέχει βιοδραστικές ενώσεις όπως, μικρής αλυσίδας λιπαρά οξέα και αντιμικροβιακά πεπτίδια, τα οποία προσφέρουν αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες, οι οποίες συμβάλλουν στην καλή υγεία των ψαριών και μειώνουν την μικροβιακή αντοχή (Gasco et al. 2018).

Ωστόσο η θρεπτική σύσταση του εντομάλευρου μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το είδος του εντόμου, τη διαδικασία εκτροφής και τη διαδικασία παραγωγής της πρωτεΐνης (Barroso et al. 2014, Zarantonello et al. 2020). Η εντομοκαλλιέργεια θεωρείται βιώσιμη, λόγω του χαμηλού οικολογικού αποτυπώματος της, αν και η ενέργεια που απαιτείται για την εκτροφή και την ξήρανση των εντόμων είναι υψηλή. Σε σχέση με τα ιχθυάλευρα και τις φυτικές πρωτεΐνες τα έντομα μπορούν να παραχθούν εντατικά σε μικρό χρονικό διάστημα, δεν έχουν ανάγκη από μεγάλη καλλιεργήσιμη γη, δεν απαιτούν υψηλή κατανάλωση νερού και παρουσιάζουν χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Gasco et al. 2020). Τέλος όταν χρησιμοποιούνται σε ιχθυοτροφές που συμπεριλαμβάνονται πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης έχουν την ιδιότητα να εξουδετερώνουν της αρνητικές επιπτώσεις κυρίως στα σαρκοφαγά είδη (Randazzo et al. 2021, Gaudioso et al. 2021).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μέχρι τώρα τουλάχιστον 16 είδη εντόμων έχουν αξιολογηθεί για την εναλλακτική τους χρήση ως πηγή πρωτεΐνης σε ιχθυοτροφές (Nogales-Merida et al. 2019) και 8 από αυτά είναι τα πιο πολλά υποσχόμενα (Εικόνα 3.1.1). Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει την μαύρη μύγα στρατιώτη (BSF: *Hermetia illucens*) (Barry 2004), το κίτρινο αλευροσκουλήκι (TM: *Tenebrio molitor*) (Li et al. 2017), την κοινή οικιακή μύγα (MD: *Musca domestica*) (Malik et al. 2007), τον μεταξοσκώληκα (*Bombyx mori*) (Duan et al. 2010), το μικρότερο αλευροσκουλήκι (*Alphitobius diaperinus*) (Rumbos et al. 2019), τον οικιακό γρύλλο (*Acheta domesticus*) (Hessler 2019), τον γρύλλο (*Gryllodes sigilatus*) (Vandeweyer et al. 2018) και τον γρύλλο της Τζαμάικας (*Gryllus assimilis*) (Masson et al. 2020).



Εικόνα 3.1.1. : 1) *Bombyx mori*, 2) *Hermetia illucens*, 3) *Musca domestica*, 4) *Tenebrio molitor*, 5) *Alphitobius diaperinus*, 6) *Acheta domesticus*, 7) *Gryllodes sigillatus*, 8) *Gryllus assimilis*, 9) εντομάλευρο και 10) pellet ιχθυοτροφής (Alfiko et al. 2022)

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι το εντομάλευρο μπορεί εν μέρει ή και ολικώς να αντικαταστήσει το ιχθυάλευρο και το άλευρο από σόγια που χρησιμοποιούνται ευρέως στην διατροφή υδρόβιων ζωικών οργανισμών (Henry et al. 2015, Tilami et al. 2020). Άλευρο από έντομο BSF έχει μελετηθεί εκτενώς, ως υποκατάστατο του ιχθυάλευρου με θετικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη, καθώς βελτίωσε σημαντικά διάφορους παραμέτρους ανάπτυξης και την ανοσολογική απόκριση ενάντια σημαντικών ασθενειών σε είδη όπως: το *Litopenaeus vannamei* (Richardson et al. 2021), *Anabas testudineus* (Mapanao et al. 2021), *Oreochromis niloticus* (Were et al. 2021), *Clarias gariepinus* (Fawole et al. 2020), *Lateolabrax japonicus* (Wang et al. 2019), *Salmo salar* (Stenberg et al. 2019), *Oncorhynchus mykiss* (Cardinaletti et al. 2019) και στο είδος *Sparus aurata* (Randazzo et al. 2021). Ειδικότερα σε έρευνα των Karapanagiotidis et al. (2014) σε νεαρά ιχθύδια του είδους *Sparus aurata* μερική

αντικατάσταση του ιχθυάλευρου έως και 30% με άλευρο BSF δεν μείωσε σημαντικά των ρυθμό ανάπτυξης των ψαριών.

Παράλληλα, και το εντομάλευρο από TM έχει δώσει θετικά αποτελέσματα στην απόδοση της ανάπτυξη διαφόρων ειδών όπως: *Sparus aurata* (Fabrikov et al. 2021), *Dicentrarchus labrax* (Reyes et al. 2020), *Pontastacus leptodactylus* (Mazlum et al. 2021) και *Oncorhynchus mykiss* (Melenchon et al. 2021), καθώς παρουσιάζει υψηλή θρεπτική αξία και είναι πλούσια πηγή βασικών αμινοξέων όπως μεθειονίνη, λιπαρών οξέων που ποικίλει ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του εντόμου (Shafique et al. 2021). Αλλά είδη εντόμων όπως το *Zophobas morio* έχει δώσει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στην είδος *Oreochromis niloticus* (Alves et al. 2020) και το *Bombyx mori* στο είδος γαρίδας *Litopenaeus vannamei* (Rahimnejad et al. 2019).

Η ενσωμάτωση εντομών στις ιχθυοτροφές έχει διερευνηθεί και θεωρείται μια σημαντική ανακάλυψη στις προσπάθειες αντικαταστάσεις των ιχθυάλευρων σε πολλά εκτρεφόμενα είδη υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο μέχρι στιγμής ο αριθμός των μελετών που έχουν καθορίσει τα βέλτιστα επίπεδα απαιτήσεων σε εντομάλευρα σε ιχθυοτροφές είναι περιορισμένος (Tirpayadara et al. 2021). Ως εκ τούτου, οι συγγραφείς που ασχολήθηκαν με το παραπάνω θέμα εντόπισαν ότι 20-30% θα μπορούσε να είναι το μέγιστο εύρος συμπίληψης εντομάλευρου σε ιχθυοτροφές, χωρίς δυσμενής επιπτώσεις στα εκτρεφόμενα είδη (Maulu et al. 2022).

3.1.6. Άλευρο από krill (*Euphausia superba*)

Το krill του Ατλαντικού (*Euphausia superba*) είναι ένα μικρό θαλάσσιο πλαγκτονικό καρκινοειδές με άφθονους πόρους που έχει δημιουργήσει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια ως βιώσιμη πηγή πρωτεϊνών και λιπιδίων σε υδρόβιους οργανισμούς (Xie et al. 2019, Burri & Nunes 2016). Το άλευρο από krill (KM) περιέχει πρωτεΐνη που μπορεί να φτάσει το 60% , είναι πλούσιο σε 10 απαραίτητα αμινοξέα και έχει επίπεδα τέφρας παρόμοια με αυτά του ιχθυάλευρου (Tou et al. 2007). Αξίζει να σημειωθεί ότι το KM παρουσιάζει σχετικά υψηλά επίπεδα σε EPA και DHA, φωσφολιπίδια, βιταμίνες, χιτίνη και φυσική ασταξανθίνη, η οποία έχει αποδειχθεί ότι διεγείρει την όρεξη και διευκολύνει την αντικατάσταση του ιχθυάλευρου και του ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές (Saleh et al. 2018, Morkore et al. 2020, Thakara et al. 2020). Το KM χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στις ιχθυοτροφές

καθώς συμβάλλει θετικά στην ανάπτυξη του ψαριού και στην καλή του υγεία, βελτιώνει την ποιότητα του φιλέτου και είναι γευστικό (Hodar et al. 2020).

Τα τελευταία χρόνια έχουν διεξαχθεί μελέτες για την αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με ΚΜ. Αρκετές μελέτες έχουν αποδείξει ότι το ΚΜ έχει θρεπτική αξία ίση ή και μεγαλύτερη του ιχθυάλευρου όταν χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο στη διατροφή εκτρεφόμενων ειδών όπως *Gadus morhua* (Tibbetts et al. 2011) και *Salmo salar* (Olsen et al. 2006). Σε νεαρά άτομα του είδους *Sparus aurata* δεν επηρεάστηκε η ανάπτυξη τους όταν αντικαστάθηκε 4% ιχθυάλευρου από ΚΜ σε ποσοστό 3-9%. Επιπλέον προσφορά ιχθυοτροφής, η οποία περιλαμβάνει 9% ΚΜ για 12 εβδομάδες σε τσίπουρα βελτίωσε τη μετατροπή της τροφής και την υγεία του ήπατος (Saleh et al. 2018).

Παράλληλα, σε έρευνα των Thakara et al. (2020) στο είδος *Paralichthys olivaceus* συμπερίληψη ΚΜ στην ιχθυοτροφή οδήγησε σε αύξηση της ανάπτυξης και βελτίωση στην πεπτικότητα. Τέλος σε μελέτη των Morkore et al. (2020) σε σολομό του Ατλαντικού (*Salmo salar*) παρουσιάστηκε βελτίωση στην υγεία των ψαριών και καλύτερη ποιότητα σάρκας, όταν τα ψαριά για 12 εβδομάδες ταΐστηκαν με ιχθυοτροφή, η οποία περιείχε 12% ΚΜ.

3.2. ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΠΡΩΤΕΪΝΗ

Η άμεση ανάγκη για αντικατάσταση του ιχθυάλευρου στις ιχθυοτροφές, έχει οδηγήσει στην εφαρμογή βιώσιμων εναλλακτικών στρατηγικών για τη μερική ή ολική αντικατάσταση του με φθηνότερα μη συμβατικά συστατικά όπως πηγές φυτικής πρωτεΐνης που είναι άμεσα διαθέσιμα και εξαιρετικά θρεπτικά. Τέτοια προϊόντα φυτικής προέλευσης είναι το άλευρο από σόγια, από γλουτένη καλαμπόκιου, το φοινικάλευρο, άλευρο από όσπρια όπως τα μπιζέλια, το κραμβάλευρο και το άλευρο από φύκη (μακροφύκη και μικροφύκη) (Oliva-Teles et al. 2015) κ.α.

Παρά τη μεγάλη διαθεσιμότητα τους και τη χαμηλή τους τιμή στην αγορά, οι πηγές φυτικών πρωτεϊνών εγείρουν σημαντικές ανησυχίες για την χρήση τους σε ιχθυοτροφές, καθώς περιέχουν αρκετούς αντιδιατροφικούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την πεπτικότητα και την υγεία των ψαριών, παρουσιάζουν έλλειψη σε απαραίτητα αμινοξέα και η γευστικότητα τους είναι χαμηλή εξαιτίας των υψηλών επιπέδων σε υδατάνθρακες όπως οι φυτικές ίνες και το άμυλο (Dawood &

Koshio 2020). Ωστόσο αρκετές τεχνικές όπως η θερμική επεξεργασία και η ζύμωση από μικροοργανισμούς έχουν την ικανότητα να μειώσουν ή και να εξαλείψουν τους αντιδιατροφικούς παράγοντες (Collins et al. 2013).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι φυτικές πρώτες ύλες μπορούν να αντικαταστήσουν το ιχθυάλευρο σε σιτηρέσια ψαριών σε ποσοστό περίπου 30-50%, ανάλογα με το είδος της πρώτης ύλης και το στάδιο ανάπτυξης του οργανισμού, χωρίς να επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των ψαριών (Hardy 2010). Ειδικότερα, αντικατάσταση 50% ιχθυάλευρου από φυτικό άλευρο το οποίο περιλάμβανε και έξτρα λυσίνη δεν επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξη του είδους *Oncorhynchus mykiss* (Cheng et al. 2003), παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα όταν στο σιτηρέσιο για την ιριδίζουσα πέστροφα έγινε αντικατάσταση του ιχθυάλευρου σε ποσοστό 44% από μείγμα φυτικού αλεύρου το οποίο αποτελούνταν από μπιζέλι, φασόλι και ελαιοκράμβη (Lund et al. 2011).

Σε έρευνες για τη *Solea senegalensis* αντικατάσταση του ιχθυάλευρου της τροφής κατά 75% από μείγμα φυτικών πρωτεϊνών ενισχυμένο με τα απαραίτητα αμινοξέα (Cabral et al. 2013), δεν παρουσίασε αρνητική εικόνα στην πρόσληψη της τροφής και την πεπτικότητα των πρωτεϊνών, ενώ και η αντικατάσταση 30% από μείγμα σογιάλευρου και άλευρο σίτου (Rodiles et al. 2013) και 75% από μείγμα σογιάλευρου, αλεύρου μπιζελιού, γλουτένης καλαμποκιού και γλουτένης σιταριού δεν επηρέασαν αρνητικά την ανάπτυξη του είδους (Valente et al. 2016).

Τα μεγαλύτερα ποσοστά αντικατάστασης του ιχθυαλεύρου από πηγές φυτικών πρωτεϊνών χωρίς να επηρεαστεί η ανάπτυξη των ειδών, επιτεύχθηκαν στο είδος *Litorenaeus vannamei* με ποσοστό αντικατάστασης 80% από μείγμα αλεύρου από σόγια και ελαιοκράμβη (Suarez et al. 2009), στο είδος *Rachycentron canadum* σε ποσοστό 94% από μείγμα φυτικών πρωτεϊνών (Salze et al. 2010) και στο είδος *Dicentrarchus labrax* σε ποσοστό 95% από άλευρο γλουτένης καλαμποκιού, γλουτένης σίτου, σόγιας και ελαιοκράμβης (Kaushik et al. 2004).

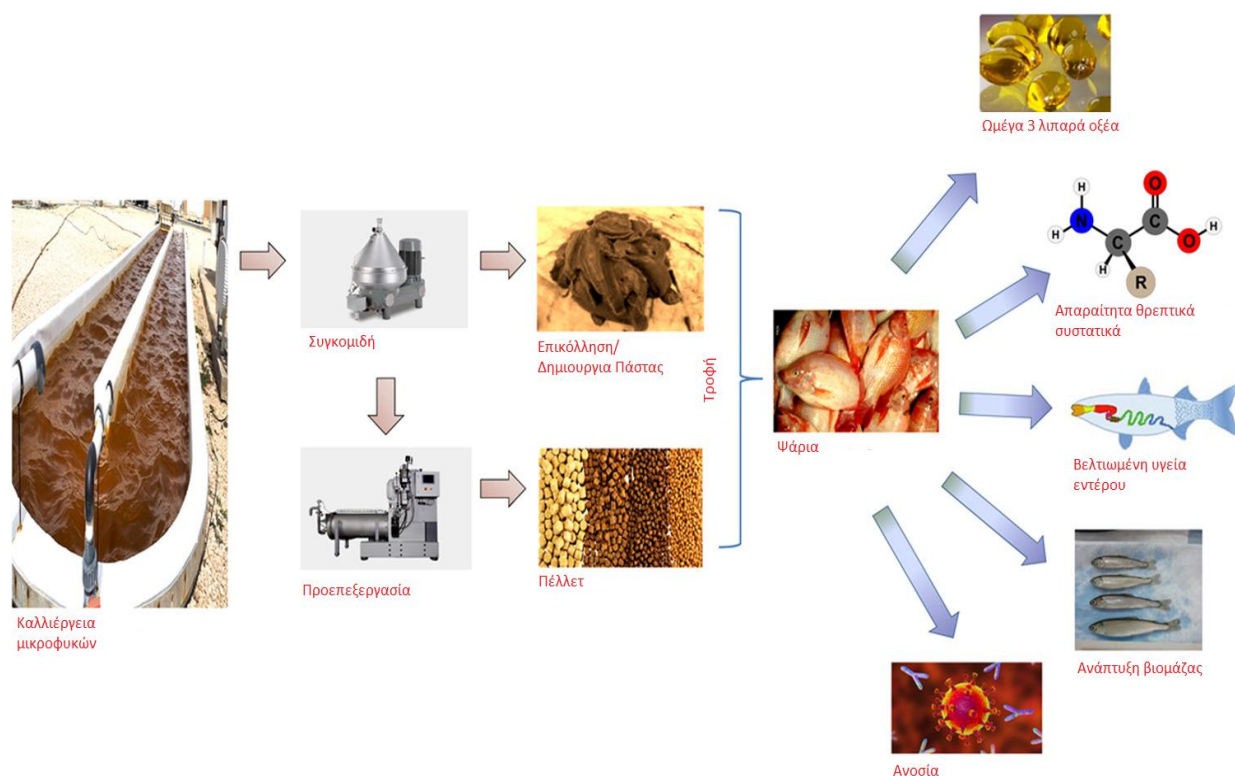
Σε ερέυνα των de Francesco et al. (2007) σε τσίπουρα (*Sparus aurata*) η ανάπτυξη του είδους δεν επηρεάστηκε μετά από αντικατάσταση ιχθυαλεύρου με μείγμα φυτικής πρωτεΐνης σε ποσοστό 75%. Για τον γάδο του Ατλαντικού (*Gadus morhua*) 50% αντικατάσταση από μείγμα σόγιας και γλουτένη σίτου σχεδόν δεν επηρέασε την ανάπτυξη (Hansen et al. 2007). Τέλος αντικατάσταση 55% από

γλουτένη καλαμποκιού στο υβριδικό είδος *Acipenser naccarii* x *A. baeri* δεν επηρέασε το FCR άλλα οδήγησε σε 30% μείωση στο κόστος της ιχθυοτροφής (Sicuro et al. 2012).

3.2.1. Μικροφύκη

Τα μικροφύκη είναι φωτοσυνθετικοί μονοκύτταροι φυτικοί οργανισμοί που χρησιμοποιούν είτε το CO₂ και την ηλιακή ενέργεια είτε φθηνά θρεπτικά μέσα για να παράγουν μια ποικιλία από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, καροτενοειδή κ.α. Η παγκόσμια ζήτηση σε μικροφύκη έχει φτάσει τα 3,4 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020 και αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια (Globenewswire 2021). Αν και τα τελευταία χρόνια η παραγωγή σε μικροφύκη έχει εστιάσει σε είδη που συσχετίζονται με τα τρόφιμα και τα καλλυντικά, ωστόσο τις τελευταίες δεκαετίες έχει ερευνηθεί εκτενώς ως ένα εναλλακτικό συστατικό αντικατάστασης του ιχθυάλευρου σε ιχθυοτροφές (Hodar et al. 2020).

Τα μικροφύκη αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο συστατικό ιχθυοτροφών καθώς προσφέρουν ένα μείγμα πρωτεϊνών, λιπιδίων, υδατανθράκων και χρωστικών, το οποίο είναι ιδανικό για την υγεία των ψαριών (Εικόνα 3.2.1.). Είναι πλούσια πηγή πρωτεΐνης (30-70%) με καλά ισορροπημένο προφίλ αμινοξέων, λίπους (10-20%), το οποίο περιέχει ω-3 και ω-6 λιπαρά οξέα, βιταμινών και ιχνοστοιχείων (Messina et al. 2019). Πιο συγκεκριμένα τα μικροφύκη του γένους *Chorella*, *Chamylo domonas*, *Porphyridium*, *Isochysis* και *Nannochloropsis* έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε μεθειονίνη σημαντικό αμινοξύ για την ανάπτυξη των ψαριών από το οποίο στερούνται τα φυτικά συστατικά (Wan et al. 2019).



Εικόνα 3.2.1.: Μικροφύκη στην υδατοκαλλιέργεια (Nagarron et al. 2021)

Επιπλέον, τα περισσότερα είδη μικροφυκών αποτελούνται από φυτικές ίνες, οι οποίες παρουσιάζουν καλύτερη πεπτικότητα, διότι σε σχέση με τις φυτικές ίνες των χερσαίων φυτών στερούνται σε λιγνίνη και έχουν χαμηλή ημικυτταρίνη. Συγκεκριμένα τα είδη *Spiulina sp.* και *Chlorella vulgaris* έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ίνες 8,5% και 5,6% αντίστοιχα (Niccolai et al. 2019). Τέλος, στα μικροφύκη η καθαρή παραγόμενη βιομάζα τους είναι αρκετά πιο υψηλή από πολλά χερσαία φυτά ή ζώα και για την παραγωγή τους δεν χρειάζεται γόνιμο έδαφος καθώς μπορούν να αναπτυχθούν σε θαλασσινό νερό ή και σε λύματα (Rizwan et al. 2018, Li et al. 2019).

Στα βασικά μειονεκτήματα της χρήσης μικροφυκών ως προϊόν αντικατάστασης του ιχθυάλευρου και του ιχθυέλαιου σε ιχθυοτροφές, είναι το υψηλό κόστος παραγωγής τους και σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν είδη με άκαμπτο κυτταρικό τοίχωμα, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε δυσκολία στην πέψη (Arun et al. 2020, Katiyar & Arona 2020).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι ιχθυοτροφές, οι οποίες περιέχουν χαμηλή έως και μέτρια συγκέντρωση μικροφυκών (2-10%) οδήγησαν σε αύξηση του βάρους των

εκτρεφόμενων ειδών (Nagappan et al. 2021). Συγκεκριμένα, στο είδος *Litopenaeus vannamei* επιτεύχθηκε 30% αύξηση στο βάρος του, όταν η ιχθυοτροφή του περιείχε 0,75% *Tetraselmis suecica* (Sharawy et al. 2020). Παράλληλα, για άτομα του είδους *Oreochromis niloticus* ιχθυοτροφές με βάση μικροφύκη απέδωσαν ελπιδοφόρα αποτελέσματα, με αύξηση του βάρους του σε ποσοστά 69%, 58% και 46%, όταν έλαβαν τροφή, που περιείχε 15% *Chorella* sp. (Fald et al. 2017), 14% *Nannochloropsis oculata* & *Schizochytrium* sp. (Sarker et al. 2020) και 10% *Nannochloropsis oculata* (Abdelghavy et al. 2020) αντίστοιχα.

Επίσης σε νεαρά άτομα του είδους *Solea senegalensis* παρατηρήθηκε ιδιαίτερα υψηλή αύξηση στο σωματικό βάρος τους (84-97%), όταν τους χορηγήθηκε τροφή με βάση τα μικροφύκη σε σχέση με την τροφή ελέγχου (Vizcaino et al. 2018). Σε παλαιότερη ερευνά των Vizcaino et al. (2014) σε νεαρά άτομα του είδους *Sparus aurata* παρατηρήθηκε καλύτερη απορρόφηση του εντέρου όταν τα ψάρια ταΐστηκαν για 45 ημέρες με ιχθυοτροφή, στην οποία είχε γίνει αντικατάσταση 20% του ιχθυάλευρου από άλευρο *Scenedesmus almeriensis*.

Τέλος αρκετές μελέτες έδειξαν ότι η επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών θα μπορούσε να βελτιωθεί προσθέτοντας στη διατροφή τους τα μικροφύκη (Martinez-Fernandez & Southgate 2007, Melo et al. 2016). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ερευνά των Medina-Felix et al. (2014), όπου το ποσοστό επιβίωσης του είδους *Litopenaeus vannamei* αυξήθηκε κατά 1-2% όταν στην τροφή του συμπεριλήφθηκε άλευρο από το μικροφύκη *Dunaliella salina*.

3.3. ΠΗΓΗ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΑΠΟ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Στο πλαίσιο της ανάγκης αντικατάστασης του ιχθυάλευρου στις ιχθυοτροφές, οι μικροοργανισμοί αποτελούν μια πιθανή εναλλακτική λύση, η οποία όμως απαιτεί περαιτέρω μελέτη. Οι μικροοργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν μια ποικιλία λύσεων μέσω των προϊόντων και των διαδικασιών τους, ωστόσο η χρήση τους σε ιχθυοτροφές εξαρτάται από την ικανότητα τους να καλλιεργούνται, τη συμπεριφορά τους και το μέγεθος των κυττάρων, τα οποία είναι κρίσιμα για τη μετατροπή τους σε πρωτεϊνική βιομάζα μόλις παραχθούν σε μεγάλη κλίμακα (Wan-Mohtar et al. 2021).

Οι μικροοργανισμοί αφθονούν στη φύση και παίζουν αναμφίβολα σημαντικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία των οικοσυστημάτων. Περιλαμβάνουν τα βακτήρια, τα φύκη, τα πρωτόζωα, τους μύκητες και τους ιούς (Bisen et al. 2012). Στην υδατοκαλλιέργεια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο καθώς συμβάλλουν στην διατήρηση της ποιότητας του νερού, στην αντιμετώπιση ασθενειών και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κλάδου (de Mello Junior et al. 2021).

Οι μικροοργανισμοί συνδέονται συχνά με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, γεγονός που τους καθιστά βιώσιμο απόθεμα πρωτεΐνης για ιχθυοτροφές (Linder 2019). Παράλληλα, μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια, οι μύκητες και τα φύκη συμβάλλουν θετικά στην ανάπτυξη, είναι ανοσοδιεγερτικοί και ενισχύουν το χρώμα των εκτρεφόμενων ειδών (Jones et al. 2020, Khatoon et al. 2010). Ο υψηλός ρυθμός αναπαραγωγής τους οδηγεί σε γρήγορη παραγωγή βιομάζας, γεγονός που είναι ιδιαίτερα θετικό για την εφαρμογή τους σε τροφές για ψάρια (de Annuciacao et al. 2020, Martinez-Cordova et al. 2017). Η χρήση τους ως πηγή τροφής για διάφορα υδρόβια είδη έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη της καλλιέργειας τους.

Τα βακτήρια είναι πλούσια πηγή ολικής πρωτεΐνης (>80%), μπορούν να πολλαπλασιαστούν εύκολα και γρήγορα σε μεγάλη κλίμακα, βοηθούν το ανοσοποιητικό σύστημα καθώς μπορούν να αντιμετωπίσουν παθογόνους μικροοργανισμούς και βελτιώνουν την πέψη προφέροντας απαραίτητα μικροθρεπτικά για την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών όπως απαραίτητα αμινοξέα, λιπαρά οξέα και βιταμίνες (Jones et al. 2020).

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα βακτήρια μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως ή μερικώς τα παραδοσιακά συστατικά των ιχθυοτροφών ή να χρησιμοποιηθούν ως προσθετά συστατικά. Ειδικότερα, για τα είδη *Salmo salar* (Marit Berge et al. 2005) και *Seriola quinqueradiata* (Biswas et al. 2020) έλαβε χώρα επιτυχής αντικατάσταση ιχθυάλευρου σε ποσοστό 60% από βακτηριακό άλευρο.

Επιπλέον, η ομάδα μυκήτων με τη μεγαλύτερη χρήση ως συστατικό ιχθυοτροφών ή ως πρόσθετο συστατικό είναι οι Βασιδιομύκητες, καθώς το σώμα τους περιέχει πρωτεΐνη (18-25%) (Aremu et al. 2009) και υδατάνθρακες (50-70%) (Dulay

et al. 2014) γεγονός που τους καθιστά οικονομική πηγή πρωτεΐνης στις υδατοκαλλιέργειες.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα είδη *Oncorhynchus mykiss* (Manayi et al. 2016, Pascual et al. 2017), *Cyprinus carpio* (Khodadadian Zou et al. 2016, Yin et al. 2009) και *Oreochromis niloticus* (Iwashita et al. 2015, Sutthi et al. 2018) είναι τα περισσότερο μελετημένα για αντικατάσταση των συστατικών της τροφής τους από άλευρο μυκήτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση μυκήτων στην ιχθυοτροφή τους βελτίωσε την ανοσία τους και συνέβαλλε θετικά στην ανάπτυξη τους.

4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΕΙΦΟΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΙΧΘΕΛΑΙΟΥ

4.1. ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΕΛΑΙΑ

Τα ζωικά λίπη χερσαίας προέλευσης είναι συχνά υποπροϊόντα από τη βιομηχανία αγροδιατροφής και θα μπορούσαν να είναι πολύτιμες πηγές λιπιδίων για τις ιχθυοτροφές. Σύμφωνα με την επιστημονική κοινότητα και την βιομηχανία των υδατοκαλλιεργειών τα χερσαία λίπη θα μπορούσαν να είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση έναντι στη χρήση ιχθυελαίου σε τροφές ψαριών. Αν και η χρήση φυτικών ελαίων (VO) σε ιχθυοτροφές έχει μελετηθεί αρκετά, η χρήση των χερσαίων ζωικών λιπών έχει διερευνηθεί ελάχιστα (Emery et al. 2016).

Τα τετηγμένα ζωικά λίπη είναι πλούσια σε κορεσμένα λιπαρά οξέα, που κυμαίνονται από 28,5% στο λίπος των πουλερικών και φτάνει το 47,5% στο ζωικό λίπος. Ωστόσο τόσο το λίπος των πουλερικών όσο και των χερσαίων θηλαστικών έχουν περιορισμένη περιεκτικότητα πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA). Πιο συγκεκριμένα το βοδινό λίπος έχει <4% PUFA και των πουλερικών περίπου 20%. Όσον αφορά τα πολύτιμα EPA και DHA, τα οποία είναι πλούσια στο ιχθυέλαιο και είναι ζωτικής σημασίας καθώς είναι απαραίτητα για την υγεία των ψαριών και προσφέρουν υψηλή θρεπτική αξία στους καταναλωτές, στα χερσαία ζωικά λίπη είναι ελάχιστα (Turchini et al. 2009).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αντικατάσταση του ιχθυελαίου από χερσαία ζωικά έλαια παρουσίασε ποικίλα αποτελέσματα. Ειδικότερα, αντικατάσταση 50% του ιχθυελαίου από μείγμα τετηγμένου λίπους (πουλερικών, βοδινού και χοιρινού) δεν επηρέασε την απόδοση της ανάπτυξης στην ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) (Trushenski et al. 2011). Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα, στο είδος *Diplodus puntazzo* όταν το ιχθυέλαιο αντικαταστάθηκε κατά 75% από χοιρινό λίπος (Nogales-Merida et al. 2011) και στο είδος *Anoplopoma fimbria* όταν αντικαταστάθηκε στην ίδια ποσότητα από λίπος πουλερικών (Friesen et al. 2013).

Ωστόσο, σε έρευνα των Turchini et al. (2013) αντικατάσταση 75% ιχθυελαίου από λίπος πουλερικών οδήγησε σε μείωση της απόδοσης της ανάπτυξης στην ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*). Παράλληλα, πλήρη αντικατάσταση ιχθυελαίου από μείγμα λίπους βοδινών, λινολενικού οξέος και ελαίου από καλαμπόκι στην τσίπουρα (*Sparus aurata*), μείωσε σημαντικά την ανάπτυξη των ψαριών καθώς και τα απαραίτητα EPA και DHA (Perez et al. 2014).

Τέλος σε έρευνα για το ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*), όπου διεξήχθη αντικατάσταση ιχθυελαίου από μείγμα χερσαίου ζωικού ελαίου (πουλερικών, βοδινών και χοίρων) σε ποσοστά 50, 75 και 100% παρατηρήθηκε ότι αντικατάσταση έως και 75% δεν επηρέασε την ανάπτυξη των ψαριών και την πεπτικότητα της τροφής, ενώ τα επίπεδα των EPA και DHA διατηρήθηκαν υψηλά (Monteiro et al. 2018).

4.1.1. Πηγή ελαίου από έντομα

Τα έντομα όπως είναι γνωστό αποτελούν μια από τις πλέον υποσχόμενες πηγές αντικατάστασης του ιχθυάλευρου καθώς είναι καλή πηγή πρωτεΐνης. Ωστόσο η περιεκτικότητά τους σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είναι ιδιαίτερα χαμηλή σε σχέση με το ιχθυέλαιο. Τα έντομα συσσωρεύουν λίπος στο σώμα τους, κυρίως στα εμβρυικά τους στάδια (Sanchez-Muros et al. 2014). Η περιεκτικότητά τους σε λίπος μπορεί να διαφέρει σημαντικά τόσο μεταξύ των ειδών όσο και μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους (van Huis 2020). Αξίζει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητά των λιπαρών οξέων επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους όπως το στάδιο ανάπτυξης του εντόμου, την τροφή του, τις συνθήκες καλλιέργειας και το στάδιο συγκομιδής (Barros-Cordeiro et al. 2014, Barroso et al. 2019)

Συγκριτικά, με το ιχθυέλαιο το έλαιο εντομών παρουσιάζει πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις στα ω-3 PUFA, ενώ έχει υψηλές συγκεντρώσεις σε κορεσμένα λιπαρά οξέα (Makkar et al. 2014). Τρία είδη εντομών το *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor* και *Musca domestica* παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε ακόρεστα λιπαρά οξέα που κυμαίνεται στα 60-70%, ενώ οι προνύμφες του είδους *Hermetia illucens* παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις 19-37% (Casco et al. 2020, van Huis 2020).

Τα παραπάνω είδη η συγκέντρωση σε PUFA είναι υψηλή αλλά πολύ χαμηλότερη στα απαραίτητα EPA και DHA σε σχέση με το ιχθυέλαιο (Casco et al. 2020, van Huis 2020). Η έλλειψη σε EPA και DHA περιορίζει τη χρήση τους σε ιχθυοτροφές ως πηγή ελαίου και για τον λόγο αυτόν ενδείκνυται η χρήση απολιπασμένων παρά πλήρους λιπαρών εντομαλεύρων (Henry et al. 2015).

4.2. ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΕΛΑΙΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες η προσπάθεια αντικατάστασης του ιχθυελαίου από άλλες πηγές φυτικών ελαίων (VO) έχει προσφέρει θετικά αποτελέσματα και έχει

βελτίωση την οικονομικότητα και την περιβαλλοντική αειφορία του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών. Σε αντίθεση με την παραγωγή ιχθυελαίου, η οποία παραμένει στατική, η παραγωγή φυτικών ελαίων (VO) έχει αυξηθεί σημαντικά. Η πιο γρήγορη αύξηση της παραγωγής έχει παρατηρηθεί στο φοινικέλαιο, σογιέλαιο και έλαιο ελαιοκάμβης, με τις τιμές τους να παραμένουν χαμηλότερες σε σχέση με το ιχθυέλαιο. Για το λόγο αυτό αυτά τα τρία κύρια VO χρησιμοποιούνται ευρέως ως εναλλακτικές πιο βιώσιμες πηγές ιχθυελαίου σε σιτηρέσια ψαριών (Alhazzaa et al. 2018). Μια άλλη πηγή που χρησιμοποιείται σε μικρότερες ποσότητες είναι το λινέλαιο λόγω του ότι περιέχει υψηλά ποσοστά λινολενικού οξέος.

Τα VO παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα, τα οποία θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν την ενεργειακή ανάγκη των ψαριών. Ωστόσο υστερούν σε PUFA και ειδικότερα στα απαραίτητα EPA και DHA, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την φυσιολογία και την ανάπτυξη των ιχθύων. Μερικώς θα ήταν δυνατή η αντικατάσταση του ιχθυελαίου με VO, όταν τα λιπαρά οξέα που θα εμπεριέχονται στην τροφή θα είναι σε επαρκή ποσότητα για την κάλυψη των αναγκών των ψαριών.

Πρόσφατα υπήρξε ενδιαφέρον για τη χρήση γενετικά τροποποιημένων προϊόντων σε ιχθυοτροφές (Osmond & Colombo 2019). Συγκεκριμένα, ο ελαιούχος καρπός *Camelina sativa* σε μια από τις διαγονιδιακές του μορφές παράγει EPA και DHA σε επίπεδα συγκρίσιμα με του ιχθυελαίου (Napier et al. 2015). Το γενετικά τροποποιημένο έλαιο από *Camelina sativa* έχει δοκιμαστεί ως πηγή λιπιδίων στη διατροφή τόσο του σολομού του Ατλαντικού (*Salmo salar*) (Betancor et al. 2017), όσο και στην τσιπούρα (*Sparus aurata*) (Betancor et al. 2016).

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση VO σε αντικατάσταση του ιχθυελαίου σε ποσοστό >50% για πολλά είδη ψαριών ή και 100% στην περίπτωση του σολομού δεν επηρέασε την ανάπτυξη των ψαριών αλλά επηρέασε αρνητικά την σύνθεση των λιπαρών οξέων στους ιστούς και το μεταβολισμό (Pratoomyot et al. 2008, Petropoulos et al. 2009).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, για τα είδη *Epinephelus coioides* (Lin et al. 2007) και *Cromileptes altiveris* (Shapawi et al. 2008), μερική ή ολική αντικατάσταση ιχθυελαίου με VO φαίνεται να ικανοποίησε τις ενεργειακές τους απαιτήσεις αλλά μείωσε τα ω-3 PUFA στον ιστό τους. Παράλληλα σε έρευνα των Trushenski et al.

(2011) σε νεαρά άτομα του είδους *Rachycentron canadum* έγινε αντικατάσταση 33% ιχθυελαίου από σογιέλαιο για 6 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση της ανάπτυξης δεν επηρεάστηκε, ωστόσο οι απαιτήσεις στα απαραίτητα PUFA δεν ικανοποιήθηκαν πλήρως.

Το σογιέλαιο φαίνεται να είναι η καλύτερη φυτική πηγή λιπιδίων για την τσιπούρα (*Sparus aurata*), με σημαντική εξοικονόμηση στο κόστος των ιχθυοτροφών να επιτυγχάνεται εάν χρησιμοποιούνται ως μερικώς υποκατάστατο του ιχθυελαίου σε ιχθυοτροφές. Το ίδιο ισχύει και για το λινέλαιο και το κραμβέλαιο, αλλά σε μικρότερες ποσότητες (El-Kerdawy & Salama 1997, Wassef et al. 2009). Υψηλά επίπεδα αντικατάστασης του ιχθυελαίου με VO >80% στην τσιπούρα, μπορεί να οδηγήσει σε αξιοσημείωτα μειωμένη απόδοση στην ανάπτυξη της (Montero et al. 2003).

Η χρήση φοινικέλαιου στην διατροφή του σολομού του Ατλαντικού (*Salmo salar*) και της ιριδίζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) έδωσε παρόμοια αποτελέσματα στην ανάπτυξη τους σε σχέση με διατροφή, η οποία περιέχει ισοδύναμα επίπεδα ιχθυελαίου (Rosenlund 2001, Caballero et al. 2002).

4.2.1. Πηγή ελαίου από μικροφύκη

Τα έλαια από μικροφύκη εμφανιστήκαν πρόσφατα ως εναλλακτική λύση του ιχθυελαίου σε διάφορα είδη ψαριών εκτροφής. Τα θαλάσσια μικροφύκη αποτελούν μια φυσική πηγή λιπαρών οξέων, συμπεριλαμβανομένων των EPA και DHA, τα οποία μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε σκευάσματα ιχθυοτροφών και να συμβάλλουν στην οικονομική βιωσιμότητα των υδατοκαλλιεργειών (Tocher et al. 2019). Η χρήση ελαίου από μικροφύκη περιέχει τόσο EPA όσο και DHA σε ποσοστά παρόμοια με αυτά του ιχθυελαίου (Santigosa et al. 2020). Επιπλέον, η χρήση προϊόντων μικροφυκών μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο επιμόλυνσης των φιλέτων από πολυχλωριομένα διφαινύλια και διοξίνες (Wallberg et al. 2001, Zhang et al. 2011).

Σε έρευνα των Santigosa et al. (2021) στην τσιπούρα (*Sparus aurata*), η οποία ταΐστηκε με ιχθυοτροφή χωρίς ιχθυέλαιο αλλά με πηγή EPA και DHA από μικροφύκη σε ποσοστό 3,5% απέδωσε το ίδιο αναπτυξιακό προφίλ σε σχέση με ιχθυοτροφή η οποία περιείχε 13,79% ιχθυέλαιο. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε ιριδίζουσα πέστροφα (*Oncorhynchus mykiss*) της οποίας η διατροφή περιείχε εμπλουτισμένο έλαιο από μικροφύκη, διαπιστώθηκε ότι τα ποσοστά περιεκτικότητα

σε EPA και DHA ήταν παροιμία με πέστροφες των οποίων η διατροφή περιέχει ιχθυέλαιο (Santigosa et al. 2020). Τέλος σε μελέτες για το είδος *Salmo salar* η αντικατάσταση του ιχθυελαίου ή άλλων φυτικών ελαίων από έλαιο μικροφύκων επέφερε θετικά αποτελέσματα για τα εκτρεφόμενα ψάρια (Kiron et al. 2012, Miller et al. 2007).

5. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Η απώλεια και η σπατάλη τροφίμων υπολογίζεται σε 1,3 δισεκατομμύρια τόνους ανά έτος παγκοσμίως (Hua et al. 2019). Ως απόβλητα τροφίμων ορίζονται τα απορριπτόμενα τρόφιμα που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση (Mo et al. 2018). Δεδομένου ότι τα απόβλητα τροφίμων μπορούν να δημιουργηθούν από διαφορές πηγές, η θρεπτική τους σύνθεση ποικίλλει σημαντικά. Ειδικότερα, τα ολικά λίπη μπορεί να κυμαίνονται από 7-12%, οι υδατάνθρακες από 52-68%, ενώ η ολική πρωτεΐνη από 3-38% (Sayaki et al. 2001).

Τα υπολείμματα τροφίμων έχουν χρησιμοποιηθεί από ορισμένες χώρες (π.χ. Κίνα) σε συστήματα πολυκαλλιέργειας γλυκού νερού, άλλα δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στην υδατοκαλλιέργεια (Mo et al. 2018). Η χρήση υπολειμμάτων τροφών στην ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να επηρεάσει την απόδοση της ανάπτυξης των ψαριών ανάλογα με το είδος που εκτρέφεται και τον τύπο του αποβλήτου τροφίμων που χρησιμοποιείται.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ιχθυοτροφές οι οποίες περιλαμβάνουν έως και 70% απόβλητα μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη ψαριών χαμηλού τροφικού επιπέδου, όπως *Cternopharyngodon idella*, *Hypophthalmichthys nobilis* και *Cirrhinus molitorella* (Mo et al. 2014, Cheng et al. 2016). Επιπλέον, αντικατάσταση ιχθυάλευρου και ιχθυέλαιου από απόβλητα σε ποσοστό 36,5% και 73% στο υβριδικό είδος *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* οδήγησε σε μικρή αύξηση του βάρους των ψαριών (Hsieh et al. 2010). Παράλληλα σε ερευνά για το είδος *Epinephelus coioides* συμπερίληψη 20% απόβλητων στην τροφή του, οδήγησε σε αύξηση της ανάπτυξης, ενώ όταν τα ποσοστά ανέβηκαν στο 30% ή 40% η απόδοση της ανάπτυξης μειώθηκε (Hsieh et al. 2010).

Σε γενικές γραμμές η χρήση απόβλητων στις ιχθυοτροφές ελλοχεύει κινδύνους, καθώς τα απόβλητα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και είναι ευπαθή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών παθογόνων μικροοργανισμών, με κίνδυνο την υγεία και την ασφάλεια των εκτρεφόμενων οργανισμών και κατ' επέκταση και των καταναλωτών (Mo et al. 2018, Duo et al. 2018).

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα προϊόντα υδατοκαλλιεργειών έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν μια πιο υγιεινή, βιώσιμη διατροφή για τους καταναλωτές και να συμβάλλουν θετικά στην επισιτιστική ασφάλεια των πολιτών. Ωστόσο, η παραγωγή θαλάσσιων εκτρεφόμενων ειδών αντιμετωπίζει ιδιαίτερες πιέσεις, εξαιτίας της αυξημένης τους ζήτησης, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να επιτευχθούν οι βιώσιμες συστάσεις για την κατανάλωση ψαριών σε όλο τον κόσμο.

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που έχει να αντιμετωπίσει ο τομέας των υδατοκαλλιεργειών είναι η παραγωγή ιχθυοτροφών. Για την αντιμετώπιση του παραπάνω φαινομένου είναι άμεση η ανάγκη για χρήση νέων συστατικών τα οποία θα είναι περισσότερο βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον. Στο πλαίσιο της αναζήτησης νέων πρώτων υλών για χρήση σε ιχθυοτροφές, η επιστημονική κοινότητα έχει δημοσιεύσει αρκετές έρευνες. Στην πλειοψηφία αυτών συμφωνούν ότι τα εναλλακτικά συστατικά πρέπει να πληρούν τα κριτήρια περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας, ενώ παράλληλα κατά τη χρήση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και τα παρακάτω κριτήρια:

- Οι νέες ιχθυοτροφές δεν θα πρέπει να στερούν από τον καταναλωτή τα οφέλη για την υγεία του.
- Οποιαδήποτε εναλλακτική ιχθυοτροφή πρέπει να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά.
- Να στερείται αντιδιατροφικών παραγόντων.
- Να είναι οικονομικά αποδοτική.
- Να μην υπόκεινται σε νομοθετικούς περιορισμούς.

Πολλές από τις νέες πηγές πρωτεΐνης και λιπιδίων προς αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων και των ιχθυελαίων, που συζητούνται στην παρούσα ανασκόπηση δεν είναι ακόμη διαθέσιμες για τη βιομηχανία των υδατοκαλλιεργειών και η άμεση χρήση τους στις ιχθυοτροφές περιορίζεται από διάφορους παράγοντες. Ορισμένες πηγές έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, απαραίτητα αμινοξέα και λιπίδια σε σύγκριση με τις απαιτήσεις των ψαριών, άλλες μπορεί να περιέχουν υψηλά ποσοστά τέφρας, αντιδιατροφικούς παράγοντες ή ανεπιθύμητα συστατικά που μπορεί να οδηγούν σε διαταραχές στην υγεία των εκτρεφόμενων ειδών.

Από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην προσθήκη εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης και λιπιδίων σε ιχθυοτροφές, αποτελεί η αποτελεσματικότητα της (χαμηλός συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής) και η πεπτικότητα της, με στόχο την αύξηση της παράγωγης. Όσων αφορά, την αποδοτικότητα μιας πηγής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, το είδος των ψαριών που εκτρέφονται, τις διατροφικές τους προτιμήσεις, δηλαδή τα φυτοφάγα ψάρια έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά σε σχέση με τα σαρκοφάγα, την προέλευση του ζωικού ή φυτικού οργανισμού από τον οποίο θα προέρχεται η εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης ή λιπαρών οξέων, καθώς και τις συνθήκες εκτροφής και επεξεργασίας τους. Δεδομένου αυτών των προκλήσεων, η τεχνολογική ανάπτυξη έρχεται να συμβάλλει θετικά στην αντιμετώπιση τους, με στόχο τη συνεχή παραγωγή υψηλής ποιότητας εναλλακτικών πρώτων υλών με βελτιωμένο διατροφικά προφίλ.

Συνοπτικά, πηγές πρωτεΐνης, όπως τα υποπροϊόντα ψαριών και το εντομάλευρο, είναι βιώσιμες και πολλά υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τα συμβατικά ιχθυάλευρα, ενώ τα μικροφύκη είναι πλούσια πηγή σε απαραίτητα λιπαρά οξέα EPA και DHA και μπορούν διατροφικά, τουλάχιστον, να αντικαταστήσουν το ιχθυέλαιο σε τροφές, ωστόσο απαιτείται ακόμη πιο λεπτομερής μελέτη για τα βέλτιστα επίπεδα συμπερίληψης του σε ιχθυοτροφές και φυσικά η μαζική παραγωγή τους σε εύλογο κόστος. Άλλες πρώτες ύλες, όπως τα υπολείμματα τροφών, θα πρέπει πρωτίστως να διασφαλιστεί η υγιεινή τους προτού καταστούν αποδεκτά στις ιχθυοτροφές.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, οι ιχθυοτροφές παρασκευάζονται με τη χρήση πολλών συστατικών και είναι απίθανο μια μοναδική πηγή πρωτεΐνης ή λιπιδίων να ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις των εκτρεφόμενων οργανισμών ή να αντικαταστήσει πλήρως τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια. Επιπλέον, η χρήση πολλαπλών πηγών επιτρέπει ευελιξία στις συνθέσεις των ιχθυοτροφών όταν οι τιμές των συστατικών κυμαίνονται, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η πιο οικονομικά βιώσιμη επιλογή.

Εν κατακλείδι, παραμένει επιτακτική η ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης και λιπιδίων με σκοπό να εντοπιστούν τα επιθυμητά επίπεδα αντικατάστασης του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου οδηγώντας

σε παραγωγή ιχθυοτροφών πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά, με μειωμένο κόστος και χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουλτσιάδου Ε, Αμπατζόπουλος Θ, Αντωνοπούλος Ε, Γκάνιας Κ, Γκέλης Σ, Σταΐκου Α, Τριανατφυλλίδης Α (2015) Υδατοκαλλιέργειες. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- ΕΛΟΠΥ (2021). Ετήσια Έκθεση Υδατοκαλλιέργειας.
- ΕΛΟΠΥ (2022). Ετήσια Έκθεση Υδατοκαλλιέργειας.
- ΕΛΣΤΑΤ (2020). Έρευνα Υδατοκαλλιεργειών 2020.
- Επιτροπή Ε (2021). Στρατηγικές κατευθυντήριες γραμμές για μια πιο βιώσιμη και ανταγωνιστική υδατοκαλλιέργεια στην ΕΕ για την περίοδο 2021 έως 2030.
- Ηνωμένα Έθνη, Πληροφοριακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ. (n.d.). Retrieved from www.unric.org
- Καραπαναγιωτίδης Ι (2018). Τεχνολογία Ιχθυοτροφών. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdelghany M, El-Sawy H, Abd El-Hameed S, Khames M, Abdel-Latif H, Naiel M, (2020). Effects of dietary *Nannochloropsis oculata* on growth performance, serum biochemical parameters, immune responses, and resistance against *Aeromonas veronii* challenge in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Fish. Shellfish Immunol., 107, p.p. 277-288
- Abdel-Warith A, Russell P, Davies S, (2001). Inclusion of a commercial poultry by-product meal as a protein replacement of fish meal in practical diets for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture Research 32: p.p. 296– 305.
- Abdul-Halim H, Aliyu-Paiko M, Hashim R, (2014). Partial replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets for snakehead, *Channa striata* (Bloch, 1793), fingerlings. Journal of the World Aquaculture Society 45: p.p. 233– 241.

- Abery N. W, Gunasekera R. M, & Silva S. D (2002) Growth and nutrient utilization of Murray cod *Maccullochella peelii* (Mitchell) fingerlings fed diets with varying levels of soybean meal and blood meal. *Aquaculture Research*, 33, p.p. 279– 289.
- Ai Q, Mai K, Tan B, Xu W, Duan Q, Ma H, Zhang L, (2006). Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. *Aquaculture*, 260, p.p. 255-263.
- Alegbeleye W, Obasa O, Olude O, Otubu K, Jimoh W, (2012). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings *Aquac Res*, 43 (3), p.p. 412-420.
- Alexis N, (1997). Fishmeal and fish oil replacers in Mediterranean marine fish diets. In: *Feeding Tomorrow's Fish. Proceedings of the Workshop of the CIHEAM Network on Technology of Aquaculture in the Mediterranean.* (ed. by A. Tacon & B. Barsureo), p.p. 183– 204.
- Alfico Y, Xie D, Astuti R, Wong J, Wang L, (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*, 7, p.p. 166-178.
- Alhazaa R, Nichols P, Carter G, (2018). Sustainable alternatives to dietary fish oil in tropical fish aquaculture. *Aquac.* (11), p.p. 1195-1218.
- Aliu B. S, & Ademiluyi A. G (2020) Substitution of fishmeal with blood meal in the diets of Clariid catfish *Heterobranchus bidorsalis* fingerlings. *African Journal of Agriculture and Food Science*, 3, p.p. 21– 28.
- Allan G. L, Parkinson S, Booth M. A, Stone D. A. J, Rowland S. J, Frances J, & Warner-Smith R (2000) Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, 186, p.p. 293– 310.
- Allen J, & Steedy A (2011). “Aquaculture: Challenges and Promise.” *Nature Education Knowledge*, p. 3 (10).
- Alves A, Paulino R, Pereira R, da Costa D, Rosa P, (2021). Nile tilapia fed insect meal: Growth and innate immune response in different times under lipopolysaccharide challenge. *Aquac Res*, 52, p.p. 529-540.

- Appelbaum S, Birkan V, Prilutzky A, (1996). Use of chicken meal as a substitute for fish meal in the diet of young eels. *Archiwum Rybactwa Polskiego* 4: p.p. 141– 145.
- Aremu O, Basu K, Gyar D, Goyal A, Bhowmik K, & Banik D, (2009). Proximate composition and functional properties of mushroom flours from *Ganoderma spp.*, *Omphalotus olearius* (DC.) sing. and *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Quél. sed in Nasarawa State, Nigeria. *Malaysian Journal of Nutrition*, 15(2), p.p. 233– 241.
- Arun J, Gopinath K, Sundar Rajan P, Felix V, Joselyn Monica M, Malolan R (2020). A conceptual review on microalgae biorefinery through thermochemical and biological pathways: bio-circular approach on carbon capture and wastewater treatment. *Bioresour. Technol. Rep.*, 11, Article 100477.
- Ateweberhan M (2018) Community based aquaculture in the western Indian Ocean: challenges and opportunities for developing sustainable coastal livelihoods. *Ecology and Society*, pp. 23(4), 17.
- Barros-Cordeiro K, Bao S, Pujol-Luz J, (2014). Intra-puparial development of the black soldier-fly, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science*, 14, p. 83.
- Barroso F, de Haro C, Sánchez-Muros M, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C, (2014) The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422-423, p.p. 193-201.
- Barroso F, Sanchez-Muros M, Rincon M, Rodriguez-Rodriguez M, Fabrikov D, Morote E, et al. (2019). Production of n-3-rich insects by bioaccumulation of fishery waste. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82, p. 103237.
- Barroso G, de Haro C, Sanchez-Muros J, Venega E, Martinez-Sanshez A, Perez-Banon C (2014) The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, pp. 422–423, p.p. 193–201.
- Barry T, (2004). Evaluation of the economic, social, and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (*Hermetia illucens*). University of North Texas, Denton, Texas.
- Betancor B, Li K, Sprague M, Bardal T, Sayanova O, Usher S, et al., (2017). An oil containing EPA and DHA from transgenic *Camelina sativa* to

replace marine fish oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Effects on intestinal transcriptome, histology, tissue fatty acid profiles and plasma biochemistry. PLoS One, 12(4).

- Betancor B, Sprague M, Montero D, Usher S, Sayanova O, Campbell J, et al., (2016). Replacement of marine fish oil with de novo omega-3 oils from transgenic *Camelina sativa* in feeds for Gilthead Sea bream (*Sparus aurata* L.). Lipids, 51(10), p.p. 1171– 1191.
- Bisen S, Debnath M, & Prasad G, (2012). Microbes: Concepts and applications. John Wiley & Sons.
- Biswas A, Takakuwa F, Yamada S, Matsuda A, Saville M, LeBlanc A, Silverman A, Sato N, & Tanaka H, (2020). Methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal as an alternative protein source for Japanese yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Aquaculture, 529, p.p. 735-700.
- Boyd E, D' Abramo R, Glencross B (2020) Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. Journal of the World Aquaculture Society, p.p. 51(3), 578–633.
- Britten G.L, Duarte C.M & Worm B, (2021). Recovery of assessed global fish stocks remains uncertain. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 118(31).
- Bureau P, Harris M, Bevan J, Simmons A, Azevedo A, Cho Y, (2000). Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. Aquaculture, 181, p.p. 281-291.
- Bureau P, Harris M., Cho Y, (1999). Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 180, p.p. 345-358.
- Burri L, Nunes A, (2016). Benefits of including krill meal in shrimp diets. World Aquacult., 47 (3), p.p. 19-23.
- Caballero J, Obach A, Rosenlund G, Montero D, Gisvold M, Izquierdo S, (2002). Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 214 (1-4), p.p. 253-271.
- Cabral M, Fernandes J, Campos D, Castro-Cunha M, Oliveira B, Cunha M et al., (2013). Replacement of fish meal by plant protein sources up to 75%

induces good growth performance without affecting flesh quality in on growing Senegalese sole. *Aquaculture* 380:130-138.

- Cao L. N (2015) Global food supply. China's aquaculture and the world's wild fisheries. *Science*, p. 347 (6218).
- Cardinaletti G, Randazzo B, Messina M, Zarantoniello M, Giorgini E, Zimbelli A et al. (2019). Effects of graded dietary inclusion level of full-fat *Hermetia illucens* prepupae meal in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 9 (5), p. 251.
- Cheng J, Hardy W, Usry L, (2003). Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion. *Aquaculture* 218(1): p.p.553-565.
- Cheng Y, Lo M, (2016). Investigation of the available technologies and their feasibility for the conversion of food waste into fish feed in Hong Kong. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23, p.p.7169–7177.
- Collins A, Øverland M, Skrede A, Drew D, (2013). Effect of plant protein sources on growth rate in salmonids: meta-analysis of dietary inclusion of soybean, pea and canola/rapeseed meals and protein concentrates. *Aquaculture* 400–401: p.p. 85- 100.
- Coutand M, Cyr M, Deydier E, Guilet R, Clastres P, (2008). Characteristics of industrial and laboratory meat and bone meal ashes and their potential applications. *J. Hazard. Mater.*, 150, p.p. 522-532.
- da Anunciação F, Ohs L, & Tsuzuki Y, (2020). Influence of food concentration and abiotic parameters on population density growth of the ciliated marine protozoan *Euplotes* sp. under controlled conditions. *Aquaculture Research*, 51(2), p.p. 523– 534.
- Daudaa Akeem Babatunde F (2019) Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, p.p. 81-88.
- Davies J, Gouveia A, Laporte J, Woodgate L, & Nates S, (2009). Nutrient digestibility profile of premium (category III grade) animal protein by-

products for temperate marine fish species (European sea bass, gilthead sea bream and turbot). *Aquaculture Research*, 40, p.p.1759– 1769.

- Davis A, Arnold C, (2000). Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 185: p.p. 291– 298.
- Dawood A, (2021). Nutritional immunity of fish intestines: Important insights for sustainable aquaculture *Rev Aquac*, 13 (1), p.p. 642-663
- Dawood M, Koshio S, (2020). Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture. *Rev Aquac*. 12(2): p.p. 987- 1002.
- Dawson R, Alam S, Watanabe O, Carroll M, Seaton J, (2018). Evaluation of poultry by-product meal as an alternative to fish meal in the diet of juvenile black sea bass reared in a recirculating aquaculture system. *North American Journal of Aquaculture* 80: p.p. 74– 87.
- De Francesco M, Parisi G, Pérez-Sánchez J, Gomez-Réqueni P, Medale F, Kaushik S et al., (2007). Effect of high-level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. *Aquaculture Nutrition* 13(5): p.p. 361-372.
- de Mello Júnior C, Shizuo Owatari M, Dias Schleder D, Angel Poli M, Ramon Rodrigues Gelsleichter Y, Postai M, Elize Krüger K, de Carvalho G, Priscila Pereira Silva B, Letícia Teixeira B, Leclercq G, Luiz Pedreira Mouriño J, & Alejandro Vinatea L, (2021). Identification and characterization of microorganisms potentially beneficial for intensive cultivation of *Penaeus vannamei* under biofloc conditions: Highlighting *Exiguobacterium acetylicum*. *Aquaculture Research*, 52(8), p.p. 3628– 3638.
- den Hartog A, & Sijtsma R, (2013). Sustainable feed ingredients. Paper presented at the 12th International Symposium of Australian Renderers Association “Rendering for Sustainability”, Victoria, Australia, p.p. 23–26.
- Ding G, Li S., Wang A, & Chen N (2020) Effect of chicken haemoglobin powder on growth, feed utilization, immunity and hematological index of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture and Fisheries*, 5, p.p. 187– 192.
- Duan J, Li R, Cheng D, Fan W, Zha X, Cheng T et al. (2010). SilkDB v2. 0: A platform for silkworm (*Bombyx mori*) genome biology. *Nucleic Acids Research*, 38, pp. D453-D456.

- Dulay R, Arenas C, Kalaw P, Reyes G, & Cabrera C, (2014). Proximate composition and functionality of the culinary-medicinal tiger sawgill mushroom, *Lentinus tigrinus* (higher Basidiomycetes), from the Philippines. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(1), p.p. 85–94.
- Duo Z, Toth D, Westendorf L, (2018). Food waste for livestock feeding: feasibility, safety, and sustainability implications. *Glob. Food Sec.* 17, p.p. 154–161.
- El-Kerdawy A, Salama A, (1997) Effect of dietary lipid sources on the growth and fatty acid composition of gilthead bream *Sparus aurata*, Feeding tomorrow's fish. *Cahiers Options Méditerranéennes* 22, p.p. 235-241.
- El-Sayed F, (1998). Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feeds. *Aquaculture Research* 29: p.p.275– 280.
- Emery J, Smullen R, Keast R, Turchini G, (2016). Viability of tallow inclusion in Atlantic salmon diet, as assessed by an on-farm grow out trial. *Aquaculture*, 451, p.p. 289-297.
- Engin K., Carter C.G (2005) Fish meal replacement by plant and animal by-products in diets for the Australian short-finned eel, *Anguilla australis australis* (Richardson). *Aquac. Res.*, 36, p.p. 445-454.
- European Commission (2013). Commission Regulation (EU) No. 56/2013. *Official Journal of the European Union*, L21, p.p. 3–16.
- European Commission (2017) Commission Regulation (EU) 2017/893. *Official Journal of the European Union*, L138, p.p. 92–116.
- Fabrikov D, Vargas-García M, Barroso F, Sánchez-Muros M, Cacua Ortiz S, Morales A, et al. (2021). Effect on intermediary metabolism and digestive parameters of the high substitution of fishmeal with insect meal in *Sparus aurata* feed. *Insects*, 12 (11), p. 965.
- Fadl S, ElGohary M, Elsadany A, Gad D, Hanaa F, El-Habashi N, (2017). Contribution of microalgae-enriched fodder for the Nile tilapia to growth and resistance to infection with *Aeromonas hydrophila*. *Algal Res.*, 27, p.p. 82-88.

- Faisal I. H (2018) Sustainable Aquaculture. (Chettiyappan Visvanathan, Ed.) SPRINGER.
- FAO (2018) The State of World Fisheries and Aquaculture. Meeting the Sustainable Development Goals.
- FAO (2020) The State of World Fisheries And Aquaculture.
- Fawole F, Adeoye A, Tihamiyu L, Ajala K, Obadara S, Ganiyu I (2020). Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): effects on growth, nutrient utilization, haematophysiological response, and oxidative stress biomarker. *Aquaculture*, 518, p.p. 734-849.
- Feedipedia :Animal feed resources information system. (n.d.). Retrieved from www.feedipedia.org
- Fowler G, (1981). Effects of lipid and amino acid supplementation in chinook salmon diets containing poultry by-product meal. *Abernathy salmon cultural development center, Technology Transfer Series*, 12, p.p. 3-81.
- Freccia A, Tubin J, Rombenso A, Emerenciano M. (2020). Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly Approach or Commercial Reality? In *Emerging Technologies and Research for Eco-Friendly Aquaculture*; Lu, Q., Serajuddin, M., Eds.; IntechOpen: London, UK, 1–14.
- Friesen E, Balfry S, Skura B, Ikonomou M, Higgs D, (2013). Evaluation of poultry fat and blends of poultry fat with cold-pressed flaxseed oil as supplemental dietary lipid sources for juvenile sablefish (*Anoplopoma fimbria*). *Aquac. Res.*, 44 (2), p.p. 300-316.
- Froehlich J, Sand Jacobsen N, Essington E, Clavelle T, Halpem S (2018) Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nat. Sustain.*, pp. 1, p.p. 298-303.
- Gallagher L & Degani G, (1988). Poultry meal and poultry oil as sources of protein and lipid in the diet of European eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture* 73, p.p. 177– 187.
- García-Romero J, Ginés R, Izquierdo M, Robaina L, (2014). Marine and freshwater crab meals in diets for red porgy (*Pagrus pagrus*): Effect on fillet

fatty acid profile and flesh quality parameters. *Aquaculture*. 420–421: p.p. 231–239.

- Garza De Yta A, Davis A, Rouse B, Ghanawi J, Saoud P ,(2012). Evaluation of practical diets containing various terrestrial protein sources on survival and growth parameters of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*, 43: p.p. 84– 90.
- Gasco L, Gai F, Maricchiolo G, Genovese L, Ragonese S, Bottari T, et al. (2018). Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. In: Gasco L, Gai F, Maricchiolo G, Genovese L, Ragonese S, Bottari T, et al., editors. *Feeds for the Aquaculture Sector: Current Situation and Alternative Sources*, Cham: Springer International Publishing, p.p. 1–28.
- Gasco L, Acuti G, Bani P, Dalle Zotte A, Danieli P, De Angelis A, et al. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition *Italian J Anim Sci*, 19, p.p. 360-372.
- Gasco L, Biancarosa I, Liland N, (2020). From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 23, p.p. 67-79.
- Gaylord T. G, Rawles S. D, & Gatlin D. M, (2004) Amino acid availability from animal, blended, and plant feedstuffs for hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). *Aquaculture Nutrition*, 10, p.p. 345– 352.
- Globenewswire, 2021. Microalgae-Based Products Market Forecast to 2028. <https://www.globenewswire.com/>
- Goda A.M., El-Haroun E.R, Kabir Chowdhury M.A (2007) Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks. *Aquac. Res.*, 38, p.p. 279-287.
- Goddard S., Al-Shagaa G, Ali A (2008) Fisheries by-catch and processing waste meals as ingredients in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquac. Res.*, 39, p.p. 518-525.
- González-Rodríguez Á, Celada D, Carral M, Sáez-Royuela M, García V, Fuertes B, (2016). Evaluation of poultry by-product meal as partial replacement of fish meal in practical diets for juvenile tench (*Tinca tinca* L.). *Aquaculture Research* 47: p.p. 1612– 1621.

- Gunben EM, Senoo S, Yong A, Shapawi R, (2014). High potential of poultry by-product meal as a main protein source in the formulated feeds for a commonly cultured grouper in Malaysia (*Epinephelus fuscoguttatus*). Sains Malaysiana 43: p.p. 399– 405.
- Hall S.J (2011) Blue frontiers: managing the environmental costs of aquaculture. The WorldFish Center, Malaysia, p.p. 80.
- Hansen C, Rosenlund G, Karlsen Ø, Koppe W, Hemre I, (2007). Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) I- Effects on growth and protein retention. Aquaculture 272(1): p.p. 599-611.
- Hardy R, (2000). New developments in aquatic feed ingredients, and potential of enzyme supplements. Av. En. Nutr. Acuicola.
- Hardy W, (2010). REVIEW ARTICLE: Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquaculture Research 41, p.p. 770-776.
- Hasan M, Akand A, Siddiqua A, (1993). Studies on poultry offal meal and silk worm pupae meal as dietary protein sources for Indian major carp, Catla catla (Hamilton). Bangladesh Journal of Training and Development 6: 55– 66.
- Hasan M, Das P, (1993). A preliminary study on the use of poultry offal meal as dietary protein source for the fingerling of Indian major carp Labeo rohita (Hamilton). Fish nutrition in practice: 4th international symposium on fish nutrition and feeding. Biarritz, France. p.p. 793– 801.
- Henry M, Gasco L, Piccolo G, Fountoulaki E, (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. Anim Feed Sci Technol, 203, p.p. 1-22.
- Hernández C, Hardy R, Contreras-Rojas D, López-Molina B, González-Rodríguez B, Domínguez-Jimenez P (2014) Evaluation of tuna by-product meal as a protein source in feeds for juvenile spotted rose snapper *Lutjanus guttatus*. Aquac. Nutr., 20, p.p. 574-582.
- Hernández C, Olvera-Novoa M, Hardy R, Hermosillo A, Reyes C, González B, (2010). Complete replacement of fish meal by porcine and poultry by-product meals in practical diets for fingerling Nile tilapia *Oreochromis*

niloticus: digestibility and growth performance. *Aquaculture Nutrition* 16: p.p. 44– 53.

- Hernández C, Osuna-Osuna L, Benitez-Hernandez A, Sanchez-Gutierrez Y, González-Rodríguez B, Dominguez-Jimenez P, (2014). Replacement of fish meal by poultry by-product meal, food grade, in diets for juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*). *Latin American Journal of Aquatic Research* 42: p.p. 111– 120.
- Hessler Frelinckx J (2019). Behavioural study of the house cricket (*Acheta domestica*). Swedish University of Agricultural Science, Uppsala.
- Heuzé V, Tran G, Kaushik S (2015) Fish meal Feedipedia animal feed resources information system.
- Hodar A, Vasava R, Mahavadiya D, Josh N, (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. *J. Exp. Zool. India* Vol. 23, No. 1, p.p.13-21.
- Hsieh J, (2010). Effects of Fish Meal Replacement by Kitchen Waste on the Growth and Body Composition of Tilapia (*Oreochromis nilotica* x *Oreochromis aurea*), Giant Grouper (*Epinephelus lanceolatus*) and Orange-Spotted Grouper (*Epinephelus coioides*), Masters thesis (National Taiwan Ocean University).
- Hua K, Cobcroft J, Cola A (2019) The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, pp. 1(3): p.p.316-329.
- Hunter B.J, Allan G.L, Roberts D.C.K (2000) Meat meal replacement in diets for silver perch, *Bidyanus bidyanus*: effect on growth, protein and lipid composition. *J. Appl. Aquac.*, 10, p.p. 51-68.
- Hunter M.C, Smith R.G, Schipanski M.E, Atwood L.W, and Mortensen D.A, (2017). Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience* 67, p.p. 386–391.
- Iwashita P, Nakandakare B, Terhune S, Wood T, & Ranzani-Paiva T, (2015). Dietary supplementation with *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* enhance immunity and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* and *Streptococcus iniae* infection in juvenile

tilapia *Oreochromis niloticus*. Fish & Shellfish Immunology, 43(1), p.p. 60–66.

- Jackson A, Newton R.W (2016) Project to Model the Use of Fisheries By-product in the Production of Marine Ingredients with Special Reference to Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA. Institute of Aquaculture, University of Stirling & IFFO, the Marine Ingredients Organisation.
- Jędrejek D, Levic J, Wallace J, & Oleszek W (2016) Animal by-products for feed: Characteristics, European regulatory framework, and potential impacts on human and animal health and the environment. Journal of Animal and Feed Sciences, 25, p.p. 189– 202.
- Jeon G, Kim H, Myung S, Cho S (2014) The effect of the dietary substitution of fishmeal with tuna by-product meal on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquac. Nutr., 20, p.p. 753-761.
- Jones W, Karpol A, Friedman S, Maru T, & Tracy P, (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. Current Opinion in Biotechnology, 61, p.p. 189– 197.
- Kader M.A, Bulbul M, Yokoyama S, Ishikawa M, Koshio S, Hossain M.S, Ahmed G.U, Hossain M.A (2011) Evaluation of meat and bone meal as replacement for protein concentrate in the practical diet for sutchi catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage 1878), reared under pond condition. J. World Aquacult. Soc., 42, p.p. 287-296.
- Kaiser M. S (2002) Uncertainties & values European aquaculture: communication, management & policy issues in times of changing public perceptions. Aquaculture International, p.p. 10, 469–490.
- Karapanagiotidis I, Daskalopoulou E, Vogiatzis I, Rumbos C, Mente E, Athanassiou G, (2014). Substitution of fishmeal by fly *Hermetia illucens* prepupae meal in the diet of gilthead seabream (*Sparus aurata*). HydroMedit 2014. November 13-15. Volos. Greece.
- Karapanagiotidis I, Psoufakis P, Mente E, Malandrakis E, Golomazou E, (2019). Effect of fishmeal replacement by poultry by-product meal on growth performance, proximate composition, digestive enzyme activity,

haematological parameters and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition* 25: p.p. 3–14.

- Katiyar R, Arora A, (2020). Health promoting functional lipids from microalgae pool: a review. *Algal Res.*, 46, Article 101800.
- Kaushik J, Coves D, Dutto G, Blanc D, (2004). Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 230(1): p.p.391-404.
- Khatoon N, Sengupta P, Homechaudhuri S, & Pal R, (2010). Evaluation of algae based feed in goldfish (*Carassius auratus*) nutrition. *Proceedings of the Zoological Society*, 63(2), p.p. 109– 114.
- Khodadadian Zou H, Hoseinifar H, Kolangi Miandare H, & Hajimoradloo A, (2016). *Agaricus bisporus* powder improved cutaneous mucosal and serum immune parameters and up-regulated intestinal cytokines gene expression in common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *Fish & Shellfish Immunology*, 58, p.p. 380– 386.
- Kim H.S, Jung W.G, Myung S.H, Cho S.H, Kim D.S (2014) Substitution effects of fishmeal with tuna byproduct meal in the diet on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 431, p.p. 92-98.
- Kim K.D, Jang J.W, Kim K.W, Lee B.J, Hur S.W, Han H.S (2018) Tuna by-product meal as a dietary protein source replacing fishmeal in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Fish. Aquat. Sci.*, 21, p. 29.
- Kiron V, Phromkunthong W, Huntley E, Archibald I, De Scheemaker G, (2012). Marine microalgae from biorefinery as a potential feed protein source for Atlantic salmon, common carp and whiteleg shrimp. *Aquac. Nutr.* 18, p.p. 521–531.
- Kureshy N, Davis A, Arnold R, (2000). Partial replacement of fish meal with meat-and-bone meal, flash-dried poultry by-product meal, and enzyme-digested poultry by-product meal in practical diets for juvenile red drum. *N. Am. J. Aquac.*, 62, p.p. 266-272.
- Lee J, Choi I.C, Kim K.T, Cho S.H, Yoo J.Y (2012) Response of dietary substitution of fishmeal with various protein sources on growth, body

composition and blood chemistry of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*, Temminck & Schlegel, 1846). Fish Physiol. Biochem., 38, p.p. 735-744.

- Lewandowski I (2018) Bioeconomy. (I. Lewandowski, Ed.) Hohenheim, Stuttgart, Germany: Springer.
- Li K, Liu Q, Fang F, Luo R, Lu Q, Zhou W, Huo S, Cheng P, Liu J, Addy M, (2019). Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: a review. Bioresour. Technol., 291, Article 121934.
- Li S, Ji H, Zhang X, Zhou J, Yu H, (2017). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. Aquaculture, 477, p.p. 62-70.
- Lin H, Shiao Y, (2007). Effects of dietary blend of fish oil with corn oil on growth and non-specific immune responses of grouper, *Epinephelus malabaricus*. Aquaculture Nutrition 13: p.p.137– 144.
- Lu F, Haga Y, & Satoh S (2015) Effect of replacing fish meal with rendered animal protein and plant sources on growth response, biological indices, and amino acid availability for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fisheries Science, 81, p.p. 95– 105.
- Lund I, Dalsgaard J, Rasmussen T, Holm J, Jokumsen A, (2011). Replacement of fish meal with a matrix of organic plant proteins in organic trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed, and the effects on nutrient utilization and fish performance. Aquaculture 321(3): p.p. 259-266.
- Lupatsch, I, Kissil W, Sklan D, & Pfeffer E, (1997). Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their predictability in compound diets for gilthead seabream, *Sparus aurata* L. Aquaculture Nutrition, 3, p.p. 81– 89.
- Maiga H. A, Schingoethe D.J, Ellison-Henson J (1996) Ruminal degradation, amino acid composition and intestinal digestibility of the residual components of five protein supplements. J. Dairy Sci., 79 (9): p.p. 1647-1653.
- Makkar H, Tran G, Henze V, Ankers P, (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology, 197, p.p. 1-33.

- Malik A, Singh N, Satya S (2007). House fly (*Musca domestica*): A review of control strategies for a challenging pest. Journal of environmental science and health part B, 42, p.p. 453-469.
- Manayi A, Vazirian M, Zade H, & Tehranifard A, (2016). Immunomodulation effect of aqueous extract of the artist's conk medicinal mushroom, *Ganoderma applanatum* (Agaricomycetes), on the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). International Journal of Medicinal Mushrooms, 18(10), p.p. 927–933.
- Mapanao R, Jiwyam W, Nithikulworawong N, Weeplian T, (2021). Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as a fish meal replacement on growth performance, feed utilisation, morphological characters and carcass composition of Thai climbing perch (*Anabas testudineus*). J Appl Aquac., p.p. 1-15.
- Marit Berge G, Baeverfjord G, Skrede A, & Storebakken T, (2005). Bacterial protein grown on natural gas as protein source in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in saltwater. Aquaculture, 244(1), p.p. 233–240.
- Martínez-Córdova R, Martínez-Porchas M, Emerenciano C, Miranda-Baeza A, & Gollas-Galván T, (2017). From microbes to fish the next revolution in food production. Critical Reviews in Biotechnology, 37(3), p.p. 287–295.
- Martínez-Fernández E, Southgate P (2007). Use of tropical microalgae as food for larvae of the black-lip pearl oyster *Pinctada margaritifera*. Aquaculture, 263, p.p. 220-226.
- Martínez-Llorens S, Vidal A. T, Moñino A. V, Ader J. G, Torres M. P, & Cerdá M. J (2008) Blood and haemoglobin meals as protein sources in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*): Effects on growth, nutritive efficiency and fillet sensory differences. Aquaculture Research, 39, p.p. 1028–1037.
- Masson M, de Souza Tavares W, Alves J, Ferreira-Filho P, Barbosa L, Wilcken C, et al. (2020). Bioecological aspects of the common black field cricket, *Gryllus assimilis* (Orthoptera: Gryllidae) in the laboratory and in Eucalyptus (Myrtaceae) plantations. Journal of Orthoptera Research, 29, p. 83
- Maulu S, Langi S, Hasimuna O, Missinhoun D et al., (2022). Recent advances in the utilization of insects as an ingredient in aquafeeds: A review. Animal Nut., In Press.

- Maulu S, Hasimuna J, Haambiya H, Monde C, Musuka G, Makorwa H, et al. (2021). Climate Change Effects on Aquaculture Production: Sustainability Implications, Mitigation, and Adaptations Front Sustain Food Syst, 5.
- Mazlum Y, Turan F, Bircan Yıldırım Y, (2021). Evaluation of mealworms (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source for narrow-clawed crayfish (*Pontastacus leptodactylus*) juveniles. Aquac Res, 52, p.p. 4145-4153.
- Medina-Félix D, López-Elías J, Martínez-Córdova L, López-Torres M, Hernández-López J, Rivas-Vega M, Mendoza-Cano F, (2014). Evaluation of the productive and physiological responses of *Litopenaeus vannamei* infected with WSSV and fed diets enriched with *Dunaliella* sp. J. Invertebr. Pathol., 117, p.p. 9-12.
- Meeker L, Hamilton R (2006) An overview of the rendering industry. In: Essential rendering. Meeker (Ed.) National Renderers Association.
- Melenchón F, Larrán A, de Mercado E, Hidalgo M, Cardenete G, Barroso F, et al. (2021). Potential use of black soldier fly (*Hermetia illucens*) and mealworm (*Tenebrio molitor*) insectmeals in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquac Nutr, 27, p.p. 491-505
- Mélo R, Santos L, Brito A, Gouveia A, Marçal C, Cavalli R, (2016). Use of the microalga *Nannochloropsis oculata* in the rearing of newborn longsnout seahorse *Hippocampus reidi* (Syngnathidae) juveniles. Aquac. Res., 47, p.p. 3934-3941.
- Messina M, Bulfon C, Tibaldi E, Cardinaletti G, (2019). Intestinal morphology and innate immune status of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in response to diets including a blend of two marine microalgae, *Tisochrysis lutea* and *Tetraselmis suecica*. Aquaculture 500, p.p. 660-669.
- Millamena O.M (2002) Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides*. Aquaculture, 204, p.p. 75-84.
- Miller R, Nichols D, Carter G, (2007). Replacement of fish oil with thraustochytrid *Schizochytrium* sp. L oil in Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L) diets. Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol. 148, p.p.382–392.

- Monteiro M, Matos E, Ramos R, Campos I, Valente L, (2018). A blend of land animal fats can replace up to 75% fish oil without affecting growth and nutrient utilization of European seabass. *Aquaculture*, 487, p.p. 22-31.
- Montero D, Kalinowski T, Obach A, Robaina L, Tort L, Caballero J, (2003). Vegetable lipid sources for gilthead seabream (*Sparus aurata*): effects on fish health. *Aquaculture* 225 (1-4), p.p. 353-370.
- Mørkøre T, Moreno M, Borderías J, Larsson T, Hellberg H, Hatlen B, Romarheim O, Ruyter B, Lazado C, Jiménez-Guerrero R, Bjerke M, Benitez-Santa T, Krasnov A, (2020). Dietary inclusion of Antarctic krill meal during the finishing feed period improves health and fillet quality of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). *Br. J. Nutr.*, 124 (4), p.p. 1-40.
- Moutinho S, Martinez- Llorens S, Toma-Vidal A, Jover-Cerda M, Oliva-Teles A, Peres H (2017) Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization and economic efficiency. *Aquaculture Volume 468 Part 1* p.p.271-277.
- MoY, Bon Man Y, Hung Wong M, (2018). Use of food waster, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: needs and challenge. *Sci. Total Environ.* 613-614, p.p. 635–643.
- MoY, Cheng Z, Choi M, Man B, Liu Y, Wong H, (2014). Application of food waste based diets in polyculture of low trophic level fish: effects on fish growth, water quality and plankton density. *Mar. Pollut. Bull.* 85, p.p. 803–809.
- Nagappan S, Das P, Abdul Quadir M, Thaher M, Khan S, et al. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Jour. of Biotechnology*, Vol. 341, p.p.1-20.
- Napier A, Usher S, Haslam P, Ruiz-Lopez N, Sayanova O, (2015). Transgenic plants as a sustainable, terrestrial source of fish oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(9), p.p. 1317– 1324.
- Naylor R.L, Kishore A, Sumaila U.R, Issifu I, Hunter B.P, Belton B. et al. (2021). Blue food demand across geographic and temporal scales. *Nature Communications*, 12(1), p. 5413.

- Nengas I, Alexis N, Davies J, (1999). High inclusion levels of poultry meals and related byproducts in diets for gilthead seabream *Sparus aurata* L. Aquaculture 179: p.p. 13– 23.
- Niccolai A, Zittelli G, Rodolfi L, Biondi N, Tredici M, (2019). Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. Algal Res., 42, Article 101617.
- Nogales-Mérida S, Tomás-Vidal A, Cerdá M, Martínez-Llorens S, (2011). Growth performance, histological alterations and fatty acid profile in muscle and liver of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*) with partial replacement of fish oil by pork fat. Aquac. Int., 19 (5), p.p. 917-929.
- Nogales-Mérida P, Gobbi D, Józefiak J, Mazurkiewicz K, Dudek M, Rawski et al. (2019). Insect meals in fish nutrition. Reviews in Aquaculture, 11, p.p. 1080-1103.
- NRC (2010) Toward sustainable agricultural systems in the 21st century. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- NRC (2015) Critical role of animal sciences research in food security and sustainability. Washington, D.C: The National Academies Press.
- Oliva-Teles A, Enes P, Peres H, (2015). Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. Woodhead Publishing Series in food Science. Technology and Nutrition, p.p. 203-233.
- Olsen R, Suontama J, Langmyhr E, Mundheim H, Ringø E, Melle W, Malde M, Hemre G, (2006). The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquac. Nutr., 12, p.p. 280-290.
- Olsen R.L, Toppe J, Karunasagar I (2014) Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. Trends Food Sci. Technol., 36, p.p. 144-151.
- Osmond Y, Colombo M, (2019). The future of genetic engineering to provide essential dietary nutrients and improve growth performance in aquaculture: Advantages and challenges. Journal of the World Aquaculture Society, 50(3), p.p.490– 509.

- Panicz R, Żochowska-Kujawska J, Sadowski J, Sobczak M, (2017). Effect of feeding various levels of poultry by-product meal on the blood parameters, filet composition and structure of female tenches (*Tinca tinca*). *Aquaculture Research* 48: p.p. 5373– 5384.
- Parés-Sierra G, Durazo E, Ponce A, Badillo D, Correa-Reyes G, Viana T, (2014). Partial to total replacement of fishmeal by poultry by-product meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their effect on fatty acids from muscle tissue and the time required to retrieve the effect. *Aquaculture Research* 45: p.p. 1459– 1469.
- Pascual M, Hualde P, Bianchi A, Castro M, & Luquet M, (2017). Diet supplemented with *Grifola gargar* mushroom enhances growth, lipid content, and nutrient retention of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International*, 25(5), p.p. 1787– 1797.
- Pérez J, Rodríguez C, Bolaños A, Cejas J, Lorenzo A, (2014). Beef tallow as an alternative to fish oil in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles: effects on fish performance, tissue fatty acid composition, health and flesh nutritional value. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 116 (5), p.p. 571-583.
- Petropoulos K, Thompson D, Morgan A, Dick R, Tocher R, Bell G, (2009). Effects of substitution of dietary fish oil with a blend of vegetable oils on liver and peripheral blood leukocyte fatty acid composition, plasma prostaglandin E2 and immune parameters in three strains of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Nutr.* 15, p.p. 596-607.
- Piepenbrink M. S, Schingoethe D. J, Brouk M. J, Stegeman G. A (1998) Systems to evaluate the protein quality of diets fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.*, 81(4): p.p. 1046-1061.
- Pratoomyot J, Bendiksen Ú, Bell G, Tocher R (2008). Comparison of effects of vegetable oils blended with southern hemisphere fish oil and decontaminated northern hemisphere fish oil on growth performance, composition and gene expression in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 280, p.p. 170-178.
- Quartararo N, Allan G, Bell J, (1998). Replacement of fish meal in diets for Australian snapper, *Pagrus auratus*. *Aquaculture* 166: 279– 295.

- Rahimnejad S, Hu S, Song K, Wang L, Lu K, Wu R et al. (2019). Replacement of fish meal with defatted silkworm (*Bombyx mori* L.) pupae meal in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 510, p.p. 150-159.
- Randazzo B, Zarantoniello M, Cardinaletti G, Cerri R, Giorgini E et al. (2021). *Hermetia illucens* and poultry by-product meals as alternatives to plant protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) diet: A multidisciplinary study on fish cut status. *Animals*, 11, p. 677.
- Render (2017). European production stays on track. *RENDER, The International Magazine of Rendering*, August Issue, 12–13.
- Reyes M, Rodríguez M, Montes J, Barroso F, Fabrikov D, Morote E et al. (2020). Nutritional and growth effect of insect meal inclusion on seabass (*Dicentrarchus labrax*) feeds. *Fishes*, 5 (2), p.p. 1-12.
- Richardson J, Dantas-Lima M, Lefranc M, Walraven (2021). Effect of a Black Soldier Fly ingredient on the growth performance and disease resistance of Juvenile Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals*, 11 (5), p. 1450.
- Rizwan M, Mujtaba G, Memon S, Lee K, Rashid N, (2018). Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 92, p.p. 394-404.
- Robinson H, Li H, Manning E, (2001). *A Practical Guide to Nutrition, Feeds, and Feeding of Catfish*. Office of Agricultural Communications, Division of Agriculture, Forestry, Mississippi State University, Mississippi State, MS
- Rodiles A, Herrera M, Hachero-Cruzado I, Ruiz-Jarabo I, Mancera M, Cordero L et al., (2015). Tissue composition, blood biochemistry and histology of digestive organs in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles fed diets containing different plant protein ingredients. *Aquaculture nutrition* 21(6): p.p.767-779.
- Rosenlund G (2001). Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Research* 32(SUPPL. 1), p.p. 323-328.

- Rumbos C, Mente E, Karapanagiotidis I, Vlontzos G, Athanassiou C (2021). Insect-evaluation of different culture enclosures for *Musca domestica* larval production and their utilization in Greece. *Insects*, 12, p. 586.
- Rustad T, Storrø I, Slizyte R (2011) Possibilities for the utilisation of marine by-products. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 46, p.p. 2001-2014.
- Saleh R, Burri L, Benitez-Santana T, Turkmen S, Castro P, Izquierdo M, (2018). Dietary krill meal inclusion contributes to better growth performance of gilthead seabream juveniles. *Aquac. Res.*, 49 (10), p.p. 3289-3295.
- Salze G, McLean E, Battle R, Schwarz H, Craig R, (2010). Use of soy protein concentrate and novel ingredients in the total elimination of fish meal and fish oil in diets for juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture* 298 (3): p.p. 294-299.
- Sanchez-Muros M, Barroso F, Manzano-Agugliaro F, (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, p.p. 16-27.
- Santigosa E, Brambilla F, Milanese L, (2021). Microalgae oil as an effective alternative source of EPA and DHA for gilthead seabream (*Sparus aurata*) aquaculture. *Animals* 11(4), p. 971.
- Santigosa E, Constant D, Prudence D, Wahli T, Verlhac-Trichet V, (2020). A novel marine algal oil containing both EPA and DHA is an effective source of omega-3 fatty acids for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. World Aquac. Soc.* 51, p.p.649–665.
- Sarker P, Kapuscinski A, McKuin B, Fitzgerald D, Nash H, Greenwood C, (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Sci. Rep.*, 10, p.p. 1-14.
- Sato T, Kikuchi K (1997) Meat meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fish. Sci.*, 63, p.p. 877-880.
- Sayeki M, Kitagawa T, Matsumoto M, Nishiyama A, Miyoshi K, Mochizuki M, Takasu A, Abe A, (2001). Chemical composition and energy value of dried meal from food waste as feedstuff in swine and cattle. *Anim. Sci. J.* 72, p.p. 34–40.

- Shafique R, Abdel-Latif U, Hassan M, Alagawany E, Naiel O, Dawood et al. (2021). The feasibility of using yellow mealworms (*Tenebrio molitor*): Towards a sustainable aquafeed industry. *Animals*, 11 (3), p.p. 1-38
- Shapawi R, Mustafa S, Ng W-K, (2008). Effects of dietary fish oil replacement with vegetable oils on growth and tissue fatty acid composition of humpback grouper, *Cromileptes altivelis* (Valenciennes). *Aquaculture Research* 39: p.p.315– 323.
- Shapawi R, Ng K, Mustafa S, (2007). Replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. *Aquaculture* 273: p.p. 118– 126.
- Sharawy Z, Ashour M, Abbas E, Ashry O, Helal M, Nazmi H, Kelany M, Kamel A, Hassaan M, Rossi Jr. W, (2020). Effects of dietary marine microalgae, *Tetraselmis suecica*, on production, gene expression, protein markers and bacterial count of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquac. Res.*, 51, p.p. 2216-2228.
- Shimeno S, Masumoto T, Hujita T, Mima T, Ueno S (1993) Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi Bull.*, 59, p.p. 137-143.
- Shukla A, Kumar M, Gupta G, Pathak N, & Mishra V, (2019). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant and animal protein sources. *International Journal of Chemical Studies*, 7, p.p. 4732– 4739.
- Sicuro B, Gai F, Daprà F, Palmegiano B, (2012). Hybrid sturgeon ‘AL’ (*Acipenser naccarii* × *Acipenser baeri*) diets: the use of alternative plant protein sources. *Aquaculture Research* 43(2): p.p. 161-166.
- Stead M (2018). Rethinking marine resource governance for the United Nations Sustainable Development Goals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, pp. 34, p.p. 54-61.
- Steffens W. (1994). Replacing fish meal with poultry by-product meal in diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 124, p.p. 27– 34.
- Stenberg O, Holen E, Piemontese L, Liland N, Lock E, Espe M et al. (2019). Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induced gene response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leukocytes. *Fish Shellfish Immunol*, 91, p.p. 223-232.

- Stevens J.R, Newton R. W, Tlustý M, Little D.C (2018) The rise of aquaculture by-products: increasing food production, value, and sustainability through strategic utilization. *Mar. Policy*, 90, p.p. 115-124.
- Suárez A, Gaxiola G, Mendoza R, Cadavid S, Garcia G, Alanis G et al., (2009). Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture* 289(1): p.p. 118-123.
- Subsinghe R, Soto D, Jia J (2009) Global aquaculture and its role in sustainable development. Review in *Aquaculture*, pp. 1,2-9.
- Sugiura S, Babbitt J. K, & Hardy R. W (2000) Utilization of fish meal and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 31, p.p. 585–593.
- Suloma A, Mabroke S, El-Haroun R, (2013). Meat and bone meal as a potential source of phosphorus in plant-protein-based diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Int.*, 21, p.p. 375-385.
- Sutthi N, Wigraboorn S, & Supakankul P, (2018). Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplements on growth performance and blood chemical profiles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different stocking density. *Burapha Science Journal*, 23(2), p.p. 649– 668.
- Tacon G, Hasan R, Subasinghe P, (2006). Use of Fishery Resources as Feed Inputs to Aquaculture Development: Trends and Policy Implications. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Takagi S, Hosokawa H, Shimeno S, Ukawa M, (2000). Utilization of poultry by-product meal in a diet for red sea bream *Pagrus major*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries (Japan)* 66, p.p. 428– 438.
- Takagi T, Hosokawa H, Shimeno S & Ukawa M, (2000). Utilization of poultry by-product meal in a diet for red sea bream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 66, p.p. 428– 438.
- Takakuwa F, Sato H, Mineyama N, Yamada S, Biswas A, Tanaka H (2022) Bioavailability of porcine blood meal as a fish meal substitute in the diet for red sea bream (*Pagrus major*, Temminck & Schlegel) fingerling. *Aquaculture* 53, p.p. 4616-4626.

- Thakara K, Benitez-Santana T, Gunathilaka B, Kim M, Lee C, Lee K, (2020). Evaluation of Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal supplementation in diets for olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquac. Res.*, p.p. 1-12.
- Tibbetts S, Olsen R, Lall S, (2011). Effects of partial or total replacement of fish meal with freeze-dried krill (*Euphausia superba*) on growth and nutrient utilization of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed the same practical diet. *Aquac. Nutr.*, 17, p.p. 287-303.
- Tilami S, Turek J, Červený D, Lepič P, Kozák P, Burkina V et al. (2020). Insect meal as a partial replacement for fish meal in a formulated diet for perch *Perca fluviatilis*. *Turkish J. Fish. Aquat. Sci*, 20 (12), pp. 867-878.
- Tipayadara N, Dawood M, Krutmuang P, Hoseinifar S, Doan H, Paolucci M, (2021). Replacement of fish meal by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal: Effects on growth, haematology, and skin mucus immunity of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Animals*, 11 (1), p.p. 1-19,
- Tocher D, Betancor M, Sprague M, Olsen R, Napier J, (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11, p. 89.
- Tou J, Jaczynski J, Chen Y, (2007). Krill for human consumption: nutritional value and potential health benefits. *Nutr. Rev.*, 65 (2), p.p. 63-77.
- Trushenski J, Blaufuss P, Mulligan B, Laporte J, (2011). Growth performance and tissue fatty acid composition of rainbow trout reared on feeds containing fish oil or equal blends of fish oil and traditional or novel alternative lipids. *N. Am. J. Aquac.*, 73 (2), p.p. 194-203.
- Trushenski J, Schwarz M, Lewis H, Laporte J, Delbos B, Takeuchi R et al. (2011). Effect of replacing dietary fish oil with soybean oil on production performance and fillet lipid and fatty acid composition of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture Nutrition* 17: p.p. 437– 447.
- Turchini G, Mentasti T, Frøyland L, Orban E, Caprino F, Moretti V, Valfré F, (2003). Effects of alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta L.*). *Aquaculture*, 225 (1), p.p. 251-267.

- Turchini G, Torstensen B, Ng W, (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. *Rev. Aquac.*, 1 (1), p.p. 10-57.
- Twahirwa I, Wu C, Ye J, & Zhou Q (2020) The effect of dietary fish meal replacement with blood meal on growth performance, metabolic activities, antioxidant and innate immune response of fingerling black carp, *Mylopharyngodon piceus*. *Aquaculture Research*, 52, p.p. 702– 714.
- Valente M, Cabral M, Sousa V, Cunha M, Fernandes M, (2016). Plant protein blends in diets for Senegalese sole affect skeletal muscle growth, flesh texture and the expression of related genes. *Aquaculture* 453: p.p. 77-85.
- van Huis A, (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: A review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6, p.p. 27-44.
- Vandeweyer D, Wynants S, Crauwels S, Verreth C, Viaene N, Claes J et al. (2018). Microbial dynamics during industrial rearing, processing and storage of tropical house crickets (*Gryllobates sigillatus*) for human consumption. *Applied and Environmental Microbiology*, p. 84.
- Vizcaino A, Lopez G, Saez M, Jimenez J et al., (2014). Effects of the microalga *Scenedesmus alemeriensis* as fishmeal alternative in diets for gilthead sea bream, *Sparus aurata*, juveniles. *Aquaculture* 431: p.p. 34-43.
- Vizcaíno A, Rodiles A, López G, Sáez M, Herrera M, Hachero I, Martínez T, Cerón-García M, Alarcón F, (2018). Growth performance, body composition, and digestive functionality of Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858) juveniles fed diets including microalgae freeze-dried biomass. *Fish. Physiol. Biochem.*, 44, p.p. 661-677
- Wallberg P, Jonsson R, Andersson A, (2001). Trophic transfer and passive uptake of a polychlorinated biphenyl in experimental marine microbial communities. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, p.p. 2158–2164.
- Wan A, Davies S, Soler-Vila A, Fitzgerald R, Johnson M, (2019). Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. *Rev. Aquac.*, 11, p.p. 458-492.
- Wang G, Peng K, Hu J, Yi C, Chen X, Wu H, (2019). Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets. *Aquaculture*, 507, p.p. 144-154.

- Wang Y, Wang F, Ji X, Han H, Li P, (2015). Optimizing dietary protein sources for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) with an emphasis on using poultry by-product meal to substitute fish meal. *Aquaculture Research* 46: p.p. 874– 883.
- Wan-Mohtar I, Ibrahim M, Rasdi N, Zainorahim N, Taufer N, (2021). Microorganisms as a sustainable aquafeed ingredient: A review. *Aquaculture Research*, 53 (3), p.p. 746-766.
- Wassef A, Saleh E, El-Hady E, (2009). Vegetable oil blend as alternative lipid resources in diets for gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture International* 17(5), p.p. 421-435.
- Watson H, 2006. Poultry meal vs poultry by-product meal. *Dogs in Canada Magazine*
- Were W, Irungu F, Ngoda P, Affognon H, Ekesi S, Nakimbugwe D et al. (2021). Nutritional and microbial quality of extruded fish feeds containing black soldier fly (*Hermetia illucens* L) larvae meal as a replacement for fish meal for tilapia (*Oreochromis niloticus*) and catfish (*Clarias gariepinus*). *J Appl Aquac.*
- Xie D, Gong M, Wei W, Jin J, Wang X, Jin Q, (2019). Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 18 (2), p.p. 514-534.
- Yi X, Li J, Xu W, Zhou H, Smith AA, Zhang W, Mai K, (2015). Shrimp shell meal in diets for large yellow croaker *Larimichthys croceus*: Effects on growth, body composition, skin coloration and anti-oxidative capacity. *Aquaculture*. 441: p.p. 45–50.
- Yin G, Ardó L, Thompson D, Adams A, Jeney Z, & Jeney G, (2009). Chinese herbs (*Astragalus radix* and *Ganoderma lucidum*) enhance immune response of carp, *Cyprinus carpio*, and protection against *Aeromonas hydrophila*. *Fish & Shellfish Immunology*, 26(1), p.p. 140– 145.
- Ytrestøyl T, Aas T.S, Åsgård T (2015) Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture*, 448, p.p. 365-374.

- Yu H. R, Zhang Q, Cao H, Wang X. Z, Huang G. Q, Zhang B. R, Fan J. J, Liu S. W, Li W. Z, & Cui Y. (2013) Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile snakehead, *Ophiocephalus argus*. Aquaculture Nutrition, 19, p.p. 139– 147.
- Yu R, Zhang Q, Cao H, Wang Z, Huang Q, Zhang R, ... Cui Y, (2013). Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile snakehead, *Ophiocephalus argus*. Aquaculture Nutrition, 19, p.p. 139– 147.
- Zapata B, Lazo P, Herzka Z, Viana T, (2016). The effect of substituting fishmeal with poultry by-product meal in diets for *Totaba macdonaldi* juveniles. Aquaculture Research 47: p.p.1778– 1789.
- Zarantoniello M, Randazzo B, Truzzi C, Giorgini E, Marcellucci C, Vargas-Abu`ndez J, et al. (2019). A six-months study on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) based diets in zebrafish. Sci Rep, 13 (9), p. 8598.
- Zhang Q, Yang L, Wang W.-X, (2011). Bioaccumulation and trophic transfer of dioxins in marine copepods and fish. Environ. Pollut. 159, p.p. 3390–3397.
- Zhang S, Xie S, Zhu X, Lei W, Yang Y, Zhao M (2006) Meat and bone meal replacement in diets for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*): effects on growth performance, phosphorus and nitrogen loading. Aquac. Nutr., 12, pp. 353-362.
- Zhou Z, Ren Z, Zeng H, & Yao B, (2008). Apparent digestibility of various feedstuffs for bluntnose black bream *Megalobrama amblycephala* Yih. Aquaculture Nutrition, 14, p.p. 153– 165.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- www.iffa.com
- www.marin-trust.com

ABSTRACT

Aquaculture is the fastest growing food industry in the world, contributing almost 50% of global fish consumption. Currently farmed species are fed fish feeds based on fishmeal and fish oil derived from wild caught fish. However, the increased use of wild fish is an unsustainable practice. Therefore, it is necessary to produce fish feeds based on alternative, nutritionally suitable and sustainable sources of protein and lipids, in order to meet the nutritional requirements of farmed fish. The present study is a literature review presenting the up to date scientific knowledge upon the dietary alternative to fishmeal and fish oil fish feeds.

Keywords: aquaculture, fish feed, sustainability, fishmeal, fish oil