

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**«ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»**



**“Επίδραση της μερικής υποκατάστασης του διαιτητικού  
ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Zophobas morio*  
στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού της τσιπούρας  
(*Sparus aurata*)”**

**Νταλάκας Ιωάννης**

**ΒΟΛΟΣ 2021**

**«Επίδραση της μερικής υποκατάστασης του διαιτητικού ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Zophobas morio* στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού της τσιπούρας (*Sparus aurata*)»**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

**1) Ιωάννης Καραπαναγιωτίδης**, Αναπληρωτής Καθηγητής – Διατροφή Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.

**2) Ελένη Γκολομάζου**, Επίκουρη Καθηγήτρια – Προστασία - Ευζωία Ιχθύων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

**3) Χρίστος Ρούμπος**, Πανεπιστημιακός Μεταδιδακτορικός Υπότροφος (Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας – Διδάκτωρ Εντομολογίας, **Μέλος**.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα αυτής, κ. Ιωάννη Καραπαναγιωτίδη, για τη συνεχή βοήθεια, υποστήριξη και καθοδήγηση, που μου παρείχε, τόσο κατά τη διενέργεια του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της εργασίας, παρά τα σημαντικά εμπόδια που προκάλεσε η πανδημία στη λειτουργία των Πανεπιστημίων, όπως και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, αποτελούμενης από την κα. Ελένη Γκολομάζου και τον κ. Χρίστο Ρούμπο.

Ακόμη, θα επιθυμούσα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους υποψήφιους διδάκτορες κα. Αδαμαντία Ασημάκη και κ. Πιέρ Ψωφάκη που ήταν παρόντες σε όλη την πειραματική διαδικασία προσφέροντας μου πολύτιμες συμβουλές και μεγάλη βοήθεια. Επιπλέον, δεν γίνεται να μην ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου κα. Μαρία Καραϊσκού, κ. Αντώνιο Δελιόπουλο, κ. Χριστόφορο Θεοδώρου και κ. Νικόλαο Φιλιππάκη για την εξαιρετική συνεργασία μας στο περιβάλλον του Πανεπιστημίου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση, υπομονή και κατανόηση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ιχθυάλευρο αποτελεί την πρωταρχική πηγή πρωτεϊνών στη διατροφή των εκτρεφόμενων ιχθύων με αποτέλεσμα να γίνονται προσπάθειες εύρεσης εναλλακτικών και βιώσιμων πηγών, ώστε να ενταχθούν στα σιτηρέσια. Τα άλευρα εντόμων δεν είναι άμεσα διαθέσιμα σε ποσότητες που απαιτούνται από τη βιομηχανία, ωστόσο εμφανίζουν μεγάλη προοπτική, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε πρωτεΐνες. Παρόλα αυτά, η βιβλιογραφία αναφορικά με τη χορήγηση εντομαλεύρων στις ιχθυοτροφές είναι περιορισμένη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της μερικής υποκατάστασης του διαιτητικού ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Zophobas morio* στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού της τσιπούρας (*Sparus aurata*). Για τις ανάγκες της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 48 ιχθύδια τσιπούρας (12 άτομα ανά διατροφική ομάδα), τα οποία προήλθαν από διατροφικό πείραμα του είδους, διάρκειας 100 ημερών, όπου 4 διαφορετικές ομάδες ιχθύων διατράφηκαν με διαφορετικό σιτηρέσιο η κάθε μια. Η πρώτη ομάδα (FM) διατράφηκε με σιτηρέσιο-μάρτυρα, που περιείχε ιχθυάλευρο ως μοναδική πηγή ζωικής πρωτεΐνης. Οι υπόλοιπες ομάδες διατράφηκαν με σιτηρέσια στα οποία το ιχθυάλευρο υποκαταστάθηκε σταδιακά από απολιπασμένο άλευρο του *Z. morio* κατά 10%, 20% και 30% (ZLF10, ZLF20 και ZLF30 αντίστοιχα).

Κατόπιν, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις της χημικής σύστασης του μυϊκού ιστού των ιχθύων ως προς την περιεκτικότητα του σε υγρασία, ολικές λιπαρές ουσίες, ολικές αζωτούχες ουσίες, τέφρα και ολική ενέργεια.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του *Z. morio*, σε ποσοστό έως 30%, δεν επιφέρει σημαντικές

μεταβολές στην περιεκτικότητα του μυϊκού ιστού των ιχθύων σε ολικά λιπίδια, ολικές πρωτεΐνες και τέφρα ( $P > 0,05$ ). Αντιθέτως, τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας του μυϊκού ιστού σε υγρασία έδειξαν πως η υποκατάσταση του ιχθυάλευρου σε ποσοστό 20% προκαλεί σημαντική μείωση στην υγρασία του ( $P < 0,05$ ). Όσον αφορά τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας του μυϊκού ιστού σε ολική ενέργεια, η υποκατάσταση του ιχθυάλευρου σε επίπεδα της τάξεως του 10% και 20% προκαλεί σημαντική αύξηση στην ολική του ενέργεια ( $P < 0,05$ ).

Συμπερασματικά, η υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του *Z. morio*, έως και 30%, δεν επηρεάζει σημαντικά τη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού της τσιπούρας, εκτός από την περιεκτικότητά του σε υγρασία και ολική ενέργεια.

**Λέξεις κλειδιά:** *Zophobas morio*, πρωτεΐνες εντόμων, *Sparus aurata*, διατροφή ιχθύων

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	1
1.1 Θρεπτική σύσταση ιχθύων	1
1.2 Βιολογία και εκτροφή της τσιπούρας	3
1.4 Η χρήση αλεύρων εντόμων στις ιχθυοτροφές	8
1.5 Το είδος <i>Zorhobas morio</i>	13
1.6 Σκοπός της μελέτης	14
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>	16
2.1 Δειγματοληψίες	16
2.2 Αναλύσεις θρεπτικής σύστασης ιχθύων	16
2.2.1 Προσδιορισμός υγρασίας / ξηρής ουσίας	16
2.2.2 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών	17
2.2.3 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ουσιών	18
2.2.4 Προσδιορισμός τέφρας	20
2.2.5 Προσδιορισμός ολικής ενέργειας	21
2.3 Στατιστική ανάλυση	21
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	23
3.1 Περιεκτικότητα σε υγρασία	23
3.2 Περιεκτικότητα σε ολικές λιπαρές ουσίες	24
3.3 Περιεκτικότητα σε ολικές αζωτούχες ουσίες	25
3.4 Περιεκτικότητα σε τέφρα	26
3.5 Περιεκτικότητα σε ολική ενέργεια	27
3.6 Συνολική θρεπτική σύσταση μυϊκού ιστού ιχθύων	28
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	29
<b>5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	34
5.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	34
5.2 Ελληνική βιβλιογραφία	47
5.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία	47
<b>ABSTRACT</b>	49

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Θρεπτική σύσταση ιχθύων

Οι ιχθύες επιτελούν σπουδαίο ρόλο στην ανθρώπινη διατροφή, αφού αποτελούν σημαντικές πηγές πρωτεϊνών, λιπιδίων, βιταμινών, ανόργανων στοιχείων και ως ένα βαθμό υδατανθράκων. Τα κύρια συστατικά της σάρκας τους είναι το νερό (περιεχόμενη υγρασία), οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια, τα οποία αποτελούν περίπου το 98% της συνολικής μάζας της. Τα μικρότερης περιεκτικότητας θρεπτικά συστατικά, όπως οι υδατάνθρακες, οι βιταμίνες και τα ανόργανα στοιχεία, ωστόσο, διαδραματίζουν εξέχοντα ρόλο στη βιοχημική δυναμική των ζώντων ιχθύων, πέραν της μεταθανάτιας επίδρασης στις ιδιότητες των μυών τους (Love, 1992).

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των ιχθύων σε υγρασία, έχουν υπάρξει κατά καιρούς δείγματα διαφόρων ειδών με περιεκτικότητες μεταξύ 30 και 90% (FAO, 2001). Όμως, τα περισσότερα είδη αποτελούνται από υγρασία της τάξεως του 66 με 81% (Love, 1970).

Το βασικότερο θρεπτικό συστατικό των ιχθύων είναι οι πρωτεΐνες. Η πρωτεΐνη των ιχθύων πιστεύεται πως έχει μεγάλη θρεπτική και βιολογική αξία (Tacon and Metian, 2013). Η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες, αν και είναι κατά μέσο όρο περίπου 19% (επί νωπού δείγματος), μπορεί να κυμαίνεται από 6 έως 28% (Stansby, 1962). Επιπλέον, η πρωτεΐνη που προέρχεται από υδρόβιους οργανισμούς είναι πολύ εύπεπτη και πλούσια σε πληθώρα πεπτιδίων και απαραίτητων αμινοξέων, όπως μεθειονίνη και λυσίνη (Tacon and Metian, 2013), τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη φυσιολογία του ζωικού οργανισμού, όπως για παράδειγμα στη γενικότερη κυτταρική λειτουργία, την ανάπτυξη και την όρεξη.



Ιδιαίτερης σημασίας θρεπτική ουσία χαρακτηρίζονται τα λιπίδια, τα οποία είναι οι κύριες αποθήκες ενέργειας για τον οργανισμό. Συνήθως, υπάρχουν σημαντικές εποχιακές διακυμάνσεις στην περιεκτικότητα των λιπαρών ιχθύων σε λιπαρά, οι οποίες είναι αξιοσημείωτες κατά κύριο λόγο στο ήπαρ, όπου αποθηκεύεται το μεγαλύτερο μέρος του λίπους (FAO, 2001). Οι ιχθύες αποτελούν σπουδαίες φυσικές πηγές πολυακόρεστων λιπαρών οξέων συμπεριλαμβανομένου του εικοσιπεντανοϊκού (EPA) και του εικοσιδυαεξαενοϊκού οξέος (DHA), τα οποία έχουν αποδειχθεί ωφέλιμα για την ανθρώπινη υγεία (Rafflenbeul, 2001, Saoud *et al.*, 2008). Τα θηλαστικά, όπως και ο άνθρωπος, δεν έχουν τη δυνατότητα σύνθεσης των ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων με αποτέλεσμα να απαιτείται η πρόσληψη τους μέσω της τροφής (Innis, 1991).

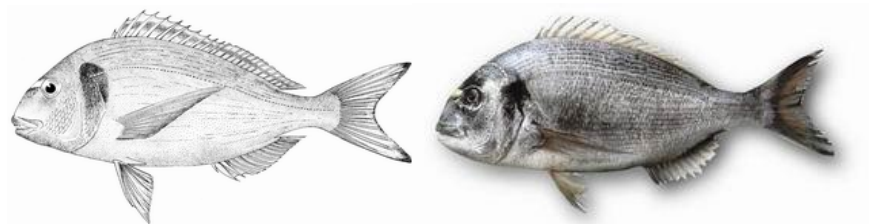
Ο μυϊκός ιστός των ιχθύων αποτελείται από πολύ μικρό ποσοστό υδατανθράκων. Τις περισσότερες φορές είναι μικρότερο από 1%, όμως σε μερικά λιπαρά είδη μπορεί να φτάσει το 2%. Για τον λόγο αυτό, η θρεπτική αξία του ανωτέρω μακροθρεπτικού συστατικού είναι ελάχιστη. Εξάιρεση αποτελούν ορισμένα είδη μαλακίων που περιέχουν έως και 5% υδατάνθρακα με τη μορφή γλυκογόνου (FAO, 2001).

Εκτός των δομικών ουσιών, στις οποίες έγινε αναφορά, οι ιχθύες αποτελούν σημαντική πηγή πολλών βιταμινών και ανόργανων στοιχείων (δυναμικές ουσίες). Όσον αφορά τις βιταμίνες, μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες: τις λιποδιαλυτές, όπου ανήκουν οι βιταμίνες A, D, E, K και τις υδατοδιαλυτές, όπου ανήκουν η βιταμίνη C και οι βιταμίνες του συμπλέγματος B. Συχνά, τα μέρη των ιχθύων που τις περισσότερες φορές δεν αξιοποιούνται, όπως το ήπαρ και το έντερο, περιέχουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες λιποδιαλυτών βιταμινών από ότι η σάρκα (FAO, 2001). Από τις βιταμίνες του συμπλέγματος B, η θειαμίνη, η ριβοφλαβίνη και η νιασίνη βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες στους μύες όλων των ζώων συμπεριλαμβανομένου των

ιχθύων (Venugopal and Shahidi, 1996). Στους ιχθύες, οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες, μολονότι συναντώνται στο δέρμα, το ήπαρ και το έντερο, κατανέμονται ομοιόμορφα σε μεγαλύτερο βαθμό από τις λιποδιαλυτές και η σάρκα ως επί το πλείστον περιέχει περισσότερο από το ήμισυ της συνολικής ποσότητας που υπάρχει στους ιχθύες (FAO, 2001). Τέλος, οι μύες των ιχθύων περιέχουν συνήθως σχεδόν όλα τα ανόργανα στοιχεία που συναντώνται στο υδάτινο περιβάλλον (Haard, 1992). Διακρίνονται σε μακροστοιχεία, όπως το ασβέστιο, ο φώσφορος και το μαγνήσιο και μικροστοιχεία (ιχνοστοιχεία), όπως ο σίδηρος, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος. Τα ανόργανα στοιχεία αποτελούν πολύτιμα συστατικά της σάρκας των ιχθύων, λόγω της θρεπτικής τους αξίας, της ασφάλειας που προσδίδουν και της συμβολής τους στη γεύση (Haard, 1992).

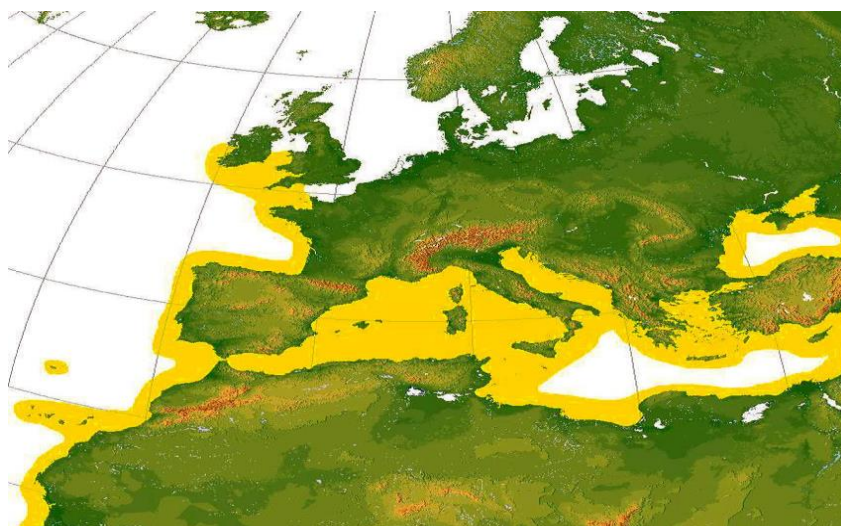
## 1.2 Βιολογία και εκτροφή της τσιπούρας

Η τσιπούρα (*S. aurata*) (Εικ. 1.1) αποτελεί κοινό είδος της Μεσογείου. Εξαπλώνεται κατά μήκος των ανατολικών ακτών του Ατλαντικού, από τη Μεγάλη Βρετανία έως τη Σενεγάλη και τα Κανάρια Νησιά, ενώ σε μικρότερο βαθμό συναντάται και στη Μαύρη Θάλασσα (Εικ. 1.2). Είναι ένα βενθοπελαγικό είδος που γενικά διαβιεί σε ρηχά νερά βάθους έως 30 μέτρα, αλλά τα ενήλικα μπορεί να βρεθούν και σε βάθη έως 150 μέτρα (Bauchot and Hureau, 1990). Στη φύση συναντάται τόσο σε υφάλμυρα όσο και σε θαλάσσια περιβάλλοντα, αφού αποτελεί ευρύθερμο και ευρύαλο είδος (Κλαουδάτος και Κλαουδάτος, 2012).



**Εικόνα 1.1:** *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758) (Πηγή: FAO, 2020).

Χαρακτηρίζεται ως ένα κατ' εξοχήν σαρκοφάγο είδος, το οποίο συνήθως τρέφεται με μαλάκια, καρκινοειδή και σκώληκες (Stergiou and Karpouzi, 2002). Επιπλέον, δύναται να καταναλώσει διάφορα αμφίποδα, πολύχαιτους, γαστερόποδα, ακόμη και μικρού μεγέθους ιχθύες ανάλογα με το αναπτυξιακό στάδιο όπου βρίσκεται. Το είδος αυτό παρουσιάζει πρώτανδρο ερμαφροδιτισμό με τους ιχθύες να εκκινούν τη ζωή τους ως αρσενικά, ενώ από την ηλικία των 2 έως αυτή των 4 ετών ένα αυξανόμενο ποσοστό μεταπίπτει σε θηλυκά (Zohar *et al.*, 1995). Η γεννητική ωρίμανση επέρχεται για τα αρσενικά άτομα στα 2 έτη (20-30cm) και για τα θηλυκά στα 2-3 έτη (33-40cm) (FAO, 2005).

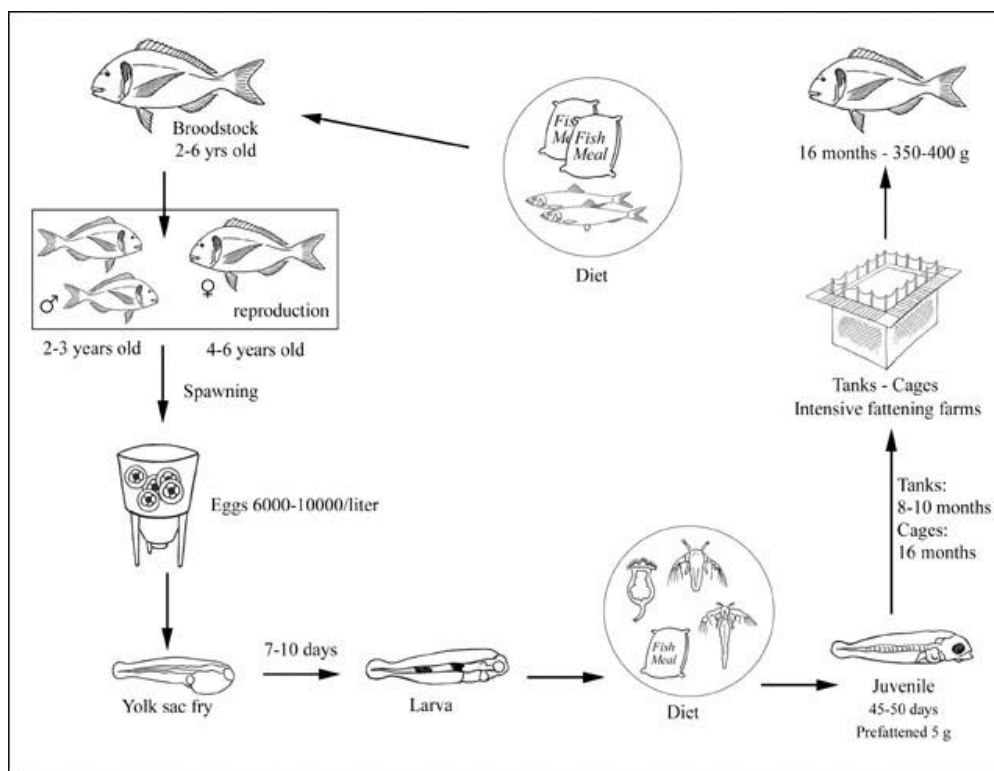


**Εικόνα 1.2:** Γεωγραφική κατανομή του είδους *Sparus aurata* (Πηγή: Brown, 2004).

Η τσιπούρα μπορεί να εκτραφεί σε εκτατικά, ημι-εντατικά και εντατικά συστήματα εκτροφής (Εικ. 1.3). Η κάθε μέθοδος έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες, ειδικά όσον αφορά τις πυκνότητες εκτροφής (ιχθυοφορτίσεις) και την παροχή τροφής (FAO, 2005). Στις μέρες μας, η τσιπούρα εκτρέφεται κυρίως σε θαλάσσιους κλωβούς με μέσες ιχθυοπυκνότητες από 15 έως 25kg/m<sup>3</sup> και Συντελεστή Μετατρεψιμότητας Τροφής (FCR) 1,5-2. Η περίοδος εκτροφής διαφέρει ανάλογα τη τοποθεσία και τη θερμοκρασία του νερού, αλλά συνήθως απαιτούνται 18-24 μήνες για έναν ιχθύ, ώστε να φτάσει τα 400g από τη στιγμή της εκκόλαψης (Pavlidis and Mylonas, 2011). Το

εμπορεύσιμο μέγεθος μπορεί να ποικίλλει από 250g έως πάνω από 1,5kg (APROMAR, 2008). Μολονότι το ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής που προέρχεται από εκτατικές και ημι-εντατικές καλλιέργειες δεν είναι υψηλό, αυτές εξακολουθούν να είναι σημαντικές, ιδιαίτερα για το περιβάλλον και τις τοπικές κοινωνίες.

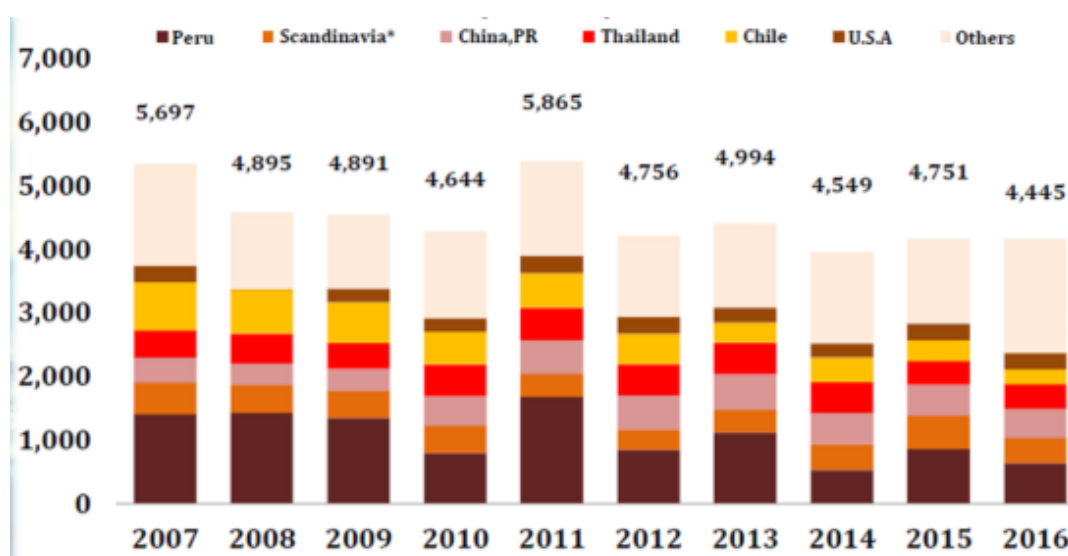
Ενδεικτικά, το 1996 η παγκόσμια υδατοκαλλιεργητική παραγωγή της τσιπούρας ήταν 33.213 τόνοι (FAO, 1998), ενώ το 2016 ανήλθε στους 185.980 τόνους (FAO, 2018). Η παραγωγή της παρουσιάζει σταθερά αυξητικές τάσεις εν αντιθέσει με την αλιεία, η οποία τα τελευταία χρόνια σημειώνει κάμψη (FAO, 2015). Οι κύριοι παραγωγοί του είδους είναι η Ελλάδα, η Τουρκία, η Ισπανία και η Ιταλία, με τις δύο πρώτες χώρες να αντιπροσωπεύαν το 2019 το 60% της παγκόσμιας παραγωγής (ΣΕΘ, 2020).



**Εικόνα 1.3:** Σχηματική απεικόνιση του παραγωγικού κύκλου της τσιπούρας (*Sparus aurata*) στα εντατικά συστήματα (Πηγή: FAO, 2020).

### 1.3 Η χρήση ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές

Η παγκόσμια υδατοκαλλιέργεια αποτελεί τον ταχύτερα αναπτυσσόμενο κλάδο παραγωγής τροφίμων τις τελευταίες δεκαετίες έχοντας σημαντική οικονομική συνεισφορά σε πολλές χώρες (Olsen and Hasan, 2012). Η ταχεία ανάπτυξη της έχει οδηγήσει στην ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων, ιδίως για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των σαρκοφάγων ειδών ιχθύων, εις βάρος των χερσαίας προέλευσης ζωοτροφών (Shepherd *et al.*, 2005). Από τις συνολικές εκφορτώσεις των 92,4 εκατομμυρίων τόνων της εμπορικής αλιείας για το 2012, οι 21,4 εκατομμύρια τόνοι προορίζονταν για μη-εδώδιμη χρήση, εκ των οποίων το 75%, δηλαδή 16,3 εκατομμύρια τόνοι, χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ιχθυαλεύρου (Εικ. 1.4) και ιχθυελαίου (FAO, 2014). Το Περού παράγει σχεδόν το 1/3 του συνόλου του ιχθυαλεύρου παγκοσμίως, ενώ σημαντική θέση κατέχουν χώρες, όπως η Χιλή, η Κίνα, η Ταϊλάνδη, οι ΗΠΑ, η Ισλανδία, η Νορβηγία, η Δανία και η Ιαπωνία (Miles and Charman, 2006).



Εικόνα 1.4: Διαγραμματική απεικόνιση της παγκόσμιας παραγωγής ιχθυαλεύρου σε εκατομμύρια τόνους (Πηγή: IFFO, FAO, ISTA Mielke GmbH, OIL WORLD, 2018).

Το ιχθυάλευρο είναι άλευρο που παρασκευάζεται από την επεξεργασία διαφόρων ειδών ιχθύων, κυρίως πελαγικών, όπως ο γάυρος, η ρέγγα και το σκουμπρί. Η υδατοκαλλιέργεια, όπως και άλλα συστήματα εκτροφής ζώων, βασίζονται στο ιχθυάλευρο ως τροφή και κύρια πηγή πρωτεϊνών, λιπιδίων, ανόργανων στοιχείων και βιταμινών (De Silva and Turchini 2008, Jackson, 2008). Παρασκευάζεται είτε από ολόκληρους ιχθύες είτε από τα υπολείμματα της φιλετοποίησης και μεταποίησης τους. Περιέχει 60-72% πρωτεΐνη, 10-20% τέφρα και 5-12% λιπίδια (Shepherd and Jackson, 2013), ενώ χαρακτηρίζεται ως το ιδανικότερο συστατικό ζωικής προέλευσης στις ιχθυοτροφές, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του σε πρωτεΐνες, της μεγάλης πεπτικότητας του, της απουσίας αντιδιατροφικών παραγόντων, της ιδιαίτερης γεύσης που προσδίδει στην ιχθυοτροφή, καθώς και για το ότι αποτελεί σημαντική πηγή των ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Jackson, 2009). Επιπλέον, το ιχθυάλευρο καλύπτει τις απαιτήσεις σε απαραίτητα αμινοξέα και ενέργεια, ενώ κρίνεται ελκυστικό από τους εκτρεφόμενους ιχθύες, όπως και άμεσα διαθέσιμο για τους παραγωγούς (NRC 1993, Jackson, 2009).

Το υψηλής ποιότητας ιχθυάλευρο παρέχει μια ισορροπημένη ποσότητα όλων των θρεπτικών συστατικών, τα οποία αξιοποιούνται για τη βέλτιστη ανάπτυξη, την επιτέλεση των διάφορων μεταβολικών διεργασιών και την αναπαραγωγή, ιδίως των προνυμφών και γεννητόρων. Τα θρεπτικά στοιχεία του ιχθυαλεύρου συμβάλλουν ακόμη στην ανθεκτικότητα των ιχθύων σε ασθένειες, ενισχύοντας και βοηθώντας στη διατήρηση ενός υγιούς και λειτουργικού ανοσοποιητικού συστήματος (Miles and Chapman, 2006).

Εξαιτίας της υπερβολικής εξάρτησης σε ιχθυάλευρο, και λόγω του αναδυόμενου ελλείμματος που προκύπτει στην παραγωγή του, η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του ταχέως αναπτυσσόμενου κλάδου της υδατοκαλλιέργειας τίθεται σε

κίνδυνο (Ji *et al.*, 2013). Η πρόκληση που αντιμετωπίζει ο τομέας είναι να εντοπίσει τις οικονομικά βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις για τη σταδιακή αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου στα οποία βασίζονται σε μεγάλο βαθμό πολλές ιχθυοτροφές (Gatlin *et al.*, 2007). Για αυτόν τον λόγο, επιβάλλεται η προοδευτική μείωση της συμμετοχής άγριων ιχθύων σε αυτές, ώστε να συνεχιστεί η αειφόρος ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας (Naylor *et al.*, 2000).

#### **1.4 Η χρήση αλεύρων εντόμων στις ιχθυοτροφές**

Η παγκόσμια γεωργική παραγωγή, καθώς και η ζήτηση τροφίμων και ζωικών προϊόντων αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες, λόγω του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού, της οικονομικής ανάπτυξης, της υψηλότερης αγοραστικής δύναμης και των μεταβαλλόμενων προτιμήσεων των καταναλωτών (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Ακόμη, η παγκόσμια ζήτηση ζωοτροφών και συστατικών τους, όπως και οι πιέσεις στους φυσικούς πόρους και το οικοσύστημα εικάζεται πως θα αυξηθούν ανάλογα (Makkar *et al.*, 2014).

Ειδικότερα, η σταθερή μείωση των αλιευμάτων άγριων ιχθύων (FAO, 2014) και οι μεγάλες απαιτήσεις σε ζωοτροφές - ιχθυοτροφές έχουν οδηγήσει σε ταχεία μείωση της διαθεσιμότητας ιχθυαλεύρου και ιχθυελαίου, και ταυτόχρονη αύξηση των τιμών τους (FAO, 2014). Το κόστος των ιχθοτροφών αντιπροσωπεύει το 40-70% του κόστους των παραγόμενων ιχθύων (Wilson, 2002, Rana *et al.*, 2009) και είναι ιδιαίτερα υψηλό στην εκτροφή των σαρκοφάγων ειδών που απαιτούν μεγάλες ποσότητες ιχθυαλεύρου.

Οι θρεπτικές ανάγκες των μονογαστρικών ειδών, ιδίως των ιχθύων, περιλαμβάνουν μια υψηλής ποιότητας και ποσότητας πρωτεΐνη στη διατροφή.

Επιπλέον, από διατροφικής άποψης, οι πηγές πρωτεΐνης πρέπει να έχουν ένα υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο, ένα επαρκές προφίλ αμινοξέων, υψηλή πεπτικότητα, ικανοποιητική αποδοχή και απουσία αντιδιατροφικών παραγόντων (Barrows *et al.*, 2008).

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η σημαντική πρόκληση της διασφάλισης της επισιτιστικής ασφάλειας για το μέλλον, αποτελεί επιτακτική ανάγκη η εύρεση εναλλακτικών, βιώσιμων πηγών πρωτεΐνης τόσο για άμεση ανθρώπινη κατανάλωση όσο και για χρήση στις ζωοτροφές (Proteinsect, 2013). Μια πιθανή λύση χαρακτηρίζεται η χρήση εντόμων ως συστατικό της διατροφής των ζώων, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εναλλακτική λύση ως προς την αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου, του ιχθυελαίου και του σογιαλεύρου (Makkar *et al.*, 2014, Henry *et al.*, 2015).

Δεδομένου ότι τα έντομα αποτελούν μέρος της φυσικής διατροφής των ιχθύων τόσο των γλυκέων υδάτων όσο και των θαλάσσιων (Howe *et al.*, 2014, Whitley and Bollens, 2014), δύναται να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική πηγή ζωικής πρωτεΐνης για την κάλυψη ενός μέρους των διατροφικών αναγκών των εκτρεφόμενων οργανισμών. Στην πραγματικότητα, τα εντομάλευρα έχουν υψηλή θρεπτική αξία. Πρόκειται για μια πρώτη ύλη πλούσια σε πρωτεΐνες, το ποσοστό των οποίων κυμαίνεται από 40 έως 75% επί της ξηρής ουσίας, λαμβάνοντας υπόψη το είδος και το στάδιο του κύκλου ζωής του εντόμου (Rumpold and Schluter, 2013). Ενδεικτικά, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ενός καλής ποιότητας ιχθυαλεύρου μπορεί να φτάσει έως και το 73%, ενώ το σογιάλευρο περιέχει πρωτεΐνη έως και 50% (Barroso *et al.*, 2014). Επιπλέον, τα άλευρα εντόμων έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση απαραίτητων αμινοξέων από τη σόγια (Makkar *et al.*, 2014), ενώ ορισμένα καλύπτουν πλήρως τις διατροφικές απαιτήσεις των ιχθύων στα απαραίτητα αμινοξέα (Henry *et al.*, 2015). Με



εξαίρεση την ιστιδίνη, τη θρεονίνη και τη λυσίνη, τα έντομα παρουσιάζουν ένα προφίλ αμινοξέων παρόμοιο με το ιχθυάλευρο (Barroso *et al.*, 2014).

Η περιεκτικότητα των εντόμων σε λιπίδια κυμαίνεται γενικά από λιγότερο από 10 έως πάνω από 30% λίπος επί του νωπού βάρους (DeFoliart, 1991), και είναι υψηλότερη στα προνυμφικά και νυμφικά στάδια από ό,τι στο στάδιο των ενήλικων ατόμων (Chen *et al.*, 2009). Η ποιότητα και η ποσότητα των λιπιδίων ποικίλλει ανάλογα με τα στάδια ανάπτυξης και μπορεί να μεταβληθεί κατά τη διάρκεια της εκτροφής (Stanley-Samuelson *et al.*, 1988, Ghioni *et al.*, 1996, Raksakantong *et al.*, 2010). Επί παραδείγματι, το επίπεδο των λιπιδίων στο ιχθυάλευρο (8,2%) και το σογιάλευρο (3%) είναι χαμηλότερο από εκείνο του εντομαλεύρου, παρά το γεγονός ότι είναι εξαιρετικά μεταβλητό (10-30%) (DeFoliart, 1991). Εντούτοις, η περιεκτικότητα των αλεύρων εντόμων σε λιπαρά οξέα είναι πολύ διαφορετική από εκείνη του ιχθυαλεύρου, που είναι πλούσιο σε ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, ειδικά EPA και DHA, τα οποία ουσιαστικά απουσιάζουν από τα έντομα. Αντίθετα, τα έντομα παρουσιάζουν υψηλότερες αναλογίες ω-6 πολυακόρεστων, όπως και μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (Barroso *et al.*, 2014).

Οι ελεύθερες αζώτου εκχυλισματικές ουσίες περιλαμβάνουν τους υδατάνθρακες, τα σάκχαρα, το άμυλο, τις ινώδεις ουσίες και τη χιτίνη. Τα έντομα είναι συνήθως φτωχά σε υδατάνθρακες, αλλά περιέχουν χιτίνη, ένα βασικό συστατικό του εξωσκελετού των αρθροπόδων, η οποία αποτελείται από ένα μη διακλαδισμένο πολυμερές της N-ακετυλογλυκοζαμίνης (Lindsay *et al.*, 1984, Ng *et al.*, 2001). Ωστόσο, η ποσότητα χιτίνης στη διατροφή των ιχθύων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, καθώς η υπερβολική περιεκτικότητα του ανωτέρω πολυσακχαρίτη δύναται να προκαλέσει αύξηση του σωματικού βάρους των εκτρεφόμενων οργανισμών (Sánchez-Muros *et al.*, 2014). Η αφαίρεση της χιτίνης βελτιώνει την ποιότητα της πρωτεΐνης

εντόμου σε επίπεδο συγκρίσιμο με των προϊόντων που προέρχονται από σπονδυλωτά ζώα (Belluco *et al.*, 2013).

Τα προφίλ των βιταμινών και ανόργανων στοιχείων των εντόμων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση της διατροφής τους (Henry *et al.*, 2015). Όσον αφορά την περιεκτικότητα τους σε ανόργανα στοιχεία, μπορεί γενικά να αναφερθεί ότι η πλειονότητα εμφανίζει υψηλές ποσότητες καλίου, σιδήρου, μαγνησίου (Schabel, 2010) και σεληνίου (Finke, 2002). Ακόμη, περιέχουν διάφορες βιταμίνες, όπως νιασίνη, βιταμίνη B12, θειαμίνη και ριβοφλαβίνη (Spanghers *et al.*, 2017, Akhtar and Isman, 2018). Τα περισσότερα εντομάλευρα είναι ελλιπή σε ασβέστιο, επομένως απαιτείται η προσθήκη του στη διατροφή, ιδίως των υπό ανάπτυξη ζώων. Τα επίπεδα του (όπως και των λιπαρών οξέων) στα άλευρα εντόμων μπορούν να αυξηθούν με κατάλληλο χειρισμό του υποστρώματος στο οποίο εκτρέφονται τα έντομα (Makkar *et al.*, 2014).

**Πίνακας 1.1:** Τιμές διαφόρων πηγών πρωτεΐνης, 88% ξηρή ουσία (Πηγή: Meuwissen, 2011).

<b>Πηγή πρωτεΐνης</b>	<b>Περιεκτικότητα πρωτεΐνης (%)</b>	<b>Τιμή / kg προϊόντος (€)</b>	<b>Τιμή / kg πρωτεΐνης (€)</b>
Σκόληκας του αλεύρου	50	4,75	9,50
Ιχθυάλευρο	65	1,24	1,91
Σιτηρά	12	0,14	1,17
Σογιάλευρο	45	0,28	0,62

Επιπροσθέτως, πολλά είδη εντόμων περιέχουν αντιμικροβιακά πεπτίδια (AMPs), τα οποία είναι γνωστό ότι ενισχύουν την αποτελεσματική άμυνα του οργανισμού, καθώς είναι βασικά συστατικά του ανοσοποιητικού συστήματος, το οποίο δύναται να ανταποκριθεί άμεσα έναντι των εισβαλλόντων παθογόνων (Ravi *et al.*, 2011). Επίσης,

τα αντιμικροβιακά πεπτίδια ενδέχεται να έχουν κρίσιμης σημασίας εφαρμογές στον έλεγχο ασθενειών (Lowenberger, 2001).

Από περιβαλλοντικής άποψης, η μαζική παραγωγή εντόμων είναι πολλά υποσχόμενη, λόγω των χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Van Huis and Oonincx, 2017), της μικρής έκτασης που απαιτείται για την παραγωγή 1kg πρωτεΐνης (Oonincx and de Boer, 2012), της μείωσης της χρήσης γης ως συνέπεια του χαμηλότερου ανταγωνισμού ζωοτροφών - τροφίμων (Makkar, 2018) και της δυνατότητας μετατροπής οργανικών υπολειμμάτων σε προϊόντα υψηλής πρωτεϊνικής αξίας (Meneguz *et al.*, 2018). Συγκεκριμένα, η χρήση εντόμων στη βιομετατροπή αποβλήτων αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση και ένα ιδιαίτερο παράδειγμα βιώσιμης κυκλικής οικονομίας (Meneguz *et al.*, 2018). Συν τοις άλλοις, έχουν σημαντικά μικρότερο συντελεστή μετατρεψιμότητας τροφής από άλλα ζώα, δηλαδή είναι πολύ πιο αποτελεσματικά στη μετατροπή τροφής σε σωματική μάζα (Van Huis, 2013), και αυτό, διότι δεν χρησιμοποιούν ενέργεια για να διατηρήσουν μια υψηλή θερμοκρασία σώματος (Nijdam *et al.*, 2012).

Δεν είναι όλα τα έντομα ασφαλή για κατανάλωση. Όπως ισχύει για τα προϊόντα φυτικής και ζωικής προέλευσης, ορισμένα έντομα δεν είναι βρώσιμα ή προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις (Yen, 2010). Υπάρχουν διάφοροι κίνδυνοι ασφαλείας που σχετίζονται με τη χρήση εντόμων στα τρόφιμα και τις ζωοτροφές, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη (Belluco *et al.*, 2013).

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 893/2017, μόνο επτά είδη εντόμων επιτρέπονται για προσθήκη στις ιχθυοτροφές: τα *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus assimilis*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Hermetia illucens* και *Musca domestica*. Εκείνα που θεωρούνται ως τα πλέον υποσχόμενα για

βιομηχανική παραγωγή στον δυτικό κόσμο είναι: η μύγα μαύρου στρατιώτη (*H. illucens*), η κοινή μύγα (*M. domestica*) και το σκαθάρι (*T. molitor*). Τα συγκεκριμένα είδη λαμβάνουν ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή, επειδή δυνητικά μπορούν να αξιοποιήσουν τα οργανικά απόβλητα, τα οποία ανέρχονται παγκοσμίως σε 1,3 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως (Veldkamp *et al.*, 2012).

### 1.5 Το είδος *Zophobas morio*

Το *Z. morio* (Εικ. 1.5) βρίσκεται σε αφθονία στις τροπικές χώρες, ωστόσο δεν είναι ευρέως γνωστό και δεν χρησιμοποιείται ως συστατικό των ζωοτροφών – ιχθυοτροφών (Rumbos and Athanassiou, 2021). Μελέτες σχετικά με το διατροφικό προφίλ των προνυμφών *Z. morio* έχουν δείξει την υψηλή του θρεπτική αξία (Barker *et al.*, 1998, Finke, 2002, 2007, 2015, Barroso *et al.*, 2014, Bosch *et al.*, 2014, Adámková *et al.*, 2016, 2017, Araújo *et al.*, 2019). Μια κανονικού μεγέθους προνύμφη του είδους έχει κατά προσέγγιση 57% υγρασία (Barker *et al.*, 1998). Ως αποξηραμένη περιέχει πρωτεΐνη σε ποσοστό 46,8%, ενώ η περιεκτικότητά της σε λιπίδια αγγίζει το 43,64% (Araújo *et al.*, 2019). Μεταξύ των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, το ω-6 λινολεϊκό οξύ βρίσκεται σε αφθονία στις προνύμφες *Z. morio* (Barroso *et al.*, 2014). Εν συνεχεία, το ποσοστό της τέφρας και των υδατανθράκων ανέρχεται σε 8,17% και 1,39% αντίστοιχα (Araújo *et al.*, 2019). Αν και το ανωτέρω είδος είναι φτωχό σε ανόργανα στοιχεία, όπως το ασβέστιο και ο φώσφορος, διαθέτει τα απαραίτητα αμινοξέα που απαιτούνται για τη βέλτιστη ανάπτυξη των ιχθύων, με εξαίρεση τη μεθειονίνη (Finke, 2002, 2007, 2015, Ghaly and Alkokaik, 2009, Bosch *et al.*, 2014). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το *Z. morio* βρέθηκε ικανό να παράγει αντιμικροβιακά πεπτίδια, τα οποία παρουσίασαν ικανοποιητική αντιμικροβιακή δράση (Mohtar *et al.*, 2014). Λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλή αξιοποίηση του εδάφους και του χώρου ανά

εκτροφή, τη χαμηλή απαίτηση συντήρησης της καλλιέργειας, την υψηλή προσαρμογή σε τροπικά κλίματα και τον μεγάλο αριθμό απογόνων ανά αναπαραγωγή, το συγκεκριμένο έντομο θα μπορούσε να έχει προοπτική ως εναλλακτική πηγή παραγωγής χιτίνης και χιτοζάνης (Ghaly and Alkokaik, 2009, Jabir *et al.*, 2012).

Έως σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί πολύ λίγες έρευνες αναφορικά με τη χρήση του *Z. morio* στις ιχθυοτροφές. Σε διατροφικό πείραμα τιλάπιας του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) δείχθηκε ότι η προσθήκη αλεύρου του υπό μελέτη εντόμου, σε ποσοστό 7,5% επί του σιτηρεσίου, δύναται να θεωρηθεί ως το βέλτιστο επίπεδο ένταξης στη διατροφή του είδους (Jabir *et al.*, 2012).



**Εικόνα 1.5:** Προνύμφες του είδους *Zophobas morio* (Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα).

## 1.6 Σκοπός της μελέτης

Η έρευνα σχετικά με τη χρήση εντόμων στο σιτηρέσιο των ιχθύων βρίσκεται σε πρώιμα στάδια. Αν και οι έρευνες όσον αφορά την υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από άλευρο του εντόμου *Z. morio* αυξάνονται, δεν υπάρχουν, προς το παρόν, οι απαραίτητες ενδείξεις για την καθιέρωση του ως ένα πλήρως κατάλληλο υποκατάστατο. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης που είχε η μερική υποκατάσταση του διαιτητικού ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio* στη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού της τσιπούρας (*S.*

*aurata*). Για τον λόγο αυτό, προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα του μυϊκού ιστού των ιχθύων σε υγρασία, ολικά λιπίδια, ολικές πρωτεΐνες, τέφρα και ολική ενέργεια. Ειδικότερα, στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χημικής σύστασης του μυϊκού ιστού της τσιπούρας, η οποία διατράφηκε με σιτηρέσια όπου το ιχθυάλευρο υποκαταστάθηκε σταδιακά από απολιπασμένο άλευρο του μελετώμενου εντόμου κατά 10%, 20% και 30%.

## **2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **2.1 Δειγματοληψίες**

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν 48 ιχθύδια του είδους *S. aurata* (τσιπούρα), τα οποία προήλθαν από διατροφικό πείραμα που έλαβε χώρα στις πειραματικές εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην πόλη του Βόλου. Το πείραμα διήρκησε 100 ημέρες, με 4 διαφορετικές ομάδες ιχθύων (διατροφικές ομάδες) να σιτίζονται με διαφορετικό σιτηρέσιο η κάθε μια. Η πρώτη ομάδα (FM) διατράφηκε με σιτηρέσιο-μάρτυρα, που περιείχε ιχθυάλευρο ως αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης. Οι υπόλοιπες ομάδες διατράφηκαν με σιτηρέσια στα οποία το ιχθυάλευρο υποκαταστάθηκε σταδιακά από απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio* κατά 10%, 20% και 30% (ZLF10, ZLF20 και ZLF30 αντίστοιχα). Αφού οι ιχθύες θανατώθηκαν με ισχυρή αναισθητοποίηση, συλλέχθηκαν από κάθε διατροφική ομάδα 12 άτομα για τις αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης του μυϊκού ιστού (muscle tissue) ως προς την περιεκτικότητα του σε υγρασία, ολικές λιπαρές ουσίες, ολικές αζωτούχες ουσίες, τέφρα και ολική ενέργεια.

### **2.2 Αναλύσεις θρεπτικής σύστασης ιχθύων**

#### **2.2.1 Προσδιορισμός υγρασίας / ξηρής ουσίας**

Ο προσδιορισμός της υγρασίας / ξηρής ουσίας στον μυϊκό ιστό των ιχθύων έλαβε χώρα με την ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο για 24h στους 105°C και μέχρι απόκτησης σταθερού βάρους (AOAC, 1995). Ακολούθως, αφού παρήλθε ο χρόνος ξήρανσης, τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τον φούρνο και τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα για 10min, ώστε να ψυχθούν και να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Το ποσοστό της υγρασίας / ξηρής ουσίας στα δείγματα υπολογίστηκε ως εξής:

$$W_{\text{ξηρής ουσίας (g)}} = W_{\text{δείγματος μετά την ξήρανση μαζί με το δισκίο (g)}} - W_{\text{δισκίου (g)}}$$

$$\text{Ξηρή ουσία \%} = (W_{\text{ξηρής ουσίας (g)}} \times 100) / W_{\text{δείγματος (g)}}$$

Αντίστοιχα,

$$W_{\text{υγρασίας (g)}} = W_{\text{δείγματος (g)}} - (W_{\text{δείγματος μετά την ξήρανση μαζί με το δισκίο (g)}} - W_{\text{δισκίου (g)}})$$

$$\text{Υγρασία \%} = (W_{\text{υγρασίας (g)}} \times 100) / W_{\text{δείγματος (g)}}$$

### 2.2.2 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπαρών ουσιών του μυϊκού ιστού των ιχθύων έγινε με τη μέθοδο εκχύλισης Soxhlet (AOAC, 1995). Σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 3 πέτρες βρασμού και καταγράφηκε το βάρος τους σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Ακολούθως, εφαρμόστηκαν στα δοχεία χάρτινοι ηθμοί, ενώ έπειτα ζυγίστηκαν δείγματα μυϊκού ιστού βάρους 1g και μεταφέρθηκαν στον χάρτινο ηθμό κάθε δοχείου. Στα γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν από 140ml πετρελαϊκού αιθέρα στον οποίο εμβαπτίστηκαν τα χάρτινα δοχεία ηθμού με το δείγμα. Τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης μαζί με τους χάρτινους ηθμούς μεταφέρθηκαν στην ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet) (Εικ. 2.1). Κατά τη διαδικασία της εκχύλισης, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150°C για 30min υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη, όπου έλαβε χώρα το πρώτο στάδιο της εκχύλισης. Ύστερα, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5h, όπου έλαβε χώρα το δεύτερο στάδιο της εκχύλισης. Κατόπιν, ο διαλύτης απορροφήθηκε για 15min με αποτέλεσμα τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στον πυθμένα του δοχείου εκχύλισης. Για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων του πετρελαϊκού αιθέρα, τα δοχεία (χωρίς τους χάρτινους ηθμούς) μεταφέρθηκαν στον φούρνο στους 105°C για 15min. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα τουλάχιστον για 1h και έπειτα



καταγράφηκαν τα βάρη τους. Το ποσοστό των ολικών λιπιδίων των δειγμάτων υπολογίστηκε ως εξής:

Καθαρό βάρος λιπαρών ουσιών =  $W_{\text{τελικό δοχείου εκχύλισης (g)}} - W_{\text{αρχικό δοχείου εκχύλισης (g)}}$

Ολικά λιπίδια % =  $(\text{Καθαρό βάρος λιπαρών ουσιών} / W_{\text{δείγματος}}) \times 100$



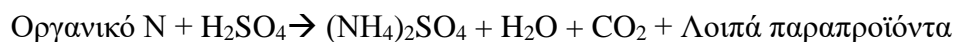
Εικόνα 2.1: Συσκευή Soxhlet (Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα).

### 2.2.3 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ουσιών

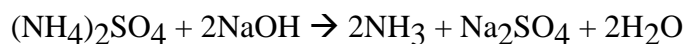
Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών στον μυϊκό ιστό των ιχθύων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC, 1995). Η διαδικασία προσδιορισμού των αζωτούχων ενώσεων είχε ως εξής:

Σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων, ζυγίστηκαν δείγματα από τον μυϊκό ιστό βάρους 0,2g και μεταφέρθηκαν στους δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5g Potassium Sulphate  $K_2SO_4$  και 5g copper (II) Sulphate  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) για την επιτάχυνση της αντίδρασης της πέψης. Ακολούθως, προστέθηκαν 15ml πυκνού θεικού οξέος ( $H_2SO_4$ ) και οι σωλήνες τοποθετήθηκαν στη συσκευή πέψης Kjeltec 2000. Η διαδικασία της πέψης

πραγματοποιήθηκε στους 150°C για 85min. Με την ανωτέρω συσκευή επιτεύχθηκε ο βρασμός των δειγμάτων και με τη βοήθεια του πυκνού θεικού οξέος πραγματοποιήθηκε η διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων. Το αδέσμευτο άζωτο (N) δεσμεύθηκε με τη μορφή θεικού αμμωνίου (άλας) με την κάτωθι αντίδραση:

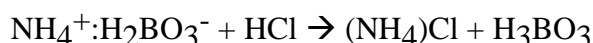


Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της πέψης, τα δείγματα αφέθηκαν να ψυχθούν για 15min. Στη συνέχεια, το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε στη συσκευή απόσταξης (Εικ. 2.2), στην οποία προστέθηκαν 100ml αποσταγμένου H<sub>2</sub>O, 80ml NaOH και 50ml H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Η διαδικασία διήρκησε 6min. Το θεικό αμμώνιο, που είχε παραχθεί κατά τη διαδικασία της πέψης, αντέδρασε με το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και αποδεσμεύθηκε αμμωνία (σε αέρια μορφή) και θεικό νάτριο (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) έπειτα αντέδρασε με το βορικό οξύ (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) και το άζωτο του δείγματος δεσμεύθηκε με τη μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



Το βορικό αμμώνιο συγκεντρώθηκε σε κωνική φιάλη που περιείχε 3 σταγόνες ερυθρού του μεθυλίου (δείκτης pH).

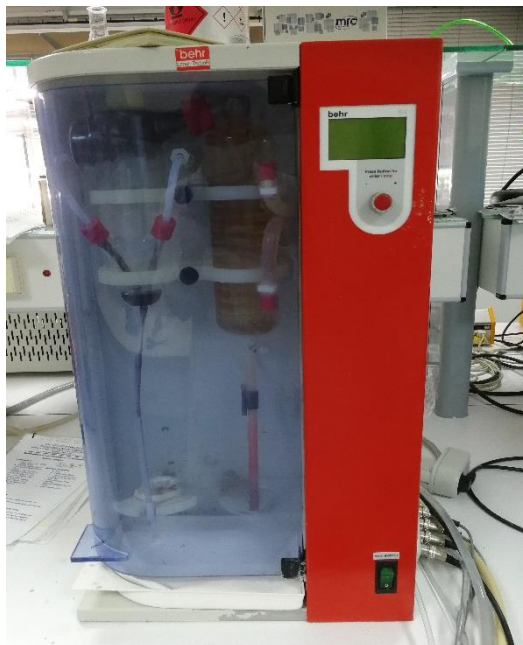
Το τελικό στάδιο της διαδικασίας αποτέλεσε η τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (HCl) 0,1N υπό συνθήκες συνεχούς ανακίνησης, σύμφωνα με την αντίδραση:



Η συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που απαιτήθηκε για την κατάλυση της αντίδρασης έως το τελικό σημείο, ισοδυναμούσε με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιείχε το δείγμα. Η μεταβολή του χρώματος του διαλύματος, από κίτρινο

σε φούξια, καταδείκνυε το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε πρωτεΐνη (%) υπολογίστηκε από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Πρωτεΐνη \%} = [(ml_{\text{HCl}} - ml_{\text{τυφλού}}) \times 0,8754] / W_{\text{δείγματος}}$$



**Εικόνα 2.2:** Συσκευή απόσταξης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα).

#### 2.2.4 Προσδιορισμός τέφρας

Σε πυρίμαχα δοχεία, τα οποία είχαν προζυγιστεί και καταγραφεί τα βάρη τους, ζυγίστηκαν δείγματα μυϊκού ιστού βάρους 1g, σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Έπειτα, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον αποτεφρωτήρα, με τη διαδικασία να λαμβάνει χώρα στους 600°C για 3h (AOAC, 1995). Μετά το πέρας της διαδικασίας τα δοχεία με τα αποτεφρωμένα δείγματα επαναζυγίστηκαν, με την προϋπόθεση ότι είχαν αποκτήσει θερμοκρασία δωματίου. Στη συνέχεια, από το προκύπτων βάρος αφαιρέθηκε το καθαρό βάρος του δοχείου. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε τέφρα (%) υπολογίστηκε με τον εξής τύπο:

$$\text{Τέφρα \%} = (W_{\text{τέφρας (g)}} \times 100) / W_{\text{δείγματος (g)}}$$

### 2.2.5 Προσδιορισμός ολικής ενέργειας

Ο προσδιορισμός της ολικής ενέργειας των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια αδιαβατικού θερμιδομέτρου (Εικ. 2.3). Κατά την πλήρη καύση ενός δείγματος με βάρος 0,4g από τον μυϊκό ιστό, εκλύθηκε ποσότητα θερμότητας η οποία αποτέλεσε και τη θερμιδική του αξία (ολική ενέργεια). Η καύση πραγματοποιήθηκε εντός κλειστού ανοξειδωτού δοχείου τύπου οβίδας, ενώ η θερμότητα που εκλύθηκε θέρμανε το νερό, το οποίο με τη σειρά του θέρμανε ένα εξωτερικό δοχείο εγνωσμένης θερμοκρασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού δοχείου καταγράφηκε από ένα θερμόμετρο και μέσω αυτής υπολογίστηκε το θερμιδικό περιεχόμενο του δείγματος που κάηκε. Τέλος, να σημειωθεί πως τα αποτελέσματα δόθηκαν ηλεκτρονικά σε J/g.



**Εικόνα 2.3:** Αδιαβατικό θερμιδόμετρο (Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα).

### 2.3 Στατιστική ανάλυση

Αφού ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης του μυϊκού ιστού των ιχθύων, καθώς και η συλλογή δεδομένων, τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν, και δημιουργήθηκαν πίνακες με τη θρεπτική σύσταση όλων των διατροφικών ομάδων

χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα EXCEL. Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics 26. Τα δεδομένα της χημικής σύστασης του μυϊκού ιστού των ιχθύων ελέγχθηκαν ως προς την κανονικότητα των κατανομών τους μέσω του Shapiro-Wilk test και για την ομοιογένεια των παραλλακτικότητων των μέσων όρων τους μέσω του Levene's test. Στη συνέχεια, επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της Ανάλυσης της Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (one-way ANOVA) και οι διαφορές κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές για τιμές  $P < 0,05$ . Στις περιπτώσεις όπου η ANOVA έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα δεδομένα υποβλήθηκαν στο Tukey's test για τον εντοπισμό των διαφορών ανάμεσα στις διαφορετικές διατροφικές ομάδες.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις της χημικής σύστασης του μυϊκού ιστού (muscle tissue) των ιχθύων.

#### 3.1 Περιεκτικότητα σε υγρασία

Η μέση περιεκτικότητα σε υγρασία του μυϊκού ιστού των ιχθύων που διατράφηκαν με το FM σιτηρέσιο ήταν  $75,39 \pm 0,28\%$ , με το ZLF10 σιτηρέσιο ήταν  $74,94 \pm 0,49\%$ , με το ZLF20 ήταν  $74,02 \pm 0,54\%$  και τέλος με το ZLF30 ήταν  $74,95 \pm 0,30\%$  (Πίν. 3.1). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι η μέση περιεκτικότητα σε υγρασία του μυϊκού ιστού των ιχθύων της διατροφικής ομάδας FM ήταν σημαντικά υψηλότερη ( $P < 0,05$ ) από εκείνη του μυϊκού ιστού των ιχθύων της διατροφικής ομάδας ZLF20.

**Πίνακας 3.1:** Περιεκτικότητα (%) σε υγρασία του μυϊκού ιστού της τσιπούρας διατρεφόμενης με ιχθυάλευρο ή απολιπασμένο αλεύρο του εντόμου *Z. morio* σε διάφορα επίπεδα υποκατάστασης.

A/A	FM	ZLF10	ZLF20	ZLF30
1	75,07	74,39	73,42	74,69
2	75,50	75,36	74,16	75,27
3	75,60	75,08	74,47	74,90
<b>M.O. ± T.A.</b>	$75,39 \pm 0,28^b$	$74,94 \pm 0,49^{ab}$	$74,02 \pm 0,54^a$	$74,95 \pm 0,30^{ab}$

**Σημείωση 1:** M.O.: μέσος όρος, T.A.: τυπική απόκλιση. **Σημείωση 2:** Τιμές που δεν αντιπροσωπεύονται από τον ίδιο εκθέτη δείχνουν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ) μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

### 3.2 Περιεκτικότητα σε ολικές λιπαρές ουσίες

Η μέση περιεκτικότητα σε ολικά λιπίδια του μυϊκού ιστού των ιχθύων που διατράφηκαν με το FM σιτηρέσιο ήταν  $8,42 \pm 0,58\%$ , με το ZLF10 σιτηρέσιο ήταν  $9,78 \pm 0,74\%$ , με το ZLF20 ήταν  $10,74 \pm 1,67\%$  και τέλος με το ZLF30 ήταν  $8,38 \pm 0,47\%$  (Πίν. 3.2). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P > 0,05$ ) μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

**Πίνακας 3.2:** Περιεκτικότητα (% επί της ξηρής ουσίας) σε ολικά λιπίδια του μυϊκού ιστού της τσιπούρας διατρεφόμενης με ιχθυάλευρο ή απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio* σε διάφορα επίπεδα υποκατάστασης.

A/A	FM	ZLF10	ZLF20	ZLF30
1	8,20	10,53	12,64	8,34
2	9,08	9,05	9,54	7,94
3	7,97	9,77	10,04	8,87
<b>M.O. <math>\pm</math> T.A.</b>	<b>8,42 <math>\pm</math> 0,58</b>	<b>9,78 <math>\pm</math> 0,74</b>	<b>10,74 <math>\pm</math> 1,67</b>	<b>8,38 <math>\pm</math> 0,47</b>

**Σημείωση:** M.O.: μέσος όρος, T.A.: τυπική απόκλιση.

### 3.3 Περιεκτικότητα σε ολικές αζωτούχες ουσίες

Η μέση περιεκτικότητα σε ολικές πρωτεΐνες του μυϊκού ιστού των ιχθύων που διατράφηκαν με το FM σιτηρέσιο ήταν  $83,31 \pm 1,40\%$ , με το ZLF10 σιτηρέσιο ήταν  $82,24 \pm 0,95\%$ , με το ZLF20 ήταν  $81,31 \pm 2,00\%$  και τέλος με το ZLF30 ήταν  $83,33 \pm 1,16\%$  (Πίν. 3.3). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P > 0,05$ ) μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

**Πίνακας 3.3:** Περιεκτικότητα (% επί της ξηρής ουσίας) σε ολικές πρωτεΐνες του μυϊκού ιστού της τσιπούρας διατρεφόμενης με ιχθυάλευρο ή απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio* σε διάφορα επίπεδα υποκατάστασης.

A/A	FM	ZLF10	ZLF20	ZLF30
1	83,15	81,21	79,16	83,45
2	81,99	83,08	83,13	84,43
3	84,78	82,42	81,63	82,12
<b>M.O. <math>\pm</math> T.A.</b>	<b>83,31 <math>\pm</math> 1,40</b>	<b>82,24 <math>\pm</math> 0,95</b>	<b>81,31 <math>\pm</math> 2,00</b>	<b>83,33 <math>\pm</math> 1,16</b>

**Σημείωση:** M.O.: μέσος όρος, T.A.: τυπική απόκλιση.



### 3.4 Περιεκτικότητα σε τέφρα

Η μέση περιεκτικότητα σε τέφρα του μυϊκού ιστού των ιχθύων που διατράφηκαν με το FM σιτηρέσιο ήταν  $6,74 \pm 0,29\%$ , με το ZLF10 σιτηρέσιο ήταν  $6,64 \pm 0,38\%$ , με το ZLF20 ήταν  $6,45 \pm 0,22\%$  και τέλος με το ZLF30 ήταν  $6,76 \pm 0,19\%$  (Πίν. 3.4). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $P > 0,05$ ) μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

**Πίνακας 3.4:** Περιεκτικότητα (% επί της ξηρής ουσίας) σε τέφρα του μυϊκού ιστού της τσιπούρας διατρεφόμενης με ιχθυάλευρο ή απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio* σε διάφορα επίπεδα υποκατάστασης.

A/A	FM	ZLF10	ZLF20	ZLF30
1	6,97	6,33	6,26	6,57
2	6,41	7,07	6,40	6,77
3	6,83	6,52	6,69	6,94
<b>M.O. <math>\pm</math> T.A.</b>	$6,74 \pm 0,29$	$6,64 \pm 0,38$	$6,45 \pm 0,22$	$6,76 \pm 0,19$

**Σημείωση:** M.O.: μέσος όρος, T.A.: τυπική απόκλιση.

### 3.5 Περιεκτικότητα σε ολική ενέργεια

Η μέση περιεκτικότητα σε ολική ενέργεια του μυϊκού ιστού των ιχθύων που διατράφηκαν με το FM σιτηρέσιο ήταν  $23,09 \pm 0,30$ kJ/g, με το ZLF10 σιτηρέσιο ήταν  $23,64 \pm 0,13$ kJ/g, με το ZLF20 ήταν  $23,69 \pm 0,23$ kJ/g και τέλος με το ZLF30 ήταν  $23,18 \pm 0,10$ kJ/g (Πίν. 3.5). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι η μέση περιεκτικότητα σε ολική ενέργεια του μυϊκού ιστού των ιχθύων της διατροφικής ομάδας FM ήταν σημαντικά χαμηλότερη ( $P < 0,05$ ) από εκείνη του μυϊκού ιστού των ιχθύων των διατροφικών ομάδων ZLF10 και ZLF20.

**Πίνακας 3.5:** Περιεκτικότητα (kJ/g) σε ολική ενέργεια του μυϊκού ιστού της τσιπούρας διατρεφόμενης με ιχθυάλευρο ή απολιπασμένο αλεύρο του εντόμου *Z. morio* σε διάφορα επίπεδα υποκατάστασης.

A/A	FM	ZLF10	ZLF20	ZLF30
1	22,97	23,77	23,89	23,22
2	23,43	23,51	23,44	23,25
3	22,87	23,65	23,73	23,06
<b>M.O. <math>\pm</math> T.A.</b>	$23,09 \pm 0,30^a$	$23,64 \pm 0,13^b$	$23,69 \pm 0,23^b$	$23,18 \pm 0,10^{ab}$

**Σημείωση 1:** M.O.: μέσος όρος, T.A.: τυπική απόκλιση. **Σημείωση 2:** Τιμές που δεν αντιπροσωπεύονται από τον ίδιο εκθέτη δείχνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ) μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

### 3.6 Συνολική θρεπτική σύσταση μυϊκού ιστού ιχθύων

Συνοψίζοντας για τη θρεπτική σύσταση του μυϊκού ιστού των ιχθύων (Πίν. 3.6), οι τιμές των ολικών λιπιδίων, των ολικών πρωτεϊνών και της τέφρας δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των τεσσάρων διατροφικών ομάδων. Αντιθέτως, τόσο οι τιμές της υγρασίας όσο και οι τιμές της ολικής ενέργειας διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.

**Πίνακας 3.6:** Συγκεντρωτικός πίνακας της θρεπτικής σύστασης (% επί της ξηρής ουσίας) του μυϊκού ιστού της τσιπούρας που διατράφηκε με τα πειραματικά σιτηρέσια.

Θρεπτική σύσταση (%)	FM	ZLF10	ZLF20	ZLF30
Υγρασία (επί του νωπού ιστού)	75,39 ± 0,28 <sup>b</sup>	74,94 ± 0,49 <sup>ab</sup>	74,02 ± 0,54 <sup>a</sup>	74,95 ± 0,30 <sup>ab</sup>
Ολικά λιπίδια	8,42 ± 0,58	9,78 ± 0,74	10,74 ± 1,67	8,38 ± 0,47
Ολικές πρωτεΐνες	83,31 ± 1,40	82,24 ± 0,95	81,31 ± 2,00	83,33 ± 1,16
Τέφρα	6,74 ± 0,29	6,64 ± 0,38	6,45 ± 0,22	6,76 ± 0,19
Ολική ενέργεια (kJ/g)	23,09 ± 0,30 <sup>a</sup>	23,64 ± 0,13 <sup>b</sup>	23,69 ± 0,23 <sup>b</sup>	23,18 ± 0,10 <sup>ab</sup>

**Σημείωση 1:** Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n = 3). **Σημείωση 2:** Τιμές που δεν αντιπροσωπεύονται από τον ίδιο εκθέτη οριζόντια ανά γραμμή δείχνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P < 0,05) μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μερική υποκατάσταση, ακόμη και η πλήρης αντικατάσταση, του ιχθυαλεύρου από άλευρο εντόμων έχει μελετηθεί σε σημαντικό βαθμό τα τελευταία έτη με στόχο τη σταδιακή ένταξη του στα σιτηρέσια των ιχθύων. Στην παρούσα προπτυχιακή διπλωματική εργασία μελετήθηκε η καταλληλότητα διαφόρων επιπέδων συμμετοχής ενός απολιπασμένου αλεύρου του εντόμου *Z. morio* στο σιτηρέσιο της τσιπούρας (*S. aurata*), υποκαθιστώντας το διαιτητικό ιχθυάλευρο.

Οι μέσες τιμές της υγρασίας του μυϊκού ιστού των ιχθύων παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων, με την μέση τιμή των ιχθύων της ομάδας ZLF20 να ήταν σημαντικά χαμηλότερη από εκείνη της ομάδας FM. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στη λιποπεριεκτικότητα του μυϊκού ιστού. Συνήθως, όσα περισσότερα λιπίδια στο σώμα, αλλά και τον μυϊκό ιστό των ιχθύων τόσο λιγότερη υγρασία. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συνάδουν με αυτή την πρόταση, κάτι που θα αναλυθεί ακολούθως. Συνεχίζοντας, οι μέσες τιμές των ολικών λιπιδίων του μυϊκού ιστού της τσιπούρας δεν παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των τεσσάρων διατροφικών ομάδων. Αυτό σημαίνει ότι η αυξανόμενη συμμετοχή του απολιπασμένου αλεύρου *Z. morio* στο σιτηρέσιο, έως και 30% του ιχθυαλεύρου, δεν επιφέρει σημαντικές διαφορές στη λιποπεριεκτικότητα του μυϊκού ιστού της τσιπούρας. Όμως, διαπιστώθηκε ότι οι ιχθύες που διατράφηκαν με το σιτηρέσιο ZLF20 είχαν την υψηλότερη, αν και μη στατιστικά σημαντική, περιεκτικότητα σε ολικές λιπαρές ουσίες. Οι ιχθύες της ομάδας ZLF20 πιθανώς κατανάλωσαν μεγαλύτερη ποσότητα τροφής, οπότε η προσληφθείσα ενέργεια ήταν υψηλότερη, και συνεπώς το πλεόνασμα αυτής εναποτέθηκε με τη μορφή λίπους. Ωστόσο, με βάση τα δεδομένα της παρούσας διπλωματικής διατριβής το αποτέλεσμα δεν δύναται να ερμηνευθεί εύκολα. Σύμφωνα με τους Asimaki *et al.* (2020a), που διεξήγαγαν την πειραματική εκτροφή από όπου

προήλθαν τα παρόντα δείγματα, η πρόσληψη ιχθυοτροφής από τους ιχθύες της μεταχείρισης ZLF20 ήταν παρόμοια με των υπολοίπων μεταχειρίσεων, και άρα ο ανωτέρω συλλογισμός δεν ισχύει.

Οι μέσες τιμές των ολικών πρωτεϊνών στον μυϊκό ιστό των ατόμων της τσιπούρας ήταν παρόμοιες ανάμεσα στις τέσσερις διατροφικές ομάδες. Επομένως, το απολιπασμένο άλευρο του μελετώμενου εντόμου και τα αυξημένα του επίπεδα στο σιτηρέσιο του είδους *S. aurata* δεν επιφέρουν αλλαγές στην περιεκτικότητα του μυϊκού ιστού των ιχθύων σε ολικές αζωτούχες ουσίες συγκριτικά με εκείνους που διατρέφονται με ιχθυάλευρο ως μοναδική πηγή ζωικής πρωτεΐνης. Όσον αφορά τις μέσες τιμές της τέφρας του μυϊκού ιστού των ιχθύων, δεν εμφάνισαν διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων. Συνεπώς, η επίδραση τόσο του ίδιου του απολιπασμένου αλεύρου *Z. morio* ως συστατικό της τροφής όσο και των αυξανόμενων επιπέδων χορήγησης του στο σιτηρέσιο δεν προξενεί μεταβολές στην περιεκτικότητα του μυϊκού ιστού των ιχθύων σε τέφρα σε σύγκριση με εκείνους που διατρέφονται αποκλειστικά με ιχθυάλευρο ως πηγή ζωικής πρωτεΐνης.

Τέλος, οι μέσες τιμές της ολικής ενέργειας του μυϊκού ιστού του διατρεφόμενου είδους παρουσίασαν διαφορές ανάμεσα στις τέσσερις διατροφικές ομάδες. Η μέση τιμή των ιχθύων της ομάδας FM ήταν στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερη από εκείνες των ομάδων ZLF10 και ZLF20. Το συγκεκριμένο εξαχθέν αποτέλεσμα ίσως έχει κάποια σύνδεση με το αποτέλεσμα της μέσης περιεκτικότητας του μυϊκού ιστού των ιχθύων σε ολικά λιπίδια δεδομένου ότι αποτελούν τις κύριες αποθήκες ενέργειας για τον οργανισμό. Όπως παρατηρήθηκε, η αύξηση των ολικών λιπαρών ουσιών τείνει να συνοδεύεται από αύξηση της ολικής ενέργειας και το αντίθετο.

Η βιβλιογραφία αναφορικά με την υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από άλευρο του *Z. morio* στη διατροφή των ιχθύων και πως επηρεάζει τη θρεπτική σύσταση αυτών είναι αρκετά περιορισμένη. Σε διατροφικό πείραμα των Asimaki *et al.* (2020b) με την τσιπούρα δείχθηκε ότι το πλήρες λιπαρών άλευρο του υπό μελέτη εντόμου αποτελεί μια ελκυστική τροφή που θα μπορούσε να υποκαταστήσει επιτυχώς το ιχθυάλευρο σε ποσοστό της τάξεως του 10%. Ακόμη, οι Asimaki *et al.* (2020a) ανέφεραν ότι το απολιπασμένο άλευρο του *Z. morio* δύναται να συμπεριληφθεί στη διατροφή της τσιπούρας σε υψηλά επίπεδα, υποκαθιστώντας το ιχθυάλευρο έως και κατά 30%, δίχως να επηρεάζεται η ανάπτυξη και η θρεπτική σύσταση του σώματος των ιχθύων, καθώς και η αποδοτικότητα της τροφής.

Δυστυχώς, δεν υπάρχουν επαρκείς μελέτες για τη χημική σύσταση του μυϊκού ιστού των ιχθύων που διατράφηκαν με εντομάλευρα, αλλά σε έρευνα των Alves *et al.* (2020) η θρεπτική σύσταση του σώματος των ιχθύων της τιλάπιας του Νείλου (*O. niloticus*) μεταβλήθηκε με την προσθήκη αλεύρου εντόμων, καθώς οι ιχθύες που διατράφηκαν με σιτηρέσιο που περιείχε πλήρες λιπαρών άλευρο του *Z. morio*, σε ποσοστό υποκατάστασης 30%, είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία και λιπίδια, αλλά χαμηλότερη σε πρωτεΐνες και τέφρα συγκριτικά με εκείνους που τους παρασχέθηκε το σιτηρέσιο-μάρτυρας, το οποίο περιείχε σογιάλευρο και σογιέλαιο σε ίδιο ποσοστό.

Το άλευρο του εντόμου *Z. morio* αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο συστατικό για τη διατροφή της τιλάπιας του Νείλου σύμφωνα με τους Jabir *et al.* (2012). Η μερική υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από άλευρο του *Z. morio* δεν μετέβαλλε προς τα κάτω τη θρεπτική σύσταση των ιχθύων σε ξηρή ουσία, πρωτεΐνες και λιπίδια σε σχέση με το σιτηρέσιο-μάρτυρα, που περιείχε ιχθυάλευρο ως αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης. Μόνο η περιεκτικότητα των ιχθύων σε τέφρα παρουσίασε διακυμάνσεις μεταξύ των

μεταχειρίσεων. Συμπερασματικά, οι συγγραφείς ανέφεραν ότι το ιχθυάλευρο δύναται να υποκατασταθεί από άλευρο του μελετώμενου εντόμου, σε ποσοστό έως και 25%, χωρίς καμία δυσμενή επίδραση στην αξιοποίηση της τροφής και τη θρεπτική σύσταση του σώματος των ιχθύων της τιλάπιας του Νείλου.

Τέλος, οι Tilami *et al.* (2020) σε μελέτη που αφορούσε στην πέρκα (*Perca fluviatilis*), χρησιμοποίησαν ισόποσο μίγμα των εντόμων *Z. morio* και *A. domesticus*, ώστε να υποκαταστήσουν το ιχθυάλευρο σε ποσοστό 25%. Παρατήρησαν σημαντική μείωση της ανάπτυξης των ιχθύων, όπως και της αποδοτικότητας της τροφής συγκριτικά με το σιτηρέσιο-μάρτυρα. Επιπροσθέτως, ανέφεραν πως η περιεκτικότητα του φιλέτου των ιχθύων της πέρκας σε ολικά λιπίδια και λιπαρά οξέα ήταν παρόμοια ανάμεσα στις δύο διατροφικές ομάδες.

Εκτός του *Z. morio*, πλήθος ερευνητών έχει ασχοληθεί με την ένταξη ποικίλων ειδών εντόμων στις ιχθυοτροφές. Τα ευρήματα της πλειονότητας των μελετών ενισχύουν την πιθανότητα προσθήκης εντομαλεύρων στις ιχθυοτροφές, δίχως να επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό η χημική σύσταση των ιχθύων (Henry *et al.*, 2015). Οι Karapanagiotidis *et al.* (2014) πραγματοποίησαν μελέτη που αφορούσε στην τσιπούρα (*S. aurata*) και ανέφεραν πως το πλήρες λιπαρόν άλευρο το εντόμου *H. illucens* δύναται να υποκαταστήσει το ιχθυάλευρο, σε ένα επίπεδο έως και 30%, χωρίς να επηρεάσει σημαντικά τη θρεπτική σύσταση των ιχθύων. Ακόμη, οι Piccolo *et al.* (2017) ανέφεραν ότι το έντομο *T. molitor* μπορεί να συμπεριληφθεί στα σιτηρέσια που προορίζονται για τη διατροφή της τσιπούρας, ενώ κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χορήγηση του συγκεκριμένου εντόμου, σε ποσοστό 25% επί της ιχθυοτροφής, έχει τα καλύτερα αποτελέσματα στην ανάπτυξη των ιχθύων.

Εν κατακλείδι, η υποκατάσταση του διαιτητικού ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio*, σε ποσοστό 10%, 20% και 30%, δεν επηρεάζει σημαντικά τη θρεπτική σύσταση του εδώδιμου μυϊκού ιστού του είδους *S. aurata*, εκτός από την περιεκτικότητά του σε υγρασία και ολική ενέργεια. Έτσι, επίπεδα υποκατάστασης του ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο *Z. morio*, της τάξεως του 20%, οδηγούν σε σημαντικά χαμηλότερη υγρασία στον μυϊκό ιστό της τσιπούρας. Επιπλέον, επίπεδα υποκατάστασης του ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του υπό μελέτη εντόμου, της τάξεως του 10% και 20%, οδηγούν σε σημαντικά υψηλότερη ολική ενέργεια στον μυϊκό ιστό της τσιπούρας. Παρόλα αυτά, η υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του μελετώμενου εντόμου, σε ποσοστό έως 30%, δεν επιδρά αρνητικά στη χημική σύσταση του μυϊκού ιστού της τσιπούρας. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι το εντομάλευρο του *Z. morio* αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο συστατικό για τη διατροφή του είδους και αξίζει να ενταχθεί σε αυτή. Βέβαια, η διενέργεια περισσότερων ερευνών κρίνεται απαραίτητη, ούτως ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα και τα μέγιστα επίπεδα χορήγησης του στις ιχθυοτροφές και άλλων ειδών. Όλες οι έγκυρες μελέτες χρειάζεται να ληφθούν υπόψη στην επικαιροποίηση της νομοθεσίας προκειμένου να επιτραπεί η προσθήκη του στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων υδρόβιων οργανισμών.



## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 5.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Adámková, A., Kouřimská, L., Borkovcová, M., Kulma, M. and Mlček, J., 2016.

Nutritional values of edible coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. *Potravinarstvo*, 10(1), pp.663-671.

Adámková, A., Mlček, J., Kouřimská, L., Borkovcová, M., Bušina, T., Adámek, M.,

Bednářová, M. and Krajsa, J., 2017. Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), p.521.

Akhtar, Y. and Isman, M., 2018. Insects as an Alternative Protein Source. *Proteins in*

*Food Processing*, pp.263-288.

Alexandratos, N. and Bruinsma, J., 2012. World agriculture towards 2030/2050. The

2012 revision. ESA Working Paper No. 12–03, Agricultural Development Economics Division, FAO, Rome, Italy.

Alves, A., Paulino, R., Pereira, R., Costa, D. and Rosa, P., 2020. Nile tilapia fed insect

meal: Growth and innate immune response in different times under lipopolysaccharide challenge. *Aquaculture Research*, 52(2), pp.529-540.

AOAC, 1995. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis

of the Association of Official Analytical Chemists International, (16th edition) AOAC, Arlington, VA, USA.

APROMAR, 2008. La acuicultura marina de peces en España 2008.

- Asimaki, A., Psoufakis, P., Neofytou, M., Mente, E., Rumbos, C., Athanassiou, C., Fountoulaki, E., Henry, M. and Karapanagiotidis, I., 2020a. Effects of fishmeal replacement by defatted *Zophobas morio* larvae meal on growth and feed efficiency of gilthead seabream (*Sparus aurata*). Aquaculture Europe 2020 Online, 12-15 April 2021.
- Asimaki, A., Psoufakis, P., Ekonomou, G., Mente, E., Rumbos, C., Athanassiou, C., Fountoulaki, E., Henry, M. and Karapanagiotidis, I., 2020b. Evaluation of *Zophobas morio* larvae meal as fishmeal replacer for gilthead seabream diet. Insects to Feed the World 2020 Virtual Conference, 23-26 November 2020.
- Barker, D., Fitzpatrick, M. and Dierenfeld, E., 1998. Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biology*, 17(2), pp.123-134.
- Barroso, F., de Haro, C., Sánchez-Muros, M., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A. and Pérez-Bañón, C., 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422-423, pp.193-201.
- Barrows, F., Bellis, D., Krogdahl, Å., Silverstein, J., Herman, E., Sealey, W., Rust, M. and Gatlin, D., 2008. Report of the Plant Products in Aquafeed Strategic Planning Workshop: An Integrated, Interdisciplinary Research Roadmap for Increasing Utilization of Plant Feedstuffs in Diets for Carnivorous Fish. *Reviews in Fisheries Science*, 16(4), pp.449-455.
- Bauchot, M. and Hureau, J., 1990. Sparidae. In: Quérou, J.C., Hureau, J.C., Karrer, C., Post, A., Saldanha, L. (Eds.), Check-list of the Fishes of the Eastern Tropical Atlantic, Vol.2, JNICT, Lisbon; SEI, Paris; and UNESCO, Paris, pp.790-812.

- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C., Paoletti, M. and Ricci, A., 2013. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), pp.296-313.
- Boran, G. and Karacam, H., 2011. Seasonal Changes in Proximate Composition of Some Fish Species from the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11(1).
- Bosch, G., Zhang, S., Oonincx, D. and Hendriks, W., 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *Journal of Nutritional Science*, 3.
- Brown, R., 2004. *Genetic Management And Selective Breeding In Farmed Populations Of Gilthead Seabream (Sparus Aurata)*. Ph.D. Thesis, University of Stirling.
- Chen, X., Feng, Y. and Chen, Z., 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*, 39(5), pp.299-303.
- Chia, S., Tanga, C., Van Loon, J. and Dicke, M., 2019. Insects for sustainable animal feed: inclusive business models involving smallholder farmers. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 41, pp.23-30.
- De Silva, S. and Turchini, G., 2008. Towards Understanding the Impacts of the Pet Food Industry on World Fish and Seafood Supplies. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21(5), pp.459-467.
- FAO, 1998. Fishery statistics: Capture production, Vol. 82. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO/SIFAR, 2001. *The Composition of Fish*. (FAO in partnership with Support unit for International Fisheries and Aquatic Research), SIFAR, Torry Advisory Note No.38.

FAO, 2005. Fishery and Aquaculture Information and Statistics Service. Aquaculture production. FAO yearbook. Fishery statistics. Aquaculture production, Vol. 100/2, Rome, FAO, 2007.

FAO, 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO, 2015. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Sparus aurata*. In: Colloca, F., Cerasi, S. (Eds.), Fisheries and Aquaculture Department, Rome.

FAO, 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the Sustainable Development Goals*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO, 2020. *The State Of World Fisheries And Aquaculture 2020*. Rome, Italy: Food & Agriculture org.

Finke, M., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), pp.269-285.

Finke, M., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26(2), pp.105-115.

Finke, M., 2015. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Biology*, 34(6), pp.554-564.

- Francis, G., Makkar, H. and Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3-4), pp.197-227.
- DeFoliart, G., 1991. Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of unsaturation, but higher in the polyunsaturates. *Food Insects Newsletter*, 4(1), pp.1-4.
- Gatlin, D., Barrows, F., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T., Hardy, R., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, Å., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., J Souza, E., Stone, D., Wilson, R. and Wurtele, E., 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38(6), pp.551-579.
- Ghaly, A. and Alkoaik, F., 2009. The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(4), pp.319-331.
- Ghioni, C., Bell, J. and Sargent, J., 1996. Polyunsaturated fatty acids in neutral lipids and phospholipids of some freshwater insects. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 114(2), pp.161-170.
- Haard, N., 1992. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International*, 25(4), pp.289-307.
- Hardy, R., 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41(5), pp.770-776.

- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G. and Fountoulaki, E., 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, pp.1-22.
- Howe, E., Simenstad, C., Toft, J., Cordell, J. and Bollens, S., 2014. Macroinvertebrate Prey Availability and Fish Diet Selectivity in Relation to Environmental Variables in Natural and Restoring North San Francisco Bay Tidal Marsh Channels. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 12(1).
- Innis, S., 1991. Essential fatty acids in growth and development. *Progress in Lipid Research*, 30(1), pp.39-103.
- Jabir, M., Razak, S. and Vikineswary, S., 2012. Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *African Journal of Biotechnology*, 11(24), pp.6592-6598.
- Jackson, A., 2008. Outlook for Fishmeal and Fish Oil Production and Its Role in Sustainable Aquaculture, IFFO (International Fishmeal & Fish oil Organization) Conference, World Aquaculture Society, Busan.
- Jackson, A., 2009. The continuing demand for sustainable fishmeal and fish oil in aquaculture diets. *International Aquafeed*, 12, pp.27-33.
- Ji, H., Zhang, J., Huang, J., Cheng, X. and Liu, C., 2013. Effect of replacement of dietary fish meal with silkworm pupae meal on growth performance, body composition, intestinal protease activity and health status in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture Research*, 46(5), pp.1209-1221.
- Karapanagiotidis, I., Daskalopoulou, E., Vogiatzis, I., Rumbos, C., Mente, E. and Athanassiou, C., 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

Lindsay, G., Walton, M., Adron, J., Fletcher, T., Cho, C. and Cowey, C., 1984. The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. *Aquaculture*, 37(4), pp.315-334.

Love, R., 1970. *The chemical biology of fishes*. 1st ed. London: Academic Press.

Love, R., 1992. Biochemical dynamics and the quality of fresh and frozen fish. In: G. M. Glasgow (Eds.), *Fish Processing Technology*. Blackie Academic & Professional, pp.1-30.

Lowenberger, C., 2001. Innate immune response of *Aedes aegypti*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 31(3), pp.219-229.

Makkar, H., Tran, G., Heuzé, V. and Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, pp.1-33.

Makkar, H., 2018. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12(8), pp.1744-1754.

Mancuso, T., Baldi, L. and Gasco, L., 2016. An empirical study on consumer acceptance of farmed fish fed on insect meals: the Italian case. *Aquaculture International*, 24(5), pp.1489-1507.

Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M. and Gasco, L., 2018. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), pp.5776-5784.

- Merino, G., Barange, M. and Mullon, C., 2010. Climate variability and change scenarios for a marine commodity: Modelling small pelagic fish, fisheries and fishmeal in a globalized market. *Journal of Marine Systems*, 81(1-2), pp.196-205.
- Meuwissen, P., 2011. Insecten als nieuwe eiwitbron. Een scenarioverkenning van de marktkansen. ZLTO-projecten. 's Hertogenbosch, The Netherlands.
- Miles, R. and Chapman F., 2006. The Benefits of Fish Meal in Aquaculture Diets. *Institute of Food and Agricultural Sciences*, pp.1-6.
- Mohanty, B., Mahanty, A., Ganguly, S., Mitra, T., Karunakaran, D. and Anandan, R., 2019. Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security. *Food Chemistry*, 293, pp.561-570.
- Mohtar, J., Yusof, F. and Ali., N., 2014. Screening of novel acidified solvents for maximal antimicrobial peptide extraction from *Zophobas morio fabricius*. *Advances in Environmental Biology*, 8(3), pp.803-809.
- Moretti, A., Pedini, M., Citolin, G. and Guidastri, R., 1999. Manual of Hatchery production of sea bass and gilthead seabream, Vol. 1, FAO, Rome, pp.194.
- National Research Council (NRC), 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington, DC.
- Naylor, R., Goldburg, R., Primavera, J., Kautsky, N., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. and Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790), pp.1017-1024.
- Ng, W., Liew, F., Ang, L. and Wong, K., 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32, pp.273-280.



- Nijdam, D., Rood, T. and Westhoek, H., 2012. The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*, 37(6), pp.760-770.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B. and Józefiak, A., 2018. Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), pp.1080-1103.
- Olsen, R. and Hasan, M., 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*, 27(2), pp.120-128.
- Oonincx, D. and de Boer, I., 2012. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE*, 7(12), p.e51145.
- Pavlidis, M. and Mylonas, C., 2011. *Sparidae*. Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Blackwell
- Piccolo, G., Iaconisi, V., Marono, S., Gasco, L., Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F. and Parisi, G., 2017. Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Animal Feed Science and Technology*, 226, pp.12-20.
- Proteinsect, 2013. Enabling the exploitation of Insects as a Sustainable Source of Protein for Animal Feed and Human Nutrition. Work Package 5: Pro-Insect Platform in Europe, Deliverable 5.1 - Mapping Exercise Report with regard to current Legislation & Regulation: Europe and Africa & China.

- Rafflenbeul, W., 2001. Fish for a healthy heart. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103(5), pp.315-317.
- Raksakantong, P., Meeso, N., Kubola, J. and Siriamornpun, S., 2010. Fatty acids and proximate composition of eight Thai edible terricolous insects. *Food Research International*, 43(1), pp.350-355.
- Rana, K., Siriwardena, S. and Hasan, M., 2009. Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production FAO (Eds.), Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Food, Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p.63.
- Ravi, C., Jeyashree, A. and Devi, K., 2011. Antimicrobial Peptides From Insects: An Overview. *Research in Biotechnology*, 2(5), pp.1-7.
- Rumbos, C. and Athanassiou, C., 2021. The Superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae): A ‘Sleeping Giant’ in Nutrient Sources. *Journal of Insect Science*, 21(2).
- Rumpold, B. and Schlüter, O., 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17, pp.1-11.
- Sánchez-Muros, M., Barroso, F. and Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, pp.16-27.
- Saoud, I., Batal, M., Ghanawi, J. and Lebbos, N., 2008. Seasonal evaluation of nutritional benefits of two fish species in the eastern Mediterranean Sea. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(3), pp.538-542.

- Schabel, H., 2010. Forests insects as food: a global review. In: Durst, P., Johnson, D., Leslie, R., Shono, K. (Eds.), *Forests Insects as food: Humans Bite Back*. FAO, Bangkok, Thailand, pp.37-64.
- Shepherd, C., Pike, I. and Barlow, S., 2005. Sustainable feed resources of marine origin. *European Aquaculture Society Special Publication*, 35, pp.59-66.
- Shepherd, C. and Jackson, A., 2013. Global fishmeal and fish-oil supply: inputs, outputs and markets. *Journal of Fish Biology*, p.n/a-n/a.
- Soares Araújo, R., dos Santos Benfica, T., Ferraz, V. and Moreira Santos, E., 2019. Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, pp.22-26.
- Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S. and Gasco, L., 2019. The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals*, 9(4), p.119.
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Obyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P. and De Smet, S., 2017. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), pp.2594-2600.
- Stanley-Samuelson, D., Jurenka, R., Cripps, C., Blomquist, G. and de Renobales, M., 1988. Fatty acids in insects: Composition, metabolism, and biological significance. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 9(1), pp.1-33.
- Stansby, M.E., ed., 1962. Proximate Composition Of Fish. *Fish in nutrition*. pp.55-60.

- Stergiou, K. and Karpouzi, V., 2001. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 11(3), pp.217-254.
- Tacon, A. and Metian, M., 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4), pp.146-158.
- Tacon, A. and Metian, M., 2013. Fish Matters: Importance of Aquatic Foods in Human Nutrition and Global Food Supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), pp.22-38.
- Tacon, A. and Metian, M., 2015. Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), pp.1-10.
- Tilami, S. and Sampels, S., 2017. Nutritional Value of Fish: Lipids, Proteins, Vitamins, and Minerals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(2), pp.243-253.
- Tilami, S., Turek, J., Červený, D., Lepič, P., Kozák, P., Burkina, V., Sakalli, S., Tomčala, A., Sampels, S. and Mráz, J., 2020. Insect Meal as a Partial Replacement for Fish Meal in a Formulated Diet for Perch *Perca fluviatilis*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(12), pp.867-878.
- Van Huis, A., 2013. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), pp.563-583.
- Van Huis, A. and Oonincx, D., 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5).
- Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., Van Huis, A., Lakemond C., Ottevanger, E., Bosch, G., Van Boekel, M., 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study. *Wageningen UR Livestock Research*, report 638, pp.1-48.

- Venugopal, V. and Shahidi, F., 1996. Structure and composition of fish muscle. *Food Reviews International*, 12(2), pp.175-197.
- Verbeke, W., Spranghers, T., De Clercq, P., De Smet, S., Sas, B. and Eeckhout, M., 2015. Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens. *Animal Feed Science and Technology*, 204, pp.72-87.
- Whitley, S. and Bollens, S., 2014. Fish assemblages across a vegetation gradient in a restoring tidal freshwater wetland: diets and potential for resource competition. *Environmental Biology of Fishes*, 97(6), pp.659-674.
- Wilson, R., 2002. Protein and amino acids. Halver, J., Hardy, R. (Eds.), *Fish Nutrition*, Elsevier Science, San Diego, USA, pp.144-179.
- Yen, A., 2010. Edible Insects and Other Invertebrates in Australia: Future Prospects. In: Durst, P., Johnson, D. and Leslie, R. (Eds.), *Edible Forest Insect: Human Bite Back. Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development*, Bangkok, pp.65-84.
- Zohar, Y., Elizur, A., Sherwood, N., Powell, J., Rivier, J. and Zmora, N., 1995. Gonadotropin-Releasing Activities of the Three Native Forms of Gonadotropin-Releasing Hormone Present in the Brain of Gilthead Seabream, *Sparus aurata*. *General and Comparative Endocrinology*, 97(3), pp.289-299.

## 5.2 Ελληνική βιβλιογραφία

Βουλτσιάδου, Ε., Αμπατζόπουλος, Θ., Αντωνοπούλου, Ε., Γκάνιας, Κ., Γκέλης, Σ.,

Στάικου, Α. και Τριανταφυλλίδης, Α., 2015. Υδατοκαλλιέργειες. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα.

Καραπαναγιωτίδης, Ι., 2017. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις μαθήματος “Διατροφή

Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών”. Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Καραπαναγιωτίδης, Ι., 2018. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις Μαθήματος “Τεχνολογία

Ιχθυοτρόφων”. Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Κλαουδάτος, Σ. και Κλαουδάτος, Δ., 2012. Καλλιέργειες Φυτικών Και Εκτροφές

Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών. Εκδόσεις Προπομπός, Αθήνα.

Μεντέ, Ε. και Νέγκας, Ι., 2011. Στοιχεία φυσιολογίας θρέψεως και εφαρμοσμένη

διατροφή ιχθύων και καρκινοειδών. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.

Παπουτσόγλου, Σ., 2008. Διατροφή Ιχθύων. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

## 5.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

FAO.org. 2020. *FAO Fisheries & Aquaculture - Aquatic Species*. [online] Available at:

<<http://www.fao.org/fishery/species/2384/en>> [Accessed 9 August 2020].

FAO.org. 2020. *FAO Fisheries & Aquaculture Sparus Aurata*. [online] Available at:

<[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sparus\\_aurata/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sparus_aurata/en)> [Accessed 9 August 2020].

FAO.org. 2020. *FAO: Gilthead Seabream Home*. [online] Available at:  
<<http://www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/gilthead-seabream/gilthead-seabream-home/en/>> [Accessed 9 August 2020].

FGM.com.gr. 2020. *ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕΘ 2020*. [online] Available at:  
<[https://www.fgm.com.gr/uploads/file/FGM\\_20\\_GR\\_WEB\\_Spreads.pdf](https://www.fgm.com.gr/uploads/file/FGM_20_GR_WEB_Spreads.pdf)>  
[Accessed 22 April 2021].

IFFO.com. 2018. *The Continuing Importance Of Fishmeal And Fish Oil In Aquafeeds*.  
[online] Available at:  
<<https://www.iffco.com/system/files/downloads/AquaFarm%20Feb18%20NA.pdf>  
> [Accessed 4 September 2020].

## ABSTRACT

Fishmeal constitutes the primary source of proteins in nutrition of farmed fish. Currently, efforts are being made in finding alternative and viable nutrient sources in order to be included in the fish diets. Insect meals are not currently available in quantities which are required by the aquaculture industry. However, they appear to have a grand perspective, because of their high protein content. However, the literature related to the incorporation of insect meals in fish feeds is limited.

The objective of this study was the investigation of the effect of partial replacement of dietary fishmeal by defatted meal of the insect *Zophobas morio* on the muscle proximate composition of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). In this study 48 juveniles of gilthead seabream (12 individuals per dietary group), were used, which derived from a feeding experiment of the certain species, and lasted 100 days, where 4 different groups fed on different diets. The first group (FM) was fed on a control diet, which included fishmeal as unique source of animal protein. The other groups were fed on diets in which the fishmeal was gradually substituted by defatted meal of *Z. morio* at a rate of 10%, 20% and 30% (ZLF10, ZLF20 and ZLF30 respectively).

Afterwards, were conducted analyses of muscle chemical composition of fish concerning its content in moisture, crude lipid, crude protein, ash, and total energy.

The results have shown that the substitution of fishmeal by defatted meal of *Z. morio* in percentage up to 30% does not cause significant changes in the content of fish's muscle tissue in crude lipid, crude protein, and ash. On the contrary, based on the results of the muscle tissue's moisture content the replacement of fishmeal at a rate of 20% causes significant reduction in its moisture. Regarding the results of the content of



the muscle tissue in total energy, the substitution of fishmeal at levels of 10% and 20% causes significant increase in its total energy.

In conclusion, the replacement of fishmeal by defatted meal of *Z. morio* up to 30% does not affect significantly the proximate composition of the muscle tissue of gilthead seabream apart from its content in moisture and total energy.

**Keywords:** *Zophobas morio*, insect proteins, *Sparus aurata*, fish nutrition