

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



«Συγκριτική αξιολόγηση της επίδρασης του πλήρους λιπαρών και απολιπασμένου αλεύρου του εντόμου *Zorhobas morio* στη θρεπτική σύσταση ολόκληρου του σώματος της τσιπούρας (*Sparus aurata*)»

Καραϊσκού Μαρία

ΒΟΛΟΣ 2021

**«Συγκριτική αξιολόγηση της επίδρασης του πλήρους λιπαρών και απολιπασμένου
αλεύρου του εντόμου *Zophobas morio* στη θρεπτική σύσταση ολόκληρου του
σώματος 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) Νικόλαος Νεοφύτου, Αναπληρωτής Καθηγητής – Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

3) Χρίστος Ρούμπος, Πανεπιστημιακός Μεταδιδακτορικός Υπότροφος (Ίδρυμα Νιάρχος) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας – Διδάκτωρ Εντομολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Καραπαναγιωτίδη Ιωάννη για τη συνεχή υποστήριξή του κατά τη διεξαγωγή του πειράματος και την πολύτιμη καθοδήγησή του κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής αποτελούμενη από τους κ. Νεοφύτου Νικόλαο και κ. Ρούμπο Χρίστο για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους σε όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους υποψήφιους διδάκτορες, κ. Ψωφάκη Πιερ και κα. Ασημάκη Μαντώ, για την ανιδιοτελή βοήθειά τους, τόσο σε προσωπικό όσο και σε εργαστηριακό επίπεδο στο χώρο του Πανεπιστημίου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου, κ. Δελιόπουλο Αντώνη, κ. Θεοδώρου Χριστόφορο, κ. Νταλάκα Ιωάννη και κ. Φιλιππάκη Νικόλαο για την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω την οικογένειά μου, για την ψυχική συμπαράσταση, ενθάρρυνση και κατανόηση σε όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς και η ανάγκη για τροφή είναι επιτακτική. Η υδατοκαλλιέργεια θεωρείται ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος κλάδος για την παραγωγή ιχθύων προς κατανάλωση. Οι ιχθύες αποτελούν μια πολύ σημαντική τροφή πλούσια σε πρωτεΐνες, ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και διάφορες βιταμίνες. Όμως, για την εκτροφή τους χρειάζεται κατάλληλο σιτηρέσιο που θα ευνοήσει την ανάπτυξή τους. Μέχρι σήμερα, τα ιχθυάλευρα αποτελούν την κύρια πηγή πρωτεϊνών στη διατροφή των εκτρεφόμενων ιχθύων. Ωστόσο, τα άγρια ψάρια ως βασικό τους συστατικό, μειώνονται εξαιτίας της έντονης υπεραλίευσης. Τα εντομάλευρα, εμφανίζοντας παρόμοια θρεπτική αξία με τα ιχθυάλευρα, είναι εφικτό να αποτελέσουν εναλλακτική λύση στη διατροφή εκτρεφόμενων ιχθύων. Κρίνεται αναγκαία η συνεχής έρευνα στα άλευρα αυτά λόγω περιορισμένης βιβλιογραφίας. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση της επίδρασης του πλήρους λιπαρών και απολιπασμένου αλεύρου του εντόμου *Zophobas morio* στη θρεπτική σύσταση ολόκληρου του σώματος της τσιπούρας (*Sparus aurata*).

Για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 9 άτομα του είδους *Sparus aurata* (τσιπούρα), τα οποία προέρχονταν από διατροφικό πείραμα τσιπούρας, διάρκειας 100 ημερών, όπου 3 διαφορετικές ομάδες ιχθύων διατράφηκαν με διαφορετικό σιτηρέσιο η κάθε μια. Η πρώτη ομάδα (FM) διατράφηκε με σιτηρέσιο-μάρτυρα (control) όπου περιείχε ιχθυάλευρο ως αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης. Οι υπόλοιπες ομάδες διατράφηκαν με σιτηρέσια όπου το ιχθυάλευρο υποκαταστάθηκε σταδιακά από πλήρες λιπαρών και απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio* κατά 10% (ZFF10 και ZLF10 αντίστοιχα).

Οι χημικές αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης ολόκληρων των σωμάτων των ιχθύων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις μεθόδους AOAC (1995). Τα δεδομένα ελέγχθηκαν ως προς την κανονικότητά τους και επεξεργάστηκαν με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS (v.20) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Ανάλυσης της Διακύμανσης Μονής Κατεύθυνσης (one-way ANOVA) ακολουθούμενη από Tukey's test.

Η περιεκτικότητα του ολικού σώματος όλων των ομάδων ιχθύων σε υγρασία κυμάνθηκε από 65,72% έως 68,04%, σε ολική πρωτεΐνη από 51,11% έως 53,60%, σε ολικές λιπαρές ουσίες από 35,41% έως 37,12%, σε τέφρα από 9,66% έως 9,89% και σε ολική ενέργεια από 25,78% έως 26,03%. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι η θρεπτική σύσταση των ιχθύων όλων των ομάδων δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ τους όσον αφορά την περιεκτικότητα σε λίπος, ενέργεια και τέφρα. Αντίθετα, η περιεκτικότητα σε υγρασία του σώματος της τσιπούρας που διατράφηκε με σιτηρέσιο ZFF10 ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη με σιτηρέσιο ZLF10 και η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του σώματος της τσιπούρας που διατράφηκε με σιτηρέσιο ZFF10 ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη με σιτηρέσιο ZLF10. Συμπερασματικά, διαπιστώθηκε ότι η υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από πλήρους λιπαρών άλευρο του εντόμου *Z. morio* σε ποσοστό 10% δεν επηρεάζει σημαντικά την θρεπτική σύσταση της τσιπούρας. Ωστόσο, η υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio* σε ποσοστό 10% μειώνει σημαντικά την περιεκτικότητα του σώματος της τσιπούρας σε υγρασία.

Λέξεις-κλειδιά: *Zophobas morio*, τσιπούρα (*Sparus aurata*), πλήρους λιπαρών εντομάλευρο, απολιπασμένο εντομάλευρο, ιχθυάλευρο

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1.Θρεπτική σύσταση ιχθύων	1
1.2.Βιολογία & εκτροφή της τσιπούρας (<i>Sparus aurata</i> ,L.).	4
1.3.Χρήση ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές	7
1.3.1.Ιχθυάλευρα & ιχθυέλαια	7
1.3.2.Εναλλακτικές λύσεις	9
1.3.3.Μελλοντικές εφαρμογές	10
1.4.Η χρήση αλεύρων εντόμων στις ιχθυοτροφές και πώς επηρεάζει τη θρεπτική σύσταση των ιχθύων	11
1.5.Το έντομο <i>Zophobas morio</i>	16
1.6.Σκοπός μελέτης	18
ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ	19
2.1.Δειγματοληψίες	19
2.2.Χημικές αναλύσεις θρεπτικής σύστασης ιχθύων	20
2.2.1.Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών	20
2.2.2.Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων	22
2.2.3.Προσδιορισμός τέφρας	24
2.2.4.Προσδιορισμός υγρασίας-ξηράς ουσίας	25
2.2.5.Προσδιορισμός ενέργειας	25
2.3.Στατιστική ανάλυση	26
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	27
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	30
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	34
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	35
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	42
ABSTRACT	43

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Θρεπτική σύσταση ιχθύων

Τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των ιχθύων, και προσλαμβάνονται μέσω της τροφής με σκοπό την επιτέλεση των διαφόρων φυσιολογικών λειτουργιών τους. Ο φυσιολογικός τους ρόλος περιλαμβάνει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του οργανισμού, τη δόμηση κυττάρων και ιστών και την παροχή απαραίτητων αμινοξέων και λιπαρών οξέων μεταξύ άλλων. Τα θαλασσινά, ιδιαίτερα τα ψάρια, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην παγκόσμια διατροφή, καθώς αποτελούν μια σημαντική τροφή ζωικής προέλευσης, ειδικά σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος.

Η θρεπτική σύσταση των ιχθύων επηρεάζεται τόσο από ενδογενείς παράγοντες όπως το είδος, το στάδιο ανάπτυξης και το φύλο, όσο και από εξωγενείς, όπως η εποχικότητα, η διατροφή και το υδάτινο περιβάλλον (Καραπαναγιωτίδης, 2018). Το ψάρι θεωρείται ως μια πλούσια πηγή βασικών θρεπτικών συστατικών, όπως η εξαιρετικά βιοδιαθέσιμη ζωική πρωτεΐνη (Larsen et al., 2011), τα μακράς-αλυσίδας ωμέγα-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (ω -3 Long Chain PUFA), συμπεριλαμβανομένου του εικοσαπεντανοϊκού οξέος (EPA) και του δοκοσαεξανοϊκού οξέος (DHA) και πολλά μικροθρεπτικά συστατικά, όπως η βιταμίνη A, η βιταμίνη B12, η βιταμίνη D, ο ψευδάργυρος, το σελήνιο και το ιώδιο.

Πιο συγκεκριμένα, οι ιχθύες περιέχουν υψηλής βιολογικής αξίας πρωτεΐνη (40-80% επί της ξηράς ουσίας) με μικρότερο όμως ποσοστό κορεσμένου λίπους. Εκτός αυτής, διαθέτουν τα πολύτιμα ω -3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, τα οποία προσδίδουν ως επί το πλείστον στα ψάρια την υψηλή διατροφική τους αξία. Τα λιπαρά οξέα των

ιχθύων απαντούν σε ποσοστό 79-83% ως ακόρεστα λιπαρά οξέα (Βαρούχου, 2019). Υπάρχουν και ψάρια τα οποία περιέχουν 60% ω-3 λιπαρά οξέα. Τα ω-3 λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα να προσλαμβάνονται από τον άνθρωπο μέσω της τροφής γιατί έχουν συσχετισθεί με αντιφλεγμονώδη δράση, προστασία ενάντια σε καρδιαγγειακά νοσήματα και παρεμπόδιση του καρκίνου (Lund, 2013).

Επιπλέον, η ύπαρξη καλών λιπαρών στα ψάρια ενισχύει την απορρόφηση λιποδιαλυτών βιταμινών, όπως A, D, E και K, κυρίως μέσω των λαχανικών. Τα λιπαρά ψάρια θεωρούνται γενικά η καλύτερη πηγή λιπαρών οξέων (ειδικά EPA και DHA) και λιποδιαλυτών βιταμινών, ενώ τα άπαχα ψάρια θεωρούνται η καλύτερη πηγή ιωδίου (EFSA, 2014). Τα πιο λιπαρά ψάρια είναι ο σολομός, ο τόνος, το σκουμπρί και η σαρδέλα.

Οι βασικότερες βιταμίνες που περιέχονται στα ψάρια είναι η βιταμίνη A, απαραίτητη για την ανάπτυξη και την ενίσχυση της φυσικής μας άμυνας, η βιταμίνη D, η οποία συμβάλλει στην καλύτερη απορρόφηση του ασβεστίου από τον οργανισμό, καθώς και οι βιταμίνες του συμπλέγματος B, με εξέχουσα τη βιταμίνη B6, απαραίτητη για τη σύνθεση αμινοξέων και την παραγωγή ενέργειας (Καραπαναγιωτίδης, 2018).

Επιπρόσθετα, οι ιχθύες είναι πλούσιοι σε φώσφορο, ασβέστιο και μαγνήσιο, τρία μεταλλικά στοιχεία σημαντικά για τη μεταλλοποίηση των οστών. Περιέχουν επιπλέον ψευδάργυρο, ο οποίος παίζει σημαντικό ρόλο στη νευρολογική λειτουργία, ενώ είναι απαραίτητος και για την καλή υγεία του αναπαραγωγικού συστήματος.

Ανάλογα με το μέγεθος του ιχθύος, οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών διαφέρουν. Παρατηρήθηκε πως, το περιεχόμενο πολλών μικροθρεπτικών συστατικών όπως ασβέστιο, σίδηρος, ψευδάργυρος, βιταμίνη A και EPA και DHA ήταν σημαντικά

υψηλότερο σε μικρά είδη που καταναλώνονται ολόκληρα, συμπεριλαμβανομένων των οστών, του δέρματος και των σπλάχνων, σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα είδη ψαριών, όπου καταναλώνεται μόνο το φιλέτο (Reksten et al., 2020).


Κρίνεται αναγκαίος ο τακτικός έλεγχος των τροφίμων, εφόσον αυτά καταλήγουν στον καταναλωτή κυρίως στα εκτρεφόμενα ψάρια. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στα ιχθυηρά εντοπίζονται μεγάλες ποσότητες οργανικών ρύπων, όπως είναι τα PCBs και οι διοξίνες, ραδιενεργά ισότοπα, βαρέα μέταλλα (Hg, Pb κ.α.) που προέρχονται από τη μόλυνση του υδάτινου περιβάλλοντος από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Lie, 2001). Βαρέα μέταλλα συναντούμε σε μεγάλα ψάρια, όπως ο σολομός, ο τόνος, το σκουμπρί, που τρέφονται με μικρότερα ψάρια και γαρίδες, τα οποία έχουν μικρότερη ποσότητα βαρέων μετάλλων. Έτσι, τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται στο σώμα των μεγάλων ψαριών και ακόμα περισσότερο σε εκείνα που είναι μεγάλα σε ηλικία.

Επισημαίνεται ότι, τα ψάρια επιβαρύνονται από διάφορες τοξίνες που παράγονται από τοξικά άλγη, από βακτήρια που σχετίζονται με τις δηλητηριάσεις από ψάρια, αλλά και από τοξίνες ή βιογενείς αμίνες, όπως η ισταμίνη (αποκαρβοξυλίωση της ιστιδίνης σε ισταμίνη) στα σκομβροειδή, που παράγονται από τη βιολογική αποικοδόμηση των ιχθυηρών και ελαχιστοποιούνται με πολύ καλή θερμική κατεργασία (Σφλώμος, 2011).

1.2. Βιολογία & εκτροφή της τσιπούρας (*Sparus aurata*,L.)

Πίνακας 1.1:Συστηματική κατάταξη του είδους *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758).

Βασίλειο:	Ζώα (<i>Animalia</i>)
Συνομοταξία:	Χορδωτά (<i>Chordate</i>)
Ομοταξία:	Ακτινοπτερύγια (<i>Actinopterygii</i>)
Τάξη:	Περκόμορφα (<i>Perciformes</i>)
Οικογένεια:	Σπαρίδες (<i>Sparidae</i>)
Γένος:	Σπάρος (<i>Sparus</i>)
Είδος	<i>aurata</i>



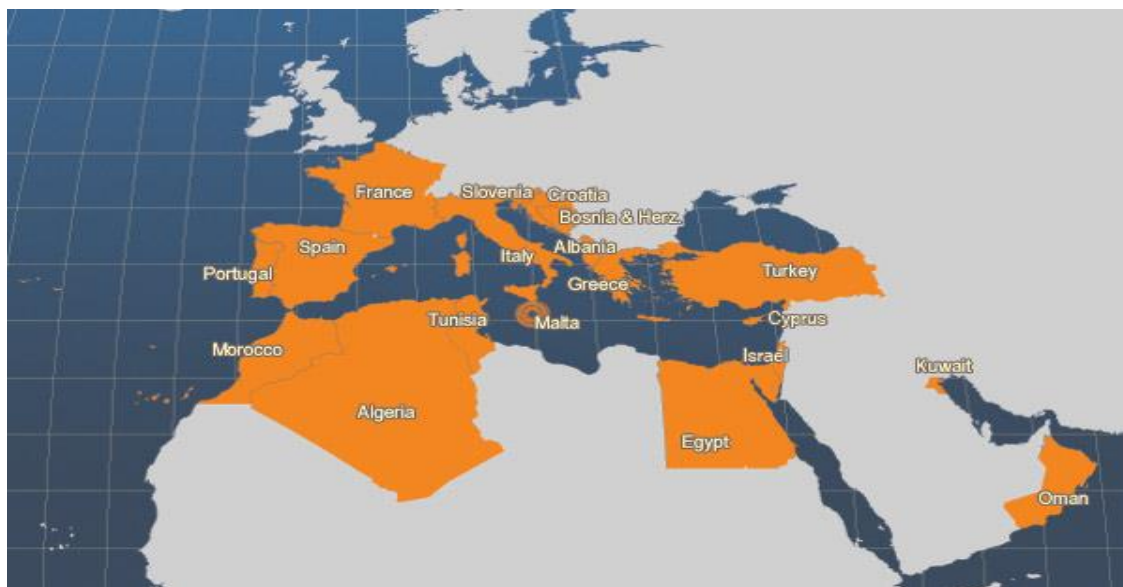
Η τσιπούρα (επιστημονική ονομασία: *Sparus aurata* - Σπάρος ο χρυσόχρους) είναι ψάρι της οικογένειας Sparidae (Πιν.1.1). Μαζί με το λαβράκι από πλευράς διατροφικής αξίας ανήκουν στα πιο πολύτιμα ψάρια της Μεσογείου, καθώς είναι πλούσια σε ω-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και θεωρούνται τα κύρια ψάρια των ιχθυοκαλλιεργειών στην Ελλάδα και στη Μεσόγειο ευρύτερα.

Ειδικότερα, το είδος αυτό εκτείνεται στη Μεσόγειο και στην ακτή του Ατλαντικού από τη Μεγάλη Βρετανία ως τη Σενεγάλη και σπάνια στη Μαύρη θάλασσα. Είναι ψάρι πελαγικό ευρύαλο και ευρύθερμο (Κλαουδάτος και Κλαουδάτος, 2012) και βρίσκεται σε θαλάσσια ή υφάλμυρα νερά (κυρίως στα αρχικά στάδια της ζωής του). Συναντάται πάνω από αμμώδεις πυθμένες ή πυθμένες με θαλάσσια μακρόφυτα (*Posidonia oceanica*), σε βάθη έως 30 μέτρα, αν και έχουν παρατηρηθεί και ενήλικες σε βάθος 150 μέτρων (Moretti et al., 1999). Επίσης, απαντάται σε βραχώδεις πυθμένες ενώ τσιπούρες έχουν βρεθεί και μέσα σε υποθαλάσσια σπήλαια. Την άνοιξη πλησιάζει σε εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες (Κλαουδάτος και Κλαουδάτος, 2012).

Η τσιπούρα είναι κυρίως σαρκοφάγο είδος (Froese and Pauly, 2006), ενώ περιστασιακά τρέφεται και από φυτά. Τρέφεται κυρίως με μαλάκια, συμπεριλαμβανομένων των μυδιών και των στρειδιών, αλλά και με μικρά ψάρια και πολύχαιτους (Reference Summary - Bauchot and Hureau, 1990, 2020). Η τσιπούρα σχηματίζει κοπάδια πολυμελή ή ολιγομελή, ενώ κάποιες φορές, μεγάλα θηλυκά άτομα μπορεί να βρεθούν να κυνηγούν μόνα τους για μια περίοδο (Νεοφύτου, 2015).

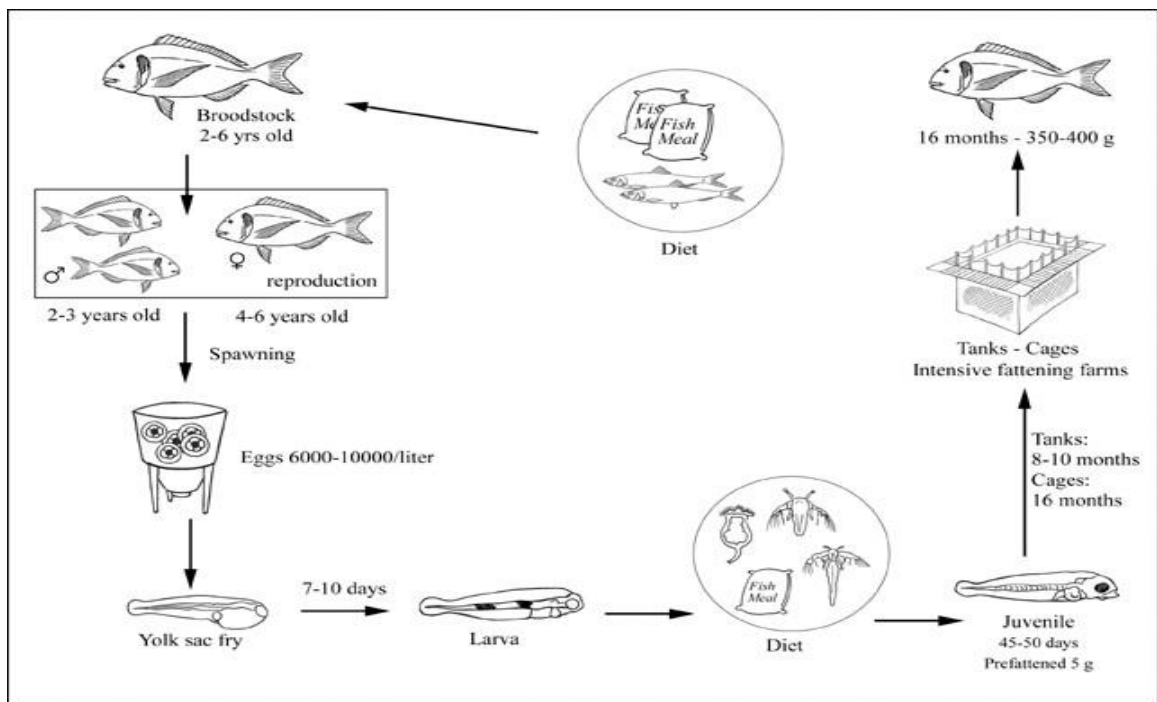
Κατά τη διάρκεια της περιόδου ωοτοκίας (Οκτώβριος έως Δεκέμβριος), τα ενήλικα ψάρια μετακινούνται σε βαθύτερα νερά. Οι νεαροί γόννοι μεταναστεύουν σε παράκτια νερά ή στις εκβολές ποταμών νωρίς την άνοιξη. Το είδος αυτό είναι πρωτανδρικό ερμαφρόδιτο, ωριμάζει ως αρσενικό κατά τη διάρκεια του πρώτου ή του δεύτερου έτους της ζωής του και στη συνέχεια ως θηλυκό κατά τη διάρκεια του δεύτερου ή του τρίτου έτους (de Mitcheson and Liu, 2020).

Οι κύριες χώρες εκτροφής της τσιπούρας στη Μεσόγειο αποτελούν η Τουρκία και ακολουθούν η Ελλάδα, η Ισπανία, η Ιταλία, η Κροατία, η Κύπρος, η Αίγυπτος, η Γαλλία, η Μάλτα, το Μαρόκο και η Τυνησία. Επίσης, εκτρέφεται στην Ερυθρά θάλασσα, στον Περσικό κόλπο και στην Αραβική θάλασσα με κύριες χώρες το Ισραήλ, το Κουβέιτ και το Ομάν (FAO, 2006) (Εικ.1.1). Ειδικότερα, στην Ελλάδα το 2019 η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού ανήλθε σε 120.500 τόνους παρουσιάζοντας αύξηση 3% σε σχέση με το προηγούμενο έτος (ΣΕΘ, 2020). Οι εξαγωγές ελληνικής τσιπούρας και λαβρακιού το 2019 ανήλθαν σε 88.651 τόνους εκ των οποίων το 95% διοχετεύτηκε σε αγορές της Ε.Ε (ΣΕΘ, 2020).



Εικόνα 1.1.Κύριες χώρες παραγωγής του είδους *Sparus aurata* (Πηγή:FAO Fishery Statistics, 2006).

Η τσιπούρα μπορεί να εκτραφεί με εκτατικό, ημιεντατικό και εντατικό τρόπο εκτροφής. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής προέρχεται από την εντατική εκτροφή (Εικ.1.2) με μέση πυκνότητα 20-100 kg m³ και FCR 1,5-2 (FAO, 2013). Η κύρια μέθοδος εκτροφής τσιπούρας στη Μεσόγειο πραγματοποιείται σε πλωτούς ή υποβρύχιους ή ημικαταδυόμενους ιχθυοκλωβούς. Ιχθύδια 10 γραμμαρίων εισάγονται στους κλωβούς και φτάνουν στο εμπορεύσιμο βάρος σε περίπου 1 χρόνο. Στην Ελλάδα με τη χρήση πλωτών κλωβών, η τσιπούρα φτάνει στο εμπορικό βάρος των 350-400gr σε περίπου 11-14 μήνες (Κλαουδάτος και Κλαουδάτος, 2012). Η γρήγορη ανάπτυξη της παραγωγής στους πλωτούς ιχθυοκλωβούς, έχει επιτρέψει στην ανάπτυξη του τομέα των υδατοκαλλιεργειών και την μείωση των τιμών, όμως σήμερα τα περιθώρια κέρδους είναι μικρά και η παραγωγή μεγάλη.



Εικόνα 1.2. Παραγωγικός κύκλος εντατικής εκτροφής του είδους *Sparus aurata* (Πηγή:FAO,Fishery Statistics, 2006).

1.3. Χρήση ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές

1.3.1. Ιχθυάλευρα & ιχθυέλαια

Το ιχθυάλευρο ορίζεται ως το άλευρο εκείνο που προκύπτει από την άλεση και ξήρανση ολόκληρων των άγριων ψαριών κυρίως πελαγικών (π.χ. σαρδέλας, ρέγγας κ.α.) ή κάποιων τμημάτων τους. Συγκεκριμένα, παράγεται είτε από ολόκληρα ψάρια που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή από υπολείμματα ψαριών κατά τη μεταποίηση. Τα ιχθυέλαια αποτελούν τα έλαια που παράγονται κατά την επεξεργασία ιχθύων έπειτα από συμπίεση και χημική επεξεργασία (Καράβελα, 2016).

Είναι ευρέως γνωστό πως τα ιχθυάλευρα και τα ιχθυέλαια αποτελούν τα κύρια συστατικά τροφής για τα εκτρεφόμενα ψάρια και χρησιμοποιούνται σε πολλές μονάδες υδατοκαλλιεργειών. Αυτό συμβαίνει, διότι το ιχθυάλευρο διαθέτει υψηλό επίπεδο

πρωτεϊνών, ιδανικό προφίλ απαραίτητων αμινοξέων, υψηλή πεπτικότητα, έλλειψη αντι-διατροφικών παραγόντων, υψηλή γευστικότητα και ευρεία διαθεσιμότητα ενώ το ιχθυέλαιο εμπλουτίζει το ψάρι με απαραίτητα ω-3 λιπαρά οξέα, EPA και DHA. Επίσης, περιέχουν επαρκείς ποσότητες μετάλλων και βιταμινών A, D, E και C που ευνοούν την ανάπτυξη των ψαριών και την ποιότητα του προϊόντος (Bell and Wagbo, 2008).

Εξαιτίας της συνεχούς αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού εμφανίζεται στο προσκήνιο η επιτακτική ανάγκη παραγωγής περισσότερης τροφής. Η υδατοκαλλιέργεια κατέχει δεσπόζοντα ρόλο στην κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ανθρώπων. Ήδη παρατηρείται ότι, η ποσότητα του ιχθυάλευρου που χρησιμοποιείται από την υδατοκαλλιέργεια έχει αυξηθεί, αφού η παραγωγή εκτρεφόμενων ψαριών έχει επεκταθεί (Hardy, 2010). Με τη προσφορά ιχθυαλεύρου λόγω της μείωσης των ιχθυαποθεμάτων να παραμένει στάσιμη και την ζήτηση να αυξάνεται, οι τιμές του ιχθυαλεύρου και του ιχθυελαίου αυξήθηκαν (IFFO, 2013). Αξίζει να σημειωθεί ότι, μέχρι το 2010 > 85% του παγκοσμίως διαθέσιμου ιχθυελαίου και ~ 50% του ιχθυάλευρου καταναλώθηκαν από την υδατοκαλλιέργεια (Bell and Wagbo, 2008). Ένας δεύτερος προβληματισμός που εγείρεται από τη χρήση τους είναι ότι τα επίπεδα των επίμονων οργανικών ρύπων (POPs), κυρίως διοξίνες / φουράνια και πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), σε ορισμένα ευρωπαϊκά ιχθυέλαια ενδέχεται να παραβιάζουν τα νέα όρια της ΕΕ και να αποτρέπουν τη χρήση των ιχθυοτροφών (Bell and Wagbo, 2008).

1.3.2. Εναλλακτικές λύσεις

Σήμερα, εφαρμόζονται καινούρια διατροφικά μοντέλα που στοχεύουν στη μελλοντική αντικατάσταση των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων. Αναπτύσσονται ιχθυοτροφές χρησιμοποιώντας περισσότερα χερσαία φυτικά προϊόντα όπως ο λιναρόσπορος, ο αραβόσιτος, το λούπινο, η σόγια, το ρύζι, το σιτάρι, το καλαμπόκι, η ελαιοκράμβη, ο ηλιάνθος και ο φοίνικας (φοινικέλαιο). Πράγματι, το άλευρο σόγιας είναι μια από τις χρησιμοποιούμενες φυτικές πηγές πρωτεΐνης στην παρασκευή ιχθυοτροφών λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε πρωτεΐνες, και του προφίλ αμινοξέων καθώς επίσης και της τιμής του. Ωστόσο, το σογιάλευρο μπορεί να προκαλέσει απώλεια της εντερικής ακεραιότητας στα ψάρια, οδηγώντας σε μη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών, και εξασθένηση της ανάπτυξης των ψαριών (Fontes et al., 2019).

Επιπλέον, τα έντομα, τα οποία αποτελούν μέρος της φυσικής διατροφής των ψαριών, αφήνουν ένα μικρό οικολογικό αποτύπωμα και έχουν περιορισμένη ανάγκη για καλλιεργήσιμη γη, μπορεί να αποτελέσουν μια καλή εναλλακτική. Στα έντομα που έχουν αξιολογηθεί σαν πηγή θρεπτικών συστατικών και σαν υποκατάστατο του ιχθυαλεύρου ή/και του ιχθυελαίου στη διατροφή των ψαριών περιλαμβάνονται οι ακρίδες, οι τερμίτες, τα αλευροσκύληκα, οι μεταξοσκώληκες και η μαύρη μύγα-στρατιώτης (Henry et al., 2015).

Από δοκιμές των παραπάνω προϊόντων αποδείχτηκε πως η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου από εντομάλευρα οδηγεί σε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των ψαριών στα περισσότερα είδη (Karapanagiotidis, 2014). Οι φυτικές πρωτεΐνες περιλαμβάνουν αναστολείς πρωτεάσης, φυτάσης, γλυκοσινολάσες, ταννίνες,

λεκτίνες, τα φυτοοιστρογόνα και αντιβιταμίνες που μεταξύ άλλων μπορούν να μειώσουν την ανάπτυξη με την επίδραση της γευστικότητας και της μείωσης της πρόσληψης τροφής ή με περιορισμένη πεπτικότητα καθώς και την απορρόφηση μετάλλων όπως ψευδαργύρου, μαγνησίου και φωσφόρου (Bell and Wagboo, 2008). Όσον αφορά τα εντομάλευρα, η χιτίνη, την οποία περιέχουν σε μεγάλες ποσότητες τα έντομα και μπορεί να εμποδίσουν την απορρόφηση πρωτεϊνών και λιπιδίων από το έντερο μειώνοντας έτσι την πεπτικότητα της χιτίνης και τη λιπιδική και πρωτεϊνική πεπτικότητα, με επακόλουθη μείωση της χρησιμοποίησης θρεπτικών ουσιών και των επιδόσεων ανάπτυξης ψαριών (Henry et al., 2015).

Τα πιθανά εμπόδια, όπως η βιοσυσώρευση εντομοκτόνων, βαρέων μετάλλων και φυσικών τοξινών στα έντομα που συλλέγονται από την άγρια φύση, μπορούν να παρακολουθούνται ευκολότερα κατά την μαζική εκτροφή τους μέσω ελέγχων των υποστρωμάτων εκτροφής τους (Henry et al., 2015). Όμως το τελευταίο σημαντικότερο, αλλά άλυτο, μειονέκτημα της αντικατάστασης του ιχθυελαίου στις ιχθυοτροφές είναι η προκύπτουσα αναπόφευκτη τροποποίηση στην τελική σύνθεση σε ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων των φιλέτων των ψαριών (Turchini et al., 2009).

1.3.3.Μελλοντικές εφαρμογές

Στο εγγύς μέλλον το ιχθυάλευρο δεν θα είναι πλέον η πρωτογενής πηγή πρωτεΐνης στις ιχθυοτροφές για τα σαρκοφάγα είδη, αλλά μάλλον ένα συστατικό προστιθέμενο (Hardy, 2010). Οι επιστήμονες εντείνουν το ενδιαφέρον τους στην μερική αντικατάσταση με έλαια και άλευρα φυτικής προέλευσης, εντομάλευρα καθώς και άλευρα από επεξεργασμένα υπολείμματα ζώων. Η πλήρης αντικατάσταση του

ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές είναι δύσκολη και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να επιτευχθεί (Hardy, 2010).

Εν κατακλείδι η ικανοποίηση των απαιτήσεων των απαραίτητων λιπαρών οξέων, σε ένα σημαντικό ποσοστό (60-75%) ιχθυελαίου μπορεί να υποκατασταθεί με εναλλακτικές πηγές λιπιδίων χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η ανάπτυξη, η αποτελεσματικότητα της τροφής και η πρόσληψη τροφής σε όλα σχεδόν τα είδη ψαριών. Ωστόσο, λαμβάνεται υπόψη ότι, διαφορετικά είδη ανταποκρίνονται με διαφορετικούς τρόπους στην αντικατάσταση του ιχθυελαίου στη διατροφή τους και η παραπάνω γενίκευση πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά προτού υποβληθούν οι διατροφικές συστάσεις (Turchini et al., 2009).

1.4. Η χρήση αλεύρων εντόμων στις ιχθυοτροφές και πώς επηρεάζει τη θρεπτική σύσταση των ιχθύων.

Η χρήση μεταποιημένων ζωικών πρωτεϊνών που προέρχονται από έντομα στη διατροφή εκτρεφόμενων ψαριών αναγνωρίζεται από τη νομοθεσία της ΕΕ που επιτρέπει τη χρήση πρωτεϊνών από επτά είδη εντόμων και τα επιτρεπόμενα υποστρώματα για την εκτροφή τους (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 893/2017). Τα επτά εγκεκριμένα είδη εντόμων με βάση τον κανονισμό είναι τα είδη *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domesticus*, *Grylloides sigillatus* και *Gryllus assimilis* (Gasco et al., 2020).

Στις μέρες μας, μόνο το 20% περίπου των εντόμων έχουν κατονομαστεί και περιγραφεί. Περισσότερο από το 58% της γνωστής παγκόσμιας βιοποικιλότητας είναι έντομα (Sánchez-Muros et al., 2014). Τα έντομα είναι μέρος των φυσικής διατροφής σαρκοφάγων και παμφάγων ψαριών (Howe et al., 2014). Τα ψάρια τρώνε όχι μόνο ένα

είδος εντόμου αλλά και πολλά ταυτόχρονα, και η κατανάλωση τους μπορεί να ποικίλει εποχιακά (Nogales-Mérida et al., 2020). Ορισμένα είδη ψαριών τρέφονται ευκαιριακά με έντομα, όταν δεν βρίσκουν άλλου είδους τροφή (Carolsfeld et al., 2003). Η χρήση των εντόμων στη διατροφή των ζώων δεν έχει μελετηθεί ακόμα σε μεγάλο βαθμό.

Αυτή τη στιγμή, η επιστήμη παρασκευής ιχθυοτροφών, επικεντρώνεται στα εντομάλευρα ως εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ψαριών. Σε σύγκριση με τις συμβατικές πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης τα έντομα περιέχουν υψηλότερες ποσότητες πρωτεΐνης (Jabir et al., 2012). Γενικά, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των εντομαλεύρων που συνιστώνται στην παραγωγή ζωοτροφών κυμαίνεται μεταξύ 50 – 82% της ξηράς ουσίας (Rumpold and Schluter, 2013). Με εξαίρεση την ιστιδίνη, τη θρεονίνη και λυσίνη, τα έντομα παρουσιάζουν ένα ισορροπημένο προφίλ απαραίτητων αμινοξέων παρόμοιο με το ιχθυάλευρο.

Επίσης, το εντομάλευρο αποτελεί μια καλή πηγή λίπους (περίπου 10 έως 30% της ξηράς ουσίας), αν και το προφίλ λιπαρών οξέων τους είναι εξαιρετικά μεταβλητό (Gasco et al., 2020). Σύμφωνα με τον Ramos-Elorduy (2008) τα έντομα περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες ω-6 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) από τα ιχθυάλευρα, αλλά μικρότερες από τα άλευρα σόγιας (Barroso et al., 2014). Τα χερσαία έντομα είναι σαφώς ανεπαρκή σε 20: 5ω-3 (EPA) και 22: 6ω-3 (DHA), ενώ το EPA (20: 5ω-3) συναντάται σε υδρόβια έντομα (Sánchez-Muros et al., 2014).

Ακόμη, τα έντομα θεωρούνται ως μια καλή πηγή βιταμινών (ειδικά βιταμίνη B12) και βιοδιαθέσιμων μετάλλων, ιδιαίτερα σιδήρου και ψευδαργύρου (Payne et al., 2016). Ωστόσο, έχει αποδειχθεί ότι η θρεπτική σύσταση των εντόμων εξαρτάται σε

μεγάλο βαθμό από τα υποστρώματα εκτροφής (Danieli et al., 2019). Ορισμένες ελλείψεις σε απαραίτητα αμινοξέα ή μέταλλα μπορούν εύκολα να αντισταθμιστούν από συμπληρώματα με συνθετικά αμινοξέα ή μεταλλικά συμπυκνώματα (Gasco et al., 2020).

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι, τα περισσότεροι εντομάλευρα περιέχουν επαρκείς ποσότητες βιοδραστικών ενώσεων/χιτίνης με πιθανά αντιοξειδωτικά, αντιμικροβιακά και ανοσοδιεγερτικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ανοσία και την κατάσταση της υγείας των εκτρεφόμενων ειδών, π.χ. ψάρια και γαρίδες (Oda et al., 2019). Ορισμένα είδη εντόμων μπορούν να μετατρέψουν αποτελεσματικά το οργανικό υπόστρωμα χαμηλής αξίας (απόβλητα από τη βιομηχανία ή τη γεωργία) σε προϊόντα υψηλής αξίας που εξυψώνουν την έννοια της κυκλικής οικονομίας και των μηδενικών αποβλήτων (Pinotti et al., 2019). Επιπλέον, φαίνεται ότι έχουν χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όσον αφορά τη χρήση γης και την κατανάλωση νερού (Dobermann et al., 2017), παρόλο που οι διαθέσιμες περιβαλλοντικές μελέτες και οι αξιολογήσεις κύκλου ζωής εξακολουθούν να είναι περιορισμένες (Mertenat et al., 2019). Η ταχεία ανάπτυξη και το υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό των περισσότερων εντόμων, αποτελεί επίσης σημαντικό κριτήριο για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων ενός άλευρου με βάση τα έντομα σαν πηγή θρεπτικών συστατικών (Mousavi et al., 2020).

Η προσθήκη εντομαλεύρων στις ζωοτροφές και πιο συγκεκριμένα στις ιχθυοτροφές απαιτεί την αύξηση της εκτροφής των εντόμων. Η καλλιέργεια των εντόμων είναι περίπλοκη επειδή τα έντομα έχουν αυστηρά περιβαλλοντικές (θερμοκρασία και υγρασία), διατροφικές και πληθυσμιακές απαιτήσεις, ιδιαίτερα κατά την αναπαραγωγή (Lerpla, 2002). Ορισμένα είδη εκτρέφονται σε μεγάλο βαθμό, γιατί

η ζήτηση των εντόμων είναι μικρή και η γνώση για αρκετά από αυτά περιορισμένη. Τα δύο είδη που εκτρέφονται περισσότερο είναι τα *Tenebrio molitor* και *Hermetia illucens* αλλά εκτρέφονται επίσης και γρύλλοι, ακρίδες κ.α. σε μικρότερο βαθμό (Leppla, 2002).

Αρκετές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η μερική υποκατάσταση ιχθυαλεύρων με εντομάλευρα συμβάλλει θετικά στη θρεπτική σύσταση των ιχθύων. Τα τελευταία 10 χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες πειραμάτων διατροφής με δίαιτες βασισμένες σε εντομομάλευρα στα είδη *Clarias anguillaris*, *Clarias gariepinus*, *Cyprinus carpio*, *Oncorhynchus mykiss*, *Oreochromis niloticus*, *Pelzeobagrus fulvidraco* και *Psetta maxima* (Barroso et al., 2014).

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα σχετικά με την χρήση εντόμων στις ιχθυοτροφές τα οποία μελλοντικά θα επιλυθούν, έτσι ώστε να αποτελέσουν μετέπειτα τα βασικά υποκατάστατα. Διαπιστώθηκε πως τα χερσαία έντομα περιέχουν μικρές ποσότητες PUFA και αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει ένα όριο στη διατροφή των ζώων και στην ποιότητα των τροφίμων που προέρχονται (Dalle Zote et al., 2019). Ειδικότερα, η παρουσία DHA είναι πιο σπάνια από την παρουσία EPA στα εντομάλευρα (Nogales-Mérida et al., 2020). Έλλειψη παρατηρείται και στα μέταλλα, καθώς ορισμένα είδη περιέχουν χαμηλά επίπεδα ασβεστίου ή φωσφόρου. Παρόλα αυτά, η εκτροφή των εντόμων σε συγκεκριμένα, εμπλουτισμένα με διαφορετικά θρεπτικά συστατικά σιτηρέσια μπορεί να βελτιώσει αυτό το χαρακτηριστικό (Pinotti et al., 2019). Επιπλέον, τα έντομα μπορούν να αποτελέσουν σημαντικούς βιοσυσσωρευτές εντομοκτόνων, βαρέων μετάλλων και φυσικών τοξινών (van der Spiegel et al., 2013)

κάτι το οποίο ανησυχεί και δειλιάζει τους καταναλωτές στο να δοκιμάσουν τροφές που τα περιέχουν.

Τα επιπλέον προβλήματα που εμφανίζει η χρησιμοποίηση των εντόμων ως συστατικά των ιχθυοτροφών είναι η διαθεσιμότητα τους στις ποσότητες που απαιτούνται, η μη διαθέσιμη προς το παρόν κατάλληλη τεχνολογία παρασκευής αλεύρου εντόμων, καθώς και το κόστος της εκτροφής τους, το οποίο πρέπει να είναι ανταγωνιστικό. Οι πληροφορίες σχετικά με την τιμή της αγοράς δεν είναι εύκολο να βρεθούν, επειδή η αγορά εξακολουθεί να είναι περιορισμένη, και οι εταιρείες προσαρμόζουν την τιμή με βάση το μέγεθος της παραγγελίας. Ωστόσο, κυρίως λόγω των κανονιστικών εμποδίων και της μικρής βιομηχανικής κλίμακας, στις χώρες της ΕΕ η τιμή της επεξεργασμένης ζωικής πρωτεΐνης (ΡΑΡ) που προέρχεται από έντομα είναι υψηλότερη (από 2,0 έως 10,0 €/kg) (Mancuso et al., 2019) από ότι εκτός ΕΕ (από 0,8 έως περίπου 3,5 €/kg). Η αύξηση της κλίμακας παραγωγής και, στην ΕΕ, η χρήση μεγάλου φάσματος οργανικών υποστρωμάτων για την ανάπτυξη εντόμων μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των τιμών (Gasco et al., 2020).

Όσον αφορά στην διατροφή των ψαριών, η χιτίνη που εντοπίζεται στον εξωσκελετό των εντόμων δεν μπορεί να μεταβολιστεί εύκολα από αυτά (Rust, 2002). Για τον λόγο αυτό, προκειμένου τα έντομα να συμπεριληφθούν στις ιχθυοτροφές, γίνεται αφαίρεση της χιτίνης μέσω αλκαλικής εκχύλισης ή μέσω άλλων χημικών ή ενζυματικών διεργασιών, που αυξάνει κατ' επέκταση το κόστος του σιτηρεσίου (Henry et al., 2015). Οι ιχθύες συχνά απορρίπτουν μια τροφή που βασίζεται σε εντομάλευρο λόγω μιας δυσάρεστης γεύσης, πικρής, ή ξινής μυρωδιάς, μεταξύ άλλων παραγόντων. Μερικές φορές, αυτές οι δυσάρεστες γεύσεις, μπορούν να κρύψουν τοξίνες και / ή

μολυσματικούς παράγοντες που προκαλούν άμεση απόρριψη μιας πηγής τροφής. Σε άλλες περιπτώσεις, αυτές οι δυσάρεστες γεύσεις μπορεί να σχετίζονται με τη διαδικασία επεξεργασίας του εντομάλευρου, όπως η ξήρανση ή η κατάψυξη, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα και την γευστικότητα του εντομαλεύρου (Nogales-Mérida et al., 2020).

1.5. Το έντομο *Zophobas morio*

Το *Zophobas morio* είναι ένα σκουρόχρωμο σκαθάρι, του οποίου οι προνύμφες είναι γνωστές με διάφορες κοινές ονομασίες όπως superworms, giant mealworms, king Worms, morio Worms ή απλά *Zophobas* (Εικ. 1.3) (Rumbos and Athanassiou, 2021). Το είδος *Z. morio* αποτελεί ένα από τα χερσαία είδη εντόμων η εκτροφή και η χρήση του οποίου αναμένεται βραχυπρόθεσμα να εγκριθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση.



Εικόνα 1.3. Προνύμφες του εντόμου *Zophobas morio*.
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα)

Αυτό το έντομο βρίσκεται σε περιοχές της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής που διαθέτουν έντονο τροπικό κλίμα αλλά στις μέρες μας εντοπίζεται και σε άλλες περιοχές της Ευρώπης και της Ασίας (Rumbos and Athanassiou, 2021). Οι προνύμφες του εντόμου μοιάζουν με πολύ μεγάλα κίτρινα σκουλήκια, μήκους περίπου 50 έως 60 mm και τα άκρα του σώματός τους έχουν χρώμα σκούρο καφέ. Εκκολάπτονται μετά από 8

μέρες στους 25°C (Kim et al.,2015). Οι προνύμφες μεταμορφώνονται σε νύμφες, και αργότερα αναδύονται σαν μεγάλα, ανοιχτόχρωμα σκαθάρια, τα οποία με το χρόνο σκουραίνουν και γίνονται μαύρα. Οι προνύμφες τρέφονται συνήθως με πίτουρο σιταριού το οποίο μπορεί να συνοδευτεί από διάφορους κόκκους δημητριακών (π.χ., βρώμη) ή από άλλα συστατικά που περιέχουν άμυλο. Οι φλούδες φρούτων, τα καρότα ή άλλα οργανικά υλικά αποτελούν πηγή υγρασίας και παρέχονται σε προνύμφες και ενήλικες για να καλύψουν τις απαιτήσεις τους σε νερό. Έχει παρατηρηθεί πως η έλλειψη νερού μπορεί να προκαλέσει ισχυρή κανιβαλιστική συμπεριφορά στις προνύμφες (Ichikawa and Kurauchi, 2009).

Όσον αφορά την εκτροφή του είδους *Z. morio*, οι ιδανικές θερμοκρασίες ανάπτυξης κυμαίνονται μεταξύ 25 και 28 °C και η μέση σχετική υγρασία είναι 60-70% (Zaelor and Kitthawee, 2018). Ωστόσο, δεν μπορούν να εκτραφούν σε συνθήκες συνωστισμού μιας και εμφανίζουν κανιβαλιστικές τάσεις, γεγονός το οποίο μειώνει σημαντικά την βιομάζα παραγωγής. Επίσης, χρειάζεται έλεγχος ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση ασθενειών στα έντομα του είδους *Z. morio* καθώς είναι εφικτή η μετάδοση παθογόνων μεταξύ τους λόγω κανιβαλισμού.

Το άλευρο *Z. morio* χρησιμοποιείται ευρέως ως συμπλήρωμα τροφής για τα πουλιά, τα ψάρια, τα ερπετά σε αιχμαλωσία και τα μικρά ζώα (Ebeling, 1975). Η θρεπτική σύσταση των προνυμφών του είδους *Z. morio* αποτυπώνεται στον Πίνακα 1.2. Σύμφωνα με τον Finke (2002), οι προνύμφες του είδους αυτού εμφανίζουν ένα αρκετά ικανοποιητικό πρωτεϊνικό προφίλ καθώς επίσης και ένα καλό λιπιδικό περιεχόμενο σε σύγκριση με εκείνα που βρίσκονται στο ενήλικο στάδιο (Xiaoming et al., 2010; Araújo et al., 2019). Τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα που υπάρχουν σε επαρκείς ποσότητες είναι το ολεϊκό, το παλμιτικό ενώ το ω-6 λινολεϊκό οξύ είναι το επικρατέστερο μεταξύ των

πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Rumbos and Athanassiou, 2021) . Όμως, οι προνύμφες του είδους αυτού υστερούν ελαφρώς σε θειούχα αμινοξέα και ειδικότερα στη μεθειονίνη και κυστεΐνη.

Όσον αφορά στην περιεκτικότητα του εντόμου αυτού σε ανόργανα στοιχεία, παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα της βιταμίνης A και B12. Επιπρόσθετα, δεν περιέχει επαρκή ποσότητα θειαμίνης (B1) για να καλύψει τις θρεπτικές απαιτήσεις των ζώων που θα τραφούν με αυτό και το ίδιο συμβαίνει και με την βιταμίνη E. Ακόμη εμφανίζει σημαντικές ποσότητες ασβεστίου, μαγνησίου, σιδήρου, αργιλίου, χαλκού, μαγγανίου και ψευδαργύρου. Τέλος, δεν περιέχει ιώδιο (Finke, 2002).

Πίνακας 1.2. Θρεπτική σύσταση των προνυμφών (larvae) του είδους *Zophobas morio* (Rumbos and Athanassiou, 2021).

	<i>Zophobas morio</i> (ZM) Larvae
Ξηρά ουσία (% ως τροφή)	35,2 - 42,1
Ολικό άζωτο (% ξηράς ουσίας)	6,2 – 8,6
Ολικό λίπος (% ξηράς ουσίας)	35,0 – 43,6
Τέφρα (% ξηράς ουσίας)	2,4 – 8,2
Ενέργεια (kcal/100g ξηράς ουσίας)	559,2 – 575,5

1.6. Σκοπός μελέτης

Η έρευνα πάνω στην χρήση των εντόμων, ως διατροφική πηγή, στο σιτηρέσιο των ιχθύων ολοένα και αυξάνεται. Παρόλα αυτά, υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία στο πεδίο αυτό και επικεντρώνεται σε ελάχιστα είδη εντόμων. Ο σκοπός της έρευνας αυτής είναι διττός. Αφενός, στοχεύει στην επίδραση που είχε η υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από άλευρο του εντόμου *Z. morio* στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας

και αφετέρου, μελετά πώς επέδρασε στη θρεπτική της σύσταση όταν τράφηκε με σιτηρέσιο όπου το ιχθυάλευρο αντικαταστάθηκε σταδιακά από πλήρες λιπαρών άλευρο του εντόμου αυτού κατά 10% (ZFF10) σε σύγκριση με εκείνη που τράφηκε με σιτηρέσιο που περιείχε 10% απολιπασμένο άλευρο *Z. morio* (ZLF10). Πραγματοποιήθηκε εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων με γνωστά πρωτόκολλα ως προς την περιεκτικότητά τους σε υγρασία, ολικές αζωτούχες ενώσεις, ολικά λίπη, ολική ενέργεια και τέφρα σε ολόκληρο το σώμα των ιχθύων (*Sparus aurata*, L.).

ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Δειγματοληψίες

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, συλλέχθηκαν ιχθύες του είδους *Sparus aurata* (τσιπούρα), με μέσο βάρος 25-30gr, οι οποίοι προέρχονταν από προηγούμενο διατροφικό πείραμα εκτροφής, διάρκειας 100 ημερών, που διεξήχθη στις πειραματικές εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, όπου είχαν διαχωριστεί σε 6 διατροφικές ομάδες με την κάθε ομάδα να σιτίζεται με διαφορετικό σιτηρέσιο. Η πρώτη ομάδα (FM) διατράφηκε με σιτηρέσιο-μάρτυρα όπου περιείχε ιχθυάλευρο (FM) ως αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης. Οι υπόλοιπες ομάδες διατράφηκαν με σιτηρέσια όπου το ιχθυάλευρο υποκαταστάθηκε σταδιακά από πλήρες λιπαρών άλευρο του εντόμου *Z. morio* κατά 5% και 10% (ZFF5 και ZFF10) αντίστοιχα και κατά 10%, 20% και 30% από απολιπασμένο άλευρο *Zophobas* (ZLF10, ZLF20, ZLF30). Στην παρούσα εργασία, θα αναλυθούν μόνο οι επιδράσεις της υποκατάστασης του ιχθυαλεύρου από πλήρες λιπαρών άλευρο του εντόμου *Zophobas morio* κατά 10% (ZFF10) και από απολιπασμένο άλευρο *Zophobas* κατά 10% (ZLF10) σε σχέση με το σιτηρέσιο που αποτελούνταν αποκλειστικά από ιχθυάλευρο. Τα

πειραματικά σιτηρέσια παράχθηκαν με την μέθοδο της κοινής πελλετοποίησης στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος (Θεσσαλία, Βόλος) με τη χρήση πελλετομηχανής τύπου CaliforniaPelletMill και ήταν στη μορφή βυθιζόμενου σύμπηκτου διαμέτρου 1,5 mm. Όσον αφορά τις προνύμφες του εντόμου *Z. morio*, προήλθαν από φυσικό πληθυσμό που συντηρείται στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

2.2. Χημικές αναλύσεις θρεπτικής σύστασης ιχθύων

Στην παρούσα μελέτη, συλλέχθηκαν 3 άτομα τσιπούρας μέσου ατομικού βάρους 25-30 gr από κάθε διατροφική ομάδα (το κάθε άτομο πάρθηκε από διαφορετική μεταχείριση αλλά τράφηκε με το ίδιο σιτηρέσιο), τα οποία είχαν θανατωθεί με ισχυρή αναισθητοποίηση. Τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης ολόκληρου του σώματος ως προς την περιεκτικότητά τους σε υγρασία, ολικές αζωτούχες ενώσεις, ολικά λίπη, ολική ενέργεια και τέφρα .

2.2.1. Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπαρών ουσιών στα συστατικά των σιτηρεσίων και στα πειραματικά σιτηρέσια έγινε με την μέθοδο εκχύλισης Soxhlet (AOAC, 1995) (Εικ. 2.1). Σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 3 πέτρες βρασμού για τον ομαλό βρασμό του δείγματος και καταγράφηκε το βάρος τους σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν στα δοχεία χάρτινοι ηθμοί. Ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος βάρους 1g και μεταφέρθηκε στο χάρτινο δοχείου ηθμού. Το δείγμα του σώματος του ιχθύος πρέπει να είναι ξηραμένο και αλεσμένο. Η ξήρανση πραγματοποιείται σε φούρνο στους 105°C για περίπου 24h (μέχρι σταθεροποίησης του βάρους του δείγματος). Στο γυάλινο δοχείο εκχύλισης προστέθηκαν 140ml πετρελαϊκού

αιθέρα, στο οποίο εμβαπτίστηκαν τα χάρτινα δοχεία ηθμού με το δείγμα. Τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης μαζί με τους χάρτινους ηθμούς μεταφέρθηκαν σε ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet) (Εικ. 2.1.). Κατά τη διαδικασία της εκχύλισης, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150°C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη, όπου έλαβε χώρα το πρώτο στάδιο της εκχύλισης. Έπειτα, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για 1,5h, όπου έλαβε χώρα το δεύτερο στάδιο της εκχύλισης. Κατόπιν, απορροφήθηκε ο διαλύτης για 15min με αποτέλεσμα τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στον πάτο του δοχείου εκχύλισης. Για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων πετρελαϊκού αιθέρα ή και υγρασίας που μπορεί να περιείχαν τα δοχεία (χωρίς τους χάρτινους ηθμούς) μεταφέρθηκαν στο φούρνο για (15min στους 105°C) 30min ή 1,5hr στους 100°C . Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα για 30min το μέγιστο να κρυώσουν και μετά πάρθηκαν οι μετρήσεις βάρους. Το καθαρό βάρος των λιπαρών ουσιών δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Ολικά λιπίδια \%} = (W(\text{g}) \text{ τελικό δοχείο εκχύλισης} - W(\text{g}) \text{ αρχικό δοχείο εκχύλισης}) *$$

100



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

2.2.2. Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ενώσεων

Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών ολόκληρου του σώματος των ιχθύων, όπου οι ιχθύες τράφηκαν με συγκεκριμένα πειραματικά σιτηρέσια, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC, 1995). Η διαδικασία προσδιορισμού των αζωτούχων ενώσεων έχει ως εξής:

Σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων ζυγίστηκαν αλεσμένα δείγματα από ολόκληρο το σώμα των ιχθύων βάρους 0,2g (3 επαναλήψεις για κάθε δείγμα) και μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5g Potassium Sulphate K₂SO₄ και 5g copper(II) Sulphate CuSO₄, 5H₂O) για να επιταχυνθεί η αντίδραση της πέψης. Στην συνέχεια, προστέθηκαν στα δείγματα 15 ml πυκνού θεικού οξέως (H₂SO₄) καθαρότητας 96% και τοποθετήθηκαν στην συσκευή πέψης Kjeltec 2000 (Εικ. 2.2). Η διαδικασία της πέψης πραγματοποιείται στους 150°C για 85min. Με την συσκευή πέψης επιτυγχάνεται το βράσιμο των δειγμάτων και με την βοήθεια του πυκνού θεικού οξέως πραγματοποιείται διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων. Το αδέσμευτο άζωτο (N) δεσμεύεται με την μορφή θεικού αμμωνίου (άλας), με την εξής αντίδραση:

Οργανικό N + H₂SO₄ → (NH₄)₂SO₄ + H₂O + CO₂ + Λοιπά παραπροϊόντα

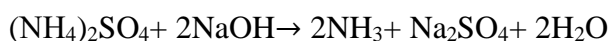


Εικόνα 2.2. Συσσκευή πέψης Kjeldtek 2000.

(Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα).

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της πέψης τα δείγματα αφήνονται να κρυώσουν για 15min.

Κατόπιν, τα δείγματα τοποθετούνται σε συσκευή απόσταξης (Εικ. 2.3), στην οποία προστίθενται 100 ml αποσταγμένου H_2O , 80 ml NaOH 40% και 50 ml H_2BO_3 . Η διαδικασία διαρκεί 6 min. Το θειικό αμμώνιο, που είχε παραχθεί κατά την διαδικασία της πέψης, αντιδρά με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και αποδεσμεύεται αμμωνία (σε αέρια μορφή) και θειικό νάτριο (Na_2SO_4). Η αμμωνία (NH_4) έπειτα αντιδρά με βορικό οξύ (H_3BO_4) και το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:

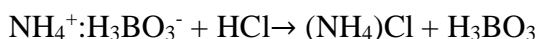


Το βορικό αμμώνιο συγκεντρώνεται σε κωνική φιάλη που περιείχε 3 σταγόνες ερυθρού του μεθυλίου (δείκτη pH).



Εικόνα 2.3. Συσσκευή απόσταξης τύπου Kjeldahl.
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα).

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας αποτελεί η τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέως (0,1N) υπό καθεστώς συνεχής κίνησης σύμφωνα με την αντίδραση:



Η συγκέντρωση (σε moles) των ιόντων υδρογόνου που απαιτούνται για να καταλύσουν την αντίδραση έως το τελικό σημείο, ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχει το δείγμα. Η αλλαγή του χρώματος του δείκτη, από κίτρινο σε φούξια, καταδεικνύει το τελικό σημείο της αντίδρασης. Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N %) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\text{N \%} = [(\text{ml HCl} - \text{ml τυφλού}) \times 0,8754] / W_{\text{δειγ/τος}}$$

2.2.3. Προσδιορισμός τέφρας

Σε πυρίμαχα δοχεία ζυγίζουμε δείγμα ολόκληρου σώματος ιχθύος βάρους 1g, σε ζυγαριά ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στην συνέχεια τοποθετούνται τα δείγματα στον αποτεφρωτήρα, η διαδικασία πραγματοποιείται στους 600°C για 3h. (AOAC, 1995). Μετά το πέρας του τριώρου τα δείγματα έμειναν για 30min το μέγιστο στον

αποξηραντήρα ώστε να κρυώσουν. Στην συνέχεια πάρθηκαν οι μετρήσεις βάρους των δειγμάτων. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε τέφρα (%) υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

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

2.2.4. Προσδιορισμός υγρασίας-ξηράς ουσίας

Ο προσδιορισμός υγρασίας-ξηρής ουσίας στα δείγματα ολόκληρου του σώματος των ιχθύων που διατράφηκαν με πειραματικά σιτηρέσια πραγματοποιήθηκε με την συλλογή δειγμάτων, αντίστοιχα βάρους 1,5g και ακολούθως την ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο για 24 ώρες στους 105°C (AOAC, 1995). Στην συνέχεια, αφού πέρασε ο χρόνος ξήρανσης, τα δείγματα βγήκαν από το φούρνο και τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 5min ώστε να ψυχθούν. Το ποσοστό της υγρασίας/ ξηρής ουσίας υπολογίζεται ως εξής:

$$W \text{ ξηρής ουσίας} = W \text{ δει/τος μετά την ξήρανση μαζί με το δισκίο} - W \text{ δισκίου}$$

$$\text{Ξηρή ουσία \%} = (W \text{ ξηρής ουσίας} \times 100) / W \text{ δει/τος}$$

Όμοια,

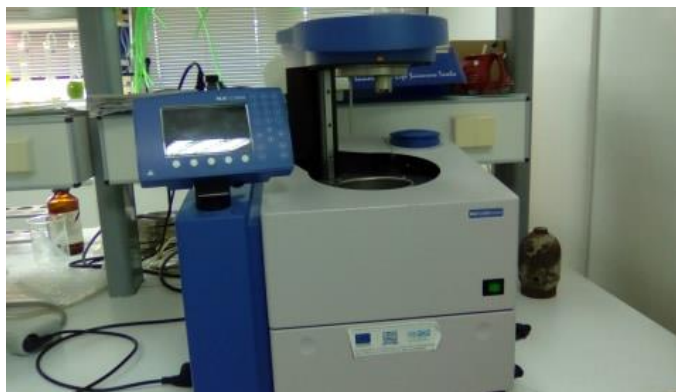
$$W \text{ υγρασία δείγματος} = W \text{ αρχικού δει/τος} - (W \text{ δει/τος μετά την ξήρανση} - W \text{ δισκίου})$$

$$\text{Υγρασία \%} = (W \text{ υγρασία δείγματος} \times 100) / W \text{ αρχικού δει/τος}$$

2.2.5 Προσδιορισμός ενέργειας

Για τον προσδιορισμό της ενέργειας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε θερμιδόμετρο (Εικ. 2.4). Κατά την πλήρη καύση ενός δείγματος εκλύεται θερμότητα, η οποία αποτελεί τη θερμιδική αξία (ολική ενέργεια) του δείγματος. Η καύση πραγματοποιείται μέσα σε ένα κλειστό ανοξείδωτο δοχείο τύπου οβίδας. Η θερμότητα

που εκλύεται θερμαίνει το νερό, το οποίο με τη σειρά του θερμαίνει ένα εξωτερικό δοχείο γνωστής θερμοκρασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του εξωτερικού δοχείου καταγράφεται από ένα θερμόμετρο και έπειτα υπολογίζεται η θερμιδική αξία στο περιεχόμενο του δείγματος που κάηκε. Τα αποτελέσματα δίνονται ηλεκτρονικά σε Kcal/g (ή Joule). Πιο συγκεκριμένα, δείγμα από το ολικό σώμα των ψαριών 0,4 g τοποθετούνταν σε γυάλινο δισκίο μέσα στην οβίδα και έπειτα στο θερμιδόμετρο όπου σε χρονικό διάστημα 15min, καταγράφονταν το αποτέλεσμα της ενέργειας.



Εικόνα 2.4. Συσσκευή ενέργειας.
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο συγγραφέα).

2.3. Στατιστική ανάλυση

Αφού ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις και η συλλογή δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και δημιουργήθηκαν πίνακες της θρεπτικής σύστασης του ολικού σώματος των ιχθύων χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα EXCEL. Το στατιστικό πακέτο SPSS 17 χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα των παραμέτρων όσον αφορά τη χημική σύσταση ολόκληρου του σώματος των ψαριών ελέγχθηκαν ως προς την κανονικότητα των κατανομών τους μέσω του Shapiro-Wilk test και για την ομοιομορφία των παραλλακτικότητων των μέσων όρων τους μέσω του Levene's test. Κατόπιν,

πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των μέσων όρων των διαφόρων παραμέτρων 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 μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων (Zar, 1999).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις της χημικής σύστασης ολόκληρου του σώματος των ιχθύων.

Η περιεκτικότητα των ολικών σωμάτων της τσιπούρας σε υγρασία για τα ψάρια που διατρέφθηκαν με FM ήταν $67,56 \pm 0,66\%$, με ZFF10 ήταν $68,04 \pm 0,68\%$ και τέλος με ZLF10 ήταν $65,72 \pm 0,61\%$ (Πιν.3.1). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε υγρασία του σώματος της τσιπούρας που διατρέφθηκε με τα σιτηρέσια ZFF10 και FM ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη με σιτηρέσιο ZLF10.

Πίνακας 3.1. Περιεκτικότητα (% επί ξηράς ουσίας) σε υγρασία της τσιπούρας διατρεφόμενη με ιχθυάλευρο ή άλευρο εντόμου *Zophobas morio* κατά 10% πλήρους λιπαρών (ZFF10) και απολιπασμένο (ZLF10), αντίστοιχα.

A/A	FM	ZFF10	ZLF10
1	67,62	68,37	65,98
2	66,87	68,48	66,16
3	68,18	67,26	65,02
M.O	67,56^b	68,04^b	65,72^a
T.A	0,66	0,68	0,61

Σημ.: M.O, μέσος όρος. T.A., τυπική απόκλιση με $n=3$. Οι τιμές που φέρουν διαφορετικό δείκτη διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($p < 0,05$).

Ο μέσος όρος περιεκτικότητας σε αζωτούχες ενώσεις των ολικών σωμάτων τσιπούρας που διατράφηκαν με FM σιτηρέσιο ήταν $53,23 \pm 1,08\%$, με ZFF10 σιτηρέσιο ήταν $53,60 \pm 0,89\%$ και τέλος με ZLF10 ήταν $51,11 \pm 0,52\%$ (Πιν.3.2). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του σώματος της τσιπούρας που διατράφηκε με σιτηρέσιο ZFF10 ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη με σιτηρέσιο ZLF10.

Πίνακας 3.2. Περιεκτικότητα (% επί ξηράς ουσίας) σε πρωτεΐνη της τσιπούρας διατρεφόμενη με ιχθυάλευρο ή άλευρο εντόμου *Zophobas morio* κατά 10% πλήρους λιπαρών (ZFF10) και απολιπασμένο (ZLF10), αντίστοιχα.

A/A	FM	ZFF10	ZLF10
1	52,77	54,01	50,51
2	52,46	54,21	51,44
3	54,47	52,57	51,38
M.O	53,23^{ab}	53,60^b	51,11^a
T.A	1,08	0,89	0,52

Σημ.: M.O, μέσος όρος. T.A., τυπική απόκλιση με $n=3$. Οι τιμές που φέρουν διαφορετικό δείκτη διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($p < 0,05$).

Η περιεκτικότητα των ολικών σωμάτων της τσιπούρας σε λίπος για τα ψάρια που διατράφηκαν με FM ήταν $36,58 \pm 2,47\%$, με ZFF10 ήταν $35,41 \pm 1,37\%$ και τέλος με ZLF10 ήταν $37,12 \pm 1,25\%$ (Πιν.3.3). Όσον αφορά το λίπος, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

Πίνακας 3.3.Περιεκτικότητα (% επί ξηράς ουσίας) σε λίπος της τσιπούρας διατρεφόμενη με ιχθυάλευρο ή άλευρο εντόμου *Zophobas morio* κατά 10% πλήρους λιπαρών (ZFF10) και απολιπασμένο (ZLF10), αντίστοιχα.

A/A	FM	ZFF10	ZLF10
1	36,45	35,18	38,32
2	39,11	34,18	37,2
3	34,17	36,88	35,83
M.O	36,58^a	35,41^a	37,12^a
T.A	2,47	1,37	1,25

Σημ.: M.O, μέσος όρος. T.A., τυπική απόκλιση με n=3. Οι τιμές φέρουν όμοιο δείκτη οπότε δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (p<0,05).

Εν συνεχεία, η μέση περιεκτικότητα σε τέφρα των ολικών σωμάτων τσιπούρας που διατράφηκαν με FM σιτηρέσιο ήταν 9,66±0,11%, με ZFF10 σιτηρέσιο ήταν 9,89±0,24% και τέλος με ZLF10 ήταν 9,8±0,31% (Πιν.3.4). Όσον αφορά την τέφρα, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

Πίνακας 3.4.Περιεκτικότητα (% επί ξηράς ουσίας) σε τέφρα της τσιπούρας διατρεφόμενη με ιχθυάλευρο ή άλευρο εντόμου *Zophobas morio* κατά 10% πλήρους λιπαρών (ZFF10) και απολιπασμένο (ZLF10), αντίστοιχα.

A/A	FM	ZFF10	ZLF10
1	9,77	9,75	9,48
2	9,65	10,16	10,1
3	9,56	9,75	9,83
M.O	9,66^a	9,89^a	9,8^a
T.A	0,11	0,24	0,31

Σημ.: M.O, μέσος όρος. T.A., τυπική απόκλιση με n=3. Οι τιμές φέρουν όμοιο δείκτη οπότε δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (p<0,05).

Τέλος, η περιεκτικότητα των ολικών σωμάτων της τσιπούρας σε ενέργεια για τα ψάρια που διατράφηκαν με FM ήταν $26,03 \pm 0,64$ KJ/g, με ZFF10 ήταν $25,78 \pm 0,27$ KJ/g και τέλος με ZLF10 ήταν $25,82 \pm 0,32$ KJ/g (Πιν.3.5). Όσον αφορά την ενέργεια, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διατροφικών ομάδων.

Πίνακας 3.5. Περιεκτικότητα της ξηράς ουσίας σε ενέργεια (KJ/g) της τσιπούρας διατρεφόμενη με ιχθυάλευρο ή άλευρο εντόμου *Zophobas morio* κατά 10% πλήρους λιπαρών (ZFF10) και απολιπασμένο (ZLF10) αντίστοιχα.

A/A	FM	ZFF10	ZLF10
1	26,77	25,72	26,18
2	25,73	25,54	25,58
3	25,60	26,08	25,7
M.O	26,03^a	25,78^a	25,82^a
T.A	0,64	0,27	0,32

Σημ.: Μ.Ο, μέσος όρος. Τ.Α., τυπική απόκλιση με $n=3$. Οι τιμές φέρουν όμοιο δείκτη οπότε δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($p < 0,05$).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η αυξανόμενη παραγωγή ιχθυάλευρου συνέβαλε σταδιακά στη μείωση των ιχθυαποθεμάτων και έπειτα στην αύξηση της τιμής του ιχθυαλεύρου. Το γεγονός αυτό είχε ως συνέπεια την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων που επιδρούν το ίδιο θετικά στην θρεπτική σύσταση και στη βέλτιστη ανάπτυξη των ιχθύων. Η επιστημονική κοινότητα εστιάζει την τελευταία δεκαετία την έρευνά της στα εντομάλευρα, καθότι τα έντομα αποτελούν μέρος της φυσικής διατροφής αρκετών σαρκοφάγων και παμφάγων ψαριών. Υποκαθιστούν δηλαδή το ιχθυάλευρο με εντομάλευρα που προέρχονται από συγκεκριμένα είδη εντόμων με κυριότερα εκείνα του εντόμου *Hermetia illucens*

(Zarantoniello *et al.*,2020) του εντόμου *Tenebrio molitor* (Gasco *et al.*, 2014) και του εντόμου *Zophobas morio* (Jabir *et al.*, 2012).

Σε γενικές γραμμές, τα ποσοστά υποκατάστασης άνω του 30% μείωσαν την ανάπτυξη ανάλογα με τα είδη ψαριών και εντόμων. Αποτελέσματα που ελήφθησαν σε αφρικανικό γατόψαρο (*C. gariepinus*) που τρέφονταν με σκουλήκια (*T. molitor*) έδειξαν πως μια υποκατάσταση 20% βελτίωσε τον δείκτη ανάπτυξης και τη θρεπτική σύσταση των γατόψαρων. Ωστόσο, παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης της ανάπτυξης, καθώς και στη χρήση της τροφής και της πρωτεΐνης, σε γατόψαρα που τρέφονταν με υψηλά επίπεδα αλεύρου σκουληκιών ή μόνο σκουληκιών (Ng *et al.*, 2001). Σε μια άλλη μελέτη, ο Doğankaya (2017) ανέφερε διαιτητική αντικατάσταση ιχθυαλεύρου στο 25% από *Z. morio* και έδειξε μια καλύτερη απόδοση ανάπτυξης για την ιριδίζουσα πέστροφα στο στάδιο fingerling σε σύγκριση με 0% και 50% της υποκατάστασης ιχθυαλεύρου, ενώ η 100% υποκατάσταση με εντομάλευρο έβλαψε τη συνολική απόδοση των ψαριών (Mousavi *et al.*, 2020). Όταν το *Z. morio* χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με το *Acheta domesticus* για να αντικαταστήσει το ιχθυάλευρο στο 25% στη διατροφή της πέρκας (*Perca fluviatilis*) παρατηρήθηκε μείωση της ανάπτυξης της (Tilami *et al.*, 2020).

Στην παρούσα μελέτη, η μερική υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου από πλήρες λιπαρών και απολιπασμένο άλευρο εντόμου *Z. morio* κατά 10% είχε σαν αποτέλεσμα ορισμένες διαφοροποιήσεις στα θρεπτικά στοιχεία του ολικού σώματος της τσιπούρας (*Sparus aurata*).

Οι τιμές της υγρασίας παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των τριών διατροφικών ομάδων, με τις τιμές των ιχθύων της διατροφικής ομάδας ZLF10 να υστερούν έναντι

των ZFF10 και FM ομάδων. Επίσης, εντοπίστηκαν διαφορετικές τιμές όσον αφορά την περιεκτικότητα σε ολικές αζωτούχες ενώσεις, με τις τιμές των ιχθύων της διατροφικής ομάδας ZLF10 να ήταν σημαντικά χαμηλότερες έναντι της ZFF10 ομάδας. Με την βοήθεια των παραπάνω διαπιστώνεται πως, το πλήρους λιπαρών άλευρο εμφάνισε μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας και πρωτεϊνών σε σύγκριση με το απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Z. morio*. Αυτό το συμπέρασμα είναι δύσκολο να ερμηνευθεί και πρέπει να συγκριθεί και με επόμενες μελέτες.

Οι τιμές του λίπους στα σώματα της τσιπούρας δεν παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των τριών διατροφικών ομάδων. Αυτό σημαίνει ότι η υποκατάσταση του ιχθυαλεύρου με άλευρο πλήρους λιπαρών και απολιπασμένου του εντόμου *Z. morio* στο σιτηρέσιο σε ποσοστό 10% της τροφής δεν επέφερε σημαντικές διαφορές στην σωματική λιποπεριεκτικότητα της τσιπούρας. Σύμφωνα με τους Jabir et al. (2012) φάνηκε πως η ένταξη του πλήρους λιπαρών αλεύρου του εντόμου *Z. morio* σε ποσοστό 30% στη διατροφή της τιλάπιας του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) αύξησε την σωματική λιποπεριεκτικότητα και την υγρασία, ενώ μείωσε την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Υψηλή λιποπεριεκτικότητα παρατηρήθηκε επίσης και στο είδος *Clarias gariepinus* που τρέφονταν με άλευρο του εντόμου *T. molitor* χωρίς σημαντικές αλλαγές στα επίπεδα πρωτεϊνών σε σύγκριση με τα ψάρια που τρέφονταν με ιχθυάλευρο (Ng et al., 2001). Αντίθετα, οι Belforti et al. (2016), κατέγραψαν σημαντική μείωση του περιεχομένου των λιπιδίων και αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες με αυξανόμενη ένταξη του άλευρου των προνυμφών *T. molitor* στη διατροφή της ιριδιζουσας πέστροφας.

Οι τιμές της τέφρας στα σώματα της τσιπούρας δεν παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των τριών διατροφικών ομάδων. Τέλος, οι τιμές της ενέργειας στο σώμα των

ιχθύων και των τριών διαφορετικών διατροφικών ομάδων ήταν παρόμοια. Άρα, το εντομάλευρο του *Z. morio*, ανεξάρτητα από το αν είχε επέλθει από τη διαδικασία της απολίπανσης, σε ποσοστό 10% στο σιτηρέσιο της τσιπούρας, δεν επέφερε αλλαγές τόσο στην ενέργεια όσο και στην τέφρα στο σώμα των ιχθύων που διατράφηκαν με αυτό συγκριτικά με τους ιχθύες που διατράφηκαν μόνο με ιχθυάλευρο.

Στην παρούσα εργασία, η χρήση του εντομάλευρου πλήρους λιπαρών του είδους *Z. morio* αύξησε την περιεκτικότητα των ολικών πρωτεϊνών και της υγρασίας σε σχέση με το απολιπασμένο άλευρο του ίδιου είδους σε ποσοστό 10%. Το συμπέρασμα αυτό, καθιστά το άλευρο *Z. morio* κατάλληλο συστατικό για την διατροφή των ιχθύων και ιδιαίτερα εκείνο που είναι πλήρους λιπαρών. Η άποψη αυτή συμπίπτει με εκείνη των Asimaki et al. (2020a) οι οποίοι σε πείραμά τους χρησιμοποίησαν πλήρους λιπαρών άλευρο του εντόμου *Z. morio* ως υποκατάστατο του ιχθυάλευρου σε ποσοστό 10% και διαπίστωσαν πως δεν επηρεάζεται η ανάπτυξη της τσιπούρας και η αποδοτικότητα της τροφής. Ταυτόχρονα υποστηρίζουν πως και το απολιπασμένο άλευρο *Z. morio* θα μπορούσε να αντικαταστήσει μερικώς με επιτυχία το ιχθυάλευρο έως και 30% (Asimaki et al., 2020b). Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα δεδομένα της παρούσας διατριβής και την περιορισμένη βιβλιογραφία σχετικά με τα εντομάλευρα, η διεξαγωγή ορθών συμπερασμάτων είναι δύσκολη. Το αντικείμενο αυτό, χρήζει περαιτέρω διερεύνηση και μακροχρόνια έρευνα.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαρούχου Ευθυμία (2019). “Η επίδραση της χρήσης διαιτητικής πρωτεΐνης του εντόμου *Hermetia illucens* στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας (*Sparus aurata*)”, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Κανονισμός (ΕΕ) 2017/893 της επιτροπής της 24ης Μαΐου 2017 για την τροποποίηση των παραρτημάτων I και IV του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 999/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και των παραρτημάτων X, XIV και XV του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 142/2011 της Επιτροπής όσον αφορά τις διατάξεις για τη μεταποιημένη ζωική πρωτεΐνη.

http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/zwotrofes/kan893_2017_tropo999.pdf

Καράβελα Θ. (2016). Η χρησιμοποίηση των ιχθυαλεύρων και ιχθυελαίων στις ιχθυοτροφές των εκτρεφόμενων ειδών ιχθύων. Εξεύρεση εναλλακτικών συστατικών για την υποκατάσταση/αντικατάσταση αυτών.
<http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/46695/16429.pdf?sequence=1>;

Καραπαναγιωτίδης Ιωάννης, 2018. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΙΧΘΥΟΤΡΟΦΩΝ. ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ. Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ.20-21.

Κλαουδάτος, Σ., Κλαουδάτος, Δ. (2012). Καλλιέργειες φυτικών και εκτροφές υδρόβιων ζωικών οργανισμών. Εκδόσεις Προπομπός, Αθήνα, σελ. 478.

Νεοφύτου Χ.Ν, (2015). ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΙΧΘΥΩΝ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ, UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη.

ΣΕΘ,(2020).Ετήσια έκθεση ελληνική υδατοκαλλιέργεια 2020,σελ.6.

Σφλώμος Σ. Κωνσταντίνος,(2011), ΧΗΜΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ με Στοιχεία Διατροφής,
Τόμος ΙΙ, Στοιχεία διατροφής του ανθρώπου, σελ. 364.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AOAC (1995). Official Methods of Analysis. 16th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.

Asimaki A., Psoufakis P., Neofytou M.C., Mente E., Rumbos C.I., Athanassiou C.G., Fountoulaki E., Henry M., Karapanagiotidis I.T. EFFECTS OF FISHMEAL REPLACEMENT BY DEFATTED *Zophobas morio* LARVAE MEAL ON GROWTH AND FEED EFFICIENCY OF GILTHEAD SEABREAM (*Sparus aurata*), EAS (2020a).

Asimaki, A., P. Psoufakis, G. Ekonomou, E. Mente, C.I. Rumbos, C.G. Athanassiou, E. Fountoulaki, M. Henry and I.T. Karapanagiotidis, Evaluation of *Zophobas morio* larvae meal as fishmeal replacer for gilthead seabream diet., *In* Insects to Feed the World 2020 Virtual Conference, 23-26 November (2020b).

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.

Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., & Gasco, L. (2016). *Tenebrio molitor* Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 14(4), 4170.
<https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4170>.

- Bell & Wagboo (2008). CHAPTER 6. Safe and nutritious aquaculture produce: benefits and risks of Alternative sustainable aquafeeds. In: “Aquaculture in the Ecosystem” (Holmer et al., eds), Springer Netherlands, pp. 185-225.
- Carolsfeld J, Harvey B, Ross C, Baer A (eds) (2003) Migratory fishes of South America. Biology, Fisheries and Conservation Status. World Fisheries Trust, The World Bank, International Development Research Centre, Victoria, BC.
- C.Xiaoming, F.Ying, Z.Hong, C.Zhiyong, (2010), Review of the nutritive value of edible insects, For. Insects Food: Bumans Bite Back, 85.
- Danieli PP, Lussiana C, Gasco L, Amici A, Ronchi B , 2019. The effects of diet formulation on the yield, proximate composition, and fatty acid profile of the Black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae intended for animal feed. *Animals*. 9(4):178.
- Dalle Zotte A, SinghY, Michiels J, Cullere M , 2019. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as dietary source for laying quails: live performance, and egg physico-chemical quality, sensory profile and storage stability. *Animals*. 9(3):115.
- De Mitcheson, Y. and Liu, M., 2020. Functional Hermaphroditism In Teleosts.
- Dobermann D, Swift JA, Field LM , 2017. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutr Bull*. 42(4):293–308.
- Doğankaya L (2017) Effects of fish meal substitution with super worm (*Zophobas morio*) meal on growth performance of rainbow trout fingerlings. *Turk J Fish Aquat Sci* 32(1): 1-7.

Ebeling W (1975). Urban entomology. Pest of stored food products. Division of Agriculture Sciences, University of California. Berkeley, USA.

EFSA, 2014. Scientific opinion on health benefits of seafood (fish and shellfish) consumption in relation to health risks associated with exposure to methylmercury. EFSAJ.12(7). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014>.

FAO yearbook 2006. Fishery and aquaculture statistics = FAO annuaire 2006. Statistiques des pêches et de l'aquaculture = FAO anuario 2006. Estadísticas de pesca y acuicultura : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive. [online] Available at: <<https://archive.org/details/faoyearbook2006f0000unse>> [Accessed 20 May 2021].

FAO (2013) Food Outlook, Biannual Report on Global Food Markets. FAO, Rome, Italy, pp.134

FAO 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.

FAO,2019. The EAF-Nansen Programme. Retrieved from. <http://www.fao.org/in-action/eaf-nansen/en/>.

Finke, M., 2002. Complete Nutrient Composition Of Commercially Raised Invertebrates Used As Food For Insectivores.

Fishbase.se . 2020. *Reference Summary - Bauchot, M.-L. And J.-C. Hureau, 1990.*

[online] Available at:

<<https://www.fishbase.se/references/FBRefSummary.php?ID=3688>>

[Accessed 12 November 2020].

- Fontes, T., de Oliveira, K., Gomes Almeida, I., Maria Orlando, T., Rodrigues, P., Costa, D. and Rosa, P., 2019. Digestibility of Insect Meals for Nile Tilapia Fingerlings. *Animals*, 9(4), p.181.
- Froese R. & D.Paully (eds) 2006.Fishbase.www.fishbase.org
- Gasco, L., Belforti, M., Rotolo L., Lussiana, C., Parisi G., Terova G., Roncarati A. and Gai, F (2014). Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).
- Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P., De Angelis, A., Fortina, R., Marino, R., Parisi, G., Piccolo, G., Pinotti, L., Prandini, A., Schiavone, A., Terova, G., Tulli, F. and Roncarati, A., 2020. Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), pp.360-372.
- Hardy R.W. (2010). REVIEW ARTICLE: Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research* 41, 770-776.
- Henry M, Gasco L., Piccolo G., Fountoulaki E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology* 203: 1-22.
- Howe, E. R., Simenstad, C.A., Toft, J.D., Cordell, J.R., Bollens, S.M., (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, 1-46.

- Ichikawa, T., and T. Kurauchi. 2009. Larval cannibalism and pupal defense against cannibalism in two species of tenebrionid beetles. *Zoolog. Sci.* 26: 525–529.
- International Aquafeed (2009). The Continuing Demand for Sustainable Fishmeal and Fish Oil in Aquaculture Diets. September-October, 4 pp.
- International Fishmeal and Fish Oil Organization (IFFO) (2013). Fishery discards and by-products: Increasing raw material supply for fishmeal and fish oil. <http://www.iffonet/system/files/Fishery%20discards%2008%2002%202013%20web%20version.pdf>
- Jabir, M. D. A. R., S. A. Razak, and S. Vikineswary. 2012b. Nutritive potential and utilization of superworm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 6592–6598.
- Karapanagiotidis I.T. (2014). The Re-Authorization of Non-Ruminant Processed Animal Proteins in European Aqua feeds. *Fisheries and Aquaculture Journal* 5:4
- Kim, S. Y., H. G. Kim, S. H. Song, and N. J. Kim. 2015. Developmental characteristics of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae in different instars. *Int. J. Ind. Entomol.* 30: 45–49.
- Larsen, R., Eilertsen, K.-E., Elvevoll, E.O., 2011. Health benefits of marine foods and ingredients. *Biotechnol. Adv.* 29 (5), 508-518. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.017>.
- Lie, Ø. (2001). Flesh quality—the role of nutrition. *Aquaculture Research*, 32, 341-348.
- Lund, E. K. (2013). Health benefits of seafood; Is it just the fatty acids? *Food Chemistry*, 140(3), 413-420. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.034>

- Mancuso T, Poppinato L, Gasco L , 2019. The European insects sector and its role in the provision of green proteins in feed supply. *Calitatea*. 20(S2):374–381.
- Matteo Zarantoniello, Andrea Zimbella, Basilio Randazzo, Martina Delli Compagnia, Cristina Truzzia, Matteo Antonuccia, Paola Riolo, Nino Loreto, Andrea Osimani, Vesna Milanović, Elisabetta Giorgia, Gloriana Cardinaletti, Francesca Tulli, Renato Cipriani, Giorgia Gioacchini and Ike Olivotto (2020). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) reared on roasted coffee by-product and *Schizochytrium* sp. as a sustainable terrestrial ingredient for aquafeeds production.
- Mertenat A, Diener S, Zurbrügg C , 2019. Black soldier fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. *Waste Manag.* 84:173–181.
- Moretti A., M.Pedini, G.Citolin, & R.Guidastri, 1999. Manual of hatchery production of seabass and gilthead seabream Vol. 1 FAO, Rome 194p.
- Mousavi, S., Zahedinezhad, S., Loh, J. (2020). 'A review on insect meals in aquaculture: the immunomodulatory and physiological effects', *International Aquatic Research*, 12(2), pp. 100-115. doi: 10.22034/iar(20).2020.1897402.1033.
- N.C. Leppla. Rearing of insects. V.H. Resh, R. Carde (Eds.), *Encyclopedia of Insects*, Academic Press, San Diego, California (2002), pp. 975-979
- Ng WK, Liew FL, Ang LP, Wong KW (2001) Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquac Res* 32: 273-280.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B. and Józefiak, A., 2020. Insect Meals In Fish Nutrition.

- Oda KS, Elisabeth H, Luisa P, Nina SL, Erik-Jan L, Marit E, Ikram B (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 Immun* 91: 223-232.
- Payne CLR, Scarborough P, Rayner M, Nonaka K , 2016. A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends Food Sci Technol.* 47:69–77.
- Pinotti L, Giromini C, Ottoboni M, Tretola M, Marchis D , 2019. Review: Insects and former foodstuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. *Animal.* 13(7):1365–1375.
- Ramos-Elorduy, J., 2008. Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. *Ecology of Food and Nutrition*, 47(3), pp.280-297.
- Reksten, A., Somasundaram, T., Kjellevold, M., Nordhagen, A., Bøkevoll, A., Pincus, L., Rizwan, A., Mamun, A., Thilsted, S., Htut, T. and Aakre, I., 2020. Nutrient composition of 19 fish species from Sri Lanka and potential contribution to food and nutrition security. *Journal of Food Composition and Analysis*, 91, p.103508.
- 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 BA, Schlüter OK (2013) Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res* 57(5): 802-823.

- Rust, M.B. (2002). Nutritional physiology. In: Halver, J.E., Hardy R.W. (Eds.), Fish Nutrition. The Academic Press, New York, USA, pp. 368-446.
- 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.
- 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.
- Tilami, S. K., Turek, J., Červený, G., Lepič, P., Kozák, P., Burkina, V., Sakalli, S., Tomčala, A., Sampels, S., Mráz, J. (2020). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 20,867-878.
- Turchini, G.M., Torstensen, B.E. and Ng, W-K. (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. Reviews in Aquaculture 1, 10–57.
- Van der Spiegel M., Noordam M.Y, van der Fels-Klerx H.J.(2013). Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. Compr.Rev.FoodSci.FoodSaf.12, 662-678.
- Zaelor, J., and S. Kitthawee. 2018. Growth response to population density in larval stage of darkling beetles (Coleoptera; Tenebrionidae) *Tenebrio molitor* and *Zophobas atratus*. Agric. Nat. Resour52: 603–606.
- Zar, J.H. (1999) Biostatistical Analysis. 4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ

http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sparus_aurata/en

ABSTRACT

The global population is rising rapidly and the need for food is imperative. Aquaculture is considered to be a rapidly growing branch to produce fish for consumption. Fish are a very important food rich in proteins, ω -3 polyunsaturated fatty acids and various vitamins. But for their rearing, a suitable substrate would favor their growth. Until today, fishmeal is the main source of protein in the diet of farmed fish. However, wild fish, as their basic ingredient, are reduced due to intense overfishing. Insect meals, showing a similar nutritional value with fishmeal, are feasible to become an alternative aquafeed. Continuous research is needed in these meals because of limited literature. The present study investigates, a comparative assessment of the effect of full-fat fat and defatted insect meal of the insect *Zophobas morio* on the nutritional composition of the whole body of sea bream (*Sparus aurata*).

For the experiment, 9 individuals of sea bream (*Sparus aurata*) were used, which came from a 100-day feeding experiment of sea bream, where 3 different groups of fish were fed with different diets each. The first group (FM) was fed with a dietary-witness, containing fishmeal as an exclusive source of animal protein. The remaining groups were fed with diets where the fishmeal was gradually replaced by full-fat insect meal and defatted insect meal of *Zophobas morio*, by 10% (ZFF10 and ZLF10 respectively).

The chemical analysis of proximate composition in whole body was made according to the methods of AOAC (1995): determination of moisture with heating for 24 hours, up to 105°C, determination of crude lipid by Soxhlet extraction method, determination of crude protein by Kjeldahl method, determination of ash by incineration of samples up to 600°C for 3 hours and gross energy through adiabatic calorimeter.

Samples were analyzed by the statistical program SPSS (v.20) with one-way ANOVA method.

The whole body determination, of all diet groups, of moisture ranged from 65,72% to 68,04%, of crude protein from 51,11% to 53,60%, of crude lipid from 35,41% to 37,12% of ash from 9,66% to 9,89% and of gross energy from 25,78% to 26,03%. Statistical data processing has shown that the nutritional composition of fish all groups did not differ significantly with regard to fat, energy and ash content. On the other hand, the moisture content of the ZFF10 ratio was significantly higher than that with ZLF10 ratio and the protein content of the whole body of gilthead seabream fed with ZFF10 ratio was significantly higher than that with ZLF10 ratio. In conclusion, it was found that the substitution of fishmeal with full-fat insect meal *Zophobas morio* at a range of 10% does not significantly affect the nutritional composition of the sea bream. However, the substitution of fishmeal with defatted insect meal of the *Zophobas morio* at a range of 10% reduces significantly the body of sea bream in moisture.

Keywords: *Zophobas morio*, gilthead seabream (*Sparus aurata*), full-fat insect meal, defatted insect meal, fish meal.