

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Η επίδραση της χρήσης διαιτητικής πρωτεΐνης του εντόμου *Hermetia illucens* στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας”

Βαρούχου Ευθυμία

Βόλος 2019

**“Η επίδραση της χρήσης διαιτητικής πρωτεΐνης του εντόμου *Hermetia illucens*
στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας”**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

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

2) Παναγιώτα Παναγιωτάκη, Αναπληρώτρια καθηγήτρια - Υδατοκαλλιέργειες, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.

3) Έλενα Μεντέ, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια - Φυσιολογία και Θρέψη Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Ιωάννη Καραπαναγιωτίδη για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, αποτελούμενη από τις κ.κ. Π. Παναγιωτάκη και Ε. Μεντέ για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους σε όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα Πιέρ Ψωφάκη που ήταν παρών καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος δίνοντας μου τις συμβουλές και τη βοήθεια του, όπως επίσης και στην οικογένεια μου και στους φίλους μου Αγγελίδου Αικατερίνη, Κλεισιάρη Χριστίνα και Κυργιάκο Λεωνίδα για την άπλετη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση σε όλο το χρονικό διάστημα του πειράματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να μελετηθεί η επίδραση της χρήσης διαιτητικής πρωτεΐνης του εντόμου *Hermetia illucens* στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας (*Sparus aurata*).

Για τις ανάγκες της μελέτης συλλέχθηκαν ιχθύες του είδους *Sparus aurata*, με μέσο βάρος 6-10g, οι οποίοι προέρχονταν από διατροφικό πείραμα, που διεξήχθη στις πειραματικές εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, όπου είχαν διαχωριστεί σε 3 διατροφικές ομάδες με την κάθε ομάδα να σιτίζεται με διαφορετικό σιτηρέσιο. Τα σιτηρέσια BSF10 και BSF20 περιείχαν απολιπασμένο αλεύρο *H. illucens* σε ποσοστά συμμετοχής στο σιτηρέσιο ίσο με 5,8% και 11,6% της τροφής αντίστοιχα, υποκαθιστώντας κατά 10% και 20%, αντίστοιχα την πρωτεΐνη του διαιτητικού ιχθυαλεύρου. Τα δύο αυτά σιτηρέσια ήταν μεταξύ τους ισοενεργειακά (21,6 MJ/Kg τροφής) και ισοπρωτεϊνικά (47% της τροφής). Το σιτηρέσιο FM περιείχε μηδενικά επίπεδα αλεύρου *H. illucens* με αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης το ιχθυάλευρο, που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Το σιτηρέσιο αυτό είχε ελαφρώς χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (42,5%) και ελαφρώς αυξημένα επίπεδα ολικής ενέργειας (22,4 MJ/Kg) συγκριτικά με τα υπόλοιπα δύο σιτηρέσια.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης ολόκληρου του σώματος ως προς την περιεκτικότητά τους σε ολικές αζωτούχες ενώσεις, ολικά λίπη, ολική ενέργεια, τέφρα και ξηρή ουσία.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου με απολιπασμένο αλεύρο *H. illucens* έως το ποσοστό 11,6% δεν επιφέρει αλλαγές στην ενέργεια, τη

λιποπεριεκτικότητα και την περιεκτικότητα της υγρασίας στο σώμα των ιχθύων που διατρέφονται με αυτό. Τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας σε τέφρα των σωμάτων των ιχθύων, έδειξαν πως η αντικατάσταση του ιχθυάλευρου έως το ποσοστό 5,8% δεν επιφέρει αλλαγές στο σώμα της τσιπούρας, σε αντίθεση με την αντικατάσταση έως 11,6%, που τη μειώνει.

Ενδιαφέρον έχουν τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας πρωτεΐνης, καθώς τόσο με την αντικατάσταση του ιχθυάλευρου έως 5,8%, όσο και με την 11,6% η περιεκτικότητα του σώματος των ιχθύων αυξήθηκε. Παρόλα αυτά, πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω έρευνες στο μέλλον για την μελέτη εκτροφής του είδους με διάφορα έντομα, διότι οι γνώσεις είναι ακόμα ελλιπείς.

Λέξεις Κλειδιά: πρωτεΐνες εντόμων, *Hermetia illucens*, τσιπούρα, ιχθυάλευρο

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Υδατοκαλλιέργεια τσιπούρας.....	8
1.2 Η χρήση του ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές και η αναγκαιότητα αντικατάστασης του	11
1.3 Η χρήση των πρωτεϊνών εντόμων ως υποκατάστατα του ιχθυάλευρου στις ιχθυοτροφές	14
1.4 Το είδος εντόμου <i>Hermetia illucens</i>	17
1.5 Διατροφική αξία - Θρεπτική σύσταση ιχθύων	19
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	24
2.1 Δειγματοληψία	24
2.2 Χημικές αναλύσεις	27
2.2.1 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων	27
2.2.2 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών	29
2.2.3 Προσδιορισμός ενέργειας	31
2.2.4 Προσδιορισμός τέφρας	32
2.2.5 Προσδιορισμός υγρασίας / ξηρής ουσίας	32
2.3 Στατιστική ανάλυση	33
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	37
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43
6.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	43
6.2 Ελληνική Βιβλιογραφία	52
6.3 Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις Εικόνων	53

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υδατοκαλλιέργεια τσιπούρας

Ο τομέας των ιχθυοκαλλιεργειών, αποτελεί βασικό τομέα της πρωτογενούς παραγωγής με υψηλούς ετήσιους ρυθμούς αύξησης τα τελευταία χρόνια και με σημαντικές προοπτικές ανάπτυξης στο άμεσο μέλλον (Nogueira, *et al.* 2012). Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του κλάδου των υδατοκαλλιεργειών, οι υδατοκαλλιέργειες σε αντίθεση με την αλιεία φαίνεται ότι θα αποτελέσουν την μελλοντική πηγή ιχθύων για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών του ανθρώπου (FAO 2009). Οι κυριότεροι παράγοντες που οδηγούν στην αύξηση της ζήτησης ιχθύων, είναι η υψηλή διατροφική αξία του ψαριού συγκρινόμενη με άλλες πηγές πρωτεϊνών, αλλά και η αύξηση του πληθυσμού της γης που συνεπάγεται αύξηση της ζήτησης πρωτεϊνών (Lem 2004).

Οι υδατοκαλλιέργειες αποτελούν για την Ελλάδα σημαντικό τομέα της πρωτογενούς παραγωγής. Το εκτεταμένο μήκος και η μορφολογία της ελληνικής ακτογραμμής, σχηματίζουν ένα μεγάλο αριθμό προστατευόμενων περιοχών και κόλπων, οι οποίες σε συνδυασμό με το μεγάλο αριθμό καθώς νησιών και το ήπιο κλίμα, παρέχουν τις ιδανικές συνθήκες για όλες τις μορφές εκτροφής των θαλάσσιων οργανισμών (Κλαουδάτος 2005).

Σύμφωνα με τον ΣΕΘ (2018), το 62% της εγχώριας παραγωγής αλιευτικών προϊόντων προέρχεται από την υδατοκαλλιέργεια και το 38% από την αλιεία. Στις ελληνικές θάλασσες εκτρέφονται μεσογειακά είδη (κυρίως τσιπούρα και λαβράκι) και σε ένα μικρότερο ποσοστό «νέα είδη» όπως μυτάκι, φαγκρί, κρانيός, συναγρίδα κ.α. Το 2017 η παραγωγή τσιπούρας και λαβρακιού ανήλθε σε 112.000 τόνους αξίας σχεδόν 546 εκ. ευρώ. Το 2018 εκτιμάται ότι η παραγωγή θα παρουσιάσει αύξηση 4,5% και θα ανέλθει στους 117.000 τόνους τσιπούρας

και λαβρακιού. Η τσιπούρα αντιστοιχεί στο 57% του όγκου παραγωγής Σε σχέση με το 2016 η παραγωγή τσιπούρας αυξήθηκε κατά 4,4% (ΣΕΘ 2018)

Η τσιπούρα (*Sparus aurata L.*), ανήκει στην οικογένεια των σπαρίδων (*Sparidae*) και στην κατηγορία των σαρκοφάγων, αρπακτικών ψαριών. Συναντάται κυρίως στη Μεσόγειο Θάλασσα, ενώ η παρουσία του είναι περιορισμένη στη Μαύρη θάλασσα και ποικίλης εντάσεως στις νότιες ακτές των Βρετανικών νησιών καθώς και των δυτικών ακτών της Ευρώπης και της Βορείου Αφρικής και των Κανάριων νήσων. Ανήκει στα ευρύθερμα είδη και για αυτό συναντάται σε νερά με θερμοκρασίες από 5-27 °C και προτιμά νερά με βάθος από 50 έως και 60 m. Είναι ευρύαλο ψάρι με δυνατότητα επιβίωσης σε μεγάλο εύρος αλατότητας, με το άριστο εύρος ανάπτυξης είναι σε νερά με αλατότητα από 25 - 40‰. (Νεοφύτου 2001).

Είναι από τα πρώτα θαλάσσια είδη της Μεσογείου στα οποία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς εντατική ελεγχόμενη μαζική του εκτροφή, της οποίας η έναρξη χρονολογείται στις αρχές της 10ετίας του 1980 στην Ιταλία, την Γαλλία και την Ισπανία (Εικ. 1). Στο τέλος της δεκαετίας αυτής άρχισε και έκτοτε αναπτύχθηκε με ιδιαίτερα έντονα αυξανόμενο ρυθμό η εκτροφή της τσιπούρας με εντατικά συστήματα παραγωγής σε ιχθυοκλωβούς και στην Ελλάδα, η οποία έχει καταστεί η πρώτη σε παραγωγή χώρα της Μεσογείου και της Ευρώπης (Παπουτσόγλου 2008).



Εικόνα 1: Κυριότερες χώρες παραγωγής τσιπούρας
(FAO Fishery Statistics 2006)

Η τσιπούρα είναι ένα πολύ δημοφιλές είδος προς εκτροφή λόγω της μεγάλης εμπορικής αξίας της. Προσαρμόζεται εύκολα στην αιχμαλωσία, χαρακτηρίζεται από γρήγορη ανάπτυξη, ανθεκτικότητα στις μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων των υδάτινων μαζών και εξαιρετική ποιότητα φιλέτου, ιδιότητες στις οποίες οφείλεται το μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον και η επιλογή της για την εντατική εκτροφή (Klaoudatos & Apostolopoulos 1986). Έρευνες που έγιναν σε φυσικούς πληθυσμούς σχετικά με τις τροφικές προτιμήσεις της τσιπούρας σε σχέση με το μέγεθος και την εποχή του έτους, έδειξαν ότι η βάση της διατροφής τους συνίσταται από μαλάκια και οστρακόδερμα,

πολύχαιτους, δακτυλιοσκόληκες και φύκη, ενώ ευκαιριακά μπορούν να καταναλώσουν άλλους ιχθύς και έντομα (Pita *et al.* 2002).

Οι διαιτητικές ανάγκες σε πρωτεΐνες στην τσιπούρα ποικίλουν ανάλογα με το βιολογικό της στάδιο. Οι δίαιτες που προορίζονται για την εκτροφή τσιπούρων θα πρέπει να περιέχουν 45-55% πρωτεΐνη και ένα ελάχιστο ποσοστό της τάξης του 9-12% λίπος (Koven 2002). Στις δίαιτες τους θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται σημαντική ποσότητα ιχθυελαίου ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες σε απαραίτητα λιπαρά οξέα της σειράς ω-3 του συγκεκριμένου είδους. Επιπρόσθετα, το ιχθυάλευρο, λόγω της θρεπτικής σύνθεσης του, είναι καλύτερη πρωτεϊνική πηγή για τα σιτηρέσια των ιχθύων. Παρόλα αυτά, και σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται η πραγματοποίηση περαιτέρω μελετών (Oliva-Teles 2000)

1.2 Η χρήση του ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές και η αναγκαιότητα αντικατάστασης του

Υπό εντατικές συνθήκες εκτροφής, το ιχθυάλευρο και το ιχθυέλαιο είναι τα πιο συνηθισμένα συστατικά των τροφών τα οποία προμηθεύουν τον οργανισμό με απαραίτητες ουσίες. Η μεγάλη ανάπτυξη των ιχθυοκαλλιεργειών οδήγησε σε αύξηση της ζήτησης για τεχνητές ιχθυοτροφές, μειώνοντας έτσι συγκεκριμένα ιχθυαποθέματα που προορίζονται για ιχθυάλευρα (Tidwel & Allan 2002). Το ιχθυάλευρο, είναι η σημαντικότερη πηγή πρωτεΐνης που περιλαμβάνεται στις ιχθυοτροφές. Παρασκευάζονται κυρίως από μικρά θαλασσινά ψάρια με υψηλό ποσοστό οστών και ελαίων, ενώ ένα μικρό, αλλά αυξανόμενο, ποσοστό προέρχεται από παρεμπύπτοντα αλιεύματα και υποπροϊόντα επεξεργασίας (Miles & Charman 2006). Είναι δημοφιλές λόγω της υψηλής θρεπτικής του αξίας. Η πρωτεΐνη του κυμαίνεται από 56% έως 76%, ενώ περιλαμβάνει υψηλά επίπεδα απαραίτητων αμινοξέων,

όπως λυσίνη, η οποία συχνά είναι ανεπαρκής σε φυτικά προϊόντα που επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως στις περισσότερες ζωοτροφές (Miles & Chapman 2006). Το ιχθυάλευρο έχει επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε μεθειονίνη και κυστεΐνη περιέχει βιταμίνες όπως B12, χολίνη, νιασίνη, παντοθενικό οξύ και ριβοφλαβίνη και τέλος αποτελεί καλή πηγή ασβεστίου, χαλκού, σιδήρου, φωσφόρου και άλλων ιχνοστοιχείων. Τα ιχθυάλευρα είναι ιδιαίτερα εύγευστα και εύπεπτα για τα ψάρια και είναι άμεσα διαθέσιμα για τους παραγωγούς (Jackson 2009).

Η αλόγιστη χρήση των αποθεμάτων ιχθυαλεύρου στις ιχθυοτροφές σε συνδυασμό με τη στάσιμη παραγωγή του και τη συνεχή αύξηση της τιμής του, συντελούν στο ολοένα και υψηλότερο κόστος παραγωγής των ιχθυοκαλλιεργειών. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, έως το 2030 αναμένεται αύξηση στην τιμή του ιχθυαλεύρου κατά 20%, γεγονός που εντείνει την προσπάθεια αντικατάστασης του (FAO 2018). Τα περισσότερα υποκατάστατα πρωτεϊνικών πηγών των ιχθυαλεύρων, είναι φυτικής και ζωικής προέλευσης, αλλά τελευταία ο κλάδος βρίσκεται σε μία διαρκή αναζήτηση νέων υποκατάστατων (Guedes & Malcata 2012). Βέβαια, αρκετές έρευνες απέδειξαν πως το ιχθυάλευρο δεν μπορεί να αντικατασταθεί πλήρως σε βασικά σαρκοφάγα ψάρια ιχθυοκαλλιέργειας, όπως η ιριδίζουσα πέστροφα, ο σολομός Ατλαντικού, η τσιπούρα και το λαβράκι, καθώς έχει αρνητικό πρόσημο στην ανάπτυξη των ψαριών (Bell & Wagbo 2008).

Φυτικά άλευρα που χρησιμοποιούνται συχνά είναι το σογιάλευρο, το κραιβάλευρο, το φοινικάλευρο, το βαμβακάλευρο, το φυστικάλευρο, το ηλιάλευρο, το σουσαμάλευρο, το καρυδάλευρο, η γλουτένη αραβοσίτου, η γλουτένη σιταριού κ.α. (Μεντέ & Νέγκας 2011). Το σογιάλευρο αποτελεί την πιο συνηθισμένη εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, η οποία

περιλαμβάνει το 10 με 50 % της πρωτεΐνης στη διαίτα (Tacon & Akiyama 1997, Hardy 2002), ενώ πειράματα με σπόρους μπιζελιού δείχνουν ότι μπορούν να αντικαταστήσουν μέχρι και το 20% της πρωτεΐνης των ιχθυάλευρων στη διατροφή των ιχθυδίων τσιπούρας και τέλος το άλευρο της γλουτένης καλαμποκιού μπορεί να υποκαταστήσει το ιχθυάλευρο κατά 40 - 60% (Robaina *et al.* 1997, Pereira & Oliva-Teles 2002), χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση των ψαριών (Pereira & Oliva-Teles 2002). Ωστόσο, η χρήση εναλλακτικών πηγών φυτικής πρωτεΐνης, εξακολουθεί να φέρει ανησυχίες, καθώς μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ευζωία και υγεία των ψαριών. Συγκεκριμένα δεν έχει διερευνηθεί πλήρως η ιστολογία του εντέρου των ειδών που τρέφονταν με βάση το σογιάλευρο ενώ έχουν αναφερθεί και μεταβολές στο ανοσοποιητικό τους σύστημα, καθώς και στην παθολογία (εντερίτιδα) (Bonaldo *et al.* 2008). Μπορούν να περιέχουν διάφορες αντιδιατροφικές ουσίες όπως αλκαλοειδή, σαπωνίνες, τανίνες, παρεμποδιστές πρωτεασών κ.α, που αν δεν αδρανοποιηθούν, με κατάλληλη επεξεργασία, μπορεί να προκαλέσουν μείωση της ανάπτυξης, τοξικότητες και προβλήματα υγείας στους διατρεφόμενους ιχθείς (Francis *et al.* 2001). Επιπλέον τα φυτικά αλευρα, συγκριτικά με τα ιχθυάλευρα, περιέχουν χαμηλότερα επίπεδα πρωτεΐνης και ορισμένων απαραίτητων αμινοξέων, δεν διαθέτουν πολυακόρεστα λιπαρά οξέα με 20 και πάνω άτομα άνθρακες, όπως τα 20:5ω-3, 22:6 ω-3 και 20:4 ω-6 τα οποία είναι απαραίτητα για όλους τους ζωικούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των ψαριών. Τέλος υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι υπάρχει αρνητική επίδραση της χρήσης των φυτικών πρωτεϊνών και στην οργανοληπτική ποιότητα του ψαριού (Gatlin III *et al.* 2007).

Άλευρα ζωικής προέλευσης που έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για να αντικαταστήσουν εν μέρει τα ιχθυάλευρα στα σιτηρέσια εκτρεφόμενων ιχθύων, χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις

στην ανάπτυξή τους, είναι τα κρεατάλευρα και τα οστεάλευρα, το άλευρο πουλερικών, το άλευρο κρέατος χοίρων, το αιματάλευρο, το πτεράλευρο, η αιμογλοβίνη κ.α. (Καραπαναγιωτίδης 2011). Τα οριακά απαραίτητα αμινοξέα σε αυτά τα παραπροϊόντα είναι η λυσίνη (άλευρο πουλερικών), η ισολευκίνη (αιματάλευρο) και η μεθειονίνη (κρεατάλευρο, οστεάλευρο, αιματάλευρο) (El-Sayed 1999). Βέβαια, βασικό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το λίπος των προϊόντων αυτών περιέχει αρκετά κορεσμένα λιπαρά και δεν περιέχει ω-3 ΠΛΟ (El-Sayed 1999). Επίσης, η μεγάλη περιεκτικότητά τους σε λίπος επίσης αποτελεί μειονέκτημα, καθώς κατά την αποθήκευση μπορεί να επέλθει η οξείδωσή του και να καταστραφούν πολύτιμα συστατικά, όπως η βιταμίνες Α αλλά και να μειωθεί η διαθεσιμότητά τους (Καραπαναγιωτίδης 2011). Επίσης, λόγω ανησυχιών που προέκυψαν μετά την εμφάνιση της νόσου της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας σε βοοειδή, που διατρέφονταν με τέτοιου είδους άλευρα, η πλειοψηφία αυτών των αλεύρων είχε απαγορευτεί στην ΕΕ από το 2001 έως το 2013, ωστόσο το 2013 επανα-επιτράπηκε η χρήση κάποιων από αυτά που όμως πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις παρασκευής τους (Καραπαναγιωτίδης 2015).

1.3 Η χρήση των πρωτεϊνών εντόμων ως υποκατάστατα του ιχθυάλευρου στις ιχθυοτροφές

Τα έντομα, θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια εναλλακτική λύση για την κάλυψη ενός μέρους των διατροφικών αναγκών των εκτρεφόμενων ψαριών, αν και όπως είναι λογικό με τη χρήση τους τίθενται και πολλά ηθικά ζητήματα (Barroso *et al.* 2014).

Από τα αρχαία χρόνια, τα έντομα αποτελούσαν μια εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, για την περιοδική ή εποχιακή αντιστάθμιση άλλων σπάνιων πηγών (Rumpold & Schlüter 2013). Οι περισσότερες υπάρχουσες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στα έντομα που έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη διατροφή στην Αφρική, την Ασία και τη Λατινική Αμερική (Barroso *et al.* 2014). Αν και τα έντομα άρχισαν να αξιολογούνται ως δυνητικό τρόφιμο για τα ζώα πριν από 40 χρόνια, η ενσωμάτωση των εντόμων σε ζωοτροφές για τα ψάρια δεν είχε λάβει ιδιαίτερη προσοχή μέχρι πρόσφατα (Ogunji *et al.* 2006).

Δεδομένου ότι τα έντομα αποτελούν μέρος της φυσικής διατροφής τόσο των γλυκών όσο και των θαλάσσιων ψαριών και επειδή είναι πλούσια σε αμινοξέα, λιπίδια, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία, καθώς επίσης έχουν ένα σαφώς μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα σε σχέση με εκτροφές άλλων ζώων (δεν υπάρχει ανάγκη για καλλιεργήσιμη γη, χαμηλή ανάγκη για ενέργεια και νερό), έχουν ληφθεί υπόψη ως πιθανές εναλλακτικές λύσεις έναντι των ιχθυαλεύρων και των ιχθυελαίων (van Huis *et al.* 2013). Τα τελευταία 10 χρόνια υπάρχουν αρκετά *in vivo* πειράματα διατροφής, με δίαιτες βασισμένες σε άλευρα εντόμων σε είδη ιχθύων όπως τα *Clarias anguillaris*, *Clarias gariepinus*, *Orcorhynchus mykiss*, *Oreochromis niloticus* και *Psetta maxima* (Barroso *et al.* 2014). Τα έντομα που έχουν χρησιμοποιηθεί σε τέτοια πειράματα ανήκουν στην Τάξη των Ορθόπτερων με τα *Zonocerus variegatus*, *Poecilocerus pictus*, *Locusta migratoria*, στην Τάξη των Ισόπτερων με το *Macrotermes spp.*, στην Τάξη των Κολεόπτερων με τα *Tenebrio molitor*, *Oryctes rhinoceros*, *Zophobas morio*, στην Τάξη των Λεπιδόπτερων με το *Bombyx mori* και τέλος στην Τάξη των Δίπτερων με το *Hermetia illucens* και *Musca domestica*. (Henry *et al.* 2015).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι Fasakin *et al.* (2003) ανέφεραν πως η μέση περιεκτικότητα πρωτεΐνης των εντόμων κυμαίνεται μεταξύ 50 και 82% ανάλογα με το είδος του εντόμου ή με τη μέθοδο επεξεργασίας του, ενώ έρευνες έδειξαν πως τα χαμηλότερα επίπεδα πρωτεϊνών ανήκουν σε έντομα της Τάξης των Κολεόπτερων (*Rhynchophorus ferrugineus*, 35%), και των Δίπτερων (*Hermetia illucens* larvae, 36%), και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη την είχαν έντομα της Τάξης των Ορθόπτερων (*Heteracris littoralis*, 74% και *Acheta domestica* 73%), η οποία είναι παρόμοια με αυτή του ιχθυάλευρου (73%) (Barroso *et al.* 2014). Το προφίλ των απαραίτητων αμινοξέων των εντόμων εξαρτάται από την Τάξη στην οποία ανήκουν. Συγκεκριμένα, το προφίλ των αμινοξέων σε άλευρα που προέρχονται από έντομα που ανήκουν στην Τάξη των Δίπτερων, θεωρείται στενά συνδεδεμένο με το προφίλ των ιχθυάλευρων και τα προφίλ των αλεύρων από Κολεόπτερα και Ορθόπτερα κοντά στο προφίλ του σογιάλευρου με πιθανές ελλείψεις στα αμινοξέα λυσίνη και μεθειονίνη (Barroso *et al.* 2014). Τα συχνότερα περιοριστικά αμινοξέα είναι η ιστιδίνη, η λυσίνη και η τρυπτοφάνη, τα οποία θα πρέπει να ενσωματωθούν για μια ισορροπημένη διατροφή (Sanchez-Muros *et al.* 2014). Όσον αφορά το περιεχόμενο λίπος, το ποσοστό των εντόμων κυμαίνεται μεταξύ 10-30%, και είναι υψηλότερο του ιχθυάλευρου (τυπικά 7-10%), αλλά και της σόγιας (Sanchez-Muros *et al.* 2014). Πειράματα έδειξαν ότι το περιεχόμενο λίπος στα *Locusta migratoria*, προνύμφες *Musca domestica* και *Tenebrio molitor* ήταν σε ποσοστό 30% και στο *Zophoba morio* 38% (Barroso *et al.* 2014). Επιπλέον, κάποια είδη εντόμων περιέχουν ικανοποιητικά επίπεδα σε ω-3 και ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs) και ανόργανα στοιχεία, όπως σίδηρο (Sanchez-Muros *et al.* 2014).

Αναφορικά με την επίδραση των εντομαλεύρων στην ανάπτυξη των ιχθύων έχουν γίνει αρκετές μελέτες μέχρι σήμερα (Henry *et al.* 2015). Σε πείραμα με τσιπούρες το 2014,

σιτηρέσια με ποσοστά αντικατάστασης 25% και 50% της πρωτεΐνης ιχθυάλευρου από το έντομο *Tenebrio molitor* έδειξαν ότι η 25% αντικατάσταση του δεν οδήγησε σε αρνητικές επιδράσεις στο τελικό σωματικό βάρος, ενώ η 50% υποκατάσταση προκάλεσε μείωση της ανάπτυξης και λιγότερο ευνοϊκά αποτελέσματα για τον ειδικό ρυθμό ανάπτυξης, την μετατρεψιμότητα της τροφής και την αποδοτικότητα των πρωτεϊνών (Piccolo *et al.* 2014). Το 2017, σε διατροφικό πείραμα στην ιριδίζουσα πέστροφα, η αντικατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυάλευρου έως και 50%, με απολιπασμένο άλευρο του εντόμου *Hermetia illucens*, δεν επέφερε αλλαγές στην ανάπτυξη, τη μετατρεψιμότητα τροφής αλλά και την ποιότητα του ψαριού (Stadtlander 2017)

Στον αντίποδα, εκτός από την τις διαφορούμενες απόψεις των καταναλωτών όσων αφορά την δεκτικότητα ενός τροφίμου που έχει σιτιστεί με έντομα, και του γεγονότος ότι αποτελούν βιοσυσσωρευτές εντομοκτόνων, βαρέων μετάλλων και φυσικών τοξινών (Van der Spiegel *et al.* 2015), ένα ακόμα βασικό μειονέκτημα της χρήσης εντόμων στην τροφή είναι η χιτίνη, συστατικό του εξωσκελετού των εντόμων, την οποία τα ψάρια δεν μπορούν να μεταβολίσουν. Έτσι, με σκοπό να μπορεί να συμπεριληφθεί στην τροφή μπορεί να αφαιρεθεί από το έντομο μέσω αλκαλικής εκχύλισης ή μέσω άλλων χημικών ή ενζυματικών διεργασιών, διεργασίες που αυξάνουν το κόστος του σιτηρεσίου (Henry *et al.* 2015).

1.4 Το είδος εντόμου *Hermetia illucens*

Το έντομο *Hermetia illucens*, με κοινό όνομα μαύρος στρατιώτης (Black Soldier Fly - BSF), είναι ενδημική μύγα της Τάξης των Δίπτερων (Εικ.2). Παρόλο που ήταν αρχικά εγγενής στην Αμερική, εμφανίζεται παγκοσμίως σε τροπικές και εύκρατες περιοχές λόγω της έλλειψης αντοχής στο κρύο (Sheppard *et al* 1994; Čičková *et al* 2015). Τα ενήλικα άτομα

του είδους ζουν και ζευγαρώνουν κοντά στα ενδιαιτήματα των προνυμφών και μπορούν να παραμείνουν αρκετό καιρό χωρίς τροφή, λόγω του μεγάλου ποσοστού σωματικού λίπους, το οποίο αποθηκεύεται στο στάδιο της προνύμφης. Η περιεκτικότητα του είδους σε ολικά λίπη φτάνει το 35%, ενώ σε ολικές πρωτεΐνες το 42% (Newton *et al.* 2005).



Εικόνα 2: *Hermetia illucens*(bugguide.net)

Η προσθήκη του BSF στις ιχθυοτροφές, θεωρείται ήδη ως μια καλή εναλλακτική αντικατάστασης ιχθυαλεύρου και ιχθυελαίου στη διατροφή σαρκοφάγων ψαριών, άλλα και στα σιτηρέσια άλλων ζώων λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες και λίπη (Kroeckel *et al.* 2012) Έρευνα, το 2007, στην ιριδίζουσα πέστροφα απέδειξε πως αντικατάσταση 25% του ιχθυάλευρου με BSF, δεν επηρέασε την αύξηση βάρους και το FCR, όμως μείωσε σημαντικά το ποσοστό των ω-3 λιπαρών οξέων στα φιλέτα (St-Hilaire *et al.* 2007), ενώ αργότερα οι Renna, *et al.* (2017) ανέφεραν πως έως και 50% αντικατάσταση

μερικώς απολιπασμένου BSF δεν επιφέρει αρνητικές επιδράσεις στην ανάπτυξη, σε σωματικούς δείκτες, σε ποιοτικές παραμέτρους και τη μορφολογία εντέρου. Οι ίδιοι συγγραφείς τονίζουν πως αντικατάσταση έως και 20% δεν έχει αρνητικό πρόσημο στα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα EPA και DHA (Renna, *et al.* 2017). Το 2016 στον κυπρίνο, δεν διαπιστώθηκε καμία διαφορά στην ανάπτυξη των ψαριών που διατράφηκαν είτε με έλαιο BSF είτε με σογιέλαιο, αλλά μειώθηκε η εναπόθεση ολικών λιπιδίων στη σάρκα του κυπρίνου, όταν αυξήθηκε η αναλογία του ελαίου BSF στη διατροφή (Li *et al.* 2016). Στο λαβράκι, αντικατάσταση ιχθυαλεύρου από άλευρο BSF έως 19,5% έχει θεωρηθεί επιτυχημένη χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη, την πρόσληψη τροφής ή την πέψη (Magalhães *et al.* 2017)

Τέλος, σε διατροφικό πείραμα στην τσιπούρα, αντικατάσταση ιχθυαλεύρου από άλευρο BSF έως 10% δεν οδήγησε σε σημαντική μείωση του ρυθμού ανάπτυξης της (Δασκαλοπούλου 2014), ενώ αντίθετα αυξημένα επίπεδα συμμετοχής του απολιπασμένου αλεύρου *H. illucens* στο σιτηρέσιο της τάξης του 17% οδηγούν σε χαμηλότερη κατανάλωση, μειωμένη ανάπτυξη, μειωμένη αξιοποίηση της τροφής και σε αυξημένες θνησιμότητες της συγκριτικά με χαμηλότερα επίπεδα συμμετοχής του αλεύρου στο σιτηρέσιο (Νεοφύτου 2016)

1.5 Διατροφική αξία - Θρεπτική σύσταση ιχθύων

Η θρεπτική σύσταση των ιχθύων και των προϊόντων τους, τα χαρακτηρίζουν ως πολύτιμα και ευεργετικά τρόφιμα για την ανθρώπινη υγεία, με την κατανάλωσή τους να παρουσιάζει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια (Alasalvar & Taylor 2002), ενώ μάλιστα, προβλέπεται η ετήσια κατά κεφαλή κατανάλωση σε ιχθυηρά να φτάσει στα 24Kg το 2030,

στον αναπτυγμένο κόσμο (Failler 2007). Η τροφή είναι η βασική πηγή πρόσληψης των θρεπτικών συστατικών από έναν οργανισμό, των οποίων η ποσότητα και η αναλογία στην τροφή, καθορίζουν τη θρεπτική της αξία (Lall 2000). Η διατροφική αξία των ιχθύων απευθύνεται στη σύσταση τους σε λιπίδια και απαραίτητα λιπαρά οξέα, πρωτεΐνες και απαραίτητα αμινοξέα, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία (Jobling 1995).

Τα θρεπτικά οφέλη των ιχθύων ως τρόφιμα προέρχονται, ως επί το πλείστον, από το εξαιρετικά προνομιακό προφίλ λιπών και λιπαρών οξέων που τα χαρακτηρίζει, καθώς αποτελούν πολύτιμη πηγή ω-3 πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, ενώ έχουν μικρές ποσότητες κορεσμένων λιπιδίων και χοληστερόλης (Arino *et al.* 2005). Τα λιπαρά οξέα των ιχθύων απαντούν σε ποσοστό 79-83% ως ακόρεστα λιπαρά οξέα. Τα τελευταία χρόνια, αυξανόμενη προσοχή έχει επικεντρωθεί στη σημασία των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs) στην ανθρώπινη διατροφή, ιδιαίτερα του EPA και του DHA (Graham *et al.* 2007), τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη υγεία, καθώς προλαμβάνουν τις καρδιαγγειακές παθήσεις, τον διαβήτη και τον καρκίνο (Rice 2004), ενώ παράλληλα βελτιώνουν διάφορες λειτουργίες του οργανισμού (Berbert *et al.* 2005). Αναφορικά, η σαρδέλα, αποτελεί ένα από τα πλουσιότερα είδη ιχθύων σε ω-3 λιπαρά οξέα, καθώς η περιεκτικότητά της σε EPA φτάνει το 9,49% και DHA στο 14,4% επί των ολικών λιπαρών οξέων (Παπουτσόγλου 2008)

Η περιεκτικότητα των ολικών λιπιδίων και το προφίλ των λιπαρών οξέων ενός ιχθύος επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος του ιχθύος, το μέγεθος, την ηλικία, το ενδιαίτημα του, τον χρωματισμό του μυϊκού ιστού, την τοποθεσία του μυϊκού ιστού στο σώμα, την εποχή, τη θερμοκρασία κ.α. (Ackman 1989), ενώ ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε λίπος στον μυϊκό τους ιστό κατηγοριοποιούνται σε άπαχα, με χαμηλά λιπαρά, ημιλιπαρά και λιπαρά. Στα άπαχα ψάρια, όπως η γλώσσα, ο μπακαλιάρος κ.α. η

περιεκτικότητα λίπους φτάνει το 2%, στα ψάρια με χαμηλά λιπαρά, δηλαδή τον τόνο, την αθερίνα κ.α., η περιεκτικότητα κυμαίνεται από 2% έως 4%, στα ημιλιπαρά, με ψάρια όπως η πέστροφα, ο σολομός κ.α., από 4% έως 8% και τέλος στα λιπαρά ψάρια συγκαταλέγονται όσα έχουν λιποπεριεκτικότητα, πάνω από 8%, όπως η σαρδέλα, το σκουμπρί κ.λ.π. (Hui *et al.* 2006). Τέλος, τα ψάρια με μεγάλη λιποπεριεκτικότητα, είναι η μόνη φυσική πηγή βιταμίνης D (Lie 2001).

Η πρωτεΐνη των ψαριών είναι υψηλής ποιότητας ζωική πρωτεΐνη. Συνήθως, η συγκέντρωση της κυμαίνεται από 40-80% επί ξηράς ουσίας, βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα και στο αίμα τους, είναι εύκολα εύπεπτη και παρέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα για την ανθρώπινη διατροφή όπως η λυσίνη και η μεθειονίνη (Friedman 1996). Η περιεκτικότητα των πρωτεϊνών στους λευκούς και ερυθρούς μύες των ιχθύων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος, το βιολογικό στάδιο, τη διατροφή και τα στοιχεία διαβίωσης, με την περιεκτικότητα στους λευκούς μύες να αγγίζει το 15-27%, ενώ στους ερυθρούς το 16-19% (Παπουτσόγλου 2008). Επίσης, ρόλο παίζει και η εποχή, καθώς έρευνες στα είδη *Scomber japonicus* (Celik 2008) και *Dicentrarchus labrax* (Ozyurt *et al.* 2007) έδειξαν αυξημένη περιεκτικότητά σε πρωτεΐνες στο μυϊκό ιστό των ιχθύων τους χειμερινούς και κυρίως τους φθινοπωρινούς μήνες σε σύγκριση με τους καλοκαιρινούς και ανοιξιάτικους, ενώ αντίστοιχες έρευνες στα *Solea solea* (Gokce *et al.* 2004) και *Trachurus trachurus* (Celik 2008) παρουσιάζουν μειωμένα πρωτεϊνικά αποθέματα τους φθινοπωρινούς μήνες.

Η περιεκτικότητα των ιχθύων σε υγρασία, αν και δεν αποτελεί θρεπτικό συστατικό, είναι εξίσου σημαντική διότι καθορίζει τη συνολική θρεπτική σύσταση του οργανισμού. Η σχέση περιεχόμενης υγρασίας και λιποπεριεκτικότητας είναι αντιστρόφως ανάλογη, όπως αντιστρόφως ανάλογη είναι και η σχέση της με την ηλικία των ψαριών (Rasmussen 2001).

Περαιτέρω, τα ψάρια είναι πλούσια πηγή βιταμινών, μετάλλων και ιχνοστοιχείων. Περιέχουν, υδατοδιαλυτές βιταμίνες του συμπλέγματος Β, νιασίνη, παντοθενικό οξύ, αλλά και λιποδιαλυτές βιταμίνες των ομάδων Α, Ε και D. Η εναπόθεση λιποδιαλυτών βιταμινών, και συγκεκριμένα της βιταμίνης D και Ε, εξαρτάται από το επίπεδο διατροφής (Hamre & Lie 1997). Επιπλέον, περιέχουν σημαντική ποσότητα ανόργανων στοιχείων, όπως ασβέστιο, φώσφορο, μαγνήσιο, σίδηρο, ψευδάργυρο, σελήνιο, φθόριο και ιώδιο (Agiro *et al.* 2005). Τέλος, η περιεκτικότητα της σάρκας των ιχθύων σε υδατάνθρακες είναι μικρή, διότι ότι ο οργανισμός τους επενδύει ενεργειακά κυρίως σε λίπη (Love 1997). Βέβαια, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα, στο κομμάτι αυτό, καθώς οι διαθέσιμες πληροφορίες δεν είναι επαρκείς (Lie 2001).

Η ασφάλεια των τροφίμων είναι ένα θέμα το οποίο απασχολεί όλο και περισσότερο τους καταναλωτές, κυρίως όσων αφορά τα ψάρια που προέρχονται από υδατοκαλλιέργειες. Στα ιχθυηρά, συγκεντρώνονται μεγάλες ποσότητες οργανικών ρύπων, όπως PCB και διοξίνες, ραδιοενεργών ισοτόπων, βαρέων μετάλλων κυρίως Hg και Pb κ.α., τα οποία προέρχονται από τη μόλυνση των υδάτων, η οποία με τη σειρά της προέρχεται από τη γενικότερη ρύπανση του περιβάλλοντος (Lie 2001). Η βιοσυσώρευση των τοξικών αυτών παραγόντων είναι μεγαλύτερη στα μακροβιότερα και μεγάλα ψάρια. Επιπρόσθετα, τα ιχθυηρά, 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 που παράγονται από τη βιολογική αποικοδόμηση των ιχθυηρών και ελαχιστοποιούνται με πολύ καλή θερμική κατεργασία (Σφλώμος 2011).

1.7 Σκοπός της έρευνας

Η βιβλιογραφία σχετικά με την χρήση εντόμων στο σιτηρέσιο ιχθύων είναι σχετικά περιορισμένη. Παρόλο που οι έρευνες αντικατάστασης του ιχθυαλεύρου με BSF ολοένα και αυξάνονται, δεν υπάρχουν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την καθιέρωση του ως κατάλληλο υποκατάστατο. Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να μελετηθεί η επίδραση της χρήσης διαιτητικής πρωτεΐνης του εντόμου *Hermetia illucens* στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας (*Sparus aurata*). Τα δείγματα θα αναλυθούν εργαστηριακά με γνωστά πρωτόκολλα ως προς την περιεκτικότητα τους σε ολικές αζωτούχες ενώσεις, ολικά λίπη, ολική ενέργεια, τέφρα και ξηρή ουσία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Δειγματοληψία

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, συλλέχθηκαν ιχθύες του είδους *Sparus aurata* (τσιπούρα), με μέσο βάρος 6-10g, οι οποίοι προέρχονταν από διατροφικό πείραμα, που διεξήχθη στις πειραματικές εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, όπου είχαν διαχωριστεί σε 3 διατροφικές ομάδες με την κάθε ομάδα να σιτίζεται με διαφορετικό σιτηρέσιο (Πιν.1), Τα σιτηρέσια BSF10 και BSF20 περιείχαν απολιπασμένο αλεύρο *H. illucens* σε ποσοστά συμμετοχής στο σιτηρέσιο ίσο με 5,8% και 11,6% της τροφής αντίστοιχα, υποκαθιστώντας κατά 10% και 20%, αντίστοιχα την πρωτεΐνη του διαιτητικού ιχθυαλεύρου. Τα δύο αυτά σιτηρέσια ήταν μεταξύ τους ισοενεργειακά (21,6 MJ/Kg τροφής) και ισοπρωτεϊνικά (47% της τροφής). Το σιτηρέσιο FM περιείχε μηδενικά επίπεδα αλεύρου *H. illucens* με αποκλειστική πηγή ζωικής πρωτεΐνης το ιχθυάλευρο, που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Το σιτηρέσιο αυτό είχε ελαφρώς χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (42,5%) και ελαφρώς αυξημένα επίπεδα ολικής ενέργειας (22,4 MJ/Kg) συγκριτικά με τα υπόλοιπα δύο σιτηρέσια. Τα πειραματικά σιτηρέσια παράχθηκαν με την μέθοδο της κοινής πελλετοποίησης στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος με τη χρήση πελλετομηχανής τύπου California Pellet Mill και ήταν στη μορφή βυθιζόμενου σύμπηκτου διαμέτρου 1,5 mm.

Πίνακας 1.: Συστατικά και χημική σύσταση (% επί της νωπής ουσίας) των πειραματικών σιτηρεσίων.

Συστατικά (%)	BSF10	BSF20	FM
Ιχθυάλευρο	37,4	33,2	41,5
Άλευρο <i>H.illucens</i>	5,8	11,6	0,0
Γλουτένη καλαμποκιού	26,6	27,1	26
Σιτάρι, αλεύρι	14,7	11,8	17,8
Ιχθυέλαιο	14,1	14,9	13,3
Βιταμίνες & Ανόργανα στοιχεία	0,60	0,60	0,60
Φωσφορικό μονοασβέστο	0,30	0,30	0,30
Βιταμίνη E	0,10	0,10	0,10
Βιταμίνη C	0,10	0,10	0,10
Αντιμυκητιακή ουσία	37,4	33,2	0,3
Θρεπτική Σύσταση (%)			
Υγρασία	8,7	10,9	6,96
Ολικές αζωτούχες ουσίες	46,8	46,5	42,5
Ολικές λιπαρές ουσίες	19,4	18,5	22,1
Υδατάνθρακες ¹	14,4	13,7	20,1
Τέφρα	10,7	10,4	8,1
Ενέργεια (MJ/Kg)	21,7	21,6	22,4

¹ Το ποσοστό των υδατανθράκων εκτιμήθηκε με αφαίρεση από το 100 του συνόλου των ποσοστών πρωτεΐνης, λιπιδίων και τέφρας. Τα περισσότερα συστατικά (εκτός του μυγάλειου και αλεύρου σίτου) ήταν μια ευγενική χορηγία της εταιρίας BioMar Hellenic ABEEI.

Όσον αφορά τις προνύμφες του εντόμου *Hermetia illucens*, προήλθαν από φυσικό πληθυσμό που συντηρείται στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η θρεπτική σύσταση του απολιπασμένου αλεύρου BSF ήταν 1,7% υγρασία, 50,6% ολικές πρωτεΐνες, 3,0% ολικά λίπη, 16,2% τέφρα και 16,2 MJ/Kg ολική ενέργεια. Η σύσταση του ιχθυαλεύρου που χρησιμοποιήθηκε στις τροφές ήταν 6% υγρασία, 70,6% ολικές πρωτεΐνες, 7,2% ολικά λίπη, 16,4% τέφρα και 19,8 MJ/Kg ολική ενέργεια.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, συλλέχθηκαν 5 άτομα τσιπούρας μέσου ατομικού βάρους 6-10 g από κάθε διατροφική ομάδα, τα οποία είχαν θανατωθεί με ισχυρή αναισθητοποίηση. Τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης ολόκληρου του σώματος. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης ολόκληρου του σώματος ως προς την περιεκτικότητά τους σε ολικές αζωτούχες ενώσεις, ολικά λίπη, ολική ενέργεια, τέφρα και ξηρή ουσία.

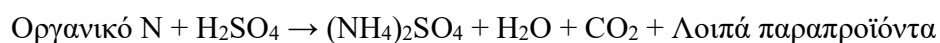


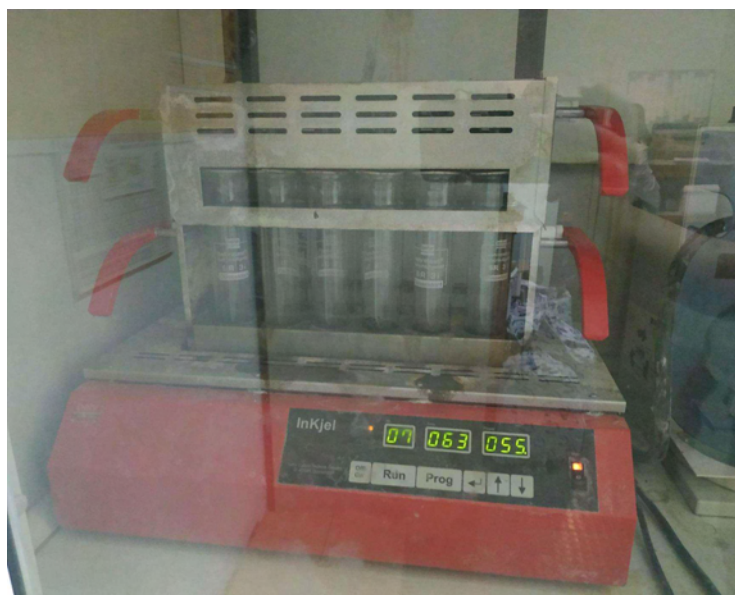
Εικόνα 3: Ιχθύες διατροφικής ομάδας FM, BSF20, BSF10

2.2 Χημικές αναλύσεις

2.2.1 Προσδιορισμός αζωτούχων ενώσεων

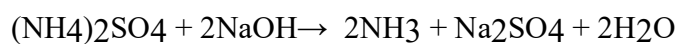
Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών των σωματιών των ψαριών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC 1995). Αρχικά, ζυγίστηκαν δείγματα βάρους 0,2g σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων, και μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5g Potassium Sulphate K_2SO_4 και 5g copper (II) Sulphate $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) για να επιταχυνθεί η αντίδραση της πέψης. Στην συνέχεια, προστέθηκαν 15 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4) και τοποθετήθηκαν στην συσκευή πέψης Kjeltac 2000 (Εικ 4). Η διαδικασία της πέψης πραγματοποιείται στους $150^\circ C$ για 85min. Με την συσκευή πέψης επιτυγχάνεται το βράσιμο των δειγμάτων και με την βοήθεια του πυκνού θειικού οξέος πραγματοποιείται διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων. Το αδέσμευτο άζωτο (N) δεσμεύεται με την μορφή θειικού αμμωνίου (άλας), σύμφωνα με την αντίδραση:



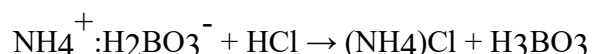


Εικόνα 4: Συσκευή πέψης Kjeltec 2000

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της πέψης τα δείγματα αφήνονται να κρυώσουν για 15 min. Έπειτα, τοποθετήθηκαν σε συσκευή απόσταξης, στην οποία προστέθηκαν 100ml αποσταγμένου H₂O, 80 ml NaOH και 50 ml H₃BO₃. Η διαδικασία διήρκησε 6 min. Το θεικό αμμώνιο, που είχε παραχθεί κατά την διαδικασία της πέψης, αντιδρά με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) και αποδεσμεύεται αμμωνία (σε αέρια μορφή) και θεικό νάτριο (Na₂SO₄). Η αμμωνία (NH₄) έπειτα αντιδρά με βορικό οξύ (H₃BO₄) και το άζωτο του δείγματος δεσμεύεται σε μορφή βορικού αμμωνίου, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις:



Το βορικό αμμώνιο συγκεντρώθηκε σε κωνική φιάλη που περιείχε 4 σταγόνες ερυθρού του μεθυλενίου (δείκτη pH). 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:

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

2.2.2 Προσδιορισμός ολικών λιπαρών ουσιών

Ο προσδιορισμός των ολικών λιπαρών ουσιών στα σώματα των ψαριών έγινε με την μέθοδο εκχύλισης Soxhlet (AOAC 1995). Σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 3 πέτρες βρασμού και καταγράφηκε το βάρος τους σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν στα δοχεία χάρτινοι ηθμοί. Ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος βάρους 2 g και μεταφέρθηκε στο χάρτινο δοχείου ηθμού. Το δείγμα του ιστού, και της τροφής σε κάποιες περιπτώσεις, πρέπει να είναι ξηραμένη και αλεσμένη. Η ξήρανση πραγματοποιείται σε φούρνο στους 105°C για περίπου 24 h (μέχρι σταθεροποίησης του βάρους του δείγματος). Στο γυάλινο δοχείο εκχύλισης προστέθηκαν 150ml πετρελαϊκού

αιθέρα, στον 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.5). 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 1,5 h, όπου έλαβε χώρα το δεύτερο στάδιο της εκχύλισης. Ύστερα, ο διαλύτης απορροφήθηκε για 15 min με αποτέλεσμα τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στον πάτο του δοχείου εκχύλισης. Για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων πετρελαϊκού αιθέρα τα δοχεία (χωρίς τους χάρτινους ηθμούς) μεταφέρθηκαν στο φούρνο για 15 min στους 105°C. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα για 1h το λιγότερο και ύστερα καταγράφηκαν τα βάρη τους. Το καθαρό βάρος των λιπαρών ουσιών δίνεται από τον τύπο:

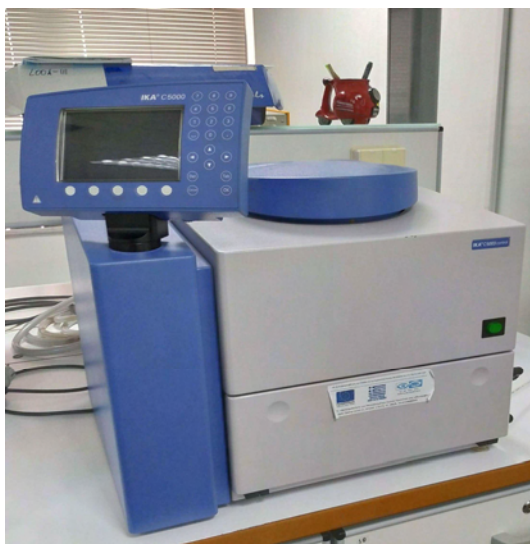
$$\text{Ολικά λιπίδια \%} = (W(g)_{\text{τελικό δοχείο εκχύλισης}} - W(g)_{\text{αρχικό δοχείο εκχύλισης}}) * 100.$$



Εικόνα5:Συσκευή Soxhlet

2.2.3 Προσδιορισμός ενέργειας

Για τον προσδιορισμό της ενέργειας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε θερμιδόμετρο (Εικ.6). 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 (Εικ.7). 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 το θερμιδική αξία στο περιεχόμενο του δείγματος που κάηκε. Τα αποτελέσματα δίνονται ηλεκτρονικά σε Kcal/g.



Εικόνα 6: Θερμιδόμετρο



Εικόνα 7: Δοχείο τύπου οβίδας

2.2.4 Προσδιορισμός τέφρας

Για τον προσδιορισμό της τέφρας των δειγμάτων, προζυγίστηκαν πυρίμαχα δοχεία και καταγράφηκαν τα βάρη τους και έπειτα ζυγίστηκαν δείγματα σώματος βάρους 1,5g, σε ζυγαριά ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων. Στην συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον αποτεφρωτήρα. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στους 600°C για 24 h (AOAC 1990). Μετά το πέρας του εικοσιτετραώρου τα δείγματα έμειναν για 1h ώστε να κρυσώσουν. Στην συνέχεια μετρήθηκε το μεικτό βάρος του δοχείου και του δείγματος και από αυτό αφαιρέθηκε το καθαρό βάρος του δοχείου. Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε τέφρα (%) υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

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

2.2.5 Προσδιορισμός υγρασίας / ξηρής ουσίας

Ο προσδιορισμός υγρασίας / ξηρής ουσίας στα δείγματα των ψαριών πραγματοποιήθηκε με την ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο για 24 h στους 105°C (AOAC 1995). Στην συνέχεια, αφού πέρασε ο χρόνος ξήρανσης, τα δείγματα βγήκαν από το φούρνο και τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για 5 min 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:
$$W_{\text{υγρασία}} = W_{\text{δει/τος}} - (W_{\text{δει/τος μετά την ξήρανση}} - W_{\text{δισκίου}})$$

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

2.3 Στατιστική ανάλυση

Αφού ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις και η συλλογή δεδομένων, τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν και δημιουργήθηκαν πίνακες με θρεπτικές συστάσεις χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα EXCEL. Το στατιστικό πακέτο SPSS 17 χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και η σύγκριση των μέσων όρων των διαφόρων παραμέτρων έγινε με τη μέθοδο ανάλυσης των διακυμάνσεων μονής κατεύθυνσης (one-way ANOVA). Στις περιπτώσεις που δεν ικανοποιούσαν την προϋπόθεση ομοιογένειας των παραλλακτικότητων, τα δεδομένα τροποποιήθηκαν. Τα δεδομένα υποβλήθηκαν στο Tukey's test για τον εντοπισμό των διαφορών μεταξύ των διαφορετικών διατροφικών ομάδων.

3. 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 (Πίν. 2) για τα ψάρια της FM μεταχείρισης ήταν $67,82 \pm 0,10\%$, για την BSF10 μεταχείριση ήταν $67,62 \pm 0,66\%$, και τέλος για την μεταχείριση BSF20 ήταν $68,27 \pm 0,48\%$. Το μεγαλύτερο ποσοστό περιεκτικότητας σε υγρασία καταγράφηκε για τα ψάρια της BSF20 μεταχείρισης και το μικρότερο ποσοστό για την BSF10 μεταχείριση χωρίς όμως να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών ($P>0,05$).

Η περιεκτικότητα των ολικών σωμάτων της τσιπούρας σε ενέργεια (Πίν. 2) για τα ψάρια της FM μεταχείρισης ήταν $24,06 \pm 0,42$ Kcal/g για την BSF10 μεταχείριση ήταν $23,24 \pm 0,2$ Kcal/g και τέλος για την BSF20 μεταχείριση ήταν $24,04 \pm 0,44$ Kcal/g. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ενέργεια καταγράφηκε για τα ψάρια της FM μεταχείρισης και η μικρότερη για την BSF10 μεταχείριση χωρίς όμως να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών ($P>0,05$).

Η περιεκτικότητα των ολικών σωμάτων της τσιπούρας σε λίπος (Πίν. 2) για τα ψάρια της FM μεταχείρισης ήταν $27,90 \pm 0,9\%$, για την BSF10 μεταχείριση ήταν $27,79 \pm 0,28$ % και τέλος για την BSF20 μεταχείριση ήταν $29,52 \pm 1,09$ %. Το μεγαλύτερο ποσοστό περιεκτικότητας σε λίπος καταγράφηκε για τα ψάρια της BSF20 μεταχείρισης και το μικρότερο ποσοστό για την BSF20 μεταχείριση χωρίς όμως να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών ($P>0,05$).

Ο μέσος όρος περιεκτικότητας σε αζωτούχες ενώσεις (Πίν. 2) των ολικών σωματών της τσιπούρας για το FM σιτηρέσιο ήταν $51,42 \pm 0,71\%$, για το BSF10 σιτηρέσιο ήταν $53,36 \pm 0,96\%$ και τέλος για το BSF20 $55,18 \pm 2,04\%$. Ο πληθυσμός των ψαριών του BSF20 σιτηρεσίου είχε την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αζωτούχες ενώσεις ενώ την χαμηλότερη ο πληθυσμός του σιτηρεσίου FM. Αξίζει να αναφερθεί, πως σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων όρων των τιμών της διατροφικής ομάδας FM και της BSF20 ($P < 0,05$), ενώ δεν παρουσιάζονται σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των τιμών της BSF10 με τις τιμές της FM και της BSF20 ($P > 0,05$).

Τέλος, η μέση περιεκτικότητα σε τέφρα (Πίν. 2) των ολικών σωματών της τσιπούρας για το FM σιτηρέσιο ήταν $15,23 \pm 0,23\%$, για το BSF10 σιτηρέσιο ήταν $15,28 \pm 0,37\%$ και τέλος για το BSF20 $13,87 \pm 0,45\%$. Ο πληθυσμός των ψαριών του BSF10 σιτηρεσίου είχε την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τέφρα, ενώ την χαμηλότερη ο πληθυσμός του σιτηρεσίου BSF20. Αξίζει να αναφερθεί, πως σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία η παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων όρων των τιμών της διατροφικής ομάδας FM και της BSF20 και των διατροφικής ομάδας BSF10 και της BSF20 ($P < 0,05$), ενώ οι τιμές της FM και της BSF10 δεν παρουσιάζουν σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ τους ($P > 0,05$).

Πίνακας 2: Χημική σύσταση των σωμάτων των τριών διαφορετικών διατροφικών ομάδων του πειράματος.

	FM	BSF10	BSF20
Ενέργεια (Kcal/g)	24,06±0,42	23,24±0,28	24,04±0,44
Ολικές αζωτούχες ενώσεις (%)	51,42±0,71 ^a	53,36±0,96 ^{a,b}	55,18±2,04 ^b
Τέφρα (%)	15,23±0,23 ^b	15,28±0,37 ^b	13,87±0,45 ^a
Υγρασία (%)	67,82±0,10	67,62±0,66	68,27±0,48
Ολικά λιπίδια (%)	27,90±0,9	27,79±0,28	29,52±1,09

Σημ.: 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 παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια αξιολόγησης των πρωτεϊνών του εντόμου *Hermetia illucens* (BSF) ως συστατικού των ιχθυοτροφών, στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από τους Sheppard et al., (1994) and Newton et al., (2005) απέδειξαν πως ιχθύες που διατρέφονταν με νύμφες BSF, περιεκτικότητας πρωτεΐνης περίπου 40% και λίπους περίπου 30%, υφίστανται διαφοροποιήσεις στα θρεπτικά τους στοιχεία ανάλογα με την πηγή συλλογής του εντόμου, τη μέθοδο επεξεργασίας και τη μέθοδο ξήρανσης.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία στο σώμα των ιχθύων, και των τριών διαφορετικών διατροφικών ομάδων, στην παρούσα μελέτη ήταν παρόμοια. Επομένως, η επίδραση τόσο του ίδιου του μυγάλευρου, ως συστατικό, όσο και των αυξανόμενων επιπέδων χορήγησης του στο σιτηρέσιο δεν επιφέρει αλλαγές στην περιεκτικότητα της υγρασίας στο σώμα των ιχθύων που διατρέφονται με αυτό συγκριτικά με τους ιχθύες που διατρέφονται μόνο με ιχθυάλευρο.

Οι τιμές της ενέργειας στο σώμα των ιχθύων και των τριών διαφορετικών διατροφικών ομάδων ήταν παρόμοια. Άρα, τόσο το μυγάλευρο όσο και τα αυξημένα επίπεδα αυτού στο σιτηρέσιο τσιπούρας, δεν επιφέρει αλλαγές στην ενέργεια στο σώμα των ιχθύων που διατρέφονται με αυτό συγκριτικά με τους ιχθύες που διατρέφονται μόνο με ιχθυάλευρο.

Οι τιμές του λίπους στα σώματα της τσιπούρας δεν παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ των τριών διατροφικών ομάδων. Αυτό σημαίνει ότι η αυξανόμενη συμμετοχή του αλεύρου *H. illucens* στο σιτηρέσιο έως και 11,6% της τροφής δεν επιφέρει σημαντικές διαφορές στην σωματική λιποπεριεκτικότητα της τσιπούρας. Οι τιμές των ολικών αζωτούχων ενώσεων

παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ των τριών διατροφικών ομάδων. Παρατηρείται βαθμιαία αύξηση τη περιεκτικότητας πρωτεΐνης στα σώματα των ιχθύων με την αύξηση χορήγησής του μυγάλευρου στα σιτηρέσια τους.

Τέλος, οι τιμές της τέφρας παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ των τριών διαφορετικών ομάδων, με τις τιμές των ιχθύων της διατροφικής ομάδας BSF20 να είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες των FM και BSF10 ομάδων. Δυστυχώς τα αποτελέσματα αυτά είναι δύσκολο να ερμηνευτούν, καθώς η περιεκτικότητα τέφρας τόσο του FM όσο και του BSF είναι παρόμοια. Πιθανώς, ο μεταβολισμός κάποιων ανόργανων στοιχείων, όπως π.χ. του Ca και του P που αποτελούν το κύριο μέρος της τέφρας, να διαφοροποιείται σημαντικά στα ψάρια που διατρέφονται με υψηλότερα ποσοστά BSF στο σιτηρέσιο τους

Γενικά, τα πειράματα διατροφής με την προνύμφη *H. illucens* σε διάφορα είδη ιχθύων έχουν δείξει μεγάλες διαφοροποιήσεις σχετικά με το επιτυχημένο ποσοστό αντικατάστασης του ιχθυαλεύρου, με τα σημερινά αποτελέσματα να δείχνουν ότι χορτοφάγα/παμφάγα είδη το BSF μπορεί να αντικαταστήσει επιτυχώς το ιχθυάλευρο σε μεγάλα ποσοστά, ενώ αντίθετα σε σαρκοφάγα είδη το BSF μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλά ποσοστά στο σιτηρέσιο.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας με προγενέστερες δεν είναι εύκολο εγχείρημα, καθώς η βιβλιογραφία τόσο για τη θρεπτική σύσταση των ιχθύων που σιτίζονται με το έντομο *Hermetia illucens*, όσο και η χρήση της τσιπούρας με τέτοια πειραματικά σιτηρέσια είναι περιορισμένη. Στον Πίνακα 3 δίνεται μια συλλογική εικόνα των αποτελεσμάτων πρόσφατων μελετών υποκατάστασης ιχθυαλεύρου με άλευρο BSF.

Πίνακας 3.: Επιδράσεις του *H. illucens* ως συστατικό τροφής στη θρεπτική σύσταση των εκτρεφόμενων ιχθύων.

	Μορφή χορήγησης	Επιδράσεις στη θρεπτική σύσταση των ιχθύων	Πηγή
<i>Sparus aurata</i>	Απολιπασμένο άλευρο (CP 50%, CL3%)	20% υποκατάσταση αύξησε την πρωτεΐνη και μείωσε την τέφρα των ιχθύων	Παρούσα μελέτη (2019)
<i>Sparus aurata</i>	Μερικώς απολιπασμένο άλευρο (CP 45%, CL16%)	30% υποκατάσταση αύξησε το λίπος στο μυϊκό ιστό των ιχθύων	Δασκαλοπούλου (2014)
<i>Salmo salar</i>	Μερικώς απολιπασμένο άλευρο (CP39%, CL 29%)	100% υποκατάσταση χωρίς αρνητικές επιδράσεις στην θρεπτική αξία των ιχθύων	Belghit et al. (2019)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Μερικώς απολιπασμένο άλευρο (CP47%, CL 20%,) και μερικώς απολιπασμένο έλαιο(CL93%)	13% υποκατάσταση FM και 10% FO χωρίς αρνητικές επιδράσεις στην θρεπτική σύσταση των ιχθύων	Dumas, et al. (2018)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Μερικώς απολιπασμένο άλευρο (CP45%, CL15%)	40% υποκατάσταση δεν επηρέασε την περιεκτικότητα πρωτεΐνης των ιχθύων	Renna et al (2017)
<i>Cyprinus carpio</i>	Απολιπασμένο άλευρο (CP41%, CL5%)	>75% υποκατάσταση δεν επηρέασε την περιεκτικότητα πρωτεΐνης, υγρασίας και τέφρας αλλά μείωσε το λίπος των ιχθύων	Li et al. (2016)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Απολιπασμένο άλευρο (CP42%, CL22%)	75% υποκατάσταση αύξησε την πρωτεΐνη και την τέφρα των ιχθύων	Stamer et al. (2014)
<i>Psetta maxima</i>	Απολιπασμένο άλευρο (CP54.1 ± 1.1%, CL13.4 ± 0.7%)	33% υποκατάσταση δεν επηρέασε την πρωτεΐνη των ιχθύων	Kroeckel et al. (2012)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Αποξηραμένη προνύμφη και εμπλουτισμένη αποξηραμένη προνύμφη	50% υποκατάσταση δεν επηρέασε την πρωτεΐνη των ιχθύων	Sealey et al. (2011)

<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Αποξηραμένη προνύμφη	25% υποκατάσταση αύξησε την υγρασία και μείωσε σημαντικά το λίπος των ιχθύων	St-Hilaire et al. (2007)
----------------------------	----------------------	---	--------------------------

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, διαφωνούν με την αντίστοιχη έρευνα της Δασκαλοπούλου (2014) στην τσιπούρα, καθώς στην εν λόγω έρευνα παρατηρείται αυξημένη εναπόθεση λίπους στο μυϊκό ιστό των ιχθύων, με υποκατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυάλευρου με απολιπασμένο άλευρο *H. Illucens* σε ποσοστό 30%.

Όσον αφορά την αύξηση στην περιεκτικότητα πρωτεΐνης, η παρούσα έρευνα συμφωνεί με την έρευνα των Stamer et al. (2014), ενώ ταυτόχρονα διαφωνεί με την ίδια έρευνα στην περιεχόμενη τέφρα στα σώματα των ιχθύων. Βέβαια, δεν μπορεί να γίνει ασφαλής σύγκριση καθώς τα ποσοστά αντικατάστασης του ιχθυάλευρου διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ των δύο μελετών.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3, στις περισσότερες μελέτες αντικατάστασης ιχθυάλευρου με εντομάλευρο BSF, η περιεκτικότητα της πρωτεΐνης των σωμάτων των ιχθύων δεν μεταβάλλεται. Η αύξηση της περιεχόμενης πρωτεΐνης, αναλογικά με την αύξηση συμμετοχής BSF άλευρου, στα σώματα των ιχθύων της παρούσας μελέτης πιθανόν να οφείλεται στην αυξημένη περιεκτικότητα ολικών πρωτεϊνών των σιτηρεσίων BSF10 και BSF20 συγκριτικά με εκείνη του σιτηρεσίου FM. Ενδεχομένως, επίσης, αυτό να οφείλεται στο διαφορετικό βαθμό διατήρησης των πρωτεϊνών στο σώμα των ιχθύων που διατρέφθηκαν με άλευρο BSF, το οποίο ίσως καταδεικνύει την διαφορετική πεπτικότητα και μεταβολισμό της πρωτεΐνης του BSF σε σχέση με την πρωτεΐνη του ιχθυαλεύρου.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα του λίπους, στην παρούσα μελέτη η αντικατάσταση έως και 20% δεν επέφερε αλλαγές στο περιεχόμενο λίπος του σώματος των ιχθύων, σε αντίθεση

με την έρευνα των Li et al. (2016) στον *Cyprinus carpio* και των St-Hilaire et al. (2007) στο *Oncorhynchus mykiss*, που το περιεχόμενο λίπος μειώθηκε αρκετά σε αντικατάσταση ιχθυάλευρου με BSF άλευρο σε ποσοστό έως >75% και 25%, αντίστοιχα. Η μεταβολή στην ποσότητα του ολικού λίπους ή την ποιότητα του λίπους των ψαριών ενδέχεται να αλλάξει τη γεύση των φιλέτων των ψαριών. Για παράδειγμα, έχει δειχθεί μια γευστική προτίμηση στο γατόψαρο και στην τιλάπια που τρέφονται αποκλειστικά με ολόκληρες προνύμφες BSF λόγω των διαφορών στο άρωμα και στην υφή από εκείνα των ψαριών που τρέφονται με μια εμπορική τροφή ή τρέφονται εν μέρει με προνύμφες BSF (25 ή 50%) (Bondari & Sheppard 1981). Αντίθετα, στην ιριδίζουσα πέστροφα δείχθηκε ότι ενώ η διατροφή με εντομάλευρα επιφέρει αλλαγές στο προφίλ των λιπαρών οξέων των ιχθύων, δεν προκύπτει σημαντική διαφορά στη γεύση με ψάρια που τράφηκαν με συμβατική τροφή (Sealey et al. 2011)

Όπως είναι αντιληπτό από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, όσο και από τα αποτελέσματα των μελετών που παρουσιάζονται στον πίνακα 3, είναι αναγκαίες οι περαιτέρω έρευνες με τη χρήση πρωτεϊνών εντόμων, τόσο του είδους *H. illucens* όσο και άλλων ειδών εντόμων, στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ιχθύων, ώστε να διαφανεί η καταλληλότητα και τα μέγιστα επίπεδα συμμετοχής τους στις ιχθυοτροφές.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν στη θρεπτική σύσταση της τσιπούρας από την εκτροφή της με το απολιπασμένο άλευρο της προνύμφης μύγας του είδους *Hermetia illucens* ήταν τα εξής:

- Η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου με απολιπασμένο άλευρο *H. illucens* έως το ποσοστό 11,6% δεν επιφέρει αλλαγές στην περιεκτικότητα της υγρασίας στο σώμα των ιχθύων που διατρέφονται με αυτό.
- Η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου με απολιπασμένο άλευρο *H. illucens* έως το ποσοστό 11,6% δεν επιφέρει αλλαγές στην ενέργεια στο σώμα των ιχθύων που διατρέφονται με αυτό.
- Η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου με απολιπασμένο άλευρο *H. illucens* έως το ποσοστό 11,6% δεν επιφέρει αλλαγές στην λιποπεριεκτικότητα του σώματος των ιχθύων που διατρέφονται με αυτό.
- Η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου με απολιπασμένο άλευρο *H. illucens* έως το ποσοστό 5,8% δεν επιφέρει αλλαγές στην περιεκτικότητα τέφρας του σώματος των ιχθύων που διατρέφονται με αυτό, ενώ η αντικατάσταση έως 11,6% την μειώνει.
- Η αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου με απολιπασμένο άλευρο *H. Illucens* τόσο σε ποσοστό 5,8% όσο και σε ποσοστό 11,6% έδειξε να αυξάνει εκθετικά την περιεκτικότητα πρωτεΐνης του σώματος των ιχθύων

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Ackman R.G. (1989) Composition and nutritive value of fish and shellfish lipids. In: Ruither A. (ed) Fish and fishery products. CAB International, Oxford, UK, p. 117-156
2. Alasalvar C., Taylor K.D., Zubcov E., Shahidi F., Alexis M. (2002) Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): total lipid content, fatty acid and trace mineral composition. *Food Chemistry*, 79:145-150.
3. Allan G. (2006) The growing fishmeal shortage. *Aquaculture*, 14: 28.
4. Allan G.L., Rowland S.J., Mifsud C., Glendenning D., Stone D.A.J. and Ford A. (2000) Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: V. Least-cost formulation of practical diets. *Aquaculture*, 186: 327 – 340.
5. AOAC (1995) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. Arligton, VA, USA, 16th ed.
6. Arino A., Beltran J.A., Herrena A., Roncales P. (2005) Fish. In: Caballero B., Allen L., Prentice P. (eds) *Encyclopedia of Human Nutrition*, 2nd edition, Vol. 2, Oxford: Elsevier Science Ltd, p. 247-256
7. Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422, 193-201

8. Belghit, I., Liland, N. S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., ... & Lock, E. J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 503, 609-619.
9. Bell, J. G. and Wagboo R. (2008). Safe and Nutritious Aquaculture Produce: Benefits and Risks of Alternative Sustainable Aquafeeds. In: *Aquaculture in the Ecosystem*, Holmer, M., Black, K., Duarte, C.M., Marba N. and Karakassis I. (eds.), Springer Science + Business Media B.V., pp. 185-226.
10. Berbert, A. A., Kondo, C. R., Almendra, C. L., Matsuo, T., & Dichi, I. (2005). Supplementation of fish oil and olive in patients with rheumatoid arthritis. *Nutrition*, 21(2), 131–136
11. Bonaldo, A., Roem, A. J., Fagioli, P., Pecchini, A., Cipollini, I., & Gatta, P. P. (2008). Influence of dietary levels of soybean meal on the performance and gut histology of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture Research*, 39(9), 970-978.
12. Bondari, K., Sheppard, D.C., (1981). Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24, 103–109
13. Bondari, K., Sheppard, D.C., (1987). Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquacult. Fish. Manage.* 18, 209–220
14. Celik M. (2008) Seasonal changes in the proximate chemical compositions and fatty acids of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and horse mackerel (*Trachurus trachurus*) from

the north eastern Mediterranean Sea. *International Journal of food Science and Technology*, 43:933-938

15. Čičková H., Newton G.L., Lacy R.C., Kozánek M. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Manag.* 2015;35:68–80.

16. Dumas, A., Raggi, T., Barkhouse, J., Lewis, E., & Weltzien, E. (2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 492, 24-34.

17. El-Sayed, A. F. M. (1999). Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* *Aquaculture*, 179(1-4), 149-168

18. Failler P. (2007) Future prospects for fish and fishery products. 4. Fish consumption in the European Union in 2015 and 2030. Part 1. European overview. *FAO Fisheries Circular* 972(4), Part 1. Rome, FAO, p. 204.

19. FAO Fisheries and Aquaculture Department, (2009). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2008* . Rome, pp 58-65.

20. FAO. 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

21. Fasakin, E. A., Balogun, A. M., & Ajayi, O. O. (2003). Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquaculture Research*, 34(9), 733-738.

22. Francis G., Makkar H.P.S. and Becker K. (2001) Antinutritional factors present in plant derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199: 197 – 227.
23. Friedman M. (1996) Nutritional value of proteins from different food sources. A review. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44:6-29
24. Gatlin III, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., & Overturf, K. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture research*, 38(6), 551-579.
25. Gokce M.A., Tasbozan O., Celik M., Tabakoglu L. (2004) Seasonal variations in proximate and fatty acid compositions of female common sole (*Solea solea*). *Food Chemistry*, 88:419-423
26. Gouveia, A., & Davies, S. J. (2000). Inclusion of an extruded dehulled pea seed meal in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 182(1-2), 183-193.
27. Graham, I. A., Larson, T., & Napier, J. A. (2007). Rational metabolic engineering of transgenic plants for biosynthesis of omega-3 polyunsaturates. *Current Opinion of Biotechnology*, 18, 142–147
28. Guedes, A. C., & Malcata, F. X. (2012). Nutritional value and uses of microalgae in aquaculture. *Aquaculture*, 10(1516), 59-78.
29. Hall, G.M. (1992). Fish processing technology. In Ockerman, H.W. ed. *Fishery by products*, pp. 155-192. New York: VCH publishers.

30. Hamre K. & Lie é. (1997) Retained levels of dietary a-, g and d-tocopherols in tissues and body liquids of Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Aquaculture Nutrition* 3, 99±107.
31. Hardy, R. W. (2002). Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*, 184-202.
32. 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.
33. Hu, J., Wang, G., Huang, Y., Sun, Y., He, F., Zhao, H., & Li, N. (2017). Effects of substitution of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal, in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) diets.
34. Hui Y.H., Gross N., Kristinsson H.G., Lin M.H., Nip W.K., Siow L.F., Stanfield P.S. (2006) *Biochemistry of Sea Food Processing*. In: Hui Y.H. (ed) *Food biochemistry and food processing*, Blackwell Publishers, USA, p. 351-366.
35. Jobling M. (1995) *Environmental biology of fishes*. Chapman & Hall Publishers, London, pp.455.
36. Kikuchi K., Sato T., Furuta T., Sakaguchi I. and Deguchi Y. (1997) Use of meat and bone meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fisheries Science*, 63: 29 – 32.
37. Klaoudatos, S., & Apostolopoulos, J. (1986). Food intake, growth, maintenance and food conversion efficiency in the gilthead sea bream (*Sparus auratus*). *Aquaculture*, 51(3-4), 217-224.

38. Koven, W. (2002). Gilthead seabream, *Sparus aurata*. In C.D. Webster & C.E. Lim, eds. *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*, pp. 64–78, London, CAB International Publ.
39. Kroeckel S., Harjes A.G.E., Roth I., Katz H., Wuertz S., Susenbeth A., Schulz C. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute—Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*) *Aquaculture*. 2012;364:345–352
40. Lall S.P., (2000) “Nutrition and health of fish”. National Research Council of Canada, Institute for Marine Biosciences, p.13-23.
41. Lem, A. (2004). An Overview of the Present Market and Trade Situation in the Aquaculture Sector - the Current and Potential Role of Organic Products, FAO Fishery Industries Division HCM City.
42. Li S.L., Ji H., Zhang B.X., Tian J.J., Zhou J.S., Yu H.B. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) *Aquaculture*. 2016;465:43–52.
43. Lie, Ø. (2001). Flesh quality—the role of nutrition. *Aquaculture Research*, 32, 341-348.
44. Love R.M.,(1997). Biochemical dynamics and the quality of fresh and frozen fish. In: *Fish Processing Technology*, (edited by G.M. Hall), Blackie Academic, Chapman and Hall, London, UK.pp.1-30.

45. Magalhães R., Sánchez-López A., Leal R.S., Martínez-Llorens S., Oliva-Teles A., Peres H. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) *Aquaculture*. 2017;476:79–85. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.021
46. Miles R.D. and Chapman F.A. (2006) The Benefits of Fish Meal in Aquaculture Diets. Institute of Food and Agricultural Sciences, pp: 1 – 6.(3-4), 347-359.
47. Miles, R. D., & Chapman, F. A. (2006). The benefits of fish meal in aquaculture diets. IFAS Extension, University of Florida
48. Newton G.L., Sheppard D.C. ,Watson D.W., Burtle G.J., Dove C.R., Tomberlin J.K., Thelen E.E. (2005) The black soldier fly, *Hermetia illucens* as a manure management / resource recovery tool. In: Symposium on the State of the Science of Animal Manure and Waste Management, San Antonio, TX, USA.
49. Nogueira N., Cordeiro N., Andrade C., and Aires T., (2012) Inclusion of low levels of blood and feathermeal in practical diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 12: 641 – 650.
50. Ogunji, J. O., Kloas, W., Wirth, M., Schulz, C., & Rennert, B. (2006). Housefly maggot meal (Magmeal): An emerging substitute of fishmeal in tilapia diets.
51. Oliva-Teles, A. (2000). Recent advances in European sea bass and gilthead sea bream nutrition. *Aquaculture International*, 8(6), 477-492
52. Oliva-Teles, A. (2000). Recent advances in European sea bass and gilthead sea bream nutrition. *Aquaculture International*, 8(6), 477-492.

53. Ozyurt G., Polat A., Tokur B. (2007) Chemical and sensory changes in frozen wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*) captured at different fishing seasons. *International Journal of Food Science and Technology*, p. 42:887-893x11
54. Pereira T.G. and Oliva-Teles A. (2002) Preliminary evaluation of pea seed meal in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture Research*, 33: 1183 – 1189
55. Piccolo, G., Marono, S., Gasco, L., Iannaccone, F., Bovera, F., Nizza, A., (2014). Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for gilthead sea bream *Sparus aurata* juveniles. In: Abstract Book Conference Insects to Feed The World, The Netherlands, 14–17 May, p. 76.
56. Pita, C., Gamito, S., & Erzini, K. (2002). Feeding habits of the gilthead seabream (*Sparus aurata*) from the Ria Formosa (southern Portugal) as compared to the black seabream (*Spondyliosoma cantharus*) and the annular seabream (*Diplodus annularis*). *Journal of Applied Ichthyology*, 18(2), 81-86.
57. Rasmussen, R. S. (2001). Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. *Aquaculture Research*, 32(10), 767-786.
58. Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., ... & De Marco, M. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of animal science and biotechnology*, 8(1), 57.
59. Rice, R. (2004). Seafood – An essential part of 21st century eating patterns, critical food for your heart, your brain, your love-life and your baby. The Fish Foundation – report

60. Robaina, L., Moyano, F. J., Izquierdo, M. S., Socorro, J., Vergara, J. M., & Montero, D. (1997). Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 1
61. Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). *Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17, 1-11.
62. Sheppard D.C., Newton G.L., Thompson S.A., Savage S. A value-added manure management-system using the black soldier fly. *Bioresour. Technol.* 1994;50:275–279.46.
63. Stadlander, T., Stamer, A., Buser, A., Wohlfahrt, J., Leiber, F., & Sandrock, C. (2017). *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 165-175
64. St-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J.K., Irving S., Newton L., McGuire M.A., Mosley E.E., Hardy R.W., Sealey W. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. World Aquac. Soc.* 2007;38:59–67.
65. Stamer, A. N. D. R. E. A. S., Wessels, S., Neidigk, R. A. L. P. H., & Hoerstgen-Schwark, G. (2014). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae-meal as an example for a new feed ingredients' class in aquaculture diets.
66. Tacon A.G.J. (1997) Feeding tomorrow's fish: keys for sustainability. In: Tacon A.G.J., Basurco B. (eds.), *Feeding tomorrow's fish. Cahiers options Mediterraneennes*, Zaragoza, Spain, 22: pp. 11 – 33
67. Tacon A.G.J. (2004) Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *Aquatic Resources, Culture & Development*, 1: 3 – 14

68. Tacon, A. G. J., & Akiyama, D. M. (1997). Feed ingredients. *Crustacean Nutrition*, 6, 411-472.
69. Tidwell J.H. and Allan G.L. (2002) Fish as food: Aquaculture's contribution. *World Aquaculture*, 33: 44 – 48.
70. Van der Spiegel M. Safety of foods based on insects. In: Prakash V., Martin-Belloso O., Keener L., Astley S.B., Braun S., McMahon H., Lelieveld H., editors. *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods*. Academic Press; Cambridge, MA, USA. (2015). pp. 205–216.
71. van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., (2013). *Edible Insects – Future Prospects for Food and Feed Security*. FAO, pp. 171, Forestry Paper
72. Watanabe, T., (2002). Strategies for further development of aquatic feeds. *Fisheries Science*, 68:242–252.

6.2 Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Δασκαλοπούλου, Ε. (2014). Νύμφες μύγας ως συστατικό τεχνητών ιχθυοτροφών της τσιπούρας (*Sparus aurata*) (Master's thesis).
2. Καραπαναγιωτίδης Ι. (2011) *Τεχνολογία Ιχθυοτροφών*. Σημειώσεις μαθήματος, σελ. 39 – 40
3. Καραπαναγιωτίδης Ι. (2015) *Τεχνολογία Ιχθυοτροφών*. Σημειώσεις μαθήματος, σελ.44 – 45

4. Κλαουδάτος, Σ. 2005. Υδατοκαλλιέργειες Ι, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος
5. Μεντέ, Ε., & Νέγκας, Χ. (2011). Στοιχεία Φυσιολογίας Θρέψης και Εφαρμοσμένη Διατροφή Ιχθύων και Καρκινοειδών. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, σελ, 809
6. Νεοφύτου Χ., (2001). Βιολογία Θαλάσσιων Οργανισμών. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
7. Παπουτσόγλου Σ.Ε. 2008 Διατροφή ιχθύων. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ. 846 – 863.
8. ΣΕΘ (2018) Ελληνική υδατοκαλλιέργεια 2017. Ετήσια έκθεση 11 σελ.
9. Σφλώμος Σ. Κωνσταντίνος,(2011), ΧΗΜΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ με Στοιχεία Διατροφής, Τόμος ΙΙ, Στοιχεία διατροφής του ανθρώπου, σελ. 364

6.3 Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις Εικόνων

<https://bugguide.net/node/view/184752>

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

ABSTRACT

The effects of fishmeal protein replacement of a de-fatted meal from the black soldier fly *Hermetia illucens* on the nutritional value of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) was studied.

Sparus aurata with average weight of 6 -10g were used for their nutritional value. Fish were sampled from a dietary trial that was carried out at the experimental facilities of the Department of Agricultural Fisheries and Aquatic Environment, Volos, Greece, and had been divided into 3 dietary groups, each feeding on a different diet. A group of fish (FM) fed a diet that contained fishmeal as the exclusive animal protein in the diet. BSF10 and BSF20 groups of fish were fed a diet that contained 5.8 % and 11.6 % of de-fatted *H. illucens* meal, respectively. These inclusion levels actually substituted the dietary fishmeal protein of the control diet at 10% and 20%, respectively. BSF10 and BSF20 diets were isoenergetic (21.6 MJ/Kg diet) and iso-nitrogenous (47% of diet). The FM diet had a lower protein content (42.5%) and its gross energy was slightly higher (22.4 MJ / Kg) than the other ones.

Subsequently, whole body nutritional analyzes were performed on their body content of crude protein, crude lipid, total energy, ash and dry matter/moisture. Results of the present study demonstrated that at the highest level of de-fatted *H. illucens* meal replacement (11.6 %) body lipids, gross energy and dry matter of *Sparus aurata* are not affected. On the contrary the body protein content increased and the ash body content decreased. Nevertheless, there are various insects that should be tested in sea bream breeding and further research is required to be done because the data is still incomplete.

Key words: insect proteins, *Hermetia illucens*, sea bream, fishmeal

