

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



«Αξιολόγηση σιτηρεσιών με βάση αγροτικά παραπροϊόντα για την ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor*»

Βροντάκη Στυλιανή Μαρία

Επιβλέπων καθηγητής: Αθανασίου Χρήστος

Βόλος, 2021

**«Αξιολόγηση σιτηρεσίων με βάση αγροτικά παραπροϊόντα για την
ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor*»**

Βροντάκη Στυλιανή Μαρία

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

Αθανασίου Χρήστος (Επιβλέπων), Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Παπαδόπουλος Νικόλαος (Μέλος), Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονία, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καρκάνης Ανέστης (Μέλος), Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου διατριβής κ. Αθανασίου Χρήστο, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, και τον Δρ. Ρούμπο Χρήστο για τη συνεχή καθοδήγηση και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης του πειράματος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Ν. Παπαδόπουλο και κ. Α. Καρκάνη για τη συμμετοχή τους στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους. Ευχαριστώ από καρδιάς την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη ηθική και ψυχολογική στήριξη, την κατανόηση και την αγάπη που μου προσφέρουν σε κάθε βήμα στη ζωή μου.

Στους γονείς & τη γιαγιά μου...

Εγώ, η Βροντάκη Στυλιανή Μαρία, βεβαιώνω ότι είμαι η συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

Περίληψη

Κατά τα διάφορα στάδια της επεξεργασίας των γεωργικών προϊόντων παράγονται ετησίως μεγάλες ποσότητες παραπροϊόντων, ένα μεγάλο μέρος των οποίων συχνά πετιέται. Κάποια από τα παραπροϊόντα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτροφή εντόμων ως πηγή θρεπτικών συστατικών, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών. Σε αυτό το πλαίσιο, σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας ήταν αξιολόγηση της καταλληλότητας διαφόρων γεωργικών παραπροϊόντων για την εκτροφή του *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae).

Σε μία πρώτη σειρά εργαστηριακών βιοδοκιμών αξιολογήθηκε η καταλληλότητα 11 γεωργικών παραπροϊόντων (π.χ. ζαχαρόπιτα, ηλιάλευρο, βαμβακόπιτα, παραπροϊόντα του καθαρισμού των σπόρων κα.) για την ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor*. Συνοπτικά, 20 γραμμάρια από κάθε παραπροϊόν τοποθετήθηκαν σε διαφορετικά πλαστικά φιαλίδια, ενώ στη συνέχεια, εισήχθησαν στα φιαλίδια 20 προνύμφες του *T. molitor* 4^{ης} – 6^{ης} προνυμφικής ηλικίας. Σαν μάρτυρας στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε το πύτουρο σιταριού. Η ανάπτυξη των προνυμφών στα διάφορα παραπροϊόντα που εξετάστηκαν αξιολογήθηκε μετά από 4, 8 και 12 εβδομάδες, ενώ υπολογίστηκαν παράμετροι όπως η συνολική παραγόμενη βιομάζα των προνυμφών, η ποσότητα της τροφής που καταναλώθηκε και ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής. Σε μία επιπλέον σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών *T. molitor* σε μείγματα του κάθε παραπροϊόντος με πύτουρο σιταριού σε αναλογία 1:1. Στην τελευταία σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών σε σύνθετες δίαιτες, που σχεδιάστηκαν με βάση τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων βιοδοκιμών, ενώ χρησιμοποιήθηκε και καρότο ως πηγή υγρασίας για τις προνύμφες.

Όταν όλα τα παραπροϊόντα εξετάστηκαν μεμονωμένα απουσία μιας πηγής υγρασίας, σε τρία από αυτά (παραπροϊόντα καθαρισμού των σπόρων βρώμης και κριθαριού) η ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* ήταν παρόμοια με αυτή του μάρτυρα, ενώ επτά από τα υπόλοιπα παραπροϊόντα δεν ήταν κατάλληλα για την ανάπτυξη των προνυμφών. Όταν όμως τα

παραπροϊόντα αξιολογήθηκαν σε μείγματα (1:1) με πίτουρο σιταριού, στις περισσότερες περιπτώσεις η ανάπτυξη των προνυμφών *T.molitor* ήταν ικανοποιητική. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα από τη βιοδοκιμή με τις ισοπρωτεϊνικές δίαιτες έδειξαν ότι πέρα από το πρωτεϊνικό περιεχόμενο μιας διαίτας πρέπει να συνυπολογίζονται και άλλοι παράγοντες κατά τον σχεδιασμό ενός σιτηρεσίου.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης στοχεύουν στην προώθηση στρατηγικών κυκλικής οικονομίας στην εκτροφή των εντόμων ως πηγή θρεπτικών ουσιών.

Abstract

During the grain cleaning process of cereals and legumes, as well as other processes of agricultural production, a large quantity of low-value organic by-products is produced. A part of these agricultural waste quantities is used as feed in animal production, whereas the rest are thrown away. Some of these agricultural by-products could be exploited for the rearing of insects as a nutrient source. Several insect species can be successfully grown on organic side streams, converting low-value organic by-products into high-value proteins. Based on the above the objective of the present study was to evaluate the use of various agricultural by-products for the rearing of yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae).

In a first series of laboratory bioassays, we evaluated the growth of *T. molitor* larvae on 11 agricultural by-products (e.g. sugar beet pulp, sunflower meal, cotton cake, by-products of the cereal and legume grain cleaning process). Briefly, 20 g of each by-product were placed in plastic vials, together with 20 4th-6th instar larvae of *T. molitor*. Wheat bran was used as control. The larval growth on the different by-products was evaluated after 4, 8 and 12 weeks, in terms of total larval biomass produced, the quantity of feed consumed and feed conversion ratio. In another series of bioassays, the suitability of mixtures of the tested by-products with wheat bran (1:1) was evaluated. In the last series of bioassays, the larval growth was evaluated on complex diets, which were designed based on the results of the previous bioassays, and sliced carrot was used, as a source of water.

When the agricultural by-products were tested alone, in three of them (by-products of the oat and barley seed cleaning process) of growth of *T. molitor* larval growth was similar to its growth in the control, whereas seven of the rest by-products were not suitable for *T. molitor* development. However, when the by-products were evaluated in mixture with wheat bran (1:1), in most of the cases, *T. molitor* larvae grew well. Moreover, the results obtained from the isonitrogenous diets bioassay, show that besides nitrogen content, other factors need to be considered when formulating optimal diets.

Our results aim to direct insect farming in a circular economy model.

Περιεχόμενα

<i>Ευχαριστίες</i>	ii
<i>Περίληψη</i>	v
<i>Abstract</i>	vii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Ανάγκη εξεύρεσης καινοτόμων πηγών πρωτεΐνης για τον άνθρωπο.....	2
1.1.1 Διάφορες καινοτόμες πηγές πρωτεΐνης για τον άνθρωπο.....	3
1.1.2 Αξιοποίηση εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για τον άνθρωπο.....	5
1.2 Ανάγκη εξεύρεσης καινοτόμων πηγών πρωτεΐνης για τα ζώα.....	9
1.2.1 Διάφορες καινοτόμες πηγές πρωτεΐνης στην κτηνοτροφία και την υδατοκαλλιέργεια.....	10
1.2.2 Αξιοποίηση των εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης στην κτηνοτροφία και την υδατοκαλλιέργεια.....	11
1.3 Άλλες χρήσεις εντόμων.....	15
1.4 Μεγάλο σκαθάρι των αλεύρων ή Αλευροσκώληκας– <i>Tenebrio molitor</i> L.....	16
1.4.1 Βιολογία.....	16
1.4.2 Σημασία.....	17
1.4.3 Αντιμετώπιση.....	18
1.5 Χρήση του <i>T.molitor</i>	20
1.5.1 Χρήση του <i>T.molitor</i> στην παραγωγή τροφίμων.....	20
1.5.2 Χρήση του <i>T.molitor</i> στην παραγωγή ζωοτροφών.....	22

1.6 Αξιοποίηση των εντόμων στην κυκλική οικονομία.....	24
1.7 Σκοπός.....	27
Κεφάλαιο 2: Υλικά – Μέθοδοι.....	28
2.1 Εκτροφή <i>T. molitor</i>	28
2.2 Παραπροϊόντα.....	29
2.3 Βιοδοκιμές.....	33
2.4 Υπολογισμοί και Στατιστική Ανάλυση.....	39
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα.....	40
Κεφάλαιο 4: Συζήτηση.....	49
<i>Βιβλιογραφία.....</i>	<i>54</i>

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η κατανάλωση ζωικών πρωτεϊνών αυξάνεται διαρκώς τις τελευταίες δεκαετίες. Από το 1950 έως το 2000 ο πληθυσμός των ανθρώπων αυξήθηκε από 2,7 δισεκατομμύρια σε 6 δισεκατομμύρια, ενώ η παραγωγή κρέατος αυξήθηκε από 5 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο σε 45 με 233 εκατομμύρια τόνους το χρόνο (Van der Spiegel *et al.*, 2013). Αυτό συμβαίνει, διότι η ζωική προέλευσης πρωτεΐνη αποτελεί περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης πρωτεΐνης του ανθρώπου (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Με τη συνεχή αύξηση του πληθυσμού, εκτιμάται πως το 2050 θα πρέπει να αυξηθεί η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων κατά 70% συγκριτικά με το 2009, για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών ανθρώπων και ζώων (FAO, 2009). Κατά τους Boland *et al.* (2013), το 2050 ο πληθυσμός αναμένεται να φτάσει τα 9 δισεκατομμύρια και η παραγωγή κρέατος να αυξηθεί στα 410 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο.

Η εντατική κτηνοτροφία και η εκβιομηχάνισή της έχει αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Για την παραγωγή ζωοτροφών χρησιμοποιούνται μεγάλες εκτάσεις γης, ενώ από την υπερβόσκηση δημιουργούνται αλλαγές στη δομή του εδάφους (Steinfeld *et al.*, 2006). Το 30% της επιφάνειας της γης που δεν είναι παγωμένη, ή αλλιώς το 75% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης, χρησιμοποιείται για την κτηνοτροφία, ενώ όσον αφορά την κατανάλωση νερού, το 8% της συνολικής χρήσης νερού από τον άνθρωπο, παγκοσμίως, προορίζεται για τον κτηνοτροφικό τομέα και κυρίως για την καλλιέργεια φυτών που χρησιμοποιούνται για την εκτροφή των ζώων (FAO, 2009, Foley *et al.*, 2011). Επιπλέον, στον κτηνοτροφικό τομέα οφείλεται το 14,5% του συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων, που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Gerber *et al.*, 2013). Γενικότερα, τα ζωικά προϊόντα έχουν πολύ μεγαλύτερο αποτύπωμα νερού από ότι τα τρόφιμα που προέρχονται από φυτά (Mekonnen and Hoekstra, 2012).

Η κατανάλωση κρέατος συνδέεται άρρηκτα με την ζήτηση των σιτηρών και των τροφών που είναι πλούσια σε πρωτεΐνες (Trostle, 2008), αφού σύμφωνα με τους Pimentel and Pimentel (2003) για την παραγωγή 1 kg υψηλής ποιότητας ζωικής πρωτεΐνης, τα ζώα καταναλώνουν περίπου 6 kg φυτικής πρωτεΐνης. Κατά τους Shenggen Fan και Rahul Pandya - Lorch (2020) η

αναμενόμενη αύξηση στην κατανάλωση κρέατος τα επόμενα χρόνια, θα έχει ως αποτέλεσμα την ταυτόχρονη αύξηση των τιμών στα σιτηρά που χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία. Έτσι, υπολογίζεται πως σε σχέση με το 2000, το 2050 η τιμή στο κρέας θα αυξηθεί τουλάχιστον κατά 30%, ενώ η κλιματική αλλαγή θα επιδεινώσει την κατάσταση με μία επιπρόσθετη 18-21% αύξηση (Nelson *et al.*, 2009).

Όλα τα παραπάνω οδήγησαν στην ανάγκη για ανεύρεση εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών, τόσο για την εκτροφή ζώων, όσο και για ανθρώπινη κατανάλωση. Έχει προταθεί η χρήση πολλών νέων τροφίμων, με τα έντομα να εμφανίζονται ως τα πιο ελπιδοφόρα (Patel *et al.*, 2019). Εκτός της μεγάλης θρεπτικής τους αξίας, τα έντομα έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον ρυθμιστικών φορέων και φορέων ανάπτυξης τροφίμων, λόγω των οικονομικών και των οικολογικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Τα βρώσιμα έντομα μπορούν να υποκαταστήσουν την ακριβή ζωική πρωτεΐνη, έχοντας πολύ χαμηλότερο κόστος. Η εκτροφή τους μπορεί να ελαττώσει την πίεση που ασκείται από τομέα της γεωργίας, της κτηνοτροφίας και της υδατοκαλλιέργειας, καθώς απαιτούν λιγότερη γη, μικρότερη ποσότητα νερού και τροφής, και έχουν μικρότερο βιολογικό κύκλο (Premalatha *et al.*, 2011).

1.1 Ανάγκη εξεύρεσης καινοτόμων πηγών πρωτεΐνης για τον άνθρωπο

Σε παγκόσμια κλίμακα, φαίνεται πως παράγεται 5 φορές μεγαλύτερη ποσότητα πρωτεΐνης από ότι χρειάζεται για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ανθρώπων. (Berners-Lee *et al.*, 2018). Μόνο το 34% της παραγόμενης πρωτεΐνης (ζωικής και φυτικής) καταναλώνεται άμεσα από τον άνθρωπο, ενώ το 60% καταναλώνεται από κτηνοτροφικά ζώα. Συνεπώς, δεν τίθεται θέμα για την ποσότητα της πρωτεΐνης που παράγεται παγκοσμίως, αλλά υπάρχει έντονος προβληματισμός σχετικά με την άνιση κατανομή της στους διάφορους πληθυσμούς και τις επιπτώσεις -έμμεσες ή άμεσες- που έχει η κτηνοτροφία στο περιβάλλον (Foresight, 2011, Herrero and Thornton, 2013, Salter, 2016).

Το 75% της παραγωγής της σόγιας, που κατά τους Gilani *et al.* (2012) είναι ένα ψυχανθές πλούσιο σε πρωτεΐνες και απαραίτητα αμινοξέα,

προορίζεται για ζωοτροφή (Gorissen and Witard, 2018, Fraanje and Garnett, 2020). Η σόγια χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων που υποκαθιστούν το κρέας (Malan *et al.*, 2015), τα οποία έχουν αυξανόμενη ζήτηση τα τελευταία χρόνια. Ενώ πολλοί προβληματίζονται σχετικά με το εάν πρέπει να προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση μεγαλύτερο μέρος της συνολικής παραγωγής σόγιας, άλλοι εστιάζουν σε προβλήματα που μπορεί να προκαλεί η παραγωγή της. Για την εγκατάσταση της καλλιέργειας απαιτείται εκκαθάριση του άγριου, φυσικού οικοτόπου της περιοχής, που μπορεί να έχει επιπτώσεις στο οικοσύστημα (Gorissen and Witard, 2018, Fraanje and Garnett 2020). Επιπλέον, η παραγωγή σόγιας μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στο περιβάλλον λόγω των υπολειμμάτων της, του αποτυπώματος άνθρακα και των εκπομπών αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Henchion *et al.*, 2017, Tillman and Clark, 2014).

Τα μέλη της «EAT Lancet Commission» στην «Planetary Diet» -μια διατροφή που είναι υγιεινή για τον άνθρωπο και ταυτόχρονα δεν επιβαρύνει το περιβάλλον- πρότειναν σημαντική μείωση στην κατανάλωση προϊόντων που προέρχονται από ζώα, και αντικατάσταση αυτών από έναν συνδυασμό φυτικών πρωτεϊνούχων τροφών, συμπεριλαμβανομένων των λαχανικών, των οσπρίων και των ξηρών καρπών (Willett *et al.*, 2019). Βέβαια, τα τελευταία χρόνια, η προσοχή πολλών έχει στραφεί στην παραγωγή καινοτόμων πηγών πρωτεΐνης υψηλής ποιότητας, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά σε ζωοτροφές και ως τροφή για τον άνθρωπο. Σε αυτές τις πηγές περιλαμβάνονται ορισμένα φυτά, μονοκύτταροι οργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων των βακτηριών, και η πιο πολλά υποσχόμενη πηγή, τα έντομα (Salter and Lopez - Viso, 2021).

1.1.1 Διάφορες καινοτόμες πηγές πρωτεΐνης για τον άνθρωπο

Υποκατάστατα κρέατος

Εκτός από τη σόγια, που όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια για την παραγωγή υποκατάστατων κρέατος, πλέον χρησιμοποιείται φυτική πρωτεΐνη από τη γλουτένη του σιταριού (Kumar *et al.*, 2017), ενώ πιο

πρόσφατα χρησιμοποιήθηκε και το μπιζέλι, το οποίο έχει το πλεονέκτημα να καλλιεργείται σε ήπιο κλίμα (Schreuders *et al.*, 2019).

Τροπικά όσπρια

Τροπικά όσπρια, των οποίων η διατροφική αξία ήταν υποτιμημένη μέχρι πρόσφατα, φαίνεται πως τελικά ίσως βοηθήσουν να καλυφθούν οι αυξημένες ανάγκες πρωτεΐνης, σε Ασία και Αφρική (Cheng *et al.*, 2019). Το bambara groundnut και το winged bean είναι 2 σημαντικά τροπικά όσπρια. Το bambara groundnut όμως, παρ' όλο που από τους Halimi *et al.* (2019) υποστηρίζεται πως μπορεί να επιφέρει έσοδα και να χρησιμοποιηθεί ως τροφή στις περιοχές που φύεται, θεωρείται ότι δεν είναι «βραστερό», λόγω των φυσικών ιδιοτήτων του σπόρου, της απορρόφησης νερού και της περαιτέρω σκλήρυνσης κατά τη συντήρηση του σε ζεστές και υγρές συνθήκες (Mubaiwa *et al.*, 2017). Επιπλέον, όπως συμβαίνει με τα περισσότερα ψυχανθή, περιέχει αντιθρεπτικούς παράγοντες, όπως ταννίνες και φυτικά οξέα, οι οποίοι μπορούν να μειωθούν μετά από μία σειρά μεθόδων επεξεργασίας (Halimi *et al.*, 2019, Mubaiwa *et al.*, 2017). Όσον αφορά το winged bean, είναι πολύ πλούσιο σε φυτική πρωτεΐνη και σε απαραίτητα αμινοξέα, δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε νερό και σε εισροές, όμως απαιτείται περαιτέρω έρευνα ώστε να βελτιωθεί η πολύ χαμηλή απόδοση της καλλιέργειας (Tanzi *et al.*, 2019).

Μονοκύτταροι οργανισμοί

Εδώ περιλαμβάνονται φύκη, μύκητες και βακτήρια, πολλά από τα οποία έχουν ήδη ενσωματωθεί σε κάποιες τροφές του ανθρώπου, όπως για παράδειγμα τα μανιτάρια και η μαγιά (Nangu and Bhatia, 2013). Τα τελευταία χρόνια, για την παραγωγή της μυκοπρωτεΐνης, που είναι συστατικό των υποκατάστατων κρέατος της εταιρίας Quorn, έχει χρησιμοποιηθεί ο νηματοειδής μύκητας *Fusarium venenatum* (Finnigan, 2011). Η μυκοπρωτεΐνη είναι μία πολύ εύπεπτη πηγή πρωτεΐνης (Dunlop *et al.*, 2017), πλούσια σε απαραίτητα αμινοξέα και παράγεται σε υπόστρωμα με υδατάνθρακες, χωρίς να χρειάζεται επιπλέον προσθήκη κάποιας πρωτεΐνης, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα (Finnigan, 2011). Από την άλλη, τα μικροφύκη, είναι μία πολλά υποσχόμενη πηγή πρωτεΐνης με υψηλή θρεπτική αξία. Πιο συγκεκριμένα, το

Spirulina platensis περιέχει εξαιρετικά υψηλή ποσότητα πρωτεΐνης (630 g πρωτεΐνης / 1 kg ξηρής ουσίας) και η σύνθεση των απαραίτητων αμινοξέων του είναι παρόμοια με αυτή της ζωικής πρωτεΐνης (Lupatine *et al.*, 2017). Τέλος, τα βακτήρια περιέχουν μεγάλη ποσότητα πρωτεΐνης (περίπου 80%) και απαραίτητων αμινοξέων (Nangu *et al.*, 2013), όμως χρειάζεται περαιτέρω μελέτη, ώστε να είναι κατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα (Calloway, 1974).

Τεχνητά καλλιεργημένο κρέας

Βασίζεται στην απομόνωση και την καλλιέργεια κυττάρων από ζωντανούς ζωικούς οργανισμούς, κάτω από συγκεκριμένες εργαστηριακές συνθήκες, ώστε τα κύτταρα αυτά να διαφοροποιηθούν σε μυϊκά ή λιπώδη κύτταρα. Στη συνέχεια τα βιοϋλικά που παράγονται υπόκεινται σε μία επεξεργασία και τελικά προκύπτει το προϊόν, το οποίο μοιάζει με κρέας. Η διαδικασία αυτή θεωρείται μια εναλλακτική, πιο φιλική προς το περιβάλλον και πιο ηθική από αυτή της παραδοσιακής κτηνοτροφίας. Παρ' όλα αυτά, είναι απαραίτητο να ερευνηθεί η οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος και να ληφθεί υπόψη η γνώμη των καταναλωτών, η οποία φαίνεται να ποικίλλει σημαντικά (Bryant and Barnett, 2018).

1.1.2 Αξιοποίηση εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για τον άνθρωπο

Η ανθρωπο-εντομοφαγία, δηλαδή η κατανάλωση εντόμων από τον άνθρωπο, είναι ένα φαινόμενο που έχει εμφανιστεί από την αρχαιότητα. Μάλιστα, πιστεύεται ότι οι άνθρωποι ήταν αρχικά εντομοφάγοι, ενώ στη συνέχεια με την εξέλιξη τους ήρθαν τα λαχανικά, τα φρούτα και το κунήγι (Ramos - Elrodoy, 2009). Η πρώτη αναφορά που έγινε στην Ευρώπη σχετικά με την εντομοφαγία ήταν στην Ελλάδα, από τον επιστήμονα και φιλόσοφο Αριστοτέλη (384 - 322 π.Χ.). Στο έργο του «Περί ζώων ιστορίας» αναφέρεται στη συλλογή τζιτζικιών, τα οποία θεωρούνταν εκλεκτό έδεσμα, και ισχυρίζεται πως είναι πιο γευστικά στο στάδιο της νύμφης, πριν την τελευταία τους έκδυση, ενώ τα θηλυκά ενήλικα άτομα έχουν καλύτερη γεύση μετά τη σύζευξη, αφού είναι γεμάτα με αυγά (van Huis *et al.*, 2013).

Τα έντομα αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες, λίπη και ίνες, η αξία των οποίων διατροφικά μεταφράζεται σε διατροφική ενέργεια, πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα, ανόργανα θρεπτικά συστατικά και βιταμίνες. Η διατροφική τους αξία σχετίζεται όχι μόνο με το είδος του εντόμου αλλά και με το στάδιο ανάπτυξης του. Η περιεκτικότητα των εντόμων σε **ακατέργαστη πρωτεΐνη** είναι υψηλή (van Huis *et al.*, 2013). Ανάλογα με την τάξη στην οποία κατατάσσονται, το εύρος στο οποίο κυμαίνεται είναι: στα Coleoptera 23-66%, στα Lepidoptera 14-68%, στα Hemiptera 42-74%, στα Homoptera 45-57%, στα Hymenoptera 13-77%, στα Odonata 46-65% και στα Orthoptera 23-65%. Η περιεκτικότητα της ξηρής ουσίας τους σε **λιπαρά** είναι 10 με 60% (Xiaoming *et al.*, 2010), ενώ τα έλαια τους περιέχουν πολυακόρεστα λιπαρά (ω3, ω6 λιπαρά οξέα), απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό (van Huis *et al.*, 2013). Επιπλέον, περιέχουν **μικροθρεπτικά στοιχεία**, δηλαδή βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία (van Huis *et al.*, 2013). Η έλλειψη μικροθρεπτικών στοιχείων είναι πολύ συχνή στις αναπτυσσόμενες χώρες και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας που σχετίζονται με τη σωματική και ψυχική ανάπτυξη, το ανοσοποιητικό και την αναπαραγωγή· προβλήματα, τα οποία πολλές φορές δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν με παρεμβάσεις στη διατροφή (FAO, 2011c). Το 2006, οι Christensen *et al.* ανέφεραν πως η κατανάλωση 10 g γρύλλου παρέχει στον άνθρωπο 8 με 17 φορές τη συνιστώμενη από τον FAO (2001) ποσότητα σιδήρου και από 60 έως 83% της συνιστώμενης ποσότητας ψευδαργύρου, ενώ το 2005, η Bukkens παρέθεσε μία λίστα με έντομα, τα οποία περιέχουν θειαμίνη, γνωστή και ως βιταμίνη B1, η περιεκτικότητα της οποίας κυμαίνεται από 0,1 έως 4 mg ανά 100 g ξηρής ουσίας.

Σύμφωνα με τον Jongema (2017), στις μέρες μας, ο αριθμός των ειδών εντόμων που καταναλώνονται από τον άνθρωπο, ξεπερνά τα 2000 είδη, ενώ μεγαλύτερη κατανάλωση εντόμων υπάρχει στην Αφρική, τη Λατινική Αμερική και την Ασία (Bukkens, 1997). Στις δυτικές χώρες, όπου η κατανάλωση εντόμων δεν είναι συχνή, έχει δοκιμαστεί η ενσωμάτωση τους σε ήδη υπάρχουσες τροφές, ώστε σταδιακά να επιτευχθεί η αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Έτσι, υπάρχουν προνύμφες του αλευροσκώληκα και πούπες μεταξοσκώληκα ή γρύλλου ενσωματωμένες σε λουκάνικα, γρύλοι σε ενεργειακές και πρωτεϊνικές μπάρες ή σε χοιρινό πατέ, τερμίτες και γρύλοι, σε κουλουράκια και ζυμαρικά (van Huis, 2019).

Ανά τον κόσμο, καταναλώνονται διάφορα έντομα. Μερικά παραδείγματα αποτελούν: πάνω από 100 είδη βρώσιμων προνυμφών της οικογένειας Cossidae γνωστές ως “witchetty grubs” και τα honey ants (*Melophorus bagoti*) στην Αυστραλία (Yen, 2010), πούπες και προνύμφες διάφορων ειδών σφήκας (*Vespa basalis*, *V. mandarinia mandarinia*, *V. tropica ducalis* κ.α.) στην επαρχία Γιουνάν της Κίνας (Xiaoming *et al.*, 2010), ακρίδες (όπως *Valanga nigricornis*, *Platanga succincta*), ο γρύλος *Brachytrupes portentosus*, το κόκκινο σκαθάρι του φοίνικα *Rhynchophorus ferrugineus*, ο σκαραβαίος *Chalcosoma atlas* και οι προνύμφες ή πούπες της μέλισσας *Xylocopa latipes* στην Ιάβα (Lukiwati, 2010).



witchetty grub ¹



Melophorus bagoti ²



Vespa mandarinia mandarinia ³



Valanga nigricornis ⁴

Εικόνα 1: Βρώσιμα είδη εντόμων

¹ <https://pin.it/5Yco1ir>

² <https://pin.it/cVL8GS5>

³ https://en.wikipedia.org/wiki/File:Male_Vespa_mandarinia.DSC_1515.jpg

⁴ <https://pin.it/2e6opR3>



*Brachytrupes portentosus*⁵



*Rhynchophorus ferrugineus*⁶



*Chalcosoma atlas*⁷



*Xylocopa latipes*⁸

Εικόνα 2: Βρώσιμα είδη εντόμων

⁵ <https://catalog.digitalarchives.tw/item/00/5b/29/dd.html>

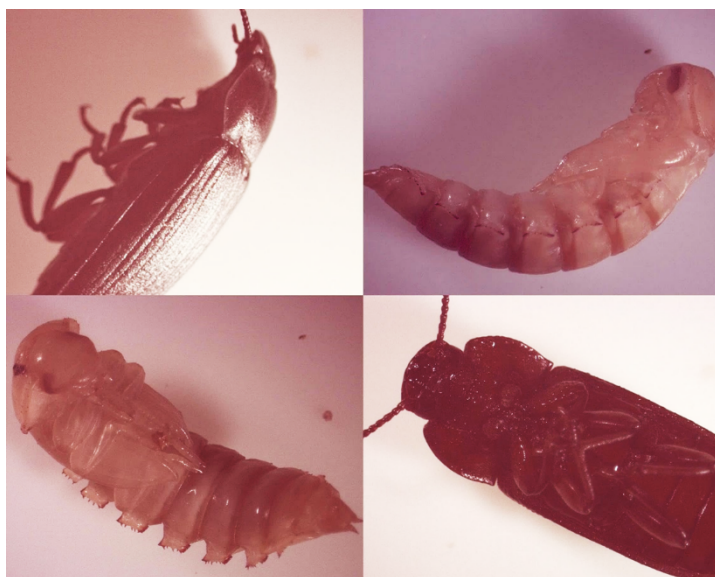
⁶ <https://pin66.it/4T2u64c>

⁷ <https://pin.it/goc1peH>

⁸ <https://pin.it/5JLPeRx>

Στην Ευρώπη, σύμφωνα με τον Εκτελεστικό Κανονισμό (ΕΕ) 2021/882 της επιτροπής της 1ης Ιουνίου του 2021, εγκρίθηκε το πρώτο έντομο προς διάθεση στο εμπόριο για κατανάλωση, η αποξηραμένη προνύμφη *Tenebrio molitor*. Συγκεκριμένα, από τις 22 Ιουνίου του 2021 που τέθηκε σε ισχύ ο [Εκτελεστικός Κανονισμός \(ΕΕ\) 2021/882](#), η αποξηραμένη προνύμφη του *T. molitor* είναι μέρος του ενωσιακού καταλόγου εγκεκριμένων νέων τροφίμων, που καταρτίστηκε με τον [Εκτελεστικό Κανονισμό \(ΕΕ\) 2017/2470](#), και για περίοδο 5 ετών από την ημερομηνία αυτή, επιτρέπεται μόνο ο αρχικός αιτών SAS EAP group να διαθέσει το νέο τρόφιμο στην αγορά, ανάλογα με τις

προϋποθέσεις χρήσης και τις απαιτήσεις επισήμανσης που έχουν καθοριστεί (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης).



Εικόνα 3: *Tenebrio molitor* Αριστερά: πάνω-ενήλικο, κάτω-νύμφη
(από προσωπικό αρχείο) Δεξιά: πάνω-νύμφη, κάτω-ενήλικο

1.2 Ανάγκη εξεύρεσης καινοτόμων πηγών πρωτεΐνης για τα ζώα

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην κτηνοτροφία είναι το γεγονός ότι οι ζωοτροφές αποτελούν το 60 - 70% του συνολικού κόστους παραγωγής, ώστε να παρέχεται στα ζώα η απαραίτητη ποσότητα πρωτεΐνης, (Khatoon *et al.*, 2016), ενώ το πιο σημαντικό πρόβλημα όσον αφορά στις ιχθυοκαλλιέργειες, είναι η εξάρτηση τους από ιχθυάλευρα και ιχθυέλαια, ώστε να πληρούνται οι θρεπτικές απαιτήσεις των ψαριών που εκτρέφονται (Green and Pearsall, 2016). Έτσι, η βιομηχανία ζωοτροφών έχει θέσει ως προτεραιότητα πια την ανεύρεση καινοτόμων, βιώσιμων και οικονομικών πηγών πρωτεΐνης. Τέτοιες είναι τα έντομα, φυτά που δεν είναι βρώσιμα από τον άνθρωπο και μονοκύτταροι οργανισμοί (Malan *et. al.*, 2015, Henchion *et. al.*, 2017).

Για τα μονογαστρικά ζώα (πουλερικά και χοιρινά), η κύρια πηγή πρωτεΐνης είναι η σόγια (Index Mundi). Το μεγαλύτερο μέρος της συγκομιζόμενης σόγιας, επεξεργάζεται για την παραλαβή ελαίου, το οποίο προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση και τα υπολείμματα της επεξεργασίας,

που περιέχουν μεγάλη ποσότητα πρωτεΐνης, προορίζονται για ζωοτροφή (Fraanje and Garnett, 2020). Στις υδατοκαλλιέργειες συγκεκριμένων ειδών, η σόγια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει ένα μέρος του ιχθυάλευρου (Hardy, 2010). Όμως, η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και η υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες σε συνδυασμό με τους αντιθρεπτικούς παράγοντες που περιέχει, περιορίζουν τη χρήση της, ιδιαίτερα σε σαρκοφάγα είδη (Zou *et. al.*, 2017). Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, η παραγωγή σόγιας είναι μια διαδικασία που επιβαρύνει το περιβάλλον (Gorissen and Witard, 2018, Fraanje and Garnett 2020, Henchion *et. al.*, 2017, Tillman and Clark, 2014), όποτε ερευνώνται νέες, καινοτόμες πηγές πρωτεΐνης.

1.2.1 Διάφορες καινοτόμες πηγές πρωτεΐνης στην κτηνοτροφία και την υδατοκαλλιέργεια

Φυτά που δεν είναι βρώσιμα από τον άνθρωπο και επεξεργασμένη πρωτεΐνη ζωικής προέλευσης στην υδατοκαλλιέργεια

Ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, αντί του ιχθυάλευρου, έχουν χρησιμοποιηθεί φυτά που δεν μπορούν να καταναλωθούν από τον άνθρωπο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η πέψη των φυτών αυτών από τα ψάρια ήταν περιορισμένη και η περιεκτικότητά τους σε αντιθρεπτικούς παράγοντες ήταν υψηλή (Hardy, 2010), ενώ έχει βρεθεί πως όταν η διατροφή των ψαριών βασίζεται σε φυτά, δημιουργείται φλεγμονή στο έντερο τους και εμφανίζονται και άλλα παθολογικά προβλήματα (Baeverfjord and Krogdahl, 1996, Hu *et al.*, 2016). Επιπλέον, έχουν χρησιμοποιηθεί ως πηγή πρωτεΐνης για την υδατοκαλλιέργεια, επεξεργασμένες ζωικές πρωτεΐνες, όπως για παράδειγμα κρέας, κόκκαλα, αίμα, πούπουλα και άλλα παραπροϊόντα που προέρχονται από πτηνά (Gasco *et. al.*, 2018).

Μονοκύτταροι οργανισμοί ως πηγή πρωτεΐνης στην κτηνοτροφία και στην υδατοκαλλιέργεια

Φύκη, μύκητες και βακτήρια βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια έρευνας ως εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης για τα ζώα (Ritala *et al.*, 2016). Στην Ευρώπη παράγονται τα 2 είδη μικροφυκών *Spirulina* και *Chlorella* spp., ενώ το 30% της

συνολικής παραγωγής φυκών προορίζεται για χρήση σε ζωοτροφές (Van der Spiegel *et al.* 2013). Έχει υπολογιστεί πως τα φύκη μπορούν να αντικαταστήσουν το 1/3 της ποσότητας σόγιας που χρησιμοποιείται για την εκτροφή πτηνών και χοιρινών (Bleakley and Hayes, 2017, Rosegrant *et al.*, 2001). Επιπλέον, τα θαλάσσια μακροφύκη (πολυκύτταροι οργανισμοί), λόγω της ικανότητας τους να αναπτύσσονται σε αλμυρό νερό, της καλής τους ανάπτυξης και της θρεπτικής τους αξίας, αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη πηγή πρωτεΐνης για μονογαστρικά ζώα. Ήδη το *Porphyra* sp. έχει βρεθεί πως έχει προοπτικές να χρησιμοποιηθεί ως συστατικό για την εκτροφή του φαγκριού (Garcia-Vaquero and Hayes, 2016, Sampels, 2014, Henschion *et al.*, 2017).

Η μαγιά, ως παραπροϊόν της ζυθοποιίας, αποτελεί ένα βιώσιμο συστατικό για ζωοτροφές (Westendorf and Wohlt, 2002). Πιο συγκεκριμένα, η χρήση της σε τροφές για κτηνοτροφία και υδατοκαλλιέργεια έφερε θετικά αποτελέσματα, όπως η ενίσχυση της άμυνας του οργανισμού των ζώων (Shurson, 2017). Τέλος, η παροχή πρωτεΐνης από βακτήρια αποτελεί μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική. Για τον σκοπό αυτό, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα είδη βακτηρίων, όπως είναι το φωτοσυνθετικό βακτήριο *Rhodospseudomonas faecalis*, το *Methylophilus methylotrophus*, μεθανοτροφικά βακτήρια και κάποια βακτήρια του γένους *Bacillus* (Salter and Lopez - Viso, 2021). Παρ' όλα αυτά, προτού εφαρμοστεί μία τέτοια μέθοδος παραγωγής σε βιομηχανική κλίμακα, θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω έρευνες, ώστε να εξασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα της και να αποδειχθεί πως η κατανάλωση τους από τα ζώα είναι ασφαλής (Ritala *et al.*, 2017).

1.2.2 Αξιοποίηση των εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης στην κτηνοτροφία και την υδατοκαλλιέργεια

Τα έντομα, λόγω της σύνθεσης των θρεπτικών συστατικών τους, πληρούν τις διατροφικές απαιτήσεις των ζώων, τα οποία τα αποδέχονται ως συστατικά στη διατροφή τους (Makkar, 2018). Σε έρευνες που διεξήχθησαν, βρέθηκε πως είναι εφικτό να συμπεριληφθούν εντομάλευρα ή λιπαρά από προνύμφες / προπλάγγονες εντόμων σε διατροφές ψαριών (Belghit *et al.*, 2018, Lock *et al.*, 2016, Barroso *et al.*, 2014), απογαλακτισμένων χοιρινών (Veldkamp *et al.*, 2012, Spranghers *et al.*, 2018, Biasato *et al.*, 2019) και

πουλερικών (Biasato *et al.*, 2018, Pieterse *et al.*, 2019, Veldkamp *et al.*, 2012), ώστε να αντικαταστήσουν, μερικώς ή πλήρως, τις κλασικές πηγές πρωτεΐνης (σόγια, ιχθυάλευρο) και λιπαρών (ιχθυέλαιο), που πλέον θεωρούνται μη βιώσιμες (Makkar, 2018). Επιπλέον, προέκυψαν θετικά αποτελέσματα σχετικά με την υγεία και την εμφάνιση των ζώων, την ποιότητα των προϊόντων που παράγουν και την υγεία του εντέρου τους. Η βελτίωση της υγείας του εντέρου των ζώων, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης των εντόμων σε ζωοτροφές, διότι τα έντομα περιέχουν βιοενεργά συστατικά (όπως αντιμικροβιακά πεπτιδία και χιτίνη) τα οποία μπορούν να ενισχύσουν το ανοσοποιητικό σύστημα των ζώων (IPIFF, 2018, Gasco *et al.*, 2018).

Παρ' όλα αυτά, στην Ευρωπαϊκή Ένωση η χρήση των επεξεργασμένων ζωικών πρωτεϊνών σε ζωοτροφές είναι απαγορευμένη τόσο για τα μονογαστρικά ζώα (π.χ. χοιρινά και πτηνά), όσο και για τα μηρυκαστικά ζώα (π.χ. βοοειδή). Αυτό συνέβη, λόγω του ξεσπάσματος μεταδοτικών σπογγώδων εγκεφαλοπαθειών, στις αρχές του 2000'. Έτσι, βάσει του [Κανονισμού \(ΕΚ\) 999/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 22ας Μαΐου 2000 για τη θέσπιση κανόνων πρόληψης, καταπολέμησης και εξάλειψης ορισμένων μεταδοτικών σπογγώδων εγκεφαλοπαθειών](#), δεν επιτρέπεται η κατανάλωση επεξεργασμένων ζωικών πρωτεϊνών από μηρυκαστικά και μονογαστρικά ζώα. Η θέσπιση της συγκεκριμένης νομοθεσίας, έχει ως αποτέλεσμα, να μην επιτρέπεται η χρήση πρωτεϊνών που προέρχονται από έντομα σε ζωοτροφές για χοιρινά ή πουλερικά, αλλά να επιτρέπεται η χρήση τους σε τροφές για κατοικίδια (π.χ. σκύλους, γάτες, πουλιά, ερπετά) και για ζώα τα οποία εκτρέφονται για το τρίχωμά τους (π.χ. βιζόν). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η απαγόρευση αυτή δεν ισχύει ούτε για ολόκληρα έντομα, ούτε για τα λιπαρά τους (IPIFF, EU Legislation).

Πρόσφατα, δόθηκε άδεια χρήσης πρωτεϊνών από έντομα στις ιχθυοτροφές, γεγονός που έχει ανοίξει έναν νέο δρόμο στην αγορά ζωοτροφών για τους ανθρώπους που ασχολούνται με την εκτροφή εντόμων. Συγκεκριμένα, με βάση τον [Κανονισμό \(ΕΕ\) 2017/893 της 24ης Μαΐου 2017, εγκρίθηκε η χρήση πρωτεϊνών από 7 είδη εντόμων σε τροφές που χρησιμοποιούνται για υδατοκαλλιέργειες](#). Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ξεκινήσει να ερευνά την πιθανότητα αναθεώρησης των απαγορεύσεων σχετικά με τις ζωοτροφές, ώστε να εγκρίνει την χρήση πρωτεϊνών από έντομα σε τροφές πουλερικών.

Τα 7 είδη εντόμων που έχουν εγκριθεί με βάση τον Κανονισμό (ΕΕ) 2017/893 είναι τα: *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae), *Gryllodes sigillatus* (Orthoptera: Gryllidae), *Gryllus assimilis* (Orthoptera: Gryllidae) (IPIFF, EU Legislation). Τα πιο ελπιδοφόρα είδη από τα παραπάνω είναι η **μύγα μαύρος στρατιώτης (*H. illucens*)**, η **κοινή μύγα (*M. domestica*)** και ο **αλευροσκώληκας (*T. molitor*)**. Τα έντομα αυτά ξεχωρίζουν, λόγω της ικανότητάς τους να μετατρέπουν τα χαμηλής αξίας οργανικά υπολείμματα που παράγονται (και υπολογίζονται περίπου στα 1,3 δισεκατομμύρια τόνους τον χρόνο), σε πρωτεΐνες υψηλής αξίας και λόγω της περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνη, που φαίνεται να είναι πολύ κοντά σε εκείνη του ιχθυάλευρου και της σόγιας (Veldkamp *et al.*, 2012).

Όταν το είδος *H. illucens* χρησιμοποιήθηκε ως συστατικό σε ζωοτροφές για κοτόπουλα, χοιρινά και για τα ψάρια ιριδίζουσα πέστροφα και γατόψαρο, έφερε θετικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη τους (Sheppard *et al.*, 2007). Ο Pretorius (2011) ανέφερε πως η χρήση εντομάλευρου από τις προνύμφες του *M. domestica*, ως συμπλήρωμα στη διατροφή των κοτόπουλων, αύξησε το μέσο βάρος τους κατά τη σφαγή, τη συνολική πρόσληψη τροφής, την αθροιστική πρόσληψη τροφής, καθώς επίσης και το μέσο βάρος που αποκτούν ημερησίως, σε σχέση με την κοινή διατροφή. Οι αποξηραμένες προνύμφες του *T. molitor* συμπεριλήφθησαν σε ποσοστό 6% στη διατροφή απογαλακτισμένων χοιρινών και έφεραν θετικά αποτελέσματα, καθώς βελτιώθηκε η ανάπτυξή τους. Επιπλέον, αυξήθηκε η πρόσληψη τροφής και η απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών στα ζώα (Jin *et al.*, 2016).



*H. illucens*¹



*M. domestica*²



*A. diaperinus*³



*T. molitor*⁴



*A. domesticus*⁵



*G. sigillatus*⁶



*G. assimilis*⁷

Εικόνα 4: 7 είδη εντόμων που έχουν εγκριθεί με βάση τον Κανονισμό (ΕΕ) 2017/893

¹ https://www.123rf.com/photo_17219152_black-soldier-fly-species-hermetia-illucens-in-high-definition-with-extreme-focus-and-dof-depth-of-f.html?vti=nk3tjj0odmjgoyxum6-1-10&fbclid=IwAR2ZB-qMltNV4Yu1y2rwsfLJe5dvpEy0dosrFPpdCCL_cBr0thMxBJsAl8M

² <https://pin.it/7iW36Ai>

³ <https://pin.it/1mJbSBZ>

⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Mealworm#/media/File:Tenebrio_molitor_MHNT.jpg

⁵ <https://www.naturepl.com/stock-photo-house-cricket-acheta-domesticus-male-the-netherlands-september-image01515335.html>

⁶ [https://www.naturepl.com/stock-photo/tropical-house-cricket-\(gryllobates-sigillatus\)-female-the-netherlands-july/search/detail-0_01518022.html](https://www.naturepl.com/stock-photo/tropical-house-cricket-(gryllobates-sigillatus)-female-the-netherlands-july/search/detail-0_01518022.html)

⁷ <https://pin.it/2UI0DZJ>

1.3 Άλλες χρήσεις εντόμων

Το μέλι, το κερι και η πρόπολη είναι μόνο λίγα από την πληθώρα προϊόντων που παρέχονται από τις μέλισσες, και είναι γνωστά στο ευρύ κοινό (Bradbear, 2009). Εξίσου γνωστό είναι το γεγονός ότι το μετάξι, που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ρούχων, προέρχεται από μεταξοσκώληκες. Αντιθέτως, αυτό που δεν γνωρίζουν οι περισσότεροι είναι πως υπάρχει σωρεία άλλων προϊόντων που προέρχονται από έντομα και βρίσκονται σε πολλά φάρμακα, αλλά και σε προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε νοικοκυριά. Ενδεικτικά, η κοχενίλλη είναι μία κόκκινη χρωστική ουσία που παράγεται από Κοκκοειδή και χρησιμοποιείται ως χρωστική για βρώσιμα προϊόντα, για φάρμακα και για υφάσματα (van Huis *et al.*, 2013). Τερμίτες της υποοικογένειας Macrotermitinae καλλιεργούν τον συμβιωτικό μύκητα *Termitomyces* spp., που είναι βρώσιμος από τον άνθρωπο. Ο μύκητας *Cordyceps sinensis* μολύνει την κάμπια του *Herpialus armonicanus*, παρασιτεί σε αυτήν και προκύπτει ένα μανιτάρι προσκολλημένο πάνω της. Το μανιτάρι αυτό είναι γνωστό για τη φαρμακευτική δράση ως τονωτικό και αιμοστατικό (Schabel, 2010).



Εικόνα 5: προσβεβλημένη προνύμφη του *H. armonicanus* από τον μύκητα *C. sinensis*



Εικόνα 6: *Termitomyces* spp.

Εικόνα 5: <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-image-caterpillar-fungus-ophiocordyceps-sinensis-image22882116>

Εικόνα 6: https://www.flickr.com/photos/b_inxee/19832916845/in/photostream/

1.4 Μεγάλο σκαθάρι των αλεύρων ή Αλευροσκώληκας - *Tenebrio molitor* L.

Το *T. molitor* περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Λινναίο το 1758. Ανήκει στην τάξη Coleoptera και στην οικογένεια Tenebrionidae. Το συγκεκριμένο είδος είναι το μεγαλύτερο από τα κοινά έντομα αποθηκών με το μήκος του σώματος των ενηλίκων να κυμαίνεται μεταξύ 15 - 20 mm. Το χρώμα του είναι καστανό - μαύρο και είναι ελαφρώς γυαλιστερό, ενώ το καθένα από τα έλυτρα του φέρει 5 παράλληλες κατά μήκος γραμμώσεις (Μπουχέλος, 2018). Το *T. molitor* απαντάται σε διαφόρων ειδών εμπορεύματα και εγκαταστάσεις, κυρίως όμως σε σιτηρά και αμυλούχα προϊόντα (π.χ. αλεύρι, ζυμαρικά, πίτουρα) (Rumbos *et al.*, 2020) και σε μέρη σκοτεινά με υγρασία (Ghaly and Alkohaik, 2009).

1.4.1 Βιολογία

Το *T. molitor* είναι ολομετάβολο έντομο, οπότε ο κύκλος της ζωής του περιλαμβάνει το στάδιο του αυγού, της προνύμφης, της νύμφης και του ενήλικου. Το θηλυκό γεννάει κατά μέσο όρο 400 με 500 αυγά, τα οποία είναι μικρά, κολλώδη και έχουν ένα γυαλιστερό λευκό χρώμα, ενώ αποτίθενται είτε μεμονωμένα, είτε σε ομάδες. Το πλάτος τους κυμαίνεται από 0,6 - 0,7 mm και το μήκος τους από 1,7 έως 1,8 mm. Η εκκόλαψη των αυγών διαρκεί περίπου 2 εβδομάδες όταν βρίσκονται στην βέλτιστη θερμοκρασία των 25°C.

Μετά την εκκόλαψη, από τα αυγά εξέρχονται οι προνύμφες που έχουν μήκος 2 mm και είναι αρχικά υπόλευκου χρώματος (νεοεκκολαφθείσες), ενώ αφού τραφούν για μερικές ημέρες, παίρνουν ένα κίτρινο-καφέ χρώμα. Οι προνύμφες έχουν σώμα επίμηκες, κυλινδρικού σχήματος, με 6 θωρακικά πόδια και όταν φτάνουν σε μήκος 2 - 2,5 cm (ώριμες προνύμφες) αποκτούν λευκό χρώμα (Ghaly and Alkohaik, 2009). Επιπλέον, φέρουν χιτινισμένη κεφαλική κάψα με αντιτιθέμενες άνω γνάθους. Περιβάλλονται από χιτινισμένο εξωσκελετό, και για τον λόγο αυτόν πραγματοποιούν εκδύσεις καθώς αυξάνεται το βάρος και το μέγεθος τους. Ο αριθμός αυτών των εκδύσεων, το βάρος των προνυμφών και η ταχύτητα κατά την οποία ολοκληρώνεται του στάδιο αυτό, διαφέρουν κατά περίπτωση, αφού εξαρτώνται από ποικίλους παράγοντες

(Anastasaki *et al.*, 2015, Morales-Ramos *et al.*, 2015, Van Broekhoven *et al.*, 2015).

Κατά το νυμφικό στάδιο, οι προνύμφες παίρνουν χρώμα κιτρινωπό, δεν τρέφονται, το μήκος τους ελαττώνεται στο 1 cm, είναι μαλακές, ακίνητες και σχετικά απροστάτευτες σε σχέση με νύμφες άλλων ειδών, που βρίσκονται μέσα σε προστατευτικές κατασκευές. Η διάρκεια του σταδίου αυτού ποικίλλει επίσης, και εξαρτάται άμεσα από την επικρατούσα θερμοκρασία (Ghaly and Alkhaik, 2009). Τα ενήλικα άτομα του *T. molitor*, στην αρχή έχουν χρώμα υπόλευκο και μαλακό εξωσκελετό. Πέντε ημέρες μετά την εμφάνιση τους σκληραίνουν, αφού ο εξωσκελετός τους χιτινίζεται, και αποκτούν το γυαλιστερό, μαύρο χρώμα τους (Gerber, 1975). Τα ενήλικα ζουν από 37 έως 96 μέρες και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της εμφάνισης τους (λίγες ημέρες) είναι αναπαραγωγικά ώριμα (Ghaly and Alkhaik, 2009).



προνύμφη *T. molitor*

νύμφη *T. molitor*

ενήλικο *T. molitor*

Εικόνα 7: προνυμφικό, νυμφικό και ενήλικο στάδιο ανάπτυξης *Tenebrio molitor* (προσωπικό αρχείο)

1.4.2 Σημασία

Το *T. molitor* είναι εχθρός δευτερεύουσας σημασίας για τα αποθηκευμένα προϊόντα, καθώς ως ενήλικο στερείται της ικανότητας πτήσης και για τη διατροφή του, προτιμά αποσυντιθέμενα σιτηρά (κόκκους, σκόνη) που έχουν υγρασία. Όμως τρέφεται και με άλλα προϊόντα όπως αλεύρα, πίτουρα, δημητριακά, σιτάρι, ψωμί και κράκερ, ενώ μπορεί να καταναλώσει και παραπροϊόντα της επεξεργασίας των σιτηρών, υπολείμματα κρέατος, πούπουλα και νεκρά έντομα (Cotton, 1963). Η προνύμφη του, εισέρχεται στον

σπόρο και προσβάλλει το έμβρυο, καταναλώνοντας τα πιο μαλακά κομμάτια του, ενώ τα ενήλικα συχνά σκοτώνουν άλλα έντομα και τρέφονται με αυτά. Το *T. molitor* συνήθως βρίσκεται σε σκοτεινά και υγρά μέρη, σε σάκους που περιέχουν ζωοτροφές, σε κάδους όπου απορρίπτονται σπόροι, σε απορρίμματα πουλερικών, σε κλουβιά πουλιών, σε μηχανήματα επεξεργασίας σπόρων, σε μύλους, σε φυτά που προορίζονται για ζωοτροφή και σε αποθήκες (Ghaly and Alkhaik, 2009). Η προσβολή αποθηκευμένων προϊόντων από το *T. molitor* έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμισή τους, λόγω των υπολειμμάτων που αφήνει το έντομο από το σώμα του και τα περιττώματα του, καθώς και λόγω της μόλυνσης που ακολουθεί από σαπροφυτικούς μικροοργανισμούς. Γενικότερα, το *T. molitor* είναι η αιτία απωλειών πάνω από 15% της παγκόσμιας παραγωγής σπόρων και άλευρων (Plata - Rueda *et al.*, 2017).

1.4.3 Αντιμετώπιση

Σε περίπτωση που μία καλλιέργεια ζημιωθεί από μία δεδομένη προσβολή, είναι δυνατόν να την αντισταθμίσει είτε μόνη της, είτε με επεμβάσεις του ανθρώπου. Ωστόσο, οι απώλειες που προκαλούνται κατά την αποθήκευση του συγκομισμένου, και πολλές φορές έτοιμου για κατανάλωση, προϊόντος είναι ανεπανόρθωτες. Επομένως, η προστασία των αποθηκευμένων προϊόντων από προσβολές, είναι πολύ πιο σημαντική από όσο μπορεί κανείς να υποθέσει (Μπουχέλος, 2018). Για την μείωση των μετασυλλεκτικών απωλειών, θα πρέπει να υπάρχουν τα εξής επίπεδα διαχείρισης: η πρόληψη, η παρακολούθηση πληθυσμών και η καταπολέμηση.

Η πρόληψη, είναι πολύ σημαντική, διότι καμία μέθοδος απεντόμωσης δεν μπορεί να εγγυηθεί 100% αποτελεσματικότητα στον έλεγχο των εντόμων. Για την πρόληψη λαμβάνονται μέτρα, ώστε να εμποδιστεί η είσοδος των εντόμων στο χώρο και στο προϊόν. Τα πιο βασικά μέτρα πρόληψης είναι: η καλή κατασκευή των αποθηκευτικών χώρων, ώστε να εξασφαλίζονται οι επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού, η κάλυψη με σήτα των ανοιγμάτων του χώρου (π.χ. παράθυρα, συστήματα αερισμού), ώστε να εμποδίζεται η είσοδος τους, η συσσώρευση σκόνης και ακαθαρσιών, η καθαριότητα τόσο των εσωτερικών όσο και των εξωτερικών χώρων, ο έλεγχος των ζιζανίων περιφερειακά της αποθήκης και η κατάλληλη τοποθεσία της

αποθήκης, η οποία πρέπει να είναι μακριά από εστίες μόλυνσης (Μπουχέλος, 2005). Επιπλέον, ο τύπος και η κατάσταση του προς αποθήκευση προϊόντος παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην αποφυγή της προσβολής. Υπάρχουν ποικιλίες που παρουσιάζουν «βιολογική αντίσταση» και είναι ανθεκτικές και άλλες που είναι ευαίσθητες ακόμα και σε συγκεκριμένα είδη εντόμων. Στη «μηχανική αντίσταση» των σπόρων και των ξηρών καρπών, ενάντια στα έντομα αποθηκών, παίζει ρόλο η καθαρότητα και η ακεραιότητα τους. Πολλές φορές τα συγκομισθέντα προϊόντα ξηραίνονται (π.χ. 12-13% για τα σιτηρά) ή ψύχονται (κάτω από 15°C) πριν την αποθήκευση, ώστε να αυξηθεί η συντήρηση και να προφυλαχθούν από την ανάπτυξη πληθυσμών εντόμων (Μπουχέλος, 2018).

Το επόμενο επίπεδο διαχείρισης των εντόμων αποθηκών είναι η παρακολούθηση των πληθυσμών των εντόμων με συχνές επιθεωρήσεις, καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης του προϊόντος. Στις επιθεωρήσεις γίνεται οπτικός έλεγχος του προϊόντος και των εγκαταστάσεων, έλεγχος συνθηκών αποθήκευσης, δειγματοληψίες και χρήση παγίδων, για να διαπιστωθεί έγκαιρα τυχόν προσβολή. Κατά τη διάρκεια περιόδων με υψηλές θερμοκρασίες ή υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας, γίνονται πιο συχνοί και πολύ πιο προσεκτικοί έλεγχοι, καθώς υπάρχει μεγάλος κίνδυνος προσβολής.

Η καταπολέμηση αποτελεί το τρίτο και τελευταίο επίπεδο διαχείρισης για τη μείωση των μετασυλλεκτικών προσβολών από έντομα και εφαρμόζεται όταν τα δύο προηγούμενα στάδια δεν ήταν αποτελεσματικά. Ορίζεται ως ο περιορισμός του πληθυσμού των βλαβερών εντόμων και πιο σπάνια η εξόντωση του πληθυσμού ενός συγκεκριμένου εντόμου, με την παρέμβαση του ανθρώπου. Για να είναι αποτελεσματική η καταπολέμηση, πριν την έναρξη της απεντόμωσης, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του είδους του εντόμου, του μεγέθους της προσβολής και των συνθηκών που επικρατούν εντός και εκτός αποθήκης. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αλλά και άλλους παράγοντες όπως το είδος του αποθηκευμένου προϊόντος, την πιθανότητα ρύπανσής του από τα εντομοκτόνα, τον κίνδυνο έκθεσης των εργαζόμενων στα εντομοκτόνα, το κόστος της επέμβασης κ.α., επιλέγουμε ποια μέθοδος καταπολέμησης είναι η καταλληλότερη για την εκάστοτε περίπτωση (Τζανακάκης, 1980).

Οι μέθοδοι απεντόμωσης που εφαρμόζονται είναι οι εξής:

- Φυσικές μέθοδοι (θερμότητα, ψύχος, ηλεκτροστατικό πεδίο, ακτινοβολήση, διηλεκτρική θέρμανση)
- Μηχανικές μέθοδοι (πίεση, ξήρανση, μηχανική κίνηση, κενό, ασφυξία, πλύσιμο με νερό, αφυδάτωση - γη διατόμων)
- Βιοτεχνολογικές μέθοδοι - Τροπισμοί (φωτοτροπισμός, στερεοτροπισμός, χημειοτακτισμός, φερομόνες)
- Χημικές μέθοδοι (οργανικές ενώσεις, ρυθμιστές ανάπτυξης, πυρεθρινοειδή)

Νέες μέθοδοι απεντόμωσης:

- Τροποποιημένες Ατμόσφαιρες
- Ελεγχόμενες Ατμόσφαιρες
- Άζωτο

(Μπουχέλος, 2018)

1.5 Χρήση *T. molitor*

Οι προνύμφες του *T. molitor* χρησιμοποιούνται ως τροφή για κατοικίδια, ενώ το γεγονός ότι περιέχουν μεγάλη ποσότητα πρωτεΐνης, καθιστά το *T. molitor* μία πολλά υποσχόμενη εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης και για την εκτροφή ζώων. Εκτός από τη χρησιμότητα του σε σχέση με τα ζώα, η σύσταση του θεωρείται ιδανική για τη θρέψη του ανθρώπου. Αρκετές εταιρείες, όπως η Ynsect στο Παρίσι, έχουν γίνει πρωτεργάτες της εκτροφής εντόμων σε βιομηχανική κλίμακα, παράγοντας κάθε εβδομάδα τόνους βιομάζας του *T. molitor*. Σε αντίθεση με άλλα βρώσιμα έντομα, υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες πληροφορίες στη βιβλιογραφία για το *T. molitor*, επιτρέποντας την ανάπτυξη καινοτόμων συστημάτων μαζικής εκτροφής εντόμων (Grau *et al.*, 2017).

1.5.1 Χρήση του *T. molitor* στην παραγωγή τροφίμων

Η περιεκτικότητα του *T. molitor* σε πρωτεΐνη είναι περίπου 50% της ξηρής ουσίας και σε λιπαρά περίπου 30-34% της ξηρής ουσίας, ενώ περιέχει και όλα τα απαραίτητα για τον άνθρωπο αμινοξέα. Επιπλέον, περιέχει βιταμίνες (όπως βιταμίνη E, βιταμίνη B12, νικοτινικό οξύ, ριβοφλαβίνη, παντοθενικό οξύ και βιοτίνη), και ανόργανα συστατικά (όπως φώσφορο, κάλιο, μαγνήσιο,

ψευδάργυρο και μαγγάνιο) (Mancini *et al.*, 2019). Όταν έγινε σύγκριση του θρεπτικού προφίλ του *T. molitor* με το θρεπτικό προφίλ του βόειου κρέατος και του κοτόπουλου, βρέθηκε πως το *T. molitor* είχε υψηλότερη διατροφική αξία, αλλά ήταν λιγότερο ισορροπημένο διατροφικά, όχι σε πολύ σημαντικό βαθμό (Payne *et al.*, 2016). Πρόσφατα, όπως προαναφέρθηκε, εγκρίθηκε η διάθεση στο εμπόριο για κατανάλωση της αποξηραμένης προνύμφης του *T. molitor* από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης).

Σε σχέση με την κατανάλωση ολόκληρου του εντόμου, η κατανάλωση προϊόντων που προέρχονται από αυτά είναι προτιμότερη και πιο αποδεκτή από τον Δυτικό κόσμο. Έτσι, η εξάπλωση της κατανάλωσης εντόμων από τον άνθρωπο έγκειται στην ενσωμάτωση των εντόμων σε διάφορα είδη προϊόντων που προϋπάρχουν, ως συστατικά τους. Στις μέρες μας, βρώσιμα έντομα, που προέρχονται από εκτροφεία, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κοινών προϊόντων. Τα προϊόντα αυτά είναι ελπιδοφόρα, αφού σταδιακά γίνονται όλο και πιο αποδεκτά από το κοινό. Γενικότερα, τα προϊόντα που έχουν ως βάση τους τα έντομα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε: σνακ από ολόκληρα έντομα (τηγανητά, ψητά με καρυκεύματα ή ψημένα έντομα), γλυκά από ολόκληρα έντομα (έντομα με επικάλυψη σοκολάτας, καραμέλες, γλειφιτζούρια), άλευρα από έντομα και προϊόντα που προέρχονται από αυτά (όπως γκρανόλα, ενεργειακές μπάρες και ζυμαρικά).

Οι προνύμφες του *T. molitor* έχουν χρησιμοποιηθεί ολόκληρες για την παραγωγή γλυκισμάτων (ολόκληρες προνύμφες βουτηγμένες σε σοκολάτα, μέσα σε γλειφιτζούρια, marshmallows από προνύμφες) και για την παραγωγή σνακ (τηγανητές, ψητές, με καρυκεύματα) (Lamsal *et al.*, 2019). Επιπλέον, πολύ διαδεδομένη είναι και η σκόνη ή αλλιώς το άλευρο που προέρχεται από τις προνύμφες του *T. molitor*. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για γλυκές, όσο και για αλμυρές παρασκευές και να αντικαταστήσει το 10% από το αλεύρι που χρησιμοποιείται σε μία συνταγή, ενώ μπορεί να προστεθεί και σε smoothies, shakes ή σε μάφιν (bugfarmfoods.com). Το *Crikizz* είναι ένα σνακ που αποτελείται από προνύμφες *T. molitor* (σε ποσότητα 10-20% w/w) και κασάβα, και δοκιμάστηκε στη Γαλλία για να διατεθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά. Τελικά, το 2012 βραβεύτηκε στον γαλλικό διαγωνισμό Eco-trophéia ως καινοτομία στην μαγειρική (van Huis *et al.*, 2013).

Επιπλέον, όσον αφορά τα λιπαρά του εντόμου, οι Zhao *et al.* (2016) και οι Ramos Elorduy *et al.* (2009) απέδειξαν πως η σύσταση των ελαίων που εξήχθησαν από το *T. molitor* ήταν πλούσια σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, ενώ συχνά περιείχαν και τα απαραίτητα λινολεϊκά και α-λινολεϊκά οξέα. Η σημασία των λινολεϊκών και α-λινολεϊκών οξέων για τη διατροφή μας είναι πολύ μεγάλη, αφού συμβάλλουν στην υγιή ανάπτυξη των παιδιών (Michaelsen *et al.*, 2009).

1.5.2 Χρήση του *T. molitor* στην παραγωγή ζωοτροφών

Ο Ebeling το 1975 ανέφερε πως οι προνύμφες του *T. molitor* χρησιμοποιούνται ως δόλωμα για το ψάρεμα και ως τροφή για ψάρια, αμφίβια, χελώνες, ερπετά, πουλερικά, πτηνά και μικρά θηλαστικά που κρατούνται σε ζωολογικούς κήπους. Μάλιστα, τόνισε πως οι προνύμφες αυτές αποτελούν την καλύτερη πηγή ζωικής πρωτεΐνης για τα ζώα και πως παρ' όλο που οι επιχειρήσεις που τις εκτρέφουν είναι μικρής κλίμακας, οι παραγόμενες ποσότητες είναι τεράστιες (Heidari-Parsa *et al.*, 2018). Σήμερα, λόγω της υψηλής διατροφικής αξίας του εντόμου, συχνά χρησιμοποιείται ως συστατικό σε τροφές για κατοικίδια (όπως πουλιά, ερπετά, σκύλους και γάτες), ενώ αξιολογήθηκε θετικά όταν χρησιμοποιήθηκε τόσο σε ζωοτροφές για χοιρινά και πουλερικά, όσο και σε διατροφές διαφόρων ωφέλιμων οργανισμών όπως το *Coleomegilla maculata* De Geer (Coleoptera: Coccinellidae). Το 2017, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το *T. molitor* συμπεριλήφθηκε στη λίστα με τα 7 είδη εντόμων που εγκρίνονται για τη χρήση τους ως συστατικά τροφών, που προορίζονται για ψάρια, στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Rumbos *et al.*, 2020).

Οι Ramos - Elorduy *et al.* (2002) βρήκαν πως το *T. molitor* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης στη διατροφή πουλερικών. Στο πείραμα αυτό μείωσαν την περιεκτικότητα της σόγιας σε 31%, 26% και 20% της δίαιτας, αντικαθιστώντας την με 0%, 5% και 10% *T. molitor*, αντίστοιχα. Επιπλέον, παρέθεσαν αρκετές έρευνες που προέκυψαν παρόμοια αποτελέσματα σχετικά με την εκτροφή πουλερικών όταν αυτά κατανάλωσαν το κρίκετ *Anabrus simplex*, τον μεταξοσκώληκα *Bombyx mori*, το *Tribolium castaneum*, το *Alphitobius diaperinus* και τερμίτες. Σε άλλο πείραμα που έγινε σε μικρά κοτόπουλα, οι Kirk *et al.* (2000) προνύμφες του *T. molitor* που είχαν τραφεί με πίτουρο που περιείχε 8% Ca, χρησιμοποιήθηκαν για την

τροφοδότηση των κοτόπουλων. Στη συνέχεια χρησιμοποίησαν τα οστά των κοτόπουλων, ώστε να υπολογίσουν τη βιοδιαθεσιμότητα του Ca, και βρήκαν πως στις προνύμφες του *T. molitor* η βιοδιαθεσιμότητα ήταν 76%, όσο δηλαδή και στο κέλυφος των στρειδιών.

Έρευνες αποδεικνύουν πως το ιχθυάλευρο που χρησιμοποιείται για την εκτροφή απογαλακτισμένων χοιρινών μπορεί να αντικατασταθεί από προνύμφες του *T. molitor* ή από άλευρο των προνυμφών. Το 2020, οι Ao *et al.* ανέφεραν πως δεν υπήρξε καμία διαφορά στα χαρακτηριστικά των χοιρινών (όπως ανάπτυξη και πέψη) όταν αντικατέστησαν το ιχθυάλευρο με προνύμφες του *T. molitor* σε ποσοστά 2% και 100%. Σε άλλη έρευνα των Ko *et al.* (2020) παρατηρήθηκε ότι όταν έγινε αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με άλευρο από τις προνύμφες *T. molitor*, από τις οποίες προηγουμένως είχε αφαιρεθεί το λίπος, αυξήθηκαν τα ειδικά αντισώματα IgG, έπειτα από 14 ημέρες εκτροφής.

Η χρήση του *T. molitor* ως συστατικό στις τροφές ψαριών έχει φέρει θετικά αποτελέσματα. Ενδεικτικά, φαίνεται πως στη διατροφή της ιριδιζουσας πέστροφας (*Oncorhynchus mykiss*) το άλευρο των προνυμφών του *T. molitor* μπορεί να αντικαταστήσει το 50% του ιχθυάλευρου. Επιπλέον, για το συγκεκριμένο ψάρι, προνύμφες από τις οποίες έχει αφαιρεθεί το λίπος μπορούν να αντικαταστήσουν έως και 100% τη χρήση ιχθυάλευρου. Για την τσιπούρα (*Sparus aurata*) και το λυθρίνι το πελαγίσιο (*Pagellus bogaraveo*) βρέθηκε πως η αντικατάσταση του 25% του ιχθυάλευρου με εντομάλευρο *T. molitor* δεν έφερε αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη τους, ενώ η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυάλευρου για τη διατροφή του φαγκριού της Ιαπωνίας (*Pargus major*) είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη ανάπτυξη και εμφάνιση του (Shafique *et al.*, 2021).

Οι Gasco *et al.* (2016) στη διατροφή του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*) αντικατέστησαν μερικώς (35%) το ιχθυάλευρο με άλευρο από τις προνύμφες του *T. molitor* και διαπίστωσαν πως δεν επηρεάστηκε ούτε η ανάπτυξη του ψαριού, ούτε η θνησιμότητα του. Παρ' όλα αυτά, όταν αντικατέστησαν το 70% του ιχθυάλευρου η ανάπτυξη τους επηρεάστηκε αρνητικά. Σύμφωνα με τους Panini *et al.* (2017), η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυάλευρου από άλευρο των προνυμφών *T. molitor* είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του περιεχόμενου λίπους της γαρίδας Κεντρικής Αμερικής, χωρίς όμως να επηρεάσει την ανάπτυξή της. Αντίθετα, όταν αντικαταστήθηκαν μεγάλες

ποσότητες ιχθυάλευρου από το εντομάλευρο του *T. molitor*, το γατόψαρο *Ameiurus melas* Raf. και το αφρικανικό γατόψαρο *Clarias gariepinus* αναπτύσσονταν πολύ πιο αργά (Ng *et al.*, 2001, Roncarati *et al.*, 2015).

Η χρήση του *T. molitor* ως συστατικό της διατροφής των ψαριών μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα και στο ανοσοποιητικό τους. Όταν οι Henry *et al.* (2018) χρησιμοποίησαν για 6 εβδομάδες το *T. molitor* για την εκτροφή του λαβρακιού (*Dicentrarchus labrax*), βρήκαν πως ενισχύθηκαν οι αντιφλεγμονώδεις αντιδράσεις του, η αντιβακτηριδιακή δραστηριότητα της λυσοζύμης και η αναστολή της θρυψίνης, που σχετίζονται με την αντιπαρασιτική δραστηριότητα τους. Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος έδειξαν ότι ίσως το άλευρο του *T. molitor* μπορεί να δρα ως ανοσοδιεγερτικό.

1.6 Αξιοποίηση εντόμων στην κυκλική οικονομία σε σχέση με τα αγροτικά παραπροϊόντα

Σύμφωνα με τους Haupt *et al.* (2017), η κυκλική οικονομία φαντάζει ως ένα σύστημα παραγωγής και κατανάλωσης με μηδενικές απώλειες υλικών και ενέργειας, λόγω της εκτεταμένης επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης. Πρακτικά, οι άνθρωποι έχουν αρχίσει να ενστερνίζονται τη νοοτροπία της κυκλικής οικονομίας, εξαιτίας των οικονομικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων, που προκύπτουν από τον συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό, και της ανάγκης επανακαθορισμού της σχέσης ανθρώπου-περιβάλλοντος. Ο τομέας της γεωργίας, παρ' όλο που είναι ο σημαντικότερος τομέας για την επιβίωση του ανθρώπου, έχει γίνει το βασικό πρόβλημα της εποχής που διανύουμε. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν αυξημένες ανάγκες σε τρόφιμα, χωρίς να είναι βέβαιη η δυνατότητα κάλυψής τους, οι τιμές των τροφίμων αλλάζουν συνεχώς και τα αγροτικά παραπροϊόντα αποτελούν την πιο σημαντική πηγή ρύπανσης. Ως εκ τούτου, η προώθηση νέων τεχνολογιών, που έχουν ως στόχο την ανακύκλωση των παραπροϊόντων και των αποβλήτων της γεωργίας, αποτελεί πλέον μονόδρομο.

Η εκτροφή εντόμων με αγροτικά παραπροϊόντα για την παραγωγή τροφίμων και ζωοτροφών αποτελεί ένα τυπικό παράδειγμα κυκλικής οικονομίας (Madau *et al.*, 2020). Σε σχέση με την κλασική εκτροφή ζώων, η εκτροφή εντόμων είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον (λιγότερες εκπομπές αερίων που

σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, λιγότερες εκπομπές αμμωνίας) και απαιτεί λιγότερο χώρο, ενώ για να ξεκινήσει κανείς την εκτροφή εντόμων δεν είναι απαραίτητο να επενδύσει μεγάλο κεφάλαιο (van Huis *et al.*, 2013). Τα έντομα, λόγω της ψυχρόαιμης φύσης τους, είναι πολύ αποτελεσματικά στην μετατροπή της τροφής που καταναλώνουν σε πρωτεΐνη υψηλής διατροφικής αξίας, μπορούν να καταναλώσουν οργανικά υπολείμματα (van Huis *et al.*, 2013) και το νερό που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη τους το λαμβάνουν από την τροφή τους (Madau *et al.*, 2020).

Επομένως, η εκτροφή εντόμων μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα μέσω της ανακύκλωσης τροφίμων και οργανικών υπολειμμάτων, χωρίς να έχει κάποια αξιοσημείωτη συνέπεια στην παραγωγικότητα και την ποιότητα τους. Τα σαπροφάγα έντομα μπορούν να καταναλώσουν οποιαδήποτε οργανική ύλη. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν διεξαχθεί, απέδειξαν πως υπάρχει η δυνατότητα χρήσης οργανικών υπολειμμάτων για την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών και την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν είτε για την εκτροφή κτηνοτροφικών ζώων, είτε για κατανάλωση από τον άνθρωπο (Borello *et al.*, 2016).

Σύμφωνα με τον FAO (2012) και τους Herrero *et al.* (2016) η συγκεκριμένη τακτική ανακύκλωσης, σε σχέση με άλλες τακτικές που έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ζωοτροφών, δεν θέτει σε κίνδυνο την παραγωγή και οι επιπτώσεις της στη βιόσφαιρα είναι θετικές. Από την άλλη, η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, που είναι απόρροια της αύξησης στην παραγωγή της ζωικής πρωτεΐνης, είχε ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων, ιδιαίτερα σε τροπικές χώρες (FAO, 2012, Herrero *et al.*, 2016). Μάλιστα, πολλοί εκφράζουν την ανησυχία τους σχετικά με την υπερεκμετάλλευση των θαλάσσιων πόρων με σκοπό την παραγωγή ψαριών, αφού η διατροφή τους βασίζεται κυρίως σε ιχθυάλευρα, αλλά και σε άλλες πηγές πρωτεϊνών που λαμβάνονται από το θαλάσσιο οικοσύστημα (Arru *et al.*, 2019).

Τα οργανικά απόβλητα (από τα νοικοκυριά, τον αγρό, τη βιομηχανία τροφίμων) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τροφή για τα έντομα, συνεισφέροντας στη βιώσιμη διαχείριση των βιολογικών απόβλητων, ενώ ταυτόχρονα μετατρέπονται σε υψηλής ποιότητας πρωτεΐνη. Το 1/3 ή αλλιώς 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι του συνολικού φαγητού που παράγεται παγκοσμίως

πετιέται. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η συλλογή απορριμμάτων και η ακατάλληλη διαχείρισή τους αποτελούν δύο συνεχώς αυξανόμενα προβλήματα, και πολύ συχνά περίπου το 1/3 με 2/3 των σκουπιδιών δεν συλλέγονται. Η μία λύση είναι να μειώσουμε την απόρριψη των οργανικών αποβλήτων, ενώ η άλλη είναι να τα αξιοποιήσουμε. Η μετατροπή των οργανικών απορριμμάτων σε κομπόστ από σαπροφάγους οργανισμούς όπως μικροοργανισμούς και γαιοσκώληκες είναι μία γνωστή διαδικασία. Παρ'όλα αυτά, κάποια έντομα όπως η κοινή μύγα (*Musca domestica*), η μύγα μαύρος στρατιώτης (*Hermetia illucens*), και κάποια είδη σκωληκών των αλεύρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό (van Huis, 2013).

Η μύγα μαύρος στρατιώτης (*H. illucens*) παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη μετατροπή οργανικών απορριμμάτων, καθώς μπορεί να μετατρέψει την κοπριά από πουλερικά, βοοειδή και χοιρινά σε μάζα σώματος, μειώνοντας τη μάζα της ξηρής ουσίας έως και 58% (Sheppard *et al.*, 1994). Επιπλέον, η προνύμφη της μύγας μείωσε τη *Salmonella enterica* serovar *enteritidis* (Erickson *et al.*, 2004) στην κοπριά των πουλερικών και τα ποσά *Escherichia coli* στην κοπριά των βοοειδών (Liu *et al.*, 2008), ενώ μειώθηκαν και οι προβληματικοί πληθυσμοί της κοινής μύγας (Bradley and Sheppard, 1984, Sheppard, 1983). Έχει βρεθεί πως η συγκεκριμένη προνύμφη μπορεί να μειώσει και να ανακυκλώσει τα εντόσθια ψαριών από τις μονάδες επεξεργασίας τους (St-Hilaire *et al.*, 2007). Τέλος, εάν αναπτυχθεί σε 1kg κοπριάς από βοοειδή, πουλερικά και χοιρινά αποκτά υψηλή περιεκτικότητα σε λίπος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αντίστοιχα, για την παραγωγή 36, 91 και 58 g βιοντίζελ (Li *et al.*, 2011). Η κοινή μύγα (*M. domestica*) έχει αναπτυχθεί σε οργανικά απόβλητα δήμου (Ocio *et al.*, 1979) και ο αλευροσκώληκας (*T. molitor*) σε αποξηραμένα ή μαγειρεμένα απόβλητα, για παράδειγμα από λαχανικά, φρούτα και δημητριακά σε διάφορους συνδυασμούς (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002). Λάσπες από υδατικά λύματα έχουν χρησιμοποιηθεί για την μαζική εκτροφή του *Cydia pomonella* για την παραγωγή του ιού *Cydia pomonella* Granulovirus (CpGV) που χρησιμοποιείται ως βιολογικό εντομοκτόνο (Brar *et al.*, 2008).

1.7 Σκοπός

Ορισμένα είδη εντόμων έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται με επιτυχία σε οργανικά απόβλητα, μετατρέποντάς τα χαμηλής αξίας οργανικά παραπροϊόντα σε πρωτεΐνες υψηλής αξίας. Η ικανότητά τους αυτή είναι πολύ σημαντική δεδομένου ότι κάθε χρόνο το 27% της συνολικής αγροτικής παραγωγής καταλήγει στα σκουπίδια (δηλαδή 1,6 δισεκατομμύρια τόνοι) ή το 22% εάν λάβουμε υπόψη μόνο το βρώσιμο μέρος που απορρίπτεται (δηλαδή 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι). Το κόστος των απορριμμάτων αυτών υπολογίζεται στα 750 δισεκατομμύρια US\$, ετησίως. Οι σκώληκες των αλεύρων μπορούν να αναπτυχθούν σε οργανικά απορρίμματα, που προέρχονται από λαχανικά και φρούτα. Με βάση τα παραπάνω, σκοπός του της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ανάπτυξης του αλευροσκώληκα *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) σε 11 διαφορετικά αγροτικά παραπροϊόντα και σε μεταξύ τους συνδυασμούς.

Κεφάλαιο 2: Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Εκτροφή *T. molitor*

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες του εντόμου *T. molitor* από εκτροφές που διατηρούνται στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για τις εκτροφές χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κουτιά (μήκος 48 cm, πλάτος 28 cm και βάθος 10 cm) με ορθογώνιο άνοιγμα (27 cm x 19 cm) στο καπάκι τους, ώστε να επιτρέπεται η κυκλοφορία του αέρα και να επιτυγχάνεται ο καλύτερος αερισμός των εντόμων. Οι εκτροφές των εντόμων διατηρούνταν σε ελεγχόμενες και σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας 26°C, σχετικής υγρασίας 55% και συνεχές σκοτάδι. Σαν θρεπτικό υπόστρωμα του *T. molitor* χρησιμοποιήθηκε ένα μίγμα πίτουρου σιταριού (90%) και ξηρής μαγιάς 10%, ενώ επιπρόσθετα προσφέρονταν στα έντομα κομμάτια φρέσκιας πατάτας 2 φορές την εβδομάδα προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες τους σε υγρασία.

Για τη συλλογή των προνυμφών *T. molitor* που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, ενήλικα του εντόμου τοποθετήθηκαν σε άσπρο αλεύρι, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σαν υπόστρωμα ωτοκίας. Μια εβδομάδα μετά τα ενήλικα απομακρύνθηκαν με τη χρήση κόσκινου με μάτι οπής 2 mm, ενώ στη συνέχεια συλλέχθηκαν τα αυγά κοσκινίζοντας το αλεύρι με κόσκινο με μάτι οπής 250 μm. Προνύμφες που εκκολάφθηκαν από τα αυγά αυτά χρησιμοποιήθηκαν για πειραματισμό.



Εικόνα 8: Εκτροφή *T. molitor* (προσωπικό αρχείο)

2.2 Παραπροϊόντα

Στα πειράματα αξιολογήθηκαν έντεκα (11) παραπροϊόντα που προέρχονται από την καλλιέργεια του βαμβακιού, του ζαχαρότευτλου, του ηλίανθου, του κριθαριού, της βρώμης, του μπιζελιού και του βίκου (Πίνακας 1). Τα παραπροϊόντα αυτά επιλέχθηκαν εξαιτίας της διαθεσιμότητάς τους σε τοπικό επίπεδο. Συγκεκριμένα αξιολογήθηκαν τα παρακάτω παραπροϊόντα: ζαχαρόπιτα, βαμβακόπιτα, βαμβακόσπορος, ηλιάλευρο (σε πελλέτα) καθώς και παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού του κριθαριού [υπολείμματα στα κόσκινα (κατηγορία I); άγανα, φλούδια και αλλά μέρη εκτός των σπόρων (κατηγορία II)], βρώμης (άγανα, φλούδια, μικροί και σπασμένοι σπόροι), μπιζελιού [λοβοί, φλούδια από τα μπιζέλια και μικρό ποσοστό μικρών και σπασμένων σπόρων (κατηγορία I)]; [μικροί και σπασμένοι σπόροι (κατηγορία II)] και βίκου [λοβοί και αλλά μέρη εκτός των σπόρων και μικρό ποσοστό μικρών και σπασμένων σπόρων (κατηγορία I)]; [μικροί και σπασμένοι σπόροι (κατηγορία II)].



Εικόνα 9: ζαχαρόπιτα πριν και μετά την άλεση



Εικόνα 10: βαμβακόπιτα



Εικόνα 11: Κριθάρι (κατηγορία I)



Εικόνα 12: βαμβακόσπορος πριν και μετά την άλεση



Εικόνα 13: ηλιάλευρο πριν και μετά την άλεση





Εικόνα 14: Κριθάρι (κατηγορία II) πριν και μετά την άλεση



Εικόνα 15: Μπιζέλι (κατηγορία II) πριν και μετά την άλεση



Εικόνα 16: Μπιζέλι (κατηγορία I) πριν και μετά την άλεση



Εικόνα 17: Βρώμη πριν και μετά την άλεση



Εικόνα 18: Βίκος (κατηγορία II) πριν και μετά την άλεση



Εικόνα 19: Βίκος (κατηγορία I) πριν και μετά την άλεση

*Εικόνες 9-19 από αρχείο κυρίου Χρήστου Ρούμπου

Όλα τα παραπροϊόντα αλέστηκαν (Thermomix TM31-1C, Vorwerk Elektrowerke GmbH & Co. K, Wuppertal, Germany), κοσκινίστηκαν (κόσκινο με διάμετρο οπής 2 mm) και αποθηκεύτηκαν στους 20 °C μέχρι την χρησιμοποίησή τους. Πριν την έναρξη των πειραμάτων τα παραπροϊόντα εκτέθηκαν για μία εβδομάδα στις πειραματικές συνθήκες (26 ± 1 °C, 55 ± 5% σχετική υγρασία), προκειμένου να εξισορροπηθούν τα επίπεδα υγρασίας τους.

2.3 Βιοδοκιμές

Βιοδοκιμή I: Αξιολόγηση κάθε παραπροϊόντος ξεχωριστά ως θρεπτικό υπόστρωμα για την χρησιμοποίησή του.

Σε πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια (διάμετρος 7,5 cm, ύψος 8,8 cm) τοποθετήθηκαν 20 g από κάθε παραπροϊόν, χρησιμοποιώντας διαφορετικά φιαλίδια για κάθε υπόστρωμα.



Εικόνα 20: Πλαστικά φιαλίδια που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές (προσωπικό αρχείο)

Πίνακας 1. Παραπροϊόντα που αξιολογήθηκαν στο πείραμα.

1. Πίτουρο σιταριού - μάρτυρας (<i>wheat bran</i>)	7. Παραπροϊόν κριθαριού II (<i>barley by-product II</i>) ₃
2. Πολτός από ζαχαρότευτλο (<i>sugar beet pulp meal</i>) ₁	8. Παραπροϊόν βρώμης I (<i>oat by-product I</i>) ₄
3. Βαμβακόπιτα (<i>cotton cake</i>)	9. Παραπροϊόν μπιζελιού I (<i>pea by-product I</i>) ₅
4. Βαμβακόσπορος (<i>cotton seed meal</i>)	10. Παραπροϊόν μπιζελιού II (<i>pea by-product II</i>) ₆
5. Ηλίανθος (<i>sunflower meal</i>) ₁	11. Παραπροϊόν Βίκου I ₇
6. Παραπροϊόν κριθαριού I (<i>barley by-product I</i>) ₂	12. Παραπροϊόν Βίκου II ₈

1 από αλεσμένους κόκκους

2 ό,τι μένει στο κόσκινο κατα τη διαδικασία καθαρισμού των σπόρων του κριθαριού

3 ό,τι μένει στο κόσκινο κατα τη διαδικασία καθαρισμού του κριθαριού (άγανα, φλούδια και αλλά μέρη εκτός των σπόρων)

4 ό,τι μένει στο κόσκινο από τη διαδικασία καθαρισμού των σπόρων της βρώμης (άγανα, φλούδια, μικροί και σπασμένοι σπόροι κ.α.)

5 ό,τι μένει στο κόσκινο από τη διαδικασία καθαρισμού σπόρων μπιζελιού (λοβοί, φλούδια από τα μπιζέλια και μικρό ποσοστό μικρών και σπασμένων σπόρων)

6 ό,τι μένει στο κόσκινο από τη διαδικασία καθαρισμού σπόρων μπιζελιού (μικροί-σπασμένοι σπόροι)

7 ό,τι μένει στο κόσκινο από τη διαδικασία καθαρισμού σπόρων βίκου (λοβοί και αλλά μέρη εκτός των σπόρων και μικρό ποσοστό μικρών και σπασμένων σπόρων)

8 ό,τι μένει στο κόσκινο από τη διαδικασία καθαρισμού σπόρων βίκου (μικροί και σπασμένοι σπόροι)

Πέρα από τα παραπροϊόντα που αξιολογήθηκαν, το πίτουρο σιταριού, που χρησιμοποιείται περισσότερο ως υπόστρωμα για την εκτροφή και την ανάπτυξη του *T. molitor* χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Για τη Βιοδοκιμή I αξιολογήθηκε η δυνατότητα των παραπροϊόντων να υποστηρίξουν την ανάπτυξη προνυμφών μέσης ηλικίας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες του *T. molitor*, που περνούσαν από κόσκινο με άνοιγμα 850 μm και συγκρατούνταν σε κόσκινο με άνοιγμα 500μm, δηλαδή προνύμφες που με βάση το μέγεθος της κεφαλικής τους κάψας βρίσκονταν μεταξύ 4^{ης} και 6^{ης} προνυμφικής ηλικίας (Morales - Ramos *et al.*, 2014). Οι προνύμφες που επιλέχθηκαν από αυτήν τη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν για τον σχηματισμό ομάδων των 20 προνυμφών. Κάθε ομάδα προνυμφών ζυγίστηκε στην αρχή του πειράματος και καταγράφηκε το αρχικό τους βάρος. Οι ομάδες αυτές των προνυμφών μεταφέρθηκαν στα φιαλίδια και αφέθηκαν να τραφούν για 4 βδομάδες. Μετά από διάστημα 4 εβδομάδων, οι προνύμφες κάθε φιαλιδίου

διαχωρίστηκαν από την τροφή προκειμένου να γίνει καταγραφή του αριθμού των προνυμφών που επιβίωσαν και του συνολικού τους βάρους. Στη συνέχεια, προσφέρθηκε στις προνύμφες νέα ποσότητα τροφής (20 g) προκειμένου να αναπτυχθούν για επιπλέον διάστημα 4 εβδομάδων, μετά το πέρας του οποίου επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία εκτίμησης του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών και του συνολικού τους βάρους. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε ακόμα μια φορά, ώστε συνολικά η ανάπτυξη των προνυμφών να έχει αξιολογηθεί για τρία συνεχόμενα διαστήματα 4 εβδομάδων. Υπήρχαν 6 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση.



Εικόνα 21: Διαχωρισμός προνυμφών από το υπόστρωμα (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 22: Προνύμφες *Tenebrio molitor* 4^{ης}-6^{ης} προνυμφικής ηλικίας
(προσωπικό αρχείο)

Βιοδοκιμή II: Αξιολόγηση κάθε παραπροϊόντος ως συστατικό διαίτας χωρίς προσθήκη υγρασίας

Σε αυτή τη βιοδοκιμή αξιολογήθηκαν μίγματα των παραπροϊόντων με πίτουρο σιταριού σε αναλογία 1:1. Συγκεκριμένα, σε κάθε φιαλίδιο τοποθετήθηκαν 10 g παραπροϊόντος και 10g πίτουρο σιταριού, ενώ ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω.

Βιοδοκιμή III: Αξιολόγηση διαίτων που είναι βασισμένες στα παραπροϊόντα με προσθήκη υγρασίας

Σε αυτή τη βιοδοκιμή τα παραπροϊόντα αλέστηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό και κοσκινίστηκαν με κόσκινο με διάμετρο οπής 500 μm. Με βάση τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων δύο βιοδοκιμών και τη θρεπτική σύσταση του κάθε παραπροϊόντος, σχεδιάστηκαν σύνθετες δίαιτες με βάση τα παραπροϊόντα που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, τα επιλεγμένα παραπροϊόντα αναμείχθηκαν σε διάφορες αναλογίες ώστε να συνθέσουν 2 ομάδες ισοπρωτεϊνικών και ισοενεργειακών διαίτων, όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Το επίπεδο πρωτεΐνης στην πρώτη ομάδα διαίτων (A) ήταν στο 16,7% και χρησιμοποιήθηκε πίτουρο σιταριού σαν μάρτυρας, ενώ στην δεύτερη ομάδα διαίτων (B) το επίπεδο πρωτεΐνης ήταν στο 20% και ο μάρτυρας ήταν ένα μίγμα πίτουρο σιταριού με μαγιά σε αναλογία 9:1. Σε κάθε φιαλίδιο τοποθετήθηκε 1 g από κάθε θρεπτικό υπόστρωμα ενώ γίνονταν και προσθήκη κομματιών φρέσκων καρότων (0.6 ± 0.1 g) σαν πηγή υγρασίας 3 φορές την εβδομάδα. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν νεοεκκολαφθείσες προνύμφες ηλικίας μικρότερης των 2 ημερών. Τα φιαλίδια ελέγχονταν 3 φορές την εβδομάδα προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι προνύμφες δεν θα έμεναν χωρίς τροφή. Όταν η τροφή τελείωνε, γινόταν προσθήκη νέας τροφής και καταγραφόταν το βάρος της τροφής που προστέθηκε. Όπως και στις προηγούμενες βιοδοκιμές, οι προνύμφες αφέθηκαν να αναπτυχθούν για διάστημα 4 εβδομάδων μετά την έναρξη του πειράματος. Μετά από 4 εβδομάδες, υπολογίζονταν η επιβίωση των προνυμφών και το συνολικό τους βάρος κάθε δύο εβδομάδες μέχρι την εμφάνιση της πρώτης πούπας. Ο χρόνος ανάπτυξης, διάφοροι παράμετροι αξιοποίησης της τροφής και ο ρυθμός ανάπτυξης των προνυμφών υπολογίστηκαν για όλες τις μεταχειρίσεις, όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

Πίνακας 2. Σύσταση (%) των διαιτών που δοκιμάστηκαν

Δίαιτα	A1 (control A)	A2	A3	A4	A5	B1 (control B)	B2	B3	B4	B5
Πίτουρο σιταριού	100					90				
Παραπροϊόν κριθαριού (κατηγορία I)			41.0	49.0				15.0	30.0	
Παραπροϊόν κριθαριού (κατηγορία II)		55.0			44.5		31.5			10.0
Παραπροϊόν βρώμης			23.0		27.5			42.0		28.0
Παραπροϊόν μπιζελιού (κατηγορία I)										
Παραπροϊόν μπιζελιού (κατηγορία II)		9.0		25.5			38.0		39.0	
Παραπροϊόν βίκου (κατηγορία I)		36.0			28.0		30.5			62.0
Παραπροϊόν βίκου (κατηγορία II)			36.0	25.5				43.0	31.0	
Μαγιά						10				

2.4 Υπολογισμοί και στατιστική ανάλυση

Το ποσοστό επιβίωσης υπολογίστηκε διαιρώντας τον αριθμό των ζωντανών προνυμφών σε κάθε αξιολόγηση με τον αρχικό αριθμό προνυμφών σε κάθε φιαλίδιο. Ο χρόνος ανάπτυξης υπολογίστηκε σαν το χρονικό διάστημα μεταξύ της αρχής του πειράματος και την εμφάνιση της πρώτης πούπας σε κάθε φιαλίδιο. Στη Βιοδοκιμή III προκειμένου να υπολογιστούν οι διάφοροι παράμετροι αξιοποίησης της τροφής έγινε η υπόθεση ότι όλη η τροφή που προσφέρθηκε στις προνύμφες είχε καταναλωθεί, ενώ το βάρος των καρότων που προσφέρθηκαν δεν συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς.

Για τον υπολογισμό των διαφόρων παραμέτρων αξιοποίησης της τροφής χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις του Waldbauer (1968), όπως αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

- 1) **Δείκτης μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR)** = Τροφή που καταναλώθηκε (g) / Βάρος προνυμφών που κερδήθηκε (g)
- 2) **Specific Growth Rate (SGR)** = $100 \times (\ln \text{Τελικό βάρος προνυμφών} - \ln \text{Αρχικό βάρος προνυμφών}) / \text{ημέρες ανάπτυξης}$

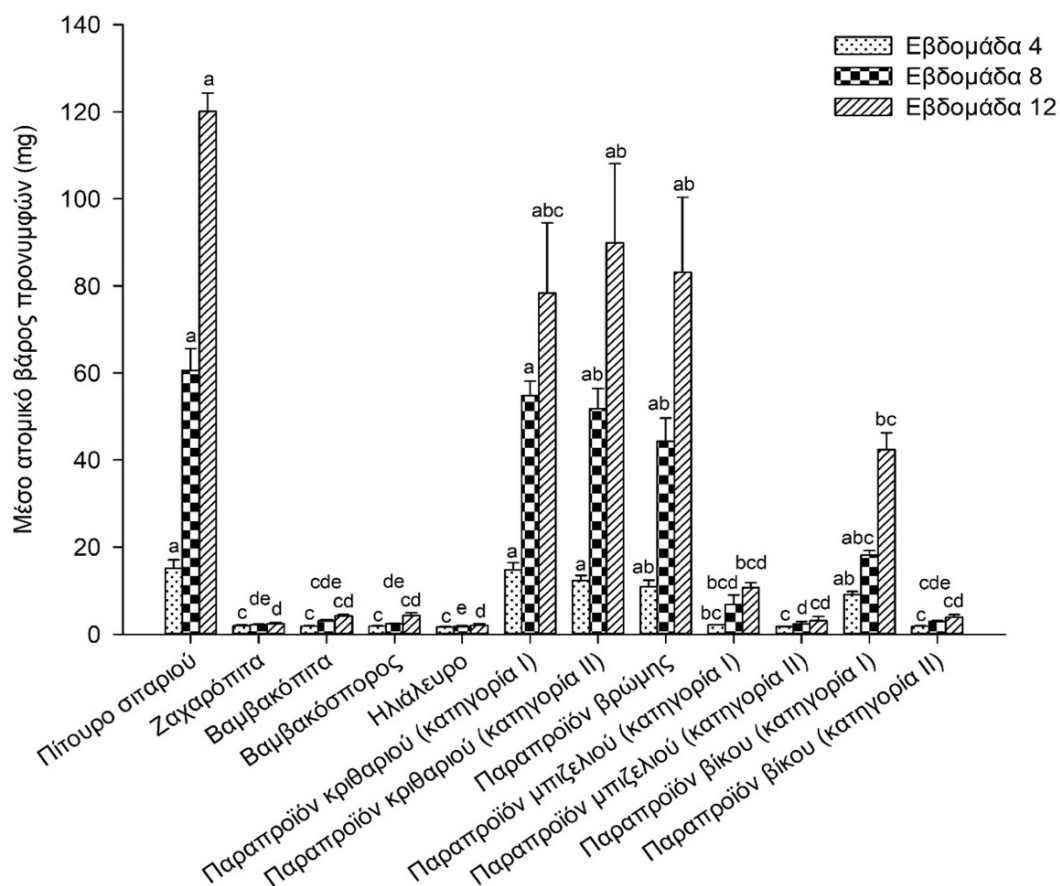
Οι δείκτες FCR και SGR υπολογίστηκαν με βάση τα φρέσκα βάρη (fresh weight).

Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ($P < 0.05$) για το ποσοστό επιβίωσης, τους δείκτες FCR και SGR εκτιμήθηκαν με βάση τη στατιστική δοκιμή Kruskal-Wallis H, η οποία ακολουθήθηκε από τη δοκιμή για πολλαπλές συγκρίσεις του Dunn. Η στατιστική μέθοδος Kaplan-Meier και το τεστ Mantel-Cox χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική σύγκριση των χρόνων ανάπτυξης των προνυμφών στις διάφορες μεταχειρίσεις. Η συσχέτιση Pearson χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να εντοπιστούν συσχετίσεις μεταξύ του χρόνου ανάπτυξης, του ποσοστού επιβίωσης και των διαφόρων παραμέτρων μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR και SGR). Για όλες τις στατιστικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 26.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

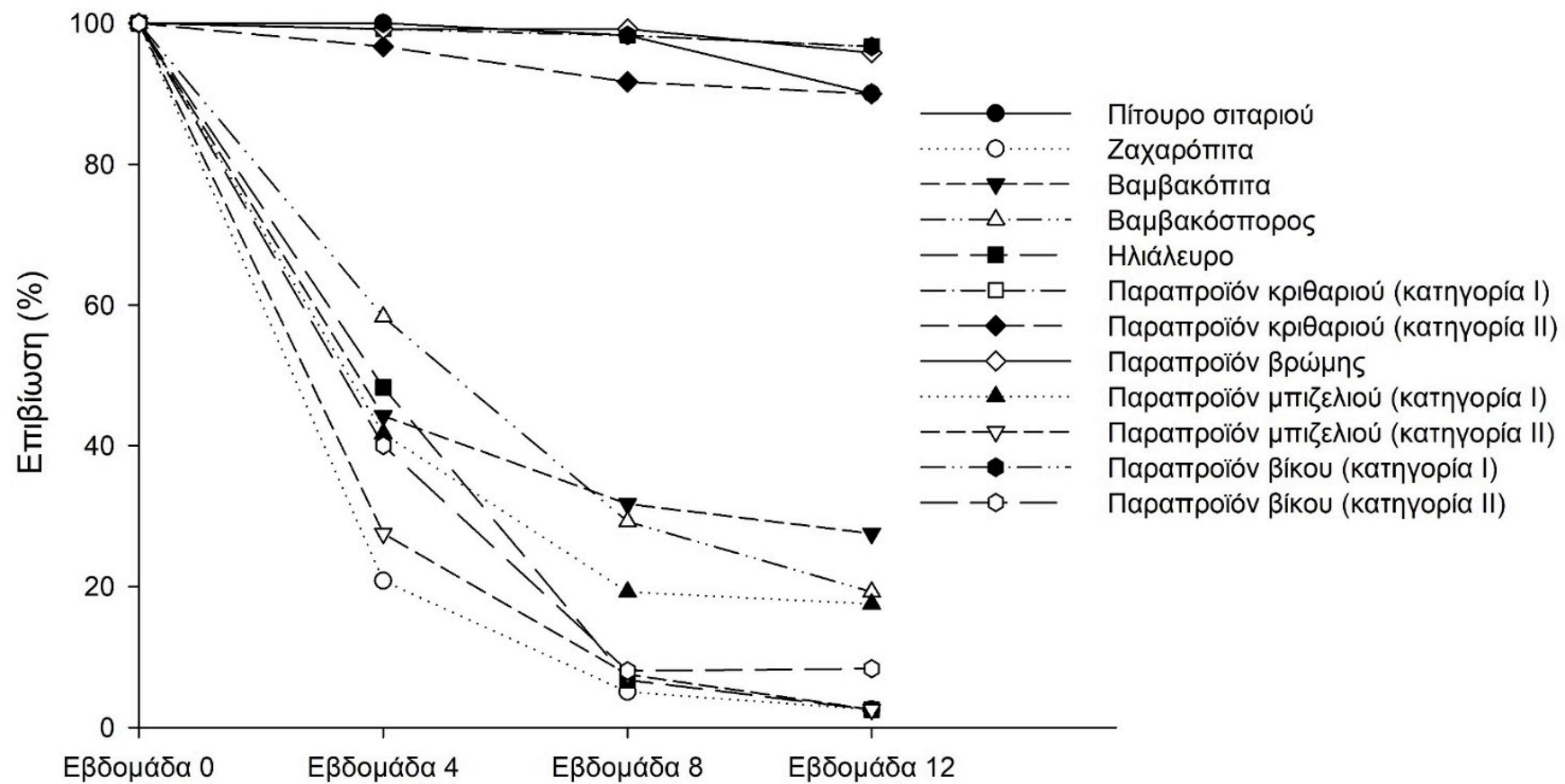
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα

Βιοδοκιμή I: Αξιολόγηση κάθε παραπροϊόντος ξεχωριστά ως θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των προνυμφών χωρίς προσθήκη υγρασίας

Απουσία μιας πηγής υγρασίας, η ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* οι οποίες τράφηκαν και αναπτύχθηκαν στα δύο παραπροϊόντα κριθαριού (κατηγορία I και II) και στο παραπροϊόν βρώμης ήταν παρόμοια με αυτή του μάρτυρα (πίτουρο σιταριού) για όλα τα διαστήματα αξιολόγησης (4, 8 και 12 εβδομάδες) (Γράφημα 1). Στο παραπροϊόν βίκου (κατηγορία I), η ανάπτυξη των προνυμφών ήταν ικανοποιητική, στατιστικώς σημαντικά μικρότερη όμως από τον μάρτυρα μετά από 12 εβδομάδες ανάπτυξης. Η επιβίωση των προνυμφών ήταν υψηλή και παρόμοια με αυτή του μάρτυρα στα παραπροϊόντα στα οποία σημειώθηκε και η μεγαλύτερη ανάπτυξη [παραπροϊόντα κριθαριού (κατηγορία I και II), παραπροϊόν βρώμης] (Γράφημα 2, Πίνακας 3). Σε όλα τα υπόλοιπα παραπροϊόντα, η ανάπτυξη των προνυμφών υπολειπόταν αυτής του μάρτυρα, ενώ το ποσοστό επιβίωσης ήταν ιδιαίτερα χαμηλό. (Γράφημα 1, Πίνακας 3)



Γράφημα 1. Μέσο ατομικό βάρος (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε έντεκα (11) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) χωρίς την παροχή υγρασίας μετά από 4, 8 και 12 εβδομάδες ανάπτυξης (Βιοδοκιμή I). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα ($n = 6$). Για κάθε διάστημα αξιολόγησης, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



Γράφημα 2. Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε έντεκα (11) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) χωρίς την παροχή υγρασίας μετά από 4, 8 και 12 εβδομάδες ανάπτυξης (Βιοδοκιμή I)

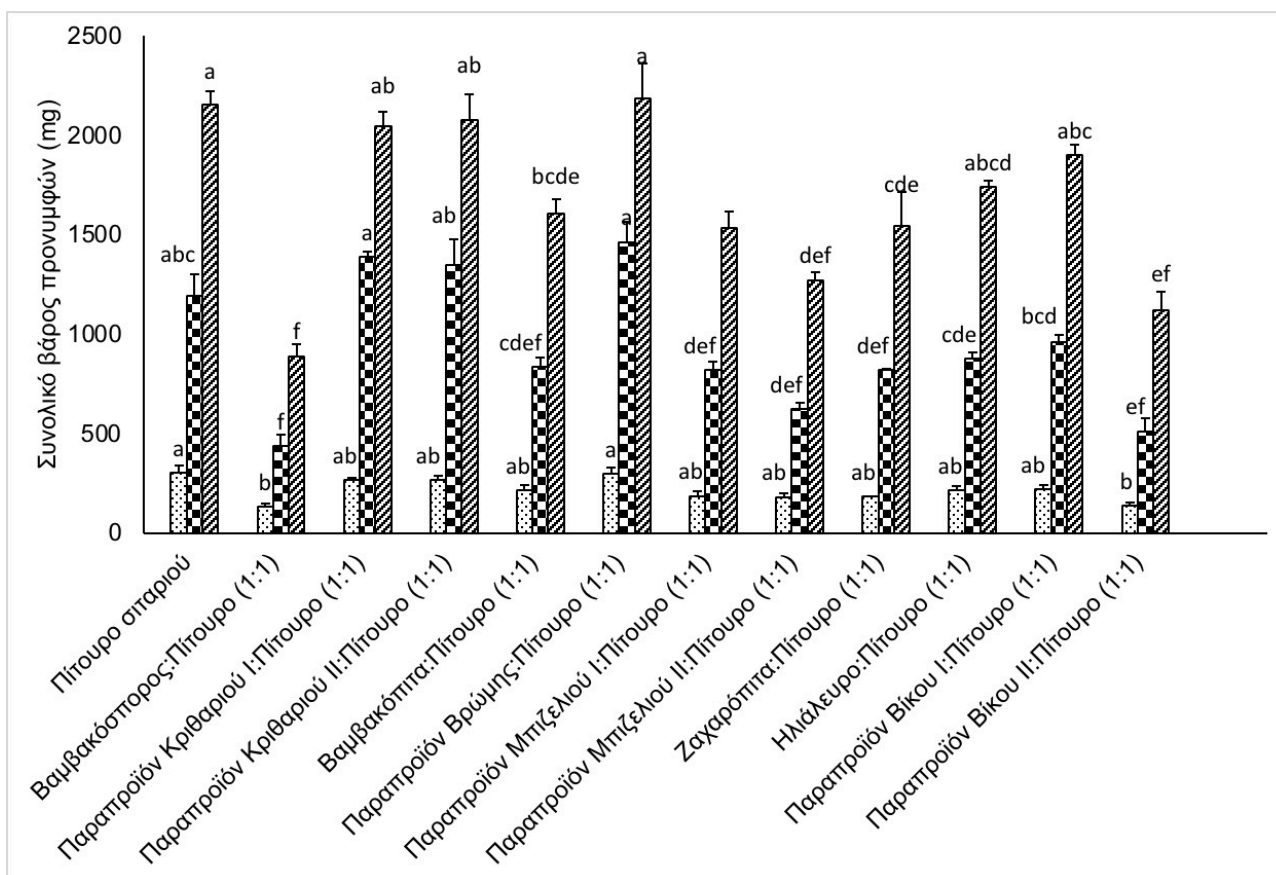
Πίνακας 3. Ποσοστό επιβίωσης (%) (\pm τυπικό σφάλμα) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε έντεκα (11) αγροτικά παραπροϊόντα και πύτουρο σιταριού (μάρτυρας) χωρίς την παροχή υγρασίας μετά από 4, 8 και 12 εβδομάδες ανάπτυξης (Βιοδοκιμή I).

Παραπροϊόντα	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 12
Πύτουρο σιταριού (μάρτυρας)	100.0 \pm 0.0 ^a	98.3 \pm 1.1 ^a	90.0 \pm 2.2 ^{abc}
Ζαχαρόπιτα	20.8 \pm 5.1 ^c	5.0 \pm 2.6 ^e	2.5 \pm 1.7 ^e
Βαμβακόπιτα	44.2 \pm 4.2 ^c	31.7 \pm 3.8 ^{bc}	27.5 \pm 2.1 ^{bcd}
Βαμβακόσπορος	58.3 \pm 6.4 ^{bc}	29.2 \pm 4.7 ^{bcd}	19.2 \pm 5.5 ^{cde}
Ηλιάλευρο	48.3 \pm 6.7 ^c	6.7 \pm 2.1 ^{de}	2.5 \pm 1.1 ^e
Παραπροϊόν κριθαριού (κατηγορία I)	99.2 \pm 0.8 ^a	98.3 \pm 1.1 ^a	96.7 \pm 3.1 ^a
Παραπροϊόν κριθαριού (κατηγορία II)	96.7 \pm 1.7 ^{ab}	91.7 \pm 2.1 ^{ab}	90.0 \pm 3.4 ^{abc}
Παραπροϊόν βρώμης	99.2 \pm 0.8 ^a	99.2 \pm 0.8 ^a	95.8 \pm 1.5 ^{ab}
Παραπροϊόν μπιζελιού (κατηγορία I)	41.7 \pm 4.2 ^c	19.2 \pm 2.4 ^{cde}	17.5 \pm 1.7 ^{cde}
Παραπροϊόν μπιζελιού (κατηγορία II)	27.5 \pm 5.3 ^c	7.5 \pm 1.7 ^{cde}	2.5 \pm 1.1 ^e
Παραπροϊόν βίκου (κατηγορία I)	100.0 \pm 0.0 ^a	98.3 \pm 1.7 ^a	96.7 \pm 2.1 ^a
Παραπροϊόν βίκου (κατηγορία II)	40.0 \pm 3.4 ^c	20.0 \pm 4.0 ^{bcde}	8.3 \pm 3.1 ^{de}

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα ($n = 6$). Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Βιοδοκιμή II: Αξιολόγηση κάθε παραπροϊόντος ως συστατικό διαίτας χωρίς προσθήκη υγρασίας.

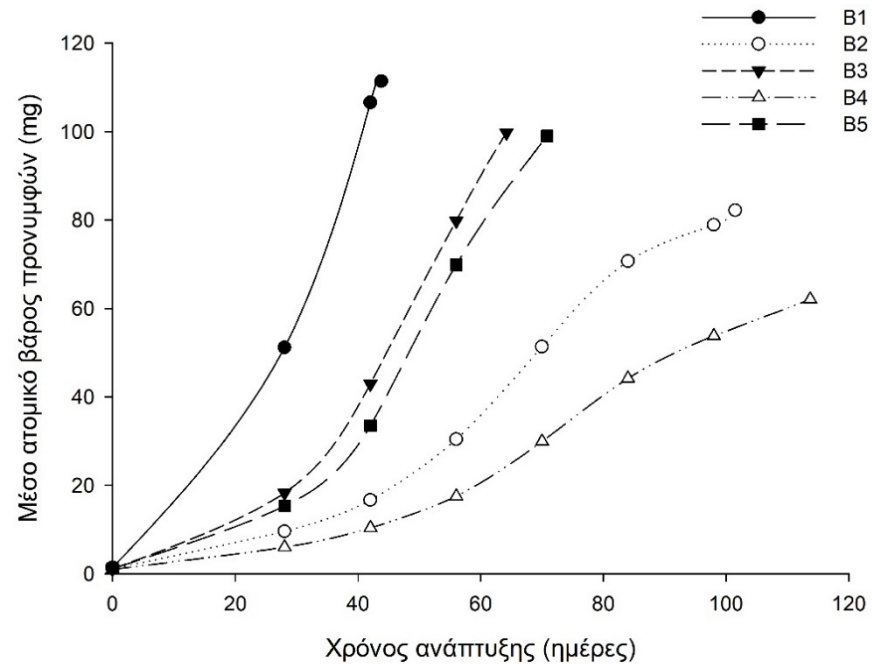
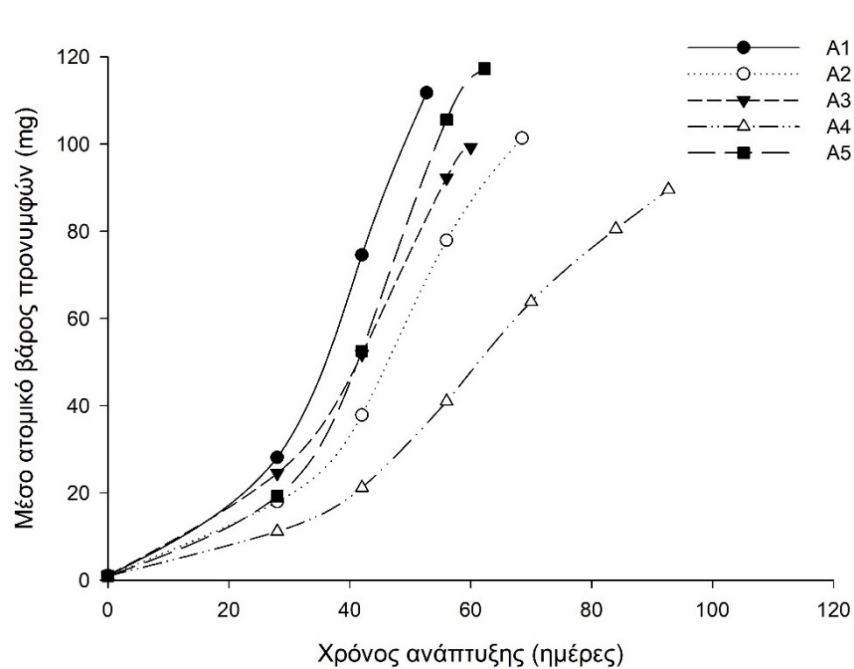
Απουσία μιας πηγής υγρασίας, η ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε υποστρώματα με τα παραπροϊόντα και πίτουρο σε αναλογία 1:1 για 4, 8 και 12 εβδομάδες παρουσιάζεται στο Γράφημα 3. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, όταν τα παραπροϊόντα αξιολογήθηκαν σε μείγματα (1:1) με πίτουρο σιταριού, στις περισσότερες περιπτώσεις η ανάπτυξη των προνυμφών *T. molitor* ήταν ικανοποιητική.



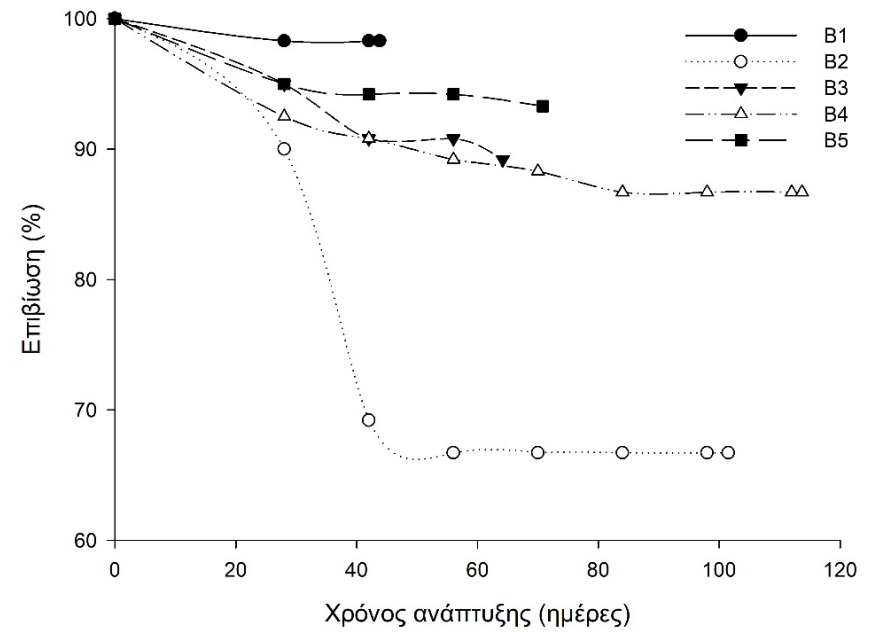
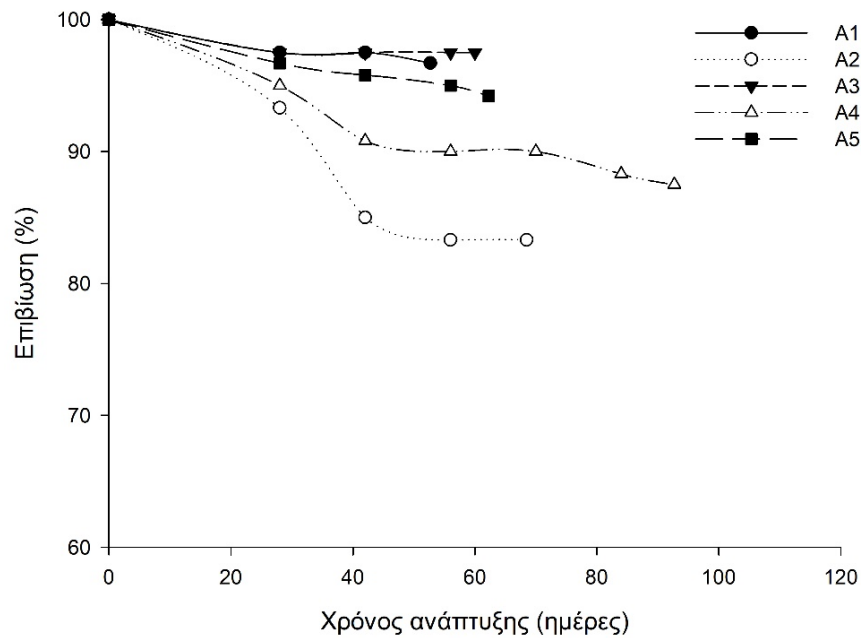
Γράφημα 3. Συνολικό βάρος (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε μίγματα έντεκα (11) αγροτικών παραπροϊόντων με πίτουρο σιταριού (αναλογία 1:1) και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) χωρίς την παροχή υγρασίας μετά από 4, 8 και 12 εβδομάδες ανάπτυξης (Βιοδοκιμή II). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα ($n = 6$). Για κάθε διάστημα αξιολόγησης, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Βιοδοκιμή III: Αξιολόγηση διαίτων που είναι βασισμένες στα παραπροϊόντα με προσθήκη υγρασίας

Η ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες που αξιολογήθηκαν, εκφρασμένη σαν μέσο ατομικό βάρος προνυμφών, παρουσιάζεται στο Γράφημα 4. Η ανάπτυξη διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο πρωτεϊνικών επιπέδων που αξιολογήθηκαν (16,7 και 20%), αλλά διαφορές εντοπίστηκαν ακόμα και στο ίδιο επίπεδο πρωτεΐνης. Στατιστικώς σημαντικές διαφορές βρέθηκαν και στον χρόνο ανάπτυξης των προνυμφών, οι οποίες αναπτύχθηκαν αργά στις δίαιτες B2, B4 και A4, όμως, στις δίαιτες A3, A5, B3 και B5 η ανάπτυξη των προνυμφών ήταν παρόμοια με αυτή του μάρτυρα (πίτουρο σιταριού) (Πίνακας 4). Ο Συντελεστής Μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) κυμάνθηκε μεταξύ 1,9 και 5,9, και πήρε την μικρότερη τιμή του στους δύο μάρτυρες καθώς και στις δίαιτες B3, A3 και A5 (Πίνακας 4). Καταγράφηκε μια θετική συσχέτιση μεταξύ του χρόνου ανάπτυξης και του FCR ($R = 0,904$, $P < 0,001$), και μια αρνητική συσχέτιση με τον ρυθμό ανάπτυξης SGR ($R = -0,954$, $P < 0,001$). Τα υψηλά ποσοστά επιβίωσης στο τέλος της βιοδοκιμής παρουσίασαν θετική συσχέτιση με τους σύντομους χρόνους ανάπτυξης ($R = -0,611$, $P < 0,001$), ενώ η χαμηλότερη επιβίωση καταγράφηκε στην δίαιτα B2. Για τις υπόλοιπες δίαιτες καταγράφηκαν υψηλά ποσοστά επιβίωσης (>83,3%).



Γράφημα 4. Μέσο ατομικό βάρος (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε δύο ομάδες ισοπρωτεϊνικών διαίτων παρουσία υγρασίας [Ομάδα A: 16,7% πρωτεΐνη (αριστερά), Ομάδα B: 20% πρωτεΐνη (δεξιά)]. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6).



Γράφημα 5. Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε δύο ομάδες ισοπρωτεϊνικών διαίτων παρουσία υγρασίας [Ομάδα A: 16,7% πρωτεΐνη (αριστερά), Ομάδα B: 20% πρωτεΐνη (δεξιά)]. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6).

Πίνακας 4. Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες), Συντελεστής Μετατρεψιμότητας της τροφής [Feed Conversion Ratio, (FCR)] και ρυθμός αύξησης [Specific Growth Rate (SGR, %)] προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε δύο ομάδες ισοπρωτεϊνικών διαίτων παρουσία υγρασίας [Ομάδα Α: 16,7% πρωτεΐνη, Ομάδα Β: 20% πρωτεΐνη]. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή ΙΙΙ) (n = 6).

Diet	Development time	FCR	SGR (%/day)
A1	52.7 \pm 1.1 ^f	2.3 \pm 0.1 ^d	8.9 \pm 0.2 ^{ab}
A2	68.5 \pm 2.9 ^{cd}	3.0 \pm 0.2 ^{bc}	6.8 \pm 0.2 ^{cde}
A3	60.0 \pm 2.0 ^e	2.5 \pm 0.1 ^{cd}	7.6 \pm 0.2 ^{abc}
A4	92.7 \pm 4.5 ^b	3.9 \pm 0.3 ^{ab}	5.0 \pm 0.3 ^d
A5	62.3 \pm 1.3 ^{de}	2.3 \pm 0.1 ^{cd}	7.8 \pm 0.2 ^{abc}
B1	43.8 \pm 0.7 ^g	1.9 \pm 0.1 ^e	10.1 \pm 0.2 ^a
B2	101.5 \pm 4.3 ^{ab}	5.2 \pm 0.4 ^a	4.3 \pm 0.1 ^e
B3	64.2 \pm 1.6 ^{de}	2.8 \pm 0.1 ^{bcd}	7.1 \pm 0.1 ^{bcd}
B4	113.7 \pm 5.8 ^a	5.9 \pm 0.2 ^a	3.7 \pm 0.1 ^f
B5	70.8 \pm 2.1 ^c	2.7 \pm 0.3 ^{bcd}	6.3 \pm 0.2 ^{cde}

Κεφάλαιο 4: Συζήτηση

Από τις δραστηριότητες της αγροτικής βιομηχανίας παράγονται σημαντικές ποσότητες οργανικών παραπροϊόντων, τα οποία ουσιαστικά είναι ανεκμετάλλευτοι και υποτιμημένοι πόροι. Ένας αποτελεσματικός τρόπος εκμετάλλευσης των αγροτικών παραπροϊόντων είναι η χρήση τους για την εκτροφή εντόμων, τα οποία μπορούν να μετατρέψουν τα χαμηλής αξίας οργανικά υπολείμματα σε πρωτεΐνη υψηλής αξίας. Μία τέτοια εκμετάλλευση των αγροτικών παραπροϊόντων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής στην εκτροφή εντόμων. Μέχρι στιγμής, έχουν δοκιμαστεί αρκετά παραπροϊόντα για την εκτροφή του εντόμου *T. molitor* (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002, Oonincx *et al.*, 2015, Van Broekhoven *et al.*, 2015, Kim *et al.*, 2017, Shu *et al.*, 2018, Stull *et al.*, 2019, Harsányi *et al.*, 2020, Ruschioni *et al.*, 2020). Το 2020, οι Ruschioni *et al.* χρησιμοποίησαν ως συστατικό στη δίαιτα του *T. molitor* υπολείμματα ελαιοτριβείων και τα αποτελέσματά τους ήταν ενδιαφέροντα ως προς την ανάπτυξη των προνυμφών και τη θρεπτική αξία ορισμένων διαιτών που δοκιμάστηκαν. Ομοίως, οι Kim *et al.* (2017) αξιολόγησαν τη θρεπτική αξία των σπόρων που πετιούνται στη ζυθοποιία, καθώς επίσης και εκείνων που μένουν στον αποστακτήρα και ξηραίνονται, για μαζική εκτροφή προνυμφών του *T. molitor*. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως και τα δύο παραπροϊόντα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικό συστατικό στην τροφή του *T. molitor*. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δικού μας πειράματος, όταν οι προνύμφες του *T. molitor* τράφηκαν με ορισμένα από τα παραπροϊόντα που δοκιμάστηκαν (όπως παραπροϊόν βρώμης, παραπροϊόν κριθαριού (κατηγορίας II), ηλιάλευρο), καθώς και με δίαιτες που είχαν ως βάση τα συγκεκριμένα προϊόντα, η εμφάνιση και η ανάπτυξή τους έμοιαζαν με του μάρτυρα. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν πως η χρήση τους είναι αποτελεσματική είτε ως μοναδικό υπόστρωμα εκτροφής, είτε ως συστατικό για τον σχεδιασμό και τον σχηματισμό σύνθετων διαιτών, που βασίζονται σε αυτά τα παραπροϊόντα.

Η θρεπτική σύσταση της δίαιτας, και πιο συγκεκριμένα, το περιεχόμενο της σε πρωτεΐνη, επηρεάζει καθοριστικά τον ρυθμό ανάπτυξης των προνυμφών, καθώς επίσης και τον δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής (House, 1961, Cohen, 2003). Μέχρι τώρα, σε όσες έρευνες έχουν διεξαχθεί για

την αξιολόγηση διαιτών που έχουν ως βάση τους παραπροϊόντα για την εκτροφή του *T. molitor*, έχουν δοκιμαστεί δίαιτες με ποικιλία στο περιεχόμενο πρωτεΐνης και λιπαρών, υποδεικνύοντας τη σημαντικότητα της σύνθεσης των διαιτών στην επιβίωση και την ανάπτυξη των εντόμων. Σύμφωνα με τους Oonincx *et al.* (2015), όταν έγινε εκτροφή του *T. molitor* σε δίαιτες που ήταν χαμηλές σε πρωτεΐνη (12,9-14,4%) και σε δίαιτες υψηλές σε πρωτεΐνη (21,9-22,9%), χαμηλότεροι δείκτες FCR και υψηλότεροι δείκτες ECI καταγράφηκαν στις τελευταίες. Εξ' όσων γνωρίζουμε, αυτή η παρούσα εργασία είναι η πρώτη έρευνα στην οποία αξιολογήθηκαν συγκριτικά ισοπρωτεϊνικές δίαιτες για την ανάπτυξη και την εξέλιξη των προνυμφών του *T. molitor*.

Στα αποτελέσματά μας, ήταν εμφανής η επίδραση της σύνθεσης της διαίτας στην εξέλιξη των προνυμφών, ενώ παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων ισοπρωτεϊνικών διαιτών, όσον αφορά στην προνυμφική ανάπτυξη και την αποδοτικότητα. Παρ' όλο που, όπως λέγεται, «όσο υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο, τόσο καλύτερη ανάπτυξη», στην περίπτωση μας υπήρξαν ορισμένες δίαιτες με χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (A2, A3 και A5) που τελικά είχαν καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στο βάρος, στον ρυθμό ανάπτυξης, στην επιβίωση και στον δείκτη μετατρεψιμότητας της τροφής, συγκριτικά με άλλες δίαιτες υψηλού πρωτεϊνικού περιεχομένου (B2 και B4). Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν πως η σύνθεση μίας διαίτας για έντομα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη της περισσότερους παράγοντες πέρα από το περιεχόμενο της πρωτεΐνης. Μάλιστα, αυτό φάνηκε ακόμα περισσότερο όταν προέκυψαν σημαντικές διαφορές κατά τη σύγκριση της προνυμφικής ανάπτυξης ανάμεσα σε δίαιτες που βρίσκονταν στην ίδια ομάδα, δηλαδή δίαιτες με ίδια περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, και ιδιαίτερα στην ομάδα με περιεκτικότητα 20%.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι δίαιτες που έδωσαν τα χειρότερα αποτελέσματα, όπως B2, B4 και A4, περιείχαν σημαντική ποσότητα (25,5-29%) παραπροϊόντος μπιζελιού (κατηγορία II). Όταν το συγκεκριμένο παραπροϊόν αξιολογήθηκε μόνο του, χωρίς κάποια πηγή υγρασίας, παρατηρήθηκε περιορισμένη ανάπτυξη των προνυμφών (Βιοδοκιμή I), που μπορεί να οφείλεται στην παρουσία ανασταλτικών για την ανάπτυξή τους παραγόντων. Οι Taylor *et al.* (2004), για παράδειγμα, απομόνωσαν τις σαπωνίνες από ένα τεμαχίδιο αλεύρου μπιζελιού, πλούσιο σε πρωτεΐνες. Οι ενώσεις αυτές είναι

γλυκοζίτες και φαίνεται πως έχουν εντομοαπωθητική και εντομοκτόνο δράση απέναντι σε ορισμένα είδη εντόμων (De Geyter *et al.*, 2007, Singha and Kaur, 2018). Αν και η μόνη ανάλυση που έγινε στα παραπροϊόντα ήταν η ανάλυση της θρεπτικής τους σύστασης, και όχι κάποια άλλη περεταίρω, υπάρχει πιθανότητα οι ίδιες ή παρόμοιες ενώσεις να υπάρχουν στα παραπροϊόντα του μπιζελιού που εξετάστηκαν και στη δική μας περίπτωση. Πάντως, αυτό που μπορούμε να προτείνουμε, είναι πως όταν πρόκειται για αξιολόγηση παραπροϊόντων που προορίζονται για την εκτροφή εντόμων, είναι απαραίτητο, πριν τον σχεδιασμό και τη σύνθεση των διαιτών που βασίζονται στα παραπροϊόντα αυτά, να γίνεται μία πρώτη αξιολόγηση του κάθε ενός από τα παραπροϊόντα, ξεχωριστά.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας, η καλύτερη προνυμφική ανάπτυξη και εμφάνιση επιτεύχθηκε στον μάρτυρα με το μίγμα: πίτουρο σιταριού – μαγιά. Η θετική επίδραση της μαγιάς στον ρυθμό ανάπτυξης των προνυμφών του *T. molitor* έχει αποδοθεί στην υψηλή περιεκτικότητα της σε πρωτεΐνη (50% στην έρευνά μας), καθώς επίσης και σε άλλες ενώσεις (όπως η βιταμίνη Β), που δρουν ως διεγέρτες ανάπτυξης και κατανάλωσης τροφής, ενώ έχει παρουσιαστεί σε αρκετά άλλα πειράματα (Davis and Sosulski, 1974, Morales-Ramos *et al.*, 2010, Van Broekhoven *et al.*, 2015). Παρ' όλο που, σε επίπεδο εργαστηρίου, για να έχουμε αποδοτικότερη παραγωγή *T. molitor* είναι δυνατόν να προστεθεί μαγιά, σε εμπορική και βιομηχανική κλίμακα κάτι τέτοιο δεν είναι ούτε πρακτικό, ούτε οικονομικό. Αντιθέτως, σε ορισμένες δίαιτες που βασίζονται σε παραπροϊόντα επιτεύχθηκε αποτελεσματική παραγωγή εντόμων με χαμηλό κόστος.

Η εκμετάλλευση των οργανικών υπολειμμάτων, εκτός από τη συνεισφορά της στην οικονομική απόδοση της παραγωγής εντόμων, μπορεί σταδιακά να ενισχύσει το βιώσιμο προφίλ της εκτροφής εντόμων (Van Huis and Oonincx, 2017, Madau *et al.*, 2020). Μετατρέποντας τα οργανικά απόβλητα σε πρωτεΐνες εντόμων, η εκτροφή εντόμων προσφέρει έναν βιώσιμο τρόπο για την επαναφορά πολύτιμων πόρων στο οικονομικό κύκλωμα, που είναι πλήρως ευθυγραμμισμένος με στρατηγικές κυκλικής οικονομίας για τη διαχείριση οργανικών αποβλήτων, οι οποίες προωθούνται δυναμικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση (European Commission, 2014, 2020). Ωστόσο, η χρήση οργανικών παραπροϊόντων για την εκτροφή εντόμων μπορεί να είναι επωφελής, όσον

αφορά στη βιωσιμότητα και στην οικονομική αποδοτικότητα, μόνο όταν παράγονται τοπικά. Η τοπική παραγωγή εντόμων με δίαιτες που βασίζονται σε παραπροϊόντα θα μπορούσε να ανακουφίσει την εξάρτηση των γεωργικών συστημάτων καλλιέργειας από εισαγόμενες πηγές πρωτεϊνών, αυξάνοντας έτσι τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητά τους. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στις μέρες μας, που η συνεχιζόμενη πανδημία του ιού Corona αποκάλυψε πόσο εύθραυστος και ευάλωτος είναι ο τομέας της γεωργίας και των τροφίμων σε γρήγορες διαταραχές των αλυσίδων εφοδιασμού.

Η διαθεσιμότητα του νερού, με τη μορφή φετών καρότου, βελτίωσε σημαντικά την απόδοση των εντόμων στον τομέα της επιβίωσης, της ταχύτητας ανάπτυξης, καθώς και τους ρυθμούς ανάπτυξης και μετατροπής τροφών, στη μελέτη αυτή. Τα παραπροϊόντα στα οποία παρατηρήθηκε μόνο κακή ανάπτυξη προνυμφών, όταν προσφέρθηκαν ως μεμονωμένα συστατικά χωρίς πηγή υγρασίας (π.χ. βαμβακόπιτα, άλευρο από βαμβακόσπορους, ηλιάλευρο, στη Βιοδοκιμή I), ήταν σε θέση να υποστηρίξουν αποτελεσματικά την ανάπτυξη προνυμφών όταν προσφέρονται με τη μορφή δίαιτας, που βασίζεται στο προϊόν, μαζί με τα καρότα. Τα ευρήματα αυτά, συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες, που συσχέτιζαν την καλύτερη εξέλιξη των προνυμφών όταν η δίαιτα συμπληρωνόταν με φέτες καρότου, ως παροχή νερού (Fraenkel 1950, Urs and Hopkins, 1973, Oonincx *et al.*, 2015). Βασιζόμενοι στα παραπάνω αλλά και στη σκέψη της τυποποίησης των μεθόδων αξιολόγησης των διαιτών και των συστατικών για την εκτροφή των προνυμφών του *T. molitor*, όπως έχει ήδη γίνει για το *H. illucens* (Bosch *et al.*, 2019b), θα μπορούσαμε να προτείνουμε την συμπερίληψη μίας πηγής υγρασίας (π.χ. καρότο, πατάτα κ.λπ.) στο πειραματικό πρωτόκολλο, αφού διαφορετικά, πολύτιμα υποστρώματα για την εκτροφή προνυμφών θα μπορούσαν να έχουν υποτιμηθεί και να παραμείνουν ανεκμετάλλευτα.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματά μας, υποδεικνύουν την καταλληλότητα ορισμένων γεωργικών παραπροϊόντων, που παράγονται τοπικά στην Ελλάδα, για την ανάπτυξη και την εκτροφή προνυμφών *T. molitor*. Επιπλέον, για πρώτη φορά αξιολογήθηκαν συγκριτικά ισοπρωτεϊνικές δίαιτες εντόμων και τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η σύνθεση μίας δίαιτας δεν σχετίζεται μόνο με την περιεχόμενη σε αυτήν πρωτεΐνη, αλλά φτάνει πολύ πιο μακριά. Η μελέτη αυτή στοχεύει στο να συμβάλει στην εφαρμογή των

προσεγγίσεων κυκλικής οικονομίας στην καλλιέργεια εντόμων σε τοπικό επίπεδο.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Μπουχέλος Κ. (2005), Έντομα αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Αθήνα.

Μπουχέλος Κ. (2018), Έντομα αποθηκών και τροφίμων, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ, Αθήνα.

Τζανακάκης Μ. (1980), Μαθήματα Εφαρμοσμένης Εντομολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Alexandratos N., Bruinsma J. (2012), *World Agriculture towards 2030/2050*, Agricultural Development Economics (ESA) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Anastasaki E., Aggelakopoulos K., Kontodimas D. C. (2015), Growth performance and chemical composition of larvae of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), *Integrated Protection of Stored Products*, 111, 527-530.

Ao X., Yoo J. S., Wu Z. L., Kim I. H. (2020) Can dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae replace fish meal in weaned pigs?, *Livestock Science*, 239.

Arru B., Furesi R., Gasco L., Madau F. A., Pulina P. (2019), The Introduction of Insect Meal into Fish Diet: The First Economic Analysis on European Sea Bass Farming. *Sustainability*, 11.

Baeverfjord G., Krogdahl A. (1996), Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish, *Journal of Fish Diseases*, 19, 375-387.

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.

Belghit I., Liland N. S., Waagbø R., Biancarosa I., Pelusio N., Li Y., Krogdahl A., Lock E. J. (2018), Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Aquaculture*, 491, 72-81.

Berners - Lee M., Kennelly C., Watson R. (2018), Current global food production is sufficient to meet human nutritional needs in 2050 provided there is radical societal adaptation, *Elementa Science of the Anthropocene*, 6, 52.

Biasato I., Gasco L., De Marco M., Renna M., Rotolo L., Dabbou S., Capucchio M. T., Biasibetti E., Tarantola M., Sterpone L., Cavallarin L., Gai F., Pozzo L., Bergagna S., Dezzutto D., Zoccarato I., Schiavone A. (2018), Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chickens: Effects on growth performance, gut morphology and histological findings, *Poultry Science*, 97, 540-548.

Biasato I., Renna M., Gai F., Dabbou S., Menegu M., Perona G., Martinez S., Barroeta Lajusticia A. C., Bergagna S., Sardi L., Capucchio M. T., Bressan E., Dama A., Schiavone A., Gasco L. (2019) Partially defatted black soldier fly larva meal inclusion in piglet diets: Effects on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10.

Bleakley S., Hayes M. (2017), Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production, *Foods*, 6, 33.

Boland M. J., Rae A. N., Vereijken J. M., Meuwissen M. P. M., Fischer A. R. H., Van Boekel M. A. J. S., Rutherford S. M., Gruppen H., Moughan P. J., Hendriks W. H. (2013), The future supply of animal-derived protein for human consumption, *Trends in Food Science and Technology*, 29 (1), 62-73.

Borrello M., Lombardi A., Pascucci S., Cembalo L. (2016), The seven challenges for transitioning into a bio-based circular economy in the agri-food sector, *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, 8, 39-47.

Bosch G., Oonincx D. G. A. B., Jordan H. R., Zhang J., van Loon J. J. A., van Huis A., Tomberlin J. K. (2019b), Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae, *Journal of Insects as Food and Feed*, 6, 95 – 109

Bradbear N. (2009), *Bees and their role in forest livelihoods: a guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, processing and marketing of their products*, Non-Wood Forest Products Series 19, FAO, Rome.

Bradley S. W., Sheppard D. C. (1984) House fly oviposition inhibition by larvae of *Hermetia illucens*, the black soldier fly, *Journal of Chemical Ecology*, 10, 853-859.

- Brar S. K., Verma M., Tyagi R. D., Valéroand J. R., Surampalli R. Y.** (2008) Wastewater sludges as novel growth substrates for rearing codling moth larvae, *World Journal of Microbiology Biotechnology*, 24, 2849-2857.
- Bryant C., Barnett J.** (2018), Consumer acceptance of cultured meat: a systematic review, *Meat Science*, 143, 8-17.
- Bukkens S. G. F.** (1997), The nutritional value of edible insects, *Ecology of Food and Nutrition*, 36 (2-4), 287-319
- Bukkens S. G. F.** (2005), Insects in the human diet: nutritional aspects, In M.G. Paoletti, ed. Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development, pp. 545–577., Science Publishers, New Hampshire.
- Calloway DH** (1974), The place of single cell protein in man's diet, In Single Cell Protein pp. 129–146 [P Davis, editor], New York: Academic Press.
- Cheng A., Raai M. N., Zain N. A. M., Massawe F., Singh A., Wan-Mohtar W. A. A. Q. I.** (2019), In search of alternative proteins: unlocking the potential of underutilized tropical legumes, *Food Security*, 11, 1205–1215.
- Cohen A. C.** (2003), *Insect Diets: Science and Technology*, CRC Press, London, UK.
- Cotton R.T.** (1963), *Pests of Stored Grain and Grain Products*, p. 318, Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minnesota.
- Davis G. R. F., Sosulski F. W.** (1974) Nutritional quality of oilseed protein isolates as determined with larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L., *The Journal of Nutrition*, 104, 1172–1177.
- De Geyter E., Lambert E., Geelen D., Smagghe G.** (2007), Novel advances with plant saponins as natural insecticides to control pest insects, *Pest Technology*, 1, 96–105.
- Dunlop M. V., Kilroe S. P., Bowtell J. L., Finnigan T. J. A., Salmon D. L., Wall B. T.** (2017), Mycoprotein represents a bioavailable and insulinotropic non-animal-derived dietary protein source: a dose-response study. *British Journal of Nutrition*, 118, 673–685.
- Erickson M. C., Islam M., Sheppard C., Liao J., Doyle M. P.** (2004), Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* in chicken manure by larvae of the black soldier fly, *Journal of Food Protection*, 67, 685-690.

FAO (2009), *How to Feed the World in 2050, Proceedings of the Expert Meeting Feed World 2050*, FAO HqrsQ: Rome, Italy.

FAO, (2011c), *State of food and agriculture 2010-2011, Women in agriculture: closing the gender gap for development*, Rome.

FAO, 2001, *The State of Food Insecurity in the World, Food insecurity: when people live with hunger and fear starvation*, Rome.

FAO, Food Agriculture Organization of the United Nations (2012), **FAOSTATS**: Rome, Italy.

Finnigan T. J. A. (2011) Mycoprotein: origins, production and properties, in *Handbook of Food Proteins*, p. 335–352 [Phillips G. O. and Williams P. A., editors], Cambridge: Woodhead Publishing.

Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy Emily S., Gerber James S., Johnston Matt Mueller Nathaniel D., O’Connell C., Ray D. K., West P. C., Balzer C., Bennett E. M., Carpenter S. R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockstrom J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D. P. M., (2011), Solutions for a cultivated planet, *Nature*, 478, 337–342.

Foresight (2011) *The Future of Food and Farming: Challenges and Choices for Global Sustainability, Final Project Report*, The Government Office for Science, London.

Fraanje W., Garnett T. (2020), Soy: food, feed, and land use change (Foodsource: Building Blocks). *Food Climate Research Network*, University of Oxford. <https://www.leap.ox.ac.uk/article/soy-food-feed-and-land-use-change> (accessed December 2020).

Fraenkel G. (1950). The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera), *Physiological Zoology*, 23, 92–108.

Garcia-Vaquero M., Hayes M. (2016), Red and green macroalgae for fish and animal feed and human functional food development, *Food Reviews International*, 32, 15–45.

Gasco L., Finke M., van Huis A. (2018), Can diets containing insects promote animal health?, *Journal Insects Food Feed*, 4, 1–4.

Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. (2018), Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds, In *Feeds for the Aquaculture Sector-Current Situation and Alternative Sources*, *Springer Briefs in Chemistry of Food*, 1–28, Cham: Springer.

- Gasco L., Henry M., Piccolo G., Marono S., Gai F., Renna M., Lussiana C., Antonopoulou E., Mola P., Chatzifotis S.** (2016), *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility, *Animal Feed Science and Technology*, 220, 34-45.
- Gerber G. H.** (1975), Reproductive behaviour and physiology of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): II. Egg development and oviposition in young females and the effects of mating, *The Canadian Entomologist*, 107, 551-559.
- Gerber P. J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., Tempio G.** (2013), *Tackling Climate Change Through Livestock – A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Ghalyand A. E., Alkoaik F. N.** (2009), The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4 (4), 319-331.
- Gilani G. S., Xiao C. W., Cockell K. A.** (2012), Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality, *British Journal of Nutrition*, 108, S315–S332.
- Gorissen S. H. M., Witard O. C.** (2018), Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults, *Proceedings on the Nutrition Society*, 77, 20–31.
- Grau T., Vilcinskis A., Joop G.** (2017), Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed, *De Gruyter*.
- Green K., Pearsall D.** (2016), Fishmeal and fish oil facts and figures, *Seafish*, (December) Edinburgh.
- Halimi R. A., Barkla B. J., Mayes S., King G. J.** (2019), The potential of the underutilized pulse bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) for nutritional food security, *Journal of Food Composition and Analysis*, 77, 47–59.
- Hardy R. W.** (2010), Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal, *Aquaculture Research*, 41, 770–776.
- Harsányi E., Juhász C., Kovács E., Huzsvai L., Pintér R., Fekete G., Varga Z.I., Aleksza L., Gyuricza C.** (2020), Evaluation of organic wastes as substrates for rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta*

domesticus larvae as alternative feed supplements, *Insects*, 11, 604, doi:10.3390/insects11090604.

Haupt M., Vadenbo C., Hellweg S. (2017), Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System, *Journal of Industrial Ecology*, 21, 615-627.

Heidari-Parsa S., Imani S., Fathipour Y., Kheiri F., Chamani M. (2018), Determination of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) nutritional value as an animal and human food supplementation, *Arthropods*, 7 (4), 94-102.

Henchion M., Hayes M., Mullen A., Felon M., Tiwari B. (2017), Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium, *Foods*, 6, 53.

Henry M. A., Gasco L., Chatzifotis S., Piccolo G. (2018), Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Developmental Comparative Immunology*, 81, 204-209.

Herrero M., Henderson B., Havlík P., Thornton P. K., Conant R. T., Smith P., Wirsenius S., Hristov A. N., Gerber P., Gill M. (2016), Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector, *Nature Climate Change*, 6, 452-461.

Herrero M., Thornton P. K. (2013) Livestock and global change: emerging issues for sustainable food systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 110, 20878-20881.

House H. (1961), Insect nutrition, *Annual Review of Entomology*, 6, 13–26.

Hu H., Kortner T. M., Gajardo K., Chikwati E., Tinsley J., Krogdahl Å. (2016), Intestinal fluid permeability in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) is affected by dietary protein source, *PLOS ONE*, 11.

Jin X. H., Heo P. S., Hong J. S., Kim N. J., Kim Y. Y. (2016) Supplementation of dried mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on Growth performance, nutrient digestibility and blood profiles in weaning pigs, *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 29 (7), 979-986.

Jongema Y. (2017), List of edible insect species of the world, Laboratory of Entomology, Wageningen UR, Wageningen, the Netherlands.

- Khatoon H., Banerjee S., Guan Yuan G. T., Haris N., Ikhwanuddin Mhd, Ambak M. A., Endut A.** (2016), Biofloc as a potential natural feed for shrimp postlarvae, *International Biodeterioration Biodegradation*, 113, 304–309.
- Kim S. Y., Kim H. G., Yoon H. J., Lee K. Y., Kim N. J.** (2017), Nutritional analysis of alternative feed ingredients and their effects on the larval growth of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Entomological Research*, 47, 194–202.
- Kirk C. K., Paul T., Melvin A. L., Christopher C. C.** (2000), Increasing the calcium content of mealworms (*Tenebrio molitor*) to improve their nutritional value for bone mineralization of growing chicks, *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 31 (4), 512-517.
- Ko H., Kim Y., Kim J.** (2020), The produced mealworm meal through organic wastes as a sustainable protein source for weanling pigs, *Journal of Animal Science and Technology*, 62, 365-373.
- Kumar P., Chatli M. K., Mehta N., Singh P., Malav O. P., Verma A. K.** (2017), Meat analogues: health promising sustainable meat substitutes, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 923-932.
- Lamsal B., Wang H., Pinsiroadom P., Dorsey A. T.** (2019), Applications of Insect - Derived Protein Ingredients in Food and Feed Industry, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96, 105-123.
- Li Q., Zheng L., Cai H., Garza E., Yu Z., Zhou S.** (2011), From organic waste to biodiesel: black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible, *Fuel*, 90, 1545–1548.
- Liu Q., Tomberlin J. K., Brady J. A., Sanford M. R., Yu Z.** (2008), Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure, *Environmental Entomology*, 37, 1525-1530.
- Lock E. R., Arsiwalla T., Waagbø R.** (2016) Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt, *Aquaculture Nutrition*, 22, 1202–1213.
- Lukiwati J. D. R.** (2010), Teak caterpillars and other edible insects in Java, In Durst P. B., Johnson D. V., Leslie R.L., Shono K., eds, *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, p. 99-103, Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Lupatine A. L., Colla L. M., Canan C., Colla E. (2017), Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 724–732.

Madau F. A., Arru B., Furesi R., Pulina P. (2020), Insect farming for feed and food production from a circular business model perspective, *Sustainability*, 12, 5418, doi: 10.3390/su12135418.

Madau F. A., Arun B., Furesi R., Paulina P. (2020), Insect Farming for Feed and Food Production from Circular Business Model Perspective, *Sustainability*, 12.

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

Malav O. P., Talukder S., Gokulakrishnan P., Chand S. (2015), Meat analog: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55, 1241–1245.

Mancini S., Fratini F., Turchi B., Mattioli S., Dal Bosch A., Tuccinardi T., Nozic S., Paci G. (2019), Former Foodstuff Products in *Tenebrio molitor* Rearing: Effects on Growth, Chemical Composition, Microbiological Load, and Antioxidant Status, *Animals*, 9 (8), 448.

Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y. (2012), A global assessment of the water footprint of farm animal products, *Ecosystems*, 15, 401–415.

Morales - Ramos J. A., Kay S., Rojas M. G., Shapiro - Ilan D. I., Tedders W. L. (2015), Morphometric analysis of instar variation in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Annals of the Entomological Society of America*, 108, 146-159.

Morales - Ramos J. A., Rojas M. G. (2015), Effect of larval density on food utilization efficiency of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Journal of economic entomology*, 108, 2259-2267.

Morales-Ramos J. A., Rojas M. G., Shapiro-Ilan D. I., Tedders W. L. (2010), Developmental plasticity in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): analysis of instar variation in number and development time under different diets, *Journal of Entomological Science*, 45, 75–90.

Mubaiwa J., Fogliano V., Chidewe C., Linnemann A. R. (2017), Hard-to-cook phenomenon in Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.)

processing: options to improve its role in providing food security, *Food Reviews International*, 33, 147–194.

Nangu A., Bhatia R. (2013), Microorganisms: a marvellous source of single cell protein, *Journal Microbiology Biotechnology and Food Science*, 3, 15–18.

Nelson G. C., Rosegrant M. W., Robertson R., Sulser T., Zhu T., Ringler C., Msangi S., Palazzo A., Batka M., Magalhaes M., Valmonte-Santos Rowena, Ewing M., Lee D. (2009), *Climate change: Impact of Agriculture and Costs of Adaptation*, Food Policy Report, p., Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.

Ng W. K., Liew F. L., Ang L. P., Won K. W. (2001), Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*, *Aquaculture Research*, 32, 273-280.

Ocio E., Viñaras R., Rey J. M. (1979) Housefly larvae meal grown on municipal organic waste as a source of protein in poultry diets, *Animal Feed Science and Technology*, 4, 227–231.

Oonincx D. G. A. B., Van Broekhoven S., Van Huis A., Van Loon, J. J. A. (2015), Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products, *PLoS One*, 10.

Panini R. L., Freitas L. E. L., Guimarães A. M., Rios C., da Silva M. F. O., Vieira F. N., Fracalossi D. M., Samuels R. I., Prudêncio E. S., Silva C. P., Amboni R. D. M. C. (2017), Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: digestibility and performance, *Aquaculture*, 473, 115–120.

Patel S., Suleria H. A. R., Rauf A. (2019), Edible insects as innovative foods: Nutritional and functional assessments, *Trends in Food Science and Technology*, 86, 354-259.

Payne C. L., Scarborough P., Rayner M., Nonaka K. (2016), Are edible insects more or less “healthy” than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition, *European Journal of Clinical Nutrition*, 70, 285-291.

Pieterse E., Erasmus S. W., Uushona T., Hoffman L. C. (2019), Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a dietary protein source for broiler

production ensures a tasty chicken with standard meat quality for every pot, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 893–903.

Pimentel D., Pimentel M. (2003), Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78 (3), 660S-663S.

Plata - Rueda A., Martínez L. C., Dos Santos M. H., Fernandes F. L., Wilcken C. F., Soares M. A., Sarrão J. E., Zanuncio J. C. (2017), Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae), *Scientific Reports*, 7.

Premalatha M., Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S. A. (2011), Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (9), 4357-4360.

Pretorius, Q. (2011), The evaluation of larvae of *Musca domestica* (common house fly) as protein source for broiler production, Stellenbosch University, Stellenbosch.

Ramos - Elorduy J. (2009), Anthro-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability, *Entomological Research*, 39 (5), 271-340.

Ramos-Elorduy J., Gonzalez E. A., Hernandez A. R., Pino J. M. (2002), Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens, *Journal of Economic Entomology*, 95, 214-220.

Ritala A., Häkkinen S. T., Toivari M., Wiebe M. G. (2017), Single cell protein-state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016, *frontiers in Microbiology*, 8, 2009.

Roncarati A., Gasco L., Parisi G., Terova G. (2015), Growth performance of common catfish (*Ameiurus Melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet, *Journal of Insects as Food and Feed*, 1, 233-240.

Rosegrant M. W., Paisner M. S., Meijer S., Witcover J. (2001), *2020 Global Food Outlook Trends, Alternatives, and Choices*, International Food Policy Research Institute (August), Washington DC.

Rumbos C. I., Karapanagiotidis I. T., Mente E., Psafakis P., Athanassiou C. G. (2020), Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*, *Scientific Reports*, 10.

Ruschioni S., Loreto N., Foligni R., Mannozi C., Raffaelli N., Zamporlini F., Pasquini M., Roncolini A., Cardinali F., Osimani A., Aquilanti L., Isidoro N., Riolo P., Mozzon M. (2020) Addition of olive pomace to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae. *Foods*, 9, 317, doi:10.3390/foods9030317.

Salter A. M. (2016), Improving the sustainability of global meat and milk production, *Proceedings of the Nutrition Society*, 76, 22-27.

Salter A. M., Lopez - Viso C. (2021), Role of novel protein sources in sustainably meeting future global requirements, *Proceedings of the Nutrition Society*, 1-9.

Sampels S. (2014), Towards a more sustainable production of fish as an important protein source for human nutrition, *Journal of Fisheries and Livestock Production*, 2, 119.

Schabel H. G. (2010), *Forest insects as food*, In P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. and K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back*, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Schreuders F. K. G., Dekkers B. L., Bodnar I., Erni P., Boom M. R., Goot A. J. (2019), Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation, *Journal of Food Engineering*, 261, 32-39.

Shafique L., Abdel-Latif H. M. R., Hassan F., Alagawany M., Naiel M. A. E., Dawood M. A. O., Yilmaz S., Liu Q. (2021), Review: The Feasibility of Using Yellow Mealworms (*Tenebrio molitor*): Towards a Sustainable Aquafeed Industry, *Animals*, 11.

Shenggen Fan, Rajul Pandya - Lorch (2020), *Reshaping Agriculture for Nutrition and Health*, p. 213, Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.

Sheppard D. C. (1983), Housefly and lesser fly control utilizing the black soldier fly in manure management systems for caged laying hens, *Environmental Entomology*, 12, 1439-1442

Sheppard D. C., Newton G. L., Burtle, G. J. (2007), Black Soldier Fly Prepupae A Compelling Alternative to Fish Meal and Fish Oil, *National Marine Fisheries Service*, 5.

- Sheppard D. C., Newton G. L., Thompson S. A., Savage S.** (1994), A value added manure management system using the black soldier fly, *Bioresource Technology*, 50, 275-279.
- Shu W. T., Kok S. L., Jiun Y. L.** (2018), Effects of food wastes on yellow mealworm *Tenebrio molitor* larval nutritional profiles and growth performances, *Examines in Marine Biology and Oceanography*, 2, doi: 10.31031/EIMBO.2018.02.000530.
- Shurson G. C.** (2017), Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: sources, characteristics, animal responses, and quantification methods, *Animal Feed Science and Technology*, 235, 60–76.
- Singha B., Kaur A.** (2018), Control of insect pests in crop plants and stored food grains using plant saponins: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 93–101.
- Spranghers T., Michiels J., Vrancx J., Owyn A., Eeckhout M., De Clercq P., De Smet S.** (2018) Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets, *Animal Feed Science and Technology*, 235, 33-42.
- St. Hilaire S., Cranfill K., McGuire M. A., Mosley E. E., Tomberlin J. K., Newton L., Sealey W., Sheppard C., Irving S.** (2007), Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids, *Journal of the World of Aquaculture Society*, 38, 309-313.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C.** (2006), *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- Stull V. J., Kersten M., Bergmans R. S., Patz J. A., Paskewitz S.** (2019), Crude protein, amino acid, and iron content of *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae) reared on an agricultural byproduct from maize production: an exploratory study, *Annals of the Entomological Society of America*, 112, 533–543.
- Tanzi A. S., Eagleton G. E., Ho W. K., Wong Q. N., Mayes S., Massawe F.** (2019), Winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.) for food and nutritional security: synthesis of past research and future direction, *Planta*, 250, 911–931.

Taylor W. G., Fields P. G., Sutherland D. H. (2004), Insecticidal components from field pea extracts: Soyasaponins and lysolecithins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 7484–7490.

Tillman D., Clark M. (2014), Global diets link environmental sustainability and human health, *Nature*, 515, 518-522.

Trostle R. (2008), Global agricultural supply and demand: factors contributing to the recent increase in food commodity prices, *Report of Economic Research Service*.

Urs K. C. D., Hopkins T. L. (1973), Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 8, 291–297.

Van Broekhoven S., Oonincx D. G. A. B., van Huis A., van Loon J. J. A. (2015), Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products, *Journal of Insect Physiology*, 73, 1–10.

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, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 662-678.

Van Huis A. (2013), Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security, *Annual Review of Entomology*, 58, 563-583.

Van Huis A. (2019), Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review, *Journal of Insects as food and feed*, 6 (1), 27-44.

Van Huis A., Oonincx D. G. A. B. (2017), The environmental sustainability of insects as food and feed. A review, *Agronomy of Sustainable Development*, 37.

Veldkamp T., van Duinkerken G., van Huis A., Lakemond C. M. M., Ottevanger E., Bosch G., van Boekel M. A. J. S. (2012), *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - A feasibility study*, In Rapport 638 - Wageningen Livestock Research, Wageningen UR Livestock Research, Wageningen.

Westendorf M. L., Wohlt J. E. (2002), Brewing by-products: their use as animal feeds, *Veterinary Clinics of North America Food Animal Practice*, 18, 233-252.

Willett W, Rockström J, Loken B et al. (2019), Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems, *Lancet*, 393, 447-492.

Xiaoming C., Ying F., Hong Z., Zhiyong C. (2010), Review of the nutritive value of edible insects, In P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. and K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.

Xiaoming C., Ying F., Hong Z., Zhiyong C. (2010), Common edible wasps in Yunnan Province, China and their nutritional value, In Durst P. B., Johnson D. V., Leslie R.L., Shono K., eds, *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, p. 93-98, FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.

Yen A. L. (2010), Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects, In Durst P. B., Johnson D. V., Leslie R.L., Shono K., eds, *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, p. 65-84, FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.

Zou Z., Ringo E., Olsen R. E., Song S. K. (2017), Dietary effects of soybean on gut microbiota and immunity of aquatic animals: a review, *Aquaculture Nutrition*, 24, 644-665.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

IPIFF:

http://ipiff.org/wp-content/uploads/2018/11/Webversion_IPIFF_Sustainability-consult_Brochure-31-10-1.pdf (accessed on 10 June 2020)

European Commission (2014), Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0398> (accessed on 9 October 2020).

European Commission (2020), A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. Available online: <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy> (accessed on 9 October 2020).

IndexMundi:

<https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=soybean-meal&graph=production> (accessed on 10 June 2020)

Yellow mealworm powder:

<https://www.bugfarmfoods.com/shop/insect-powder-yellow-mealworm>
(accessed on 10 June 2020)

Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:02001R0999-20201119&from=EN>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2021%3A194%3AFULL&uri=uriserv%3AOJ.L.2021.194.01.0016.01.ELL>

(accessed on 10 June 2020)