



# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ

ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

**ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**Αξιοποίηση παραπροϊόντων του καθαρισμού των σπόρων  
δημητριακών και ψυχανθών για την εκτροφή των εντόμων**

***Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus***

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΜΠΛΙΑΜΠΛΙΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΑΕΜ: 01912**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ**

Βόλος, Ιούνιος 2022

# Περιεχόμενα

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	3
1.1 Τα έντομα ως πηγή τροφής για τον άνθρωπο και τα ζώα .....	4
1.2 Άλλες χρήσεις εντόμων για τον άνθρωπο.....	7
1.3 Πρωτόκολλα μαζικής εκτροφής εντόμων.....	10
1.3.1 Πλεονεκτήματα.....	15
1.3.2 Μειονέκτημα.....	19
1.4 Κυριότερα είδη εντόμων για κατανάλωση.....	21
1.5 Εκτροφή εντόμων και κυκλική οικονομία .....	25
1.6 Σκοπός της παρούσας εργασίας.....	28
<b>2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	28
2.1 Έντομα.....	28
2.2 Παραπροϊόντα.....	29
2.3 Πειραματικός σχεδιασμός.....	33
2.4 Στατιστική ανάλυση.....	35
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	36
3.1 <i>Tenebrio molitor</i> .....	36
3.2 <i>Alphitobius diaperinus</i> .....	41
<b>4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	47
<b>5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	50
<b>6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	51

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού τα τελευταία χρόνια οδηγεί στην αύξηση των αναγκών για τρόφιμα. Ταυτόχρονα, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου οδηγεί στην κατανάλωση τροφίμων υψηλής θρεπτικής αξίας. Αυτή η αύξηση όμως της ζήτησης σε ποιοτικά τρόφιμα οδηγεί και σε ανάγκη για αναζήτηση νέων πηγών τροφίμων.

Από τα θρεπτικά συστατικά το σημαντικότερο θρεπτικό συστατικό είναι οι πρωτεΐνες που αποτελούν το κυριότερο δομικό συστατικό του οργανισμού. Οι κύριες πηγές τροφίμων και πρωτεϊνών είναι οι ζωικές και οι φυτικές πηγές. Οι ζωικές πηγές πρωτεϊνών, όπως τις γνωρίζουμε μέσα από την παραδοσιακή κτηνοτροφία, αποτελούν μία μη βιώσιμη πλέον πηγή πρωτεϊνών λόγω των αρνητικών επιδράσεων της παραγωγής τους στα οικοσυστήματα, όμως αποτελούν σήμερα την κύρια πηγή πρωτεϊνών με τη μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα. Οι φυτικές πηγές πρωτεϊνών αποτελούν μία πιο βιώσιμη πηγή πρωτεϊνών. Όμως παρουσιάζουν χαμηλή διαθεσιμότητα. Στα πλαίσια αυτά, τα έντομα σαν πηγή πρωτεϊνών και θρεπτικών συστατικών είναι μία βιώσιμη εναλλακτική που κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος αποτελώντας μία καλή διατροφική πηγή για την παραγωγή ζωοτροφών αλλά και τροφίμων για ανθρώπινη κατανάλωση.

Στην παρούσα έρευνα αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών των εντόμων *Tenebriomolitor* και *Alphitobiusdiaperinus* σε υποπροϊόντα του καθαρισμού σπόρων δημητριακών και ψυχανθών. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως αρκετά από τα υποστρώματα που αξιολογήθηκαν ήταν κατάλληλα για την ανάπτυξη και των ειδών εντόμων. Πιο καλά αποτελέσματα όμως όσον αφορά στην ανάπτυξη των προνυμφών έδωσαν τα υποπροϊόντα λούπινου και τριτικάλε. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακή εργασίας στοχεύουν στην αύξηση της αειφορικότητας της εκτροφής εντόμων καθώς και στην ενσωμάτωση διαφόρων πρακτικών κυκλικής οικονομίας στην εκτροφή εντόμων.

## **ABSTRACT**

Global population growth in recent years has led to an increase in food needs. At the same time, improving living standards leads to the need to consume foods of high nutritional value. However, this increase in demand for quality food also leads to the need to search for new food sources.

Among the nutrients, proteins that are the main structural component of the body. The main sources of food and subsequently protein are animal and plant sources. Animal protein sources are currently a non-viable source of protein, due to the negative effects of their production on ecosystems; however, they are the main source of proteins with high bioavailability. Plant protein sources are a more sustainable source of protein, they have low availability though. In this context, insects as a source of protein are a viable alternative that is gaining more and more interest, being a good source of nutrients for the production of both feed and food.

In the present study, I evaluated the growth of *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* larvae on by-products of the cereal and legume seed cleaning process. The results of this work show that most of the by-products tested supported the larval growth of both insect species. However, larvae grew better when fed with lupin and triticale by-products. These results aim to enhance the sustainability profile of insect production and integrate insect farming with circular economy practices.

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα έντομα υπάρχουν στη γη για τουλάχιστον 400 εκατομμύρια χρόνια, καθιστώντας τα μεταξύ των πρώτων χερσαίων ζώων που εμφανίστηκαν στον πλανήτη μας. Διαφοροποιήθηκαν ως μερικές από τις μεγαλύτερες τάξεις αρθροπόδων πριν από περίπου 390 εκατομμύρια χρόνια κι έκτοτε εξελίσσονται με ταχείς ρυθμούς, ταχύτερους από οποιαδήποτε άλλη ταξινομική ομάδα. (Bernard et al., 2017)

Λόγω της διατροφικής σημασίας των βρώσιμων εντόμων και της τεράστιας διαθεσιμότητάς τους, στις μέρες μας περισσότερα από δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι έχουν εντάξει στις καθημερινές διατροφικές τους συνήθειες τα έντομα για να καλύψουν ένα μέρος των διατροφικών τους αναγκών. (Bernard et al., 2017)

Πάνω από 1900 είδη βρώσιμων εντόμων σε 300 εθνοτικές ομάδες σε 113 χώρες παγκοσμίως καταγράφονται από διάφορους ερευνητές και αποτελούν μέρος της ανθρώπινης διατροφής. Σύμφωνα με τους Van Huis et al. ,246 είδη βρώσιμων εντόμων έχουν αναφερθεί σε 27 χώρες της Αφρικής. Μια άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε 2 χρόνια αργότερα από τον Ramos-Elorduy σημείωσε ότι η Αφρική είναι ένα από τα πιο σημαντικά σημεία βιοποικιλότητας των βρώσιμων εντόμων στον κόσμο με 524 είδη καταγεγραμμένα σε 34 αφρικανικές χώρες. Αυτά τα είδη είναι κυρίως των τάξεων Orthoptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera και Isoptera.

Η κατανάλωση εντόμων μπορεί να λύσει το σοβαρό πρόβλημα της πείνας και του υποσιτισμού. Η πείνα και ο υποσιτισμός είναι ένα σοβαρό πρόβλημα για τον συνεχώς αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό. Με τον υψηλό ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται ο παγκόσμιος πληθυσμός, η παγκόσμια προσφορά τροφίμων θα πρέπει να αυξηθεί με τον ίδιο ρυθμό, αν όχι γρηγορότερα. Συνεπώς, η αναζήτηση νέων πηγών τροφίμων αποτελεί ένα μείζων θέμα. (Premalatha et al., 2011)

Σε αρκετές περιοχές του κόσμου όπως η Αφρική και η Λατινική Αμερική, οι πόροι τροφίμων γίνονται ολοένα και πιο λιγοστοί με αποτέλεσμα να δημιουργείται η ανάγκη για τον εντοπισμό διαφορετικών πηγών τροφών. Για να ανταποκριθούν αποτελεσματικά όχι μόνο στην ταχεία αύξηση του πληθυσμού αλλά και σε άλλες πιεστικές προκλήσεις, οι ερευνητές έστρεψαν την προσοχή τους στα έντομα όχι μόνο λόγω της αφθονίας, της τεράστιας βιομάζας και της υψηλής ποιότητας πρωτεΐνης, αλλά και λόγω του γεγονότος πως σε αρκετές χώρες του κόσμου τα έντομα καταναλώνονται ήδη σαν πηγή τροφής, παρέχοντας μία μεγάλη ποικιλία θρεπτικών συστατικών, όπως πρωτεΐνες, λιπαρά, βιταμίνες και μέταλλα. (Oliveira et al., 1976)

Ταυτόχρονα, ο οικολογικός ρόλος των εντόμων καθώς και η δυνατότητά τους να αξιοποιούν οργανικά απόβλητα, τα καθιστά εναλλακτικές πηγές προϊόντων διατροφής με μειωμένο περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

### **1.1 Τα έντομα ως πηγή τροφής για τον άνθρωπο και τα ζώα**

Τα έντομα είναι οι πιο άφθονοι και πιο ποικίλοι πολυκύτταροι οργανισμοί στον πλανήτη γη και πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% όλων των ειδών. Πολλές καλλιέργειες βασίζονται σε αυτά για τη γονιμοποίηση και η σημασία τους επεκτείνεται και στα άλλα οφέλη της γεωργικής και ανθρώπινης υγείας.

Πάνω από 1900 είδη εντόμων είναι γνωστό ότι αποτελούν μέρος της ανθρώπινης διατροφής, ενώ περισσότεροι από 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι καταναλώνουν έντομα σε τακτική βάση και η κατανάλωση εντόμων παρέχει ένα σημαντικό ποσοστό της ζωικής πρωτεΐνης που καταναλώνεται σε ορισμένες περιοχές. Στην πραγματικότητα, σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες και μεταξύ διαφόρων πολιτισμών σε όλο τον κόσμο, τα έντομα παραμένουν ακόμα και σήμερα ζωτικής σημασίας τροφή και βασική πηγή πρωτεΐνης, λίπους, μετάλλων και βιταμινών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει αποδειχθεί ότι ορισμένα βρώσιμα έντομα έχουν θρεπτική αξία που μπορεί να συγκριθεί με αυτή του κρέατος, ενώ άλλα έχουν υψηλότερη αναλογία πρωτεϊνών, λίπους και ενεργειακής αξίας. (DeFoliart et al., 1992) Αυτό έχει γίνει ιδιαίτερα σημαντικό καθώς η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών αυξάνεται λόγω της ταχείας αστικοποίησης στις αναπτυσσόμενες χώρες και των μεταβολών στη σύνθεση της. Μεταξύ των σημαντικότερων τάξεων εντόμων που καταναλώνονται στον κόσμο είναι τα Coleoptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera, Odonata και Orthoptera, ως τρόφιμα παγκόσμιας ζήτησης. Αξιοσημείωτα παραδείγματα αυτών είναι μεταξύ άλλων οι ακρίδες, οι τερμίτες, τα σκουλήκια, οι κάμπιες και τα σκαθάρια.

Αν και τα έντομα αναγνωρίζονται κυρίως ως εχθροί και παράσιτα που επηρεάζουν αρνητικά τον άνθρωπο, τα φυτά και την υγεία των ζώων, ωστόσο μπορούν να παίξουν ουσιαστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση της επισιτιστικής ανασφάλειας, πέρα από τις υπηρεσίες που παρέχουν στο οικοσύστημα (όπως επικονίαση, βιοαποικοδόμηση νεκρής οργανικής ουσίας και βιολογική καταπολέμηση-έλεγχος παρασίτων).

Τα έντομα αντιπροσωπεύουν επίσης μια σημαντική πηγή τροφής για μια μεγάλη ποικιλία ζωικών ειδών. Ο ρόλος που παίζουν τα έντομα στην ανθρώπινη διατροφή δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Πολλά στοιχεία υποδεικνύουν ότι τα έντομα είναι μια πολύ θρεπτική και υγιεινή πηγή τροφής με υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά όπως λίπη, πρωτεΐνες, αμινοξέα, υδατάνθρακες, βιταμίνες, λίπη και μέταλλα, απαραίτητα για τη διατροφή των ανθρώπων και των ζώων. Ωστόσο, η διατροφική αξία των βρώσιμων εντόμων παρουσιάζει

μεγάλη ποικιλομορφία ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, τον βιότοπο και τη διατροφή του εντόμου, καθώς και τις μεθόδους προετοιμασίας και επεξεργασίας που εφαρμόζονται πριν από την κατανάλωση.

Με τον παγκόσμιο πληθυσμό να αυξάνεται, υπάρχουν σήμερα περισσότεροι από 3,7 δισεκατομμύρια άνθρωποι που υποφέρουν από υποσιτισμό, κυρίως λόγω έλλειψης πρωτεϊνών και ενέργειας από τα τρόφιμα. (Muller et al., 2005) Επίσης, η αύξηση της γεωργικής γης είναι δύσκολη και παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα (π.χ. αποψίλωση δασών κλπ.). Η κτηνοτροφική παραγωγή είναι πολύ δαπανηρή επειδή απαιτεί μεγάλη εισροή ενέργειας και πολλούς πόρους (π.χ. νερό, έδαφος κλπ.). Επίσης, τα ζώα ανταγωνίζονται για θρεπτικά συστατικά και ενέργεια με τους ανθρώπους. Η χρήση εντόμων ως πηγή πρωτεΐνης θα μπορούσε να ωφελήσει στη διατήρηση των εντόμων μέσω της προστασίας των οικοτόπων. (Steinfeld et al., 2006) Τα έντομα μπορούν να εκμεταλλευτούν μια μεγάλη ποικιλία οργανικών πηγών στη φύση και είναι σε θέση να ανακυκλώνουν οργανικά απόβλητα και να παρέχουν θρεπτικά συστατικά σε ζώα και ανθρώπους. (Myers et al., 2014) Επιπλέον, τα βρώσιμα έντομα έχουν υψηλές ποσότητες ακόρεστου λίπους, το οποίο παρέχει την πλειοψηφία της ενέργειας για τη διατήρηση της ζωής. Ως εκ τούτου, τα βρώσιμα έντομα μπορούν να παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια για τις ζωτικές λειτουργίες και την επιβίωση των οργανισμών. (Bernard et al., 2017)

Οι πρωτεΐνες είναι οργανικές ενώσεις που αποτελούνται από αμινοξέα. Η πρωτεΐνη είναι η βάση κάθε δραστηριότητας του οργανισμού (ένζυμα, ορμόνες και αιμοσφαιρίνη). Οι πρωτεΐνες είναι τα πιο άφθονα βιολογικά μακρομόρια, που απαντώνται σε όλα τα κύτταρα και σε όλα τα μέρη των κυττάρων. Οι πρωτεΐνες εμφανίζονται επίσης σε μεγάλη ποικιλία. Υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικά είδη, που κυμαίνονται σε μέγεθος, από σχετικά μικρά πεπτίδια έως τεράστια πολυμερή με μεγάλα μοριακά βάρη και τα οποία μπορεί να βρεθούν σε ένα μόνο κύτταρο. Επιπλέον, οι πρωτεΐνες παρουσιάζουν τεράστια ποικιλία βιολογικής λειτουργίας. Οι πρωτεΐνες είναι τα μοριακά όργανα μέσω των οποίων εκφράζονται οι γενετικές πληροφορίες. Επομένως, η εξασφάλιση μιας σταθερής πηγής πρωτεΐνης είναι πολύ σημαντική για την παροχή ενέργειας για ανθρώπους και ζώα.

Οι Xiaoming et al. (2010) αξιολόγησαν την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη 100 διαφορετικών ειδών εντόμων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχε μεγάλη παραλλακτικότητα στην περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη, η οποία κυμαινόταν μεταξύ 13–77% επί ξηρού βάρους, ενώ παρατηρήθηκε και μεγάλη διακύμανση μεταξύ και εντός των τάξεων των εντόμων. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι βρώσιμα έντομα έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, από άλλα ζωικά και φυτικά προϊόντα όπως το βόειο κρέας, το κοτόπουλο, το ψάρι, η σόγια και το καλαμπόκι. (Teffo et al., 2007)

Σε πειράματα όπου συγκρίθηκε η περιεκτικότητα πρωτεϊνών σε έντομα, ερπετά, βοοειδή και ψάρια, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των επιλεγμένων ειδών εντόμων ήταν υψηλότερη σε σχέση με αυτή των ψαριών και των θηλαστικών. Αυτό υποδηλώνει έντονα ότι τα έντομα είναι μια σημαντική πηγή πρωτεΐνης και ως εκ τούτου η κατανάλωσή τους θα πρέπει να ενθαρρύνεται. Πολλές μελέτες έχουν επίσης δείξει ότι τα βρώσιμα έντομα είναι σημαντική πηγή αμινοξέων (π.χ. τρυπτοφάνης και λυσίνης). Η συμπερίληψη αυτών των ειδών εντόμων στην ανθρώπινη δίαιτα θα μπορούσε να έχει τεράστιο όφελος για τη συμπλήρωση των θρεπτικών στοιχείων που λαμβάνει ο άνθρωπος από τα βασικά σιτηρά, τα οποία είναι φτωχά σε λυσίνη. (Elemo et al., 2011) Τα λιπαρά και οι υδατάνθρακες είναι σημαντικά θρεπτικά στοιχεία στο ανθρώπινο σώμα, καθώς αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας για τον άνθρωπο. Τα βρώσιμα έντομα είναι επίσης μια καλή πηγή υδατάνθρακων. Στην πραγματικότητα, η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες των βρώσιμων εντόμων μπορεί να φτάσει και το 16% σε κάποια είδη τζιτζικιών. (Raksakantong et al., 2010) Οι υδατάνθρακες στα έντομα σχηματίζονται κυρίως από χιτίνη. Η χιτίνη είναι μια μακρομοριακή ένωση που έχει υψηλή διατροφική και υγειονομική αξία, π.χ. έχει βρεθεί ότι μειώνει τη χοληστερόλη. Επίσης, πρόσφατη έκθεση έδειξε ότι σημαντικές ποσότητες πολυσακχαρίτη σε βρώσιμα έντομα μπορεί να βελτιώσουν την ανοσοποιητική λειτουργία του ανθρώπινου σώματος. (Brinchmann et al., 2011)

Η ανάλυση φυσιολογικών στοιχείων έδειξε ότι τα βρώσιμα έντομα είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία όπως κάλιο και νάτριο (νύμφη γρύλλου), ασβέστιο (γρύλλος), ψευδάργυρο (γρύλλος), μαγγάνιο (γρύλλος) και φώσφορο. (Van Huis et al., 2013) Ως εκ τούτου, τα βρώσιμα έντομα μπορούν να παρέχουν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τις λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος και θα μπορούσαν να καταναλωθούν μαζί με άλλα τρόφιμα και ζώα πλούσια σε άλλα βασικά μέταλλα για να συμπληρώσουν περαιτέρω την ανθρώπινη διατροφή. Οι βιταμίνες είναι μια ομάδα οργανικών ενώσεων που είναι απαραίτητες για τον μεταβολισμό στο ανθρώπινο σώμα. Οι βιταμίνες δεν μπορούν να συντεθούν στο ανθρώπινο σώμα, εξασφαλίζονται για τον άνθρωπο από την κατανάλωση των τροφίμων. Η βιταμίνη C, που ονομάζεται επίσης ασκορβικό οξύ, χρησιμεύει ως αναγωγικός παράγοντας (αντιοξειδωτικό), ενώ η βιταμίνη B περιλαμβάνει συστατικά συνενζύμων. Οι βιταμίνες K και A απαιτούνται για τη φυσιολογική επικάλυψη του αίματος και τη σωστή όραση, αντίστοιχα. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα βρώσιμα έντομα περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιταμινών. Η υψηλή περιεκτικότητα σε βιταμίνες των βρώσιμων εντόμων τα παρουσιάζει ως μια εξαιρετικά δυναμική καλή πηγή συμπληρώματος διατροφής για άτομα και ζώα που έχουν υποστεί υποσιτισμό. (Alamu et al., 2013)



Ταυτόχρονα τα έντομα μπορούν να αποτελέσουν εξαιρετική πηγή θρεπτικών συστατικών για τα ζώα. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι το άλευρο εντόμων μπορεί να είναι μια εξαιρετική αντικατάσταση του ιχθυάλευρου ή του σογιάλευρου στις ζωοτροφές. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022)

## **1.2 Άλλες χρήσεις εντόμων για τον άνθρωπο**

Τα έντομα παρέχουν μια σειρά από οικολογικές υπηρεσίες βασικές για την επιβίωση της ανθρωπότητας. Η χρήση εντόμων ως πηγή πρωτεΐνης θα μπορούσε να ωφελήσει τη διατήρηση των εντόμων μέσω της προστασίας των οικοτόπων. Τα έντομα ανακυκλώνουν επίσης οργανικά απόβλητα και παρέχουν θρεπτικά συστατικά για τα αγροτικά ζώα. (Diener et al., 2011) Πολλά είδη εντόμων είναι απολύτως απαραίτητα για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα έντομα παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάσπαση των αποβλήτων μέχρι να καταστούν κατάλληλα για κατανάλωση από μύκητες και βακτήρια, απελευθερώνοντας έτσι μέταλλα και θρεπτικά συστατικά που γίνονται εύκολα διαθέσιμα στο έδαφος για την απορρόφηση των φυτών, βελτιώνοντας έτσι τη γονιμότητα του εδάφους. Τα σφάγια των ζώων, για παράδειγμα, καταναλώνονται από σκουλήκια μύγας και προνύμφες σκαθαριών.

Ως εκ τούτου, τα έντομα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως αποτελεσματικοί βιομετασχηματιστές για τη μετατροπή άφθονων, χαμηλού κόστους οργανικών αποβλήτων σε ζωική βιομάζα πλούσια σε πρωτεΐνες και κατάλληλα για χρήση στη διατροφή των ζώων.

Τα εδώδιμα έντομα αποτελούσαν εδώ και καιρό σημαντικό διατροφικό παράγοντα και θεραπεία για ασθένειες σε πολλές περιοχές του κόσμου. Οι παραδοσιακοί θεραπευτές έχουν χρησιμοποιήσει τα έντομα ως φάρμακο για τη θεραπεία διαφόρων ασθενειών σε ανθρώπους και ζώα με επιτυχία. Μερικές από αυτές τις ασθένειες περιλαμβάνουν κοινό πυρετό, ψώρα, επιληψία, βίαιους πονοκεφάλους, βρογχίτιδα, αιμορραγία και δάγκωμα σκύλου. Τα έντομα χρησιμοποιούνται επίσης για τη θεραπεία του τραύματος, για την πρόληψη της γάγγραινας και για την αύξηση της ποσότητας γάλακτος σε θηλάζουσες γυναίκες, μεταξύ άλλων. Αυτή η θεραπεία αποτελεί σύγχρονη χρήση σε πολλά νοσοκομεία. Επίσης, χημικές ουσίες που παράγονται από βρώσιμα έντομα κατά των αυτοάνοσων νοσημάτων έχουν επίσης αξιοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για την παραγωγή αντιβακτηριακών και αντικαρκινικών φαρμάκων. Για παράδειγμα, η πιερισίνη, μια πρωτεΐνη, παρουσιάζει κυτταροτοξικές επιδράσεις κατά του γαστρικού καρκίνου. Η κεκροπίνη έχει επίσης αναφερθεί ότι είναι κυτταροτοξική έναντι κυττάρων λεμφώματος θηλαστικών και λευχαιμίας. (Srivastava et al., 2009)

Εκτός από το ότι χρησιμεύουν ως πηγές τροφής, τα βρώσιμα έντομα παρέχουν στους ανθρώπους μια ποικιλία άλλων πολύτιμων προϊόντων. Μια τεράστια ποικιλία ειδών εντόμων είναι γνωστό ότι έχει αξιολογες εμπορικές και φαρμακευτικές αξίες. Για παράδειγμα, οι μέλισσες και ο μεταξοσκώληκας έχουν αποδειχθεί ότι παράγουν τεράστιους τόνους μελιού και μεταξιού, αντίστοιχα. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να πωληθούν τόσο στην τοπική όσο και στη διεθνή αγορά, ενώ οι μεταξοσκώληκες παράγουν περισσότερους από 90.000 τόνους μετάξι.( Yong-Woo, 1999)

Επίσης η καρμίνη, μια κόκκινη βαφή που παράγεται από έντομα της τάξης Hemiptera, χρησιμοποιείται για να χρωματίζει τρόφιμα, υφάσματα και φαρμακευτικά προϊόντα. Η resilin, μια πρωτεΐνη που μοιάζει με καουτσούκ που επιτρέπει στα έντομα να πηδούν, έχει χρησιμοποιηθεί στην ιατρική για την επισκευή των αρτηριών λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων της. Επιπλέον, άλλα προϊόντα που παράγονται από βρώσιμα έντομα όπως μέλι, πρόπολη, βασιλικός πολτός και δηλητήριο έχουν χρησιμοποιηθεί στη θεραπεία τραυματισμένων και μολυσμένων πληγών και εγκαυμάτων.( Elvin et al., 2005) Τέλος, προϊόντα εντόμων έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε μεθόδους μηχανικής στην παραγωγή βιοϋλικών.

Ακόμα τα έντομα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μεταξιού. Το μετάξι είναι οι εξωτερικές εκκρίσεις που αποθηκεύονται ως ενυδατωμένο ζελέ μέσα στα κύτταρα ή, πιο συχνά, σε πολυκύτταρες κοιλότητες. Κατά την διέλευσή τους στο εξωτερικό περιβάλλον τα πηκτώματα πολυμερίζονται σε αδιάλυτα στο νερό νήματα. Το μετάξι εκκρίνεται πάντα από εξειδικευμένα εξωδερμικά κύτταρα που συνθέτουν έναν αδένα μεταξιού. Οι Rudall και Kenchington διέκριναν οκτώ δομικές κατηγορίες μεταξιού με βάση τα δεδομένα περίθλασης ακτίνων X και πρότειναν ότι όλες οι πρωτεΐνες μεταξιού είναι φυλογενετικά ομόλογες. Το εμπορικό μετάξι παράγεται από τον οικόσιτο μεταξοσκώληκα *Bombyx mori*, πολλών άλλων ειδών μεταξοσκώληκα (τα περισσότερα από το γένος *Antheraea*) και μερικών άλλων σκόρων των οποίων οι προνύμφες δημιουργούν μεγάλα κουκούλια. Για την απελευθέρωση της ίνας, τα κουκούλια εμποτίζονται σε ζεστό και ελαφρώς αλκαλικό νερό που διαλύει το εξωτερικό στρώμα σερικίνης. Πολλές ίνες με κολλώδη επιφάνεια τυλίγονται μαζί σε ένα ακατέργαστο μεταξωτό νήμα το οποίο χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την παραγωγή ινών. (Sehnal et al., 2008)

Μία ασυνήθιστη χρήση των εντόμων είναι η χρήση τους στην βιομηχανία φαρμακευτικών προϊόντων. Η χρήση των εντόμων σαν φαρμακευτικοί παράγοντες δεν είναι νέα. Στους αρχαίους πολιτισμούς, τα έντομα χρησιμοποιούνταν λόγω των φαρμακευτικών τους ιδιοτήτων ενώ πλέον οι επιστήμονες προσπαθούν να ανακαλύψουν εκ νέου τις φαρμακευτικές ιδιότητες των εντόμων. Τα έντομα και τα προϊόντα που προέρχονται από έντομα χρησιμοποιούνται σε πολλά μέρη του κόσμου από την αρχαιότητα ως φαρμακευτικοί

παράγοντες. Το μέλι εφαρμόζεται για τη θεραπεία εγκαυμάτων. Ο συνδυασμός μελιού και κεριού μέλισσας που χρησιμοποιείται για πολλές δερματολογικές διαταραχές, περιλαμβάνει ψωρίαση, κνησμό, δερματίτιδες και ατοπική δερματίτιδα. Ο βασιλικός πολτός χρησιμοποιείται για την θεραπεία μετεμμηνοπαυσικών συμπτωμάτων. Το δηλητήριο της μέλισσας και των μυρμηγκιών οδηγεί σε μείωση του αριθμού των διογκωμένων αρθρώσεων σε ασθενείς με ρευματοειδή αρθρίτιδα. (Ratcliffe et al., 2011)

Ακόμα τα έντομα μπορούν να συνεισφέρουν στην παραγωγή φαρμακευτικών προϊόντων μέσω της χρήσης των βακτηρίων που διαβιώνουν σε αυτά. Οι περισσότεροι τύποι αντιβιοτικών που χρησιμοποιούνται σήμερα προέρχονται από τα βακτήρια *Streptomyces*, ένα μεγάλο γένος που άρχισε να εξελίσσεται πριν από περίπου 400 εκατομμύρια χρόνια. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα είδη *Streptomyces* έχουν εξελιχθεί και προσαρμοστεί σε διαφορετικά ενδιαιτήματα, όπως το έδαφος και τα έντομα. Για αυτούς τους λόγους, οι επιστήμονες μελετούν εντατικά τα βακτήρια *Streptomyces* με την προσδοκία ότι θα ανακαλύψουν νέα φάρμακα για την καταπολέμηση της ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά. Γενετικές μελέτες έχουν δείξει ότι μόνο ένα στέλεχος *Streptomyces* θα μπορούσε ενδεχομένως να παράγει δεκάδες ενώσεις παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται ήδη ως αντιβιοτικά. Ωστόσο οι ερευνητές αναζητούν νέα είδη βακτηρίων που μπορούν να εντοπιστούν στα έντομα, λόγω της μεγάλης μικρόβιοχλωρίδας με την οποία συμβιώνουν.

Η πρόπολη κατασκευάζεται από τις μέλισσες για το σφράγισμα των κυψελών ενώ έχει χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία των φαρμάκων για την θεραπεία της στοματίτιδας. Για την θεραπεία καρκίνων διαφόρων οργάνων συμπεριλαμβανομένων των νεφρών, του πνεύμονα, του ήπατος, του προστάτη και του μαστικού αδένα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί το δηλητήριο μέλισσας λόγω της παρουσίας ουσιών όπως μελιτίνη και η φωσπολιπάση-A2. Πρόσφατα οι Moon et al. ανέφεραν ότι το δηλητήριο της μέλισσας μπορεί να προκαλέσει απόπτωση σε καρκινικά κύτταρα (σε ανθρώπινα λευχαιμικά κύτταρα U937) οι βασικοί ρυθμιστές στην απόπτωση που προκαλείται από δηλητήριο μέλισσας είναι το Bcl-2 και η κασπάση-3 μέσω της προς τα κάτω ρύθμισης της οδού σήματος ERK και Akt. (Moon et al., 2006)

Η θεραπεία με σκουλήκια είναι ένας τύπος βιοθεραπείας που περιλαμβάνει την εισαγωγή ζωντανών, απολυμασμένων σκουληκιών (προνύμφες μύγας) στο μη επουλωμένο δέρμα και στο τραύμα των μαλακών ιστών ενός ανθρώπου ή ζώου με σκοπό τον καθαρισμό του νεκρωτικού (νεκρού) ιστού μέσα σε μια πληγή και την απολύμανση. Υπάρχουν αυξανόμενες ενδείξεις πως η θεραπεία με σκουλήκια μπορεί να βοηθήσει στην επούλωση πληγών. (Ratcliffe et al., 2011) Η θεραπεία διακρίνεται σε 3 στάδια :

Αφαίρεση νεκρού ιστού: Αφαιρείται ο νεκρωτικός ιστός ώστε να ξεκινήσει η κοκκοποίηση και η επούλωση της πληγής. Τα σκουλήκια καθαρίζουν τις πληγές με την εξωσωματική παραγωγή ενζύμων που αφομοιώνουν τα υπολείμματα με τα οποία στη συνέχεια τρέφονται τα σκουλήκια. (Ratcliffe et al., 2014)

Επούλωση: Οφείλεται στην ελαστάση (ένζυμο που παράγεται από τα έντομα) το οποίο προάγει την επούλωση του επιθηλιακού ιστού.

Απολύμανση τραυμάτων: Οφείλεται στην παραγωγή αντιβακτηριδιακών παραγόντων που παράγονται από τα δίπτερα και περιλαμβάνουν μια σειρά από AMPs όπως η Sarcotoxin-1A, ένα μόριο που μοιάζει με κεκροπίνη από τη μύγα της σάρκας *Sarcophagaregeline*, το οποίο είναι πιο δραστικό έναντι των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων από τα Gram+ βακτήρια. (Natori et al., 2010)

### **1.3 Πρωτόκολλα μαζικής εκτροφής εντόμων**

Τα έντομα μπορούν να εκτραφούν για ανθρώπινη τροφή και ζωοτροφές χρησιμοποιώντας δύο προσεγγίσεις: τα έντομα μπορούν είτε να εξημερωθούν πλήρως και να εκτραφούν σε αιχμαλωσία είτε εν μέρει σε αιχμαλωσία, τροποποιώντας το περιβάλλον των εντόμων για να αυξηθεί η παραγωγή αλλά, γενικά, χωρίς τα έντομα να διαχωριστούν από την άγρια φύση τους. Επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές γεωργικές στρατηγικές εκτροφής. (Chufei Tang et al., 2019)

Τα πλήρως εξημερωμένα έντομα περιλαμβάνουν αλευροσκώληκες, μύγες, γρύλλους, ακρίδες, κατσαρίδες και μερικά σκαθάρια. Αντίθετα, στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι ακρίδες, οι σφήκες, οι κάμπιες από μπαμπού, οι προνύμφες του φοίνικα και οι λιβελούλες. Οι δραστηριότητες γύρω από την εκτροφή μερικώς εξημερωμένων εντόμων συμβάλλουν τόσο στη διατήρηση των ενδιατημάτων των βρώσιμων εντόμων όσο και στην ασφάλεια των τροφίμων. (Van Huis et al., 2013) Η χειραγώγηση του περιβάλλοντος για την προμήθεια βρώσιμων εντόμων θεωρείται ημικαλλιέργεια. Παραδείγματα ημικαλλιέργειας περιλαμβάνουν: συγκομιδή βρώσιμων αυγών υδρόβιων ημίπττερων από τεχνητές θέσεις ωοτοκίας, σκόπιμη κοπή φοινίκων για να προκαλέσει την ωοτοκία από τραχυνούς φοίνικα και την επακόλουθη συγκομιδή προνυμφών. (Van Isterbeek et al., 2012)

Οι Berggren et al. (2018) δημοσίευσαν ένα άρθρο που επικεντρώθηκε στη σύγκριση των δύο διαφορετικών εγκαταστάσεων εκτροφής εντόμων που παράγονται αυτή τη στιγμή, δηλαδή της εκτροφής μικρής κλίμακας και της μαζικής εκτροφής. Γενικά, αυτές οι δύο εγκαταστάσεις εκτροφής εντόμων έχουν διαφορετικά τελικά προϊόντα (έντομα για ανθρώπινη κατανάλωση και έντομα για άλλους σκοπούς, αντίστοιχα). Οι επιχειρήσεις μικρής κλίμακας: μπορούν να βρεθούν σε αναπτυσσόμενες χώρες που βρίσκονται στη

νοτιοανατολική Ασία καθώς και στην κεντρική και νότια Αφρική. Διοικούνται ως οικογενειακές εταιρείες ή από ομάδες αγροτών και διακινούν τα έντομα σχεδόν αποκλειστικά για την τοπική αγορά, τα οποία προέρχονται από τοπικές φάρμες εκτροφής και η ποσότητά τους μπορεί να συμπληρωθεί με επιπλέον άγρια έντομα.

Η εκτροφή εντόμων σε βιομηχανική κλίμακα: είναι ένα πρόσφατο φαινόμενο και αναμένεται να κυριαρχήσει στο μέλλον. Εντοπίζεται κυρίως σε χώρες της δυτικής Ευρώπης, όπως η Ολλανδία, οι οποίες βασίζονται στο δικό τους βασικό απόθεμα αναπαραγωγής για να εξασφαλίσουν μεγάλη παραγωγή βιομάζας εντόμων, περιορίζοντας έτσι την πιθανότητα εισαγωγής ασθενειών.

Σύμφωνα με τους Dobermann et al. (2017), ένα από τα εμπόδια που εμποδίζουν την κλιμάκωση της εκτροφής εντόμων είναι ο εντοπισμός ιδανικών ειδών εντόμων για μαζική εκτροφή. Οι ιδανικοί υποψήφιοι πρέπει να έχουν περισσότερα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: υψηλή παραγωγή αυγών, υψηλή εκκόλαψη αυγών, σύντομο στάδιο προνύμφης, βέλτιστο συγχρονισμό της νύμφης, υψηλά βάρη προνυμφών ή νυμφών, υψηλή παραγωγικότητα, χαμηλό κόστος τροφής, χαμηλή ευπάθεια, υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη .

Όσον αφορά στις στρατηγικές εκτροφής εντόμων, μια σειρά από στρατηγικές παραγωγής και αποθήκευσης έχουν αναπτυχθεί για τη βελτίωση της εκτροφής εντόμων και είναι πλέον ζωτικής σημασίας να εφαρμοστούν κατάλληλες τεχνολογίες μετά τη συγκομιδή για τη διατήρηση, τη βελτίωση της ποιότητας, τη μετατροπή, την κλασματοποίηση, τη διανομή και την αποθήκευση εντόμων και προϊόντων εντόμων.

Η επεξεργασία των εντόμων μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή, δηλαδή αν πρόκειται τα έντομα να καταναλωθούν ολόκληρα ή θα αξιοποιηθούν κάποια βιομόρια που λαμβάνονται μετά από κατάλληλη κλασμάτωση.

Τα κύτταρα εντόμων μπορούν να καλλιεργηθούν σε εναιώρημα σε έναν κλειστό βιοαντιδραστήρα που λειτουργεί υπό ελεγχόμενες συνθήκες με τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: παραγωγή πρωτεΐνης εντόμου με δυνατότητα μαζικής παραγωγής, μείωση του κινδύνου μόλυνσης, μείωση των ποσοτήτων ανεπιθύμητων συστατικών όπως η χιτίνη, δυνατότητα εκτροφής εντόμων σε διαφορετικά περιβάλλοντα (συμπεριλαμβανομένου του χώρου). (Bessa et al., 2020)

Τα βρώσιμα έντομα μπορούν να εκτρέφονται αλλά σε κάποιες χώρες ακόμα συλλέγονται από στη φύση. Τα άγρια έντομα συλλέγονται στα δάση, σε φυσικούς υδάτινους πόρους ή γεωργικά χωράφια. Αυτό σημαίνει ότι ορισμένα από αυτά είναι διαθέσιμα μόνο εποχιακά και ως εκ τούτου πρέπει να συντηρηθούν και να αποθηκευτούν πριν από την επεξεργασία ή την κατανάλωση. Οι προνύμφες σφηκών, ο γόνος μυρμηγκιών, οι νύμφες μεταξοσκώληκα, τα

γιγάντια έντομα του νερού, οι γρύλοι και οι ακρίδες μπορούν να διατηρηθούν με κονσερβοποίηση. Πολλά άλλα έντομα πωλούνται ζωντανά και η διάρκεια ζωής μπορεί να βελτιωθεί με την ψύξη ή την τοποθέτηση τους στον πάγο. Στην περίπτωση των φρέσκων εντόμων, συνιστάται η κατάψυξη ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ως μέθοδος αποθήκευσης για τη διατήρηση της μικροβιακής τους ποιότητας. (Belluco et al., 2020) Για τα αποξηραμένα και κονιοποιημένα βρώσιμα έντομα, η ψύξη είναι η καλύτερη μέθοδος για την αποφυγή της οξειδωτικής και μικροβιολογικής αποδόμησης. Ωστόσο, η διατήρηση των βρώσιμων εντόμων και των προϊόντων τους μπορεί επίσης να επιτευχθεί με τη τεχνικών όπως η ξήρανση, η οξίνιση και η γαλακτική ζύμωση. Επίσης, η λυοφιλίωση εφαρμόζεται συχνά για τη διατήρηση των εντόμων. Η αποθήκευση στο κενό και στο σκοτάδι μπορεί να βελτιώσει τη διάρκεια ζωής ολόκληρων βρώσιμων εντόμων, ακόμη και όταν αποθηκεύονται σε θερμοκρασία δωματίου, διατηρώντας τη μικροβιολογική ποιότητα του προϊόντος και αποτρέποντας την οξείδωση των λιπιδίων.

Αν και η εκτροφή εντόμων φαίνεται να έχει ένα λαμπρό μέλλον, λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με τις μεθόδους και τεχνολογίες παραγωγής εντόμων ιδιαίτερα σε μεγάλη κλίμακα. Ένας από τους λόγους γι' αυτή την κατάσταση είναι η απροθυμία των ιδιωτικών εταιρειών να μοιραστούν τις διαθέσιμες πληροφορίες και τις λεπτομέρειες σχετικά με την εκτροφή. Αντίθετα, πολλά περισσότερα είναι γνωστά για τις παραδοσιακές μεθόδους εκτροφής, που αποτελούν το υπόβαθρο για οποιαδήποτε τεχνολογική βελτίωση.

Γενικά, η εκτροφή εντόμων περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο κύριες ξεχωριστές μονάδες, συγκεκριμένα, μία για τη συντήρηση των αποικιών αναπαραγωγής σε αιχμαλωσία και η άλλη για την ανάπτυξη προνυμφών από αυγά. Αν η επιχείρηση επικεντρώνεται στα ενήλικα έντομα, χρειάζεται μια πρόσθετη περιοχή εκτροφής. Αυτή είναι η περίπτωση των φαρμών γρύλλων. Τα προηγμένα συστήματα περιλαμβάνουν συχνά μια περιοχή επεξεργασίας εντόμων και εξευγενισμού παράγωγων προϊόντων. Τα απόβλητα παραγωγής, όπως υπολείμματα υποστρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή λιπασμάτων σε ειδική εγκατάσταση, συμβάλλοντας έτσι στην κυκλικότητα και τη βιωσιμότητα. Στην πραγματικότητα, η ανακύκλωση των ορυκτών πηγών στο σύστημα τροφίμων αντί για τη χρήση εξωγενών πηγών βοηθά στη μείωση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει η περίσσεια ορισμένων ουσιών, π.χ., N και P, στο περιβάλλον. (Cadinu et al., 2020)

Από αυτή την άποψη, αξίζει να σημειωθεί ότι τα υπολείμματα της εκτροφής των εντόμων (περιττώματα εντόμων, υπολείμματα τροφής; insectfrass) είναι πλούσιο σε μέταλλα, όπως N, P και K, που χρησιμοποιούνται ήδη στη γεωργία. Έτσι, δείχνει τις δυνατότητες για μερική ή πλήρη αντικατάσταση των ορυκτών λιπασμάτων. Ως εκ τούτου, μια σωστή αξιοποίηση των υποπροϊόντων της εκτροφής εντόμων μπορούν να προσφέρουν ένα πρόσθετο οικονομικό

όφελος στη δραστηριότητα εκτροφής εντόμων δημιουργώντας παράλληλα νέες ευκαιρίες στο πλαίσιο βιώσιμων τροφικών αλυσίδων.

Οι δίσκοι που χρησιμοποιούνται για την πάχυνση των προνυμφών είναι ένα τυπικό κουτί  $65 \times 50 \times 15 \text{ cm}^3$ , εύκολο στην λαβή και αρκετά βαθιά ώστε να αποτρέπεται η διαφυγή προνυμφών ή ενηλίκων. Μια πρόσφατη μελέτη βασισμένη σε πιλοτικό μύλο της ΕΕ που σχεδιάστηκε για να παράγει 17 τόνους νωπών προνυμφών ανά έτος αναφέρει ότι μπορούν να εκτραφούν αλευροσκώληκες με πυκνότητα 5 προνυμφών  $\text{cm}^{-2}$ . (Cadinu et al., 2020) Τα κουτιά εκτροφής μπορούν να κρατηθούν σε ράφια πολλαπλών επιπέδων για να ελαχιστοποιηθεί ο χώρος που χρησιμοποιείται ανά μάζα εντόμων που παράγονται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται κιβώτια με δυνατότητα στοίβαξης. Σε άλλες περιπτώσεις τα κουτιά μπορούν να τοποθετηθούν σε παλέτες ώστε να δίνεται η δυνατότητα ελεύθερης κίνησής τους εντός της περιοχής εκτροφής. Τα πολυεπίπεδα ράφια μπορούν να καταλάβουν το σύνολο της επιφάνεια της περιοχής εκτροφής, επιτρέποντας δυνητικά την παραγωγή χιλιάδων τόνων προνυμφών ετησίως. Περίπου 13.000 κουτιά μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα κτίριο  $400 \text{ m}^2$ , οδηγώντας σε παραγωγή περίπου 250 κιλά προνύμφες  $\text{m}^{-2}$  ετησίως.

Στο τέλος του σταδίου πάχυνσης, οι προνύμφες συλλέγονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία και λαμβάνεται το τελικό προϊόν.

Στη μονάδα εκτροφής εντόμων εντοπίζονται επίσης και περιοχές όπου τα ενήλικα αναπαράγονται και τα θηλυκά εναποθέτουν αυγά, ενώ οι προνύμφες πρέπει να μετακινούνται συνεχώς στον χώρο πάχυνσης μετά την εκκόλαψη τους. Μέρος των νεογέννητων προνυμφών αφήνεται στον χώρο από την περίοδο του γόνου έως και την ανάπτυξη του ενήλικου με στόχο την αποκατάσταση της αναπαραγωγής του πληθυσμού. Στην περίπτωση του *T. molitor* το ένα δέκατο της ετήσιας παραγωγής προνυμφών επαρκεί για το σκοπό αυτό. (Halloran et al. 2018)

Στον χώρο της αναπαραγωγής, τα ενήλικα άτομα διατηρούνται σε κλουβιά που διαθέτουν θρεπτικό υπόστρωμα και μια πηγή υγρασίας. Εκτός από τα είδη εντόμων που μπορούν να πετάξουν ή να πηδήξουν κάθετα, τα κουτιά για προνύμφες και αναπαραγωγή ενηλίκων είναι αρκετά παρόμοια. Μπορούν να προστεθούν διαχωριστικά ή άλλα δομικά στοιχεία για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότερη χρήση του χώρου, μπορούν να ληφθούν προφυλάξεις, όπως υψηλότερες πλευρές και ομαλό φινίρισμα των κιβωτίων για τα έντομα που έρπουν. Για την εκτροφή ιπτάμενων εντόμων απαιτούνται κλειστά κιβώτια. Σε κάθε περίπτωση, οι θέσεις ωοτοκίας θα πρέπει να περιοριστούν σε συγκεκριμένες τοποθεσίες εντός των κλωβών αναπαραγωγής για να επιτρέπεται ευκολότερη συλλογή αυγών. Για παράδειγμα, μικρά κουτιά σφραγισμένα με υγρασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπου μπορούν σαν θέσεις ωοτοκίας των θηλυκών. Αποσυντιθέμενοι σπόροι, τύρφη, φλούδες καρύδας κι άλλα

οργανικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με το είδος του εντόμου.( Dossey et al., 2016)

Η αποτελεσματικότητα των εκτροφείων εντόμων όσον αφορά στη μετατροπή της τροφής σε πρωτεΐνη εντόμων εξαρτάται αυστηρά από τις συνθήκες εκτροφής. Τα έντομα δεν ρυθμίζουν μεταβολικά τη θερμοκρασία του σώματός τους. Επομένως, πρέπει να διασφαλίζεται η κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία για τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των εντόμων ανάλογα με το είδος και το στάδιο ανάπτυξης. Συνήθως, οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 20 και 35 °C και τα επίπεδα υγρασίας από 55% σε 75%.( Halloran et al., 2018) Ο αέρας πρέπει να κυκλοφορεί για να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη διαστρωμάτωση του, ο πολλαπλασιασμός μυκήτων, βακτηρίων ή ιών και τη συσσώρευση CO<sub>2</sub> και άλλων επικίνδυνων αερίων που μπορεί να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία της αποικίας και των εργαζομένων. Ο έλεγχος του κλίματος είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τουλάχιστον δύο λόγους. Πρώτον, διαφορές 2 ή 3 °C στη θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές χρονικές αλλαγές στην ανάπτυξη του εντόμου, με αποτέλεσμα ανεξέλεγκτα αποτελέσματα στην παραγωγή.(Dossey et al., 2016) Δεύτερον, το σύστημα ελέγχου του κλίματος καταναλώνει σημαντική ενέργεια, ειδικά στην περίπτωση εκτροφείων εντόμων που βρίσκονται σε εύκρατες χώρες με κρύους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια, όπου απαιτείται θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι.

Γενικότερα μετά την εκκόλασή τους τα αυγά θα πρέπει να συλλέγονται και να μετακινούνται στο χώρο εκτροφής. Στο σημείο αυτό οι προνύμφες αναπτύσσονται σε συγκεκριμένες συνθήκες υποστρώματος και νερού. Για την πάχυνση των προνυμφών θα πρέπει να μετακινούνται περιοδικά σε καθαρά σημεία με νερό και υποστρώματα. Τέλος, όταν οι προνύμφες φτάσουν το επιθυμητό μέγεθος, αυτές διαχωρίζονται από το υπόστρωμα κι και οδηγούνται στην επεξεργασία. Σε αυτό το στάδιο οι προνύμφες που αναπτύσσονται πιο αργά μπορούν να διαχωριστούν και να μετακινηθούν για περαιτέρω πάχυνση.

Οι εγκαταστάσεις ανάπτυξης εντόμων πρέπει επίσης να περιλαμβάνουν χώρο που προορίζεται για επεξεργασία και αποθήκευση ζωοτροφών. Παρόμοια με άλλες δραστηριότητες παραγωγής ζωοτροφών, π.χ. η παραγωγή ιχθυαλεύρων, τα εκτρεφόμενα έντομα, πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία για την αποφυγή αλλοίωσης και να αποθηκεύονται σωστά μέχρι την τελική χρήση. Έλλειψη υγιεινής κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας μπορεί να είναι επιζήμιο για την ποιότητα των προϊόντων εντόμων και δυνητικά επικίνδυνο για την υγεία των ζώων που θα τα καταναλώσουν. Βιολογικοί κίνδυνοι μπορεί να προκύψουν από τον ανεξέλεγκτο πολλαπλασιασμό των βακτηρίων, παρασίτων, ιών ή μυκήτων που μπορεί να προέρχονται από το ίδιο το έντομο ή και από τα υποστρώματα εκτροφής ή από μόλυνση κατά την διαδικασία παραγωγής.



Μια κοινή προ επεξεργασία που χρησιμοποιείται στην εμπορευματοποίηση εντόμων και συναφών προϊόντων είναι ο σύντομος βρασμός (bleaching). Αποτελείται από ένα σύντομο στάδιο βρασμού που ακολουθείται από μια γρήγορη ψύξη σε ρέον κρύο νερό για μείωση των μικροβίων και αδρανοποίηση των ενζύμων που ευθύνονται για την αλλοίωση και την τροφική δηλητηρίαση. Ωστόσο, το bleaching είναι αναποτελεσματική στα μεσόφιλα βακτηριακά σπόρια και απαιτείται ξήρανση ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος ανάπτυξής τους. Αρκετές τεχνολογίες όπως η ξήρανση στον ήλιο, η ξήρανση με κατάψυξη, η ξήρανση σε φούρνο μικροκυμάτων, η ξήρανση καπνού και η ξήρανση σε φούρνους μπορούν να εφαρμοστούν στην παραγωγή εντόμων. Συχνά χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι για την εξασφάλιση καλύτερης αναλογίας μακροθρεπτικών συστατικών στο τελικό προϊόν των εντόμων, π.χ. για τη μείωση της περιεκτικότητας σε λιπίδια ή χιτίνη, ή λήψη παράγωγων προϊόντων όπως λίπος και πρωτεΐνη σε σκόνες και σφαιρίδια. Αυτό επιτρέπει την πιο αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επεξεργασία των εντόμων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα των τελικών προϊόντων και πρέπει να είναι κατάλληλα επιλεγμένη και σχεδιασμένη. Για παράδειγμα, οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν μετουσίωση πρωτεϊνών και οξείδωση των λιπιδίων. Επομένως, πρέπει να επιλέγονται κατάλληλες συνθήκες για συγκεκριμένα είδη εντόμων για τη βελτίωση της αντιμικροβιακής δραστηριότητας μειώνοντας παράλληλα την απώλεια ποιότητας.

### **1.3.1 Πλεονεκτήματα**

Σήμερα, οι πρωτεΐνες αποτελούν βασικό συστατικό της διατροφής και η ολόένα και αυξανόμενη ζήτησή της οδηγεί στην ανάγκη για αύξηση της παραγωγής της.

Γενικότερα οι κύριες πηγές πρωτεϊνών είναι οι ζωικές, καθώς και οι φυτικές πρωτεΐνες. Αύξηση των παραδοσιακών πηγών πρωτεΐνης θα έχει σαν αποτέλεσμα την εξάντληση των φυσικών πόρων, την αύξηση της αποψίλωσης των δασών και των, τις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της κατανάλωσης νερού, συμβάλλοντας έτσι στην παγκόσμια οικολογική ανεπάρκεια και στην ενίσχυση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Αυτή η συνεχής επέκταση της παραγωγής τροφίμων και η αυξανόμενη ζήτηση για ζωικές πρωτεΐνες προκαλεί σοβαρές ανησυχίες. Οι πόροι που απαιτούνται για τη μετατροπή της φυτικής ύλης σε πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης, όπως πρωτεΐνες κρέατος ή γάλακτος, είναι αναποτελεσματικοί κατά 7:1 – δηλ. 7 κιλά φυτικής τροφής απαιτούνται για την παραγωγή 1 κιλού γάλακτος ή κρέατος για ανθρώπινη κατανάλωση. (Lonnie et al., 2018) Για τον λόγο αυτό έχουν αναζητηθεί άλλες πηγές πρωτεϊνών.

Σήμερα, η παραγωγή τροφίμων πρέπει να βασίζεται στη βιώσιμη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και ταυτόχρονα, να ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση για μια ισορροπημένη διατροφή εστιασμένη σε πιο υγιεινά προϊόντα ακολουθώντας τις τρεις κύριες κατευθύνσεις :

- 1) καλύτερη απόδοση – «μαζική παραγωγή στη χαμηλότερη δυνατή τιμή»
- 2) ευκαιρία καινοτομίας με γνώμονα τις τάσεις των καταναλωτών και την ανάγκη εξισορρόπησης της χρήσης πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης - ανάπτυξη νέων αντιλήψεων/αισθήσεων και εξειδικευμένων προϊόντων υψηλής αξίας σε μικρή κλίμακα
- 3) ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων με στόχο την υγεία και την ευημερία κατά την κατανάλωση.

Η χρήση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης που συνδέονται με τη χρήση οικολογικών, καινοτόμων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών ευθυγραμμίζεται στη συνέχεια με αυτήν την αλλαγή παραδείγματος.

Η πρώτη σκέψη για αντικατάσταση των συμβατικών πρωτεϊνών είναι από εναλλακτικές φυτικές πρωτεΐνες. Ως γνωστόν, τρόφιμα φυτικής προέλευσης έχουν χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τείνουν να είναι λιγότερο απαιτητικά σε πόρους και λιγότερο περιβαλλοντικά καταστροφικά από την κτηνοτροφία. Επιπλέον, οι φυτικές πρωτεΐνες μειώνουν τον κίνδυνο εξάπλωσης ασθενειών. Για αυτόν τον λόγο, η ενθάρρυνση της μερικής αντικατάσταση πρωτεϊνών από την κτηνοτροφία από πρωτεΐνες με βάση τα λαχανικά θα μπορούσε να έχει θετικό αντίκτυπο στη μείωση των κλιματικών αλλαγών και στην απώλεια της βιοποικιλότητας.

Από την άλλη πλευρά, η γεωργία εξακολουθεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο ως αποτέλεσμα της μείωσης των επιπέδων γονιμότητας του εδάφους, της ρύπανσης των υδάτινων πόρων με αγροχημικά και της συμβολής στην αποψίλωση των δασών και την ερημοποίηση λόγω της υψηλής ζήτησης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. (Madau et al., 2020) Ωστόσο, γενικά, η χρήση φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για πηγές ζωικής πρωτεΐνης και κατά συνέπεια τον περιβαλλοντικό αντίκτυπό τους.

Όσον αφορά στις διατροφικές πτυχές, διαφορετικά τρόφιμα όπως σπόροι, όσπρια, ξηροί καρποί, φρούτα και λαχανικά μπορούν να είναι όχι μόνο εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών αλλά και να παρέχουν πολυάριθμα θρεπτικά συστατικά που προάγουν την υγεία, όπως βιταμίνες, μέταλλα, φυτικές ίνες, αντιοξειδωτικά και αντιφλεγμονώδεις παράγοντες. Παρά την υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ορισμένων φυτικών πηγών είναι γνωστό ότι οι συμβατικές ζωικές πρωτεΐνες έχουν υψηλή ποιότητα, ενώ οι φυτικές πρωτεΐνες είναι γενικά ανεπαρκείς σε απαραίτητα αμινοξέα. (Lonnie et al., 2018) Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα δεν είναι ο μόνος παράγοντας για την ταξινόμηση της θρεπτικής

ποιότητας των πρωτεϊνών. Η πεπτικότητα και η βιοδιαθεσιμότητα επηρεάζουν επίσης τη χρήση τους και πρέπει να ληφθούν υπόψη (Lynch et al., 2018)

Τα έντομα είναι πιθανώς μια από τις πιο πολλά υποσχόμενες εναλλακτικές πηγές ζωικής πρωτεΐνης, παρ' όλο που μπορεί να έρχεται σε σύγκρουση με τις πολιτιστικές συνήθειες ορισμένων πληθυσμών. Η κατανάλωσή τους είναι ευρέως διαδεδομένη σε χώρες της Ασίας, της Αφρικής και της Λατινικής Αμερικής, με περισσότερα από 2000 είδη ταξινομημένα ως εδώδια.

Η εισαγωγή τους στις δυτικές διατροφικές συνήθειες δεν είναι ακόμα αποδεκτή και υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που πρέπει να ξεπεραστούν.

Οι περισσότεροι καταναλωτές εξακολουθούν να μην συσχετίζουν τα έντομα με τα τρόφιμα, αντιθέτως συσχετίζουν την πιθανή κατανάλωση ως μια πρωτόγονη και αποκρουστική συμπεριφορά. Από την άλλη πλευρά, η χρήση επεξεργασμένων εντόμων ως συστατικού σε σκόνη ήταν μια εναλλακτική λύση που θα μπορούσε να ενισχύσει την αποδοχή των καταναλωτών. Ωστόσο, τα έντομα θεωρούνται ένα βιώσιμο σύστημα διατροφής, αφού εκτός από τη θρεπτική τους αξία, η αναπαραγωγή των εντόμων έχει επίσης θετικές οικολογικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. (Da Silva et al., 2021)

Η παραγωγή των βρώσιμων εντόμων γίνεται με τρεις μεθόδους: συγκομιδή άγριων εντόμων, ημιεξημέρωση, εκτροφή εξημερωμένων εντόμων.

Τα άγρια έντομα που συλλέγονται αντιπροσωπεύουν το 92% της συνολικής παγκόσμιας προσφοράς εντόμων και τα ημι-εξημερωμένα έντομα αντιπροσωπεύουν το 6%. Αυτό σημαίνει ότι μόνο το 2% των εντόμων που παρέχονται σήμερα εκτρέφονται, αν λάβουμε υπόψη μόνο εκείνα που προορίζονται απευθείας για ανθρώπινη κατανάλωση.

Η παραδοσιακή συλλογή άγριων εντόμων αποτελεί μία κοινή πρακτική για τις τροπικές χώρες παίζοντας σημαντικό οικονομικό και κοινωνικό ρόλο. Αυτά τα έντομα είναι εμπορεύσιμα και αυτή η αγορά αντιπροσωπεύει μια πηγή εισοδήματος για τους ντόπιους (συνήα οι τιμές των εντόμων είναι υψηλότερες από αυτές που σχετίζονται με εναλλακτικά προϊόντα κρέατος). (Baiano, 2020) Η περίπτωση των εντόμων που εκτρέφονται σε ελεγχόμενες μονάδες και κάθε στάδιο εκτροφής ελέγχεται (π.χ. συνθήκες διαβίωσης, διατροφή και ποιότητα τροφής) είναι μια πιο αποτελεσματική μέθοδος για την παραγωγή εντόμων. Ορισμένα ακόμα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής περιλαμβάνουν την καλύτερη αναπαραγωγή των εντόμων και την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και γι' άλλους σκοπούς.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα κατά τη σύγκριση της εκτροφής εντόμων με την παραδοσιακή γεωργία και κτηνοτροφία. Για παράδειγμα, η εκτροφή εντόμων έχει μικρότερο αντίκτυπο στην αποψίλωση των δασών και στη μείωση της γονιμότητας του εδάφους, καθώς

έχουν μικρότερο αποτύπωμα χρήσης γης με χαμηλή περιβαλλοντική μόλυνση. Συνοπτικά τα οφέλη της ελεγχόμενης εκτροφής εντόμων είναι τα εξής :

- Η εκτροφή εντόμων χρειάζεται λιγότερο χώρο από την παραδοσιακή κτηνοτροφία. Απαιτεί περιορισμένο επενδυτικό κόστος (ανά μονάδα παραγόμενης πρωτεΐνης).
- Η εκτροφή γίνεται αποκλειστικά με απλή τεχνολογία και δεν απαιτεί την χρήση εξελιγμένων συστημάτων.
- Αυτό το είδος γεωργίας επιτρέπει γρήγορες αποδόσεις της επένδυσης και υψηλές οικονομικές αποδόσεις.
- Η διαχείριση αυτών των συστημάτων είναι απλή και δεν απαιτεί την βαθύτερη εκπαίδευση των εργαζόμενων.

Αναλυτικότερα, η εκτροφή των εντόμων απαιτεί λιγότερη κατανάλωση νερού, χρησιμοποιώντας έως και 50% λιγότερο νερό σε ορισμένες περιπτώσεις. Επίσης, ευθύνονται για σχετικά χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αμμωνίας σε σύγκριση με τα παραδοσιακά εκτρεφόμενα βοοειδή, πουλερικά, ψάρια και θαλασσινά.

Στην πραγματικότητα, ένας από τους κύριους λόγους για να θεωρηθούν τα έντομα ως δυνητικά βιώσιμη εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης είναι η υψηλή απόδοση μετατροπής της τροφής (Van Huis et al., 2013), οι σύντομοι κύκλοι ζωής και οι υψηλοί ρυθμοί αναπαραγωγής. Επιπλέον, τα έντομα μπορούν να αναπτυχθούν με ένα ευρύ φάσμα υποστρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των παραπροϊόντων από την επεξεργασία τροφίμων και άλλων αγροκτηνοτροφικών οργανικών αποβλήτων. Αυτές οι πτυχές καθιστούν τα έντομα ως μία από τις πιο ωφέλιμες για το περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμες πηγές πρωτεϊνών, συγκριτικά με τις φυτικές και ζωικές πηγές.

Όσον αφορά στη θρεπτική τους σύσταση, εντοπίζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ των εντόμων κυρίως επειδή υπάρχει μεγάλος αριθμός ειδών. Ωστόσο, γενικά τα έντομα είναι πλούσια σε πρωτεΐνη και λίπος και μπορούν να παρέχουν αρκετή ποσότητα μετάλλων και βιταμινών. Ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, το κάλιο, το νάτριο, το ασβέστιο, ο φώσφορος, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο, ο χαλκός, η ριβοφλαβίνη, το παντοθενικό οξύ, η βιοτίνη και το φολικό οξύ μπορούν να βρεθούν στα έντομα συμπληρώνοντας το διατροφικό τους προφίλ και καθιστώντας τα ανώτερες πηγές θρεπτικών στοιχείων από τα φυτικά είδη. Πράγματι, σε ορισμένα είδη, οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και σιδήρου μπορεί να είναι παρόμοιες με αυτές του βόειου κρέατος και υψηλότερες από το κοτόπουλο και το χοιρινό. (Baiano, 2020) Το λίπος αντιπροσωπεύει το δεύτερο μεγαλύτερο κλάσμα στη σύνθεση των θρεπτικών τους συστατικών, συνήθως μεταξύ 5% και 40% της ξηράς ουσίας. Ωστόσο, η περιεκτικότητα των εντόμων σε λίπος εξαρτάται από το στάδιο της ζωής τους και μπορεί να φτάσει ακόμα και πάνω από το 70%.

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των περισσότερων εντόμων είναι περίπου 60% και αυτή η τιμή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 7% και 91% (επί ξηρού βάρους). (Van Huis et al., 2016) Εκτός από τις διαφορές μεταξύ των ειδών, άλλοι παράγοντες όπως το στάδιο ανάπτυξης και το φύλο μπορούν να επιδράσουν στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη. Όμως σε γενικές γραμμές, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι συγκρίσιμη με άλλες ζωικές και φυτικές πηγές.

### 1.3.2 Μειονέκτημα

Η αυξανόμενη εισαγωγή εντόμων στην ανθρώπινη διατροφή επιβάλλει την πρόεγχεση προσοχή στις ανησυχίες για την ασφάλειά τους. Όπως και για οποιοδήποτε άλλο είδος τροφής, η αξιολόγηση της ασφάλειας των βρώσιμων εντόμων συνεπάγεται την παρακολούθηση επιβλαβών μικροοργανισμών, παρασίτων, τοξινών, βαρέων μετάλλων, κτηνιατρικών φαρμάκων, ορμονών και υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων.

Τα έντομα έχουν μια συγκεκριμένη πληθώρα ιικών παθογόνων, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο από την άποψη της υγείας των ζώων, καθώς αυτοί οι ιοί θεωρούνται ασφαλείς για τον άνθρωπο. Ωστόσο, οι ιοί που μεταδίδονται από τα αρθρόποδα (αρβόιοι) μπορούν επίσης να προκαλέσουν ασθένειες όπως ο δάγγειος πυρετός, η νόσος του Δυτικού Νείλου, ο πυρετός της κοιλάδας Rift, ο αιμορραγικός πυρετός και η Chikungunya, στους ανθρώπους. (Belluco et al., 2018) Επιπλέον, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο κάποιοι ιοί που εισάγονται σε εκτροφεία εντόμων με υπόστρωμα να μεταφερθούν στον άνθρωπο. (Belluco et al., 2018)

Όσον αφορά στη μικροβιακή μόλυνση, τα έντομα θα μπορούσαν να είναι μηχανικοί ή βιολογικοί φορείς παθογόνων μικροοργανισμών, αλλά, εάν υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία και αποθήκευση, μπορούν να θεωρηθούν ασφαλή. (Van Huis et al., 2013)

Οι Wynants et al. (2019) διερεύνησαν τη δυνατότητα μετάδοσης του βακτηρίου *Salmonella* sp. σε αλευροσκώληκες (*Tenebrio molitor*), όταν οι αλευροσκώληκες τρέφονται με μολυσμένο πίτουρο σιταριού ως υπόστρωμα. Βρήκαν ότι η επιβίωση του βακτηρίου της *Salmonella* sp. στις προνύμφες και τα πίτουρα εξαρτιόταν από το επίπεδο μόλυνσης. Ήταν δηλαδή υψηλότερη σε πίτουρο που είχε αρχικά μολυνθεί με 7 logcfu/g ενώ, σε αρχικό επίπεδο μόλυνσης 2 logcfu/g, το βακτήριο *Salmonella* sp. δεν ανιχνεύθηκε στα δείγματα προνυμφών. Οι ερευνητές υπέθεσαν πως οι λόγοι αυτής της συμπεριφοράς περιλαμβάνουν τον ανταγωνιστικό αποκλεισμό από την ενδογενή μικροχλωρίδα της προνύμφης και/ή την αντιβακτηριακή δράση των προνυμφών.

Σε περιοχές όπου τα έντομα καταναλώνονται παραδοσιακά, οι αναλύσεις τονίζουν πως τα παθογόνα που ανήκουν στην οικογένεια των Lecithodendridae και Plagiorchidae μπορούν να μεταδοθούν μέσω της στοματικής οδού. (Chai et al., 2009) Είδη εντόμων όπως οι κατσαρίδες

*Blatellagermanica* και *Periplanetaamericana* έχουν αποδειχθεί ότι φιλοξενούν παθογόνα πρωτόζωα όπως τα *Entamoebahistolytica*, *Giardialambliia*, *Toxoplasmaspp.* και *Sarcocystisspp.* (Belluco et al., 2013)

Τα θρεπτικά υποστρώματα για έντομα μπορεί να περιέχουν περιβαλλοντικούς ρύπους όπως βαρέα μέταλλα, χημικά στοιχεία όπως σελήνιο, διοξίνες και άλλα οργανοχλωρίδια και πολυβρωμιωμένους διφαινυλαιθέρες, που μπορούν να βιοσυσσωρευτούν. Τα βαρέα μέταλλα που προκαλούν ανησυχία περιλαμβάνουν και το κάδμιο.

Όσον αφορά στα υπολείμματα φυτοφαρμάκων, οι Charlton et al. (2015) εντόπισαν chlorpyrifos μόνο σε ένα δείγμα *Musca domestica* που εκτρέφεται με σκόνη γάλακτος και ζάχαρη από την Κίνα και πιπερονυλοβουτοξείδιο μόνο σε ένα δείγμα *Calliphoravomitorea*. Οι ίδιοι συγγραφείς βρήκαν πολυχλωριωμέναδιφαινύλια παρόμοια με τις διοξίνες σε όλα τα δείγματα προνυμφών που αναλύθηκαν, αλλά σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 10 µg/kg.

Ακόμα τα έντομα μπορεί να είναι πηγή αλλεργιογόνων με την επαφή, την εισπνοή και την από του στόματος κατάποση. Για είδη εντόμων όπως η ακρίδα και ο μεταξοσκώληκας, έχει αποδειχθεί ότι η μακροχρόνια περιβαλλοντική έκθεση σε αυτά μπορεί να προκαλέσει ευαισθητοποίηση του αναπνευστικού σε ποσοστό έως και 50-60% των ατόμων. Οι Ji et al. (2009), παρουσίασαν μια αναφορά αλλεργιών που προκλήθηκαν από την κατανάλωση τροφίμων στην Κίνα μεταξύ 1980 και 2007. Σύμφωνα με αυτήν την έκθεση, τα έντομα ήταν η τέταρτη πιο κοινή αιτία αλλεργιών μετά τον ανανά, τις χελώνες με μαλακό κέλυφος και τα καβούρια. Τα έντομα που ευθύνονται για το αναφυλακτικό σοκ ήταν κυρίως οι ακρίδες και ακολουθούν οι νύμφες του μεταξοσκώληκα. Ωστόσο, δεν έχει βρεθεί κάποια συσχέτιση μεταξύ εντόμων και θανάτων. Σύμφωνα με τους Broekman et al. (2017), η πρωτογενής ευαισθητοποίηση μπορεί να συμβεί όταν οι αλευροσκώληκες καταναλώνονται από τον άνθρωπο. Ωστόσο, η ίδια μελέτη τόνισε ότι μια αλλεργική αντίδραση σε ένα είδος εντόμου δεν συνεπάγεται απαραίτητα αλλεργική αντίδραση σε όλα τα έντομα.

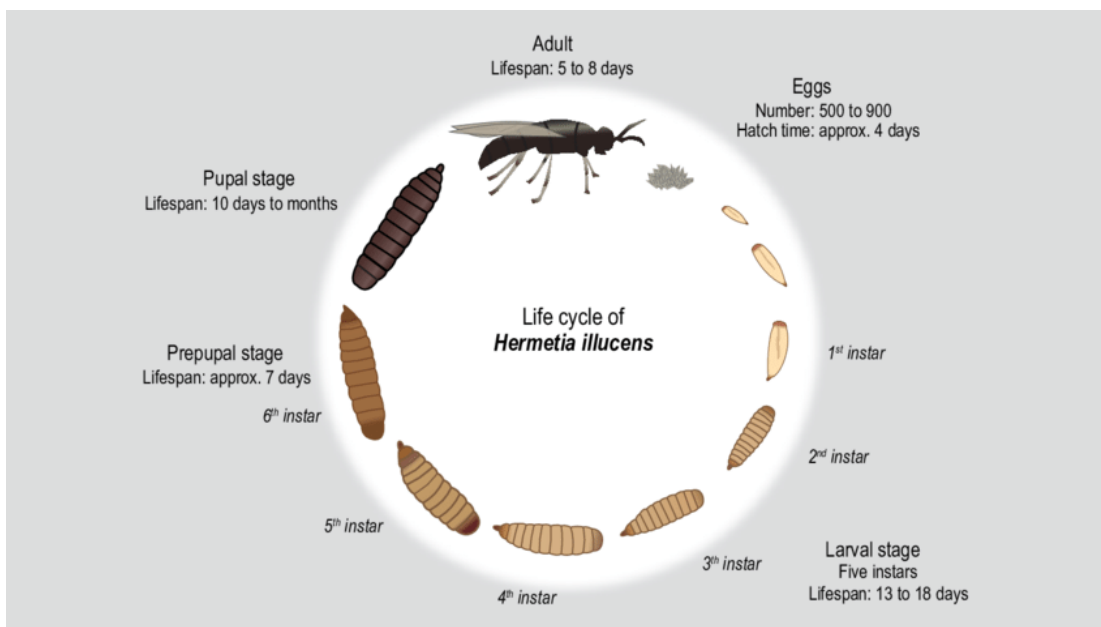
Οι ανησυχίες για την υγεία μπορεί επίσης να οφείλονται στη χιτίνη, ένα πολυμερές μακράς αλυσίδας της N-ακετυλογλυκοζαμίνης που είναι πρωταρχικό συστατικό του εξωσκελετού ορισμένων εντόμων. Η χιτίνη μπορεί να έχει «αντιδιατροφικές» ιδιότητες λόγω των πιθανών αρνητικών της επιδράσεων στην πεπτικότητα των πρωτεϊνών. (Belluco et al., 2013) Η χιτίνη είναι πλούσια σε φυτικές ίνες και γενικά θεωρείται δύσπεπτη από τον άνθρωπο. Ωστόσο, η παραγωγή χιτινολυτικών ενζύμων από βακτήρια από το ανθρώπινο γαστρεντερικό σύστημα έχει αποδειχθεί και αυτό το εύρημα υποδηλώνει ότι η χιτίνη μπορεί να αφομοιωθεί. (Rumpold et al., 2013)

Τα έντομα διαθέτουν αμυντικούς μηχανισμούς, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής οξέων άνθρακα, αλκοολών, αλδευδών και φαινολών, που μπορεί να είναι τοπικοί ερεθιστικοί

παράγοντες ή, στην περίπτωση των αλκαλοειδών, στεροειδών, κυανογόνων γλυκοζιδίων, (βενζο)κινονών και αλκενίων, ικανά να ασκήσουν σημαντική συστηματική επιδράσεις (Belluco et al., 2013)

#### 1.4 Κυριότερα είδη εντόμων για κατανάλωση

Το είδος *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae; Blacksoldierfly) είναι ένα ιθαγενές είδος της αμερικανικής ηπείρου που πλέον απαντάται ευρέως παγκοσμίως σε εύκρατες και τροπικές περιοχές. Επειδή δεν είναι φορέας ασθενειών για τους ανθρώπους, τα ζώα ή τα φυτά, σε συνδυασμό με την ικανότητά του να μετατρέπει οργανικά υπολείμματα χαμηλής αξίας σε πρωτεϊνικά προϊόντα υψηλής αξίας, έχει το καταστεί το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος εντόμου για την παραγωγή ζωοτροφών. (Tomberlin et al., 2020)



**Εικόνα 1.4.1.**Κύκλος ζωής του εντόμου *Hermetia illucens*(Πηγή: <https://www.researchgate.net/profile/Siebe-Lievens/publication/349570282/figure/fig1/AS:996549265997829@1614607268367/The-life-cycle-of-the-black-soldier-fly-Hermetia-illucens-modified-from-De-Smet-et.png>)

Ο κύκλος ζωής του περιλαμβάνει το ωό, την προνύμφη, την προ-πούπα, την πούπα και το ενήλικο στάδιο, ενώ χρειάζονται 40-45 ημέρες για να συμπληρωθεί ο βιολογικός του κύκλος (Εικόνα 1.4.1).Οι προνύμφες είναι λευκές, ενώ οι προ-πούπες και οι νύμφες είναι μαύρες, γεγονός που επιτρέπει την εύκολη αναγνώριση τους. (Shapiro-Plan et al., 2012)

Οι προνύμφες αυτού του είδους παρουσιάζουν υψηλή θρεπτική αξία. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη επί της ξηρής ουσίας μπορεί να φτάσει το 55%, ενώ περίπου το 35% της ξηρής ουσίας είναι λίπος. Παρουσιάζουν επίσης ένα καλά ισορροπημένο προφίλ βασικών

αμινοξέων, συγκρίσιμο με εκείνο της κοινής μύγας, *Muscadomestica*, του *Tenebriomolitor* και, σε αρκετές περιπτώσεις, καλύτερο από αυτό των ιχθυάλευρων. Ωστόσο, τα λιπίδια μπορούν να μειωθούν έως και σε ποσοστό 5% με κατάλληλες διαδικασίες απολίπανσης.

Η θρεπτική αξία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία εκτροφής. Μεγάλες διακυμάνσεις στη σύσταση του σώματος συμβαίνουν επίσης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των προνυμφών. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας. Το υψηλότερο πρωτεΐνης αναφέρθηκε για προνύμφες ηλικίας 5 ημερών (61%), ενώ ήταν μικρότερο στις προνύμφες 15 (44%) και 20 (42%) ημερών. Οι προνύμφες περιέχουν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις σε μέταλλα, όπως το μαγγάνιο (Mn), ο σίδηρος (Fe), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), ο φώσφορος (P) και το ασβέστιο (Ca). (Barragan-Fonseca et al., 2017)

Η κοινή μύγα, *Muscadomestica* L. (Diptera: Muscidae; housefly) είναι το πιο διαδεδομένο είδος μύγας στον κόσμο κι έχει λάβει έγκριση για εκτροφή στην ΕΕ (Εικόνα 1.4.2). Οι προνύμφες της μπορούν να αναπτυχθούν σε μία ποικιλία υποστρωμάτων δείχνοντας την ικανότητα μετασχηματισμού οργανικών αποβλήτων σε μια πολύτιμη βιομάζα, πλούσια σε πρωτεΐνες και λίπος, χρήσιμη ως ζωοτροφή. Γι'αυτό το λόγο έχει διερευνηθεί η παραγωγή προνυμφών και η εκτροφή τους σε ελεγχόμενες συνθήκες από τα τέλη της δεκαετίας του '60.





**Εικόνα 1.4.2.Η κοινή μύγα (*Muscadomestica*)** Πηγή : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Musca\\_domestica\\_September\\_2007-1.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Musca_domestica_September_2007-1.jpg)

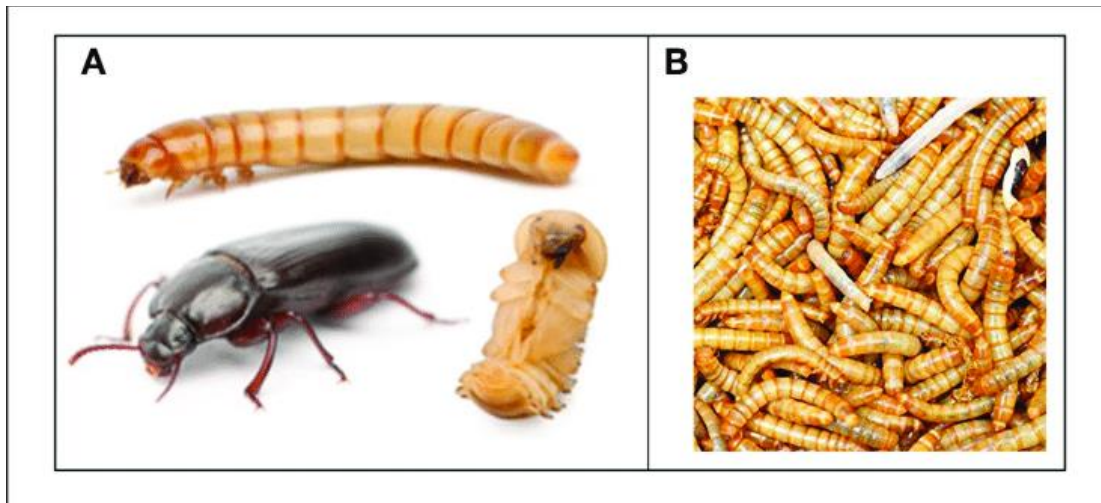
Η μύγα έχει έναν πολύ σύντομο κύκλο ζωής και τέσσερα αναπτυξιακά στάδια. Οι προνύμφες εκκολάπτονται μετά από 8 έως 12 ώρες, ενώ τα στάδια της προνύμφης και της νύμφης διαρκούν περίπου 5 ημέρες. Ο κύκλος των 10 ημερών μπορεί να μειωθεί σε 6 ημέρες υπό ελεγχόμενες συνθήκες. (Makkar et al., 2014)

Όσον αφορά το διατροφικό προφίλ, εμφανίζει μεγάλη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και λιπίδια. Έχουν αναφερθεί αλλαγές στη σύνθεση για τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, ανάλογα επίσης με το υπόστρωμα εκτροφής. Για τις προνύμφες, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια κυμαίνονται μεταξύ 40% και 60% και μεταξύ 9% και 26% επί της ξηράς ουσίας, αντίστοιχα. Είναι ενδιαφέρον ότι η ποσότητα πρωτεΐνης μπορεί να αυξηθεί έως περίπου στο 70% στις προνύμφες. Το προφίλ αμινοξέων είναι επίσης αρκετά κοντά σε αυτό του ιχθυάλευρου. Η περιεκτικότητα σε P, K, Na, Mg και Fe είναι σχετικά υψηλή.

Η αντικατάσταση του ιχθυάλευρου με αλεύρι προνυμφών μύγας σε ποσοστό 50% έχει βρεθεί πως βελτιώνει την ανάπτυξη της τιλάπιας του Νείλου. (Ajani et al., 2004) Μια πρόσφατη, πιο ολοκληρωμένη μελέτη για το ίδιο είδος ψαριού αναφέρει τα αποτελέσματα ενός διατροφικού πειράματος 10 εβδομάδων για την αξιολόγηση της επίδρασης της προοδευτικής συμπερίληψης αλεύρου προνυμφών της κοινής μύγας στο σιτηρέσιο των ψαριών. Χρησιμοποιήθηκαν δίαιτες με 25%, 50%, 75% και 100% υποκατάσταση του ιχθυάλευρου, ενώ αξιολογήθηκαν και αρκετές ποιοτικές παράμετροι και συγκρίθηκαν με αυτές των ψαριών που τρέφονταν με το σιτηρέσιο του μάρτυρα. Καμία σημαντική διαφορά στην πρόσληψη τροφής και στον συντελεστή πεπτικότητας μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν παρατηρήθηκε. Επιπλέον, η αντικατάσταση έως και 75% του ιχθυαλεύρου δεν επηρεάζει την ανάπτυξη, απόδοση και χρήση των συστατικών του σιτηρεσίου από τα ψάρια. Αντίθετα, η υποκατάσταση του ιχθυάλευρου κατά 25% επηρέασε θετικά την ποιότητα του κρέατος της τιλάπιας του Νείλου. Ωστόσο, η πλήρης αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου προκάλεσε σημαντικά χαμηλότερο ποσοστό επιβίωσης, αύξηση βάρους και υψηλότερο ποσοστό μετατροπής τροφής. (Wang et al., 2017)

Το είδος *Tenebrionolitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι ένα ιθαγενές είδος στην Ευρώπη, αλλά σήμερα κατανέμεται σε όλες τις περιοχές του πλανήτη. Οι προνύμφες του ονομάζονται κοινώς «αλευροσκώληκας» και αποτελούν ένα αρκετά κοινό είδος εντόμων για εκτροφή. Ο κύκλος ζωής του διαρκεί 280-630 ημέρες και διακρίνεται σε δύο στάδια. Σε θερμοκρασία δωματίου οι προνύμφες συνήθως εκκολάπτονται μετά από 10 έως 12 ημέρες

και ωριμάζουν μετά από 8 έως 20 στάδια ανάπτυξης που χρειάζονται περίπου 3 έως 4 μήνες συνολικά. Οι ώριμες προνύμφες μπορούν να ζήσουν έως και 18 μήνες και χαρακτηρίζονται από ανοιχτό κίτρινο-καφέ χρώμα. Τυπικά, έχουν μήκος 20 έως 32 mm και το βάρος τους κυμαίνεται μεταξύ 130 και 160 mg (Εικόνα 1.4.3).



**Εικόνα 1.4.3.** Τα διάφορα στάδια του εντόμου *Tenebrio molitor* (Πηγή : <https://www.researchgate.net/publication/338039207/figure/fig2/AS:837800039550976@1576758503085/The-mealworm-Tenebrio-molitor-A-Life-cycle-showing-larva-pupa-and-adult-Epic.png>)

Το στάδιο της νύμφης διαρκεί κανονικά 7 έως 9 ημέρες σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά μπορεί να διαρκέσει έως 20 ημέρες εάν η θερμοκρασία μειωθεί. Το ενήλικο ζει για 2 έως 3 μήνες. (Makkar et al., 2014)

Οι προνύμφες του παρασιτούν σιτηρά και άλευρα, είναι παμφάγες και έχουν την ικανότητα να ανακυκλώνουν διάφορα είδη βιολογικών υποπροϊόντων τροφίμων σε υψηλής ποιότητας ζωοτροφές πλούσιες σε θερμίδες, πρωτεΐνες και λίπος σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. (Van Broekhoven et al., 2015)

Οι αλευροσκώληκες έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (47-60%) με τα απαραίτητα αμινοξέα σε αρκετά καλή αναλογία. Έχουν επίσης σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε λιπαρά (31-43%). Η σύνθεση των λιπαρών οξέων είναι πιο κοντά σε αυτή του αλεύρου προνυμφών μύγας εκτός από το λαυρικό και το λινολεϊκό οξύ, τα οποία είναι, αντίστοιχα, πολύ λιγότερα και πολύ περισσότερα στον αλευροσκώληκα. Οι αλευροσκώληκες παρουσιάζουν επίσης μεγάλη περιεκτικότητα σε μέταλλα όπως P, K, Na, Mg, Fe και Cu.

Η εμπορική παραγωγή αλευροσκώληκα ξεκίνησε στις ΗΠΑ την δεκαετία του 1950. Η αγορά ήταν αρχικά για δόλωμα ψαρέματος, αλλά οι αλευροσκώληκες χρησιμοποιήθηκαν σύντομα

ως τροφή για εξωτικά κατοικίδια και ζώα ζωολογικών κήπων. Πιο πρόσφατα, οι αλευροσκώληκες έδειξαν επίσης τις υψηλές δυνατότητές τους για μερική αντικατάσταση του ιχθυαλεύρου στη διατροφή διαφορετικών ειδών ψαριών. (Li et al, 2020) Για παράδειγμα, οι αλευροσκώληκες είναι εξαιρετικά εύγευστα, μπορούν να αντικαταστήσουν έως και 40% του συστατικού ιχθυαλεύρου σε σύνθετες δίαιτες για αφρικανικά γατόψαρα χωρίς καμία σημαντική μείωση της απόδοσης ανάπτυξης και της αναλογίας απόδοσης ζωοτροφών. Επιπλέον, καλές επιδόσεις ανάπτυξης παρατηρήθηκαν για δίαιτες με αντικατάσταση έως και 80% των ιχθυαλεύρων. (Calvert et al., 1969) Ενδιαφέροντα αποτελέσματα έχουν ελήφθη επίσης για θαλάσσια σαρκοφάγα είδη ψαριών, όπως η τσιπούρα και το ευρωπαϊκό λαβράκι, όπου η ανάπτυξη των ψαριών δεν επηρεάστηκε σημαντικά σε αντικαταστάσεις ιχθυαλεύρων κατά 25%.

Το είδος *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae; lesser mealworm) απαντάται συχνά σε διάφορες αποθηκευτικές εγκαταστάσεις, όπως αποθήκες, σιλό, μύλους κα., συνυπάρχοντας με άλλα είδη εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων. (Athanassiou et al., 2000) Έχει αναφερθεί να προσβάλλει τουλάχιστον 89 διαφορετικά είδη προϊόντων, τόσο ζωικής (ιχθυάλευρα, κρεατάλευρα, δέρματα κα) όσο και φυτικής προέλευσης, κυρίως σπόρους δημητριακών (π.χ. σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι και ρύζι) αλλά και άλλα συναφή αμυλούχα προϊόντα (π.χ. αλεύρι, πίτουρο κα).

Επιπροσθέτως, το *A. diaperinus* είναι ένα από τα συνήθη παράσιτα των πτηνοτροφικών μονάδων, όπου αναπτύσσεται και πολλαπλασιάζεται στην στρωμή των πτηνοτροφείων, τρεφόμενο με τα απορρίμματα των πουλερικών, τις ζωοτροφές και άλλα οργανικά υλικά. Πέρα όμως από την ενόχληση που προκαλούν στα πουλερικά, τα άτομα του *A. diaperinus* μπορεί να αποτελέσουν φορείς σημαντικών ασθενειών (π.χ. *Salmonella*, *Escherichia* κα.), ενώ μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην ξυλεία και τη μόνωση των πτηνοτροφείων, αναζητώντας τροφή και μέρος για το στάδιο της μεταμόρφωσής τους σε νύμφη. (Rumbos et al., 2020) Το είδος αυτό, φαίνεται ότι μπορεί να αξιοποιήσει με ιδιαίτερη επιτυχία αμυλούχα αλλά και άλλα προϊόντα τα οποία αποτελούν υποπροϊόντα και παραπροϊόντα επεξεργασίας για την πληθυσμιακή του ανάπτυξη, γεγονός που το καθιστά λίαν σημαντικό υποψήφιο είδος για την παραγωγή πρωτεΐνης, ιδίως μετά τη τοποθέτησή του στον κατάλογο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τα «εγκεκριμένα» είδη εντόμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. (Rumbos et al., 2020)

### **1.5 Εκτροφή εντόμων και κυκλική οικονομία**

Οι σημερινές μας συνήθειες παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων είναι μη βιώσιμες. Η έννοια της κυκλικής οικονομίας μπορεί να προσφέρει εργαλεία για τη βελτίωση και τη

βελτιστοποίηση της βιωσιμότητας ενός συστήματος παραγωγής τροφίμων. (Jurgilevich et al., 2016)

Η κυκλική οικονομία κερδίζει αυξημένη προσοχή από ακαδημαϊκούς, πολιτικούς και επαγγελματίες για να ανακατευθύνει την πορεία της οικονομικής ανάπτυξης και να επιτρέψει την κυκλική σκέψη προς τη δημιουργία μιας οικονομίας μηδενικών αποβλήτων. Η κυκλική οικονομία αποτελεί μία έννοια ομπρέλα κάτω από την οποία δεν υπάρχει κάποιος ενιαίος ορισμός, αλλά περιλαμβάνει την καθαρότερη παραγωγή, οικολογική βιομηχανία και γενικότερα την μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της οικονομίας στο περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις αναφέρεται πως η κυκλική οικονομία περιλαμβάνει ένα σύστημα παραγωγής και κατανάλωσης με ελάχιστες απώλειες υλικών και ενέργειας μέσω εκτεταμένης επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης.

Η κυκλική οικονομία αποτελεί μία οικονομική στρατηγική που προτείνει καινοτόμους τρόπους για τη μετατροπή του τρέχοντος κυρίως γραμμικού συστήματος κατανάλωσης σε κυκλικό, επιτυγχάνοντας παράλληλα οικονομική βιωσιμότητα με την απαραίτητη εξοικονόμηση υλικών. Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνει καινοτόμες έννοιες, όπως ο σχεδιασμός της διαχείρισης των απορριμμάτων και η επιδίωξη της οικολογικής αποτελεσματικότητας. Σε όλες τις περιπτώσεις σκοπός της κυκλικής οικονομίας είναι η προστασία του περιβάλλοντος καθώς και η βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη.

Η ενσωματωμένη ενέργεια που προέρχεται από οργανική ύλη που χρησιμοποιείται για τη διατροφή των εντόμων μετατρέπεται αποτελεσματικά σε βρώσιμες πρωτεΐνες υψηλής αξίας που στοχεύουν στη διατροφή των ζώων και των ψαριών (και των ανθρώπων). (Chia et al., 2019)

Η παραγωγή εντόμων ως ζωοτροφών έχει ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά. Τα έντομα μπορούν να μετατρέψουν αποτελεσματικά οργανικά υποστρώματα χαμηλής ποιότητας σε πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας. Οι προνύμφες εντόμων μπορούν να εκτραφούν σε οργανικά απόβλητα, τα οποία διαφορετικά θα κατέληγαν σε χωματερές προκαλώντας περιβαλλοντική ρύπανση. Ταυτόχρονα οι προνύμφες εντόμων μπορούν να βοηθήσουν και στην μείωση των απορριμμάτων τροφών έως και κατά 66%. Τα πειράματα έδειξαν μείωση των απορριμμάτων κρέατος χοίρων και κοτόπουλων έως και κατά 51-80%. (Nana et al., 2018) Η βιωσιμότητα της παραγωγής εντόμων είναι υψηλότερη εάν τα έντομα τρέφονται με οργανικούς πόρους που επί του παρόντος δεν είναι κατάλληλοι ως τροφή για τα ζώα. Οι τρέχουσες πηγές πρωτεΐνης στις ζωοτροφές είναι τα σογιάλευρα και τα ιχθυάλευρα, των οποίων η χρήση είναι υπό πίεση λόγω περιβαλλοντικών παραμέτρων. Επομένως, η εκτροφή προνυμφών εντόμων ως ζωοτροφή μπορεί να μετριάσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ζωοτροφών.

Η εφαρμογή εντόμων στον κύκλο των θρεπτικών συστατικών για την παραγωγή ζωοτροφών είναι καινοτόμος και επί του παρόντος τυγχάνει μεγάλης προσοχής. Για την παραγωγή

αλεύρου προνυμφών 0,5 τόνων απαιτείται μικρότερη έκταση γης και ενέργειας συγκριτικά με την παραγωγή αντίστοιχης ποσότητας ιχθυάλευρου και σογιάλευρου. Παρόμοια δεδομένα έχουν αναφερθεί για την παραγωγή αλεύρων σίτου. Επίσης, η εκμετάλλευση περιβαλλόντων που ταιριάζουν με τις βέλτιστες θερμοκρασίες, όπως σε τροπικές περιοχές, μπορεί να μειώσει τη χρήση ενέργειας ακόμα παραπάνω. (Chia et al., 2019)

Η χρήση εντόμων για αντικατάσταση των ζωοτροφών μπορεί να οδηγήσει και στην μείωση του κόστους παραγωγής των ζωοτροφών. Για τους γεωργούς μικρής κλίμακας, το σημαντικότερο κόστος της κτηνοτροφικής παραγωγής αντιπροσωπεύεται από το κόστος των ζωοτροφών που ανέρχεται έως και στο 70% του συνόλου του κόστους και αυτό οφείλεται κυρίως στο κόστος των πρωτεϊνικών συστατικών. Οι τιμές των σογιάλευρων και ιδιαίτερα των ιχθυαλεύρων αυξάνονται ραγδαία. Κατά συνέπεια, οι αγρότες σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος χρειάζονται εναλλακτικές λύσεις που είναι ταυτόχρονα αποτελεσματικές και προσιτές. Μια μελέτη έδειξε πως οι γεωργοί συνήθως εξαρτώνται από εξωτερικές πηγές ζωοτροφών, συμπεριλαμβανομένων των εθνικών και διεθνών εταιρειών ζωοτροφών πράγμα που τους καθιστά οικονομικά εξαρτημένους από την εισαγωγή ζωοτροφών που συνήθως βασίζονται στα ιχθυάλευρα και σογιάλευρα. Ωστόσο, οι προνύμφες εντόμων μπορεί να παράγονται τοπικά από μικροκαλλιεργητές παρέχοντας ευκαιρίες να γίνουν προμηθευτές ζωοτροφών επιπλέον ή αντί να είναι αγοραστές ζωοτροφών. Οι προνύμφες εντόμων μπορούν να αποτελέσουν συστατικών των ζωοτροφών και να συμπεριληφθούν στις τροφές είτε να πωληθούν σε μονάδες επεξεργασίας ζωοτροφών. Αυτό θα δώσει στους αγρότες ευκαιρίες να συμμετάσχουν ενεργά στην αλυσίδα της αναδυόμενης γεωργικής επιχείρησης εντόμων. Η λιγότερη εξάρτηση από τους διεθνείς παραγωγούς ζωοτροφών και η ταυτόχρονη απόκτηση εισοδήματος από την παραγωγή προνυμφώνως συστατικού της ζωοτροφής συμβάλλει στη βελτίωση της διαβίωσης και της επισιτιστικής ασφάλειας των μικροκαλλιεργητών. (Pomalégni et al., 2017)

Η εκτροφή εντόμων από μικροκαλλιεργητές μπορεί να αυξήσει την τοπική προσφορά εντόμων ως ζωοτροφών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα κτηνοτροφίας-ιχθυοκαλλιέργειας. Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιούν ροές απορριμμάτων στο αγρόκτημα, όπως υπολείμματα καλλιεργειών ως εισροή για την παραγωγή προνυμφών εντόμων και να τις ενσωματώνουν στην διατροφή των ζώων. Αυτό οδηγεί σε μια κυκλική προσέγγιση που κλείνει τους κύκλους των θρεπτικών συστατικών στο αγρόκτημα. (Chia et al., 2019)

Με περιορισμένο χώρο, οι αγρότες με φτωχούς πόρους που ασχολούνται με την εκτροφή εντόμων μπορεί να αυξήσουν την παραγωγικότητά τους ενώ συμβάλλουν στη διαχείριση των απορριμμάτων. Οι μικροί κάτοχοι μπορούν να ξεκινήσουν καινοτόμες επιχειρήσεις με περιορισμένες εισροές για την παραγωγή εντομάλευρου για ζωοτροφές και η ροή αποβλήτων

της παραγωγής εντόμων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα για τη φυτική παραγωγή. Οι πωλήσεις από τα παραγόμενα ζωικά προϊόντα (ψάρια, κρέας και αυγά, άλευρο εντόμων) και οι αποδόσεις των καλλιεργειών μπορούν να συμπληρώσουν το εισόδημα των νοικοκυριών ή να παρέχουν τροφή. Τα έντομα μπορούν έτσι να κλείσουν αποτελεσματικά τους κύκλους των θρεπτικών συστατικών αποφεύγοντας τη σπατάλη τροφής επειδή τα απόβλητα γίνονται πόρος.

Μια βασική πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη για το κλείσιμο του βρόχου είναι οι νομοθετικοί περιορισμοί της χρήσης εντόμων αλεύρων ως (συστατικό) ζωοτροφής. Η συμπερίληψη εντομαλεύρου στο σιτηρέσιο ζώων και ψαριών είναι επί του παρόντος υπό ανάπτυξη στην ΕΕ. Έτσι, αυτό το πολλά υποσχόμενο μοντέλο βρίσκεται τώρα στη διαδικασία αποδοχής και από τις ρυθμιστικές αρχές. ( Chia et al., 2019)

### **1.6 Σκοπός της παρούσας εργασίας**

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να αξιολογηθεί η καταλληλότητα έντεκα γεωργικών παραπροϊόντων που προέρχονται από τη διαδικασία καθαρισμού σπόρων δημητριακών (τριτικάλε, κριθάρι, σκληρό σιτάρι και βρώμη) και ψυχανθών (βίκος, μπιζέλι, λούπινο, φακή, μηδική και φασόλι), σαν θρεπτικά υποστρώματα διατροφής των προνυμφών των εντόμων *T. molitor* και *A. diaperinus*.

## **2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **2.1 Έντομα**

Και τα δύο είδη εντόμων που εξετάστηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία εκτράφηκαν στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας (Βόλος, Μαγνησία, Ελλάδα) σε θερμοκρασία  $26 \pm 1$  °C, 55% σχετική υγρασία και συνεχές σκοτάδι. Το σιτηρέσιο των εντόμων κατά την διάρκεια της εργαστηριακής εκτροφής αποτελούνται από πίτουρο σίτου (90%) και ξηρή μαγιά (10%) (AngelYeast Co. Ltd., Yichang, Κίνα). Σαν πηγή υγρασίας προσφέρονταν στα έντομα δύο φορές την εβδομάδα φέτες πατάτας.

Στις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκαν νεοεκκολαφθείσες προνύμφες (ηλικίας <2 ημερών). Για την απόκτηση νεοεκκολαπτόμενων προνυμφών, τα ενήλικα του *T. molitor* και του *A. diaperinus* αφέθηκαν να ωστοκήσουν για μία εβδομάδα σε λευκό αλεύρι σίτου. Μετά από αυτό το διάστημα, τα ενήλικα απομακρύνθηκαν και τα αυγά συλλέχθηκαν με κόσκινο χειρός με άνοιγμα ματιού 0,5 mm. Οι προνύμφες για τα πειράματα συλλέχθηκαν 2 ημέρες μετά την εκκόλαψη της πρώτης προνύμφης.

## 2.2 Παραπροϊόντα

Τα παραπροϊόντα που εξετάστηκαν προέρχονταν από τη διαδικασία καθαρισμού των σπόρων ορισμένων δημητριακών (τритικάλε, κριθάρι, σκληρό σιτάρι και βρώμη) και ψυχανθών (βίκος, μπιζέλι, λούπινο, φακή, μηδική και φασόλι) (Φωτογραφίες 1-10; Πίνακας 2.2 1). Για τον προσδιορισμό της ξηράς ουσίας των παραπροϊόντων έγινε ξήρανση σε φούρνο στους 105 °C μέχρι απόκτησης σταθερού βάρους. Η περιεκτικότητα των παραπροϊόντων σε άζωτο προσδιορίστηκε με αναλύσεις Kjeldahl (Συντελεστής μετατροπής αζώτου σε πρωτεΐνη: 6,25; BehrLabor-TechnikGmbH, Düsseldorf, Γερμανία, σύστημα τυποποιημένης χώνευσης K12-block, προγραμματιζόμενη συσκευή χώνευσης με υπέρυθρες ακτίνες, μονάδα απόσταξης S4). Όλα τα παραπροϊόντα, καθώς και πληροφορίες σχετικά με το κόστος τους, παρασχέθηκαν από μια τοπική μονάδα καθαρισμού σπόρων [Fyto-Animal Services (F.A.S., Λάρισα, Ελλάδα)].



Φωτογραφία 1. Παραπροϊόν βίκου πριν και μετά την άλεση.



Φωτογραφία 2. Παραπροϊόν βρώμης πριν και μετά την άλεση.



Φωτογραφία 3. Παραπροϊόν κριθαριού πριν και μετά την άλεση.



Φωτογραφία 4. Παραπροϊόν κτηνοτροφικού κουκιού.



Φωτογραφία 5. Παραπροϊόν μπιζελιού πριν και μετά την άλεση.





Φωτογραφία 6. Παραπροϊόν σκληρού σιταριού πριν και μετά την άλεση.



Φωτογραφία 7. Παραπροϊόν λούπινου πριν και μετά την άλεση.



Φωτογραφία 8. Παραπροϊόν μηδικής πριν και μετά την άλεση.



Φωτογραφία 9. Παραπροϊόν τριτικάλε πριν και μετά την άλεση.



Φωτογραφία 10. Παραπροϊόν φακής πριν και μετά την άλεση.

**Πίνακας 2.1.** Ξηρά ουσία (%), περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (%DM) και κόστος (€/τόνο) δέκα υποπροϊόντων της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών και οσπρίων και δύο συστατικών (πίτουρο σίτου και μαγιά αρτοποιίας) του σιτηρεσίου του μάρτυρα.

Παραπροϊόντα	Ξηρή ουσία (%)	Πρωτεΐνη (%DM)	Τιμή (€/τόνο)
Πίτουρο σίτου (συστατικό σιτηρέσιο μάρτυρα)	85,2	16,7	170
Παραπροϊόν βίκου ( <i>Vicia sativa</i> )	91,8	24,9	270
Παραπροϊόν μπιζελιού ( <i>Pisum sativum</i> )	91,9	28,2	220
Παραπροϊόν λούπινου ( <i>Lupinus albus</i> )	93,3	33,5	300
Παραπροϊόν Triticale ( <i>Triticum sp. x Secale cereale</i> )	92,1	8,5	140
Παραπροϊόν φακής ( <i>Lens culinaris</i> )	91,0	20,8	350
Παραπροϊόν μηδικής ( <i>Medicago sativa</i> )	95,8	13,3	100
Παραπροϊόν φασολιών ( <i>Vicia faba</i> )	91,0	27,3	220
Παραπροϊόν κριθαριού ( <i>Hordeum vulgare</i> )	91,6	9,1	140

Παραπροϊόν σκληρού σίτου ( <i>Triticum durum</i> )	91,0	11,0	170
Παραπροϊόν βρώμης ( <i>Avenasativa</i> )	90,4	12,3	140
Μαγιά αρτοποιίας (Συστατικό σιτηρέσιο μάρτυρα)	97,9	50,0	8000

### 2.3 Πειραματικός σχεδιασμός

Οι βιοδοκιμές έγιναν μέσα σε πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια (διάμετρος 7,5 εκ.cm, ύψος 8,8 εκ.cm) (Φωτογραφία 11). Όλα τα παραπροϊόντα αξιολογήθηκαν μεμονωμένα. Πριν από την έναρξη των πειραμάτων, όλα τα υποπροϊόντα αφήθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος ( $26 \pm 1$  °C, 55-55% σχετική υγρασία) για 7 ημέρες, ώστε να εξισορροπηθούν τα επίπεδα υγρασίας τους. Στη συνέχεια, τα παραπροϊόντα αλέστηκαν (Thermomix TM31-1C, VorwerkElektrowerkeGmbH and Co. K, Wuppertal, Γερμανία) και κοσκινίστηκαν με το χέρι με κόσκινο ανοίγματος 0,5 mm.



Φωτογραφία 11. Πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές.

Σε κάθε φιαλίδιο τοποθετήθηκε ένα γραμμάριο κάθε παραπροϊόντος, χρησιμοποιώντας διαφορετικά φιαλίδια για κάθε υπόστρωμα. Ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) χρησίμευσε ως μάρτυρας στις βιοδοκιμές. Δημιουργήθηκαν ομάδες των 20 προνυμφών του *T. molitor* και 50 νεαρών προνυμφών *A. diaperinus*, οι οποίες ζυγίστηκαν για να προσδιοριστεί το αρχικό τους βάρος και μεταφέρθηκαν στα φιαλίδια. Κάθε μεταχείριση επαναλήφθηκε έξι φορές. Οι προνύμφες αφήθηκαν να τραφούν ανενόχλητες *ad libitum* για περίοδο τεσσάρων εβδομάδων. Τα φιαλίδια παρακολουθούνταν τρεις φορές την εβδομάδα, ώστε να διασφαλιστεί ότι οι προνύμφες δεν θα ξεμείνουν από τροφή. Εάν η τροφή είχε καταναλωθεί σχεδόν πλήρως, γίνονταν προσθήκη νέας τροφής, αφού αυτή είχε πρώτα ζυγιστεί. Ως πηγή υγρασίας, προσφέρονταν στις προνύμφες φέτες καρότου ( $0,6 \pm 0,1$  g) τρεις φορές την εβδομάδα, ενώ τα παλιά κομμάτια καρότου αφαιρούνταν. Στο τέλος της περιόδου

των τεσσάρων εβδομάδων, οι προνύμφες από κάθε φιαλίδιο διαχωρίστηκαν από το υπόστρωμα διατροφής και καταγράφηκε η επιβίωση τους και το συνολικό τους βάρος ως ομάδα. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβανόταν κάθε δύο εβδομάδες μέχρι την εμφάνιση της πρώτης πούπας. Ο χρόνος ανάπτυξης υπολογίστηκε, ως ο αριθμός των ημερών μεταξύ της έναρξης του πειράματος και της ημέρας εμφάνισης της πρώτης πούπας για κάθε φιαλίδιο. Τα δεδομένα κατανάλωσης τροφής και αύξησης του βάρους χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής [Feedconversionratio(FCR), Εξίσωση (1)], δηλαδή της ποσότητας τροφής που απαιτείται (σε kg) για να επιτευχθεί αύξηση του βάρους του ζώου παραγωγής κατά ένα kg.

$$FCR = (\text{Ποσότητα τροφής που καταναλώθηκε}) / (\text{βάρος που αποκτήθηκε}) \quad [1]$$

Επιπλέον, ο Ειδικός Ρυθμός Ανάπτυξης [SpecificGrowthrate (SGR), % αύξησης/ημέρα , Εξίσωση (2)] υπολογίστηκε σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

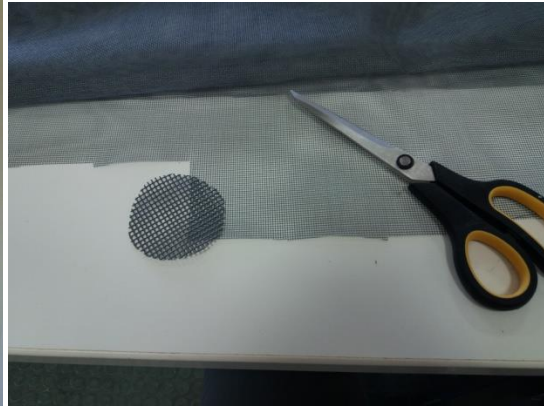
$$SGR = 100 \times (\ln FBW - \ln IBW) / \text{ημέρες} \quad [2]$$

όπου FBW και IBW αντιπροσωπεύουν το τελικό και το αρχικό σωματικό βάρος των προνυμφών, αντίστοιχα. Τόσο το FCR όσο και το SGR υπολογίστηκαν με βάση το νωπό βάρος των προνυμφών. Για όλους τους υπολογισμούς κάναμε την παραδοχή ότι καταναλώθηκε όλη η παρεχόμενη τροφή, ενώ το βάρος των παρεχόμενων καρότων εξαιρέθηκε από τους υπολογισμούς. Με βάση το FCR, καθώς και την τιμή κάθε παραπροϊόντος υπολογίστηκε ο δείκτης οικονομικής μετατροπής (Economicconversionratio (ECR), € kg<sup>-1</sup>, Εξίσωση (3)) της χρήσης κάθε παραπροϊόντος για την εκτροφή προνυμφών *T. molitor* και *A. diaperinus* χρησιμοποιώντας με ακόλουθη εξίσωση:

$$ECR = FCR \times \text{κόστος σιτηρεσίου}$$

[3]

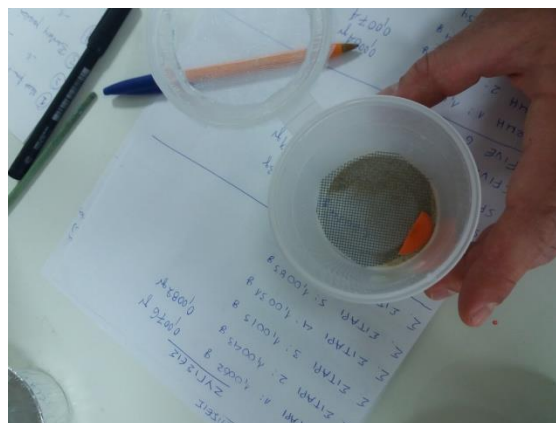
όπου το FCR εκφράζεται ως kg σιτηρεσίου kg<sup>-1</sup> προνυμφών και το κόστος του σιτηρεσίου ως € kg<sup>-1</sup> σιτηρεσίου.



Φωτογραφία 12. Προετοιμασία για πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές.



Φωτογραφία 13. Ζύγιση ενός γραμμαρίου παραπροϊόντων πριν την έναρξη του πειράματος .



Φωτογραφία 14. Προσθήκη καρότου ως πηγή υγρασίας στις προνύμφες.

#### 2.4 Στατιστική ανάλυση

Η δοκιμή Kruskal-Wallis Η χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων ( $p < 0,05$ ) για τις παραμέτρους FCR, SRG

και ECR, ακολουθούμενη από τη μέθοδο των πολλαπλών συγκρίσεων Dunn. Η μέθοδος Kaplan-Meier χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση του χρόνου ανάπτυξης, ενώ η δοκιμή Mantel-Cox χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση των διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων όσον αφορά στον χρόνο ανάπτυξης. Οι συσχετίσεις μεταξύ του χρόνου ανάπτυξης και των FCR και SGR, καθώς και μεταξύ FCR και ECR, προσδιορίστηκαν με τον συντελεστή συσχέτισης Pearson. Η στατιστική ανάλυση όλων των δεδομένων έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS 26.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

### **3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Η περιεκτικότητα των παραπροϊόντων σε πρωτεΐνη κυμάνθηκε από 8,5 έως 33,5%, με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη να καταγράφεται για το λούπινο και τη χαμηλότερη για το παραπροϊόν τριτικάλε. Όπως αναμενόταν, τα περισσότερα από τα παραπροϊόντα των ψυχανθών ήταν πλούσια σε πρωτεΐνες (20,8-33,5%), με εξαίρεση το παραπροϊόν της μηδικής (13,3%). Αντίθετα, τα παραπροϊόντα δημητριακών που εξετάστηκαν περιείχαν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (8,5-12,3%). Όλα τα παραπροϊόντα είχαν παρόμοια περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία (DM) (90,4-95,7%).

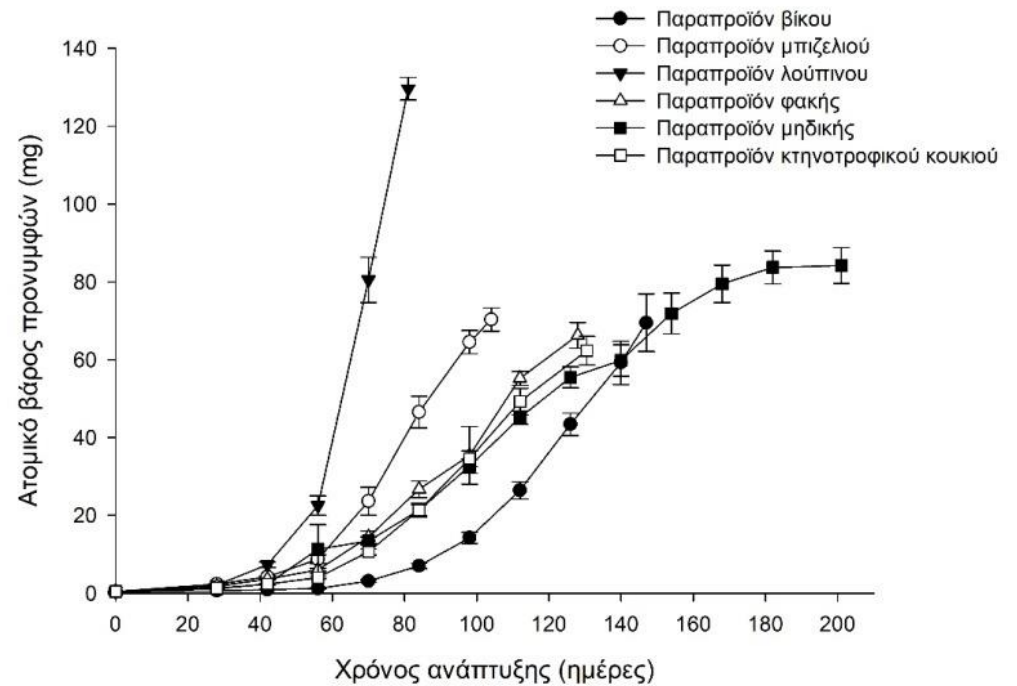
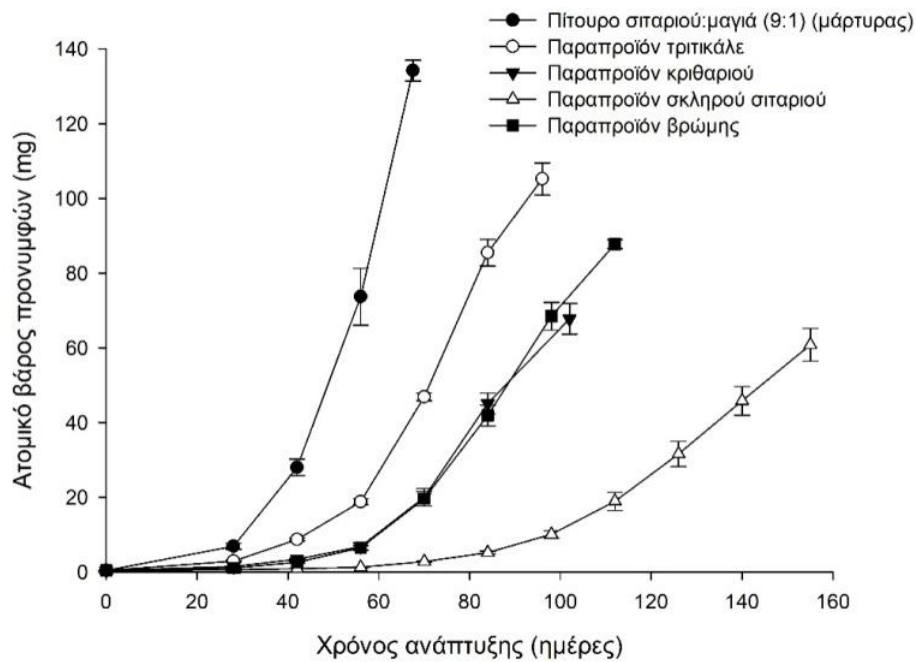
#### **3.1 *Tenebriomolitor***

Η αύξηση του μέσου βάρους των προνυμφών του *T. molitor* στα διάφορα παραπροϊόντα με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζεται γραφικά στο Σχήμα 3.1. Όσον αφορά στα παραπροϊόντα των δημητριακών που εξετάστηκαν (Σχήμα 3.1.A), το παραπροϊόν τριτικάλε έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα, παρόμοια με αυτά του μάρτυρα ( $134 \pm 3$  mg), φθάνοντας σε τελικό μέσο βάρος προνυμφών  $108 \pm 6$  mg. Το τελικό μέσο βάρος προνυμφών για τα υπόλοιπα παραπροϊόντα δημητριακών κυμάνθηκε μεταξύ  $64 \pm 9$  (παραπροϊόν σκληρού σίτου) και  $90 \pm 5$  mg (παραπροϊόν βρώμης). Μεταξύ των παραπροϊόντων των ψυχανθών που αξιολογήθηκαν, το λούπινο είχε την καλύτερη απόδοση με τελικό μέσο βάρος προνυμφών *T. molitor*  $130 \pm 3$  mg (Σχήμα 3.1.B). Χαμηλότερα τελικά βάρη προνυμφών καταγράφηκαν για τα υπόλοιπα παραπροϊόντα οσπρίων που κυμάνθηκαν μεταξύ  $63 \pm 4$  (παραπροϊόν φασολιών) και  $80 \pm 5$  (παραπροϊόν μηδικής).

Τα ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών του *T. molitor* διέφεραν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων διατροφικών μεταχειρίσεων (Σχήμα 3.2). Στην περίπτωση των παραπροϊόντων δημητριακών καταγράφηκαν υψηλά ποσοστά τελικής επιβίωσης (>64%), με το υψηλότερο να σημειώνεται για το παραπροϊόν βρώμης (84%). Η επιβίωση των προνυμφών που τρέφονταν με παραπροϊόντα ψυχανθών ακολούθησε παρόμοιο πρότυπο (>52% επιβίωση), με

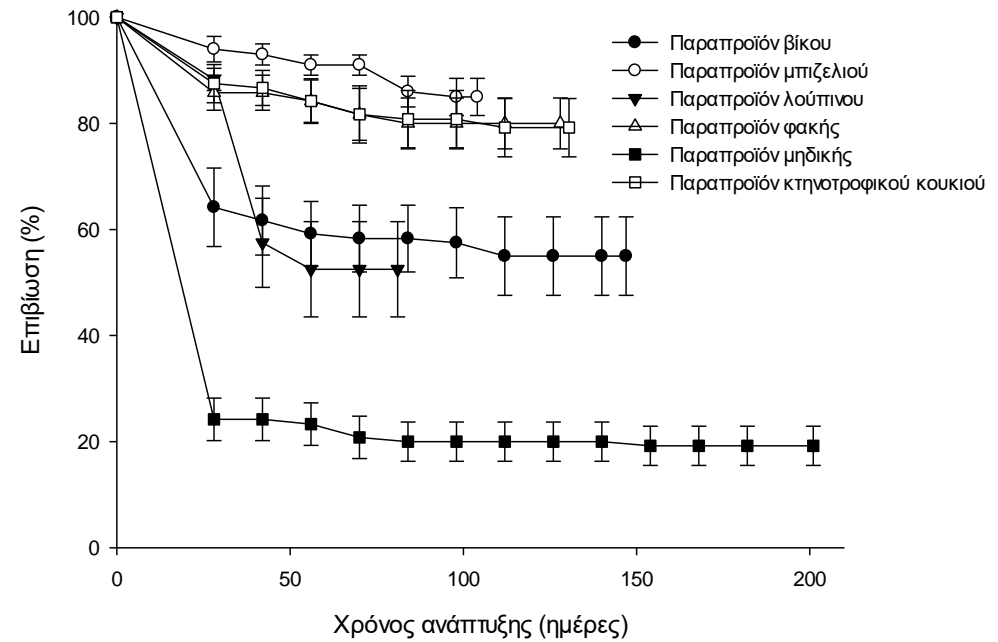
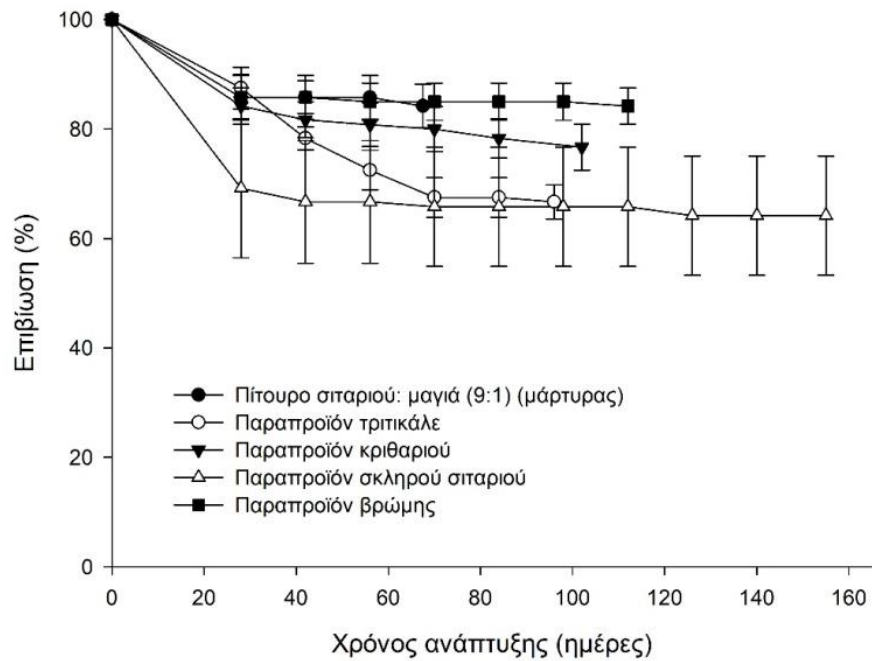
εξαίρεση το παραπροϊόν της μηδικής, για το οποίο καταγράφηκαν χαμηλά ποσοστά επιβίωσης (24%) ήδη από το πρώτο χρονικό διάστημα αξιολόγησης (4η εβδομάδα).

Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών για το *T. molitor* επηρεάστηκε στατιστικώς σημαντικά από τις διάφορες διατροφικές μεταχειρίσεις που εξετάστηκαν (Mantel-Cox  $\chi^2 = 189,7$ ,  $df = 10$ ,  $p < 0,001$ ) και κυμάνθηκε μεταξύ 67 και 201 ημέρες (Σχήμα 3.3). Εκτός από τον μάρτυρα ( $67 \pm 1$  d), οι συντομότεροι χρόνοι ανάπτυξης παρατηρήθηκαν για το λούπινο ( $81 \pm 1$  d), το παραπροϊόν τριτικάλε ( $96 \pm 3$  d) και το παραπροϊόν κριθαριού ( $103 \pm 4$  d), ενώ ο χρόνος μέχρι την ωρίμανση ήταν ο μεγαλύτερος για τη μηδική ( $201 \pm 12$  d). Οι μικρότεροι χρόνοι ανάπτυξης συσχετίστηκαν με χαμηλότερες τιμές FCR ( $r = 0,660$ ,  $p < 0,001$ ), καθώς και με υψηλότερες τιμές SGR ( $r = 0,886$ ,  $p < 0,001$ ). Οι τιμές ECR διέφεραν σημαντικά μεταξύ των παραπροϊόντων που εξετάστηκαν (Πίνακας 3.1), ανάλογα με το κόστος του παραπροϊόντος και το αντίστοιχο FCR. Υπήρξε θετική συσχέτιση μεταξύ του ECR και του FCR ( $r = 0,577$ ,  $p < 0,001$ ), δηλαδή, όσο υψηλότερη ήταν ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής για ένα

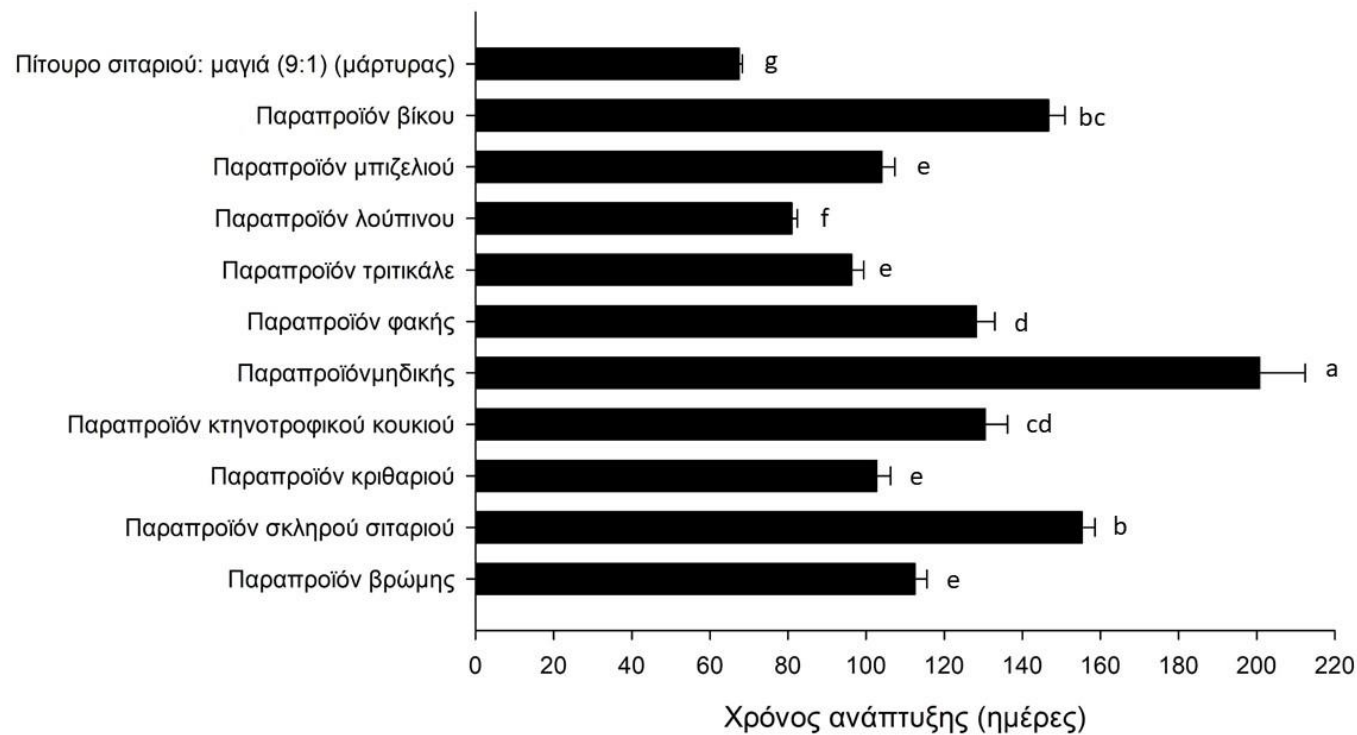


Σχήμα 3.1. Μέσο βάρος (mg) των προνυμφών *Tenebriomolitor* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών(A) και οσπρίων (B) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n = 6).





Σχήμα 3.2. Ποσοστό επιβίωσης (%) των προνυμφών *Tenebriomolitor* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών (Α) και οσπρίων (Β) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n = 6).



Σχήμα 3.3. Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες) προνυμφών *Tenebriomolitor* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών(A) και οσπρίων (B) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας). Οι ράβδοι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n = 6$ ).

παραπροϊόν, όπως αυτός εκφράζεται με χαμηλότερη τιμή FCR, τόσο χαμηλότερο είναι το κόστος χρήσης του συγκεκριμένου παραπροϊόντος για την εκτροφή του *T. molitor*.

### 3.2 *Alphitobius diaperinus*

Η ανάπτυξη των προνυμφών του *A. diaperinus* στα εξεταζόμενα παραπροϊόντα και στο σιτηρέσιο του μάρτυρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4. Το υψηλότερο τελικό μέσο βάρος προνύμφης καταγράφηκε για το παραπροϊόν λούπινου ( $17 \pm 1$  mg) και ήταν υψηλότερο από τον μάρτυρα ( $13 \pm 1$  mg). Τα παραπροϊόντα δημητριακών έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα φθάνοντας σε τελικό ατομικό βάρος προνύμφης μεταξύ 10-11 mg (Σχήμα 3.4A). Παρόμοιες τιμές καταγράφηκαν και για τα υπόλοιπα παραπροϊόντα ψυχανθών (9-12 mg), με εξαίρεση το παραπροϊόν φακής για το οποίο καταγράφηκε το χαμηλότερο τελικό βάρος προνύμφης ( $6 \pm 1$  mg) (Σχήμα 3.4B). Τα ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών στο τέλος της βιοδοκιμής κυμάνθηκαν μεταξύ 50 και 78%, με εξαίρεση το παραπροϊόν της μηδικής (30%) και το παραπροϊόν του βίκου (31%) (Σχήμα 3.5).

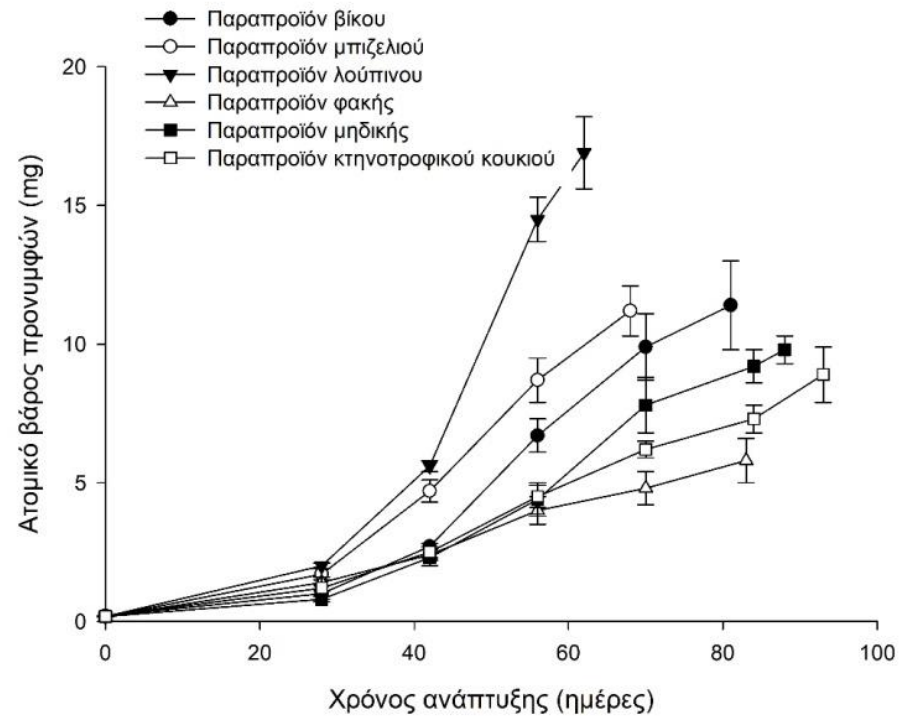
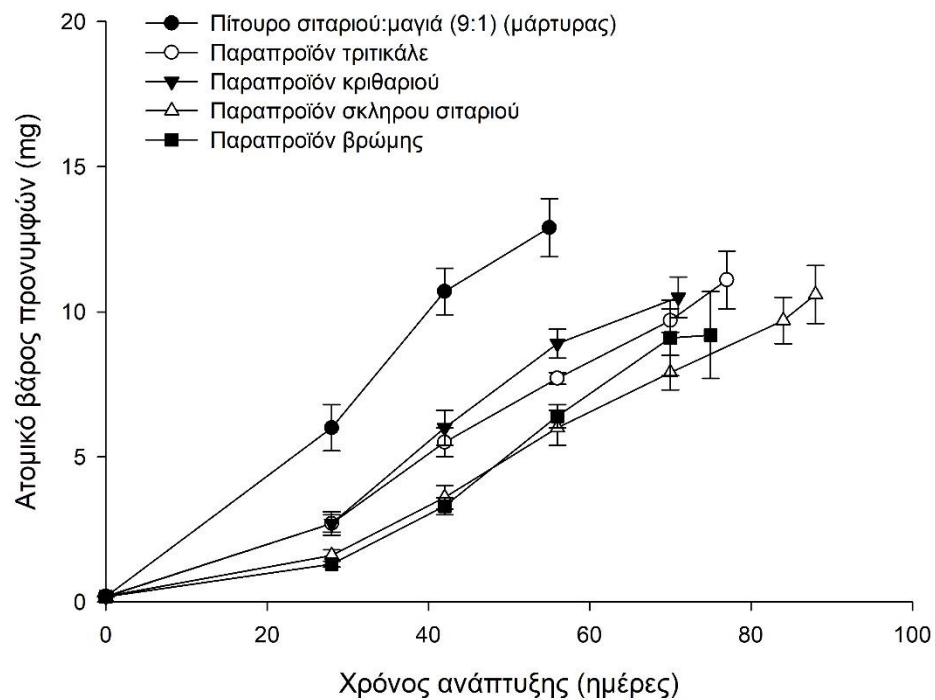
Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών του *A. diaperinus* επηρεάστηκε από τις διατροφικές μεταχειρίσεις (Mantel-Cox  $\chi^2 = 66,4$ ,  $df = 10$ ,  $p < 0,001$ ) και κυμάνθηκε μεταξύ 55 και 93 ημέρες σε όλες τις μεταχειρίσεις, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6. Οι προνύμφες αναπτύχθηκαν ταχύτερα στον μάρτυρα ( $55 \pm 3$  ημέρες) και στο παραπροϊόν λούπινου.

Τέλος, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών FCR που υπολογίστηκαν για τα εξεταζόμενα υποπροϊόντα. Οι χαμηλότερες τιμές FCR, που αντιστοιχούν σε καλύτερη ικανότητα μετατρεψιμότητας της τροφής, καταγράφηκαν για τον μάρτυρα (2,3), καθώς και για τα παραπροϊόντα λούπινου (2,7), κριθαριού (4,8) και τριτικάλε (5,1). Ομοίως, οι υψηλότεροι ρυθμοί ανάπτυξης επιτεύχθηκαν για τον μάρτυρα (7,8% ημέρα<sup>-1</sup>) και για το παραπροϊόν λούπινου (7,3% ημέρα<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>). Υπήρξε θετική συσχέτιση μεταξύ του χρόνου ανάπτυξης και του FCR ( $r = 0,396$ ,  $p = 0,001$ ) και αρνητική συσχέτιση μεταξύ του χρόνου ανάπτυξης και του SGR ( $r = 0,849$ ,  $p = 0,001$ ).

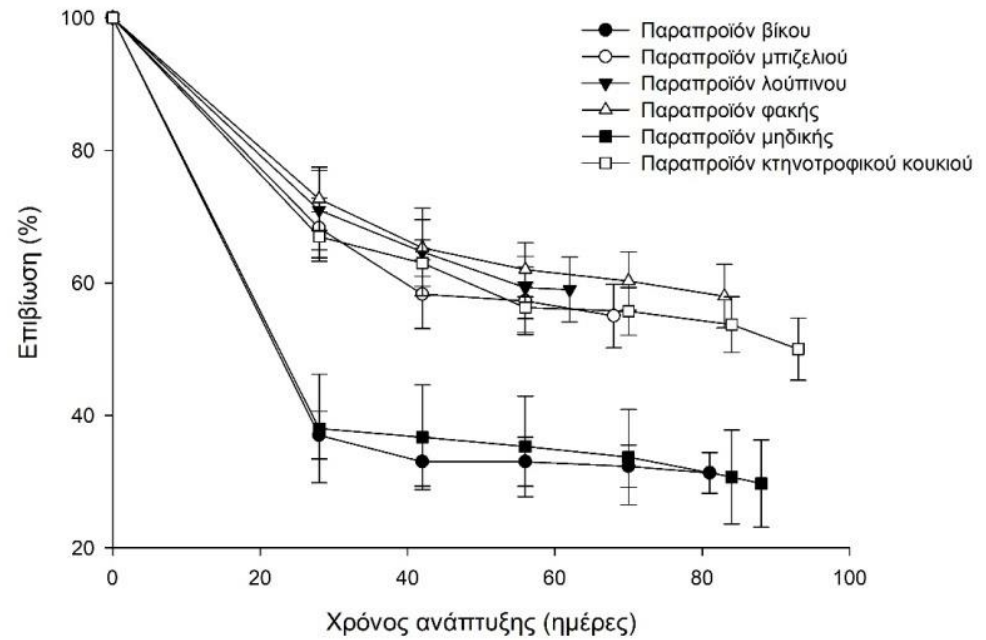
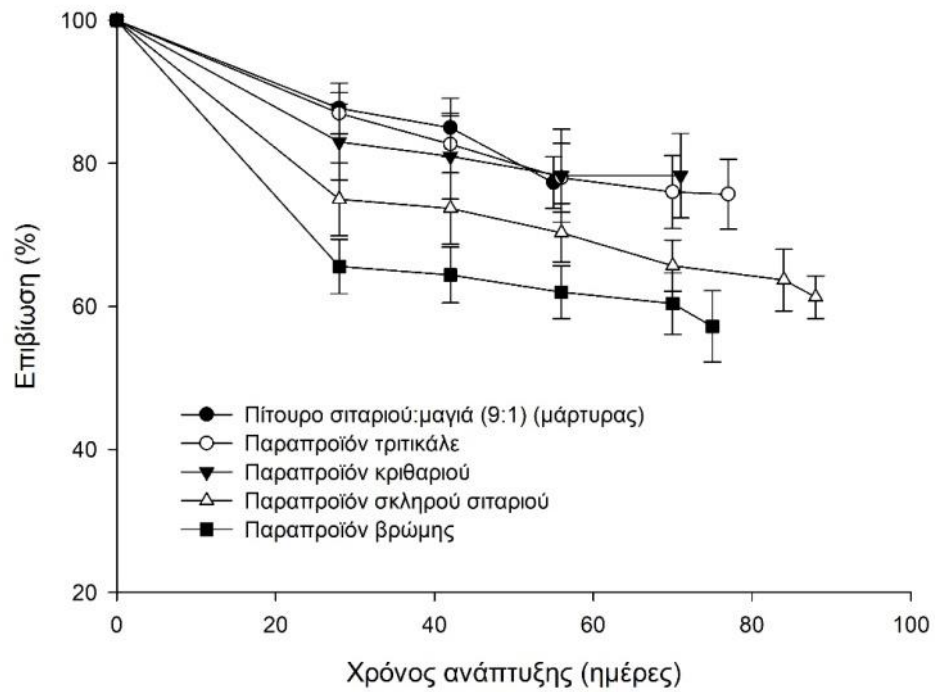
Πίνακας 3.1. Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής [FeedconversionRatio (FCR)], ειδικός ρυθμός ανάπτυξης [SpecificGrowthrate (SGR), % αύξηση/μέρα-1] και δείκτης οικονομικής μετατροπής [Economicconversionratio (ECR), € ton<sup>-1</sup> προνύμφων) για προνύμφες του εντόμου *Tenebriomolitor* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών (Α) και οσπρίων (Β) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας).

Υπόστρωμα	FCR	SGR (% day <sup>-1</sup> )	ECR (€ ton <sup>-1</sup> προνύμφων)
Πίτουρο σιταριού:μαγιά (9:1) (μάρτυρας)	2,3 ± 0,1 cd	8,6 ± 0,1 a	2211,2 ± 83,5 a
Παραπροϊόν βίκου	7,9 ± 0,6 a	3,5 ± 0,1 d	2138,4 ± 148,8 a
Παραπροϊόν μπιζελιού	1,7 ± 0,1 d	5,0 ± 0,2 bc	380,6 ± 30,4 d
Παραπροϊόν λουπίνου	4,7 ± 1,0 abc	7,2 ± 0,1 ab	1418,4 ± 299,1 ab
Παραπροϊόν τριτικάλε	2,6 ± 0,3 cd	5,8 ± 0,2 ab	361,1 ± 40,4 d
Παραπροϊόν φακής	5,8 ± 0,4 ab	4,0 ± 0,1 cd	2020,7 ± 157,0 a
Παραπροϊόν μηδικής	12,6 ± 3,0 a	2,7 ± 0,1 d	1260,5 ± 300,5 abc
Παραπροϊόν κτηνοτροφικού κουκιού	2,9 ± 0,6 cd	3,9 ± 0,1 cd	629,4 ± 125,4 bcd
Παραπροϊόν κριθαριού	3,5 ± 0,2 bc	5,1 ± 0,1 abc	493,5 ± 34,0 cd
Παραπροϊόν σκληρού σίτου	7,6 ± 2,4 ab	3,3 ± 0,1 d	1284,8 ± 402,5 abc
Παραπροϊόν βρώμης	3,1 ± 0,2 bc	4,8 ± 0,1 bc	428,0 ± 21,6 d

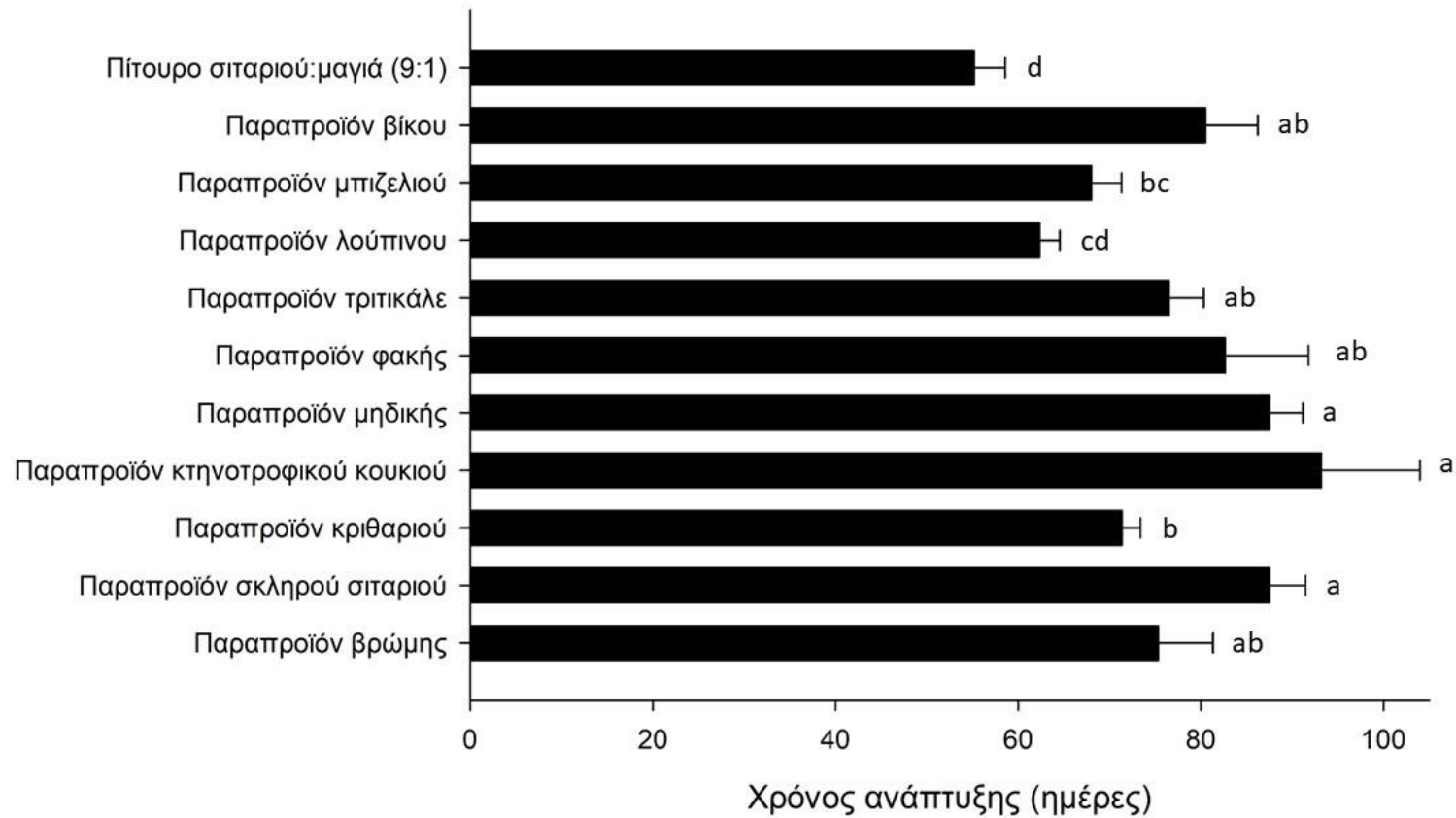
Σε κάθε στήλη, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα (n = 6).



Σχήμα 3.4. Μέσο βάρος (mg) των προνυμφών *Alphitobius diaperinus* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών (Α) και οσπρίων (Β) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n = 6).



Σχήμα 3.5. Ποσοστό επιβίωσης (%) των προνυμφών *Alphitobius diaperinus* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών (Α) και οσπρίων (Β) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους  $\pm$  τυπικό σφάλμα (n = 6).



Σχήμα 3.6. Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες) προνυμφών *Alphitobiusdiaperinus* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών(A) και οσπρίων (B) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας). Οι ράβδοι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους  $\pm$  τυπικό σφάλμα ( $n = 6$ ).

Πίνακας 3.2. Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής [FeedconversionRatio (FCR)], ειδικός ρυθμός ανάπτυξης [SpecificGrowthrate (SGR), % αύξηση ημέρα<sup>-1</sup>) και δείκτης οικονομικής μετατροπής [Economicconversionratio (ECR), € ton<sup>-1</sup> προνύμφων) για προνύμφες του εντόμου *Alphitobiusdiaperinus* που εκτράφηκαν σε παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών (Α) και οσπρίων (Β) ή σε ένα μείγμα πίτουρου σίτου και μαγιάς (9:1) (μάρτυρας).

<b>Υπόστρωμα</b>	<b>FCR</b>	<b>SGR (% day<sup>-1</sup>)</b>	<b>ECR (€ ton<sup>-1</sup> προνύμφων)</b>
Πίτουρο σιταριού:μαγιά (9:1) (μάρτυρας)	2.3 ± 0.2 e	7.8 ± 0.4 a	2185.0 ± 171.5 b
Παραπροϊόν βίκου	15.2 ± 3.4 a	5.1 ± 0.2 cde	4092.3 ± 906.4 a
Παραπροϊόν μπιζελιού	5.4 ± 0.7 bcd	6.2 ± 0.1 abc	1192.6 ± 152.0 bc
Παραπροϊόν λουπίνου	2.7 ± 0.3 de	7.3 ± 0.2 ab	810.9 ± 84.5 cd
Παραπροϊόν τριτικάλε	5.1 ± 0.2 cde	5.4 ± 0.2 cde	719.2 ± 26.0 cd
Παραπροϊόν φακής	12.6 ± 1.2 a	4.5 ± 0.4 e	4410.2 ± 433.8 a
Παραπροϊόν μηδικής	16.6 ± 5.5 a	4.6 ± 0.2 de	1663.7 ± 550.2 bc
Παραπροϊόν κτηνοτροφικού κουκιού	10.7 ± 1.8 ab	4.3 ± 0.4 e	2361.9 ± 389.8 ab
Παραπροϊόν κριθαριού	4.8 ± 0.8 cde	5.7 ± 0.2 bcd	667.3 ± 117.5 d
Παραπροϊόν σκληρού σίτου	7.1 ± 0.5 abc	4.6 ± 0.1 e	1202.9 ± 81.2 bc
Παραπροϊόν βρώμης	5.4 ± 0.4 bcde	5.4 ± 0.3 cde	755.3 ± 55.0 cd

Σε κάθε στήλη, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα (n = 6).



Οι χαμηλότερες τιμές ECR υπολογίστηκαν για το παραπροϊόν κριθαριού (667 € τόνο προνυμφών-1), το παραπροϊόν τριτικάλε (719 € τόνο προνυμφών-1) και το παραπροϊόν βρώμης (755 € τόνο προνυμφών-1). Όπως αναμενόταν, οι χαμηλότερες τιμές ECR, οι οποίες αντιστοιχούν σε υψηλότερες οικονομικές επιδόσεις, συσχετίστηκαν με χαμηλότερες τιμές FCR ( $r = 0,730$ ,  $p = 0,001$ ), οι οποίες είναι ενδεικτικές μιας υψηλότερης απόδοσης μετατροπής της τροφής.

#### **4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, διάφορα παραπροϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού σπόρων δημητριακών και ψυχανθών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά ως υποστρώματα διατροφής για τις προνύμφες των εντόμων *T. molitor* και *A. diaperinus*. Στην περίπτωση του *T. molitor*, ένα παραπροϊόν ενός δημητριακού και ένα παραπροϊόν ενός ψυχανθούς, δηλαδή το παραπροϊόν τριτικάλε και το παραπροϊόν λούπινου, έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην απόδοση των προνυμφών και τον χρόνο ανάπτυξης. Είναι ενδιαφέρον ότι το παραπροϊόν τριτικάλε και το παραπροϊόν λούπινου είχαν τη χαμηλότερη (8,5% DM) και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (33,5% DM), αντίστοιχα, μεταξύ των παραπροϊόντων που δοκιμάστηκαν. Αυτό δείχνει ότι, σε αντίθεση με αυτό που πιστεύεται συνήθως ότι οι δίαιτες με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη οδηγούν σε μεγαλύτερη ανάπτυξη των εντόμων, άλλοι διατροφικοί παράγοντες, όπως η περιεκτικότητα του θρεπτικού υποστρώματος σε λίπος, το προφίλ των αμινοξέων, οι βιταμίνες και τα ανόργανα άλατα, μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά την ανάπτυξη και την ανάπτυξη των εντόμων. Αυτό το εύρημα είναι σύμφωνο με τα αποτελέσματα προηγούμενης μελέτης, η οποία αξιολόγησε την καταλληλότητα ορισμένων προϊόντων δημητριακών και οσπρίων για την εκτροφή του *T. molitor*. (Rumbos et al., 2020) Στην εν λόγω μελέτη, η ανάπτυξη των προνυμφών δεν συσχετιζόταν πάντοτε καλά με την περιεκτικότητα του θρεπτικού υποστρώματος σε πρωτεΐνη, γεγονός που υποδεικνύει ότι η υψηλή περιεκτικότητα ενός υποστρώματος σε πρωτεΐνη, αν και σημαντική, δεν εξασφαλίζει πάντοτε αυξημένη ανάπτυξη των προνυμφών, ούτε το αντίθετο.

Εξ όσων γνωρίζουμε, αυτή είναι η πρώτη εργασία σχετικά με την αξιολόγηση τροφών με βάση το τριτικάλε και το λούπινο για την εκτροφή του *T. molitor*. Για ένα συγγενικό είδος της ίδιας οικογένειας, το είδος *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae; Red flour beetle), το τριτικάλε ήταν σημαντικά καλύτερο για την ανάπτυξη των προνυμφών από το σκληρό σιτάρι, υποδεικνύοντας την υψηλή διατροφική αξία αυτού του δημητριακού και τη δυνατότητά του ως θρεπτικού υποστρώματος εντόμων. (Vohra et al., 1978) Σε μια πρόσφατη εργασία που μελέτησε την καταλληλότητα διαφόρων παραπροϊόντων της

αγροδιατροφικής βιομηχανίας για την εκτροφή προνυμφών του *T. molitor* προσφέρθηκαν παραπροϊόντα μύλων ζωοτροφών (κυρίως σπασμένοι κόκκοι δημητριακών), τα οποία μοιάζουν με τα παραπροϊόντα που εξετάστηκαν στη μελέτη μας. (Riudavets et al., 2020) Παρόλο που οι συγγραφείς της εν λόγω μελέτης δεν παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των κόκκων δημητριακών που αποτελούσαν το συγκεκριμένο παραπροϊόν, ώστε να είναι δυνατή η άμεση σύγκριση με τα αποτελέσματα της μελέτης μας, τα παραπροϊόντα του μύλου ζωοτροφών υποστήριξαν την ανάπτυξη των προνυμφών *T. molitor*, ωστόσο η θνησιμότητα των προνυμφών ήταν υψηλότερη και η ανάπτυξη των προνυμφών ήταν χαμηλότερη από ό,τι όταν ταΐστηκαν με τον μάρτυρα. (Riudavets et al., 2020)

Σε αντίθεση με τη σόγια, η οποία επίσης ανήκει στα ψυχανθή και αποτελεί μια από τις επικρατέστερες πηγές φυτικών πρωτεϊνών για εφαρμογές σε τρόφιμα και ζωοτροφές, το λούπινο είναι μια μάλλον ανεκμετάλλευτη πηγή θρεπτικών συστατικών (Lucas et al., 2015) με καλά διατροφικά χαρακτηριστικά. (Musco et al., 2017) Συγκεκριμένα, οι κόκκοι του λούπινου έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες σε σύγκριση με άλλα όσπρια, όπως το μπιζέλι και το ρεβίθι. (Musco et al., 2017) ενώ η περιεκτικότητά τους σε λίπος είναι σχετικά χαμηλή αλλά υψηλής ποιότητας. (Abraham et al., 2019) Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των αποφλοιωμένων σπόρων λούπινου κυμαίνεται στο 39-55% επί της ξηράς ουσίας, η οποία είναι συγκρίσιμη με εκείνη της σόγιας. (Bähr et al., 2014) Επιπλέον, το λούπινο είναι σχετικά απαλλαγμένο από αντιδιατροφικούς παράγοντες που υπάρχουν σε άλλα όσπρια, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει θετικά τη συμπερίληψή του σε τρόφιμα και ζωοτροφές. (Musco et al., 2017) Στην παρούσα μελέτη, η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες του παραπροϊόντος λούπινου (33,5%), η οποία ήταν η υψηλότερη μεταξύ των παραπροϊόντων που εξετάστηκαν, ενδέχεται να ενίσχυσε την ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor*. Αυτά τα πρώτα αποτελέσματα παρέχουν ενδείξεις ότι τα παραπροϊόντα τριτικάλε και λούπινου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα είτε ως συστατικά σύνθετων σιτηρεσίων για την εκτροφή προνυμφών *T. molitor*.

Στην περίπτωση του *A. diaperinus*, όλα τα παραπροϊόντα δημητριακών που εξετάστηκαν ήταν κατάλληλα για την εκτροφή προνυμφών του και έδωσαν προνύμφες με υψηλό τελικό μέσο βάρος (>10 mg). Τα δεδομένα σχετικά με την ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε δίαιτες με βάση τα δημητριακά είναι μάλλον περιορισμένα. Κατά τη διατροφή με διάφορα άλευρα δημητριακών, δηλαδή αλεύρι σιταριού, κριθαριού, καλαμποκιού και ρυζιού, η ανάπτυξη του *A. diaperinus* ήταν μειωμένη σε σύγκριση με ένα μείγμα αλεύρου ολικής αλέσεως: μαγιά που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. (Hosen et al., 2004) Επιπλέον, παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ρυθμών ανάπτυξης στα διάφορα άλευρα δημητριακών που εξετάστηκαν όπως και στην

περίπτωση του *T. molitor*, μεταξύ των παραπροϊόντων οσπρίων που δοκιμάστηκαν, το παραπροϊόν λούπινου ήταν το καλύτερο, όσον αφορά στην ανάπτυξη των προνυμφών και το τελικό βάρος στο τέλος της βιοδοκιμής, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των παραπροϊόντων λούπινου στη διατροφή του *A. diaperinus*. Αντίθετα, στο παραπροϊόν μηδικής καταγράφηκαν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας προνυμφών τόσο για το *A. diaperinus* όσο και για το *T. molitor* (20-30% τελική επιβίωση) και το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να αποδοθεί σε συγκεκριμένα συστατικά του φυτού αυτού, όπως οι σαπωνίνες, οι οποίες είναι γνωστό ότι έχουν αντιδιατροφικές ιδιότητες. (Sen et al., 1998) Ειδικότερα για τα έντομα, προτείνεται ότι οι σαπωνίνες έχουν επίσης εντομοκτόνο δράση, καθώς η αύξηση των ποσοστών σαπωνίνης της μηδικής σε μια τεχνητή διαίτα του εντόμου, *Lobesiabotrana* Den και Schiff (Lepidoptera: Tortricidae; european grape moth), είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη θνησιμότητα των προνυμφών. (Tava et al., 1996) Ως εκ τούτου, θα μπορούσε να προταθεί ότι η χρήση υποστρωμάτων που σχετίζονται με τη μηδική θα πρέπει να αποφεύγεται ή να ελέγχεται εκτενώς πριν από τη συμπερίληψή τους στο σιτηρέσιο των εντόμων *T. molitor* και *A. diaperinus*. Αυτό μπορεί να ισχύει και για το παραπροϊόν του βίκου, στο οποίο καταγράφηκε χαμηλή επιβίωση προνυμφών (31%) για το *A. diaperinus* και μειωμένη επιβίωση (55%) για το *T. molitor*, καθώς οι σπόροι του κοινού βίκου περιέχουν επίσης αντιδιατροφικούς παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να απομακρυνθούν ή να αδρανοποιηθούν πριν από τη χρήση τους ως τροφή. (Huang et al., 2017)

Για αρκετά από τα εξεταζόμενα παραπροϊόντα υπολογίστηκαν χαμηλές τιμές FCR, υποδεικνύοντας υψηλή αξιοποίηση της τροφής. Για το *T. molitor*, οι τιμές FCR για τα παραπροϊόντα μπιζελιού, τριτικάλε, κτηνοτροφικού κουκιού, βρώμης και κριθαριού ήταν παρόμοιες με τον μάρτυρα και με εκείνες που είχαν αναφερθεί προηγουμένως. (Oonincx et al., 2015) Ομοίως, υψηλή αποδοτικότητα στην μετατρεψιμότητα της τροφής καταγράφηκε και στην περίπτωση του *A. diaperinus* για τα παραπροϊόντα λούπινου, τριτικάλε, κριθαριού και βρώμης.

Οι δημοσιευμένες πληροφορίες σχετικά με τις τιμές FCR για το *A. diaperinus* είναι ελάχιστες, ωστόσο έχουν αναφερθεί επίσης χαμηλές τιμές FCR (3,0-3,2) για σιτηρέσια με βάση οργανικά παραπροϊόντα με υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη. (Van Broekhoven et al., 2015) Η οικονομική αποδοτικότητα της χρήσης ενός θρεπτικού υποστρώματος είναι εξαιρετικά σημαντική και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική απόδοση της παραγωγής εντόμων. Στην περίπτωση του *T. molitor*, η χαμηλότερη τιμή ECR βρέθηκε για το παραπροϊόν τριτικάλε (361 €/τόνο προνυμφών-1), το οποίο ήταν ένα από τα φθηνότερα παραπροϊόντα που εξετάστηκαν (140 €/τόνο). Αντίθετα, το υψηλό ECR που υπολογίστηκε για το παραπροϊόν του λούπινου (1418 €/τόνο προνυμφών-1), λόγω του υψηλού κόστους του

(300 €/τόνο), καθιστά την αξιοποίησή του μη ρεαλιστική και ασύμφορη για εμπορικά και βιομηχανικά συστήματα εκτροφής. Ωστόσο, αυτό που θα μπορούσε να εξεταστεί, έχοντας υπόψη τις καλές επιδόσεις των προνυμφών του *T. molitor* σε αυτό το υπόστρωμα, είναι η χαμηλή διαιτητική συμπερίληψη του παραπροϊόντος λούπινου σε σύνθετες δίαιτες για αυτό το είδος. Ωστόσο, αυτή η υπόθεση θα πρέπει να δοκιμαστεί και να επικυρωθεί προηγουμένως. Για το *A. diaperinus*, οι χαμηλότερες τιμές ECR καταγράφηκαν για τα παραπροϊόντα κριθαριού, τριτικάλε, βρώμης και λούπινου σε εύρος 667-810 €/τόνο προνυμφών<sup>1</sup>. Τα δεδομένα σχετικά με το κόστος εκτροφής του *A. diaperinus* σε διαφορετικά υποστρώματα είναι περιορισμένα. Όταν οι προνύμφες του *A. diaperinus* τρέφονταν με δίαιτες με βάση το σιτάρι με διαφορετικά ποσοστά δευτερευόντων αγροδιατροφικών προϊόντων (κραμβάλευρο, πίτουρο ρυζιού, γλουτένη καλαμποκιού και κόκκων αποστακτηρίου (DDGS)), το κόστος παραγωγής προνυμφών, εκφρασμένο σε €/Kg προνυμφών, επηρεάστηκε σημαντικά, είτε θετικά είτε αρνητικά, από τη συμπερίληψη των παραπροϊόντων. (Gianotten et al., 2020) Ωστόσο, δεδομένου ότι το υπολογιζόμενο κόστος στην εν λόγω μελέτη εκφράζεται ως ποσοστό του κόστους του σιτηρεσίου του μάρτυρα, δεν είναι δυνατή η άμεση σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα της μελέτης μας.

## **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας τονίζουν την καταλληλότητα διαφόρων παραπροϊόντων της διαδικασίας καθαρισμού των σπόρων δημητριακών και ψυχανθών σαν θρεπτικά υποστρώματα των προνυμφών των εντόμων *T. molitor* και *A. diaperinus*. Συγκεκριμένα, τα παραπροϊόντα λούπινου και τριτικάλε υποστήριξαν την πλήρη ανάπτυξη των προνυμφών και των δύο ειδών εντόμων, δηλαδή από προνύμφη πρώτης προνυμφικής ηλικίας σε πούπα, και έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα μεταξύ των παραπροϊόντων που αξιολογήθηκαν όσον αφορά στην προνυμφική ανάπτυξη και επιβίωση, το χρόνο ανάπτυξης και τον συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής. Σε επόμενες μελέτες θα μπορούσε να διερευνηθεί το κατά πόσο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα παραπροϊόντα της παρούσας μελέτης για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση σύνθετων σιτηρεσίων για την εκτροφή των προνυμφών *T. molitor* και *A. diaperinus*.

## **6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Abraham, E.M.,Ganopoulos, I.,Madesis, P.,Mavromatis, A.,Mylona, P.,Nianiou-Obeidat, I.,Parissi, Z.,Polidoros, A.,Tani, E.,&Vlachostergios, D. (2019). The use of lupin as a source of protein in animal feeding: Genomic tools and breeding approaches. *International Journal of Molecular Sciences*20, 851.
- Ajani, E. K., Nwanna, L. C., &Musa, B. O. (2004). Replacement of fishmeal with maggot meal in the diets of Nile tilapia, *Oreochromisniloticus*. *World Aquaculture* 35, 52-55.
- Alamu, O. T., Amao, A. O., Nwokedi, C. I., Oke, O. A., & Lawa, I. O. (2013). Diversity and nutritional status of edible insects in Nigeria: a review. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 5(4), 215-222.
- Athanassiou and Buchelos 2000a. Comparison of four methods for the detection of Coleoptera adults infesting stored wheat: efficiency and detection sensitivity. *J Pest Sci* 73, 129–133.
- Athanassiou and Buchelos 2000b. Assessment of three killing agents' impact on the capturing of Coleoptera species infesting stored wheat. *J Pest Sci* 73, 148–151.
- Athanassiou and Buchelos 2001. Detection of stored-wheat beetle species and estimation of population density using unbaited probe traps and grain trier samples. *EntomolExpAppl* 98, 67–78.
- Bähr, M., Fechner, A., Hasenkopf, K., Mittermaier, S.,&Jahreis, G. (2014). Chemical composition of dehulled seeds of selected lupincultivars in comparison to pea and soya bean. *LWT Food Science and Technology* 59, 587–590.
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetiaillucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. *Journal of Insects as Food and Feed* 3(2), 105-120.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety* 12(3), 296-313.
- Belluco, S., Mantovani, A., & Ricci, A. (2018). Edible insects in a food safety perspective. In *Edible insects in sustainable food systems* (pp. 109-126). Springer, Cham.
- Berggren, Å.,Jansson, A., & Low, M. (2018). Using current systems to inform rearing facility design in the insect-as-food industry. *Journal of Insects as Food and Feed* 4(3), 167-170.

- Bernard, T., & Womeni, H. M. (2017). Entomophagy: insects as food. *Insect Physiology and Ecology* 2017, 233-249.
- Bessa, L. W., Pieterse, E., Sigge, G., & Hoffman, L. C. (2020). Insects as human food; from farm to fork. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(14), 5017-5022.
- Bosch, G., Van Zanten, H. H. E., Zamprogna, A., Veenenbos, M., Meijer, N. P., Van der Fels-Klerx, H. J., & Van Loon, J. J. A. (2019). Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: legislation, efficiency and environmental impact. *Journal of Cleaner Production* 222, 355-363.
- Bosch, G., Oonincx, D. G. A. B., Jordan, H. R., Zhang, J., Van Loon, J. J. A., Van Huis, A., & Tomberlin, J. K. (2020). Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed* 6(2), 95-109.
- Broekman, H. C., Knulst, A. C., den Hartog Jager, C. F., van Bilsen, J. H., Raymakers, F. M., Kruizinga, A. G., ... & Verhoeckx, K. C. (2017). Primary respiratory and food allergy to mealworm. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 140(2), 600-603.
- Buchelos and Athanassiou 1993. Dominance and frequency of Coleoptera found on stored cereals and cereal products in Central Greece. *Entomol Hell* 11, 17-22.
- Buchelos and Athanassiou 1998. Beetle species in storerooms of Central and Southern Greece containing grain, flour, bran and hay: a survey of 44 species. *Ann Inst Phytopathol Benaki* 18, 129-133.
- Buchelos and Athanassiou 1999. Unbaited probe traps and grain trier: a comparison of the two methods for sampling Coleoptera in stored barley. *J Stored Prod Res* 35, 397-404.
- Chadd C. 2007. Future trends and developments in poultry nutrition. In: *Poultry in the 21st Century: Avian Influenza and Beyond*, International Poultry Conference, 5-7 November, 2007, Bangkok, Thailand.
- Burton, O. T., & Zacccone, P. (2007). The potential role of chitin in allergic reactions. *Trends in immunology* 28(10), 419-422.
- Cadinu, L. A., Barra, P., Torre, F., Delogu, F., & Madau, F. A. (2020). Insect rearing: Potential, challenges, and circularity. *Sustainability* 12(11), 4567.
- Calvert, C. C., Martin, R. D., & Morgan, N. O. (1969). House fly pupae as food for poultry. *Journal of Economic Entomology* 62(4), 938-939.
- Chai, J. Y., Shin, E. H., Lee, S. H., & Rim, H. J. (2009). Foodborne intestinal flukes in Southeast Asia. *The Korean journal of parasitology*, 47(Suppl), S69.
- Charlton, A. J., Dickinson, M., Wakefield, M. E., Fitches, E., Kenis, M., Han, R., ... & Smith, R. (2015). Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed* 1(1), 7-16.

- Chia, S. Y., Tanga, C. M., van Loon, J. J., & Dicke, M. (2019). Insects for sustainable animal feed: inclusive business models involving smallholder farmers. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 41, 23-30.
- DeFoliart, G. R. (1992). Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop protection* 11(5), 395-399.
- Da Silva Lucas, A. J., Oreste, E. Q., Costa, H. L. G., López, H. M., Saad, C. D. M., & Prentice, C. (2021). Extraction, physicochemical characterization, and morphological properties of chitin and chitosan from cuticles of edible insects. *Food Chemistry* 343, 128550.
- Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research* 27(6), 603-610.
- Dobermann, D., Swift, J. A., & Field, L. M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin* 42(4), 293-308.
- Dossey, A. T., Morales-Ramos, J. A., & Rojas, M. G. (Eds.). (2016). *Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications*. Academic Press.
- Elemo, B. O., Elemo, G. N., Makinde, M. A., & Erukainure, O. L. (2011). Chemical evaluation of African palm weevil, *Rhychophorus phoenicis*, larvae as a food source. *Journal of Insect Science* 11(1).
- Elvin, C. M., Carr, A. G., Huson, M. G., Maxwell, J. M., Pearson, R. D., Vuocolo, T., ... & Dixon, N. E. (2005). Synthesis and properties of crosslinked recombinant pro-resilin. *Nature* 437(7061), 999-1002.
- Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y., & Ding, W. F. (2018). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science* 25(2), 184-198.
- Gahukar, R. T. (2016). Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 85-111). Academic Press.
- Gianotten, N., Soetemans, L., & Bastiaens, L. (2020). Agri-food side-stream inclusions in the diet of *Alphitobius diaperinus* Part 1: Impact on larvae growth performance parameters. *Insects* 11(2), 79.
- Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P., & Roos, N. (Eds.). (2018). *Edible insects in sustainable food systems*. Cham: Springer.
- Han, C. S., & Dingemanse, N. J. (2017). You are what you eat: diet shapes body composition, personality and behavioural stability. *BMC Evolutionary Biology* 17(1), 1-16.

- Hosen, M., Khan, A. R., & Hossain, M. (2004). Growth and development of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer)(Coleoptera: Tenebrionidae) on cereal flours. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7(9), 1505-1508.
- Huang, Y. F., Gao, X. L., Nan, Z. B., & Zhang, Z. X. (2017). Potential value of the common vetch (*Vicia sativa* L.) as an animal feedstuff: a review. *Journal of animal physiology and animal nutrition* 101(5), 807-823.
- Ji, K., Chen, J., Li, M., Liu, Z., Wang, C., Zhan, Z., ...& Xia, Q. (2009). Anaphylactic shock and lethal anaphylaxis caused by food consumption in China. *Trends in Food Science & Technology* 20(5), 227-231.
- Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., & Schösler, H. (2016). Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability* 8(1), 69.
- Lefevre, M., Kris-Etherton, P. M., Zhao, G., & Tracy, R. P. (2004). Dietary fatty acids, hemostasis, and cardiovascular disease risk. *Journal of the American Dietetic Association* 104(3), 410-419.
- Li, Y., Kortner, T. M., Chikwati, E. M., Belghit, I., Lock, E. J., & Krogdahl, Å. (2020). Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 520, 734967.
- Lonnie, M., Hooker, E., Brunstrom, J. M., Corfe, B. M., Green, M. A., Watson, A. W., ...& Johnstone, A. M. (2018). Protein for life: Review of optimal protein intake, sustainable dietary sources and the effect on appetite in ageing adults. *Nutrients* 10(3), 360.
- Lucas, M.M., Stoddard, F.L., Annicchiarico, P., Frías, J., Martínez-Villaluenga, C., Sussmann, D., Duranti, M., Seger, A., Zander, P.M., & Pueyo, J.J. (2015). The future of lupin as a protein crop in Europe. *Frontiers in Plant Science* 6, 705.
- Lynch, H., Johnston, C., & Wharton, C. (2018). Plant-based diets: Considerations for environmental impact, protein quality, and exercise performance. *Nutrients* 10(12), 1841.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197, 1-33.
- Moon, D. O., Park, S. Y., Heo, M. S., Kim, K. C., Park, C., Ko, W. S., ... & Kim, G. Y. (2006). Key regulators in bee venom-induced apoptosis are Bcl-2 and caspase-3 in human leukemic U937 cells through downregulation of ERK and Akt. *International immunopharmacology* 6(12), 1796-1807.
- Müller, O., & Krawinkel, M. (2005). Malnutrition and health in developing countries. *CMAJ* 173(3), 279-286.



- Musco, N., Cutrignelli, M.I., Calabrò, S., Tudisco, R., Infascelli, F., Grazioli, R., Lo Presti, V., Gresta, F., & Chiofalo, B. (2017). Comparison of nutritional and antinutritional traits among different species (*L. albus* L., *L. luteus* L., *L. angustifolius* L.) and varieties of lupin seeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101, 1227–1241.
- Mwangi, M. N., Oonincx, D. G., Stouten, T., Veenenbos, M., Melse-Boonstra, A., Dicke, M., & Van Loon, J. J. (2018). Insects as sources of iron and zinc in human nutrition. *Nutrition research reviews* 31(2), 248-255.
- Myers, H. M., Tomberlin, J. K., Lambert, B. D., & Kattes, D. (2014). Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology* 37(1), 11-15.
- Nadathur, S. R., Wanasundara, J. P. D., & Scanlin, L. (2017). Proteins in the diet: Challenges in feeding the global population. In *Sustainable protein sources* (pp. 1-19). Academic Press.
- Nana, P., Kimpara, J. M., Tiambo, C. K., Tiogue, C. T., Youmbi, J., Choundong, B., & Fonkou, T. (2018). Black soldier flies (*Hermetia illucens* Linnaeus) as recyclers of organic waste and possible livestock feed. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 12(5), 2004-2015.
- Natori, S. (2010). Molecules participating in insect immunity of *Sarcophaga peregrina*. *Proceedings of the Japan Academy, Series B* 86(10), 927-938.
- Oliveira, J. S., de Carvalho, J. P., De Sousa, R. B., & Simao, M. M. (1976). The nutritional value of four species of insects consumed in Angola. *Ecology of Food and Nutrition* 5(2), 91-97.
- Onsongo, V. O., Osuga, I. M., Gachuri, C. K., Wachira, A. M., Miano, D. M., Tanga, C. M., ... & Fiaboe, K. K. M. (2018). Insects for income generation through animal feed: effect of dietary replacement of soybean and fish meal with black soldier fly meal on broiler growth and economic performance. *Journal of Economic Entomology* 111(4), 1966-1973.
- Oonincx, D. G., & De Boer, I. J. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PloS One* 7(12), e51145.
- Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PloS One* 10(12), e0144601.

- Pomalégni, S. C. B., Gbemavo, D. S. J. C., Kpadé, C. P., Kenis, M., & Mensah, G. A. (2017). Traditional use of fly larvae by small poultry farmers in Benin. *Journal of Insects as Food and Feed* 3(3), 187-192.
- 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.
- Raksakantong, P., Meeso, N., Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2010). Fatty acids and proximate composition of eight Thai edible terricolous insects. *Food Research International* 43(1), 350-355.
- Ratcliffe, N. A., Mello, C. B., Garcia, E. S., Butt, T. M., & Azambuja, P. (2011). Insect natural products and processes: new treatments for human disease. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 41(10), 747-769.
- Riudavets, J., Castañé, C., Agustí, N., del Arco, L., Diaz, I., & Castellari, M. (2020). Development and biomass composition of *Ephesiakuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae), *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), and *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) reared on different byproducts of the agri-food industry. *Journal of Insect Science* 20, 17.
- Rumbos, C.I., Karapanagiotidis, I.T., Mente, E., Psoufakis, P., & Athanassiou, C.G. (2020). Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports* 10, 11224.
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* 57(5), 802-823.
- Saris, N. E. L., Mervaala, E., Karppanen, H., Khawaja, J. A., & Lewenstam, A. (2000). Magnesium: an update on physiological, clinical and analytical aspects. *Clinica Chimica Acta* 294(1-2), 1-26.
- Sehnal, F., & Sutherland, T. (2008). Silks produced by insect labial glands. *Prion* 2(4), 145-153.
- Sen, S., Makkar, H. P., & Becker, K. (1998). Alfalfa saponins and their implication in animal nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(1), 131-140.
- Shapiro-Ilan, D., Rojas, M. G., Morales-Ramos, J. A., & Tedders, W. L. (2012). Optimization of a host diet for in vivo production of entomopathogenic nematodes. *Journal of Nematology* 44(3), 264.
- Shariff, G., Vohra, P., & Qualset, C.O. (1981). Further studies on the nutritional evaluation of wheat, triticale, and rice grains using the red flour beetle. *Cereal Chemistry* 58, 86-89.

- Srivastava, J. K., & Gupta, S. (2009). Health promoting benefits of chamomile in the elderly population. In *Complementary and Alternative Therapies and the Aging Population* (pp. 135-158). Academic Press.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food & Agriculture Org..
- Tava, A., & Odoardi, M. (1996). Saponins from *Medicago* spp.: chemical characterization and biological activity against insects. *Saponins Used in food and Agriculture* 97-109.
- Teffo, L. S., Toms, R. B., & Eloff, J. N. (2007). Preliminary data on the nutritional composition of the edible stink-bug, *Encosternum delegorguei* Spinola, consumed in Limpopo province, South Africa. *South African Journal of Science* 103(11-12), 434-436.
- Tomberlin, J. K., & Van Huis, A. (2020). Black soldier fly from pest to ‘crown jewel’ of the insects as feed industry: an historical perspective. *Journal of Insects as Food and Feed* 6(1), 1-4.
- Van Broekhoven, S., Oonincx, D. G., Van Huis, A., & Van Loon, J. J. (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 Fels-Klerx, H. J., Camenzuli, L., Belluco, S., Meijer, N., & Ricci, A. (2018). Food safety issues related to uses of insects for feeds and foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17(5), 1172-1183.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security* (No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Van Huis, A. (2016). Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society* 75(3), 294-305.
- Van Itterbeeck, J., & van Huis, A. (2012). Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8(1), 1-7.
- Vohra, P., Shariff, G., Robinson, D.D., Qualset, C.O., & Gale, G.A.E. (1978). Nutritional evaluation of triticale, wheat and rice grain using red flour beetle (*Tribolium castaneum*) larvae and chickens. *Nutrition Reports International* 18, 289–300.
- Wang, L., Li, J., Jin, J. N., Zhu, F., Roffeis, M., & Zhang, X. Z. (2017). A comprehensive evaluation of replacing fishmeal with housefly (*Musca domestica*) maggot meal in the

- diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Growth performance, flesh quality, innate immunity and water environment. *Aquaculture Nutrition* 23(5), 983-993.
- Wynants, E., Froominckx, L., Van Miert, S., Geeraerd, A., Claes, J., & Van Campenhout, L. (2019). Risks related to the presence of *Salmonella* sp. during rearing of mealworms (*Tenebrio molitor*) for food or feed: Survival in the substrate and transmission to the larvae. *Food Control* 100, 227-234.
- Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z., & Zhiyong, C. (2010). Review of the nutritive value of edible insects. *Forest insects as food: humans bite back*, 85.
- Yong-Woo, L. (1999). Silk reeling and testing manual. *FAO Agricultural Services Bulletin*, 136.