



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



Αξιολόγηση της γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών για τις προνύμφες των *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae)

Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Σουλιώτη Παναγιώτα

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Αθανασίου Χρήστος,
Καθηγητής (Εντομολογία), Π.Θ.

Σεπτέμβριος, 2021

...στην οικογένειά μου!

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανασίου Χρήστο, καθηγητή εντομολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με τον κλάδο της εντομολογίας και με την διεκπεραίωση μίας τόσο ενδιαφέρουσας έρευνας. Ακόμη, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την αστείρευτη υπομονή και την αμέριστη κατανόηση που έδειξε σε κάθε πρόβλημα, που δημιουργήθηκε κατά την περάτωση της πτυχιακής διατριβής μου, καθώς επίσης και για την ανιδιοτελή βοήθεια που μου πρόσφερε.

Καθοριστικό ρόλο, επίσης, έπαιξε και η βοήθεια της κα. Γκουργκούτα Μαρίνας στην διεκπεραίωση και τη συγγραφή της πτυχιακής διατριβής μου. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες για κάθε σαββατοκύριακο, που πέρασε μαζί μου στο εργαστήριο διεκπεραιώνοντας τις μετρήσεις, αλλά και το χρόνο που αφιέρωσε για να μπορέσει να είναι η πτυχιακή εγκαίρως έτοιμη. Χωρίς τη βοήθειά της και την κατανόησή της το αποτέλεσμα θα ήταν πολύ διαφορετικό. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κύριο Ρούμπο Χρήστο για τη βοήθεια και τις συμβουλές, που μου έδωσε καθ' όλη την παραμονή μου στο εργαστήριο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τον παγκόσμιο πληθυσμό, συνεχώς, να αυξάνεται, είναι αναμενόμενο ότι και η ζήτηση για τρόφιμα αυξάνεται ραγδαία. Ένα από τα κύρια συστατικά των τροφίμων, η ζήτηση του οποίου είναι ήδη αυξημένη, είναι η πρωτεΐνη. Η κύρια πηγή πρωτεΐνης για τους ανθρώπους είναι ζωικής προέλευσης, ενώ η φυτικής προέλευσης έχει μικρότερο ποσοστό κατανάλωσης. Λόγω, όμως, του αυξανόμενου πληθυσμού και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που έχει η αύξηση των εκτρεφόμενων ζώων, η ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης κρίνεται αναγκαία. Οι έρευνες στο κομμάτι των εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης έχουν προχωρήσει αρκετά προτείνοντας πολλές λύσεις, όπως θαλάσσιοι οργανισμοί (φύκια και φυτοπλαγκτόν), μονοκυτταρική πρωτεΐνη, κρέας in vitro και έντομα.

Η αποδοτικότητα της εκτροφής των προνυμφών των ειδών *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία υγρασίας, καθώς έχει δειχθεί ότι οδηγεί σε γρηγορότερη και μεγαλύτερη ανάπτυξη των προνυμφών και των δύο ειδών. Ως πηγή υγρασίας στην εκτροφή αυτών των εντόμων χρησιμοποιούνται συνήθως διάφορα λαχανικά, όπως καρότο και πατάτα. Η θρεπτική σύνθεση, όμως, των λαχανικών αυτών δεν είναι σταθερή, αλλά ποικίλει, προκαλώντας διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη των εντόμων, ενώ επίσης τα υποστρώματα αυτά είναι επιρρεπή σε μικροβιακές αλλοιώσεις. Η γέλη από άγαρ χρησιμοποιείται ευρέως σε τεχνητές δίαιτες εντόμων, τόσο για την παροχή υγρασίας όσο και σαν φορέας θρεπτικών συστατικών. Στην παρούσα μελέτη, αξιολογήθηκε η γέλη από άγαρ ως εναλλακτική πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών για τις προνύμφες των *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus*.

Αρχικά, 50 προνύμφες τοποθετήθηκαν σε φιαλίδια, τα οποία περιείχαν 1 g πίτουρο το καθένα. Τα φιαλίδια χωρίστηκαν σε 5 ομάδες με 6 επαναλήψεις το καθένα. Σε κάθε ομάδα προστέθηκαν 1cm² γέλης από άγαρ, με διαφορετικό ποσοστό μαγιάς μύρας. Τα ποσοστά μαγιάς που μελετήθηκαν ήταν 0%, 0,5%, 1%, 2,5% και 5% και προστέθηκαν με συχνότητα τρεις φορές τη βδομάδα. Κάθε δύο εβδομάδες οι προνύμφες μετρούνταν, ζυγίζονταν και καταγράφονταν οι μετρήσεις, ώστε να εκτιμηθεί σε ποιο ποσοστό μαγιάς είχαν τη βέλτιστη ανάπτυξη και τα υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης, ενώ οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν με την εμφάνιση της πρώτης νύμφης. Οι προνύμφες, από κάθε φιαλίδιο που δημιουργούνταν μία νύμφη, μετά την

καταμέτρηση και τη ζύγισή τους τοποθετήθηκαν σε συνθήκες με θερμοκρασία υπό του μηδενός, προκειμένου να επέλθει ο θάνατος. Μετά το πέρας του σταδίου αυτού, υπολογίστηκε το ξηρό βάρος των προνυμφών και των αποβλήτων τους, αφού πρώτα αποξηράθηκαν.

Με βάση τα αποτελέσματα των βιοδοκιμών, η γέλη από άγαρ αποδείχθηκε καλή πηγή υγρασίας για τις προνύμφες των *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus*, καθώς υψηλά ποσοστά επιβίωσης καταγράφηκαν και για τα δύο έντομα. Η αύξηση του ποσοστού της μαγιάς μύρας στη γέλη από άγαρ επηρέασε θετικά την ταχύτητα ανάπτυξης και των δύο ειδών, καθώς καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές στον χρόνο ανάπτυξής τους. Ομοίως, θετικά επηρεάστηκε, στις περισσότερες περιπτώσεις και η αύξηση του βάρους των προνυμφών των δύο εντόμων. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα των βιοδοκιμών δείχνουν ότι το άγαρ αποτελεί μια καλή εναλλακτική πηγή υγρασίας, αλλά και έναν αποτελεσματικό φορέα θρεπτικών συστατικών για την ανάπτυξη των προνυμφών των *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus*.

ABSTRACT

With the world population constantly growing, it is expected that the demand for food will also increase rapidly. One of the main ingredients in food, which is already in high demand, is protein. The main source of protein for humans is of animal origin, while vegetable origin has a lower rate of consumption. However, due to the growing population and the environmental impact of raising farmed animals, the need to find alternative sources of protein is deemed necessary. Research into alternative protein sources has come a long way in proposing many solutions, such as marine organisms (algae and phytoplankton), Single Cell Protein (SCP), in vitro meat and insects.

The breeding efficiency of *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* larvae is significantly affected by the presence of moisture, as it has been shown to lead to faster and greater growth of larvae of both species. Various vegetables, such as carrots and potatoes, are commonly used as a source of moisture in the breeding of these insects. However, the nutritional composition of these vegetables is not stable, causing differences in the growth of insects, while these substrates are also prone to microbial lesions. Agar gel is widely used in artificial insect diets, both to provide moisture and as a nutrient carrier. In the present study, agar gel was evaluated as an alternative source of moisture and nutrient carrier for *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* larvae.

Initially, 50 larvae were placed in vials containing 1 g of bran. The vials were divided into 5 groups with 6 repetitions each. To each group was added 1 cm² of agar gel, with a different percentage of brewer's yeast. The brewer's yeast percentages studied were 0%, 0.5%, 1%, 2.5% and 5% and they were added three times a week. Every two weeks, the larvae were counted, weighed and the measurements were recorded to assess the percentage of yeast that had the best growth and the highest survival rates, while the measurements were completed with the appearance of the first pupa. The larvae, from each vial that created a pupa, after counting and weighing them, were placed in conditions with a temperature below zero, to cause death. At the end of this stage, the dry weight of the larvae and their waste were calculated after drying them out.

Based on the results of the bioassays, the agar gel proved to be a good source of moisture for the larvae of *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus*, because high survival rates were recorded for both insects. The increase in the percentage of brewer's yeast in the agar gel had a positive effect on the growth rate of both species, as

significant differences in their growth time were recorded. Similarly, in most cases, the weight gain of the larvae of the two insects was positively affected. In conclusion, the results of bioassays show that agar is a good alternative source of moisture, but also an effective carrier of nutrients for the growth of *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* larvae.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	III
ABSTRACT.....	V
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	VII
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 1 -
1.1 Η σημασία των πρωτεϊνών και αίτια αυξανόμενης ζήτησής τους.....	- 1 -
1.1.1 Η σημασία των πρωτεϊνών στην διατροφή ανθρώπων και ζώων.....	- 1 -
1.1.2 Ζωικές και φυτικές πρωτεΐνες (μειονεκτήματα, πλεονεκτήματα, σύγκριση).....	- 2 -
1.1.3 Αίτια αύξησης της ζήτησης.....	- 3 -
1.2 Εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών.....	- 4 -
1.2.1 Λόγοι εύρεσης εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης.....	- 4 -
1.2.2 Εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης.....	- 6 -
1.3 Έντομα ως εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών.....	- 8 -
1.3.1 Γενικά.....	- 8 -
1.3.2 Ιστορικά στοιχεία.....	- 9 -
1.3.3 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα.....	- 10 -
1.3.4 Ασφάλεια.....	- 11 -
1.4 Κυριότερα έντομα.....	- 12 -
1.4.1 <i>Alphitobius diaperinus</i>	- 12 -
1.4.2 <i>Tenebrio molitor</i>	- 14 -
1.4.3 <i>Zophobas morio</i>	- 15 -
1.4.4 <i>Hermetia illucens</i>	- 16 -
1.5 Εκτροφή εντόμων.....	- 18 -
1.5.1 Ανάγκες και πηγές πρωτεΐνης στη διατροφή τους.....	- 18 -
1.5.2 Η χρήση και η σημασία εμπλουτισμένου με πρωτεΐνη άγαρ στη διατροφή των εντόμων.....	- 19 -
1.6 Σκοπός.....	- 19 -
2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	- 20 -
2.1 Έντομα.....	- 20 -
2.2 Βιοδοκιμή I: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του <i>Tenebrio molitor</i> μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.....	- 21 -
2.3 Βιοδοκιμή II: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του <i>Alphitobius diaperinus</i> μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.....	- 23 -
2.4 Ανάλυση.....	- 24 -
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	- 25 -
3.1 Βιοδοκιμή I: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του <i>Tenebrio molitor</i> μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.....	- 25 -
3.2 Βιοδοκιμή II: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του <i>Alphitobius diaperinus</i> μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.....	- 28 -

4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	- 32 -
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 35 -

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η σημασία των πρωτεϊνών και αίτια αυξανόμενης ζήτησής τους

1.1.1 Η σημασία των πρωτεϊνών στην διατροφή ανθρώπων και ζώων.

Το 1838, ο Jakob Berzelius ανακάλυψε τις πρωτεΐνες, που αποτελούν πλέον το πιο μελετημένο μόριο τροφίμων (Vogel & May, 2019). Οι πρωτεΐνες είναι μακρομόρια, που είναι απαραίτητα σε όλα τα στάδια ζωής, τόσο του ανθρώπου όσο και των ζώων (Sokolowski, et al., 2020). Αποτελούν το θεμελιώδη λίθο ύπαρξης ζωής. Την αναγκαιότητα της ύπαρξής τους φανερώνει και το όνομα που δόθηκε στα συγκεκριμένα μακρομόρια, το οποίο προέρχεται από την ελληνική λέξη «πρώτος» (Vogel & May, 2019).

Οι πρωτεΐνες δομούνται από αμινοξέα, τα οποία ενώνονται με πεπτιδικούς δεσμούς, ενώ η σειρά των αμινοξέων καθορίζει τη λειτουργικότητα του μορίου (Ζέρβα, et al., 2004). Η έκταση και ο τρόπος ρύθμισης της βιοσύνθεσης των αμινοξέων ποικίλει ευρέως στα ζώα, τα φυτά και τα μικρόβια (Vogel & May, 2019). Κάθε πρωτεΐνη αποτελείται από διαφορετικό αριθμό αμινοξέων, που εξαρτάται από το είδος της πρωτεΐνης (Cosar & Ozcan, 2014). Στο ανθρώπινο σώμα, από τα 20 αμινοξέα που χρειάζονται για τη δομή των πρωτεϊνών, μπορούν να συντεθούν μόνο τα 12 (Sari, et al., 2021). Τα υπόλοιπα 8 λαμβάνονται μέσω της τροφής και για τον άνθρωπο είναι τα: βαλίνη, λευκίνη, ισολευκίνη, λυσίνη, θρεονίνη, μεθειονίνη, τρυπτοφάνη και φαινυλαλανίνη (Sari, et al., 2021). Στα ζώα τα αμινοξέα που δεν μπορούν να συντεθούν (Sari, et al., 2021) είναι 9, ενώ στα πτηνά 10 (Ζέρβα, et al., 2004). Τα αμινοξέα αυτά, στα ζώα είναι ίδια με του ανθρώπινου σώματος συν την ιστιδίνη, ενώ στα πτηνά προστίθεται και η αργινίνη (Ζέρβα, et al., 2004). Έτσι, οι πρωτεΐνες των τροφίμων, που περιέχουν αμινοξέα που δεν συντίθενται από τους ανώτερους ζωικούς οργανισμούς, ονομάζονται πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας και τα αμινοξέα «απαραίτητα αμινοξέα» (Sari, et al., 2021). Οι φυτικές τροφές δεν περιέχουν σε επάρκεια τα απαραίτητα αμινοξέα, αν όμως, συνδυαστούν μεταξύ τους ή με ζωικές τροφές τότε μπορούν να δώσουν καλής «ποιότητας» πρωτεΐνες (Henchion, et al., 2017).

Οι πρωτεΐνες, συνεχώς, δομούνται και διασπώνται και οι διαδικασίες αυτές ονομάζονται πρωτεϊνοσύνθεση και πρωτεόλυση, αντίστοιχα (Fraser, et al., 2002). Κατά την πρωτεόλυση οι πρωτεΐνες διασπώνται πρώτα σε πεπτίδια και έπειτα σε αμινοξέα (Cai, et al., 2021). Τα πεπτίδια και τα αμινοξέα απορροφώνται από τα κύτταρα του

εντερικού βλεννογόνου και τελικά καταλήγουν σε διάφορους ιστούς και όργανα (Cai, et al., 2021). Κατά την πρωτεϊνοσύνθεση ο οργανισμός συνθέτει πρωτεΐνες και ο κύκλος της πρωτεϊνοσύνθεσης-πρωτεόλυσης αρχίζει από την αρχή. Η πρωτεϊνοσύνθεση και η πρωτεόλυση είναι διαδικασίες που πραγματοποιούνται ακατάπαυστα και ταυτόχρονα (Ζέρβα, et al., 2004).

Οι φυσικοχημικές και συμπεριφορικές ιδιότητες των πρωτεϊνών κατά την κατεργασία τους, καθορίζουν την τελική ποιότητα των τροφίμων (Ismail, et al., 2020), ενώ η πολύπλοκη δομή τους και η υδρόφιλη φύση τους, τις κάνει να αλληλεπιδρούν εύκολα με άλλα μόρια των τροφίμων, όπως οι βιταμίνες, τα λίπη, τα μέταλλα, το νερό και άλλες πρωτεΐνες, προκαλώντας ποικίλες αντιδράσεις και νέα σύμπλοκα (Ismail, et al., 2020; Vogel & May, 2019). Κατά την κατεργασία των τροφίμων είναι σημαντικό να αποφευχθεί η μετουσίωση των πρωτεϊνών. Η μετουσίωση είναι η εξαφάνιση της ειδικότητας και της μορφής του πρωτεϊνικού μορίου, ενώ ο κυριότερος παράγοντας που την προκαλεί είναι η θερμότητα (Ζέρβα, et al., 2004).

1.1.2 Ζωικές και φυτικές πρωτεΐνες (μειονεκτήματα, πλεονεκτήματα, σύγκριση)

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (1991), η θρεπτική αξία των πρωτεϊνών καθορίζεται από την περιεκτικότητά τους σε απαραίτητα αμινοξέα, την πεπτικότητα της κάθε πρωτεΐνης, την καθαρή χρήση της, τη βιολογική αξία και τον βαθμό της πρωτεϊνικής πεπτικότητας-απαραίτητων αμινοξέων (PDCAAS). Οι προαναφερθέντες οργανισμοί έχουν δημιουργήσει το PDCAAS ώστε να γίνεται ευκολότερα η σύγκριση της πρωτεϊνικής ποιότητας για τις απαιτήσεις του ανθρώπινου σώματος σε αμινοξέα (FAO/WHO, 1991). Τόσο οι ζωικές όσο και οι φυτικές πρωτεΐνες αποτελούν πλούσιες πηγές βιταμινών και μετάλλων με τις πρώτες να παρέχουν περισσότερα βιολογικά διαθέσιμα μέταλλα (Wu, et al., 2014). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης δεν καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις του ανθρώπινου σώματος, λόγω έλλειψης απαραίτητων αμινοξέων. Αυτός, ίσως, είναι και ο λόγος της χαμηλής τιμής PDCAAS των φυτικών πρωτεϊνών σε συνδυασμό με την χαμηλή πεπτικότητά τους (Ismail, et al., 2020). Αν, όμως, συνδυαστούν με τις ζωικές πρωτεΐνες ή και μεταξύ τους τότε μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του ανθρώπινου σώματος.

Όσον αφορά τις ζωικές πρωτεΐνες, συγκριτικά με τις φυτικές είναι πιο εύπεπτες (Berrazaga, et al., 2019) κυρίως λόγω της διαφορετικής τους δομής σε σχέση με τις φυτικές (Carbonaro, et al., 2012; Nguyen, et al., 2015). Σύμφωνα με τον Tomé (2013) οι πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης είναι περισσότερο από 95% εύπεπτες (αυγά, γάλα, κρέας), ενώ οι φυτικής προέλευσης είναι περίπου 80-90% (δημητριακά, σόγια, αλεύρι κ.α.). Ακόμη, ένας λόγος, που κάνει τις ζωικές πρωτεΐνες πιο εύπεπτες συγκριτικά με τις φυτικές, είναι οι ίνες που περιέχουν οι δεύτερες (Duodu, et al., 2003). Η δυσκολία, που παρουσιάζεται κατά την πέψη των πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης, μπορεί να αντιμετωπιστεί με κατάλληλη επεξεργασία των τροφίμων (Tulbek , et al., 2017). Επιπλέον, της εύκολης πέψης των ζωικών πρωτεϊνών, είναι η βιολογική τους αξία και ο PDCAAS σε σχέση με τις φυτικές πρωτεΐνες (Berrazaga, et al., 2019). Οι πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης (κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα, αυγά, θαλασσινά κ.α.) περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες και πιο ισορροπημένες αναλογίες αμινοξέων σε σχέση με τις φυτικές (ρύζι, καλαμπόκι, πατάτα, λαχανικά, δημητριακά, φασόλια κ.α.) (FAO, 2013; Li, et al., 2011). Ωστόσο, έρευνες έχουν δείξει ότι υπερβολική πρόσληψη ζωικών πρωτεϊνών οδηγεί σε υψηλότερο κίνδυνο θνησιμότητας (Virtanen, et al., 2019), ενώ σε συνδυασμό με την ανταγωνιστική τιμή των φυτικών πρωτεϊνών (Ismail, et al., 2020) και την μείωση της LDL χοληστερόλης κατά 10%, που μπορεί να επιτευχθεί με την κατανάλωση φυτικών πρωτεϊνών (Grand View Research, 2021), οι φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να ανταγωνιστούν τις ζωικές.

1.1.3 Αίτια αύξησης της ζήτησης

Το παγκόσμιο εμπόριο τροφίμων έχει αλλάξει τα τελευταία χρόνια, με τη ζήτηση σε πρωτεϊνούχα προϊόντα να αυξάνεται ραγδαία. Η παγκόσμια αγορά πρωτεϊνικών προϊόντων το 2020 άγγιξε τα 32,6 δις ευρώ και αναμένεται να αυξηθεί κατά 10,5% από το 2021 έως το 2028 (Grand View Research, 2021). Το 2050 εκτιμάται ότι θα χρειαστεί περίπου η διπλάσια ποσότητα πρωτεϊνικών προϊόντων για να μπορέσει να τραφεί ο ανθρώπινος πληθυσμός και τα ζώα (Tilman, et al., 2011).

Σύμφωνα με τον FAO & FAOSTAT (2020), τα 2/3 της καλλιεργήσιμης έκτασης παγκοσμίως χρησιμοποιούνται για παραγωγή ζωικών τροφών. Επομένως, το υπόλοιπο 1/3 δεν είναι αρκετό για να θρέψει τον ολοένα αυξανόμενο πληθυσμό της Γης και να καλύψει τις ανάγκες σε πρωτεϊνούχες τροφές (Patsios, et al., 2020). Με τα παραπάνω δεδομένα η ανάγκη για αύξηση της παραγωγής πρωτεϊνούχων προϊόντων και το μέγεθος της πρόκλησης αυτής είναι αισθητά (Sari, et al., 2021).

Σημαντικό ρόλο, επίσης, παίζει και η στροφή της βιομηχανίας τροφίμων σε πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις για την παραγωγή τροφίμων. Η δημιουργία συνεχώς καινούριων καινοτόμων προϊόντων και η συνεχόμενα εξελισσόμενη τεχνολογία θα αποτελέσουν πρωταρχικούς παράγοντες για την επέκταση της αγοράς τα επόμενα χρόνια (Grand View Research, 2021).

Κοινωνικό-οικονομικές αλλαγές, όπως η αύξηση του εισοδήματος, η αστικοποίηση και η γνώση των ωφελειών κατανάλωσης πρωτεΐνης για τους ηλικιωμένους και όχι μόνο, έχουν οδηγήσει σταδιακά στην αύξηση ζήτησης πρωτεΐνης, λόγω της μεγαλύτερης κατανάλωσής της (Delgado, 2003; Popkin, et al., 2012). Η αύξηση του βιοτικού επιπέδου και η βελτίωση της παγκόσμιας οικονομίας έχουν οδηγήσει σε κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων πρωτεϊνικών προϊόντων παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων των αυγών, του κρέατος και του γάλακτος (Cai, et al., 2021). Αυτές οι αλλαγές παρατηρούνται κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες (Popkin, et al., 2012), καθώς στις αναπτυγμένες η κατανάλωση είναι ήδη αυξημένη. Οι διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών έχουν αλλάξει, στρεφόμενοι σε πιο υγιείς, βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις. Ένας από τους κύριους λόγους αυτής της αλλαγής είναι η συνεχής ενημέρωση των καταναλωτών και η άμεση πρόσβασή τους στη γνώση.

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιοι παράγοντες, που μετριάζουν την κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης. Αυτοί οι παράγοντες είναι η γνώση για τις επιπτώσεις, που προκαλεί η κατανάλωση πολλών πρωτεϊνούχων τροφών (κυρίως ζωικής προέλευσης) στην υγεία του καταναλωτή και στο περιβάλλον, ο προβληματισμός για τη χρήση της διαθέσιμης καλλιεργήσιμης Γης και τα ηθικά ζητήματα που προκύπτουν από την εκτροφή ζώων (Henchion, et al., 2017). Το θέμα αυτό θα αναλυθεί περαιτέρω στο κεφάλαιο 1.2.1.

1.2 Εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών

1.2.1 Λόγοι εύρεσης εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης

Σε ένα κόσμο που συνεχώς αλλάζει και εξελίσσεται είναι αδύνατον ο τομέας της διατροφής να παραμείνει ανεπηρέαστος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ανάγκη θρέψης του ολοένα αυξανόμενου πληθυσμού στη Γη είναι επιτακτική. Αυτός όμως δεν είναι ο μοναδικός λόγος, που κρίνεται υψίστης σημασίας η εύρεση πηγών πρωτεΐνης, πέραν των ζωικών και των φυτικών. Η άμεση πρόσβαση των καταναλωτών στη γνώση, η αστικοποίηση, η αύξηση του εισοδήματος, η ανάγκη εύρεσης πιο υγιεινών πηγών πρωτεΐνης, ηθικά και περιβαλλοντικά ζητήματα είναι μερικοί από τους λόγους εύρεσης εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης.

Πιο συγκεκριμένα, πολλά από τα τρόφιμα που θεωρούνται υψηλά πρωτεϊνούχα, όπως τα αυγά, τα γαλακτοκομικά προϊόντα και η σόγια, περιέχουν αλλεργιογόνα αναγνωρισμένα από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (Ismail, et al., 2020). Αυτό αναγκάζει τη βιομηχανία τροφίμων για εύρεση διαφορετικών πηγών πρωτεΐνης προκειμένου η πρόσληψή της να είναι ακίνδυνη για όλους τους ανθρώπους. Επίσης, η συσχέτιση της υπερβολικής κατανάλωσης ζωικών πρωτεϊνών με υψηλό κίνδυνο θνησιμότητας (Virtanen, et al., 2019), και υψηλό κίνδυνο εμφάνισης καρδιακών νοσημάτων και καρκίνου (De Souza, et al., 2015; Song, et al., 2016) καθιστά την εύρεση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης αναγκαία.

Για να επιβιώσει μία εταιρία-βιομηχανία στις μέρες μας, χρειάζεται να διαφοροποιήσει το προϊόν της από τα ήδη υπάρχοντα, δημιουργώντας ένα εντελώς καινούριο ή καινοτομώντας σε ένα υπάρχον. Αυτή η ανάγκη για επιβίωση των νέων εταιριών που δεν έχουν ακόμη αποκτήσει το δικό τους καταναλωτικό κοινό, τις αναγκάζει να δημιουργήσουν νέα προϊόντα.

Η αντικατάσταση των συνθετικών συστατικών (όπως μονογλυκερίδια και διγλυκερίδια) για δημιουργία «καθαρής ετικέτας» είναι ένας ακόμη λόγος για εύρεση καινούριων πηγών πρωτεΐνης (Ismail, et al., 2020). Επίσης, οι πρωτεΐνες έχουν πολλές ιδιότητες, όπως σταθεροποιητικές ιδιότητες και ικανότητα βελτίωσης της γεύσης, γι' αυτό οι βιομηχανίες τροφίμων προσπαθούν να αντικαταστήσουν τα συνθετικά συστατικά με πρωτεΐνες υψηλής αξίας, όπως η δημιουργία καψουλών με βιο-ενεργά συστατικά και γεύσεις (π.χ. ιχθυέλαια και λάδι πορτοκαλιού) (Ismail, et al., 2020).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα 2/3 της παγκόσμιας καλλιεργήσιμης έκτασης χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές (FAO & FAOSTAT, 2020). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η διαθέσιμη ποσότητα τροφής να μην είναι επαρκής για ανθρώπινη κατανάλωση, δεδομένου ότι ο πληθυσμός στη Γη αυξάνεται (Patsios, et al., 2020). Επομένως, η εύρεση καινοτόμων πηγών πρωτεΐνης, όπως έντομα, φύκια, υποπροϊόντα πλούσια σε πρωτεΐνη και μονοκυτταρική πρωτεΐνη (Single Cell Protein (SCP)) είναι αναγκαία (Patsios, et al., 2020). Τα προαναφερθέντα μπορούν να παραχθούν σε τοπικό επίπεδο χωρίς απαιτήσεις μεγάλων εκτάσεων (Tallentire, et al., 2018) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυναμικά ως εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνούχων ζωοτροφών (Kim, et al., 2018).

Ακόμη, ένας πολύ σημαντικός λόγος, που οδηγεί στην ανάγκη εύρεσης νέων εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης, είναι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της εκτροφής ζώων (Kim, et al., 2018). Είναι γνωστό ότι η εκτροφή ζώων παράγει μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου [διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) , μεθάνιο (CH₄) και υποξείδιο του αζώτου (N₂O)], έχει μεγάλη κατανάλωση νερού και απαιτεί μεγάλες εκτάσεις Γης, τόσο για την παραγωγή ζωοτροφών όσο και για τη βοσκή τους (Henchion, et al., 2017). Όπως γίνεται άμεσα αντιληπτό, η εντατικοποίηση της κτηνοτροφίας για παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων πρωτεϊνικών προϊόντων ζωικής προέλευσης θα έχει άμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου θα αυξηθεί (Tilman & Clark, 2014), η αποψίλωση των δασών και η αποξήρανση των υγροτόπων θα ενταθούν, για να δημιουργηθούν επιπλέον καλλιεργήσιμες εκτάσεις, ώστε να παραχθούν επαρκείς ποσότητες ζωοτροφών, ενώ άμεση μείωση θα παρατηρηθεί στο ήδη περιορισμένο πόσιμο νερό (Van Zanten, et al., 2016).

Πέραν, όμως, των επιπτώσεων στο περιβάλλον, η κατανάλωση ζωικής πρωτεΐνης συνδέεται άμεσα και με κινδύνους για την υγεία του καταναλωτή, λόγω πρόσληψης ακόρεστων λιπαρών οξέων και χοληστερόλης (Cavazos & De Mejia, 2013). Τέλος, ηθικά ζητήματα, που αφορούν την εκτροφή και την κατανάλωση κρέατος, έχουν οδηγήσει σε αλλαγές στις διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών, με αποτέλεσμα να είναι μείζονος σημασίας η εύρεση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης (Henchion, et al., 2017).

1.2.2 Εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης

Στο κεφάλαιο 1.2.1, έχουν αναλυθεί οι λόγοι για τους οποίους η εύρεση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης κρίνεται αναγκαία. Οι έρευνες τα τελευταία χρόνια έχουν προχωρήσει αρκετά και ήδη διατίθενται στην αγορά αρκετά καινοτόμα πρωτεϊνούχα προϊόντα. Κάποια από αυτά βασίζονται σε παραδοσιακές διατροφικές συνήθειες κάποιων πολιτισμών, όπως τα έντομα σε πολλές χώρες παγκοσμίως, ενώ κάποια άλλα είναι πρωτοπόρα προϊόντα, που βασίζονται αποκλειστικά στην εξέλιξη της τεχνολογίας, όπως το κρέας *in vitro*.

Πιο συγκεκριμένα, τα έντομα αποτελούν τροφή για πολλούς λαούς παγκοσμίως, κυρίως στην Ασία, την Αφρική και την Νότια Αμερική (Henchion, et al., 2017). Τόσο τα ενήλικα, όσο και τα αυγά, οι προνύμφες και οι νύμφες καταναλώνονται από περισσότερο από 2 δις ανθρώπων (Van Huis, et al., 2013), ενώ εκτιμάται ότι περίπου 2000 είδη εντόμων έχουν χρησιμοποιηθεί για τροφή (Jongema, 2017). Ωστόσο,

πρόσφατα, η κατανάλωση τροφίμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης ερευνάται και στη Δύση, όχι μόνο ως εξαισίες λιχουδιές ή ως θρεπτικές τροφές ανάγκης (Borrelo, et al., 2017), αλλά συστήνεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (Van Huis, et al., 2013) και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Τα έντομα αποτελούν πολύτιμη πηγή πρωτεϊνών, λιπών, βιταμινών και μετάλλων (Veys & Baeten, 2018), ενώ οι γρύλοι, οι αλευροσκώληκες και ο κίτρινος γαιοσκώληκας χρησιμοποιούνται εντατικά στην Ευρώπη (Van der Spiegel, et al., 2013).

Μία ακόμη ενδιαφέρουσα και εξίσου σημαντική εναλλακτική πρωτεΐνη είναι τα θαλάσσια φυτά. Τα φύκια και το φυτοπλαγκτόν είναι πολλά υποσχόμενες πηγές πρωτεΐνης (Henchion, et al., 2017). Τα φύκια είναι πολυκύτταροι οργανισμοί, που για να αναπτυχθούν φυσιολογικά απαιτείται υφάλμυρο νερό ή περιβάλλον όμοιο με το θαλασσινό. Από την άλλη, το φυτοπλαγκτόν είναι μονοκύτταροι οργανισμοί που μπορούν να αναπτυχθούν σε ύπαρξη ποικίλων συνθηκών (Henchion, et al., 2017). Σε ευρωπαϊκό επίπεδο τα είδη φυτοπλαγκτόν που χρησιμοποιούνται είναι το *Chlorella spp.* και το *Spirulina spp.*, ενώ το δεύτερο παράγεται και στην Ελλάδα. Παρά την μεγάλη τους παραγωγή παγκοσμίως (24 εκατομμύρια τόνοι θαλάσσιων φυτών - κυρίως φύκια) (WRAP, 2017) και την υψηλή διατροφική τους αξία, υπάρχουν ακόμη πολλά προβλήματα κατά την παραγωγή τους. Μερικά από αυτά είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, τεχνικές δυσκολίες στην εξαγωγή, στην διύλιση, στην βελτίωση της γεύσης και στην ενσωμάτωσή τους σε τρόφιμα (Henchion, et al., 2017). Στις μέρες μας, οι χρήσεις των θαλάσσιων φυτών είναι ως συμπληρώματα διατροφής, στην κοσμετολογία (Fleurence, 1999) και στην κτηνοτροφία ως ζωοτροφές (30% της παγκόσμιας παραγωγής) (Van der Spiegel, et al., 2013).

Τα φύκια και το φυτοπλαγκτόν δεν είναι η μόνη πηγή πρωτεΐνης, που προέρχεται από θαλάσσιους οργανισμούς. Σημαντική πηγή πρωτεΐνης, επίσης, αποτελούν τα ψάρια και τα οστρακοειδή (Henchion, et al., 2017). Το 50% των ψαριών, που καταναλώνονται παγκοσμίως, προέρχονται από την υδατοκαλλιέργεια (FAO, 1999). Ωστόσο, υπάρχουν αμφιβολίες για τη βιωσιμότητα της υδατοκαλλιέργειας, λόγω μόλυνσης των υδάτων και της καταστροφής των οικοτόπων (Henchion, et al., 2017). Φόβοι και για την εμφάνιση και μετάδοση ασθενειών προκύπτουν, όσο η παραγωγή ψαριών εντείνεται (WRAP, 2017).

Γνωστό ως κρέας in vitro ή συνθετικό κρέας ή καθαρό κρέας ή κρέας κυτταρικής παραγωγής είναι ένα ακόμη υψηλά πρωτεϊνούχο προϊόν που ανακαλύφθηκε το 1930 από τον Winston Churchill. Πρόκειται για ένα προϊόν που βασίζεται στην κυτταρική απομόνωση, ταυτοποίηση, καλλιέργεια και μηχανική ιστού με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή κρέατος (Langelaan, et al., 2010). Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα του προϊόντος αυτού, οικονομικοί, περιβαλλοντικοί, ηθικοί και κοινωνικοί προβληματισμοί αναστέλλουν την επέκταση της παραγωγής του σε εμπορικό επίπεδο (Henchion, et al., 2017).

Τέλος, ένα ακόμη ενδιαφέρον προϊόν, που θα μπορούσε να αντικαταστήσει τα πρωτεϊνούχα προϊόντα ζωικής προέλευσης, είναι η μονοκυτταρική πρωτεΐνη (Single Cell Protein – SCP). Πρόκειται για υψηλά πρωτεϊνούχα τροφή, που παράγεται από βακτήρια ή μύκητες (Ritala, et al., 2017). Το κόστος, όμως του υποστρώματος για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι περίπου το 50% του συνολικού κόστους του προϊόντος. Έτσι, το υψηλό κόστος του υποστρώματος, τα ζητήματα ασφάλειας των συγκεκριμένων προϊόντων και η αποδοχή από τους καταναλωτές αναχαιτίζουν την περαιτέρω εξέλιξή τους (Patsios, et al., 2020).

1.3 Έντομα ως εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών

1.3.1 Γενικά

Τα έντομα ως πηγή πρωτεΐνης κερδίζουν, συνεχώς, έδαφος, τόσο ως ζωοτροφή όσο και ως ανθρώπινη τροφή. Γνωστή ως εντομοφαγία, η διατροφική, αυτή, επιλογή βασίζεται στην κατανάλωση αυγών, προνυμφών, νυμφών και ενηλίκων συγκεκριμένων εντόμων για χιλιάδες χρόνια (Henchion, et al., 2017). Από τα έντομα, που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για ανθρώπινη κατανάλωση, πιο συνηθισμένα είναι τα σκαθάρια με ποσοστό 31%, ενώ ακολουθούν οι κάμπιες (18%), οι μέλισσες-σφήκες-μυρμήγκια (14%), οι γρύλοι και οι ακρίδες (13%), τα τζιτζίκια (10%), οι τερμίτες (3%), οι λιβελούλες (3%), οι μύγες (2%) και άλλα έντομα (5%) (Van Huis, et al., 2013).

Στην Ευρώπη τα έντομα θεωρούνται πλήρως εκτρεφόμενα [κανονισμός (ΕΕ) 2017/893], που σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) 1069/2009 «είναι κάθε είδους ζώο που συντηρείται, παχύνεται ή εκτρέφεται από ανθρώπους και χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων, που λαμβάνονται από ζώα ή για άλλους κτηνοτροφικούς σκοπούς». Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το θρεπτικό υπόστρωμα, που μπορεί να επιλεγεί για την εκτροφή τους, να είναι περιορισμένο (Gasco, et al., 2020). Αντιθέτως, στον υπόλοιπο κόσμο οι κανονισμοί για την διατροφή των εκτρεφόμενων εντόμων δεν είναι

τόσο αυστηροί (Gasco, et al., 2020). Ο περιορισμός αυτός, που υφίσταται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, εγείρει προβληματισμούς για την βιωσιμότητα και την λιγότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος, όταν τα θρεπτικά υποστρώματα που χρησιμοποιούνται είναι αντί για οργανικά υπολείμματα, τροφές που χρησιμοποιούνται ως τρόφιμα ή ζωοτροφές (Bosch, et al., 2019; Mertenat, et al., 2019; Smetana, et al., 2019).

Τα έντομα δεν έχουν γίνει, σε μεγάλο βαθμό, αποδεκτά ως τροφή για τον άνθρωπο. Για να επιτευχθεί αυτό, χρειάζονται πολλές προσπάθειες και ίσως η μετατροπή τους σε μορφή, που δεν θα θυμίζει την αρχική τους εικόνα, να είναι ένα από τα πρώτα βήματα. Για να φτάσει, όμως, η παραγωγή τους σε εμπορικό επίπεδο χρειάζονται, ακόμη, πολλές και ταυτόχρονες ενέργειες, όπως η εξασφάλιση κατάλληλης πρώτης ύλης για το έντομο, η μαζική παραγωγή προνυμφών, η επεξεργασία τους και η χρήση τους σε τρόφιμα, που απαιτούν οικονομικό κόστος και εγκυμονούν κινδύνους (Henchion, et al., 2017).

1.3.2 Ιστορικά στοιχεία

Η κατανάλωση εντόμων ως ανθρώπινη τροφή είναι τόσο παλιά όσο και η ύπαρξη του ανθρώπου στη Γη (Veys & Baeten, 2018). Όπως έχει ήδη αναφερθεί περισσότερο από 2 δις ανθρώπων καταναλώνουν έντομα ως τροφή (Veys & Baeten, 2018), κυρίως στην Ασία, την Αφρική και την Νότια Αμερική, αποτελώντας την κύρια πηγή πρωτεΐνης για πολλούς λαούς (Henchion, et al., 2017). Παρ' όλα αυτά, εντατικές έρευνες για τη χρήση των εντόμων, τόσο για ζωοτροφή όσο και για ανθρώπινη τροφή, γίνονται τις τελευταίες δεκαετίες (Charlton, et al., 2015). Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες έχουν ενταθεί, λόγω της μεγάλης ζήτησης σε πρωτεϊνούχες τροφές και ζωοτροφές και του μεγάλου κόστους των ιχθυάλευρων και της σόγιας εξαιτίας της αύξησης της τιμής τους (Van Huis, et al., 2013).

Μόλις το 2015 η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των τροφίμων (EFSA), ερεύνησε το ρίσκο της παραγωγής και χρήσης των εντόμων ως τροφή και ζωοτροφή (EFSA Scientific Committee, 2015), ενώ μετά από δύο χρόνια (το 2017) ενέκρινε την χρήση τους ως τροφή για υδρόβιους οργανισμούς, (κανονισμός (ΕΕ) 2017/893). Τα έντομα, που εγκρίθηκαν για χρήση ως ιχθυοτροφές ήταν τα εξής: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus assimilis* (Veys & Baeten, 2018). Από τα προαναφερθέντα έντομα, μόνο το *Tenebrio molitor*, την 1^η Ιουνίου το 2021 πήρε έγκριση, για διάθεσή του ως

αποξηραμένη προνύμφη, από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των τροφίμων (κανονισμός (ΕΕ) 2021/882).

Παρά το γεγονός ότι τα έντομα κερδίζουν έδαφος στην αγορά ως ανθρώπινη τροφή και ζωοτροφή, η εμπορευματοποίησή τους και οι τεχνολογίες για την παραγωγή τους βρίσκονται ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο (Gasco, et al., 2020). Ο δρόμος για την αντικατάσταση μίας παραδοσιακής πηγής πρωτεΐνης, όπως είναι η ζωική, με πρωτεΐνη προερχόμενη από έντομα, είναι ακόμα πολύ μακρύς (Charlton, et al., 2015).

1.3.3 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα

Τα έντομα αποτελούν σημαντική εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, με το ποσοστό της ακατέργαστης πρωτεΐνης να κυμαίνεται από 40 έως 75% σε ξηρό βάρος (Klunder, et al., 2012). Επίσης, τα έντομα είναι εύπεπτα (77–98%) (Klunder, et al., 2012), ενώ παράλληλα αποτελούν σημαντική πηγή απαραίτητων αμινοξέων, βιταμινών (B1, B2, B3) και μετάλλων (σίδηρος και ψευδάργυρος) (Belluco, et al., 2013). Πιο συγκεκριμένα, η σύνθεση αμινοξέων του εντόμου *Alphitobius diaperinus* πλησιάζει αρκετά αυτήν του κρέατος ή του γάλακτος (Churchward-Venne, et al., 2017) (Bukkens, 1997). Πέραν των διατροφικών πλεονεκτημάτων, και το αποτύπωμά τους στο περιβάλλον είναι αισθητά μειωμένο (Oonincx & De Boer, 2012). Συγκριτικά με την κτηνοτροφία, τα έντομα παράγουν μικρότερες ποσότητες αέριων του θερμοκηπίου και αμμωνίας, χρειάζονται λιγότερο νερό και μικρή έκταση εδάφους (Henchion, et al., 2017). Επιπλέον, η χρήση θρεπτικού υποστρώματος για την εκτροφή τους μπορεί να ποικίλει, χρησιμοποιώντας απόβλητα διαφορετικής προέλευσης και μετατρέποντας τις αζωτούχες ενώσεις σε πρωτεΐνη, αποτελεσματικά (Van Huis, et al., 2013). Ακόμη ένα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των εντόμων είναι καταναλώσιμο (πάνω από 80%), σε αντίθεση με τα πουλερικά (55%) και τα βοοειδή (40%) (WRAP, 2017). Συμπληρωματικά, σύμφωνα με κάποιους επιστήμονες, τα έντομα έχουν μικρότερο ρίσκο μετάδοσης ζωνοδόσων, σε σχέση με τα ζώα και τα πτηνά (Van Huis, et al., 2013) και έχουν σύντομο κύκλο ζωής, που σημαίνει ότι αναπαράγονται ταχύτερα και από τα φυτά και από τα ζώα (Illgner & Nel, 2005). Θετικά αποτελέσματα έχουν και στην υγεία των ζώων, όπου η χιτίνη που περιέχουν πολλά έντομα ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημά τους, διότι είναι δύσπεπτη και έτσι προωθείται η ανάπτυξη ορισμένων βακτηρίων με θετικά αποτελέσματα για την υγεία του εντέρου (Gasco, et al., 2020).

Εκτός, όμως, από τα πλεονεκτήματα, τα έντομα έχουν και αρκετά μειονεκτήματα. Παρά το γεγονός της περιεκτικότητάς τους σε απαραίτητα αμινοξέα, η τρυπτοφάνη και η λυσίνη δεν είναι διαθέσιμες σε πρωτεϊνούχα τρόφιμα που προέρχονται από έντομα (Henchion, et al., 2017). Επίσης, ενώ στα ζώα η χιτίνη προκαλεί την ανάπτυξη ωφέλιμων βακτηρίων, στους ανθρώπους προκαλεί προβλήματα πέψης (Henchion, et al., 2017). Από την άλλη μεριά, το μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, που έχει η εκτροφή τους, μπορεί εύκολα να ανατραπεί, χρησιμοποιώντας το λάθος θρεπτικό υπόστρωμα, το οποίο με τη σειρά του θα καθορίσει το εάν τα έντομα θα χρησιμοποιηθούν για ανθρώπινη τροφή ή ζωοτροφή (Smetana, et al., 2016). Πολλά, ακόμη, έντομα συλλέγονται από το φυσικό τους περιβάλλον, γεγονός που όχι μόνο δημιουργεί δυσκολίες στη συλλογή τους, αλλά προκαλεί και διατάραξη της τροφικής αλυσίδας (Nonaka, 2009). Είναι, επίσης, σημαντικό να σημειωθεί και η έλλειψη αποδοχής-επιλογής, που υπάρχει από το καταναλωτικό κοινό. Σύμφωνα με τους Rozin και Fallon (1987), αυτό πηγάζει από τις αντιλήψεις-παραδόσεις των καταναλωτών περί κατανάλωσης εντόμων, την αποστροφή τους εξαιτίας της εμφάνισης των προϊόντων και τους κινδύνους που μπορεί να ελλοχεύουν από την κατανάλωσή τους. Τέλος, παρά τον ισχυρισμό κάποιων ερευνητών για την μεγαλύτερη ασφάλεια των εντόμων σε σχέση με τα ζώα (Van Huis, et al., 2013), αυτό το κομμάτι είναι ακόμη υπό διερεύνηση και συζήτηση (Veys & Baeten, 2018; Charlton, et al., 2015).

1.3.4 Ασφάλεια

Όπως όλα τα τρόφιμα, πριν τα έντομα φτάσουν στο πιάτο του καταναλωτή, πρέπει να αποδειχθεί ότι είναι ασφαλή για κατανάλωση. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση, όπου τα έντομα προορίζονται για ζωοτροφή. Το κομμάτι της ασφάλειας των εντόμων βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο και χρειάζονται πολλές έρευνες για να μπορέσουν να κυκλοφορήσουν στην αγορά ως τρόφιμα και ζωοτροφή σε μεγάλη κλίμακα.

Πρώτα απ' όλα, η εκτροφή εντόμων εγείρει ανησυχίες για την επικινδυνότητα των παθογόνων μικροοργανισμών, όπως *Staphylococcus*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Salmonella* κ.α., που έχουν εντοπιστεί σε αρκετά είδη εντόμων, που προορίζονται για ανθρώπινη και ζωική κατανάλωση (Stoops, et al., 2016; Wynants, et al., 2017; Osimani, et al., 2017). Η παρουσία, επίσης, μυκήτων, που ανήκουν στα γένη *Aspergillus*, *Penicillium* και *Fusarium*, που είναι υπεύθυνα για τις μυκοτοξίνες, προκαλούν προβληματισμούς (Wynants, et al., 2018). Έρευνες έδειξαν ότι το *Tenebrio molitor* μπορεί να μεταβολίσει κάποιες μυκοτοξίνες (Guo, et al., 2014). Περισσότερη έρευνα

σε αυτό τον τομέα είναι αναγκαία, για να διευκρινιστεί εάν υπάρχει ανθεκτικότητα των εντόμων σε μυκοτοξίνες, εάν αυτό βασίζεται στο είδος των εντόμων και των μυκοτοξινών και ποιες μυκοτοξίνες δεν μπορούν να μεταβολιστούν και από ποια έντομα (Hadi & Brightwell, 2021).

Παρά το γεγονός ότι, ιοί όπως η Ηπατίτιδα Α, και η Ηπατίτιδα Ε έχουν εντοπιστεί σε έντομα (Vandeweyer, et al., 2020), έρευνες έδειξαν ότι δεν μεταδίδονται στους ανθρώπους, οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος (EFSA, 2015). Όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, η βιοσυσσωρεύσή τους εξαρτάται από το είδος του μετάλλου, των εντόμων, του θρεπτικού υποστρώματος και του υλικού κατασκευής του περιέκτη του θρεπτικού υποστρώματος (Van der Fels-Klerx, et al., 2018; Van der Fels-Klerx, et al., 2016). Τα μέταλλα που θεωρούνται επικίνδυνα, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) 1881/2016, είναι το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg) και το αρσενικό (As), ενώ χρειάζονται περισσότερες έρευνες για να διαπιστωθεί η πραγματική τους βιοσυσσωρευση, η επικινδυνότητά τους και ο τρόπος μείωσής τους (Meyer, et al., 2021).

Ακόμη ένας λόγος, που η ασφάλεια της κατανάλωσης εντόμων είναι αμφισβητήσιμη, είναι οι αλλεργίες, που μπορεί να προκληθούν. Οι ουσίες, που προκαλούν τις αλλεργίες, είναι η αργινίνη κινάση και η τροπομυοσίνη, που είναι κυρίαρχες στα αρθρόποδα (Ribeiro, et al., 2017). Ωστόσο, η σημαντικότητά τους και οι επιπτώσεις της επεξεργασίας στην αλλεργιογένεση χρειάζονται περαιτέρω έρευνα (Ribeiro, et al., 2017; Hadi & Brightwell, 2021). Επίσης, αν και οι, μέχρι στιγμής, έρευνες σε συγκεκριμένα ζιζανιοκτόνα έδειξαν ότι δεν βιοσυσσωρεύονται, επιπλέον έρευνες είναι σημαντικό να γίνουν, τόσο για τη βιοσυσσωρευση όσο και για τη επίπτωση των υπολειμμάτων ζιζανιοκτόνων, που περιέχει το θρεπτικό υπόστρωμα στην ανάπτυξη και επιβίωση των εντόμων (Meyer, et al., 2021).

1.4 Κυριότερα έντομα

1.4.1 *Alphitobius diaperinus*

Προερχόμενο από την υποσαχάρια Αφρική, το έντομο *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797), γνωστό και ως το «μικρότερο σκουλήκι» (lesser mealworm) ή το σκαθάρι των «απορριμμάτων» (litter beetle), είναι ένα από τα σημαντικότερα έντομα-παράσιτα στην πτηνοτροφία (Axtell & Arends, 1990). Ανήκει στην τάξη Coleoptera και στην οικογένεια Tenebrionidae και, πλέον, μπορεί να εντοπιστεί σε όλο τον κόσμο (Van

Huis & Tomberlin, 2017). Θεωρείται βασικό έντομο της βιομηχανίας πτηνών, λόγω της αποδόμησης της τροφής και των αποβλήτων των πτηνών, που βρίσκονται στο πάτωμα, της καταστροφής των αχυρώνων από τις προνύμφες και της μεταφοράς παθογόνων μικροοργανισμών (Van Huis & Tomberlin, 2017; Axtell & Arends, 1990). Τα τελευταία χρόνια, αποτελεί ένα από τα ανερχόμενα έντομα για μαζική παραγωγή ανθρώπινης τροφής και ζωοτροφής.

Με άριστες συνθήκες θερμοκρασίας ανάπτυξης 21-35°C (Rueda & Axtell, 1996), το *Alphitobius diaperinus* ως ενήλικο μπορεί να εναποθέσει 1000-1800 γόνιμα αυγά (Axtell, 1994). Τα ενήλικα θηλυκά, 6-10 μέρες μετά το ζευγάρωμα ωοτοκούν, εναποθέτοντας τα αυγά τους σε ομάδες (Axtell, 1994). Τα αυγά εκκολάπτονται μετά από 3-10 μέρες, εφόσον επικρατούν θερμοκρασίες μεταξύ 15 και 38°C (Axtell, 1994; Rueda & Axtell, 1996), ενώ το στάδιο των προνυμφών διαρκεί από 1 έως 7 μήνες, κατά τη διάρκεια των οποίων οι προνύμφες υφίστανται από 6-11 εκδύσεις (Axtell, 1994; Francisco & Do Prado, 2001). Έπειτα, είναι το στάδιο της νύμφης (pupa) με διάρκεια 4-14 ημερών, το οποίο ακολουθείται από το στάδιο του ενηλίκου με διάρκεια πολλών μηνών (Axtell, 1994).

Τα ενήλικα έχουν καφέ σκούρο ή μαύρο χρώμα, ωοειδές σχήμα (5,5-8 mm μήκος και 2,5-3,2 mm φάρδος), κοντές κίτρινες τρίχες και κοντές κεραίες (Green, 1980; Hangstrum, et al., 2013). Οι νύμφες έχουν χρώμα εκρού προς ανοιχτό καφέ και δεν μπορούν να μετακινηθούν (Rumbos, et al., 2018), ενώ οι προνύμφες έχουν 3 ζεύγη θωρακικών ποδιών, διακριτή κεφαλή και σώμα και οι νεοεμφανιζόμενες έχουν χρώμα άσπρο προς ανοιχτό καφέ (Francisco & Do Prado, 2001)

ΚΑΤΑΤΑΞΗ	
Βασίλειο	Animalia
Φύλο	Arthropoda
Κλάση	Insecta
Τάξη	Coleoptera
Οικογένεια	Tenebrionidae
Υπο-οικογένεια	Tenebrioninae
Γένος	<i>Alphitobius</i>
Είδος	<i>A. diaperinus</i>
Συγγραφέας	Panzer, 1797
Κοινά ονόματα	lesser mealworm, litter beetle

1.4.2 *Tenebrio molitor*

Το *Tenebrio molitor* αποτελεί, ακόμη, ένα σπουδαίο έντομο στον τομέα της εντομοφαγίας με δυνατότητες μαζικής παραγωγής (Rumbos, et al., 2020). Η εκτροφή του *Tenebrio molitor* θεωρείται σχετικά εύκολη, λόγω του μικρού κύκλου αναπαραγωγής, του μεγάλου ποσοστού αποικοδόμησης των πρώτων υλών (Grau, et al., 2017; Hong, et al., 2020) και της μικρής έκτασης, που απαιτεί η εκτροφή του (Son, et al., 2020). Το συγκεκριμένο έντομο είναι ολομετάβολο, που σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια της ζωής του περνάει από τη φάση του αυγού, της προνύμφης, της νύμφης και του ενηλικού (Da Costa Rocha, et al., 2021). Ανήκει στην Τάξη Coleoptera, στην Οικογένεια Tenebrionidae και προέρχεται από τροπικές και εύκρατες περιοχές (Da Costa Rocha, et al., 2021). Στο στάδιο της προνύμφης, η θρεπτική αξία του *Tenebrio molitor* είναι μεγάλη, καθώς είναι πλούσιο σε πρωτεΐνη, λίπος, βιταμίνες (π.χ. E, B12, B3, B2, B5), απαραίτητα αμινοξέα και μέταλλα (Moruzzo, et al., 2021).

Με σύντομο κύκλο ζωής (Yi, et al., 2013), το ενήλικο *Tenebrio molitor* έχει μήκος περίπου 1cm (Ghaly & Alkokaik, 2009) και ωστοκεί περίπου 500 αυγά, τα οποία εκκολάπτονται μετά από την πάροδο 3-9 ημερών (25°C) (Ghaly & Alkokaik, 2009; Li, et al., 2013; Siemianowska, et al., 2013). Το στάδιο της προνύμφης, με μήκος περίπου 2-3,5 cm (Ghaly & Alkokaik, 2009; Aguilar-Miranda, et al., 2002), διαρκεί περίπου 90-140 ημέρες και οι προνύμφες αποκτούν χρώμα ανοιχτό καφέ προς κίτρινο (Selaledi, et al., 2020). Όσον αφορά, το στάδιο της νύμφης διαρκεί 5 ημέρες με 1 μήνα περίπου, όταν αναπτύσσεται στους 18°C (Ghaly & Alkokaik, 2009; Li, et al., 2013; Siemianowska, et al., 2013). Το *Tenebrio molitor* αναπτύσσεται άριστα σε θερμοκρασία 25-28°C και υγρασία μεγαλύτερη από 70% (Jajić, et al., 2019). Στο στάδιο του ενηλικού, τα έντομα αποκτούν χρώμα μαύρο, στο στάδιο της νύμφης δεν μπορούν να μετακινηθούν, ενώ στο στάδιο της προνύμφης έχουν 3 ζεύγη θωρακικών ποδιών και διακριτή κεφαλή και σώμα. Είναι έντομο παμφάγο, που μπορεί να τραφεί τόσο με φύλλα, αλλά και με προϊόντα κρέατος και δέρματος (Ramos-Elorduy, et al., 2002), αλλά η τροφή που χρησιμοποιείται για την εκτροφή είναι κυρίως πίτουρα δημητριακών, αλεύρι και φρούτα για την παροχή υγρασίας (Hong, et al., 2020).

ΚΑΤΑΤΑΞΗ	
Βασίλειο	Animalia
Φύλο	Arthropoda
Κλάση	Insecta
Τάξη	Coleoptera
Οικογένεια	Tenebrionidae
Γένος	<i>Tenebrio</i>
Είδος	<i>T. molitor</i>
Συγγραφές	Linnaeus, 1758
Κοινή ονομασία	Yellow mealworm

1.4.3 *Zophobas morio*

Αποκαλούμενο υπέρ-σκώληκα, γιγαντιαίο σκουλήκι, σκουλήκι morio ή zophobas, το *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) είναι ένα, ακόμη, ανερχόμενο και πολλά υποσχόμενο έντομο στον τομέα της εντομοφαγίας (Rumbos & Athanassiou, 2021). Αποτελεί ένα από τα μεγάλα σκαθάρια, που ανήκει στην Τάξη Coleoptera και στην Οικογένεια Tenebrionidae, το οποίο εκτρέφεται κυρίως για πτηνοτροφή, ιχθυοτροφή και τροφή για ερπετά (Rumbos & Athanassiou, 2021). Καταγόμενο από την Κεντρική και Νότια Αφρική (Hangstrum & Subramanyam, 2009), το *Zophobas morio* αποτελεί μία πλούσια διατροφική επιλογή, καθώς οι προνύμφες του είναι πλούσιες σε άζωτο, απαραίτητα αμινοξέα, λιπίδια, κορεσμένα λιπαρά οξέα, μέταλλα και βιταμίνες (Rumbos & Athanassiou, 2021). Άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης είναι 25-28°C με σχετική υγρασία 60-70% (Rumbos & Athanassiou, 2021). Παρά την ταχεία ανάπτυξη, που μπορεί να επιτευχθεί στην εκτροφή του *Zophobas morio*, ο κανιβαλισμός, που υφίσταται πολλές φορές μεταξύ των εντόμων (Tschinkel, 1981; Ichikawa & Kurauchi, 2009) και ο υπερπληθυσμός μπορούν να λειτουργήσουν ανασταλτικά στην ανάπτυξή του (VandenBrooks, et al., 2020)

Όπως υποδηλώνει και η κοινή του ονομασία «γιγαντιαίο σκουλήκι» το *Zophobas morio* είναι ένα από τα μεγάλα σκαθάρια εκτροφής εντόμων, με μακρόστενο σώμα μήκους 38-57mm, νηματοειδείς κεραίες (Rumbos & Athanassiou, 2021) και διάρκεια ζωής έως 6 μήνες (Bukkens, 1997) (Fursov & Cherney, 2018). Κάθε θηλυκό μπορεί να γεννήσει πάνω από 2200 αυγά κατά τη διάρκεια ζωής του (Tschinkel, 1993), τα οποία είναι λευκά με οβάλ σχήμα μεγέθους 1,7mm x 0,7mm (Fursov & Cherney, 2018). Αφού εκκολαφθούν, μετά από 8 ημέρες (25°C) (Kim, et al., 2015), εμφανίζονται οι

προνύμφες με μήκος, που μπορεί να ξεπερνάει τα 55mm και να φτάνει τα 2-4cm κοντά στην «συγκομιδή» τους (Friederich & Volland, 2004; Jabir, et al., 2012). Το χρώμα τους είναι κίτρινο και σκούρο καφέ στο επάνω μπροστινό και επάνω οπίσθιο τμήμα τους (Furson & Cherney, 2018). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι προνύμφες δεν μετατρέπονται σε νύμφες όταν υπάρχει υπερπληθυσμός, παρ' όλο που οι εκδύσεις συνεχίζονται μέχρι το θάνατο του εντόμου (Tschinkel & Willson, 1971; Quennedey, et al., 1995). Για αυτό το λόγο, σε συνθήκες μαζικής παραγωγής κρίνεται απαραίτητη η απομόνωση των προνυμφών, για συνέχιση των εξελικτικών σταδίων (Rumbos & Athanassiou, 2021). Εφόσον οι προνύμφες μετατραπούν σε νύμφες, παραμένουν σε αυτό το στάδιο για 13-15 ημέρες (25°C), ενώ άριστη θερμοκρασία ανάπτυξής τους είναι 29°C (Quennedey, et al., 1995).

Κατάταξη	
Βασίλειο	Animalia
Φύλο	Arthropoda
Κλάση	Insecta
Τάξη	Coleoptera
Οικογένεια	Tenebrionidae
Γένος	<i>Zophobas</i>
Είδος	<i>Z. morio</i>
Συγγραφέας	Fabricius, 1776
Κοινή ονομασία	Superworm, giant mealworm, morio worm, zophobas

1.4.4 *Hermetia illucens*

Προερχόμενο από την Αμερική (Lin, et al., 2021), το έντομο *Hermetia illucens* ή αλλιώς η μύγα μαύρος στρατιώτης, θεωρείται ένα ακόμη πολλά υποσχόμενο έντομο στον κλάδο της εντομοφαγίας (Bordignon, et al., 2022). Πλέον, είναι ευρέως διαδεδομένο σε τροπικές, υποτροπικές και εύκρατες περιοχές σε όλο τον κόσμο (Wang & Shelomi, 2017) και αποτελεί ένα από τα έντομα, η εκτροφή του οποίου έχει το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Mancini, et al., 2018; Gasco, et al., 2020) και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και λιπίδια (Raksasat, et al., 2020). Επιπλέον, έχει μεγάλη προσαρμοστικότητα στα διάφορα υποστρώματα χαμηλού κόστους, όπως τα υποπροϊόντα φαγητού (Mancini, et al., 2018; Gasco, et al., 2020) και

δεν αποτελεί φορέα ασθενειών (Lin, et al., 2021). Πέραν της προσαρμοστικότητας του *Hermetia illucens* στα διάφορα υποστρώματα, έρευνες έδειξαν ότι οι προνύμφες έχουν μεγάλη αντοχή και σε άλλες ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οι ακραίες θερμοκρασίες (Indri, et al., 2021). Ενώ είναι ένα έντομο που ζει σε ζεστά περιβάλλοντα, εάν στο στάδιο της προνύμφης η θερμοκρασία πέσει χαμηλά ή εάν ξεμείνει από φαγητό, δεν πεθαίνει, αλλά παραμένει ζωντανό, χωρίς δραστηριότητα, μέχρι οι συνθήκες να ξαναγίνουν ευνοϊκές (Yu, et al., 2011).

Το *Hermetia illucens* είναι ένα ολομετάβολο έντομο (Guo, et al., 2021) και ο κύκλος ζωής του διαρκεί περίπου 40-50 ημέρες. Κατά την ωοτοκία, τα θηλυκά εναποθέτουν τα αυγά τους σε οργανικές ουσίες, για να είναι διαθέσιμες στις νεοεκκολαπτόμενες προνύμφες να τραφούν. Μετά την ωοτοκία, τα θηλυκά ενήλικα πεθαίνουν, λόγω της ενεργειακής εξάντλησης που υφίστανται, ενώ τα αυγά εκκολάπτονται μετά από 4 ημέρες. Κατά την ανάπτυξη των προνυμφών τα έντομα τρέφονται από τις οργανικές ουσίες μέχρι να φτάσουν το 5^ο στάδιο της έκδυσης, μετά από περίπου 4 εβδομάδες. Οι νεοεκκολαπτόμενες προνύμφες έχουν χρώμα εκρού, ενώ σταδιακά σκουραίνει μέχρι και το στάδιο της 6^{ης} και τελευταίας έκδυσης, που γίνεται σκούρο καφέ. Σε αυτό το τελευταίο στάδιο, οι προνύμφες σταματούν να τρέφονται ενώ τα στοματικά τους μόρια μετατρέπονται σε «γάντζους», που είναι απαραίτητοι για τη μεταφορά τους σε ασφαλές και ξηρό μέρος. Σε αυτό το στάδιο οι προνύμφες μετατρέπονται σε νύμφες και τελικώς, μετά από περίπου μία εβδομάδα σε ενήλικα. Τα ενήλικα ζουν 4-6 ημέρες, μέχρι να ολοκληρωθεί η γονιμοποίησή τους και η ωοτοκία (Raksasat, et al., 2020).

Τα ενήλικα μπορούν να φτάσουν σε φάρδος πάνω από 6mm και μήκος 15-27mm (Makkar, et al., 2014; Tinder, et al., 2017; Jucker, et al., 2017). Το σημαντικότερο, όμως, στάδιο ζωής του *Hermetia illucens* για την παραγωγή τροφίμων και ζωοτροφών, είναι η προνύμφη τελικού σταδίου, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνη (Lin, et al., 2021). Η προνύμφη μπορεί να ξεπεράσει τα 220 mg σε βάρος (Salomone, et al., 2017) και μπορεί να καταναλώσει ποικίλα υποστρώματα, όπως τα απόβλητα φρούτων και λαχανικών, ζωική κοπριά κ.α. (Nguyen, et al., 2013).

Κατάταξη	
Βασίλειο	Animalia
Φύλο	Arthropoda
Κλάση	Insecta
Τάξη	Diptera
Οικογένεια	Stratiomyidae
Υπό-οικογένεια	Hermetiinae
Γένος	<i>Hermetia</i>
Είδος	<i>H. illucens</i>
Συγγραφέας	Linnaeus, 1758
Κοινή ονομασία	Μύγα μαύρος στρατιώτης

1.5 Εκτροφή εντόμων

1.5.1 Ανάγκες και πηγές πρωτεΐνης στη διατροφή τους

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες, που καθορίζουν την αποτελεσματική εκτροφή των εντόμων, είναι η διατροφή τους. Αυτή, ιδανικά, θα πρέπει να αποτελείται από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, μέταλλα και βιταμίνες (Cohen, 2015). Το σημαντικότερο, όμως, στοιχείο της διατροφής τους είναι η πρωτεΐνη.

Οι πιο συνηθισμένες πηγές πρωτεΐνης στην διατροφή των εντόμων είναι τα πίτουρα σίτου, καλαμποκιού ή βρώμης, αλεύρι καλαμποκιού, σίτου, σόγιας ή βρώμης, ζωοτροφές πουλερικών, σκόνη γάλακτος και μαγιά (Silva, et al., 2021; Makkar, et al., 2014). Ωστόσο, πολλά έντομα μπορούν, επίσης, να τραφούν με βιομάζα αποβλήτων, μετατρέποντάς την σε υψηλής αξίας τρόφιμο ή ζωοτροφή (Makkar, et al., 2014; Oonincx, et al., 2015). Τα παμφάγα έντομα, μπορούν, ακόμη, να καταναλώσουν κρέας και δέρμα (Ramos-Elorduy, et al., 2002), δημιουργείται, όμως, μία δυσάρεστη οσμή κατά την αποσύνθεσή του και αυξάνεται ο κίνδυνος μόλυνσης από άλλα έντομα (Estrada, et al., 2009). Έρευνες έδειξαν ότι η διατροφή παίζει καθοριστικό ρόλο στον κύκλο ζωής του *Tenebrio molitor*, επηρεάζοντας τον χρόνο ανάπτυξής του, τη γονιμότητά του, τον αριθμό των εκδύσεων και τη βιωσιμότητά του (Martins Ribeiro, 2017). Μελέτες και σε πολλά λεπιδόπτερα, όπως το *Plodia interpunctella* και το *Helicoverpa armigera* έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα με το *Tenebrio molitor* (Borzoui, et al., 2018; Truzi, et al., 2019).

1.5.2 Η χρήση και η σημασία εμπλουτισμένου με πρωτεΐνη άγαρ στη διατροφή των εντόμων

Το άγαρ είναι ένα απαραίτητο συστατικό στη διατροφή των ζώων με πολλά πλεονεκτήματα για την εκτροφή τους (Ahmed, et al., 1998). Προερχόμενο μετά από κατάλληλη επεξεργασία των φυκιών (όπως το *Gracilaria* και το *Geladiella*) (Nene, et al., 1996), το άγαρ αποτελεί ένα από τα πιο ακριβά συστατικά που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως στην εκτροφή των εντόμων (Abbasi, et al., 2007). Ως πηκτοματοποιητής, καθίσταται η ιδανική λύση, τόσο ως πηγή υγρασίας για τα έντομα όσο και ως φορέας θρεπτικών συστατικών. Στα πλεονεκτήματά του συμπεριλαμβάνονται η εύκολη απόκτησή του, η σταθερότητά του, η διαύγειά του, η αντοχή του και η ουδετερότητά του χωρίς να προκαλεί τοξικότητες (Jain, et al., 2005). Όλα τα προηγούμενα, το καθιστούν τον ιδανικό φορέα πρωτεΐνης στη διατροφή των εντόμων. Η ενίσχυση της διατροφής των εντόμων με εμπλουτισμένο με πρωτεΐνη άγαρ, τους παρέχει τη δυνατότητα να έχουν σταθερές ποσότητες πρωτεΐνης στη διατροφή τους και με ομοιογένεια, κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τις συμβατικές πρωτεϊνούχες πηγές (Moadeli, et al., 2017). Τέλος, είναι εύκολο στο χειρισμό του και παρέχει τη δυνατότητα ελεγχόμενης διατροφής των εντόμων (Abbasi, et al., 2007).

1.6 Σκοπός

Ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η εκτίμηση της γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα μεταφοράς θρεπτικών συστατικών και συγκεκριμένα πρωτεΐνης κατά την εκτροφή των ειδών *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus*. Ως πηγή πρωτεΐνης χρησιμοποιήθηκε η μαγιά μύρας και, επιπλέον, αξιολογήθηκε η επίδραση της περιεκτικότητας πρωτεΐνης στη γέλη από άγαρ, στην αξιοποίηση της τροφής υπολογίζοντας τους κατάλληλους δείκτες, όπως ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής [Feed Conversion Ratio (FCR)], ο συντελεστής μετατροπής της προσληφθείσας τροφής [Efficiency of Conversion of Ingested food (ECI)], ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής μετά την πέψη [Efficiency of Conversion of Digested food (ECD)] και ο συντελεστής ειδικού ρυθμού ανάπτυξης [Specific Growth Rate (SGR)].

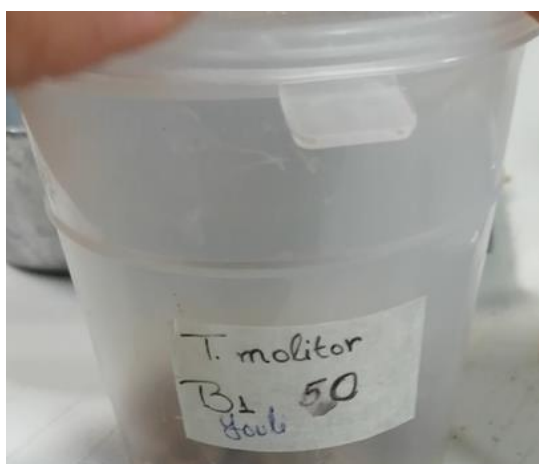
2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Έντομα

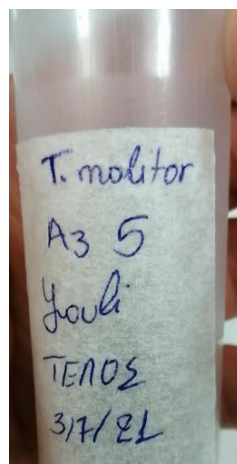
Στο συγκεκριμένο πείραμα, τα έντομα, που χρησιμοποιήθηκαν, προήλθαν από τις εκτροφές, που διατηρούνται στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για την εκτροφή των προνυμφών, χρησιμοποιήθηκαν στο σύνολο 60 pop top περιέκτες (7.5cm Ø, 8.8 cm ύψος) στους οποίους διανοίχθηκαν τρύπες και τοποθετήθηκε τούλι για τον καλύτερο αερισμό των προνυμφών. Οι περιέκτες, αυτοί, τοποθετήθηκαν σε μεγάλα πλαστικά διάφανα κουτιά χωρίς καπάκι για την ευκολότερη μετακίνησή τους. Για την παρασκευή της γέλης από άγαρ, 100ml νερού θερμαίνονταν, ενώ παράλληλα προστίθενται σταδιακά 2gr σκόνης άγαρ, 0.5gr nipagen και το αντίστοιχο ποσοστό μαγιάς μύρας για κάθε ομάδα εντόμων (0%, 0.5%, 1%, 2.5% και 5%). Το υδατικό διάλυμα αναδεύονταν για λίγα δευτερόλεπτα μέχρι την πήξη του. Κατόπιν, τοποθετούνταν σε χαμηλές θερμοκρασίες για την σταθεροποίησή του και για την συντήρησή του, έως και μία εβδομάδα.

Για την απόκτηση των προνυμφών, περίπου 50 ενήλικα άτομα μικτού φύλου τοποθετήθηκαν σε έναν περιέκτη με 100 g προ-κοσκινισμένου λευκού αλευριού από σίτο, για να ζευγαρώσουν και να ωοτοκήσουν. Κατά την περίοδο του ζευγαρώματος-ωοτοκίας έγινε προσθήκη κομματιών καρότου ως πηγή υγρασίας για τα έντομα.

Με την πάροδο 7 ημερών, τα ενήλικα διαχωρίστηκαν από τον περιέκτη και το αλεύρι, με τη βοήθεια ενός κόσκινου. Έπειτα, το αλεύρι κοσκινίστηκε, με κόσκινο, με διάμετρο οπών 500μm, προκειμένου να αποκτηθούν τα ωά. Τα ωά επανατοποθετήθηκαν σε προ-



Εικόνα 1: Φιαλίδιο με σήμανση - «Προσωπικό αρχείο συγγραφέα»



Εικόνα 2: Φιαλίδιο με σήμανση - «Προσωπικό αρχείο συγγραφέα»

κοσκινισμένο αλεύρι σίτου με καρότο ως πηγή υγρασίας για να εκκολαθούν. Νεοεκκολαθείσες προνύμφες πρώτου σταδίου (<2 ημερών) χρησιμοποιήθηκαν στον πειραματισμό. Οι συνθήκες εκτροφής και για τα δύο έντομα (*A. diaperinus* και *T. molitor*) ήταν σε θερμοκρασία $26 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $50 \pm 5\%$ και συνθήκες σκότους.



Εικόνα 3: Εκτροφές *Tenebrio molitor* (Αρχείο Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας Π.Θ.)

2.2 Βιοδοκιμή I: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.

Κατά την 1^η βιοδοκιμή, μελετήθηκε η επίδραση της γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών στις προνύμφες του *Tenebrio molitor*. Αρχικά, οι προνύμφες χωρίστηκαν σε ομάδες των 50 ατόμων, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια (7.5 cm Ø, 8.8 cm ύψος), που περιείχαν 4g πίτουρο σιταριού. Τα φιαλίδια χωρίστηκαν σε πέντε ομάδες με 6 επαναλήψεις, αποτελούμενες από 50 προνύμφες η κάθε επανάληψη, δηλαδή σύνολο 1500 προνύμφες. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, κύβοι γέλης από άγαρ (20 g/l) (1x1x1cm) με διαφορετικές συγκεντρώσεις μαγιάς μύρας παρέχονταν στις προνύμφες ως πηγή υγρασίας. Οι συγκεντρώσεις της μαγιάς που μελετήθηκαν ήταν 0%, 0.5%, 1%, 2.5% και 5%. Σε κάθε ομάδα (αποτελούμενη από 6 επαναλήψεις), προστίθενται κύβοι γέλης από άγαρ με το

αντίστοιχο ποσοστό μαγιάς, τρεις φορές την εβδομάδα. Τις τέσσερις πρώτες εβδομάδες, οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν και να αναπτυχθούν ανενόχλητες. Η μόνη παρέμβαση ήταν η προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών. Μετά το πέρας των τεσσάρων εβδομάδων οι προνύμφες, που επιβίωσαν σε κάθε φιαλίδιο, διαχωρίστηκαν από το τροφικό υπόστρωμα με κατάλληλα κόσκινα, μετρήθηκαν, ζυγίστηκαν και επανατοποθετήθηκαν στο φιαλίδιο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνονταν ανά δύο εβδομάδες, ενώ ολοκληρώθηκε με την εμφάνιση της πρώτης νύμφης. Κατά την περίοδο της εκτροφής των προνυμφών, συνεχίστηκε η προσθήκη πίτουρου σίτου, ως πηγή θρέψης των προνυμφών.

Οι προνύμφες από κάθε φιαλίδιο, που εντοπίστηκε η πρώτη νύμφη, μετρήθηκαν, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε συνθήκες θερμοκρασίας υπό του μηδενός, προκειμένου να επέλθει ο θάνατος. Μετά το πέρας του σταδίου αυτού, οι προνύμφες τεμαχίστηκαν, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 105° C για 24 ώρες, για να αφαιρεθεί η υγρασία τους. Τέλος, η μάζα των προνυμφών, μετά την αποξήρανσή τους στο φούρνο, ζυγίστηκε, προκειμένου να υπολογιστεί η ξηρά ουσία τους. Η ίδια διαδικασία αποξήρανσης ακολουθήθηκε και για τα περιττώματα των εντόμων.

Τα δεδομένα σχετικά με το βάρος και τον αριθμό των προνυμφών χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων αξιολόγησης της τροφής. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής [Feed Conversion Ratio (FCR)] (Εξίσωση 1), ο συντελεστής μετατροπής της προσληφθείσας τροφής [Efficiency of Conversion of Ingested food (ECI)] (Εξίσωση 2), ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής μετά την πέψη [Efficiency of Conversion of Digested food (ECD)] (Εξίσωση 3) και ο συντελεστής ειδικού ρυθμού ανάπτυξης [Specific Growth Rate (SGR)] (Εξίσωση 4).

$$\text{Εξίσωση 1: FCR} = \frac{\text{Ποσότητα τροφής που καταναλώθηκε}}{\text{Αύξηση βάρους εντόμου}}$$

$$\text{Εξίσωση 2: ECI} = \frac{\text{Αύξηση βάρους εντόμου}}{\text{Ποσότητα τροφής που καταναλώθηκε}} \times 100\%$$

$$\text{Εξίσωση 3: ECD} = \frac{\text{Αύξηση βάρους εντόμου}}{\text{Ποσότητα τροφής που αφομοιώθηκε}} \times 100\%$$

Εξίσωση 4: SGR

$$= 100 \times \frac{(\text{In τελικό βάρος προνυμφών} - \text{In τελικό βάρος προνυμφών})}{\text{ημέρες}}$$



Εικόνα 3: Προνύμφες *Tenebrio molitor* τελικού σταδίου - «Προσωπικό αρχείο συγγραφέα»



Εικόνα 4: Νύμφες *Tenebrio molitor* - «Προσωπικό αρχείο συγγραφέα»

2.3 Βιοδοκιμή II: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.

Κατά την 2^η βιοδοκιμή, μελετήθηκε η επίδραση της γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών στις προνύμφες του *Alphitobius diaperinus*. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι όμοια με αυτή του περιγράφεται στη Βιοδοκιμή I, με τη διαφορά ότι στο φιαλίδιο των προνυμφών προστέθηκε 1g πίτουρου σίτου και οι προνύμφες δεν τεμαχίστηκαν πριν την αποξήρανσή τους, λόγω του μικρότερου μεγέθους τους.



Εικόνα 5: Προνύμφες *Alphitobius diaperinus* τελικού σταδίου - «Προσωπικό αρχείο συγγραφέα»



Εικόνα 6: Νύμφες *Alphitobius diaperinus* - «Προσωπικό αρχείο συγγραφέα»

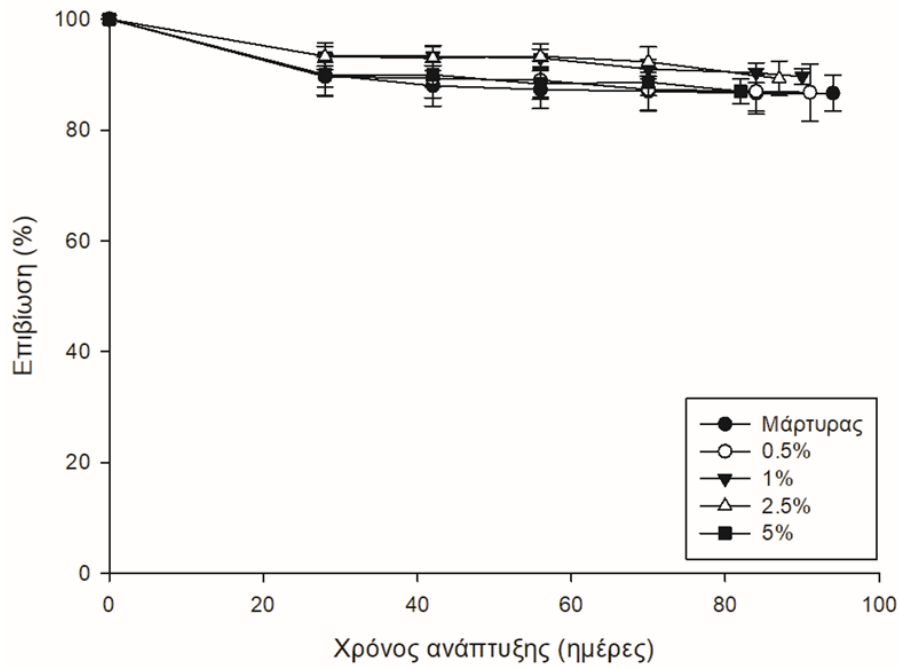
2.4 Ανάλυση

Η επεξεργασία δεδομένων έγινε με το στατιστικό πακέτο JMP 11 (SAS Institute Inc, 2013) Οι μέσοι όροι των συντελεστών FCR, ECI, ECD και SGR καθώς και του χρόνου ανάπτυξης, για το κάθε έντομο συγκρίθηκαν μεταξύ τους σε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι πολλαπλές συγκρίσεις των μέσων όρων έγιναν σύμφωνα με το κριτήριο Tukey-Kramer HSD σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0.05$).

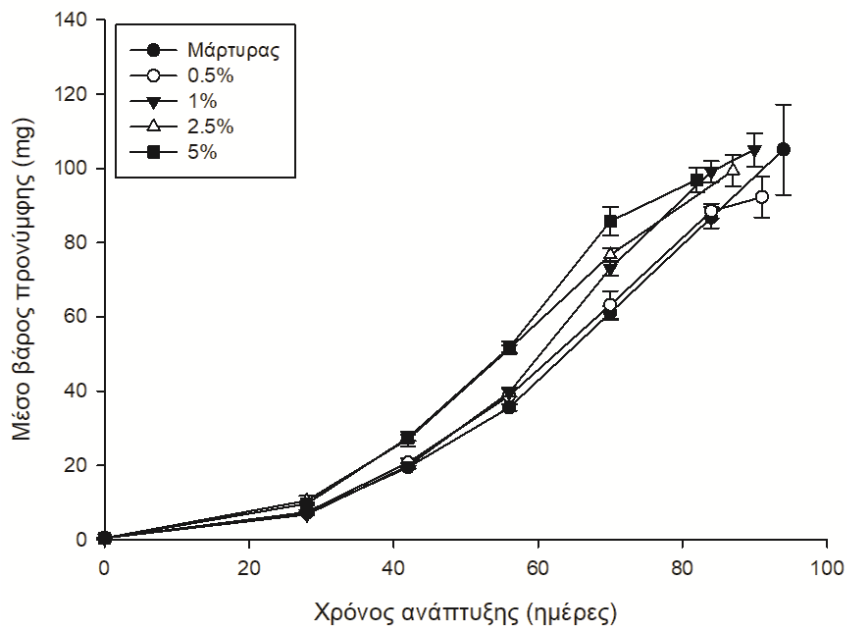
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Βιοδοκιμή I: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.

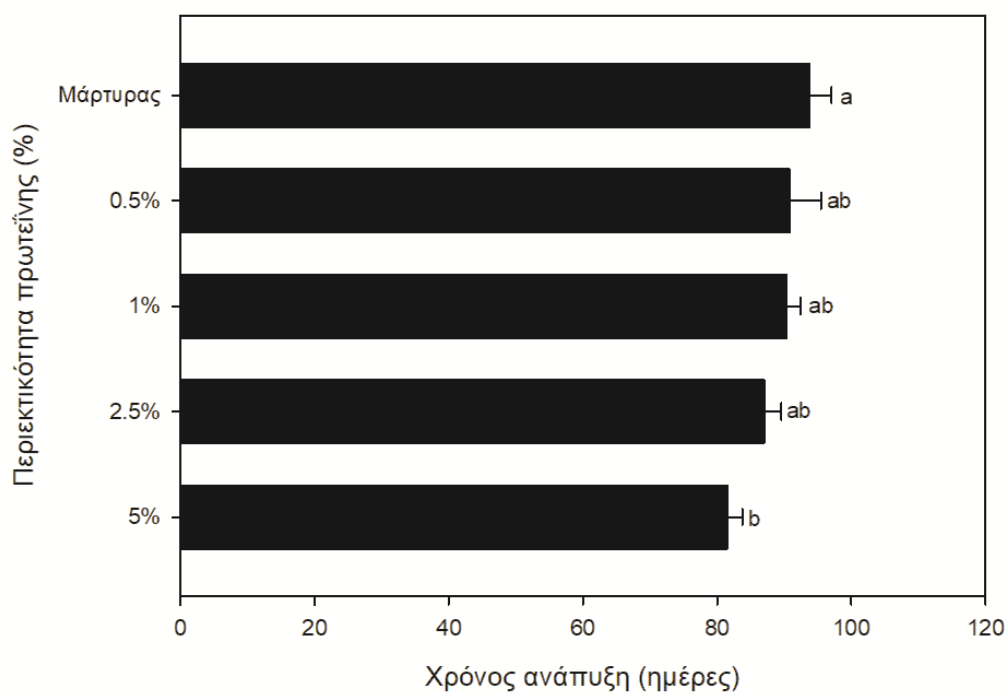
Το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών *Tenebrio molitor* παρέμεινε υψηλό καθόλη τη διάρκεια της βιοδοκιμής, γεγονός που υποδεικνύει πως η γέλη από άγαρ μπορεί να αποτελέσει καλή πηγή υγρασίας για το *Tenebrio molitor* (Γράφημα 1). Η περιεκτικότητα μαγιάς μύρας στην γέλη δεν επηρέασε σημαντικά την επιβίωση, καθώς τα τελικά ποσοστά κυμάνθηκαν μεταξύ 86.7% και 89.7%, ωστόσο το χαμηλότερο ποσοστό επιβίωσης σημειώθηκε στον μάρτυρα (Γράφημα 1). Η περιεκτικότητα πρωτεΐνης στη γέλη επηρέασε το μέσο βάρος των προνυμφών, καθώς οι προνύμφες, οι οποίες αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με 5% μαγιά, σημείωναν το μεγαλύτερο βάρος μέχρι και το σημείο συγκομιδής τους. Παρόλα αυτά, μεγαλύτερο τελικό βάρος είχαν οι προνύμφες του μάρτυρα (Γράφημα 2). Η παρουσία πρωτεΐνης στην γέλη επηρέασε θετικά τον χρόνο ανάπτυξης των εντόμων, ο οποίος διέφερε γραμμικά μεταξύ των διαφόρων περιεκτικοτήτων με τον μικρότερο για τις προνύμφες, που εφοδιάστηκαν με γέλη από άγαρ με 5% μαγιά και μεγαλύτερο για τις προνύμφες του μάρτυρα (Γράφημα 3). Μεγαλύτερες τιμές FCR (2.9 ± 0.2) παρατηρήθηκαν για τον μάρτυρα και τις προνύμφες, που αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με 0.5% μαγιά, και μικρότερες για εκείνες, που αναπτύχθηκαν με γέλη με τα μεγαλύτερα ποσοστά μαγιάς (2.4 ± 0.1 - 2.6 ± 0.1). Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τις τιμές των δεικτών ECI και ECD. Η χαμηλότερη τιμή SGR (5.6 ± 0.1) υπολογίστηκε για τον μάρτυρα και αυξάνεται όσο αυξάνεται και η περιεκτικότητα μαγιάς στη γέλη από άγαρ (Πίνακας 1).



Γράφημα 1. Ποσοστό επιβίωσης (% \pm Τυπικό Σφάλμα) των προνυμφών του *Tenebrio molitor*, που αναπτύχθηκαν σε πίτουρο σιταριού παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας ($n = 6$).



Γράφημα 2. Μέσο βάρος, (mg, \pm Τυπικό Σφάλμα) των προνυμφών του *Tenebrio molitor*, που αναπτύχθηκαν σε πίτουρο σιταριού παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας ($n = 6$).



Γράφημα 3. Χρόνοι ανάπτυξης, εκφρασμένοι σε ημέρες, των προνυμφών του *Tenebrio molitor*, που αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας (n = 6)

Πίνακας 1. Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής [Feed Conversion Ratio (FCR)], συντελεστής μετατροπής της προσληφθείσας τροφής [Efficiency of Conversion of Ingested food (ECI)], συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής μετά την πέψη [Efficiency of Conversion of Digested food (ECD)] και συντελεστής ειδικού ρυθμού ανάπτυξης [Specific Growth Rate (SGR)] (\pm τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Tenebrio molitor*, που αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας (n=6).

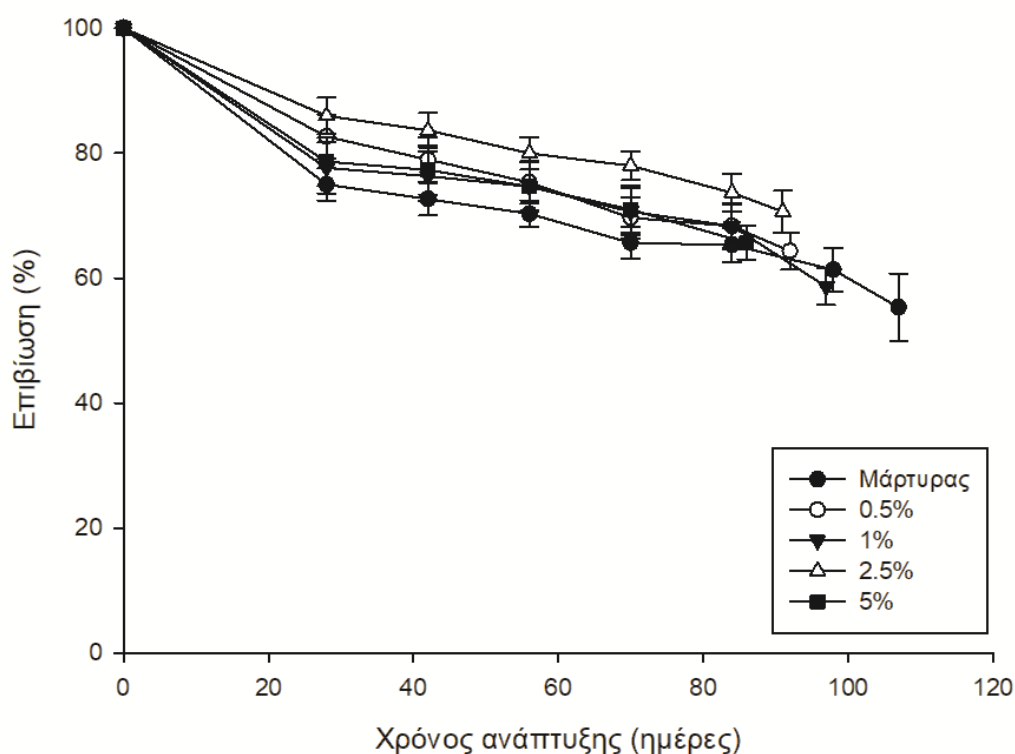
Περιεκτικότητα μαγιάς στην γέλη από άγαρ	Χρόνος ανάπτυξης	FCR	ECI	ECD	SGR
Μάρτυρας (0%)	93.8 \pm 3.2 ^a	2.9 \pm 0.1 ^a	13.5 \pm 0.5	25.9 \pm 1.7 ^a	5.6 \pm 0.1 ^a
0.5%	90.8 \pm 4.7 ^{ab}	2.9 \pm 0.2 ^{ab}	13.7 \pm 0.6	27.8 \pm 0.9 ^{ab}	5.8 \pm 0.3 ^a
1%	90.3 \pm 2.1 ^{ab}	2.4 \pm 0.1 ^{ab}	15.5 \pm 0.6	33.1 \pm 1.3 ^{ab}	5.9 \pm 0.1 ^{ab}
2.5%	87.0 \pm 2.5 ^{ab}	2.6 \pm 0.1 ^{ab}	15.1 \pm 0.6	30.9 \pm 1.9 ^{ab}	6.0 \pm 0.1 ^{ab}
5%	81.5 \pm 2.2 ^b	2.5 \pm 0.2 ^b	16.1 \pm 0.8	30.0 \pm 0.9 ^b	6.4 \pm 0.2 ^b

Για κάθε στήλη, οι μέσοι όροι, που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα, δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σύμφωνα με το Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

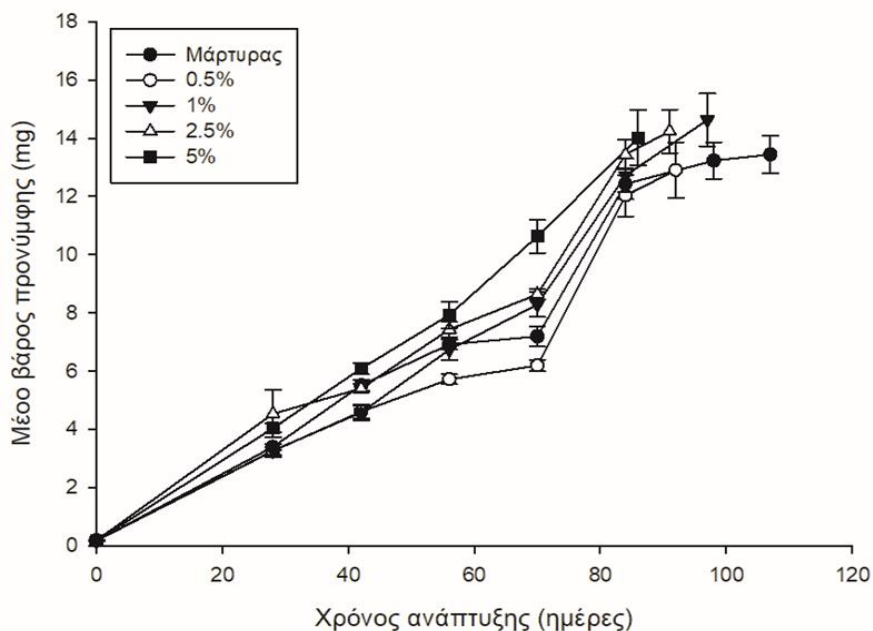
3.2 Βιοδοκιμή II: Αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus* μετά την προσθήκη γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών.

Το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus*, που αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας, παρουσιάζονται στο Γράφημα 4. Υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης σημειώθηκε για τις προνύμφες, που εφοδιάστηκαν με γέλη από άγαρ με 2.5% μαγιά, ενώ μικρότερο ποσοστό επιβίωσης είχαν οι προνύμφες του μάρτυρα. Θετική ήταν η επίδραση της μαγιάς στην αύξηση του βάρους των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus*. Οι

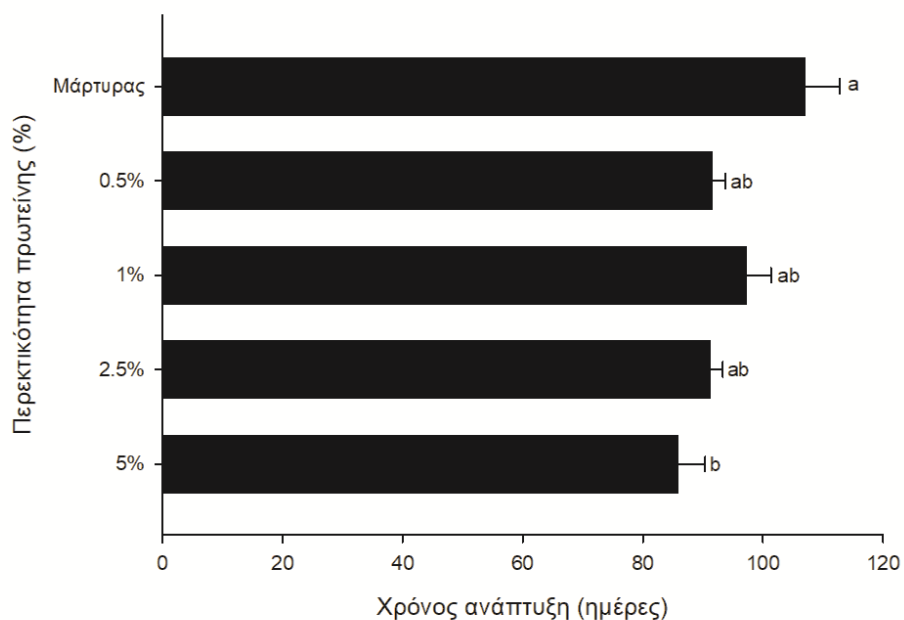
προνύμφες, οι οποίες αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με 5% μαγιά, σημείωναν το μεγαλύτερο βάρος μέχρι και το σημείο συγκομιδής τους. Ωστόσο, υψηλότερο τελικό βάρος σημειώθηκε για τις προνύμφες, που αναπτύχθηκαν με γέλη από άγαρ με 1% μαγιά μύρας, αρκετές ημέρες αργότερα. Σημαντικά επηρέασε η παρουσία μαγιάς τον χρόνο ανάπτυξης, ακόμα και σε ποσοστό 0.5% (92 ημέρες) συγκριτικά με τον μάρτυρα (107 ημέρες). Η μεγαλύτερη τιμή FCR υπολογίστηκε στον μάρτυρα και μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα της μαγιάς μύρας στο άγαρ. Το αντίστροφο παρατηρείται για τις τιμές ECI, ECD και SGR γεγονός που υποδεικνύει την θετική επίδραση της πρωτεΐνης στην ανάπτυξη του εντόμου.



Γράφημα 4. Ποσοστό επιβίωσης (%) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus*, που αναπτύχθηκαν σε πίτουρο σιταριού παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας (n = 6)



Γράφημα 5. Μέσο βάρος (mg, \pm Τυπικό Σφάλμα) των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus*, που αναπτύχθηκαν σε πίτουρο σιταριού παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας (n =6).



Γράφημα 6. Χρόνοι ανάπτυξης, εκφρασμένοι σε ημέρες, των προνυμφών του *Alphitobius diaperinus*, που αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας (n = 6).

Πίνακας 2. Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής [Feed Conversion Ratio (FCR)], συντελεστής μετατροπής της προσληφθείσας τροφής [Efficiency of Conversion of Ingested food (ECI)], συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής μετά την πέψη [Efficiency of Conversion of Digested food (ECD)] και συντελεστής ειδικού ρυθμού ανάπτυξης [Specific Growth Rate (SGR)] (\pm τυπικό Σφάλμα) προνυμφών του *Alphitobius diaperinus*, που αναπτύχθηκαν παρουσία γέλης από άγαρ με διαφορετικές περιεκτικότητες μαγιάς μύρας ($n = 6$).

Περιεκτικότητα μαγιάς μύρας στην γέλη από άγαρ	Χρόνος ανάπτυξης	FCR	ECI	ECD	SGR
Μάρτυρας (0%)	107.0 \pm 5.8 ^a	4.9 \pm 0.7	6.3 \pm 0.9 ^a	11.1 \pm 1.6 ^a	3.4 \pm 0.2 ^a
0.5%	91.5 \pm 2.2 ^{ab}	4.2 \pm 0.2	7.1 \pm 0.4 ^{ab}	12.4 \pm 1.0 ^{ab}	4.1 \pm 0.1 ^{ab}
1%	97.2 \pm 4.2 ^{ab}	4.2 \pm 0.4	7.0 \pm 0.7 ^{ab}	13.1 \pm 1.4 ^{ab}	3.9 \pm 0.1 ^{ab}
2.5%	91.2 \pm 2.1 ^{ab}	3.4 \pm 0.2	8.0 \pm 0.5 ^{ab}	15.5 \pm 1.0 ^{ab}	4.3 \pm 0.1 ^{ab}
5%	85.8 \pm 4.5 ^b	3.3 \pm 0.3	9.2 \pm 0.8 ^b	18.1 \pm 1.7 ^b	4.6 \pm 0.2 ^b

Για κάθε στήλη, οι μέσοι όροι, που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα, δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σύμφωνα με το Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη, αξιολογήθηκε η καταλληλότητα της γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας και φορέα θρεπτικών συστατικών και συγκεκριμένα πρωτεΐνης για τις προνύμφες των ειδών *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus*. Η επίδραση της παρουσίας της γέλης από άγαρ αποδείχθηκε θετική στην ανάπτυξη και των δύο ειδών. Επιπλέον, η προσθήκη μαγιάς μύρας, σε αυτή, κρίθηκε ως μια ορθή μέθοδος μεταφοράς θρεπτικών συστατικών και συγκεκριμένα της πρωτεΐνης.

Η σημαντικότητα της παρουσίας μια πηγής υγρασίας, κατά την εκτροφή των δύο αυτών ειδών, έχει επιβεβαιωθεί από προηγούμενες εργασίες (Fraenkel 1950; Urs & Hopkins, 1973; Oonincx et al., 2015). Οι Adamaki-Sotiraki et al. (2021) εκτελώντας μία σειρά βιοδοκιμών σε διάφορους πληθυσμούς *Tenebrio molitor* απουσίας υγρασίας, παρατήρησαν ότι παρόλο που δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των πληθυσμών, που δοκιμάστηκαν, όσον αφορά τα τελικά βάρη των προνυμφών και τα ποσοστά επιβίωσης, υπήρξαν σημαντικές διαφορές στο χρόνο ανάπτυξης και στο ρυθμό ανάπτυξης, που μπορεί να επηρεάσουν τη συνολική απόδοση της παραγωγής προνυμφών *Tenebrio molitor*. Ωστόσο, αρκετά ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης παρατηρούμε όταν προσθέσουμε κάποια πηγή υγρασίας (Rumbos et al., 2021).

Ως πηγή υγρασίας στην εκτροφή των δύο υπό εξέταση ειδών, χρησιμοποιούνται, συνήθως, διάφορα λαχανικά, όπως καρότο και πατάτα. Ωστόσο, αυξανόμενο είναι το ενδιαφέρον εξεύρεσης εναλλακτικών πηγών υγρασίας, καθώς η θρεπτική σύνθεση των λαχανικών αυτών δεν είναι σταθερή, αλλά ποικίλει, προκαλώντας διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη των εντόμων. Επίσης, τα υποστρώματα αυτά είναι επιρρεπή σε μικροβιακές αλλοιώσεις, ενώ σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να είναι οικονομικά ασύμφορα. Οι Gianotten et al. (2020) έδειξαν ότι παραπροϊόντα ζυθοποιίας μπορούν να αποτελέσουν μια οικονομικότερη, αλλά και καλύτερη πηγή υγρασίας συγκριτικά με το καρότο για τις προνύμφες του *A. diaperinus*, οδηγώντας σε μεγαλύτερη αύξηση των προνυμφών. Επιπλέον, έχει μελετηθεί η καταλληλότητα της γέλης από άγαρ ως πηγή υγρασίας για το *T. molitor* (Deruytter et al., 2020). Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας επιβεβαιώνουν πως η γέλη από άγαρ μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς ως πηγή υγρασίας, καθώς το ποσοστό επιβίωσης, ο χρόνος ανάπτυξης, και η αύξηση του βάρους ήταν καλύτερα από εκτροφές σε πίτουρο στις οποίες απουσίαζε οποιαδήποτε πηγή υγρασίας (Rumbos et al., 2021). Παρ' όλα αυτά, το καρότο φαίνεται να αποτελεί

καλύτερη πηγή υγρασίας, καθώς οδήγησε σε καλύτερα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιήθηκε ως πηγή υγρασίας στο ίδιο υπόστρωμα για το *Tenebrio molitor* (Rumbos et al., 2021)

Οι παράγοντες πηκτωματοποίησης είναι μια άλλη ομάδα συστατικών, που χρησιμοποιούνται στη δίαιτα εντόμων, για να μετατρέψουν μείγματα με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, σε στερεά με ομοιογενή κατανομή υλικών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή υγρασίας (Cohen, 2015). Οι παράγοντες πηκτωματοποίησης μπορούν επίσης να αναστείλουν ανεπιθύμητες αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών της διαίτας (Cohen, 2015). Η γέλη από άγαρ έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στο παρελθόν σε τεχνητές δίαιτες για εργαστηριακές εκτροφές εντόμων, όπως η μύγα μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) (Barry et al., 2007; Chang 2004; Chang et al., 2001,2007; Niyazi et al., 2004), ο δάκος της ελιάς *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Diptera: Tephritidae), και άλλα Tephritidae, όπως το *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae) (Moadeli et al., 2017), και το *Anastrepha ludens* (Loew) (Diptera: Tephritidae) (Pascacio-Villafán et al. 2020). Από όσα είναι γνωστά, αυτή είναι η πρώτη εργασία, που αξιολογεί την καταλληλότητα της γέλης από άγαρ ως φορέα θρεπτικών συστατικών και συγκεκριμένα πρωτεΐνης για τα δύο αυτά είδη.

Η πρωτεΐνη παίζει σημαντικό ρόλο στην διατροφή των εντόμων. Γενικά, τα έντομα, των οποίων η διατροφή περιλαμβάνει υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης, έχουν ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης και αναπαραγωγής (Morales et al., 2013; Jansen et al. 2017), χωρίς, όμως, να αποτελεί πάντα κυρίαρχο και καθοριστικό παράγοντα (Rumbos et al., 2020). Στην παρούσα μελέτη, επαληθεύεται ότι η πρωτεΐνη της μαγιάς μύρας μπορεί να αξιοποιηθεί από τα έντομα, που εξετάστηκαν, καθώς η περιεκτικότητα της στην γέλη, με την οποία εφοδιάστηκαν τα έντομα, επηρέασε την ανάπτυξή τους, υποδεικνύοντας, επίσης, πως η πρωτεΐνη είναι σημαντικός παράγοντας στην εκτροφή τους. Συμπερασματικά, η αύξηση του ποσοστού μαγιάς ήταν αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου ανάπτυξης και του SGR και για τα δύο έντομα. Πιο συγκεκριμένα, οι προνύμφες, που εφοδιάστηκαν με γέλη από άγαρ με 5% μαγιά, είχαν γρηγορότερη αύξηση βάρους. Ωστόσο, οι προνύμφες, οι οποίες εκτράφηκαν υπό αυτές τις συνθήκες, είχαν το μικρότερο τελικό βάρος, πιθανόν λόγω της πιο σύντομης περιόδου εκτροφής τους, συγκριτικά με τις προνύμφες του μάρτυρα.

Η πρωτεΐνη επιδρά με τρόπο θετικό, όχι μόνο στην ταχύτητα αύξησης των προνυμφών, αλλά και στην προαγωγή νύμφωσης. Η ταχύτητα αύξησης, ίσως, δεν οφείλεται μόνο στην επίδραση της ίδιας της πρωτεΐνης στην προνύμφη, αλλά και στην υποβοήθηση της καλύτερης αξιοποίησης της τροφής, που θα καταναλώσει. Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) επηρεάστηκε σημαντικά από την προσθήκη μαγιάς στην γέλη από άγαρ για το *Tenebrio molitor*, ενώ λιγότερο σημαντικό ήταν για το *Alphitobius diaperinus*. Οι τιμές των συντελεστών μετατροπής της προσληφθείσας τροφής (ECI) και μετατρεψιμότητας της τροφής μετά την πέψη (ECD) επηρεάστηκαν σημαντικά από την περιεκτικότητα της μαγιάς στην γέλη από άγαρ, αποδεικνύοντας την θετική επίδραση της πρωτεΐνης στην ανάπτυξη του *Alphitobius diaperinus*, μέσω της καλής αξιοποίησης της τροφής. Για το *Tenebrio molitor* οι τιμές του ECI δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ η καλύτερη τιμή του ECD υπολογίστηκε για τις προνύμφες, που εφοδιάστηκαν με άγαρ με 1% μαγιά, φανερώνοντας ότι η πρωτεΐνη δεν είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την αύξησή του.

Συνοψίζοντας, τα δεδομένα τις παρούσας πτυχιακής εργασίας αποδεικνύουν αφενός ότι η γέλη από άγαρ είναι μία καλή πηγή υγρασίας και φορέας θρεπτικών συστατικών και αφετέρου ότι η μαγιά μύρας αποτελεί μια αξιόλογη πηγή πρωτεΐνης και για τα δύο έντομα που εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα, αυτής της μελέτης, μπορεί να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο στην διαμόρφωση τεχνητών διαίτων, ακόμη και για μεγάλης κλίμακας εκτροφές των εντόμων αυτών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbasi, B.H., Ahmed, K., Khalique, F., Ayub, N., Liu, H.J., Raza Kazmi, S.A., & Aftab, M.N., 2007. Rearing the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, on a tapioca-based artificial diet. *Journal of Insect Science*, 7(1), pp. 35.
- Adamaki-Sotiraki, C., Rumbos, C. & Athanassiou, C., 2021. Developmental plasticity among strains of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L., under dry conditions. *Journal of Insects as Food and Feed*. 0(0), pp. 1-8.
- Aguilar-Miranda, E., López, M., Escamilla-Santana, C. & De la Rosa, A., 2002. Characteristics of Maize Flour Tortilla Supplemented with Ground *Tenebrio molitor* Larvae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), pp. 192-195.
- Ahmed, K., Khalique, F. & Malik, B., 1998. Modified Artificial Diet for Mass Rearing of Chickpea Pod Borer, *Helicoverpa (Heliopsis) Armigera* (Hubn). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 1(3), pp. 183-187.
- Axtell, R. & Arends, J., 1990. Ecology and Management of Arthropod Pests of Poultry. *Annual Review of Entomology*, 35, pp. 101-26.
- Axtell, R., 1994. Biology and Economic Importance of the Darkling Beetle in Poultry Houses. *Proceedings of the North Carolina State University Poultry Supervisors' Short Course*, pp. 8-17.
- Barry, J. D., Opp, S. B., Dragolovich, J., & Morse, J. G., 2007. Effect of adult diet on longevity of sterile Mediterranean Fruit Flies (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 90, pp. 650-655.
- Belluco, S., Lossasso, 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), pp. 296-313.
- Berrazaga, I., Micard, V., Gueugneau, M. & Walrand, S., 2019. The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based Protein Sources in Supporting Muscle Mass Maintenance: A Critical Review. 11, pp. 1825-1845.

- Bordignon, F., Gasco, L., Birolo, M., Trocino, A., Caimi, C., Ballarin, C., Bortoletti, M., Nicoletto, C., Maucieri, C., & Xiccato, G., 2022. Performance and fillet traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed different levels of *Hermetia illucens* meal in a low-tech aquaponic system. *Aquaculture*, 546.
- Borrelo, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., & Cembalo, L., 2017. Consumers' Perspective on Circular Economy Strategy for Reducing Food Waste. *Sustainability*, 9(1), pp. 144.
- Borzoui, E., Bandani, A., Goldansaz, S. & Talaei-Hassanlouei, R., 2018. Dietary Protein and Carbohydrate Levels Affect Performance and Digestive Physiology of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(2), pp. 942-949.
- 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*, Volume 222, pp. 355-363.
- Bukkens, S., 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), pp. 287-319.
- Cai, J., Chen, Z., Wu, W., Lin, Q., & Liang, Y., 2021. High animal protein diet and gut microbiota in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp. 1-13.
- Carbonaro, M., Maselli, P. & Nucara, A., 2012. Relationship between digestibility and secondary structure of raw and thermally treated legume proteins: a Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic study. *Amino Acids*, Volume 43, pp. 911-921.
- Cavazos, A. & De Mejia, E., 2013. Identification of Bioactive Peptides from Cereal Storage Proteins and Their Potential Role in Prevention of Chronic Diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(4), pp. 364-380.
- Chang C. L., Caceres, C., & Ekesi, S. 2007. Life history parameters of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) reared on liquid diets. *Annals of the Entomological Society of America*. 100, pp. 900-906.

- Chang, C. L., 2004. Effect of amino acids on larvae and adults of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 97, pp. 529-535.
- Chang, C. L., Albrecht, C., El-Shall S. S. A., & Kurashima, R., 2001. Adult reproductive capacity of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) on a chemically defined diet. *Annals of the Entomological Society of America*, 94, pp. 702-706.
- Charlton, A.J., Dickinson, M., Wakefield, M.E., Fitches, E., Kenis, M., Han, R., Zhu, F., Kone, N., Grant, M., Devic, E., Bruggeman, G., Prior, 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), pp. 7-16.
- Churchward-Venne, T., Pinckaers, P., Van Loon, J. & Van Loon, L., 2017. Consideration of insects as a source of dietary protein for human consumption. *Nutrition Reviews*, 75(12), pp. 1035-1045.
- Cohen, A., 2015. *Insect Diets*. 2nd ed. s.l.:CRP Press.
- Cosar, A. & Ozcan, O., 2014. Reliable cutoff selection for total plasma homocysteine levels in prepubertal children: re. Homocysteine and cysteine levels in prepubertal children: association with waist circumference and lipid profile. *Nutrition*, 30(2), pp. 240.
- Da Costa Rocha, A., De Andrade, C. & De Oliveira, D., 2021. Perspective on integrated biorefinery for valorization of biomass from the edible insect *Tenebrio molitor*. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 116, pp. 480-491.
- De Souza, R.J., Mente, A., Maroleanu, A., Cozma, A.I., Ha, V., Kishibe, T., Uliryk, E., Budyłowski, P., Schünemann, H., Beyene, J., Anand, S.S., 2015. Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: systematic review and meta-analysis of observational studies. *BMJ*, pp. 351.
- Delgado, C. L., 2003. Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution. *The Journal of Nutrition*, 11(2), pp. 3907S-3910S.

- Deruytter, D., Coudron, C.L., & Claeys J. 2020. The influence of wet feed distribution on the density, growth rate and growth variability of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7, pp. 141 – 149.
- Duodu, K., Taylor, J., Belton, P. & Hamaker, B., 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of Cereal Science*, Volume 38, pp. 117-131.
- EFSA Scientific Committee, 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), pp. 4257.
- Estrada, D. A., Grella, M. D., Thyssen, P. J. & Linhares, A. X., 2009. [*Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) developmental rate on artificial diet with animal tissues for forensic purpose]. *Neotropical Entomology*, 38(2), pp. 203-207.
- FAO & FAOSTAT, 2020. The Food and Agriculture Organization Statistical Database.
- FAO, 1999. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome: s.n.
- FAO, 2013. Dietary Protein Evaluation in Human Nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. *FAO Food and Nutrition Paper*.
- FAO/WHO, 1991. Protein quality evaluation. Joint FAO/WHO. *FAO Food Nutr Pap*, Volume 51, pp. 1-66.
- Fleurence, J., 1999. Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science & Technology*, 10(1), pp. 25-28.
- Fraenkel, G., 1950. The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera). *Physiological Zoology*, 23, pp. 92–108.
- Francisco, O. & Do Prado, A., 2001. Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. *Zoology*, 61(1), pp 125-131.
- Fraser, K. P., Clarke, A. & Peck, L. S., 2002. Low-temperature protein metabolism: seasonal changes in protein synthesis and RNA dynamics in the Antarctic limpet *Nacella concinna* Strebel 1908. *Journal of Experimental Biology*, 205(19), pp. 3077-3086.

- Friederich, U. & Volland, W., 2004. *Breeding food animals: live food for vivarium animals*. Malabar: Krieger Publishing Company, pp. 20-35.
- Fursov, V. & Cherney, L., 2018. *Zophobas atratus* (Fabricius, 1775) – new genus and species of darkling beetles (Coleoptera, Tenebrionidae) for the fauna of Ukraine. *Ukrainian Entomological Journal*, 14(1), pp. 10-24.
- Gasco, L., Biancarosa, I. & Liland, N., 2020. From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Volume 23, pp. 67-79.
- Gasco, L., Finke, M. & Van Huis, A., 2018. Can diets containing insects promote animal health?. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(1), pp. 1-4.
- Ghaly, A. & Alkoaik, F., 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(4), pp. 319-331.
- 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, pp.79.
- Grand View Research, 2021. *Protein Ingredients Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Plant Proteins, Animal/Dairy Proteins, Microbe-based Proteins, Insect Proteins), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028*. s.l.:s.n.
- Grau, T., Vilcinskis, A. & Joop, G., 2017. Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift für Naturforschung C*, pp. 337-349.
- Green, M., 1980. *Alphitobius viator* Mulsant & Godart in stored products and its identification (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 16(2), pp. 67-70.
- Guo, H., Jiang, C., Zhang, Z., Lu, W., Wang, H., 2021. Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Science of The Total Environment*, Volume 750.

- Guo, Z., Döll, K., Dastjerdi, R., Karlovsky, P., Dehne, H.W., Altincicek, B., 2014. Effect of Fungal Colonization of Wheat Grains with *Fusarium* spp. on Food Choice, Weight Gain and Mortality of Meal Beetle Larvae (*Tenebrio molitor*). *PLOS ONE*.
- Hadi, J. & Brightwell, G., 2021. Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein. *Foods*, 10(6), p. 1226.
- Hangstrum, D., Klejdysx, T., Subramanyam, B. & Nawrot, J., 2013. *Atlas of Stored-Product Insects and Mites*. St. Paul: AACC International Inc, pp. 20-26.
- Hangstrum, D. & Subramanyam, B., 2009. *Stored-product insect resource*. St. Paul: AACC International Inc, pp. 18-23.
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A.M., Fenelon, M., Tiwari, B., 2017. Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods*, 6(7), p. 53.
- Hill, D., 2002. *Pests of stored foodstuffs and their control*. United States: Springer Science & Business Media, pp. 15-26.
- Hong, J., Han, T. & Kim, Y., 2020. Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. *Animals*, 10(11), pp. 1-20.
- Ichikawa, T. & Kurauchi, T., 2009. Larval cannibalism and pupal defense against cannibalism in two species of tenebrionid beetles. *Zoological Science*, 26(8), pp. 525-529.
- Illgner, P. & Nel, E., 2005. The Geography of Edible Insects in Sub-Saharan Africa: a study of the Mopane Caterpillar. *The Geographical Journal*, 166(4), pp. 336-351.
- Indri, I., Sjam, S., Gassa, A. & Dewi, V., 2021. Implication of types of feeds combined goat manure for preference black soldier fly (BSF): *Hermetia illucens* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 807.
- Ismail, B., Senaratne-Lenagala, L., Stube, A. & Brackenridge, A., 2020. Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, 10(4), pp. 53-63.

- Jabir, R., Jabir, R. & Vikineswary, S., 2012. Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *African Journal of Biotechnology*, 11(24), pp. 6592-6598.
- Jain, R., Anjaiah, V. & Babbar, S., 2005. Guar gum: a cheap substitute for agar in microbial culture media. *Letters in Applied Microbiology*, 41(4), pp. 345-349.
- Janssen, R.H., Vincken, J.-P., Van Den Broek, L.A.M., Fogliano, V., and Lakemond, C.M.M., 2017. Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 65, pp. 2275-2278.
- Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L. H. & Sørensen, J. G. Breeding and maintaining high-quality insects. In *Insects as Food and Feed: From Production to Consumption* (eds Van Huis, A. & Tomberlin, J. K.) 175–198 (Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2017).
- Jajić, I., Popović, A., Urošević, M., Krstović, S., Petrović, M., Guljaš, D., 2019. Chemical Composition of Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*) Reared in Serbia. *Serbian Journal of Agricultural Sciences*, pp. 23-27.
- Jongema, Y., 2017. *Wageningen University & Research*. [Online] Available at: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>
- Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M.G., Lupi, D., Savoldelli, S., 2017. Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*, pp. 1415-1423.
- Kim, S., Kim, H., Song, S. & Kim, N., 2015. Developmental characteristics of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae in different instars. *International Journal of Industrial Entomology*, 30(2), pp. 45-49.
- Kim, S.W., Less, J.F., Wang, L., Yan, T., Kiron, V., Kaushik, S.J., Lein, X.G., 2018. Meeting Global Feed Protein Demand: Challenge, Opportunity, and Strategy. *Annual Review of Animal Biosciences*, pp. 221-243.

- Klunder, H., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. & Nout, M., 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26(2), pp. 628-631.
- Langelaan, M.L.P., Boonen, K.J.M., Polak, R.B., Baaijens, F.P.T., Post, M.J., Van der Schaft, D.W.J., 2010. Meet the new meat: tissue engineered skeletal muscle. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), pp. 59-66.
- Li, L., Zhao, Z., Liu, H., 2013. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica*, 92(1), pp. 103-109.
- Lin, Y.B., Rong, J.J., Wei, X.F., Sui, Z.X., Xiao, J., Huang, D.W., 2021. Proteomics and ultrastructural analysis of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval peritrophic matrix. *Proteome Science*, (19), pp. 1-14.
- Li, X., Rezaei, R., Li, P. & Wu, G., 2011. Composition of amino acids in feed ingredients for animal diets. *Amino Acids*, Volume 40, pp. 1159-1168.
- Moadeli, T., Taylor, P. W., & Ponton, F. 2017. High productivity gel diets for rearing of Queensland fruit fly, *Bactrocera tryoni*. *Journal of Pest Science*, 90, pp. 507–520.
- Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Shapiro-Ilan, D. I. & Tedders, W. L., 2013. Use of nutrient self-selection as a diet refining tool in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of*, pp. 206-221.
- Makkar, H., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, Volume 197, pp. 1-33.
- Mancini, S., Medina, I., Iaconisi, V., Gai, F., Basto, A., Parisi, G., 2018. Impact of black soldier fly larvae meal on the chemical and nutritional characteristics of rainbow trout fillets. *Animal*, 12(8), pp. 1672-1681.
- Martins Ribeiro, N., 2017. *Tenebrio molitor* for food or feed: Rearing conditions and the effect of pesticides on its performance. s.l.:Politecnico de Coimbra, pp. 1-41.

- Mertenat, A., Diener, S. & Zurbrügg, C., 2019. Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. *Waste Management*, Volume 84, pp. 173-181.
- Meyer, A., Meijer, N., Hoek-van den Hil, E. & Van der Fels-Klerx, H., 2021. Chemical food safety hazards of insects reared for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), pp. 823-831.
- Moadeli, T., Taylor, P. & Ponto, F., 2017. High productivity gel diets for rearing of Queensland fruit fly, *Bactrocera tryoni*. *Journal of Pest Science*, Volume 90, pp. 507-520.
- Moruzzo, R., Riccioli, F., Diaz, S.E., Secci, C., Poli, G., Mancini, S., 2021. Mealworm (*Tenebrio molitor*): Potential and Challenges to Promote Circular Economy. *Animals*, 11(9), pp. 1-16.
- Nene, Y., Sheila, V. & Moss, J., 1996. TAPIOCA : A POTENTIAL SUBSTITUTE FOR AGAR IN THE TISSUE CULTURE MEDIA. *Current Science*, Volume 70, pp. 493-494.
- Nguyen, T. T., Bhandari, B., Cichero, J. & Prakash, S., 2015. Gastrointestinal digestion of dairy and soy proteins in infant formulas: an in vitro study. *Food Research International*, Volume 76, pp. 348-358.
- Nguyen, T., Tomberlin, J. & Vanlaerhoven, S., 2013. Influence of Resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), pp. 898-906.
- Niyazi, N., Lauzon, C. R., & Shelly, T. E. 2004. Effect of probiotic adult diets on fitness components of sterile male Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae) under laboratory and field cage conditions. *Journal of Economic Entomology*, 97, pp. 1570-1580.
- Nonaka, K., 2009. Feasting on insects. *Entomological Research*, 39(5), pp. 304-312.
- Oonincx, D. & De Boer, I., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment. *PLoS One*, 7(12).

- Oonincx, D. G. A. B., Van Broekhoven, S., Van Huis, A. & Van Loon, J. J. A., 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *Plos One*, 14(10).
- Osimani, A., Garofalo, C, Milanovic, V., Taccari, M., Cardinali, F., Aquilanti, L., Pasquini, M., Mozzon, M., Raffaelli, N., Ruschioni, S., Riolo, P., Isidoro, N., Clementi, F., 2017. Insight into the proximate composition and microbial diversity of edible insects marketed in the European Union. *European Food Research and Technology*, Volume 243, pp. 1157-1171.
- Patsios, S., Dedousi, A., Sossidou, E. & Zdragas, A., 2020. Sustainable Animal Feed Protein through the Cultivation of *YARROWIA Lipolytica* on Agro-Industrial Wastes and by-Products. *Sustainability*, 12(4), pp. 1-23.
- Pascacio-Villafán, C., Guillén, L., and Aluja M. 2020. Agar and carrageenan as cost-effective gelling agents in yeast-reduced artificial diets for mass-rearing fruit flies and their parasitoids. *Insects* 11, 131, pp. 1-20.
- Popkin, B., Adair, L. & Ng, S., 2012. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutrition Reviews*, 70(1), pp. 3-21.
- Quenedey, A., Aribi, N., Everaerts, C. & Delbecque, J., 1995. Postembryonic development of *Zophobas atratus* Fab. (Coleoptera: Tenebrionidae) under crowded or isolated conditions and effects of juvenile hormone analogue applications. *Journal of Insect Physiology*, 41(2), pp. 143-152.
- Raksasat, R, Lim, J.W., Kiatkittipong, W., Kiatkittipong, K., Ho, Y.C., Lam, M.K., Font-Palma, C., Mohd Zaid, H.F., Cheng, C.K., 2020. A review of organic waste enrichment for inducing palatability of black soldier fly larvae: Wastes to valuable resources. *Environmental Pollution*, Volume 267.
- Ramos-Elorduy, J., González, E., Hernández, A. & Pino, J., 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Journal of Economic Entomology*, 95(1), pp. 214-220.
- Ribeiro, J., Cunha, L., Sousa-Pinto, B. & Fonseca, J., 2017. Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(1), pp. 4485–4661.

- Ritala, A., Häkkinen, S., Toivari, M. & Wiebe, M., 2017. Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016. *Frontiers in Microbiology*, (8).
- Rozin, P. & Fallon, A., 1987. A perspective on disgust. *Psychological Review*, 94(1), pp. 23-41.
- Rueda, L. & Axtell, R., 1996. Temperature-dependent development and survival of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Medical and Veterinary Entomology*, 10(1), pp. 80-6.
- Rumbos, C. & Athanassiou, C., 2021. The Superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera:Tenebrionidae): A ‘Sleeping Giant’ in Nutrient Sources. *Journal of Insect Science*, 21(2), pp. 1-11.
- Pascacio-Villafán, C., Guillén, L., & Aluja M. 2020. Agar and carrageenan as cost-effective gelling agents in yeast-reduced artificial diets for mass-rearing fruit flies and their parasitoids. *Insects*, 11, pp. 131.
- 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, pp. 11224
- Rumbos, C.I., Oonincx, D.G.A.B, Karapanagiotidis, I.T., M. Vrontaki, M. Gourgouta, A. Asimaki, E. Mente, & Athanassiou, C.G. 2021. Agricultural by-products from Greece as feed for yellow mealworm larvae: circular economy at a local level. *Journal of Insects as Food and Feed*, 0, pp. 1-14.
- Rumbos, C., Karapanagiotidis, T., Mente, E. & Athanassiou, C., 2018. The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source?. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), pp. 1418-1437.
- SAS Institute Inc, 2013. Using JMP 11. SAS Institute Inc, Cary.
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., Savastano, D., 2017. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, 140(2), pp. 890-905.

- Sari, Y., Widayarani, Sanders, J. & Heeres, H., 2021. The protein challenge: matching future demand and supply in Indonesia. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(2), pp. 341-356.
- Selaledi, L., Mbajjorgu, C. & Mabelebele, M., 2020. The use of yellow mealworm (*T. molitor*) as alternative source of protein in poultry diets: a review. *Tropical Animal Health and Production*, pp. 7-16.
- Siemianowska, E., Kosewska, A., Aljewicz, M., Skibniewska, K.A., Polak-Juszczak, L., Jarocki, A., Jędras, M., 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences*, 4(6), pp. 287-291.
- Silva, L.B., De Souza, R.G., Da Silva, S.R., Da Costa Feitosa, A., Lopes, E.C., Pinheiro Lima, S.B., Barros Dourado, L.R., Pavan, B.E., 2021. Development of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) on Poultry Litter-Based Diets: Effect on Chemical Composition of Larvae. *Journal of Insect Science*, 21(1), pp. 7.
- Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A. & Heinz, V., 2016. Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, Volume 137, pp. 741-751.
- Smetana, S., Schmitt, E. & Mathys, A., 2019. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 144, pp. 285-296.
- Sokolowski, H., Higgins, S., Vishwanathan, M. & Evans, E., 2020. The relationship between animal and plant protein intake and overall diet quality in young adults. *Clinical Nutrition*, 39(8), pp. 2609-2616.
- Song, M., Fung, T.T., Hu, F.B., Willett, W.C., Longo, V.D., Chan, A.T., Giovannucci, E.L., 2016. Association of Animal and Plant Protein Intake With All-Cause and Cause-Specific Mortality. *JAMA Internal Medicine*, 176(10), pp. 1453-1463.
- Son, Y.J., Choi, S.Y., Hwang, I.K., Nho, C.W., Kim, S.H., 2020. Could Defatted Mealworm (*Tenebrio molitor*) and Mealworm Oil Be Used as Food Ingredients?. *Foods*, 9(1), pp. 1-13.

- Stoops, J., Crauwels, S., Waud, M., Claes, J., Lievens, B., Van Campenhout, L., 2016. Microbial community assessment of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*) sold for human consumption. *Food Microbiology*, Volume 53 B', pp. 122-127.
- Tallentire, C. W., Mackenzie, S. G. & Kyriazakis, I., 2018. Can novel ingredients replace soybeans and reduce the environmental burdens of European livestock systems in the future?. *Journal of Cleaner Production*, pp. 338-347.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. & Befort, B., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, pp. 20260– 20264.
- Tilman, D. & Clark, M., 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, pp. 518-22.
- Tinder, A.C., Puckett, R.T., Turner, N.D., Cammack, J.A., Tomberlin, J.K., 2017. Bioconversion of sorghum and cowpea by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) larvae for alternative protein production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), pp. 121-130.
- Tomé, D., 2013. Digestibility Issues of Vegetable versus Animal Proteins: Protein and Amino Acid Requirements—Functional Aspects. *Food and Nutrition Bulletin*, 34(2), pp. 272-274.
- Truzzi, C.C., Holzhausen, H.G., Álvaro, J.C., De Laurentis, V.L., Vieira, N.F., Vacari, A.M., De Bortoli, S.A., 2019. Food Consumption Utilization, and Life History Parameters of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) Reared on Diets of Varying Protein Level. *Journal of Insect Science*, 19(1), pp. 12.
- Tschinkel, W., 1981. Larval dispersal and cannibalism in a natural population of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Animal Behaviour*, 29(4), pp. 990-996.
- Tschinkel, W., 1993. Crowding, maternal age, age at pupation, and life history of *Zophobus atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 86(3), pp. 278-297.

- Tschinkel, W. R. & Willson, C. D., 1971. Inhibition of pupation due to crowding in some tenebrionid beetles. *The Journal of Experimental Zoology*, 176(2), pp. 137-45.
- Tulbek , M.C., Lam, R.S.H., Wang, Y.(C.), Asavajaru, P., Lam, A., 2017. Pea: A Sustainable Vegetable Protein Crop. *Sustainable Protein Sources*, Issue 9, pp. 145-164.
- Urs, K.C.D., & Hopkins, T.L., 1973. Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 8, pp. 291–297.
- Van der Fels-Klerx, H.J., Camenzuli, L., Van der Lee, M.K., Oonincx, D.G.A.B., 2018. Food Safety Issues Related to Uses of Insects for Feeds and Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), pp. 1172-1183.
- Van der Fels-Klerx, H., Camenzuli, L., Van der Lee, M. & Oonincx, D., 2016. Uptake of Cadmium, Lead and Arsenic by *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* from Contaminated Substrates. *PLOS ONE*.
- Van der Spiegel, M., Noordam, M. & Van der Fels-Klerx, H., 2013. Safety of Novel Protein Sources (Insects, Microalgae, Seaweed, Duckweed, and Rapeseed) and Legislative Aspects for Their Application in Food and Feed Production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(6), pp. 662-678.
- Van Huis, A. & Tomberlin, J., 2017. *Insects as food and feed: from production to consumption*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, pp. 1-24.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., 2013. Edible insects: Future prospects and feed security. *FAO Forestry Paper*, pp. 1-156.
- Van Zanten, H.H.E., Mollenhost, H., Klootwijk, C.W., Van Middelaar, C.E., De Bper, I.J.M., 2016. Global food supply: land use efficiency of livestock systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 21, pp. 747-758.

- VandenBrooks, J., Ford, C. & Harrison, J., 2020. Responses to Alteration of Atmospheric Oxygen and Social Environment Suggest Trade-Offs among Growth Rate, Life Span, and Stress Susceptibility in Giant Mealworms (*Zophobas morio*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 93(5), pp. 358-368.
- Vandeweyer, D., Lievens, B. & Van Campenhout, L., 2020. Identification of bacterial endospores and targeted detection of foodborne viruses in industrially reared insects for food. *Nature Food*, Volume 1, pp. 511-516.
- Veys, P. & Baeten, V., 2018. Protocol for the isolation of processed animal proteins from insects in feed and their identification by microscopy. *Food Control*, Volume 92, pp. 496-504.
- Virtanen, H.E., Voutilainen, S., Koskinen, T.T., Mursu, J., Kokko, P., Ylilauri, M., 2019. Dietary proteins and protein sources and risk of death: the Kuopio Ischaemic heart disease risk factor study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, pp. 1462-1471.
- Vogel, A. & May, O., 2019. *Industrial Enzyme Applications*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Wang, Y. & Shelomi, M., 2017. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 6(10), pp. 1-23.
- WHO, 2019. Availability and changes in consumption of animal products..
- WRAP, 2017. *WRAP Food Futures: From Business as Usual to Business Unusual*, s.l.: s.n.
- Wu, G., Fanzo, J., Miller, D.D., Pingali, P., Post, M., Steiner, J.L., Thalacker-Mercer, A.E., 2014. Production and supply of high-quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1321(1), pp. 1-19.
- Wynants, E., Crauwels, S., Lievens, B., Luca, S., Claes, J., Borremans, A., Bruyninckx, L., Van Campenhout, L., 2017. Effect of post-harvest starvation and rinsing on the microbial numbers and the bacterial community composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 42, pp. 8-15.

- Wynants, E., Crauwels, S., Verreth, C., Gianotten, N., Lievens, B., Claes, J., Van Campenhout, L., 2018. Microbial dynamics during production of lesser mealworms (*Alphitobius diaperinus*) for human consumption at industrial scale. *Food Microbiology*, Volume 70, pp. 181-191.
- Yi, L. Lakemond, C.M.M., Sagis, L.M.C., Einsner-Schadler, V., Van Huis, A., Van Boekel, M.A.J.S., 2013. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, 141(4), pp. 3341-3348.
- Yu, G. et al., 2011. Inoculating Poultry Manure With Companion Bacteria Influences Growth and Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*, 40(1), pp. 30-35.
- Ζέρβα, Γ., Καλαϊσάκη, Π. & Φεγγερού, Κ., 2004. *Διατροφή Αγροτικών Ζώων*. Β' επιμ. Αθήνα: ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ Α.Ε. pp. 37-113.