

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ



Αξιοποίηση τοπικών αγροτικών παραπροϊόντων ως υπόστρωμα εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor* σε εργαστηριακή και πιλοτική κλίμακα.

Utilization of local agricultural byproducts as rearing substrates for the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*, in laboratory and pilot scale.

Δέσποινα Χούπη
Επιβλέπων Καθηγητής: Αθανασίου Χρήστος
Βόλος, 2023

Αξιοποίηση τοπικών αγροτικών παραπροϊόντων ως υπόστρωμα εκτροφής του εντόμου *Tenebrio molitor* σε εργαστηριακή και πιλοτική κλίμακα.

Utilization of local agricultural byproducts as rearing substrates for the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*, in laboratory and pilot scale.

Δέσποινα Χούπη

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

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

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

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

Copyright © ΧΟΥΠΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Πτυχιακής Διατριβής από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Αθανασίου, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε και το χρόνο που διέθεσε δίνοντάς μου χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Στο ίδιο πλαίσιο ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδελφική μου φίλη και υποψήφια διδάκτωρ του τμήματος Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Χριστίνα Αδαμάκη-Σωτηράκη για την πολύτιμη βοήθεια και το χρόνο που διέθεσε για τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας. Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στο φίλο μου Κωνσταντίνο Ανατολίτη για τη στήριξη που μου προσέφερε για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την οικονομική τους υποστήριξη, καθώς και τους συγγενείς και τους φίλους για την ηθική υποστήριξη σε όλο το διάστημα των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	7
1. Εισαγωγή	9
1.1. Αξιοποίηση των εντόμων ως ζωοτροφή	9
1.2. Αξιοποίηση των εντόμων για ανθρώπινη κατανάλωση	11
1.3. Έντομα που εκτρέφονται από τον άνθρωπο	12
1.4. Η σημασία της εκτροφής εντόμων	15
1.5. Το είδος <i>Tenebrio molitor</i>	17
1.5.1. Βιολογία του <i>Tenebrio molitor</i>	17
1.5.2. Βέλτιστες συνθήκες εκτροφής	19
1.6. Η αξία της εκτροφής εντόμων σε αγροτικά παραπροϊόντα	20
2. Σκοπός	23
3. Υλικά και μέθοδοι	24
3.1. Εκτροφή εντόμων	24
3.2. Παραπροϊόντα	25
3.3. Βιοδοκιμές	28
3.3.1. Βιοδοκιμή I: Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Εργαστηριακή βιοδοκιμή	29
3.3.2. Βιοδοκιμή II: Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας.	32
4. Αποτελέσματα	34
4.1. Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Εργαστηριακή βιοδοκιμή	34
4.2. Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας	53
5. Συζήτηση	60
6. Βιβλιογραφικές αναφορές	63

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

Περίληψη

Στην προσπάθεια βελτιστοποίησης της μαζικής εκτροφής του είδους *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae), πολλές έρευνες επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της προοπτικής της αξιοποίησης των αγροτικών παραπροϊόντων ως υπόστρωμα εκτροφής. Επιπλέον, στα πλαίσια της αναζήτησης των καταλληλότερων υποστρωμάτων για την ανάπτυξη του είδους *T. molitor*, είναι δυνατόν να σχεδιασθούν ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια από μια ποικιλία διαφορετικών αγροτικών παραπροϊόντων. Έτσι, η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με την αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του είδους *T. molitor* σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια αποτελούμενα από συνδυασμούς διαφορετικών αγροτικών παραπροϊόντων.

Όσον αφορά την πρώτη βιοδοκιμή, σχεδιάσθηκαν 7 ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3% καθώς και 7 ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5%, αποτελούμενα από συνδυασμούς 6 διαφορετικών αγροτικών παραπροϊόντων (λούπινο, τριτικάλε, βρώμη, κριθάρι και μπιζέλι). Περιληπτικά στην πρώτη βιοδοκιμή τοποθετήθηκαν 50 προνύμφες 6^{ης} - 7^{ης} προνυμφικής ηλικίας, μαζί με 4 γραμμάρια υποπροϊόντος σε κάθε ένα από τα πλαστικά φιαλίδια. Το πίτουρο σιταριού χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε 2 εβδομάδες ως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης και παρεχόταν υγρασία (άγαρ) 3 φορές την εβδομάδα. Στην περίπτωση της δεύτερης βιοδοκιμής χρησιμοποιήθηκαν οι δίαιτες στις οποίες αναπτύχθηκαν καλύτερα οι προνύμφες στην πρώτη βιοδοκιμή. Οι δίαιτες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν επίπεδο πρωτεΐνης 17,3%. Η εκτροφή πραγματοποιήθηκε σε μεγαλύτερη κλίμακα. Εκεί τοποθετήθηκαν 10.000 προνύμφες ηλικίας 10 ημερών μαζί με 2,1 κιλά παραπροϊόντος. Στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε 2 εβδομάδες έως ότου εξαντληθεί η τροφή ή το 10% των προνυμφών περάσουν στο στάδιο της νύμφης.

Τα αποτελέσματα της πρώτης βιοδοκιμής έδειξαν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές όσον αφορά το τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών τόσο για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε δίαιτες με επίπεδο πρωτεΐνης 17,3% (84,7 – 142,4 mg) όσο και για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε δίαιτες με επίπεδο πρωτεΐνης 22,5% (39,9 – 136,8 mg). Σημαντικές διαφορές καταγράφηκαν και για τον δείκτη αξιοποίησης της τροφής (FCR), ο οποίος για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε δίαιτες με επίπεδο πρωτεΐνης

17,3% κυμάνθηκε από 2,7 έως 9,5, ενώ για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε δίαιτες με επίπεδο πρωτεΐνης 22,5% κυμάνθηκε από 2,3 έως 42,5. Όσον αφορά τα αποτελέσματα της δεύτερης βιοδοκιμής (βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας) για τη δίαιτα 2 καταγράφηκαν το υψηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών (95,6 mg) καθώς και το υψηλότερο τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (συγκομιδή) (910 g). Αντιθέτως, η δίαιτα 7 (27,7 mg) έφερε τις προνύμφες με τα χαμηλότερα ατομικά βάρη και το χαμηλότερο τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (συγκομιδή) (410,2 g). Τα παραπροϊόντα από τα οποία αποτελούνταν η δίαιτα 2 ήταν το λούπινο και το τριτικάλε.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας υποδηλώνουν ότι τα παραπροϊόντα της παραγωγής του λούπινου, του τριτικάλε, της βρώμης και του κριθαριού είναι κατάλληλα για την εκτροφή των προνυμφών του είδους *T. molitor*. Επιπλέον, όσον αφορά το σχεδιασμό διαιτών τα αποτελέσματα δείχνουν ότι εκτός από το επίπεδο της πρωτεΐνης, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι είναι σημαντικοί ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ανάπτυξη των προνυμφών του είδους *T. molitor*. Έτσι, η περαιτέρω μελέτη της ανάπτυξης των προνυμφών του είδους *T. molitor* σε διαφορετικές δίαιτες θα ήταν δυνατόν να δώσει αξιόλογα αποτελέσματα για την βελτίωση του πρόσφατα αναπτυσσομένου κλάδου της εκτροφής εντομών σε εμπορική κλίμακα.

1. Εισαγωγή

Η ραγδαία αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού σε συνδυασμό με την ανάγκη παροχής τροφής, αποτελεί πραγματική πρόκληση στις μέρες μας. Σύμφωνα με έκθεση των Ηνωμένων Εθνών ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να αυξηθεί στα 8,5 δις το 2030 και στα 9,7 δις το 2050. Δεν είναι απίθανο επίσης να φτάσει και τα 11 δις ως το 2100 (United Nations, 2022). Σε συνδυασμό μάλιστα με την κλιματική αλλαγή η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης είναι αναπόφευκτη. Μία ενδιαφέρουσα και πολλά υποσχόμενη εναλλακτική αποτελούν τα έντομα ως ζωοτροφή, αλλά και ως ανθρώπινη τροφή. Η εντομοφαγία παρουσιάζει οφέλη τόσο στην υγεία, όσο και στο περιβάλλον καθώς χρησιμοποιούνται λιγότεροι πόροι και τα επίπεδα ρύπων είναι μειωμένα. Επιπλέον, τα έντομα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, ακόρεστα λιπαρά οξέα, ασβέστιο, σίδηρο και ψευδάργυρο (Meyer-Rochow, 2019). Το κυριότερο πλεονέκτημά τους σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής πρωτεΐνης είναι ότι μπορούν να τραφούν με παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων και συνεπώς να συνεισφέρουν στην κυκλική οικονομία (Gasco et al., 2020).

1.1. Αξιοποίηση των εντόμων ως ζωοτροφή

Αυτή τη στιγμή οι πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται για τις ζωοτροφές προέρχονται από ιχθυάλευρα, επεξεργασμένες ζωικές πρωτεΐνες και σογιάλευρο. Παρ' όλα αυτά, η παραγωγή σόγιας δεν μπορεί να αυξηθεί καθώς η διαθέσιμη προς καλλιέργεια γη είναι περιορισμένη. Επίσης, η παραγωγή σόγιας έχει αρκετές αρνητικές συνέπειες και για το περιβάλλον, όπως το τεράστιο αποτύπωμα CO₂, τον ευτροφισμό, τη διάβρωση και τη ρύπανση των εδαφών από τα φυτοφάρμακα (van Huis, 2015). Παράλληλα, η παραγωγή ιχθυάλευρων έχει μειωθεί λόγω της υπεραλίευσης των μικρών ψαριών, το οποίο δημιουργεί προβλήματα βιοποικιλότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Οι παραπάνω λόγοι έχουν οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στο διπλασιασμό των τιμών για την παραγωγή αυτών των συστατικών. Ως συνέπεια όλων των παραπάνω, η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης για ζωοτροφή είναι πιο επίκαιρη από ποτέ (Veldkamp & Bosch, 2015).

Τα έντομα που έχουν χρησιμοποιηθεί και έχουν δείξει καλά αποτελέσματα στη διατροφή των ζώων είναι η μαύρη μύγα στρατιώτης (BSF) *Hermetia illucens* (L.) (Diptera:

Stratiomyidae), η προνύμφη της οικιακής μύγας *Musca domestica* (L.) (Diptera: Muscidae), ο αλευροσκώληκας *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae), το μικρό σκαθάρι των αλεύρων *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), ο οικοδίαιτος γρύλλος *Acheta domesticus* (L.) (Orthoptera: Gryllidae), ο αγροδίαιτος γρύλλος *Gryllus assimilis* (Fabricius) (Orthoptera: Gryllidae) και ο τροπικός μαύρος γρύλλος *Grylodes sigillatus* (Walker) (Orthoptera: Gryllidae) (Schiavone et al., 2018).

Όσον αφορά την ενσωμάτωση των εντόμων σε ζωοτροφές, μελέτη που διεξήχθη στην πέρδικα *Alectoris barbara* (Galliformes: Phasianidae) έδειξε ότι η μερική αντικατάσταση σε ποσοστά 25% και 50% πρωτεΐνης με άλευρα εντόμων των ειδών *T. molitor* και *H. illucens* είχε ως αποτέλεσμα το σώμα των σφαγμένων πουλερικών να φέρει θετικά χαρακτηριστικά όπως το pH του ωμού κρέατος (Secci et al., 2018). Οι (Miech et al., 2017) μελέτησαν δίαιτες χοίρων στις οποίες αντικατέστησαν το ιχθυάλευρο με το είδος *Teleogryllus testaceus* (Orthoptera: Gryllidae). Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι τα χοιρίδια ήταν βαρύτερα, η πεπτικότητα σε ξηρά ουσία και η πεπτικότητα της τέφρας, των ακατέργαστων ινών και του ακατέργαστου λίπους καθώς και η κατακράτηση αζώτου ήταν υψηλότερη συγκριτικά με τις δίαιτες οι οποίες περιείχαν ιχθυάλευρα. Οι (Schiavone et al., 2018) μελέτησαν την αντικατάσταση του σογιάλευρου σε ποσοστά 50% και 100% με λίπος προνύμφης του είδους *H. illucens* σε τροφές κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής και συμπέραναν ότι δεν υπάρχουν αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη και σε διάφορες παραμέτρους του αίματος. Επιπλέον, θετικά αποτελέσματα έχει δώσει και η αντικατάσταση ιχθυαλεύρου με προνύμφες του είδους *T. molitor* σε είδη όπως οι πελαγίσιας τσιπούρες *Pagellus bogaraveo* (Brünnich) (Perciformes: Sparidae) (Iaconisi et al., 2017)

1.2. Αξιοποίηση των εντόμων για ανθρώπινη κατανάλωση

Πέρα από τη χρήση των εντόμων ως ζωοτροφή, αυξανόμενο ενδιαφέρον στην Ευρώπη παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια και η κατανάλωση τους από τον ίδιο τον άνθρωπο. Η τάση αυτή βασίζεται στον ισχυρισμό ότι τα έντομα μπορούν να αποτελέσουν μία σημαντική λύση εναντίον του υποσιτισμού και να στηρίξουν την αειφορική παραγωγή διατροφικών προϊόντων υψηλής θρεπτικής αξίας. Η κατανάλωση των εντόμων είναι ένα φαινόμενο το οποίο συμβαίνει εδώ και χρόνια στην ιστορία του ανθρώπινου είδους. Ο πρώτος άνθρωπο-εντομοφάγος εμφανίστηκε την παλαιολιθική εποχή, περίπου 7.000 χρόνια πριν. Από τότε, φαινόμενα εντομοφαγίας έχουν παρατηρηθεί σε ήθη και έθιμα πολλών λαών ανά τους αιώνες, σε διάφορα μέρη του πλανήτη, όπως η κεντρική Αμερική και η Αυστραλία (Ramos-Elorduy, 2009). Ακόμη, αναφορές στην εντομοφαγία παρατηρούνται και στην αρχαία Ελλάδα, όπου σε έργο του ο Αριστοτέλης σχολιάζει τη διαφορετική γεύση που κυοφορούν με αυτές που δεν το κάνουν και την ανώτερη γεύση των αρσενικών (van Huis et al., 2013). Παρ' όλα αυτά, η εντομοφαγία δεν υπήρξε ποτέ δημοφιλής στο δυτικό κόσμο, μέχρι πρόσφατα. Σήμερα, σε περιοχές της Ασίας, της νότιας Αμερικής και της Αφρικής εξασκούν την εντομοφαγία, είτε λόγω της θρεπτικής αξίας των εντόμων είτε λόγω κάποιου εθιμοτυπικού. Στη δημοκρατία του Κονγκό, υπάρχουν εμπορικώς διαθέσιμα είδη εντόμων για ανθρώπινη κατανάλωση. Οι (Nsevolo Miankeba et al., 2022), ανέλυσαν την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και το προφίλ σε αμινοξέα διαφόρων ειδών εντόμων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη κυμάνθηκε από 46,1% ως 52,9%. Σε γενικές γραμμές η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των βρώσιμων εντόμων κυμαίνεται από 40 ως 75% ξηράς ουσίας με το μεγαλύτερο ποσοστό των απαραίτητων αμινοξέων να είναι εύκολα αφομοιώσιμο από τον ανθρώπινο οργανισμό, σε ποσοστό από 76-96% (Tang et al., 2019a). Από ενεργειακής άποψης, τα έντομα θεωρούνται ως μία εξαιρετική πηγή θερμίδων. Σύμφωνα με έρευνες, 100 γραμμάρια ξηρής ουσίας εντόμων έχουν ίδια ή παρόμοια θερμιδική αξία με 100 γραμμάρια κρέατος εκ των ειδών με την μεγαλύτερη κατανάλωση, εκτός του χοιρινού (Payne & van Itterbeeck, 2017; Tang et al., 2019b).

1.3. Έντομα που εκτρέφονται από τον άνθρωπο

Η καλλιέργεια βρώσιμων εντόμων σε εμπορική κλίμακα αποτελεί μία από τις πολλές περιπτώσεις διαχείρισης των εντόμων από τον άνθρωπο με στόχο την παραγωγή προϊόντων μεγάλης αξίας. Στην πραγματικότητα, ο άνθρωπος επωφελείται από τα έντομα και τα προϊόντα τους εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η κοινή μέλισσα (*Apis Melifera*), η ασιατική μέλισσα (*Apis cerana*) και η άκεντρη μέλισσα (*Melipona beechii*) είναι τρία είδη μέλισσας με τα οποία το ανθρώπινο είδος αλληλεπιδρά εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η αλληλεπίδραση της *Apis Melifera* με τους ανθρώπους παρατηρείται από τη λίθινη εποχή (Roffet-Salque et al., 2015). Η εξάσκηση της μελισσοκομίας σε πληθυσμούς της *A. cerana* ξεκίνησε σε περιοχές της Ασίας πριν από δύο χιλιετίες, ενώ περιπτώσεις εκτροφής της άκεντρης μέλισσας για παραγωγή μελιού έχουν παρατηρηθεί σε φυλές των Mayas, σε περιοχές του Μεξικό (Quezada-Euán, 2022). Ενώ τα τρία αυτά είδη μελισσών χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μελιού, στο σύνολό τους, τα είδη των μελισσών τα οποία εκτρέφονται από τον άνθρωπο αριθμούν τα 50 (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2016). Άλλα προϊόντα τα οποία προέρχονται από τις μέλισσες και προορίζονται για ανθρώπινη χρήση ή κατανάλωση είναι η πρόπολη, το κερί και ο βασιλικός πολτός, αλλά και οι ίδιες οι προνύμφες τους ως τρόφιμο υψηλής θρεπτικής αξίας (Crittenden, 2011). Ακόμη, λόγω της υψηλής συνεισφοράς της άγριας μέλισσας στην παγκόσμια παραγωγή των μη αυτοεπικονιαζόμενων ειδών, κάποια είδη αξιοποιούνται ως επικονιαστές (Kleijn et al., 2015; Bernauer et al., 2022). Ο μεταξοσκώληκας (*Bombyx mori*) είναι γνωστός για την υψηλής ποιότητας ίνα μεταξιού η οποία χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των ενδυμάτων λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που αυτή παρουσιάζει (Zhang et al., 2018; Zhang et al., 2014). Η χρήση του μεταξιού στην ύφανση ενδυμάτων ξεκίνησε πάνω από 5000 χρόνια πριν. Πιο πρόσφατα άρχισε να διερευνάται και η αξιοποίηση των μεταξοσκωλήκων για παραγωγή προϊόντων με ευεργετικές ή φαρμακευτικές ιδιότητες (Kim et al., 2023; Masuda et al., 2023). Η κοχελίνη (*Dactylopius coccus*) χρησιμοποιείται στην παραγωγή χρωστικών οι οποίες έχουν ένα εύρος εφαρμογών, από συνθετικά καλλυντικών προϊόντων μέχρι σε κλωστοϋφαντουργικές και πλαστικές βαφές (Méndez et al., 2004). Οι ακρίδες και άλλα λεπιδόπτερα παράγουν μία ελαστομερή πρωτεΐνη στα αλτικά τους όργανα, τη ρεσιλίνη, η οποία βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή συνθετικών ανθρώπινων ιστών, όπως για παράδειγμα οι τεχνητές φωνητικές χορδές (Li et al., 2011). Πρόσφατες

μελέτες έδειξαν πως η ουσία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την καταπολέμηση χρόνιων ασθενειών όπως η νόσος του Parkinson (Lim & Park, 2022). Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα έχει στρέψει την προσοχή της στην αξιοποίηση των εντόμων ως τροφή, είτε για τα ζώα ή και για τον ίδιο τον άνθρωπο. Ένα σημαντικό εμπόδιο σε αυτό αποτελεί μεταξύ άλλων και η έλλειψη ενός κοινού νομικού καθεστώτος (Baiano, 2020). Την 1η Ιουλίου του 2017 τέθηκε σε ισχύ και ο κανονισμός 2017/893 (EU, 2015) βάση του οποίου, προϊόντα εντόμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά στην παραγωγή ιχθυάλευρων. Πιο συγκεκριμένα, ο νόμος επιτρέπει τη χρήση της μεταποιημένης ζωικής πρωτεΐνης, προερχόμενη από τα έντομα, ως συστατικό σε γεύματα ψαριών όπως τα ιχθυάλευρα. Αργότερα, το 2021, με την έναρξη ισχύς του κανονισμού 2021/882 (EU, 2021) τα ίδια είδη εγκρίθηκαν και για τη χρήση τους σε τροφές πουλερικών και χοίρων. Τα είδη που βάση νόμου, επιτρέπονται να εκτραφούν αναλύονται στα ακόλουθα:

1. *Tenebrio molitor*, αλευροσκώληκας (Εικόνα 1)¹
2. *Alphitobius diaperinus*, το μικρό σκαθάρι των αλεύρων (Εικόνα 2)²
3. *Hermetica illucens*, η μαύρη στρατιοτόμυγα (Εικόνα 3)³
4. *Musca domestica*, η οικιακή μύγα (Εικόνα 4)⁴
5. *Acheta domesticus*, ο οικοδίαιτος γρύλος (Εικόνα 5)⁵
6. *Gryllodes sigillatus*, ο στικτός γρύλος (Εικόνα 6)⁶
7. *Gryllus assimilis*, ο αγροδίαιτος γρύλος (Εικόνα 7)⁷

Το μεγάλο βήμα έγινε το 2021, όταν τέθηκε σε εφαρμογή και ο κανονισμός 2021/1372 της Ε.Ε. σύμφωνα με τον οποίο το είδος *Tenebrio molitor*, γνωστό και ως αλευροσκώληκας αναγνωρίστηκε ως novel food και συμπεριλήφθηκε στον κοινοτικό κατάλογο αυτών των τροφίμων, γεγονός που επιτρέπει την εμπορική του αξιοποίηση.

¹ https://www.researchgate.net/figure/Stages-of-Yellow-mealworm_fig3_328551486

² <https://www.semanticscholar.org/paper/Introducing-Alphitobius-diaperinus%2C-%28Insecta%3A-as-a-Alborzi-Rahbar/2431c74630bb92f71e47e7f1c89054cef368ace0/figure/0>

³ <https://www.allaboutfeed.net/animal-feed/feed-additives/insects-the-missing-link-in-pig-and-poultry-diets/>

⁴ https://www.researchgate.net/figure/Musca-domestica-the-common-house-fly-adult-photo-courtesy-of-Joseph-Berger-larvae_fig2_47370892

⁵ <https://pixabay.com/photos/acheta-domestica-grill-insect-231667/>

⁶ <https://nathistoc.bio.uci.edu/orthopt/Gryllodes%20sigillatus/index.html>

⁷ https://e-insects.wageningenacademic.com/gryllus_assimilis



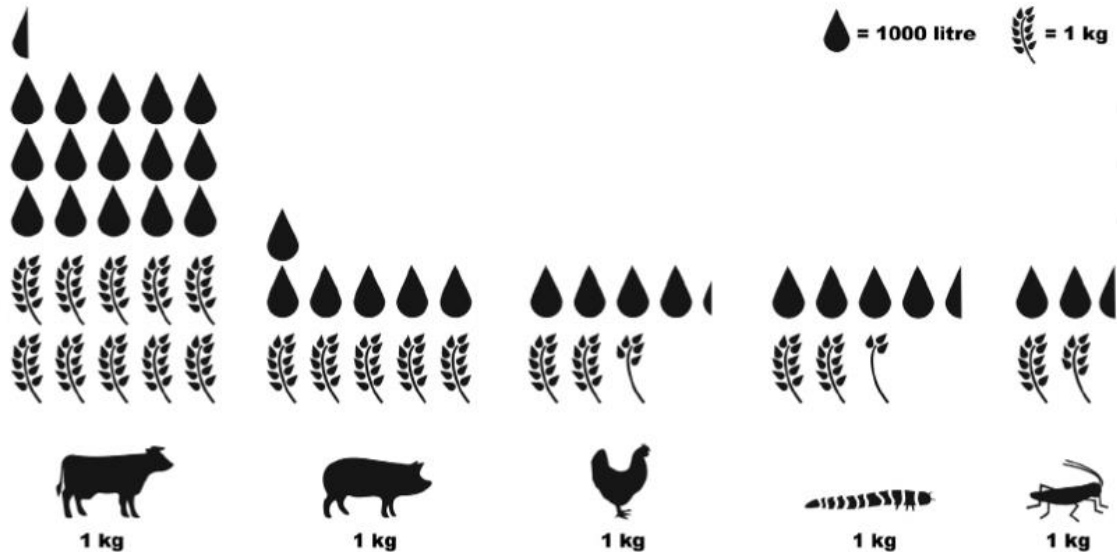
Εικόνα 1 (1) *Tenebrio molitor*, αλευροσκώληκας, (2) *Alphitobius diaperinus*, το μικρό σκαθάρι των αλεύρων, (3) *Hermetica illucens*, η μαύρη στρατιοτόμυγα, (4) *Musca domestica*, η οικιακή μύγα, (5) *Acheta domesticus*, ο οικοδίαιτος γρύλος, (6) *Gryllodes sigillatus*, ο σικτικός γρύλος, (7) *Gryllus assimilis*, ο αγροδίαιτος γρύλος.

1.4. Η σημασία της εκτροφής εντόμων

Η ζήτηση πρωτεϊνούχων προϊόντων αυξάνεται συνεχώς σε παγκόσμιο επίπεδο. Το 2020 τα πρωτεϊνούχα προϊόντα υπολογίστηκε ότι κατείχαν τα 35,86 δισεκατομμύρια ευρώ της παγκόσμιας αγοράς, ποσό που αναμένεται να φτάσει τα 39,62 δις από το 2021 έως το 2028 (Global Protein Ingredients Market Size Report, 2023). Σύμφωνα με τον (Aiking, 2011) η υιοθέτηση μίας δίαιτας που θα έχει χαμηλότερες ποσότητες ζωικών πρωτεϊνών από αυτές που ήδη υπάρχουν θα βοηθήσει στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, του εδάφους, του νερού, της ενέργειας, του κλίματος, της ανθρώπινης υγείας και της καλής διαβίωσης των ζώων. Τη λύση στα παραπάνω ζητήματα μπορούν να δώσουν τα έντομα. Σύμφωνα με τους Gerber et al. (2013) Τα συμβατικά εκτρεφόμενα ζώα παράγουν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πολύ μεγαλύτερες (2.850 g/kg τα βοοειδή και 1.300 g/kg οι χοίροι) από τα έντομα που εκπέμπουν 1g/kg. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς τα αέρια που εκπέμπουν είναι το CO₂, SO₂ και CH₄. Εκτός απ τη μείωση των ρύπων τα έντομα αναπαράγονται πολύ γρήγορα, έχουν μικρές απαιτήσεις σε χώρο και μπορούν να δώσουν καλά αποτελέσματα και σε μη ευνοϊκές για αυτά συνθήκες (Lensvelt & Steenbekkers, 2014). Ο χώρος που χρειάζονται τα έντομα για να παράγουν 1 kg πρωτεΐνης είναι περίπου 20 m², ενώ οι χοίροι θέλουν 45-70 m² (Sogari, 2015). Επομένως η εκτροφή των εντόμων προσφέρει επιχειρηματικές λύσεις, τόσο σε μικρές ή και οικιακές επιχειρήσεις όσο και σε μεγαλύτερες, καθώς το μικρό μέγεθός τους επιτρέπει την κάθετη στοίβαξη των εγκαταστάσεών τους για εξοικονόμηση επιπλέον χώρου (Kauppi et al., 2019) (Εικόνα 8)

Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό τους είναι ότι μετατρέπουν σε βιομάζα το μεγαλύτερο μέρος της τροφής που καταναλώνουν. Αυτό συμβαίνει καθώς είναι ψυχρόαιμοι (εξώθερμοι) οργανισμοί και τους επιτρέπεται να καταναλώνουν ελάχιστες ποσότητες ενέργειας, ώστε να διατηρήσουν τη θερμοκρασία του σώματός τους. Επιπλέον έχουν πολύ μικρό αποτύπωμα νερού και μπορούν να εκτραφούν με οργανικά παραπροϊόντα με χαμηλή βιολογική αξία (υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών) και να τα μετατρέπουν σε πηγή πρωτεΐνης (Sogari, 2015; Van Huis et al., 2017). Με την ανακύκλωση αυτή μειώνεται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και τα παραπροϊόντα αποκτούν αξία (Miśniakiewicz et al., 2014). Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα έντομα είναι πλούσια σε αμινοξέα, μονοακόρεστα λιπαρά οξέα, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και μικροθρεπτικά συστατικά όπως χαλκό, σίδηρο, μαγνήσιο, ψευδάργυρο, μαγγάνιο,

φώσφορο, σελήνιο, ρομοφλαβίνη, παντοθενικό οξύ (Βιταμίνη Β5), βιοτίνη και φολικό οξύ (Rumpold & Schlüter, 2013). Επιπλέον, σύμφωνα με έρευνες η μετάδοση ζωνοδόσων από τα έντομα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τα ζώα και τα πτηνά καθώς απέχουν πολύ ταξινομικά από το ανθρώπινο είδος και η μετάδοση σχετίζεται με τη γενετική ομοιότητα των ειδών (Van Huis et al., 2017)



Εικόνα 2 Ποσότητα νερού και τροφής που απαιτείται για την παραγωγή 1 kg σωματικού βάρους για διάφορους οργανισμούς (Kauppi et al., 2019).

1.5. Το είδος *Tenebrio molitor*

1.5.1. Βιολογία του *Tenebrio molitor*

Ο σκώληκας του αλεύρου είναι ένα από τα πιο ευρέως εκτρεφόμενα και πιο εμπορικά έντομα στην Ευρώπη (Bordiean et al., 2020; Toniho & Bársony, 2022; Turck et al., 2021). Το είδος *T. molitor* μελετήθηκε για πρώτη φορά το 1758 από τον Κάρολο Λιναίο. Είναι ένας από τους πιο κοινούς ζωικούς εχθρούς που συναντώνται σε αποθηκευτικούς χώρους, σε άλευρα καθώς και σε ανθρώπινες τροφές (Ribeiro et al., 2018). Η προέλευσή του θεωρείται πως είναι από την ιβηρική χερσόνησο, παρόλο που με την παγκοσμιοποίηση και την κλιματική αλλαγή εξαπλώθηκε και σε άλλες περιοχές του πλανήτη. Προτιμάει τα υγρά και σκοτεινά μέρη για τη διαβίωσή του (Ghaly & Alkoaik, 2009). Αν και αρκετά είναι συνηθισμένος εχθρός, θεωρείται σχετικά ακίνδυνος καθώς τα ακμαία του στερούνται της πτητικής ικανότητας και δεν τρέφονται. Ο σκώληκας του αλεύρου ανήκει στα ολομετάβολα έντομα, συνεπώς υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής του, τόσο μορφολογικές όσο και άλλου είδους. Ως ολομετάβολο έντομο ο κύκλος ζωής του *T. molitor* αναλύεται σε τέσσερα διαφορετικά στάδια (Εικόνα 3). Το πρώτο στάδιο είναι αυτό του αυγού. Πρόκειται για μικροσκοπικά σωματίδια με κολλώδη εξωτερική υφή, διαστάσεων 1,7-1,8 mm σε μήκος και 0,6-0,7 mm σε πλάτος. Το στάδιο αυτό διαρκεί για περίπου 8 με 12 ημέρες. Με το πέρας αυτής της περιόδου τα αυγά εκκολάπτονται σε προνύμφες και μάλιστα με υψηλό ποσοστό εκκόλαψης. Έτσι τα έντομα μπαίνουν στην επόμενη φάση του βιολογικού τους κύκλου, την προνυμφική. Στη φάση αυτή, σκοπός του εντόμου είναι να συλλέξει και να αποθηκεύσει ενέργεια μέσω της τροφής, την οποία θα καταναλώσει σε μετέπειτα στάδιο του βιολογικού του κύκλου. Η προνύμφη του είναι ένας σκώληκας ο οποίος αμέσως μετά την εκκόλαψη φέρει ένα υπόλευκο εξωτερικό χρωματισμό και δε ξεπερνάει τα 2 mm σε μήκος. Τα χαρακτηριστικά του αυτά μεταβάλλονται καθώς το έντομο τρέφεται και αναπτύσσεται. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω ο σκώληκας αποκτάει το χαρακτηριστικό καφέ-κίτρινο χρώμα του (Drnevich et al., 2001). Μορφολογικά, το ατελές στάδιο του σκώληκα του αλεύρου φέρει τα εξής χαρακτηριστικά: κυλινδρικό σχήμα σώματος, χιτινισμένη κεφαλική κάψα, αντιτιθέμενες άνω γνάθους και έξι θωρακικά πόδι με πέντε άρθρα. Ο χιτινισμένος εξωσκελετός που περιβάλλει τις προνύμφες προκαλεί το φαινόμενο

της έκδυσης καθώς αυτές αναπτύσσονται και αυξάνονται σε βάρος. Η συχνότητα των εκδύσεων, το βάρος του εντόμου, τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά καθώς και ο χρόνος μετάβασης στο επόμενο βιολογικό στάδιο εξαρτώνται από ένα πλήθος παραγόντων, όπως για παράδειγμα την πυκνότητα του πληθυσμού, τη διατροφή κ.α. (Morales-Ramos & Rojas, 2015a; van Broekhoven et al., 2015). Ακολουθεί το στάδιο της νύμφης, όπου το έντομο περικλείεται σε νυμφικό κουκούλι υπόλευκου χρώματος, παραμένει ακίνητο και καταναλώνει την ενέργεια που αποθήκευσε ως προνύμφη. Τελικά, από τη νύμφη αυτή θα προκύψει και το ενήλικο άτομο του *T. molitor* που αποτελεί και το τελευταίο στάδιο στο βιολογικό του κύκλο. Αρχικά, τα ενήλικα έχουν υπόλευκο χρώμα και φέρουν μαλακό εξωσκελετό. Ο εξωσκελετός αυτός σκληραίνει και αποκτά χρώμα σκούρο και μεταλλικό, ενώ παράλληλα μετατρέπεται σε έντονα χιτινισμένο μετά από πέντε ημέρες (Gerber, 1975). Τα ενήλικα έντομα διαθέτουν πρόσθιες και οπίσθιες πτέρυγες. Οι πρώτες είναι τροποποιημένες σε στιβαρά έλυτρα και ο ρόλος τους έγκειται στην κάλυψη των οπίσθιων πτερύγων, σε στιγμές που το έντομο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας.



Αυγό του είδους *T. molitor*
(προσωπικό αρχείο)



Προνύμφη του είδους *T. molitor*
(προσωπικό αρχείο)



Νύμφη του είδους *T. molitor*
(προσωπικό αρχείο)



Ενήλικο του είδους *T. molitor*
(προσωπικό αρχείο)

Εικόνα 3 Ο κύκλος ζωής του *T. molitor* σε τέσσερα διαφορετικά στάδια.

1.5.2. Βέλτιστες συνθήκες εκτροφής

Προκειμένου να επιτευχθούν τα βέλτιστα αποτελέσματα στην εκτροφή προνυμφών του εντόμου *T. molitor* θα πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους εξ' αυτών είναι οι συνθήκες του περιβάλλοντος ανάπτυξης του

Εικόνα 9: Στάδια αναπαραγωγής του είδους *T. molitor* οκρασία έχει
σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη των εντόμων και στις μεταβολικές τους διεργασίες. Αναφορικά για το *T. molitor* η βιβλιογραφία αναφέρει ότι το εύρος μεταξύ 23 °C και 32 °C αποτελούν ιδανικές θερμοκρασίες ανάπτυξης. Σε έρευνά τους οι (Grau et al., 2017) βρήκαν πως η βέλτιστη θερμοκρασία εκτροφής των προνυμφών του *T. molitor* είναι μεταξύ 25 °C και 27,5 °C. Άλλες μελέτες, όπως αυτή των Bjørge et al. (2018) δείχνουν πως ο βέλτιστος βαθμός έκφρασης όλων των επιθυμητών χαρακτηριστικών δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί σε μία και μόνο θερμοκρασία. Σύμφωνα με αυτές τις έρευνες, σε θερμοκρασίες εκτροφής από 15 °C ως και 32 °C τα αποτελέσματα διέφεραν σημαντικά.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη θερμοκρασία εκτροφής λοιπόν σημαντικό είναι να καθοριστεί και ο στόχος της εκτροφής. Γενικά, τα επιστημονικά ευρήματα μέχρι και σήμερα φανερώνουν πως υψηλές θερμοκρασίες (32 °C) κατά την εκτροφή των προνυμφών προάγουν την ανάπτυξη τους και αυξάνουν την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και λιπαρά οξέα, ενώ αντιθέτως, θερμοκρασίες κάτω των 23 °C επηρεάζουν θετικά τους ρυθμούς μεταβολής των εντόμων. Σημαντική είναι και η επίδραση της υγρασίας στους ρυθμούς ανάπτυξης των προνυμφών. Υπό συνθήκες υψηλής υγρασίας στο περιβάλλον εκτροφής, ο ρυθμός ανάπτυξης των προνυμφών εντείνεται (Fraenkel, 1950). Υψηλά επίπεδα υγρασίας, πάνω από 75%, στο περιβάλλον διαβίωσης ευνοούν την ανάπτυξη επιβλαβών μικροοργανισμών. Με την χορήγηση λαχανικών (κομμάτια πατάτας, καρότου) υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία ευνοείται ο ρυθμός ανάπτυξης των προνυμφών. Πρόσβαση σε συμπληρωματικές πηγές υγρασίας δίνει στο έντομο τη δυνατότητα να αξιοποιήσει καλύτερα την τροφή που καταναλώνει και αυξάνει την αποδοτικότητα μετατροπής αυτής σε σωματικό βάρος. Ακόμη, η παροχή επιπρόσθετης υγρασίας έχει έμμεσα θετική επίδραση στο ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών. Σε περιπτώσεις ακραίας έλλειψης υγρασίας, παρατηρείται διακοπή της διατροφής. Οι προνύμφες παραμένουν έτσι ανενεργές μέχρις ότου η υγρασία επανέλθει στα αποδεκτά επίπεδα (Adamaki-Sotiraki et al, 2022).

1.6. Η αξία της εκτροφής εντόμων σε αγροτικά παραπροϊόντα

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) χάνονται 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι τροφίμων κάθε χρόνο από τη παγκόσμια παραγωγή, ενώ, μέχρι το 2025 οι απώλειες αναμένονται να αυξηθούν στους 2,6 δισεκατομμύρια τόνους (Sinha & Tripathi, 2021). Πιο συγκεκριμένα, περίπου το 44% των προϊόντων που καταλήγουν στα σκουπίδια προέρχεται από τη βιομηχανία των τροφίμων. Σε αυτά ανήκουν, τα παραπροϊόντων των δημητριακών, τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας της παραγωγής φρούτων και λαχανικών, τα παραπροϊόντα των ελαιούχων σπόρων, κρέατος και γαλακτοκομικών καθώς και τα παραπροϊόντα της παραγωγής της ιχθυοκαλλιέργειας (FAO, 2016). Η πανδημία του Covid-19 ήρθε να επιδεινώσει περισσότερο την κατάσταση με την αύξηση των αποβλήτων απ' τη διαταραχή των αλυσίδων εφοδιασμού. Όλο και περισσότερα πλαστικά, τρόφιμα και ιατρικά εφόδια παράγονται και πετιούνται καθημερινά

απειλώντας τη βιοποικιλότητα, την υγεία των ανθρώπων και τα οικοσυστήματα μέσω της ρύπανσης (Kuan et al., 2022). Εκτός απ τα οικονομικά προβλήματα που προκύπτουν απ τη σπατάλη των απορριμμάτων, υπάρχει τεράστια ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος και επαναπροσδιορισμού της σχέσης ανθρώπου-περιβάλλοντος.

Πολλά είδη τροφίμων τα οποία καταλήγουν στα σκουπίδια, αποτελούν πολύτιμο υπόστρωμα εκτροφής για τα έντομα. Στα πλαίσια της μετάβασης σε ένα πιο βιώσιμο σύστημα διατροφής, η ανάπτυξη του τομέα της παραγωγής εντόμων στην Ευρώπη αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη λύση. Η χρήση των εντόμων για την αξιοποίηση ορισμένων τροφίμων τα οποία καταλήγουν να σπαταλούνται, έχει μελετηθεί για πολλά είδη εντόμων, συμπεριλαμβανομένων των ειδών *T. molitor* (Oonincx et al., 2015, van Broekhoven et al., 2015) *Ruspolia differens* (Sorjonen et al., 2020), *Zophobas morio* (Rumbos & Athanassiou, 2021), *Alphitobius diaperinus* (Gianotten et al., 2020) και *Hermetia illucens* (Bava et al., 2019). Πιο συγκεκριμένα, για το είδος *T. molitor* πολλές μελέτες έχουν αξιολογήσει την προοπτική της αξιοποίησης των αγροτικών παραπροϊόντων καθώς και των οργανικών αποβλήτων ως υπόστρωμα εκτροφής. Επί παραδείγματι, οι Harsányi et al., (2020) αξιολόγησαν διάφορα παραπροϊόντα λαχανικών ως υπόστρωμα εκτροφής για τις προνύμφες του είδους *T. molitor*. Ομοίως, τόσο οι (Oonincx et al., 2015) όσο και οι (van Broekhoven et al., 2015) αξιολόγησαν μια μεγάλη ποικιλία παραπροϊόντων τις βιομηχανίας τροφίμων τα οποία πετιούνται (μελάσα τεύτλων, φλούδες πατάτας, αλλοιωμένα δημητριακά, μαγιά μπίρας καθώς και υπολείμματα ψωμιού και μπισκότων). Επιπλέον οι (Ruschioni et al., 2020) μελέτησαν την εκτροφή του είδους *T. molitor* σε παραπροϊόντα της ελαιοκομίας.

Βέβαια, όπως συμβαίνει σε όλα τα συστήματα παραγωγής, έτσι και στα έντομα, για να επιτευχθεί η έκφραση του βέλτιστου δυναμικού τους, θα πρέπει να μελετηθούν και να θεσπισθούν ορισμένοι παράγοντες που να συνάδουν με τις απαιτήσεις των διαφόρων ειδών εντόμων. Για αυτό το λόγο, προτεραιότητα των επιστημόνων αποτελεί ο σχεδιασμός της καταλληλότερης δίαιτας. Για την επίτευξη του σχεδιασμού μιας κατάλληλης δίαιτας, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι η βέλτιστη διατροφή σχετίζεται με τα θρεπτικά τα οποία περιέχει αλλά και με την ισορροπία μεταξύ των θρεπτικών συστατικών της. Η ισορροπία των θρεπτικών είναι μείζονος σημασίας για τα έντομα, καθώς στην περίπτωση που απουσιάζει, τα έντομα αναγκάζονται να καταναλώσουν μεγαλύτερες ποσότητες τροφής ώστε να παραλάβουν τα απαραίτητα για τη λειτουργίας

τους θρεπτικά συστατικά. Μάλιστα, όταν κάποιο θρεπτικό συστατικό απουσιάζει από την τροφή, τα έντομα οδηγούνται στη διαδικασία παραγωγής του, μια διαδικασία αρκετά δαπανηρή για τα έντομα (R. F. Charman, 1997). Επι παραδείγματι, οι (Rumbos et al., 2021) σχεδίασαν ισοπρωτεϊνικές δίαιτες αξιοποιώντας τοπικά αγροτικά παραπροϊόντα του καθαρισμού των σπόρων.

Έτσι λοιπόν, θα πρέπει να επιστήσουμε την προσοχή μας στην εκτροφή εντόμων σε αγροτικά παραπροϊόντα, καθώς όπως δείχνουν οι έρευνες που έχουν αναφερθεί παραπάνω είναι δυνατόν να συμβάλλουν τόσο στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην κυκλική οικονομία όσο και στη βελτιστοποίηση της εκτροφής των εντόμων.

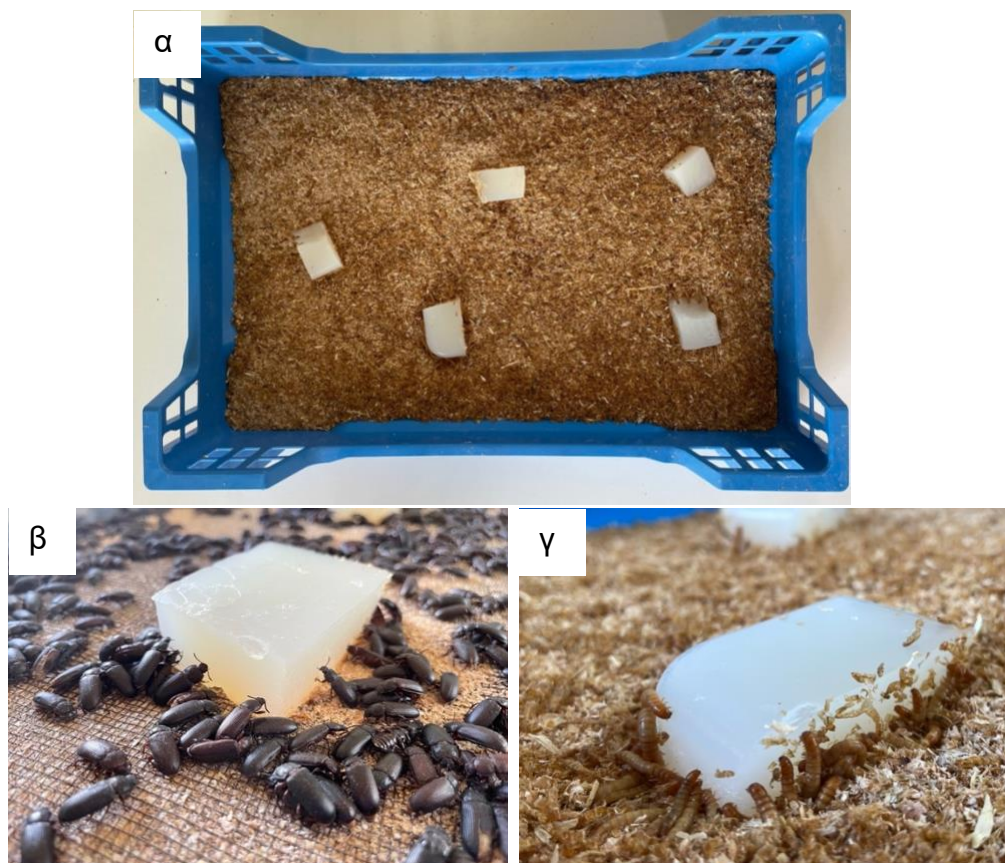
2. Σκοπός

Δεδομένου του γεγονότος ότι 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι τροφίμων καταλήγουν κάθε χρόνο στα σκουπίδια, το είδος *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι δυνατόν να συμβάλλει στη μείωση των απωλειών καθώς έχει την ικανότητα να αναπτύσσεται με επιτυχία σε αγροτικά παραπροϊόντα χαμηλής αξίας, μετατρέποντάς τα σε προϊόντα με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη. Στην προσπάθεια αναζήτησης των καταλληλότερων σιτηρεσίων για την ανάπτυξη των εντόμων, είναι δυνατόν να σχεδιασθούν ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια από μια ποικιλία διαφορετικών αγροτικών παραπροϊόντων. Με βάση τα παραπάνω, σκοπός του της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών του είδους *T. Molitor* σε 7 ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3% καθώς και 7 ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5%, αποτελούμενα από συνδυασμούς 6 διαφορετικών αγροτικών παραπροϊόντων.

3. Υλικά και μέθοδοι

3.1. Εκτροφή εντόμων

Η εκτροφή των εντόμων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος πραγματοποιήθηκε σε πλαστικά κουτιά (μήκους 60cm, πλάτους 40cm και βάθους 14,5cm) (Beekenkamp Verpakkingen BV, Maasdijk, TheNetherlands). Οι πληθυσμοί των εντόμων διατηρήθηκαν στην πιλοτική μονάδα εκτροφής εντόμων του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Αγροτικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κάτω από σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας 27 °C, σχετικής υγρασίας 60% και συνεχές σκότος. Οι προνύμφες εκτρέφονταν σε πίτουρο σιταριού, ενώ ως πηγή υγρασία παρέχονταν άγαρ (20 g/L) τρεις φορές την εβδομάδα (Εικόνα).



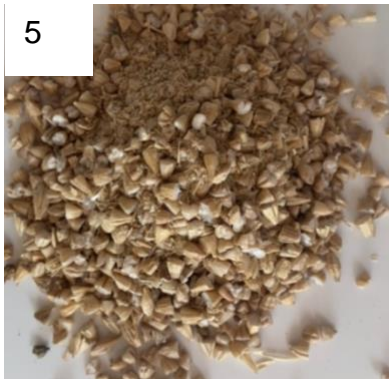
Εικόνα 4 Εκτροφές του είδους *T. molitor*. Πλαστικό κουτί εκτροφής προνυμφών (α), ενήλικα (β) και προνύμφες (γ) που λαμβάνουν υγρασία από άγαρ.

3.2. Παραπροϊόντα

Τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές της παρούσας πτυχιακής εργασίας προέρχονταν από την καλλιέργεια του λούπινου, του τριτικάλε, της βρώμης, του κριθαριού και του μπιζελιού (Πίνακας 1, Σχήμα 1). Όλα τα υποπροϊόντα αλέστηκαν (Thermomix TM31-96 1C, Vorwerk Elektrowerke GmbH & Co. K, Wuppertal, Germany) και κοσκινίστηκαν με κόσκινο διαμέτρου 600mm με εξαίρεση το πίτουρο σιταριού που χρησίμευσε ως μάρτυρας (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Παραπροϊόντα που ενσωματώθηκαν στις δίαιτες της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας και η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη.

Παραπροϊόντα	Περιεκτικότητα πρωτεΐνης (%)
1. Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	17,3
2. Λούπινο	33,5
3. Τριτικάλε	8,5
4. Βρώμη	12,3
5. Κριθάρι	9,1
6. Μπιζέλι	28,2



Εικόνα 5 Τα παραπροϊόντα πριν την άλεση. (1) Πίτουρο σιταριού, (2) Λούπινο, (3) Τριπικάλε, (4) Βρώμη, (5) Κριθάρι, (6) Μπιζέλι.



Εικόνα 6 Τα παραπροϊόντα μετά την άλεση και το κοσκίνισμα. Όλα τα παραπροϊόντα αλέστηκαν και κοσκινίστηκαν, εκτός από το πίτουρο που χρησιμοποιείται ως μάρτυρας. 1) Πίτουρο σιταριού, (2) Λούπινο, (3) Τριτικάλε, (4) Βρώμη, (5) Κριθάρι, (6) Μπιζέλι.

3.3. Βιοδοκιμές

Στις βιοδοκιμές της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, αξιολογήθηκε η καταλληλότητα διαφόρων διαιτών ως υπόστρωμα εκτροφής για τις προνύμφες *T.molitor* αξιολογήθηκε σε δύο βιοδοκιμές. Στην πρώτη βιοδοκιμή σχεδιάστηκαν και αξιολογήθηκαν ιστοπρωτεϊνικές δίαιτες σε εργαστηριακή κλίμακα, ενώ στη δεύτερη βιοδοκιμή οι δίαιτες με την καλύτερη απόδοση σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργαστηριακής βιοδοκιμής αξιολογήθηκαν περαιτέρω σε πιλοτική κλίμακα (Βιοδοκιμασία II). Για όλες τις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες ηλικίας 10 ημερών.

Για την παραγωγή προνυμφών, τα ενήλικα άτομα αφέθηκαν να ωοτοκίσουν για μια χρονική περίοδο επτά ημερών σε λευκό αλεύρι, ενώ ως πηγή υγρασίας παρέχονταν άγαρ τρεις φορές την εβδομάδα. Μετά από αυτό το διάστημα, τα ενήλικα αφαιρέθηκαν και οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν σε αλεύρι για 10 ημέρες. Για το διαχωρισμό των προνυμφών από το αλεύρι και την επιλογή προνυμφών ίδιας ηλικίας, το αλεύρι με τις προνύμφες κοσκινίστηκε με κόσκινο με άνοιγμα 850 mm καθώς και με κόσκινο με άνοιγμα 600 mm. Οι προνύμφες που πέρασαν από το κόσκινο των 850 mm και συγκρατήθηκαν από το κόσκινο των 600 mm ήταν αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές. Με αυτόν τον τρόπο, επιλέχθηκαν προνύμφες 6^{ου} και 7^{ου} σταδίου, σύμφωνα με το μέγεθος της κάψουλας της κεφαλής τους (Morales-Ramos et al., 2015b).

3.3.1. Βιοδοκιμή I: Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Εργαστηριακή βιοδοκιμή

Ως πειραματικές μονάδες χρησιμοποιήθηκαν για αυτή τη βιοδοκιμή πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια διαμέτρου: 7,5 cm και ύψους: 8,8 cm. Στον Πίνακα 1 αναφέρονται τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό συγκεκριμένων ισοπρωτεϊνικών διαιτών σε αυτή τη βιοδοκιμή (Πίνακας 2 & 3), ενώ ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε το πτίουρο σιταριού. Μια ομάδα 50 προνυμφών ηλικίας 10 ημερών τοποθετήθηκε σε κάθε φιαλίδιο μαζί με τέσσερα γραμμάρια από κάθε παραπροϊόν. Συνολικά έξι επαναλήψεις έλαβαν χώρα για κάθε διαίτα. Ως πηγή υγρασίας, παρεχόταν άγαρ (1x1x1 cm) σε κάθε φιαλίδιο τρεις φορές την εβδομάδα. Οι προνύμφες σε κάθε φιαλίδιο αφέθηκαν να τραφούν για δύο εβδομάδες. Μετά από αυτό το διάστημα, οι προνύμφες διαχωρίζονταν από το υπόστρωμα για να καταγραφεί η επιβίωση και το βάρος τους (Εικόνα). Στη συνέχεια, οι προνύμφες επιστρέφονταν πάλι στο υπόστρωμα για να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία μέχρι την εμφάνιση της πρώτης νύμφης. Η επιβίωση και το βάρος των προνυμφών προσδιορίζονταν δύο φορές την εβδομάδα. Όλα τα φιαλίδια επιθεωρούνταν οπτικά τρεις φορές την εβδομάδα, ώστε να μην εξαντληθεί η τροφή. Στην περίπτωση εξάντλησης πραγματοποιούνταν προσθήκη επιπλέον τροφή και η ποσότητα της καταγραφόταν. Ο χρόνος ανάπτυξης της προνύμφης υπολογίστηκε ως ο αριθμός των ημερών μεταξύ της έναρξης του πειράματος και της ημέρας εμφάνισης της πρώτης νύμφης σε κάθε φιαλίδιο (Εικόνα 8).

Ο δείκτης μετατροπής της τροφής (FCR), δηλαδή η ποσότητα της τροφής που απαιτείται (σε kg) για να ληφθεί ένα κιλό βάρους προνυμφών, υπολογίστηκε από τον τύπο:

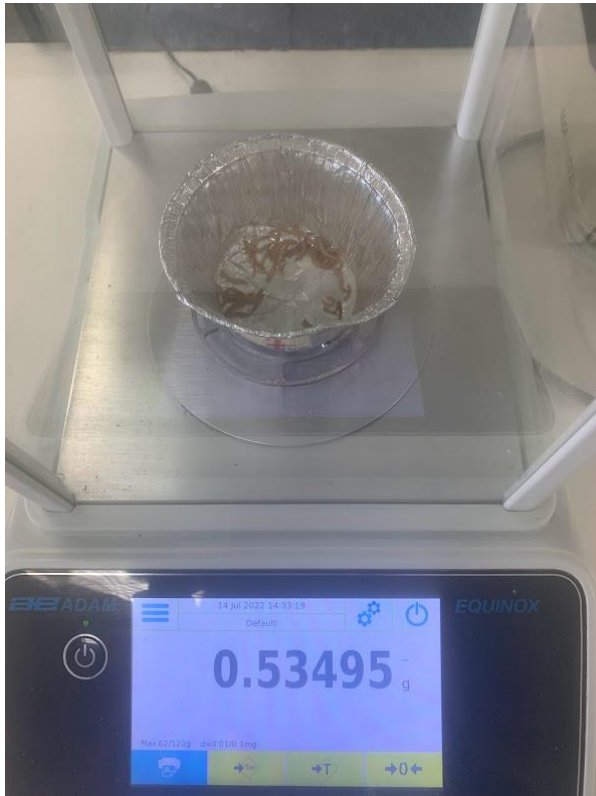
$$\text{FCR} = \text{βάρος τροφής που καταναλώθηκε} / \text{βάρος που κερδήθηκε}$$

Η αποτελεσματικότητα της μετατροπής της τροφής που καταναλώθηκε σε σωματικό βάρος υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\text{ECI} = \text{βάρος που κερδήθηκε} / \text{βάρος τροφής που καταναλώθηκε} \times 100\%$$

Ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{SGR} = (\text{τελικό βάρος σώματος} - \text{αρχικό βάρος σώματος}) \times 100 / \text{αριθμός ημερών ως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης}$$



Εικόνα 7 Καταγραφή του βάρους (αριστερά) και της επιβίωσης (δεξιά) των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor*.



Εικόνα 8 Διαχωρισμένες προνύμφες από το υπόστρωμα και εμφάνιση της πρώτης νύμφης.

Πίνακας 2 Ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με περιεκτικότητα 17,3% σε πρωτεΐνη.

	Δίαιτα 1	Δίαιτα 2	Δίαιτα 3	Δίαιτα 4	Δίαιτα 5	Δίαιτα 6	Δίαιτα 7
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	100,00						
Λούπινο		35,25	23,5	33,6			
Τριτικάλε		64,75			55,30		
Βρώμη			76,5			68,70	
Κριθάρι				66,40			57,15
Μπιζέλι					44,70	31,30	42,85
Μαγιά							

Πίνακας 3 Ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με περιεκτικότητα 22,5% σε πρωτεΐνη.

	Δίαιτα 1	Δίαιτα 2	Δίαιτα 3	Δίαιτα 4	Δίαιτα 5	Δίαιτα 6	Δίαιτα 7
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	81,88						
Λούπινο		56,10	48,12	54,95			
Τριτικάλε		43,90			28,90		
Βρώμη			51,88			35,88	
Κριθάρι				45,05			29,85
Μπιζέλι					71,10	64,12	70,15
Μαγιά	18,12						

3.3.2. Βιοδοκιμή II: Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας.

Σε αυτή τη βιοδοκιμή αξιολογήθηκαν οι δίαιτες που είχαν καλύτερη απόδοση στη βιοδοκιμή I. Έτσι, ως πειραματικές μονάδες για την εκτροφή των προνυμφών χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κουτιά (μήκους 60 cm, πλάτους 40 cm και βάθους 14,5 cm) (Εικόνα 8). Σε κάθε κουτί προστέθηκαν 2,1 kg από κάθε δίαιτα μαζί με 10.000 προνύμφες 10 ημερών. Και εδώ οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν με την κάθε δίαιτα ανενόχλητες για δύο εβδομάδες. Μετά από αυτό το διάστημα, το περιεχόμενο κάθε κουτιού ομογενοποιούνταν και πραγματοποιούνταν λήψη ενός δείγματος από κάθε κουτί για να προσδιοριστεί μέσο βάρος των προνυμφών. Κάθε δείγμα περιείχε τουλάχιστον 100 προνύμφες. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβανόταν μια φορά την εβδομάδα έως ότου η τροφή καταναλωθεί πλήρως σε κάθε κουτί ή όταν πάνω από το 10% των προνυμφών μεταβούν στο στάδιο της νύμφης. Κατά τη διάρκεια της βιοδοκιμής, παρέχόταν άγαρ στις προνύμφες τρεις φορές την εβδομάδα ως πηγή υγρασίας, αυξάνοντας όμως την ποσότητα του με την πάροδο του χρόνου, διασφαλίζοντας πάντα τη διαθεσιμότητα άγαρ για τις προνύμφες. Για κάθε δίαιτα έλαβαν χώρα τρεις επαναλήψεις.



Εικόνα 9 Οι πειραματικές μονάδες (μήκους 60 cm, πλάτους 40 cm και βάθους 14,5 cm) που χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματικές μονάδες για την εκτροφή των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* σε διαφορετικές δίαιτες.

4. Αποτελέσματα

4.1. Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Εργαστηριακή βιοδοκιμή

Στον Πίνακα 4 και στο Γράφημα 1 παρουσιάζονται τα **ατομικά βάρη** των προνυμφών του είδους *T. molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε επτά ισοπρωτεϊνικές δίαιτες, με ποσοστό πρωτεΐνης **17,3%**. Στο Γράφημα 1 φαίνεται ότι το ατομικό βάρος των προνυμφών ακολούθησε μια ανοδική πορεία. Το ατομικό βάρος των προνυμφών που καταγράφηκε κατά την έναρξη του πειράματος (εβδομάδα 0) κυμάνθηκε από 0,9 έως 1,0 mg για όλες τις δίαιτες που εξετάστηκαν. Το ατομικό βάρος των προνυμφών παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές από στις πρώτες κιόλας εβδομάδες της ανάπτυξής τους. Επί παραδείγματι, με το πέρας 2 εβδομάδων το ατομικό βάρος των προνυμφών αυξήθηκε στα 3,3 έως 6,7 mg. Το υψηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 1 (6,7mg) και στη δίαιτα 3 (6,3 mg) ενώ το χαμηλότερο για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 5 (3,9 mg) και στη δίαιτα 6 (4,6 mg). Με το πέρας 4 εβδομάδων το ατομικό βάρος των προνυμφών για όλες τις δίαιτες κυμάνθηκε από 10,5 έως 38,1 mg. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 1 (μάρτυρας) (37,1 mg) και στη δίαιτα 2 και 3 (34,5 και 38,1 mg, αντίστοιχα), ενώ οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν για τη δίαιτα 7 (10,5 mg). Στις 6 εβδομάδες το ατομικό βάρος των προνυμφών για όλες τις δίαιτες κυμάνθηκε από 33,7 έως 107,8 mg. Η δίαιτα 1 (μάρτυρας) (107,8 mg) , η δίαιτα 2 (103,7 mg) και η δίαιτα 3 (91,3 mg) έφεραν τις προνύμφες με τα υψηλότερα ατομικά βάρη. Αντιθέτως, η δίαιτα 5 (33,7 mg) και η δίαιτα 7 (37,4 mg) έφεραν τις προνύμφες με τα χαμηλότερα ατομικά βάρη.

Με το πέρας των 8 εβδομάδων καταγράφηκε η τελευταία μέτρηση καθώς σε όλες τις δίαιτες εμφανίσθηκε η πρώτη νύμφη (Πίνακας 8). Στο χρονικό διάστημα των 8 εβδομάδων το ατομικό βάρος των προνυμφών για όλες τις δίαιτες κυμάνθηκε από 84,7 έως 142,4 mg. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, μεταξύ των προνυμφών που αναπτύχθηκαν στις διαφορετικές δίαιτες, καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, το υψηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 1 (132,6 mg), στη δίαιτα 2 (142,3 mg), στη δίαιτα 3 (142,4 mg) και στη δίαιτα 4

(129,3 mg). Το χαμηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών καταγράφηκε για τις προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 5 (84,7 mg), στη δίαιτα 6 (101,2 mg) και στη δίαιτα 7 (94,6 mg).

Στον Πίνακα 5 και στο Γράφημα 2 παρουσιάζονται τα **ατομικά βάρη** των προνυμφών του είδους *T. molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε επτά ισοπρωτεϊνικές δίαιτες, με ποσοστό πρωτεΐνης **22,5%**. Στο Γράφημα 2 φαίνεται ότι το ατομικό βάρος των προνυμφών αυξάνονταν σταθερά. Το ατομικό βάρος των προνυμφών καταγράφηκε κατά την έναρξη του πειράματος (εβδομάδα 0) και κυμάνθηκε από 0,9 έως 1.0 mg για όλες τις δίαιτες που εξετάστηκαν. Το ατομικό βάρος των προνυμφών παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές από στις πρώτες κιόλας εβδομάδες της ανάπτυξής τους. Στις 2 εβδομάδες το ατομικό βάρος των προνυμφών αυξήθηκε για όλες τις δίαιτες και κυμάνθηκε από 2,6 έως 7,6 mg. Ο μάρτυρας (δίαιτα 1 - 7,6 mg) είχε το υψηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών. Μεταξύ των διαιτών 2 έως 7 δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στο χρονικό διάστημα των 4 εβδομάδων το ατομικό βάρος των προνυμφών κυμάνθηκε από 6,4 έως 52,3 mg. Το υψηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 1 (μάρτυρας) (52,3 mg). Το αμέσως επόμενο υψηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 3 (28,4 mg). Στις 6 εβδομάδες το ατομικό βάρος των προνυμφών αυξήθηκε και κυμάνθηκε από 20,8 έως 128,2 mg. Στο ίδιο χρονικό διάστημα εμφανίστηκε η πρώτη νύμφη στη δίαιτα 1 (128,2 mg). Με το πέρας των 8 εβδομάδων εμφανίστηκε η πρώτη νύμφη σε όλες τις υπόλοιπες δίαιτες, ενώ το ατομικό βάρος των προνυμφών κυμάνθηκε από 39,9 έως 136,8 mg. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, μεταξύ των προνυμφών που αναπτύχθηκαν στις διαφορετικές δίαιτες, καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (Πίνακας 9). Πιο συγκεκριμένα, το υψηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 2 (133,5 mg), στη δίαιτα 3 (136,8 mg) και στη δίαιτα 4 (132,7 mg). Το χαμηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 7 (39,9 mg). Για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στις υπόλοιπες δίαιτες: δίαιτα 5 (69,2 mg) και δίαιτα 6 (55,0 mg), καταγράφηκαν ενδιάμεσα βάρη.

Η **επιβίωση** των προνυμφών του είδους *T. molitor* που αναπτύχθηκαν στις ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης **17,3%** παρουσιάζεται στον Πίνακα 6 και στο Γράφημα 3. Στο Γράφημα 3 φαίνεται ότι το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών

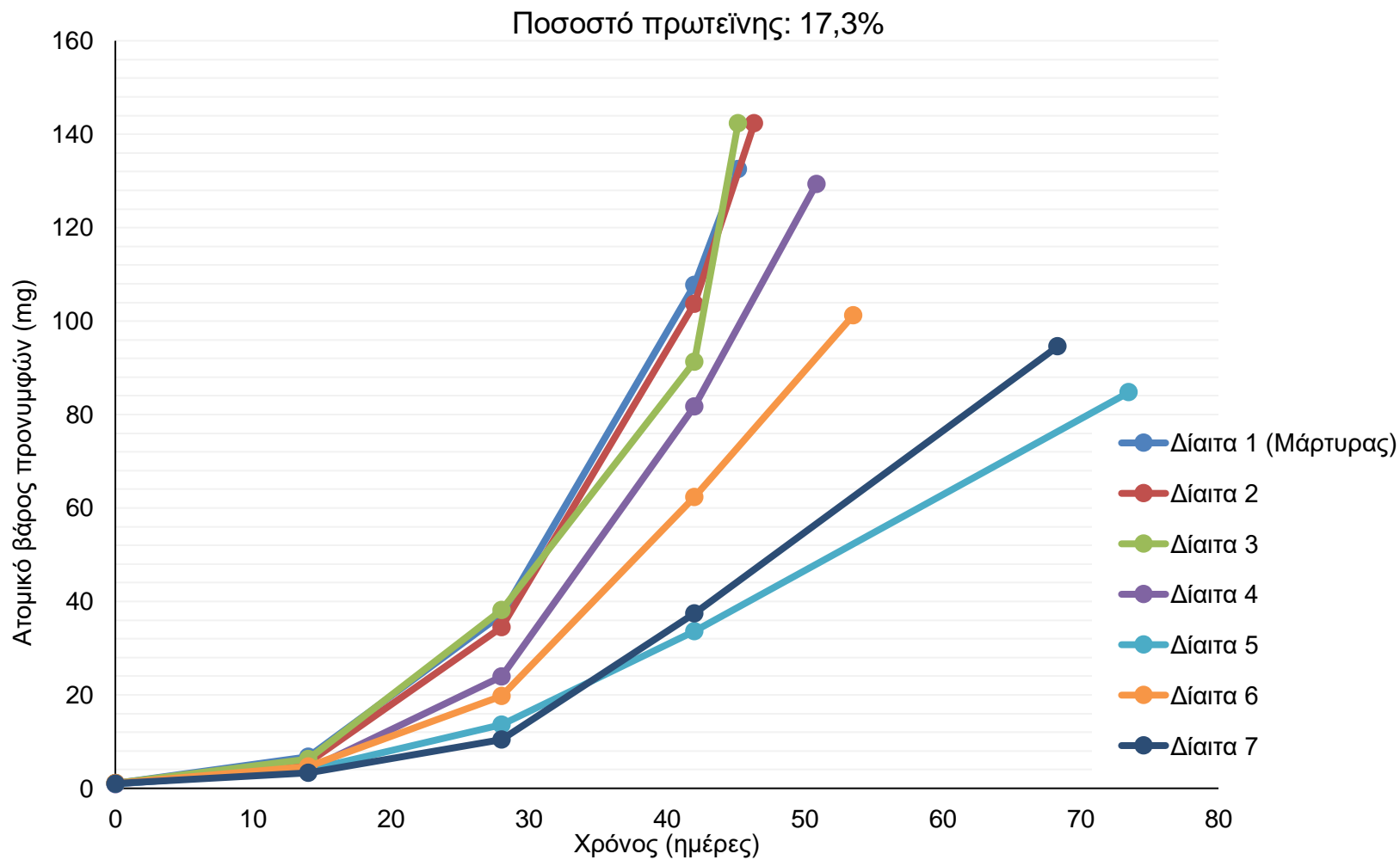
μειώνεται στο χρόνο. Το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διαιτών. Στις 2 εβδομάδες το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών κυμάνθηκε από 84,7% έως 99,0%. Με το πέρας 4 εβδομάδων το ποσοστό επιβίωσης μειώθηκε και κυμάνθηκε από 61,3% έως 86,3% για όλες τις δίαιτες. Στις 6 εβδομάδες το ποσοστό επιβίωσης κυμάνθηκε από 55,7% έως 80,0% για όλες τις δίαιτες.

Με το πέρας των 8 εβδομάδων εμφανίσθηκε η πρώτη νύμφη σε όλες τις δίαιτες, ενώ το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών κυμάνθηκε από 50,0% έως 78,3%. Μεταξύ των προνυμφών που αναπτύχθηκαν στις διαφορετικές δίαιτες, καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά το ποσοστό επιβίωσής τους. Πιο συγκεκριμένα, το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης καταγράφηκε για τις προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 2 (78,3%) και στη δίαιτα 6 (77,7%), ενώ το χαμηλότερο ποσοστό επιβίωσης καταγράφηκε για τη δίαιτα 7 (50,0%).

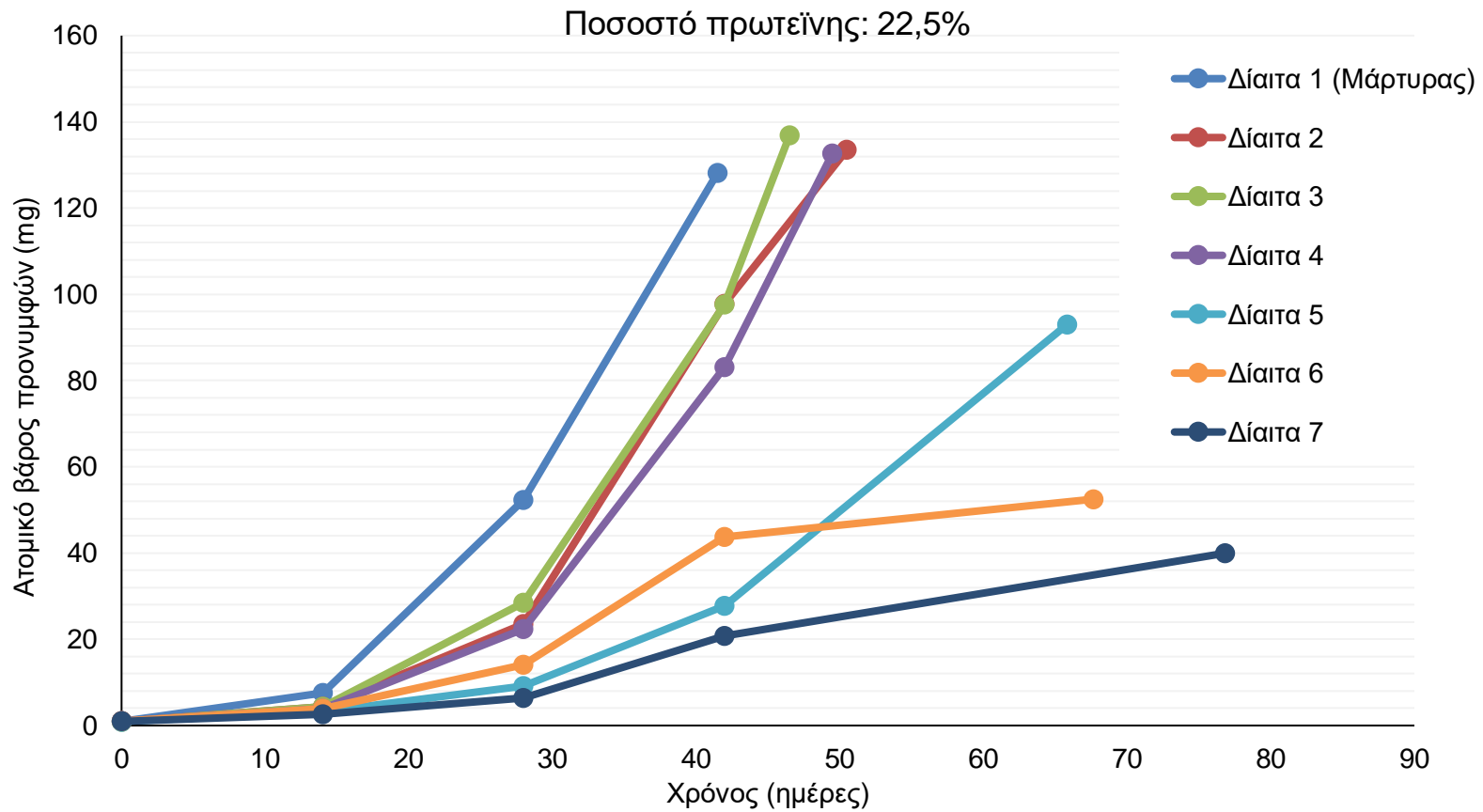
Η **επιβίωση** των προνυμφών του είδους *T. molitor* που αναπτύχθηκαν στις ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης **22,5%** παρουσιάζεται στον Πίνακα 7 και στο Γράφημα 4. Στο Γράφημα 4 φαίνεται ότι το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών ακολουθεί μια καθοδική πορεία στο χρόνο. Το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές τις πρώτες εβδομάδες της ανάπτυξής των προνυμφών. Στις 2 εβδομάδες το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών κυμάνθηκε από 78,7% έως 94,0%. Με το πέρας 4 εβδομάδων το ποσοστό επιβίωσης μειώθηκε και κυμάνθηκε από 47,0% έως 82,0% για όλες τις δίαιτες. Στις 6 εβδομάδες το ποσοστό επιβίωσης κυμάνθηκε από 24,7% έως 81,0% για όλες τις δίαιτες. Το ίδιο χρονικό διάστημα εμφανίσθηκε η πρώτη νύμφη στη δίαιτα 1 (μάρτυρας) (81,0%). Με το πέρας των 8 εβδομάδων εμφανίσθηκε η πρώτη νύμφη σε όλες τις υπόλοιπες δίαιτες, ενώ το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών κυμάνθηκε από 22,3% έως 67,3%. Τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, μεταξύ των προνυμφών που αναπτύχθηκαν στις διαφορετικές δίαιτες, καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης καταγράφηκε για τις προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 2 (65,0%) και στη δίαιτα 3 (67,3%).

Ο **χρόνος ανάπτυξης** των προνυμφών καθώς και οι δείκτες **FCR**, **SGR** και **ECI** για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης **17,3%** παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 και στα Γράφημα 5, Γράφημα 7, Γράφημα 8 και Γράφημα

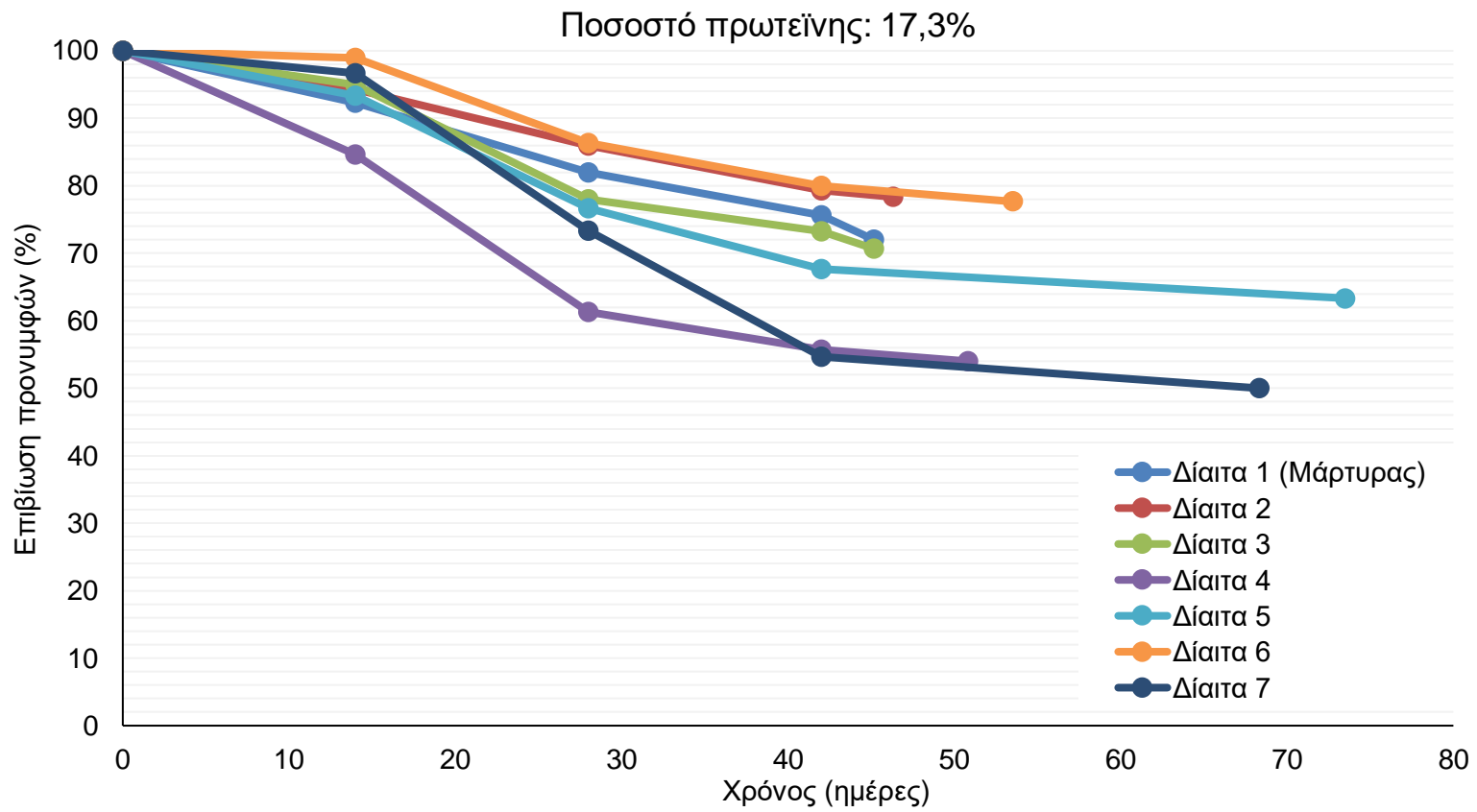
9. Οι δίαιτες στις οποίες αναπτύχθηκαν ταχύτερα οι προνύμφες ήταν η δίαιτα 1 (μάρτυρας) και η δίαιτα 3 (45,2 ημέρες αντίστοιχα και για τις δύο δίαιτες). Οι δίαιτες στις οποίες οι προνύμφες είχαν στατιστικώς σημαντικότερα αργή ανάπτυξη ήταν η δίαιτα 5 (73,5 ημέρες) και η δίαιτα 7 (68,3 ημέρες). Όσον αφορά τους δείκτες αξιοποίησης της τροφής, ο πρώτος αφορά τη συνολική τροφή η οποία προστέθηκε προς το βάρος το οποίο τελικά κερδήθηκε (FCR). Το χαμηλότερο FCR καταγράφηκε για τη δίαιτα 1 (2,7), τη δίαιτα 2 (3,3), τη δίαιτα 3 (4,1) και τη δίαιτα 6 (3,8), ενώ το υψηλότερο για τη δίαιτα 7 (9,5). Ο δεύτερος δείκτης αφορά το ποσοστό της διαφοράς του αρχικού από το τελικό σωματικό βάρος των προνυμφών προς τον αριθμό των ημερών έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (SGR). Ο υψηλότερος δείκτης SGR καταγράφηκε για τη δίαιτα 1 (10,7%) και τη δίαιτα 3 (10,8%), ενώ ο χαμηλότερος για τη δίαιτα 5 (6,1%) και τη δίαιτα 7 (6,7%). Τέλος, ο τρίτος δείκτης αφορά το ποσοστό του βάρους που κερδήθηκε προς το βάρος της τροφής η οποία καταναλώθηκε (ECI) και κυμάνθηκε από 37,5% έως 12,5%. Ο υψηλότερος δείκτης ECI κυμάνθηκε για τη δίαιτα 1 (37,5%), ενώ ο χαμηλότερος για τη δίαιτα 5 (13,9%) και τη δίαιτα 7 (12,5%). Ο **χρόνος ανάπτυξης** των προνυμφών καθώς και οι δείκτες FCR, SGR και ECI για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης **22,5%** παρουσιάζονται στον Πίνακα 9 και στο Γράφημα 6, Γράφημα 7, Γράφημα 8 και Γράφημα 9. Οι δίαιτες στις οποίες αναπτύχθηκαν ταχύτερα οι προνύμφες ήταν η δίαιτα 1 (μάρτυρας) (41,5 ημέρες), η δίαιτα 2 (50,5 ημέρες), η δίαιτα 3 (46,5 ημέρες) και η δίαιτα 4 (49,5 ημέρες). Η δίαιτα στην οποία οι προνύμφες είχαν στατιστικώς σημαντικότερα αργή ανάπτυξη ήταν η δίαιτα 7 (76,8 ημέρες). Όσον αφορά τους δείκτες αξιοποίησης της τροφής, ο πρώτος αφορά τη συνολική τροφή η οποία προστέθηκε προς το βάρος το οποίο τελικά κερδήθηκε (FCR). Για τις δίαιτες 1 έως 6 ο δείκτης FCR κυμάνθηκε από 2,3 έως 12,7 χωρίς στατιστικώς σημαντικές διαφορές ενώ το υψηλότερο για τη δίαιτα 7 (41,5). Ο δεύτερος δείκτης αφορά το ποσοστό της διαφοράς του αρχικού από το τελικό σωματικό βάρος των προνυμφών προς τον αριθμό των ημερών έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (SGR). Ο υψηλότερος δείκτης SGR καταγράφηκε για τη δίαιτα 1 (11,8 %), ενώ ο χαμηλότερος για τη δίαιτα 7 (4,9 %). Τέλος, ο τρίτος δείκτης αφορά το ποσοστό του βάρους που κερδήθηκε προς το βάρος της τροφής η οποία καταναλώθηκε (ECI) και κυμάνθηκε από 44,7 % έως 2,7%. Ο υψηλότερος δείκτης ECI κυμάνθηκε για τη δίαιτα 1 (44,7%), ενώ ο χαμηλότερος για τη δίαιτα 7 (2,7%).



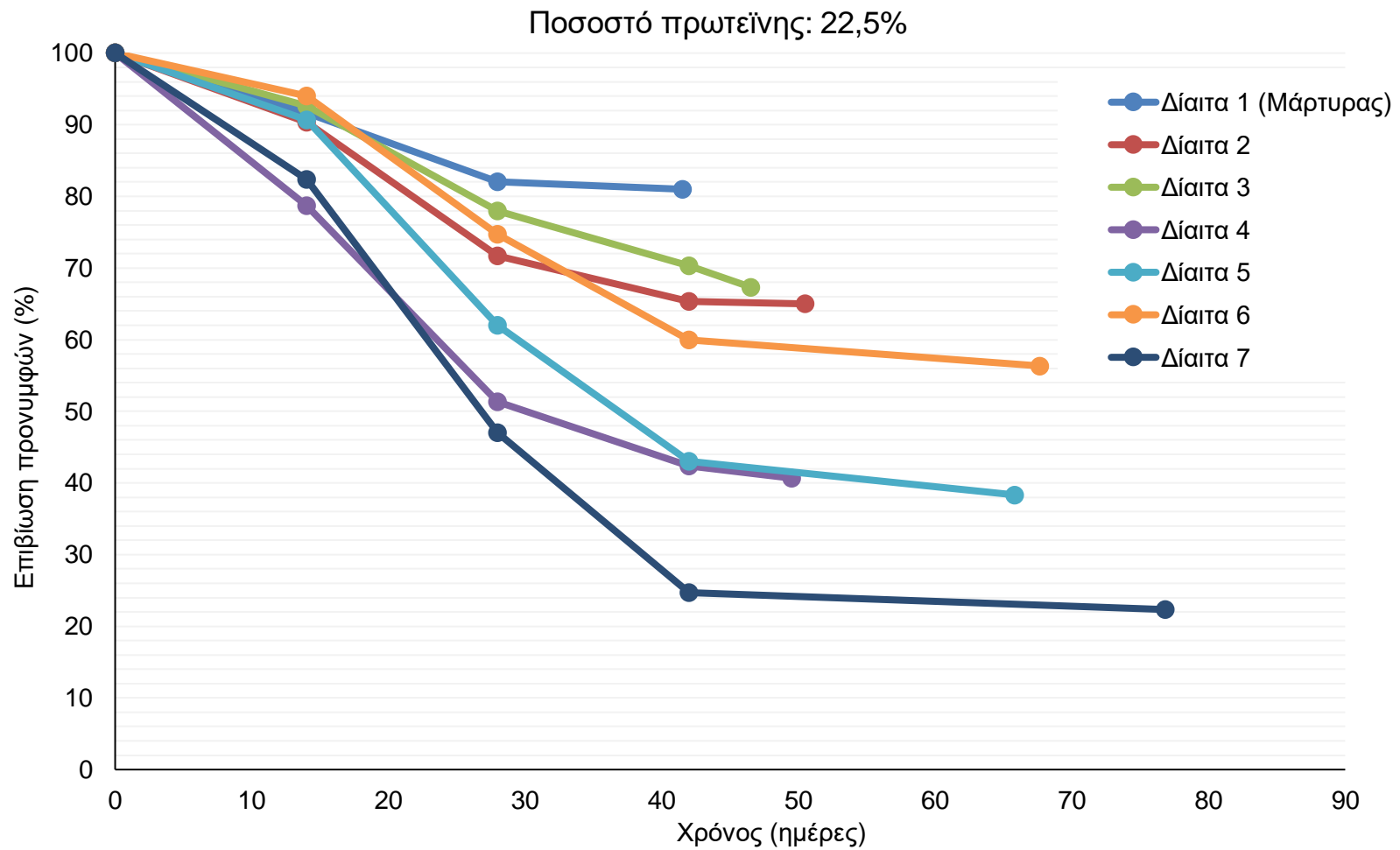
Γράφημα 1 Μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6).



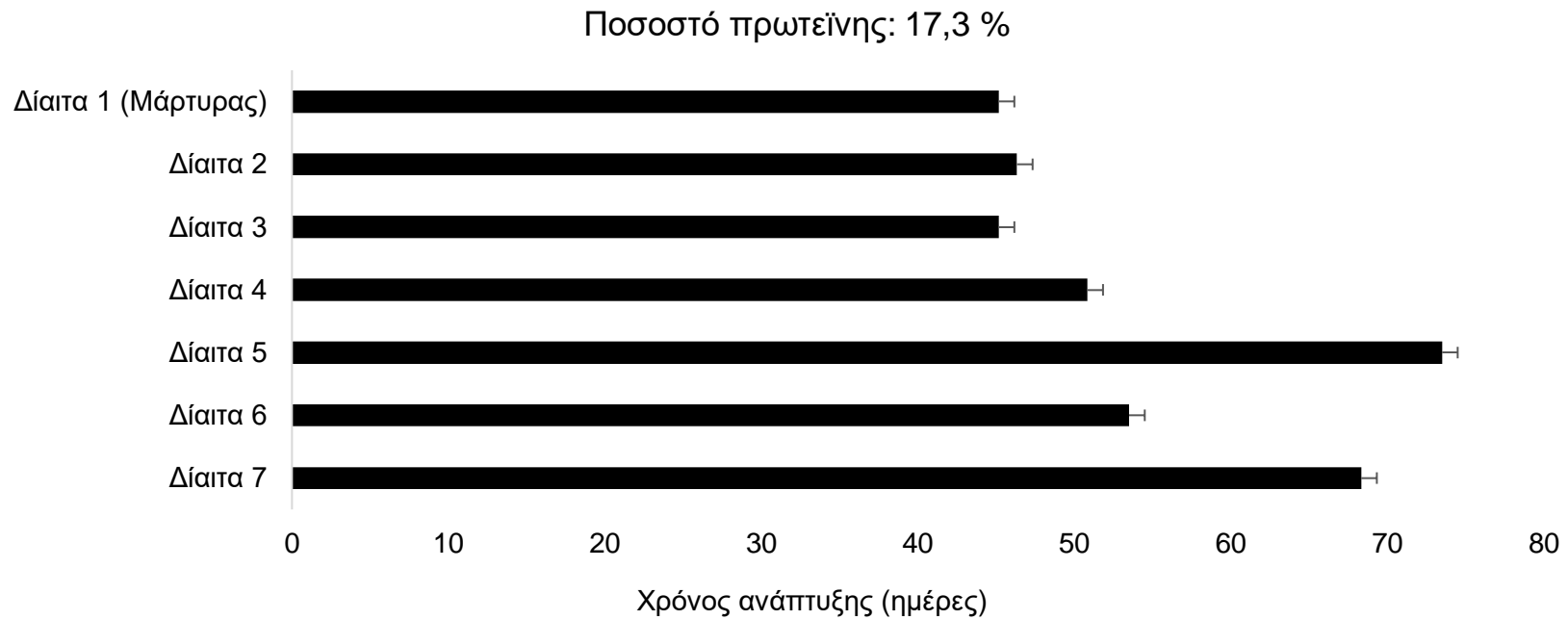
Γράφημα 2 Μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6).



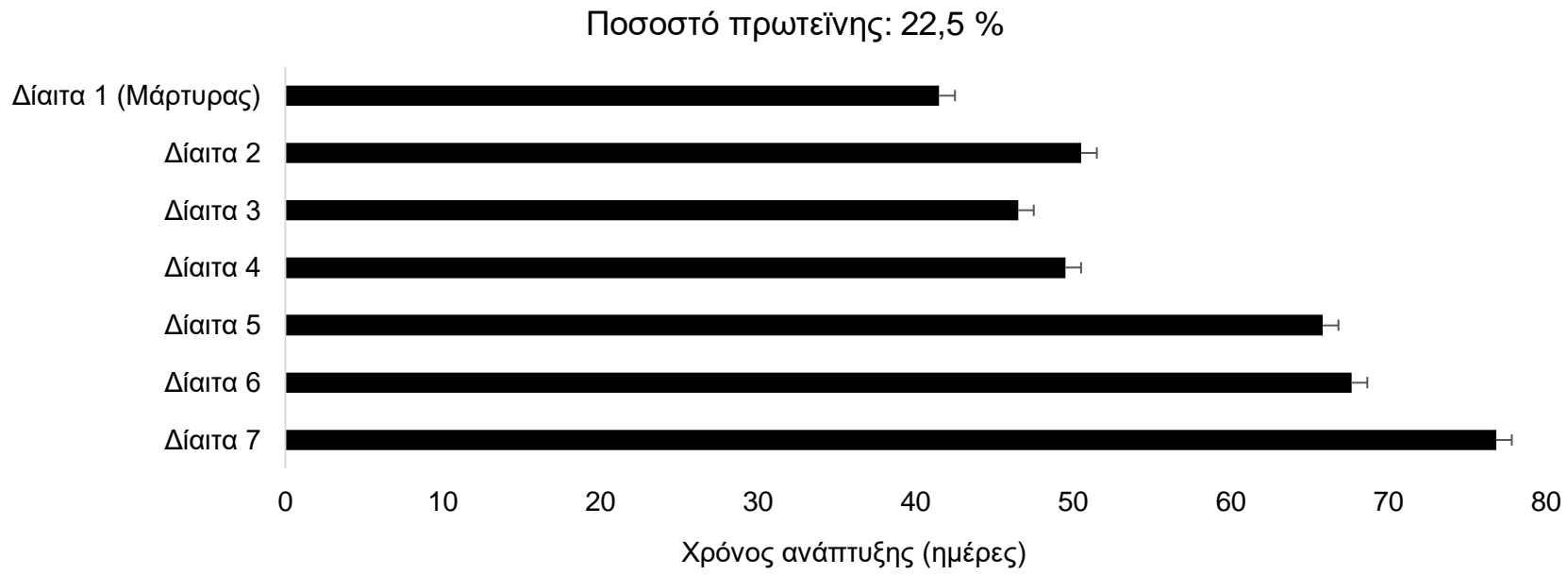
Γράφημα 3 Μέσοι όροι της επιβίωσης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6).



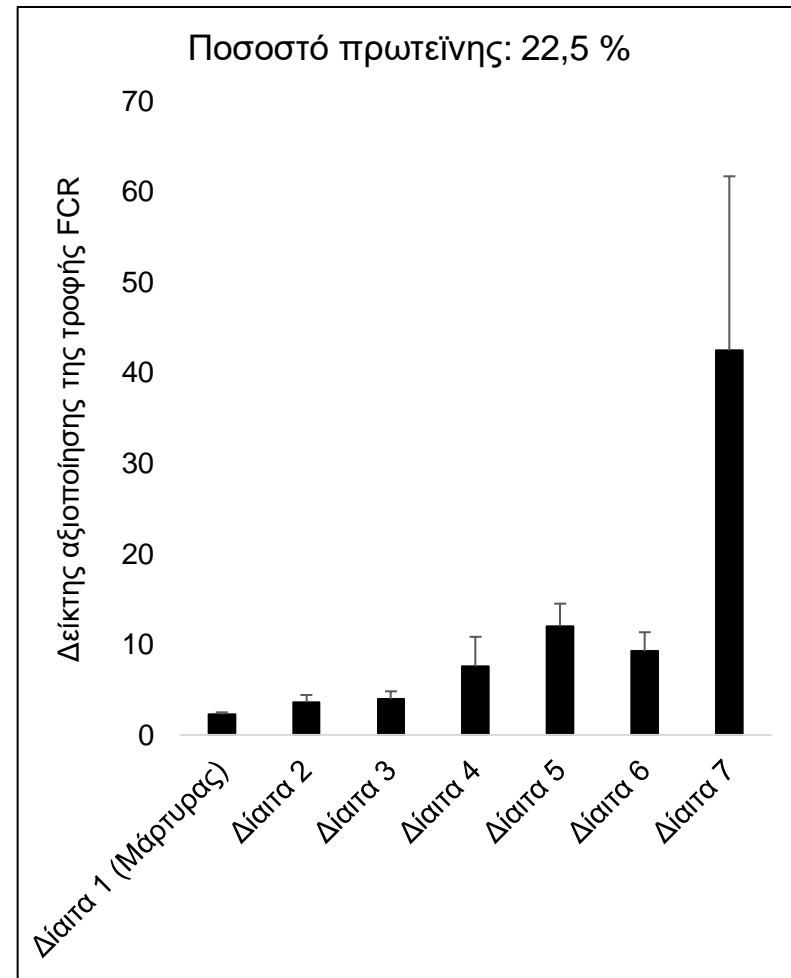
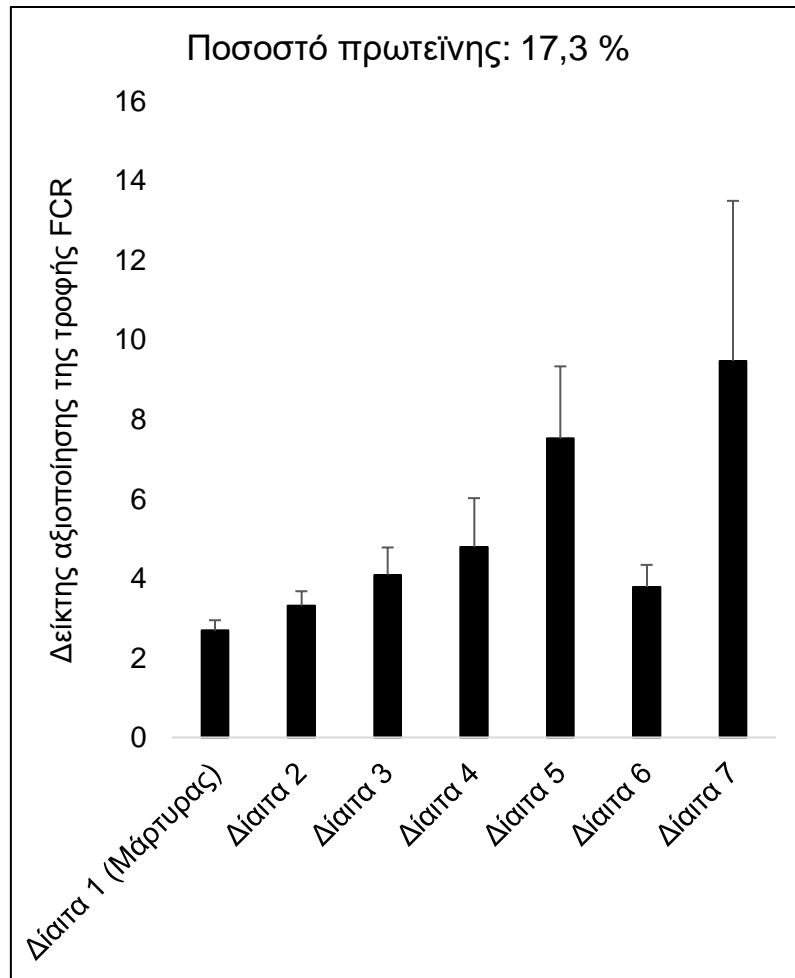
Γράφημα 4 Μέσοι όροι της επιβίωσης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6).



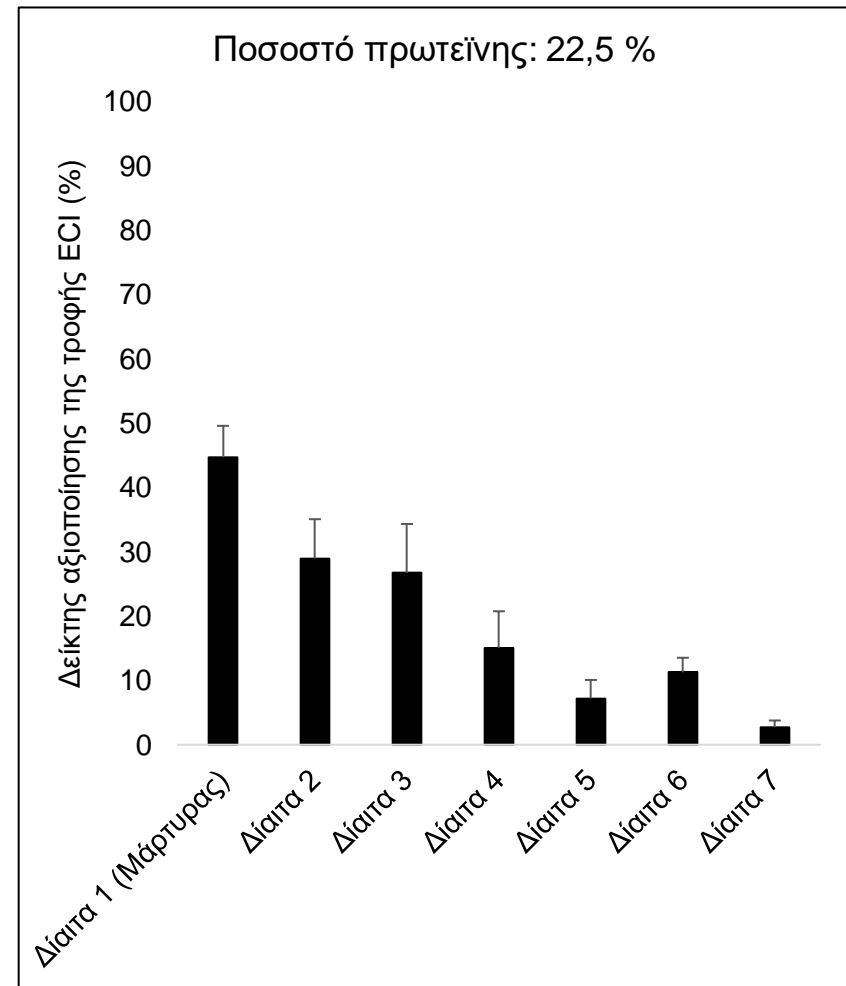
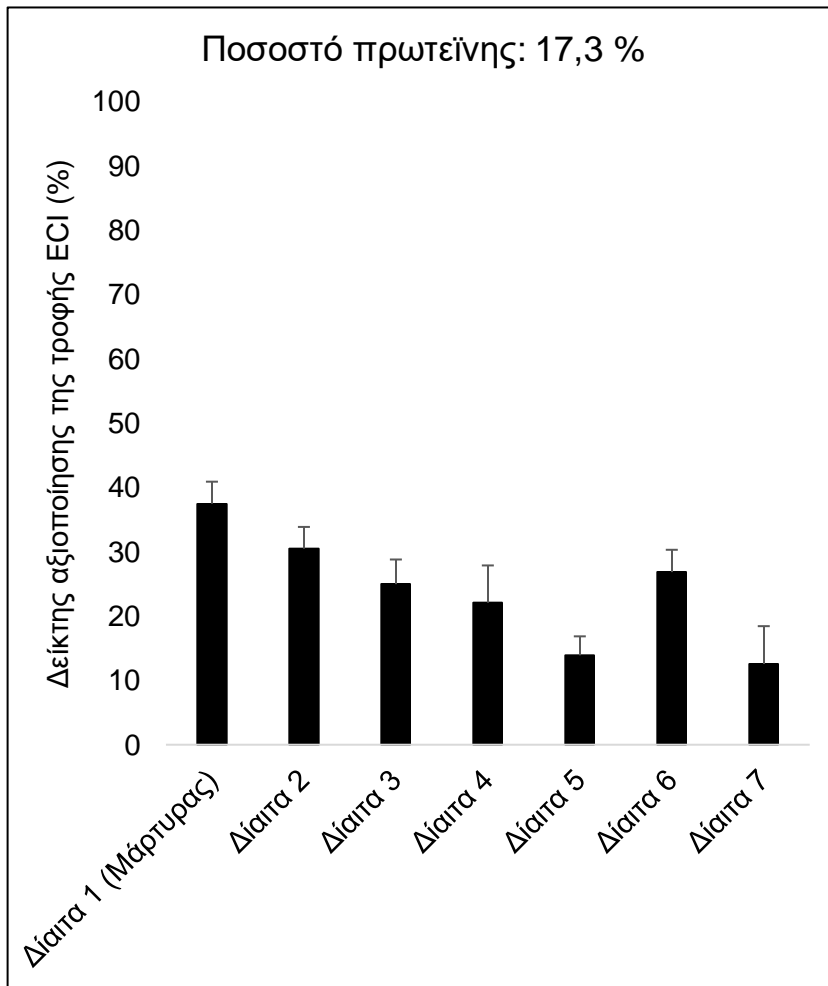
Γράφημα 5 Μέσοι όροι του χρόνου ανάπτυξης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3% (n=6).



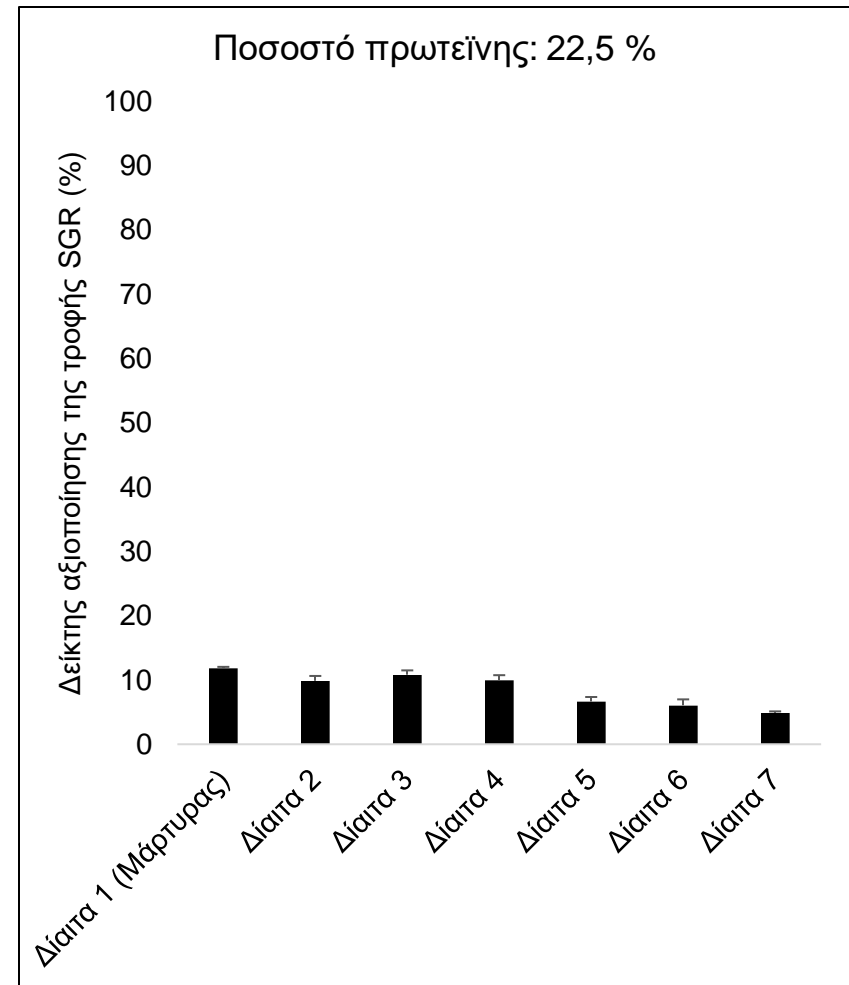
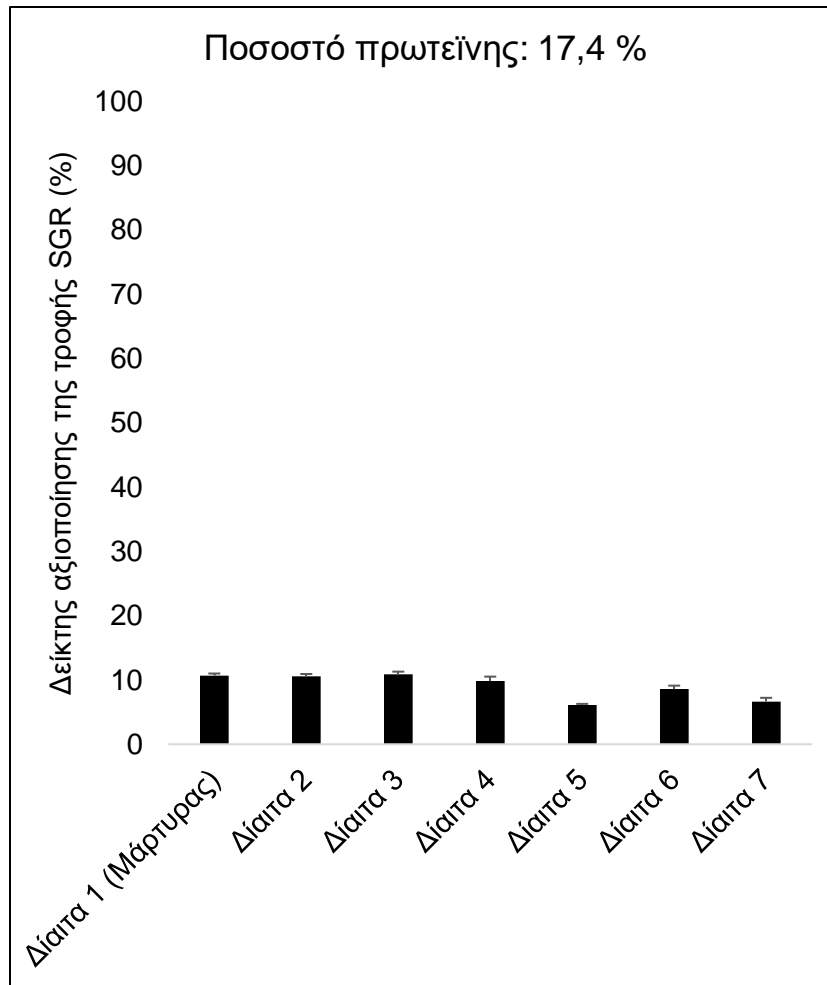
Γράφημα 6 Μέσοι όροι του χρόνου ανάπτυξης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5% (n=6).



Γράφημα 7 Μέσοι όροι του δείκτη αξιοποίησης της τροφής FCR των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες καταγράφονταν με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3% και 22,5% (n=6).



Γράφημα 8 Μέσοι όροι του δείκτη αξιοποίησης της τροφής ECI των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες καταγράφονταν με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3 και 22,5% (n=6).



Γράφημα 9 Μέσοι όροι του δείκτη αξιοποίησης της τροφής SGR των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες καταγράφονταν με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3 και 22,5% (n=6).

Πίνακας 4 Μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Ατομικό βάρος προνυμφών (mg) – Ποσοστό πρωτεΐνης: 17.3%					
	Εβδομάδα 0	Εβδομάδα 2	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8
Δίαιτα 1 (μάρτυρας)	1,06 ± 0,05	6,73 ± 0,95 a	37,14 ± 1,73 a	107,79 ± 5,85 a	132,59 ± 11,98 a
Δίαιτα 2	1,07 ± 0,06	5,52 ± 0,54 ab	34,49 ± 3,73 a	103,65 ± 5,25 a	142,30 ± 4,83 a
Δίαιτα 3	1,08 ± 0,06	6,30 ± 0,42 a	38,13 ± 2,49 a	91,31 ± 42,71 ab	142,41 ± 13,59 a
Δίαιτα 4	0,91 ± 0,14	4,08 ± 1,17 bc	23,95 ± 7,70 b	81,74 ± 17,22 ab	129,32 ± 17,43 a
Δίαιτα 5	0,96 ± 0,13	3,92 ± 0,85 c	13,60 ± 2,65 cd	33,65 ± 3,00 c	84,74 ± 6,12 b
Δίαιτα 6	1,07 ± 0,15	4,61 ± 0,87 bc	19,73 ± 2,78 bc	62,34 ± 4,46 bc	101,19 ± 5,48 b
Δίαιτα 7	1,03 ± 0,14	3,34 ± 0,49 c	10,47 ± 2,47 d	37,38 ± 6,18 c	94,56 ± 13,62 b

Πίνακας 5 Μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Ατομικό βάρος προνυμφών (mg) – Ποσοστό πρωτεΐνης: 22.5%					
	Εβδομάδα 0	Εβδομάδα 2	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8
Δίαιτα 1 (μάρτυρας)	0,95 ± 0,12	7,62 ± 1,99 a	52,32 ± 10,92 a	128,20 ± 6,61 b	128,20 ± 6,61 a
Δίαιτα 2	0,95 ± 0,13	4,30 ± 0,81 b	23,52 ± 8,95 bc	97,85 ± 13,38 a	133,51 ± 15,87 a
Δίαιτα 3	0,91 ± 0,08	4,40 ± 0,89 b	28,44 ± 5,41 b	97,67 ± 9,21 a	136,82 ± 17,47 a
Δίαιτα 4	1,00 ± 0,10	3,92 ± 1,18 b	22,31 ± 7,96 bc	83,16 ± 20,21 a	132,73 ± 10,70 a
Δίαιτα 5	0,93 ± 0,14	3,14 ± 0,74 b	9,17 ± 2,19 d	27,70 ± 8,55 cd	69,21 ± 3,20 b
Δίαιτα 6	0,99 ± 0,16	3,98 ± 0,84 b	14,09 ± 3,86 cd	43,74 ± 4,81 bc	55,03 ± 5,27 bc
Δίαιτα 7	0,94 ± 0,14	2,57 ± 0,47 b	6,35 ± 1,64 d	20,78 ± 5,15 d	39,97 ± 1,94 c

Πίνακας 6 Μέσοι όροι του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) – Ποσοστό πρωτεΐνης: 17.3%					
	Εβδομάδα 0	Εβδομάδα 2	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8
Δίαιτα 1 (μάρτυρας)	100,0 ± 0,0	92,3 ± 4,3 ab	82,0 ± 9,2 a	75,7 ± 8,4 ab	72,0 ± 8,2 ab
Δίαιτα 2	100,0 ± 0,0	94,3 ± 2,3 a	86,0 ± 4,9 a	79,3 ± 6,0 a	78,3 ± 5,7 a
Δίαιτα 3	100,0 ± 0,0	95,0 ± 2,5 a	78,0 ± 11,1 ab	73,3 ± 12,4 ab	70,7 ± 11,1 abc
Δίαιτα 4	100,0 ± 0,0	84,7 ± 7,9 b	61,3 ± 13,8 b	55,7 ± 12,9 b	54,0 ± 12,8 bc
Δίαιτα 5	100,0 ± 0,0	93,3 ± 5,6 a	76,7 ± 9,8 ab	67,7 ± 10,5 ab	63,3 ± 13,3 abc
Δίαιτα 6	100,0 ± 0,0	99,0 ± 2,5 a	86,3 ± 9,4 a	80,0 ± 11,2 a	77,7 ± 12,0 a
Δίαιτα 7	100,0 ± 0,0	96,7 ± 2,7 a	73,3 ± 13,5 ab	54,7 ± 17,7 b	50,0 ± 17,5 c

Πίνακας 7 Μέσοι όροι του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 7 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) – Ποσοστό πρωτεΐνης: 22.5%					
	Εβδομάδα 0	Εβδομάδα 2	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8
Δίαιτα 1 (μάρτυρας)	100,0 ± 0,0	91,7 ± 6,1 ab	82,0 ± 6,9 a	81,0 ± 10,2 a	81,0 ± 10,2 a
Δίαιτα 2	100,0 ± 0,0	90,3 ± 6,0 ab	71,7 ± 8,2 a	65,3 ± 10,9 ab	65,0 ± 10,9 ab
Δίαιτα 3	100,0 ± 0,0	92,7 ± 4,3 ab	78,0 ± 11,9 a	70,3 ± 13,8 a	67,3 ± 13,8 ab
Δίαιτα 4	100,0 ± 0,0	78,7 ± 6,8 c	51,3 ± 16,1 b	42,3 ± 19,2 bc	40,7 ± 19,0 cd
Δίαιτα 5	100,0 ± 0,0	90,7 ± 7,8 ab	62,0 ± 7,2 ab	43,0 ± 14,8 bc	38,3 ± 12,4 cd
Δίαιτα 6	100,0 ± 0,0	94,0 ± 4,0 a	74,7 ± 15,6 a	60,0 ± 10,2 ab	56,3 ± 12,2 bc
Δίαιτα 7	100,0 ± 0,0	82,3 ± 7,8 bc	47,0 ± 8,2 b	24,7 ± 8,9 c	22,3 ± 8,4 d

Πίνακας 8 Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (F=49,4 P<0,001), τελικό ατομικό βάρος προνυμφών κατά τη συγκομιδή (F=22,3 P<0,001) καθώς και οι δείκτες FCR (F=11,75 P<0,001) SGR (F=102,6 P<0,001) και ECI (F=25,9 P<0,001) των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05) (n=6).

Συγκομιδή προνυμφών, χρόνος ανάπτυξης και δείκτες αξιοποίησης τροφής – Ποσοστό πρωτεΐνης: 17.3%					
	Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες)	Τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg)	Δείκτης αξιοποίησης της τροφής (FCR)	Δείκτης αξιοποίησης της τροφής (SGR) (%)	Δείκτης αξιοποίησης της τροφής ECI (%)
Δίαιτα 1	45,2 ± 2,0 a	132,59 ± 11,98 a	2,7 ± 0,3 a	10,7 ± 0,3 a	37,5 ± 3,4 a
Δίαιτα 2	46,3 ± 1,7 ab	142,30 ± 4,83 a	3,3 ± 0,4 a	10,6 ± 0,4 ab	30,5 ± 3,4 ab
Δίαιτα 3	45,2 ± 2,0 a	142,41 ± 13,59 a	4,1 ± 0,7 a	10,8 ± 0,5 a	25,0 ± 3,8 bc
Δίαιτα 4	50,8 ± 5,0 ab	129,32 ± 17,43 a	4,8 ± 1,2 ab	9,8 ± 0,7 b	22,1 ± 5,8 c
Δίαιτα 5	73,5 ± 0,5 c	84,74 ± 6,12 b	7,5 ± 1,8 bc	6,1 ± 0,2 d	13,9 ± 2,9 d
Δίαιτα 6	53,5 ± 2,7 b	101,19 ± 5,48 b	3,8 ± 0,6 a	8,5 ± 0,6 c	26,8 ± 3,5 bc
Δίαιτα 7	68,3 ± 7,2 c	94,56 ± 13,62 b	9,5 ± 4,0 c	6,7 ± 0,6 d	12,5 ± 5,9 d

Πίνακας 9 Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (F=33,1 P<0,001), τελικό ατομικό βάρος προνυμφών κατά τη συγκομιδή (F=84,1 P<0,001) καθώς και οι δείκτες FCR (F=16,9 P<0,001) SGR (F=96,6 P<0,001) και ECI (F=54,6 P<0,001) των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5%. Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05) (n=6).

Συγκομιδή προνυμφών, χρόνος ανάπτυξης και δείκτες αξιοποίησης τροφής – Ποσοστό πρωτεΐνης: 22.5%					
	Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες)	Τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg)	Δείκτης αξιοποίησης της τροφής (FCR)	Δείκτης αξιοποίησης της τροφής (SGR) (%)	Δείκτης αξιοποίησης της τροφής (ECI) (%)
Δίαιτα 1	41,5 ± 0,5 a	128,20 ± 6,61 a	2,3 ± 0,2 a	11,8 ± 0,2 a	44,7 ± 4,9 a
Δίαιτα 2	50,5 ± 4,7 a	133,51 ± 15,87 a	3,6 ± 0,8 a	9,9 ± 0,8 b	29,0 ± 6,1 b
Δίαιτα 3	46,5 ± 3,5 a	136,82 ± 17,47 a	3,9 ± 0,9 a	10,8 ± 0,7 ab	26,7 ± 7,6 b
Δίαιτα 4	49,5 ± 3,9 a	132,73 ± 10,70 a	7,6 ± 3,2 a	9,9 ± 0,8 b	15,1 ± 5,7 c
Δίαιτα 5	65,8 ± 8,1 b	69,21 ± 3,20 b	12,7 ± 2,5 a	6,6 ± 0,7 c	7,2 ± 2,9 cd
Δίαιτα 6	67,7 ± 7,9 bc	55,03 ± 5,27 bc	9,2 ± 2,1 a	6,1 ± 0,9 cd	11,3 ± 2,3 cd
Δίαιτα 7	76,8 ± 1,8 c	39,97 ± 1,94 c	42,5 ± 19,2 c	4,9 ± 0,2 d	2,7 ± 1,0 d

4.2. Συγκριτική αξιολόγηση ανάπτυξης προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας

Στον Πίνακας 10 και στο Γράφημα 10 παρουσιάζονται τα **ατομικά βάρη** των προνυμφών του είδους *T. molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 4 ισοπρωτεϊνικές δίαιτες, με ποσοστό πρωτεΐνης **17,3%**. Στο Γράφημα 10 φαίνεται ότι το ατομικό βάρος των προνυμφών ακολούθησε μια ανοδική πορεία. Με το πέρας 2 εβδομάδων το ατομικό βάρος των προνυμφών αυξήθηκε στα 3,6 έως 11,8 mg. Το υψηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 1 (11,8 mg) στη δίαιτα 2 (8,6 mg) και στη δίαιτα 3 (7,5 mg) ενώ το χαμηλότερο για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 7 (3,6 mg). Με το πέρας 4 εβδομάδων το ατομικό βάρος των προνυμφών για όλες τις δίαιτες κυμάνθηκε από 5,7 έως 54,0 mg. Οι υψηλότερες τιμές να καταγράφηκαν για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 1 (μάρτυρας) (54,0 mg) και στη δίαιτα 3 και 2 (32,0 και 29,6 mg, αντίστοιχα), ενώ η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε για τη δίαιτα 7 (5,7 mg). Στις 6 εβδομάδες το ατομικό βάρος των προνυμφών για όλες τις δίαιτες κυμάνθηκε από 12,3 έως 100,5 mg. Οι δίαιτα 1 (μάρτυρας) (100,5 mg), η δίαιτα 2 (73,5 mg) και η δίαιτα 3 (62,6 mg) έφεραν τις προνύμφες με τα υψηλότερα ατομικά βάρη. Αντιθέτως, η δίαιτα 7 (12,3 mg) έφερε τις προνύμφες με τα χαμηλότερα ατομικά βάρη.

Με το πέρας των 7 εβδομάδων καταγράφηκε η τελευταία μέτρηση στις δίαιτες 1 (μάρτυρας) και 2 καθώς εμφανίσθηκε η πρώτη νύμφη. Στο χρονικό διάστημα των 7 εβδομάδων το ατομικό βάρος των προνυμφών για τις δίαιτες 2 και 1 (μάρτυρας) κυμάνθηκε από 95,6 έως 113,3 mg, αντίστοιχα. Στη δίαιτα 3 η πρώτη νύμφη εμφανίσθηκε την εβδομάδα 8 και το τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών που καταγράφηκε ήταν 97,5 mg, ενώ στη δίαιτα 7 η εμφάνιση της πρώτης νύμφης καταγράφηκε την 10^η εβδομάδα και το τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών που καταγράφηκε ήταν 27,7 mg. Για τα τελικά ατομικά βάρη των προνυμφών σε όλες τις δίαιτες, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακας 11. Πιο συγκεκριμένα, το υψηλότερο ατομικό βάρος καταγράφηκε για τις προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν στις

δίαιτες 2 (95,6 mg) και 3 (97,5 mg), ενώ το χαμηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών καταγράφηκε για τις προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν στη δίαιτα 7 (27,7 mg).

Στον Πίνακα 11 και στο Γράφημα 11 παρουσιάζονται επίσης τα **τελικά συνολικά βάρη** των προνυμφών κατά τη συγκομιδή τους για τις 4 δίαιτες που εξετάστηκαν. Τα συνολικά βάρη των προνυμφών κατά τη συγκομιδή κυμάνθηκαν από 410,2 g έως 910,0 g. Πιο συγκεκριμένα για τη δίαιτα 1 (μάρτυρας) καθώς και για τη δίαιτα 2 (895,2 και 910 g, αντίστοιχα) καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικότερα υψηλότερα συνολικά βάρη προνυμφών. Ακολούθησε η δίαιτα 3 (753,6 g), ενώ για τη δίαιτα 7 καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικότερα υψηλότερα συνολικά βάρη προνυμφών (410,2 g).

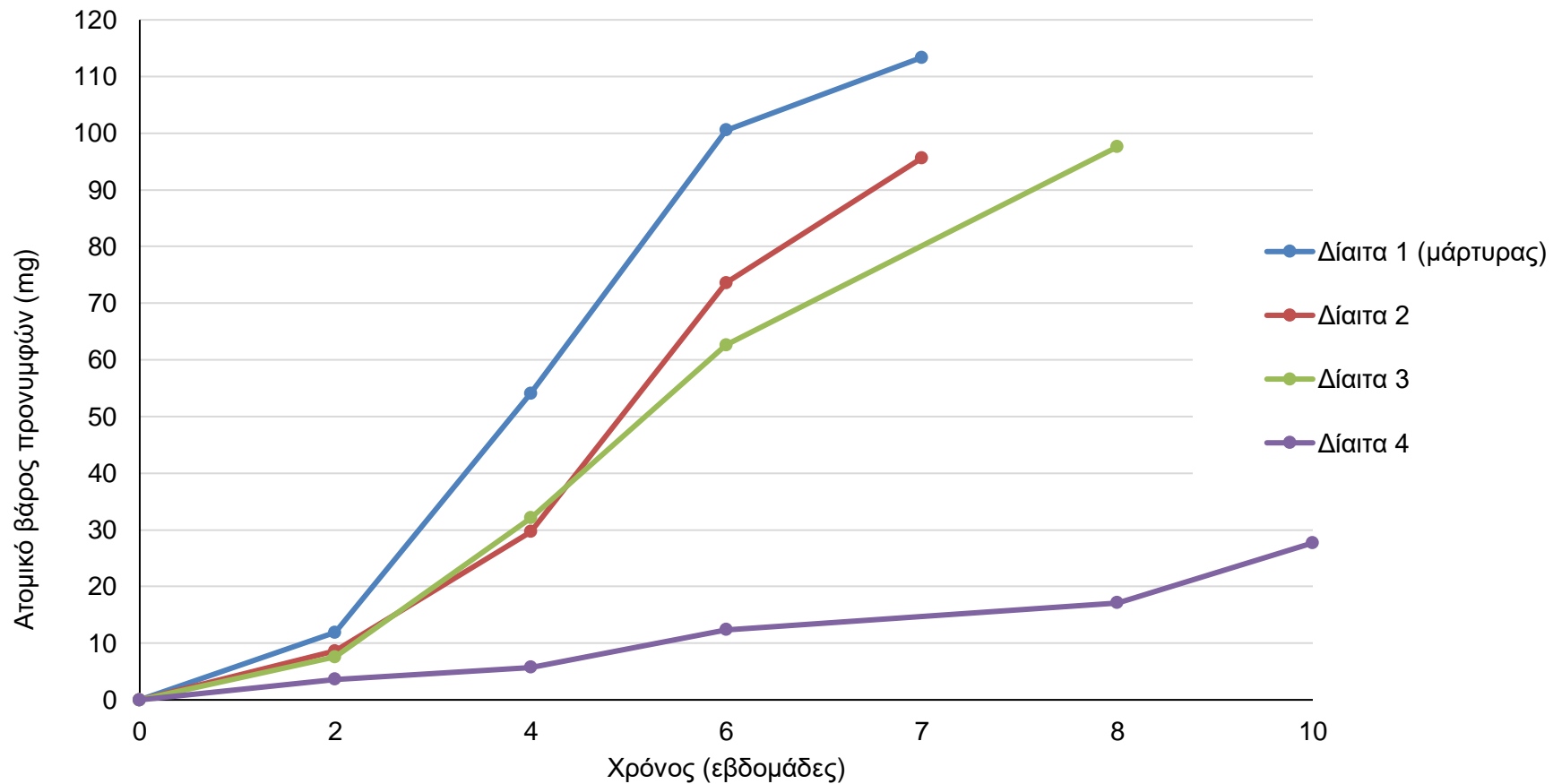
Όσον αφορά τον **δείκτη αξιοποίησης** της συνολική τροφή η οποία προστέθηκε προς το βάρος το οποίο τελικά κερδήθηκε (FCR). Για όλες τις δίαιτες ο δείκτης FCR κυμάνθηκε από 1,7 έως 3,7 , ενώ καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαιτών (Γράφημα 12).

Πίνακας 10 Μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 4 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=3).

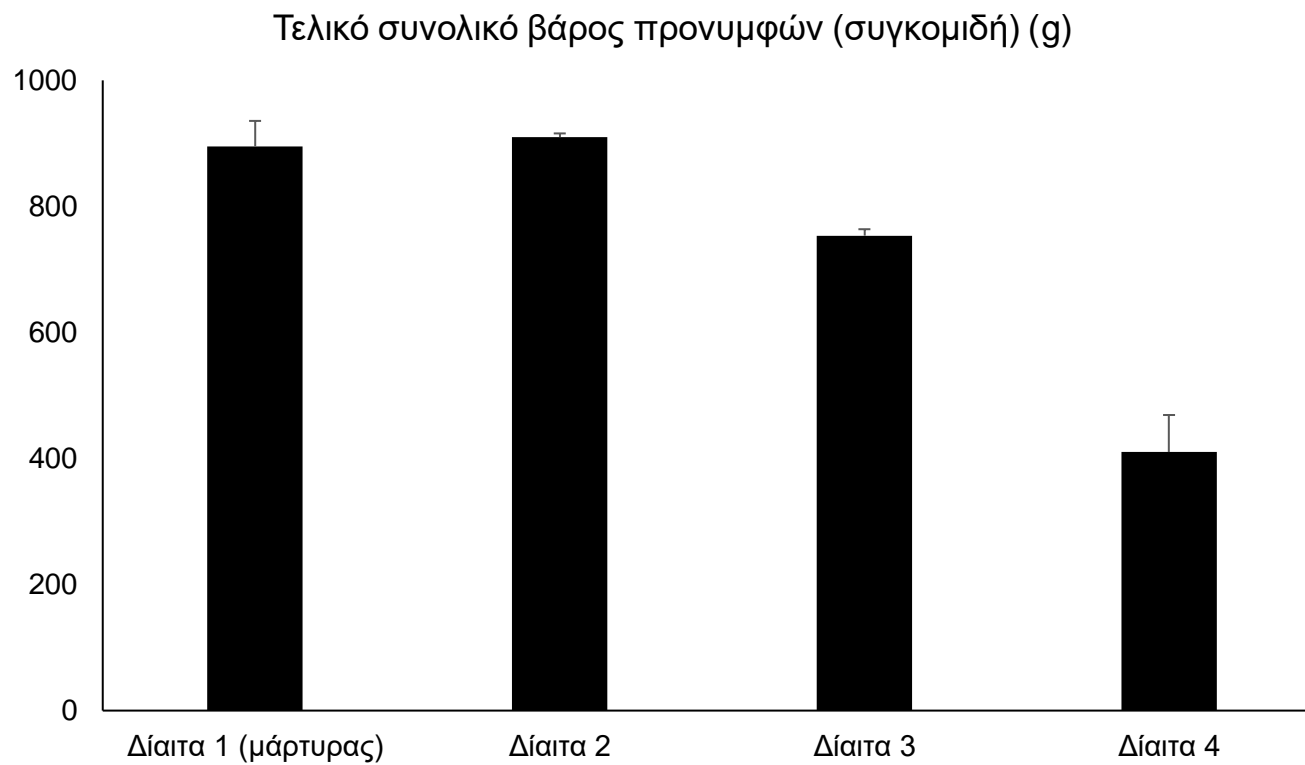
Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) – Ποσοστό πρωτεΐνης: 17,3%						
	Εβδομάδα 2	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 7	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 10
Δίαιτα 1 (μάρτυρας)	11,87 ± 0,49	54,09 ± 2,40	100,51 ± 3,45	113,36 ± 1,64		
Δίαιτα 2	8,61 ± 0,78	29,64 ± 1,81	73,58 ± 1,49	95,60 ± 2,44		
Δίαιτα 3	7,55 ± 0,19	32,08 ± 1,71	62,62 ± 3,32		97,58 ± 2,89	
Δίαιτα 7	3,60 ± 1,30	5,74 ± 0,80	12,35 ± 1,33		17,14 ± 2,15	27,70 ± 4,48

Πίνακας 11 Τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (συγκομιδή) (F=86.4, P<0.001), τελικό ατομικό βάρος προνυμφών κατά τη συγκομιδή (F=438.5, P<0.001) και δείκτης FCR (F=68.6 P<0.001) των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05) (n=3).

Συγκομιδή προνυμφών και Δείκτες αξιοποίησης τροφής – Ποσοστό πρωτεΐνης: 17.3%			
	Τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (συγκομιδή) (g)	Τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg)	Δείκτης αξιοποίησης της τροφής (FCR)
Δίαιτα 1	895,27 ± 40,40 a	113,36 ± 1,64 a	2,29 ± 0,12 b
Δίαιτα 2	910,07 ± 5,73 a	95,60 ± 2,44 b	2,09 ± 0,02 ab
Δίαιτα 3	753,6 ± 10,20 b	97,58 ± 2,89 b	1,79 ± 0,10 a
Δίαιτα 7	410,2 ± 58,83 c	27,70 ± 4,48 c	3,74 ± 0,33 c

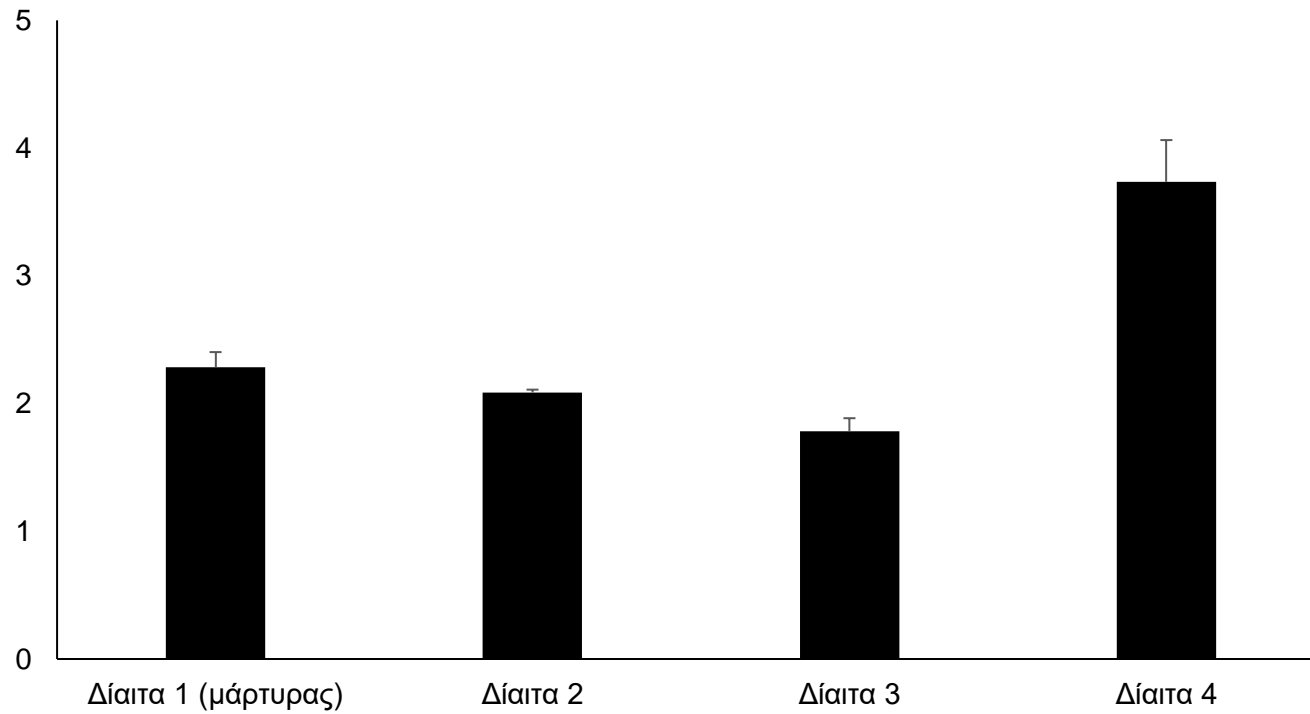


Γράφημα 10 Μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 4 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=3).



Γράφημα 11 Μέσοι όροι του συνολικού βάρους των προνυμφών (συγκομιδή) του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 4 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=3).

Δείκτης αξιοποίησης της τροφής (FCR)



Γράφημα 12 Μέσοι όροι του συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής FCR του *Tenebrio molitor* οι οποίες αναπτύχθηκαν σε 4 διαφορετικές δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3%. Η καταγραφή λάμβανε χώρα κάθε 2 εβδομάδες (n=3).

5. Συζήτηση

Η βελτιστοποίηση της διατροφής των εντόμων καθώς και η βελτίωση των συνθηκών εκτροφής τους έχουν προσελκύσει τεράστια προσοχή (Morales-Ramos et al., 2020; Rumbos et al., 2020). Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, δίαιτες που περιλαμβάνουν διαφορετικά αγροτικά υποπροϊόντα και η αξιολόγηση των δυνατοτήτων τους ως τροφή για τις προνύμφες του αλευροσκώληκα έχουν μελετηθεί εκτενώς (Harsányi et al., 2020; Oonincx et al., 2015; Ruschioni et al., 2020; van Broekhoven et al., 2015). Τα αποτελέσματά των ερευνών έδειξαν πως παραπροϊόντα λαχανικών, ελαιοκομίας, μελάσας τεύτλων, φλούδες πατάτας, αλλοιωμένα δημητριακά, μαγιά μπύρας καθώς και υπολείμματα ψωμιού και μπισκότων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για το *T. molitor* και να ευνοήσουν την ανάπτυξή του. Στην πρώτη βιοδοκιμή της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας καλύτερη ανάπτυξη παρατηρήθηκε στις προνύμφες που τράφηκαν με δίαιτες που περιείχαν συνδυασμούς από παραπροϊόντα της παραγωγής του λούπινου, της βρώμης, του τριτικάλε και του κριθαριού. Παρά το γεγονός ότι οι δίαιτές μας ήταν ισοπρωτεϊνικές και θα περιμέναμε να δούμε παρόμοια αποτελέσματα στην ανάπτυξη των εντόμων (Jensen et al., 2017) υπήρξαν δίαιτες στις οποίες η ανάπτυξη των προνυμφών ήταν χαμηλή. Το κοινό στοιχείο αυτών των διαιτών ήταν το παραπροϊόν της παραγωγής του μπιζελιού. Σύμφωνα με τους (Sylwia et al., 2006) το μπιζέλι περιέχει σαπωνίνες οι οποίες είναι ενώσεις με εντομοαπωθητική και εντομοκτόνο δράση. Στο είδος *Acyrtosiphon pisum* (αφίδα μηδικής) η οποία τρέφονταν με μπιζέλι υψηλής περιεκτικότητας σε σαπωνίνη παρατηρήθηκε μείωση της αναπαραγωγής και της επιβίωσης των ατόμων του πληθυσμού της. Επιπλέον, σε αντίθεση με τα αναμενόμενα αποτελέσματα, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της πρωτεΐνης, τόσο καλύτερη η ανάπτυξη των εντόμων (Han & Dingemans, 2017), καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν οι ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με τη χαμηλότερη πρωτεΐνη (17,3%), όσον αφορά στο τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών. Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, οι (van Broekhoven et al., 2015) υποστηρίζουν ότι δίαιτες που περιείχαν υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης οδήγησαν σε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την ανάπτυξη και την επιβίωση των εντόμων. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι για να αξιολογήσουμε την καταλληλότητα της τροφής δεν αρκεί μόνο η ύπαρξη της πληροφορίας για την περιεκτικότητα της πρωτεΐνης της εκάστοτε δίαιτας, αλλά θα πρέπει να προσδιορίζονται και άλλοι παράγοντες, όπως τα

είδη των αμινοξέων, η περιεκτικότητα των λιπαρών οξέων, καθώς και των βιταμινών και των ιχνοστοιχείων της επιλεγμένης δίαιτας (Cohen, 2015). Τα αποτελέσματα της πρώτης βιοδοκιμής της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας έδειξαν επίσης ότι ορισμένοι δείκτες μετατρεψιμότητας της τροφής, επηρεάστηκαν και αυτοί από το είδος της δίαιτας στο οποίο αναπτύχθηκαν οι προνύμφες. Πιο συγκεκριμένα, για τις προνύμφες των οποίων η εκτροφή έγινε σε δίαιτες με επίπεδο πρωτεΐνης 17,3 %, ο δείκτης FCR βρέθηκε να είναι καλύτερος σε δίαιτες που περιείχαν λούπινο, τριτικάλε και βρώμη (δίαιτες 2 και 3). Υψηλό FCR βρέθηκε και στη δίαιτα 6 η οποία περιείχε βρώμη αλλά και μπιζέλι σε χαμηλό ποσοστό. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι παρά το γεγονός ότι το μπιζέλι δε συμβάλλει στην άριστη ανάπτυξη των προνυμφών όταν βρίσκεται σε μια δίαιτα, εντούτοις σε χαμηλά ποσοστά μπορεί να καταναλωθεί πλήρως από τις προνύμφες. Για τις προνύμφες των οποίων η εκτροφή έγινε σε δίαιτες με επίπεδο πρωτεΐνης 22,5%, ο δείκτης FCR βρέθηκε να είναι καλύτερος σε δίαιτες που περιείχαν λούπινο, τριτικάλε και βρώμη (δίαιτες 2 και 3). Όσον αφορά το χρόνο ανάπτυξης των εντόμων, ταχύτερη ανάπτυξη καταγράφηκε για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες 2, 3, 4 και 6 με επίπεδο πρωτεΐνης 17,3% και στις δίαιτες 2, 3 και 4 με επίπεδο πρωτεΐνης 22,5%. Στα συγκεκριμένα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι δίαιτες που περιείχαν παραπροϊόντα της παραγωγής του λούπινου, της βρώμης, του τριτικάλε και του κριθαριού έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον, η δίαιτα 6 η οποία περιείχε παραπροϊόν μπιζελιού σε χαμηλό ποσοστό έδωσε και αυτή εξίσου καλά αποτελέσματα. Η δεύτερη βιοδοκιμή της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας επικεντρώθηκε στην επιλογή ορισμένων διαιτών τις πρώτης βιοδοκιμής προς αξιολόγησή τους σε εκτροφή προνυμφών μεγάλης κλίμακας. Καθώς η παραγωγή του είδους *T. molitor* οδεύει προς την μαζική εκτροφή, βασικός στόχος της δεύτερης βιοδοκιμής ήταν η διαπίστωση του κατά πόσο τα δεδομένα που παράγονται για την ανάπτυξη των προνυμφών του είδους *T. molitor* σε εργαστηριακή κλίμακα, συμπίπτουν με τα αντίστοιχα δεδομένα που παράγονται σε μια εκτροφή μεγάλης κλίμακας. Η σημαντικότητα ύπαρξης δεδομένων παραγωγής των προνυμφών του είδους *T. molitor* σε μεγάλη κλίμακα είναι εμφανής καθώς σύμφωνα με έρευνα του IPIFF (2021) οι επενδύσεις σχετικά με την εκτροφή εντόμων έχουν ξεπεράσει το 1 δισεκατομμύριο σε ευρώ. Επίσης, σύμφωνα με τους (Smetana et al., 2019) προϊόντα προερχόμενα από έντομα αναμένεται να αντικαταστήσουν το σογιάλευρο καθώς και τα ιχθυάλευρα ως πηγή πρωτεΐνης στις ζωοτροφές. Μέχρι το έτος 2030 μάλιστα είναι πιθανό η ζήτηση για προϊόντα προερχόμενα από έντομα να αυξηθεί στους 50.000 τόνους το χρόνο (Rabobank, 2021). Παρ' όλα αυτά, η παραγωγή εντόμων σε εμπορική κλίμακα δεν είναι

δυνατόν να καλύψει τις προαναφερθείσες ανάγκες. Είναι λοιπόν σημαντικό η έρευνα όσον αφορά το κομμάτι της βελτιστοποίησης της εκτροφής εντόμων να επικεντρωθεί στην παραγωγή δεδομένων για τη μαζική εκτροφή των εντόμων. Όσον αφορά τον αριθμό των εργοστασίων που θα πρέπει να δημιουργηθούν ώστε να καλυφθεί η προβλεπόμενη ζήτηση σε παραπροϊόντα εντόμων, αυτά πρέπει να ανέλθουν στα 1.000 έως 1.500 εργοστάσια (van Huis et al., 2015). Τα αποτελέσματα της δεύτερης βιοδοκιμής έδειξαν ότι οι προνύμφες του είδους *T. molitor* αναπτύχθηκαν καλύτερα σε παραπροϊόντα της παραγωγής του λούπινου, του τριτικάλε και της βρώμης, ενώ δεν αναπτύχθηκαν τόσο καλά στη δίαιτα που περιείχε κριθάρι και μπιζέλι, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα της πρώτης βιοδοκιμής. Αποτελέσματα που αφορούν το τελικό συνολικό βάρος των προνυμφών (συγκομιδή) αποτελούν χρήσιμα δεδομένα για την παραγωγή εντόμων σε μεγάλες ποσότητες. Στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή βρέθηκε ότι εκτρέφοντας τις προνύμφες με δίαιτες που περιέχουν παραπροϊόντα της παραγωγής του λούπινου, του τριτικάλε και της βρώμης είναι δυνατόν να συγκομισθούν από 750 έως 900 g προνυμφών, ενώ εκτρέφοντας τις προνύμφες με δίαιτες που περιέχουν παραπροϊόντα της παραγωγής του μπιζελιού το βάρος των συγκομιζόμενων προνυμφών ανέρχεται μόλις στα 400 g. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας αποδεικνύουν ότι δίαιτες αποτελούμενες από αγροτικά παραπροϊόντα είναι δυνατόν να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των προνυμφών του είδους *T. molitor*. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους οι οποίες μελετήθηκαν στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, οι δίαιτες 2, 3 και 4 με ποσοστό πρωτεΐνης 17,3% καθώς και οι αντίστοιχες δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 22,5% είναι δυνατόν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή των προνυμφών του είδους *T. molitor*.

6. Βιβλιογραφικές αναφορές

Adamaki-Sotiraki, C., Rumbos, C. I., & Athanassiou, C. G. (2022). Developmental plasticity among strains of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L., under dry conditions. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(3), 281-288.

<https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0087>

Aiking, H. (2011). Future protein supply. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2), 112–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.005>

Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 35–50.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>

Bava, L., Jucker, C., Gislou, G., Lupi, D., Savoldelli, S., Zucali, M., & Colombini, S. (2019). Rearing of *Hermetia illucens* on Different Organic By-Products: Influence on Growth, Waste Reduction, and Environmental Impact. *Animals*, 9(6), 289.

<https://doi.org/10.3390/ani9060289>

Bernauer, O. M., Tierney, S. M., & Cook, J. M. (2022). Efficiency and effectiveness of native bees and honey bees as pollinators of apples in New South Wales orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 337, 108063.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108063>

Bjørge, J. D., Overgaard, J., Malte, H., Gianotten, N., & Heckmann, L.-H. (2018). Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology*, 107, 89–96.

<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2018.02.010>

Bordiean, A., Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., Czachorowski, S., & Peni, D. (2020). Will yellow mealworm become a source of safe proteins for Europe? *Agriculture*, 10(6), 233.

<https://doi.org/10.3390/agriculture10060233>

Cohen, A. C. (2015). *Insect Diets*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18562>

Crittenden, A. N. (2011). The importance of honey consumption in human evolution. *Food and Foodways*, 19(4), 257–273. <https://doi.org/10.1080/07409710.2011.630618>

Drnevich, J. M., Papke, R. S., Rauser, C. L., & Rutowski, R. L. (2001). Material benefits from multiple mating in female mealworm beetles (*Tenebrio molitor* L.). *Journal of Insect Behavior*, 14(2), 215–230. <https://doi.org/10.1023/A:1007889712054>

European Union. (2015). COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2017/ 2469 - of 20 December 2017 - laying down administrative and scientific requirements for applications referred to in Article 10 of Regulation (EU) 2015/ 2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods.

European Union. (2021). REGULATION (EU) 2021/882. In Official Journal of the European Union : Vol. L (Issue 194, pp. 16–21).

FAO (2016). Global initiative on food loss and waste reduction. In key facts on food loss and waste you should know; FAO: Rome, Italy, 2016.

Fraenkel, G. (1950). The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Physiological Zoology*, 23(2), 92–108. <https://doi.org/10.1086/physzool.23.2.30152067>

Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle Zotte, A., Danieli, P. P., de Angelis, A., Fortina, R., Marino, R., Parisi, G., Piccolo, G., Pinotti, L., Prandini, A., Schiavone, A., Terova, G., Tulli, F., & Roncarati, A. (2020). Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 360–372. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1743209>

Gerber, D. A. (1975). Book Review. *Urban Education*, 10(1), 109–111. <https://doi.org/10.1177/0042085975101010>

Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Ghaly, A. E., & Alkoaik, F. N. (2009). The yellow mealworm as a novel source of protein. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(4), 319–331. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.319.331>

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(2), 79. <https://doi.org/10.3390/insects11020079>

Grau, T., Vilcinskas, A., & Joop, G. (2017). Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 72(9–10), 337–349. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0033>

Han, C. S., & Dingemans, N. J. (2017). You are what you eat: diet shapes body composition, personality and behavioural stability. *BMC Evolutionary Biology*, 17(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s12862-016-0852-4>

Harsányi, E., Juhász, C., Kovács, E., Huzsvai, L., Pintér, R., Fekete, G., Varga, Z. I., Aleksza, L., & Gyuricza, C. (2020). Evaluation of organic wastes as substrates for rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* larvae as alternative feed supplements. *Insects*, 11(9), 604. <https://doi.org/10.3390/insects11090604>

Iaconisi, V., Marono, S., Parisi, G., Gasco, L., Genovese, L., Maricchiolo, G., Bovera, F., & Piccolo, G. (2017). Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality traits of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). *Aquaculture*, 476, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.007>

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, I. (2016). *Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3402857>

IPIFF (2021). An overview of the European market of insects as feed IPIFF. Retrieved from: <https://ipiff.org/publications-position-papers/>

Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L. H., & Sørensen, J. G. (2017). Breeding and maintaining high-quality insects. *Insects as food and feed: from production to consumption*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 175-198.

Kauppi, S.-M., Pettersen, I. N., & Boks, C. (2019). Consumer acceptance of edible insects and design interventions as adoption strategy. *International Journal of Food Design*, 4(1), 39–62. https://doi.org/10.1386/ijfd.4.1.39_1

Kim, A.-Y., Park, J. W., Kang, S.-K., Jeong, C. Y., Kim, N.-S., Kim, K.-Y., & Koh, Y. H. (2023). Development of spectrophotometric quality analysis protocols for determining the purity of two silkworm products with different health-promoting effects. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 26(1), 102029. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.102029>

Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L. G., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A.-M., Kremen, C., M'Gonigle, L. K., Rader, R., Ricketts, T. H., Williams, N. M., Lee Adamson, N., Ascher, J. S., Báldi, A., Batáry, P., Benjamin, F., Biesmeijer, J. C., Blitzer, E. J., ... Potts, S. G. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications*, 6(1), 7414. <https://doi.org/10.1038/ncomms8414>

Kuan, Z.-J., Chan, B. K.-N., & Gan, S. K.-E. (2022). Worming the Circular Economy for Biowaste and Plastics: *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, and *Zophobas morio*. *Sustainability*, 14(3), 1594. <https://doi.org/10.3390/su14031594>

Lensvelt, E. J. S., & Steenbekkers, L. P. A. (2014). Exploring consumer acceptance of entomophagy: a survey and experiment in australia and the netherlands. *Ecology of Food and Nutrition*, 53(5), 543–561. <https://doi.org/10.1080/03670244.2013.879865>

Li, L., Teller, S., Clifton, R. J., Jia, X., & Kiick, K. L. (2011). Tunable mechanical stability and deformation response of a resilin-based elastomer. *Biomacromolecules*, 12(6), 2302–2310. <https://doi.org/10.1021/bm200373p>

Lim, H.-S., & Park, G. (2022). Resilin, an insect-derived elastomeric protein, protects dopaminergic neurons in Parkinson disease models. *Neuroscience Letters*, 781, 136667. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neulet.2022.136667>

Masuda, A., Man Lee, J., Miyata, T., Sato, S., Masuda, A., Taniguchi, M., Fujita, R., Ushijima, H., Morimoto, K., Ebihara, T., Hino, M., Kakino, K., Mon, H., & Kusakabe, T. (2023). High yield production of norovirus GII.4 virus-like particles using silkworm pupae and evaluation of their protective immunogenicity. *Vaccine*, 41(3), 766–777. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2022.12.015>

Méndez, J., González, M., Lobo, M. G., & Carnero, A. (2004). Color quality of pigments in cochineals (*Dactylopius coccus*). Geographical origin characterization using multivariate statistical analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1331–1337. <https://doi.org/10.1021/jf0348929>

Meyer-Rochow, V. B. (2019). Insects (and other non-crustacean arthropods) as human food. In *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (pp. 416–421). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22568-7>

Miech, P., Lindberg, J. E., Berggren, Å., Chhay, T., & Jansson, A. (2017). Apparent faecal digestibility and nitrogen retention in piglets fed whole and peeled Cambodian field cricket meal. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(4), 279–288. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0019>

Miśniakiewicz, M., Popek, Stanisław., & Polskie Towarzystwo Towaroznawcze. (2014). *Future trends and challenges in the food sector*. Polish Society of Commodity Science.

Morales-Ramos, J. A., & Rojas, M. G. (2015a). Effect of larval density on food utilization efficiency of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(5), 2259–2267. <https://doi.org/10.1093/jee/tov208>

Morales-Ramos, J. A., Kay, S., Rojas, M. G., Shapiro-Ilan, D. I., & Tedders, W. L. (2015b). Morphometric analysis of instar variation in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 108(2), 146-159.

Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Dossey, A. T., & Berhow, M. (2020). Self-selection of food ingredients and agricultural by-products by the house cricket, *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae): A holistic approach to develop optimized diets. *PLOS ONE*, 15(1), e0227400. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227400>

Nsevolo Miankeba, P., Taofic, A., Kiatoko, N., Mutiaka, K., Francis, F., & Caparros Megido, R. (2022). Protein content and amino acid profiles of selected edible insect species from the democratic republic of congo relevant for transboundary trade across Africa. *Insects*, 13(11), 994. <https://doi.org/10.3390/insects13110994>

Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLOS ONE*, 10(12), e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>

Payne, C., & van Itterbeeck, J. (2017). Ecosystem services from edible insects in agricultural systems: A Review. *Insects*, 8(1), 24. <https://doi.org/10.3390/insects8010024>

Global Protein Ingredients Market Size Report (2023). *Protein Ingredients Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Plant Proteins, Animal/Dairy Proteins, Microbe-based Proteins Report Overview)*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/protein-ingredients-market>

Quezada-Euán, J. J. (2022). *The Past, Present, and Future of Meliponiculture in Mexico* (pp. 243–269).

Chapman, R. F. C. (1997). The Insects: Structure and Function. In *The Insects: Structure and Function* (4th ed.).

Rabobank (2021). No longer crawling: Insect protein to come of age in the 2020s RaboResearch. Retrieved from: <https://research.rabobank.com/far/en/sectors/animal-protein/insect-protein-to-come-of-age-in-the-2020s.html>

Ramos-Elorduy, J. (2009). Anthro-po-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research*, 39(5), 271–288. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00238.x>

Ribeiro, N., Abelho, M., & Costa, R. (2018). A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, 53(4), 434–454. <https://doi.org/10.18474/JES17-67.1>

Roffet-Salque, M., Regert, M., Evershed, R. P., Outram, A. K., Cramp, L. J. E., Decavallas, O., Dunne, J., Gerbault, P., Mileto, S., Mirabaud, S., Pääkkönen, M., Smyth, J., Šoberl, L., Whelton, H. L., Alday-Ruiz, A., Asplund, H., Bartkowiak, M., Bayer-Niemeier, E., Belhouchet, L., ... Zoughlami, J. (2015). Widespread exploitation of the honeybee by early Neolithic farmers. *Nature*, 527(7577), 226–230. <https://doi.org/10.1038/nature15757>

Rumbos, C. I., & Athanassiou, C. G. (2021). The superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera:Tenebrionidae): A ‘Sleeping Giant’ in Nutrient Sources. *Journal of Insect Science*, 21(2). <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab014>

Rumbos, C. I., Karapanagiotidis, I. T., Mente, E., Psafakis, P., & Athanassiou, C. G. (2020). Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports*, 10(1), 11224. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67363-1>

Rumbos, C. I., Oonincx, D. G. A. B., Karapanagiotidis, I. T., Vrontaki, M., Gourgouta, M., Asimaki, A., Mente, E., & 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*, 8(1), 9–22. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0044>

Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>

Ruschioni, S., Loreto, N., Foligni, R., Mannozi, C., Raffaelli, N., Zamporlini, F., Pasquini, M., Roncolini, A., Cardinali, F., Osimani, A., Aquilanti, L., Isidoro, N., Riolo, P., & Mozzon, M. (2020). Addition of olive pomace to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio Molitor* L.) larvae. *Foods*, 9(3), 317. <https://doi.org/10.3390/foods9030317>

Schiavone, A., Dabbou, S., de Marco, M., Cullere, M., Biasato, I., Biasibetti, E., Capucchio, M. T., Bergagna, S., Dezzutto, D., Meneguz, M., Gai, F., Dalle Zotte, A., & Gasco, L. (2018a). Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal*, 12(10), 2032–2039. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003743>

Secci, G., Moniello, G., Gasco, L., Bovera, F., & Parisi, G. (2018). Barbary partridge meat quality as affected by *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* larva meals in feeds. *Food Research International*, 112, 291–298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.045>

Sinha, S., & Tripathi, P. (2021). Trends and challenges in valorisation of food waste in developing economies: A case study of India. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100162.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100162>

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*, 144, 285–296.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>

Sogari, G. (2015). Entomophagy and Italian consumers: An exploratory analysis. *Progress in Nutrition*, 7, 311–316.

Sorjonen, J. M., Lehtovaara, V. J., Immonen, J., Karhapää, M., Valtonen, A., & Roininen, H. (2020). Growth performance and feed conversion of *Ruspolia differens* on plant-based by-product diets. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(6–7), 460–471. <https://doi.org/10.1111/eea.12915>

Sylwia, G., Leszczynski, B., & Wieslaw, O. (2006). Effect of low and high-saponin lines of alfalfa on pea aphid. *Journal of Insect Physiology*, 52(7), 737–743.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2006.04.001>

Tang, C., Yang, D., Liao, H., Sun, H., Liu, C., Wei, L., & Li, F. (2019a). Edible insects as a food source: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(1), 8.

<https://doi.org/10.1186/s43014-019-0008-1>

Tang, C., Yang, D., Liao, H., Sun, H., Liu, C., Wei, L., & Li, F. (2019b). Edible insects as a food source: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(1), 8.

<https://doi.org/10.1186/s43014-019-0008-1>

Toviho, O. A., & Bársony, P. (2022). Nutrient composition and growth of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) at different ages and stages of the life cycle. *Agriculture*, 12(11), 1924. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111924>

Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsbouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., ... Knutsen, H. K. (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larvae) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(8). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6778>

van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species

(Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, 73, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>

van Huis, A. (2015). Edible insects contributing to food security? *Agriculture & Food Security*, 4(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171). Food and agriculture organization of the United Nations.

van Huis, A. (2017). Edible insects and research needs. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(1), 3–5. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.x002>

van Huis, A., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2015). Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 3–5. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.x002>

van Huis, A., & Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 43. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>

Veldkamp, T., & Bosch, G. (2015). Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, 5(2), 45–50. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0019>

United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

Zhang, C., Liu, X., Xia, L., Pi, Y., Xiao, X., & Xu, W. (2018). Characterization of Raw Silk Fibers Obtained by Feeding Silkworms with Protein Powder. *Journal of Natural Fibers*, 15(4), 496–505. <https://doi.org/10.1080/15440478.2015.1083929>

Zhang, H., Ni, M., Li, F., Xu, K., Wang, B., Hong, F., Shen, W., & Li, B. (2014). Effects of Feeding Silkworm with Nanoparticulate Anatase TiO₂ (TiO₂ NPs) on Its Feed Efficiency. *Biological Trace Element Research*, 159(1), 224–232. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-9986-7>