

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Φυτιατρική και Περιβάλλον

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

“Αξιοποίηση γεωργικών παραπροϊόντων για την εκτροφή των προνυμφών του αλευροσκώληκα *T. molitor*: Επίδραση στην ανάπτυξη των προνυμφών και στη θρεπτική σύστασή τους”

“Valorization of agricultural organic side-streams for the rearing of larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*: Effect on larval growth and body composition”

Βροντάκη Στυλιανή Μαρία

Επιβλέπων καθηγητής: Αθανασίου Γ. Χρήστος
Βόλος, 2023



«Αξιοποίηση γεωργικών παραπροϊόντων για την εκτροφή των προνυμφών του αλευροσκώληκα *T. molitor*: Επίδραση στην ανάπτυξη των προνυμφών και στη θρεπτική σύστασή τους»

Βροντάκη Στυλιανή Μαρία

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

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

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

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

Ευχαριστίες

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

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

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

**Copyright © ΒΡΟΝΤΑΚΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΜΑΡΙΑ, 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 Μεταπτυχιακής Διατριβής από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής
Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε
δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.**

Περίληψη

Τα παραπροϊόντα, που προκύπτουν από την αγροτική βιομηχανία, αποτελούν ένα μεγάλο απόθεμα υποτιμημένων και ανεκμετάλλευτων πόρων. Ένας αποτελεσματικός τρόπος να αξιοποιηθούν είναι να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα ανάπτυξης εντόμων, μετατρέποντάς τα σε μία υψηλής διατροφικής αξίας πηγή θρεπτικών. Ωστόσο, για να ενισχυθεί η βιωσιμότητα της αναβάθμισης των αγροτικών παραπροϊόντων θα πρέπει τα γεωργικά παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται να είναι βιολογικά και διαθέσιμα σε τοπικό επίπεδο. Ως εκ τούτου, ο στόχος της εν λόγω μελέτης ήταν η αξιολόγηση της καταλληλότητας εννέα γεωργικών παραπροϊόντων, που παράγονται σε τοπικό επίπεδο, ως υποστρώματα ανάπτυξης των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae).

Τα παραπροϊόντα που αξιολογήθηκαν στο πείραμα ήταν τα εξής: παραπροϊόν αραβόσιτου, ηλίανθου, μηδικής, βρώμης, βύνης κριθαριού που χρησιμοποιείται στη ζυθοποιία καθώς και κελύφη ρυζιού, πίτουρο ρυζιού, εναπομείναν υπόστρωμα ανάπτυξης μανιταριών και υπολείμματα από μύλο ζωοτροφών. Στην πρώτη εργαστηριακή βιοδοκιμή, σε φιαλίδια διαμέτρου 7,5 cm τοποθετήθηκαν 50 προνύμφες πρώιμου σταδίου με κάθε ένα από τα εννέα παραπροϊόντα ξεχωριστά και καταγράφηκαν παράμετροι ανάπτυξης των προνυμφών μέχρι την εμφάνιση της πρώτης νύμφης. Με βάση τα αποτελέσματα της εργαστηριακής βιοδοκιμής, στη δεύτερη βιοδοκιμή τα παραπροϊόντα με τις καλύτερες επιδόσεις αξιολογήθηκαν περαιτέρω σε βιομηχανική κλίμακα, σε πλαστικά τελάρα (60 x 40 cm), καθένα από τα οποία περιείχε περίπου 10.000 προνύμφες. Ως μάρτυρας, και στις δύο βιοδοκιμές, χρησιμοποιήθηκε το πίτουρο σιταριού. Στην τρίτη βιοδοκιμή, που πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακή κλίμακα, αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών σε 3 ομάδες σύνθετων ισοπρωτεϊνικών διαιτών (ομάδα Α: 17,4 % πρωτεΐνη, ομάδα Β: 20,2% πρωτεΐνη, ομάδα Γ: 22,5% πρωτεΐνη) που σχεδιάστηκαν με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο προηγούμενες βιοδοκιμές. Ως μάρτυρες χρησιμοποιήθηκαν για την ομάδα Α πίτουρο σιταριού, για την ομάδα Β μίγμα πίτουρου σιταριού και μαγιά σε αναλογία 9:1, και για την ομάδα Γ πίτουρο σιταριού και μαγιά σε αναλογία 8,2:1,8. Στην τελευταία βιοδοκιμή, επιλέχθηκαν 2 σύνθετες δίαιτες (μία από την ομάδα Α και μία από την ομάδα Β) και αξιολογήθηκαν περαιτέρω σε βιομηχανική κλίμακα, ενώ ως μάρτυρας

χρησιμοποιήθηκε για την ομάδα A: πίτουρο σιταριού και για την ομάδα B: πίτουρο σιταριού και μαγιά σε αναλογία 9:1.

Τα αποτελέσματα των δύο πρώτων βιοδοκιμών, όπου αξιολογήθηκαν τα παραπροϊόντα ξεχωριστά, σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα, έδειξαν πως πολλά από τα παραπροϊόντα, όπως τα παραπροϊόντα βρώμης, αραβόσιτου και βύνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor*, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις καταγράφηκε χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης σε σχέση με αυτόν του μάρτυρα. Στην τρίτη και την τέταρτη βιοδοκιμή, όπου αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών σε σύνθετες ισοπρωτεϊνικές δίαιτες, σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα, τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά, αφού σε όλες τις δίαιτες καταγράφηκε πολύ υψηλό ποσοστό επιβίωσης και το ατομικό βάρος των προνυμφών ήταν πολύ κοντά σε αυτό του μάρτυρα, μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις ήταν υψηλότερο. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης αποσκοπούν στην ενίσχυση της εκτροφής των εντόμων και της αξιοποίησης των γεωργικών παραπροϊόντων, που είναι διαθέσιμα σε τοπικό επίπεδο, ως υποστρώματα ανάπτυξης εντόμων.

Abstract

Agricultural side-streams represent a large pool of mainly untapped and underrated resources. An efficient way to exploit agricultural wastes and valorize them by converting them to high-value nutrient source, is to use them as insect growth substrate. However, to enhance the sustainability and the environmental impact of their upcycling by insect bioconversion, locally available organic by-products should be used. Therefore, the objective of this study was to evaluate the suitability of nine agro-industrial by-products locally produced in Greece as feeding substrates for larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae).

We tested by-products of maize, sunflower, lucerne, oats, brewer's spent-grains, as well as rice hulls, rice bran, spent mushroom substrate and animal feed mill leftovers. In a first lab screening (in 7.5 cm diameter vials) 50 early-instar larvae were fed with each of the by-products tested and larval growth parameters were recorded until the emergence of the first pupa (Bioassay I). Based on the results of the lab trial, the best performing by-products were further singly evaluated at pilot-scale in crates (60x40 cm) with approximately 10,000 larvae (Bioassay II). In both trials wheat bran served as control. In another lab scale bioassay, the larval growth was evaluated on 3 groups of isonitrogenous diets (group A: 17,4% protein content, group B: 20,2% protein content, group C: 22,5% protein content), whose composition was designed based on the results of the two previous bioassays (Bioassay III). Wheat bran was used as control for group A, a mixture of wheat bran and yeast (9:1) for group B and another mixture of wheat bran and yeast (8,2:1,8) for group C. In the last bioassay (Bioassay IV) two diets were chosen (one from group A and another from group B) and were further evaluated at pilot-scale crates. Wheat bran was used as control for group A and a mixture of wheat bran and yeast (9:1) for group B.

The results of Bioassay I & Bioassay II showed the suitability of several by-products for the rearing of *T. molitor* larvae. Particularly, the oat and the maize by-product, as well as the brewer's spent-grains, efficiently supported the growth and development of *T. molitor* larvae, although in most cases a lower growth rate was recorded compared to control. The results of Bioassay III & Bioassay IV, where complex isonitrogenous diets were evaluated, in lab and pilot scale respectively, were promising, since the survival rates

and the individual larval weight were close to the control, or even higher in some cases. These results aim to boost insect farming and the exploitation of agro-industrial side-streams as insect feeding substrates at a local level.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	iv
Abstract.....	vi
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Έντομα ως καινοτόμος πηγή πρωτεΐνης για τα ζώα.....	2
1.2 Αξιοποίηση εντόμων για ανθρώπινη κατανάλωση.....	0
1.3 Χρήσεις των εντόμων & εκβιομηχάνιση της παραγωγής τους	2
1.4 <i>Tenebrio molitor</i> L. – Αλευροσκώληκας ή Μεγάλο σκαθάρι των αλεύρων	4
1.4.1 Βιολογία <i>Tenebrio molitor</i> L.	4
1.4.2 Βέλτιστες συνθήκες εκτροφής.....	5
1.5 Κυκλική Οικονομία & Εκτροφή Εντόμων	8
1.5.1 Κυκλική Οικονομία.....	8
1.5.2 Πλεονεκτήματα Εκτροφής Εντόμων – Εκτροφή Εντόμων & Κυκλική Οικονομία.....	8
1.5.3 Εκτροφή εντόμων σε οργανικά απόβλητα & αγροτικά παραπροϊόντα	10
1.6 Σκοπός.....	12
Κεφάλαιο 2: Υλικά & Μέθοδοι.....	17
2.1 Εκτροφή <i>Tenebrio molitor</i>	17
2.2 Παραπροϊόντα	20
2.3 Πειραματικός Σχεδιασμός	22
2.3.1 Βιοδοκιμή I: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T.molitor</i> σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή σε φιαλίδια (Εργαστηριακή Βιοδοκιμή).....	23
2.3.2 Βιοδοκιμή II: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T. molitor</i> σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα) & Ανάλυση της θρεπτικής σύστασης των προνυμφών	24
2.3.3 Βιοδοκιμή III: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T.molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Εργαστηριακή Βιοδοκιμή (σε φιαλίδια)	30
2.3.4 Βιοδοκιμή IV: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T. molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα)	34
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα.....	36

3.1	Θρεπτική σύσταση των παραπροϊόντων	36
3.2	Βιοδοκιμή I: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T. molitor</i> σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή σε φιαλίδια (Εργαστηριακή Βιοδοκιμή)	38
3.3	Βιοδοκιμή II: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T. molitor</i> σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα) & Ανάλυση της θρεπτικής σύστασης των προνυμφών	53
3.4	Βιοδοκιμή III: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T. molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Εργαστηριακή Βιοδοκιμή (σε φιαλίδια).....	65
3.5	Βιοδοκιμή IV: Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T. molitor</i> σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα).....	83
	Κεφάλαιο 4: Συζήτηση	87
	Βιβλιογραφία.....	91

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Παρ' όλη την αξιοσημείωτη πρόοδο που έχει σημειωθεί, τόσο σε τεχνολογικό, όσο και σε επιστημονικό επίπεδο -πρόοδος που έχει βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα ζωής των ανθρώπων- έως το 2050, προβλέπεται πως 300 εκατομμύρια άνθρωποι θα συνεχίσουν να είναι υποσιτισμένοι, εξαιτίας της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Σύμφωνα με τον FAO (2009), εκτιμάται πως έως το 2050, η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων θα πρέπει να έχει αυξηθεί κατά 70% συγκριτικά με το 2009, έτσι ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι διατροφικές ανάγκες των ανθρώπων και των ζώων. Το 2050, ο πληθυσμός εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 9 δις, και η παραγωγή κρέατος τα 410 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο (Boland *et al.*, 2013).

Η εντατικοποίηση και η εκβιομηχάνιση της κτηνοτροφίας επιδρά αρνητικά στο περιβάλλον, αφού από την υπερβόσκηση, αλλάζει η δομή του εδάφους, απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων εκτάσεων γης, τα ζωικά προϊόντα που προκύπτουν έχουν υψηλό αποτύπωμα νερού και μέσω της κτηνοτροφίας εκπέμπονται επιβλαβή αέρια που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Steinfeld *et al.*, 2006, FAO, 2009, Foley *et al.*, 2011, Gerber *et al.*, 2013, Mekonnen and Hoekstra 2012). Επιπλέον, η ζήτηση που υπάρχει για σιτηρά και άλλες τροφές που έχουν υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατανάλωση κρέατος (Trostle, 2008), αφού για να παραχθεί περίπου 1 kg ζωικής πρωτεΐνης, πρέπει να καταναλωθούν περίπου 6 kg φυτικής πρωτεΐνης από τα ζώα (Pimentel and Pimentel, 2003). Έτσι, με την αύξηση της παραγωγής κρέατος τα επόμενα χρόνια, αναμένεται να αυξηθεί και η ζήτηση των σιτηρών και των τροφών που χρησιμοποιούνται για την εκτροφή των ζώων, γεγονός που θα έχει ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση των τιμών τους (Shenggen Fan and Rahul Pandya – Loch, 2020). Σύμφωνα με τους Nelson και άλλους το 2050, η τιμή στο κρέας, υπολογίζεται πως θα αυξηθεί τουλάχιστον 30% σε σχέση με την τιμή που είχε το 2000, ενώ λόγω της κλιματικής αλλαγής, πιθανολογείται να υπάρξει επιπρόσθετη αύξηση κατά 18 με 21% στην τιμή του.

Για τους παραπάνω λόγους, οι επιστήμονες έχουν στραφεί προς την εξεύρεση καινοτόμων εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης για την εκτροφή ζώων αλλά και ανθρώπων, με τα έντομα να φαίνεται πως είναι η πιο ελπιδοφόρα πηγή πρωτεΐνης, ανάμεσα σε αυτές που έχουν προταθεί (Patel *et al.*, 2019). Αυτό οφείλεται τόσο στην πλούσια θρεπτική τους σύσταση, όσο και στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν σε σχέση με την οικολογία και την οικονομία. Η ακριβή ζωική πρωτεΐνη μπορεί να

υποκατασταθεί από βρώσιμα έντομα, των οποίων η εκτροφή μπορεί να πραγματοποιηθεί με χαμηλότερο κόστος. Έτσι, θα είναι δυνατή η ελάττωση της πίεσης που ασκείται στους τομείς της κτηνοτροφίας, της υδατοκαλλιέργειας και της γεωργίας, αφού η εκτροφή εντόμων έχει χαμηλότερες απαιτήσεις σε τροφή, νερό, γη, ενώ τα έντομα έχουν και μικρότερο βιολογικό κύκλο (Premalatha *et al.*, 2011).

1.1 Έντομα ως καινοτόμος πηγή πρωτεΐνης για τα ζώα

Κάθε χρόνο, το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης σόγιας (87%) επεξεργάζεται για την παραλαβή ελαίου, το οποίο προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, ενώ τα υπολείμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία (81% της επεξεργασμένης σόγιας), λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνη, προορίζονται για ζωοτροφή. Έτσι, το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής παραγόμενης σόγιας περίπου το 77,5%, έμμεσα ή άμεσα, προορίζεται για την παραγωγή ζωοτροφών – έμμεσα: περίπου το 70,5% προέρχεται από τα υπολείμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία της σόγιας για την παραλαβή ελαίου, ενώ άμεσα: το 7% προκύπτει από σόγια που καλλιεργείται αποκλειστικά για την χρησιμοποίηση της σε ζωοτροφές – (Fraanje and Garnett, 2020). Πολλοί πιστεύουν πως θα πρέπει να περιοριστεί η ποσότητα που χρησιμοποιείται στην κτηνοτροφία και να προορίζεται μεγαλύτερο ποσοστό, της συνολικής παραγωγής σόγιας, στην παραγωγή προϊόντων που υποκαθιστούν το κρέας, για ανθρώπινη κατανάλωση. Από την άλλη πλευρά, άλλοι εστιάζουν στα καίρια προβλήματα που προκαλεί η παραγωγή της στο περιβάλλον, αφού για να πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση της καλλιέργειας είναι απαραίτητη η εκκαθάριση του φυσικού οικοτόπου της περιοχής, που πιθανώς να επιδρά αρνητικά στο οικοσύστημα (Gorissen and Witard, 2018, Franjee and Garnett, 2020). Επιπλέον, η καλλιέργεια της σόγιας μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, λόγω των υπολειμμάτων της, τις εκπομπές αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά και λόγω του υψηλού αποτυπώματος άνθρακα (Henchion *et al.*, 2017, Tillman and Clark, 2014).

Το κόστος των ζωοτροφών, στον τομέα της κτηνοτροφίας, αποτελεί το 60 με 70% του συνολικού κόστους παραγωγής, προκειμένου να πληρούνται οι διατροφικές ανάγκες των ζώων (Khatoon *et. al.*, 2016), ενώ ταυτόχρονα, ο τομέας της ιχθυοκαλλιέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιχθυέλαια και τα ιχθυάλευρα, έτσι ώστε να καλυφθούν οι θρεπτικές απαιτήσεις των εκτρεφόμενων ψαριών (Green

and Pearsall, 2016). Η βιομηχανία ζωοτροφών καλείται να ξεπεράσει τα προβλήματα αυτά, και για αυτό έχει επικεντρωθεί στην εξεύρεση εναλλακτικών, καινοτόμων, οικονομικών, αλλά και βιώσιμων πηγών πρωτεΐνης. Μία από τις πολλά υποσχόμενες πηγές πρωτεΐνης είναι τα έντομα (Malav *et al.*, 2015).

Τα έντομα, λόγω της θρεπτικής τους σύστασης, πληρούν τις διατροφικές απαιτήσεις των κτηνοτροφικών ζώων (Makkar, 2018). Έρευνες έχουν δείξει πως άλευρα ή ακόμα και λιπαρά οξέα, που προέρχονται από αποξηραμένες προνύμφες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά σε διατροφές:

- **Ψαριών** (Belghit *et al.*, 2018, Lock *et al.*, 2016, Barroso *et al.*, 2014)
- **Χοιρινών** (Biasato *et al.*, 2019, Spranghers *et al.*, 2018, Veldkamp *et al.*, 2012)
- **Πουλερικών** (Pieterse *et al.*, 2019, Biasato *et al.*, 2018, Veldkamp *et al.*, 2012).

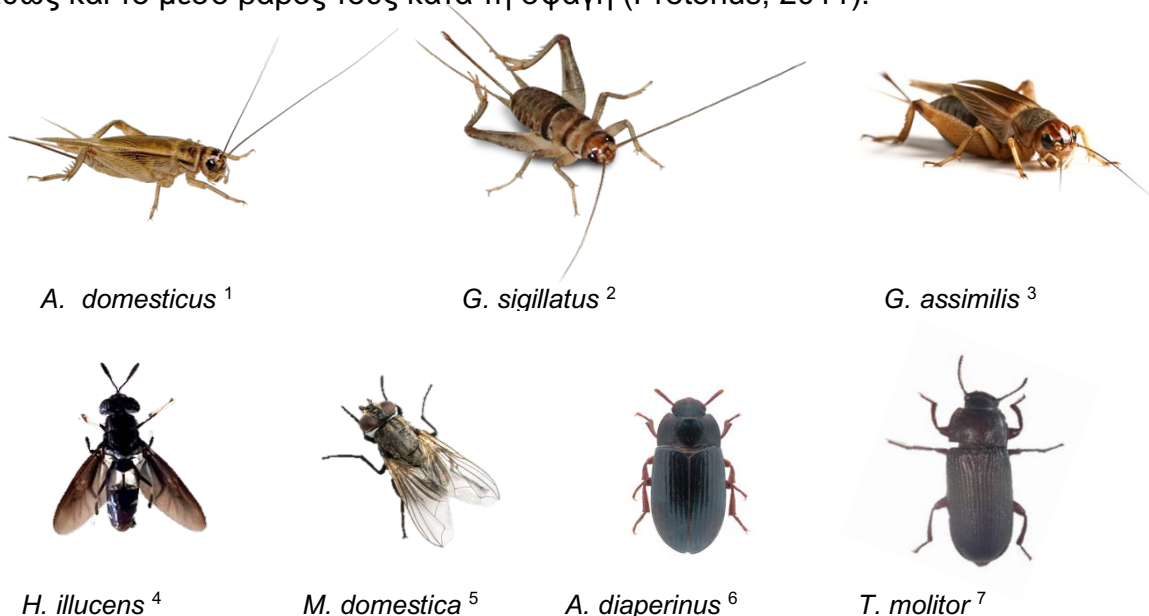
Στόχος των ερευνών αυτών ήταν, η μερική ή και η πλήρης, αντικατάσταση των κλασικών -μη βιώσιμων- πηγών πρωτεΐνης (ιχθυάλευρο, σόγια) και λιπαρών (ιχθυέλαιο), με έντομα (Makkar, 2018). Όσον αφορά την υγεία, την εμφάνιση των ζώων, την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και την υγεία του εντέρου τους, έχουν προκύψει ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Τα έντομα περιέχουν ορισμένα βιοενεργά συστατικά (π.χ. αντιμικροβιακά πεπτιδία, χιτίνη), τα οποία βοηθούν στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος των ζώων που τα καταναλώνουν (IPIFF, 2019, Gasco *et al.*, 2018).

Το 2017, με τον Εκτελεστικό Κανονισμό (ΕΕ) 2017/893, εγκρίθηκε η χρήση πρωτεϊνών από 7 είδη εντόμων για την συμπερίληψη τους σε τροφές που προορίζονται για υδατοκαλλιέργειες. Στη συνέχεια, η Ευρωπαϊκή Ένωση ξεκίνησε να ερευνά την πιθανότητα αναθεώρησης των απαγορεύσεων, που ίσχυαν μέχρι τότε, σε σχέση με τη σύσταση των ζωοτροφών. Έτσι, το 2021, με τον Εκτελεστικό Κανονισμό (ΕΕ) 2021/1372, η Ευρωπαϊκή Ένωση επέτρεψε την κατανάλωση των προνυμφών του *T.molitor* από πουλερικά και χοιρινά, ενώ από την ίδια χρονιά, η αποξηραμένη προνύμφη του εντόμου έγινε μέρος του ενωσιακού καταλόγου εγκεκριμένων νέων τροφίμων για τον άνθρωπο (Commission Regulation 2017/893 (EC, 2017), Commission Regulation 2021/1372 (EC, 2021), EFSA, 2021)

Τα 7 εγκεκριμένα είδη εντόμων είναι τα εξής: *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae), *Gryllodes sigillatus* (Orthoptera: Gryllidae), *Gryllus assimilis* (Orthoptera: Gryllidae), *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), και *Tenebrio molitor*

(Coleoptera: Tenebrionidae) (Εκτελεστικός Κανονισμός (ΕΕ) 2017/893). Από τα παραπάνω είδη, ξεχωρίζουν ο αλευροσκώληκας (*T. molitor*), η μαύρη στρατιωτόμυγα (*H. illucens*) και η κοινή μύγα (*M. domestica*), εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας τους σε πρωτεΐνη και της ικανότητάς τους να καταναλώνουν οργανικά υπολείμματα (Veldkamp *et al.*, 2012).

Κατά τους Jin και άλλους (2016), όταν συμπεριλήφθησαν στη διατροφή απογαλακτισμένων χοιρινών, αποξηραμένες προνύμφες του *T. molitor* σε ποσοστό 6%, σημειώθηκε βελτίωση στην ανάπτυξή τους, και αύξηση στην πρόσληψη τροφής και την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών. Σε άλλο πείραμα, χρησιμοποιήθηκε το είδος *H. illucens* στη διατροφή χοιρινών, κοτόπουλων και των ψαριών γατόψαρο και ιριδίζουσα πέστροφα και τα αποτελέσματα έδειξαν πως επηρεάστηκε θετικά η ανάπτυξή τους (Sheppard *et al.*, 2007). Όταν χρησιμοποιήθηκε εντομάλευρο από προνύμφες της κοινής μύγας (*M. domestica*), για να συμπληρωθεί η διατροφή κοτόπουλων, αυξήθηκε η συνολική πρόσληψη τροφής, το μέσο ημερήσιο βάρος τους, καθώς και το μέσο βάρος τους κατά τη σφαγή (Pretorius, 2011).



Εικόνα 1: Τα 7 εγκεκριμένα είδη εντόμων για χρήση στην υδατοκαλλιέργεια.

¹ <https://buyfeeder crickets.com/products/live-crickets?variant=34152239171>

² <https://www.tophatcrickets.com/large-crickets>

³ <https://www.istockphoto.com/photo/cricket-gryllus-assimilis-gm172980003-6907818>

⁴ προσωπικό αρχείο

⁵ <https://stock.adobe.com/images/dirty-common-housefly-viewed-from-up-high-musca-domestica/61569972>

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Alphitobius_diaperinus

⁷ προσωπικό αρχείο

1.2 Αξιοποίηση εντόμων για ανθρώπινη κατανάλωση

Λόγω του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού, ο οποίος το 2050 αναμένεται να φτάσει τα 9 δισεκατομμύρια, υπολογίζεται πως την ίδια χρονιά, η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων θα πρέπει να αυξηθεί κατά 70% σε σχέση με την παραγωγή το 2009, για να καλυφθούν οι διατροφικές ανάγκες των ανθρώπων και των ζώων (FAO, 2009, Boland *et al.*, 2013). Ως εκ τούτου, η επιστημονική κοινότητα έχει στραφεί προς την εξεύρεση νέων, καινοτόμων πηγών πρωτεΐνης. Τα έντομα εμφανίζονται ως η πιο ελπιδοφόρα από αυτές (Patel, *et al.*, 2019), αφού η εκτροφή τους απαιτεί λιγότερο χώρο (κάθετη εκτροφή), μικρή ποσότητα τροφής και νερού και σύντομο βιολογικό κύκλο (Premalatha *et al.*, 2011). Επιπλέον, εκτός από την υψηλή περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη, τα έντομα περιέχουν πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, που είναι απαραίτητα για τον οργανισμό του ανθρώπου ($\omega 3$ και $\omega 6$), καθώς επίσης και μικροθρεπτικά στοιχεία - ανόργανα στοιχεία & βιταμίνες- (van Huis *et al.*, 2013).

Η εντομοφαγία, σαν φαινόμενο, χρονολογείται από την αρχαιότητα, ενώ οι Ramos – Elrodoy (2009) αναφέρουν πως πιθανότατα οι άνθρωποι ήταν αρχικά εντομοφάγοι, και με την πάροδο των ετών και την εξέλιξή τους, ξεκίνησαν να καταναλώνουν φρούτα, λαχανικά, καθώς επίσης και να κυνηγούν. Μάλιστα, στην Ευρώπη, η πρώτη αναφορά στην εντομοφαγία καταγράφηκε στην Ελλάδα από τον φιλόσοφο και επιστήμονα Αριστοτέλη (384 – 322 π.Χ.), και συγκεκριμένα στο έργο του «Περί ζώων ιστορίας». Στο έργο αυτό, ο Αριστοτέλης αναφέρεται, τόσο στην συλλογή τζιτζικιών, που αποτελούσαν εκλεκτό έδεσμα εκείνη την εποχή, όσο και στο πόσο γευστικά και απολαυστικά είναι τα συγκεκριμένα έντομα, όταν βρίσκονται στο στάδιο της νύμφης. Επιπλέον, ισχυρίστηκε πως τα γονιμοποιημένα θηλυκά άτομα έχουν πιο ωραία γεύση από τα μη γονιμοποιημένα, λόγω του γεγονότος ότι περιέχουν αυγά (van Huis *et al.*, 2013).

Στις μέρες μας, ο άνθρωπος καταναλώνει πάνω από 2000 είδη εντόμων (Jongema, 2017), με την κατανάλωση να είναι αυξημένη στην Ασία, την Αφρική και τη Λατινική Αμερική (Bukkens, 1997). Από την άλλη, οι άνθρωποι των δυτικών χωρών, δεν καταναλώνουν συχνά έντομα. Προκειμένου οι καταναλωτές να ξεκινήσουν να αποδέχονται σταδιακά τα έντομα ως τροφή, έχει επιχειρηθεί η ενσωμάτωση των διαφόρων βρώσιμων ειδών εντόμων, σε ήδη υπάρχουσες τροφές. Ενδεικτικά, έχουν δημιουργηθεί πρωτεϊνικές και ενεργειακές μπάρες με γρύλους, χοιρινό πατέ με

γρύλους, ζυμαρικά και κουλουράκια με γρύλους και τερμίτες, λουκάνικα με προνύμφες *T. molitor* και νύμφες μεταξοσκώληκα (van Huis, 2019).



Εικόνα 2: Μπισκότα cookies με γρύλο

πηγή: <https://www.bugfarmfoods.com/>

Μερικά παραδείγματα εντόμων που καταναλώνονται ανά τον κόσμο αποτελούν:

- Επαρχία Γιουνάν, Κίνα: προνύμφες και νύμφες διαφόρων ειδών του γένους *Vespa* (*V. mandarinia mandarinia*, *V. tropica ducalis*, *V. Basalis*) (Xiaoming *et al.*, 2010)
- Αυστραλία: περισσότερα από 100 είδη των προνυμφών “witchetty grubs” (Lepidoptera: Cossidae) και τα μυρμηγκία “honey ants” (*Melophorus bagoti*) (Yen, 2010)
- Νήσος Ιάβα, Ινδονησία: γρύλος *Brachytrupes portentosus*, ακρίδες (π.χ. *Valanga nigricornis* και *Plantaga succincta*), σκαραβαίος *Chalcosoma atlas*, κόκκινο σκαθάρι του φοίνικα *Rhynchophorus ferrugineus* και προνύμφες ή νύμφες της μέλισσας *Xylocopa latipes* (Lukiwati, 2010).



Witchetty grubs ¹



V. mandarinia mandarinia ²



B. portentosus ³



R. ferrugineus ⁴



M. bagoti ⁵



V. nigricornis ⁶

Εικόνα 3: Βρώσιμα έντομα

¹ https://twitter.com/jessa_thurman/status/1328140457860358146

² <https://www.istockphoto.com/photo/asian-giant-hornet-on-white-background-gm1256770547-368100703>

³ <https://www.shutterstock.com/el/image-photo/gryllidae-orthoptera-isolated-on-white-background-488525641>

⁴ <https://www.biolib.cz/en/image/id207022/>

⁵ <https://oreinomeli.wordpress.com/2019/04/08/τα-μυρμήγκια-του-μελιού/>

⁶ <https://gr.pinterest.com/pin/220746819206014568/>

1.3 Χρήσεις των εντόμων & εκβιομηχάνιση της παραγωγής τους

Παρ' όλο που η κλάση Insecta περιλαμβάνει τον μεγαλύτερο αριθμό ειδών, σε σχέση με τις υπόλοιπες κλάσεις του ζωικού βασιλείου, πιστεύεται πως δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως από τον άνθρωπο. Στην Κίνα, μία από τις πρώτες χώρες που ξεκίνησαν να αξιοποιούν τα έντομα, η εκβιομηχάνιση και η εκμετάλλευση των εντόμων διαχωρίζεται σε 4 επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο, τα έντομα εκτρέφονται με σκοπό την αξιοποίηση των εκκρίσεών τους ή των ίδιων των εντόμων. Στη συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν οι εκμεταλλεύσεις των μεταξοσκώληκων (για την παραγωγή μεταξιού), των μελισσών (για την παραγωγή μελιού, πρόπολης, βασιλικού πολτού κ.ο.κ.), των “Lac insects” *Kerria* spp. (για την παραγωγή φυσικής ρητίνης). Επιπλέον, στην ίδια κατηγορία συμπεριλαμβάνονται εκμεταλλεύσεις διαφόρων ειδών εντόμων (όπως *Martianus dermestoides*, *Tenebrio molitor*, *Vespa hydrillodes*), που χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια στην Κίνα για την παραγωγή φαρμάκων, καθώς επίσης και διαφόρων ειδών που χρησιμοποιούνται ως επικονιαστές (π.χ. *Osmia cornifrons*).

Στο δεύτερο επίπεδο, η μαζική παραγωγή εντόμων και εντομοπαθογόνων γίνεται με σκοπό την καταπολέμηση των εντόμων, που αποτελούν σημαντικούς εχθρούς για καλλιέργειες (βιολογική καταπολέμηση). Ένα παράδειγμα εντόμου αποτελεί το *Trichogramma* spp., το οποίο βρίσκεται ως παράσιτο σε αυγά άλλων εντόμων, ενώ χαρακτηριστικά παραδείγματα εντομοπαθογόνων αποτελούν ο *Bacillus thuringiensis* (Bt) και ο ιός *Helicoverpa armigera* Nucleopolyhedrovirus (HaSNPV). Στο τρίτο επίπεδο, τα έντομα παράγονται προκειμένου να εξαχθούν ουσίες από αυτά ή και να συντεθούν νέες ουσίες με βάση τις ήδη υπάρχουσες. Για παράδειγμα, υπάρχουν φερομόνες (οι οποίες είτε εξάγονται από τα έντομα, είτε συντίθενται χημικά), που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση επιβλαβών εντόμων, και τοξίνες (που προέρχονται από σφήκες και μέλισσες), που αποτελούν συστατικά φαρμάκων. Στο

τελευταίο επίπεδο, τα έντομα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πεπτιδίων, προορίζονται για κτηνιατρική και ιατρική χρήση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα έντομα αποτελούν τον βιοαντιδραστήρα, στον οποίο παράγονται τα πεπτίδια (Zhang *et al.*, 2008).

Το 2015, ο Yen A. L. ανέφερε πως το 92% των βρώσιμων εντόμων συλλέγεται από τη φύση, ενώ από την άλλη, η μαζική εκτροφή των συγκεκριμένων ειδών, θα μπορούσε να παρέχει πιο σταθερή παραγωγή, με πιο βιώσιμο τρόπο. Τα κύρια βρώσιμα έντομα, τα οποία συχνά συλλέγονται από τη φύση, όμως ταυτόχρονα έχει ξεκινήσει και η μαζική παραγωγή τους, ανήκουν στις τάξεις: Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera, Isoptera και Orthoptera (Gahukar, 2016, Payne *et al.*, 2016).

Τα πιο γνωστά βρώσιμα έντομα, τα οποία εκτρέφονται μαζικά είναι ο αλευροσκώληκας, η ακρίδα, η γιγάντια ασιατική σφήκα (giant hornet), ο γρύλος, η κοινή μύγα, η μαύρη στρατιωτόμυγα, ο μεταξοσκώληκας (mulberry silkworm, eri silkworm, muga silkworm), το κόκκινο σκαθάρι του φοίνικα, οι τερμίτες και τα έντομα bamboo caterpillar και weaver ant (Gahukar R. T., 2016, Cortes *et al.*, 2016). Τα έντομα που χρησιμοποιούνται ως τροφή για τα ζώα είναι η μαύρη στρατιωτόμυγα, ο αλευροσκώληκας, η κοινή μύγα, γρύλλοι, ακρίδες, σκαθάρια και ο μεταξοσκώληκας (Makkar *et al.*, 2014). Ορισμένα βρώσιμα έντομα χρησιμοποιούνται και στην ιατρική. Επί παραδείγματι, το έντομο *Lucilia sericata*, χρησιμοποιείται και στην ιατρική, αφού οι προνύμφες του έχουν τη δυνατότητα να επουλώσουν τραύματα, που δεν είναι δυνατόν να επουλωθούν με συμβατικές επεμβάσεις (Rueda *et al.*, 2010), ενώ η χρήση τους επεκτείνεται και στη θεραπεία του οστεομυελίτη, με τη χρήση της αλλαντοΐνης, που εκκρίνεται από αυτές.

Το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής παραγωγής βρώσιμων εντόμων, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζωοτροφών για κατοικίδια, ενώ από την έναρξη της εκτροφής των βρώσιμων εντόμων μέχρι το 2021, οι επενδύσεις στον τομέα αυτόν ξεπέρασαν το 1 δισεκατομμύριο (IPIFF, 2021). Η ραγδαία αύξηση αυτή, οφείλεται στο γεγονός ότι οι μεταποιημένες πρωτεΐνες των εντόμων, μπορούν να αντικαταστήσουν το ιχθυάλευρο και το σογιάλευρο στις ζωοτροφές (Smetana *et al.*, 2019, Gasco *et al.*, 2020). Παρ' όλα αυτά, η αυξημένη ζήτηση των μεταποιημένων ζωικών πρωτεϊνών, δεν συμβαδίζει με τον υπάρχοντα ρυθμό παραγωγής εντόμων. Μέχρι το 2030, η ζήτηση αναμένεται να φτάσει τους 50.000 τόνους τον χρόνο (Rabobank, 2021), ενώ για να παραχθεί η συγκεκριμένη ποσότητα, θα πρέπει να λειτουργούν 1000 – 1500 εργοστάσια (Veldkamp *et al.*, 2021).

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

Η πρώτη περιγραφή του *T. molitor* χρονολογείται το 1758 και έγινε από τον Λιναίο. Είναι ένα έντομο της τάξης Coleoptera και ανήκει στην οικογένεια Tenebrionidae. Η κοινή του ονομασία είναι αλευροσκώληκας ή μεγάλο σκαθάρι των αλεύρων, αφού είναι το μεγαλύτερο από τα κοινά έντομα αποθηκών. Το μήκος του σώματος του κυμαίνεται από 15 έως 20 mm. Είναι ελαφρώς γυαλιστερό, και το χρώμα του ενήλικου ατόμου είναι καστανό – μαύρο. Σε κάθε έλυτρό του φέρει 5 παράλληλες γραμμώσεις (Μπουχέλος, 2018). Ο αλευροσκώληκας απαντάται σε διάφορα είδη εμπορευμάτων και εγκαταστάσεων, ιδιαίτερα σε αμυλούχα προϊόντα (όπως ζυμαρικά, αλεύρι) και σε σιτηρά (Rumbos *et al.*, 2020) και σε μέρη σκοτεινά που έχουν υψηλή σχετική υγρασία (Ghaly and Alkokaik, 2009).

1.4.1 Βιολογία *Tenebrio molitor* L.

Το *Tenebrio molitor* είναι ένα έντομο ολομετάβολο, του οποίου ο κύκλος ζωής περιλαμβάνει τα εξής στάδια: αυγό, προνύμφη, νύμφη και ενήλικο. Κάθε θηλυκό άτομο γεννάει περίπου 400 με 500 αυγά, τα οποία αποτίθενται μεμονωμένα ή σε ομάδες. Τα αυγά έχουν χρώμα λευκό, είναι γυαλιστερά, κολλώδη και μικρά, με το μήκος τους να κυμαίνεται μεταξύ 1,7 με 1,8 mm και το πλάτος τους μεταξύ 0,6 με 0,7 mm. Όταν τα αυγά βρίσκονται στη βέλτιστη θερμοκρασία (25°C), η εκκόλαψη τους ολοκληρώνεται σε περίπου 2 εβδομάδες.

Οι νεοεκκολαφθείσες προνύμφες, που εξέρχονται από τα αυγά, έχουν μήκος 2mm και υπόλευκο χρώμα, ενώ με το πέρασ των ημερών, αφού τραφούν, αποκτούν κίτρινο – καφέ χρώμα. Το σώμα τους είναι επίμηκες, έχει σχήμα κυλινδρικό και φέρει 3 ζεύγη θωρακικών ποδιών. Όταν πια οι προνύμφες είναι ώριμες (2 – 2,5 cm) το χρώμα τους γίνεται λευκό (Ghaly and Alkokaik, 2009), ενώ η κεφαλική τους κάψα είναι χιτινισμένη, με αντιτιθέμενες άνω γνάθους. Όσο αυξάνεται το βάρος και το μέγεθος τους, οι προνύμφες πραγματοποιούν εκδύσεις, αφού περιβάλλονται από χιτινισμένο εξωσκελετό. Το διάστημα, στο οποίο μία νεοεκκολαφθείσα προνύμφη γίνεται νύμφη, ο αριθμός των εκδύσεων που θα πραγματοποιηθούν, καθώς επίσης και το τελικό βάρος της προνύμφης, διαφέρει σε κάθε περίπτωση, διότι εξαρτάται από διάφορους

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

Όταν οι προνύμφες περνούν στο στάδιο της νύμφης, αποκτούν κιτρινωπό χρώμα, είναι ακίνητες, μαλακές, δεν τρέφονται, το μήκος τους ελαττώνεται (1 cm), και σε σχέση με νύμφες άλλων ειδών, είναι απροστάτευτες, αφού δεν περιβάλλονται από προστατευτικές κατασκευές. Το χρονικό διάστημα που το έντομο βρίσκεται στο στάδιο της νύμφης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και ποικίλλει κατά περίπτωση (Ghaly and Alkokaik, 2009). Όσον αφορά τα ενήλικα άτομα, αρχικά έχουν υπολεύκο χρώμα και μαλακό εξωσκελετό, ενώ μετά το πέρασμα 5 ημερών, σχηματίζουν σκληρό –ισχυρά χιτινισμένο– καστανό – μαύρο, γυαλιστερό εξωσκελετό (Gerber, 1975). Ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες τα ενήλικα άτομα του *T. molitor* ζουν 37 με 96 ημέρες, ενώ μέσα σε λίγες ημέρες από την εμφάνισή τους, είναι ώριμα αναπαραγωγικά (Ghaly and Alkokaik, 2009).



Αυγά *T. molitor*



Προνύμφη *T. molitor*



Νύμφη *T. molitor*



Ενήλικο *T. molitor*

Εικόνα 4: Βιολογικός κύκλος *Tenebrio molitor* (προσωπικό αρχείο)

1.4.2 Βέλτιστες συνθήκες εκτροφής

Ένας από τους καίριους παράγοντες στην εκτροφή του *T. molitor*, είναι η επικρατούσα **θερμοκρασία**, η οποία επηρεάζει τις μεταβολικές διεργασίες των εντόμων, συνεπώς και την ανάπτυξή τους. Οι Grau και άλλοι (2017) υποστήριξαν πως η βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη του εντόμου είναι μεταξύ 25 και 27 °C. Σε άλλη έρευνα, κατά την οποία μελετήθηκε η ανάπτυξη του εντόμου σε διάφορες θερμοκρασίες (από 15.2 έως 39°C), βρέθηκε πως δεν επιτυγχάνεται η βέλτιστη έκφραση των χαρακτηριστικών του εντόμου σε όλες τις θερμοκρασίες. Μάλιστα, η συγκεκριμένη έρευνα αναφέρει πως θερμοκρασία κοντά στους 32°C ωφελεί τα έντομα, αφού αυξάνεται τόσο το πρωτεϊνικό τους περιεχόμενο, όσο και η περιεκτικότητά τους σε λιπίδια. Από την άλλη, θερμοκρασίες κοντά στους 23°C, είναι βοηθητικές για τις μεταβολικές διεργασίες του εντόμου (Bjørgea *et al.*, 2018).

Επιπροσθέτως, η ανάπτυξη του εντόμου εξαρτάται άμεσα από την **παρουσία υγρασίας** στο χώρο εκτροφής του. Σε πείραμα των Punzo & Mutchmor (1980), βρέθηκε πως η εμβρυολογική ανάπτυξη του *T. molitor* επιτυγχάνεται όταν στο περιβάλλον υπάρχει 75% σχετική υγρασία, και θερμοκρασία 25°C. Παρ' όλο που από ο Fraenkel (1950) υποστήριξε πως όσο μεγαλύτερα είναι τα ποσοστά υγρασίας στο περιβάλλον ανάπτυξης του *T. molitor*, τόσο περισσότερο ευνοείται η ανάπτυξη των προνυμφών, σε ένα περιβάλλον με σχετική υγρασία 70 με 85%, είναι πιθανή η ανάπτυξη επιβλαβών, για το έντομο, μικροοργανισμών. Από την άλλη, η **παροχή υγρασίας** υπό τη μορφή λαχανικών (π.χ. κομματιά καρότου ή πατάτας), φαίνεται να ωφελεί την ανάπτυξη των προνυμφών, καθώς τα έντομα αξιοποιούν καλύτερα την τροφή που προσλαμβάνουν και την μετατρέπουν αποτελεσματικά σε σωματικό βάρος. Επιπλέον, όταν παρέχεται στις προνύμφες ικανοποιητική υγρασία, μειώνεται σημαντικά ο κανιβαλισμός μεταξύ των ατόμων. Όταν στις προνύμφες δεν παρέχεται ικανοποιητική υγρασία και οι συνθήκες είναι εξαιρετικά ξηρές, τότε αυτές σταματούν να τρέφονται και παραμένουν ανενεργές, έως ότου αυξηθεί εκ νέου η υγρασία (Urs and Hopkinks, 1973a, 1973b).

Εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας στην παραγωγή απογόνων είναι η **πυκνότητα των ατόμων**. Σε βιομηχανικό επίπεδο, αυτό που αποζητάται είναι η μεγιστοποίηση της εναπόθεσης αυγών, σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση χώρου και χρόνου εργασίας. Έτσι, ο παράγοντας «πυκνότητα ατόμων» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιστοποιηθεί η εναπόθεση των αυγών. Όταν η πυκνότητα των ατόμων κυμαίνεται μεταξύ 8,4 με 14 ενήλικα ανά dm², η εναπόθεση των αυγών μπορεί να φτάσει στο μέγιστο δυνατό (Morales-Ramos *et al.*, 2012).

Όσον αφορά τη **διατροφή** του εντόμου, σε πείραμα που διεξάχθηκε, παρατηρήθηκε πως τα ποσοστά επιβίωσης ήταν υψηλότερα και ο χρόνος ανάπτυξης συντομότερος, σε δίαιτες, που περιείχαν μαγιά σε ποσοστό 40%, και είχαν υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο (Van Broekhoven *et al.*, 2015). Σε άλλο πείραμα, οι Morales-Ramos *et al.* (2010) αναφέρουν πως παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη αύξηση στην ανάπτυξη των προνυμφών, όταν αυτές κατανάλωσαν δίαιτες, που έχουν ως βασικό συστατικό το πύτουρο, συνδυασμένο με άλλα συστατικά όπως βιταμίνη C, άμυλο και **πρωτεΐνη**. Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, έτσι και σε αυτό, η προσθήκη μαγιάς στη διατροφή του *T. molitor* είχε ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της ανάπτυξης του. Η θετική επίδραση της μαγιάς στην ανάπτυξη των προνυμφών υποστηρίζεται πως οφείλεται στο υψηλό πρωτεϊνικό της περιεχόμενο, στη βιταμίνη B που περιέχει αλλά

και στο γεγονός ότι η μαγιά δρα ως διεγέρτης κατανάλωσης τροφής, οπότε οι προνύμφες καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες (Murray, 1960, Fraenkel *et al.*, 1950).

Σε πείραμα, που είχε ως στόχο την αξιολόγηση 44 προϊόντων (άλευρα και προϊόντα από δημητριακά, όσπρια, καθώς και διάφορα προϊόντα ζωικής και φυτικής προέλευσης) ως προς την καταλληλότητά τους για τροφή του *T. molitor*, οι ερευνητές διαπίστωσαν πως η καλύτερη ανάπτυξη των προνυμφών και η υψηλότερη περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη, παρατηρήθηκε όταν αυτές αναπτύχθηκαν στα προϊόντα που περιείχαν το υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης (Rumbos *et al.*, 2020). Επιπλέον, σε άλλο πείραμα των Rumbos *et al.* (2021), αξιολογήθηκαν 11 αγροτικά παραπροϊόντα, καθώς και οι μεταξύ τους συνδυασμοί, ως προς την καταλληλότητά τους για υπόστρωμα σίτισης του *T. molitor*. Στο συγκεκριμένο πείραμα, σχεδιάστηκαν ισοπρωτεϊνικές δίαιτες με βάση τα παραπροϊόντα, και βασιζόμενοι στα αποτελέσματα, οι ερευνητές υποστήριξαν πως η σύνθεση μίας επιτυχημένης διαίτας για το *T. molitor* δεν θα πρέπει να εξαρτάται αποκλειστικά από το πρωτεϊνικό περιεχόμενο της, αφού στο πείραμα υπήρξαν δίαιτες με χαμηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο, στις οποίες οι προνύμφες είχαν πιο ικανοποιητική ανάπτυξη από δίαιτες με υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Ένα υπόστρωμα σίτισης, μπορεί να περιέχει υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης, όμως μπορεί να περιέχει επίσης αντιθρεπτικούς παράγοντες (π.χ. επιβλαβείς τοξίνες για το έντομο) ή να μην περιέχει κάποιο άλλο, σημαντικό για την ομαλή ανάπτυξη του εντόμου, θρεπτικό συστατικό.

Ένα πολύ σημαντικό συστατικό, για την ανάπτυξη των εντόμων, είναι οι υδατάνθρακες. Οι **υδατάνθρακες** συχνά προκύπτουν από τα αμινοξέα και τα λιπίδια που περιέχει η διατροφή. Όσον αφορά το *T. molitor*, όταν η τροφή του περιέχει κάτω από 40% υδατάνθρακες δεν μπορεί να αναπτυχθεί, ενώ η βέλτιστη περιεκτικότητα υδατανθράκων στη τροφή του είναι 70%. Επιπλέον, στην διατροφή των εντόμων, είναι σημαντικό να περιέχονται λιπίδια, και συγκεκριμένα στερόλες. Οι **στερόλες** αποτελούν συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων, και δεν μπορούν να συντεθούν από τα ίδια τα έντομα, επομένως είναι απαραίτητο να το λαμβάνουν μέσω της διατροφής τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στερόλης αποτελεί η χοληστερόλη, η οποία είναι απαραίτητη για τη σύνθεση της εκδυσόνης. Άλλες ουσίες που ενώ είναι απαραίτητες, συχνά δεν μπορούν να παραχθούν από τα έντομα, είναι οι **οργανικές ουσίες**. Για παράδειγμα το *T. molitor*, για την ανάπτυξη του απαιτεί μία συγκεκριμένη βιταμίνη, που ονομάζεται καρνιτίνη. Για την ομαλή λειτουργία των κυττάρων, είναι απαραίτητα και

τα **ανόργανα συστατικά**, όπως για παράδειγμα ο σίδηρος, οποίος αποτελεί συστατικό των κυτοχρωμάτων και πρέπει να εμπεριέχεται στην τροφή των εντόμων (Charman, 1998).

1.5 Κυκλική Οικονομία & Εκτροφή Εντόμων

1.5.1 Κυκλική Οικονομία

Οι Haupt *et al.* το 2017 ανέφεραν πως ο όρος «**κυκλική οικονομία**» περιγράφει ένα σύστημα παραγωγής και κατανάλωσης, στο οποίο οι απώλειες ενέργειας και υλικών είναι μηδενικές, λόγω της εκτεταμένης ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και ανάκτησης. Στις μέρες μας, οι άνθρωποι, λόγω της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού, έχουν μπει στη διαδικασία να επαναπροσδιορίσουν τη σχέση ανθρώπου-περιβάλλοντος. Ουσιαστικά, η υιοθέτηση της νοοτροπίας της κυκλικής οικονομίας αποτελεί πλέον μονόδρομο για τον άνθρωπο, δεδομένων των περιβαλλοντικών και οικονομικών προβλημάτων που υφίστανται. Ο τομέας της γεωργίας, που ίσως είναι ο πιο σημαντικός τομέας για την επιβίωση του ανθρώπου, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σημερινής εποχής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ανάγκες σε τρόφιμα έχουν αυξηθεί κατακόρυφα, χωρίς να είναι βέβαιο ότι μπορούν να καλυφθούν, τα παραπροϊόντα που προκύπτουν από την αγροτική βιομηχανία αποτελούν πολύ σημαντική πηγή ρύπανσης (ίσως την πιο σημαντική) και η αξία των τροφίμων αλλάζει διαρκώς. Έτσι, οι επιστήμονες, έχουν στραφεί στην προώθηση καινοτόμων τεχνολογιών, που στοχεύουν στην ανακύκλωση των αποβλήτων και των παραπροϊόντων, που προέρχονται από τον τομέα της γεωργίας (Madau *et al.*, 2020).

1.5.2 Πλεονεκτήματα Εκτροφής Εντόμων – Εκτροφή Εντόμων & Κυκλική Οικονομία

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα κυκλικής οικονομίας αποτελεί η χρήση παραπροϊόντων, που προέρχονται από την αγροτική βιομηχανία, ως υποστρώματα σίτισης για εκτρεφόμενα έντομα (Madau *et al.*, 2020). Η εκτροφή εντόμων, σε σχέση με τη συμβατική κτηνοτροφία, απαιτεί πιο **λίγο χώρο**, αφού η εκτροφή γίνεται κάθετα, **δεν είναι απαραίτητη η επένδυση μεγάλου κεφαλαίου** για την έναρξη της παραγωγής, και είναι πιο **φιλική προς το περιβάλλον**, καθώς προκύπτουν λιγότερες εκπομπές αμμωνίας, αλλά και άλλων αερίων που σχετίζονται

με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπροσθέτως, εξαιτίας της ψυχρότητας φύσης τους, τα έντομα έχουν τη δυνατότητα να **μετατρέπουν αποτελεσματικά την τροφή που καταναλώνουν σε πρωτεΐνη** με υψηλή διατροφική αξία, ενώ **είναι δυνατόν να τραφούν με οργανικά υπολείμματα** (van Huis *et al.*, 2013). Τέλος, έχουν μικρό αποτύπωμα νερού, σε σχέση με την κλασική κτηνοτροφία, καθώς το **νερό** που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξή τους, το λαμβάνουν μέσω της τροφής τους (Madau *et al.*, 2020).

Η ανακύκλωση των οργανικών υπολειμμάτων και των τροφίμων, μέσω της κατανάλωσής τους από τα έντομα, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί χωρίς να παρατηρείται κάποια εξαιρετικά αρνητική επίδραση στην ποιότητα και την παραγωγικότητά τους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα σαπροφάγα έντομα δύνανται να αποικοδομήσουν οποιαδήποτε οργανική ύλη. Στην πλειονότητα των ερευνών που έχουν διεξαχθεί σχετικά με την ανακύκλωση οργανικών υπολειμμάτων, μέσω της κατανάλωσής τους από τα έντομα, με σκοπό την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων, που αργότερα αξιοποιούνται είτε ως ζωοτροφή στην κτηνοτροφία, είτε για την κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο, τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά (Borrello *et al.*, 2016).

Συγκριτικά με άλλες τακτικές ανακύκλωσης, που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς για την παραγωγή ζωοτροφών, με τη χρήση των εντόμων ως «μέσο ανακύκλωσης» δεν διακυβεύεται η ποιότητα της παραγωγής. Αντιθέτως, η αύξηση της παραγωγής ζωικής πρωτεΐνης (προερχόμενης κυρίως από τον τομέα της κτηνοτροφίας), που συνεπάγεται την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, έχει επιφέρει την υποβάθμιση οικοσυστημάτων (FAO, 2012, Herrero *et al.*, 2016). Επιπλέον, για την εκτροφή των ψαριών, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ιχθυάλευρων και άλλων πηγών πρωτεΐνης, οι οποίες λαμβάνονται από το θαλάσσιο οικοσύστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση του θαλάσσιου οικοσυστήματος, και τελικά την υποβάθμισή του (Arru *et al.*, 2019), ενώ όπως προαναφέρθηκε, τα έντομα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά σε διατροφές ψαριών, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα (Belghit *et al.*, 2018, Lock *et al.*, 2016, Barroso *et al.*, 2014).

1.5.3 Εκτροφή εντόμων σε οργανικά απόβλητα & αγροτικά παραπροϊόντα

Η χρησιμοποίηση των οργανικών αποβλήτων, που προκύπτουν από τη βιομηχανία τροφίμων, τον αγρό, αλλά και το νοικοκυριό, ως τροφή εντόμων, αποτελεί μία βιώσιμη τακτική που μπορεί να συνεισφέρει στη διαχείριση βιολογικών αποβλήτων, μετατρέποντάς τα σε πρωτεΐνη υψηλής διατροφικής αξίας. Το 1/3 των συνολικών παραγόμενων τροφίμων παγκοσμίως, απορρίπτεται. Ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, εντείνονται συνεχώς τα προβλήματα που σχετίζονται με την ανεπαρκή διαχείριση των απορριμμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στις χώρες αυτές, είναι πολύ συχνό το φαινόμενο μη συλλογής του 1/3 με 2/3 των σκουπιδιών. Η μία διέξοδος είναι η ελάττωση της απόρριψης των οργανικών αποβλήτων, ενώ η άλλη έγκειται στην αξιοποίησή τους. Η διαδικασία κατά την οποία τα οργανικά απορρίμματα μετατρέπονται σε κομπόστ, εξαιτίας της δραστηριότητας διαφόρων σαπροφάγων οργανισμών (γαιοσκώληκες και μικροοργανισμοί), είναι μια διαδικασία γνωστή και οικεία στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού. Από την άλλη, παρ' όλο που δεν είναι τόσο διαδεδομένο, υπάρχουν ορισμένα έντομα όπως η μαύρη στρατιωτόμυγα (*Hermetia illucens*), η κοινή μύγα (*Musca domestica*) και ορισμένα είδη σκωλήκων των αλεύρων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό (van Huis, 2013).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μαύρη στρατιωτόμυγα (*H. illucens*) σχετικά με τη μετατροπή οργανικών απορριμμάτων, αφού κατά τους Sheppard *et al.* (1994), έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει αποτελεσματικά την κοπριά από χοιρινά, πουλερικά και βοοειδή, σε μάζα σώματος, με αποτέλεσμα την σημαντική ελάττωση της μάζας της ξηρής ουσίας (έως 58%). Ακόμη, σε πειράματα, όταν οι μύγες *H. illucens* βρισκόταν στο στάδιο της προνύμφης, καταναλώνοντας τη κοπριά πουλερικών, μείωσαν τη *Salmonella enterica* serovar *enteritidis* (Erickson *et al.*, 2004), καταναλώνοντας κοπριά βοοειδών μείωσαν τα ποσά *Escherichia coli* (Liu *et al.*, 2008), και μπόρεσαν επίσης να ελαττώσουν προβληματικούς πληθυσμούς της κοινής μύγας (Sheppard, 1983, Bradley and Sheppard, 1984). Οι St-Hilaire *et al.* (2007) διαπίστωσαν πως η προνύμφη της μαύρης στρατιωτόμυγας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μονάδες επεξεργασίας ψαριών, προκειμένου να ανακυκλώσει τα εντόσθιά τους. Επιπλέον, οι Li *et al.* (2011) ανέφεραν πως εάν αναπτυχθούν προνύμφες της *H. illucens* σε 1 kg κοπριάς που προέρχεται από πουλερικά, βοοειδή και χοιρινά, η περιεκτικότητά τους σε λίπος αυξάνεται, και μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιοντίζελ (Li *et*

al., 2011). Ο αλευροσκώληκας *T. molitor* έχει αναπτυχθεί σε απόβλητα (μαγειρεμένα ή αποξηραμένα), όπως λαχανικά, φρούτα, δημητριακά και σε μεταξύ τους συνδυασμούς (Ramos-Elorduy *et al.*, 2002), ενώ σε άλλο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν ως υποστρώματα εκτροφής ορισμένα οργανικά απόβλητα όπως λαχανικά, υπολείμματα από τον κήπο, αλλά και κοπριά από βοοειδή και άλογα (Harsányi *et al.*, 2020). Οι Ocio *et al.* (1979) ανέφεραν πως η μύγα *M. domestica* αναπτύχθηκε σε οργανικά απόβλητα δήμου.

Τα είδη που έχουν την ικανότητα να βιοαποικοδομούν, εκπροσωπούν μία αξιοσημείωτη ομάδα εντόμων, αφού μπορούν να καταναλώσουν τόσο ζωική, όσο και φυτική αποσυντιθέμενη ύλη, και να αναπτυχθούν γρήγορα, συσσωρεύοντας βιομάζα. Επομένως, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης των υπολειμμάτων τροφής και των παραπροϊόντων ως τροφή για τέτοιου είδους έντομα, σταματώντας έτσι τη συμβατική απόρριψη τους, και προσδίδοντας τους ξανά αξία. Κατά τη συγκομιδή και καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας του συγκομιζόμενου προϊόντος, προκύπτουν παραπροϊόντα όπως πυρήνες, σπόροι, φλοιοί, κελύφη και φλούδια, τα οποία απορρίπτονται. Τα παραπροϊόντα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μαλακά, τα οποία έχουν χαμηλή πυκνότητα και μπορούν να συμπιεστούν εύκολα, όπως φλοιοί ρυζιού, κελύφη φιστικιών και σόγιας, και σε σκληρά, με υψηλή πυκνότητα, τα οποία δεν είναι εύκολο να συμπιεστούν, όπως είναι τα κελύφη των καρυδιών και των πεκάν και οι πυρήνες κερασιών ή ροδάκινων (Paraskeva *et al.*, 2008). Η συμπερίληψη των παραπροϊόντων, που πρακτικά έχουν χαμηλή, έως και μηδενική, οικονομική αξία, στη διατροφή των εντόμων, μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής τους, αφού η τροφή που χρησιμοποιείται για την εκτροφή εντόμων, αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους παραγωγής (Roffeis *et al.*, 2018, Varelas, 2019, Gasco *et al.*, 2020).

Έχουν διεξαχθεί διάφορα πειράματα σχετικά με την αξιολόγηση της καταλληλότητας αγροτικών παραπροϊόντων ως υπόστρωμα εκτροφής εντόμων. Σε πειράματα που διεξάχθηκαν, βρέθηκε πως η μαύρη στραπιωτόμυγα *H. illucens*, μπόρεσε να αναπτυχθεί σε υπολείμματα δημητριακών, που προκύπτουν κατά την απόστασή τους, όπως η βύνη που χρησιμοποιείται στη ζυθοποιία, αλλά και σε άλλα αγροτικά παραπροϊόντα (Webster *et al.*, 2015, Bava *et al.*, 2019, Scala *et al.*, 2020). Σε αντίστοιχα πειράματα, με σκοπό την αξιολόγηση παραπροϊόντων ως υπόστρωμα εκτροφής του εντόμου *A. diaperinus*, έχουν αξιολογηθεί διάφορα παραπροϊόντα όπως σπόροι δημητριακών, πίτουρα, άλευρα, παραπροϊόντα που προκύπτουν από την

επεξεργασία τριτικάλε, άλευρο από ηλιόσπορο, αλλά και βαμβακόσπορο, με τα αποτελέσματα να υποδεικνύουν πως πιο ικανοποιητική ανάπτυξη των προνυμφών υπήρξε στα αμυλούχα παραπροϊόντα (Rumbos *et al.*, 2020, Rumbos *et al.*, 2021, Gourgouta *et al.*, 2022). Όσον αφορά το *T. molitor* έχουν γίνει διάφορες έρευνες, κατά τις οποίες αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών του σε διάφορες δίαιτες, οι οποίες βασίζονταν σε παραπροϊόντα, με το περιεχόμενο της πρωτεΐνης και των λιπιδίων να ποικίλει σε κάθε μία από αυτές. Στα πειράματα αυτά, η πιο σύντομη ανάπτυξη και τα υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης καταγράφηκαν στις δίαιτες με το υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο (Harsányi *et al.*, 2020, Mancini *et al.*, 2019, Oonincx *et al.*, 2015, Ruschioni *et al.*, 2020, Stull *et al.*, 2019, Van Broekhoven *et al.*, 2015). Από την άλλη, σε πείραμα των Rumbos *et al.* (2021), όπου αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες, τα αποτελέσματα υπέδειξαν πως η ανάπτυξη των προνυμφών δεν εξαρτάται μόνο από το πρωτεϊνικό περιεχόμενο της διαίτας που καταναλώνουν, αλλά και από άλλους παράγοντες, αφού σε δίαιτες με ίδιο πρωτεϊνικό περιεχόμενο εντοπίστηκαν διαφορές στην ανάπτυξη των προνυμφών, ενώ υπήρξαν και δίαιτες με χαμηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο, που έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα από άλλες με υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης.

1.6 Σκοπός

Ορισμένα βρώσιμα είδη εντόμων είναι ικανά να αναπτύσσονται σε οργανικά απόβλητα, που προκύπτουν από τη βιομηχανία τροφίμων, τον αγρό, αλλά και το νοικοκυριό, συνεισφέροντας με αυτόν τον τρόπο στη διαχείριση βιολογικών αποβλήτων, αφού καταναλώνοντάς τα, τα μετατρέπουν σε πρωτεΐνη υψηλής διατροφικής αξίας. Τα παραπροϊόντα της αγροτικής βιομηχανίας, που έχουν χαμηλή, έως και μηδενική οικονομική αξία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα, είτε ως συστατικά μίας διαίτας, στην εκτροφή εντόμων, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος των εκτροφών. Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην αξιολόγηση της καταλληλότητας εννέα αγροτικών παραπροϊόντων, που είναι διαθέσιμα σε τοπικό επίπεδο, ως μοναδικό υπόστρωμα ανάπτυξης, ή ως συστατικά διαίτων που αποτελούνται από αυτά, για την ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα.

Κεφάλαιο 2: Υλικά & Μέθοδοι

2.1 Εκτροφή *Tenebrio molitor*

Η εκτροφή των εντόμων πραγματοποιήθηκε σε ειδικά σχεδιασμένα για την παραγωγή εντόμων τελάρα (60 x 40 x 14.5 cm) (Beekenkamp Verpakkingen BV, Maasdijk, The Netherlands). Για την επίτευξη της βέλτιστης κυκλοφορίας του αέρα στα τελάρα, συνεπώς και τον καλύτερο αερισμό των εντόμων, δεν χρησιμοποιήθηκαν καπάκια για την κάλυψη των τελάρων. Οι εκτροφές διατηρήθηκαν στη μονάδα πιλοτικής κλίμακας παραγωγής εντόμων, του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, σε ελεγχόμενες και σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας $27 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, σχετικής υγρασίας $55 \pm 5\%$ και συνεχές σκοτάδι. Η εκτροφή των προνυμφών πραγματοποιήθηκε σε πύτουρο σιταριού, ενώ 3 φορές τη βδομάδα προσφέρονταν άγαρ (20 g/L), τόσο στις προνύμφες, όσο και στα ενήλικα, έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του εντόμου σε υγρασία.



Εικόνα 5 Α) Πιλοτική μονάδα εκτροφής εντόμων Π. Θ.

Β) Αριστερά: τελάρο με ενήλικα άτομα *T. molitor*, Δεξιά: τελάρο με προνύμφες *T. molitor*

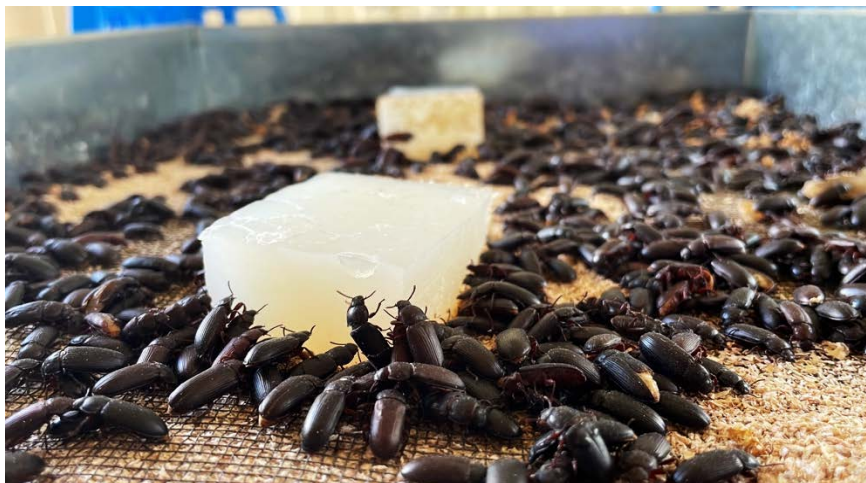
Γ) Άγαρ

Η διαδικασία παραγωγής των προνυμφών, για τη διατήρηση των εκτροφών, ξεκινάει με την προετοιμασία του υπόστρώματος ωτοκίας (πίτουρο σιταριού) όπου θα τοποθετηθούν 250 g ενήλικων ατόμων του *T. molitor* (γεννήτορες) και θα αφεθούν να αναπαραχθούν. Αρχικά προστίθενται 2 kg πίτουρο ανά πλαστικό τελάρο (διαστάσεις 60 x 40 x 15 εκ.). Στη συνέχεια τοποθετείται μια σίτα επάνω στο υπόστρωμα ώστε να διαχωρίζει τα ενήλικα άτομα από το υπόστρωμα όπου θα εναποθέσουν τα αυγά τους. Στόχος της χρήσης της σίτας είναι να αποφευχθεί ο κανιβαλισμός των απογόνων. Επιπλέον, μια ποσότητα τροφής (περίπου 100 g) τοποθετείται στο επάνω μέρος της σίτας για την σίτιση των ενηλίκων ενώ ως πηγή υγρασίας χρησιμοποιούνται κομμάτια άγαρ (20 g άγαρ/λίτρο H₂O). Με το πέρας μια εβδομάδας, η σίτα μαζί με τα ενήλικα αφαιρείται από τα τελάρα με το υπόστρωμα ωτοκίας. Τα τελάρα με το υπόστρωμα ωτοκίας, το οποίο πλέον περιέχει απογόνους (αυγά), τοποθετούνται και πάλι πίσω στο θάλαμο, προκειμένου να επιτευχθεί η εκκόλαψη των προνυμφών και η ανάπτυξη τους. Τα ενήλικα όλων των τελάρων αφαιρούνται από τη σίτα και τοποθετούνται όλα μαζί σε ένα κοινό τελάρο και πραγματοποιείται διαχωρισμός των ζωντανών από τα νεκρά ενήλικα. Τα ενήλικα τοποθετούνταν σε καινούργιο υπόστρωμα ωτοκίας προκειμένου να επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε οι προνύμφες να αναπτυχθούν πλήρως και να συγκομισθούν είναι περίπου 10 εβδομάδες. Ως ένδειξη για το πότε μια εκτροφή βρίσκεται στο στάδιο της συγκομιδής αποτελεί η παρουσία νυμφών, όταν δηλαδή ένα μικρό ποσοστό (>10%) των προνυμφών περάσουν στο επόμενο στάδιο, το στάδιο της νύμφης.

Για τη συλλογή των προνυμφών που απαιτούνταν για τη διεξαγωγή του πειράματος, ακολουθήθηκε η διαδικασία που προαναφέρθηκε, με τη διαφορά ότι ως υπόστρωμα ωτοκίας χρησιμοποιήθηκε αλεύρι. Οι προνύμφες που συλλέχθηκαν για το πείραμα ήταν 10 ημερών και περνούσαν από κόσκινο με άνοιγμα οπής 850μm, αλλά συγκρατούνταν από κόσκινο με άνοιγμα οπής 500μm, δηλαδή, με βάση το μέγεθος της κεφαλικής τους κάψας βρίσκονταν μεταξύ 4ης και 6ης προνυμφικής ηλικίας (Morales - Ramos *et al.*, 2015).



Εικόνα 7: Εκτροφή ενηλίκων σε αλεύρι με σκοπό την ωτοκόκκια



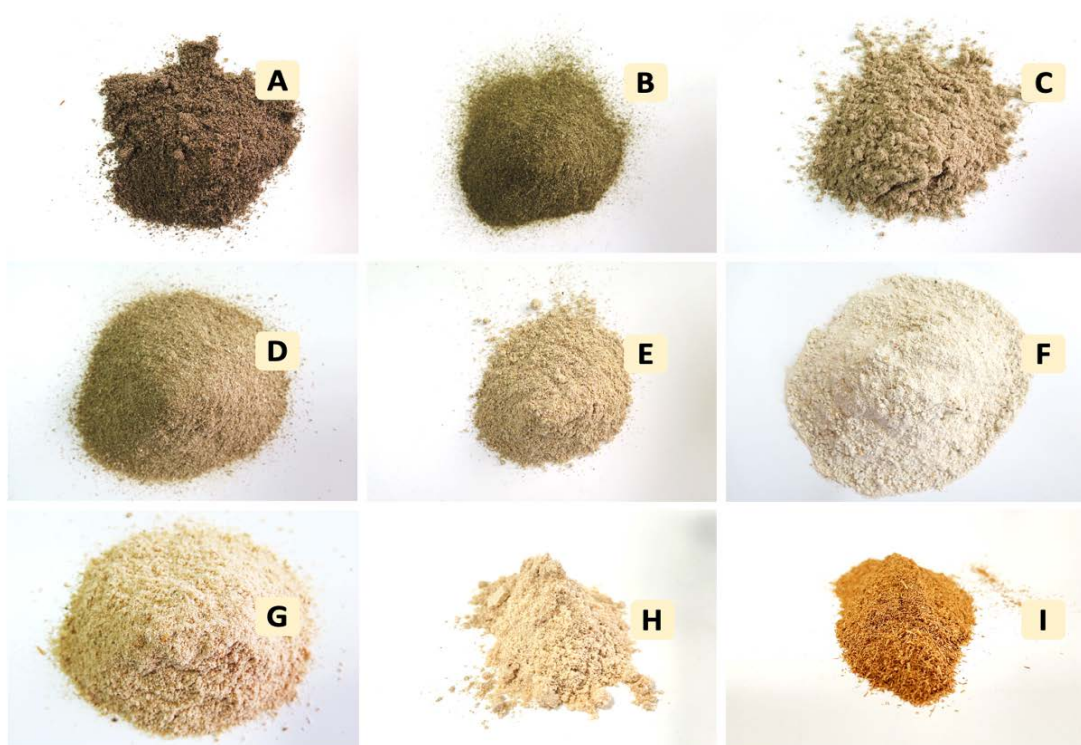
Εικόνα 6: Πρόσληψη υγρασίας -άγαρ- από ενήλικα και προνύμφες *T.molitor*

2.2 Παραπροϊόντα

Τα παραπροϊόντα, στα οποία αξιολογήθηκε η ανάπτυξη & η επιβίωση των προνυμφών, στο πείραμα, προέρχονται από την παραγωγή ρυζιού, βρώμης, κριθαριού, μηδικής, ηλιόσπορου, αραβόσιτου και μανιταριού. Αναλυτικότερα, τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: παραπροϊόν ηλιόσπορου, παραπροϊόν μηδικής (σε πελλέτα), παραπροϊόν βρώμης, παραπροϊόν βύνης κριθαριού (σε πελλέτα), παραπροϊόν αραβόσιτου, πίτουρο ρυζιού, φλούδια ρυζιού, εναπομείναν υπόστρωμα ανάπτυξης μανιταριών, μετά τη συγκομιδή των μανιταριών, και υπολείμματα σκόνης, που προέκυψαν από την άλεση των ζωοτροφών (Εικόνα 9). Όλα τα παραπροϊόντα, εκτός από το πίτουρο ρυζιού και τα υπολείμματα σκόνης που ήταν ήδη σε μορφή αλεύρου, αλέστηκαν (Thermomix TM31-96 1C, Vorwerk Elektrowerke GmbH & Co. K, Wuppertal, Germany) (Εικόνα 10). Τα παραπροϊόντα ελήφθησαν από την τράπεζα παραπροϊόντων που διατηρείται στο Εργαστήριο Εντομολογίας & Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.



Εικόνα 8: Τράπεζα Παραπροϊόντων Εργαστηρίου Εντομολογίας & Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας



Εικόνα 9: Τα παραπροϊόντα στα οποία αξιολογήθηκε η ανάπτυξη και η επιβίωση των προνυμφών του *T. molitor*, πριν και μετά την άλεση. A: παραπροϊόν ηλίόσπορου, B: παραπροϊόν μηδικής, C: παραπροϊόν βρώμης, D: παραπροϊόν βύνης κριθαριού, E: παραπροϊόν αραβόσιτου, F: υπολείμματα σκόνης ζωοτροφών, G: πίτουρο ρυζιού, H: φλούδι ρυζιού, I: παραπροϊόν μανιταριού



Εικόνα 10: Άλεση στο Thermomix TM31-96 1C

2.3 Πειραματικός Σχεδιασμός

Για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των παραπροϊόντων ως τροφή για τις προνύμφες του *T. molitor*, έλαβαν χώρα 4 βιοδοκιμές. Κατά την πρώτη βιοδοκιμή (Βιοδοκιμή I), τα παραπροϊόντα αξιολογήθηκαν σε επίπεδο εργαστηρίου ως μοναδικό υπόστρωμα ανάπτυξης των προνυμφών, ενώ τα παραπροϊόντα, στα οποία η ανάπτυξη των προνυμφών ήταν πιο ικανοποιητική, χρησιμοποιήθηκαν στην επόμενη βιοδοκιμή (Βιοδοκιμή II), όπου έγινε η αξιολόγηση της καταλληλότητας τους σε εμπορική κλίμακα, επίσης ως μοναδικό υπόστρωμα ανάπτυξης των προνυμφών. Με βάση τα αποτελέσματα των βιοδοκιμών I & II, σχεδιάστηκαν ισοπρωτεϊνικές δίαιτες, βασισμένες στα παραπάνω παραπροϊόντα, στα οποία η ανάπτυξη των προνυμφών ήταν πιο ικανοποιητική. Ακολούθησαν δύο βιοδοκιμές, η Βιοδοκιμή III σε εργαστηριακό επίπεδο και η Βιοδοκιμή IV σε εμπορική κλίμακα, κατά τις οποίες αξιολογήθηκε η καταλληλότητα των διαιτών ως τροφή για τις προνύμφες του *T. molitor*.

2.3.1 Βιοδοκιμή I: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T.molitor* σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή σε φιαλίδια (Εργαστηριακή Βιοδοκιμή)

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης βιοδοκιμής χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια (διάμετρος 7,5 εκ. και ύψος 8,8 εκ.), στα οποία αρχικά προστέθηκαν 4g από κάθε παραπροϊόν. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν έλεγχος της τροφής και σε περίπτωση που η τροφή είχε καταναλωθεί πλήρως, πραγματοποιούνταν προσθήκη νέας ποσότητας τροφής, αφού καταγραφόταν το βάρος της. Ως πηγή υγρασίας παρέχονταν στις προνύμφες άγαρ (20g/L) σε κύβους τρεις φορές την εβδομάδα. Επιπλέον, εκτός από τα παραπροϊόντα, το πίτουρο σιταριού, το οποίο είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο θρεπτικό υπόστρωμα για την εκτροφή του *T. molitor*, χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Σε κάθε φιαλίδιο προστέθηκαν 50 προνύμφες ηλικίας 10 ημερών (Εικόνα 11). Κάθε ομάδα 50 προνυμφών ζυγίζονταν κατά την έναρξη της βιοδοκιμής σε ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA). Στη συνέχεια, κάθε δύο εβδομάδες πραγματοποιούνταν μετρήσεις, κατά τις οποίες οι προνύμφες διαχωρίζονταν από το θρεπτικό υπόστρωμα και καταγράφονταν ο αριθμός των ζωντανών προνυμφών ενώ ταυτόχρονα καταγράφονταν και το συνολικό βάρος των προνυμφών. Η πειραματική διαδικασία έφτανε στο τέλος της όταν τουλάχιστον μια προνύμφη περνούσε στο επόμενο στάδιο, το στάδιο της νύμφης (Εικόνα 12). Για κάθε μεταχείριση (παραπροϊόν) έλαβαν χώρα 6 επαναλήψεις. Επιπλέον υπολογίστηκε ο συνολικός χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών ως ο αριθμός των ημερών από τη στιγμή που τοποθετήθηκαν οι προνύμφες στα κυλινδρικά δοχεία έως και την ημέρα εμφάνισης της πρώτης νύμφης.



Εικόνα 12: 50 προνύμφες ηλικίας 10 ημερών



Εικόνα 11: Διαχωρισμός εντόμων από το παραπροϊόν – Τέλος πειραματικής διαδικασίας,

Από τα αποτελέσματα του πειράματος υπολογίστηκαν ακόμη διάφοροι παράμετροι αξιοποίησης της τροφής, όπως αυτοί περιγράφονται από τον Waldbauer (1968). Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν ήταν ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (Feed Conversion Ratio - FCR) (Τύπος 1), δηλαδή η ποσότητα της τροφής που καταναλώθηκε (σε κιλά) για την απόκτηση ενός κιλού προνυμφών, με βάση τον τύπο: **FCR = (Τροφή που καταναλώθηκε) / (Τελικό Βάρος Προνυμφών)** (Τύπος 1). Ακόμη, υπολογίστηκε ο συντελεστής ECI (Efficiency of Conversion of Ingested food) (%) (Τύπος 2), με βάση τον τύπο: **Efficiency of Ingested Food Conversion (ECI) % = [(Τελικό Βάρος Προνυμφών) / (Τροφή που καταναλώθηκε)] * 100** (Τύπος 2), ο Ειδικός Ρυθμός Αύξησης SGR (Specific Growth Rate) (% day⁻¹), σύμφωνα με τον τύπο: **SGR = 100 * ((lnTBΠ-lnABΠ))/χρόνος ανάπτυξης** (Τύπος 3), όπου τα TBΠ και ABΠ αντιστοιχούν στο Τελικό και στο Αρχικό Βάρος Προνυμφών, αντίστοιχα. Το FCR εκφράζεται σε kg τροφής kg⁻¹ προνυμφών και το κόστος της τροφής σε € kg⁻¹ τροφής, όπως έχει περιγραφεί από τους Psofakis *et al.* (2020). Όσον αφορά το FCR και το ECI έγινε η υπόθεση ότι καταναλώθηκε όλη η ποσότητα της τροφής (στην πράξη είναι πιθανό μια μικρή ποσότητα τροφής να έμεινε ανεκμετάλλευτη). Μετά τη συγκομιδή, οι προνύμφες τοποθετούνταν για 24 ώρες στην κατάψυξη (-20°C) ώστε να θανατωθούν και να χρησιμοποιηθούν για περεταίρω αναλύσεις των θρεπτικών τους συστατικών σε επόμενες Ενότητες Εργασίας.

2.3.2 Βιοδοκιμή II: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα) & Ανάλυση της θρεπτικής σύστασης των προνυμφών

2.3.2.1 Ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά

Σε μια δεύτερη σειρά βιοδοκιμών, ως πειραματική μονάδα χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά τελάρα διαστάσεων (60 x 40 x 14.5 cm). Στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα παραπροϊόντα, τα οποία έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα στην πρώτη σειρά βιοδοκιμών, ενώ ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε, όπως και στην προηγούμενη βιοδοκιμή, το πίτουρο σιταριού. Στόχος της δεύτερης βιοδοκιμής ήταν η προσομοίωση της εκτροφής των προνυμφών τους εντόμου *T. molitor* σε μεγάλη κλίμακα, και για αυτόν ακριβώς το λόγο τα παραπροϊόντα δεν

αλέστηκαν πλήρως. Κατά την έναρξη της βιοδοκιμής, σε κάθε πλαστικό τελάρο προστέθηκαν 2.1 kg από κάθε παραπροϊόν μαζί με 10,000 προνύμφες ηλικίας 10 ημερών. Πραγματοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις για κάθε παραπροϊόν. Στη συνέχεια, οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν για δύο εβδομάδες στο εκάστοτε παραπροϊόν. Με το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, πραγματοποιούνταν ομογενοποίηση του περιεχομένου κάθε πλαστικού τελάρου ώστε να ληφθεί ένα δείγμα. Για κάθε δείγμα που είχε ληφθεί προσδιορίζονταν ο αριθμός των προνυμφών που αυτό περιείχε καθώς και το βάρος τους. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνονταν μια φορά την εβδομάδα. Η βιοδοκιμή τερματίζονταν και οι προνύμφες συγκομίζονταν είτε όταν σε δύο ή περισσότερες επαναλήψεις του εκάστοτε παραπροϊόντος είχε καταναλωθεί όλη η τροφή, είτε όταν ένα ποσοστό (>10%) προνυμφών είχαν μεταβεί στο στάδιο της νύμφης. Καθ' όλη τη διάρκεια της βιοδοκιμής παρέχονταν στις προνύμφες υγρασία (άγαρ) τρεις φορές την εβδομάδα. Μετά τη συγκομιδή, οι προνύμφες τοποθετούνταν για 24 ώρες στην κατάψυξη (-20°C) ώστε να θανατωθούν και να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναλύσεις των θρεπτικών τους συστατικών.



Εικόνα 13: Πειραματική μονάδα: Πλαστικό τελάρο (60 x 40 x 14.5 cm) με παραπροϊόν βρώμης και προνύμφες



Εικόνα 14: Διαδικασία ομογενοποίησης του περιεχομένου των πλαστικών τελάρων και λήψης δείγματος

2.3.2.2 Ανάλυση της θρεπτικής σύστασης των προνυμφών

Μετά την ολοκλήρωση της 2^{ης} βιοδοκιμής της αξιολόγησης της ανάπτυξης των προνυμφών σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά, σε μεγάλη κλίμακα, υπολογίστηκε η θρεπτική σύσταση των προνυμφών του *T. molitor* που τράφηκαν με τα διάφορα παραπροϊόντα. Συγκεκριμένα, η δεύτερη βιοδοκιμή (Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας), διευκόλυne τις διαδικασίες καθώς έδωσε τη δυνατότητα να παραχθούν προνύμφες σε μεγάλες ποσότητες, ώστε να μπορέσουν να διεκπεραιωθούν οι αναλύσεις σχετικά με τη θρεπτική τους σύσταση. Αρχικά, υπολογίστηκε η υγρασία/ξηρή ουσία των προνυμφών με την ξήρανση τριών (3) δειγμάτων από κάθε μεταχείριση σε φούρνο για 24 ώρες στους 105 °C (Εικόνα 15 Α). Στη συνέχεια, αφού οι προνύμφες -κάθε δείγματος- αλέστηκαν (Εικόνα 15 Β), ώστε να έχουν τη μορφή άλεου, τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των ολικών λιπαρών ουσιών των προνυμφών κάθε μεταχείρισης με την μέθοδο εκχύλισης Soxhlet (Sox-416 Macro, Gerhard, Germany).



Εικόνα 15: A) Ξήρανση προνυμφών στον φούρνο, στους 105 °C για 24 h, B) Άλεуро από προνύμφες *T. molitor*, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις

Αναλυτικότερα, για τη διαδικασία του προσδιορισμού των ολικών λιπαρών ουσιών, σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης προστέθηκαν 2 πέτρες βρασμού και καταγράφηκε το βάρος τους. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στα γυάλινα δοχεία εκχύλισης χάρτινοι ηθμοί και ζυγίστηκε ποσότητα δείγματος βάρους 1 g, η οποία τοποθετήθηκε στο χάρτινο δοχείου ηθμού. Εντός του γυάλινου δοχείου εκχύλισης προστέθηκαν 150 mL πετρελαϊκού αιθέρα, στον οποίο εμβαπτίστηκαν τα χάρτινα δοχεία ηθμού, τα οποία περιείχαν το δείγμα. Τα γυάλινα δοχεία εκχύλισης μαζί με τους χάρτινους ηθμούς μεταφέρθηκαν στην ειδική συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (συσκευή Soxhlet) (Εικόνα 16). Όσον αφορά την εκχύλιση, το πρώτο στάδιο αποτελούνταν από τη θέρμανση των δειγμάτων στους 150 °C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη. Κατά το δεύτερο στάδιο της εκχύλισης, ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε και εκπλύθηκε στο δείγμα για χρονικό διάστημα 1,5 ώρας. Κατόπιν, απορροφήθηκε ο διαλύτης για χρονικό διάστημα 15 λεπτών με αποτέλεσμα τα ολικά λιπίδια του δείγματος να παραμείνουν στον πάτο του γυάλινου δοχείου εκχύλισης (Εικόνα 17). Για την εξάτμιση των υπολειμμάτων πετρελαϊκού αιθέρα που τυχόν να περιείχαν τα δοχεία, τα γυάλινα δοχεία μεταφέρθηκαν στο φούρνο για 15 min στους 105 °C (χωρίς τους χάρτινους ηθμούς). Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αφυγραντήρα για χρονικό διάστημα 15 λεπτών και καταγράφηκαν οι μετρήσεις βάρους.

Το καθαρό βάρος των λιπαρών ουσιών των παραπροϊόντων υπολογίστηκε με βάση τον τύπο: **Ολικά λιπίδια % = (W(g) τελικό δοχείο εκχύλισης – W(g) αρχικό δοχείο εκχύλισης) * 100.**

Για τις προνύμφες της κάθε μεταχείρισης προσδιορίστηκαν ακόμη οι ολικές αζωτούχες ουσίες των με τη μέθοδο Kjeldahl (behr Labor-Technik GmbH, Germany) (Εικόνα 2). Για τον προσδιορισμό των ολικών αζωτούχων ουσιών, δείγματα των προνυμφών, βάρους 0,2 g μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs (5g Potassium Sulphate K_2SO_4 και 5 g copper (II) Sulphate $CuSO_4, 5H_2O$) ώστε να επιταχυνθεί η αντίδραση της πέψης. Στην συνέχεια, προστέθηκαν στα δείγματα 15ml πυκνού θειικού οξέως (H_2SO_4) και τοποθετήθηκαν στην συσκευή πέψης Kjeltec 2000. Η διαδικασία της πέψης έλαβε χώρα σε θερμοκρασία 150 °C για χρονικό διάστημα 85 λεπτών. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της πέψης, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στη συσκευή απόσταξης, στην οποία προστέθηκαν 100 ml απεσταγμένου H_2O , 80 ml NaOH καθώς και 50 ml H_3BO_3 και έγινε απόσταξη για χρονικό διάστημα 6 λεπτών. Στο τελικό στάδιο, έγινε τιτλοδότηση (Εικόνα 18) του διαλύματος βορικού αμμωνίου που παράχθηκε με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1 N) και η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N %) υπολογίστηκε από τη σχέση: **N % = [(ml HCl – ml τυφλού) x 0,8754] / Wδείγματος**

Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη χρησιμοποιήθηκε η σταθερά μετατροπής του αζώτου σε πρωτεΐνη (nitrogen-to-protein conversion factor, Kp) του Jones με τιμή 6,25.

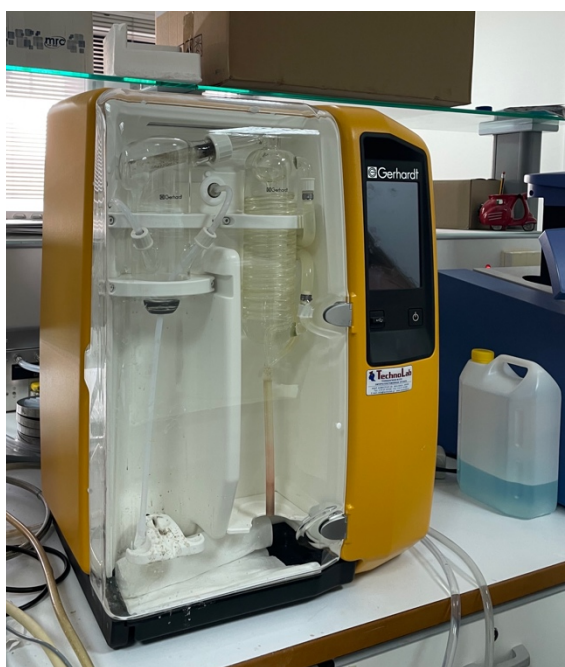
Όσον αφορά τον προσδιορισμό των ολικών ανόργανων ουσιών έγινε με αποτέφρωση των δειγμάτων σε φούρνο (Nabertherm L9/12/ C6, Lilienthal, Germany) στους 600 °C για χρονικό διάστημα 5 ωρών.



Εικόνα 16: Συσκευή εκχύλισης - Soxtherm Multistat/SX PC (Sox-416 Macro, Gerhard, Germany)



Εικόνα 17: Γυάλινα δοχεία εκχύλισης, με τους χάρτινους ηθμούς, στους οποίους περιέχονται τα δείγματα & ολικά λιπίδια των δειγμάτων στον πάτο των δοχείων



Εικόνα 18: αριστερά: Συσσκευή απόσταξης (Steam Distillation Apparatus S4, Behr, Germany), δεξιά: Τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1N) υπό καθεστώς συνεχούς κίνησης

2.3.3 Βιοδοκιμή III: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T.molitor* σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Εργαστηριακή Βιοδοκιμή (σε φιαλίδια)

Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την αξιολόγηση των παραπροϊόντων ξεχωριστά, σχεδιάστηκαν σιτηρέσια με σύνθετη φύση, χρησιμοποιώντας τα παραπροϊόντα που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανάμιξη των επιλεγμένων παραπροϊόντων, σε διάφορες αναλογίες, ώστε να συντεθούν 3 ομάδες ισοπρωτεϊνικών σιτηρεσίων. Η σύνθεση και το ποσοστό πρωτεΐνης των σιτηρεσίων, όπως αυτή υπολογίστηκε με βάση τη σύσταση των συστατικών του κάθε σιτηρεσίου, παρουσιάζονται στους Πίνακες 1, 2 και 3. Το επίπεδο πρωτεΐνης στην πρώτη ομάδα διαίτων (Α) ήταν στο 17,4% και ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε το πύτουρο σιταριού, στη δεύτερη ομάδα διαίτων (Β) το επίπεδο πρωτεΐνης ήταν στο 20,2% και ο μάρτυρας ήταν πύτουρο σιταριού με μαγιά σε αναλογία 9:1 και στην τρίτη ομάδα (Γ) το επίπεδο πρωτεΐνης ήταν στο 22,5% και ο μάρτυρας ήταν πύτουρο σιταριού με μαγιά σε αναλογία 8,2:1,8.

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης βιοδοκιμής χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια (7,5 εκ. διάμετρο και 8,8 εκ. ύψος) στα οποία αρχικά προστέθηκαν 4 g από το εκάστοτε σιτηρέσιο ως πηγή τροφής, όπως αυτά περιγράφονται στους Πίνακες 1, 2 και 3. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν έλεγχος των αποθεμάτων τροφής. Σε περίπτωση που η τροφή είχε καταναλωθεί πλήρως, πραγματοποιούνταν προσθήκη νέας τροφής η οποία καταγράφονταν. Ως πηγή υγρασίας παρέχονταν στις προνύμφες άγαρ σε κύβους τρεις φορές την εβδομάδα. Σε κάθε φιαλίδιο προστέθηκαν 50 προνύμφες ηλικίας 10 ημερών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες που περνούσαν από κόσκινο με άνοιγμα ματιού 850 μm αλλά συγκρατούνταν από κόσκινο με άνοιγμα ματιού 600 μm. Κάθε ομάδα 50 προνυμφών ζυγίζονταν κατά την έναρξη της βιοδοκιμής σε ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA). Στη συνέχεια, κάθε δύο εβδομάδες οι προνύμφες διαχωρίζονταν από το θρεπτικό υπόστρωμα και καταγράφονταν ο αριθμός των ζωντανών προνυμφών ενώ ταυτόχρονα καταγράφονταν και το συνολικό βάρος των προνυμφών. Για κάθε φιαλίδιο, η συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία έφτανε στο τέλος της όταν τουλάχιστον μια προνύμφη περνούσε στο επόμενο στάδιο, το στάδιο της νύμφης. Για κάθε μεταχείριση (σιτηρέσιο) πραγματοποιήθηκαν 6 επαναλήψεις.

Από τα αποτελέσματα του πειράματος υπολογίστηκαν ακόμη διάφοροι παράμετροι αξιοποίησης της τροφής, όπως αυτοί περιγράφονται από τον Waldbauer

(1968). Πιο συγκεκριμένα, υπολογίσθηκαν ήταν ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (Feed Conversion Ratio - FCR) (Τύπος 1), δηλαδή η ποσότητα της τροφής που καταναλώθηκε (σε κιλά) για την απόκτηση ενός κιλού προνυμφών, με βάση τον τύπο: **FCR= (Τροφή που καταναλώθηκε)/(Τελικό Βάρος Προνυμφών)** (Τύπος 1).

Ακόμη, υπολογίσθηκε ο συντελεστής ECI (Efficiency of Conversion of Ingested food) (%) (Τύπος 2), με βάση τον τύπο: **Efficiency of Ingested Food Conversion (ECI) (%) = (Τελικό Βάρος Προνυμφών)/ (Τροφή που καταναλώθηκε) * 100**, (Τύπος 2). Όσον αφορά το FCR και το ECI έγινε η υπόθεση ότι καταναλώθηκε όλη η ποσότητα της τροφής (στην πράξη είναι πιθανό μια μικρή ποσότητα τροφής να έμεινε ανεκμετάλλευτη).

Μετά τη συγκομιδή, οι προνύμφες τοποθετούνταν για 24 ώρες στην κατάψυξη (-20°C) ώστε να θανατωθούν και να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναλύσεις των θρεπτικών τους συστατικών.

Πίνακας 1: Πρώτη ομάδα διαίτων (Α) με επίπεδο πρωτεΐνης 17,4%.

	A1 (μάρτυρας)	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	100						
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)		68,9			46,5	34,8	
Βύνη Κριθαριού (Δ4)		31,1	57,5	36,7	21		40,7
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)			42,5	27,1			42,4
Πίτουρο ρυζιού (Α3)				36,2	32,5	49,2	
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)						16	16,9

Πίνακας 2: Δεύτερη ομάδα διαίτων (Β) με επίπεδο πρωτεΐνης 20,2%.

	B1 (μάρτυρας)	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	90,0						
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)		23,6			26	28,5	
Βύνη Κριθαριού (Δ4)		58,3	77,7	75,7	59,4		66
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)			22,3	20,8			22,2
Πίτουρο ρυζιού (Α3)		18,1		3,5	14,6	10	
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)						61,5	11,8
Ξηρή μαγιά	10,0						

Πίνακας 3: Τρίτη ομάδα διαίτων (Γ) με επίπεδο πρωτεΐνης 22,5%.

	Γ1 (μάρτυρας)	Γ2	Γ3	Γ4	Γ5	Γ6	Γ7
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	82,0						
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)		9,8			7	4	
Βύνη Κριθαριού (Δ4)		90,2	94	85,8	89		52
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)			6				5,70
Πίτουρο ρυζιού (Α3)				14,2	4	7	
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)						89	42,3
Ξηρή μαγιά	18,0						

2.3.4 Βιοδοκιμή IV: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα)

Στην τέταρτη σειρά βιοδοκιμών, ως πειραματική μονάδα, χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά τελάρα διαστάσεων (60 x 40 x 14.5 cm). Στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή χρησιμοποιήθηκαν, από κάθε μία από τις 2 ομάδες ισοπρωτεϊνικών σιτηρεσίων, τα σιτηρέσια, τα οποία κατά την τρίτη βιοδοκιμή έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα υπόλοιπα σιτηρέσια της ομάδας, ενώ χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί μάρτυρες, ανάλογα το πρωτεϊνικό επίπεδο. Ειδικότερα, στο πρώτο πρωτεϊνικό επίπεδο (17,4%) (ομάδα Α) ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε το πύτουρο σιταριού, στο δεύτερο πρωτεϊνικό επίπεδο (20,26%) (ομάδα Β) χρησιμοποιήθηκε μίγμα πύτουρου σιταριού και μαγιάς σε αναλογία 9:1. Στόχος της τέταρτης βιοδοκιμής ήταν η προσομοίωση της εκτροφής των προνυμφών τους εντόμου *T. molitor* σε μεγάλη κλίμακα. Τα παραπροϊόντα αλέστηκαν, έως ότου να έχουν τη μορφή άλευρου, και στη συνέχεια κοσκινίστηκαν με κόσκινο 500μm. Κατά την έναρξη της βιοδοκιμής, σε κάθε πλαστικό τελάρο προστέθηκαν 2.1 kg από κάθε παραπροϊόν μαζί με 10,000 προνύμφες ηλικίας 10 ημερών. Πραγματοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις για κάθε παραπροϊόν. Στη συνέχεια, οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν για δύο εβδομάδες στο εκάστοτε παραπροϊόν. Με το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, πραγματοποιούνταν ομογενοποίηση του περιεχομένου κάθε πλαστικού τελάρου ώστε να ληφθεί ένα δείγμα. Για κάθε δείγμα που είχε ληφθεί προσδιορίζονταν ο αριθμός των προνυμφών που αυτό περιείχε καθώς και το βάρος τους. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνονταν μια φορά την εβδομάδα. Η βιοδοκιμή τερματίζονταν και οι προνύμφες συγκομίζονταν είτε όταν σε δύο ή περισσότερες επαναλήψεις του εκάστοτε παραπροϊόντος είχε καταναλωθεί όλη η τροφή, είτε όταν ένα ποσοστό (>10%) προνυμφών είχαν μεταβεί στο στάδιο της νύμφης. Καθ' όλη τη διάρκεια της βιοδοκιμής παρέχονταν στις προνύμφες υγρασία (άγαρ) τρεις φορές την εβδομάδα.

Πίνακας 4: Σύσταση διαιτών 4ης Βιοδοκιμής

	A1 (μάρτυρας)	A4	B1 (μάρτυρας)	B2
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	100		90,0	
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)				23,6
Βύνη Κριθαριού (Δ4)				58,3
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)		36,7		
Πίτουρο ρυζιού (Α3)		27,1		18,1
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)		36,2		
Ξηρή μαγιά			10,0	

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα

3.1 Θρεπτική σύσταση των παραπροϊόντων

Η θρεπτική σύσταση καθώς και η περιεκτικότητα σε υγρασία των παραπροϊόντων, που στις βιοδοκιμές, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Η περιεκτικότητα των παραπροϊόντων σε πρωτεΐνη κυμάνθηκε από 5,6 μέχρι 23,4%. Υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη εντοπίστηκε στα εξής παραπροϊόντα: βύνη κριθαριού (23,4%), παραπροϊόν ηλιόσπορου (23,3%), πίτουρο ρυζιού & πίτουρο σιταριού (17,4%) και παραπροϊόν μηδικής (17,2%). Το χαμηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης εντοπίστηκε στα υπολείμματα ζωοτροφών (5,6%). Για όλα τα παραπροϊόντα, η ενέργεια κυμάνθηκε από 26,3 KJ/g έως 15,0 KJ/g με το παραπροϊόν ηλιόσπορου να φέρει την υψηλότερη ενέργεια (26,3 KJ/g). Το επίπεδο τέφρας, το οποίο αποτελεί ένδειξη για την περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά, ήταν υψηλό στα υπολείμματα των ζωοτροφών (17,2%) καθώς και στο παραπροϊόν ηλιόσπορου (16,0%), ενώ για όλα τα παραπροϊόντα τα επίπεδα τέφρας κυμάνθηκαν από 1,1% έως 17,2%. Όλα τα παραπροϊόντα είχαν μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία (2,9-14,1%).

Η αξιολόγηση των παραπροϊόντων έδειξε ότι υπάρχουν διαφορές όσον αφορά τη θρεπτική τους σύσταση. Επί παραδείγματι, επιλέχθηκαν παραπροϊόντα με υψηλή αλλά και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των παραπροϊόντων χρησιμοποιήθηκαν, έτσι ώστε να καταρτισθούν σιτηρέσια, τα οποία συνάδουν με τις τροφικές προτιμήσεις και τις διατροφικές απαιτήσεις του *T. molitor*.

Πίνακας 5: Υγρασία, θρεπτική σύσταση [πρωτεΐνη και τέφρα % επί ξηρού βάρους (ΞΒ)] και ολική ενέργεια (Kj/g DM) των παραπροϊόντων που αξιολογήθηκαν (n=3), με εξαίρεση το φλούδι ρυζιού και το υπόστρωμα μανιταριού πραγματοποιήθηκε μόνο μία επανάληψη για κάθε είδος χημικής ανάλυσης (n = 1).

Παραπροϊόντα	Υγρασία (%)	Πρωτεΐνη (% ΞΒ)	Τέφρα (% ΞΒ)	Ενέργεια (Kj/g)
Πίτουρο Σιταριού (μάρτυρας)	14,1 ± 0,2	17,4 ± 0,9	3,8 ± 0,2	
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)	3,3 ± 0,1	23,3 ± 0,7	15,9 ± 0,1	26,3 ± 0,1
Παραπροϊόν Μηδικής (Δ2)	5,1 ± 0,1	17,2 ± 0,9	6,7 ± 0,0	15,0 ± 0,0
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	2,9 ± 0,1	14,6 ± 3,8	7,2 ± 0,1	17,1 ± 0,0
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	4,3 ± 0,0	23,4 ± 1,1	3,4 ± 0,1	16,7 ± 0,1
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	4,2 ± 0,1	9,2 ± 1,0	1,1 ± 0,0	16,3 ± 0,0
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	6,7 ± 0,1	5,6 ± 0,8	17,2 ± 0,0	15,6 ± 0,1
Πίτουρο ρυζιού (Α3)	8,2 ± 0,4	17,4 ± 1,0	7,6 ± 0,1	
Φλούδι ρυζιού (Α1)	3,9	7,2	17,22	
Υπόστρωμα Μανιταριού (Α2)	2,1	7,6	13,01	

3.2 Βιοδοκιμή I: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή σε φιαλίδια (Εργαστηριακή Βιοδοκιμή)

Τα ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών του είδους *T. molitor* στα διάφορα παραπροϊόντα που αξιολογήθηκαν στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 και στο Γράφημα 1. Υψηλά ποσοστά επιβίωσης καταγράφηκαν όταν οι προνύμφες αναπτύχθηκαν στη βύνη κριθαριού (86,3%), στο πίτουρο ρυζιού (83,0%), στο παραπροϊόν αραβόσιτου (82,3%) καθώς και στο παραπροϊόν βρώμης (80,3%) (Πίνακας 12). Εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά επιβίωσης καταγράφηκαν από το πρώτο κιάλας διάστημα αξιολόγησης (4 εβδομάδες) στο παραπροϊόν ηλιόσπορου (8%) (Πίνακας 6). Όσον αφορά το μέσο τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών, αυτό διέφερε σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων και είναι εμφανές στον (Πίνακας 12) και στο Γράφημα 2. Τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά το τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών, όπως αυτό φαίνεται στον Πίνακα 12, καταγράφηκαν στο πίτουρο ρυζιού (120,1 mg), στο παραπροϊόν βρώμης (61,6 mg), στη βύνη κριθαριού (71,9 mg) και στο παραπροϊόν αραβόσιτου (76 mg), ενώ το χαμηλότερο τελικό ατομικό βάρος καταγράφηκε στις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στο παραπροϊόν μηδικής (25,8 mg), στο υπόστρωμα υπολειμμάτων ζωοτροφών (13,9 mg) και στο υπόστρωμα μανιταριού (6,7 mg). Ο χρόνος ανάπτυξης, το FCR, το ECI και ο συντελεστής SGR φαίνονται στον Πίνακα 13. Τα καλύτερα αποτελέσματα, βάσει του συντελεστή FCR (Πίνακας 13, Γράφημα 3), έδωσαν οι προνύμφες, οι οποίες αναπτύχθηκαν στο πίτουρο ρυζιού (2,6), στη βύνη κριθαριού (2,8) και στο παραπροϊόν βρώμης (3,2). Όσον αφορά το συντελεστή ECI (Πίνακας 6, Γράφημα 4), τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν: στο πίτουρο ρυζιού (39,1%), στη βύνη κριθαριού (36,7%) και στο παραπροϊόν βρώμης (31,8%). Για το συντελεστή SGR (Πίνακας 13, Γράφημα 5) οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στο πίτουρο ρυζιού (7,3%), τη βύνη κριθαριού (7,5%) και το παραπροϊόν βρώμης (6,8%) έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος, όσον αφορά το χρόνο ανάπτυξης (Πίνακας 13, Γράφημα 6), η ταχύτερη ανάπτυξη καταγράφηκε για τις προνύμφες, που αναπτύχθηκαν στη βύνη κριθαριού (67,5 ημέρες), στο πίτουρο ρυζιού (69,3 ημέρες) και στο παραπροϊόν βρώμης (71,6 ημέρες).

Πίνακας 6: Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) ($n = 6$). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα $n = 1$, λόγω θανάτου των προνυμφών (Μέρος 1 από 2).

Παραπροϊόν	Επιβίωση προνυμφών (%)				
	2 Εβδομάδες	4 Εβδομάδες	6 Εβδομάδες	8 Εβδομάδες	10 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	100,00 \pm 0,0	93,3 \pm 4,8	92,7 \pm 5,0	92,3 \pm 5,3	92,0 \pm 4,9
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου ($\Delta 1$)	100,00 \pm 0,0	8,0 \pm 8,3	1,3 \pm 2,4	1,0	1,0
Παραπροϊόν Μηδικής ($\Delta 2$)	100,00 \pm 0,0	87,7 \pm 8,7	81,0 \pm 7,0	77,7 \pm 9,6	75,7 \pm 9,6
Παραπροϊόν Βρώμης ($\Delta 3$)	100,00 \pm 0,0	86,3 \pm 5,9	84,0 \pm 8,9	82,0 \pm 10,4	80,3 \pm 10,6
Βύνη Κριθαριού ($\Delta 4$)	100,00 \pm 0,0	92,0 \pm 5,5	90,3 \pm 4,9	87,3 \pm 7,2	86,3 \pm 6,9
Παραπροϊόν Αραβόσιτου ($\Delta 5$)	100,00 \pm 0,0	91,7 \pm 3,2	89,0 \pm 4,3	86,0 \pm 5,2	85,3 \pm 5,8
Υπολείμματα Ζωοτροφών ($\Delta 6$)	100,00 \pm 0,0	92,0 \pm 4,0	89,3 \pm 3,5	82,0 \pm 6,1	71,7 \pm 4,8
Φλούδι Ρυζιού (A1)	100,00 \pm 0,0	93,3 \pm 3,7	92 \pm 4	90 \pm 3,3	90 \pm 3,3
Υπόστρωμα Μανιταριού (A2)	100,00 \pm 0,0	30,5 \pm 30,0	35 \pm 23,9	23 \pm 13,4	17 \pm 12,0
Πίτουρο Ρυζιού (A3)	100,00 \pm 0,0	93,0 \pm 4,1	92,0 \pm 5,5	88,6 \pm 6,1	87,3 \pm 5,3

Πίνακας 7: (Συνέχεια) Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) (n = 6). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η βδομάδα n = 1, λόγω θανάτου των προνυμφών (Μέρος 2 από 2).

Παραπροϊόν	Επιβίωση προνυμφών (%)			
	12 Εβδομάδες	14 Εβδομάδες	16 Εβδομάδες	18 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)				
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)	1,0	1,0		
Παραπροϊόν Μηδικής (Δ2)	71,7 \pm 9,1	68,7 \pm 7,9		
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	79,7 \pm 10,8			
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	85,0 \pm 7,5			
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	85,0 \pm 5,5	82,3 \pm 4,6		
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	64,0 \pm 4,7	56,3 \pm 7,5		
Φλούδι Ρυζιού (Α1)	88,7 \pm 3,7	88,0 \pm 2,1	91,3 \pm 3,1	87,3 \pm 4,8
Υπόστρωμα Μανιταριού (Α2)	15,7 \pm 10,7	15,0 \pm 5,7	14 \pm 7,2	13,0 \pm 7,2
Πίτουρο ρυζιού (Α3)	84,0 \pm 5,5	83,0 \pm 6,0		

Πίνακας 8: Συνολικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) (n = 6). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα n = 1, λόγω θανάτου των προνυμφών (Μέρος 1 από 2).

Παραπροϊόν	Συνολικό βάρος προνυμφών (mg)				
	2 Εβδομάδες	4 Εβδομάδες	6 Εβδομάδες	8 Εβδομάδες	10 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	33,4 \pm 2,0	110,2 \pm 26,2	579,2 \pm 206,6	2422,3 \pm 170,7	4580,3 \pm 432,0
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)	34,0 \pm 3,5	3,6 \pm 3,9	3,1 \pm 4,2	9,9	18,0
Παραπροϊόν Μηδικής (Δ2)	34,4 \pm 3,5	61,2 \pm 5,5	117,3 \pm 23,8	182,9 \pm 31,7	253,9 \pm 46,5
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	38,2 \pm 6,9	83,8 \pm 16,5	285,3 \pm 68,8	1032,8 \pm 305,4	2508,3 \pm 721,2
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	34,0 \pm 3,1	79,7 \pm 17,5	310,8 \pm 74,8	1252,5 \pm 416,4	3120,1 \pm 804,6
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	36,0 \pm 3,1	99,4 \pm 11,5	249,3 \pm 42,5	581,5 \pm 52,5	1237,1 \pm 151,5
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	35,2 \pm 2,2	73,9 \pm 5,1	129,0 \pm 12,4	181,9 \pm 18,4	251,8 \pm 49,1
Φλούδι Ρυζιού (Α1)	39,1 \pm 3,5	11,0 \pm 6,3	399,1 \pm 34,5	693,1 \pm 56,7	1004,5 \pm 88,7
Υπόστρωμα Μανιταριού (Α2)	37,7 \pm 8,4	34,3 \pm 17,4	24,2 \pm 16,5	22,3 \pm 10,7	25,6 \pm 17,6
Πίτουρο ρυζιού (Α3)	37,3 \pm 4,7	74,0 \pm 10,7	241,6 \pm 40,9	1113,1 \pm 238,8	3112,0 \pm 690,8

Πίνακας 9: (Συνέχεια) Συνολικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) ($n = 6$). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα $n = 1$, λόγω θανάτου των προνυμφών (Μέρος 2 από 2).

Παραπροϊόν	Συνολικό βάρος προνυμφών (mg)			
	12 Εβδομάδες	14 Εβδομάδες	16 Εβδομάδες	18 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)				
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου ($\Delta 1$)	60,7	169,9	306,7	219,0
Παραπροϊόν Μηδικής ($\Delta 2$)	322,2 \pm 58,9	843,8 \pm 439,3		
Παραπροϊόν Βρώμης ($\Delta 3$)	4003,1 \pm 622,3			
Βύνη Κριθαριού ($\Delta 4$)	4266,0 \pm 391,3			
Παραπροϊόν Αραβόσιτου ($\Delta 5$)	2132,1 \pm 248,9	3136,4 \pm 444,8		
Υπολείμματα Ζωοτροφών ($\Delta 6$)	305,0 \pm 87,2	391,7 \pm 104,7		
Φλούδι Ρυζιού (A1)	1024,7 \pm 68,7	1370,4 \pm 134,7	1328,7 \pm 727,8	1316,8 \pm 17,2
Υπόστρωμα Μανιταριού (A2)	34,2 \pm 27,3	42,7 \pm 29,3	22,1 \pm 25,2	37,8 \pm 15,5
Πίτουρο ρυζιού (A3)	4968,9 \pm 510,7	4986,2 \pm 600,3		

Πίνακας 10: Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) ($n = 6$). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα $n = 1$, λόγω θανάτου των προνυμφών (Μέρος 1 από 2).

Παραπροϊόν	Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg)				
	2 Εβδομάδες	4 Εβδομάδες	6 Εβδομάδες	8 Εβδομάδες	10 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	0,7 \pm 0,0	2,5 \pm 0,4	13,3 \pm 3,5	52,6 \pm 4,6	107,8 \pm 10,0
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου ($\Delta 1$)	0,7 \pm 0,1	0,9 \pm 0,3	1,1 \pm 1,4	3,3	6,0
Παραπροϊόν Μηδικής ($\Delta 2$)	0,7 \pm 0,1	1,4 \pm 0,1	2,9 \pm 0,6	4,7 \pm 0,9	6,8 \pm 1,3
Παραπροϊόν Βρώμης ($\Delta 3$)	0,8 \pm 0,1	1,9 \pm 0,3	6,8 \pm 1,2	24,8 \pm 5,0	61,6 \pm 11,8
Βύνη Κριθαριού ($\Delta 4$)	0,7 \pm 0,1	1,7 \pm 0,3	6,8 \pm 1,3	28,3 \pm 7,7	71,9 \pm 14,1
Παραπροϊόν Αραβόσιτου ($\Delta 5$)	0,7 \pm 0,1	2,2 \pm 0,2	5,6 \pm 0,7	13,5 \pm 0,9	29,0 \pm 2,0
Υπολείμματα Ζωοτροφών ($\Delta 6$)	0,7 \pm 0,0	1,6 \pm 0,1	2,9 \pm 0,3	4,5 \pm 0,7	7,1 \pm 2,6
Φλούδι Ρυζιού (A1)	0,8 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	8,7 \pm 1,1	15,4 \pm 1,1	22,4 \pm 1,7
Υπόστρωμα Μανιταριού (A2)	0,8 \pm 0,2	1,1 \pm 0,1	1,4 \pm 0,2	2,1 \pm 0,4	3,0 \pm 1,2
Πίτουρο ρυζιού (A3)	0,7 \pm 0,09	1,6 \pm 0,2	5,2 \pm 1,0	25,0 \pm 4,6	70,8 \pm 12,6

Πίνακας 11: (Συνέχεια) Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) (n = 6). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η βδομάδα n = 1 (Μέρος 2 από 2).

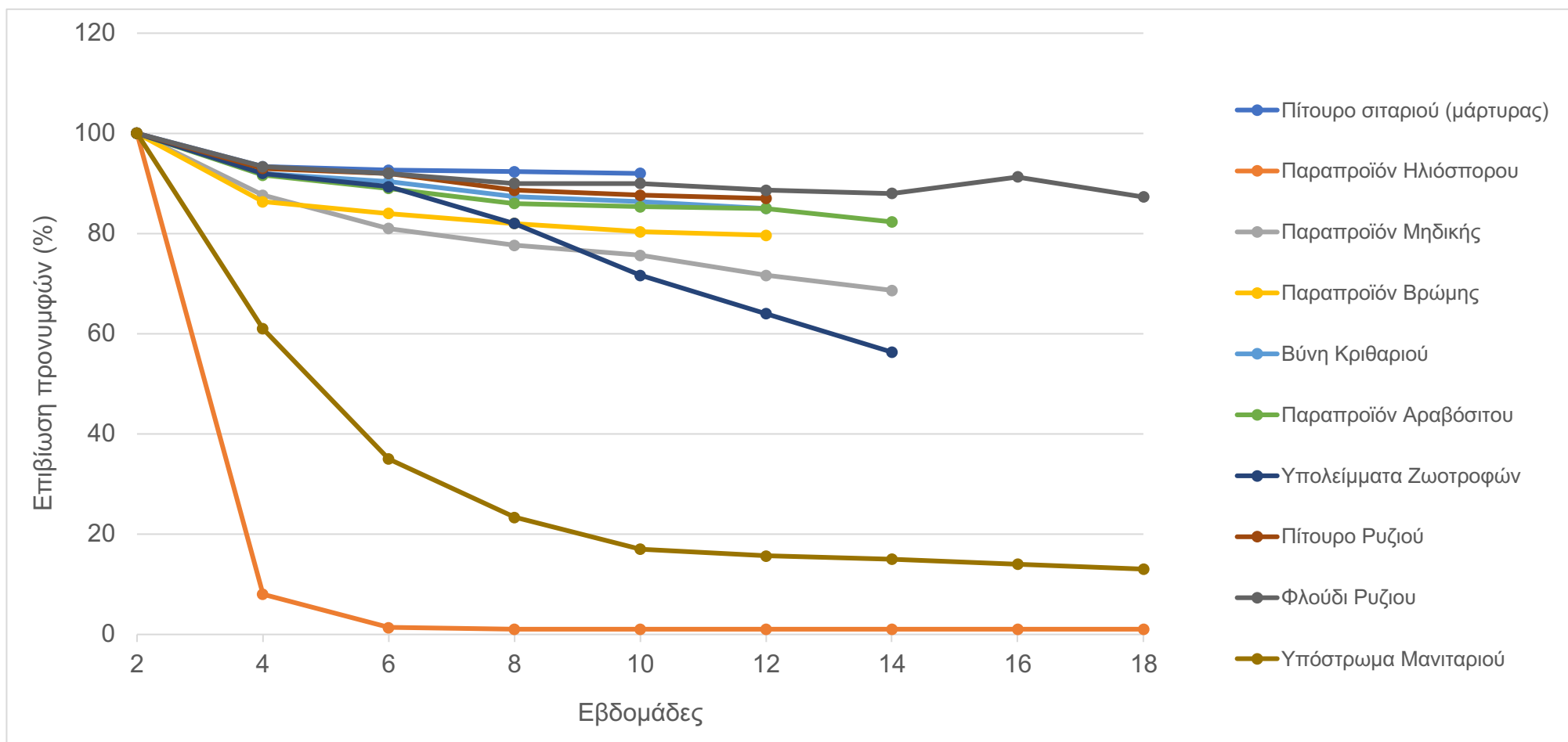
Παραπροϊόν	Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg)			
	12 Εβδομάδες	14 Εβδομάδες	16 Εβδομάδες	18 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)				
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου (Δ1)	20,2	56,6	102,2	109,8
Παραπροϊόν Μηδικής (Δ2)	9,1 \pm 2,1	29,3 \pm 15,2	72,5 \pm 4,8	
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	103,5 \pm 6,4			
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	106,0 \pm 11,9			
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	50,1 \pm 3,4	76,0 \pm 7,6	84,5 \pm 3,6	
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	9,5 \pm 2,6	13,9 \pm 3,0	18,0 \pm 2,7	18,8 \pm 2,9
Φλούδι Ρυζιού (Α1)	23,1 \pm 1,7	31,3 \pm 4,0	29,1 \pm 1,2	30,2 \pm 2,5
Υπόστρωμα Μανιταριού (Α2)	4,1 \pm 2,6	6,7 \pm 3,5	6,9 \pm 1,7	6,9 \pm 2,1
Πίτουρο Ρυζιού (Α3)	118,3 \pm 10,4	120,2 \pm 12,3		

Πίνακας 12: Τελικό ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%), τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (mg) και τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) (n = 6). Το παραπροϊόν ηλιόσπορου ($\Delta 1$) δεν συμπεριλήφθηκε στη στατιστική ανάλυση, λόγω θανάτου των προνυμφών (n = 1). Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

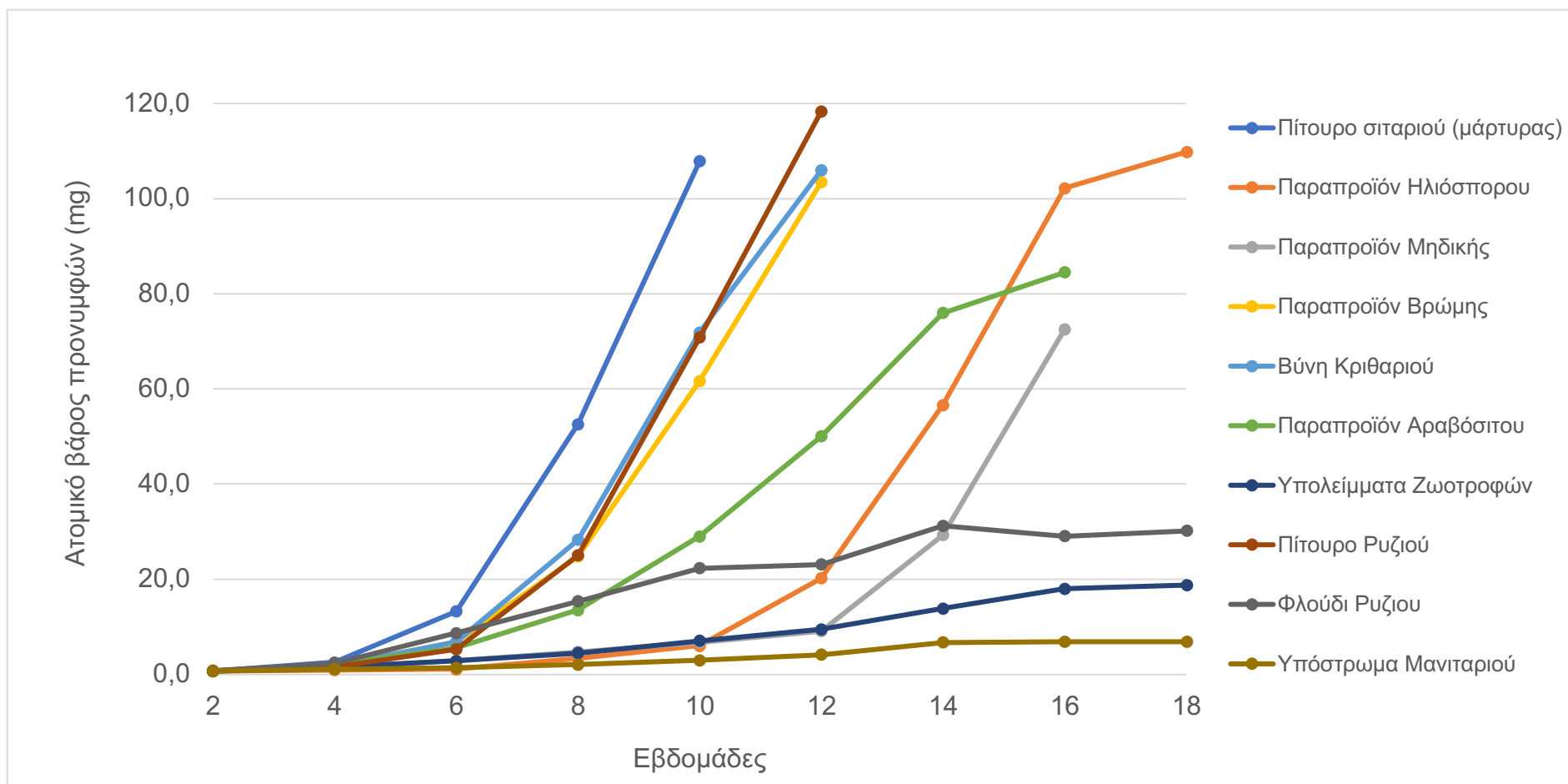
Παραπροϊόν	Αποτελέσματα συγκομιδής		
	Τελικό ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%)	Τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (mg)	Τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg)
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	92,0 \pm 4,9 a	4580,3 \pm 432,0 a	107,8 \pm 10,0 a
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου ($\Delta 1$)	1,0 \pm 2,4	219,0	56,6 \pm 0,0
Παραπροϊόν Μηδικής ($\Delta 2$)	68,7 \pm 7,9 b	843,8 \pm 439,3 c	25,8 \pm 15,2 ab
Παραπροϊόν Βρώμης ($\Delta 3$)	80,3 \pm 10,6 a	1032,8 \pm 305,4 c	61,6 \pm 11,8 a
Βύνη Κριθαριού ($\Delta 4$)	86,3 \pm 6,9 a	1252,5 \pm 416,4 c	71,9 \pm 14,1 a
Παραπροϊόν Αραβόσιτου ($\Delta 5$)	82,3 \pm 4,6 a	3136,4 \pm 444,8 c	76,0 \pm 7,6 a
Υπολείμματα Ζωοτροφών ($\Delta 6$)	56,3 \pm 7,5 b	391,7 \pm 104,7 c	13,9 \pm 3,0 c
Φλούδι Ρυζιού (A1)	88,0 \pm 4,3 a	1370,4 \pm 134,7 b	31,3 \pm 4,0 c
Υπόστρωμα Μανιταριού (A2)	15,0 \pm 11,4 c	42,7 \pm 29,3 c	6,7 \pm 3,5 c
Πίτουρο ρυζιού (A3)	83,0 \pm 6,0 a	4986,2 \pm 600,3 a	120,1 \pm 12,3 b

Πίνακας 13: Συντελεστές FCR, ECI, SGR και χρόνος ανάπτυξης (ημέρες) των προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή Ι) (n = 6). Το παραπροϊόν ηλιόσπορου ($\Delta 1$) δεν συμπεριλήφθηκε στη στατιστική ανάλυση, λόγω θανάτου των προνυμφών (n = 1), ενώ το υπόστρωμα μανιταριού (A2) δεν συμπεριλήφθηκε στη στατιστική ανάλυση για τα FCR, λόγω της πολύ υψηλής τιμής του. Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$).

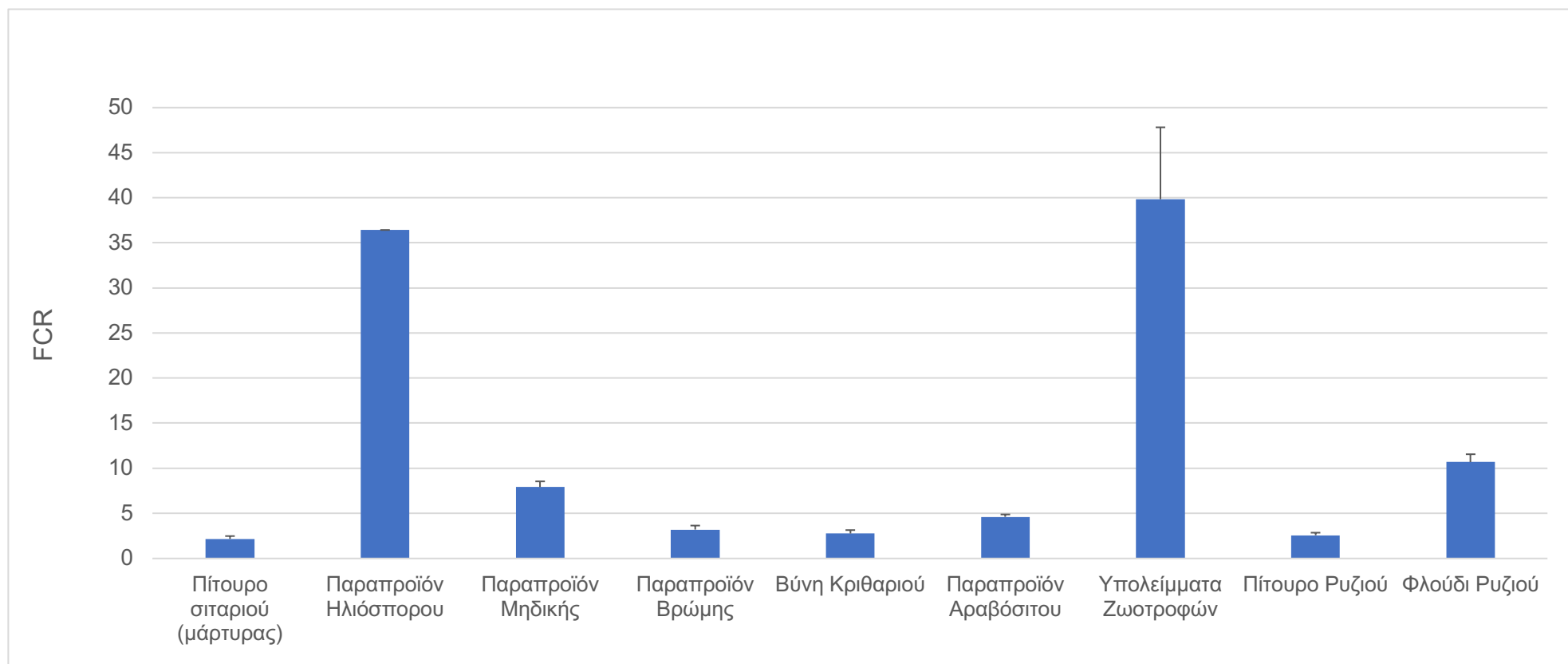
Παραπροϊόν	FCR	ECI (%)	SGR (% ημέρα ⁻¹)	Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (ημέρες)
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	2,2 \pm 0,3 a	47,0 \pm 7,0 a	8,9 \pm 9,1 a	55,3 \pm 1,6 a
Παραπροϊόν Ηλιόσπορου ($\Delta 1$)	36,4	2,7	4,7	110
Παραπροϊόν Μηδικής ($\Delta 2$)	7,9 \pm 0,6 ab	12,7 \pm 1,0 d	4,2 \pm 0,0 c	109,6 \pm 3,5 d
Παραπροϊόν Βρώμης ($\Delta 3$)	3,2 \pm 0,4 a	31,8 \pm 4,2 b	6,8 \pm 0,2 b	71,6 \pm 3,3 b
Βύνη Κριθαριού ($\Delta 4$)	2,8 \pm 0,4 a	36,7 \pm 4,7 b	7,5 \pm 0,6 b	67,5 \pm 6,1 b
Παραπροϊόν Αραβόσιτου ($\Delta 5$)	4,6 \pm 0,2 ab	21,7 \pm 1,3 c	4,9 \pm 0,2 c	99,3 \pm 5,1 c
Υπολείμματα Ζωοτροφών ($\Delta 6$)	39,8 \pm 7,9 c	2,6 \pm 0,5 e	2,6 \pm 0,1 d	126 \pm 0,0 e
Φλούδι Ρυζιού (A1)	10,7 \pm 0,9 b	9,4 \pm 0,7 de	2,9 \pm 0,1 d	126 e
Υπόστρωμα Μανιταριού (A2)	146,8 \pm 128,9	0,9 \pm 0,4	1,7 \pm 0,3 e	126 e
Πίτουρο ρυζιού (A3)	2,6 \pm 0,3 a	39,1 \pm 4,5 ab	7,3 \pm 0,2 b	69,3 \pm 3,0 b



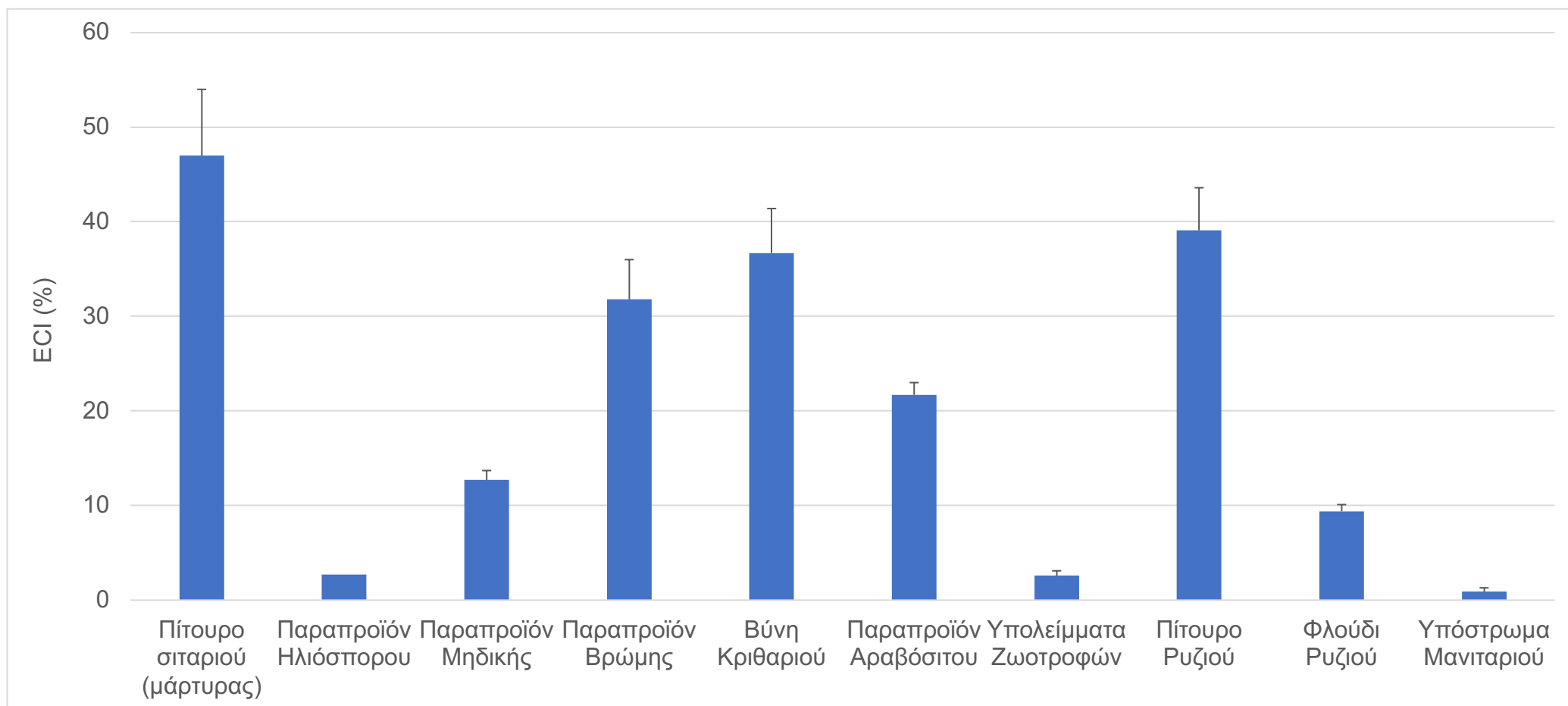
Γράφημα 1: Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή Ι) (n = 6). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα n = 1, λόγω θανάτου των προνυμφών.



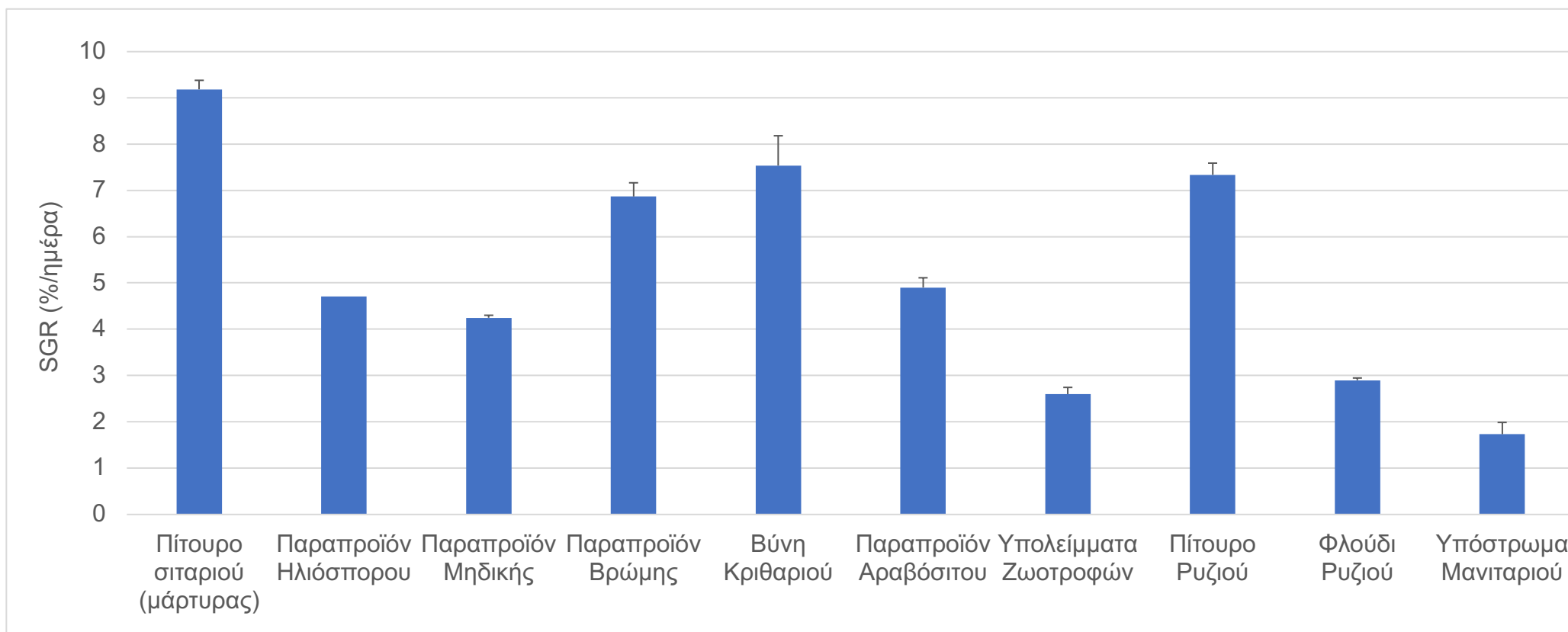
Γράφημα 2: Ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπρωϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή I) (n = 6). Στο παραπρωϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα n = 1, λόγω θανάτου των προνυμφών.



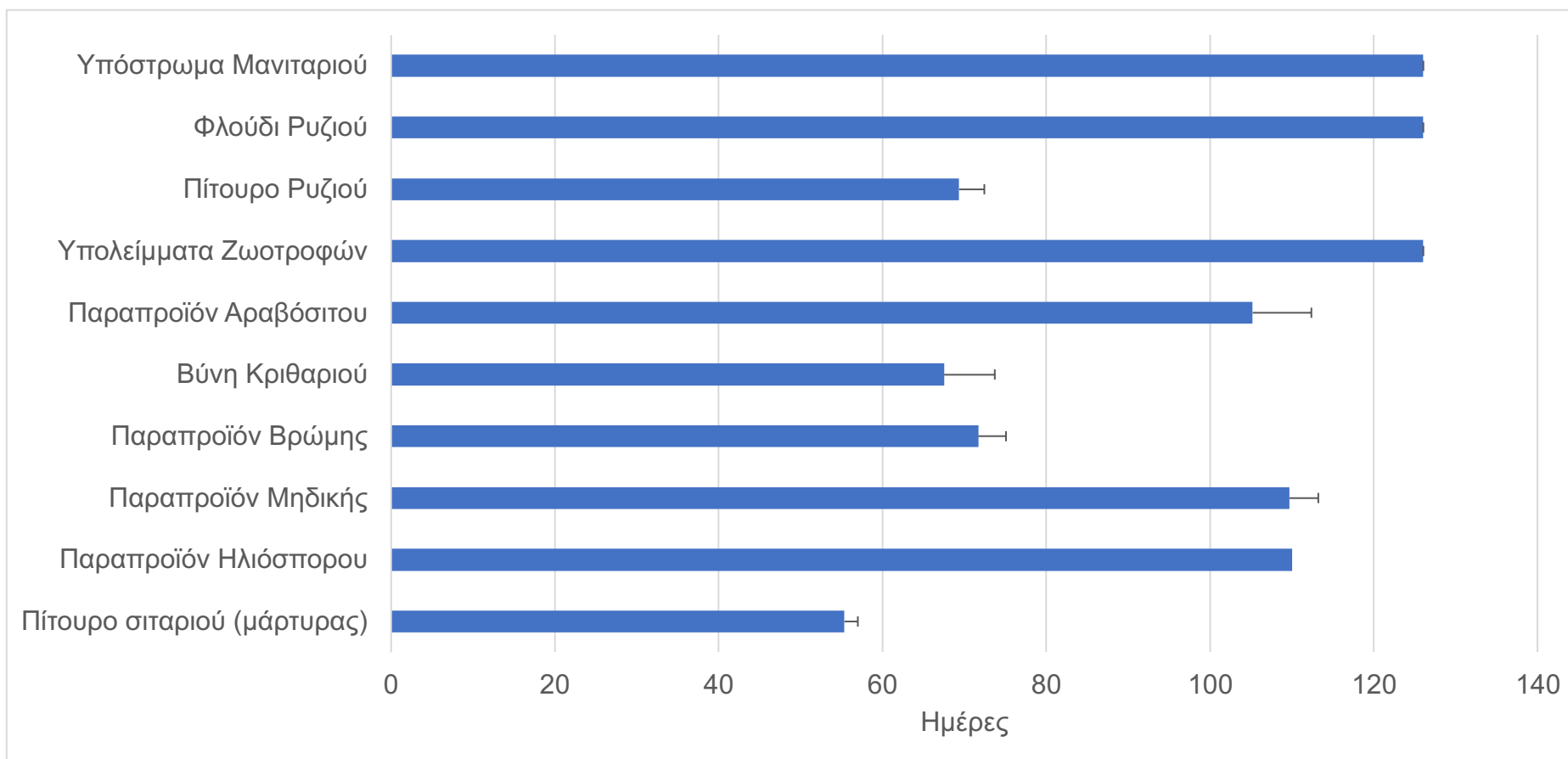
Γράφημα 3: Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής (Feed Conversion Ratio - FCR) για τις προνύμφες του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) (n = 6). Το υπόστρωμα μανιταριού δεν συμπεριλήφθηκε στο γράφημα, λόγω της πολύ μεγάλης τιμής του δείκτη FCR του (146,8). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα n = 1, λόγω θανάτου των προνυμφών.



Γράφημα 4: Συντελεστής ECI (Efficiency of Conversion of Ingested food) (%) των προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) ($n = 6$). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η εβδομάδα $n = 1$, λόγω θανάτου των προνυμφών.



Γράφημα 5: Ειδικός Ρυθμός Αύξησης SGR (Specific Growth Rate) (%/day) των προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπρωϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) ($n = 6$). Στο παραπρωϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η βδομάδα $n = 1$, λόγω θανάτου των προνυμφών.



Γράφημα 6: Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες) των προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε εννέα (9) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή I) ($n = 6$). Στο παραπροϊόν ηλιόσπορου, μετά την 6η βδομάδα $n = 1$, λόγω θανάτου των προνυμφών.

3.3 Βιοδοκιμή II: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε κάθε παραπροϊόν ξεχωριστά – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα) & Ανάλυση της θρεπτικής σύστασης των προνυμφών

Στη δεύτερη σειρά βιοδοκιμών καταγράφηκε η ανάπτυξη των προνυμφών του είδους *T. molitor*, και συγκεκριμένα η αύξηση του ατομικού βάρους τους, όπως αυτή εμφανίζεται στον Πίνακα 14 και στο Γράφημα 7. Από τα παραπροϊόντα που αξιολογήθηκαν, το υψηλότερο βάρος ανά προνύμφη καταγράφηκε στη βύνη κριθαριού με 90,7 mg ανά προνύμφη, ενώ ακολούθησε το παραπροϊόν βρώμης με 82,6 mg ανά προνύμφη. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα δύο αυτά παραπροϊόντα έδωσαν ατομικό βάρος προνύμφης το οποίο ήταν πολύ κοντά σε αυτό του μάρτυρα (98,3 mg ανά προνύμφη). Χαμηλότερα τελικά ατομικά βάρη προνυμφών καταγράφηκαν για τα υπόλοιπα παραπροϊόντα. Επί παραδείγματι, το χαμηλότερο ατομικό βάρος προνύμφης καταγράφηκε για το παραπροϊόν αραβόσιτου καθώς και για τα υπολείμματα ζωοτροφών (44,1 mg και 35,6 mg ανά προνύμφη, αντίστοιχα).

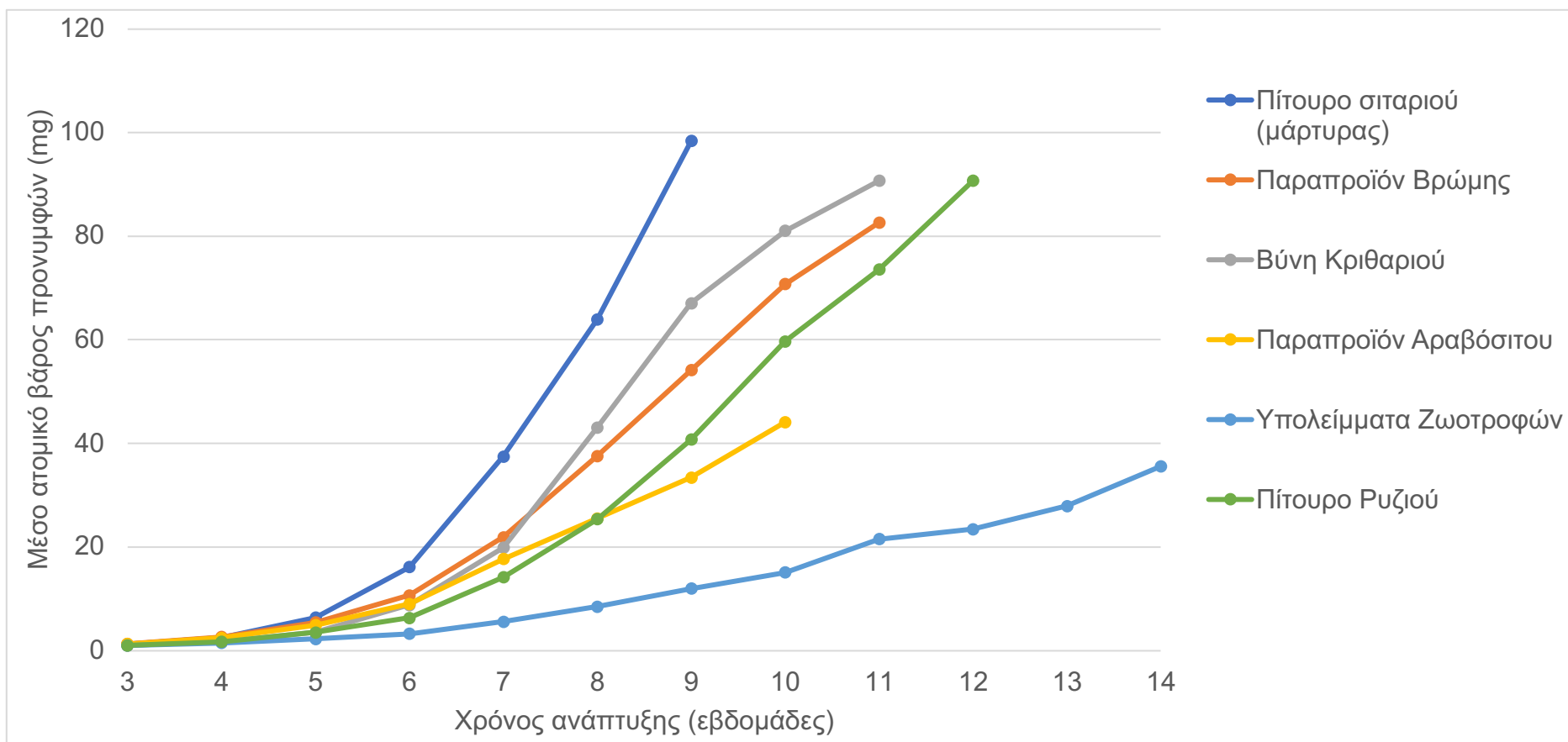
Το τελικό συνολικό βάρος προνυμφών κατά τη συγκομιδή κυμάνθηκε από 335,3 έως 875,3 g για τα παραπροϊόντα που αξιολογήθηκαν στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή και παρουσιάζεται στον Πίνακα 16 και στο Γράφημα 10. Πιο συγκεκριμένα για το παραπροϊόν βύνης κριθαριού, πίτουρου ρυζιού και παραπροϊόν βρώμης συγκομίσθηκε το υψηλότερο βάρος προνυμφών (914,4 g, 748 g και 708,9 g, αντίστοιχα). Επιπλέον, όσον αφορά τη συνολική τροφή η οποία προστέθηκε προς το συνολικό βάρος των προνυμφών το οποίο τελικά κερδήθηκε (Συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής - FCR), η βύνη κριθαριού μαζί με το παραπροϊόν βρώμης βρέθηκαν να έχουν τις καλύτερες τιμές (2,3 και 3,0 αντίστοιχα) (Πίνακας 16, Γράφημα 8). Η ταχύτερη ανάπτυξη καταγράφηκε για το παραπροϊόν βρώμης, τη βύνη κριθαριού και το παραπροϊόν αραβόσιτου και κυμάνθηκε από 10-11 εβδομάδες (Πίνακας 16, Γράφημα 10).

Πίνακας 14: Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II) (n = 4) (Μέρος 1 από 2).

Παραπροϊόν	Ατομικό βάρος προνυμφών (mg)						
	3 Εβδομάδες (Έναρξη)	4 Εβδομάδες	5 Εβδομάδες	6 εβδομάδες	7 Εβδομάδες	8 Εβδομάδες	9 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	1,2 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	6,3 \pm 0,7	16,1 \pm 1,7	37,4 \pm 2,4	63,9 \pm 1,6	98,3 \pm 2,0
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	1,3 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	5,4 \pm 0,6	10,6 \pm 1,4	21,9 \pm 1,7	37,6 \pm 2,8	54,1 \pm 6,4
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	1,0 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	3,5 \pm 0,4	8,8 \pm 0,4	19,8 \pm 1,5	43,0 \pm 1,0	67,0 \pm 1,8
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	1,2 \pm 0,1	2,5 \pm 0,2	4,9 \pm 0,2	9,0 \pm 0,5	17,7 \pm 1,2	25,5 \pm 1,8	33,4 \pm 0,8
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	1,0 \pm 0,1	1,5 \pm 0,0	2,2 \pm 0,1	3,2 \pm 0,1	5,6 \pm 0,7	8,4 \pm 1,0	11,9 \pm 0,6
Πίτουρο ρυζιού (Α3)	1,0 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	3,5 \pm 0,2	6,3 \pm 0,4	14,2 \pm 2,1	25,4 \pm 2,4	40,7 \pm 2,5

Πίνακας 15: (Συνέχεια) μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II) (n = 4) (Μέρος 2 από 2).

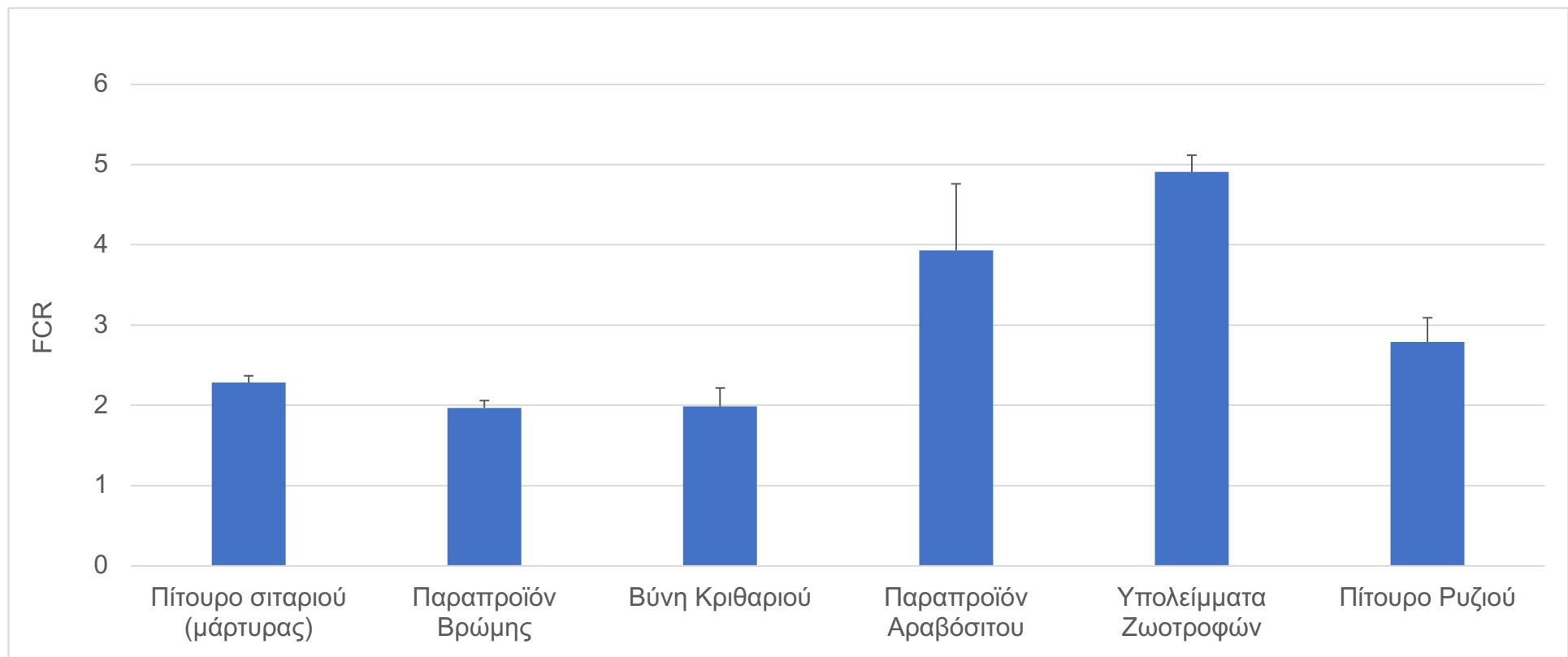
Παραπροϊόν	Ατομικό βάρος προνυμφών (mg)				
	10 Εβδομάδες	11 Εβδομάδες	12 εβδομάδες	13 Εβδομάδες	14 Εβδομάδες
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)					
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	70,7 \pm 10,1	82,6 \pm 7,7			
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	81,0 \pm 1,9	90,7 \pm 1,4			
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	44,1 \pm 5,2				
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	15,1 \pm 1,2	21,5 \pm 2,5	23,4 \pm 2,6	27,9 \pm 0,3	35,6 \pm 3,8
Πίτουρο ρυζιού (Α3)	59,7 \pm 3,2	73,5 \pm 5,6	90,7 \pm 3,8		



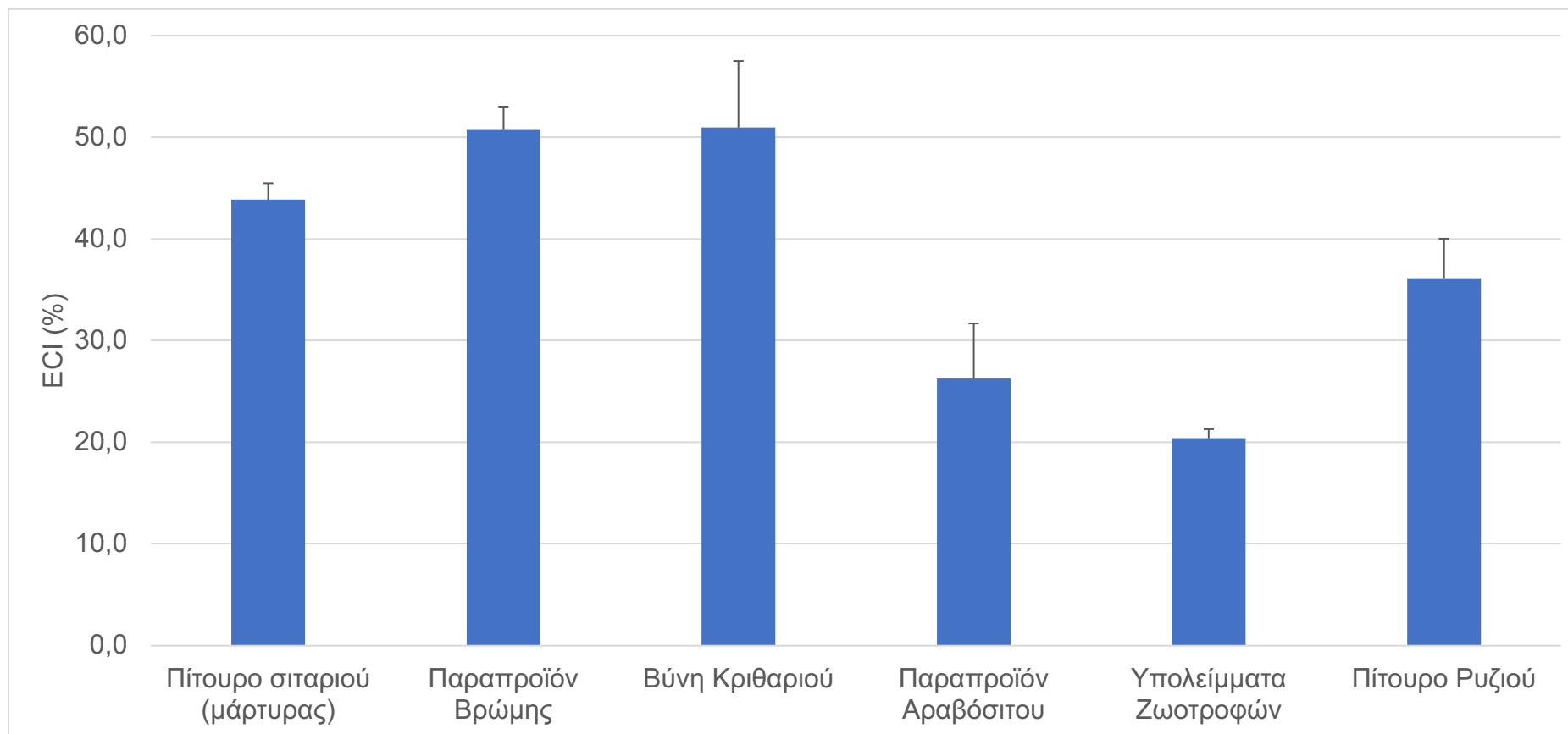
Γράφημα 7: Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή II) (n = 4).

Πίνακας 16: Τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (mg), τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg), FCR και χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II) Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Στις στήλες στις οποίες τα γράμματα απουσιάζουν, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσω όρων ($n = 4$).

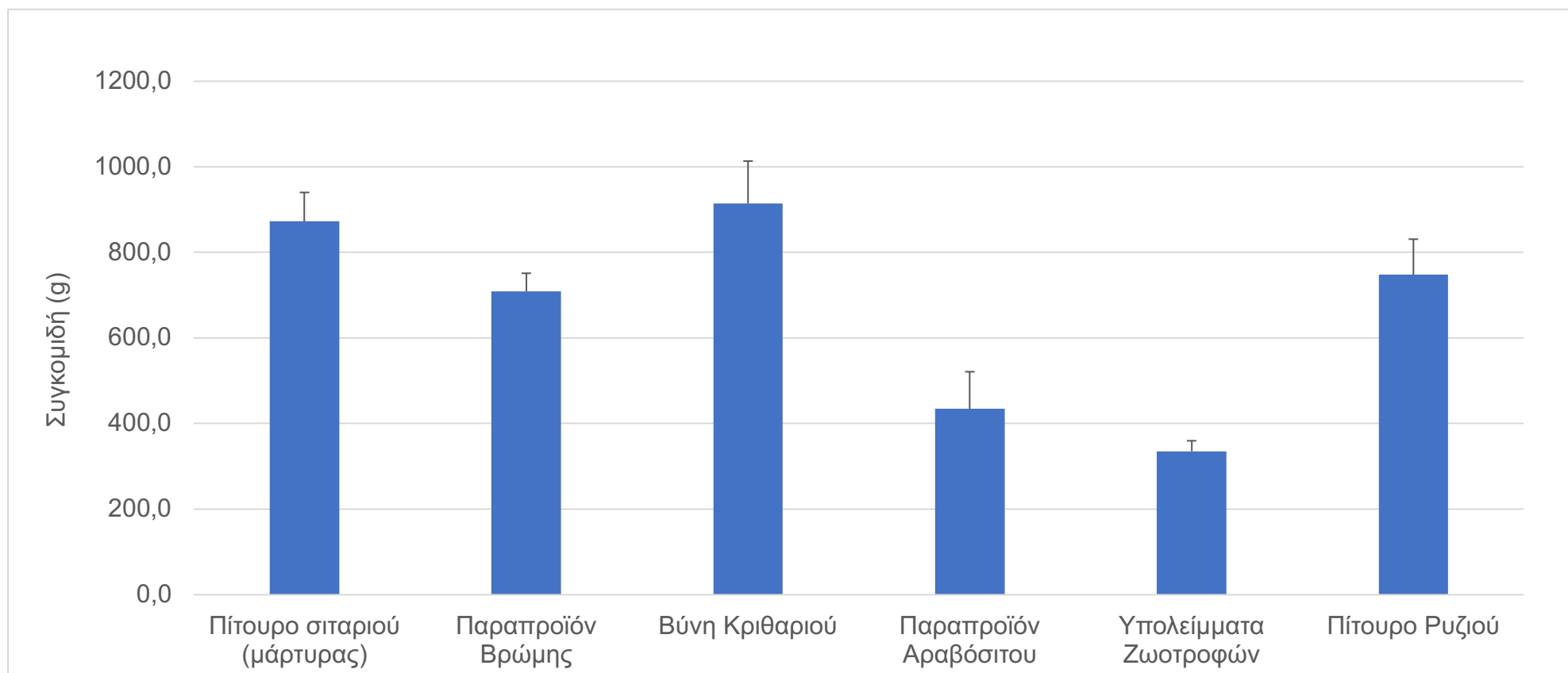
Παραπροϊόν	Τελικό συνολικό βάρος προνυμφών (Συγκομιδή) (g)	Τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (Συγκομιδή) (g)	FCR	ECI (%)	Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (εβδομάδες)
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	872,3 \pm 67,9 ab	98,3 \pm 2,0 a	2,3 \pm 0,1 a	43,8 \pm 1,6 ab	9
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	708,9 \pm 42,4 c	82,6 \pm 7,7 c	2,0 \pm 0,1 a	50,8 \pm 2,2 a	11
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	914,4 \pm 99,1 a	90,7 \pm 1,4 b	2,0 \pm 0,2 a	50,9 \pm 6,6 a	11
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	434,4 \pm 86,8 d	44,1 \pm 5,2 d	3,9 \pm 0,8 b	26,3 \pm 5,4 c	10
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	335,3 \pm 24,6 d	35,6 \pm 3,8 e	4,9 \pm 0,2 c	20,4 \pm 0,9 c	14
Πίτουρο ρυζιού (Α3)	748,0 \pm 83 bc	90,7 \pm 3,8 b	2,8 \pm 0,3 a	36,1 \pm 3,9 b	11



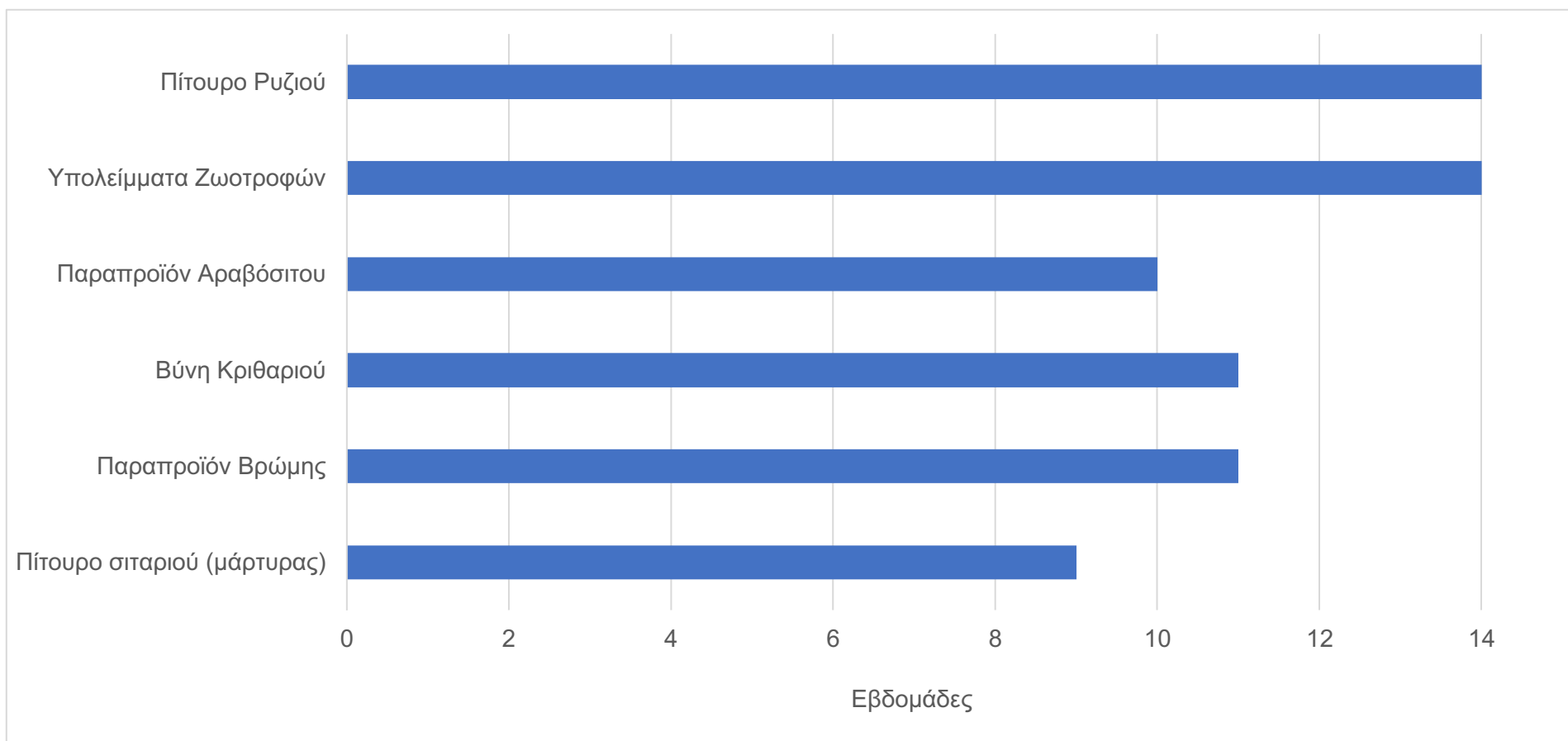
Γράφημα 8: FCR των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II) ($n = 4$).



Γράφημα 9: ECI (%) των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II) ($n = 4$).



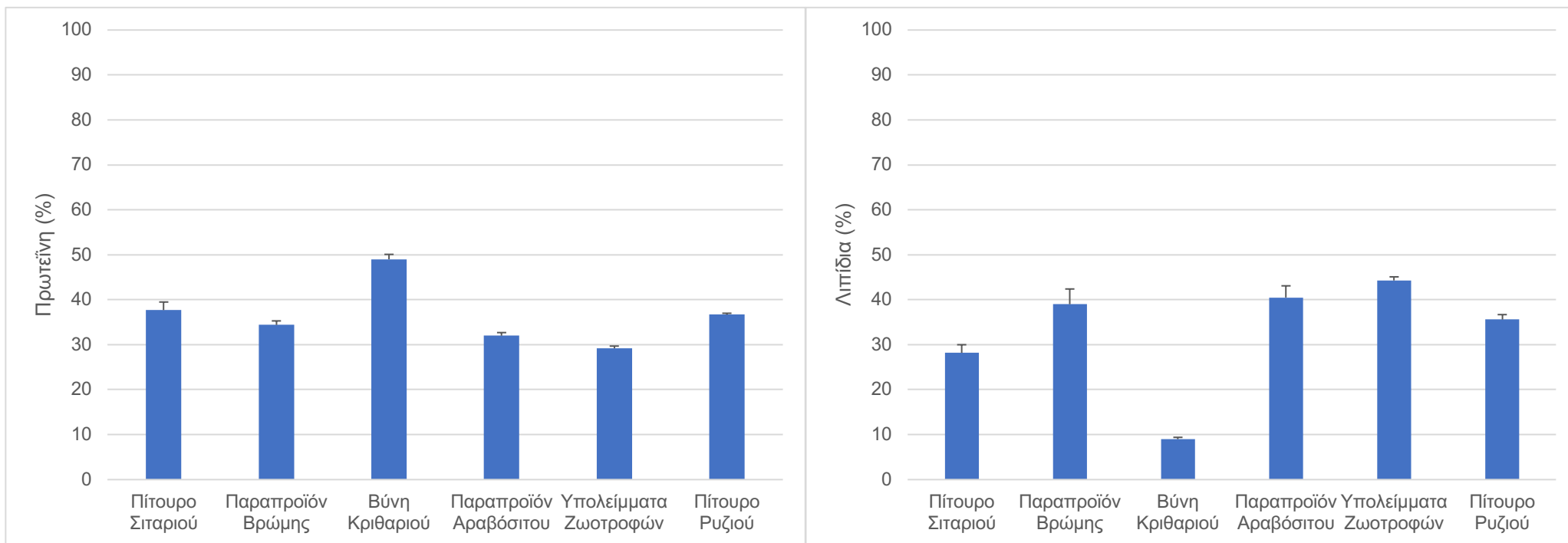
Γράφημα 10: Τελικό συνολικό βάρος των προνυμφών είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II) ($n = 4$).



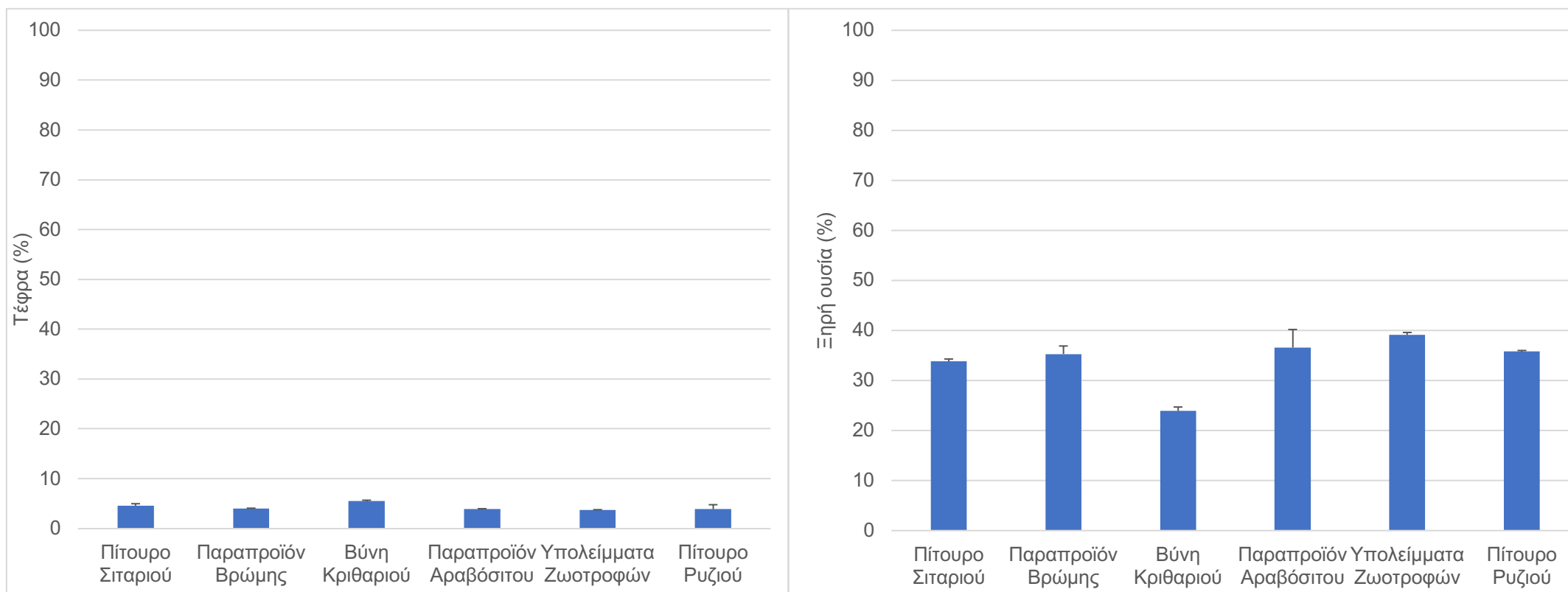
Γράφημα 11: Συνολικός χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) (Βιοδοκιμή II) (n = 4).

Πίνακας 17: Θρεπτική σύσταση [πρωτεΐνη, ολικά λιπίδια και τέφρα, % επί ξηρού βάρους (ΞΒ)] και ξηρά ουσία των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) (n = 4). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II). Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Παραπροϊόντα	Πρωτεΐνη (%)	Ολικά λιπίδια (%)	Τέφρα (%)	Ξηρή ουσία (%)
Πίτουρο σιταριού (μάρτυρας)	37,7 ± 1,8 ab	28,2 ± 1,8 bc	4,6 ± 0,4 ab	33,8 ± 0,5 abcd
Παραπροϊόν Βρώμης (Δ3)	34,4 ± 0,9 bc	39,0 ± 3,4 abc	4,0 ± 0,1 bc	35,3 ± 1,6 bcd
Βύνη Κριθαριού (Δ4)	49,0 ± 1,1 a	9,0 ± 0,4 c	5,5 ± 0,2 a	23,9 ± 0,8 a
Παραπροϊόν Αραβόσιτου (Δ5)	32,0 ± 0,7 bc	40,5 ± 2,6 ab	3,9 ± 0,1 bc	36,6 ± 3,6 cd
Υπολείμματα Ζωοτροφών (Δ6)	29,2 ± 0,5 c	44,3 ± 0,8 a	3,7 ± 0,1 c	39,1 ± 0,5 d
Πίτουρο ρυζιού (Α3)	36,7 ± 0,3 abc	35,6 ± 1,1 bc	3,9 ± 0,9 bc	35,8 ± 0,2 abc



Γράφημα 12: Θρεπτική σύσταση [πρωτεΐνη, % επί ξηρού βάρους (ΞΒ), ολικά λιπίδια, % επί ξηρού βάρους (ΞΒ)] των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) (n = 4). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II).



Γράφημα 13: Θρεπτική σύσταση [τέφρα, % επί ξηρού βάρους (ΞΒ)] και ξηρή ουσία (%) των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε πέντε (5) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) (n = 4). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή II).

3.4 Βιοδοκιμή III: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Εργαστηριακή Βιοδοκιμή (σε φιαλίδια)

Η ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* που αναπτύχθηκαν στις διαφορετικές δίαιτες που αξιολογήθηκαν, εκφρασμένη σαν ποσοστό επιβίωσης παρουσιάζεται στους Πίνακες 18, 19, 20 και στα Γραφήματα 14, 15, 16, ενώ το ατομικό βάρος των προνυμφών παρουσιάζεται στους Πίνακες 21, 22, 23 και στα Γραφήματα 17, 18, 19. Πιο συγκεκριμένα, για τις δίαιτες A4 (με επίπεδο πρωτεΐνης 17,4%) και Γ7 (με επίπεδο πρωτεΐνης 22,2%) καταγράφηκε υψηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών από τους αντίστοιχους μάρτυρες. Για όλες τις δίαιτες καταγράφηκε υψηλό ποσοστό επιβίωσης (> 87,7%). Ο συντελεστής μετατρεψιμότητας της τροφής FCR κυμάνθηκε από $1,4 \pm 0,7$ έως $2,9 \pm 0,4$ και πήρε την καλύτερη τιμή για τις δίαιτες A5, A6 και B6 (Πίνακες 24, 25, Γραφήματα 20, 21, 22), ενώ ο συντελεστής ECI κυμάνθηκε μεταξύ $34,8 \pm 4$ % και $65 \pm 15,3$ και πήρε την υψηλότερη τιμή του στη δίαιτα A6.

Πίνακας 18: Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας A (επίπεδο πρωτεΐνης: 17,4%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Στη στήλη της 10^{ης} εβδομάδας, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Σιτηρέσια	Έναρξη	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 10
A1	100,0 \pm 0,0	98,3 \pm 2,3	97,3 \pm 2,4	95,3 \pm 3,0	94,3 \pm 2,0 a
A2	100,0 \pm 0,0	98,3 \pm 2,0	98,3 \pm 2,0	96,7 \pm 4,7	95,7 \pm 6,0 a
A3	100,0 \pm 0,0	98,3 \pm 1,5	95,0 \pm 5,0	93,7 \pm 5,6	93,3 \pm 6,2 a
A4	100,0 \pm 0,0	97,0 \pm 1,7	91,7 \pm 6,3	90,0 \pm 7,4	87,7 \pm 6,9 ab
A5	100,0 \pm 0,0	98,3 \pm 2,3	95,3 \pm 3,9	94,7 \pm 2,7	93,0 \pm 3,3 a
A6	100,0 \pm 0,0	96,0 \pm 2,0	91,2 \pm 9,7	88,8 \pm 9,7	88,0 \pm 9,3 ab
A7	100,0 \pm 0,0	94,0 \pm 4,7	86,7 \pm 4,8	84,0 \pm 10,1	79,3 \pm 10,0 b

Πίνακας 19: Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Β (επίπεδο πρωτεΐνης: 20,2%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Στη στήλη της 10^{ης} εβδομάδας, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Σιτηρέσιο	Έναρξη	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 10
B1	100,0 \pm 0,0	99,0 \pm 1,1	98,0 \pm 3,1	97,3 \pm 3,5 a	
B2	100,0 \pm 0,0	96,8 \pm 3,3	95,2 \pm 1,8	95,2 \pm 1,8	95,2 \pm 1,8 a
B3	100,0 \pm 0,0	97,0 \pm 2,1	96,3 \pm 2,9	95,7 \pm 2,3	95,0 \pm 2,1 a
B4	100,0 \pm 0,0	95,7 \pm 3,2	94,3 \pm 4,3	94,0 \pm 4,7	92,0 \pm 6,7 a
B5	100,0 \pm 0,0	95,7 \pm 4,1	93,7 \pm 3,9	91,7 \pm 5,4	91,0 \pm 5,5 a
B6	100,0 \pm 0,0	94,0 \pm 3,7	90,0 \pm 10,8	90,0 \pm 6,7	90,0 \pm 6,7 a
B7	100,0 \pm 0,0	98,8 \pm 1,8	94,8 \pm 4,8	92,8 \pm 6,1	92,8 \pm 6,1 a

Πίνακας 20: Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Γ (επίπεδο πρωτεΐνης: 22,5%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Στις στήλες της 8^{ης} και 10^{ης} εβδομάδας, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Σιτηρέσιο	Έναρξη	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 10
Γ1	100,0 \pm 0,0	97,3 \pm 3,3	95,3 \pm 4,5	95,0 \pm 4,5 ab	
Γ2	100,0 \pm 0,0	98,3 \pm 2,0	98,0 \pm 2,5	97,0 \pm 3,5	97,0 \pm 4,9 a
Γ3	100,0 \pm 0,0	99,0 \pm 1,7	97,3 \pm 2,4	96,7 \pm 2,4	95,7 \pm 3,2 ab
Γ4	100,0 \pm 0,0	97,0 \pm 4,7	95,0 \pm 6,0	94,3 \pm 6,5	93,7 \pm 6,0 ab
Γ5	100,0 \pm 0,0	98,3 \pm 2,0	96,7 \pm 3,7	95,0 \pm 5,0	94,7 \pm 4,8 ab
Γ6	100,0 \pm 0,0	95,6 \pm 1,7	90,8 \pm 5,2	87,6 \pm 7,4	87,2 \pm 7,3 b
Γ7	100,0 \pm 0,0	98,3 \pm 2,3	95,7 \pm 4,3	94,3 \pm 4,3	94,3 \pm 4,3 ab

Πίνακας 21: Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας A (επίπεδο πρωτεΐνης: 17,4%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Στη στήλη της 10^{ης} εβδομάδας, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

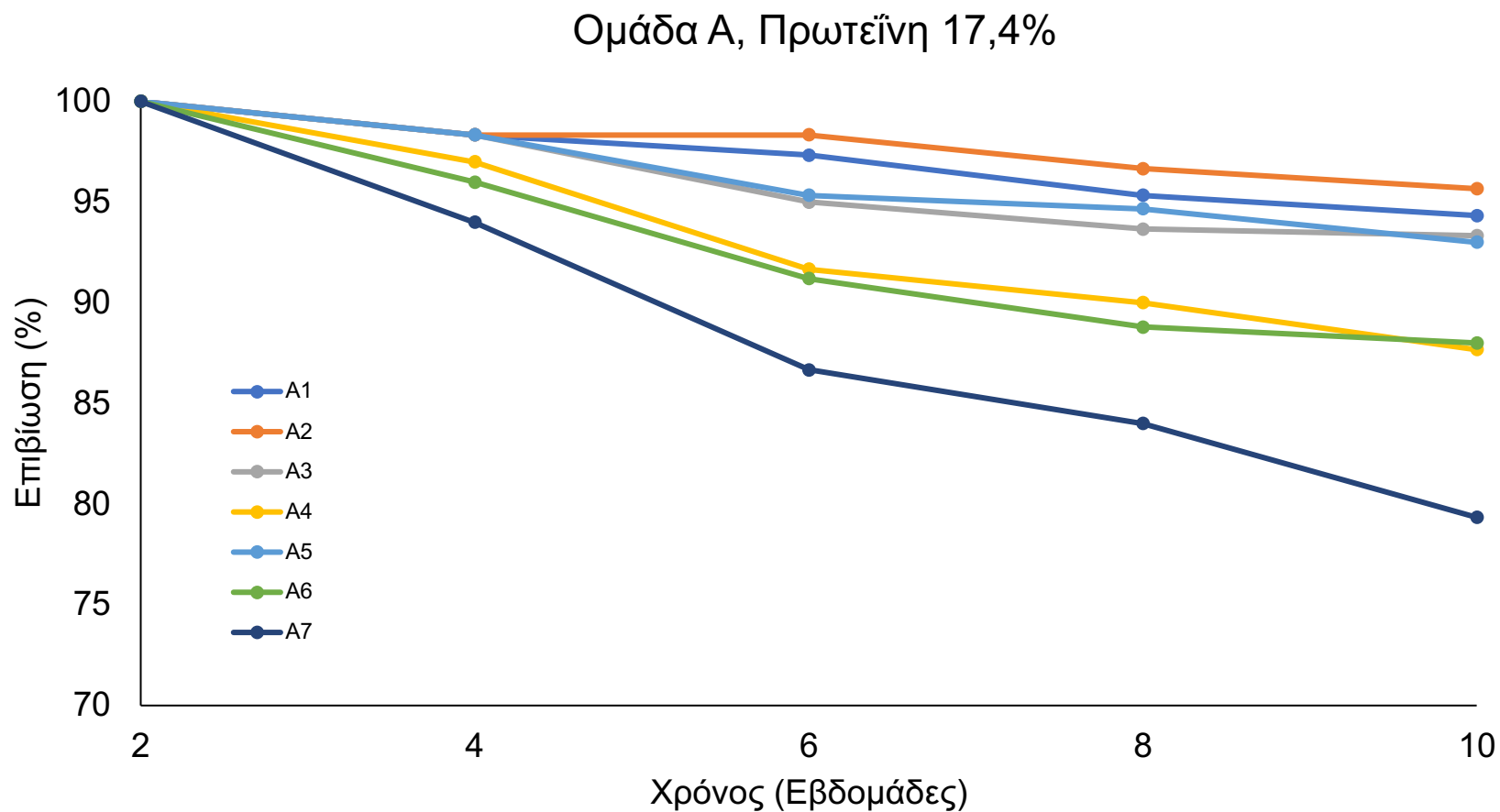
Σιτηρέσια	Έναρξη	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 10
A1	0,9 \pm 0,0	6,6 \pm 0,5	40,1 \pm 3,0	98,7 \pm 9,3	105,7 \pm 5,8 b
A2	0,9 \pm 0,1	5,9 \pm 0,9	33,8 \pm 2,8	96,2 \pm 5,9	111,9 \pm 6,3 ab
A3	0,9 \pm 0,1	4,6 \pm 0,5	27,0 \pm 1,8	89,2 \pm 4,0	115,3 \pm 4,3 ab
A4	0,9 \pm 0,1	4,7 \pm 0,7	28,3 \pm 3,0	80,4 \pm 18,6	125,5 \pm 8,3 a
A5	1,0 \pm 0,1	5,4 \pm 0,7	35,9 \pm 4,5	106,7 \pm 6,7	115,9 \pm 12,0 ab
A6	1,0 \pm 0,1	3,8 \pm 0,6	20,3 \pm 2,5	69,3 \pm 8,4	107,2 \pm 12,2 ab
A7	1,0 \pm 0,1	4,3 \pm 0,7	24,6 \pm 2,1	91,5 \pm 7,1	123,8 \pm 16,3 ab

Πίνακας 22: Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Β (επίπεδο πρωτεΐνης: 20,2%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Στις στήλες της 8^{ης} και 10^{ης} εβδομάδας, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

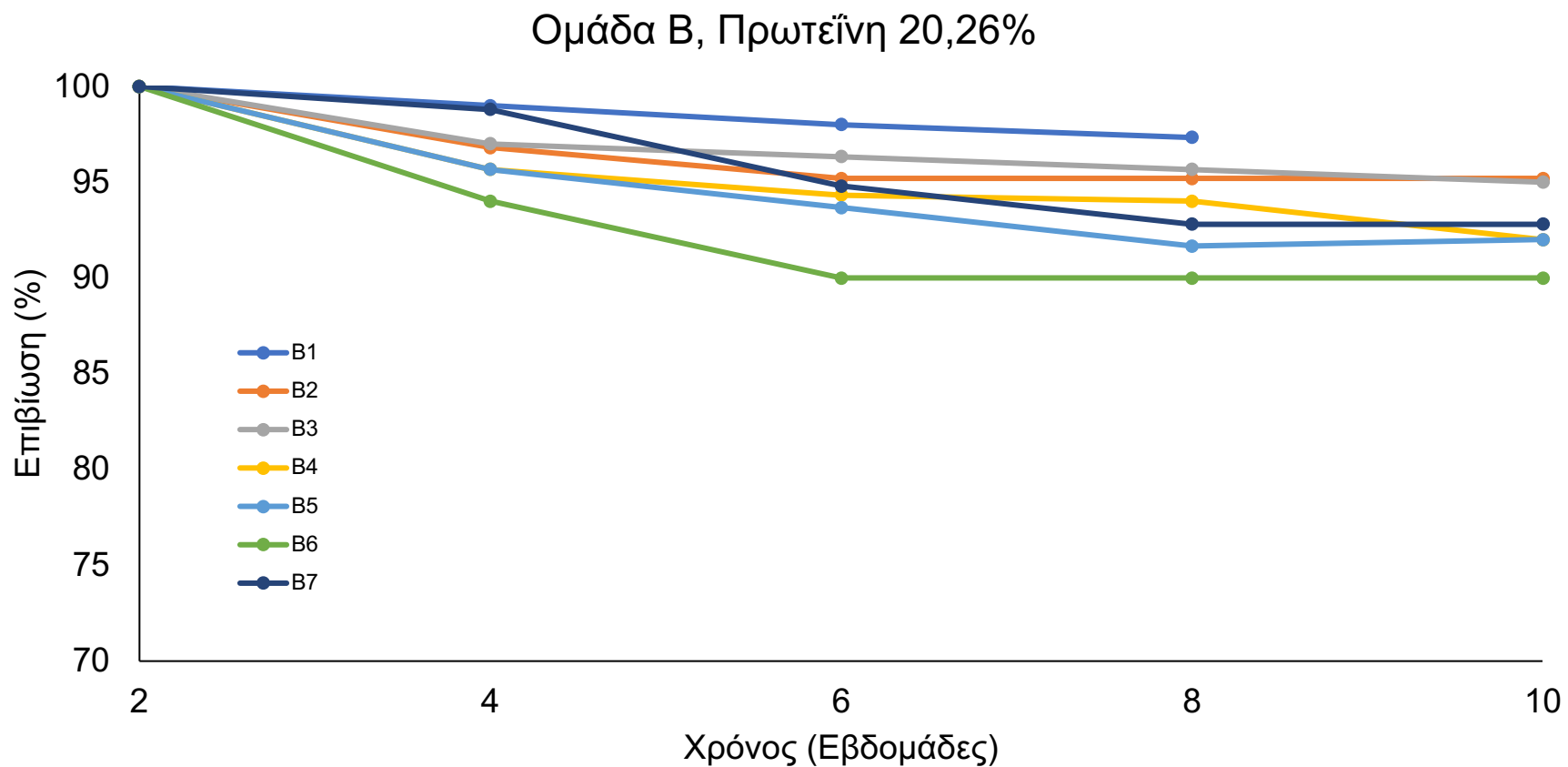
Σιτηρέσια	Έναρξη	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 10
B1	1,0 \pm 0,1	9,6 \pm 1,3	60,9 \pm 7,0	110,9 \pm 9,7 a	
B2	0,9 \pm 0,1	5,5 \pm 0,4	34,4 \pm 2,2	104,8 \pm 6,6	120,1 \pm 7,3 a
B3	0,9 \pm 0,1	4,8 \pm 0,9	27,1 \pm 3,4	65,3 \pm 13,6	107,6 \pm 7,3 a
B4	0,9 \pm 0,1	4,9 \pm 0,7	30,1 \pm 2,4	90,2 \pm 4,9	116,1 \pm 6,0 a
B5	0,9 \pm 0,1	5,3 \pm 0,8	32,9 \pm 3,2	103,7 \pm 8,8	116,8 \pm 7,6 a
B6	0,9 \pm 0,1	2,8 \pm 0,3	9,6 \pm 1,3	37,8 \pm 7,6	108,2 \pm 12,4 a
B7	0,9 \pm 0,1	4,3 \pm 0,7	28,4 \pm 5,4	96,6 \pm 9,3	114,6 \pm 6,6 a

Πίνακας 23: Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Γ (επίπεδο πρωτεΐνης: 22,5%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Στις στήλες της 8^{ης} και 10^{ης} εβδομάδας, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

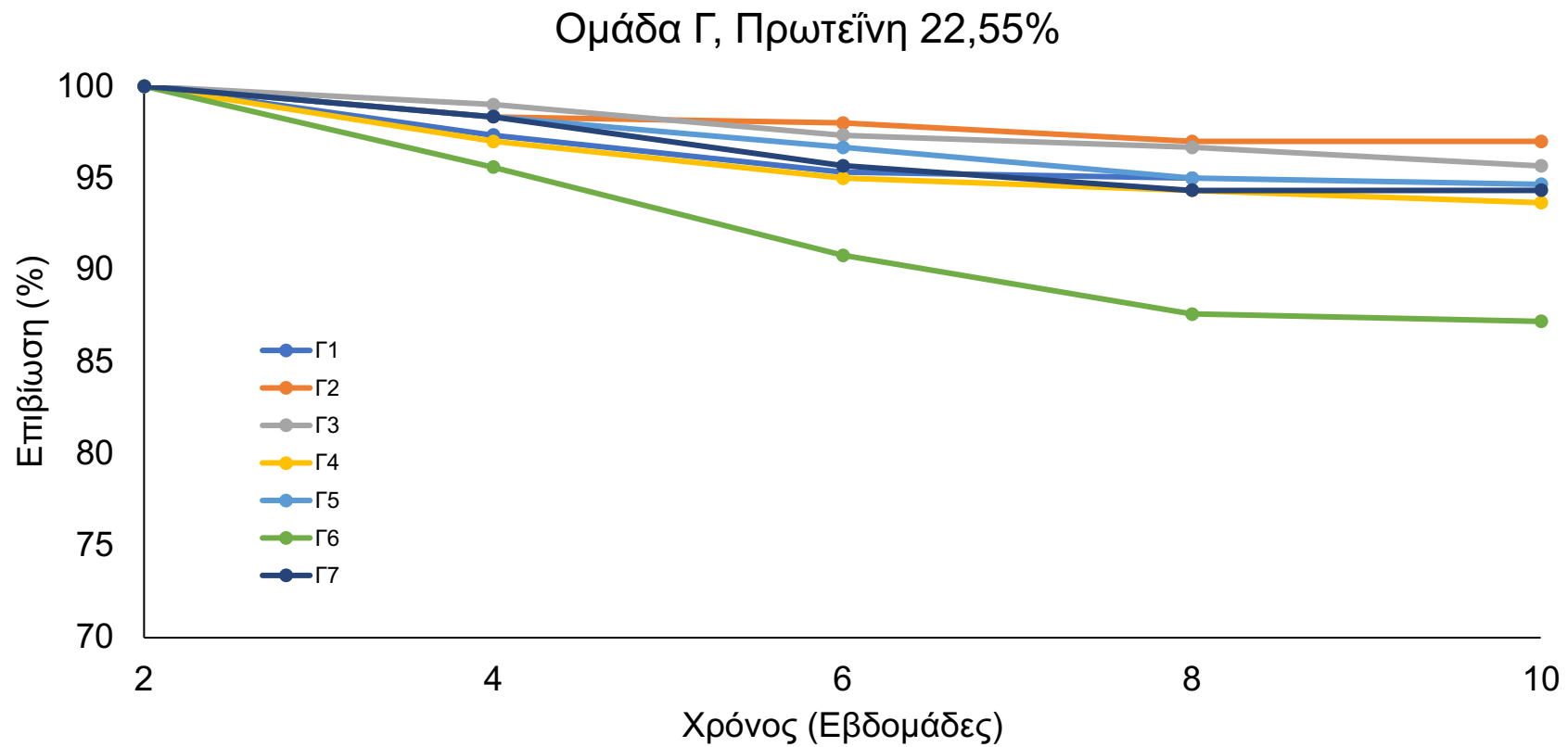
Σιτηρέσια	Έναρξη	Εβδομάδα 4	Εβδομάδα 6	Εβδομάδα 8	Εβδομάδα 10
Γ1	1,0 \pm 0,1	9,5 \pm 1,1	59,7 \pm 6,1	114,3 \pm 7,8 ab	
Γ2	1,0 \pm 0,1	4,9 \pm 0,7	29,9 \pm 1,6	85,5 \pm 11,4	100,4 \pm 11,0 b
Γ3	0,9 \pm 0,1	4,4 \pm 0,9	25,5 \pm 3,0	80,6 \pm 5,1	106,5 \pm 3,2 ab
Γ4	0,9 \pm 0,1	4,3 \pm 0,6	27,3 \pm 2,0	89,0 \pm 2,4	111,7 \pm 8,4 ab
Γ5	0,9 \pm 0,1	4,6 \pm 0,6	28,5 \pm 2,5	87,8 \pm 4,7	112,0 \pm 5,7 ab
Γ6	0,9 \pm 0,1	2,8 \pm 0,5	11,2 \pm 2,5	43,2 \pm 5,6	102,9 \pm 7,4 ab
Γ7	1,0 \pm 0,1	4,7 \pm 0,6	31,6 \pm 1,7	102,0 \pm 2,5	115,4 \pm 9,7 a



Γράφημα 14: Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Α (17,4% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή III) (n = 6).

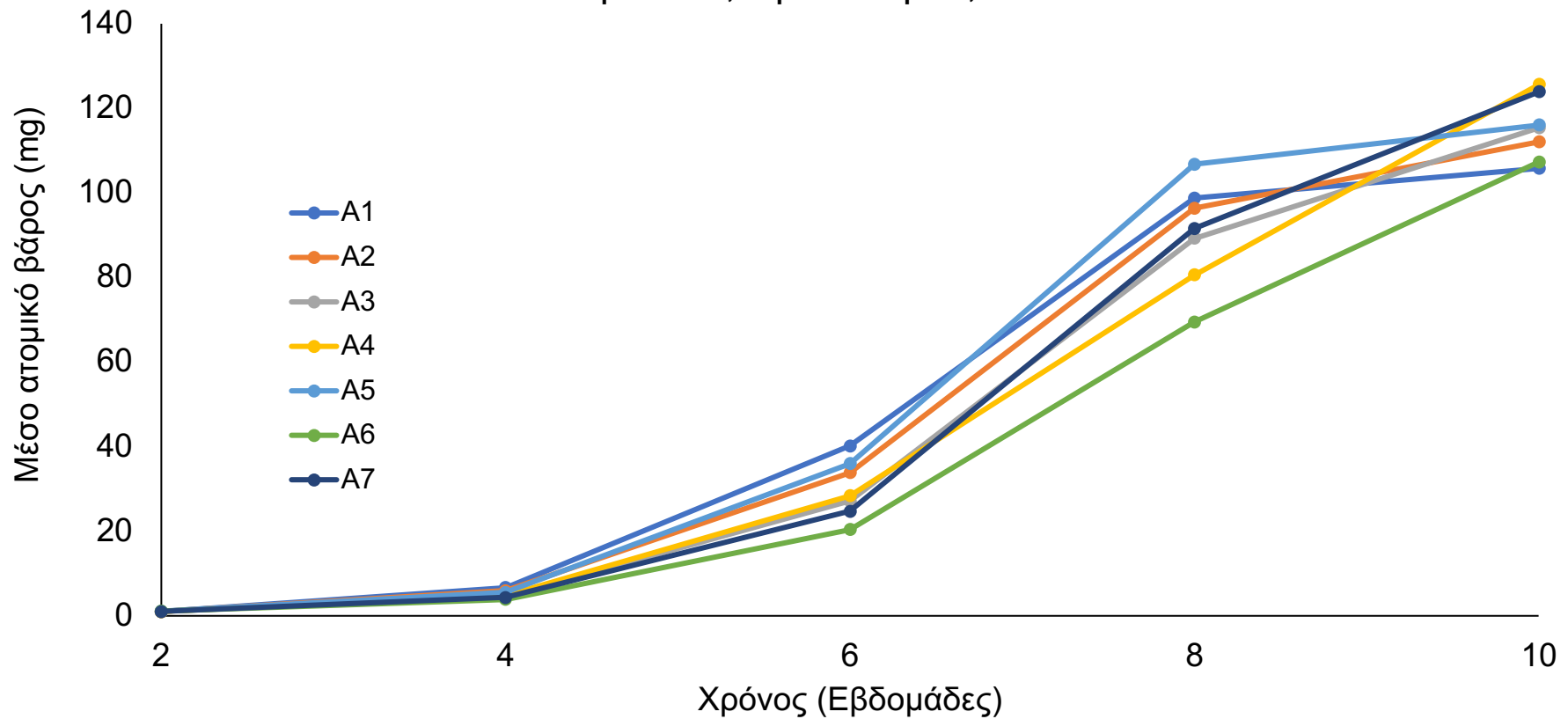


Γράφημα 15: Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Β (20,26% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή III) (n = 6).

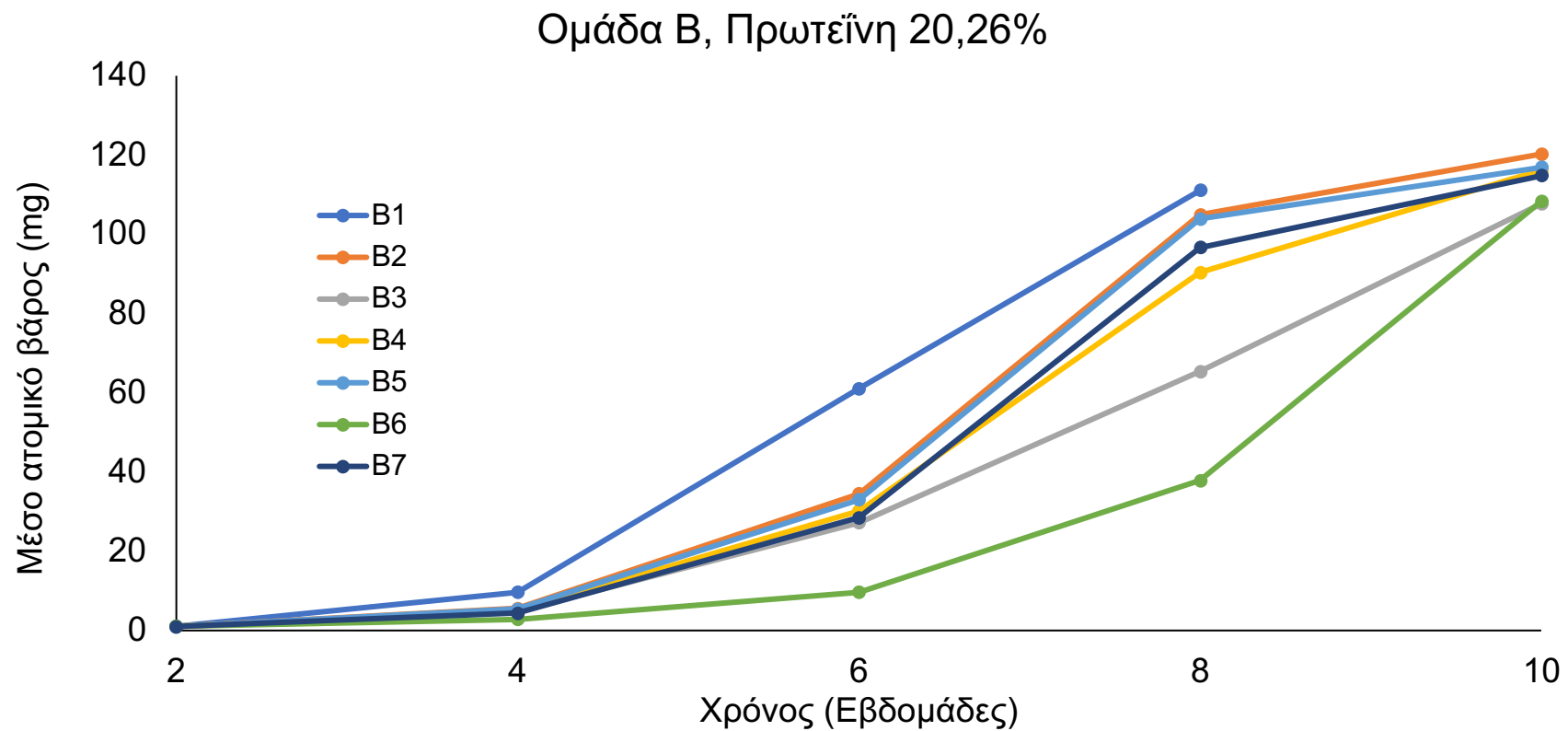


Γράφημα 16: Ποσοστό επιβίωσης (%) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Γ (22,55% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή III) (n = 6).

Ομάδα Α, Πρωτεΐνη 17,4%

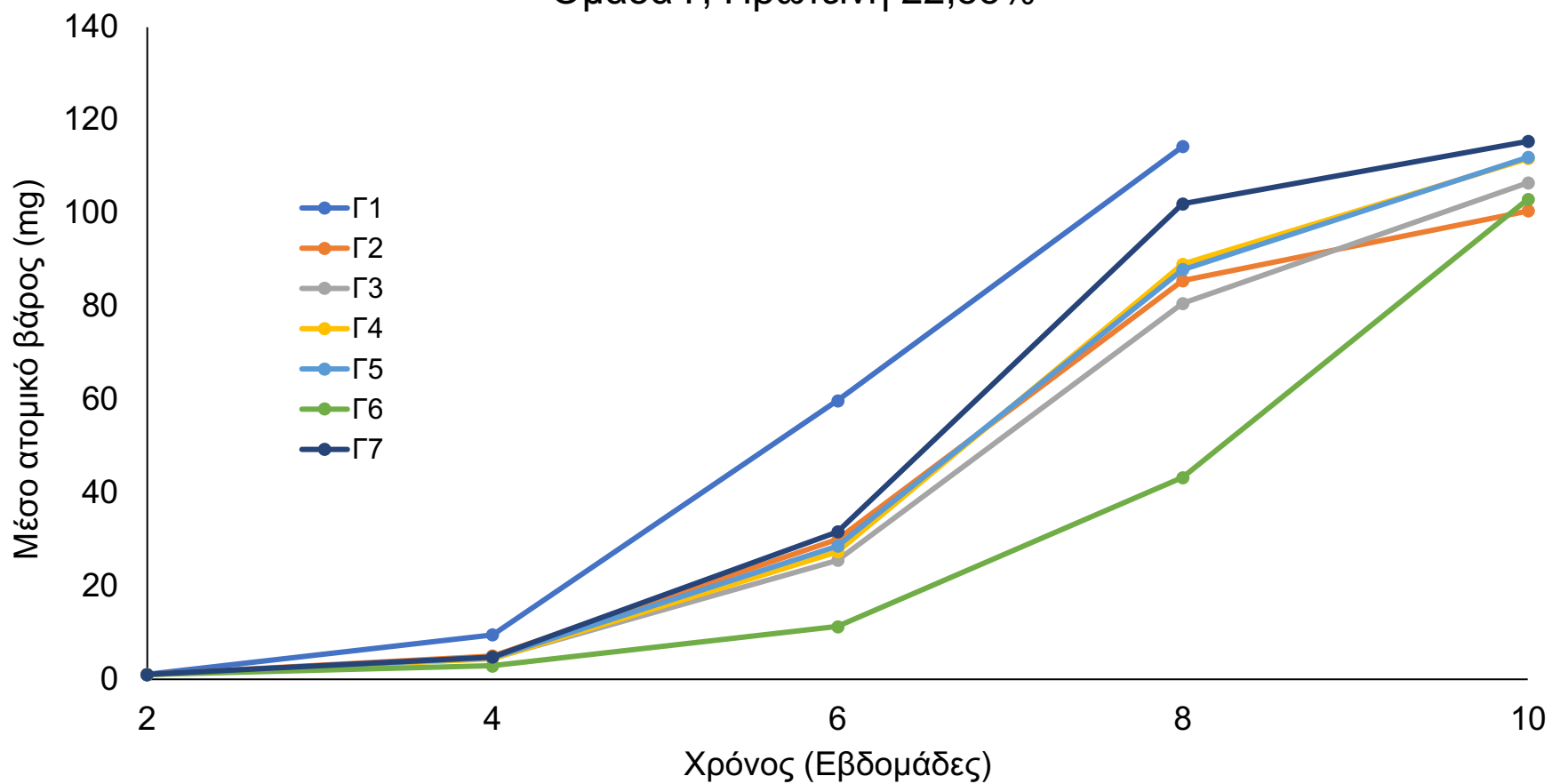


Γράφημα 17: Μέσο ατομικό βάρος (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Α (17,4% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή III) (n = 6).



Γράφημα 18: Μέσο ατομικό βάρος (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Β (20,26% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή III) (n = 6).

Ομάδα Γ, Πρωτεΐνη 22,55%



Γράφημα 19: Μέσο ατομικό βάρος (mg) προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες της ομάδας Γ (22,55% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους (Βιοδοκιμή III) (n = 6).

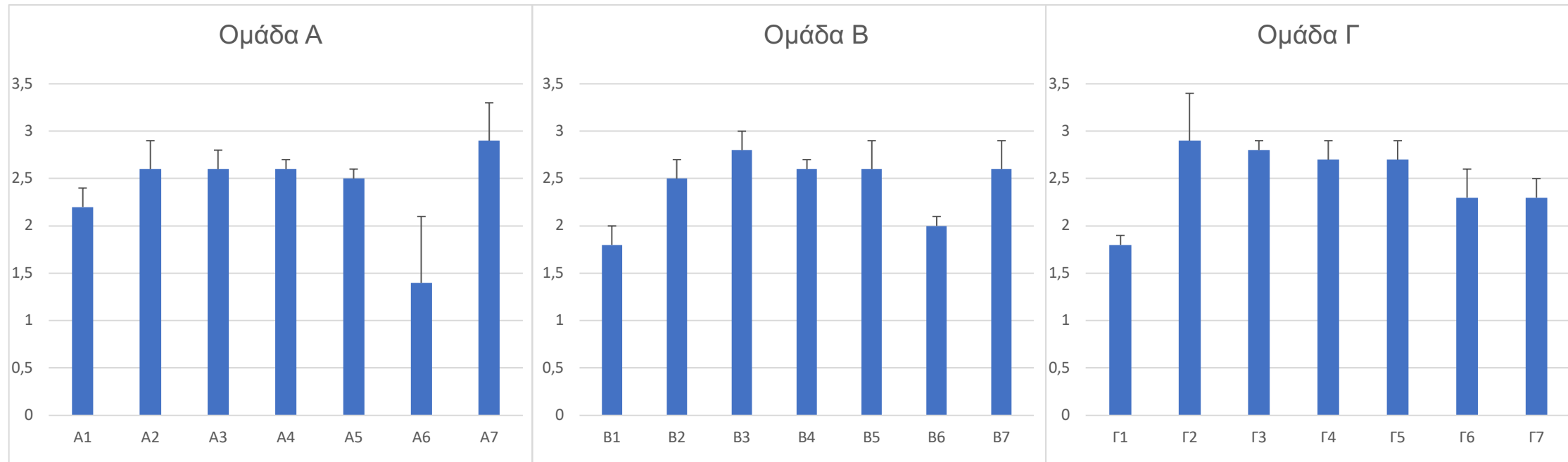
Πίνακας 24: Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών του *Tenebrio molitor* που τράφηκαν με τις ομάδες A (επίπεδο πρωτεΐνης: 17,4%) και B (επίπεδο πρωτεΐνης: 20,2%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05) (Μέρος 1 από 2).

Σιτηρέσια	FCR	ECI (%)	SGR (%/day)	Σιτηρέσια	FCR	ECI (%)	SGR (%/day)
A1	2,2 \pm 0,2 b	46,7 \pm 4,0 b	8,1 \pm 0,4 a	B1	1,8 \pm 0,2 a	54,8 \pm 5,4 a	8,4 \pm 0,3 a
A2	2,6 \pm 0,3 bc	38,8 \pm 3,7 bc	7,5 \pm 0,2 b	B2	2,5 \pm 0,2 b	40,9 \pm 2,5 b	7,6 \pm 0,2 b
A3	2,6 \pm 0,2 bc	38,3 \pm 2,7 bc	7,1 \pm 0,3 bc	B3	2,8 \pm 0,2 b	36,6 \pm 3,2 b	6,8 \pm 0,4 cd
A4	2,6 \pm 0,1 bc	39,2 \pm 2,0 bc	7,0 \pm 0,4 bc	B4	2,6 \pm 0,1 b	38,1 \pm 2,0 b	7,3 \pm 0,4 bc
A5	2,5 \pm 0,1 bc	39,9 \pm 2,3 bc	6,9 \pm 0,3 bc	B5	2,6 \pm 0,3 b	39,0 \pm 3,7 b	7,3 \pm 0,3 bc
A6	1,4 \pm 0,7 a	87,8 \pm 36,0 a	6,7 \pm 0,4 c	B6	2,0 \pm 0,1 a	49,8 \pm 3,6 a	6,4 \pm 0,3 d
A7	2,9 \pm 0,4 c	34,8 \pm 4,0 c	7,2 \pm 0,5 bc	B7	2,6 \pm 0,3 b	38,1 \pm 3,9 b	7,5 \pm 0,3 b

Πίνακας 25: Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών του *Tenebrio molitor* που τράφηκαν με την ομάδα Γ (επίπεδο πρωτεΐνης: 22,5%). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6). Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05) (Μέρος 2 από 2).

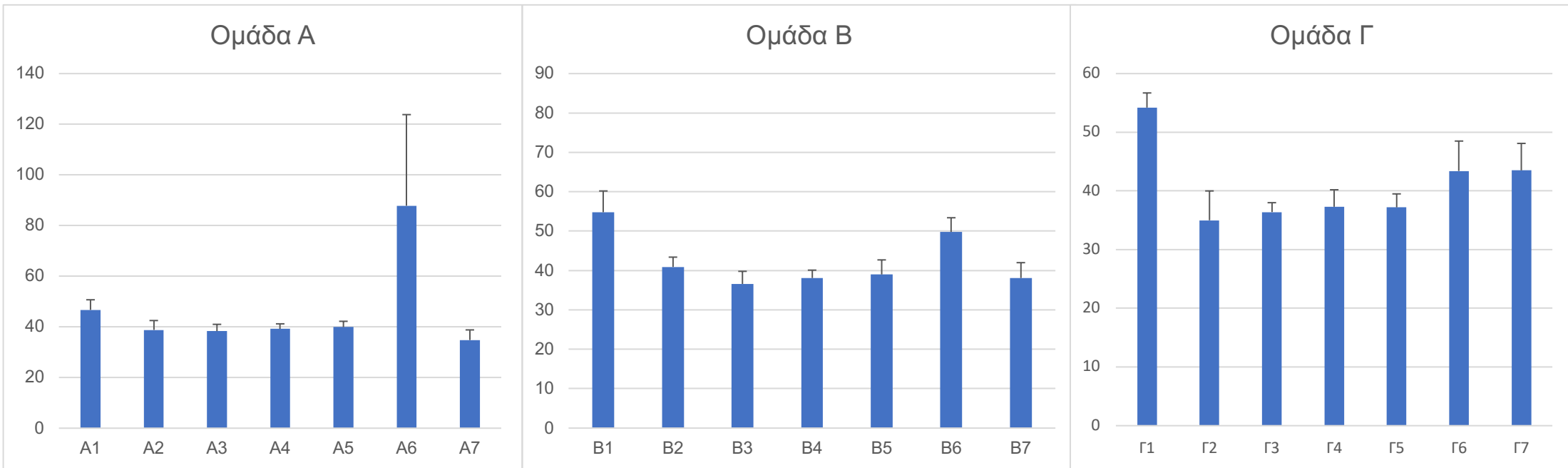
Σιτηρέσια	FCR	ECI (%)	SGR (%/day)
Γ1	1,8 \pm 0,1 a	54,2 \pm 2,5 a	8,3 \pm 0,1 a
Γ2	2,9 \pm 0,5 c	35,0 \pm 5,0 c	7,1 \pm 0,8 b
Γ3	2,8 \pm 0,1 bc	36,4 \pm 1,6 c	7,2 \pm 0,4 b
Γ4	2,7 \pm 0,2 bc	37,3 \pm 2,9 bc	7,1 \pm 0,4 b
Γ5	2,7 \pm 0,2 bc	37,2 \pm 2,3 bc	7,2 \pm 0,3 b
Γ6	2,3 \pm 0,3 ab	43,4 \pm 5,1 b	6,0 \pm 0,3 c
Γ7	2,3 \pm 0,2 ab	43,5 \pm 4,6 b	7,4 \pm 0,2 b

FCR



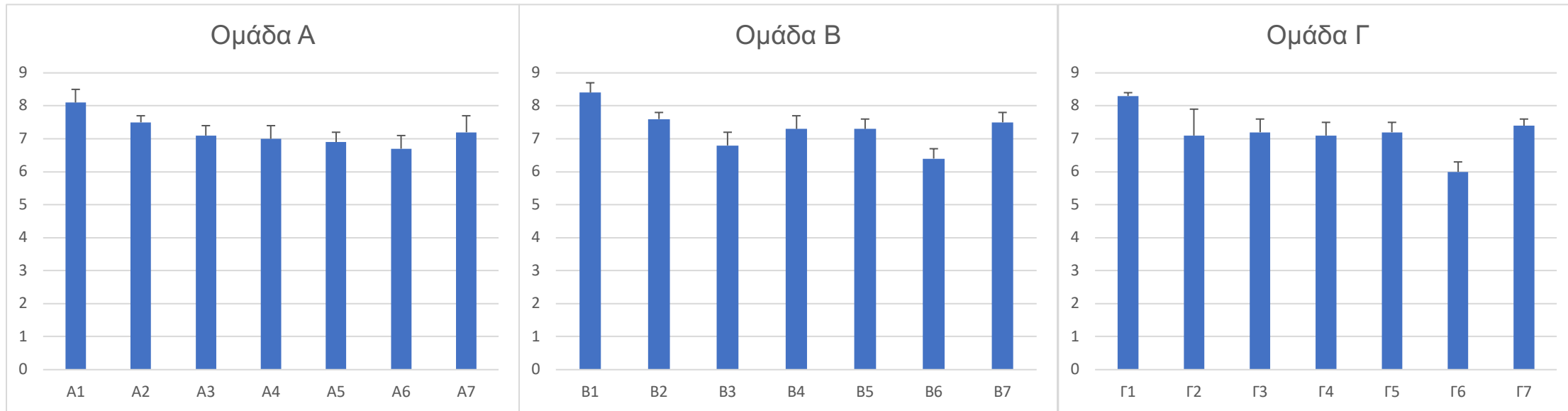
Γράφημα 20: FCR των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τρεις (3) ομάδες ισοπρωτεϊνικών διαιτών (Ομάδα Α: 17,4% πρωτεΐνη, Ομάδα Β: 20,2% πρωτεΐνη, ομάδα Γ: 22,5% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) ($n = 6$).

ECI (%)



Γράφημα 21: ECI (%) των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τρεις (3) ομάδες ισοπρωτεϊνικών διαιτών (Ομάδα Α: 17,4% πρωτεΐνη, Ομάδα Β: 20,2% πρωτεΐνη, ομάδα Γ: 22,5% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) (n = 6).

SGR (%/day)



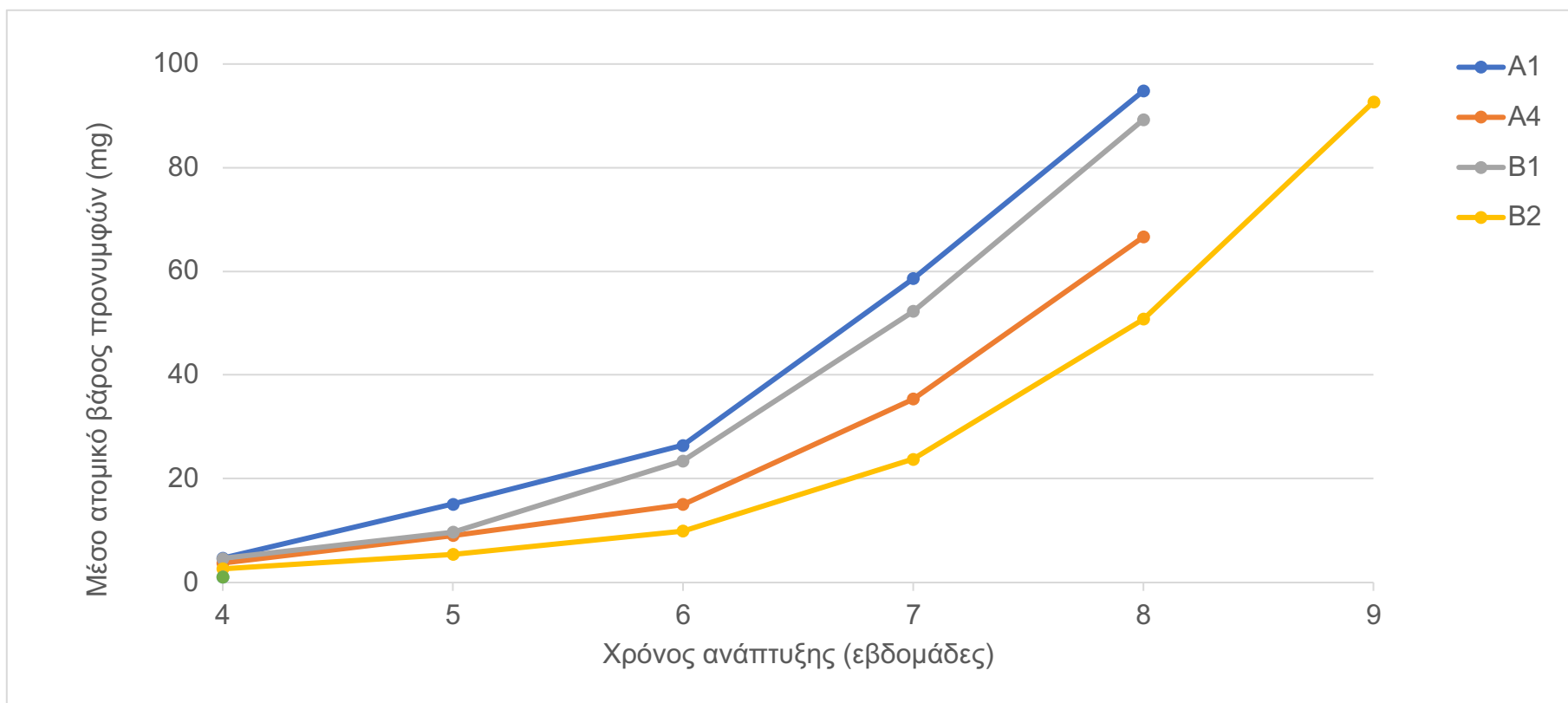
Γράφημα 22: Ειδικός Ρυθμός Αύξησης SGR (Specific Growth Rate) (%/day) των προνυμφών του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε σε τρεις (3) ομάδες ισοπρωτεϊνικών διαιτών (Ομάδα Α: 17,4% πρωτεΐνη, Ομάδα Β: 20,2% πρωτεΐνη, ομάδα Γ: 22,5% πρωτεΐνη). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή III) ($n = 6$).

3.5 Βιοδοκιμή IV: Ανάπτυξη των προνυμφών του *T. molitor* σε ισοπρωτεϊνικά σιτηρέσια – Βιοδοκιμή μεγάλης κλίμακας (σε τελάρα)

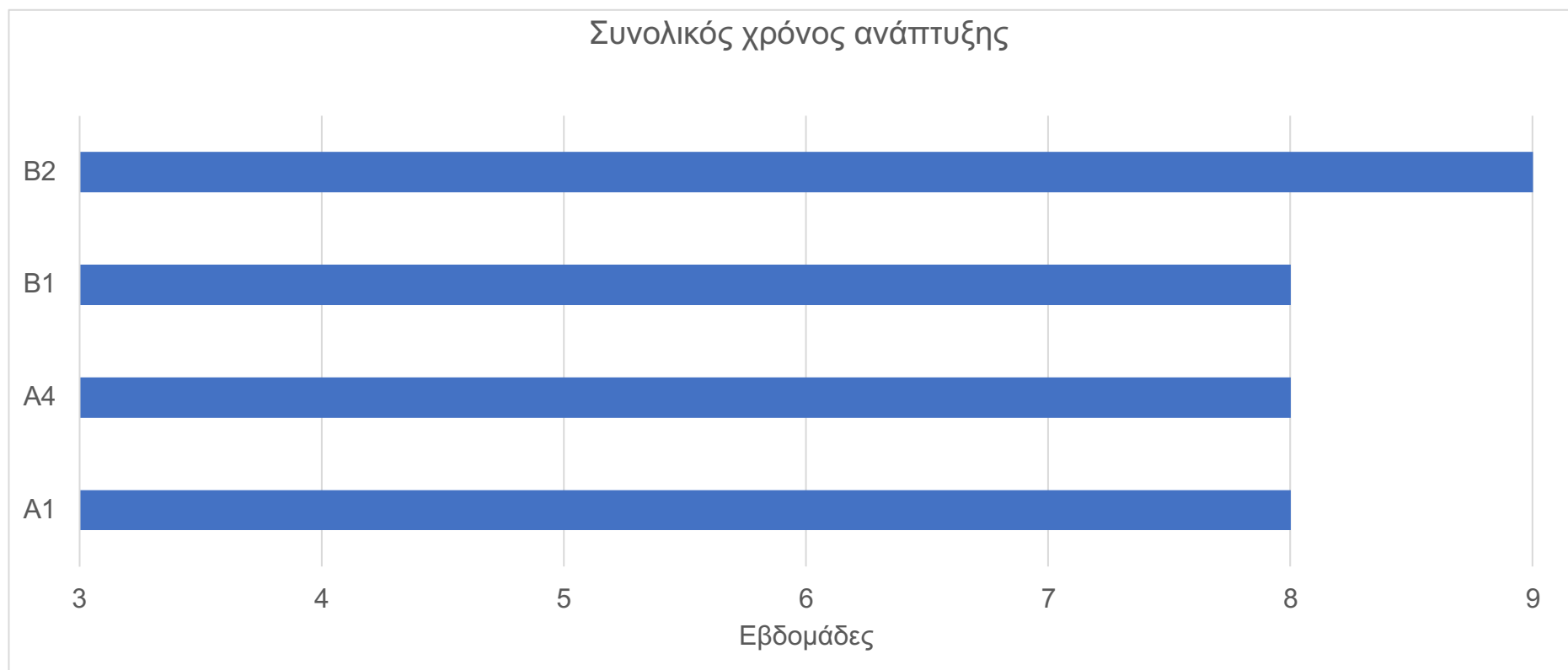
Στην τέταρτη σειρά βιοδοκιμών καταγράφηκε η ανάπτυξη των προνυμφών του είδους *T. molitor*, και συγκεκριμένα η αύξηση του ατομικού βάρους τους, όπως αυτή εμφανίζεται στον Πίνακα 26 και στο Γράφημα 23. Από τις δίαιτες που αξιολογήθηκαν, το υψηλότερο βάρος ανά προνύμφη καταγράφηκε στις δίαιτες A1 (94,8 mg), B1 (89,3 mg) και B2 (92,7 mg), ενώ το χαμηλότερο βάρος ανά προνύμφη καταγράφηκε στη δίαιτα A4 (66,6 mg). Στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή, παρατηρήθηκαν σύντομοι χρόνοι ανάπτυξης, αφού στις δίαιτες A1, A4 και B1 οι προνύμφες συγκομίστηκαν στις 8 εβδομάδες και στη δίαιτα B2, στις 9 εβδομάδες (Γράφημα 24).

Πίνακας 26: Μέσο ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες A4, B2 και σε πίτουρο σιταριού (A1) και μίγμα πίτουρου σιταριού με ξηρή μαγιά σε αναλογία 9:1 (B1) (μάρτυρες). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή IV) (n = 3). Στη στήλη της 8^{ης} εβδομάδας, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test (P<0,05).

Δίαιτες	Ατομικό βάρος προνυμφών (mg)					
	4 Εβδομάδες	5 Εβδομάδες	6 εβδομάδες	7 Εβδομάδες	8 Εβδομάδες	9 Εβδομάδες
A1	4,7 \pm 0,1	15,1 \pm 1,0	26,4 \pm 2,7	58,6 \pm 5,0	94,8 \pm 3,9 a	
A4	3,7 \pm 0,2	9,1 \pm 0,4	15,0 \pm 0,9	35,4 \pm 1,7	66,6 \pm 1,7 b	
B1	4,6 \pm 0,4	9,7 \pm 1,0	23,4 \pm 1,1	52,3 \pm 1,8	89,3 \pm 3,1 a	
B2	2,6 \pm 0,1	5,4 \pm 0,4	9,9 \pm 0,8	23,8 \pm 1,3	50,8 \pm 0,8	92,7 \pm 3,6



Γράφημα 23: Ατομικό βάρος προνυμφών (mg) του *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες A4, B2 και σε πίτουρο σιταριού και μίγμα πίτουρου σιταριού (A1) με ξηρή μαγιά σε αναλογία 9:1 (B1) (μάρτυρες). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικό σφάλμα (Βιοδοκιμή IV) ($n = 3$).



Γράφημα 24: Συνολικός χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες A4, B2 και σε πίτουρο σιταριού (A1) και μίγμα πίτουρου σιταριού με ξηρή μαγιά σε αναλογία 9:1 (B1) (μάρτυρες) (Βιοδοκιμή IV) (n = 3).

Κεφάλαιο 4: Συζήτηση

Τα τελευταία χρόνια διάφοροι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν φέρει την εκτροφή εντόμων στο προσκήνιο ως εναλλακτική πηγή θρεπτικών συστατικών τόσο για τα ζώα όσο και για τον άνθρωπο (EC, 2017, EFSA, 2021). Ένας από τους κύριους παράγοντες ο οποίος μελετάται κατά κόρων είναι η εύρεση της καταλληλότερης διαίτας για την ανάπτυξη των εντόμων, και συγκεκριμένα των προνυμφών του είδους *T. molitor* (Morales-Ramos *et al.*, 2020, Rumbos *et al.*, 2020). Έρευνες υποδεικνύουν ότι τα παραπροϊόντα της αγροτικής παραγωγής είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως θρεπτικά υποστρώματα για την εκτροφή των προνυμφών του είδους *T. molitor* (Oonincx *et al.*, 2015, Van Broekhoven *et al.*, 2015, Ruschioni *et al.*, 2020). Μέσω της εκμετάλλευσης των αγροτικών παραπροϊόντων επιτυγχάνεται τόσο η μείωση του κόστους παραγωγής της εκτροφής των εντόμων όσο και η παραγωγή προϊόντων προερχόμενα από έντομα με υψηλή θρεπτική αξία. Έτσι, η θεματολογία των βιοδοκιμών που διεξάχθηκαν στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή σχετίζεται με την αξιολόγηση διαφόρων παραπροϊόντων της αγροτικής παραγωγής των σπόρων καθώς και το σχηματισμό και την αξιολόγηση σύνθετων διαιτών που βασίζονται στα παραπάνω παραπροϊόντα.

Τα αποτελέσματα της πρώτης βιοδοκιμής έδειξαν ότι οι προνύμφες σε ορισμένα παραπροϊόντα αναπτύχθηκαν ταχύτερα, κατανάλωσαν περισσότερη τροφή και κέρδισαν περισσότερο βάρος. Επί παραδείγματι, προνύμφες που τράφηκαν με πίτουρο ρυζιού, παραπροϊόν βρώμης, παραπροϊόν της βύνης κριθαριού και παραπροϊόν αραβόσιτου, κέρδισαν το υψηλότερο τελικό ατομικό βάρος (61-120 mg), ενώ προνύμφες που τράφηκαν με παραπροϊόν μηδικής, υπόστρωμα υπολειμμάτων ζωοτροφών και με υπόστρωμα μανιταριού κέρδισαν σημαντικά λιγότερο βάρος (6-25 mg). Η καταλληλότητα των παραπάνω παραπροϊόντων (πίτουρο ρυζιού, παραπροϊόν βρώμης, παραπροϊόν της βύνης κριθαριού και παραπροϊόν αραβόσιτου) είναι εξίσου εμφανής και στα αποτελέσματα της επιβίωσης των προνυμφών, η οποία ήταν εξαιρετικά υψηλή (>80%). Ομοίως, οι προνύμφες, οι οποίες αναπτύχθηκαν στο πίτουρο ρυζιού, σε παραπροϊόν της βύνης κριθαριού και στο παραπροϊόν βρώμης (2,6-3,2), έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα, βάσει του συντελεστή FCR. Σύμφωνα με τον Waldbauer (1968) το βέλτιστο FCR κυμαίνεται κοντά

στην τιμή 2. Οι Oonincx *et al.* (2015), μελέτησαν την εκτροφή προνυμφών του είδους *T. molitor* σε δίαιτες που ήταν χαμηλές σε πρωτεΐνη (12 -14%) και σε δίαιτες υψηλές σε πρωτεΐνη (21 - 22%), χαμηλότεροι δείκτες FCR καταγράφηκαν στις τελευταίες. Προηγούμενες έρευνες έχουν επίσης αποδείξει την προσαρμοστικότητα των προνυμφών του είδους *T. molitor* σε διάφορα υποστρώματα. Επί παραδείγματι, οι Van Broekhoven *et al.*, (2015) αναφέρουν καλή ανάπτυξη του εντόμου σε παραπροϊόντα της παραγωγής της βύνης, της αρτοποιίας, της παραγωγής μπισκότων καθώς και πατάτας.

Για τη δεύτερη βιοδοκιμή χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα παραπροϊόντα, τα οποία έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα στην πρώτη σειρά βιοδοκιμών. Η δεύτερη βιοδοκιμή πραγματοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα. Αυτή η προσέγγιση της δεύτερης βιοδοκιμής έχει πρακτική αξία καθώς σύμφωνα τον IPIFF (2021) οι επενδύσεις γύρω από τη μαζική εκτροφή εντόμων έχουν ξεπεράσει το 1 δις. ευρώ, ενώ για να καλυφθεί η αναμενόμενη ζήτηση σε παραπροϊόντα εντόμων [50,000 τόνοι έως το 2030 (Rabobank, 2021)], ο αριθμός των εργοστασίων παραγωγής εντόμων πρέπει να ανέλθει στα 1.000 έως 1.500 (Veldkamp *et al.*, 2021). Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία, τα αποτελέσματα της δεύτερης βιοδοκιμής έδειξαν ότι τα παραπροϊόντα της παραγωγής της βύνης κριθαριού, της βρώμης και του πίτουρου ρυζιού ήταν τα καταλληλότερα όσον αφορά το τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών (82-90 mg). Το υψηλότερο βάρος προνυμφών συγκομίσθηκε από το παραπροϊόν βύνης κριθαριού, ενώ στη συνέχεια ακολούθησαν το πίτουρο ρυζιού και το παραπροϊόν βρώμης (914,4 g, 748 g και 708,9 g, αντίστοιχα). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η περιεκτικότητα των διαφόρων παραπροϊόντων σε πρωτεΐνη παρουσίασε μεγάλες διακυμάνσεις (7 - 23%), ενώ το ποσοστό της πρωτεΐνης των προνυμφών που τράφηκαν με τα συγκεκριμένα παραπροϊόντα κυμάνθηκε από 39% έως 48%. Σύμφωνα με τους Van Broekhoven *et al.*, (2015) αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα που έχουν τα έντομα να ρυθμίζουν την περιεκτικότητα του σώματός τους σε πρωτεΐνη, ανεξάρτητα από την πρωτεΐνη που περιέχει η τροφή τους. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας συμπίπτουν επίσης με προηγούμενη μελέτη, στην οποία η θρεπτική σύσταση των προνυμφών οι οποίες τράφηκαν με πίτουρο σιταριού και μαγιά περιείχαν περίπου 30% λιπαρά οξέα και 30% πρωτεΐνη (Rumbos *et al.*, 2021).

Βάση των αποτελεσμάτων της τρίτης βιοδοκιμής, η διαίτα που περιείχε παραπροϊόντα βύνης, αραβόσιτου και πίτουρο ρυζιού (δίαιτα A4 - με επίπεδο πρωτεΐνης 17,4%) καθώς και η διαίτα που περιείχε παραπροϊόντα βύνης κριθαριού, αραβόσιτου και ηλιόσπορου (δίαιτα Γ7 - με επίπεδο πρωτεΐνης 22,5%) έδωσαν το υψηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών. Όσον αφορά το παραπροϊόν της βύνης κριθαριού, σε μελέτη τους οι Kim *et al.* (2017) υπογραμμίζουν τη θρεπτική αξία των σπόρων προερχόμενες από τη βιομηχανία της ζυθοποιίας για την εκτροφή προνυμφών του είδους *T. molitor*. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας συμπίπτουν επίσης με τις αναφορές των Rumbos *et al.*, (2021) οι οποίοι αναφέρουν ότι δίαιτες με υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης δε συνδέονται απαραίτητα με την καλύτερη ανάπτυξη των προνυμφών του είδους *T. molitor*. Επί παραδείγματι, οι συγκεκριμένοι ερευνητές ανέφεραν ότι δίαιτες με χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη φάνηκε να έδωσαν προνύμφες με υψηλότερο ατομικό βάρος, ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης, και υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης, συγκριτικά με δίαιτες οι οποίες είχαν υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως τα λιπαρά οξέα και τα ιχνοστοιχεία των παραπροϊόντων κατά το σχηματισμό των διαιτών.

Τέλος, στην τέταρτη βιοδοκιμή αξιολογήθηκε η καλύτερη διαίτα με ποσοστό πρωτεΐνης 17,4% καθώς και η καλύτερη διαίτα με ποσοστό πρωτεΐνης 20,2%, σε μεγάλη κλίμακα. Τα αποτελέσματα της τέταρτης βιοδοκιμής έδειξαν ότι η διαίτα B2 έδωσε προνύμφες με υψηλότερο τελικό ατομικό βάρος (92,7 mg), ενώ η διαίτα με A4 έδωσε προνύμφες με χαμηλότερο ατομικό βάρος (66,6 mg). Η καλύτερη ανάπτυξη των προνυμφών στη διαίτα B2 είναι πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι δεν περιείχε ηλιόσπορο, και όχι στο ποσοστό της πρωτεΐνης που περιείχε η διαίτα. Όπως καταγράφηκε και στις προηγούμενες βιοδοκιμές της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, τα υποστρώματα εκτροφής τα οποία αποτελούνταν εξ' ολοκλήρου από παραπροϊόν ηλιόσπορου, έδωσαν προνύμφες με πολύ χαμηλό τελικό βάρος. Από την άλλη πλευρά, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης βιοδοκιμής σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της πρώτης βιοδοκιμής υποδεικνύουν ότι εάν το παραπροϊόν ηλιόσπορου χρησιμοποιηθεί ως μοναδικό υπόστρωμα για την εκτροφή των προνυμφών του είδους *T. molitor* δε δίνει καλά αποτελέσματα, ενώ εάν

ενσωματωθεί σε δίαιτα σε μικρά ποσοστά, τα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά. Σύμφωνα με τους Morales-Ramos *et al*, (2020) ο ηλιόσπορος είναι δυνατόν να επηρεάζει αρνητικά την αφομοίωση της τροφής.

Το είδος *T. molitor* αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο είδος στον πρόσφατα αναπτυσσόμενο τομέα της παραγωγής εντόμων για ζωική και ανθρώπινη κατανάλωση. Καθώς ο τομέας της εκτροφής εντόμων και κατά συνέπεια η ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί, τα παραπάνω αποτελέσματα προάγουν τους θεσμούς της κυκλικής οικονομίας και έχουν ως στόχο στη βελτιστοποίηση της εκτροφής εντόμων σε εμπορική κλίμακα. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματά της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας, υποδεικνύουν ότι αγροτικά παραπροϊόντα όπως αυτά της βύνης κριθαριού, της βρώμης, του πίτουρου ρυζιού και του αραβόσιτου είναι κατάλληλα για την εκτροφή των προνυμφών του είδους *T. molitor* τόσο ως μεμονωμένα υποστρώματα όσο και ως συστατικά κάποιας δίαιτας.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

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

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

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

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

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

Barroso F. G., de Haro C., Sánchez-Muros M. J., Venegas E., Martínez-Sánchez A., Pérez-Bañón C. (2014), The potential of various insect species for use as food for fish, *Aquaculture*, 422, 193-201.

Bava L., Jucker C., Gislón 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.

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

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

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

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.

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

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

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

Bukkens S. G. F. (1997), The nutritional value of edible insects, *Ecology of Food and Nutrition*, 36 (2-4), 287-319

Chapman R. F. (1998), Nutrition. In: *The Insects Structure and Function* 4th Edition. Cambridge University Press, New York, pp. 69-89.

Cortes Ortiz J. A., Ruiz A. T., Morales – Ramos J. A., Thomas M., Rojas M. G., Tomberlin J. K., Yi L., Han R., Giroud L., Jullien R. L. (2016), Insect Mass Production Technologies, In Dossey A. T., Morales – Ramos J., Guadalupe Roja M., eds. *Insects as Sustainable Food Ingredients*, p. 85 – 111, Academic Press: San Diego, CA, USA.

Erickson M. C., Islam M., Sheppard C., Liao J., Doyle M. P. (2004), Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* in chicken manure by larvae of the black soldier fly, *Journal of Food Protection*, 67, 685-690.

European Commission (EC) (2017), EU Commission Regulation 2017/893 of 24 May 2017 amending Annexes I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protein. Official Journal of the European Union L 138: 92-116.

European Commission (EC) (2021) Commission Regulation (EU) 2021/1372 of 17 August 2021 amending Annex IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council as regards the prohibition to feed non-ruminant farmed animals, other than fur animals, with protein derived from animals. Official Journal of the European Union L 295: 1-17.

European Food Safety Authority (EFSA) NDA Panel (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens), Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K.I., Kearney, J., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H.J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., Neuhäuser-Berthold, M., Poulsen, M., Maradona M.P., Schlatter, J.R., Van Loveren, H., Ververis, E. and Knutsen, H.K., 2021. Safety of dried yellow

mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal* 19(1): 6343.

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

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

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

Fraanje W., Garnett T. (2020), Soy: food, feed, and land use change (Foodsource: Building Blocks). *Food Climate Research Network*, University of Oxford. <https://www.leap.ox.ac.uk/article/soy-food-feed-and-land-use-change> (accessed February 2023).

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

Gahukar R. T. (2016), Edible Insects Farming: Efficiency and Impact on Family Livelihood, Food Security, and Environment Compared With Livestock and Crops, In Dossey A. T., Morales – Ramos J., Guadalupe Roja M., eds. *Insects as Sustainable Food Ingredients*, p. 85 – 111, Academic Press: San Diego, CA, USA.

Gasco L., Acuti G., Bani P., Dalle Zotte A., Danieli P. P., De Angelis A., Fortina F., 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.

Gasco L., Biancaros I., Liland N. S. (2020), From waste to feed: a review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 23, 67-79.

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

Gerber G. H. (1975), Reproductive behaviour and physiology of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): II. Egg development and oviposition in young females and the effects of mating, *The Canadian Entomologist*, 107, 551-559.

Gerber P. J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., Tempio G. (2013), *Tackling Climate Change Through Livestock – A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Ghalyand A. E., Alkoaik F. N. (2009), The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4 (4), 319-331.

Gorissen S. H. M., Witard O. C. (2018), Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults, *Proceedings on the Nutrition Society*, 77, 20–31.

Gourgouta M., Rumbos C. I., Michail V., Athanassiou C. G. (2022), Valorization of Agricultural Side-Streams for the Rearing of Larvae of the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer), *Sustainability*, 14 (13) 7680.

Grau T., Vilcinskis A., Joop G. (2017), Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed, *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72, 337-349.

Green K., Pearsall D. (2016), Fishmeal and fish oil facts and figures, *Seafish*, (December) Edinburgh.

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

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

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

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

International Platform for Insects as Food and Feed (IPIFF), 2019. The European insect sector today: challenges, opportunities and regulatory landscapes. IPIFF vision paper on the future of the insect sector towards 2030. IPIFF, Brussels, Belgium.

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

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

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

Kim S. Y., Kim H. G., Yoon H. J., Lee K. Y., Kim N. J. (2017), Nutritional analysis of alternative feed ingredients and their effects on the larval growth of

Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae), *Entomological Research*, 47, 194–202.

Li Q., Zheng L., Cai H., Garza E., Yu Z., Zhou S. (2011), From organic waste to biodiesel: black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible, *Fuel*, 90, 1545–1548.

Liu Q., Tomberlin J. K., Brady J. A., Sanford M. R., Yu Z. (2008), Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure, *Environmental Entomology*, 37, 1525-1530.

Lock E. R., Arsiwalla T., Waagbø R. (2016) Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt, *Aquaculture Nutrition*, 22, 1202–1213.

Lukiwati J. D. R. (2010), Teak caterpillars and other edible insects in Java, In Durst P. B., Johnson D. V., Leslie R.L., Shono K., eds, *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, p. 99-103, Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

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

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

Makkar H. P. S., Tran G., Heuzé V., Ankers P (2014), State-of-the-art on use of insects as animal feed, *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33.

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

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

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

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

Morales-Ramos J. A., Rojas M. G., 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: e0227400.

Morales-Ramos J. A., Rojas M. G., Kay S., Shapiro-Ilan D. I., Tedders W. L. (2012), Impact of adult weight, density, and age on reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Journal of entomological science*, 47, 208-220.

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

Murray D. R. P. (1968), The importance of water in the normal growth of larvae of *Tenebrio molitor*, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 11, 149-168.

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

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

Oonincx D. G. A. B., Van Broekhoven S., Van Huis A., Van Loon J. J. A. (2015), Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products, *PLoS ONE*, 10: e0144601.

Paraskeva P., Kalderis D., Diamadopoulos E. (2008), Production of activated carbon from agricultural by-products, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85, 581-592.

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

Pieterse E., Erasmus S. W., Uushona T., Hoffman L. C. (2019), Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a dietary protein source for broiler production ensures a tasty chicken with standard meat quality for every pot, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 893–903.

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

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

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

Punzo F., Mutchmor J. A. (1980), Effects of temperature, relative humidity and period of exposure on the survival capacity of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Journal of the Kansas Entomological Society*, 53, 260-270.

Rabobank (2021), No longer crawling: Insect protein to come of age in the 2020s, *RaboResearch*.

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

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

Retrieved from: <https://research.rabobank.com/far/en/sectors/animal-protein/insect-protein-to-come-of-age-in-the-2020s.html>.

Roffeis M., Wakefield M. E., Almeida J., Valada T. R. A., Devic E., Kenis M., Nacambo S., Fitches E. C., Koko G. K., Mathijs E. (2018), Life cycle cost assessment of insect based feed production in West Africa, *Journal of Cleaner Production*, 199, 792-806.

Rueda L. C., Ortega L. G., Segura N. A., Acero V. M., Bello F. (2010), *Lucilia sericata* strain from Colombia: Experimental Colonization, Life Tables and Evaluation of Two Artificial Diets of the Blowfly *Lucilia sericata* (Meigen) (Diptera: Calliphoridae), Bogotá, Colombia Strain, *Biological Research*, 43, 197–203.

Rumbos C. I., Adamaki-Sotiraki C., Gourgouta M., Karapanagiotidis I. T., Asimaki A., Mente E., & Athanassiou C. G. (2021), Strain matters: strain effect on the larval growth and performance of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L., *Journal of Insects as Food and Feed*, 7 (8), 1195-1205.

Rumbos C. I., Bliamplias D., Gourgouta M., Michail V., Athanassiou, C. G. (2021) Rearing *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* larvae on seed cleaning process byproducts, *Insects*, 12, 293.

Rumbos C. I., Karapanagiotidis I. T., Mente E., Psofakis P., Athanassiou C. G. (2020), Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*, *Scientific Reports*, 10: 1 – 10.

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.

Rumbos C. I., Pantazis I., Athanassiou C. G. (2020), Population growth of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) on various commodities, *Journal of Economic Entomology*, 113, 1001–1007.

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. and Mozzon M. (2020), Addition of olive pomace to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae, *Foods*, 9, 317.

Scala A., Cammack J. A., Salvia R., Scieuzo C., Franco A., Bufo S. A., Tomberlin J. K., Falabella P. (2020), Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale, *Scientific Reports*, 10, 19448.

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

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

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

Sheppard D. C., Newton G. L., Thompson S. A., Savage S. (1994), A value added manure management system using the black soldier fly, *Bioresource Technology*, 50, 275-279.

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.

Spranghers T., Michiels J., Vrancx J., Owyn A., Eeckhout M., De Clercq P., De Smet S. (2018) Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets, *Animal Feed Science and Technology*, 235, 33-42.

St. Hilaire S., Cranfill K., McGuire M. A., Mosley E. E., Tomberlin J. K., Newton L., Sealey W., Sheppard C., Irving S. (2007), Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids, *Journal of the World of Aquaculture Society*, 38, 309-313.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C. (2006), *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.

Stull V. J., Kersten M., Bergmans R. S., Patz J. A., Paskewitz S. (2019), Crude protein, amino acid, and iron content of *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae) reared on an agricultural byproduct from maize production: an exploratory study, *Annals of the Entomological Society of America*, 112, 533-543.

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

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

Urs K. C. D., Hopkins T. L. (1973b), Effect of moisture on the lipid content and composition of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae), *Journal of Stored Products Research*, 8, 299-305.

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

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

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

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

Van Huis A., Dicke M. and Van Loon J. J. A. (2015), Insects to feed the world, *Journal of Insects as Food and Feed*, 1, 3-5.

Varelas V. (2019), Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: a review, *Fermentation*, 5, 81.

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

Xiaoming C., Ying F., Hong Z., Zhiyong C. (2010), Common edible wasps in Yunnan Province, China and their nutritional value, In Durst P. B., Johnson D. V., Leslie R. L., Shono K., eds, *Forest insects as food: humans bite back*,

proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, p. 93-98, FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.

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

Yen A. L. (2015), Insects as food and feed in the Asia Pacific region: Current perspectives and future directions, *Journal of Insects as Food and Feed*, 1, 33–55.

Zhang C. X., Tang X. D., Cheng J. A. (2008), The utilization and industrialization of insect resources in China, *Entomological Research*, 38, 38-47.