

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΜΣ «ΦΥΤΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**“Μελέτη της ανάπτυξης του εντόμου *Tenebrio molitor* L.
(Coleoptera:Tenebrionidae) σε δίαιτες με βάση παραπροϊόντα της
αγροτικής παραγωγής”**

**“Development of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera:Tenebrionidae)
in diets based on agricultural byproducts ”**



Κοκονάκη Φωτεινή

**Επιβλέπων καθηγητής: Αθανασίου Γ. Χρήστος
Βόλος, 2025**

“Μελέτη της ανάπτυξης του εντόμου *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera:Tenebrionidae) σε δίαιτες με βάση παραπροϊόντα της αγροτικής παραγωγής”

Φωτεινή Κοκονάκη

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

Copyright © KOKONAKH ΦΩΤΕΙΝΗ, 2025.

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.

Ευχαριστίες

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

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

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Περίληψη

Τα αγροτικά παραπροϊόντα που παράγονται εξαιτίας της γεωργίας αποτελούν έναν τεράστιο όγκο ανεκμετάλλευτων πόρων. Ένας τρόπος αξιοποίησης τους για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι η χρήση ως θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη εντόμων. Τα έντομα έχουν την ικανότητα να αξιοποιούν τα θρεπτικά συστατικά των αγροτικών παραπροϊόντων για την ανάπτυξη τους, μετατρέποντας τα σε πηγή υψηλής διατροφικής αξίας. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης ήταν η αξιολόγηση των αγροτικών παραπροϊόντων που παράγονται σε τοπικό επίπεδο, ως θρεπτικά υποστρώματα για την ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). Τα αγροτικά παραπροϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος ήταν τα εξής: παραπροϊόν : παραπροϊόν τριτικάλε, βρώμης, κριθαριού, λούπινου, κάνναβης πίτουρο ρυζιού και βαμβάκοπιτα. Η βιοδοκιμή πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακή κλίμακα, σε πλαστικά φιαλίδια διαμέτρου 7,5 cm, όπου τοποθετήθηκαν 50 προνύμφες πρώιμου σταδίου. Στην βιοδοκιμή αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών σε 4 ομάδες σύνθετων ισοπρωτεϊνικών διαιτών (ομάδα A: 17 % πρωτεΐνη, ομάδα B: 20% πρωτεΐνη, ομάδα C: 23% πρωτεΐνη, ομάδα D: 25% πρωτεΐνη). Ως μάρτυρες χρησιμοποιήθηκαν για την ομάδα A πίτουρο σιταριού, για την ομάδα B μίγμα πίτουρου σιταριού και μαγιά σε αναλογία 95,5g:4,5g, για την ομάδα C πίτουρο σιταριού και μαγιά σε αναλογία 86,5g:13,5g και για την ομάδα D ήταν πίτουρο σιταριού με μαγιά σε αναλογία 72g:28g. Οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν παρουσία υγρασίας και πραγματοποιούνταν μέτρηση του βάρους και της επιβίωσης τους κάθε δύο εβδομάδες, μέχρι την εμφάνιση της πρώτης νύμφης. Ακόμα, υπολογίστηκαν τρεις δείκτες αξιοποίησης τροφής (SGR, ECI, FCR) και η σύσταση των συστατικών του σώματος των προνυμφών (ποσοστό πρωτεΐνης, λιπαρών οξέων, ξηράς ουσίας και τέφρας). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα παραπροϊόντα της παραγωγής τριτικάλε, λούπινου και κάνναβης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά διαίτων για την ανάπτυξη των προνυμφών του είδους εντόμου *Tenebrio molitor*. Στόχος της παρούσας έρευνας είναι η αξιοποίηση των διαθέσιμων γεωργικών παραπροϊόντων που υπάρχουν σε τοπικό επίπεδο, ως υποστρώματα για την ανάπτυξη του είδους, συμβάλλοντας στην κυκλική οικονομία.

Abstract

Agricultural by-products produced by agroindustry represent a huge amount of underrated resources. These agricultural by-products can be used as nutrient substrates for insect rearing systems in order to reduce the environmental impact of agricultural waste. Insects have the ability to utilize the nutrients of agricultural by-products for their development, transforming them into a source of high nutritional value. The aim of this study was to evaluate the suitability of seven by-products locally produced in Greece as growth substrates for the development of the larvae of the insect *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). The agricultural by-products used for the experiment were the following: triticale, oat, barley, lupine, hemp by-product, rice bran and cotton cake.

For the laboratory scale bioassay we used plastic vials with a diameter of 7.5 cm, where 50 early stage larvae were placed. In the bioassay, the development of the larvae was evaluated in 4 groups of isoprotein diets (group A: 17% protein, group B: 20% protein, group C: 23% protein, group D: 25% protein). Wheat bran was used as control for group A, a mixture of wheat bran and yeast in a ratio of 95.5g:4.5g for group B, wheat bran and yeast in a ratio of 86.5g:13.5g for group C and wheat bran with yeast in a ratio of 72g:28g for group D. The larvae were left to feed in the presence of moisture and their weight and survival were measured every two weeks, until the first pupa emerged. Furthermore, three feed conversion ratios (SGR, ECI, FCR) and the composition of the larvae's body components (protein, fatty acid, dry matter and ash percentage) were calculated.

The results showed that the triticale, lupine and hempseed by-products can be used as diet components for the development of the larvae of the insect species *Tenebrio molitor*. The aim of this research is to utilize the available agricultural by-products that exist at the local level, as substrates for the development of the species, contributing to the circular economy.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή	15
1.1 Χρήση εντόμων ως ζωοτροφή	16
1.1.1 Τροφή για πουλερικά	17
1.1.2 Τροφή για χοίρους	17
1.1.3 Τροφή για ψάρια	17
1.1.4 Τροφή για κατοικίδια	18
1.2 Κατανάλωση εντόμων από ανθρώπους	19
1.2.1 Αποδοχή	19
1.2.2 Ανησυχίες της κατανάλωσης εντόμων	20
1.3 Εκτροφή εντόμων σε μεγάλη κλίμακα	20
1.3.1 Πλεονεκτήματα εκτροφής εντόμων	21
1.4 <i>Tenebrio molitor</i>	22
1.4.1 Βιολογικός κύκλος	22
1.4.2 Θρεπτική αξία	24
1.5 Συνθήκες ανάπτυξης του <i>Tenebrio molitor</i>	25
1.5.1 Θερμοκρασία	25
1.5.2 Υγρασία	26
1.5.3 Βέλτιστη πυκνότητα πληθυσμού	26
1.5.4 Φωτοπερίοδος	26
1.6 Απαραίτητα στοιχεία για την διατροφή του εντόμου	27
1.6.1 Νερό	27
1.6.2 Πρωτεΐνες	27
1.6.3 Λιπίδια	28
1.6.4 Υδατάνθρακες	28
1.6.5 Βιταμίνες	28
1.7.Επιλογή θρεπτικού υποστρώματος	28
1.7.1 Αξία αξιοποίησης αγροτικών παραπροϊόντων ως θρεπτικό υπόστρωμα για έντομα	29
1.7.2 Παραπροϊόντα που έχουν χρησιμοποιηθεί	30
1.8 Σκοπός	32
2. Υλικά- Μέθοδοι	32
2.1 Συνθήκες εκτροφής <i>Tenebrio molitor</i>	32
2.2 Παραπροϊόντα	33
2.3 Πειραματικός σχεδιασμός	34
2.3.1 Παρασκευή διαίτων	34
2.3.2 Ανάπτυξη των προνυμφών του <i>T.molitor</i> στις 4 ισοπρωτεϊνικές ομάδες διαίτων	37
2.3.3 Δείκτες αξιοποίησης τροφής	38
2.4 Προσδιορισμός των συστατικών του σώματος	38
2.5.1 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων βάσεων	40

2.5.2 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων	42
2.5.3 Προσδιορισμός τέφρας	44
2.6 Στατιστική ανάλυση.....	44
3.Αποτελέσματα.....	45
3.1 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 17% πρωτεΐνη	45
3.2 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 20% πρωτεΐνη	60
3.3 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 23% πρωτεΐνη	74
3.4 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 25% πρωτεΐνη	88
4. Συζήτηση.....	102
Βιβλιογραφία	106

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Προνύμφη, νύμφη και ενήλικο *Tenebrio molitor*

Εικόνα 1.2 Εκτρεφόμενα έντομα

Εικόνα 2.1. Πιλοτική μονάδα εκτροφής εντόμων Π. Θ. Τελάρο με ενήλικα άτομα *T. molitor*.

Εικόνα 2.2. Άλεση παραπροϊόντων σε Thermomix TM31-96 1C

Εικόνα 2.3. Διαχωρισμός προνυμφών 10 ημερών για την βιοδοκιμή

Εικόνα 2.4. Αποξήρανση προνυμφών

Εικόνα 2.5 Άλεση προνυμφών

Εικόνα 2.6 Ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs μέσα στους δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης

Εικόνα 2.7 Συσκευή πέψης (digestion apparatus InKjel P της Behr)

Εικόνα 2.8 Συσκευή απόσταξης (Steam Distillation Apparatus S4, Behr, Germany).

Εικόνα 2.9 Συσκευή απόσταξης Gerhardt 200 kjeldahl (distillation apparatus vapodest system)

Εικόνα 2.10 Τίτλοδοτηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1N) σε συνθήκες διαρκούς κίνησης.

Εικόνα 2.11 Συσκευή εκχύλισης - Soxtherm Multistat/SX PC (Sox-416 Macro, Gerhard, Germany)

Εικόνα 2.12 Προετοιμασία δειγμάτων για αποτέφρωση σε φούρνο στους 600 °C

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Διατροφική αξία προνύμφης και ενήλικου *T. molitor* (Finke, 2002)

Πίνακας 1.2 Σύσταση αμινοξέων του *T. molitor* (van Vuis et al., 2013)

Πίνακας 2.1 Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 17% (A)

Πίνακας 2.2 Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 20% (B)

Πίνακας 2.3 Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 23% (C)

Πίνακας 2.4 Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 25% (D)

Πίνακας 1 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 2 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 3 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα.

Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 4 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 5 Συστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 6 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 7 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 8 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 9 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 20 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 10 Συστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 11 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 23 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 12 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 23 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 13 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 23 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 14 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 23 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 15 Συστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 23 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 16 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 25 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 17 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 25 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 18 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 25 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με

το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 19 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 25 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 20 Συστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 25 % πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους $\pm$ τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 2: Ποσοστό επιβίωσης (100%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 3. Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%.

Γράφημα 4: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 5: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 6: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 7: % τέφρα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 8: % περιεκτικότητα ξηράς ουσίας των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 9: % Πρωτεΐνη των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%.

Γράφημα 10: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%.

Γράφημα 11: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 12: Ποσοστό επιβίωσης (100%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 13. Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 20 %.

Γράφημα 14: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 15: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 16: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 17: % τέφρα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 18: % περιεκτικότητα ξηράς ουσίας των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 19: % Πρωτεΐνη των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20%.

Γράφημα 20: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20%.

Γράφημα 21: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους .

Γράφημα 22: Ποσοστό επιβίωσης (100%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 23. Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 23 %.

Γράφημα 24: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 25: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 26: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 27: % τέφρα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 28: % περιεκτικότητα ξηράς ουσίας των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 29: % Πρωτεΐνη των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%.

Γράφημα 30: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%.

Γράφημα 31: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 32: Ποσοστό επιβίωσης (100%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 33. Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 25 %.

Γράφημα 34: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 35: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 36: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 37: % τέφρα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 38: % περιεκτικότητα ξηράς ουσίας των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.

Γράφημα 39: % Πρωτεΐνη των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%.

Γράφημα 40: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών *Tenebrio molitor* που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%.

1. Εισαγωγή

Παρά την τεχνολογική εξέλιξη και την επιστημονική πρόοδο που έχουν βελτιώσει το βιοτικό επίπεδο, υπολογίζεται ότι περίπου 300 εκατομμύρια άνθρωποι θα συνεχίσουν να πλύνονται από υποσιτισμό μέχρι το 2050 λόγω της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Σύμφωνα με υπολογισμούς του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO, 2009) για την επαρκή κάλυψη των διατροφικών απαιτήσεων του πλανήτη, συμπεριλαμβανομένων και των ζώων, θα πρέπει να αυξηθεί η παραγωγή τροφίμων κατά 70% έως το 2050 σε σχέση με το 2009. Συγκεκριμένα, έως το 2050 ο πληθυσμός αναμένεται να αγγίξει τα 9 δισεκατομμύρια που συνεπάγεται αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής κρέατος (Boland et al., 2013; United Nations, 2017).

Η αυξανόμενη τάση του πληθυσμού σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση τροφών πλούσιων σε πρωτεΐνη οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών (Alexandratos and Bruinsma, 2012; van Huis, 2013; Tilman and Clark, 2014). Η αυξημένη παραγωγή τροφίμων που χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές, όπως η σόγια, και η ζωική παραγωγή ευθύνονται για την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Συγκεκριμένα, η παραγωγή κρέατος σε μεγάλη κλίμακα σχετίζεται με την χρήση μεγάλων εκτάσεων γης για βόσκηση, αντιβιοτικών, μεγάλης ποσότητας νερού και με την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου (Steinfeld et al., 2006; FAO, 2009; Foley et al., 2011; Gerber et al., 2013; Mekonnen and Hoekstra 2012).

Για την μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα στον πλανήτη προτείνονται εναλλακτικά συστήματα που θα είναι σε θέση να παράγουν αρκετή ποσότητα τροφής σε μικρότερη έκταση γης (Derler et al., 2021). Ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί η εκτροφή εντόμων, καθώς σε αντίθεση με τις παραδοσιακές πηγές πρωτεΐνης, παράγει χαμηλότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου, χρειάζεται μικρότερη ποσότητα νερού και έκταση γης, έχει καλύτερη απόδοση μετατροπής τροφής σε βιομάζα και είναι

δυνατή η χρήση αγροτικών παραπροϊόντων ως θρεπτικό υπόστρωμα των εντόμων (Van Huis et al., 2013; Garofalo et al., 2019; Gasco et al., 2020). Η μελέτη του τομέα των βρώσιμων εντόμων ξεκίνησε το 2017, όπου συγκεκριμένα είδη έλαβαν έγκριση για ενσωμάτωση στην ιχθυοκαλλιέργεια (EU, 2017). Τα βρώσιμα έντομα έχουν υψηλή διατροφική αξία καθώς είναι καλή πηγή εύπεπτων πρωτεϊνών, απαραίτητων αμινοξέων και λιπών (Oonincx et al., 2012; De Marco et al., 2015; Malla et al., 2022).

Η πρόκληση της βιομηχανίας εκτροφής εντόμων είναι η εξασφάλιση μίας οικονομικής, αποδοτικής και βιώσιμης παραγωγή εντόμων για τη χρήση τους ως ζωοτροφή ή ανθρώπινη κατανάλωση. Η χρήση αγροτικών παραπροϊόντων αποτελεί στρατηγική μείωσης του κόστους για τη διατροφή των εντόμων, καθώς τα γεωργικά συστήματα παράγουν σημαντικές ποσότητες αποβλήτων που μπορούν να αποτελέσουν υποστρώματα εντόμων (Varelas, 2019). Οι προνύμφες του εντόμου *Tenebrio molitor* έχουν αναγνωριστεί ως ένα από τα λίγα είδη που έχουν τη δυνατότητα για μεγάλης κλίμακας εμπορική παραγωγή (Heckmann et al., 2018). Ένα από τα βασικά σημεία είναι ότι το προφίλ αμινοξέων τους είναι παρόμοιο με αυτό της σόγιας, καλύπτοντας εν μέρει ή πλήρως τις απαιτήσεις των ψαριών και των ζώων (Gasco et al., 2021). Ωστόσο, η κατανόηση της ιδανικής διατροφικής σύνθεσης για αυτό το είδος εντόμου είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η ανεπαρκής τροφή μπορεί να οδηγήσει σε παρατεταμένο χρόνο παραγωγής και μειωμένη απόδοση. Συνεπώς, η χρήση των εντόμων ως πηγή πρωτεΐνης απαιτεί προσοχή για την βέλτιστη παραγωγή (Danieli et al., 2019). Επιπλέον, παρά τη γνωστή ικανότητα βιομετατροπής της χαμηλής ποιότητας οργανικής ύλης (Ruschioni et al., 2020) θέματα όπως η πεπτικότητα των παραπροϊόντων για το *Tenebrio molitor* παραμένουν ανεπαρκώς μελετημένα, απαιτώντας καλύτερη κατανόηση για τη σωστή σύνθεση διαίτας.

1.1 Χρήση εντόμων ως ζωοτροφή

Η ζήτηση τροφίμων και κτηνοτροφικών προϊόντων αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Τα τελευταία χρόνια, τα έντομα έχουν λάβει μεγάλη προσοχή ως πιθανή πηγή πρωτεΐνης, κυρίως ως εναλλακτική λύση στα ιχθυάλευρα, το ιχθυέλαιο και το σογιάλευρο (Makkar et al., 2014; Henry et al., 2015). Τα έντομα είναι μια καλή πηγή αμινοξέων, λιπαρών οξέων και μικροθρεπτικών συστατικών (Rumpold and Schlüter, 2013a). Επίσης αναπτύσσονται εύκολα και έχουν υψηλή απόδοση μετατροπής της τροφής σε βιομάζα (van Huis et al., 2013; Makkar et al., 2014). Τα είδη εντόμων που έλαβαν άδεια από την Ευρωπαϊκή Ένωση για χρήση στην ιχθυοκαλλιέργεια ήταν τα εξής: *T. molitor*, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera:Tenebrionidae), *Acheta domesticus* (Orthoptera:Gryllidae), *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae), *Musca domestica* (Diptera:Muscidae), *Gryllodes sigillatus* (Orthoptera:Gryllidae), *Gryllus assimilis* (Orthoptera:Gryllidae) (EU, 2017). Το 2021 τα ίδια είδη εντόμων εγκρίθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση και χρησιμοποιούνται ως συστατικά πρωτεΐνης σε τροφές για χοίρους και πουλερικά (EU,

2021; Harsányi et al., 2020). Επίσης, την ίδια χρονιά τα έντομα *T. molitor*, *A. diaperinus*, *A. Domesticus* και *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) έλαβαν έγκριση για ανθρώπινη κατανάλωση (EFSA, 2021). Παρά τα θετικά της χρήσης εντόμων ως ζωοτροφή, μελέτες αναφέρουν κινδύνους εμφάνισης αλλεργιών σε ζώα και ανθρώπους και δυσκολία πέψης (Klunder et al., 2012; Rumpold and Schlüter, 2013a; Charlton, 2014; Charlton et al., 2015; Henry et al., 2015).

1.1.1 Τροφή για πουλερικά

Έχει προταθεί η μερική αντικατάσταση του σογιάλεου με προνύμφες της μαύρης μύγας στρατιώτη, *Hermetia illucens* σε τροφή πουλερικών (Dörper et al., 2021). Άλλες προνύμφες που έχουν δοκιμαστεί με επιτυχή αποτελέσματα είναι του *T. molitor* (De Marco et al., 2015) και της *Musca domestica* (Sánchez-Muros et al., 2016). Η κατανάλωση προνυμφών *Hermetia illucens* έχει βρεθεί ότι βελτιώνει τη φυσιολογία και το μικροβίωμα των πουλερικών (Borrelli et al., 2017), ωστόσο άλλες μελέτες αναφέρουν αρνητική επίδραση, (Nayohan et al., 2022). Είναι φανερό λοιπόν ότι το συγκεκριμένο εγχείρημα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Σύμφωνα με έρευνα η αντικατάσταση 15% και 20% των συστατικών διατροφής των πουλερικών με προνύμφες του *Musca domestica* είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους και την βελτίωση της ανάπτυξης των πουλερικών (Hwangbo et al., 2009). Ακόμα, το έντομο *T. molitor* μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης, καθώς αντικαθιστά ικανοποιητικά τη σόγια (Ramos Elorduy et al., 2002). Στην Νότια Αφρική έχουν εξεταστεί για τροφή πουλερικών τερμίτες, ακρίδες και μεταξοσκώληκες (Ncobela & Chimonyo, 2015).

1.1.2 Τροφή για χοίρους

Οι προνύμφες του *Hermetia illucens* έχουν προταθεί για αντικατάσταση του αλεύρου σόγιας που αποτελεί την κύρια τροφή και πηγή πρωτεϊνών των χοίρων (Kar et al., 2021). Σύμφωνα με έρευνες, η ολική αντικατάσταση με prepupae του εντόμου *Hermetia illucens* δεν παρουσίασε καμία διαφορά (Spranghers et al., 2018), ενώ η μερική αντικατάσταση αύξησε την πεπτικότητα των αμινοξέων, την απόδοση ανάπτυξης, ενίσχυσε την ανοσολογική απόκριση και βελτίωσε την λειτουργία του εντέρου (Hong & Kim, 2022; Veldkamp & Vernooij, 2021). Ωστόσο, το υψηλό κόστος των ζωοτροφών με άλευρο εντόμων αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα.

1.1.3 Τροφή για ψάρια

Οι τροφές υδατοκαλλιέργειας βασίζονται επί του παρόντος σε μεγάλο βαθμό σε ιχθυάλευρα (Naylor et al., 2009). Τα ιχθυάλευρα είναι ένα συστατικό τροφής σε πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας (60–72%), αλλά οι δίαιτες των ψαριών συχνά συμπληρώνονται με ιχθυέλαιο, το οποίο έχει υψηλά επίπεδα ωμέγα-3 λιπαρών οξέων (Green and Pearsall., 2016). Τα τελευταία δέκα χρόνια η χρήση εντόμων ως πηγή πρωτεΐνης για παραγωγή ζωοτροφών έχει λάβει ιδιαίτερη προσοχή (FAO, 2013). Σε αυτό συμβάλλει το γεγονός ότι τα έντομα αποτελούν φυσική τροφή για σαρκοφάγα και παμφάγα ψάρια,

καθώς απαιτούν μεγάλη ποσότητα πρωτεϊνών για την ανάπτυξη τους (Nogales-Mérida *et al.*, 2019; Tran *et al.*, 2015; van Huis, 2020). Η χρήση αλεύρων εντόμων στην υδατοκαλλιέργεια είναι σχετικά πρόσφατη τεχνική και αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς στην Κίνα, την Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική, την Αυστραλία και την Νοτιοανατολική Ασία (Henry *et al.*, 2015; Nogales-Mérida *et al.*, 2019). Τα έντομα τα οποία έχουν τραβήξει περισσότερο την προσοχή των επιστημόνων είναι τα *Musca domestica*, *Tenebrio molitor* και *Hermetia illucens* (Tran *et al.*, 2015; Veldkamp *et al.*, 2012), λόγω της ικανότητας ανάπτυξης του σε οργανικά απόβλητα για την παραγωγή πρωτεϊνών και λιπαρών οξέων καλής ποιότητας (Čičková *et al.*, 2015; Nguyen *et al.*, 2015; Veldkamp *et al.*, 2012). Ωστόσο, η θρεπτική σύσταση ποικίλλει ανάλογα με το είδος και το στάδιο ανάπτυξης του εκάστοτε εντόμου (Alegbeleye *et al.*, 2012; Barroso *et al.*, 2014; Henry *et al.*, 2015; Makkar *et al.*, 2014; Sánchez-Muros *et al.*, 2014, Tran *et al.*, 2015; Van Huis, 2013). Τα είδη ψαριών στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί προνύμφες εντόμων ως συστατικό τροφής είναι τα εξής: Ευρωπαϊκό λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*) (Magalhães *et al.*, 2017), Πελαγίσιο Λιθρίνι (*Pagellus bogaraveo*) (Iaconisi *et al.*, 2017), Κυπρίνος (*Cyprinus carpio* var. Jian; Li *et al.*, 2017) και Σολομός Ατλαντικού (*Salmo salar*) (Lock *et al.*, 2016).

Οι προνύμφες της μύγας *Hermetia illucens* έχουν μελετηθεί αρκετά, καθώς περιέχουν περίπου 40% πρωτεΐνη, 30% λιπαρά οξέα (Sealey *et al.*, 2011; St-Hilaire *et al.*, 2007), μέταλλα και βιταμίνες (Henry *et al.*, 2015; van Huis, 2013) και αμινοξέα παρόμοια με αυτά του ιχθυάλευρου, καθιστώντας τις ικανές για παραγωγή ζωοτροφών υψηλής αξίας (Barroso *et al.*, 2014, Henry *et al.*, 2015, 2014). Η σύνθεση των λιπαρών οξέων εξαρτάται από την διατροφή του εντόμου (Sealey *et al.*, 2011; St-Hilaire *et al.*, 2007). Συγκεκριμένα, έρευνα έχει δείξει ότι η χρήση παραπροϊόντων ψαριών, πλούσιων σε ω-3 λιπαρά, ως υπόστρωμα για τις προνύμφες είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ω-3 λιπαρών οξέων στο σώμα τους (Sealey *et al.*, 2011; St-Hilaire *et al.*, 2007). Άλλη έρευνα απέδειξε ότι οι προνύμφες που χρησιμοποιούσαν ως θρεπτικό υπόστρωμα φύκια του είδους *Ascophyllum nodosum* ήταν πλούσιες σε θρεπτικά της θάλασσας, όπως ικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και ιώδιο (Liland *et al.*, 2017).

1.1.4 Τροφή για κατοικίδια

Την κύρια διατροφή των κατοικίδιων αποτελεί η ξηρά τροφή (European Pet Food Industry Federation, 2020). Η ανάγκη εύρεσης τροφών καλύτερης ποιότητας ωθεί τις βιομηχανίες παραγωγής τροφών για κατοικίδια να στραφούν σε εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης (Kerpińska-Pacelik and Biel, 2021), ώστε να περιοριστεί η χρήση πουλκερικών, βοοειδών και χοίρων. Η χρήση εντόμων αποτελεί μία εναλλακτική, καθώς η θρεπτική τους αξία είναι παρόμοια με αυτή των συμβατικών πηγών πρωτεΐνης. Ωστόσο, δεν είναι κάτι καινούργιο, καθώς τα έντομα αποτελούν τροφή κυνοειδών και άγριων γατών στο φυσικό τους περιβάλλον (Bosch *et al.*, 2014). Σήμερα, τροφές με βάση τα έντομα προτείνονται για σκύλους που εμφανίζουν αλλεργίες στις παραδοσιακές πηγές πρωτεΐνης (Klinger *et*

al., 2018) . Σύμφωνα με έρευνα, η τιμή πεπτικότητας του αζώτου στα αποχωρήματα των ζώων που τρέφονται με τροφές που περιέχουν έντομα είναι συγκρίσιμη με αυτή των παραδοσιακών τροφών. Ακόμα, έχει βρεθεί ότι οι τροφές που περιέχουν προνύμφες της μύγας *Hermetia illucens* συμβάλλουν στην αναστολή της ανάπτυξης του βακτηρίου *Clostridium perfringens*, που προκαλεί στομαχικές διαταραχές σε σκύλους (Dong *et al.*, 2021). Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την κατανόηση των οφελών στην υγεία των κατοικιδίων και των πιθανών επιπτώσεων (Bosch and Swanson, 2021).

1.2 Κατανάλωση εντόμων από ανθρώπους

Η εντομοφαγία, δηλαδή η πρακτική της κατανάλωσης εντόμων ως τροφής, αποτελούσε μέρος της προϊστορικής διατροφής σε πολλές περιοχές (Van Huis, 2012; Pal and Roy, 2014). Παγκοσμίως, περισσότερο από δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι, κυρίως στην Ασία, την Αφρική και τη Νότια Αμερική, υπολογίζεται ότι καταναλώνουν έντομα (Yi *et al.*, 2010; Van Huis, 2012; Rumpold and Schlüter, 2013) , με περισσότερα από 2000 βρώσιμα είδη εντόμων να χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό (Jongema, 2015). Σύμφωνα με έρευνες, 1000 είδη εντόμων καταναλώνονται παγκοσμίως από ανθρώπους (DeFoliart, 1995; Van Huis, 1996; DeFoliart, 2002; Morris, 2008) με τα περισσότερα να ανήκουν στις τάξεις Κολεόπτερα, Λεπιδόπτερα, Ορθόπτερα και Υμενόπτερα. Στη δυτική κουλτούρα, ωστόσο, η εντομοφαγία δεν είναι αποδεκτή και θεωρείται μια αποκρουστική και πρωτόγονη συμπεριφορά, ενώ τα έντομα συνδέονται με ασθένειες (Jansson and Berggren, 2015). Ωστόσο, αυτό το ταμπού φαίνεται να αποδυναμώνεται τα τελευταία χρόνια, καθώς οι διατροφικές συνήθειες έχουν αλλάξει και μια νέα τάση για προϊόντα με βάση τα έντομα και ενσωμάτωση της εντομοφαγίας στη δυτική διατροφή έχει αρχίσει (Caparros Megido *et al.*, 2016; Rumpold *et al.*, 2017). Βρώσιμα ονομάζονται τα είδη εντόμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανθρώπινη κατανάλωση αλλά και για ζωοτροφές στο σύνολό τους, μέρη τους ή πρωτεΐνες και εκχύλισμα λιπιδίων (Van Huis *et al.*, 2013; Dunkel and Paine, 2016; Gahukar, 2016). Τα βρώσιμα έντομα φαίνονται μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική για την επίτευξη της επισιτιστικής ασφάλειας στην επερχόμενη παγκόσμια επισιτιστική κρίση (Van Huis, 2015), επειδή παρέχουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα για τη διατροφή του ανθρώπου, όπως υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, αμινοξέα, λιπίδια, ενέργεια και διάφορα μικροθρεπτικά συστατικά (Defoliart, 1995; Rumpold and Schlüter, 2013a).

1.2.1 Αποδοχή

Τα έντομα αποτελούν κύρια συστατικά της διατροφών πολλών πολιτισμών ανά τον κόσμο από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα (van Huis *et al.*, 2013). Ωστόσο, στις Δυτικές κοινωνίες συχνά αντιμετωπίζεται με φόβο και αποστροφή (Patel, Suleria, and Rauf, 2019; Verbeke, 2015), καθώς συνδέουν την εκτροφή εντόμων με την έλλειψη καθαριότητας (La Barbera *et al.*, 2018; Mancini *et al.*, 2019). Παρόλο που η εντομοφαγία αποτελεί μία πιο βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης και θρεπτικών στοιχείων και καλό υποκατάστατο του κρέατος, δεν είναι αποδεκτά από τις Δυτικές κοινωνίες

(Hartmann and Siegrist, 2017; Lammers *et al.*, 2019). Ο κύριος λόγος που σχετίζεται με την απόρριψη τροφών που περιέχουν έντομα είναι η νεοφοβία, δηλαδή η αποστροφή προς άγνωστες τροφές (Hartmann και Siegrist, 2017, Lammers *et al.*, 2019). Για την αύξηση της αποδοχής των βρώσιμων εντόμων από το ευρύ κοινό θα πρέπει να υπάρξει ενημέρωση για τα οφέλη της εντομοφαγίας τόσο για τους ανθρώπους όσο και για το περιβάλλον (Hartmann and Siegrist, 2017; Lammers *et al.*, 2019). Άλλες στρατηγικές όπως η παρουσίαση πιάτων και η επιλογή συνταγών ίσως περιορίσουν την αρνητική άποψη των καταναλωτών. Παρόλα αυτά απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ανάπτυξη τέτοιων στρατηγικών, ώστε να επέλθει η αποδοχή της χρήσης εντόμων ως τροφή στους Δυτικούς πολιτισμούς (La Barbera *et al.*, 2018, La Barbera *et al.*, 2020; Mancini *et al.*, 2019).

1.2.2 Ανησυχίες της κατανάλωσης εντόμων

Παρά τα θετικά της κατανάλωσης εντόμων υπάρχουν και κάποιες ανησυχίες. Αρχικά, δεν είναι όλα τα έντομα κατάλληλα για κατανάλωση από ανθρώπους καθώς κάποια είδη μπορούν να μεταφέρουν μικρόβια ή τοξίνες στους καταναλωτές (Belluco *et al.*, 2013; Rumpold and Schlüter, 2013). Σύμφωνα με έρευνες, υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης λοιμώξεων κατά τη μαζική εκτροφή εντόμων, λόγω του συνωστισμού ή του στρες που μπορεί να προκαλέσει στους καταναλωτές εντερίτιδα ή ανορεξία (Andreasse *et al.*, 1999; Marangi *et al.*, 2003; Bjørnson *et al.*, 2008). Ακόμα, δεν είναι βρώσιμα όλα τα στάδια των εντόμων, καθώς τα ενήλικα στάδια αποτελούνται κυρίως από χιτίνη στην οποία κάποιοι άνθρωποι παρουσιάζουν αλλεργία, επομένως υπάρχει ο κίνδυνος του λανθασμένου χειρισμού τους (Mlcek *et al.*, 2014; Patel, Suleria και Rauf, 2019). Ακόμα, η χιτίνη δύναται να προκαλέσει δυσπεψία σε ορισμένους ανθρώπους (Belluco *et al.*, 2013; Dobermann, Swift and Field, 2017; Kouřimská and Adámková, 2016; Mlcek *et al.*, 2014; Muzzarelli *et al.*, 2012; Paoletti *et al.*, 2007).

1.3 Εκτροφή εντόμων σε μεγάλη κλίμακα

Το σύνολο των ειδών ζώων στη Γη είναι περίπου 1,4 εκατομμύρια, με περισσότερα από 1 εκατομμύριο από αυτά να ταξινομούνται ως έντομα (van Huis *et al.*, 2013). Ο άνθρωπος επωφελείται από τα έντομα εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η εκτροφή μεταξοσκωλήκων *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) για παραγωγή μεταξίου είναι μια πρακτική που ξεκίνησε στην Κίνα πριν από 5000 χρόνια (van Huis, 2013). Η αυξημένη ζήτηση εντόμων οδήγησε στην αναβάθμιση των εγκαταστάσεων εκτροφής εντόμων και στην εύρεση αποτελεσματικότερων μεθόδων παραγωγής (Hanboonsong *et al.*, 2013). Σήμερα, οι εκτρεφόμενοι μεταξοσκώληκες φτιάχνουν μεγαλύτερο κουκούλι, έχουν βελτιωμένο ρυθμό ανάπτυξης και αποτελεσματικότητα πέψης (van Huis, 2013). Οι μέλισσες αποτελούν άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, καθώς εκτρέφονται για την παραγωγή μελιού, πρόπολης, βασιλικού πολτού κ.α. (Crittenden, 2011).

Ακόμα, τα ωφέλιμα έντομα και οι επικονιαστές παράγονται μαζικά σε μεγάλη κλίμακα παγκοσμίως με σκοπό να βοηθήσουν την γεωργία (van Huis, 2013). Τέτοια έντομα είναι τα *Apis mellifera* L (Brittain *et al.*, 2013), *Bombus terrestris* (L.) (Goulson, 2013), *Lucilia sericata* (Herrmann *et al.*, 2019) και κάποια είδη παρασιτοειδών (van Lenteren *et al.*, 2018). Επιπλέον, είδη εντόμων όπως η μύγα *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) (Sherman, 2009; Gasz & Harvey, 2017; Yan *et al.*, 2018) χρησιμοποιούνται στην ιατρική για απολύμανση πληγών (van Huis, 2013). Ακόμα, η κατσαρίδα *Periplaneta americana* (Blattodea: Blattidae) (Mao *et al.*, 2003; Srivastava *et al.*, 2011; Ting Shun *et al.*, 2012) χρησιμοποιείται στην βιομηχανία καλλυντικών, καθώς αποτελεί συστατικό για την παραγωγή τους. Τέλος, είναι γνωστό ότι το έντομο *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) χρησιμοποιείται ως κόκκινη βαφή σε τρόφιμα, φαρμακευτικά προϊόντα και καλλυντικά, λόγω του καρμινικού οξέος που υπάρχει στο σώμα του.

Επίσης, κάποια είδη παρασιτοειδών και αρπακτικών εντόμων εκτρέφονται μαζικά με στόχο τη βιολογική καταπολέμηση εντόμων - εχθρών των καλλιεργειών (Bale *et al.*, 2008; Barratt *et al.*, 2018; Chandler *et al.*, 2011; Flanders, Messing & Brodeur, 2018; Van Driesche *et al.*, 2018). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γένος *Trichogramma* (Hymenoptera), όπου πάνω από 200 είδη έχουν δοκιμαστεί, καθώς αποτελούν παρασιτοειδή αυγών Λεπιδόπτερων οικονομικής σημασίας (Cabello *et al.*, 2012; Iqbal *et al.*, 2020; Mansour *et al.*, 2019; Mansour και Biondi, 2020).

Τέλος, κάποια είδη εντόμων εκτρέφονται με σκοπό να χρησιμοποιηθούν για ανθρώπινη κατανάλωση, ζωοτροφές και δολώματα ψαριών ή ζώων. Τα διατροφικά οφέλη των βρώσιμων εντόμων είναι γνωστά, γι αυτό τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των προϊόντων που περιλαμβάνουν έντομα, όπως γρύλλους και αλευροσκώληκες (Oonincx & de Boer, 2012; Hanboonsong *et al.*, 2013). Η μύγα μαύρος στρατιώτης, *Hermetia illucens*, εκτρέφεται με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως πηγή πρωτεΐνης σε ζωοτροφές (Gobbi *et al.*, 2013; Chia *et al.*, 2018). Ορισμένες εταιρείες παράγουν επεξεργασμένες με νεανικές ορμόνες προνύμφες του *T. molitor* ως τροφή και δόλωμα για κατοικίδια (van Huis, 2013).

1.3.1 Πλεονεκτήματα εκτροφής εντόμων

Σύμφωνα με την επιστημονική κοινότητα, υπάρχουν πολλά οφέλη της χρήσης εντόμων για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ζώων και των ανθρώπων (Van Huis *et al.*, 2013). Σε αυτό συμβάλλει και η ίδια η φύση των εντόμων, καθώς είναι τα πολυπληθέστερα όντα του πλανήτη, μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών και προσαρμόζονται εύκολα στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Τα εκτρεφόμενα έντομα χαρακτηρίζονται από σύντομο κύκλο ζωής και μεγάλο ρυθμό ανάπτυξης που συνεπάγεται γρήγορη συσσώρευση βιομάζας και αυξημένη ικανότητα μετατροπής τροφής σε σωματικό βάρος. Σύμφωνα με έρευνες, για την παραγωγή 1 kg βοδινού κρέατος απαιτούνται 6 kg τροφής (Smil, 2002) ενώ για την παραγωγή 1 kg τριζονιών απαιτούνται μόλις 1,7 kg τροφής (Collavo *et al.*, 2005). Άλλο ένα παράδειγμα αποτελούν οι γρύλλοι (Collavo *et*

al., 2005), οι οποίοι απαιτούν τρεις φορές λιγότερη τροφή από τα ζώα για την παραγωγή ενός κιλού πρωτεΐνης (Pimentel και Pimentel, 2003). Επίσης, είναι δυνατόν να καταναλωθεί το 80% του σώματος τους, σε αντίθεση με τα ζώα που καταναλώνεται περίπου το 40% (Nakagaki και DeFoliart, 1991). Σύμφωνα με έρευνες οι προνύμφες του εντόμου *T. molitor* έχουν υψηλότερη θρεπτική αξία από το βόειο κρέας και το κοτόπουλο, καθιστώντας τις μία πιο βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης για τους ανθρώπους (Oonincx et al., 2012). Ακόμα, χαρακτηρίζονται από γρήγορη ανάπτυξη και υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό (Oonincx and de Boer, 2012). Επιπλέον, ο κύκλος ζωής των εντόμων χαρακτηρίζεται από χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, καθώς παράγουν χαμηλή ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου, απαιτούν μικρή έκταση γης και δεν χρειάζονται μεγάλη ποσότητα νερού (van Huis et al., 2013). Συγκεκριμένα, το 18% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από την κτηνοτροφία, ενώ για την εκτροφή εντόμων το ποσοστό είναι 100 φορές μικρότερο (Oonincx et al., 2010). Σύμφωνα με μία έρευνα όπου συγκρίθηκαν βοοειδή και το έντομο *T. molitor*, έδειξε ότι τα πρώτα παράγουν 2850 kg CO₂ / κιλό αύξησης μάζας ενώ το δεύτερο παράγει 6 CO₂ / κιλό αύξησης μάζας (Oonincx et al., 2010). Το χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε συνδυασμό με την υψηλή θρεπτική αξία των εντόμων, τα καθιστά εξαιρετική εναλλακτική των συμβατικών πηγών ενέργειας (Kourimska and Adamkova, 2016). Ακόμα, τα έντομα συμβάλλουν στην ανακύκλωση των οργανικών παραπροϊόντων χαμηλής διατροφικής αξίας μετατρέποντας τα σε βιομάζα (Ramos-Elorduy et al., 2002). Είδη εντόμων όπως *H. illucens*, *T. molitor*, *M. domestica* έχουν την δυνατότητα να μετατρέπουν 1,3 δισεκατομμύρια τόνους οργανικών παραπροϊόντων ετησίως. Σύμφωνα με έρευνες τα θερμόαιμα ζώα είναι υπεύθυνα για πάνω από το 50% των ασθενειών που μεταφέρονται στον άνθρωπο, ενώ για τα έντομα ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών είναι μειωμένος. Αυτό συμβαίνει διότι τα έντομα διαφέρουν ταξινομικά από τους ανθρώπους, ενώ με τα θερμόαιμα ζώα υπάρχουν γενετικές ομοιότητες (Taylor et al., 2001; van Huis et al., 2013). Τέλος, τα έντομα είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα και μικροθρεπτικά συστατικά (Rumpold and Schlüter, 2013).

1.4 *Tenebrio molitor*

Το *T. molitor*, έχει την κοινή ονομασία «κίτρινος αλευροσκώληκας», λόγω του χρώματος της προνύμφης. Ανήκει στην οικογένεια Tenebrionidae, την πέμπτη μεγαλύτερη οικογένεια Κολεόπτρων με πάνω από 14.000 είδη. Αποτελεί εχθρό αποθηκευμένων προϊόντων, ωστόσο δεν είναι μεγάλης σημασίας καθώς το ενήλικο δεν πετά. Είναι γενικά νυκτόβιο έντομο και προτιμά σκοτεινά και υγρά περιβάλλοντα (Ghaly & Alkokaik, 2009).

1.4.1 Βιολογικός κύκλος

Ο ολοκληρωμένος βιολογικός κύκλος του *Tenebrio molitor* αποτελείται από αυγό, προνύμφη, νύμφη και ενήλικο (Εικόνα 1.1). Τα θηλυκά γεννούν κατά μέσο όρο 400-500 αυγά (Spencer and Spencer, 2006). Τα αυγά έχουν μήκος ~ 1.8 mm, πλάτος ~ 0,7 mm και σχήμα φασολιού. Είναι λευκά,

γυαλιστερά και κολλώδη, καθώς καλύπτονται από εκκριτικό υγρό. Συναντώνται είτε μεμονωμένα είτε σε ομάδες. Η θερμοκρασία είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την ταχύτητα εκκόλαψης. Συγκεκριμένα μπορεί να διαρκέσει από 4 ημέρες στους 26–30 °C έως 34 ημέρες στους 15 °C, με το βέλτιστο των 2 εβδομάδων στους 25 °C (Ghaly & Alkoaik, 2009; Selaledi et al., 2019). Τα αυγά του είδους *Tenebrio molitor* έχουν εκκολαψιμότητα άνω του 70% στους 17,5 έως 27,5 °C. Η εκκολαψιμότητα των αυγών επηρεάζεται από την ηλικία των γονέων (Park et al. 2014).

Οι νεοεκκολαφθείσες προνύμφες έχουν χρώμα λευκό και μήκος περίπου 2 mm και σταδιακά, όσο τρέφονται, γίνεται κιτρινωπό. Έχουν επίμηκες κυλινδρικό σχήμα, έξι πόδια πίσω από την κεφαλή και δύο μικρά εξαρτήματα στις άκρες τις κοιλίας (Ghaly & Alkoaik, 2009; Hahn et al., 2018). Οι ώριμες προνύμφες έχουν λευκό χρώμα και μήκος 2,0-2,5 cm. Στο προνυμφικό στάδιο μπορεί να συμβούν έως 17 εκδύσεις, σε κάθε μία από αυτές το μήκος της προνύμφης αυξάνεται. Μετά το πέρας των 17 εκδύσεων αρχίζει μείωση του μήκους (Park et al. 2014). Το στάδιο αυτό δύναται να διαρκέσει από 3 μήνες έως 2 χρόνια εάν δεν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες μεταμόρφωσης (Ghaly & Alkoaik, 2009). Στο στάδιο της μεταμόρφωσης οι προνύμφες αποκτούν σχήμα «C», καθώς προετοιμάζονται να γίνουν νύμφες (Selaledi et al., 2019).

Οι νύμφες είναι κίτρινες, μήκους 1 cm είναι, ακίνητες, μαλακές και δεν μπορούν να τραφούν. Η διάρκεια του νυμφικού σταδίου εξαρτάται από την θερμοκρασία (Ghaly & Alkoaik, 2009). Μπορεί να διαρκέσει από 7 ημέρες στους 25–35 °C έως 48 ημέρες στους 15 °C (Robinson, 2005).

Τα ενήλικα έντομα έχουν αρχικά λευκό χρώμα και μαλακό εξωσκελετό, ενώ πέντε ημέρες μετά αποκτούν ισχυρά χιτινισμένο μαύρου χρώματος εξωσκελετό (Gerber, 1975). Η διάρκεια ζωής τους είναι 37-96 ημέρες, ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, ενώ το ζευγάριωμα ξεκινά 3 ημέρες αφότου βγουν από το νυμφικό στάδιο (Ghaly & Alkoaik, 2009). Κατά το αναπαραγωγικό στάδιο τα θηλυκά παράγουν φερομόνη 4-μεθυλ-1-εννεανόλη για να προσελκύσουν τα αρσενικά (Tanaka et al. 1986).



T. molitor larva¹



T. molitor pupa²



T. molitor adult³

Εικόνα 1.1 Προνύμφη, νύμφη και ενήλικο *Tenebrio molitor*

¹<https://www.naturepl.com/stock-photo-yellow-mealworm-tenebrio-molitor-beetle-larva-on-grain-nature-image01321526.html>

²https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tenebrio_molitor_-_pupa.jpg

³<https://www.ozanimals.com/Insect/Yellow-Mealworm/Tenebrio/molitor.html>

1.4.2 Θρεπτική αξία

Τα έντομα είναι πηγές τροφίμων υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών, λιπιδίων, υδατανθράκων, μεταλλικών στοιχείων και ορισμένων βιταμινών (de Castro *et al.*, 2018; Garofalo *et al.*, 2017; Zielińska *et al.*, 2015). Οι προνύμφες έχουν μεγαλύτερη απόδοση (Hong, 2020) και μικρότερη περιεκτικότητα χιτίνης (Adámková *et al.*, 2017) γι αυτό χρησιμοποιούνται ως τροφή, αφού ξηρανθούν και αλεστούν. Το παραγόμενο αλεύρο έχει περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη της τάξεως του 47%-60% (NR Council, 2012). Η περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα στα έντομα είναι 10-30% (Chen, Feng και Chen, 2009). Τα αμινοξέα απαιτούνται για τη βιοσύνθεση όλων των πρωτεϊνών στον ανθρώπινο μεταβολισμό και μπορούν να εξασφαλίσουν τη σωστή ανάπτυξη, ανάπτυξη και συντήρηση (van Huis *et al.*, 2013). Κατά βάρος, οι προνύμφες του εντόμου *Tenebrio molitor*, έχουν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ, ισολευκίνη, λευκίνη, βαλίνη, τυροσίνη, αλανίνη (Kouřimská and Adámková, 2016; Mlcek *et al.*, 2014). Ακόμα, είναι πλούσιο σε αμινοξέα, ιδίως λευκίνη, βαλίνη και λυσίνη (National Research Council, 2012). Η περιεκτικότητα σε λίπος που υπάρχει στα βρώσιμα έντομα είναι συνήθως μεταξύ 10-50% (Kouřimská and Adámková, 2016; Mlcek *et al.*, 2014). Τα έντομα παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές βασικών λιπαρών οξέων, με υψηλή ποιότητα, ειδικά σε μακράς αλυσίδας ωμέγα-3 λιπαρά οξέα (π.χ. α-λινελαϊκό οξύ) (Mlcek *et al.*, 2014). Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας ωμέγα-3 διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δομή των εγκεφαλικών ιστών (Carlson and Kingston, 2007).

Οι υδατάνθρακες που υπάρχουν στα έντομα (6,71–15,98%) βρίσκονται κυρίως με τη μορφή χιτίνης (Raksakantong *et al.*, 2010). Η χιτίνη, είναι αδιάλυτη στο νερό και είναι ο δεύτερος σε αφθονία πολυσακχαρίτης στη βιομάζα μετά την κυτταρίνη και το κύριο συστατικό του εξωσκελετού των αρθροπόδων. Μπορεί να είναι πηγή αζώτου καθώς και άνθρακα (Hajji *et al.*, 2014; Khoushab and Yamabhai, 2010). Γενικά, η χιτίνη αντιπροσωπεύει το 5–20% του ξηρού βάρους των εντόμων (Kouřimská and Adámková; Mlcek *et al.*, 2014). Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι σημαντικές ποσότητες πολυσακχαριτών μπορεί να βελτιώσουν τις λειτουργίες του ανθρώπινου ανοσοποιητικού (Mlcek *et al.*, 2014; van Huis, 2017). Η χιτίνη μπορεί να προάγει την επιλεκτική ανάπτυξη σημαντικών πληθυσμών βακτηρίων στο μικροβίωμα του ανθρώπινου εντέρου. Αυτά τα βακτήρια είναι υπεύθυνα για τη διατήρηση της φυσιολογικής κατάστασης του εντέρου, για την προστασία του ανοσοποιητικού συστήματος του οργανισμού, την αποτελεσματικότητα της μεταβολικής διαδικασίας (Delzenne and Cani, 2010; Geurts *et al.*, 2013; Neyrinck *et al.*, 2012). Η χιτίνη, ωστόσο, μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στους ανθρώπους.

Όσο αφορά τα μέταλλα, το εντομάλευρο είναι πλούσιο σε ασβέστιο, φώσφορο, νάτριο, κάλιο, σίδηρο, ψευδάργυρο και χαλκό (Ravzanaadii, 2012; Ghosh, 2017; Heidari-Parsa, 2018; Boulos, 2020). Περιέχουν επίσης καροτίνη και βιταμίνες B1, B2, B6, C, D, E και K. (Mlcek *et al.*, 2014). Είναι λοιπόν φανερό ότι οι προνύμφες του εντόμου αποτελούν σημαντική πηγή θρεπτικών.

Έντομο	Βάρος (mg/έντομο)	Υγρασία (g/kg)	Πρωτεΐνες (g/kg)	Λιπίδια (g/kg)	Ενέργεια (kcal/kg)
<i>T. molitor</i> (pronύμφη)	126	619	187	134	1056
<i>T. molitor</i> (ενήλικο)	136	637	237	54	1378

Πίνακας 1.1 Διατροφική αξία προνύμφης και ενήλικου *T. molitor* (Finke, 2002)

Αμινοξέα	Ποσότητα (k/kg dried)
Ισολευκίνη	24,7
Λευκίνη	52,2
Λυσίνη	26,8
Μεθειονίνη	6,3
Φαινυλαλανίνη	17,3
Θρεονίνη	20,2
Τρυπτοφάνη	3,9
Βαλίνη	28,9

Πίνακας 1.2 Σύσταση αμινοξέων του *T. molitor* (van Vuis *et al.*, 2013)

1.5 Συνθήκες ανάπτυξης του *Tenebrio molitor*

1.5.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα και επηρεάζει την ανάπτυξη και τον μεταβολισμό των εντόμων. Η συνήθης θερμοκρασία εκτροφής του *T. molitor* είναι 25–28°C (Kim *et al.* 2015; Koo *et al.* 2013; Spencer and Spencer 2006). Σύμφωνα με έρευνες η περιεκτικότητα του εντόμου σε λιπαρά οξέα και πρωτεΐνη είναι μεγαλύτερη όταν αναπτύσσεται σε θερμοκρασία περί των 32 °C, ενώ οι μεταβολικές διεργασίες επηρεάζονται θετικά σε θερμοκρασίες περί των 23°C (Bjerge *et al.*, 2018). Η ελάχιστη θανατηφόρος θερμοκρασία είναι 7°C ενώ η μέγιστη 44°C (Punzo and Mutchmor 1980), για το χρονικό διάστημα των 24 ωρών. Μελέτες έχουν δείξει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση της ανάπτυξης των εντόμων, ωστόσο η υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας

έχει τα αντίθετα αποτελέσματα. Γενικά, η θερμοκρασία επηρεάζει την ανάπτυξη, την ικανότητα αφομοίωσης και αξιοποίησης της ενέργειας, καθώς και την περιεκτικότητα των εντόμων σε λίπος και πρωτεΐνες (Murray, 1968; Hansen *et al.*, 2004; Bjørgea *et al.*, 2018).

1.5.2 Υγρασία

Η απουσία ή παρουσία υγρασίας στον περιβάλλοντα χώρο του εντόμου επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη του. Σύμφωνα με τον Fraenkel (1950) όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό υγρασίας στο περιβάλλον όπου εκτρέφονται οι προνύμφες τόσο περισσότερο ευνοείται η ανάπτυξη τους, ωστόσο όταν η υγρασία ξεπερνά το 70% - 85% η πιθανότητα εμφάνισης επιβλαβών οργανισμών αυξάνεται. Το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας για την ανάπτυξη των προνυμφών κυμαίνεται από 60 έως 75% (Punzo, 1975; Punzo and Mutchmor, 1980; Manojlovic, 1987).

Ως πηγή υγρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν κομμάτια λαχανικών, όπως πατάτα και καρότο, καθώς έχει βρεθεί ότι επιδρά θετικά στην ανάπτυξη των προνυμφών (Urs and Hopkins, 1973a). Αυτό συμβαίνει διότι τα έντομα στα οποία προστίθεται υγρασία είναι ικανά να αξιοποιήσουν καλύτερα την τροφή του και να αυξήσουν το σωματικό βάρος τους. Επιπλέον, με την προσθήκη υγρασίας μειώνονται τα φαινόμενα κανιβαλισμού μεταξύ των ατόμων (Urs and Hopkins, 1973a). Σε περιόδους έλλειψης υγρασίας οι προνύμφες γίνονται ανενεργές έως ότου οι συνθήκες γίνουν ξανά ευνοϊκές (Urs and Hopkins, 1973a, 1973b).

1.5.3 Βέλτιστη πυκνότητα πληθυσμού

Η πυκνότητα του πληθυσμού είναι καθοριστικός παράγοντας για τον αριθμό των προνυμφών και τη διάρκεια του σταδίου (Connat *et al.* 1991; Morales-Ramos *et al.*, 2012; Morales-Ramos and Rojas, 2015; Tschinkel and Willson, 1971; Weaver and McFarlane, 1990). Η βέλτιστη πυκνότητα είναι 8,4 ενηλίκων/dm² για μαζική εκτροφή (Connat *et al.*, 1991; Morales-Ramos *et al.*, 2012; Morales-Ramos and Rojas, 2015; Tschinkel and Willson, 1971; Weaver and McFarlane, 1990). Μελέτες σε Tenebrionidae φανέρωσαν συσχέτιση του συνωστισμού με τον κανιβαλισμό και την επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης (Tschinkel and Willson, 1971; Weaver and McFarlane, 1990). Ακόμα, ο συνωστισμός επηρεάζει την αναπαραγωγική διαδικασία μειώνοντας τους θηλυκούς απογόνους (Morales-Ramos *et al.* 2012) και αυξάνει την θερμοκρασία, γεγονός που μπορεί να έχει θανάσιμα αποτελέσματα. Τέλος, η εύρεση της βέλτιστης πυκνότητας των εκτρεφόμενων πληθυσμών εντόμων είναι απαραίτητη για την εξοικονόμηση χώρου και την παραγωγή της μέγιστης δυνατής ποσότητας βιομάζας (Morales-Ramos *et al.*, 2012, 2015).

1.5.4 Φωτοπερίοδος

Οι προνύμφες χαρακτηρίζονται ως αρνητικά φωτοτροπικές (Balfour and Carmichael 1928· Cloudsley-Thompson 1953), δηλαδή βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του υποστρώματος την ημέρα και βγαίνουν τη νύχτα. Αν και η φωτοπερίοδος επηρεάζει την ανάπτυξη σκουληκιών

(Tyshchenko and Ba 1986), η απόκριση στη φωτοπερίοδο τείνει να εξαφανίζεται υπό σταθερές συνθήκες, όταν το *T. molitor* γίνεται αρρυθμικό (Cloudsley-Thompson 1953). Η νύμφη επηρεάζεται άμεσα από τη φωτοπερίοδο, η οποία προκαλείται από ένα καθεστώς 12L:12D στους 25 °C και έχει ως αποτέλεσμα πιο παρατεταμένες καθυστερήσεις από μικρότερες ημέρες.

1.6 Απαραίτητα στοιχεία για την διατροφή του εντόμου

Ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η επιλογή της κατάλληλης διαίτας, που επιλέγεται με βάση το είδος του εντόμου, το στάδιο ανάπτυξης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες αναπτύσσεται το έντομο. Για την εξασφάλιση της βέλτιστης διαίτας είναι απαραίτητο να υπάρχουν όλα τα θρεπτικά στοιχεία στις κατάλληλες ποσότητες ώστε να επέρχεται η ισορροπία μεταξύ τους. Εάν δεν υπάρχει ισορροπία, τα έντομα αναγκάζονται να τραφούν περισσότερο για να λάβουν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία ή προσπαθούν να παράξουν από μόνα τους το θρεπτικό που λείπει, καταναλώνοντας περισσότερη ενέργεια (Chapman, 1998). Οι προνύμφες του *Tenebrio molitor* μπορούν να επιλέγουν τροφές ώστε να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες (Morales-Ramos *et al.* 2011; Rho and Lee 2014, 2016; Urrejola *et al.* 2011). Μπορούν να τραφεί μόνο με πίτουρο, το οποίο περιέχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά αλλά όχι σε βέλτιστες αναλογίες, γι αυτό καλό είναι να σχεδιάζονται δίαιτες (Morales-Ramos *et al.* 2010). Μια δίαιτα που αποτελείται από πίτουρο και μια πηγή νερού (π.χ. φρέσκα λαχανικά όπως καρότο, μήλο, πατάτα ή λάχανο) ή/και μια πηγή πρωτεΐνης (π.χ. μαγιά μύρας, καζεΐνη ή πρωτεΐνη σόγιας) είναι η πιο κοινή σύνθεση διατροφής σε βιομηχανίες εκτροφής.

1.6.1 Νερό

Το *T. molitor* μπορεί να λαμβάνει νερό τόσο από την τροφή όσο και από την ατμόσφαιρα (Fraenkel and Blewett 1944). Η προσθήκη μιας πηγής νερού αυξάνει το ποσοστό επιβίωσης και μειώνει το χρόνο ανάπτυξης των εντόμων (Oonincx *et al.* 2015). Σε συνθήκες έλλειψης νερού οι προνύμφες τρέφονται λιγότερο με αποτέλεσμα τη μείωση της σωματικής τους μάζας (Murray 1968).

1.6.2 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες είναι πολύ σημαντικές για την ανάπτυξη των εντόμων. Συγκεκριμένα, στο προνυμφικό στάδιο η υψηλή περιεκτικότητα πρωτεΐνης συμβάλλει στην αύξηση του μεγέθους τους, ενώ στο στάδιο του ενήλικου συμβάλλει στη μείωση του χρόνου ανάπτυξης και στον αυξημένο αναπαραγωγικό ρυθμό των θηλυκών (Han and Dingemanse, 2017). Σύμφωνα με έρευνες, τα έντομα που τρέφονται με δίαιτες με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος, ενώ έντομα που τρέφονται με δίαιτες πλούσιες σε λιπίδια έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην έλλειψη τροφής (Rho and Lee, 2014).

Οι πρωτεΐνες και τα αμινοξέα επηρεάζουν τον κύκλο ζωής του *T. molitor*, με άμεσα οφέλη για τον χρόνο ανάπτυξης των προνυμφών, την επιβίωση και την αύξηση βάρους. Η προσθήκη πρωτεΐνης στη δίαιτα αυξάνει το ρυθμό ανάπτυξης των προνυμφών (van Broekhoven *et al.* 2015; Oonincx *et al.*

2015), το ποσοστό επιβίωσης (van Broekhoven *et al.* 2015) και την αναπαραγωγική επιτυχία των θηλυκών (Morales-Ramos *et al.* 2013). Ως πηγές πρωτεΐνης έχουν χρησιμοποιηθεί η μαγιά (Fraenkel 1950; Martin and Hare 1942), η καζείνη (Davis and Leclercq 1969) και η λακταλβουμίνη (Davis and Leclercq 1969; Fraenkel 1950; Leclercq 1948).

1.6.3 Λιπίδια

Οι προνύμφες ευνοούνται από την προσθήκη μικρής ποσότητας λιπιδίων (Morales-Ramos *et al.* 2013). Η χοληστερόλη είναι ευεργετική σε ποσοστό μικρότερο του 1% (Fraenkel 1950), ενώ σε ποσοστό πάνω από 3% έχει επιζήμια αποτελέσματα (Martin and Hare 1942). Έχει βρεθεί ότι ένα ποσοστό λιπιδίων 20% καθιστά τις προνύμφες ευαίσθητες στους νηματώδεις (Shapiro-Ilan *et al.* 2008). Τέλος, η μεγάλη ποσότητα λιπιδίων μπορεί να δημιουργεί συσσωματώματα με το υπόστρωμα με αποτέλεσμα των ελλιπή αερισμό των εντόμων (Alves *et al.* 2016).

1.6.4 Υδατάνθρακες

Η υδατάνθρακες αποτελούν απαραίτητο συστατικό για την ανάπτυξη του *T. molitor*. Συγκεκριμένα, η αναλογία πρωτεΐνης/υδατάνθρακες επιδρά στον βιολογικό του κύκλο (Martin and Hare 1942; Rho and Lee 2016; Urrejola *et al.*, 2011). Σύμφωνα με επιστήμονες η διάρκεια ζωής και η αναπαραγωγική επιτυχία των εντόμων αυξήθηκαν με αναλογία πρωτεΐνης/υδατάνθρακες 1:1 (Rho and Lee, 2016). Ακόμα, η πλούσια σε υδατάνθρακες διατροφή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας λιπιδίων των εντόμων (Rho and Lee 2014).

1.6.5 Βιταμίνες

Τα μικροθρεπτικά στοιχεία όπως βιταμίνες, μέταλλα και στερόλες (λινελαϊκό οξύ, τρυπτοφάνη, αργινίνη, λυσίνη, ιστιδίνη, φαινυλαλανίνη, ισολευκίνη, θρεονίνη, λευκίνη, και βαλίνη) είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των εντόμων (Jensen *et al.*, 2017). Το *Tenebrio molitor* δεν παρουσιάζει ανάπτυξη απουσία βιταμινών του συμπλέγματος B (καρνιτίνη, θειαμίνη, ριβοφλαβίνη, νικοτινικό οξύ, πυριδοξίνη ή παντοθενικό οξύ). Αντίθετα, η προσθήκη βιταμινών A, C, D, E και K στη διατροφή δεν παρέχει ευεργετικά αποτελέσματα (Fraenkel, 1950; Martin and Hare, 1942).

1.7. Επιλογή θρεπτικού υποστρώματος

Ο όρος θρεπτικό υπόστρωμα χρησιμοποιείται για να περιγράψει την τροφή που χρησιμοποιείται για την εκτροφή εντόμων. Η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) έχει εγκρίνει επτά κατηγορίες υποστρωμάτων: υλικά ζωοτροφών, ληγμένα τρόφιμα που προορίζονταν για ανθρώπινη κατανάλωση, παραπροϊόντα από σφαγεία ζώων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, οικιακά απορρίμματα, κοπριά, άλλα οργανικά απόβλητα (EFSA, 2015).

Οι παραγωγοί εντόμων επιλέγουν υποστρώματα με βάση κριτήρια όπως η διατροφική σύνθεση, οι επιπτώσεις στα είδη των εντόμων, η αποτελεσματικότητα της τροφής, ο χρόνος για να φτάσει το

στάδιο της συγκομιδής και η σταθερή προσφορά. Η ποιότητα της βιομάζας των εντόμων καθορίζεται από παράγοντες όπως η συγκέντρωση πρωτεΐνης, το προφίλ αμινοξέων, το προφίλ λιπαρών οξέων, τα μικροθρεπτικά συστατικά και η περιεκτικότητα σε νερό (Pinotti and Ottoboni, 2021).

Καθοριστικός παράγοντας για την αποτελεσματική εκτροφή προνυμφών είναι η υγρασία. Μελέτη που διεξήχθη από τους Dzepe et al. (2020) στο είδος *Hermetia illucens* έδειξε ότι η αυξημένη υγρασία του υποστρώματος μειώνει τον χρόνο ανάπτυξης και την αναλογία μετατροπής της τροφής σε βιομάζα (Salomone et al., 2017; Lalander et al., 2020).

1.7.1 Αξία αξιοποίησης αγροτικών παραπροϊόντων ως θρεπτικό υπόστρωμα για έντομα

Η αύξηση του πληθυσμού συνεπάγεται αύξηση της παραγωγής αποβλήτων. Συγκεκριμένα, οι βιομηχανίες φρούτων, λαχανικών, ελαιόλαδου, ζύμωσης, γαλακτοκομικών και κρέατος (Kosseva, 2009) είναι υπεύθυνες για το 40% των οργανικών αποβλήτων (Kaza et al., 2018). Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση παρήχθησαν περίπου 18,4 δισεκατομμύρια τόνοι αποβλήτων στο χρονικό διάστημα 2010-2016 (Bedoic et al., 2019). Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των υλικών της βιομηχανίας τροφίμων συμβάλλει στη μείωση της σπατάλης τροφίμων (Ojha et al., 2020). Ένα από τα οφέλη των συστημάτων εκτροφής εντόμων είναι η ικανότητα βιομετατροπής των αγροτικών αποβλήτων, στηρίζοντας ένα κυκλικό σύστημα (Salomone et al., 2017). Συγκεκριμένα, τα έντομα έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν την τροφή σε σωματικό βάρος αποτελεσματικότερα από τα ζώα (Makkar et al., 2014). Έτσι, τα αγροτικά παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτροφή των βρώσιμων εντόμων (Jansson and Berggren, 2015; Van Huis, 2013). Παράδειγμα αποτελούν οι προνύμφες *Hermetia illucens* που χαρακτηρίζονται από ταχεία ανάπτυξης βιομάζας και υψηλή περιεκτικότητά σε πρωτεΐνες και λίπος (Czekala, 2017, Kierończyk et al., 2019). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται σύνθετες δίαιτες για την εκτροφή εντόμων σε εργαστηριακή και βιομηχανική κλίμακα (Hervet et al., 2016; Sahayraj et al., 2009; Hogsette et al., 1992). Τα έντομα που εκτρέφονται συνήθως είναι παμφάγα και έχουν την ικανότητα να αξιοποιούν πηγές τροφής χαμηλής διατροφικής αξίας προς όφελος τους (Van Huis, 2013). Τα έντομα στα οποία έχει μελετηθεί η αποτελεσματικότητα των τεχνητών διαίτων που βασίζονται σε αγροτικά παραπροϊόντα ή μείγματα τους είναι τα *Tenebrio molitor* L., *Hermetia illucens* και *Musca domestica* (van Broekhoven et al., 2015; Makkar, 2014; Morales-Ramos et al., 2014; Morales-Ramos et al., 2013; Zhang et al., 2019; Aguilar-Miranda et al., 2002; Barry et al., 2004; Miech et al., 2016). Είδη όπως τα *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens* και *Alphitobius diaperinus* έχουν τραβήξει το ενδιαφέρον των επιστημόνων, καθώς και τα δύο είδη να έχουν εγκριθεί ως συστατικά ζωοτροφών στην ΕΕ (EU Commission, 2020). Το *T. molitor* ήταν το πρώτο είδος εντόμου που εγκρίθηκε για ανθρώπινη κατανάλωση στην ΕΕ (EU Commission, 2017).



*Tenebrio molitor*¹

*Hermetia illucens*²

*Musca domestica*³

*Alphitobius diaperinus*⁴

Εικόνα 1.2 Εκτρεφόμενα έντομα

¹ <https://bugguide.net/node/view/482094>

² <https://bugguide.net/node/view/2268765>

³ <https://bugguide.net/node/view/2345475>

⁴ <https://bugguide.net/node/view/887206>

1.7.2 Παραπροϊόντα που έχουν χρησιμοποιηθεί

Στην σημερινή εποχή, λόγω της γεωργίας παράγεται ένας τεράστιος όγκος αγροτικών παραπροϊόντων, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν από έντομα και ζώα ως τρόπος μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα έντομα έχουν την ικανότητα να αξιοποιούν τα αγροτικά παραπροϊόντα για παραγωγή βιομάζας πλούσιας σε πρωτεΐνες και λιπίδια (Cappellozza *et al.*, 2019; Kuttiyatveetil *et al.*, 2019; Lohri *et al.*, 2017). Ο FAO υποστηρίζει την πρωτεΐνη εντόμων ως εναλλακτική στις συμβατικές πηγές πρωτεΐνης, καθώς αποτελεί μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον πρακτική (van Huis *et al.*, 2013). Η χρήση αγροτικών παραπροϊόντων ως τροφή για έντομα αποτελεί μια καινοτόμο τακτική (Jansson *et al.*, 2015; Van Huis *et al.*, 2013). Έχουν προταθεί διάφορες δίαιτες με βάση τα αγροτικά παραπροϊόντα που μπορούν να καλύψουν τις διατροφικές ανάγκες των εκτρεφόμενων εντόμων (van Broekhoven *et al.*, 2015; Makkar *et al.*, 2014; Miech *et al.*, 2016). Στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας, είναι δυνατή η χρήση των εντόμων για βιομετατροπή και ανάκτηση των θρεπτικών συστατικών από παραπροϊόντα. Η βασική διατροφή του συγκεκριμένου εντόμου είναι τα αποθηκευμένα δημητριακά (Kurek *et al.*, 2022), αλλά μπορεί να τραφεί με πληθώρα παραπροϊόντων. Για την διατροφή του έχουν χρησιμοποιηθεί παραπροϊόντα αρτοποιίας, όπως ψωμί ή μπισκότα, παραπροϊόντα ζυθοποιίας, φλούδες πατάτας, τεύτλα (Oonincx and De Boer, 2012; Smetana *et al.*, 2021), σπόροι οινοπνευματώδων ποτών, αλεύρι σόγιας, καλαμπόκι, μανιτάρια (Van Huis *et al.*, 2021; Frasnetti *et al.*, 2023), παραπροϊόντα δημητριακών (τритικάλε, κριθάρι, σκληρό σιτάρι και βρώμη) και οσπρίων (βίκος, μπιζέλι, λούπινο, φακή, μηδική και φασόλια) (Bermúdez-Serrano, 2020) και βιομηχανικά παραπροϊόντα, όπως πίτουρα σίτου και σίκαλης, άλευρο και κέικ

ελαιοκράμβης, κέικ λιναριού και κέικ *Silybum marianum* (Gasco *et al.*, 2020; Niyonsaba *et al.*, 2021). Επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί γλυκά κάστανα, γλυκοπατάτες, φρούτα και λαχανικά, όπως ο πυρήνας ελιάς, παραπροϊόντα σταφυλιού, αγγουριού και τομάτας. Έτσι, οι προνύμφες του εντόμου συμβάλλουν στην βιομετατροπή των θρεπτικών συστατικών από τα παραπροϊόντα και καθίστανται πηγή θρεπτικών ουσιών για ζώα και ανθρώπους (Biasato *et al.*, 2018; Chemello *et al.*, 2020). Στις προνύμφες του εντόμου *Tenebrio molitor* έχουν γίνει πολλές μελέτες όπου αξιολογήθηκε η ανάπτυξη τους σε δίαιτες με αγροτικά παραπροϊόντα με διαφορετικό ποσοστό πρωτεϊνών και λιπιδίων σε κάθε μία από αυτές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τα μεγαλύτερα ποσοστά επιβίωσης και τη γρηγορότερη ανάπτυξη εμφάνισαν οι δίαιτες που είχαν υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης (Harsányi *et al.*, 2020, Mancini *et al.*, 2019, Oonincx *et al.*, 2015, Ruschioni *et al.*, 2020). Ωστόσο, σε άλλο πείραμα όπου αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των προνυμφών *T. molitor* σε ισοπρωτεϊνικές δίαιτες τα αποτελέσματα ήταν διαφορετικά. Συγκεκριμένα, οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη των προνυμφών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και όχι μόνο από το ποσοστό πρωτεΐνης της δίαιτας, καθώς σε δίαιτες με το ίδιο ποσοστό πρωτεΐνης καταγράφηκαν διαφορές όσο αφορά την ανάπτυξη των προνυμφών. Επίσης, προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε δίαιτες με χαμηλότερα ποσοστά πρωτεΐνης εμφάνισαν καλύτερα αποτελέσματα από άλλες με υψηλότερα ποσοστά (Rumbos *et al.*, 2021).

Ακόμα, οι προνύμφες *A. diaperinus* μπορούν να αναπτυχθούν σε δίαιτες με βάση αγροτικά παραπροϊόντα, όπως δημητριακά, παραπροϊόντα ζυθοποιίας (μαγιά) και αρτοποιίας, φλούδες πατάτας και αποξηραμένα καλαμπόκια (Van Broekhoven *et al.*, 2015).

Επίσης, η μύγα *Hermetia illucens* είναι πολύ διαδεδομένη στην βιομηχανική εκτροφή, καθώς έχει σύντομο κύκλο ζωής και μπορεί να αξιοποιήσει και να ανακτήσει τα θρεπτικά συστατικά από πολλά οργανικά απόβλητα. Σύμφωνα με έρευνες οι προνύμφες του εντόμου είναι ικανές να μειώσουν κατά 50-60% τα οργανικά απόβλητα, μετατρέποντας τα σε βιομάζα (Shepard *et al.*, 1994). Το θρεπτικό προφίλ τους είναι συγκρίσιμο με τους ελαιούχους σπόρους (κάνναβης, λιναρόσπορου και ελαιοκράμβης) με έως και 28% πρωτεΐνη και 40% λιπαρά οξέα (Matthäus *et al.*, 2019). Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι οι προνύμφες του εντόμου μπορούν να αναπτυχθούν σε ζωική κοπριά (Liu *et al.*, 2018; Miranda *et al.*, 2019, Zhou *et al.*, 2013), αστικά οργανικά απόβλητα (Diener *et al.*, 2011; Kalová and Borkovcová, 2013; Shumo *et al.*, 2019), απόβλητα τροφίμων (Kawasaki *et al.*, 2019; Salomone *et al.*, 2017), υπολείμματα ζυθοποιίας (Meneguz *et al.*, 2018), φλούδες αμυγδάλων (Palma *et al.*, 2018) και μανιτάρια (Cai *et al.*, 2019). Η σύνθεση των συστατικών του σώματος των προνυμφών ποικίλλει ανάλογα με το είδος του υποστρώματος (Bruno *et al.*, 2019; Spranghers *et al.*, 2017; Vogel *et al.*, 2018). Ωστόσο, τα απορρίμματα τροφίμων, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό επέρχονται γρήγορα σε κατάσταση σήψης καθιστώντας τα επικίνδυνα για ανάπτυξη παθογόνων και τοξινών. Σύμφωνα με το κανονισμό 1069/2009), άρθρο 3 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ζωικά

απόβλητα, απαγορεύεται η χρήση κοπριάς, αποβλήτων εστίασης που περιέχουν ζωικά υποπροϊόντα, επεξεργασμένες ζωικές πρωτεΐνες (εκτός από ιχθυάλευρα) κατά την εκτροφή εντόμων που προορίζονται για ζωοτροφές (ΕΚ, 2009). Γι αυτό το λόγο η προσοχή έχει στραφεί στα παραπροϊόντα φρούτων και λαχανικών, τα οποία παράγονται σε μεγάλες ποσότητες. Είναι γεγονός ότι έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και ενέργεια αλλά πληρούν τις προϋποθέσεις για τα έντομα που προορίζονται για παραγωγή τροφίμων και ζωοτροφών (Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, 2017, Επιστημονική Επιτροπή EFSA, 2015). Τα φυτικά παραπροϊόντα έχουν δοκιμαστεί επίσης στις προνύμφες των εντόμων *Tenebrio molitor* και *Musca domestica* (Fowles and Nansen, 2020).

1.8 Σκοπός

Πολλά από τα είδη εντόμων που χρησιμοποιούνται ως συστατικά ζωοτροφών ή για ανθρώπινη κατανάλωση είναι ικανά να αναπτύσσονται σε οργανικά απόβλητα, αξιοποιώντας τα θρεπτικά τους στοιχεία και μετατρέποντας τα σε πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας. Στη χώρα μας παράγεται μεγάλη ποσότητα αγροτικών παραπροϊόντων, με έχουν μικρή οικονομική αξία, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για τις προνύμφες του εντόμου *Tenebrio molitor* , είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με άλλα για την σύσταση μιας δίαιτας, συμβάλλοντας στη μείωση του κόστους εκτροφής και της σπατάλης τροφίμων. Η αξιοποίηση των αγροτικών παραπροϊόντων αποτελεί μια πιο βιώσιμη λύση και συμβάλλει στην κυκλική οικονομία. Για αυτόν τον λόγο στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκε η αξιολόγηση της καταλληλότητας των εξής: παραπροϊόν τριττικάλε, παραπροϊόν βρώμης, παραπροϊόν κριθαριού, βαμβακόπιτα, παραπροϊόν λούπινου, πίτουρο ρυζιού και παραπροϊόν κάνναβης, ως συστατικά ισοπρωτεϊνικών διαίτων με ποσοστά πρωτεΐνης 17, 20, 23 και 25 % για την ανάπτυξη των προνυμφών του *Tenebrio molitor*, σε εργαστηριακή κλίμακα.

2. Υλικά- Μέθοδοι

2.1 Συνθήκες εκτροφής *Tenebrio molitor*

Η εκτροφή των εντόμων γίνεται σε εξειδικευμένα πλαστικά κουτιά διαστάσεων 60 x 40 x 14.5 cm (Insect Box, Beekenkamp Group Postbus 1 2676 ZG Maasdiijk, The Netherlands) στη μονάδα πιλοτικής κλίμακας παραγωγής εντόμων του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, διατηρώντας ελεγχόμενες, σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες θερμοκρασίας $27 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $55 \pm 5\%$ και συνεχές σκοτάδι (Εικόνα 2.1). Το κύριο υπόστρωμα για την εκτροφή των προνυμφών είναι το πίτουρο σιταριού και ως πηγή υγρασίας παρέχεται άγαρ (20 g/L) τρεις φορές την εβδομάδα, σε ενήλικα και προνύμφες.

Η διαδικασία παραγωγής των προνυμφών, για τη διατήρηση των εκτροφών, ξεκινάει με την προετοιμασία του υποστρώματος ωοτοκίας (αλεύρι σίτου) όπου θα τοποθετηθούν 250 g ενήλικων ατόμων του *T. molitor* και θα αφεθούν να αναπαραχθούν. Αρχικά προστίθενται 2 kg πίτουρο ανά πλαστικό κουτί. Στη συνέχεια τοποθετείται μια σίτα επάνω στο υπόστρωμα ώστε να διαχωρίζει τα

ενήλικα άτομα από το υπόστρωμα όπου θα εναποθέσουν τα αυγά τους. Επιπλέον, περίπου 100 g τροφής τοποθετείται στο επάνω μέρος της σίτας για την σίτιση των ενηλίκων ενώ ως πηγή υγρασίας χρησιμοποιούνται κομμάτια άγαρ (20 g άγαρ/λίτρο H₂O). Οι προνύμφες που απαιτούνται για πειραματικούς σκοπούς συλλέχθηκαν ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία, με εξαίρεση τη χρήση αλευριού ως υπόστρωμα ωοτοκίας. Οι προνύμφες που επιλέχθηκαν για το πείραμα ήταν ηλικίας 10 ημερών και κοσκινίστηκαν μέσω ενός πλέγματος 850μm, που συγκρατήθηκαν από ένα κόσκινο 500μm, υποδεικνύοντας ότι βρίσκονταν μεταξύ του 4ου και του 6ου προνυμφικού σταδίου με βάση το μέγεθος της κάψουλας της κεφαλής τους (Morales-Ramos *et al.*, 2015).



Εικόνα 2.1. Πιλοτική μονάδα εκτροφής εντόμων Π. Θ. Τελάρο με ενήλικα άτομα *T. molitor*

2.2 Παραπροϊόντα

Τα παραπροϊόντα, στα οποία αξιολογήθηκε η ανάπτυξη και η επιβίωση των προνυμφών προέρχονται από την παραγωγή ρυζιού, βρώμης, κριθαριού, κάνναβης και λούπινου και φυλάσσονται στην τράπεζα παραπροϊόντων στο Εργαστήριο Εντομολογίας & Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Συγκεκριμένα τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: παραπροϊόν τριτικάλε, παραπροϊόν βρώμης, παραπροϊόν κριθαριού, βαμβακόπιτα, παραπροϊόν λούπινου, πίτουρο ρυζιού και παραπροϊόν κάνναβης. Όλα τα παραπροϊόντα, εκτός από το πίτουρο ρυζιού, αλέστηκαν με Thermomix TM31-96 1C, (Vorwerk Elektrowerke GmbH & Co. K, Wuppertal, Germany) (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2. Άλεση παραπροϊόντων σε Thermomix TM31-96 1C

2.3 Πειραματικός σχεδιασμός

2.3.1 Παρασκευή διαίτων

Πραγματοποιήθηκε ανάμειξη των παραπάνω παραπροϊόντων, σε διάφορες αναλογίες, ώστε να συντεθούν 4 ομάδες ισοπρωτεϊνικών διαίτων, όπως φαίνεται στους Πίνακες 1 έως 4. Η σύνθεση και το ποσοστό πρωτεΐνης των διαίτων, υπολογίστηκε με βάση τη σύσταση των συστατικών του κάθε παραπροϊόντος. Το επίπεδο πρωτεΐνης στην πρώτη ομάδα διαίτων (Α) ήταν στο 17% και ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε το πίτουρο σιταριού, στη δεύτερη ομάδα διαίτων (Β) το επίπεδο πρωτεΐνης ήταν στο 20% και ο μάρτυρας ήταν πίτουρο σιταριού με μαγιά σε αναλογία 95.5g:4.5g, στην τρίτη ομάδα (C) το επίπεδο πρωτεΐνης ήταν στο 23% και ο μάρτυρας ήταν πίτουρο σιταριού με μαγιά σε αναλογία 86.5g:13.5g και στην τέταρτη ομάδα (D) το επίπεδο πρωτεΐνης ήταν στο 25% και ο μάρτυρας ήταν πίτουρο σιταριού με μαγιά σε αναλογία 72g:28g.

GROUP A	Control A	TM1A	TM2A	TM3A	TM4A	D1A	D2A	D3A	D4A
Ξηρή μαγιά									
Πίτουρο σιταριού	100g								
Παραπροϊόν τριτικάλε			70.51g	64.14g					
Παραπροϊόν βρώμης		87.75g				52g		33,5g	
Παραπροϊόν κριθαριού					59.61g		35g	34g	23g
Βαμβακόπιτα				28.81g		14g	25g	32,5g	
Πίτουρο ρυζιού						34g	40g		77g
Παραπροϊόν λούπινου		12.25g	19.67g		36.32g				
Παραπροϊόν κάνναβης			98.29g	7.05g	4.07g				

Πίνακας 1: Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 17% (Α)

GROUP B	Control B	TM1B	TM2B	TM3B	TM4B
Ξηρή μαγιά	13,5g				
Πίτουρο σιταριού	86,5g				
Παραπροϊόν τριτοκάλε		24.63g	48.25g		59.67g
Παραπροϊόν κριθαριού		43.68g		50.06g	
Βαμβακόπιτα			51.75g	32.54g	
Παραπροϊόν λούπινου		31.69g		17.4g	35.3g
Παραπροϊόν κάνναβης					5.031g

Πίνακας 2: Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 20% (B)

GROUP C	Control C	TM1C	TM2C	TM3C
Ξηρή μαγιά	22g			
Πίτουρο σιταριού	78g			
Παραπροϊόν τριτοκάλε		47.558g		40.885g
Παραπροϊόν κριθαριού			45.368g	
Βαμβακόπιτα				30.218g
Παραπροϊόν λούπινου		49.524g	53.427g	28.218g
Παραπροϊόν κάνναβης		2.917g	1.205g	

Πίνακας 3: Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 23% (C)

GROUP D	Control D	TM1 D	TM3 D
Ξηρή μαγιά	28g		
Πίτουρο σιταριού	72g		
Παραπροϊόν τριτικάλε		39.49g	36.04g
Βαμβακόπιτα			15.62g
Παραπροϊόν λούπινου		59.01g	48.34g
Παραπροϊόν κάνναβης		1.51g	

Πίνακας 4: Ομάδα με ποσοστό πρωτεΐνης 25% (D)

2.3.2 Ανάπτυξη των προνυμφών του *T.molitor* στις 4 ισοπρωτεϊνικές ομάδες διαίτων

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια (7,5 εκ. διάμετρο και 8,8 εκ. ύψος) στα οποία αρχικά προστέθηκαν 10 g από την κάθε δίαιτα και 50 προνύμφες 10 ημερών (Εικόνα 2.3). Πριν την έναρξη της βιοδοκιμής οι προνύμφες είχαν ζυγιστεί σε ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA). Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν έλεγχος των αποθεμάτων τροφής. Σε περίπτωση που η τροφή είχε καταναλωθεί πλήρως, πραγματοποιούνταν προσθήκη επιπλέον ποσότητας η οποία καταγράφονταν. Πηγή υγρασίας των προνυμφών αποτέλεσε άγαρ σε κύβους τρεις φορές την εβδομάδα. Κάθε δύο εβδομάδες οι προνύμφες διαχωρίζονταν από το θρεπτικό υπόστρωμα και καταγράφονταν ο αριθμός των ζωντανών προνυμφών 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 πραγματοποιήθηκαν 6 επαναλήψεις.



Εικόνα 2.3. Διαχωρισμός προνυμφών 10 ημερών για την βιοδοκιμή

2.3.3 Δείκτες αξιοποίησης τροφής

Από τα αποτελέσματα του πειράματος υπολογίσθηκαν: ο συντελεστής FCR (Feed Conversion Ratio) (a), ο συντελεστής ECI (Efficiency of Conversion of Ingested food) (%) (b) και ο συντελεστής SGR (Specific Growth Rate) (c) (% day⁻¹) σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους. 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). Ο τρόπος υπολογισμού των δεικτών φαίνεται παρακάτω. 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.

$$FCR = \frac{\text{Συνολική τροφή που προστέθηκε (g)}}{\text{Βάρος που κερδίστηκε (g)}} \text{ (a)}$$

$$ECI = \frac{\text{Βάρος που κερδίστηκε (g)}}{\text{Βάρος τροφής που καταναλώθηκε (g)}} * 100 \text{ (b)}$$

$$SGR = \frac{\text{Τελικό βάρος σώματος} - \text{Αρχικό βάρος σώματος (g)}}{\text{Αριθμός ημερών ως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης}} \text{ (c)}$$

2.4 Προσδιορισμός των συστατικών του σώματος

Το συγκεκριμένο μέρος του πειράματος έλαβε χώρα στο εργαστήριο Ιχθυοκαλλιεργειών του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για τις ανάγκες του πειράματος τα δείγματα των προνυμφών τα οποία είχαν αποθηκευτεί στην κατάψυξη τοποθετήθηκαν σε συσκευή μέτρησης υγρασίας, όπου αποξηράθηκαν (Adams Equipment PMB 53, New York, USA) και κατόπιν αλέστηκαν με μηχανή άλεσης κόκκων (Coffee grinder, BSH Home Appliances Ltd, Berlin, Germany) (Εικόνα 2.4 και 2.5). Μέσω της διαδικασίας της αποξήρανσης πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της ξηράς ουσίας των δειγμάτων.



Εικόνα 2.4. Αποξήρανση προνυμφών



Εικόνα 2.5 Άλεση προνυμφών

2.5.1 Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων βάσεων

Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών των προνυμφών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC 1995). Αρχικά, ζυγίστηκαν 0.2 g δείγματος σε ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA) και έπειτα μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Στους σωλήνες προστέθηκαν 2 ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs των 5 g [Kjeldahl Catalyst (Cu) (9% in $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) tablets, PanReac Química SLU, Barcelona, Spain] (Εικόνα 2.6), με σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας βρασμού καθώς και την αύξηση της ταχύτητας και αποτελεσματικότητας της πέψης. Η διαδικασία της πέψης συμβάλλει στην διάσπαση των δεσμών αζώτου του δείγματος και στην μετατροπή των δεσμών αυτών σε ιόντα αμμωνίου (NH_4^+). Έπειτα προστέθηκαν 15 ml πυκνού θειικού οξέως (H_2SO_4) και οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν στην συσκευή πέψης (Digestion apparatus InKjel P, Behr, Germany) (Εικόνα 2.7). Η διαδικασία διήρκησε 85 λεπτά σε θερμοκρασία 150 °C. Μετά το πέρας της διαδικασίας πέψης, τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε συσκευή απόσταξης απόσταξης (Steam Distillation Apparatus S4, Behr, Germany) (Εικόνα 2.8) και προστέθηκαν 100 ml απεσταγμένου νερού, 80 ml υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) και 50 ml βορικού οξέος (H_3BO_3). Η διάρκεια αυτής της διαδικασίας ήταν 6 λεπτά. Λόγω βλάβης της συσκευής, τα μισά δείγματα τοποθετήθηκαν σε άλλη συσκευή απόσταξης (Gerhardt 200 kjeldahl distillation apparatus vapodest system) (Εικόνα 2.9).

Τελικά, πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1N) υπό συνθήκες συνεχούς κίνησης. Το διάλυμα μεταχρωματίζεται καθώς στο εσωτερικό του είχαν προστεθεί 4 σταγόνες ερυθρού του μεθυλενίου (δείκτης pH) (Εικόνα 2.10). Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου τα οποία απαιτούνται για την αντίδραση θεωρούμε ότι είναι ίση με τη συγκέντρωση του αζώτου που περιέχεται στο δείγμα. Η αλλαγή του χρώματος του δείκτη, από κίτρινο σε έντονο ροζ, σηματοδοτεί το τέλος της αντίδρασης.

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο (N 2 %) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\text{N\%} = [(\text{ml HCl} - \text{ml μάρτυρα}) \times 0,8754] / \text{βάρος δείγματος}$$



Εικόνα 2.6 Ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs μέσα στους δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης



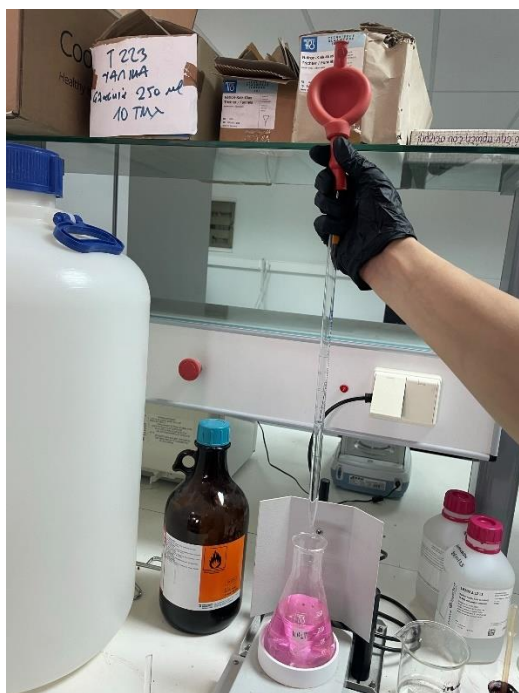
Εικόνα 2.7 Συσκευή πέψης (digestion apparatus InKjel P της Behr)



Εικόνα 2.8 Συσκευή απόσταξης (Steam Distillation Apparatus S4, Behr, Germany).



Εικόνα 2.9 Συσκευή απόσταξης Gerhardt 200 kjeldahl (distillation apparatus vapodest system)



Εικόνα 2.10 Τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1N) σε συνθήκες διαρκούς κίνησης.

2.5.2 Προσδιορισμός ολικών λιπιδίων

Για τον προσδιορισμό των ολικών λιπαρών ουσιών προστέθηκαν σε γυάλινα δοχεία εκχύλισης 2 πέτρες βρασμού και καταγράφηκε το βάρος τους. Στα ίδια γυάλινα δοχεία προστέθηκαν χάρτινοι

ηθμοί, εντός των οποίων προστέθηκε 1g του κάθε δείγματος. Στο γυάλινο δοχείο προστέθηκαν 150 mL πετρελαϊκού αιθέρα, όπου έγινε εμβάπτιση των χάρτινων ηθμών που περιείχαν την ποσότητα του δείγματος. Τα γυάλινα δοχεία με τους χάρτινους ηθμούς μεταφέρθηκαν στην συσκευή εκχύλισης λιπαρών ουσιών (Soxhlet). Αρχικά, τα δείγματα θερμάνθηκαν στους 150 °C υπό την παρουσία του οργανικού διαλύτη, στη συνέχεια ο οργανικός διαλύτης απορροφήθηκε σε διάστημα 90 λεπτών, με αποτέλεσμα την παραμονή μόνο των ολικών λιπιδίων των δειγμάτων στο γυάλινο δοχείο (Εικόνα 2.11). Για την πλήρη εξάτμιση των υπολειμμάτων πετρελαϊκού αιθέρα, τα δοχεία μεταφέρθηκαν χωρίς τους χάρτινους ηθμούς στον φούρνο στους 105 °C για χρονικό διάστημα 15 λεπτών και στη συνέχεια καταγράφηκε το βάρος τους.



Εικόνα 2.11 Συσκευή εκχύλισης - Soxtherm Multistat/SX PC
(Sox-416 Macro, Gerhard, Germany)

2.5.3 Προσδιορισμός τέφρας

Όσον αφορά τον προσδιορισμό των ολικών ανόργανων ουσιών έγινε με ξηρή αποτέφρωση των δειγμάτων σε φούρνο (Εικόνα 2.12) (Nabertherm L9/12/ C6, Lilienthal, Germany) στους 600 °C για χρονικό διάστημα 5 ωρών.



Εικόνα 2.12 Προετοιμασία δειγμάτων για αποτέφρωση σε φούρνο στους 600 °C

2.6 Στατιστική ανάλυση

Σε όλα τα πρωτόκολλα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης IBM SPSS. Για τις ενότητες 3.1, 3.2, 3.3 και 3.4 οι μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών (mg), του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών (%), ο χρόνος ανάπτυξης σε ημέρες, οι συντελεστές FCR, ECI και SGR και τα συστατικά του σώματος των προνυμφών αναλύθηκαν με Ανάλυση της Διασποράς (one-way ANOVA) και με γνώμονα το χρονικό διάστημα (μέρες) οι διαφορές τους συγκρίθηκαν με το Tukey-Kramer HSD test σε 0.05.

3.Αποτελέσματα

3.1 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 17% πρωτεΐνη

Τα αποτελέσματα σχετικά με το τελικό βάρος των προνυμφών στα διαφορετικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 17% εμφανίζονται στον Πίνακα 1 και στο Γράφημα 1. Σύμφωνα με αυτά παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, για τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM2A καταγράφηκε στατιστικά σημαντικά υψηλότερο ατομικό βάρος με τιμή 108.94 mg, ενώ σε αυτές που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM1A το χαμηλότερο βάρος με τιμή 80.19 mg. Η δίαιτα TM2A περιείχε 70.50 g παραπροϊόν τριτικάλε, 19.66 g παραπροϊόν λούπινου και 9.83 g παραπροϊόν κάνναβης, ενώ η δίαιτα TM1A περιείχε 87.75 g και 12.25 g παραπροϊόντα βρώμης και λούπινου αντίστοιχα. Στον Πίνακα 2 και στο Γράφημα 2 συνοψίζονται τα αποτελέσματα σχετικά με το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών και παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα, οι προνύμφες του Μάρτυρα εμφάνισαν το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης, 95%, ενώ το αμέσως επόμενο καλύτερο ποσοστό επιβίωσης είχαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM4A με τιμή 78.33 % που περιείχε παραπροϊόντα κριθαριού, λούπινου και κάνναβης σε αναλογίες 59.61g, 36.32 και 4.07g αντίστοιχα. Οι μεταχειρίσεις D3A, TM2A και TM3A είχαν τα χαμηλότερα ποσοστά επιβίωσης με τιμές 69.67%, 67% και 64.67% αντίστοιχα. Η δίαιτα TM3A περιείχε 64.14 g, 28.81 g και 7.05 g παραπροϊόν τριτικάλε, βαμβακόπιτας και παραπροϊόν κάνναβης αντίστοιχα, ενώ η δίαιτα D3A περιείχε 32.5 g, 33.5 g και 34 g βαμβακόπιτα, παραπροϊόν βρώμης και κριθαριού αντίστοιχα. Στον Πίνακα 3 και στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζονται οι χρόνοι ανάπτυξης των προνυμφών σε ημέρες. Υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, καθώς στον Μάρτυρα η πρώτη νύμφη εμφανίστηκε στις 49.83 ημέρες, ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις με εξαίρεση τις TM3A και TM4A, όπου η πρώτη νύμφη εμφανίστηκε στις 58 και 57 ημέρες αντίστοιχα, οι μέσοι όροι κυμάνθηκαν από 60 έως 63.83 ημέρες.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι συντελεστές FCR, ECI και SGR. Στον συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής FCR, οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM1A εμφάνισαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη τιμή, 4.54, ενώ οι προνύμφες του Μάρτυρα εμφάνισαν την χαμηλότερη, 3.07. Στον συντελεστή ECI την υψηλότερη τιμή είχε ο Μάρτυρας με τιμή 32.83, έχοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές με τις μεταχειρίσεις TM1A και TM3A που εμφάνισαν τιμές 22.64 και 24.57 αντίστοιχα. Στον συντελεστή SGR τα καλύτερα αποτελέσματα εμφάνισε ο Μάρτυρας, έχοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές από όλες τις μεταχειρίσεις. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα Διαγράμματα 4, 5 και 6.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι μετρήσεις σχετικά με την περιεκτικότητα των προνυμφών σε πρωτεΐνες (%), λιπαρά οξέα (%), τέφρα (%) και ξηρά ουσία (%). Μεταξύ των μεταχειρίσεων καταγράφηκαν διαφορές στην περιεκτικότητα πρωτεϊνών. Οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη

δίαιτα D3A περιείχαν την μεγαλύτερη περιεκτικότητα πρωτεϊνών με ποσοστό 56.77 %, ενώ οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM1A το χαμηλότερο. Όσο αφορά την περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα, στις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες D3A και D4A καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες τιμές με ποσοστά 37.64% και 37.29% αντίστοιχα, ενώ το μικρότερο ποσοστό εμφάνισαν οι προνύμφες του Μάρτυρα. Για την περιεκτικότητα σε τέφρα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Τέλος, για την περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM3A εμφάνισαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερο ποσοστό ξηράς ουσίας με τιμή 37.07%, ενώ τα μικρότερα ποσοστά εμφάνισαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες D1A και TM1A με τιμές 32.50% και 32.39% αντίστοιχα. Η δίαιτα D1A περιείχε 34g, 14g και 52g πίτουρο ρυζιού, βαμβακόπιτα και παραπροϊόν βρώμης αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται επίσης στα Γραφήματα 7, 8, 9 και 10.

Μεταχείριση	Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg)
A CONTROL	97.74 ± 9.07 ab
D1A	100.88 ± 16.59 ab
D2A	95.33 ± 11.98 ab
D3A	99.22 ± 15.51 ab
D4A	91.20 ± 8.79 ab
TM1A	80.19 ± 10.85 b
TM2A	108.94 ± 20.91 a
TM3A	100.05 ± 15.09 ab
TM4A	82.43 ± 10.78 ab

Πίνακας 1 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχείριση	Επιβίωση προνυμφών (%)
A CONTROL	95.00 ± 8.70 a
D1A	77.00 ± 11.36 ab
D2A	76.67 ± 7.80 ab
D3A	69.67 ± 15.42 b
D4A	77.33 ± 6.60 ab
TM1A	71.67 ± 9.27 ab
TM2A	67.00 ± 16.84 b
TM3A	64.67 ± 14.68 b
TM4A	78.33 ± 9.76 ab

Πίνακας 2 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (ημέρες)
A CONTROL	49.83 ± 2.27 a
D1A	61.00 ± 6.00 b
D2A	60.00 ± 5.16 b
D3A	61.17 ± 5.24 b
D4A	63.50 ± 4.50 b
TM1A	63.83 ± 4.60 b
TM2A	61.17 ± 5.58 b
TM3A	58.17 ± 4.37 ab
TM4A	57.00 ± 2.94 ab

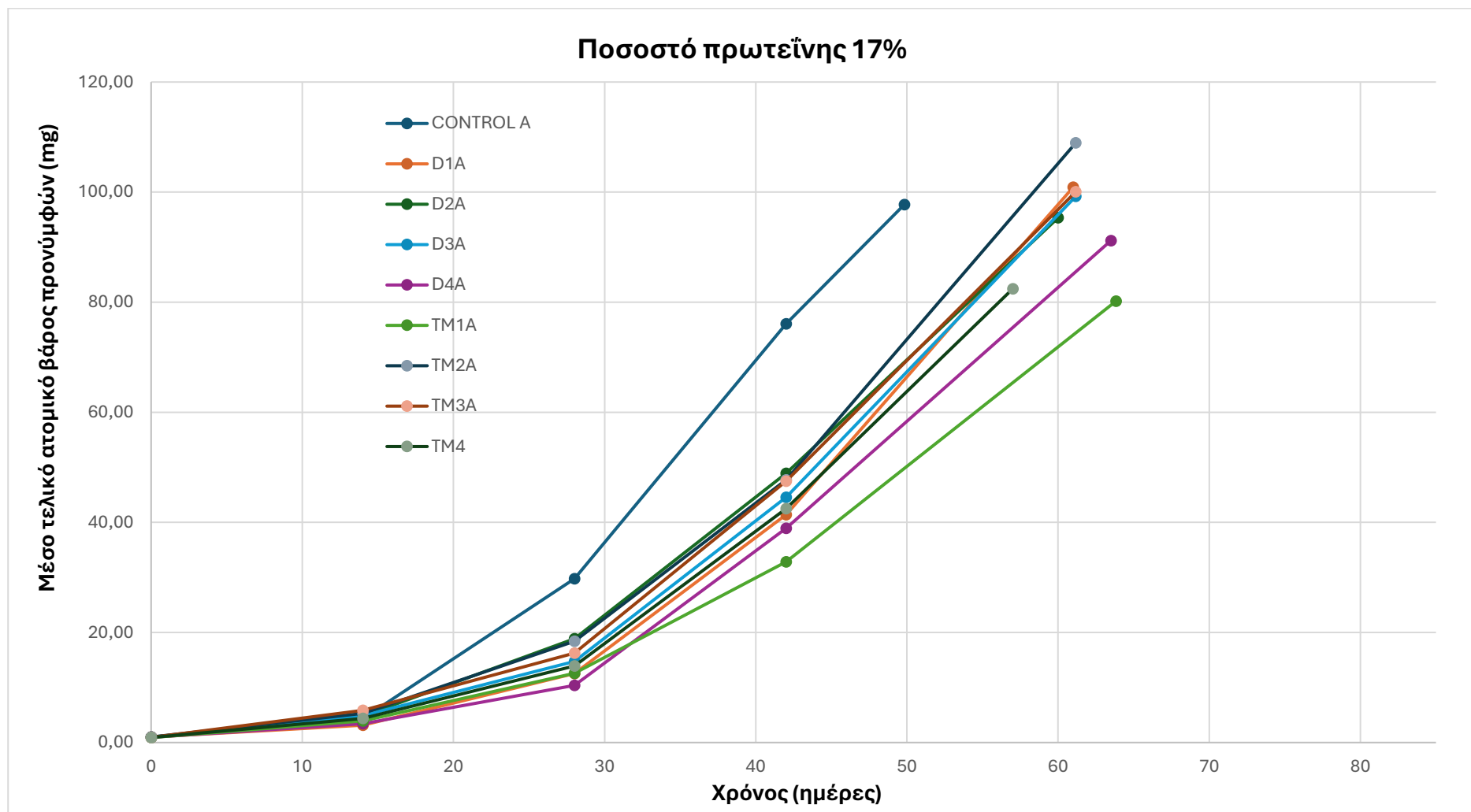
Πίνακας 3.3 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test ($P < 0,05$). Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχείριση	FCR	ECI	SGR
A CONTROL	3.07 ± 0.31 a	32.83 ± 3.39 a	9.19 ± 0.28 a
D1A	3.41 ± 0.54 ab	29.90 ± 4.20 ab	7.64 ± 1.04 b
D2A	3.57 ± 0.29 ab	28.15 ± 2.25 ab	7.71 ± 0.68 b
D3A	4.14 ± 0.79 ab	24.86 ± 4.53 ab	7.63 ± 0.52 b
D4A	3.58 ± 0.29 ab	28.06 ± 2.33 ab	7.22 ± 0.49 b
TM1A	4.54 ± 0.91 b	22.64 ± 3.68 b	7.06 ± 0.73 b
TM2A	3.78 ± 0.88 ab	27.95 ± 7.93 ab	7.71 ± 0.42 b
TM3A	4.16 ± 0.65 ab	24.57 ± 4.01 b	8.07 ± 0.45 b
TM4A	3.97 ± 0.52 ab	25.55 ± 3.19 ab	7.91 ± 0.25 b

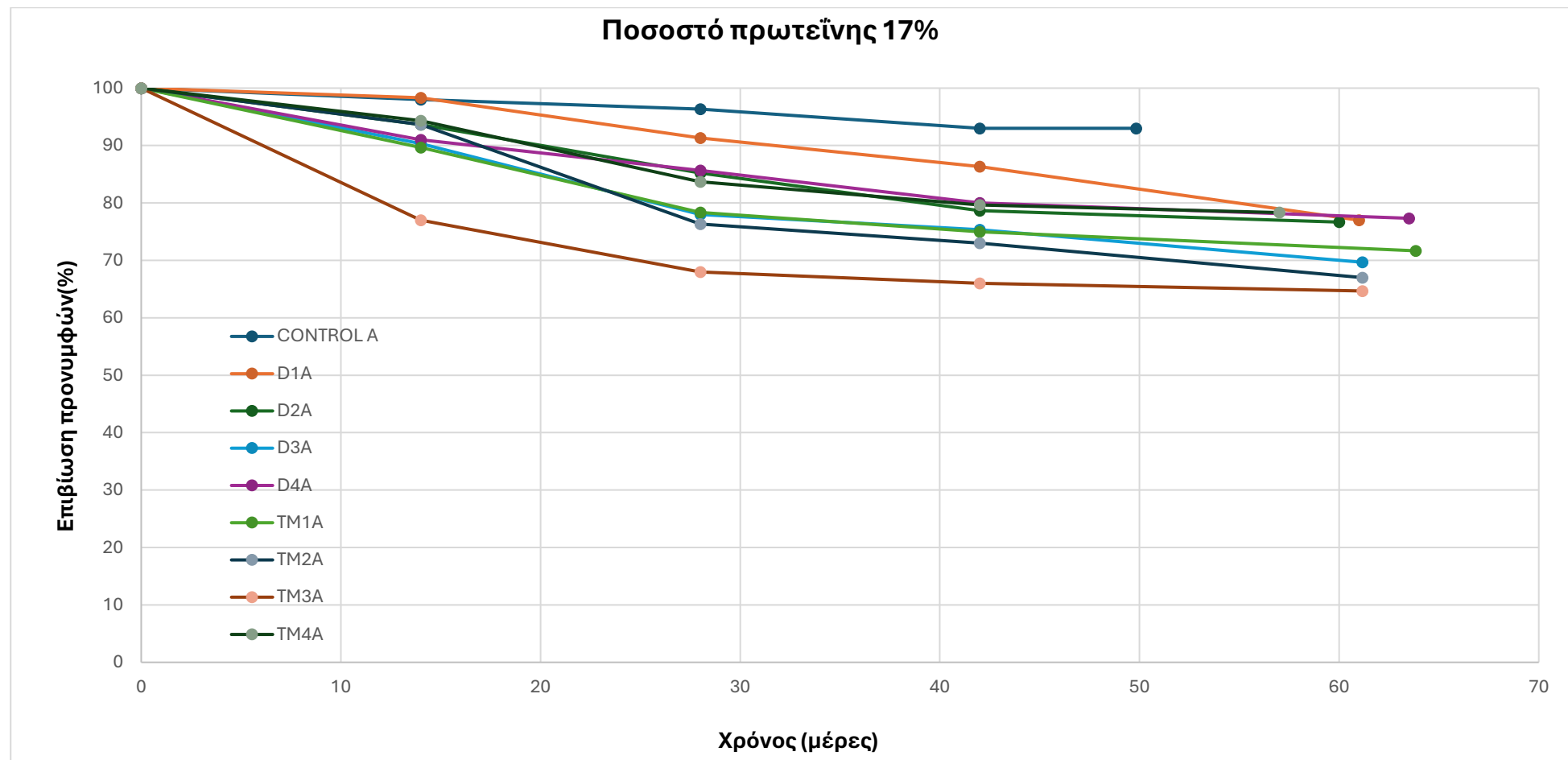
Πίνακας 3.4 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχείριση	Πρωτεΐνη (%)	Λιπαρά οξέα (%)	Τέφρα (%)	Ξηρά ουσία (%)
A CONTROL	53.31	30.67	3.04 ± 0.22	33.40 ± 0.20 cd
D1A	55.13	32.71	3.79 ± 0.08	32.50 ± 0.09 d
D2A	45.27	36.28	3.58 ± 1.21	35.42 ± 0.27 abc
D3A	56.77	37.64	2.86 ± 0.67	34.93 ± 0.42 bc
D4A	48.36	37.29	2.53 ± 1.04	35.4 ± 0.45 abc
TM1A	43.62	33.53	3.56 ± 0.28	32.39 ± 0.04 d
TM2A	49.66	36.37	3.78 ± 0.09	36.20 ± 0.04 ab
TM3A	53.61	33.53	3.39 ± 0.29	37.07 ± 0.86 a
TM4A	52.98	32.85	3.62 ± 0.46	35.58 ± 0.17 ab

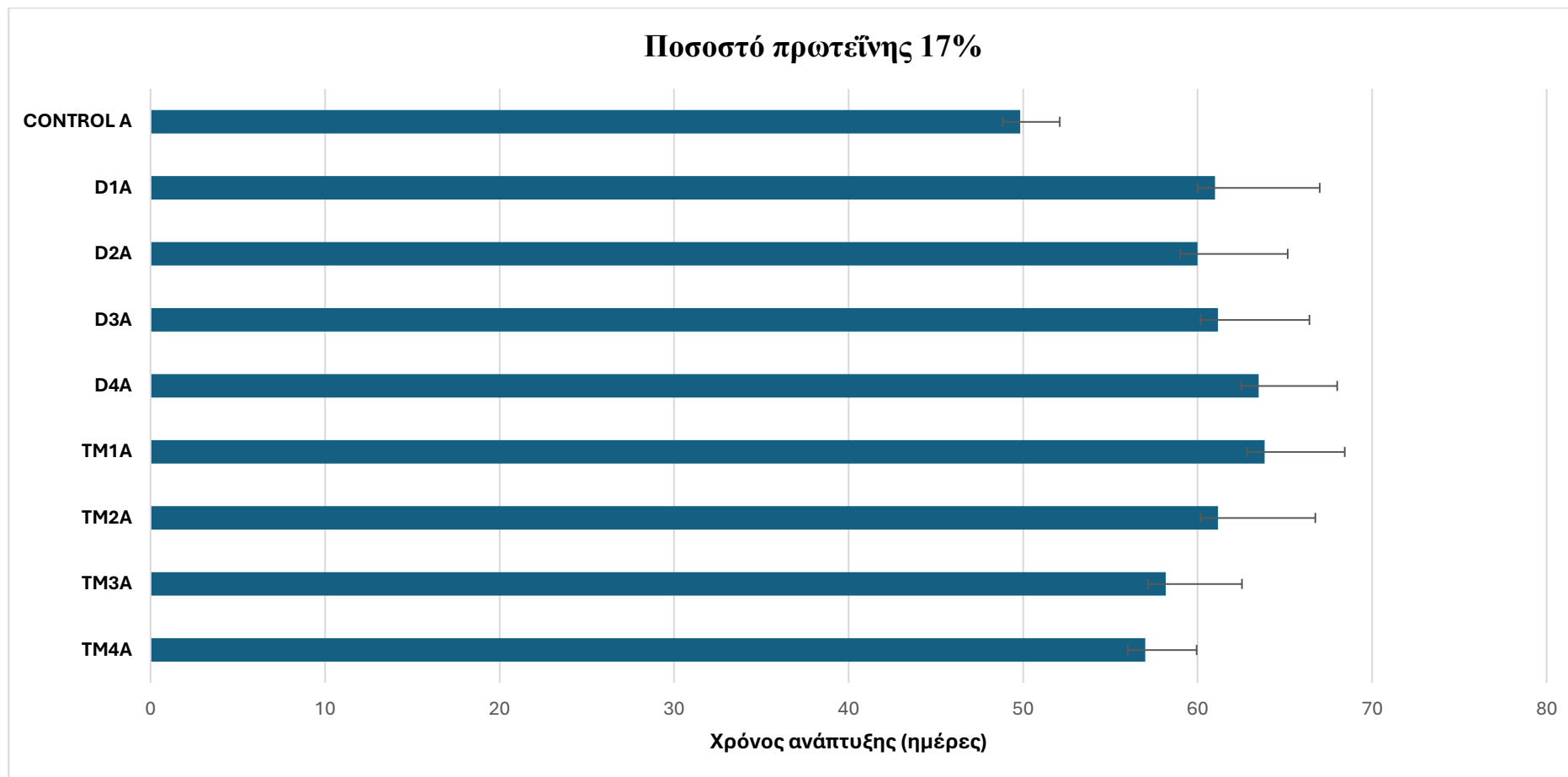
Πίνακας 3.5 Συστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 17% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



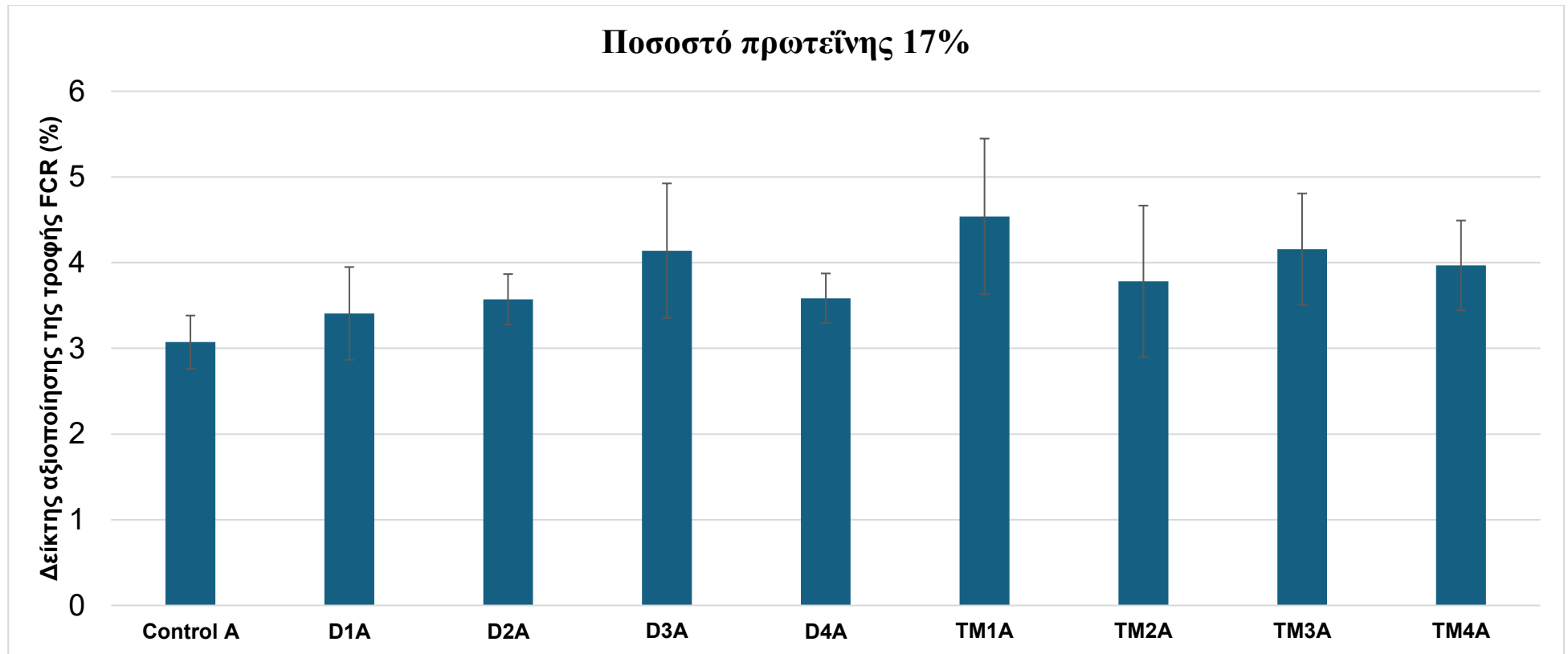
Γράφημα 1: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.



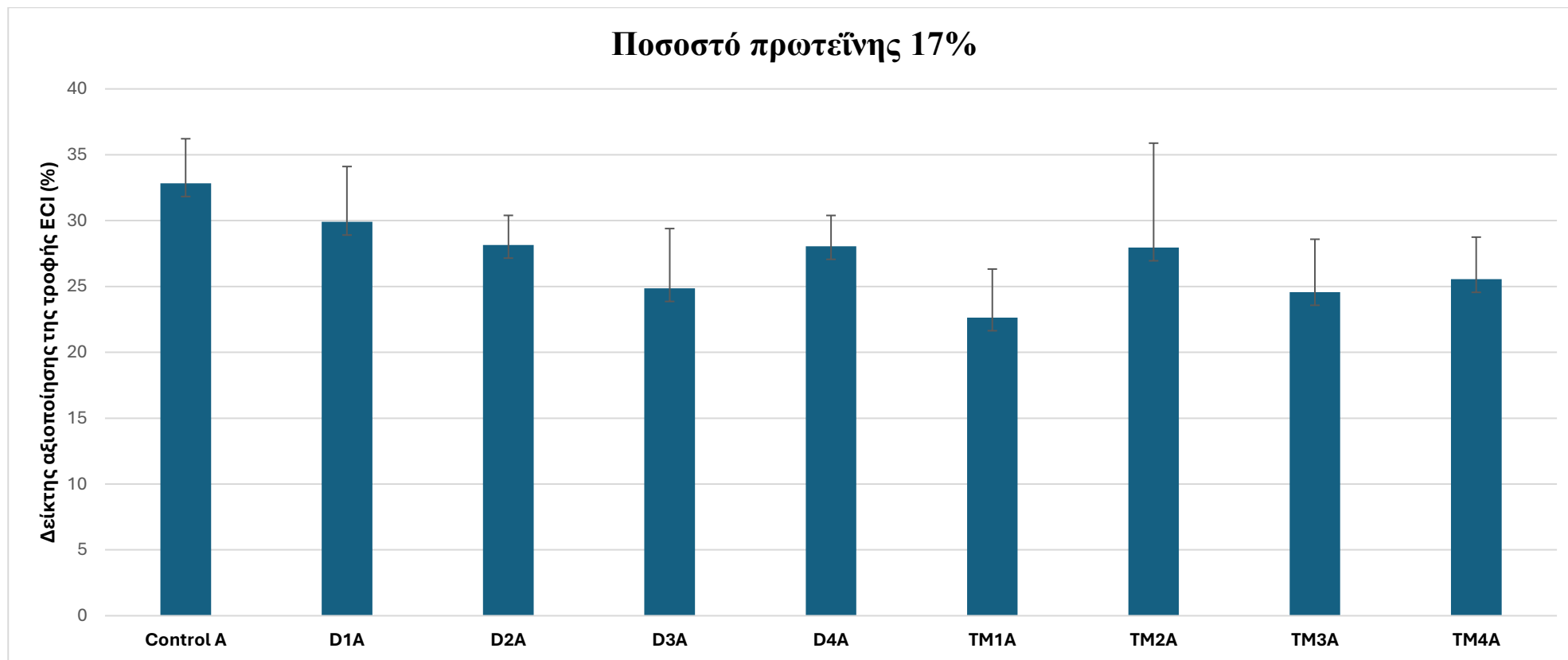
Γράφημα 2: Ποσοστό επιβίωσης (100%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



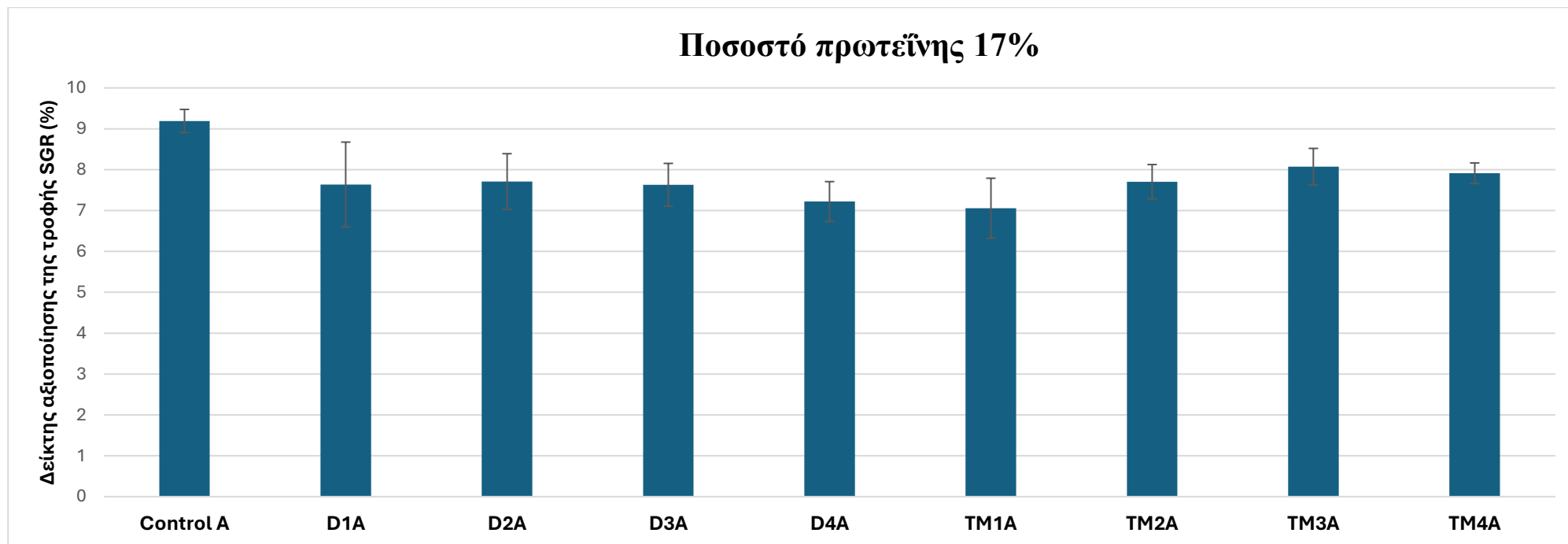
Γράφημα 3. Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%.



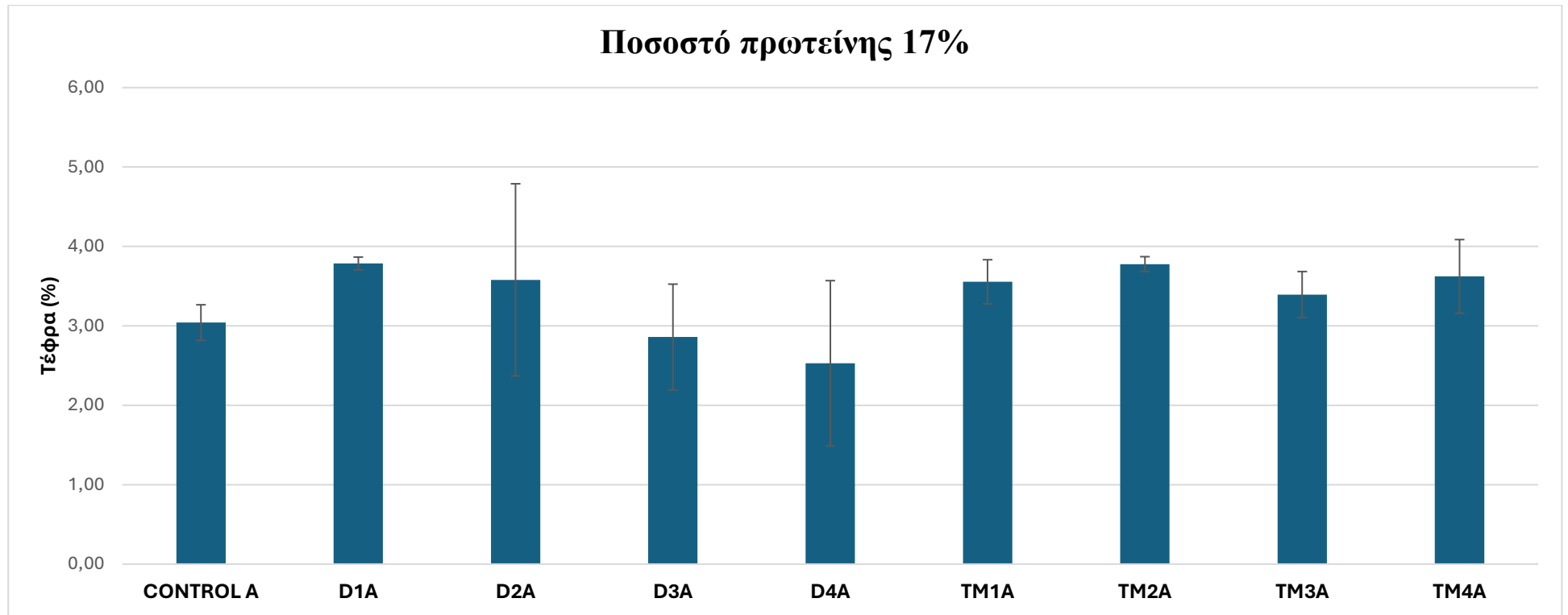
Γράφημα 4: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



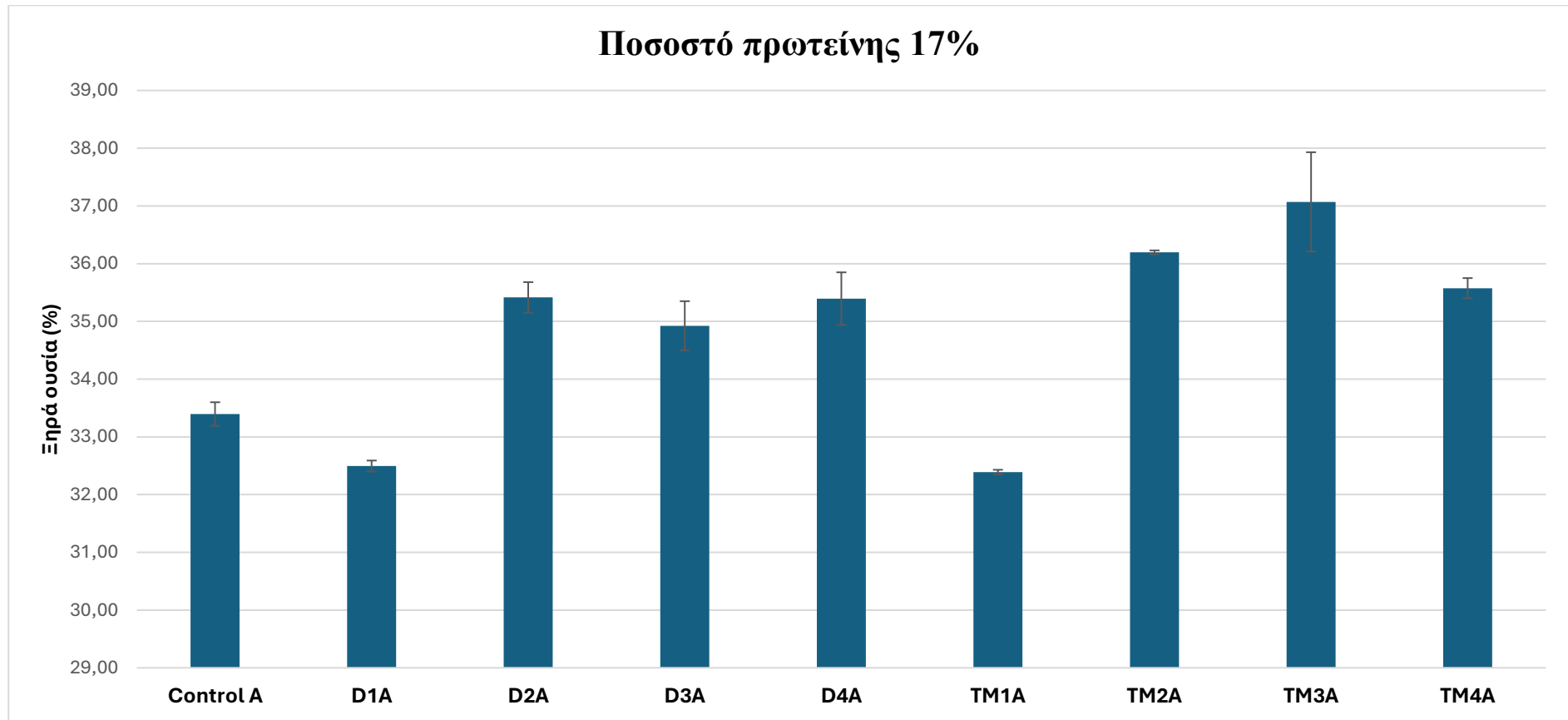
Γράφημα 5: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



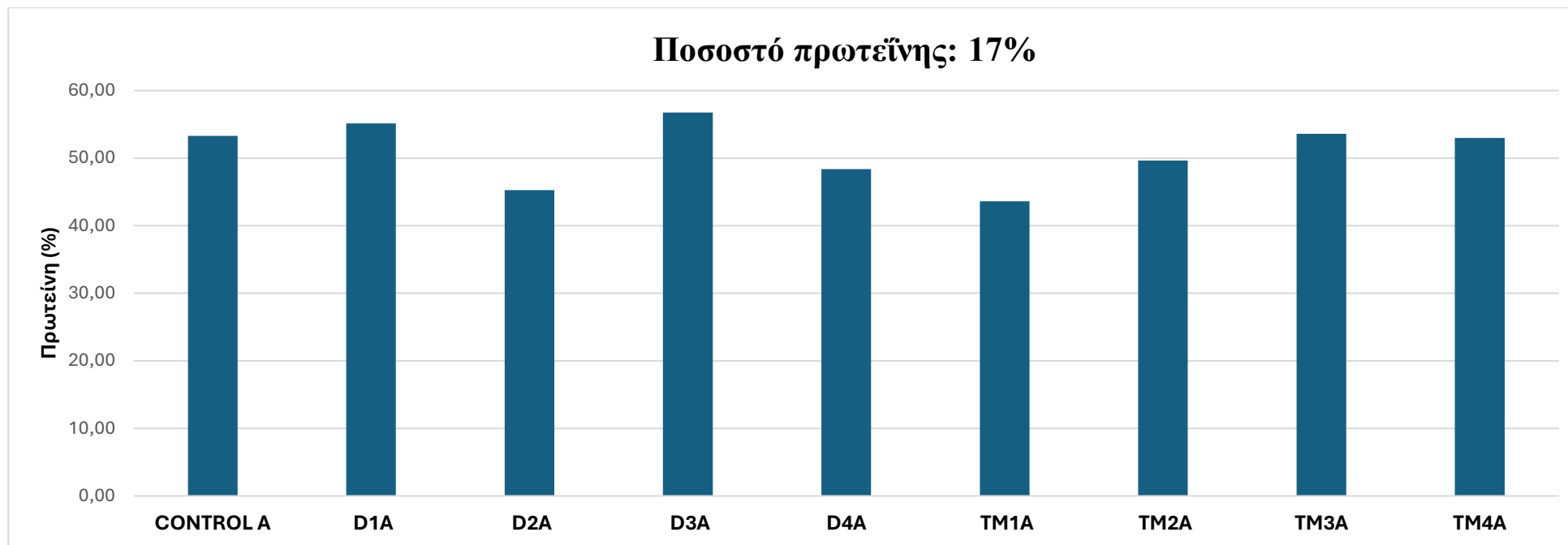
Γράφημα 6: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



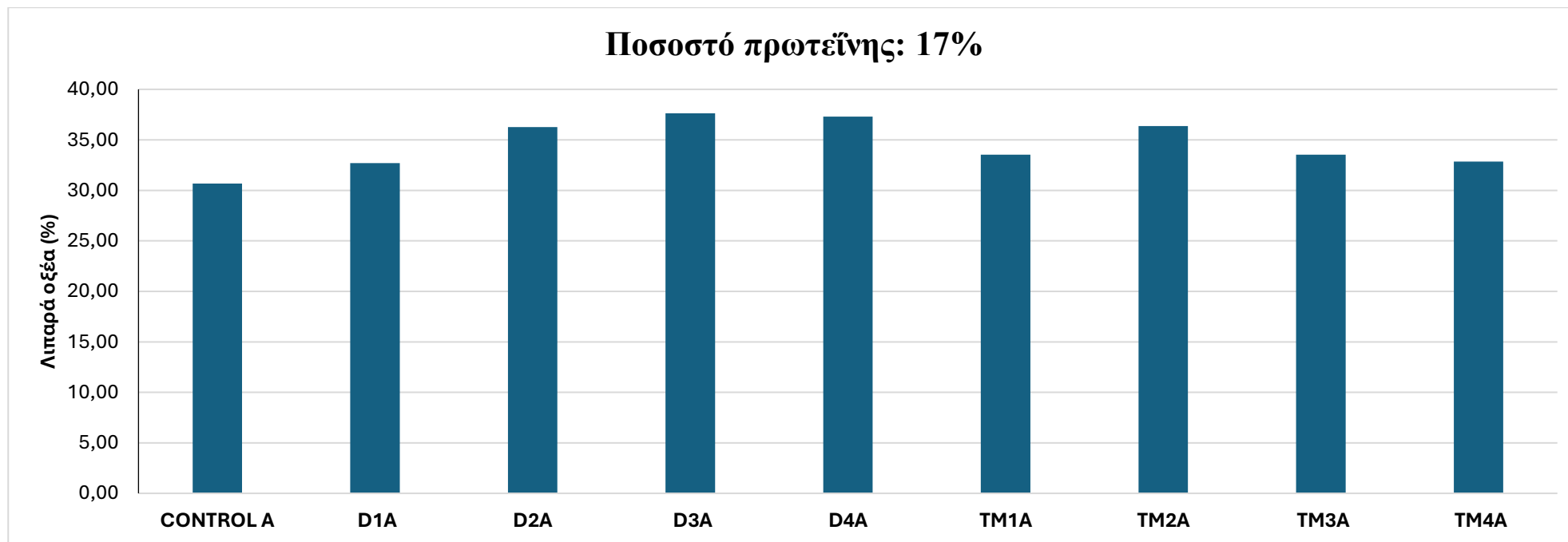
Γράφημα 7: % τέφρα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.



Γράφημα 8: % περιεκτικότητα ξηράς ουσίας των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



Γράφημα 9: % Πρωτεΐνη των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%.



Γράφημα 10: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε οκτώ (8) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 17%.

3.2 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 20% πρωτεΐνη

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης σχετικά με το μέσο τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 και στο Γράφημα 11. Σύμφωνα με αυτά, δεν προκύπτει καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων συμπεριλαμβανομένου και του Μάρτυρα. Το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών παρουσιάζεται στον Πίνακα 7 από τον οποίο προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των μεταχειρίσεων. Αναλυτικότερα, οι προνύμφες του Μάρτυρα εμφάνισαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης, 82.67 %, ενώ οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM4B είχαν ποσοστό επιβίωσης 73%. Η δίαιτα TM4B περιείχε παραπροϊόντα τριτικάλε, λούπινου και κάνναβης σε αναλογίες 59.66g, 35.3g και 5.03g αντίστοιχα. Οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM3B είχαν το μικρότερο ποσοστό με τιμή 56.67%. Η δίαιτα TM3B περιείχε παραπροϊόν κριθαριού, βαμβακόπιτα και παραπροϊόν λούπινου σε ποσότητα 50.06 g, 32.52g και 17.39g αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται επίσης στο Γράφημα 12. Όσο αφορά τον χρόνο ανάπτυξης των προνυμφών σε ημέρες παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Σύμφωνα με τον Πίνακα 8 και το Γράφημα 13 , η πρώτη νύμφη εμφανίστηκε γρηγορότερα στον Μάρτυρα στις 49.83 ημέρες κατά μέσο όρο και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες TM1B, TM2B και TM4B όπου η πρώτη νύμφη εμφανίστηκε στις 56.50 , 57 και 59.17 ημέρες κατά μέσο όρο αντίστοιχα.

Από την στατιστική ανάλυση των συντελεστών FCR, ECI και SGR προκύπτουν τα αποτελέσματα του Πίνακα 9. Σύμφωνα με αυτά, οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM3B εμφάνισαν στατιστικά σημαντικά υψηλότερο συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής, με τιμή 4.64. Οι προνύμφες του Μάρτυρα είχαν την χαμηλότερη τιμή του συντελεστή FCR, 3.09. Στον συντελεστή ECI ο Μάρτυρας κατέγραψε την υψηλότερη τιμή 32.99 παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντική διαφορά από την μεταχείριση TM3B. Τέλος, στον συντελεστή SGR, οι προνύμφες του Μάρτυρα είχαν την μεγαλύτερη τιμή, 9.53, παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές από όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται στα Γραφήματα 14, 15 και 16.

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της περιεκτικότητας των προνυμφών σε πρωτεΐνη (%), λιπαρά οξέα (%), ξηρά ουσία (%) και τέφρα (%). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι προνύμφες του Μάρτυρα και εκείνες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM2B εμφάνισαν τα υψηλότερα ποσοστά πρωτεΐνης με τιμές 55.11% και 55.43 % αντίστοιχα, ενώ το χαμηλότερο ποσοστό εμφάνισαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM3B με τιμή 46.95 %, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 17. Η δίαιτα TM2B περιείχε παραπροϊόν τριτικάλε και βαμβακόπιτα σε αναλογία 48.25g και 51.74g

αντίστοιχα. Ακόμα, το μεγαλύτερο ποσοστό λιπαρών οξέων εμφάνισαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM3B με ποσοστό 34.64% , ενώ το μικρότερο ο Μάρτυρας και οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM4B με ποσοστό 28.81%. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στο Γράφημα 18. Τέλος, για την περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία και τέφρα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία κυμάνθηκε από 33.1% έως 36.3% ενώ η περιεκτικότητα σε τέφρα από 2.80% έως 3.62%. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα Γραφήματα 19 και 20.

Μεταχειρίσεις	Μέσο τελικό ατομικό βάρος (mg)
CONTROL B	108.57 ± 8.87
TM1B	86.37 ± 13.36
TM2B	105.25 ± 31.16
TM3B	101.26 ± 19.23
TM4B	91.21 ± 9.26

Πίνακας 6 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	Επιβίωση προνυμφών (%)
CONTROL B	82.67 ± 13.45 a
TM1B	71.67 ± 12.72 ab
TM2B	63.33 ± 18.06 ab
TM3B	56.67 ± 7.89 b
TM4B	73.00 ± 12.95 ab

Πίνακας 7 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες)
CONTROL B	49.83 ± 1.95 a
TM1B	56.50 ± 4.35 b
TM2B	57.00 ± 2.52 b
TM3B	55.17 ± 2.54 ab
TM4B	59.17 ± 5.21 b

Πίνακας 8 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 20% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

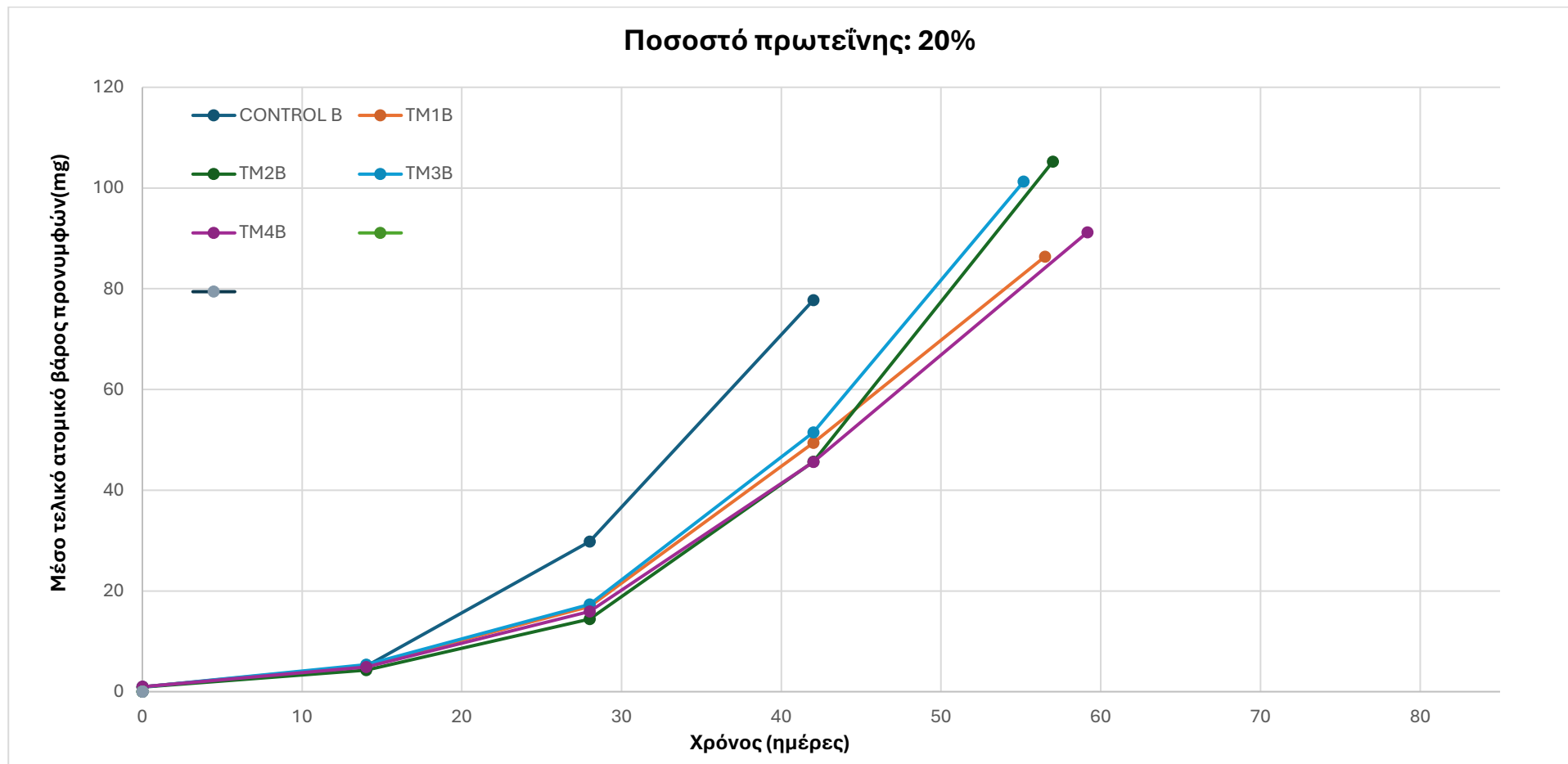
Μεταχειρίσεις	FCR	ECI	SGR
CONTROL B	3.09 ± 0.46 a	32.99 ± 4.77 a	9.53 ± 0.39 a
TM1B	4.26 ± 0.86 ab	24.21 ± 4.30 ab	7.99 ± 0.46 b
TM2B	4.37 ± 1.34 ab	24.89 ± 8.00 ab	8.28 ± 0.53 b
TM3B	4.64 ± 0.58 b	21.86 ± 2.96 b	8.48 ± 0.69 b
TM4B	4.04 ± 1.05 ab	25.97 ± 5.73 ab	7.71 ± 0.57 b

Πίνακας 9 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 20% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

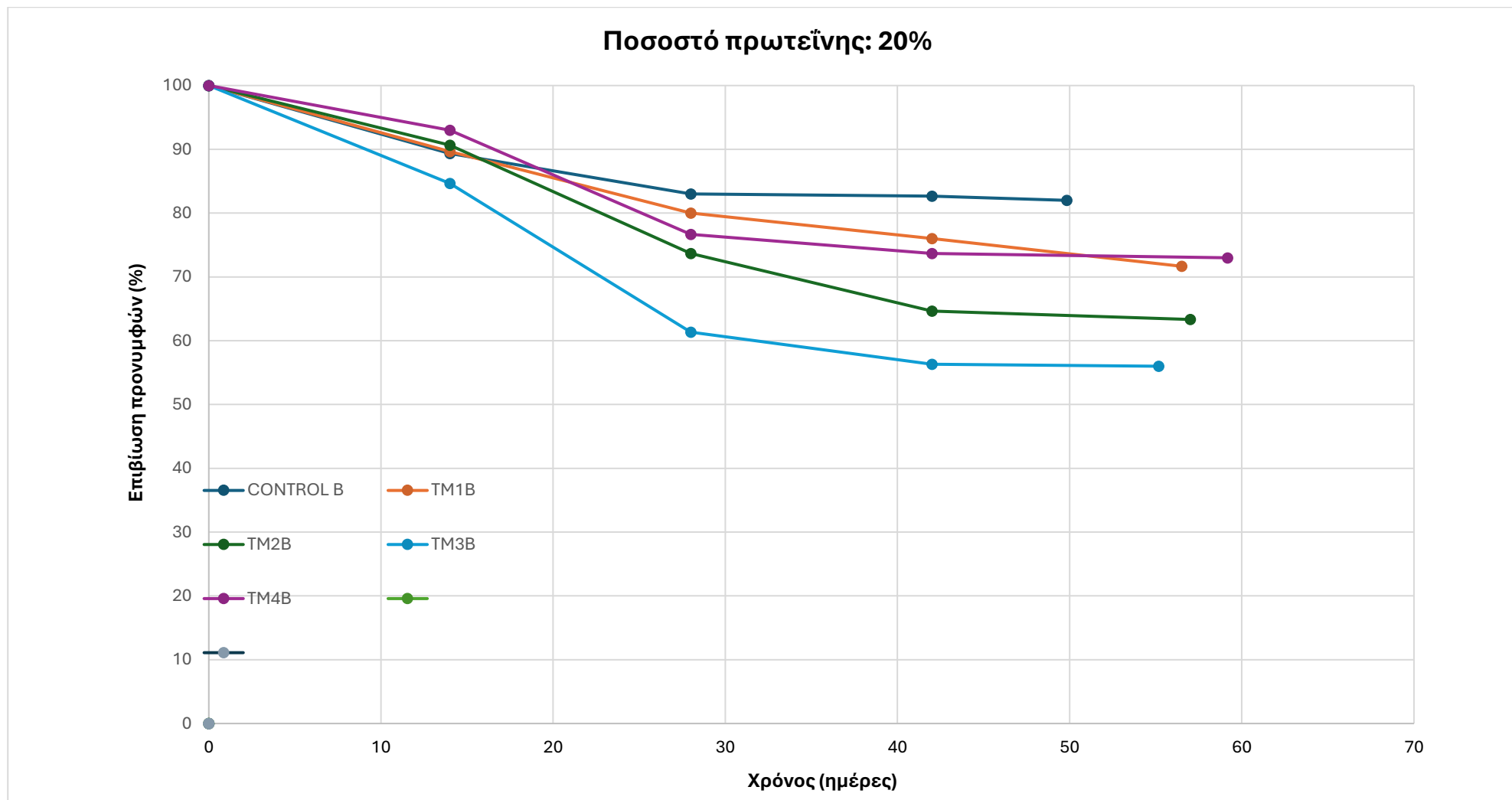
Μεταχείριση	Πρωτεΐνη (%)	Λιπαρά οξέα (%)	Τέφρα (%)	Ξηρά ουσία (%)
-------------	--------------	-----------------	-----------	----------------

CONTROL B	55.11	28.81	2.80 ± 0.94	33.1 ± 0.43
TM1B	50.23	28.67	3.31 ± 0.16	35.3 ± 0.09
TM2B	55.43	30.81	3.62 ± 0.17	33.1 ± 0.49
TM3B	46.95	34.64	2.94 ± 0.50	34.9 ± 0.21
TM4B	47.76	28.81	2.84 ± 0.76	36.3 ± 1.11

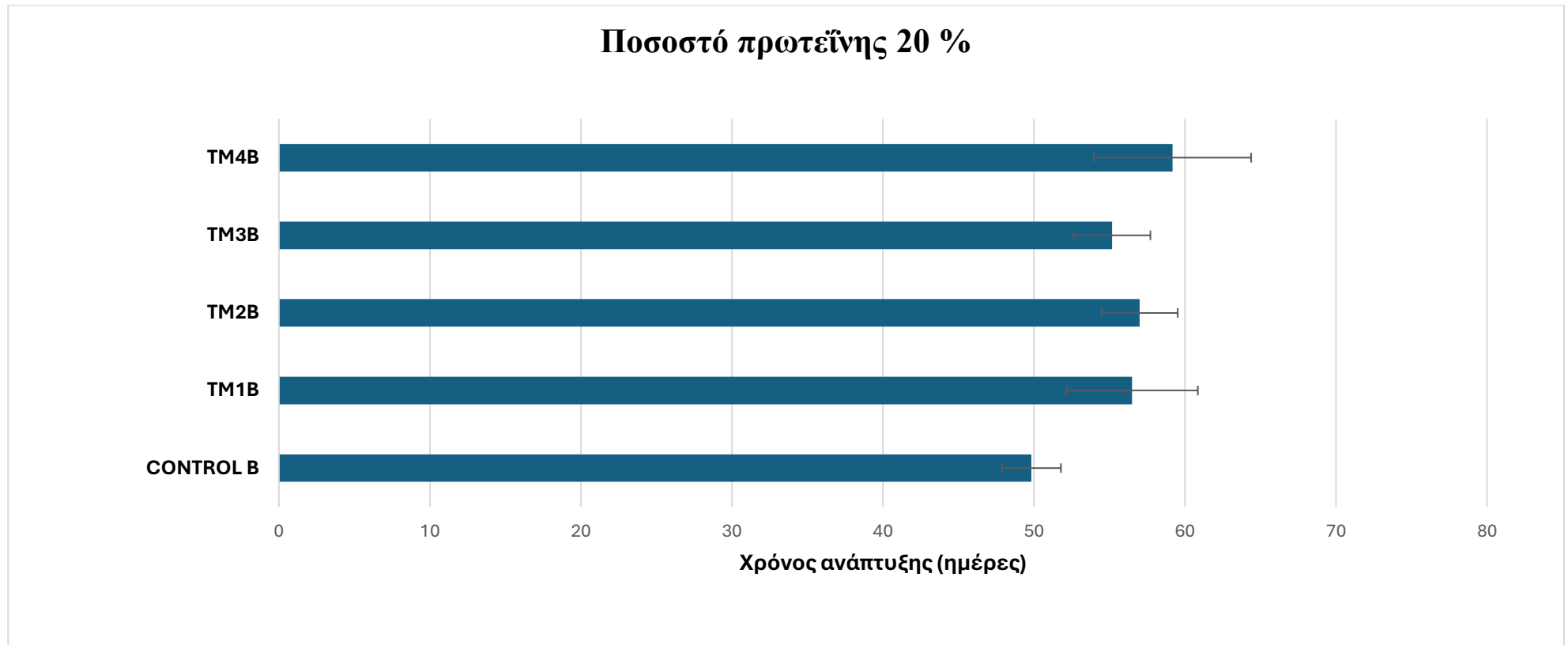
Πίνακας 10 Συστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 20% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



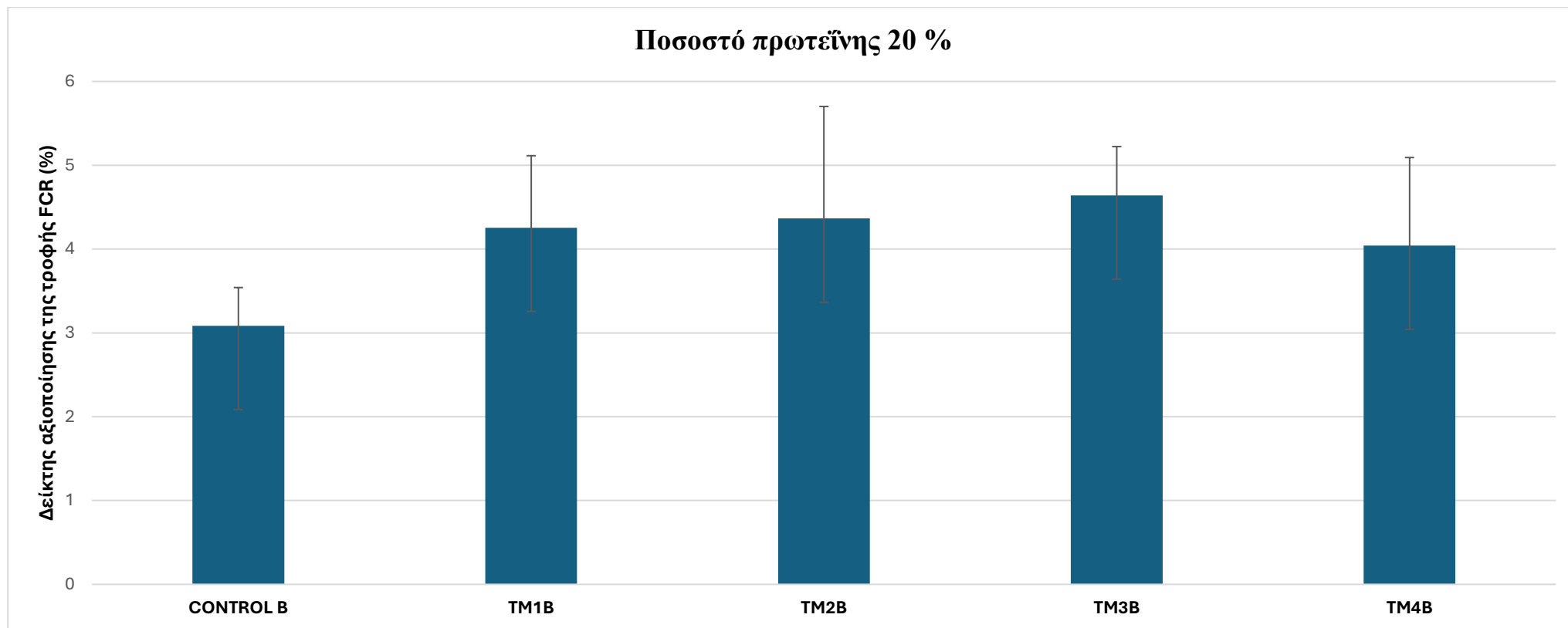
Γράφημα 11: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



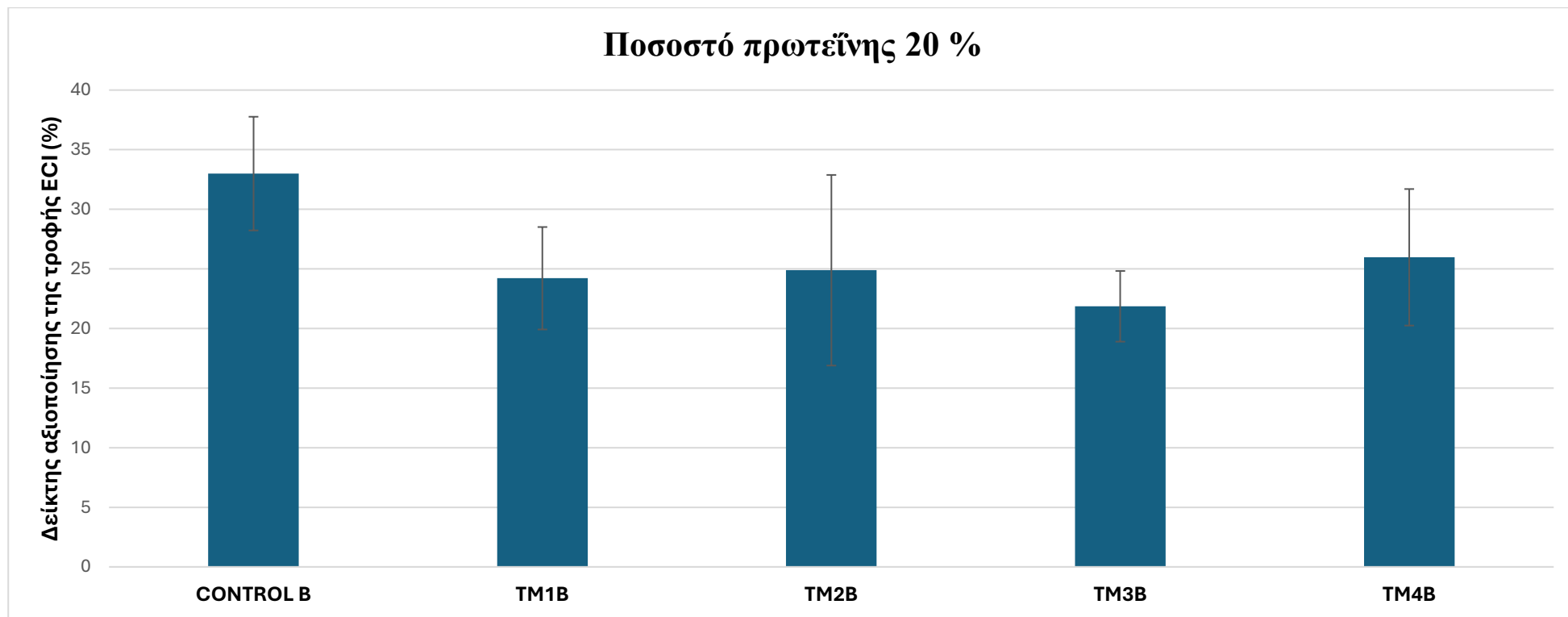
Γράφημα 12: Ποσοστό επιβίωσης (%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



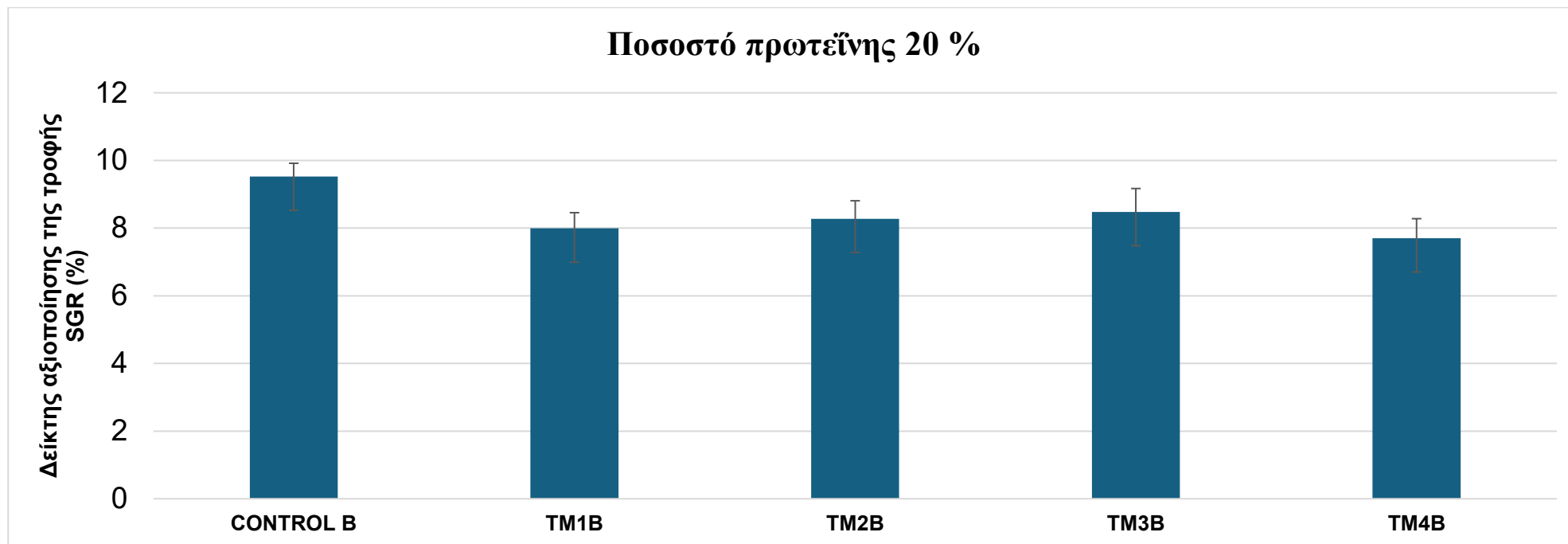
Γράφημα 13: Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%.



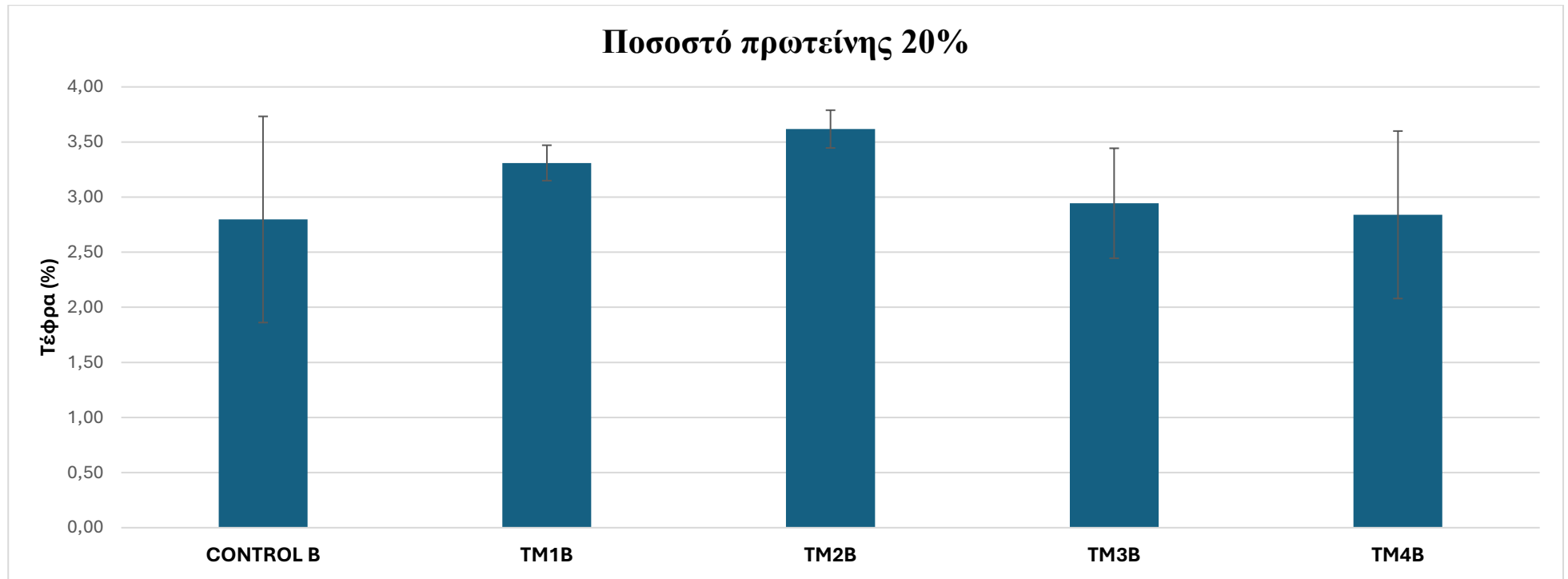
Γράφημα 14: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



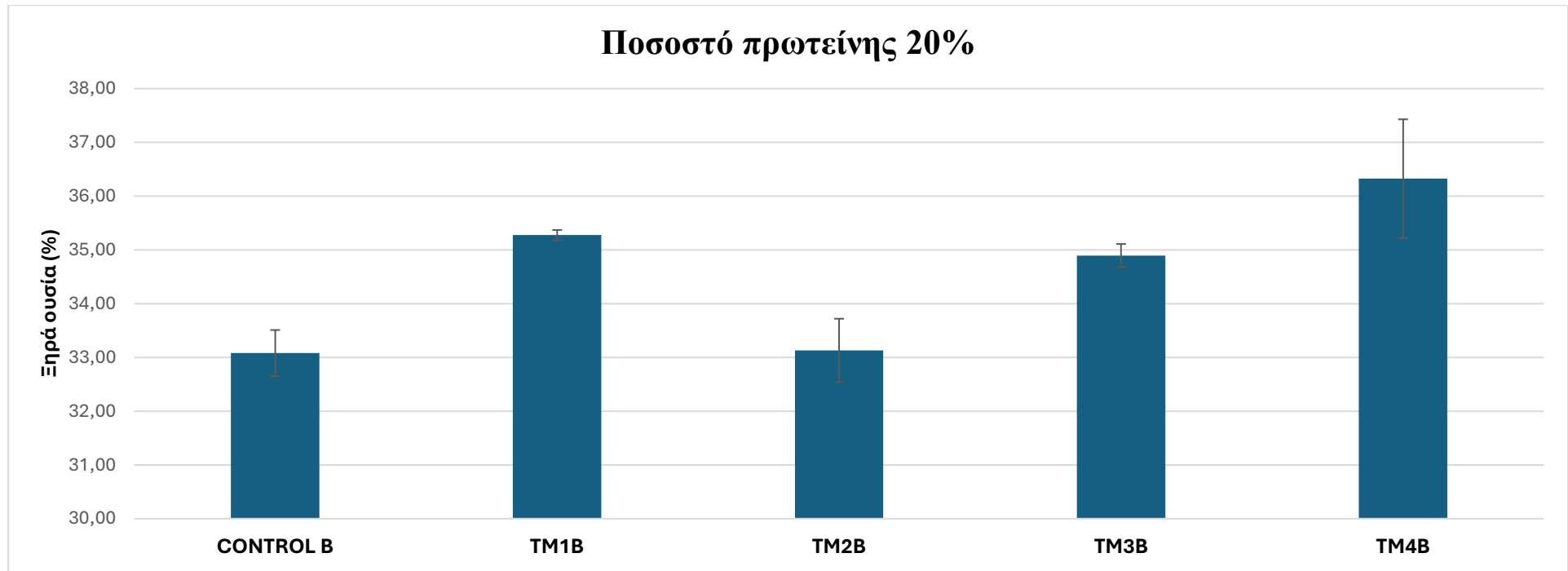
Γράφημα 15: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



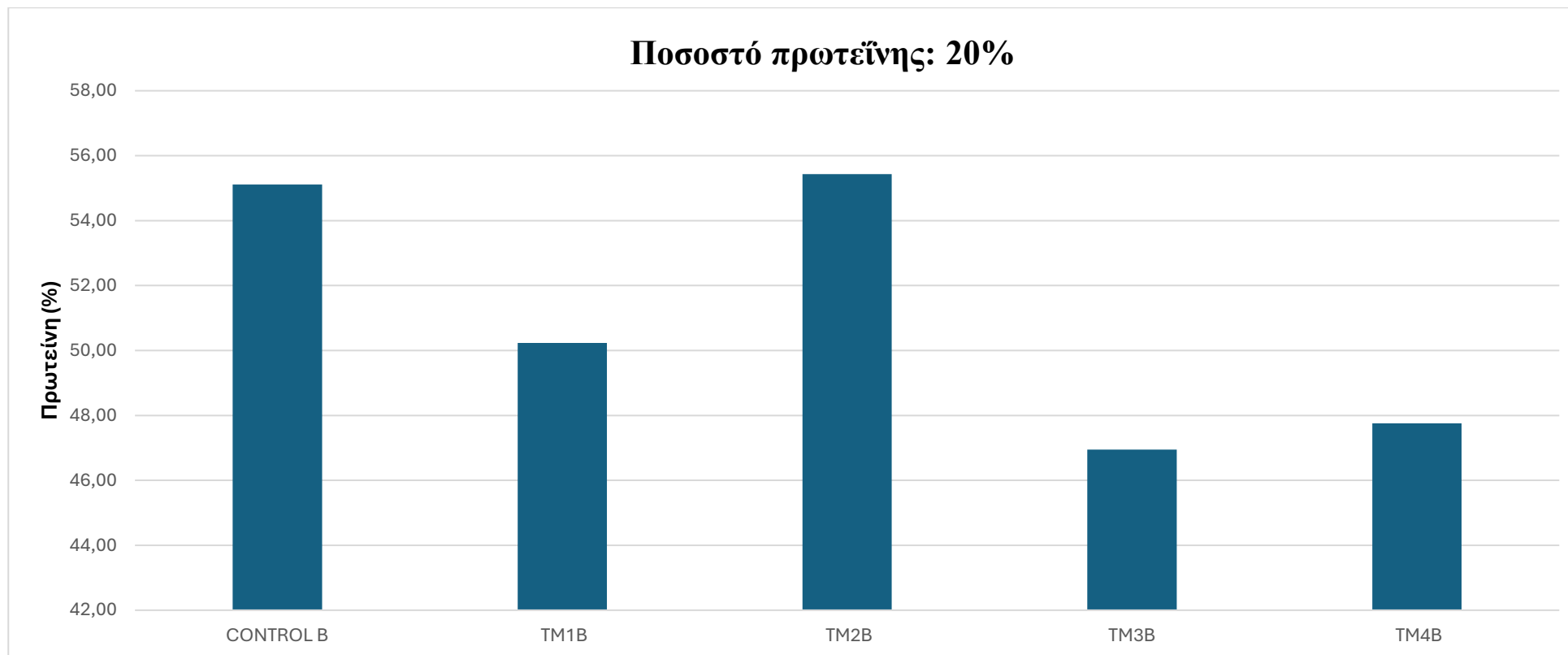
Γράφημα 16: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



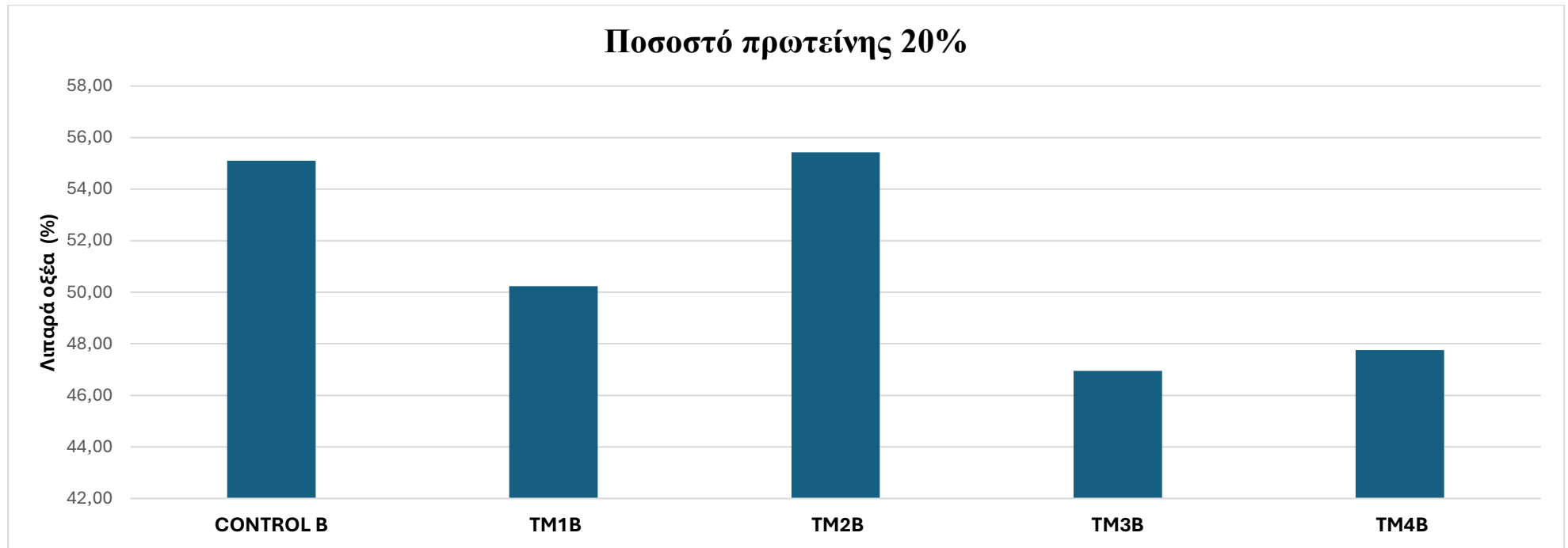
Γράφημα 17: % τέφρα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.



Γράφημα 18: % ξηράς ουσίας των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.



Γράφημα 19: % Πρωτεΐνη των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20%.



Γράφημα 20: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε τέσσερα (4) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 20% .

3.3 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 23% πρωτεΐνη

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης σχετικά με το μέσο τελικό ατομικό βάρος των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με ποσοστό πρωτεΐνης 23% παρουσιάζονται στον Πίνακα 11. Υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, με τις προνύμφες του Μάρτυρα να έχουν το υψηλότερο τελικό ατομικό βάρος 116.39 mg. Το αμέσως μεγαλύτερο ατομικό βάρος παρουσίασαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM3C με τιμή 93.59 mg. Η δίαιτα TM3C περιείχε παραπροϊόν τριτικάλε, βαμβακόπιτα και παραπροϊόν λούπινου σε ποσότητες 40.88g, 30.22g και 28.22g αντίστοιχα. Οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM1C εμφάνισαν το χαμηλότερο τελικό ατομικό βάρος με τιμή 76.35 mg. Η συγκεκριμένη δίαιτα περιείχε παραπροϊόντα τριτικάλε, λούπινου και κάνναβης σε ποσότητες 47.56g, 49.52g και 2.92g αντίστοιχα. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται επίσης στο Γράφημα 21. Αναφορικά με την επιβίωση των προνυμφών, οι μέσοι όροι παρουσιάζονται στον Πίνακα 12. Παρατηρήθηκαν στατιστικές διαφορές στους μέσους όρους επιβίωσης, καθώς οι προνύμφες του Μάρτυρα είχαν ποσοστό επιβίωσης 87.33 % ενώ της διαίτας TM3C 56.67 %. Οι δίαιτες TM3A και TM3B είχαν ποσοστά επιβίωσης 74% και 70% αντίστοιχα. Στο Γράφημα 22 συνοψίζονται αυτά τα αποτελέσματα. Επιπλέον στον Πίνακα 13 παρουσιάζεται ο μέσος όρος του χρόνου ανάπτυξης των προνυμφών σε ημέρες και υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, οι προνύμφες του Μάρτυρα αναπτύχθηκαν γρηγορότερα σε 48.50 ημέρες κατά μέσο όρο, ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις η πρώτη νύμφη εμφανίστηκε σε περίπου 60 με 65 ημέρες, όπως φαίνεται στο Γράφημα 23.

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται τρεις δείκτες αξιοποίησης της τροφής. Ο πρώτος αφορά τη συνολική τροφή που προστέθηκε προς το βάρος που κερδήθηκε (FCR) και παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Ο FCR των μεταχειρίσεων TM1, TM2 και TM3 κατέγραψε τις μεγαλύτερες τιμές 4.53, 4.21 και 5.43 διαφέροντας σημαντικά από αυτόν του Μάρτυρα με τιμή 2.77. Ο δεύτερος δείκτης αναφέρεται στο ποσοστό του βάρους που κερδήθηκε προς το βάρος της τροφής που καταναλώθηκε (ECI) και παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα, στις προνύμφες του Μάρτυρα παρατηρήθηκε το μεγαλύτερο ECI με τιμή 36.30, ενώ στις προνύμφες των υπόλοιπων μεταχειρίσεων οι τιμές κυμάνθηκαν από 19.22 έως 24.18. Ο τρίτος και τελευταίος δείκτης αφορά το ποσοστό της διαφοράς του αρχικού από το τελικό σωματικό βάρος των προνυμφών προς τον αριθμό των ημερών έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (SGR). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το SGR του Μάρτυρα είχε την μεγαλύτερη τιμή 9.83 διαφέροντας από όλες τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις όπου το SGR κυμάνθηκε από 6.90 έως 7.28. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στα Γραφήματα 24, 25 και 26. .

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της περιεκτικότητας των προνυμφών σε πρωτεΐνη (%), λιπαρά οξέα (%), ξηρά ουσία (%) και τέφρα (%). Το μεγαλύτερο ποσοστό πρωτεΐνης καταγράφηκε στις προνύμφες της μεταχείρισης TM2C με τιμή 59.78 % ενώ το μικρότερο στις προνύμφες της μεταχείρισης TM1C με τιμή 53.61 %, όπως φαίνεται στο Γράφημα 27. Η δίαιτα TM2C περιείχε παραπροϊόντα κριθαριού, λούπινου και κάνναβης σε ποσότητες 45.37g, 53.43g και 1.20g αντίστοιχα. Όσο αφορά την περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα (%), τις μεγαλύτερες τιμές είχαν οι προνύμφες της μεταχείρισης TM3C και του Μάρτυρα με ποσοστά 29.72 % και 29.16 % αντίστοιχα, ενώ την μικρότερη οι προνύμφες της μεταχείρισης TM2C με ποσοστό 26.42 %, όπως παρατηρείται και στο Γράφημα 28. Τέλος για την περιεκτικότητα των προνυμφών σε τέφρα (%) και ξηρά ουσία (%) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Γραφήματα 29 και 30.

Μεταχειρίσεις	Μέσο τελικό ατομικό βάρος (mg)
CONTROL C	116.39 ± 9.62 a
TM1C	76.35 ± 11.59 b
TM2C	87.17 ± 9.94 b
TM3C	93.59 ± 20.84 ab

Πίνακας 11 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 23% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	Επιβίωση προνυμφών (%)
CONTROL C	87.33 ± 4.71 a
TM1C	74.00 ± 8.41 ab
TM2C	70.00 ± 9.09 ab
TM3C	56.67 ± 16.60 b

Πίνακας 12 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 23% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες)
CONTROL C	48.50 ± 0.50 a
TM1C	60.67 ± 4.71 b
TM2C	65.67 ± 2.75 b
TM3C	64.17 ± 5.46 b

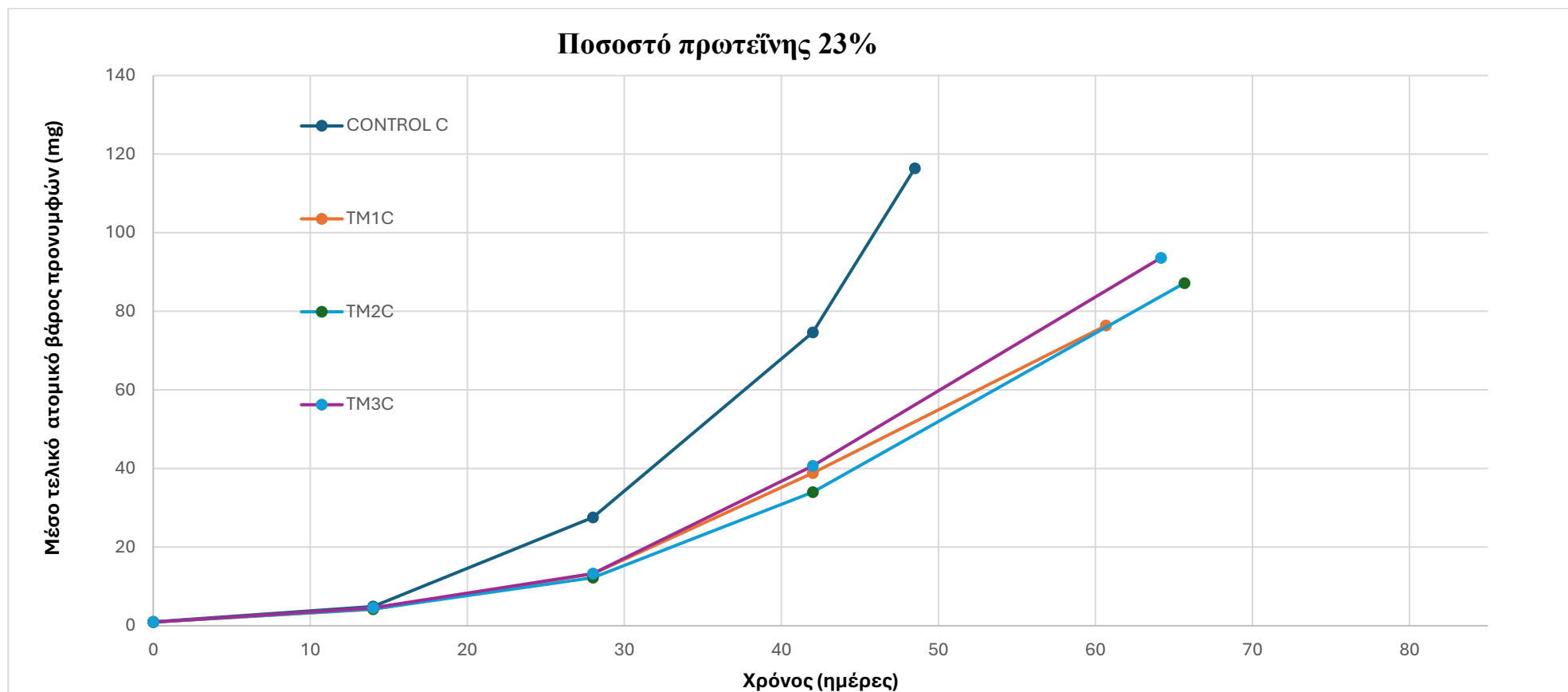
Πίνακας 13 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 23% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	FCR	ECI	SGR
CONTROL C	2.77 ± 0.22 a	36.30 ± 2.92 a	9.83 ± 0.16 a
TM1C	4.53 ± 0.83 b	22.65 ± 3.72 b	7.28 ± 0.28 b
TM2C	4.21 ± 0.66 b	24.18 ± 3.53 b	6.90 ± 0.29 b
TM3C	5.43 ± 1.31 b	19.22 ± 4.09 b	7.23 ± 0.79 b

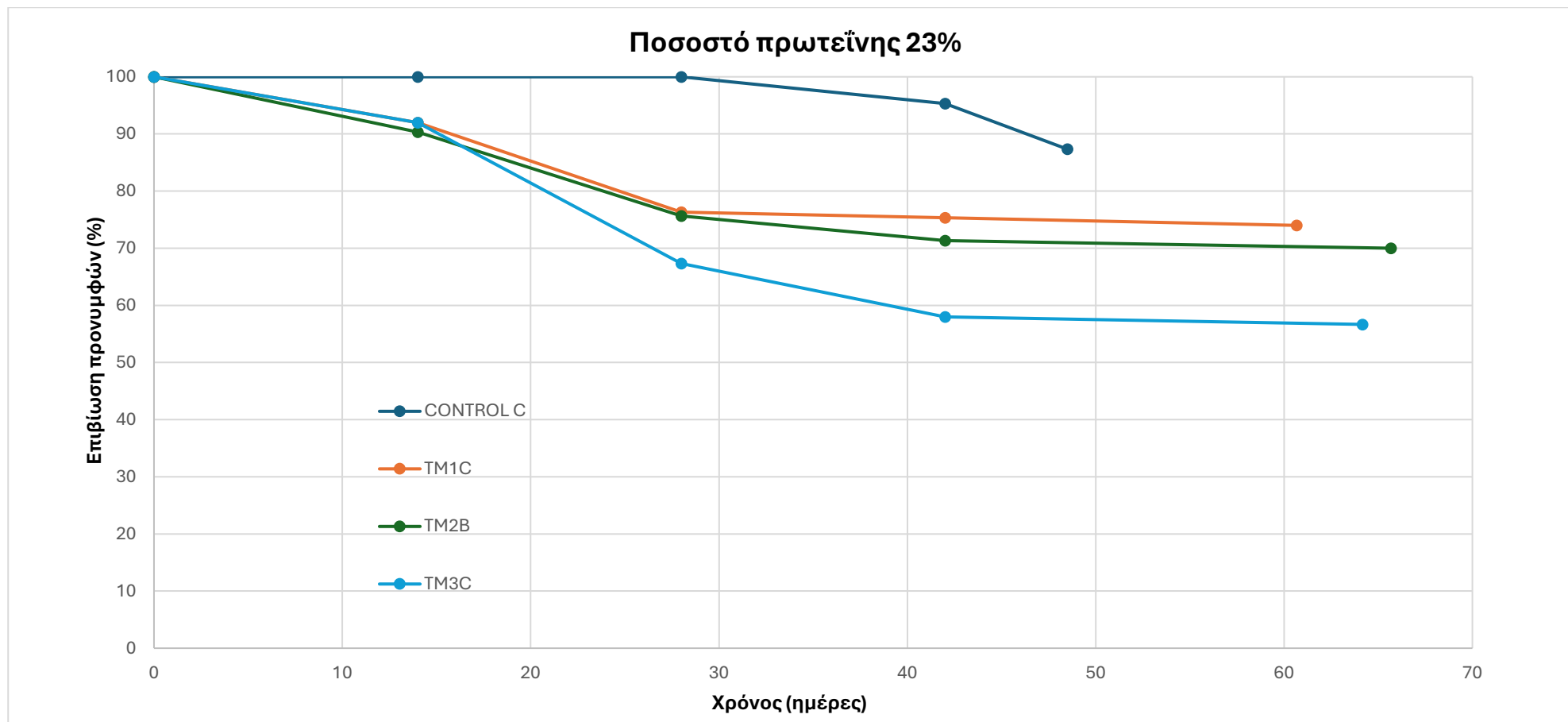
Πίνακας 14 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 23% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχείριση	Πρωτεΐνη (%)	Λιπαρά οξέα (%)	Τέφρα (%)	Ξηρά ουσία (%)
CONTROL C	54.64	29.16	2.78 ± 0.52	34.51 ± 0.30 a
TM1C	53.61	28.80	3.24 ± 0.44	34.05 ± 0.39 a
TM2C	59.78	26.42	3.66 ± 0.26	34.20 ± 1.18 a
TM3C	56.04	29.72	3.73 ± 0.09	34.69 ± 0.34 a

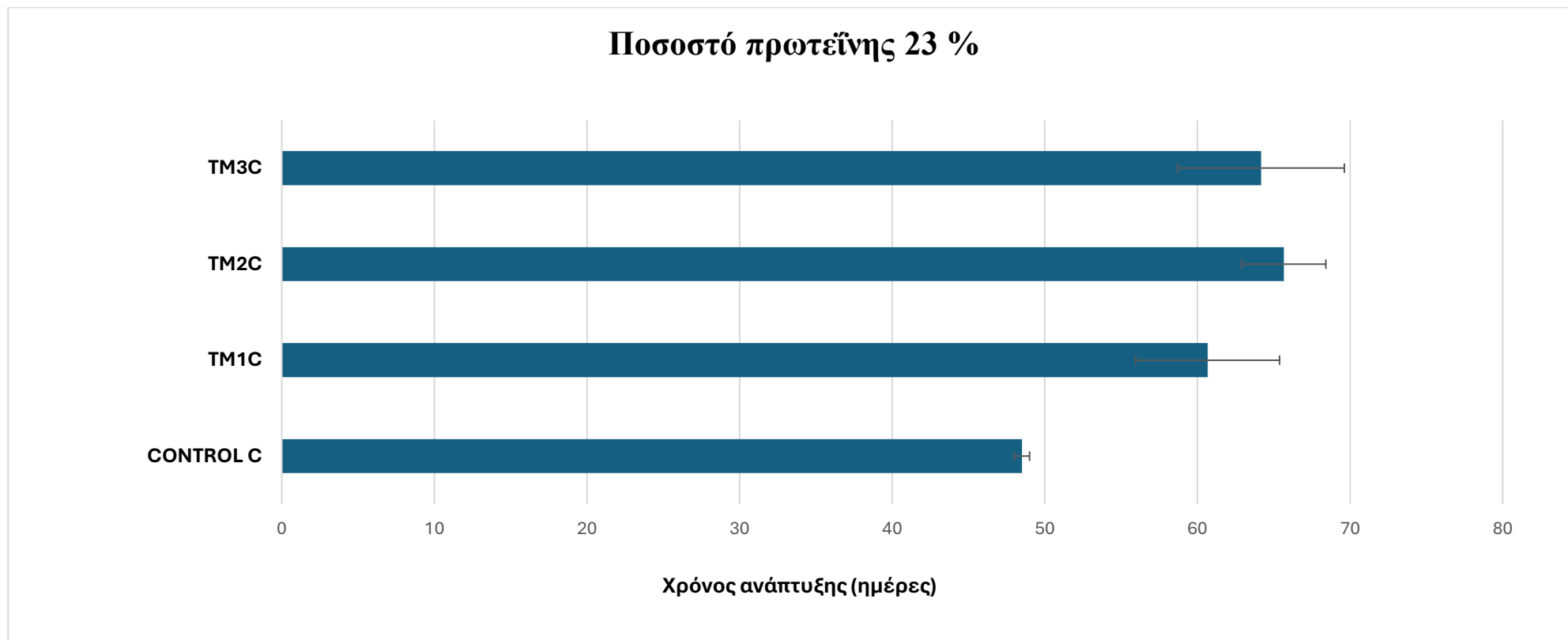
Πίνακας 15 Συνστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 23% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



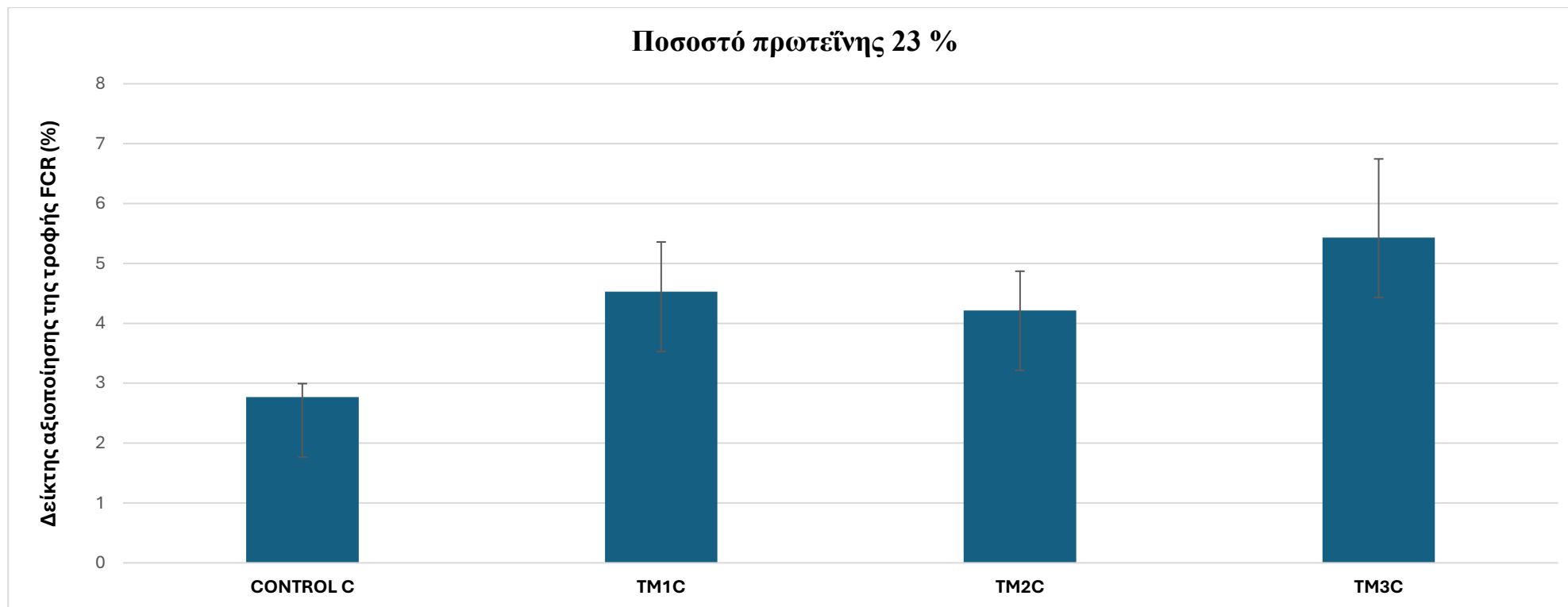
Γράφημα 21: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



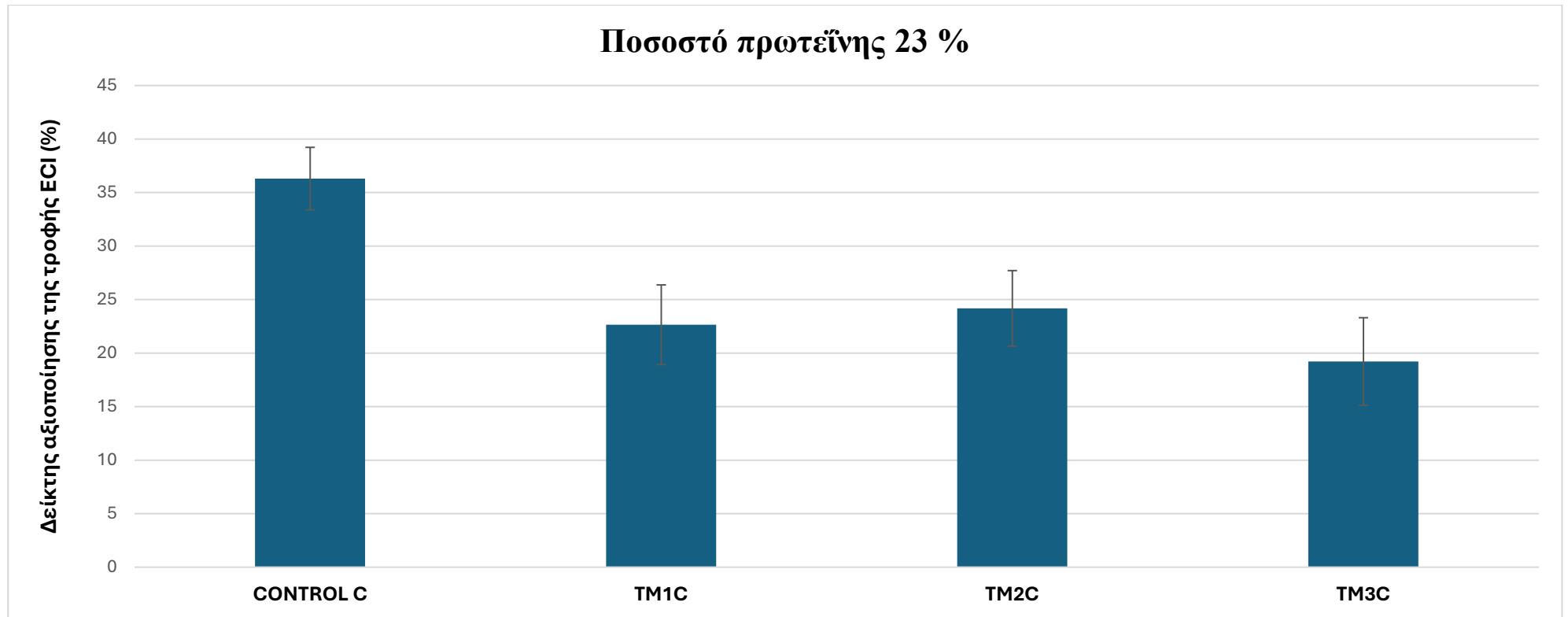
Γράφημα 22: Ποσοστό επιβίωσης (%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 20%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



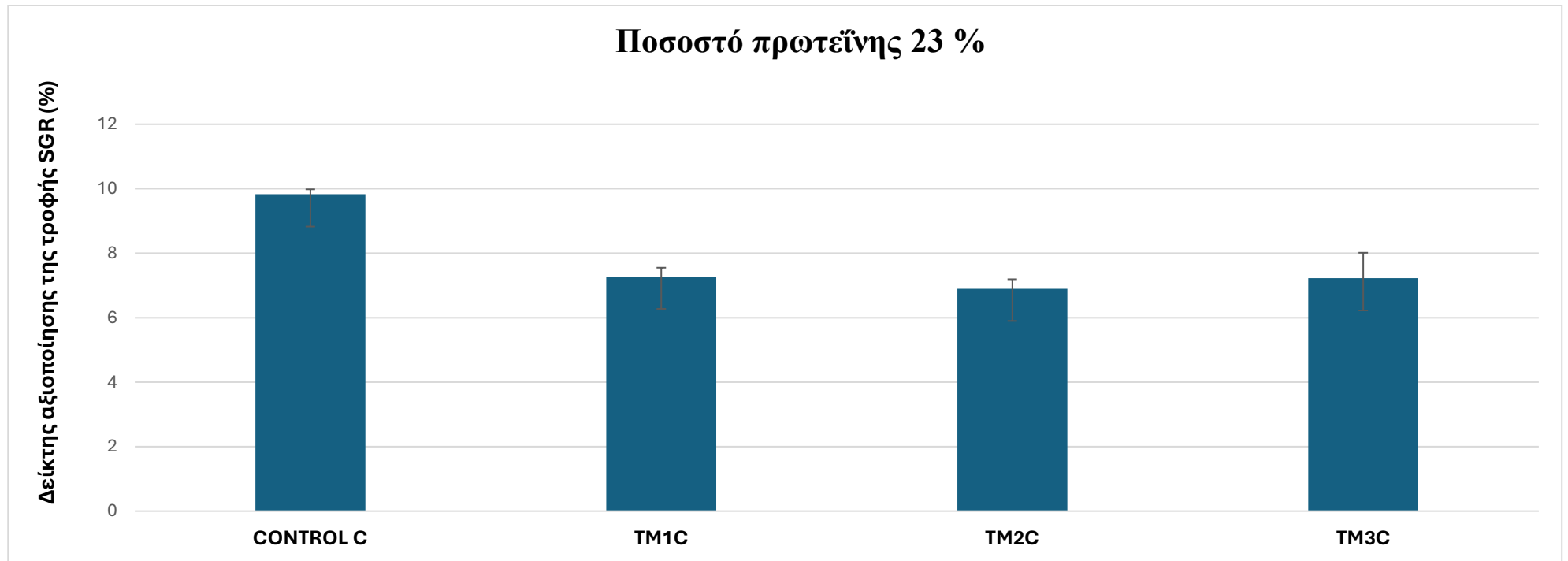
Γράφημα 23: Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 23%.



Γράφημα 24: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



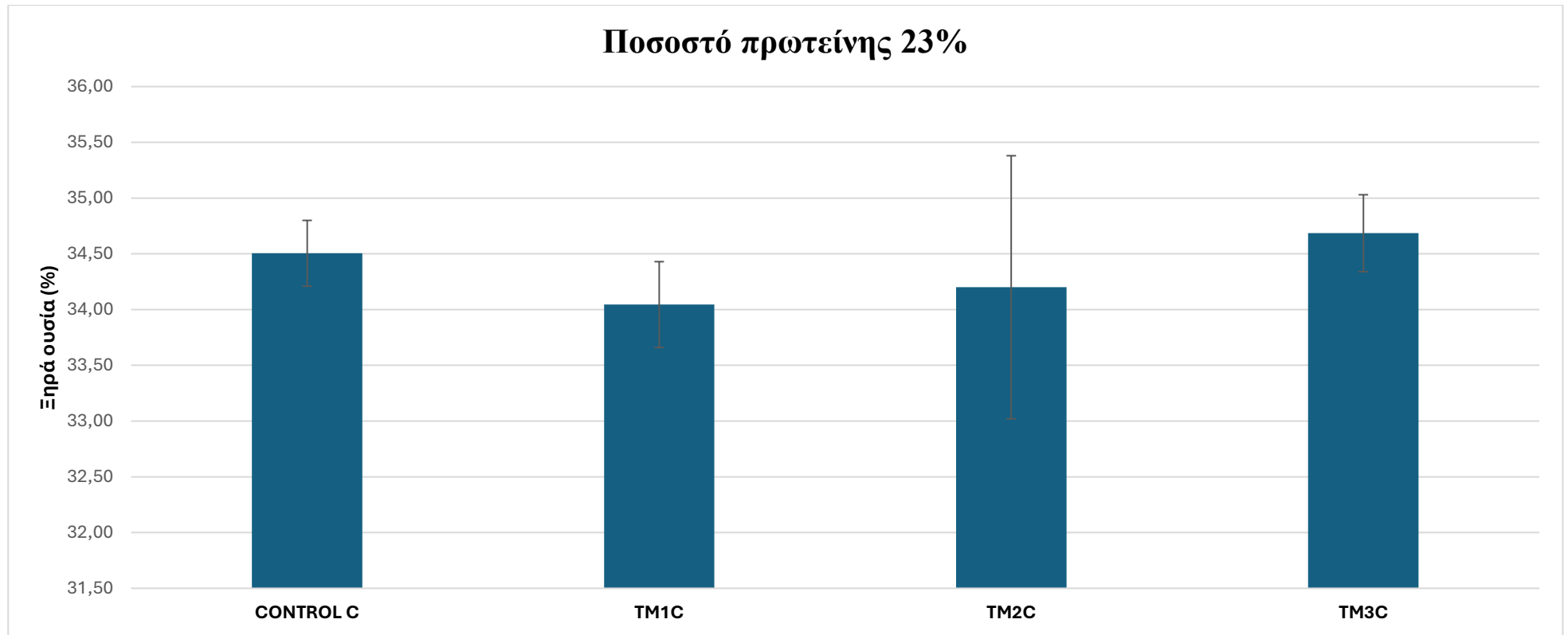
Γράφημα 25: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



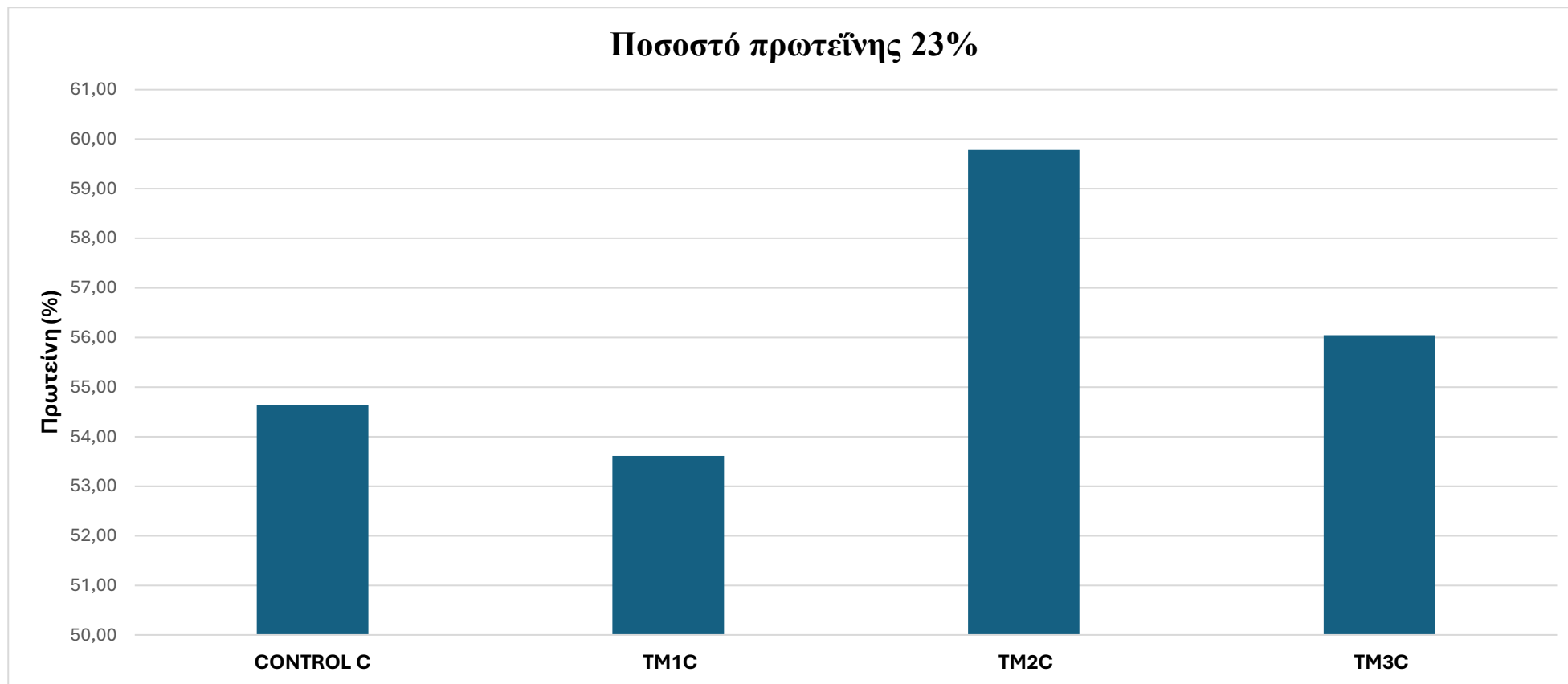
Γράφημα 26: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 23%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



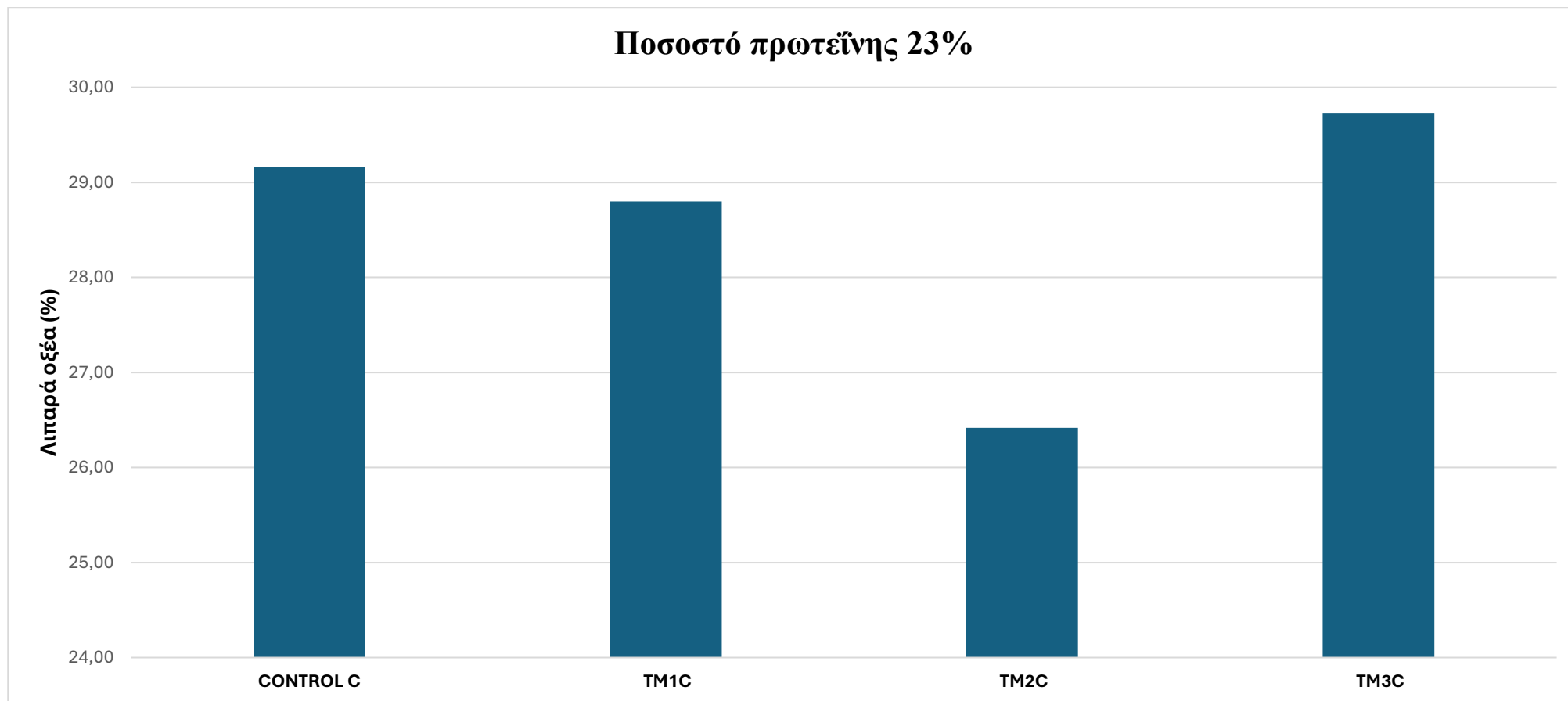
Γράφημα 27: % τέφρα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%.



Γράφημα 28: % περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%.



Γράφημα 29: % Πρωτεΐνη των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%.



Γράφημα 30: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε τρία (3) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 23%.

3.4 Συγκριτική αξιολόγηση προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* στην ομάδα ισοπρωτεϊνικών διαίτων με 25% πρωτεΐνη

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης του μέσου τελικού ατομικού βάρους των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά μείγματα αγροτικών παραπροϊόντων με ποσοστό πρωτεΐνης 25% παρουσιάζονται στον Πίνακα 16 και στο Γράφημα 31. Υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τον Μάρτυρα να υπερσχύει των υπολοίπων μεταχειρίσεων έχοντας τιμή 118.48 mg. Το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών παρουσιάζεται στον Πίνακα 17 και στο Γράφημα 32 όπου παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης καταγράφηκε στις προνύμφες του Μάρτυρα και σε εκείνες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM1D με ποσοστά 82.67 % και 71.67 % αντίστοιχα, ενώ οι προνύμφες της μεταχείρισης TM3D είχαν το μικρότερο ποσοστό επιβίωσης με ποσοστό 56.33 %. Η δίαιτα TM1D περιείχε παραπροϊόντα τριτικάλε, λούπινου και κάνναβης σε ποσότητες 39.49g, 59g και 1.51g αντίστοιχα, ενώ η δίαιτα TM3D περιείχε παραπροϊόν τριτικάλε, βαμβακόπιτα και παραπροϊόν λούπινου σε ποσότητες 36.04g, 15.62g και 48.34g αντίστοιχα. Στον Πίνακα 18 και στο Γράφημα 33 παρουσιάζονται οι χρόνοι ανάπτυξης των προνυμφών σε ημέρες, που αντιπροσωπεύει την εμφάνιση της πρώτης νύμφης στο φιαλίδιο. Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, καθώς η γρηγορότερη ανάπτυξη παρατηρήθηκε στις προνύμφες του Μάρτυρα σε 49.67 ημέρες 39.49g κατά μέσο όρο, ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις η πρώτη νύμφη εμφανίστηκε μετά από τις 60 ημέρες.

Στον Πίνακα 3.19 παρουσιάζονται οι δείκτες αξιοποίησης της τροφής FCR, ECI και SGR. Ο δείκτης FCR που αναφέρεται στη συνολική τροφή που προστέθηκε προς το βάρος που κερδήθηκε (FCR) είχε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, οι μεταχειρίσεις TM1D και TM3D είχαν τις μεγαλύτερες τιμές ενώ ο Μάρτυρας την μικρότερη. Γενικά οι τιμές κυμάνθηκαν από 3.02 έως 5.16, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 34. Ο δεύτερος δείκτης ECI που αφορά το ποσοστό του βάρους που κερδήθηκε προς το βάρος της τροφής που καταναλώθηκε παρουσίασε επίσης στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων με τον Μάρτυρα να υπερέχει όλων των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Το ECI κυμάνθηκε από 19.46 έως 33.30. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στο Γράφημα 35. Ο τελευταίος δείκτης SGR που αναφέρεται στο ποσοστό της διαφοράς του αρχικού από το τελικό σωματικό βάρος των προνυμφών προς τον αριθμό των ημερών έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, οι προνύμφες του Μάρτυρα είχαν την μεγαλύτερη τιμή του δείκτη 9.74 ενώ η μεταχειρίσεις TM1D και TM3D είχαν τιμές 7.08 και 6.99 αντίστοιχα. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται και στο Γράφημα 36.

Στον Πίνακα 3.20 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα στα συστατικά του σώματος των προνυμφών. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (%) καταγράφηκε στις προνύμφες της μεταχείρισης TM3 με ποσοστό 57.23 % ενώ η μικρότερη στις προνύμφες της μεταχείρισης TM1D με ποσοστό 49.72 %,

όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 37. Αναφορικά με την περιεκτικότητα των προνυμφών σε λιπαρά οξέα (%), το μεγαλύτερο ποσοστό καταγράφηκε στην μεταχείριση TM1D με τιμή 29.23 %, ενώ η μεταχείριση TM3D είχε το μικρότερο ποσοστό με τιμή 26.94 %, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 38. Για την περιεκτικότητα σε τέφρα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Το ποσοστό κυμάνθηκε από 3.02 % έως 3.94 % και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στο Γράφημα 39. Τέλος, στην περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, οι προνύμφες του Μάρτυρα είχαν το μεγαλύτερο ποσοστό ξηράς ουσίας με τιμή 35.43 %, ενώ οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στις δίαιτες TM1D και TM3D είχαν ποσοστά 32.53 % και 31.47 % αντίστοιχα. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Γράφημα 40.

Μεταχειρίσεις	Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg)
CONTROL D	118.48 ± 7.47 a
TM1D	74.94 ± 10.54 c
TM3D	90.40 ± 9.89 b

Πίνακας 3.16 Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 25% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	Επιβίωση προνυμφών (%)
CONTROL D	82.67 ± 3.20 a
TM1D	71.67 ± 10.98 a
TM3D	56.33 ± 9.05 b

Πίνακας 3.17 Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών (%) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 25% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες)
CONTROL D	49.67 ± 2.43 a
TM1D	61.50 ± 4.65 b
TM3D	64.50 ± 3.25 b

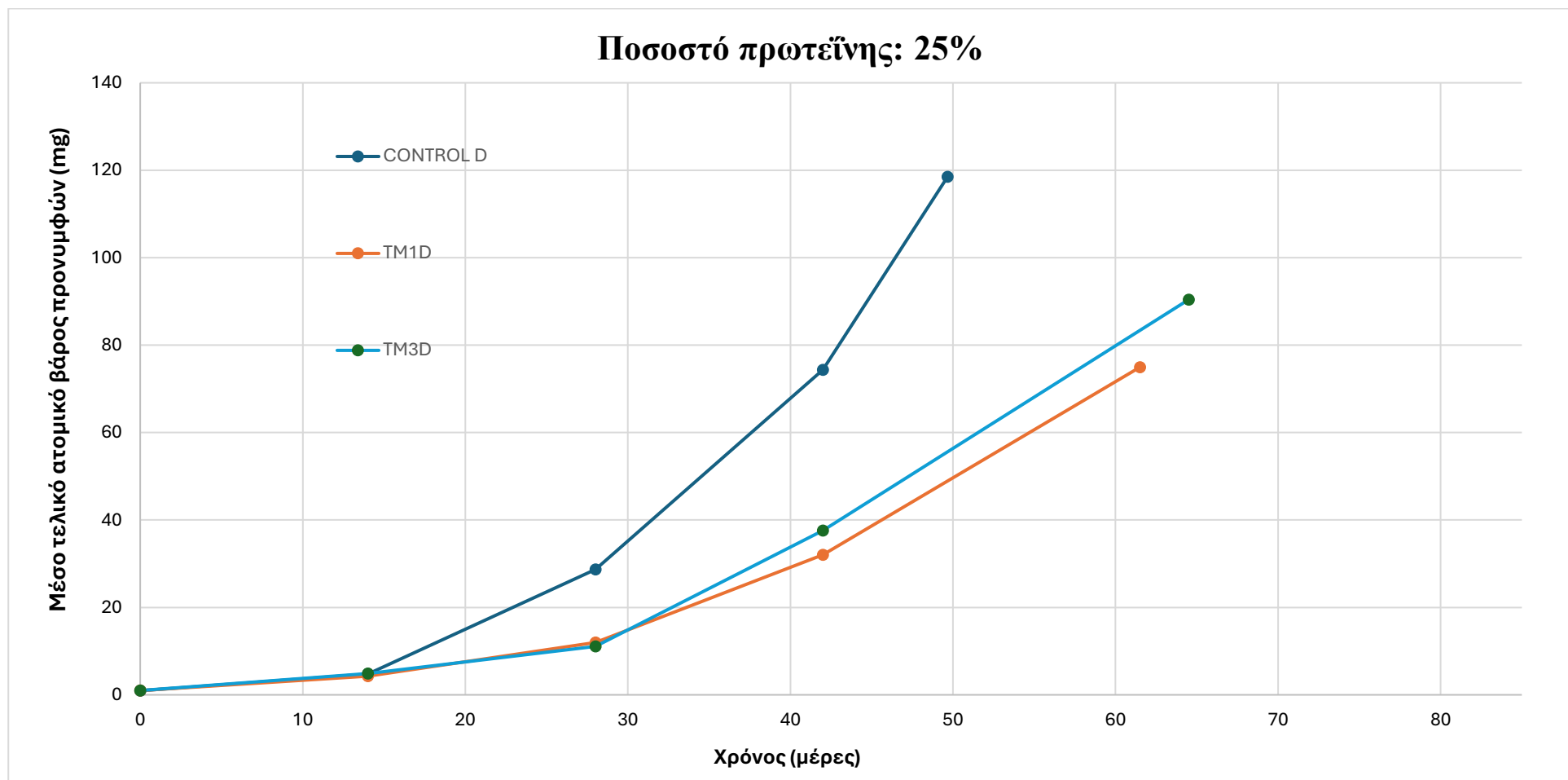
Πίνακας 3.18 Χρόνος ανάπτυξης προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με 25% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχειρίσεις	FCR	ECI	SGR
CONTROL D	3.02 ± 0.24 a	33.30 ± 2.55 a	9.74 ± 0.42 a
TM1D	4.78 ± 0.70 b	21.26 ± 2.92 b	7.08 ± 0.38 b
TM3D	5.16 ± 0.34 b	19.46 ± 1.28 b	6.99 ± 0.22 b

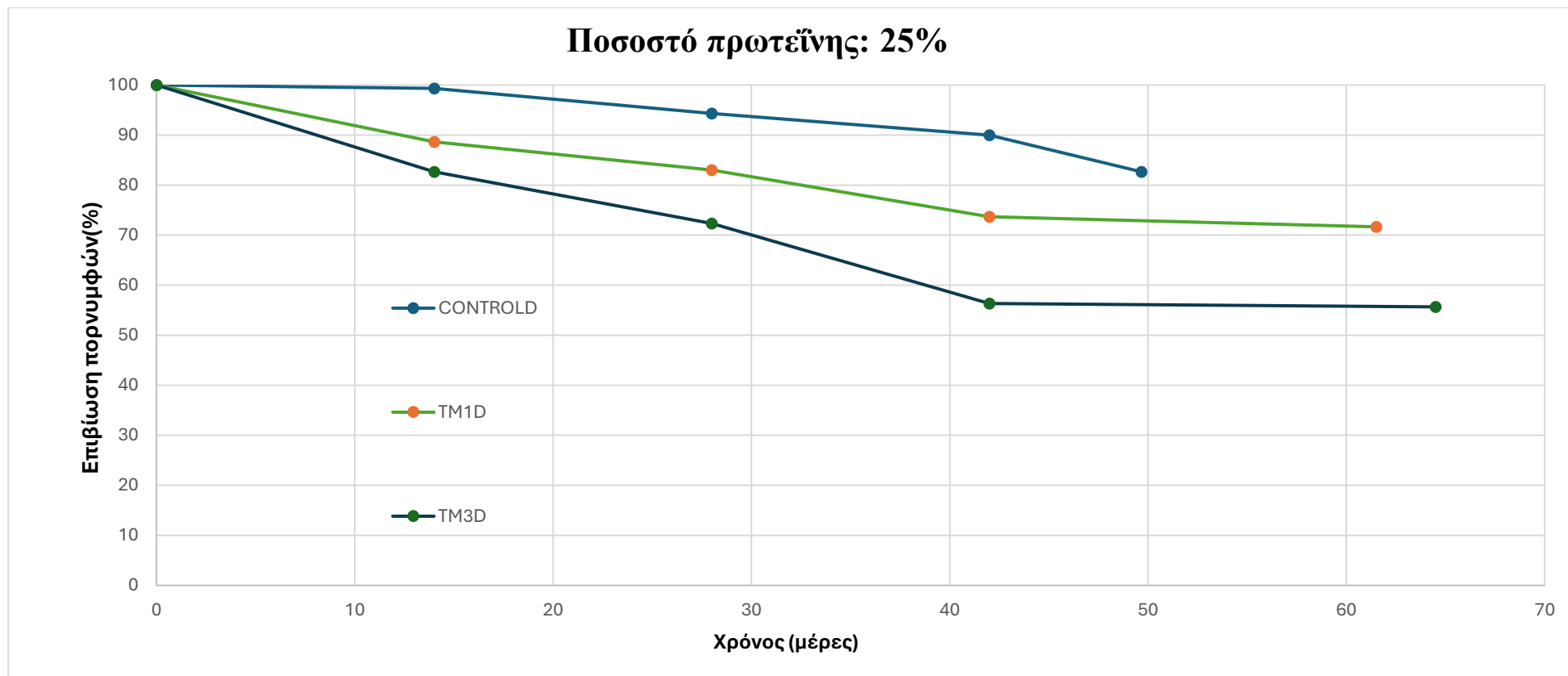
Πίνακας 3.19 Συντελεστές FCR, ECI και SGR των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 25% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Μεταχείριση	Πρωτεΐνη (%)	Λιπαρά οξέα (%)	Τέφρα (%)	Ξηρά ουσία (%)
CONTROL D	55.68	28.20	3.27 ± 0.02	35.43 ± 0.32 a
TM1D	49.72	29.23	3.94 ± 0.12	32.53 ± 0.16 b
TM3D	57.23	26.94	3.02 ± 0.57	31.47 ± 0.21 b

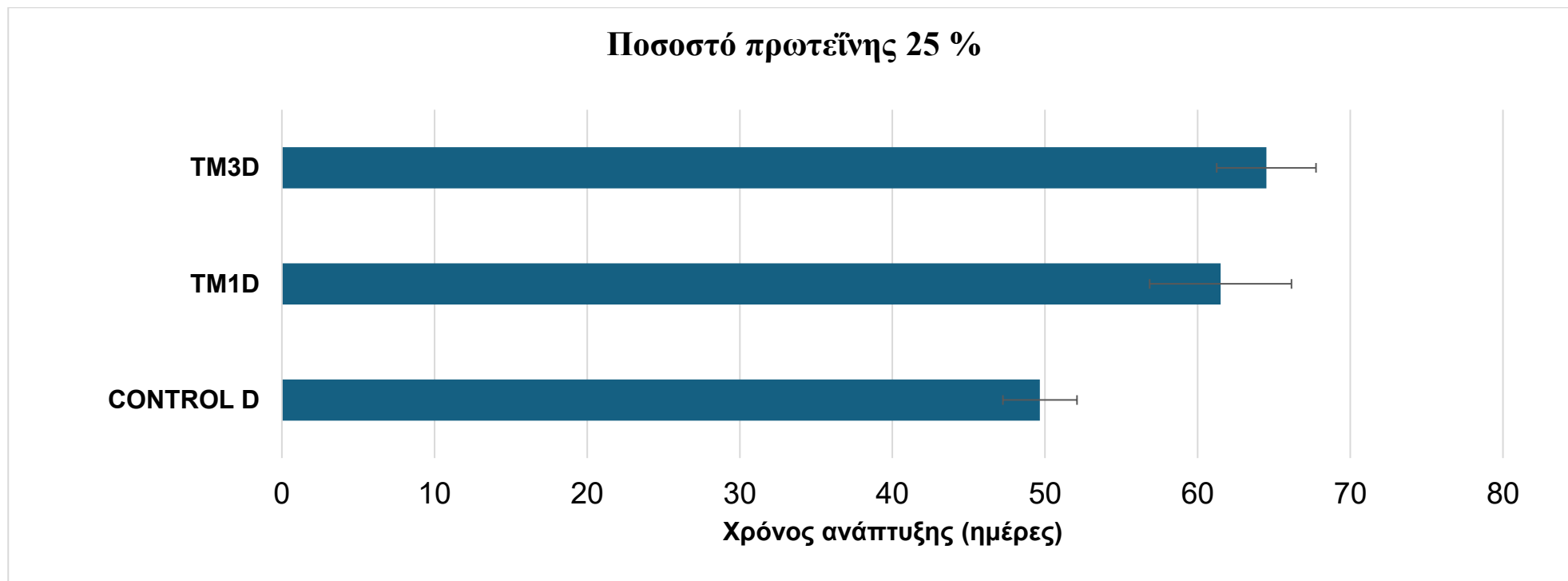
Πίνακας 3.20 Συστατικά του σώματος των προνυμφών που τράφηκαν με θρεπτικά υποστρώματα με 25% πρωτεΐνη. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους ± τυπικό σφάλμα. Οι μέσοι όροι που φέρουν το ίδιο γράμμα δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την μέθοδο Tukey. Όπου δεν υπάρχει κανένα γράμμα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



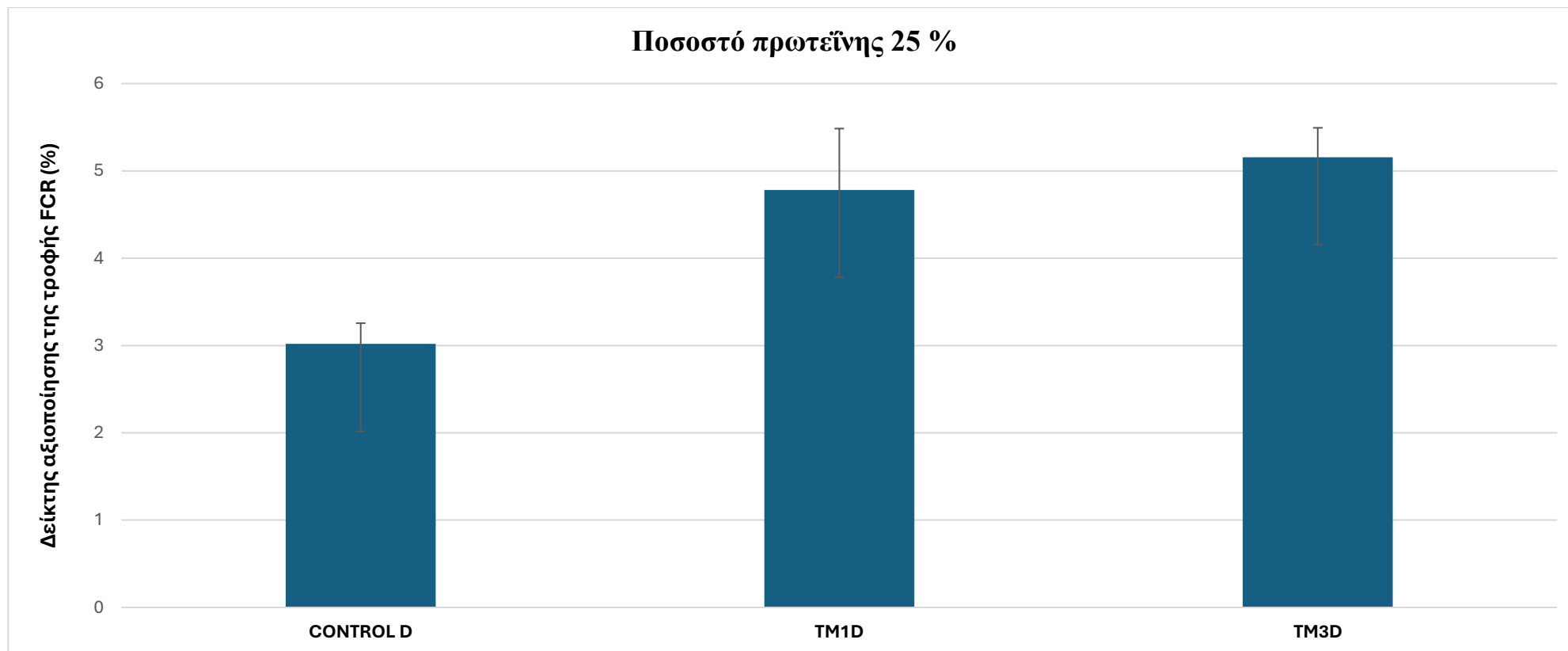
Γράφημα 31: Μέσο τελικό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους.



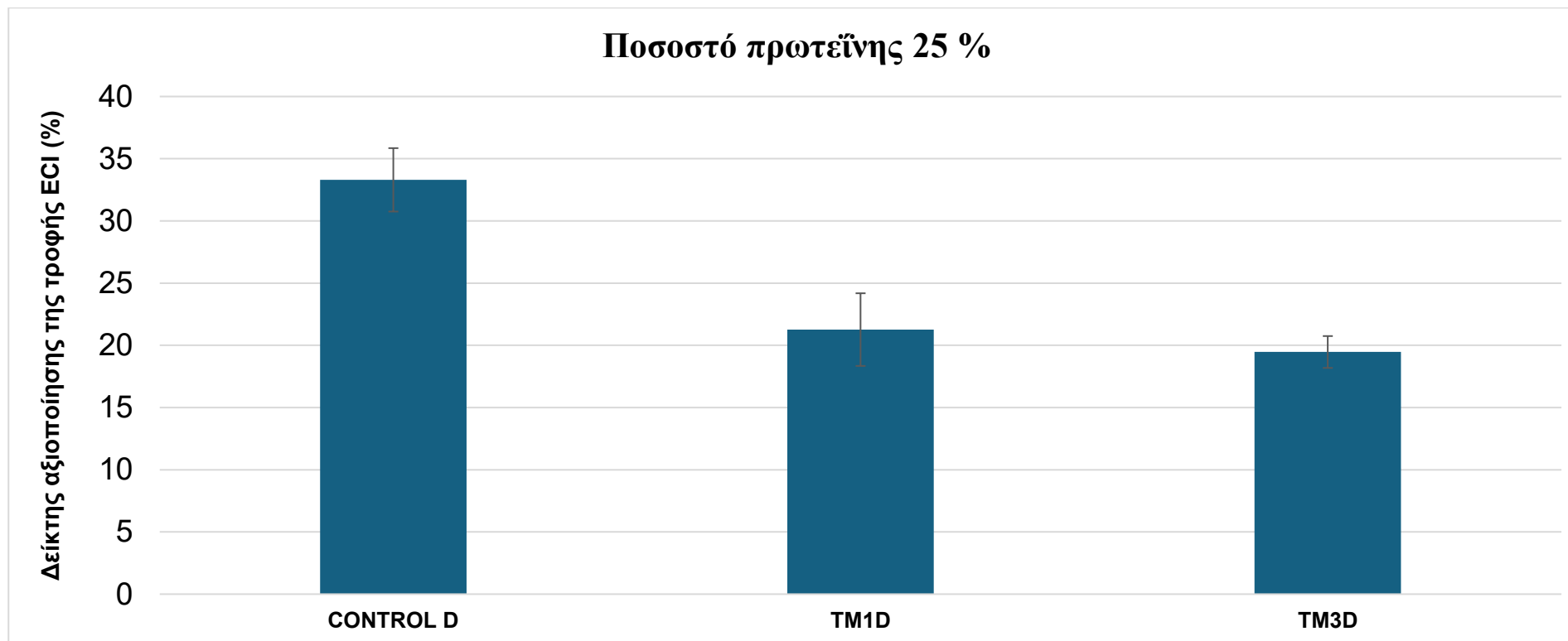
Γράφημα 32: Ποσοστό επιβίωσης (%) που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



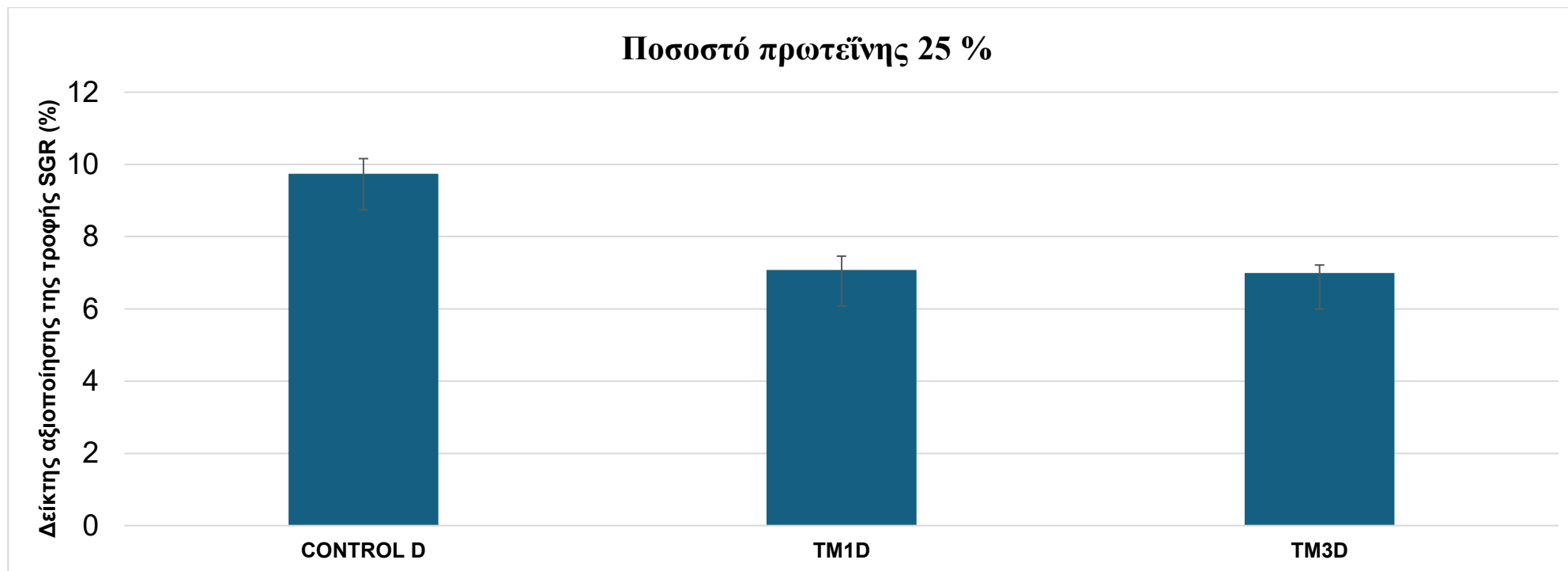
Γράφημα 33: Χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών (σε ημέρες) που αναπτύχθηκαν σε θρεπτικά υποστρώματα με πρωτεΐνη 25%.



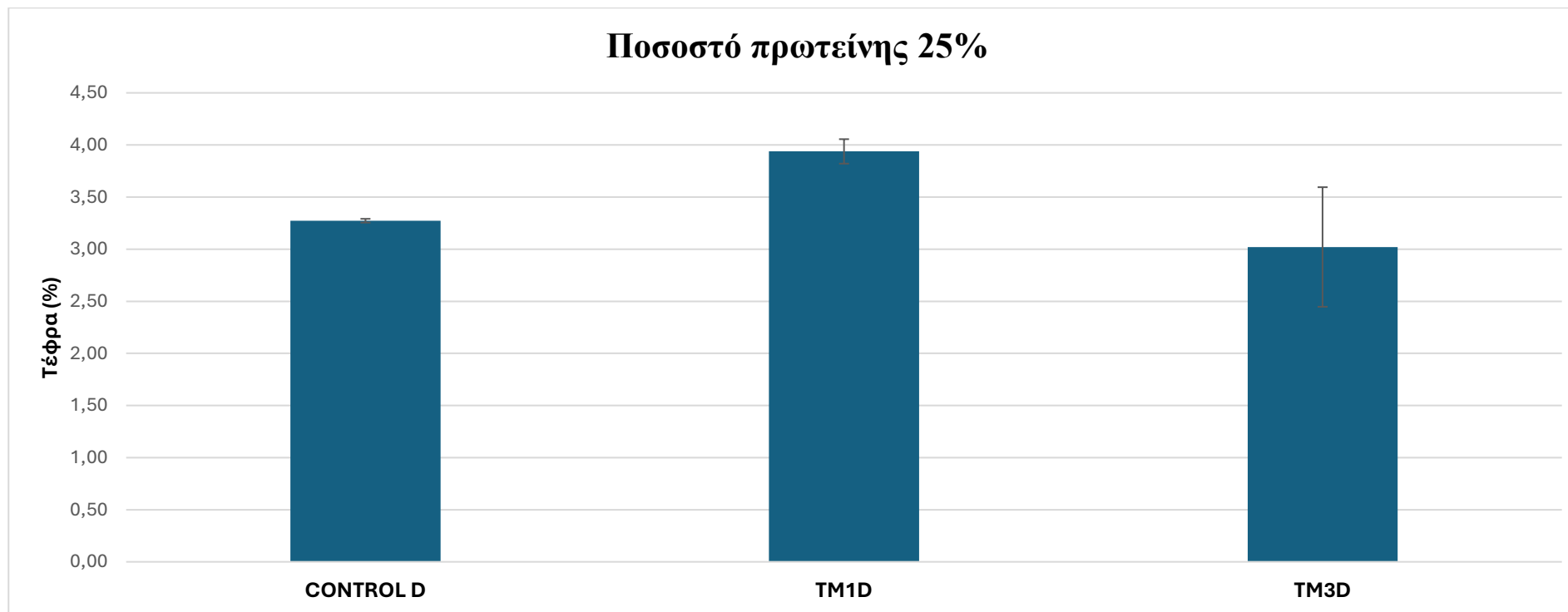
Γράφημα 34: FCR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25%. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



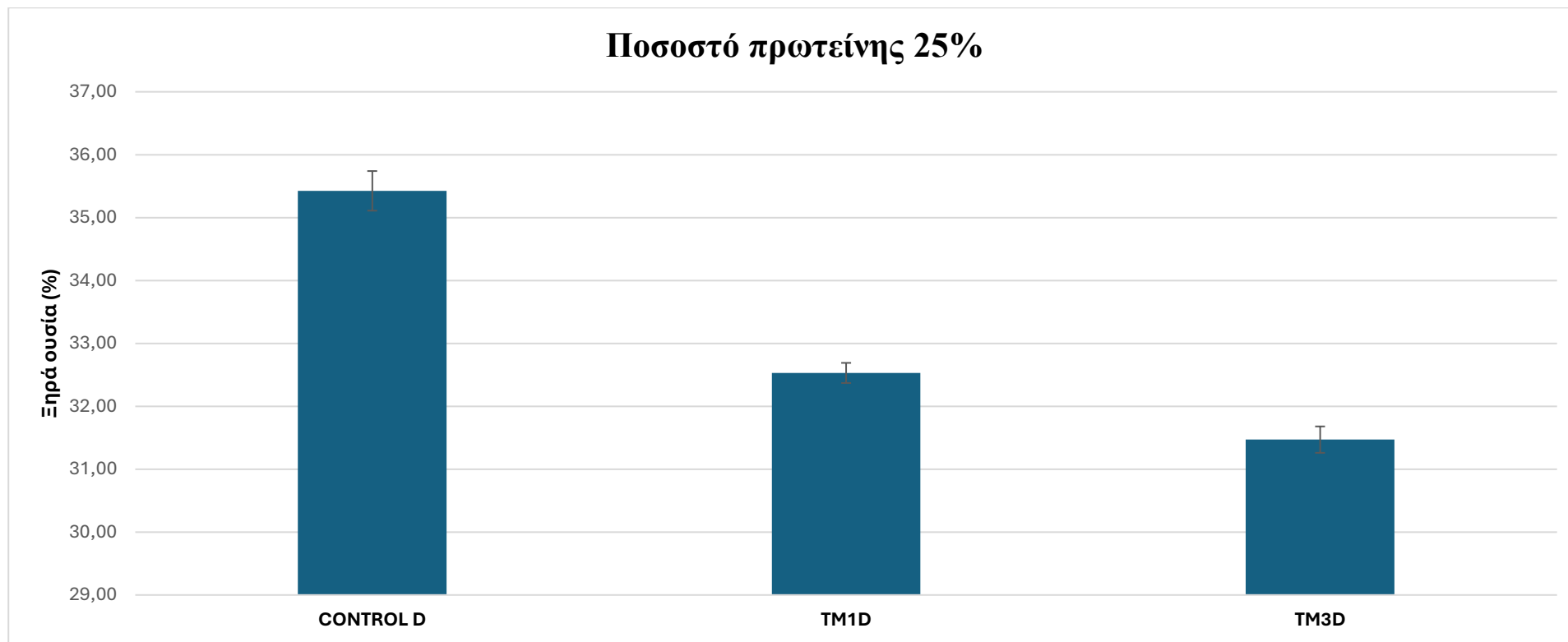
Γράφημα 35: ECI προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



Γράφημα 36: SGR προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα με πρωτεΐνη 25 %. Οι τιμές αφορούν τους μέσους όρους



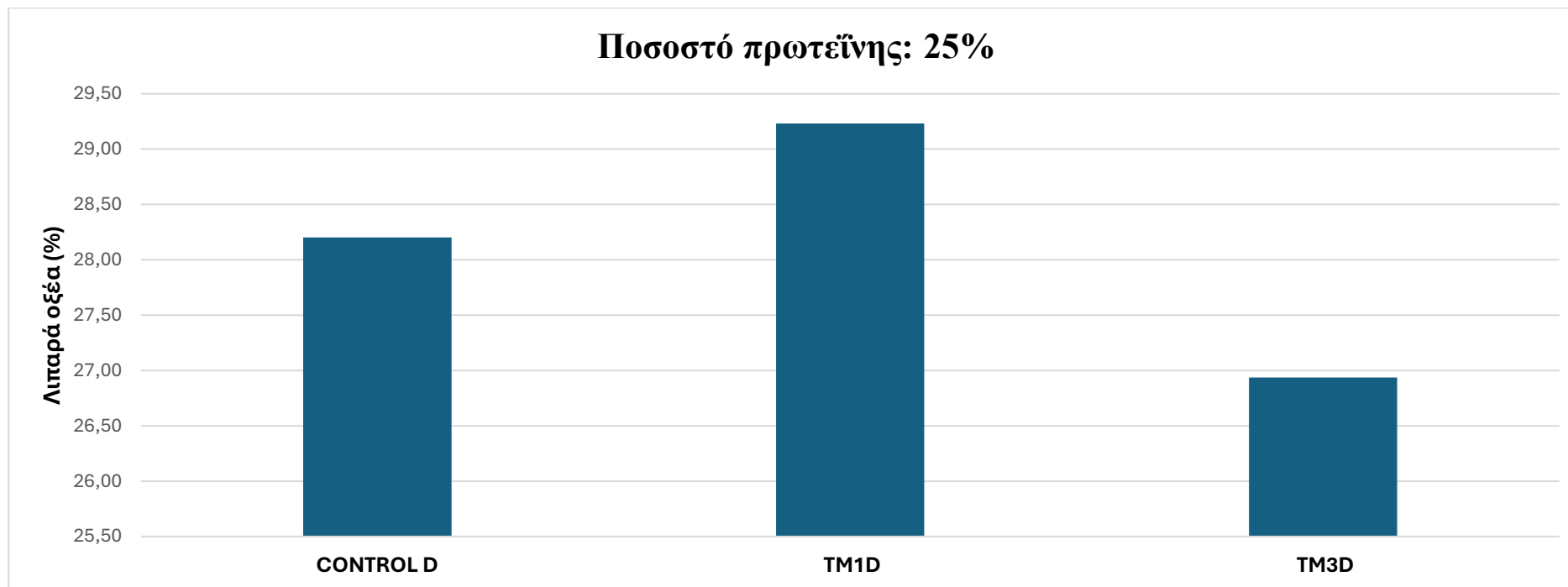
Γράφημα 37: % τέφρα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%.



Γράφημα 38: % περιεκτικότητα ξηράς ουσίας των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%.



Γράφημα 39: % Πρωτεΐνη των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%.



Γράφημα 40: % περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα των προνυμφών που αναπτύχθηκαν σε δύο (2) αγροτικά παραπροϊόντα και σε πίτουρο σιταριού (μάρτυρας) με πρωτεΐνη 25%.

4. Συζήτηση

Οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα τελευταία χρόνια έχουν συμβάλλει στην αύξηση του ενδιαφέροντος της εκτροφής εντόμων ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης και άλλων θρεπτικών στοιχείων, τόσο για την διατροφή των ζώων όσο και των ανθρώπων (EC, 2017, EFSA, 2021).

Η αναζήτηση του κατάλληλου υποστρώματος για την διατροφή του *Tenebrio molitor* και άλλων βρώσιμων εντόμων είναι το βασικό ζήτημα πολλών ερευνών, καθώς αποτελεί έναν κύριο παράγοντα για την ανάπτυξη τους (Morales Ramos et al., 2020, Rumbos et al., 2020). Το υπόστρωμα εκτροφής των εντόμων αποτελεί ένα από τα υψηλότερα κόστη για τις μονάδες παραγωγής εντόμων. Καθώς επεκτείνεται η βιομηχανία παραγωγής εντόμων, η ζήτηση για χαμηλού κόστους και βιώσιμα θρεπτικά υποστρώματα αυξάνεται (Cortes Ortiz et al., 2016). Για την μείωση του κόστους γίνεται αναζήτηση εναλλακτικών υποστρωμάτων που προέρχονται από αγροτικά παραπροϊόντα ή προϊόντα ακατάλληλα για κατανάλωση από ανθρώπους με πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα (Morales Ramos et al., 2020, Cortes Ortiz et al., 2016). 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 (Smetana et al., 2016; Jansson et al., 2015; Van Huis, 2013; Durst et al., 2008).

Τα παραπροϊόντα της αγροτικής παραγωγής, δύναται σύμφωνα με έρευνες να χρησιμοποιηθούν ως θρεπτικά υποστρώματα για την εκτροφή των προνυμφών του *T. molitor* (Oonincx et al., 2015, Van Broekhoven et al., 2015, Ruschioni et al., 2020). Σύμφωνα με τους Ruschioni et al οι προνύμφες του εντόμου *T. molitor* μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μετατροπή των παραπροϊόντων της βιομηχανίας ελαιόλαδου σε βιομάζα υψηλής διατροφικής αξίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι προνύμφες οι οποίες αναπτύχθηκαν σε δίαιτα που περιείχε 25% παραπροϊόντα της παραγωγής ελαιόλαδου, όπως φλούδες και πυρήνες, και 75 % πίτουρο σιταριού παρουσίασαν καλύτερα αποτελέσματα από αυτές που αναπτύχθηκαν δίαιτες με μεγαλύτερη ποσότητα παραπροϊόντων της παραγωγής ελαιόλαδου. Συγκεκριμένα, οι προνύμφες παρουσίασαν υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης, μεγαλύτερο βάρος και μικρότερο χρόνο ανάπτυξης. Σε άλλη έρευνα των Oonincx et al. (2015) αξιολογήθηκαν παραπροϊόντα της βιομηχανίας παραγωγής τροφίμων, όπως παραπροϊόν επεξεργασίας παντζαριού, αποφλοιωμένες πατάτες, παραπροϊόντα ζυθοποιίας, ψωμί και υπολείμματα μπισκότων, σε διάφορες αναλογίες ώστε να σχηματιστούν δίαιτες διαφορετικής περιεκτικότητας λιπαρών οξέων και πρωτεΐνης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα για τις προνύμφες του εντόμου *Hermetia illucens*, τα παραπροϊόντα ζυθοποιίας σε δίαιτα με υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης και λιπαρών οξέων βοηθούν στην γρήγορη ανάπτυξη τους. Για τις προνύμφες του εντόμου *Tenebrio molitor*, η καλύτερη επιλογή ήταν τα παραπροϊόντα ζυθοποιίας σε συνδυασμό με καρότο ως πηγή υγρασίας, καθώς αναπτύχθηκαν γρηγορότερα και αυξήθηκε ο δείκτης ECI. Τέλος, οι Van Broekhoven et al. (2015), αξιολόγησαν τα παραπροϊόντα που αναφέρθηκαν προηγουμένως στις προνύμφες των

εντόμων *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus*. Για τα πρώτα δύο είδη τα ευρήματα συμφωνούν την έρευνα που προαναφέρθηκε. Για τις προνύμφες του εντόμου *Alphitobius diaperinus* τα παραπροϊόντα ζυθοποιίας σε δίαιτα με υψηλή περιεκτικότητα πρωτεΐνης συνέβαλαν στην καλύτερη ανάπτυξη τους, μείωσαν τη θνησιμότητα τους και αύξησαν την τιμή του δείκτη ECI. Τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων ερευνών δείχνουν ότι τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θρεπτικό υπόστρωμα για την εκτροφή εντόμων, συμβάλλοντας στην κυκλική οικονομία. Έτσι, η θεματολογία της βιοδοκιμής που διεξήχθη σχετίζεται με την αξιολόγηση διαφόρων διαίτων με διαφορετικά ποσοστά πρωτεΐνης που βασίζονται σε παραπροϊόντα.

Σχετικά με το μέσο τελικό ατομικό βάρος τη μέγιστη τιμή, 108,94 mg, είχε η μεταχείριση TM2A (17% πρωτεΐνη) ενώ τα μικρότερα βάρη είχαν οι μεταχειρίσεις TM1C (23% πρωτεΐνη) και TM1D (25% πρωτεΐνη) με τιμές 76,35 mg και 74,94 mg αντίστοιχα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι και οι τρεις μεταχειρίσεις περιείχαν παραπροϊόν τριτικάλε, λούπινου και κάνναβης σε διαφορετικές αναλογίες. Η μεταχείριση TM2A είχε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε παραπροϊόν τριτικάλε και κάνναβης. Σύμφωνα με τους Rumbos et al. (2021), το τριτικάλε, παρόλο που έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, αποτελεί ένα καλό υπόστρωμα για τις προνύμφες του εντόμου *T. molitor*, καθώς συμβάλλει στην καλύτερη και γρηγορότερη ανάπτυξη τους. Αυτό το εύρημα έρχεται σε συμφωνία με προηγούμενη μελέτη όπου αποδείχθηκε ότι η υψηλή περιεκτικότητα του υποστρώματος σε πρωτεΐνη δεν σχετίζεται πάντα με την καλύτερη ανάπτυξη του εντόμου (Rumbos et al., 2020). Ακόμα, οι Wael Yakti et.al (2023) αναφέρουν ότι τα παραπροϊόντα κάνναβης ως συστατικά της διατροφής του εντόμου *T. molitor*, αυξάνουν την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη και επηρεάζουν θετικά την ανάπτυξη τους. Σύμφωνα με τους Lawal et al. (2021) η εκτροφή των προνυμφών του είδους *Tenebrio molitor* σε δίαιτες που περιείχαν 20 % σπόρους κάνναβης και 80 % πίτουρο σιταριού είχε επίδραση στη σύνθεση των λιπαρών οξέων. Πιο αναλυτικά, οι προνύμφες είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά, ως το λινελαϊκό οξύ (ω -6) και άλφα-λινολενικό οξύ (ω -3) και χαμηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά. Συνεπώς, οι προνύμφες που αναπτύσσονται σε δίαιτες που περιέχουν σπόρους κάνναβης έχουν υψηλή θρεπτική αξία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή λιπαρών οξέων σε τρόφιμα και ζωοτροφές.

Το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης είχαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε δίαιτες με ποσοστό πρωτεΐνης 17%. Συγκεκριμένα, οι προνύμφες του Μάρτυρα και εκείνες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM4A εμφάνισαν ποσοστά επιβίωσης 95% και 78.33%. Σύμφωνα με έρευνα των Kim et al. (2017) τα παραπροϊόντα κριθαριού που προκύπτουν από την βιομηχανία ζυθοποιίας έχουν υψηλή διατροφική αξία και συμβάλλουν στην καλή ανάπτυξη και στην αύξηση του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών του είδους *T. molitor*. Τα χαμηλότερα ποσοστά επιβίωσης παρουσίασαν οι προνύμφες των μεταχειρίσεων TM3B, TM3C και TM3D με ποσοστά επιβίωσης 56,67 % για τις δύο

πρώτες μεταχειρίσεις και 56,33 % στην τελευταία. Οι τρεις αυτές μεταχειρίσεις περιείχαν βαμβακόπιτα σε ποσοστά 32,5 %, 30,2 % και 15,6 %. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με έρευνα όπου βρέθηκε ότι η βαμβακόπιτα δεν είναι καλό υπόστρωμα για τις προνύμφες του εντόμου *T. Molitor*, καθώς παρουσιάζουν μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης και χαμηλά ποσοστά επιβίωσης (Kotsou *et.al.*, 2024) . Ακόμα, τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με τις παρατηρήσεις των Rumbos *et.al* (2020), οι οποίοι συμπέραναν ότι οι δίαιτες με υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη δεν βοηθούν απαραίτητα στην καλύτερη ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι δίαιτες με χαμηλότερα επίπεδα πρωτεΐνης οδήγησαν σε προνύμφες με υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης. Συνεπώς, κατά τον σχεδιασμό των διαιτών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη επιπλέον παράγοντες, όπως τα λιπαρά οξέα και τα ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα παραπροϊόντα. Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών κυμάνθηκε από 48.50 ημέρες έως 65.67 ημέρες. Τον μικρότερο χρόνο ανάπτυξης, μετά τις προνύμφες Μάρτυρα της ομάδας ισοπρωτεϊνικών διαιτών με 23% πρωτεΐνη, είχαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM3B (20 % πρωτεΐνη). Τον μεγαλύτερο χρόνο ανάπτυξης είχαν οι προνύμφες της μεταχείρισης TM2C (23 % πρωτεΐνη). Και οι δύο δίαιτες περιέχουν παραπροϊόν λούπινου και κριθαριού σε διαφορετικές ποσότητες. Το λούπινο αποτελεί πηγή θρεπτικών συστατικών (Lucas *et al.*, 2015), καθώς σε σύγκριση με τα υπόλοιπα όσπρια περιέχει υψηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης, χαμηλότερο ποσοστό υδατανθράκων και είναι απαλλαγμένο από αντιθρεπτικούς παράγοντες (Musco *et al.*, 2017). Σε έρευνα των Rumbos *et al.* (2021) βρέθηκε ότι η χρήση του λούπινου ως θρεπτικό υπόστρωμα για τις προνύμφες του εντόμου *T. molitor* είχε θετικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη τους. Ακόμα, οι Pascual *et al.* (2024) αξιολόγησαν την θρεπτική αξία διάφορων παραπροϊόντων και κατέληξαν ότι οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα με παραπροϊόν κριθαριού είχαν τον υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης. Άρα η διαφορά των δύο διαιτών ίσως οφείλεται στην διαφορετική αναλογία των παραπροϊόντων λούπινου και κριθαριού και όχι στο ποσοστό πρωτεΐνης.

Σχετικά με τον συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής FCR, την περισσότερη τροφή για την παραγωγή ενός κιλού χρειάστηκαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM3C (23% πρωτεΐνη) με τιμή 5.43. Επίσης, οι προνύμφες της συγκεκριμένης διαίτας εμφάνισαν το μικρότερο ποσοστό επιβίωσης της ομάδας και σχετικά χαμηλό μέσο τελικό ατομικό βάρος. Για τον συντελεστή ECI, που αφορά το ποσοστό του βάρους που κερδήθηκε προς το βάρος τροφής που καταναλώθηκε, τα καλύτερα αποτελέσματα καταγράφηκαν στις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα D1A (17% πρωτεΐνη) με τιμή 29.9. Η μικρότερη τιμή, 19.22, καταγράφηκε στις προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM3C (20% πρωτεΐνη). Το πρώτο δίαιτα έχει την μισή περιεκτικότητα βαμβακόπιτας σε σχέση με την δεύτερη. Ακόμα, η δίαιτα D1A περιέχει παραπροϊόν βρώμης και πίτουρο ρυζιού, τα οποία σύμφωνα με έρευνες ευνοούν την ανάπτυξη των προνυμφών του εντόμου (Gourgouta, 2022). Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς το συγκεκριμένο είδος εντόμου αποτελεί εχθρό των

αποθηκευμένων προϊόντων (δημητριακών) (Hagstrum, 2009; Hagstrum, 2013). Τέλος, για τον συντελεστή SGR, την υψηλότερη τιμή εμφάνισαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM3B (20% πρωτεΐνη) , ενώ την χαμηλότερη αυτές που αναπτύχθηκαν στην δίαιτα TM2C (23% πρωτεΐνη).

Για τα συστατικά του σώματος των προνυμφών, το μεγαλύτερο ποσοστό πρωτεΐνης είχαν οι προνύμφες της μεταχείρισης TM2C (23% πρωτεΐνη). Ωστόσο, η ίδια μεταχείριση είχε όπως αναφέρθηκε παραπάνω τον πιο αργό ρυθμό ανάπτυξης. Το χαμηλότερο ποσοστό πρωτεΐνης είχαν οι προνύμφες της μεταχείρισης TM1A (17% πρωτεΐνη). Όσο αφορά τα λιπαρά οξέα το μεγαλύτερο ποσοστό είχαν οι προνύμφες της διαίτας TM2C (23% πρωτεΐνη) ενώ το χαμηλότερο αυτές της διαίτας D3A (17% πρωτεΐνη). Το μεγαλύτερο ποσοστό ξηράς ουσίας εμφάνισαν οι προνύμφες της μεταχείρισης TM3A της ομάδας ισοπρωτεϊνικών διαίτων με ποσοστό πρωτεΐνης 17%, που τράφηκαν με παραπροϊόν τριτικάλε, κάνναβης και βαμβακόπιτα, ενώ το μικρότερο οι προνύμφες της μεταχείρισης TM3D ομάδας με ποσοστό πρωτεΐνης 25% που τράφηκαν με παραπροϊόν τριτικάλε, λούπινου και βαμβακόπιτα. Τέλος, όσο αφορά την τέφρα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μικρότερο ποσοστό, μετά τις προνύμφες του Μάρτυρα της ομάδας με 17% πρωτεΐνη, είχαν οι προνύμφες της διαίτας D4A (17% πρωτεΐνη). Το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισαν οι προνύμφες που αναπτύχθηκαν στη δίαιτα TM1D της ομάδας με 25% πρωτεΐνη.

Το είδος *Tenebrio molitor* αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη επιλογή στον τομέα της παραγωγής εντόμων για κατανάλωση από ζώα και ανθρώπους. Με την αναμενόμενη αύξηση στον τομέα της εκτροφής εντόμων και τη επακόλουθη ζήτηση, τα συγκεκριμένα αποτελέσματα συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της εκτροφής εντόμων σε βιομηχανική κλίμακα. Τα ευρήματα αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας δείχνουν ότι αγροτικά παραπροϊόντα τριτικάλε, λούπινου, βρώμης και κάνναβης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποστρώματα για την ανάπτυξη προνυμφών του είδους εντόμου *Tenebrio molitor*. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, η μεγαλύτερη περιεκτικότητα των διαίτων σε πρωτεΐνη δεν συνεπάγεται την καλύτερη ανάπτυξη και την υψηλότερη περιεκτικότητα πρωτεΐνης των προνυμφών, αλλά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως τα ιχνοστοιχεία, τα λιπαρά οξέα και η πηγή υγρασίας. Για τον σχεδιασμό της κατάλληλης διαίτας χρειάζεται να είναι γνωστοί οι θρεπτικοί και αντι-θρεπτικοί παράγοντες του κάθε παραπροϊόντος, ώστε να γίνεται ο κατάλληλος συνδυασμός και να υπάρχουν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Σε επόμενες έρευνες θα μπορούσε να αναλυθεί το προφίλ των αμινοξέων και των λιπαρών οξέων των προνυμφών που παράχθηκαν από τις καλύτερες δίαιτες, ώστε να υπάρξει μία πιο ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με την θρεπτική τους αξία και να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική τροφή για ζώα και ανθρώπους.

Βιβλιογραφία

Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R.T., Wong, J. and Wang, L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), pp.166–178.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004>.

Barbi, S., Macavei, L.I., Fuso, A., Luparelli, A.V., Caligiani, A., Ferrari, A.M., Maistrello, L. and Montorsi, M. (2020). Valorization of seasonal agri-food leftovers through insects. *Science of The Total Environment*, 709, p.136209. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136209>.

Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, Å. and Lock, E.-J. (2018). Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 491, pp.72–81. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016>.

Bjørge, J.D., Overgaard, J., Malte, H., Gianotten, N. and 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*, [online] 107(107), pp.89–96. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2018.02.010>.

Bordiean, A., Krzyżaniak, M. and Stolarski, M. J. (2022) “Bioconversion potential of Agro-industrial byproducts by *Tenebrio molitor*—long-term results,”*Insects*, 13(9), p. 810. doi: 10.3390/insects13090810.

Cadinu, L.A., Barra, P., Torre, F., Delogu, F. and Madau, F.A. (2020). Insect Rearing: Potential, Challenges, and Circularity. *Sustainability*, 12(11), p.4567. doi:<https://doi.org/10.3390/su12114567>.

Cerritos, R. (2009) “Insects as food: an ecological, social and economical approach,”*CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, pp. 1–10. doi: 10.1079/pavsnnr20094027.

Chavez, M. (2021) “The sustainability of industrial insect mass rearing for food and feed production: zero waste goals through by-product utilization,” *Current opinion in insect science*, 48, pp. 44–49. doi: 10.1016/j.cois.2021.09.003.

Cherif, A., Mansour, R. and Grissa-Lebdi, K. (2021). The egg parasitoids *Trichogramma*: from laboratory mass rearing to biological control of lepidopteran pests. *Biocontrol Science and Technology*, pp.1–33. doi:<https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1871469>.

de Carvalho, N. M., Madureira, A. R. and Pintado, M. E. (2020) “The potential of insects as food sources – a review,” *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(21), pp. 3642–3652. doi: 10.1080/10408398.2019.1703170.

De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L. and Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, [online] 209, pp.211–218. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>.

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

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., Tsaouri, 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.

Finke, M. D. (2002) “Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores,” *Zoo biology*, 21(3), pp. 269–285. doi: 10.1002/zoo.10031.

Francuski, L. and Beukeboom, L.W. (2020). Insects in production – an introduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(6-7), pp.422–431. doi:<https://doi.org/10.1111/eea.12935>.

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. doi:<https://doi.org/10.4039/ent107551-5>.

Ghaly, A.E. and Alkoaik, F.N. (2009). The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(4), pp.319–331. doi:<https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.319.331>

Gkinali, A.-A.*et al.*(2022) “Potentiality of *Tenebrio molitor* larva-based ingredients for the food industry: A review,” *Trends in food science & technology*, 119, pp. 495–507. doi: 10.1016/j.tifs.2021.11.024.

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

Harsányi, E., Juhász, C., Kovács, E., Huzsvai, L., Pintér, R., Fekete, G., Varga, Z.I., Aleksza, L. and Gyuricza, C. (2020). Evaluation of Organic Wastes as Substrates for Rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* Larvae as Alternative Feed Supplements. *Insects*, 11(9), p.604. doi:<https://doi.org/10.3390/insects11090604>.

Hagstrum, D.W. and Subramanyam, B. (2009). Stored-Product Insect Resource. *ResearchGate*, [online] pp.1–509. Available at: https://www.researchgate.net/publication/319253860_Stored-Product_Insect_Resource [Accessed 4 Feb. 2025].

Lipa, J. (2024). *Atlas of Stored Product Insects and Mites*. AAAC International Inc., St. Paul, Minnesota, USA, 589 pp. Hagstrum D.W., Klejdysz T., Subramanyam B., Nawrot J. 2013. ISBN 978-1-891127-75-5. [online] Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Atlas-of-Stored-Product-Insects-and-Mites.-AAAC-St.-Lipa/6cb92e292dabb9bccf5eca94f5f3ba4ff408d209> [Accessed 4 Feb. 2025].

Hawkey, K. J. et al. (2021) "Insects: A potential source of protein and other nutrients for feed and food," *Annual review of animal biosciences*, 9(1), pp. 333–354. doi: 10.1146/annurev-animal-021419-083930.

Hong, J., Han, T. and Kim, Y. Y. (2020) "Mealworm (*Tenebrio molitor* larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: A review," *Animals: an open access journal from MDPI*, 10(11), p. 2068. doi: 10.3390/ani10112068.

Huis, A. et al. (2021) "Nutritional qualities and enhancement of edible insects," *Annual review of nutrition*, 41(1), pp. 551–576. doi: 10.1146/annurev-nutr-041520-010856.

Huis, A. (2022) "Edible insects: Challenges and prospects," *Entomological research*, 52(4), pp. 161–177. doi: 10.1111/1748-5967.12582.

Hwangbo, J., Hong, E.C., Jang, A., Kang, H.K., Oh, J.S., Kim, B.W. and Park, B.S. (2009). Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *Journal of environmental biology*, [online] 30(4), pp.609–14. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20120505/>.

Kępińska-Pacelik, J. and Biel, W. (2022). Insects in Pet Food Industry—Hope or Threat? *Animals*, 12(12), p.1515. doi:<https://doi.org/10.3390/ani12121515>.

Kim, S.Y., Kim, H.G., Yoon, H.J., Lee, K.Y. and 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(3), pp.194–202. doi:<https://doi.org/10.1111/1748-5967.12236>.

Kotsou, K., Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Bozinou, E. and Lalas, S.I. (2024). Exploiting Agri-Food Waste as Feed for *Tenebrio molitor* Larvae Rearing: A Review. *Foods*, [online] 13(7), p.1027. doi:<https://doi.org/10.3390/foods13071027>.

Lawal, K.G., Kavle, R.R., Akanbi, T.O., Miroso, M. and Agyei, D. (2021). Enrichment in specific fatty acids profile of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* larvae through feeding. *Future Foods*, 3, p.100016. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100016>.

Lucas, M.M., Stoddard, F.L., Annicchiarico, P., Frías, J., Martínez-Villaluenga, C., Sussmann, D., Duranti, M., Seger, A., Zander, P.M. and Pueyo, J.J. (2015). The future of lupin as a protein crop in Europe. *Frontiers in Plant Science*, 6. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00705>.

Mancini, S., Fratini, F., Turchi, B., Mattioli, S., Dal Bosco, A., Tuccinardi, T., Nozic, S. and Paci, G. (2019). Former Foodstuff Products in *Tenebrio Molitor* Rearing: Effects on Growth, Chemical Composition, Microbiological Load, and Antioxidant Status. *Animals*, 9(8), p.484. doi:<https://doi.org/10.3390/ani9080484>.

Montalbán, A., Martínez-Miró, S., Schiavone, A., Madrid, J. and Fuensanta Hernández (2023). Growth Performance, Diet Digestibility, and Chemical Composition of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Fed Agricultural By-Products. *Insects*, 14(10), pp.824–824. doi:<https://doi.org/10.3390/insects14100824>.

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

Musco, N., Cutrignelli, M.I., Calabrò, S., Tudisco, R., Infascelli, F., Grazioli, R., Lo Presti, V., Gresta, F. and Chiofalo, B. (2017). Comparison of nutritional and antinutritional traits among different species (*Lupinus albus*L.,*Lupinus luteus*L.,*Lupinus angustifolius*L.) and varieties of lupin seeds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(6), pp.1227–1241. doi:<https://doi.org/10.1111/jpn.12643>.

Nowakowski, A.C., Miller, A.C., Miller, M.E., Xiao, H. and Wu, X. (2021). Potential health benefits of edible insects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(13), pp.1–10. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867053>.

Ooninx, D.G.A.B. and de Boer, I.J.M. (2012). Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE*, [online] 7(12), p.e51145. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>.

Ooninx, D.G.A.B., van Broekhoven, S., van Huis, A. and van Loon, J.J.A. (2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLOS ONE*, 10(12), p.e0144601. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>.

Pinotti, L. and Ottoboni, M. (2021) “Substrate as insect feed for bio-mass production,” *Journal of insects as food and feed*, 7(5), pp. 585–596. doi: 10.3920/jiff2020.0110.

Ramos-Elorduy, J., González, E.A., Hernández, A.R. and 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(1), pp.214–220. doi:<https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214>.

Ribeiro, N., Abelho, M. and Costa, R. (2018) “A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae),” *Journal of entomological science*, 53(4), pp. 434–454. doi: 10.18474/jes17-67.1.

Ribeiro, N.T.G.M. (2017). *Tenebrio molitor* for food or feed: rearing conditions and the effects of pesticides on its performance. [online] comum.rcaap.pt. Available at: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/18083?locale=en> [Accessed 24 Jul. 2024].

Rumbos, C.I., Bliamplias, D., Gourgouta, M., Michail, V. and Athanassiou, C.G. (2021). Rearing *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* Larvae on Seed Cleaning Process Byproducts. *Insects*, 12(4), p.293. doi:<https://doi.org/10.3390/insects12040293>.

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

C.I. Rumbos, D.G.A.B. Oonincx, I.T. Karapanagiotidis, M. Vrontaki, M. Gourgouta, A. Asimaki, Mente, E. and C.G. Athanassiou (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*, [online] 8(1), pp.9–22. doi:<https://doi.org/10.3920/jiff2021.0044>.

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

Ruschioni, S., Loreto, N., Foligni, R., Mannozi, C., Raffaelli, N., Zamporlini, F., Pasquini, M., Roncolini, A., Cardinali, F., Osimani, A., Aquilanti, L., Isidoro, N., Riolo, P. 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(3), p.317. doi:<https://doi.org/10.3390/foods9030317>

Selaledi, L., Mbajiorgu, C. A. and Mabelebele, M. (2020) “The use of yellow mealworm (*T. molitor*) as alternative source of protein in poultry diets: a review,”*Tropical animal health and production*, 52(1), pp. 7–16. doi: 10.1007/s11250-019-02033-7.

Tan, H. S. G.*et al.*(2015) “Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance,”*Food quality and preference*, 42, pp. 78–89. doi: 10.1016/j.foodqual.2015.01.013.

Tran, G., Heuzé, V. and Makkar, H. P. S. (2015) “Insects in fish diets,” *Animal frontiers*, 5(2), pp. 37–44. doi: 10.2527/af.2015-0018.

van Broekhoven, S., Oonincx, D.G.A.B., van Huis, A. and 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, pp.1–10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>.

van Huis, A., Rumpold, B., Maya, C. and Roos, N. (2021). Nutritional Qualities and Enhancement of Edible Insects. *Annual Review of Nutrition*, 41(1). doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-041520-010856>.

Varelas, V. (2019). Food Wastes as a Potential new Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. *Fermentation*, 5(3), p.81. doi:<https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>.

Verbeke, W.*et al.* (2015) “Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens,” *Animal feed science and technology*, 204, pp. 72–87. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.04.001.

Vrontaki, M., Adamaki-Sotiraki, C., Rumbos, C.I., Anastasiadis, A. and Athanassiou, C.G. (2024). Bridging the Gap: Scaling Up the Sustainable Production of the Yellow Mealworm with Agricultural By-Products—Insights into Larval Growth and Body Composition. *Agriculture*, [online] 14(4), p.520. doi:<https://doi.org/10.3390/agriculture14040520>.

Wael Yakti, Nadja Förster, Müller, M., Mewis, I. and Ulrichs, C. (2023). Hemp Waste as a Substrate for *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) and *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) Rearing. *Insects*, [online] 14(2), pp.183–183. doi:<https://doi.org/10.3390/insects14020183>.

