



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών**



**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού**  
**Περιβάλλοντος**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΦΥΤΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**  
**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΦΥΛΩΝ ΤΟΥ**  
**ΕΙΔΟΥΣ *TENEBRIO MOLITOR***



**Χριστίνα Αδαμάκη-Σωτηράκη**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Αθανασίου Χρήστος**

**Βόλος, 2021**

**Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης διαφόρων φυλών του είδους  
*Tenebrio molitor***

**Αδαμάκη-Σωτηράκη Χριστίνα**

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

**Αθανασίου Γ. Χρήστος**

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Παπαδόπουλος Νικόλαος**

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Βέλλιος Ευάγγελος**

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού  
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Copyright © ΑΔΑΜΑΚΗ-ΣΩΤΗΡΑΚΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ, 2021.**

**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.**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής μου διατριβής κ. Αθανασίου Γ. Χρήστου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με τον συγκεκριμένο θέμα την πολύτιμη βοήθειά του για να έρθει εις πέρας το πείραμα και φυσικά για τις διορθώσεις στη συγγραφή του κειμένου της διατριβής. Θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Δρ. Χ. Ι. Ρούμπο για τις διαφωτιστικές υποδείξεις κατά την εκτέλεση των πειραμάτων.

Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές κ. Ν. Θ. Παπαδόπουλο, και κ. Ε. Βέλλιο για τη συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος θα ήταν παράλειψή μου να μην ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου για την κατανόηση και την ψυχολογική στήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειας

## Περίληψη

Για τη μαζική εκτροφή εντόμων, η βελτίωση των διαδικασιών αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες. Για αυτό το λόγο πολλές μελέτες επικεντρώνονται στην παροχή της καταλληλότερης δίαιτας, υγρασίας και συνθηκών. Παρ' όλα αυτά, το δημοσιευμένο υλικό, όσον αφορά την επίδραση των διαφορετικών φυλών στην ανάπτυξη των εντόμων του ίδιου είδους, είναι ελάχιστο. Έτσι, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με τη συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae).

Για την αξιολόγηση επιλέχθηκαν επτά διαφορετικές φυλές του είδους *T. molitor*, προερχόμενες από την Ελλάδα, την Ιταλία, την Τουρκία, τη Γερμανία, την Αμερική και την Ισπανία. Το υπόστρωμα εκτροφής των φυλών αποτελούνταν από πίτουρο και μαγιά (9: 1), ενώ ως πηγή υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια πατάτας και καρότου. Μετά από μια περίοδο 4 εβδομάδων, κατά την οποία οι προνύμφες του 1<sup>ου</sup> σταδίου αφέθηκαν να τρέφουν ανενόχλητες, παρουσία τροφής και υγρασίας, πραγματοποιούνταν εκτίμηση του βάρους και της επιβίωσης τους κάθε δύο εβδομάδες, μέχρι την εμφάνιση της πρώτης νύμφης. Προσδιορίστηκαν επίσης οι δείκτες αξιοποίησης της τροφής καθώς και η σύσταση του σώματος των προνυμφών. Η ίδια σειρά βιοδοκιμών επαναλήφθηκε απουσία υγρασίας. Σε επόμενη σειρά βιοδοκιμών, ομάδες των 10 ενήλικων του *T. molitor* τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια, μαζί με λευκό αλεύρι ως υπόστρωμα. Τα ενήλικα αφήνονταν να συζευχθούν και να ωτοκόψουν για 4 ημέρες. Τα αυγά συλλέγονταν κάθε 4 ημέρες, ενώ επιπλέον καταγράφονταν η επιβίωση των ενήλικων και το ποσοστό εκκολαψιμότητας των προνυμφών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής, στατιστικώς σημαντικές διαφορές καταγράφηκαν όσον αφορά την ανάπτυξη των προνυμφών των διαφορετικών φυλών στις οποίες παρέχονταν υγρασία. Πιο συγκεκριμένα το βάρος κυμάνθηκε από 87-154 mg ο χρόνος ανάπτυξής τους κυμάνθηκε από 67-156 ημέρες. Ακόμη, σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν στο συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR) καθώς και στο ρυθμό ανάπτυξης των προνυμφών (SGR). Στη βιοδοκιμή όπου οι προνύμφες στερούνταν υγρασία οι φυλές ανταποκρίθηκαν και πάλι με διαφορετικό τρόπο, ενώ επιπλέον παρατηρήθηκε ότι τόσο το βάρος όσο και το

ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών ήταν σημαντικά χαμηλότερα συγκριτικά με τις προνύμφες της βιοδοκιμής στις οποίες παρέχονταν υγρασία. Η παραγωγή αυγών και η επιβίωση των ενηλίκων διέφεραν επίσης σημαντικά μεταξύ των φυλών.

Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η περεταίρω μελέτη των διαφορετικών φυλών του *T. molitor* και η συσχέτισή τους με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία φέρει κάθε μια από αυτές, είναι πολύ πιθανό να δώσει χρήσιμα δεδομένα για τον πρόσφατα αναπτυσσόμενο κλάδο της εκτροφής εντόμων σε εμπορική κλίμακα.

## Abstract

The optimization of insect mass-rearing is one of the current priorities of insect sector. Although considerable research has been directed to diet improvement, the strain effect on insect growth and development is often overlooked. In the present study, we comparatively evaluated the larval development and egg production of seven *Tenebrio molitor* strains.

In laboratory bioassays, the larval development of strains from Greece, Italy (2), Turkey, Germany, USA and Spain were studied, using wheat bran and dry yeast (9:1) as feeding substrate and carrot and potato as moisture source. After a 4-week period in which 1<sup>st</sup>-instar larvae were allowed to feed undisturbed, larval weight and survival were evaluated every two weeks until the emergence of the first pupa. The feed conversion ratio and the total development time were also determined. The same bioassay repeated without the moisture source. In another series of bioassays, the egg production of adults of the tested strains was investigated. Groups of 10 adults were placed in plastic vials, together with white flour as oviposition substrate, and left undisturbed to mate and oviposit. Laid eggs were collected every 4 d. Adult survival and larval hatchability were also recorded.

Significant differences among strains were recorded with regard to the final individual larval weight, which ranged between 87-154 mg, as well as the total development time (67-156 days). There were also significant differences in the feed conversion ratio (FCR) as well as in the larval growth rate (SGR). In the case of absence of moisture, the strains responded differently and it was also observed that both the weight and the survival rate of the larvae were significantly lower compared to the larvae that received moisture. Egg production and adult survival also varied considerably between strains. These results suggest that the insect strain used in *T. molitor* mass-rearing can exert a substantial impact on insect biomass production and should be taken into consideration in commercial insect-producing facilities.

Εγώ, η Αδαμάκη-Σωτηράκη Χριστίνα, είμαι ο συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής. Αυτή η μεταπτυχιακή διατριβή, αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή ή μεταπτυχιακή διατριβή ή ως μέρος διδακτορικής διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής, δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Τέλος, έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.



## Πίνακας περιεχομένων

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 1.       | Εισαγωγή.....   | 1  |
| 1.1.     | Χρήση των εντόμων ως ζωοτροφή.....  | 2  |
| 1.2.     | Εντομοφαγία .....   | 3  |
| 1.3.     | Εκτροφή εντόμων σε εμπορική κλίμακα.....  | 4  |
| 1.4.     | Τα πλεονεκτήματα της εκτροφής εντόμων.....  | 6  |
| 1.5.     | Ο σκώληκας του αλεύρου ( <i>Tenebrio molitor</i> L.) .....  | 8  |
| 1.5.1.   | Βιολογία και κύκλος ζωής .....  | 8  |
| 1.6.     | Εκτροφή πληθυσμών με σκοπό την έκφραση του βέλτιστου δυναμικού τους.....  | 10 |
| 1.6.1.   | Βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης για το <i>Tenebrio molitor</i> .....   | 12 |
| 1.6.1.1. | Η βέλτιστη διατροφή .....   | 12 |
| 1.6.1.2. | Η βέλτιστες θερμοκρασίες.....   | 15 |
| 1.6.1.3. | Βέλτιστες πηγές υγρασίας .....  | 15 |
| 1.6.1.4. | Βέλτιστη πυκνότητα ατόμων .....   | 16 |
| 1.7.     | Επιλογή της κατάλληλης φυλής .....  | 16 |
| 1.8.     | Σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής.....   | 18 |
| 2.       | Υλικά και Μέθοδοι .....   | 19 |
| 2.1.     | Προέλευση φυλών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> .....  | 19 |
| 2.2.     | Συνθήκες διατήρησης εκτροφών .....  | 21 |
| 2.3.     | Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> , παρουσία υγρασίας..... | 22 |
| 2.3.1.   | Μεθοδολογία πειράματος .....  | 22 |
| 2.3.2.   | Συλλογή προνυμφών 1 <sup>ου</sup> σταδίου.....  | 24 |
| 2.3.3.   | Δείκτες αξιοποίησης της τροφής.....   | 25 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.3.4.   | Προσδιορισμός συστατικών του σώματος των προνυμφών .....   | 26 |
| 2.3.4.1. | Προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών .....  | 27 |
| 2.3.4.2. | Μέθοδος προσδιορισμού ολικών λιπαρών ουσιών .....  | 29 |
| 2.3.4.3. | Προσδιορισμός ενέργειας .....  | 30 |
| 2.4.     | Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών έξι διαφορετικών φυλών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> , απουσία υγρασίας ..... | 31 |
| 2.5.     | Συγκριτική αξιολόγηση του αναπαραγωγικού δυναμικού έξι διαφορετικών φυλών του είδους <i>Tenebrio molitor</i> .....                   | 32 |
| 2.6.     | Στατιστική ανάλυση .....   | 35 |
| 3.       | Αποτελέσμα .....   | 36 |
| 3.1.     | Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του <i>Tenebrio molitor</i> , παρουσία υγρασίας .....      | 36 |
| 3.2.     | Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών έξι διαφορετικών φυλών του <i>Tenebrio molitor</i> , απουσία υγρασίας .....        | 41 |
| 3.3.     | Συγκριτική αξιολόγηση του αναπαραγωγικού δυναμικού έξι διαφορετικών φυλών του <i>Tenebrio molitor</i> . 46                           |    |
| 4.       | Συζήτηση .....   | 56 |
|          | Βιβλιογραφικές αναφορές .....  | 63 |
|          | Παράρτημα .....  | 70 |

# 1. Εισαγωγή

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις την οποία καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα σήμερα, είναι να εξακολουθήσει να παρέχει τροφή στο συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό της. Στην πρόκληση αυτή, έρχεται να προστεθεί η ραγδαία κλιματική αλλαγή των τελευταίων χρόνων καθώς και τα περιορισμένα περιθώρια επέκτασης της γης και του νερού που χρησιμοποιούνται στον τομέα της γεωργίας. Μέχρι το 2050 υπολογίζεται ότι, ο παγκόσμιος πληθυσμός στον πλανήτη μας θα φτάσει τα 9.7 δισεκατομμύρια. Σήμερα, ο παγκόσμιος πληθυσμός ανέρχεται στα 7.7 δισεκατομμύρια, εξ αυτών 820 χιλιάδες άνθρωποι υποφέρουν από υποσιτισμό ([United Nations, 2019](#)). Ακόμη, η έλλειψη βιταμινών και θρεπτικών ουσιών τα οποία είναι απαραίτητα στον οργανισμό μας σε μικρή ποσότητα (ιχνοστοιχεία), αποτελεί μια μεγαλύτερη απειλή. Το αίσθημα της πείνας δεν προειδοποιεί για την έλλειψη αυτών των ιχνοστοιχείων και έτσι η “αόρατη πείνα” απειλεί τουλάχιστον 2 δισεκατομμύρια ανθρώπους, ανάμεσά τους και κατοίκους πλουσίων χωρών. Στις ανεπτυγμένες χώρες η “αόρατη πείνα” μπορεί να συνυπάρχει με την παχυσαρκία, όταν ένα άτομο καταναλώνει συστατικά υψηλής διατροφικής ενέργειας όπως λίπη και υδατάνθρακες. Έτσι, αν και φαίνεται παράδοξο, ένα παχύσαρκο παιδί μπορεί να υποφέρει από την “αόρατη πείνα” ([Schatz, 2012](#); [von Grebmer et al., 2014](#)).

Η εκτροφή εντόμων για ζωική αλλά και ανθρώπινη κατανάλωση, αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο κλάδο καθώς τα έντομα είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, θρεπτικά συστατικά και βιταμίνες. Ως απάντηση μάλιστα στην ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών, τα περισσότερα είδη εντόμων περιέχουν λιπαρά οξέα, φυτικές ίνες, βιταμίνες και μικροθρεπτικά συστατικά όπως χαλκό, σίδηρο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, φωσφόρο, σελήνιο και ψευδάργυρο ([DeFoliart, 1992](#); [Bukkens, 1997](#); [Christensen et al., 2006](#); [Shockley and Dossey, 2014](#)). Παρ’ όλα αυτά, ο τομέας της εκτροφής εντόμων βρίσκεται σε ένα αρκετά πρώιμο στάδιο. Έτσι, υπάρχουν πολλά θέματα τα οποία πρέπει να μελετηθούν και να ληφθούν υπόψη προκειμένου να κερδίσουν τα έντομα μια σημαντική θέση στην αγορά. Το κατάλληλο υπόστρωμα εκτροφής, η παροχή υγρασίας σε επαρκείς ποσότητες, οι συνθήκες διατήρησης των εκτροφών είναι μερικές μόνο από τις παραμέτρους οι οποίες είναι απαραίτητο να βελτιωθούν ([Murray, 1968](#); [Davis, 1975](#); [Hansen et al., 2004](#); [Ghaly and Alkoaik, 2009](#); [Han and Dingemans, 2017](#); [Bjørge et al., 2018](#); [Rumbos et al., 2020](#)). Επιπλέον, ξεκινώντας την εκτροφή

ενός νέου είδους η προέλευση του πληθυσμού, και κατά συνέπεια η παγίωση της φυλής στην οποία ανήκει, αποτελεί ένα ζήτημα μείζονος σημασίας (Urs and Hopkins, 1973a, 1973b; van Huis *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2013).

### 1.1. Χρήση των εντόμων ως ζωοτροφή

Σήμερα, όσον αφορά τις ζωοτροφές, οι σημαντικότερες πηγές πρωτεΐνης είναι τα ιχθυάλευρα, οι μεταποιημένες ζωικές πρωτεΐνες και η σόγια. Ωστόσο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει απαγορεύσει τη χρήση επεξεργασμένων ζωικών πρωτεϊνών σε δίαιτες χοίρων και πουλερικών, λόγω της μεταδοτικής σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας. Επιπλέον, σε παγκόσμιο επίπεδο η διαθεσιμότητα γης για την καλλιέργεια της σόγιας είναι περιορισμένη και η υπεραλίευση έχει μειώσει τον πληθυσμό των μικρών ψαριών τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ιχθυαλεύρων. Τέλος, η συνεχώς αυξανόμενη έλλειψη πόρων για την παραγωγή των προαναφερθέντων συστατικών διπλασίασε τις τιμές τα τελευταία 5 χρόνια. Τα συστατικά αυτά μάλιστα αντιπροσωπεύουν το 60 έως 70% του κόστους παραγωγής. Επομένως, η εύρεση εναλλακτικών (ζωικών) πηγών πρωτεΐνης για τα ζώα αποτελεί πλέον επιτακτική ανάγκη (Veldkamp and Bosch, 2015).

Τα έντομα που αναγνωρίζονται ως πιο ελπιδοφόρα για τη βιομηχανική παραγωγή στον δυτικό κόσμο είναι η “μύγα μαύρος στρατιώτης” *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), η κοινή μύγα *Musca domestica* (L.) (Diptera: Muscidae) και ο σκώληκας του αλεύρου *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae). Σε γενικά πλαίσια, το ποσοστό των απαραίτητων αμινοξέων των εντόμων αυτών είναι υψηλό και το προφίλ τους είναι κοντά στο προφίλ της σόγιας, η οποία χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Ενδεικτικά, οι Newton *et al.* (2005) αναφέρουν ότι το *H. illucens* αποτελεί κατάλληλο συστατικό στη δίαιτα των χοίρων. Οι Hwangbo *et al.* (2009) ασχολήθηκαν με τις δίαιτες πουλερικών, στις οποίες αντικατέστησαν το 5, 10, 15 και 20% των συστατικών τους με προνύμφες του *M. domestica*. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι δίαιτες οι οποίες περιείχαν προνύμφες σε ποσοστό 10 και 15% αύξησαν το βάρος και βελτίωσαν την ανάπτυξη των εκτρεφόμενων ζώων. Ομοίως, οι Awoniyi *et al.* (2003) διεξήγαγαν πειράματα τα οποία σχετιζόνταν με την προσθήκη προνυμφών του *M.*

*domestica* σε δίαιτες πουλερικών. Όσον αφορά την πρόσληψη βάρους και την περιεκτικότητά των πουλερικών σε πρωτεΐνη, οι επιστήμονες ανέφεραν θετικά αποτελέσματα με την αντικατάσταση του 25% των ιχθυαλεύρων τις δίαιτας. Οι [Ramos-Elorduy et al. \(2002\)](#) αντικατέστησαν τη σόγια στη δίαιτα πουλερικών με προνύμφες του είδους *T. molitor* σε ποσοστό 0, 5 και 10%. Η μελέτη τους έδειξε ότι το *T. molitor* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή πρωτεϊνών για τα εκτρεφόμενα πουλερικά και να αντικαταστήσει ικανοποιητικά τη σόγια στη δίαιτά τους. Ακόμη, δίαιτες οι οποίες περιέχουν προνύμφες του *T. molitor* είναι ικανές να χρησιμοποιηθούν ως τροφή σε ιχθυοκαλλιέργειες διαφόρων ειδών ψαριών όπως το Πελαγίσιο λυθρίνι *Pagellus bogaraveo* (Brünnich) (Perciformes: Sparidae) και η τιλάπια του Νείλου *Oreochromis niloticus* (L.) (Cichliformes: Cichlidae) ([Iaconisi et al., 2017](#); [Fontes et al., 2019](#)).

## 1.2. Εντομοφαγία

Η λέξη εντομοφαγία προέρχεται από τις αρχαίες ελληνικές λέξεις έντομος και φάγειν και παρά το γεγονός ότι η εντομοφαγία εικάζεται ως μια νέα λύση για τον αυξανόμενο πληθυσμό, η ιδέα δεν είναι καθόλου πρωτότυπη. Ο Αριστοτέλης μάλιστα αναφέρεται στη συγκομιδή των τζιτζικιών στο “Περί ζώων ιστορίας” (384-322 π.Χ.). Σύμφωνα με τον Έλληνα επιστήμονα και φιλόσοφο, τα θηλυκά άτομα του είδους έχουν καλύτερη γεύση μετά το ζευγάρισμα, καθώς περιέχουν αυγά, ενώ σε γενικές γραμμές τα αρσενικά άτομα είναι εκείνα που έχουν την καλύτερη γεύση από όλα ([van Huis et al., 2013](#)). Σήμερα, σε πολλά μέρη του κόσμου η κατανάλωση εντόμων εκτιμάται ότι αποτελεί μέρος της παραδοσιακής διατροφής τουλάχιστον 2 δισεκατομμυρίων ανθρώπων. Συγκεκριμένα η μεγαλύτερη κατανάλωση εντόμων λαμβάνει χώρα στην Ασία, στη Λατινική Αμερική και στην Αφρική ([Bukkens, 1997](#)). Ο λόγος για τον οποίο καταναλώνονται είναι κυρίως η υψηλή διατροφική τους αξία. Σύμφωνα με τους [Christensen et al. \(2006\)](#) 10 g γρύλων παρέχει σχεδόν 8 έως 17 φορές την συνιστώμενη από τον [FAO \(2001\)](#) ποσότητα σιδήρου καθώς και 60% έως 83% της συνιστώμενης δόσης ψευδαργύρου. Επιπλέον οι [Agbidye et al. \(2009\)](#) αναφέρουν ότι η κατανάλωση 100 g προνυμφών ορισμένων ειδών της οικογένειας Pyralidae, έχει βρεθεί ότι καλύπτει το 76% των ημερήσιων αναγκών ενός ανθρώπου σε πρωτεΐνη και σχεδόν το 100% της ημερήσιας συνιστώμενης ποσότητας σε βιταμίνες.

Παρ' όλα αυτά, ένα από τα βασικότερα προβλήματα είναι η εποχιακή διαθεσιμότητα των εντόμων. Επί παραδείγματι, στη Λαϊκή Δημοκρατία του Λάος πολλά έντομα όπως οι γρύλοι *Tarbinskiellus portentosus* (Lichtenstein) (Orthoptera: Gryllidae), τα κοκκοειδή *Drosicha* sp. (Hemiptera: Coccoidea), ορισμένα σκαθάρια της υποοικογένειας Scarabaeinae, τα τζιτζίκια (Cicadidae), τα μυρμήγκια *Oecophylla smaragdina* (Fabricius) (Hymenoptera: Formicidae) και οι ακρίδες (Orthoptera) μπορούν να συλληθούν από το φυσικό τους περιβάλλον μόνο μερικούς μήνες το χρόνο (van Huis *et al.*, 2013). Ακόμη, οι Christensen *et al.* (2006) αναφέρουν ότι στην περιοχή όπου ζει η εθνότητα Luo της Κένυας τα μυρμήγκια και οι τερμίτες εμφανίζονται μόνο κατά τις περιόδους με παρατεταμένες βροχοπτώσεις. Αντίθετα, οι γρύλλοι κάνουν την εμφάνισή τους την περίοδο που απουσιάζουν οι βροχοπτώσεις και είναι δυνατόν να συλληθούν μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας.

### 1.3. Εκτροφή εντόμων σε εμπορική κλίμακα

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η εκτροφή εντόμων σε εμπορική κλίμακα έρχεται να δώσει λύση στην εποχιακή διαθεσιμότητα των εντόμων. Σε γενικά πλαίσια, εάν κάποιος πραγματοποιήσει μια επισκόπηση όλης της υπάρχουσας ζωής στη γη θα αντιληφθεί ότι η πιο άφθονη μορφή είναι τα έντομα. Ο συνολικός αριθμός των ειδών των ζώων ανέρχεται στα 1.4 εκατομμύρια. Από αυτά, πάνω από το 1 εκατομμύριο είναι έντομα (van Huis *et al.*, 2013). Αυτήν την τεράστια βιοποικιλότητα ο άνθρωπος έχει καταφέρει ήδη εν μέρη να την κάνει σύμμαχό του, καθώς επωφελείται από τα έντομα για χιλιάδες χρόνια με διάφορους τρόπους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι μέλισσες (Hymenoptera: Apidae) από τις οποίες ο άνθρωπος προμηθεύεται μέλι, πρόπολη, κερύ και βασιλικό πολτό. Επιπλέον, πέρα από τα προϊόντα τους, σε ορισμένα μέρη του κόσμου καταναλώνονται οι ίδιες οι προνύμφες των μελισσών καθώς είναι πλούσιες σε πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα, μέταλλα, και βιταμίνη Β (Crittenden, 2011). Ακόμη, το είδος *Bombyx mori* (L.) (Lepidoptera: Bombycidae) χρησιμοποιείται εδώ και 5.000 χρόνια για την παραγωγή μεταξιού, ενώ τα κοκκοειδή του είδους *Dactylopius coccus* (Costa) (Hemiptera: Dactylopiidae) αποτελεί πηγή φυσικής κόκκινης βαφής (Zhang *et al.*, 2008; Campana *et al.*, 2015). Τέλος, η ρεσιλίνη, μια πρωτεΐνη την οποία παράγουν τα έντομα ώστε να πραγματοποιούν άλματα, χρησιμοποιείται λόγω των

ελαστικών ιδιοτήτων της χρησιμοποιείται στην ιατρική για την επιδιόρθωση αρτηριών (Elvin *et al.*, 2005).

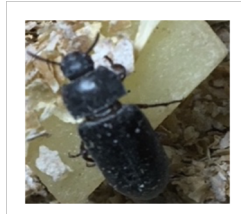
Τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει έρευνα για την αξιοποίηση των εντόμων ως πηγή πρωτεΐνης. Στην Ευρώπη η επίσημη άδεια ενσωμάτωσης πρωτεϊνών σε ζωοτροφές αποτελεί ένα πρόσφατο επίτευγμα. Ο Κανονισμός 2017/893 της ΕΕ τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2017 και επιτρέπει τη χρήση πρωτεϊνών προερχόμενες από έντομα σε ιχθυοκαλλιέργειες. Τα είδη εντόμων τα οποία επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής: το *T. molitor*, το μικρό σκαθάρι των αλεύρων *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), το *H. illucens*, το *M. domestica*, ο οικοδίατος γρύλλος *Acheta domesticus* (L.) (Orthoptera: Gryllidae), ο σικτικός μαύρος γρύλλος *Gryllodes sigillatus* (Walker) (Orthoptera: Gryllidae) και ο αγροδίατος γρύλλος *Gryllus assimilis* (Fabricius) (Orthoptera: Gryllidae) (Εικόνα 1).



The black soldier fly (BSF)  
(*Hermetia illucens*)<sup>1</sup>



The housefly (*Musca domestica*)<sup>2</sup>



The Yellow Mealworm (*Tenebrio*)



The Lesser Mealworm  
(*Alphitobius diaperinus*)<sup>4</sup>



The House cricket  
(*Acheta domesticus*)<sup>5</sup>



Banded cricket  
(*Gryllodes sigillatus*)<sup>6</sup>



Banded cricket  
(*Gryllus assimilis*)<sup>7</sup>

Εικόνα 1 Εκτρεφόμενα έντομα τα οποία προορίζονται για παραγωγή ζωοτροφών σε ιχθυοκαλλιέργειες.

<sup>1</sup><https://wiki.nus.edu.sg/display/TAX/Hermetia+illucens+-+Black+Soldier+Fly>

<sup>2</sup> <https://irac-online.org/pests/musca-domestica/>

<sup>3</sup> Προσωπικό αρχείο

<sup>4</sup> [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/livestock/poultry/lesser\\_mealworm.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/livestock/poultry/lesser_mealworm.htm)

<sup>5</sup> <https://bugguide.net/node/view/273267>

<sup>6</sup> <https://bugguide.net/node/view/723787>

<sup>7</sup> <https://www.ruinemans.com/en/product/67214-gryllus-assimilis-4>

#### 1.4. Τα πλεονεκτήματα της εκτροφής εντόμων

Σύμφωνα με τον [FAO \(2020\)](#) η συνεχής επέκταση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και των βοσκοτόπων αποτελούν τις κυριότερες αιτίες υποβάθμισης του οικοσυστήματος και της απώλειας της βιοποικιλότητας των τροπικών δασών. Το 40% της αποψίλωσης των τροπικών δασών οφείλεται στην παραγωγή σόγιας, φοινικέλαιου και κρέατος άμεσα ως βοσκότοποι και κτηνοτροφικές μονάδες αλλά και έμμεσα για την παραγωγή τροφής για ζωική κατανάλωση. Ταυτόχρονα ο τομέας της κτηνοτροφίας είναι υπεύθυνος για την έκλυση αερίων τα οποία επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στα αέρια αυτά περιλαμβάνονται το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και η αμμωνία. Συγκεκριμένα για το μεθάνιο, το αέριο παραμένει στην ατμόσφαιρα για 9-15 χρόνια και συγκρατεί 23 φορές περισσότερη θερμότητα από ότι το διοξείδιο του άνθρακα. Μόνο οι αγελάδες προκαλούν το 41% της έκλυσης των προαναφερθέντων αερίων, ενώ οι χοίροι και τα κοτόπουλα το 9 και 8% αντίστοιχα ([Gerber et al., 2013](#)).

Για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών επισιτιστικής ασφάλειας και βιωσιμότητας, η παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί, ενώ το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της γεωργίας πρέπει να συρρικνωθεί δραματικά. Η επιλογή παραγωγής πρωτεϊνών προερχόμενες από έντομα αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη λύση στα προαναφερθέντα προβλήματα. Τα πλεονεκτήματα της εκτροφής εντόμων περιλαμβάνουν τη μειωμένη χρήση γης και νερού καθώς και την μειωμένη εκπομπή αερίων τα οποία επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Και ενώ τα έντομα χρειάζονται τόσο μικρά ποσοστά φυσικών πόρων ώστε να παραχθούν, ένα ακόμη χαρακτηριστικό έρχεται να προστεθεί στα πλεονεκτήματά τους. Τα έντομα υπάγονται στην κατηγορία των ψυχρόαιμων ζώων. Έτσι δε χρειάζεται να σπαταλήσουν πολύτιμη ενέργεια ώστε να διατηρήσουν τη θερμοκρασία του σώματός τους, συγκριτικά με τα θερμόαιμα ζώα. Το χαρακτηριστικό αυτό τους επιτρέπει να μετατρέπουν σε βιομάζα, μεγαλύτερα ποσοστά της τροφής που καταναλώνουν ([van Huis et al., 2013](#)). Επιπλέον, στα σημαντικά χαρακτηριστικά των εντόμων κατατάσσονται η εξαιρετικά γρήγορη ανάπτυξή τους καθώς και το υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό του ([Oonincx and de Boer, 2012](#)). Ακόμη, τα έντομα έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλώνουν οργανικά παραπροϊόντα με χαμηλή διατροφική αξία και να τα μετατρέπουν σε υψηλά ποσοστά πρωτεΐνη εντός του σώματός τους. Έτσι, μειώνεται η επιβάρυνση του



περιβάλλοντος ενώ ταυτόχρονα προσδίδεται αξία στα προϊόντα ([Ramos-Elorduy et al., 2002](#)). Μελέτες, υποστηρίζουν ότι το 60% των ασθενειών μεταφέρονται στον άνθρωπο από τα θερμόαιμα ζώα. Όσον αφορά τα έντομα η μετάδοση ζωνοσόων είναι μειωμένη. Κάτι τέτοιο συμβαίνει καθώς η προσαρμογή ενός παθογόνου σε έναν νέο φορέα σχετίζεται άμεσα με τη γενετική ομοιότητα μεταξύ των δύο ειδών. Έτσι, λόγω του ότι ταξινομικά τα έντομα απέχουν περισσότερο από το ανθρώπινο είδος συγκριτικά με θερμόαιμα ζώα, ο κίνδυνος μετάδοσης μιας ζωνοσώου από τα έντομα στον άνθρωπο είναι εξαιρετικά μειωμένος ([Taylor et al., 2001](#); [van Huis et al., 2013](#)). Τέλος, σύμφωνα με έρευνες τα έντομα είναι πλούσια σε αμινοξέα, μονοακόρεστα λιπαρά οξέα, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και μικροθρεπτικά συστατικά όπως χαλκό, σίδηρο, μαγνήσιο, ψευδάργυρο, μαγγάνιο, φώσφορο, σελήνιο, ρομοφλαβίνη, παντοθενικό οξύ (Βιταμίνη Β5), βιοτίνη και φολικό οξύ ([Rumpold and Schlüter, 2013](#)).

## 1.5. Ο σκώληκας του αλεύρου (*Tenebrio molitor* L.)

Ο σκώληκας του αλεύρου περιεγράφηκε για πρώτη φορά από τον Κάρολο Λινναίο το έτος 1758. Το συγκεκριμένο έντομο θεωρείται εχθρός των αποθηκευμένων προϊόντων καθώς προσβάλλει αποθηκευμένους σπόρους και σχετικά αμυλούχα προϊόντα. Παρόλα αυτά, δε θεωρείται σημαντικός εχθρός καθώς τα ενήλικα στάδια στερούνται της ικανότητας πτήσης. Ο όρος “σκώληκας” απαντάται στο προνυμφικό στάδιο του εντόμου, καθώς όπως όλα τα ολομετάβολα έντομα, οι προνύμφες του *T. molitor* διαφέρουν από τα ενήλικα άτομα του είδους, στη μορφολογία και σε διάφορες άλλες ιδιότητες. Οι περιοχές στις οποίες είναι δυνατόν να βρεθεί το συγκεκριμένο έντομο είναι τα σκοτεινά και υγρά μέρη (Ghaly and Alkoaik, 2009).

### 1.5.1. Βιολογία και κύκλος ζωής

Ένας ολοκληρωμένος βιολογικός κύκλος του είδους *T. molitor* αποτελείται από αυγά, προνύμφες, νύμφες και ενήλικα (Εικόνα 2). Τα αυγά του είδους *T. molitor* έχουν μικρό μέγεθος και φέρουν κολλώδη υφή. Το μήκος τους κυμαίνεται από 1,7-1,8 mm και το πλάτος τους από 0,6-0,7 mm. Η εκκόλαψη των προνυμφών από τα αυγά πραγματοποιείται με το πέρας 8 έως 12 ημερών. Το ποσοστό εκκολαψιμότητας των προνυμφών του είδους *T. molitor* είναι αρκετά υψηλό. Το χρώμα των προνυμφών του σταδίου (νεοεκκολαφθείσες προνύμφες) είναι υπόλευκο και το μήκος τους είναι περίπου 2mm. Με το πέρας των ημερών και όσο οι προνύμφες τρέφονται, το χρώμα του μεταβάλλεται σε καφέ-κίτρινο (Ghaly and Alkoaik, 2009; Drnevich *et al.*, 2001). Επιπλέον, τα ατελή στάδια του *T. molitor* (προνύμφες) έχουν κυλινδρικό σχήμα σώματος, φέρουν χιτινισμένη κεφαλική κάψα, αντιτιθέμενες άνω γνάθους και έξι θωρακικά πόδια με πέντε άρθρα, ενώ στερούνται κοιλιακών ποδιών. Οι προνύμφες πραγματοποιούν εκδύσεις κατά την αύξηση του μεγέθους και του βάρους τους λόγω του χιτινισμένου εξωσκελετού που τις περιβάλλει. Ο αριθμός των εκδύσεων, το βάρος και η ταχύτητα ολοκλήρωσης του σταδίου ποικίλλουν και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες (Anastasaki *et al.*, 2015; Morales-Ramos *et al.*, 2015; Van Broekhoven *et al.*, 2015). Κατά το προνυμφικό στάδιο τα έντομα τρέφονται και αποθηκεύουν ενέργεια την οποία θα αξιοποιήσουν στα επόμενα στάδια της ζωής τους. Στη συνέχεια τα έντομα

μεταβαίνουν στο νυμφικό στάδιο. Η νύμφη έχει υπόλευκο χρώμα, ενώ δεν τρέφεται και δεν κινείται. Τα ενήλικα άτομα του *T. molitor* είναι αρχικά υπόλευκα και φέρουν μαλακό εξωσκελετό. Με το πέρασ πέντε ημερών από την εμφάνισή τους τα ενήλικα άτομα ωριμάζουν αναπαραγωγικά, ο εξωσκελετός τους σκληραίνει και έχει μαύρο, γυαλιστερό χρωματισμό καθώς μετατρέπεται σε έντονα χιτινισμένο (Gerber, 1975). Επιπλέον, τα ενήλικα άτομα φέρουν πρόσθιες πτέρυγες τροποποιημένες σε ισχυρά έλυτρα, οι οποίες όταν το έντομο είναι σε ηρεμία καλύπτουν τις οπίσθιες πτέρυγες. Με το πέρασ περίπου μίας εβδομάδας τα ενήλικα ζευγαρώνουν και αναπαράγονται. Λίγες ημέρες μετά το ζευγάρισμα, τα θηλυκά άτομα ωοτοκούν. Το αναπαραγωγικό δυναμικό επηρεάζεται από την ηλικία και το βάρος των ενήλικων θηλυκών ατόμων (Morales-Ramos *et al.*, 2012; Morales-Ramos *et al.*, 2019). Μεγάλο ρόλο στην έκφραση των παραπάνω χαρακτηριστικών διαδραματίζει και η φυλή στην οποία ανήκουν οι διαφορετικές φυλές του είδους (Urs and Hopkins, 1973a, 1973b).



Προνύμφες του είδους  
*Tenebrio molitor*.



Νύμφη του είδους  
*Tenebrio molitor*.



Ενήλικο του είδους  
*Tenebrio molitor*.

Εικόνα 2 Προνυμφικό, νυμφικό και ενήλικο στάδιο του είδους *Tenebrio molitor* (Προσωπικό αρχείο).

## 1.6. Εκτροφή πληθυσμών με σκοπό την έκφραση του βέλτιστου δυναμικού τους

Για να διατηρηθούν οι πληθυσμοί υγιείς και να εκφράσουν το βέλτιστο δυναμικό τους, υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να συνάδουν με τις απαιτήσεις των διαφόρων σταδίων της ζωής του εκάστοτε εκτρεφόμενου πληθυσμού. Ένας από τους βασικούς τομείς ο οποίος απασχολεί τους επιστήμονες είναι ο σχεδιασμός της καταλληλότερης διαίτας. Ο σχεδιασμός της κατάλληλης διαίτας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το είδος, το στάδιο στο οποίο βρίσκεται, το φύλο και τους παράγοντες του περιβάλλοντος στο οποίο ζει και τρέφεται το έντομο. Για να θεωρηθεί μια τροφή βέλτιστη θα πρέπει να παρέχεται στις σωστές ποσότητες. Επιπλέον, είναι γνωστό ότι η βέλτιστη διατροφή σχετίζεται τόσο με τα θρεπτικά τα οποία περιέχει όσο και με την ισορροπία μεταξύ αυτών. Στην περίπτωση την οποία δεν υπάρχει ισορροπία μεταξύ των θρεπτικών, τα έντομα καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες τροφής για να παραλάβουν τα απαραίτητα θρεπτικά. Ενώ, όταν κάποιο θρεπτικό συστατικό λείπει από την τροφή τα έντομα επιχειρούν να το παράξουν τα ίδια, με μια διαδικασία η οποία είναι αρκετά δαπανηρή (Chapman, 1998). Επί παραδείγματι οι Jensen *et al.* (2017) αναφέρουν ότι οι απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά αλλά και σε ποσότητα τροφής όταν επιδιώκεται η αύξηση του σωματικού βάρους των προνυμφών διαφέρουν από τις απαιτήσεις για τη μεγιστοποίηση του ρυθμού αναπαραγωγής των ενηλίκων. Στο σχεδιασμό της βέλτιστης διαίτας έρχεται να προστεθεί η αναζήτηση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης με χαμηλό κόστος (Rumbos *et al.*, 2020).

Σε γενικά πλαίσια, απαραίτητα συστατικά της διαίτας των εντόμων αποτελούν τα μακροθρεπτικά όπως οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και τα λιπίδια. Παρ' όλα αυτά, εξίσου απαραίτητα είναι και τα μικροθρεπτικά συστατικά όπως οι βιταμίνες, τα μέταλλα και οι στερόλες (λινελαϊκό οξύ, τρυπτοφάνη, αργινίνη, λυσίνη, ιστιδίνη, φαινυλαλανίνη, ισολευκίνη, θρεονίνη, λευκίνη, και βαλίνη) (Jensen *et al.*, 2017). Όσον αφορά τις πρωτεΐνες η συμβολή τους είναι πολύ μεγάλη καθώς συμβάλλουν στην πορεία της ανάπτυξης, ενώ τα ανώριμα στάδια τα οποία τρέφονται με διαίτες πλούσιες σε πρωτεΐνες έχουν μεγαλύτερο μέγεθος σώματος. Όσον αφορά τα ενήλικα στάδια, οι πρωτεΐνες συμβάλλουν στη μείωση του χρόνου ανάπτυξης, ενώ συγκεκριμένα τα θυληκά άτομα παρουσιάζουν αυξημένους ρυθμούς αναπαραγωγής (Han and

[Dingemans, 2017](#)). Τέλος, ισχύει ότι οι δίαιτες πλούσιες σε πρωτεΐνες προσδίδουν διαφορετικά χαρακτηριστικά στα έντομα σε σύγκριση με τις δίαιτες πλούσιες σε ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, έντομα τα οποία τρέφονται με δίαιτες πλούσιες σε πρωτεΐνες έχουν αυξημένο μέγεθος και υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Αντιθέτως, έντομα τα οποία έχουν τραφεί με δίαιτες πλούσιες σε ενέργεια έχουν υψηλή περιεκτικότητα λιπιδίων και έχουν τη δυνατότητα να αντέξουν μεγαλύτερες περιόδους χωρίς τροφή ([Rho and Lee, 2014](#)).

Καθοριστικό ρόλο για τους ποικιλόθερμους οργανισμούς, όπως τα έντομα, διαδραματίζουν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η υγρασία και η θερμοκρασία. Τα τελευταία χρόνια πολλές μελέτες έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στο αντίκτυπο που έχουν οι διάφορες θερμοκρασίες σε χαρακτηριστικά των εντόμων όπως η σύνθεση του σώματος τους και η συμπεριφορά. Σε γενικά πλαίσια, αυξάνοντας τη θερμοκρασία αυξάνεται και η ανάπτυξη. Όμως, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες επιφέρουν αρνητικά αποτελέσματα. Οι κατάλληλες θερμοκρασίες κατά την εκτροφή επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό 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](#); [Bjørge et al., 2018](#)). Διάφορες μελέτες επικεντρώνονται επίσης στην εύρεση της βέλτιστης πυκνότητας των πληθυσμών στους χώρους εκτροφής ώστε να εξοικονομηθεί χώρος και να παραχθεί η μέγιστη ποσότητα βιομάζας ([Morales-Ramos et al., 2012, 2015](#)).

## 1.6.1. Βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης για το *Tenebrio molitor*

### 1.6.1.1. Η βέλτιστη διατροφή

Πολλές είναι οι έρευνες οι οποίες έχουν αξιολογήσει τη συμβολή της διατροφής στη μαζική παραγωγή του *T. molitor*. Οι [Van Broekhoven et al., \(2015\)](#) ανέφεραν ότι η επιβίωση των προνυμφών είναι υψηλότερη και ο χρόνος ανάπτυξης μικρότερος, σε δίαιτες όπου το ποσοστό της πρωτεΐνης ήταν υψηλό. Στο πείραμά τους οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν μαγιά σε ποσοστό 40%. Οι [Morales-Ramos et al. \(2010\)](#) υποστηρίζουν ότι δίαιτες οι οποίες αποτελούνται από πίτουρο σιταριού σε συνδυασμό με συστατικά όπως άμυλο, πρωτεΐνη και βιταμίνη C, ευνοούν την ανάπτυξη των προνυμφών. Οι ίδιοι επιστήμονες παρατήρησαν σημαντική αύξηση της ανάπτυξης των προνυμφών όταν στη διατροφή τους ενσωματώθηκε η μαγιά. Συγκεκριμένα για τη μαγιά, βιβλιογραφικές αναφορές υποστηρίζουν ότι είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και βιταμίνη B, ενώ ταυτόχρονα διεγείρει τις προνύμφες να καταναλώσουν μεγαλύτερες ποσότητες τροφής ([Murray, 1960](#); [Fraenkel et al., 1950](#)). Άλλα συστατικά τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κατάλληλης διατροφής για το είδος *T. molitor* είναι η αποξηραμένη πατάτα, το ασπράδι αυγού, η σόγια, το λάδι σολομού, το φυστικέλαιο και το λάδι κανόλα ([Morales-Ramos et al., 2010](#); [Morales-Ramos et al., 2013](#); [Morales-Ramos et al., 2015](#)). Ακόμη, οι [Rumbos et al. \(2020\)](#) αξιολόγησαν σαράντα-τέσσερα προϊόντα (αλεύρια δημητριακών, προϊόντα δημητριακών, όσπρια και διάφορα προϊόντα φυτικής και ζωικής προέλευσης) ως προς την καταλληλόλητά τους για υποστρώματα σίτισης. Η ανάπτυξη των προνυμφών και η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα στα υποστρώματα τα οποία είχαν υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης. Ακόμη ένα σημαντικό θρεπτικό συστατικό για τα έντομα είναι οι υδατάνθρακες, οι οποίοι συχνά προκύπτουν από τα λίπη και τα αμινοξέα τα οποία περιέχει η κάθε δίαιτα. Το είδος *Tenebrio* δεν αναπτύσσεται εάν η περιεκτικότητα των υδατανθράκων στην τροφή του είναι κάτω από 40%, ενώ η βέλτιστη περιεκτικότητα είναι το 70%. Εξίσου σημαντικές για τη διατροφή των εντόμων είναι οι στερόλες οι οποίες αποτελούν μια μορφή λιπιδίων. Μαζί με τα λιπαρά οξέα και τα φωσφολιπίδια αποτελούν συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων. Συγκεκριμένα για τις στερόλες ισχύει ότι είναι εξαιρετικά απαραίτητες και καθώς δε συντίθενται από τα ίδια τα έντομα είναι σημαντικό να τις προσλαμβάνουν από την τροφή τους. Ένα παράδειγμα σημαντικών στερολών είναι η χοληστερόλη η οποία αποτελεί σημαντικό

συστατικό για τη σύνθεση της εκδυσόνης. Επιπλέον, αν και σε μικρές ποσότητες, οι οργανικές ουσίες είναι απαραίτητες και συχνά δεν είναι δυνατόν να παραχθούν από τα ίδια τα έντομα. Ορισμένα έντομα απαιτούν εξειδικευμένες βιταμίνες όπως το *Tenebrio* το οποίο χρειάζεται την καρνιίνη. Τέλος, τα ανόργανα συστατικά είναι επίσης απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία των κυττάρων. Επί παραδείγματι ο σίδηρος είναι το βασικό συστατικό των κυτοχρωματών και είναι εξαιρετικά απαραίτητο να υπάρχει στη διαίτα (Chapman, 1998).

## Απαραίτητα στοιχεία για την οικογένεια των κολεοπτέρων

### Αμινοξέα

Αργινίνη

Ιστιδίνη

Ισολευκίνη

Λευκίνη

Λυσίνη

Μεθειονίνη

Φαινυλαλανίνη

Θρεονίνη

Τρυπτοφάνη

Βαλίνη

### Λιπαρά οξέα

Λινολεϊκό οξύ

### Βιταμίνες

Φολικό οξύ

Νικοτίνικό οξύ

Πανθοθενικό οξύ

Πυριδοξίνη

Ριβοφλαβίνη

Θειαμίνη

### Ανόργανες ενώσεις

Νάτριο

Κάλιο

Σίδηρος

Ψευδάργυρος

Μαγγάνιο

Πίνακας 1 Απαραίτητα αμινοξέα, λιπαρά οξέα, βιταμίνες και ανόργανες ενώσεις για την οικογένεια των κολεοπτέρων ([Chapman, 1998](#)).



### 1.6.1.2. Η βέλτιστες θερμοκρασίες

Η θερμοκρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και τις μεταβολικές διεργασίες των εντόμων. Σε γενικά πλαίσια, οι βέλτιστες θερμοκρασίες για την ανάπτυξη του *T. molitor* κυμαίνονται από 23 έως 31°C. Οι [Grau et al. \(2017\)](#) προτείνουν ότι οι βέλτιστη θερμοκρασία εκτροφής του *T. molitor* κυμαίνεται από 25-27.5°C. Παρ' όλα αυτά, οι [Bjørgea et al. \(2018\)](#) μελέτησαν την ανάπτυξη του *T. molitor* σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (15.2, 18.7, 23.3, 25.4, 31.0, 37.0 και 39.0°C) και βρήκαν ότι δεν εκφράζονται όλα τα χαρακτηριστικά με το βέλτιστο τρόπο σε όλες τις θερμοκρασίες. Οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η ανάπτυξη καθώς και η περιεκτικότητά σε πρωτεΐνη και λιπαρά οξέα του *T. molitor* επηρεάζονται θετικά όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κοντά στους 32°C. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κοντά στους 23°C τότε επηρεάζονται θετικά η μεταβολικές διεργασίες.

### 1.6.1.3. Βέλτιστες πηγές υγρασίας

Ο ρυθμός ανάπτυξης του *T. molitor* εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία ή απουσία υγρασίας στο περιβάλλον εκτροφής του. Ο [Fraenkel, \(1950\)](#) υποστηρίζουν ότι όσο υψηλότερη είναι η υγρασία του περιβάλλοντος της εκτροφής τόσο πιο πολύ ευνοείται η ανάπτυξη των προνυμφών. Παρ' όλα αυτά σε ένα περιβάλλον με υγρασία 70-85% είναι πολύ πιθανό να αναπτυχθούν επιβλαβείς μικροοργανισμοί. Επιπλέον, θετικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη των προνυμφών έχει και η παροχή υγρασίας σε μορφή λαχανικών (κομμάτια πατάτας, καρότου). Κάτι τέτοιο συμβαίνει καθώς τα έντομα στα οποία παρέχεται επιπρόσθετη πηγή υγρασίας έχουν την ικανότητα να αξιοποιούν καλύτερα την τροφή που καταναλώνουν και να την μετατρέπουν σε σωματικό βάρος. Ακόμη, με την παροχή επιπρόσθετης υγρασίας μειώνεται ο κανιβαλισμός των ατόμων μεταξύ τους αλλά και των αυγών από τα ενήλικα άτομα. Τέλος, σε περιόδους εξαιρετικά ξηρών συνθηκών, οι προνύμφες του είδους *T. molitor* διακόπτουν τη διατροφή τους και να είναι ανενεργές έως ότου η υγρασία αυξηθεί ([Urs and Hopkins, 1973a, 1973b](#)).

#### 1.6.1.4. Βέλτιστη πυκνότητα ατόμων

Σύμφωνα με τους [Morales-Ramos et al. \(2012\)](#) η πυκνότητα των ενήλικων ατόμων του είδους *T. molitor* είναι ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή απογόνων. Ο συγκεκριμένος παράγοντας μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της εναπόθεσης αυγών. Σε εμπορική κλίμακα το ζητούμενο είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής αυγών και η εξοικονόμηση χώρου εκτροφής και χρόνου εργασίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η εναπόθεση αυγών μεγιστοποιήθηκε όταν η πυκνότητα των ενήλικων ατόμων κυμαίνονταν μεταξύ 8,4 και 14 ενηλίκων ανά dm<sup>2</sup>.

### 1.7. Επιλογή της κατάλληλης φυλής

Μεταξύ άλλων συστάσεων για την εκτροφή των εντόμων, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) (2012) έχει προτείνει την επιλογή κατάλληλων φυλών εντόμων υψηλής ποιότητας ([van Huis et al., 2013](#)). Η επιλογή της κατάλληλης φυλής ενός είδους είναι εξίσου σημαντική με τους παράγοντες που έχουν προαναφερθεί. Παρ' όλα αυτά, έως σήμερα οι έρευνες οι οποίες ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα είναι ελάχιστες. Συνολικά υπάρχουν δύο έρευνες οι οποίες αφορούν δύο διαφορετικές φυλές του *T. molitor* ([Urs and Hopkins, 1973a, 1973b](#)) καθώς και μια έρευνα η οποία αφορά τρεις φυλές του *H. illuscens* ([Zhou et al., 2013](#)). Πιο συγκεκριμένα, οι [Urs and Hopkins, \(1973a\)](#) ασχολήθηκαν με την επίδραση της υγρασίας στον ρυθμό ανάπτυξης των δύο φυλών του είδους *T. molitor*. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι στις βέλτιστες συνθήκες η μια εκ των δύο φυλών ολοκλήρωσε τον κύκλο ζωής της σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τις ίδιες φυλές του είδους *T. molitor* οι [Urs and Hopkins, \(1973b\)](#) ασχολήθηκαν με την επίδραση της υγρασίας στην περιεκτικότητα των λιπιδίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η φυλή η οποία είχε τα μεγαλύτερα αποθέματα λίπους κατά την αναπαραγωγή ήταν εκείνη η οποία είχε επίσης τον ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης. Οι [Zhou et al. \(2013\)](#) παρατήρησαν τρεις διαφορετικές φυλές του *H. illuscens*. Οι ερευνητές συνέλεξαν δεδομένα για διάφορα βιολογικά χαρακτηριστικά του εντόμου όπως η ανάπτυξη και η ικανότητα αποδόμησης αποβλήτων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας χαρακτηριστικά όπως ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών, το σωματικό βάρος και η

μακροζωία των ενηλίκων ποικίλλουν μεταξύ των φυλών του είδους *H. illucens*. Λαμβάνοντας υπόψη διάφορες βιβλιογραφικές πηγές, είναι φανερό ότι διαφορετικοί πληθυσμοί του ίδιου είδους είναι ικανοί να εκφράσουν διαφορετικές συμπεριφορές. Οι [Athanassiou et al. \(2019\)](#) μελέτησαν διαφορετικούς πληθυσμούς δεκατριών ειδών από διαφορετικά εργαστήρια εξετάζοντας την ευαισθησία τους στη φωσφίνη. Οι ερευνητές κατάφεραν να σχεδιάσουν συγκεκριμένους κρίσιμους χρόνους ανταπόκρισης στο εντομοκτόνο βάση των διαφορετικών πληθυσμών. Οι [Agrafioti and Athanassiou \(2018\)](#) πρότειναν ότι διαφορετικοί πληθυσμοί του ίδιου είδους μπορούν να αναπτύξουν ανθεκτικότητα ή ευαισθησία στη φωσφίνη, ανάλογα με την προέλευσή τους. Πιο συγκεκριμένα, διαπίστωσαν ότι οι πληθυσμοί των ειδών *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) και *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Sylvanidae) οι οποίοι είχαν συλλεχθεί από τον αγρό ήταν ανθεκτικοί, ενώ οι εργαστηριακοί πληθυσμοί των ειδών αυτών ήταν ευαίσθητοι στη φωσφίνη. Ομοίως, οι [Haddi et al. \(2015\)](#) παρατήρησαν ότι 13 διαφορετικοί πληθυσμοί του είδους *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) παρουσίασαν διαφορές στην ανθεκτικότητα και την ευαισθησία τους στο εντομοκτόνο indoxacarb. Κατά τον ίδιο τρόπο, εάν το *T. molitor* πρόκειται να εκτραφεί σε εμπορική κλίμακα είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν φυλές οι οποίες εκφράζουν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά.

## 1.8. Σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής

Ο τομέας της εκτροφής εντόμων τα οποία προορίζονται είτε για ζωική είτε για ανθρώπινη κατανάλωση βρίσκεται σε αρκετά πρώιμο στάδιο. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο έως σήμερα οι περισσότερες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην εξεύρεση της βέλτιστης τροφής και του καταλληλότερου περιβάλλοντος. Παρ' όλα αυτά, εξετάζοντας τη βιβλιογραφία, υπάρχει έλλειψη γνώσεων όσον αφορά την επίδραση των διαφορετικών φυλών όσον αφορά την ανάπτυξη εντόμων του ίδιου είδους. Τα αποτελέσματα μιας πρόσφατης μελέτης για το είδος *H. illucens* έδειξαν ότι η απόδοση, η ανάπτυξη, καθώς και η ικανότητα μετατροπής των αποβλήτων, τριών διαφορετικών φυλών του *H. illucens* διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους (Zhou *et al.* (2013). Όσον αφορά το είδος *T. molitor*, είναι δύσκολο να βρεθεί μια πρόσφατη παρόμοια έρευνα, καθώς οι πιο σχετικές μελέτες προέρχονται από τη δεκαετία του '70 (Urs and Hopkins, 1973a, 1973b). Έτσι, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με τη συγκριτική αξιολόγηση επτά διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor*. Στο πείραμα I πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor* παρουσία υγρασίας, οι δείκτες αξιοποίησης της τροφής καθώς και η σύσταση του σώματος των προνυμφών. Στο πείραμα II πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών έξι διαφορετικών φυλών του *T. molitor* απουσία υγρασίας καθώς και οι δείκτες αξιοποίησης της τροφής. Τέλος, στο πείραμα III πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση του αναπαραγωγικού δυναμικού έξι διαφορετικών φυλών του *T. molitor*.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1. Προέλευση φυλών του είδους *Tenebrio molitor*

Τα έντομα που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ανήκουν σε επτά διαφορετικές φυλές του είδους *T. molitor*. Η προέλευση των διαφόρων φυλών, καθώς και οι συνθήκες στις οποίες διατηρούνταν τα έντομα, αναφέρονται στον Πίνακα 2.

| Χώρα     | Ινστιτούτο/Πανεπιστήμιο  | Συνθήκες εκτροφής                              | Υπόστρωμα εκτροφής              | Πηγή υγρασίας          |
|----------|--|--|---------------------------------|------------------------|
| Φυλή I   | Ιταλία<br>University of Pisa   | 23-25°C, 65% σχετική υγρασία, φυσικός φωτισμός | Πίτουρο σιταριού                | Φρέσκα μήλα ή λαχανικά |
| Φυλή II  | Ιταλία<br>University of Milan -Università degli Studi di Milano                            |  |                                 |                        |
| Φυλή III | Ελλάδα<br>Benaki Phytopathological Institute   | 26°C, 50% σχετική υγρασία, συνεχές σκοτάδι     | Πίτουρο σιταριού με μαγιά (9:1) | Φρέσκιες πατάτες       |
| Φυλή IV  | Τουρκία<br>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi   | 30°C, 65% σχετική υγρασία, συνεχές σκοτάδι     | Πίτουρο σιταριού                | Φρέσκα καρότα          |
| Φυλή V   | Αμερική<br>USDA-ARS Stored Product Insect and Engineering Research Unit, Manhattan, Kansas |  |                                 |                        |
| Φυλή VI  | Γερμανία<br>Julius Kühn-Institut,<br>Quedlinburg   |  |                                 |                        |
| Φυλή VII | Ισπανία<br>IRTA Institute of Agrifood Research and Technology, Barcelona                   |  |                                 |                        |

Πίνακας 2 Προέλευση και συνθήκες εκτροφής των φυλών των επτά διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor* που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα.

## 2.2. Συνθήκες διατήρησης εκτροφών

Τα πειράματα έλαβαν χώρα στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Αμέσως μετά την παραλαβή τους, οι επτά διαφορετικές φυλές τοποθετήθηκαν σε πλαστικά κουτιά (Insect Box, Beekenkamp Group Postbus 1 2676 ZG Maasdijk, The Netherlands) συγκεκριμένων διαστάσεων (60 cm μήκος x 40 cm πλάτος x 20 cm ύψος). Το υπόστρωμα εκτροφής των φυλών αποτελούνταν από πίτουρο σιταριού (90%) και μαγιά (10%). Ως πηγή υγρασίας, βιταμινών και ασβεστίου παρέχονταν φρέσκα κομμάτια πατάτας δύο φορές την εβδομάδα (Morales-Ramos *et al.*, 2013; Rumbos *et al.*, 2020). Επιπλέον, εντός των κουτιών τοποθετήθηκαν χαρτόνια ώστε να γίνει προσέγγιση του φυσικού περιβάλλοντος των εντόμων. Τόσο οι εκτροφές όσο και τα πειράματα διατηρούνταν σε θερμοκρασία  $26 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $50 \pm 5\%$  σχετική υγρασία και απόλυτο σκοτάδι (Εικόνες 3 και 4).



Εικόνα 3 Θάλαμος ελεγχόμενων συνθηκών για την αποθήκευση των φυλών του *T. molitor* (Αρχείο εργαστηρίου).

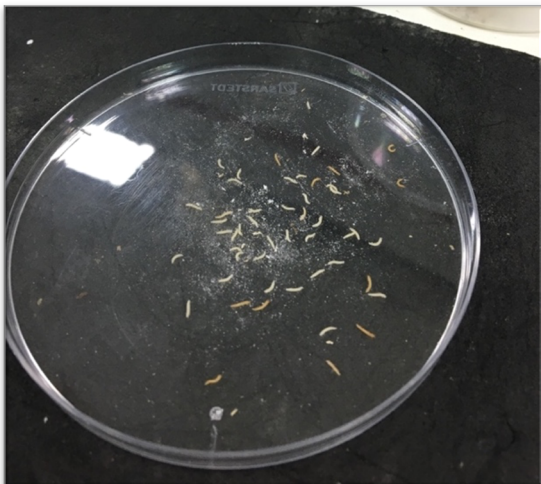


Εικόνα 4 Κουτί τοποθέτησης των φυλών με υπόστρωμα εκτροφής και πηγή υγρασίας (πατάτα) (Αρχείο εργαστηρίου).

## 2.3. Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor*, παρουσία υγρασίας

### 2.3.1. Μεθοδολογία πειράματος

Σε πλαστικά κυλινδρικά δοχεία (διαμέτρου 7.5 cm και ύψους 8.8 cm) προστέθηκαν 4 g πίτουρου σιταριού και μαγιά σε αναλογία 9:1. Συνολικά, για κάθε έναν από τις επτά διαφορετικές φυλές, χρησιμοποιήθηκαν 6 κυλινδρικά δοχεία. Στη συνέχεια, σε κάθε κυλινδρικό δοχείο, προστέθηκε μια ομάδα 50 προνυμφών του 1<sup>ου</sup> σταδίου (Εικόνα 5). Κάθε ομάδα προνυμφών ζυγίστηκε κατά την έναρξη του πειράματος, με ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA). Σε κάθε ομάδα προνυμφών παρέχονταν υγρασία τρεις φορές την εβδομάδα με τη μορφή καρότων βάρους  $0.6 \pm 0.1$  g (Εικόνα 6).



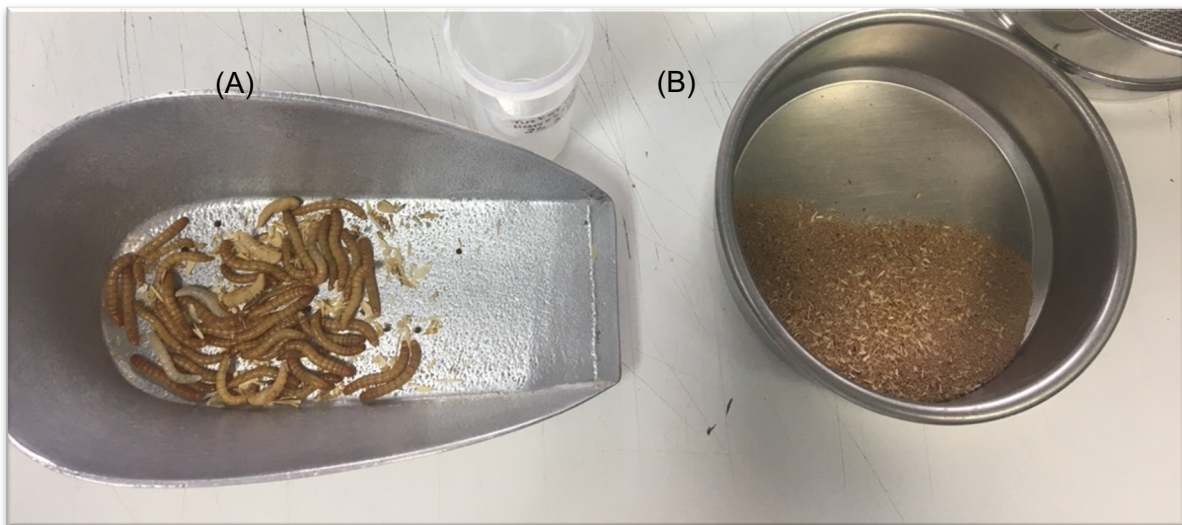
Εικόνα 5. Προνύμφες 1<sup>ου</sup> σταδίου του *T. molitor*.



Εικόνα 6. Πλαστικά κυλινδρικά δοχεία με πίτουρο, μαγιά και πηγή υγρασίας.



Οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν ανενόχλητες (*ad libitum*) για τέσσερις εβδομάδες. Με το πέρας των τεσσάρων εβδομάδων πραγματοποιούνταν καταγραφή του βάρους των προνυμφών ως ομάδα καθώς και του ποσοστού επιβίωσής τους, κάθε δύο εβδομάδες. Οι μετρήσεις λάμβαναν χώρα έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης, οπότε και πραγματοποιούνταν συγκομιδή των προνυμφών (Εικόνα 7). Την ίδια στιγμή πραγματοποιούνταν και καταμέτρηση του βάρους των αποχωρημάτων των προνυμφών. Μετά τη συγκομιδή, οι προνύμφες τοποθετούνταν για 24 ώρες στην κατάψυξη (-20°C) ώστε να θανατωθούν. Επιπλέον υπολογίστηκε ο συνολικός χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών ως ο αριθμός των ημερών από τη στιγμή που τοποθετήθηκαν οι προνύμφες στα κυλινδρικά δοχεία έως και την ημέρα εμφάνισης της πρώτης νύμφης. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν έλεγχος των αποθεμάτων τροφής. Σε περίπτωση που η τροφή είχε καταναλωθεί πλήρως, πραγματοποιούνταν προσθήκη νέας τροφής η οποία καταγράφονταν.



Εικόνα 7 Εμφάνισης της πρώτης νύμφης (A) και αποχωρήματα προνυμφών (B).

### 2.3.2. Συλλογή προνυμφών 1<sup>ου</sup> σταδίου

Μια ομάδα 50 ενηλίκων ατόμων (μικτού φύλου) από κάθε έναν από τις επτά διαφορετικές φυλές του είδους *T. molitor* τοποθετήθηκαν σε επτά διαφορετικά πλαστικά κουτιά (18 cm μήκος x 12 cm πλάτος x 10 cm ύψος) μαζί με 100 g λευκό αλεύρι (Εικόνα 8). Τα κουτιά καθώς και το υπόστρωμα που περιείχαν χρησιμοποιήθηκαν για την ωτοκία των ενηλίκων ατόμων. Πριν τη χρήση του το αλεύρι κοσκινίστηκε με κόσκινο ανοίγματος 500 μm. Ως πηγή υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια πατάτας τα οποία τοποθετήθηκαν και αυτά εντός του κουτιού. Τα ενήλικα άτομα αφέθηκαν να ωτοκίσουν για τέσσερις ημέρες (Gerber and Sabourin, 1984). Με το πέρας των ημερών το αλεύρι κοσκινίστηκε με κόσκινο ανοίγματος 600 μm για την πραγματοποίηση της συλλογής των αυγών. Τα αυγά που συλλέχθηκαν μεταφέρθηκαν σε πλαστικά κυλινδρικά δοχεία (διαμέτρου 7.5 cm και ύψους 8.8 cm). Η εκκόλαψη και η συλλογή των προνυμφών του 1<sup>ου</sup> σταδίου πραγματοποιήθηκε οκτώ ημέρες αργότερα.



Εικόνα 8 Ενήλικα άτομα τοποθετημένα σε υπόστρωμα από λευκό αλεύρι ώστε να ωτοκίσουν.

### 2.3.3. Δείκτες αξιοποίησης της τροφής

Από τα αποτελέσματα του πειράματος υπολογίστηκαν ακόμη το FCR (Feed Conversion Ratio) (1), το ECI (Efficiency of Conversion of Ingested food) (%) (2), το SGR (Specific Growth Rate) (% day<sup>-1</sup>) (3) και το ECD (efficiency of conversion of digested food to body substance) (4). 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:

$$FCR = \frac{\text{Συνολική τροφή που προστέθηκε (g)}}{\text{βάρος που κερδίθηκε (g)}} \quad (1)$$

$$ECI = \frac{\text{βάρος που κερδίθηκε}}{\text{βάρος της τροφής που καταναλώθηκε}} \times 100 \quad (2)$$

$$SGR = \frac{\text{Τέλικο βάρος σώματος} - \text{Αρχικό βάρος σώματος}}{\text{Αριθμός ημερών έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης}} \times 100 \quad (3)$$

$$ECD = \frac{\text{Βάρος που κερδήθηκε}}{\text{Βάρος τροφής που καταναλώθηκε} - \text{βάρος αποχωρημάτων}} \times 100 \quad (4)$$

#### 2.3.4. Προσδιορισμός συστατικών του σώματος των προνυμφών

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 ομαδοποιήθηκαν ανά δυο και έτσι για τη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις για κάθε μια από τις επτά διαφορετικές φυλές του *T. molitor*. Αρχικά τα δείγματα τεμαχίστηκαν, αποξηράθηκαν σε φούρνο για 24 ώρες στους 105 °C και κατόπιν αλέστηκαν με μηχανή άλεσης κόκκων (Coffee grinder, BSH Home Appliances Ltd, Berlin, Germany) (Εικόνα 6 και 7). Μέσω της διαδικασίας της αποξήρανσης πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της ξηράς ουσίας των δειγμάτων.



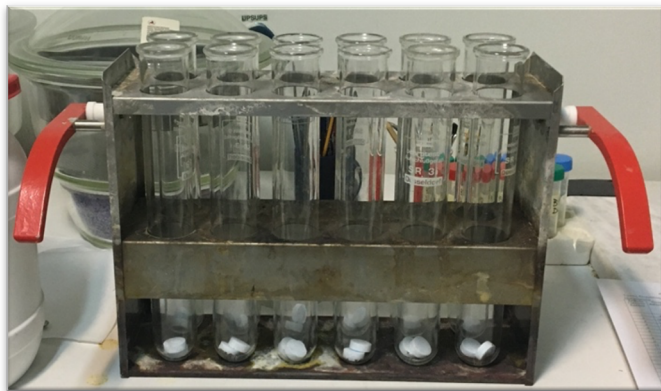
Εικόνα 10 Αλεσμένες προνύμφες με τη συσκευή άλεσης κόκκων (Bosch, Berlin, Germany).



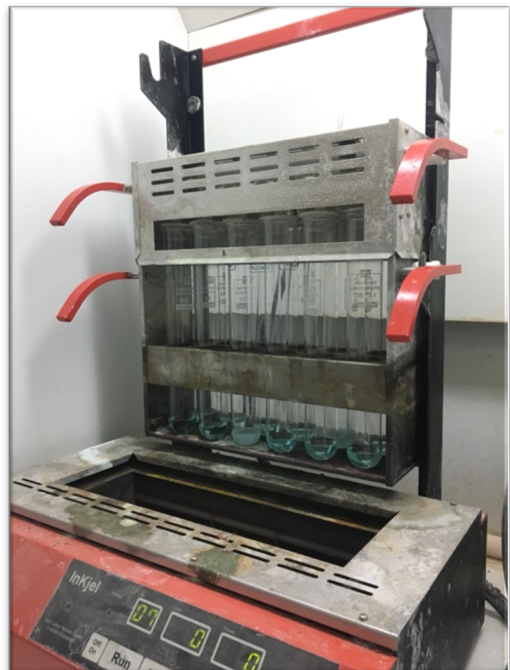
Εικόνα 9 Τεμαχισμένες προνύμφες του *Tenebrio molitor*.

#### 2.3.4.1. Προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών

Ο προσδιορισμός των ολικών αζωτούχων ουσιών των προνυμφών του είδους *T. molitor* πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl (AOAC 1995). Αρχικά, 0.2 g δείγματος τοποθετήθηκαν σε με ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA) και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης. Στη συνέχεια 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 11). Οι καταλύτες αυξάνουν τη θερμοκρασία βρασμού ενώ ταυτόχρονα συμβάλλουν στην αύξηση της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας της πέψης. Ο στόχος της διαδικασίας πέψης είναι να σπάσει όλους τους δεσμούς αζώτου του υποκείμενου δείγματος και να μετατρέψει όλους τους δεσμούς του αζώτου σε ιόντα αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ). Ακολούθως, προστέθηκαν 15 ml πυκνού θειικού οξέως ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) και οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν στην συσκευή πέψης (Digestion apparatus InKjel P, Behr, Germany). Η διαδικασία της πέψης πραγματοποιήθηκε στους 150 °C και διήρκεσε 85 λεπτά. Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία της πέψης τα δείγματα αφέθηκαν να κρυώσουν για 15 λεπτά (Εικόνα 12).



Εικόνα 12 Ταμπλέτες καταλύτη Kjeltabs εντός των δοκιμαστικών σωλήνων πέψης, για επιτάχυνση της διαδικασίας της πέψης.



Εικόνα 11 Συσκευή πέψης (digestion apparatus InKjel P της Behr)

Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στη συσκευή απόσταξης (Steam Distillation Apparatus S4, Behr, Germany), στην οποία προστέθηκαν 100 ml απεσταγμένου νερού, 80 ml υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) και 50 ml βορικού οξέος (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) (Εικόνα 13). Η διαδικασία διήρκησε 6 λεπτά. Τέλος, πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1N) υπό καθεστώς συνεχούς κίνησης. Το διάλυμα μεταχρωματίζεται καθώς στο εσωτερικό του είχαν προστεθεί 4 σταγόνες ερυθρού του μεθυλενίου (δείκτης pH) (Εικόνα 14). Η συγκέντρωση (moles) των ιόντων υδρογόνου τα οποία απαιτούνται για να καταλύσουν 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, σημαίνει το τέλος της αντίδρασης.

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

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



Εικόνα 13 Συσκευή απόσταξης (Steam Distillation Apparatus S4, Behr, Germany).



Εικόνα 14 Τιτλοδότηση του διαλύματος βορικού αμμωνίου με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (0,1N) υπό καθεστώς συνεχούς κίνησης.

#### 2.3.4.2. Μέθοδος προσδιορισμού ολικών λιπαρών ουσιών

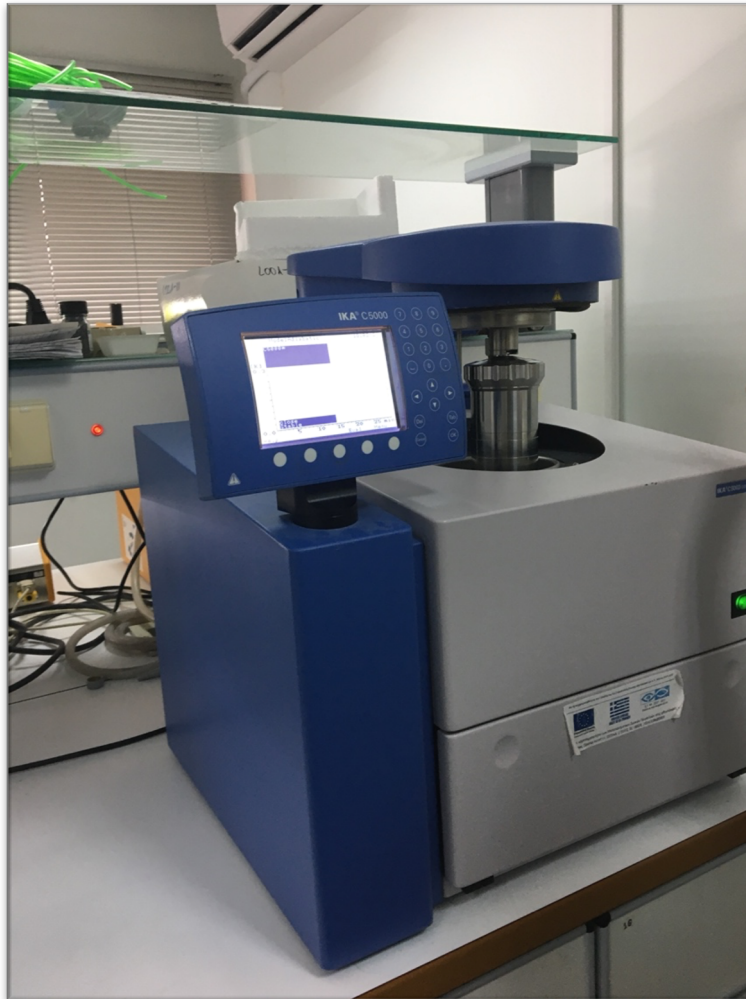
Το σύνολο των λιπαρών ουσιών προσδιορίστηκε μέσω εκχύλισης κατά Soxhlet με τη βοήθεια οργανικού διαλύτη, του πετρελαϊκού αιθέρα. Αρχικά ποσότητα 1 g των δειγμάτων μεταφέρθηκε στους ειδικούς χάρτινους ηθμούς οι οποίοι στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε γυάλινα δοχεία της συσκευής Soxtherm Multistat/SX PC (Sox-416 Macro, Gerhard, Germany) (Εικόνα 15). Πριν την τοποθέτηση των χάρτινων ηθμών στα γυάλινα δοχεία προστέθηκαν 5 ειδικές πέτρες βρασμού. Στη συνέχεια το βάρος των γυάλινων δοχείων καταγράφηκε και τα δοχεία πληρώθηκαν με 150 ml πετρελαϊκού αιθέρα. Μετά το πέρας της διαδικασίας της εκχύλισης, καταγράφηκε το βάρος των δοχείων.



Εικόνα 15 Συσκευή εκχύλισης - Soxtherm Multistat/SX PC (Sox-416 Macro, Gerhard, Germany)

### 2.3.4.3. Προσδιορισμός ενέργειας

Ο προσδιορισμός της ενέργειας των δειγμάτων έγινε με τη χρήση θερμιδόμετρου (C5000, IKA Werke, Staufen, Germany) (Εικόνα 16). Αρχικά, ποσότητα 0.4 g του δείγματος τοποθετήθηκε σε ένα κλειστό ανοξειδωτο δοχείο τύπου οβίδας. Η οβίδα στη συνέχεια τοποθετήθηκε εντός του θερμιδόμετρου, όπου και πραγματοποιήθηκε η καύση του δείγματος. Κατά την πλήρη καύση του δείγματος εκλύθηκε θερμότητα, η οποία αποτέλεσε τη θερμιδική αξία (ενέργεια) του δείγματος (Kj/g).



Εικόνα 16 Θερμιδόμετρο (C5000, IKA Werke, Staufen, Germany) όπου πραγματοποιήθηκε η καύση του δείγματος.



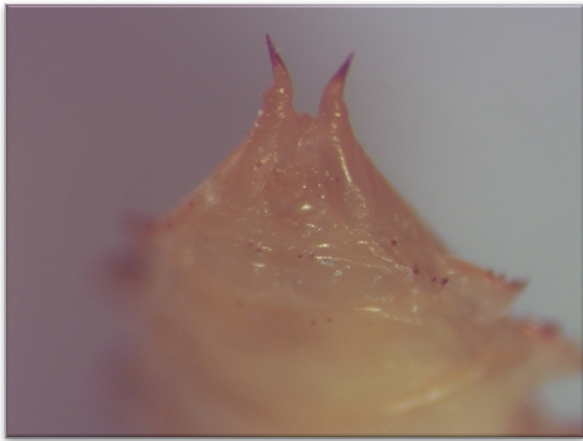
## 2.4. Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών έξι διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor*, απουσία υγρασίας

Για τη διεκπεραίωση της συγκεκριμένης πειραματικής ενότητας ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως περιγράφεται στα υπό-κεφάλαια 2.1.1, 2.1.2 και 2.1.3, με τη διαφορά της απουσίας του παράγοντα της υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα, στα πλαστικά κυλινδρικά δοχεία (διαμέτρου 7.5 cm και ύψους 8.8 cm) προστέθηκαν 4 g πίτουρου σιταριού και μαγιά σε αναλογία 9:1. Συνολικά, για κάθε έναν από τις έξι διαφορετικές φυλές, χρησιμοποιήθηκαν 6 κυλινδρικά δοχεία. Στη συνέχεια, σε κάθε κυλινδρικό δοχείο, προστέθηκε μια ομάδα 50 προνυμφών του 1<sup>ου</sup> σταδίου. Κάθε ομάδα προνυμφών ζυγίστηκε κατά την έναρξη του πειράματος, με ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA). Στη συγκεκριμένη βιοδοκιμή σε κάθε ομάδα προνυμφών δεν παρέχονταν υγρασία τρεις φορές την εβδομάδα με τη μορφή καρότων βάρους  $0.6 \pm 0.1$  g. Οι προνύμφες αφέθηκαν να τραφούν ανενόχλητες (*ad libitum*) για τέσσερις εβδομάδες. Με το πέρας των τεσσάρων εβδομάδων πραγματοποιούνταν καταγραφή του βάρους των προνυμφών ως ομάδα καθώς και του ποσοστού επιβίωσής τους, κάθε δύο εβδομάδες έως τις 20 εβδομάδες ενώ στη συνέχεια η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 εβδομάδες. Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης, οπότε και πραγματοποιούνταν συγκομιδή των προνυμφών. Την ίδια στιγμή πραγματοποιούνταν και καταμέτρηση του βάρους των αποχωρημάτων των προνυμφών. Μετά τη συγκομιδή, οι προνύμφες τοποθετούνταν για 24 ώρες στην κατάψυξη ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) ώστε να θανατωθούν. Επιπλέον υπολογίστηκε ο συνολικός χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών ως ο αριθμός των ημερών από τη στιγμή που τοποθετήθηκαν οι προνύμφες στα κυλινδρικά δοχεία έως και την ημέρα εμφάνισης της πρώτης νύμφης. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν έλεγχος των αποθεμάτων τροφής. Σε περίπτωση που η τροφή είχε καταναλωθεί πλήρως, πραγματοποιούνταν προσθήκη νέας τροφής η οποία καταγράφονταν.

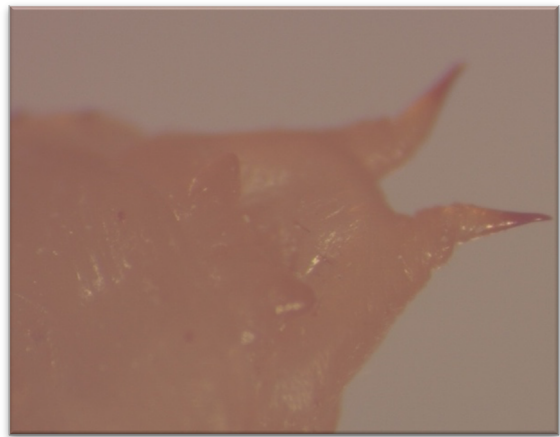
## 2.5. Συγκριτική αξιολόγηση του αναπαραγωγικού δυναμικού έξι διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor*

Οι φυλές οι οποίες αξιολογήθηκαν στη συγκεκριμένη πειραματική ενότητα ήταν η Ελληνική φυλή, η Ιταλική φυλή I, η Ιταλική φυλή II, η Γερμανική φυλή, η Τούρκικη φυλή και η Ισπανική φυλή. Για την πραγματοποίηση της συγκριτικής αξιολόγησης του αναπαραγωγικού δυναμικού των έξι διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor* αρχικά πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των προνυμφών σε αρσενικά και θηλυκά άτομα. Για το διαχωρισμό παρατηρήθηκαν, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, διαφορές στο γενετικό οπλισμό στον 8ο κοιλιακό στερνίτη (Bhattacharya *et al.*, 1970; Wang *et al.*, 2013). Για την παρατήρηση χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό στερεοσκόπιο (Stereomicroscope Leica MZ12, Spach Optics Inc, NY, United States), ενώ οι νύμφες τοποθετήθηκαν έτσι ώστε το κοιλιακό μέρος να είχε ανοδική κατεύθυνση. Στις αρσενικές νύμφες ο 8ος κοιλιακός στερνίτης είναι μικρός και στενός (Εικόνα 17), ενώ στις θηλυκές ισοπεδωμένος και διογκωμένος (Εικόνα 18). Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι η λιγότερο «καταστρεπτική» μέθοδος, με αποτέλεσμα οι νύμφες μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για το πείραμα. Η ηλικία των ενήλικων ατόμων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο πείραμα ήταν 7-14 ημερών, προκειμένου να εξασφαλιστεί η σεξουαλική ωριμότητα, ενώ επιπλέον επιλέχθηκαν μόνο ενήλικα άτομα με σκούρο χρώμα σώματος (Gerber, 1975). Στη συνέχεια, ομάδες των 5 αρσενικών και 5 θηλυκών ατόμων κάθε φυλής ζυγίστηκαν χρησιμοποιώντας με ζυγαριά ακριβείας (EQUINOX, Adam Equipment Inc Fox Hollow Road, Oxford, USA) και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια (7,5 cm σε διάμετρο, 8,8 cm σε ύψος) εντός των οποίων πραγματοποιήθηκε η ωτοκία. Η διαδικασία του ζυγίσματος έλαβε χώρα έτσι ώστε ο μέσος όρος των ενήλικων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε επανάληψη να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα. Επιπλέον εντός των φιαλιδίων τοποθετήθηκαν 4 g λευκό αλεύρι ως υπόστρωμα ωτοκίας. Το αλεύρι είχε κοσκινισθεί προηγουμένως με κόσκινο ανοίγματος 500  $\mu\text{m}$ . Κάθε τέσσερις ημέρες παρέχονταν στα ενήλικα άτομα υγρασία με τη μορφή κομματιών πατάτας ( $0,6 \pm 0,1$  g ανά φιαλίδιο), ενώ τα παλαιά κομμάτια πατάτας αφαιρούνταν (Εικόνα 19). Τα ενήλικα άτομα αφέθηκαν να συζευχθούν χωρίς παρεμβάσεις για τέσσερις ημέρες (Gerber and Sabourin, 1984). Με το πέρας των τεσσάρων ημερών, πραγματοποιήθηκε συλλογή των αυγών με κοσκίνισμα αλευριού με δύο διαφορετικά κόσκινα: ένα κόσκινο ανοίγματος 2 mm και κόσκινο ανοίγματος 600  $\mu\text{m}$ . Τα ενήλικα άτομα παρέμειναν στο πρώτο κόσκινο και τα αυγά συλλέχθηκαν

με το δεύτερο κόσκινο (Εικόνα 20). Λόγω του γεγονότος ότι ορισμένες φορές τα θηλυκά άτομα μπορεί να κολλήσουν τα αυγά τους σε σκληρές επιφάνειες, αντί να τα τοποθετήσουν στο υπόστρωμα ωοτοκίας (Drnevich *et al.*, 2001), τα φιαλίδια ελέγχθηκαν επίσης για κολλημένα αυγά στο εσωτερικό τους μέρος. Τα αυγά που συλλέχθηκαν καθώς και εκείνα που ήταν κολλημένα στις επιφάνειες των φιαλιδίων, μετρήθηκαν και αφέθηκαν στα ίδια κυλινδρικά φιαλίδια ώστε να πραγματοποιηθεί η εκκόλαψη των προνυμφών. Ο ρυθμός εκκολαψιμότητας μετρήθηκε μετά από 8 και 12 ημέρες (Εικόνα 21). Καταγράφηκε επίσης η θνησιμότητα των ενηλίκων και τα ζωντανά ενήλικα τοποθετήθηκαν πίσω στα φιαλίδια μαζί με το αλεύρι που είχε απομείνει. Πραγματοποιήθηκαν έξι επαναλήψεις (φιαλίδια) για κάθε φυλή.



Εικόνα 18 Γενετικός οπλισμός αρσενικών νυμφών του *Tenebrio molitor*. Ο 8ος κοιλιακός στερνίτης της είναι στενός και μικρός.



Εικόνα 17 Γενετικός οπλισμός θηλυκών νυμφών του *Tenebrio molitor*. Ο 8<sup>ος</sup> κοιλιακός στερνίτης της είναι πεπλατυσμένος και εξογκωμένος.



Εικόνα 19 Ομάδα 5 αρσενικών και 5 θηλυκών ατόμων του *Tenebrio molitor* τοποθετημένα σε πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια με υπόστρωμα από αλεύρι, εντός των οποίων πραγματοποιήθηκε η ωοτοκία.



Εικόνα 21 Κόσκινο των 600μm το οποίο συγκρατούσε τα αυγά του *Tenebrio molitor*.



Εικόνα 20 Καταμέτρηση προνυμφών 1<sup>ου</sup> σταδίου του *Tenebrio molitor*.

## 2.6. Στατιστική ανάλυση

Σε όλα τα πρωτόκολλα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης IBM SPSS. Για τις ενότητες 3.1, 3.2 και 3.3 οι μέσοι όροι του ατομικού βάρους των προνυμφών (mg), του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών (%), ο αριθμός εναποτιθέμενων αυγών, το ποσοστό εκκολαψιμότητας και το ποσοστό επιβίωσης των ενήλικων ατόμων (%) αναλύθηκαν με Ανάλυση της Διασποράς (one-way ANOVA) και με γνώμονα το χρονικό διάστημα (εβδομάδες) οι διαφορές τους συγκρίθηκαν με το Tukey-Kramer HSD test σε 0.05.

Για τις πειραματικές ενότητες 3.1 και 3.2 οι μέσοι όροι του χρόνου ανάπτυξης (ημέρες), του βάρους της τροφής που καταναλώθηκε (g), του βάρους των αποχωρημάτων (g), των δεικτών FCR, ECI (%), ECD (%), SGR (%), καθώς και της περιεκτικότητας ξηράς ουσίας του σώματος των προνυμφών (%), του ποσοστού του συνολικού αζώτου (%), του ποσοστού των λιπαρών οξέων (%) και της περιεκτικότητας των προνυμφών σε ενέργεια (J/g) υπολογίστηκαν με τη μη παραμετρική μέθοδο Kruskal-Wallis.

## 3. Αποτελέσματα

### 3.1. Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*, παρουσία υγρασίας

Στον Πίνακα 3 καθώς και στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται τα ατομικά βάρη των προνυμφών των επτά διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor*, η εκτροφή των οποίων πραγματοποιήθηκε σε υπόστρωμα πίτουρο με μαγιά (9:1) παρουσία υγρασίας. Το ατομικό βάρος των προνυμφών των επτά διαφορετικών φυλών παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές από στις πρώτες κιόλας εβδομάδες της ανάπτυξής τους. Στις 4 εβδομάδες η Ισπανική φυλή είχε το υψηλότερο ατομικό βάρος (9.2 mg) και ακολουθούν οι Ιταλικές φυλές II και I με 8.6 και 8.1 mg αντίστοιχα. Το χαμηλότερο βάρος καταγράφηκε για την Αμερικάνικη φυλή (5.7 mg). Στις 6 εβδομάδες η Ισπανική φυλή συνέχισε να έχει το υψηλότερο βάρος (37.9) μαζί με την Ιταλική φυλή I (37.4 mg). Ακολουθούν η Ιταλική φυλή II (32.7 mg) με την Τούρκικη φυλή (32.7 mg). Το χαμηλότερο βάρος καταγράφηκε για την Αμερικάνικη (17.4 mg) και τη Γερμανική φυλή (22.7 mg). Στις 8 εβδομάδες οι περισσότερες φυλές δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, ενώ το χαμηλότερο βάρος συνέχισαν να έχουν η Αμερικάνικη (47.6 mg) και η Γερμανική φυλή (44.9 mg). Με το πέρας των 10 εβδομάδων σε δύο από τις φυλές, στην Ισπανική και στην Τούρκικη φυλή, εμφανίστηκε η πρώτη νύμφη. Τα ατομικά βάρη των προνυμφών έφτασαν τα 106.9 mg στην Ισπανική φυλή και τα 98.2 mg στην Τούρκικη φυλή. Παρ' όλα αυτά, το υψηλότερο ατομικό βάρος στις 10 εβδομάδες καταγράφηκε για την Ιταλική φυλή II (116.5 mg). Την ίδια χρονική περίοδο, όσον αφορά τις φυλές που δεν νυμφώθηκαν, τα επόμενα υψηλότερα ατομικά βάρη ήταν εκείνα της Ιταλικής φυλής I (109.0 mg) και της Ελληνικής φυλής (104.9 mg). Στις 12 εβδομάδες σε όλες τις φυλές, πέραν της Γερμανικής, εμφανίστηκε η πρώτη νύμφη. Το υψηλότερο βάρος καταγράφηκε στην Ιταλική φυλή II (131.0 mg), ακολούθησε η Ιταλική φυλή I (113.0 mg), η Ελληνική φυλή (108.0 mg) και η Αμερικάνικη φυλή (87.0 mg). Τέλος, για τη Γερμανική φυλή η πρώτη νύμφη καταγράφηκε με το πέρας 22 εβδομάδων και το ατομικό βάρος των προνυμφών τους έφτασε στα 154.0 mg.

Όσον αφορά τη συγκριτική αξιολόγηση της επιβίωσης των προνυμφών των επτά διαφορετικών φυλών του *T. molitor*, τα δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 [του Παραρτήματος](#) καθώς και στο Διάγραμμα 2. Το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών

ήταν >85% για όλες τις φυλές μέχρι την εμφάνιση της πρώτης νύμφης. Παρ' όλα αυτά, εμφανίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές από τις πρώτες 4 εβδομάδες, με τη Γερμανική φυλή να εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης (99%), με επόμενες την Ελληνική, την Τούρκικη την Αμερικάνικη φυλή. Τα χαμηλότερα ποσοστά επιβίωσης καταγράφηκαν για την Ισπανική φυλή (90.7%) και στις Ιταλικές φυλές I (91%) και II (91%) στις 6 και 8 εβδομάδες η Γερμανική φυλή διατήρησε το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης (99.3%) και ακολούθησαν η Ελληνική (95.7%) και η Τούρκικη φυλή (94.7%). Στις δέκα εβδομάδες η Τουρκική και Ισπανική φυλή νυμφώθηκαν με ποσοστό επιβίωσης 94% και 87.3%, αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, το υψηλότερο ποσοστό επιβίωσης το είχε και πάλι η Γερμανική φυλή (98.7%). Ακολούθησαν η Ελληνική φυλή (92.3%), η Ιταλική φυλή II (90%), η Αμερικάνικη φυλή (89.3%) και η Ιταλική φυλή I (87.5%). Στις 12 εβδομάδες καταγράφηκε η εμφάνιση της πρώτης νύμφης σε όλες τις φυλές πέραν της Γερμανικής. Τα ποσοστά επιβίωσης τα οποία καταγράφηκαν για τις φυλές που νυμφώθηκαν στις δώδεκα εβδομάδες ήταν για την Ελληνική φυλή 92.3%, για την Αμερικάνικη φυλή 89.3%, για την για την Ιταλική φυλή I 85.7% και για την Ιταλική φυλή II 90%. Για τη Γερμανική φυλή η καταγραφή της πρώτης νύμφης πραγματοποιήθηκε στις 22 εβδομάδες με ποσοστό επιβίωσης 96.7%.

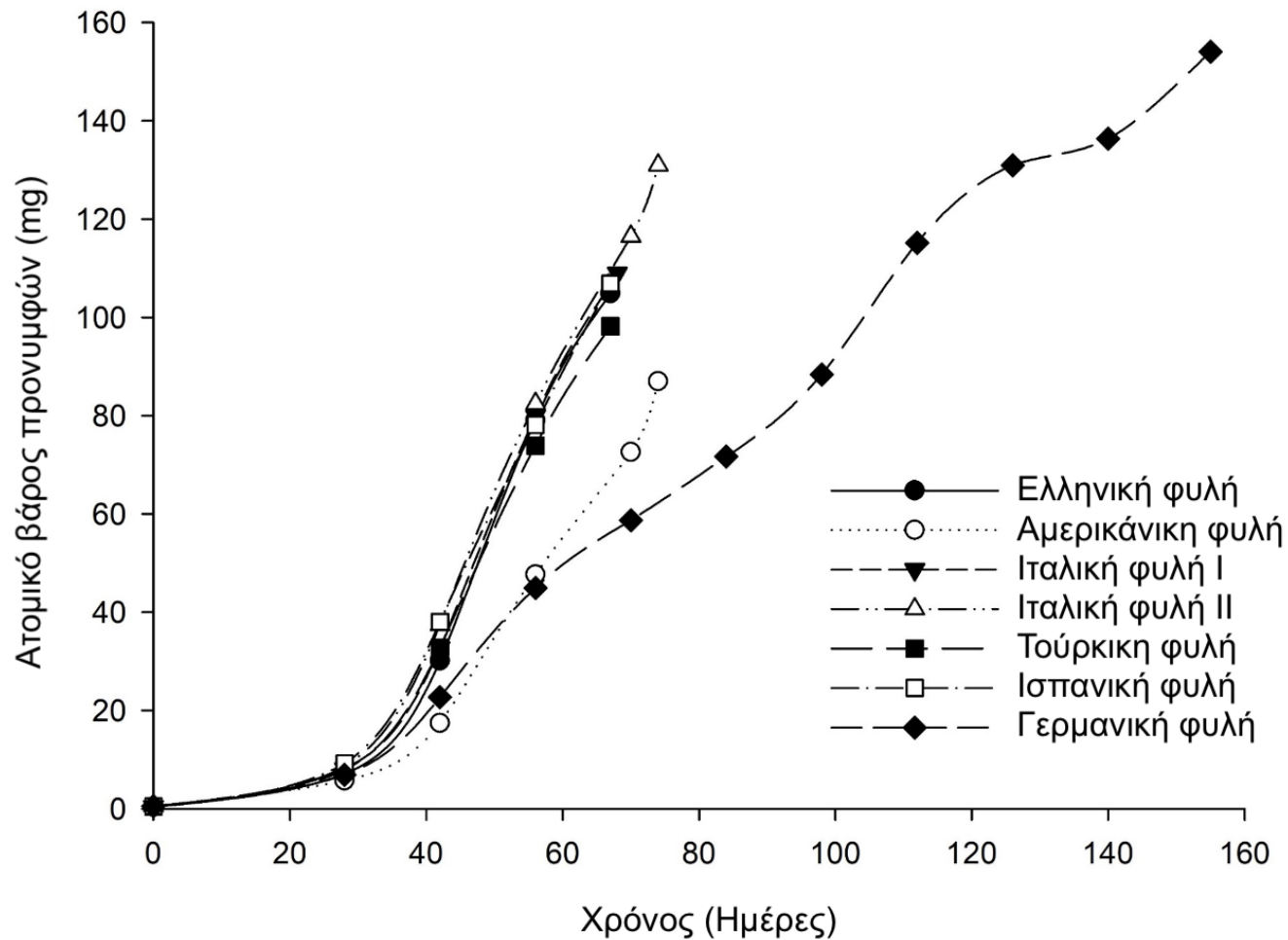
Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών, η συνολική τροφή η οποία καταναλώθηκε καθώς και το βάρος των αποχωρημάτων των προνυμφών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 του Παραρτήματος. Οι φυλές οι οποίες αναπτύχθηκαν ταχύτερα ήταν η Ελληνική, η Ιταλική I, η Τούρκικη και η Ισπανική. Οι χρόνοι ανάπτυξης των φυλών αυτών κυμάνθηκαν από 66.5-68.3 ημέρες και δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Ακολούθησε η Αμερικάνικη φυλή η οποία δε διέφερε σημαντικά από τις προαναφερθείσες φυλές και η ανάπτυξή της διήρκησε 73.8 ημέρες και η Ιταλική φυλή II η οποία είχε ανάπτυξη 74.2 ημέρες. Τέλος, η Γερμανική φυλή είχε την πιο αργή ανάπτυξη 156.2 ημέρες. Οι δύο τελευταίες φυλές διέφερε σημαντικά με όλες τις υπόλοιπες φυλές. Ακόμη, η ποσότητα τροφής η οποία καταναλώθηκε από τις προνύμφες διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των επτά διαφορετικών φυλών. Την μεγαλύτερη ποσότητα τροφής την κατανάλωσε η Γερμανική φυλή (19.5 g), ακολούθησε η Ιταλική φυλή II (11.3 g), η Ιταλική φυλή I (9.7 g), η Ελληνική φυλή (9.6 g), η Τούρκικη φυλή (9.4 g) και η Ισπανική φυλή (9.4 g). Τη χαμηλότερη ποσότητα τροφής την κατανάλωσε η Αμερικάνικη φυλή (8.1 g). Όσον αφορά το βάρος των

αποχωρημάτων, υπήρξαν και πάλι στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών φυλών. Τα περισσότερα αποχωρήματα παράχθηκαν από τη Γερμανική φυλή (13.0 g), ενώ τα λιγότερα από την Αμερικάνικη φυλή (4.0 g). Οι υπόλοιπες φυλές παρήγαγαν αποχωρήματα βάρους 5.0-6.1 g.

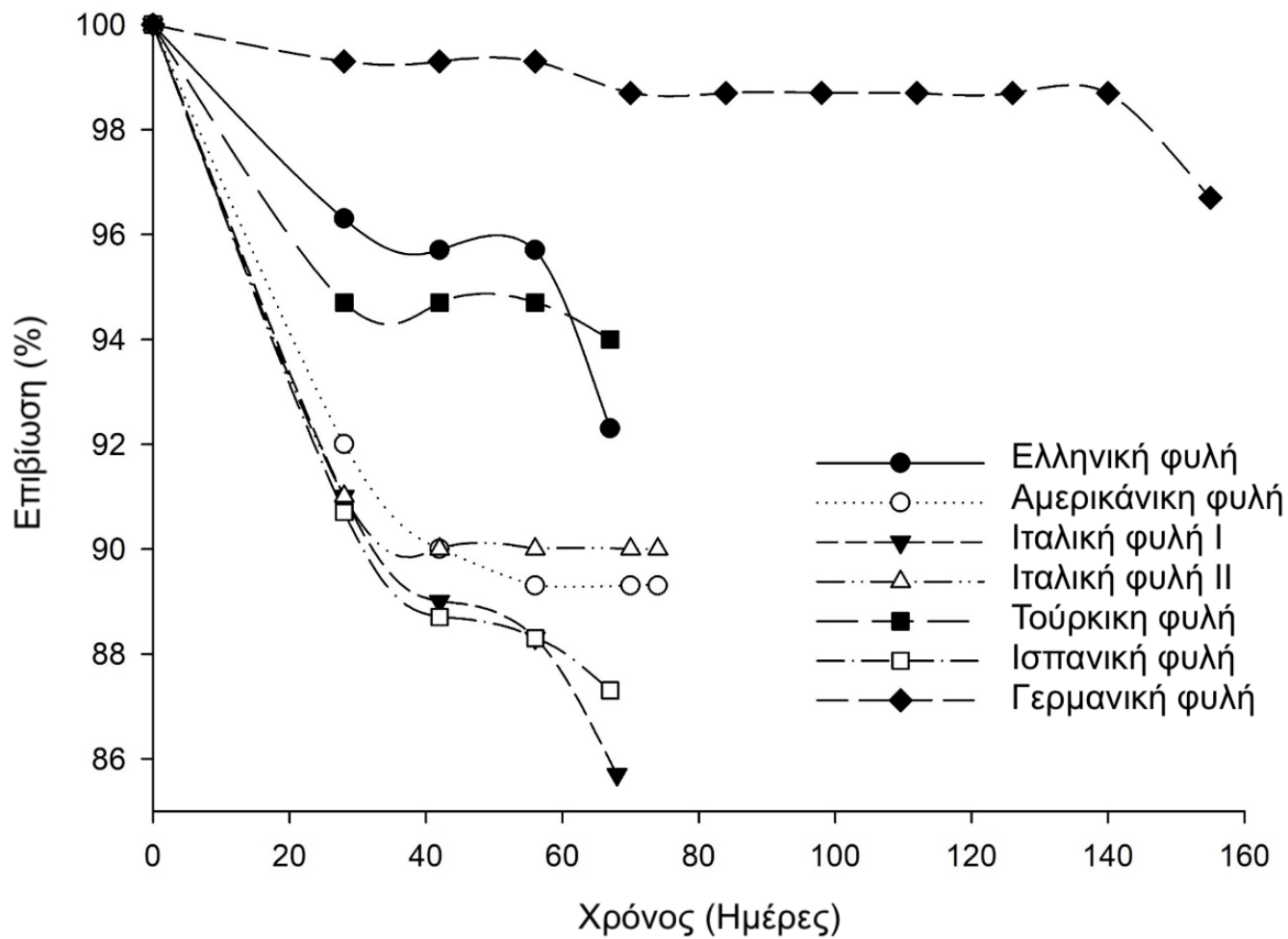
Στον Πίνακας 6 του Παραρτήματος παρουσιάζονται τέσσερις δείκτες αξιοποίησης της τροφής. Ο πρώτος αφορά τη συνολική τροφή η οποία προστέθηκε προς το βάρος το οποίο τελικά κερδήθηκε (FCR). Το χαμηλότερο FCR καταγράφηκε για την Ιταλική φυλή II (2.02). Ακολούθησαν η Ιταλική φυλή I και η Τούρκικη φυλή με 2.14 και 2.15 αντιστοίχως. Τέλος, το υψηλότερο FCR καταγράφηκε για τη Γερμανική φυλή (2.64). Ο δεύτερος δείκτης αφορά το ποσοστό του βάρους που κερδήθηκε προς το βάρος της τροφής η οποία καταναλώθηκε (ECI) και κυμάνθηκε από 17.5% έως 21.0%. Ο τρίτος δείκτης αφορά το ποσοστό της ικανότητας μετατροπής της χωνευμένης τροφής σε σωματικό βάρος (ECD). Το ποσοστό του ECD κυμάνθηκε από 35.8% έως 51.8%. Τέλος, ο τέταρτος δείκτης αφορά το ποσοστό της διαφοράς του αρχικού από το τελικό σωματικό βάρος των προνυμφών προς τον αριθμό των ημερών έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (SGR). Ο υψηλότερος δείκτης SGR καταγράφηκε για την Ελληνική φυλή (8.5%), την Ιταλική φυλή I (8.2%), την Ισπανική (8.2%) και την Τούρκικη φυλή (8.2%). Ακολούθησαν οι Αμερικάνικη και η Ιταλική φυλή II (7.4%), ενώ το χαμηλότερο δείκτη είχε η Γερμανική φυλή (3.7%). Για όλους τους δείκτες καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των επτά διαφορετικών φυλών.

Στον Πίνακας 7 του Παραρτήματος παρουσιάζονται οι μετρήσεις σχετικά με την περιεκτικότητα των προνυμφών των επτά διαφορετικών φυλών σε ξηρά ουσία (%), άζωτο (%), λιπαρά οξέα (%) και ενέργεια (J/g). Μεταξύ των διαφορετικών φυλών καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά τα ποσοστά της ξηράς ουσίας του σώματός τους. Το υψηλότερο ποσοστό ξηράς ουσίας καταγράφηκε για τη Γερμανική φυλή (41.26%), ενώ το χαμηλότερο για την Αμερικάνικη φυλή (34.19%). Όσον αφορά το άζωτο (%), λιπαρά οξέα (%) και ενέργεια (J/g) δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επτά διαφορετικών φυλών. Το συνολικό ποσοστό αζώτου κυμάνθηκε από 8.2% έως 7.8%, η περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα κυμάνθηκε από 29.99% έως 33.54% και η περιεκτικότητα σε ενέργεια από 26,879 J/g έως 29,934 J/g.





Διάγραμμα 1 Μέσοι όροι ατομικού βάρους προνυμφών (mg) επτά διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor*. Τα ατομικά βάρη καταγράφονταν κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (n = 6). Όσον αφορά τα τελικά βάρη των προνυμφών, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



Διάγραμμα 2 Μέσοι όροι του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών (%) επτά διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor*. Τα ποσοστά επιβίωσης καταγράφονται κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (n = 6). Όσον αφορά τα τελικά ποσοστά επιβίωσης, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

### 3.2. Συγκριτική αξιολόγηση της ανάπτυξης των προνυμφών έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*, απουσία υγρασίας.

Στον Πίνακα 8 του Παραρτήματος καθώς και στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζονται τα ατομικά βάρη των προνυμφών των έξι διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor*. Το υπόστρωμα εκτροφής των προνυμφών ήταν το ίδιο με το υπόστρωμα εκτροφής της προηγούμενης πειραματικής ενότητας (πίτουρο με μαγιά σε αναλογία 9:1) με τη διαφορά ότι στη συγκεκριμένη πειραματική ενότητα απουσίαζε ο παράγοντας της υγρασίας. Το ατομικό βάρος των προνυμφών των έξι διαφορετικών φυλών παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Τις 4 πρώτες εβδομάδες οι φυλές οι οποίες κέρδισαν το περισσότερο βάρος ήταν η Ελληνική (4.5 mg) και η Τούρκικη (4.6 mg). Το χαμηλότερο βάρος καταγράφηκε για την Αμερικάνικη φυλή (2.9 mg). Στις 6 εβδομάδες η Ελληνική φυλή συνέχισε να έχει το υψηλότερο βάρος (12.1 mg). Στις 8 εβδομάδες οι περισσότερες φυλές δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές, ενώ το υψηλότερο βάρος το είχε η Ελληνική φυλή (13.9 mg) και το χαμηλότερο η Ιταλική φυλή II (10.1 mg). Στις 10 εβδομάδες δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των έξι διαφορετικών φυλών και το ατομικό βάρος των προνυμφών κυμάνθηκε από 15.3 έως 17.4 mg. Στις 12 εβδομάδες επίσης δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυλών. Το βάρος κυμάνθηκε από 16.5 έως 19.0 mg. Στις 14 εβδομάδες η Τούρκικη φυλή είχε το υψηλότερο ατομικό βάρος (24.6 mg) και ακολούθησε η Ισπανική φυλή με 21.3 mg. Η Τούρκικη φυλή εξακολούθησε να έχει το υψηλότερο βάρος και στις 16 εβδομάδες (32.12 mg). Στις 18 εβδομάδες το υψηλότερο βάρος κυμάνθηκε στα 43.5 mg για την Τούρκικη φυλή ενώ το χαμηλότερο στα 21.9 mg για την Ιταλική φυλή II. Στις 20 εβδομάδες το υψηλότερο βάρος κυμάνθηκε στα 52.3 mg για την Τούρκικη φυλή. Στις 22 εβδομάδες το υψηλότερο βάρος καταγράφηκε για την Τούρκικη φυλή (58.2 mg) και το χαμηλότερο για την Ιταλική φυλή II (27.1 mg). Στις 24 εβδομάδες το υψηλότερο βάρος έφτασε στα 62.6 mg για την Τούρκικη φυλή και το χαμηλότερο στα 29.6 mg για την Ιταλική φυλή II. Στις 26 εβδομάδες και πάλι η Τούρκικη φυλή είχε το υψηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών ενώ η Ιταλική φυλή II είχε το χαμηλότερο. Το ίδιο παρατηρήθηκε στις 28 εβδομάδες. Στις 30 εβδομάδες τα ατομικά βάρη των προνυμφών των έξι διαφορετικών φυλών κυμάνθηκαν από 70.8 mg για την Τούρκικη φυλή έως 41.7 mg για την Ιταλική φυλή II. Στις 32 εβδομάδες παρατηρήθηκαν. Οι πρώτες νύμφες στην Ελληνική και την Τούρκικη φυλή. Το βάρος για την Ελληνική φυλή ήταν 62.3 mg και για την Τούρκικη φυλή 70.8 mg. Για τις υπόλοιπες φυλές η

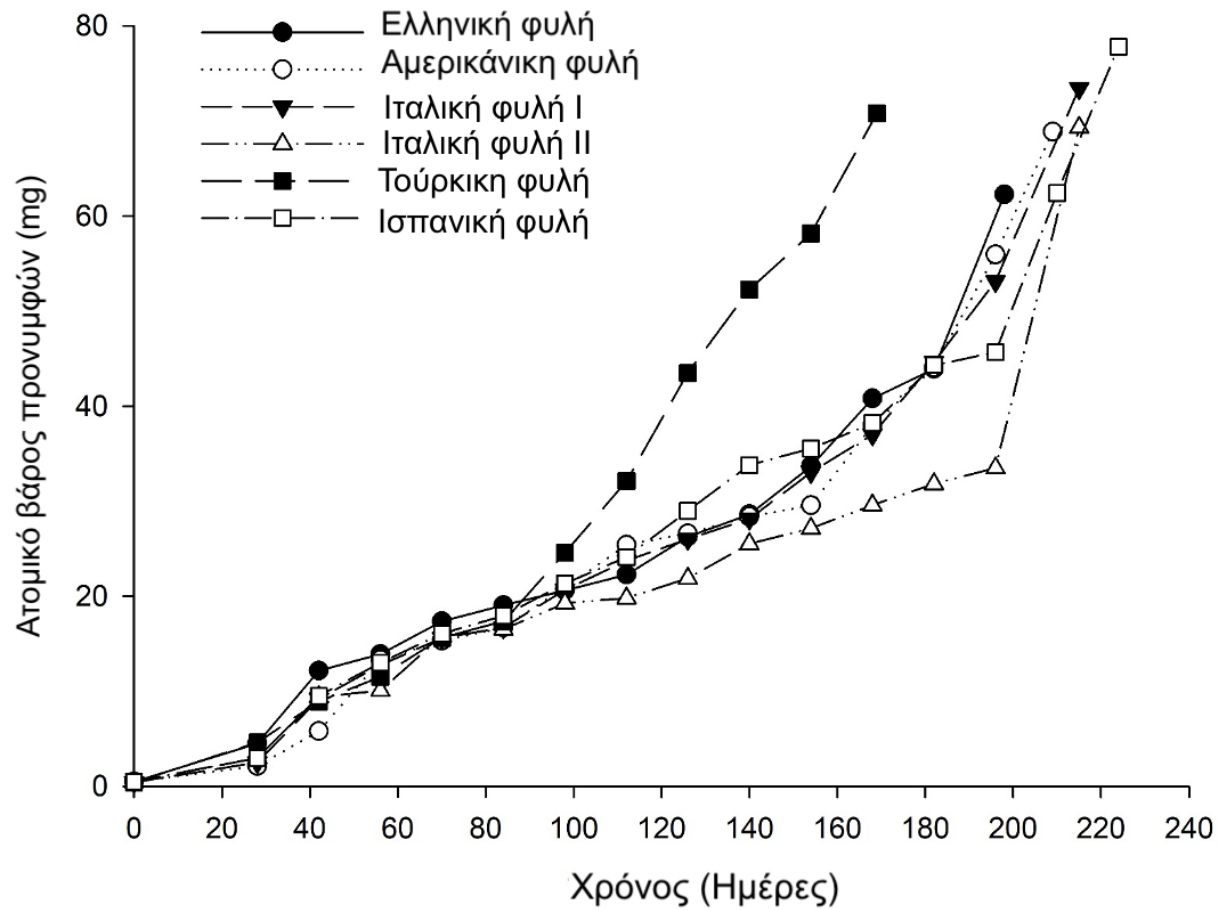
πρώτη νύμφη καταγράφηκε στις 36 εβδομάδες. Το βάρος των προνυμφών της Ισπανικής φυλής ήταν 77.8 mg για την Αμερικάνικη 68.9 mg, για την Ιταλική I 73.4 mg και για την Ιταλική II 69.3 mg.

Όσον αφορά τη συγκριτική αξιολόγηση της επιβίωσης των προνυμφών των έξι διαφορετικών φυλών του *T. molitor*, τα δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακας 9 του Παραρτήματος καθώς και στο Διάγραμμα 4. Το ποσοστό επιβίωσης εμφάνισε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των έξι διαφορετικών φυλών. Παρ' όλα αυτά, το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών κυμάνθηκε από 60.7% έως 75.3% έως το πέρας της βιοδοκιμής.

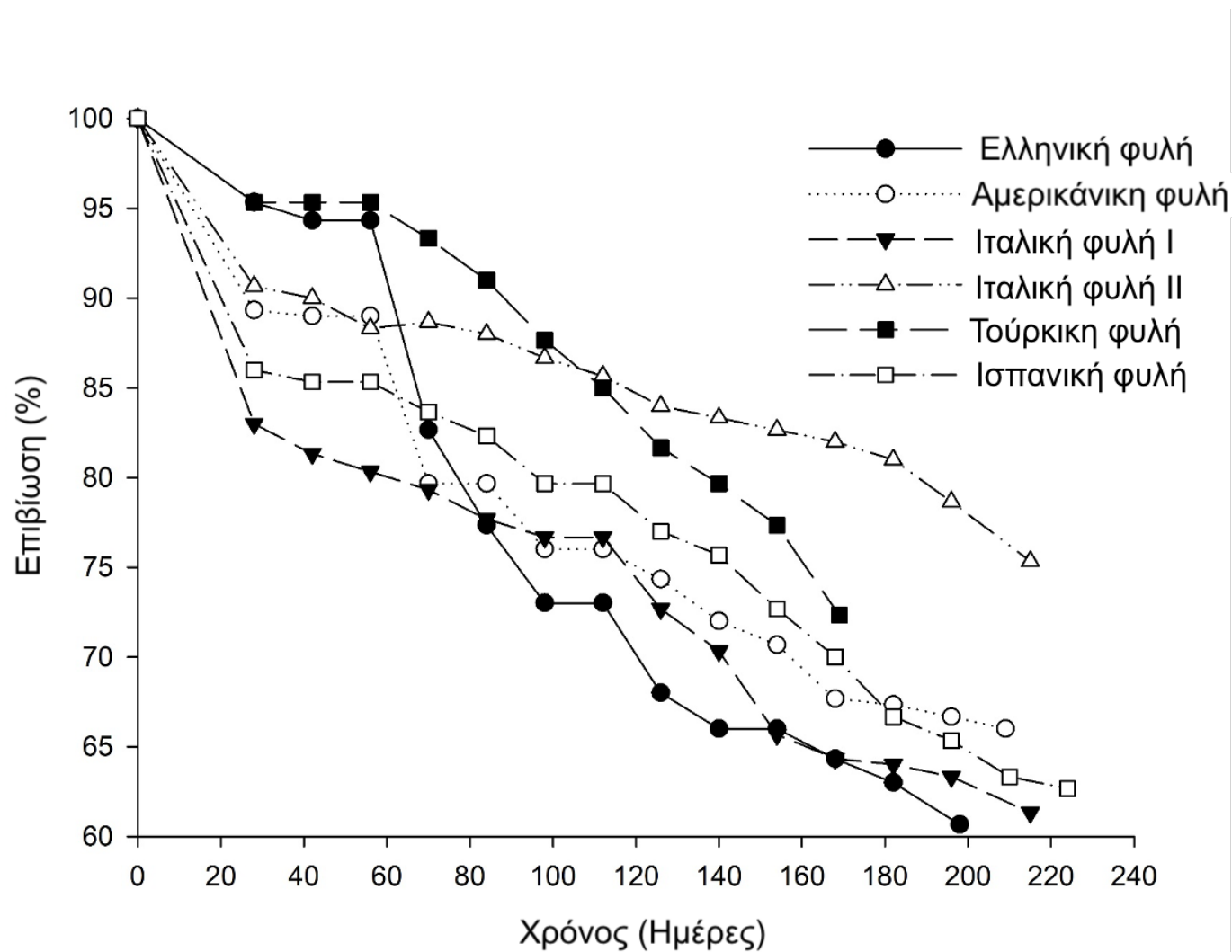
Ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών, η συνολική τροφή η οποία καταναλώθηκε καθώς και το βάρος των αποχωρημάτων των προνυμφών παρουσιάζονται στον Πίνακα 10. Οι φυλή η οποία αναπτύχθηκε ταχύτερα ήταν η Τούρκικη φυλή (169.7 ημέρες). Ακολούθησαν η Ελληνική (204 ημέρες) και η Αμερικάνικη φυλή (209.7 ημέρες). Οι φυλές οι οποίες αναπτύχθηκαν βραδύτερα ήταν η Ισπανική φυλή (229.17 ημέρες), η Ιταλική φυλή I (217 ημέρες) και η Ιταλική φυλή II (215.5 ημέρες). Σε γενικά πλαίσια οι έξι διαφορετικές φυλές παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η ποσότητα τροφής η οποία καταναλώθηκε από τις προνύμφες δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των επτά διαφορετικών φυλών και κυμάνθηκε από 8.4 g έως 10.3 g. Όσον αφορά το βάρος των αποχωρημάτων, δεν υπήρξαν και πάλι στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών φυλών και τα βάρη κυμάνθηκαν από 15.8 έως 17.3 g.

Στον Πίνακα 11 του Παραρτήματος παρουσιάζονται τρεις δείκτες αξιοποίησης της τροφής. Ο πρώτος αφορά τη συνολική τροφή η οποία προστέθηκε προς το βάρος το οποίο τελικά κερδήθηκε (FCR) ενώ ο δεύτερος δείκτης αφορά το ποσοστό του βάρους που κερδήθηκε προς το βάρος της τροφής η οποία καταναλώθηκε (ECI). Για τους δύο αυτούς δείκτες δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών φυλών. Οι τιμές για το δείκτη FCR κυμάνθηκαν από 6.7 έως 10.2 και για το δείκτη ECI από 4.3 έως 6.3%. Ο τρίτος 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). Για το συγκεκριμένο δείκτη καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών φυλών. Ο

υψηλότερος δείκτης SGR καταγράφηκε για την Τούρκικη φυλή (3.08%). Ακολούθησαν η Ελληνική φυλή (2.44%), η Αμερικάνικη (2.35%), η Ιταλική φυλή II (2.35%) και η Ιταλική φυλή I (2.39%). Τέλος ο χαμηλότερος δείκτης SGR καταγράφηκε για την Ισπανική φυλή (2.22%).



Διάγραμμα 3 Μέσοι όροι ατομικού βάρους προνυμφών (mg) έξι διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor*. Τα ατομικά βάρη καταγράφονταν κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (n = 6). Όσον αφορά τα τελικά βάρη των προνυμφών, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test



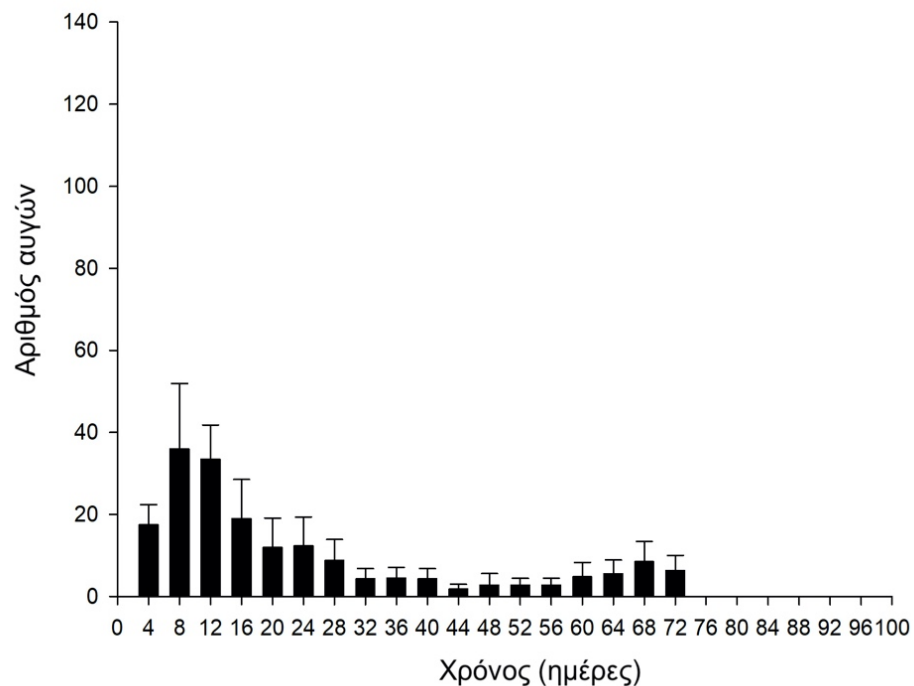
Διάγραμμα 4 Μέσοι όροι του ποσοστού επιβίωσης των προνυμφών (%) επτά διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor*. Τα ποσοστά επιβίωσης καταγράφονταν κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (n = 6). Όσον αφορά τα τελικά ποσοστά επιβίωσης, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το Tukey HSD test.

### 3.3. Συγκριτική αξιολόγηση του αναπαραγωγικού δυναμικού έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*.

Για τη συγκριτική αξιολόγηση του αναπαραγωγικού δυναμικού των έξι διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor*, ο αριθμός των παραγόμενων αυγών κάθε φυλής, το ποσοστό εκκολαψιμότητας καθώς και το ποσοστό επιβίωσης των ενηλίκων παρουσίασαν σημαντικές διαφορές (Πίνακας 12, Πίνακας 13 και Πίνακας 14 του Παραρτήματος). Γενικά, σε όλες σχεδόν τις φυλές ο αριθμός των παραγόμενων αυγών έφτασε σε ένα μέγιστο τις πρώτες 4 έως 8 ημέρες. Εξαιρέση αποτέλεσαν τα ενήλικα άτομα της Ισπανικής φυλής τα οποία εναπόθεσαν το μεγαλύτερο αριθμό αυγών στις δεκαέξι ημέρες (Διάγραμμα 5, Διάγραμμα 6, Διάγραμμα 8, Διάγραμμα 7, Διάγραμμα 9 και Διάγραμμα 10). Στο συγκεκριμένο διάστημα τα ενήλικα της Ιταλικής φυλής I εναπόθεσαν τα περισσότερα αυγά και ακολούθησαν τα ενήλικα της Ελληνικής και της Τούρκικης φυλής. Ο χαμηλότερος αριθμός αυγών καταγράφηκε στην περίπτωση της Γερμανικής φυλής. Η μείωση της εναπόθεσης αυγών για τη Γερμανική φυλή έλαβε χώρα τις πρώτες 16 ημέρες, για την Ελληνική φυλή είναι εμφανής στις 64 ημέρες, για την Ιταλική φυλή I στις 76 ημέρες, για την Ιταλική φυλή II στις 68 ημέρες, για την Ισπανική φυλή στις 76 ημέρες και για την Τούρκικη φυλή στις 68 ημέρες. Συνολικά, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος τα ενήλικα άτομα της Ισπανικής φυλής, της Ιταλικής φυλής I και της Ελληνικής φυλής εναπόθεσαν τον υψηλότερο αριθμό αυγών (945, 914 και 832 αυγά, αντίστοιχα). Τον χαμηλότερο αριθμό αυγών των εναπόθεσε η Γερμανική φυλή (187 αυγά).

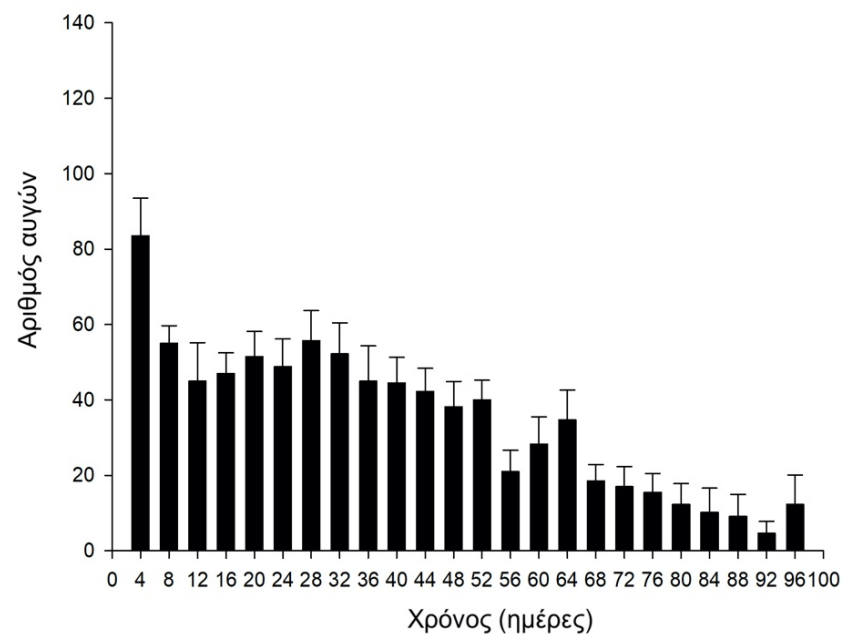


### Γερμανική φυλή



Διάγραμμα 6 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του αριθμού των αυγών τα οποία αναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Γερμανικής φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=4).

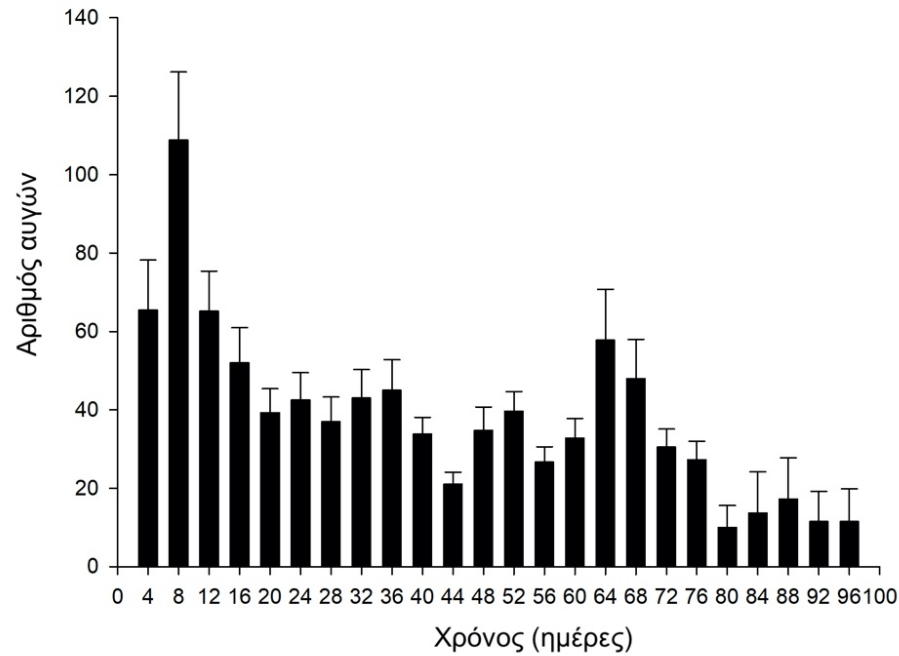
### Ελληνική φυλή



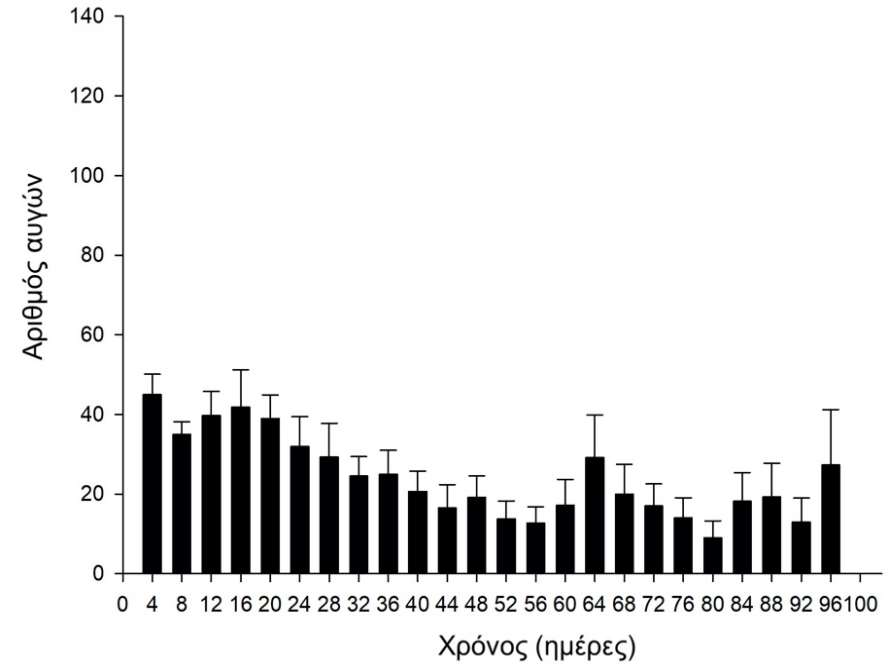
Διάγραμμα 5 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του αριθμού των αυγών τα οποία αναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Ελληνικής φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).

Ιταλική φυλή II

Ιταλική φυλή I

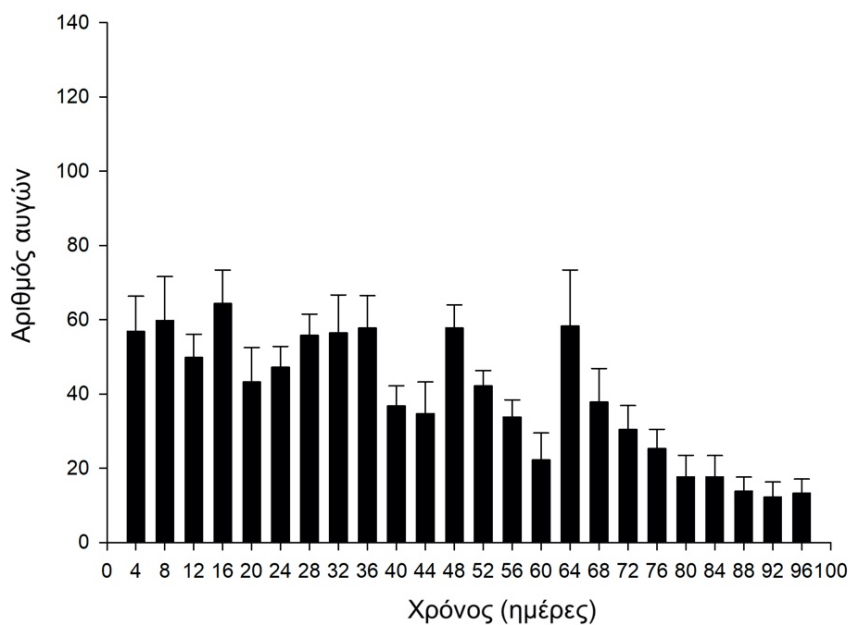


Διάγραμμα 7 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του αριθμού των αυγών τα οποία αναπτύχθηκαν από ενήλικα άτομα της Ιταλικής φυλής I του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).



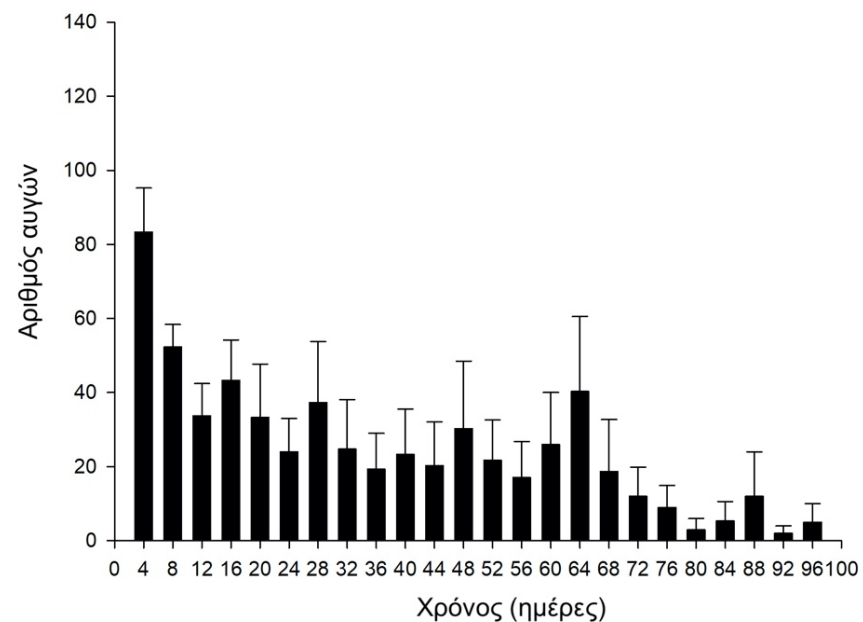
Διάγραμμα 8 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του αριθμού των αυγών τα οποία αναπτύχθηκαν από ενήλικα άτομα της Ιταλικής φυλής II του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).

Ισπανική φυλή



Διάγραμμα 9 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του αριθμού των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Ισπανικής φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).

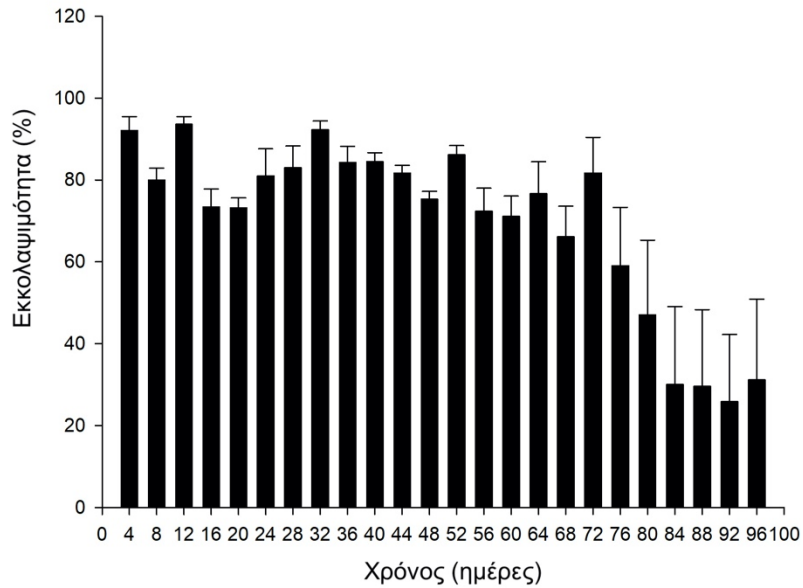
Τούρκικη φυλή



Διάγραμμα 10 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του αριθμού των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Τούρκικης φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=3).

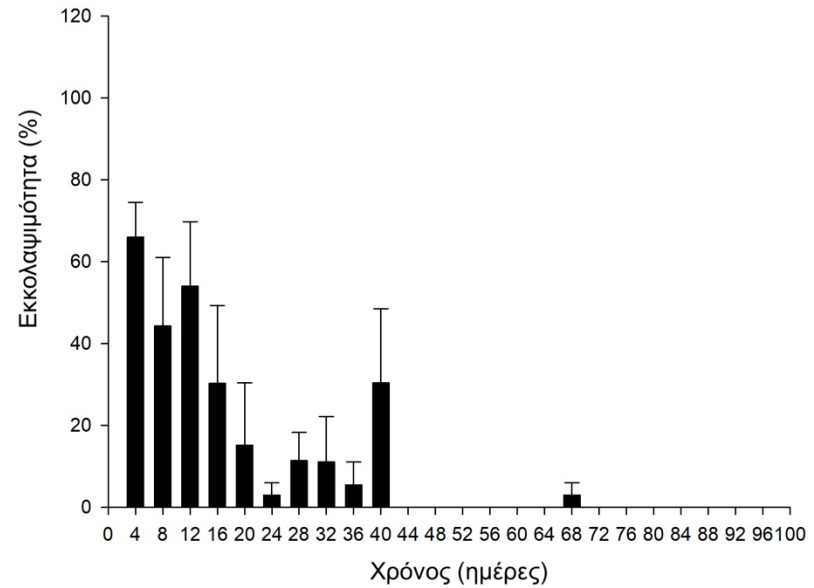
Στον Πίνακα 13 του Παραρτήματος καθώς και στα Διαγράμματα Διάγραμμα 11, Διάγραμμα 12, Διάγραμμα 13, Διάγραμμα 14, Διάγραμμα 15 και Διάγραμμα 16 παρουσιάζεται το ποσοστό εκκολαψιμότητας των αυγών. Το ποσοστό εκκολαψιμότητας για όλα τις φυλές παρουσίασε διακυμάνσεις στο χρόνο. Σε γενικά πλαίσια για την Ελληνική φυλή το ποσοστό κυμάνθηκε μεταξύ 66-93% έως τις 72 ημέρες. Για την Ιταλική φυλή I το ποσοστό εκκολαψιμότητας ήταν 62-83% έως τις 56 ημέρες, και για την Ιταλική φυλή II 61-79% έως τις 48 ημέρες. Για τη Γερμανική έως τις 12 ημέρες εκκολάφθηκε το 45-66% των αυγών, ενώ ύστερα από 44 ημέρες κανένα αυγό δεν εκκολάπτονταν. Για την Τούρκικη φυλή το ποσοστό εκκολαψιμότητας κυμάνθηκε από 64-93% έως τις 28 ημέρες και τέλος για την Ισπανική φυλή κυμάνθηκε από 59-79% έως τις 52 ημέρες. Για την Ισπανική φυλή εξαίρεση αποτέλεσε μια μεμονωμένη αύξηση ξανά στις 72 ημέρες όπου ξεπέρασε το 85%.

Ελληνική φυλή



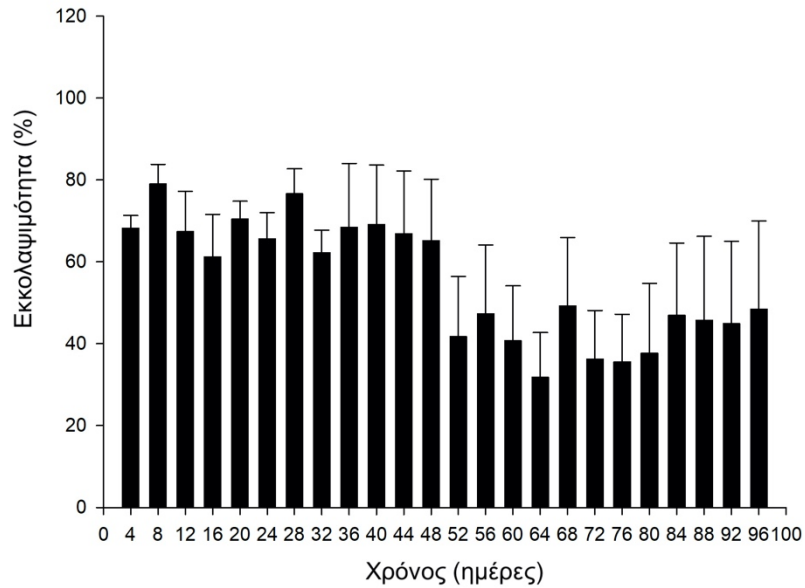
Διάγραμμα 12 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού εκκολαψιμότητας των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Ελληνικής φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).

Γερμανική φυλή



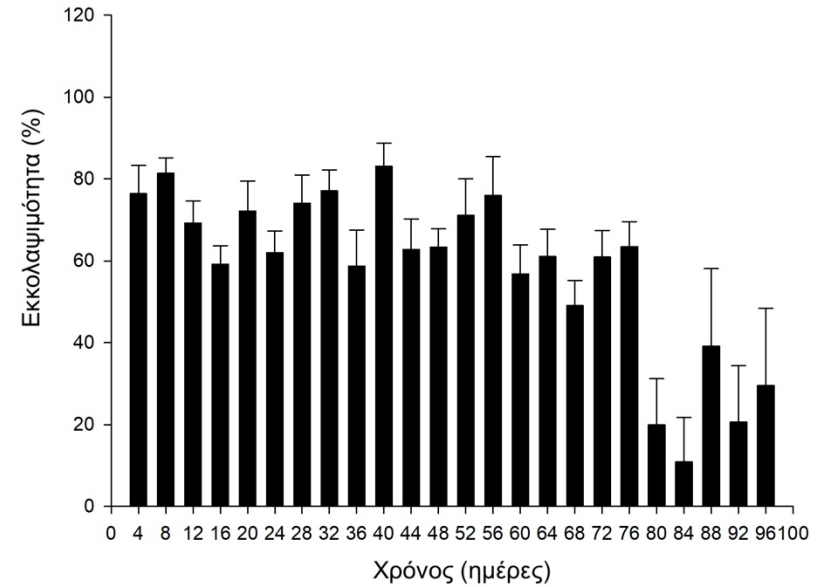
Διάγραμμα 11 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού εκκολαψιμότητας των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Γερμανικής φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=4).

Ιταλική φυλή II

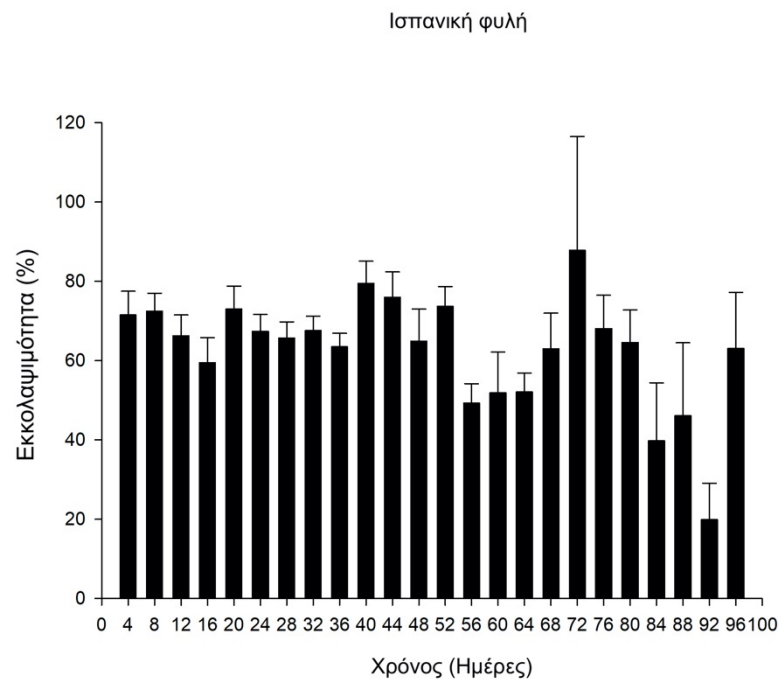


Διάγραμμα 14 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού εκκολαψιμότητας των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Ιταλικής φυλής II του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).

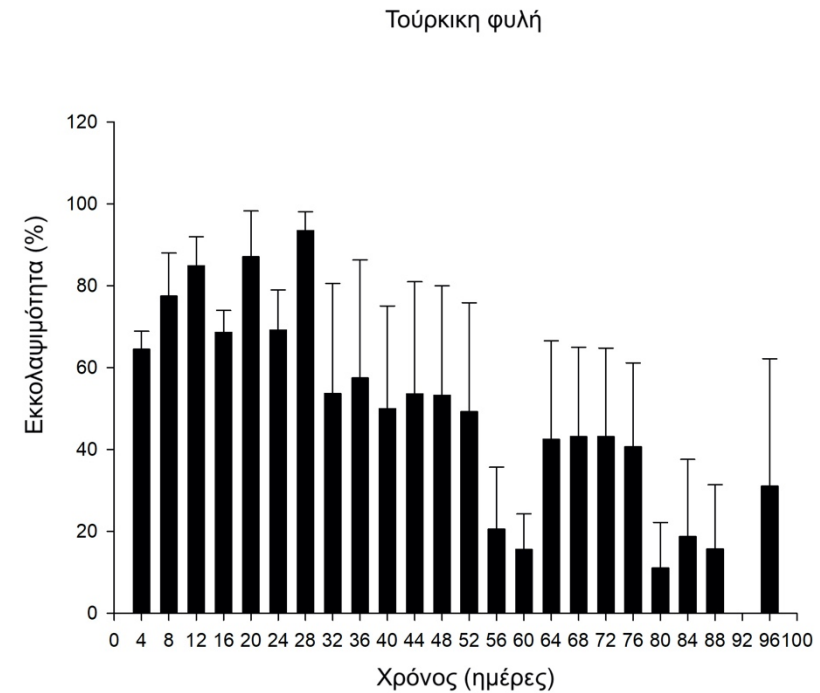
Ιταλική φυλή I



Διάγραμμα 13 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού εκκολαψιμότητας των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Ιταλικής φυλής I του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).



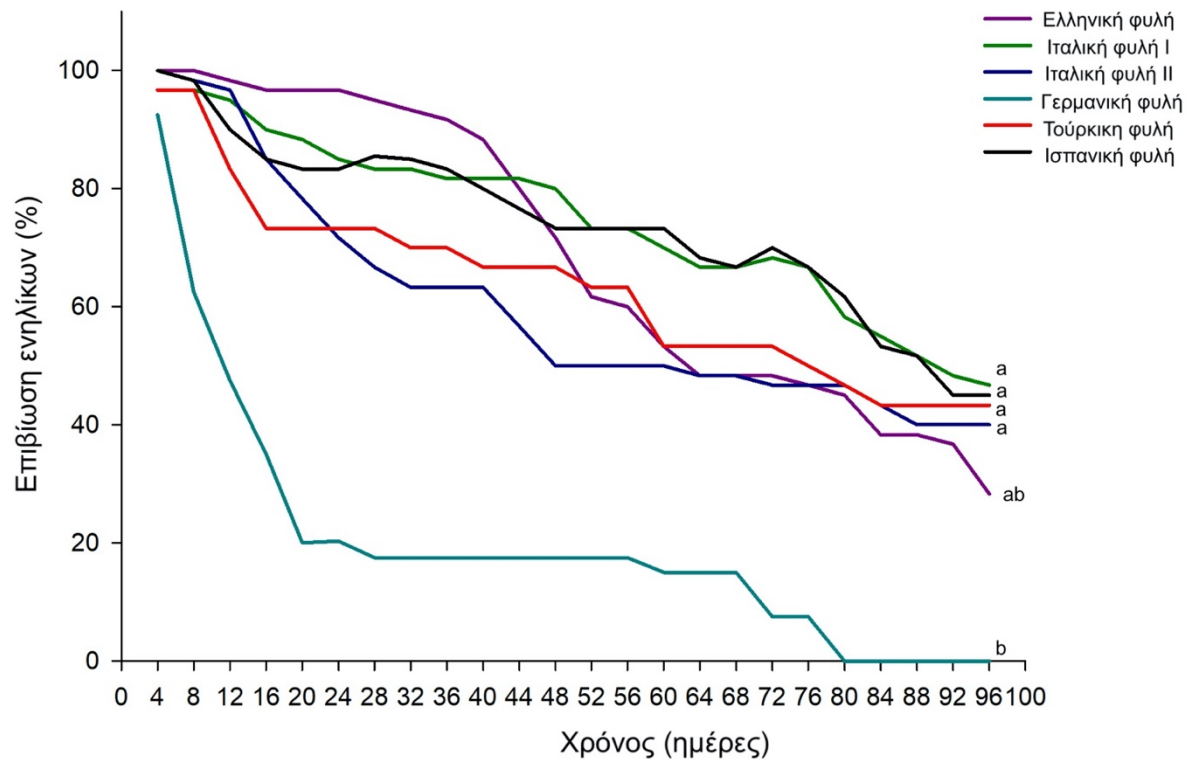
Διάγραμμα 16 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού εκκολαψιμότητας των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Ισπανικής φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=6).



Διάγραμμα 15 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού εκκολαψιμότητας των αυγών τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα της Τούρκικης φυλής του *Tenebrio molitor*. Η καταγραφή πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών (n=3).

Στον Πίνακα 14 του Παραρτήματος καθώς και στο Διάγραμμα 17 φαίνεται η επιβίωση των ενηλίκων ατόμων των έξι διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor*. Τις πρώτες 12 ημέρες της ζωής τους η επιβίωση των ενηλίκων των έξι εκ των επτά διαφορετικών φυλών κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (>80%) ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Εξάιρεση αποτέλεσαν τα ενήλικα της Γερμανικής φυλής για τα οποία το ποσοστό επιβίωσής τους μειώθηκε στο 62% από τις πρώτες 8 ημέρες της ζωής τους. Με το πέρας 20 ημερών τα ενήλικα της Γερμανικής φυλής εμφάνισαν ποσοστό επιβίωσης <20% ενώ στις 80 ημέρες κανένα ενήλικο δεν ήταν πλέον ζωντανό. Για τα ενήλικα της Ιταλικής φυλής II το ποσοστό επιβίωσης ήταν <60% από τις 40 ημέρες και έπειτα, ενώ για τα ενήλικα της Τούρκικης καθώς και τις Ελληνικής φυλής η ίδια μείωση του ποσοστού επιβίωσης συνέβη ύστερα από 56 ημέρες. Τα ενήλικα τόσο της Ιταλικής φυλής I όσο και της Ισπανικής φυλής διατήρησαν ένα αρκετά υψηλό ποσοστό επιβίωσης (>70%) έως τις 60 ημέρες. Πέραν της Γερμανική φυλής, με το πέρας του πειράματος στις 96 ημέρες, καμία φυλή δεν παρουσίασε ποσοστό 100% θνησιμότητας των ενηλίκων.





Διάγραμμα 17 Μέσοι όροι του ποσοστού επιβίωσης των ενηλίκων ατόμων (%) έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*. Τα ποσοστά επιβίωσης καταγράφονται κάθε 4 ημέρες για διάστημα 96 ημερών (Για την Ελληνική φυλή, την Ιταλική φυλή I, την Ιταλική φυλή II και την Ισπανική φυλή n=6. Για τη Γερμανική φυλή n=4. Για την Τούρκικη φυλή n=3). Όσον αφορά τα τελικά ποσοστά επιβίωσης, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

## 4. Συζήτηση

Από τα όσα γνωρίζουμε έως τώρα, η εκτροφή των εντόμων τα οποία προορίζονται είτε για ζωοτροφές είτε για ανθρώπινη κατανάλωση χρήζει περαιτέρω βελτίωσης. Ορισμένοι παράγοντες, όπως η βέλτιστη διατροφή και οι συνθήκες της εκτροφής, έχουν μελετηθεί εκτενώς την τελευταία δεκαετία (Morales-Ramos *et al.*, 2010; Morales-Ramos *et al.*, 2013; Morales-Ramos *et al.*, 2015; Van Broekhoven *et al.*, 2015; Bjørgea *et al.*, 2018; Rumbos *et al.*, 2020) ενώ άλλοι παράγοντες όπως η επιλογή συγκεκριμένων φυλών εντόμων του ίδιου είδους με τα βέλτιστα χαρακτηριστικά, δεν έχει μελετηθεί σε βάθος. Παρ' όλα αυτά, πραγματοποιώντας μια κριτική επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι διαφορετικές φυλές εντόμων του ίδιου είδους παρουσιάζουν διαφορές στον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται κάτω από αντίξοες ή ευνοϊκές συνθήκες (Haddi *et al.*, 2015; Agrafioti and Athanassiou 2018; Athanassiou *et al.*, 2019). Έτσι, η θεματολογία των πειραματικών ενοτήτων της συγκεκριμένης διατριβής σχετίζεται με τη συγκριτική αξιολόγηση επτά διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor*, ένα αντικείμενο για το οποίο δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία έως σήμερα.

Τα αποτελέσματα των πειραματικών ενοτήτων 3.1 και 3.2 δείχνουν ότι η φυλή στην οποία ανήκουν οι προνύμφες του *T. molitor* επηρεάζει σημαντικά διάφορους παράγοντες της ανάπτυξής τους. Ορισμένοι από τους παράγοντες οι οποίοι έδειξαν να επηρεάζονται είναι η ταχύτητα ανάπτυξης και το ατομικό βάρος το οποίο κέρδισαν οι προνύμφες, η επιβίωσή τους, η ποσότητα της τροφής η οποία καταναλώθηκε, οι δείκτες μετατρεψιμότητας της τροφής (FCR και SGR), η περιεκτικότητα τους σε ενέργεια καθώς και το ποσοστό της ξηράς ουσίας του σώματος τους. Παρ' όλα αυτά, οι διαφορετικές φυλές δεν επηρέασαν τους δείκτες μετατρεψιμότητας της τροφής (ECI και ECD), το ποσοστό αζώτου και το ποσοστό των λιπαρών οξέων των προνυμφών του είδους.

Οι διαφορές στην ταχύτητα ανάπτυξης καθώς και στο βάρος των προνυμφών είναι ένα φαινόμενο το οποίο είναι πιθανό να παρατηρηθεί μεταξύ των διαφορετικών φυλών του ίδιου είδους, ανεξάρτητα από το εάν αυτές οι φυλές προέρχονται από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Zhou *et al.* (2013) οι οποίοι ασχολήθηκαν με τρεις διαφορετικές φυλές του *H. illucens*, οι δύο εκ

των οποίων προήλθαν από διαφορετικές περιοχές της Κίνας, ενώ η τρίτη από τις ΗΠΑ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βάρος και ο χρόνος ανάπτυξης των προνυμφών της φυλής των ΗΠΑ διέφερε σημαντικά από τις φυλές της Κίνας. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με τις δύο διαφορετικές φυλές με προέλευση από την ίδια χώρα (Κίνα), καθώς για τις συγκεκριμένες φυλές εντοπίστηκαν επίσης σημαντικές διαφορές στο βάρος και στο χρόνο ανάπτυξης των προνυμφών. Οι [Urs and Hopkins \(1973a\)](#) μελέτησαν τους ίδιους παράγοντες (χρόνος ανάπτυξης και βάρος προνυμφών) για δύο διαφορετικές φυλές του είδους *T. molitor*. Οι συγκεκριμένες φυλές παραλήφθηκαν από δύο διαφορετικές περιοχές των ΗΠΑ. Οι ερευνητές αναφέρουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στον χρόνο ανάπτυξης καθώς και στο βάρος των προνυμφών των δύο διαφορετικών φυλών. Ακόμη, οι [Zhou et al. \(2013\)](#) ανέφεραν ότι η φυλή του είδους *H. illuscens* η οποία αναπτύχθηκε ταχύτερα ήταν εκείνη η οποία κέρδισε και το περισσότερο βάρος, ενώ ταυτόχρονα οι [Urs and Hopkins, \(1973a\)](#) υποστηρίζουν ότι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη φυλή είναι εκείνη η οποία είχε τους καλύτερους μηχανισμούς αξιοποίησης της τροφής.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της πειραματικής ενότητας 3.1 παρατηρήθηκε ότι ορισμένες φυλές, αναπτύχθηκαν βραδύτερα, κατανάλωσαν περισσότερη τροφή και κέρδισαν περισσότερο βάρος. Επί παραδείγματι, οι προνύμφες της Γερμανικής φυλής χρειάστηκαν κατά μέσο όρο 22 εβδομάδες ώστε να φτάσουν στο στάδιο της νύμφης. Ταυτόχρονα, για την ίδια φυλή καταγράφηκε το υψηλότερο ατομικό βάρος προνυμφών (154.0 mg). Όμως, παρατηρήθηκε ότι οι προνύμφες της συγκεκριμένης φυλής είχαν έναν υψηλό συντελεστή μετατροπής της τροφής (FCR) (2.64). Κάτι τέτοιο είναι αρνητικό, καθώς το βέλτιστο FCR κυμαίνεται στην τιμή 2 ([Waldbauer, 1968](#)). Έτσι οι προνύμφες της Γερμανικής φυλής παρά το γεγονός ότι κατάφεραν να κερδίσουν το υψηλότερο βάρος, εντούτοις δεν είχαν την ικανότητα να αξιοποιήσουν με το βέλτιστο τρόπο την τροφή που κατανάλωσαν. Παρ' όλα αυτά, υπήρξαν φυλές οι οποίες έδωσαν θετικά δεδομένα όσον αφορά τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, καθώς καταγράφηκε υψηλό ατομικό βάρος προνυμφών (mg) ενώ ταυτόχρονα ο δείκτης FCR διατηρήθηκε χαμηλός. Μια από αυτές τις φυλές ήταν η Ιταλική φυλή II η οποία κέρδισε 131.0 mg ατομικού βάρους προνυμφών και δείκτη FCR 2.02. Τέλος, τα ποσοστά επιβίωσης των προνυμφών για όλες τις φυλές διατηρήθηκαν αρκετά υψηλά (>85%),

πιθανόν λόγω των ευνοϊκών συνθηκών εκτροφής κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά, οι προνύμφες του *T. molitor* θεωρείται ότι είναι πλούσιες σε πρωτεΐνες και λιπαρά οξέα. Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή η περιεκτικότητα των προνυμφών του είδους *T. molitor* σε λιπαρά οξέα κυμάνθηκε από 29 έως 33% ενώ η περιεκτικότητα σε άζωτο κυμάνθηκε από 7.8 έως 8.2%. Τα ποσοστά που προαναφέρθηκαν είναι σε συμφωνία με τις ήδη καταγεγραμμένες τιμές της βιβλιογραφίας (Aguilar-Miranda *et al.*, 2002; Ghaly and Alkoaik 2009; Ravzanaadii *et al.*, 2012; Janssen *et al.*, 2017; Jajic *et al.*, 2019). Η περιεκτικότητα των ανεπτυγμένων προνυμφών σε άζωτο, πιθανόν να οφείλεται στη μετατροπή των ενεργειακών αποθεμάτων τους σε πρωτεΐνες οι οποίες είναι απαραίτητες για το νυμφικό και το ενήλικο στάδιο.

Οι Ghosh *et al.* (2020) οι οποίοι σύγκριναν την περιεκτικότητα δυο διαφορετικών φυλών κηφήνων του είδους *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) σε άζωτο, ανέφεραν ομοιότητες μεταξύ τους σχετικά με την περιεκτικότητα σε άζωτο και λιπαρά οξέα. Υποστηρίζουν μάλιστα ότι κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο καθώς οι φυλές του ίδιου είδους μοιράζονται κοινές φυσιολογικές διεργασίες. Επιπλέον, οι Zhou *et al.* (2013) αναφέρουν ότι σημαντικό ρόλο ώστε να παρατηρηθούν διαφορές στην περιεκτικότητα του αζώτου και των λιπαρών οξέων μεταξύ των διαφορετικών φυλών του ίδιου είδους διαδραματίζει η διατροφή. Οι Nestel *et al.* (2004) παρατήρησαν ότι η περιεκτικότητα της τροφής σε αμινοξέα και σακχαρόζη επηρεάζουν την ικανότητα των προνυμφών της μύγας της μεσογειού *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) να συσσωρεύουν αποθέματα λίπους και πρωτεΐνης. Οι van Schoor *et al.* (2020) διαπίστωσαν επίσης ότι η διατροφή παραλλάσσει τη σύσταση του σώματος των ενήλικων κουνουπιών *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). Οι διαφορές σχετιζόνταν με την περιεκτικότητα του σώματος των ενήλικων θηλυκών ατόμων σε σάκχαρα, η οποία ήταν υψηλότερη όταν η δίαιτα των ατόμων περιείχε υδατάνθρακες συγκριτικά με τη δίαιτα η οποία περιείχε πρωτεΐνες. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή το υπόστρωμα εκτροφής ήταν το ίδιο για τις διαφορετικές φυλές. Αυτός ίσως και να είναι ο λόγος για τον οποίο δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των προνυμφών των διαφορετικών φυλών του *T. molitor* όσον αφορά το ποσοστό περιεκτικότητας τους σε άζωτο και λιπαρά οξέα.

Για τις προνύμφες τους *T. molitor* ισχύει ότι ακόμη και υπό συνθήκες απουσίας υγρασίας είναι ικανές να επιβιώσουν αρκετό καιρό και μάλιστα ένα ποσοστό αυτών να φθάσει τελικά στην νύμφωση (Oonincx *et al.*, 2015). Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής το επιβεβαιώνουν καθώς με το πέρας της βιοδοκιμής (36 εβδομάδες) το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών στις οποίες παρέχονταν μηδενική υγρασία ήταν >60%. Παρ' όλα αυτά, όταν στο περιβάλλον υπάρχει υγρασία, οι προνύμφες ολοκληρώνουν ταχύτερα την ανάπτυξή τους (Morales-Ramos *et al.*, 2010). Σε πείραμά τους οι Urs and Hopkins, (1973a) σύγκριναν την ανάπτυξη δύο διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor*, παρουσία και απουσία υγρασίας. Αυτό που παρατήρησαν ήταν ότι οι ρυθμοί ανάπτυξης επιταχύνθηκαν και για τις δύο φυλές, όταν στην εκτροφή υπήρχε υγρασία. Ακόμη, οι Cammack and Tomberlin, (2017) αναφέρουν ότι οι προνύμφες του *H. illucens* των οποίων η δίαιτα περιείχε 70% υγρασία αναπτύχθηκαν ταχύτερα, κέρδισαν περισσότερο βάρος και κατανάλωσαν λιγότερη τροφή, συγκριτικά με προνύμφες των οποίων η δίαιτα αποτελούνταν από 55% υγρασία. Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και στην παρούσα διατριβή καθώς το ατομικό βάρος των προνυμφών στις οποίες παρέχονταν υγρασία ήταν υψηλότερο από το ατομικό βάρος των προνυμφών των αντίστοιχων φυλών στις οποίες δεν παρέχονταν υγρασία. Το συγκεκριμένο φαινόμενο πιθανότατα σχετίζεται με την μείωση της υγρασίας στους σιελογόνους αδένες και στο έντερο των εντόμων. Συνεπώς, γίνεται πέψη μικρότερων ποσοτήτων της προσλαμβανόμενης τροφής (Urs and Hopkins, 1973a). Ταυτόχρονα, οι προνύμφες οι οποίες δεν είχαν πρόσβαση σε κάποια πηγή υγρασίας κατανάλωσαν μεγαλύτερη ποσότητα τροφής μέχρι την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής τους. Αυτό συμβαίνει καθώς τα έντομα επιχειρούν να καλύψουν τις ανάγκες τους σε νερό μέσω της υγρασίας την οποία περιέχει η τροφή (Chapman, 1998). Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και από τους Morales-Ramos *et al.* (2013). Τα ως άνω δεδομένα είναι σαφή ως προς τα σημαντικά οφέλη της παροχής υγρασίας, τόσο ως προς την επιτάχυνση της ανάπτυξης των προνυμφών, όσο και στην ενσωμάτωση των πηγών υγρασίας σε πρωτόκολλα μαζικής εκτροφής του *T. molitor*.

Η αύξηση του αναπαραγωγικού δυναμικού των εντόμων στο μέγιστο βαθμό, βελτιώνει τις δυνατότητες του συστήματος εκτροφής με την παραγωγή περισσότερων ατόμων ανά μονάδα χώρου εκτροφής. Ένας από τους βασικότερους παράγοντες ο οποίος επηρεάζει το αναπαραγωγικό δυναμικό των εντόμων είναι η ηλικία τους (Morales-

Ramos *et al.*, 2012). Οι Berggreen *et al.*, (2017) αναφέρουν ότι παρά το γεγονός της μείωσης του αναπαραγωγικού δυναμικού των ατόμων του είδους *T. molitor* με το πέρασμα του χρόνου, τα ενήλικα άτομα συνέχισαν να γεννούν αυγά μέχρι το θάνατο τους. Ωστόσο, η υψηλή θνησιμότητα των ατόμων με το πέρασμα των 80 ημερών δείχνει ότι τα θηλυκά άτομα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Οι Morales-Ramos *et al.*, (2012) αναφέρουν ότι ο υψηλότερος ρυθμός αναπαραγωγής των ενηλίκων του *T. molitor* λαμβάνει χώρα τις πρώτες 2-3 εβδομάδες της ζωής των ατόμων και οι Berggreen *et al.*, (2017) συμπληρώνουν ότι με το πέρασ 30-39 ημερών το αναπαραγωγικό δυναμικό τους μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Οι Morales-Ramos *et al.*, (2012) προτείνουν ότι με το πέρασ 58-74 ημερών τα ενήλικα φτάνουν το 80-90% του δυναμικού ωοτοκίας τους και συνεπώς θα πρέπει να αντικαθίστανται. Λαμβάνοντας υπ' όψη τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, φαίνεται ότι διαφορετικές φυλές έχουν σαφείς διαφοροποιήσεις ως προς τα μέγιστα της ωοτοκίας, παρόλο που, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν κάποιες γενικές τάσεις που χαρακτηρίζουν όλες τις φυλές (π.χ. μέγιστο της ωοτοκίας κατά τις πρώτες δύο εβδομάδες). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβή δείχνουν ότι ο χρόνος μείωσης της εναπόθεσης αυγών εξαρτάται από τη φυλή στην οποία ανήκουν τα ενήλικα του είδους *T. molitor*. Σε γενικά πλαίσια, για τις περισσότερες φυλές θα μπορούσε να προταθεί ότι τα ενήλικα άτομα θα πρέπει να αντικαθίστανται με το πέρασ 40 ημερών, ενώ για ορισμένες φυλές (π.χ Ισπανική φυλή) η αντικατάσταση θα μπορούσε να παραταθεί έως τις 60 ημέρες. Εκτός από το διάστημα ωοτοκίας, καταγράφηκαν και σημαντικές διαφορές στο συνολικό αριθμό των εναποτιθέμενων αυγών. Ο υψηλότερος συνολικός αριθμός εναποτιθέμενων αυγών (945 αυγά) καταγράφηκε για την Ισπανική φυλή. Ταυτόχρονα, οι φυλές με το μεγαλύτερο αριθμό αυγών ήταν και αυτές οι οποίες είχαν το μεγαλύτερο διάστημα ωοτοκίας, υπό την έννοια της μείωσης του αριθμού πιο αργά σε σχέση με άλλες φυλές. Έτσι, είναι σαφές ότι το ωοπαραγωγικό δυναμικό σχετίζεται άμεσα με την περίοδο ωοτοκίας στο *T. molitor*.

Στη συγκεκριμένη διατριβή το ποσοστό εκκολαψιμότητας για όλα τις φυλές παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών φυλών καθώς και διακυμάνσεις στο χρόνο. Το φαινόμενο αυτό είναι πιθανόν να οφείλεται στην τάση κανιβαλισμού την οποία έχουν οι προνύμφες της οικογένειας Tenebrionidae, όταν

συνυπάρχουν σε μεγάλες πυκνότητες (Tschinkel, 1981; Weaver and McFarlane, 1990; Morales-Ramos *et al.*, 2012). Επιπλέον, τα ενήλικα άτομα των σκαθαριών παρουσιάζουν επίσης τάσεις κανιβαλισμού προς τα αυγά τους (Berggreen *et al.*, 2017). Συνεπώς, το γεγονός ότι τα ποσοστά εκκολαψιμότητας των προνυμφών δεν παρουσιάζουν μια κανονικότητα στο χρόνο, είναι πιθανόν να οφείλεται στο διαφορετικό αριθμό εναποτιθέμενων αυγών καθώς και στα ποσοστά επιβίωσης των ενήλικων ατόμων. Παρ' όλα αυτά, σε ορισμένα χρονικά διαστήματα τα ποσοστά εκκολαψιμότητας ήταν υψηλά για τις περισσότερες φυλές καθώς έφτασαν το 80-90%. Όπως υποστηρίζουν και οι Drnevich *et al.*, (2001), για το *T. molitor* το ποσοστό εκκολαψιμότητας είναι δυνατόν να φτάσει στο 90%.

Όσον αφορά την επιβίωση των ενήλικων ατόμων οι Zhou *et al.* (2013) αναφέρουν ότι ενήλικα άτομα του *H. illucens* τα οποία προέρχονται από διαφορετικές φυλές παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στα ποσοστά επιβίωσής τους. Στη συγκεκριμένη διατριβή τα ενήλικα άτομα των πέντε εκ των έξι διαφορετικών φυλών του είδους *T. molitor* δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στα ποσοστά επιβίωσής τους, τα οποία ήταν υψηλά. Εξαιρέση αποτέλεσαν τα ενήλικα άτομα της Γερμανικής φυλής των οποίων η θνησιμότητα ήταν εξαιρετικά υψηλή από τις πρώτες ημέρες του πειράματος. Επιπλέον, η συγκεκριμένη φυλή, όπως έχει προαναφερθεί, δεν είχε τη δυνατότητα να επεξεργασθεί αποτελεσματικά την προσλαμβανόμενη τροφή (υψηλός δείκτης FCR) και οι προνύμφες της χρειάστηκαν διπλάσιο χρόνο ώστε να ολοκληρώσουν την ανάπτυξή τους, συγκριτικά με τις προνύμφες των υπόλοιπων φυλών.

Η περαιτέρω μελέτη των διαφορετικών φυλών του *T. molitor* και η συσχέτισή τους με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία φέρει κάθε μια από αυτές, είναι πολύ πιθανό να δώσει χρήσιμα δεδομένα για τον πρόσφατα αναπτυσσόμενο κλάδο της εκτροφής εντόμων σε εμπορική κλίμακα. Στα παραγωγικά ζώα η ταξινόμηση των φυλών γίνεται ανάλογα με τον παραγωγικό τύπο στον οποίο ανήκουν, π.χ γαλακτοπαραγωγικός τύπος, κρεοπαραγωγικός τύπος (FAO, 2012). Έτσι και στα εκτρεφόμενα έντομα, η εύρεση φυλών με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά αποτελεί βασικό πυλώνα ώστε να σχεδιασθεί αποτελεσματικότερα μια μονάδα εκτροφής η οποία αποσκοπεί σε συγκεκριμένο αποτέλεσμα π.χ εκτροφή προνυμφών, παραγωγή απογόνων. Επί παραδείγματι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής, η Ιταλική φυλή

Η είναι κατάλληλη για ένα σύστημα παραγωγής προνυμφών. Η πρόταση της συγκεκριμένης φυλής βασίζεται στο ότι διαθέτει έναν πολύ καλό συντελεστή μετατρεψιμότητας της τροφής, γεγονός που υποδηλώνει ότι είναι ικανή να καταναλώνει μικρές ποσότητες τροφής καταφέροντας να δώσει ένα υψηλό σωματικό βάρος. Ένα ακόμη θετικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης φυλής είναι η ταχύτητα ολοκλήρωσης του προνυμφικού της σταδίου. Αντίθετα, η Ισπανική, η Ιταλική και η Ελληνική φυλή θα ήταν καταλληλότερες στην περίπτωση στην οποία ο στόχος της εκτροφής ήταν η μέγιστη παραγωγή απογόνων.



## Βιβλιογραφικές αναφορές

Agbidy, F. S., Ofuya, T. I., and Akindele, S. O. (2009). Marketability and nutritional qualities of some edible forest insects in Benue State, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8, 917-922.

Aguilar-Miranda, E. D., López, M. G., Escamilla-Santana, C., and Barba de la Rosa, A. P. (2002). Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50, 192-195.

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

Awoniyi, T. A. M., Aletor, V. A., and Aina, J. M. (2003). Performance of broiler-chickens fed on maggot meal in place of fishmeal. *International Journal of Poultry Science*, 2, 271-274.

Berggreen, I. E., Offenber, J., Calis, M., & Heckmann, L. H. (2018). Impact of density, reproduction period and age on fecundity of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insects as Food and Feed*, 4, 43-50.

Bhattacharya, A. K., Ameel, J. J., and Waldbauer, G. P. (1970). A method for sexing living pupal and adult yellow mealworms. *Annals of the Entomological Society of America*, 63, 1783-1783.

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*, 107, 89-96.

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

Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2017). The impact of diet protein and carbohydrate on select life-history traits of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*, 8, 56.

Campana, M. G., Robles García, N. M., and Tuross, N., 2015. America's red gold: multiple lineages of cultivated cochineal in Mexico. *Ecology and Evolution*, 5, 607-617.

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

Christensen, D. L., Orech, F. O., Mungai, M. N., Larsen, T., Friis, H., and Aagaard-Hansen, J. (2006). Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source?. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57, 198-203.

Crittenden, A. N. (2011). The importance of honey consumption in human evolution. *Food and Foodways*, 19, 257-273.

Davis, G. R. F. (1975). Essential dietary amino acids for growth of larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. *The Journal of nutrition*, 105, 1071-1075.

DeFoliart, G. R. (1992). Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop protection*, 11, 395-399.

Desa, U. N. (2019). *World population prospects 2019: Highlights*. New York (US): United Nations Department for Economic and Social Affairs.

Drnevich J.M., Papke R.S., Rauser C.L., Rutowski R.L. (2001). Material benefits from multiple mating in female mealworm beetles (*Tenebrio molitor* L.). *Journal of Insect Behavior* 14, 215-230.

Elvin, C. M., Carr, A. G., Huson, M. G., Maxwell, J. M., Pearson, R. D., Vuocolo, T., ... and Dixon, N. E. (2005). Synthesis and properties of crosslinked recombinant pro-resilin. *Nature*, 437, 999-1002.

FAO and UNEP. 2020. *The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people*. Rome.

FAO. (2012). *Phenotypic characterization of animal genetic resources*. Animal Production and Health Guidelines No. 11. Rome.

Fontes, T. V., de Oliveira, K. R. B., Gomes Almeida, I. L., Maria Orlando, T., Rodrigues, P. B., and Costa, D. V. D. (2019). Digestibility of insect meals for Nile tilapia fingerlings. *Animals*, 9, 181.

Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. 2001. Human vitamin and mineral requirements. Rome: Food and Nutrition Division, FAO.

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

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

Gerber, G. H., and Sabourin, D. U. (1984). Oviposition site selection in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *The Canadian Entomologist*, 116, 27-39.

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

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, 319-331.

Ghosh, S., Sohn, H. Y., Pyo, S. J., Jensen, A. B., Meyer-Rochow, V. B., and Jung, C. (2020). Nutritional Composition of *Apis mellifera* Drones from Korea and Denmark as a Potential Sustainable Alternative Food Source: Comparison Between Developmental Stages. *Foods*, 9, 389.

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

Han, C. S., and Dingemans, N. J. (2017). You are what you eat: diet shapes body composition, personality and behavioural stability. *BMC evolutionary biology*, 17, 8.

Hansen, L. L., Ramløv, H., and Westh, P. (2004). Metabolic activity and water vapour absorption in the mealworm *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae): real-time measurements by two-channel microcalorimetry. *Journal of experimental biology*, 207, 545-552.

Huis, A. V., and Tomberlin, J. K. (2018). Insects as food and feed: from production to consumption. Wageningen Academic Publishers.

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*, *30*, 609-614.

Iaconisi, V., Marono, S., Parisi, G., Gasco, L., Genovese, L., Maricchiolo, G., ... and Piccolo, G. (2017). Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality traits of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). *Aquaculture*, *476*, 49-58.

Jajić, I., Popović, A., Urošević, M., Krstović, S., Petrović, M., and Guljaš, D. (2019). Chemical Composition of Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*) Reared in Serbia. *Contemporary Agriculture*, *68*, 23-27.

Janssen, R. H., Vincken, J. P., van den Broek, L. A., Fogliano, V., and Lakemond, C. M. (2017). Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *65*, 2275-2278.

Morales-Ramos, J. A., and Rojas, M. G. (2015). Effect of larval density on food utilization efficiency of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of economic entomology*, *108*, 2259-2267.

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

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

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

Morales-Ramos, J.A., Kelstrup, H.C., Guadalupe Rojas, M., Emery V. (2019). Body mass increase induced by eight years of artificial selection in the yellow mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) and life history trade-offs. *Journal of Insect Science* 19, 1–9.

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

Nash, W. J., & Chapman, T. (2014). Effect of dietary components on larval life history characteristics in the Medfly (*Ceratitis capitata*: Diptera, Tephritidae). *PloS one*, 9, e86029.

Nestel, D., Nemny-Lavy, E., & Chang, C. L. (2004). Lipid and protein loads in pupating larvae and emerging adults as affected by the composition of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) meridic larval diets. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological Society of America*, 56, 97-109.

Newton, L. A. R. R. Y., Sheppard, C. R. A. I. G., Watson, D. W., Burtle, G. A. R. Y., and Dove, R. O. B. E. R. T. (2005). Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. *Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC*, 17.

Norhisham, A. R., Abood, F., Rita, M., & Hakeem, K. R. (2013). Effect of humidity on egg hatchability and reproductive biology of the bamboo borer (*Dinoderus minutus* Fabricius). *SpringerPlus*, 2, 1-6.

Oonincx, D. G., and De Boer, I. J. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PloS one*, 7, e51145.

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

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, 214-220.

Ravzanaadii, N., Kim, S. H., Choi, W. H., Hong, S. J., and Kim, N. J. (2012). Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor* as food source. *International Journal of Industrial Entomology*, 25, 93-98.

Rho, M. S., and Lee, K. P., 2014. Geometric analysis of nutrient balancing in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of insect physiology*, 71, 37-45.

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

Rumpold, B. A., and Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition and food research*, 57, 802-823.

Schatz G., 2012. Βιολογία Ένας Κήπος Γεμάτος Θαύματα. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.

Shockley, M., and Dossey, A. T. (2014). Insects for human consumption. In *Mass production of beneficial organisms*. Academic Press, pp. 617-652.

Taylor, L. H., Latham, S. M., and Woolhouse, M. E. (2001). Risk factors for human disease emergence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 356, 983-989.

Tschinkel, W. R. (1981). Larval dispersal and cannibalism in a natural population of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Animal Behaviour*, 29, 990-996.

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

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

Van Schoor, T., Kelly, E. T., Tam, N., & Attardo, G. M. (2020). Impacts of dietary nutritional composition on larval development and adult body composition in the yellow fever mosquito (*Aedes aegypti*). *Insects*, *11*, 535.

Veldkamp, T., and Bosch, G. (2015). Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, *5*, 45-50.

Von Grebmer, K., Saltzman, A., Birol, E., Wiesman, D., Prasai, N., Yin, S., ... and Sonntag, A. (2014). Synopsis: 2014 global hunger index: The challenge of hidden hunger (Vol. 83). Intl Food Policy Res Inst.

Waldbauer, G. P. (1968). The consumption and utilization of food by insects. In *Advances in insect physiology* (Vol. 5, pp. 229-288). Academic Press.

Wang, Y., Zhang, F., and Ma, J. (2013). Sexing live pupae and adults of two wax blooming beetles, *Colposcelis microderoides microderoides* and *Anatolica polita borealis*. *Journal of Insect Science*, *13*, 1-8.

Weaver, D. K., & McFarlane, J. E. (1990). The effect of larval density on growth and development of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology*, *36*, 531-536.

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

## Παράρτημα

Ατομικό βάρος προνυμφών παρουσία υγρασίας (mg)

| Φυλές       | 0<br>Εβδομάδες | 4<br>Εβδομάδες | 6<br>Εβδομάδες | 8<br>Εβδομάδες | 10<br>Εβδομάδες | 12<br>Εβδομάδες | 14<br>Εβδομάδες | 16<br>Εβδομάδες | 18<br>Εβδομάδες | 20<br>Εβδομάδες | 22<br>Εβδομάδες |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ελληνική    | 0.38 ± 0.0 cd  | 7.1 ± 0.1 c    | 30.1 ± 1.1 b   | 79.1 ± 2.5 a   | 104.9 ± 2.0 ab  | 108.5 ± 4.4 b   |                 |                 |                 |                 |                 |
| Αμερικάνικη | 0.37 ± 0.0 d   | 5.7 ± 0.4 d    | 17.4 ± 0.7 c   | 47.6 ± 1.3 b   | 72.6 ± 2.2 c    | 87.0 ± 4.2 c    |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ιταλική I   | 0.45 ± 0.0 bcd | 8.1 ± 0.2 abc  | 32.7 ± 1.5 ab  | 79.9 ± 3.0 a   | 109.0 ± 3.7 ab  | 113.1 ± 4.2 b   |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ιταλική II  | 0.56 ± 0.0 a   | 8.6 ± 0.4 ab   | 37.4 ± 2.0 a   | 82.5 ± 2.7 a   | 116.5 ± 2.2 a   | 131.0 ± 5.1 a   |                 |                 |                 |                 |                 |
| Τούρκικη    | 0.41 ± 0.0 cd  | 7.9 ± 0.1 bc   | 32.7 ± 1.4 ab  | 73.9 ± 0.8 a   | 98.2 ± 2.8 b    |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ισπανική    | 0.46 ± 0.0 bc  | 9.2 ± 0.2 a    | 37.9 ± 1.5 a   | 78.1 ± 5.8 a   | 106.9 ± 4.3 ab  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Γερμανική   | 0.51 ± 0.0 ab  | 6.9 ± 0.2 cd   | 22.7 ± 0.5 c   | 44.9 ± 0.6 b   | 58.7 ± 1.1 d    | 71.7 ± 1.0 c    | 88.4 ± 1.4      | 115.2 ± 1.9     | 130.9 ± 1.0     | 136.4 ± 1.1     | 154.1 ± 2.8     |
| F           | 12.961         | 17.532         | 33.125         | 30.793         | 58.137          | 32.861          |                 |                 |                 |                 |                 |
| Df          | 6              | 6              | 6              | 6              | 6               | 4               |                 |                 |                 |                 |                 |
| P           | <0.001         | <0.001         | <0.001         | <0.001         | <0.001          | <0.001          |                 |                 |                 |                 |                 |

Πίνακας 3. Μέσοι όροι ατομικού βάρους ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) προνυμφών (mg) επτά διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*. Τα ατομικά βάρη καταγράφονταν κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης ( $n = 6$ ). Για κάθε εβδομάδα, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών παρουσία υγρασίας (%)

| Φυλές       | 0<br>Εβδομάδες | 4<br>Εβδομάδες | 6<br>Εβδομάδες | 8<br>Εβδομάδες | 10<br>Εβδομάδες | 12<br>Εβδομάδες | 14<br>Εβδομάδες | 16<br>Εβδομάδες | 18<br>Εβδομάδες | 20<br>Εβδομάδες | 22<br>Εβδομάδες |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ελληνική    | 100.0 ± 0.0    | 96.3 ± 2.9 ab  | 95.7 ± 3.4 ab  | 95.7 ± 3.4 ab  | 92.3 ± 3.4 abc  | 92.3 ± 3.4 ab   |                 |                 |                 |                 |                 |
| Αμερικάνικη | 100.0 ± 0.0    | 92.0 ± 3.8 ab  | 90.0 ± 4.0 b   | 89.3 ± 3.9 b   | 89.3 ± 3.7 bc   | 89.3 ± 3.7 b    |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ιταλική I   | 100.0 ± 0.0    | 91.0 ± 7.1 b   | 89.0 ± 6.8 b   | 88.3 ± 7.4 b   | 85.7 ± 6.4 c    | 85.7 ± 6.4 b    |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ιταλική II  | 100.0 ± 0.0    | 91.0 ± 4.5 b   | 90.0 ± 6.1 b   | 90.0 ± 6.1 b   | 90.0 ± 5.4 bc   | 90.0 ± 5.4 b    |                 |                 |                 |                 |                 |
| Τούρκικη    | 100.0 ± 0.0    | 94.7 ± 2.7 ab  | 94.7 ± 2.1 ab  | 94.7 ± 2.1 ab  | 94.0 ± 2.5 ab   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Ισπανική    | 100.0 ± 0.0    | 90.7 ± 5.6 b   | 88.7 ± 6.1 b   | 88.3 ± 5.9 b   | 87.3 ± 6.0 bc   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Γερμανική   | 100.0 ± 0.0    | 99.3 ± 1.6 a   | 99.3 ± 1.6 a   | 99.3 ± 1.6 a   | 98.7 ± 2.1 a    | 98.7 ± 2.1 a    | 98.7 ± 2.1      | 98.7 ± 2.1      | 98.7 ± 2.1      | 98.7 ± 2.1      | 96.7 ± 3.0      |
| F           |                | 3.491          | 4.541          | 4.885          | 5.674           | 6.981           |                 |                 |                 |                 |                 |
| Df          | 6              | 6              | 6              | 6              | 6               | 6               | 6               | 6               | 6               | 6               | 6               |
| P           |                | 0.008          | 0.002          | 0.001          | 0.000           | 0.001           |                 |                 |                 |                 |                 |

Πίνακας 4. Μέσοι όροι ποσοστού επιβίωσης ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*. Οι μέσοι όροι καταγράφονταν κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης ( $n = 6$ ). Για κάθε εβδομάδα, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

| Φυλές       | Χρόνος ανάπτυξης (ημέρες) | Συνολική τροφή που καταναλώθηκε (g) | Βάρος αποχωρημάτων (g) |
|-------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Ελληνική    | 66.6 ± 2.0 c              | 9.66 ± 0.5 c                        | 5.00±0.20 cd           |
| Αμερικάνικη | 73.8 ± 1.9 b              | 8.16 ± 0.6 d                        | 4.06±0.28 d            |
| Ιταλική I   | 68.3 ± 8.1 bc             | 9.75 ± 0.4 c                        | 5.17±0.22 cd           |
| Ιταλική II  | 74.2 ± 2.6 b              | 11.33 ± 0.3 b                       | 6.14±0.23 ab           |
| Τούρκικη    | 66.5 ± 0.8 c              | 9.41 ± 0.2 cd                       | 5.00±0.17 c            |
| Ισπανική    | 66.8 ± 0.9 c              | 9.41 ± 0.2 cd                       | 5.20±0.13 bc           |
| Γερμανική   | 155.2 ± 1.8 a             | 19.50 ± 0.1 a                       | 12.99±0.36 a           |
| Df          | 6                         | 6                                   | 6                      |
| P           | <0.001                    | <0.001                              | <0.001                 |

Πίνακας 5 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του χρόνου ανάπτυξης (ημέρες), της συνολικής τροφής που καταναλώθηκε (g) και του βάρους των αποχωρημάτων (g) των προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor* (n = 6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με τη μη παραμετρική μέθοδο Kruskal-Wallis. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

| Δείκτες αξιοποίησης της τροφής |               |               |               |                            |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------|
| Φυλές                          | FCR           | ECl (%)       | ECD (%)       | SGR (% day <sup>-1</sup> ) |
| Ελληνική                       | 2.09 ± 0.1 bc | 19.7 ± 0.9 a  | 40.9 ± 2.2 ab | 8.5 ± 0.2 a                |
| Αμερικάνικη                    | 2.20 ± 0.0 ab | 17.5 ± 0.4 b  | 35.8 ± 1.4 b  | 7.4 ± 0.1 bc               |
| Ιταλική I                      | 2.14 ± 0.1 bc | 19.1 ± 0.6 ab | 41.1 ± 1.4 ab | 8.2 ± 0.3 ab               |
| Ιταλική II                     | 2.02 ± 0.0 c  | 21.0 ± 0.5 a  | 47.1 ± 1.5 a  | 7.4 ± 0.1 bc               |
| Τούρκικη                       | 2.15 ± 0.1 bc | 19.9 ± 0.6 a  | 43.6 ± 2.2 a  | 8.2 ± 0.1 a                |
| Ισπανική                       | 2.22 ± 0.1 b  | 18.7 ± 0.9 ab | 43.0 ± 3.8 ab | 8.2 ± 0.1 a                |
| Γερμανική                      | 2.64 ± 0.0 a  | 17.6 ± 0.3 b  | 51.8 ± 4.5 a  | 3.7 ± 0.1 c                |
| Df                             | 6             | 6             | 6             | 6                          |
| P                              | 0.003         | 0.005         | 0.005         | <0.001                     |

Πίνακας 6. Μέσοι όροι (± τυπικό σφάλμα μέσου όρου) των δεικτών αξιοποίησης τροφής από τις προνύμφες επτά διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor* (n = 6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με τη μη παραμετρική μέθοδο Kruskal-Wallis. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

| Φυλές       | Περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία (%) | Συνολικό άζωτο (%) | Περιεκτικότητα λιπαρών οξέων (%) | Περιεκτικότητα σε ενέργεια (J/g) |
|-------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Ελληνική    | 36.1 ± 0.39 bc                   | 8.1 ± 0.1          | 32.9 ± 0.72                      | 27,495 ± 176.3 ab                |
| Αμερικάνικη | 34.2 ± 0.98 c                    | 8.2 ± 0.2          | 31.0 ± 0.70                      | 26,879 ± 46.9 b                  |
| Ιταλική I   | 36.2 ± 0.59 bc                   | 7.9 ± 0.1          | 30.6 ± 1.29                      | 27,162 ± 8.0 b                   |
| Ιταλική II  | 37.5 ± 0.81 abc                  | 7.9 ± 0.1          | 33.5 ± 0.53                      | 27,543 ± 198.97 ab               |
| Τούρκικη    | 37.7 ± 0.13 ab                   | 7.9 ± 0.1          | 29.9 ± 2.51                      | 27,503 ± 53.1 ab                 |
| Ισπανική    | 36.5 ± 0.20 bc                   | 7.8 ± 0.1          | 30.4 ± 2.31                      | 27,488 ± 268.5 ab                |
| Γερμανική   | 41.3 ± 0.30 a                    | 7.9 ± 0.1          | 31.5 ± 1.39                      | 27,934 ± 132.1 a                 |
| Df          | 6                                | 6                  | 6                                | 6                                |
| P           | 0.24                             | 0.360              | 0.479                            | 0.031                            |

Πίνακας 7. Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) της περιεκτικότητας της ξηράς ουσίας του σώματος των προνυμφών (%), του ποσοστού του συνολικού αζώτου (%), του ποσοστού των λιπαρών οξέων (%) και της περιεκτικότητας των προνυμφών σε ενέργεια (J/g) των προνυμφών επτά διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor* (n = 3). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με τη μη παραμετρική μέθοδο Kruskal-Wallis. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Ατομικό βάρος προνυμφών απουσία υγρασίας (mg) (A)

| Φυλές       | 0 εβδομάδες | 4 εβδομάδες | 6 εβδομάδες | 8 εβδομάδες  | 10 εβδομάδες | 12 εβδομάδες | 14 εβδομάδες | 16 εβδομάδες |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ελληνική    | 0.47±0.0a   | 4.51±0.1 a  | 12.17±0.3 a | 13.89±0.4 a  | 17.36±0.3    | 19.04±0.5    | 20.61±0.8 b  | 22.26±0.7 bc |
| Τούρκικη    | 0.40±0.0 b  | 4.60±0.3 a  | 8.91±0.3b   | 11.51±0.3 bc | 15.61±0.5    | 17.36±0.7    | 24.57±0.9 a  | 32.12±1.3 a  |
| Ισπανική    | 0.48±0.0 a  | 2.98±0.1 b  | 9.49±0.1 b  | 13.00±0.4 ab | 16.04±0.7    | 17.93±0.8    | 21.32±0.7 ab | 24.11±0.6 b  |
| Αμερικάνικη | 0.48±0.0 a  | 2.10±0.4 c  | 5.79±0.2 c  | 13.3±0.6 ab  | 15.29±0.6    | 16.70±0.8    | 20.9±0.7 b   | 25.38±0.8 b  |
| Ιταλική I   | 0.42±0.0 b  | 2.49±0.1 bc | 9.19±0.3 b  | 12.75±0.5 ab | 15.60±0.8    | 16.70±0.7    | 20.64±1.0 b  | 23.71±0.9 b  |
| Ιταλική II  | 0.49±0.0 a  | 2.98±0.1 b  | 9.40±0.2b   | 10.07±0.3 c  | 15.80±0.6    | 16.51±0.6    | 19.24±0.9 b  | 19.80±0.8 c  |
| F           | 10.527      | 71.1017     | 80.5027     | 10.2793      | 1.4470       | 1.9842       | 4.7468       | 22.4843      |
| Df          | 5           | 5           | 5           | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            |
| P           | <0.001      | <0.001      | <0.001      | <0.001       | 0.2364       | 0.1098       | 0.0026       | <0.001       |

|             | Ατομικό βάρος προνυμφών απουσία υγρασίας (mg) (B) |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Φυλές       | 18 εβδομάδες                                      | 20 εβδομάδες | 22 εβδομάδες | 24 εβδομάδες | 26 εβδομάδες | 28 εβδομάδες | 30 εβδομάδες | 32 εβδομάδες | 34 εβδομάδες | 36 εβδομάδες |
| Ελληνική    | 26.25±0.9 b                                       | 28.59±0.8 c  | 33.65±1.3 b  | 40.81±2.1 b  | 43.94±2.8 b  | 47.83±4.7 bc | 59.55±9.7 ab | 62.29±10.5   |              |              |
| Τούρκικη    | 43.50±1.4 a                                       | 52.28±1.6 a  | 58.17±2.2 a  | 62.65±2.4 a  | 66.00±3.1 a  | 68.71±4.6 a  | 70.79±5.6 a  | 70.79±5.6    |              |              |
| Ισπανική    | 28.98±0.6 b                                       | 33.79±0.5 b  | 35.54±0.4 b  | 38.23±0.4 b  | 44.34±0.9 b  | 45.68±1.2 bc | 62.43±2.7 ab | 70.02±3.5    | 75.03±4.3    | 77.82±4.0    |
| Αμερικάνικη | 26.59±0.8 b                                       | 28.35±0.8 c  | 29.55±0.7 bc | 37.97±0.9 b  | 44.09±2.5 b  | 55.95±4.4 ab | 63.10±7.1 ab | 64.68±8.1    | 65.05±8.2    | 68.87±10.2   |
| Ιταλική I   | 26.00±0.7 b                                       | 28.12±0.9 c  | 33.02±2.0 bc | 37.02±2.2 b  | 44.65±2.3 b  | 53.14±1.3 b  | 60.52±2.7 ab | 69.15±5.0    | 73.44±6.0    | 73.44±6.0    |
| Ιταλική II  | 21.86±0.9 c                                       | 25.51±1.2 c  | 27.14±1.3 c  | 29.56±0.8 c  | 31.81±0.7 c  | 33.47±1.4 c  | 41.77±2.9 b  | 51.02±5.6    | 57.65±5.8    | 69.33±8.9    |
| F           | 70.7052   | 95.0832      | 58.4374      | 45.7584      | 24.0517      | 12.1756      | 2.8208       | 1.2118       | 1.6653       | 0.2957       |
| Df          | 5   | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            |
| P           | <0.001  | <0.001       | <0.001       | <0.001       | <0.001       | <0.001       | 0.0333       | 0.3276       | 0.2064       | 0.8281       |

Πίνακας 8. Μέσοι όροι ατομικού βάρους ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) προνυμφών (mg) έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*. Τα ατομικά βάρη καταγράφονταν κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (n = 6). Για κάθε εβδομάδα, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών απουσία υγρασίας (%) (A)

| Φυλές       | 0 εβδομάδες | 4 εβδομάδες  | 6 εβδομάδες   | 8 εβδομάδες   | 10 εβδομάδες | 12 εβδομάδες | 14 εβδομάδες | 16 εβδομάδες  |
|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Ελληνική    | 100±0.0     | 95.33±1.8 a  | 94.33±1.6 a   | 94.33±1.6 a   | 82.67±1.0 bc | 77.33±1.4 c  | 73.00±2.0 b  | 73.00±2.0 c   |
| Τούρκικη    | 100±0.0     | 95.33±1.4 a  | 95.33±1.4 a   | 95.33±1.4 a   | 93.33±1.2 a  | 91.00±2.2 a  | 87.67±2.6 a  | 85.00±2.7 ab  |
| Ισπανική    | 100±0.0     | 86.00±1.0 b  | 85.33±1.0 bc  | 85.33±1.0 bc  | 83.66±0.6 bc | 82.33±0.1 bc | 79.67±1.4 ab | 79.67±1.4 abc |
| Αμερικάνικη | 100±0.0     | 89.33±2.0 ab | 89.00±1.9 abc | 89.00±1.9 ab  | 79.67±1.7 c  | 79.67±1.7 c  | 76.00±2.0 b  | 76.00±2.0 bc  |
| Ιταλική I   | 100±0.0     | 83.00±3.1 b  | 81.33±3.0 c   | 80.33±3.1 c   | 79.33±3.0 c  | 77.67±1.7 c  | 76.67±2.8 b  | 76.67±2.8 abc |
| Ιταλική II  | 100±0.0     | 90.66±1.8 ab | 90.00±1.6 ab  | 88.33±1.7 abc | 88.67±1.8 ab | 88.00±1.7 ab | 86.67±1.9 a  | 85.67±1.9 a   |
| F           |             | 6.3925       | 8.1450        | 8.7008        | 9.9654       | 9.2961       | 7.6231       | 5.4444        |
| Df          | 5           | 5            | 5             | 5             | 5            | 5            | 5            | 5             |
| P           |             | 0.0004       | <0.0001       | <0.0001       | <0.0001      | <0.0001      | 0.0001       | 0.0011        |

| Ποσοστό επιβίωσης προνυμφών απουσία υγρασίας (%) (B) |               |               |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Φυλές  | 18 εβδομάδες  | 20 εβδομάδες  | 22 εβδομάδες | 24 εβδομάδες | 26 εβδομάδες | 28 εβδομάδες | 30 εβδομάδες | 32 εβδομάδες | 34 εβδομάδες | 36 εβδομάδες |
| Ελληνική   | 68.00±1.7 d   | 66.00±2.1 d   | 66.00±2.1 c  | 64.33±2.8 c  | 63.00±3.6 b  | 60.67±4.8 b  | 60.67±4.8 b  | 60.67±4.8    |              |              |
| Τούρκικη   | 81.67±2.3 ab  | 79.67±2.6 ab  | 77.33±2.3 ab | 75.67±2.5 ab | 74.00±3.0 ab | 72.67±3.7 ab | 72.33±3.9 ab | 72.33±3.9    |              |              |
| Ισπανική   | 77.00±1.3 abc | 75.67±1.3 abc | 72.67±0.8 bc | 70.00±0.9 bc | 66.67±1.5 b  | 65.33±1.6 ab | 63.33±1.9 ab | 62.67±2.2    | 62.67±2.2    | 62.67±2.2    |
| Αμερικάνικη  | 74.33±1.7 bcd | 72.00±1.4 bcd | 70.67±1.4 bc | 67.67±2.1 bc | 67.33±2.1 b  | 66.67±2.3 ab | 66.33±2.4 ab | 66.00±2.5    | 66.00±2.5    | 66.00±2.5    |
| Ιταλική I  | 72.67±1.9 cd  | 70.33±1.8 cd  | 65.67±2.7 c  | 64.33±2.7 c  | 64.00±2.9 b  | 63.33±3.0 b  | 62.67±3.1 ab | 61.33±3.6    | 61.33±3.6    | 61.33±3.6    |
| Ιταλική II   | 84.00±1.9 a   | 83.33±1.8 a   | 82.67±1.6 a  | 82.00±1.7 a  | 81.00±1.8 a  | 78.67±3.2 a  | 76.33±4.4 a  | 75.33±5.4    | 75.33±5.4    | 75.33±5.4    |
| F  | 9.9106        | 11.3712       | 12.0091      | 9.9757       | 7.1346       | 4.1409       | 2.9604       | 2.4903       | 40.0191      | 40.0191      |
| Df   | 5             | 5             | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            |
| P  | <0.0001       | <0.0001       | <0.0001      | <0.0001      | 0.0002       | 0.0056       | 0.0274       | 0.0532       | <0.0001      | <0.0001      |

Πίνακας 9. Μέσοι όροι ποσοστού επιβίωσης προνυμφών ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) (%) έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor*. Τα ποσοστά επιβίωσης καταγράφονταν κάθε δύο εβδομάδες έως την εμφάνιση της πρώτης νύμφης (n = 6). Για κάθε εβδομάδα, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Οπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



| Φυλές       | Συνολικός χρόνος ανάπτυξης (ημέρες) | Βάρος αποχωρημάτων (g) | Συνολική τροφή που καταναλώθηκε (g) |
|-------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Ελληνική    | 198.0±9.6 b                         | 8.84±1.0               | 16.7±2.1                            |
| Αμερικάνικη | 209.7±12.5 ab                       | 8.46±1.3               | 16.3±2.4                            |
| Ιταλική I   | 215.3±7.2 ab                        | 8.64±0.6               | 16.3±1.4                            |
| Ιταλική II  | 215.5±19.5 ab                       | 10.26±1.3              | 17.3±2.1                            |
| Τούρκικη    | 169.7±10.7 c                        | 10.15±1.5              | 15.8±2.0                            |
| Ισπανική    | 229.2±5.4 a                         | 10.08±0.5              | 16.8±1.2                            |
| Df          | 5                                   | 5                      | 5                                   |
| P           | 0.030                               | 0.652                  | 0.977                               |

Πίνακας 10 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του χρόνου ανάπτυξης (ημέρες), της συνολικής τροφής που καταναλώθηκε (g) και του βάρους των αποχωρημάτων (g) των προνυμφών έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor* (n=6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με τη μη παραμετρική μέθοδο Kruskal-Wallis. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

| Δείκτες αξιοποίησης της τροφής |            |             |
|--------------------------------|------------|-------------|
| Φυλές                          | FCR        | SGR (%)     |
| Ελληνική                       | 10.2 ± 1.1 | 2.44±0.1 ab |
| Αμερικάνικη                    | 7.8 ± 0.6  | 2.35±0.1 bc |
| Ιταλική φυλή I                 | 7.8 ± 0.6  | 2.39±0.1 bc |
| Ιταλική φυλή II                | 7.4 ± 0.7  | 2.35±0.2 bc |
| Τούρκικη                       | 6.7 ± 0.8  | 3.08±0.1 a  |
| Ισπανική                       | 8.0 ± 0.4  | 2.22±0.1 c  |
| Df                             | 5          | 5           |
| P                              | 0.446      | 0.003       |

Πίνακας 11 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) των δεικτών αξιοποίησης τροφής από τις προνύμφες έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor* (n=6). Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με τη μη παραμετρική μέθοδο Kruskal-Wallis. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Αριθμός εναποτιθέμενων αυγών (A)

| Φυλές      | 4 ημέρες   | 8 ημέρες        | 12 ημέρες | 16 ημέρες       | 20 ημέρες       | 24 ημέρες  | 28 ημέρες       | 32 ημέρες   | 36 ημέρες       | 40 ημέρες       | 44 ημέρες       | 48 ημέρες        | 52 ημέρες       | 56 ημέρες  |
|------------|------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------|
| Ελληνική   | 83.5±10.0a | 55.0±4.7b       | 45.0±10.2 | 47.0±5.5ab      | 51.5±6.7a       | 48.8±7.4a  | 55.7±8.0a       | 52.2±8.2a   | 45.1±9.3ab      | 44.5±6.8a       | 42.3±6.1a       | 38.2±6.7ab       | 40.0±5.3a       | 21.0±5.7ab |
| Ιταλική I  | 65.5±12.7a | 108.8±17.4<br>a | 65.2±10.2 | 52.0±9.0ab      | 39.3±6.1ab      | 42.5±7.0ab | 37.0±6.3ab      | 43.0±7.3a   | 45.0±7.8ab      | 33.8±4.3a       | 21.0±3.1ab      | 34.7±6.0ab<br>c  | 39.7±5.0a       | 26.7±3.9a  |
| Ιταλική II | 45.0±5.1ab | 35.0 ± 3.2b     | 39.7±6.1  | 41.8±9.4ab      | 39.0±5.9ab      | 32.0±7.4ab | 29.3±8.5ab      | 24.5±4.9ab  | 25.0±6.0ab<br>c | 20.7±5.1ab      | 16.5±5.9ab      | 19.2±5.4bc       | 13.8±4.5b       | 12.7±4.1ab |
| Γερμανική  | 17.5±4.9b  | 36.0 ±<br>15.9b | 33.5±8.3  | 19.0±9.5b       | 12.0±7.1b       | 12.3±7.1b  | 8.8±5.1b        | 4.3±2.5b    | 4.5±2.6c        | 4.3±2.5b        | 1.8±1.2b        | 2.8±2.8c         | 2.8±1.6b        | 2.8±1.7b   |
| Τούρκικη   | 83.3±11.9a | 52.3 ±<br>6.1ab | 33.7±8.7  | 43.3±10.9a<br>b | 33.3±14.4a<br>b | 24.0±9.0ab | 37.3±16.5a<br>b | 24.7±13.4ab | 19.3±9.7bc      | 23.3±12.3a<br>b | 20.3±11.8a<br>b | 30.3±18.2a<br>bc | 21.7±10.9<br>ab | 17.0±9.8ab |
| Ισπανική   | 56.8±9.5ab | 59.8 ±<br>11.8b | 49.8±6.3  | 64.3±9.1a       | 43.2±9.3ab      | 47.2±5.6a  | 55.8±5.7a       | 56.5±10.2a  | 57.8±8.7a       | 36.8±5.4a       | 34.7±8.5a       | 57.8±6.2a        | 42.2±4.1a       | 33.8±4.6a  |
| F          | 5.503      | 5.929           | 1.841     | 2.573           | 2.539           | 3.523      | 4.675           | 5.549       | 5.564           | 5.333           | 4.604           | 6.668            | 9.778           | 4.641      |
| Df         | 5          | 5               | 5         | 5               | 5               | 5          | 5               | 5           | 5               | 5               | 5               | 5                | 5               | 5          |
| P          | 0.002      | 0.001           | 0.141     | 0.052           | 0.055           | 0.015      | 0.004           | 0.001       | 0.001           | 0.002           | 0.004           | 0.000            | 0.000           | 0.004      |

| Αριθμός εναποτιθέμενων αυγών (B) |           |           |             |           |            |           |           |           |           |           |            |
|----------------------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Φυλές                            | 60 ημέρες | 64 ημέρες | 68 ημέρες   | 72 ημέρες | 76 ημέρες  | 80 ημέρες | 84 ημέρες | 88 ημέρες | 92 ημέρες | 96 ημέρες | Σύνολο     |
| Ελληνική                         | 28.3±7.2  | 34.7±7.9  | 18.5±4.4ab  | 17.0±5.3  | 15.5±5.0ab | 12.3±5.5  | 10.2±6.4  | 9.1±5.9   | 4.7±3.1   | 12.3±7.8  | 832±82 a   |
| Ιταλική I                        | 32.8±5.0  | 57.8±13.0 | 48.0±10.0a  | 30.5±4.6  | 27.3±4.7a  | 10.0±5.6  | 13.7±10.5 | 17.3±10.5 | 11.5±7.7  | 11.5±8.4  | 914±91 a   |
| Ιταλική II                       | 17.2±6.5  | 29.2±10.7 | 20.0±7.5ab  | 17.0±5.6  | 14.0±5.1ab | 9.0±4.3   | 18.2±7.2  | 19.3±8.4  | 13.0±6.0  | 27.3±13.9 | 578±105 ab |
| Γερμανική                        | 4.8±3.5   | 5.5±3.4   | 8.5±4.9b    | 6.3±3.7   | 0±0b       | 0±0       | 0±0       | 0±0       | 0±0       | 0±0       | 187±76 b   |
| Τούρκικη                         | 26.0±14.0 | 40.3±29.2 | 18.7±14.0ab | 12.0±7.9  | 9.0±5.9ab  | 3.0±3.0   | 5.3±5.3   | 12.0±12.0 | 2.0±2.0   | 5.0±5.0   | 593±218 ab |
| Ισπανική                         | 22.3±7.2  | 58.3±15.1 | 37.8±9.1 ab | 30.5±6.4  | 25.3±5.2a  | 17.7±5.8  | 17.7±5.7  | 13.8±3.8  | 12.2±4.1  | 13.3±3.8  | 945±113 a  |
| F                                | 1.794     | 2.127     | 3.095       | 2.813     | 3.861      | 1.352     | 0.804     | 0.718     | 1.035     | 1.021     |            |
| Df                               | 5         | 5         | 5           | 5         | 5          | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         |            |
| P                                | 0.151     | 0.095     | 0.026       | 0.038     | 0.010      | 0.276     | 0.558     | 0.616     | 1.035     | 1.021     |            |

Πίνακας 12 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του αριθμού των αυγών από τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα έξι διαφορετικών φυλών του είδους *Tenebrio molitor* και τα οποία καταγράφονταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών. Στην τελευταία στήλη του πίνακα παρουσιάζεται το σύνολο των αυγών που παράχθηκαν από τα ενήλικα άτομα των έξι διαφορετικών φυλών του ζείδου *Tenebrio molitor*. (Για την Ελληνική φυλή, την Ιταλική φυλή I, την Ιταλική φυλή II και την Ισπανική φυλή n=6. Για τη Γερμανική φυλή n=4. Για την Τούρκικη φυλή n=3). Για κάθε εβδομάδα, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Ποσοστό εκκολαψιμότητας αυγών (%) (A)

|            | 4ημέρες    | 8 ημέρες   | 12ημέρες   | 16ημέρες    | 20ημέρες   | 24ημέρες  | 28ημέρες   | 32ημέρες   | 36ημέρες    | 40ημέρες    | 44ημέρες   | 48ημέρες   | 52ημέρες    |
|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|
| Ελληνική   | 92.1±3.4a  | 80.0±2.9a  | 93.6±1.9a  | 73.4±4.4a   | 73.2±2.4a  | 81.0±6.6a | 83.0±5.3ab | 92.3±2.1a  | 84.3±3.9a   | 84.5±2.2a   | 81.7±1.9a  | 75.3±1.9a  | 86.2±2.2a   |
| Ιταλική I  | 76.4±6.9ab | 81.4±3.8a  | 69.2±5.4ab | 59.2±4.5ab  | 72.2±7.3a  | 62.0±5.3a | 74.1±6.9ab | 77.1±5.1ab | 58.7±8.8a   | 83.1±5.7a   | 62.8±7.4a  | 63.4±4.5a  | 71.1±8.9a   |
| Ιταλική II | 68.2±3.1ab | 79.0±4.8a  | 67.4±9.8ab | 61.2±10.4ab | 70.4±4.4a  | 65.6±6.4a | 76.6±6.1ab | 62.2±5.5ab | 68.4±15.6a  | 69.1±14.5ab | 66.8±15.4a | 65.1±15.1a | 41.7±14.7ab |
| Γερμανική  | 66.0±8.5b  | 44.3±16.7b | 54.0±15.8b | 30.3±19.0b  | 15.2±15.2b | 3.0± 3.0b | 11.4±6.9c  | 11.1±11.1c | 5.5±5.6b    | 30.4±18.1b  | 0±0b       | 0±0b       | 0±0b        |
| Τούρκικη   | 64.5±4.4b  | 77.5±10.5a | 84.9±7.1ab | 68.6±5.4ab  | 87.1±11.2a | 69.2±9.8a | 93.5±4.6a  | 53.7±26.9b | 57.5±28.8 a | 50.0±25.1ab | 53.6±27.4a | 53.3±26.7a | 49.3±26.6a  |
| Ισπανική   | 71.5±6.0ab | 72.5±4.5ab | 66.3±5.2ab | 59.5±6.3ab  | 73.0±5.8a  | 67.4±4.3a | 65.7±4.1b  | 67.6±3.6ab | 63.5±3.4a   | 79.5±5.6ab  | 76.0±6.4a  | 64.9±8.1a  | 73.7±5.0a   |
| F          | 3.376      | 3.544      | 3.118      | 2.387       | 9.168      | 17.838    | 18.451     | 10.851     | 5.032       | 3.216       | 6.584      | 5.829      | 8.050       |
| Df         | 5          | 5          | 5          | 5           | 5          | 5         | 5          | 5          | 5           | 5           | 5          | 5          | 5           |
| P          | 0.018      | 0.015      | 0.025      | 0.067       | 0.000      | 0.000     | 0.000      | 0.000      | 0.003       | 0.022       | 0.000      | 0.001      | 0.000       |

| Ποσοστό εκκολαψιμότητας αυγών (%) (B) |              |              |              |              |              |              |              |            |            |             |           |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|-----------|
|                                       | 56ημέρες     | 60ημέρες     | 64ημέρες     | 68ημέρες     | 72ημέρες     | 76ημέρες     | 80ημέρες     | 84ημέρες   | 88ημέρες   | 92ημέρες    | 96ημέρες  |
| Ελληνική                              | 72.4±5.6a    | 71.1±5.0a    | 76.7± 7.8a   | 66.2± 7.4 a  | 81.7± 8.7 a  | 59.1± 14.2 a | 47.1± 18.2ab | 30.1± 19.0 | 29.6± 18.7 | 25.9± 16.4  | 31.2±19.7 |
| Ιταλική I                             | 76.0±9.5a    | 56.8±7.1ab   | 61.1± 6.6ab  | 49.1± 6.1ab  | 60.9± 6.5ab  | 63.5± 6.1 a  | 19.9± 11.3ab | 10.9± 10.9 | 39.2± 18.9 | 20.6± 13.8  | 29.6±18.8 |
| Ιταλική II                            | 47.3±16.8abc | 40.7±13.4abc | 31.8± 10.9bc | 49.2± 16.7ab | 36.2± 11.9ab | 35.5± 11.7ab | 37.6± 17.1ab | 46.9± 17.7 | 45.7± 20.5 | 44.9 ± 20.1 | 48.4±21.6 |
| Γερμανική                             | 0±0c         | 0±0c         | 0±0c         | 3.0± 3.0 b   | 0±0b         | 0±0b         | 0±0b         | 0±0        | 0±0        | 0±0         | 0±0       |
| Τούρκικη                              | 20.6±15.1bc  | 15.6±8.7bc   | 42.5± 24.1ab | 43.2± 21.8ab | 43.2± 21.6ab | 40.7± 20.5ab | 11.1± 11.1ab | 18.8± 18.8 | 15.7± 15.7 | 0           | 31.1±31.1 |
| Ισπανική                              | 49.3±4.9ab   | 51.9±10.3ab  | 52.1± 4.8ab  | 63.0± 9.0 a  | 87.8± 28.7 a | 68.1± 8.4 a  | 64.6 ± 8.2a  | 39.8± 14.6 | 46,1± 18.4 | 19.9 ± 9.2  | 63.1±14.1 |
| F                                     | 6.904        | 7.092        | 7.809        | 3.481        | 3.605        | 4.687        | 2.792        | 1.250      | 0.830      | 1.169       | 1.139     |
| Df                                    | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5          | 5          | 5           | 5         |
| P                                     | 0.000        | 0.000        | 0.000        | 0.016        | 0.014        | 0.004        | 0.039        | 0.316      | 0.540      | 0.352       | 0.366     |

Πίνακας 13 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού εκκολαψιμότητας των αυγών από τα οποία εναποτέθηκαν από ενήλικα άτομα έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor* και η οποία καταγράφονταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών. (Για την Ελληνική φυλή, την Ιταλική φυλή I, την Ιταλική φυλή II και την Ισπανική φυλή n=6. Για τη Γερμανική φυλή n=4. Για την Τούρκικη φυλή n=3). Για κάθε εβδομάδα, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Ποσοστό επιβίωσης ενηλίκων ατόμων (%) (A)

|            | 4 ημέρες    | 8 ημέρες      | 12 ημέρες    | 16 ημέρες     | 20 ημέρες     | 24 ημέρες    | 28 ημέρες    | 32 ημέρες     | 36 ημέρες    | 40 ημέρες    | 44 ημέρες    | 48 ημέρες    |
|------------|-------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ελληνική   | 100.0 ± 0.0 | 100.0 ± 0.0 a | 98.3 ± 1.7 a | 96.7 ± 2.1 a  | 96.7 ± 2.1 a  | 96.7 ± 2.1 a | 95.0 ± 3.4a  | 93.3 ± 3.3a   | 91.7 ± 3.1a  | 88.3 ± 4.0a  | 80.0 ± 4.5a  | 71.7 ± 7.5a  |
| Ιταλική I  | 96.7 ± 2.1  | 96.7 ± 2.1 a  | 95.0 ± 3.4 a | 90.0 ± 3.7 ab | 88.3 ± 4.8 a  | 85.0 ± 6.2 a | 83.3 ± 5.6a  | 83.3 ± 5.6ab  | 81.7 ± 6.0a  | 81.7 ± 6.0a  | 81.7 ± 6.0a  | 80.0 ± 6.8a  |
| Ιταλική II | 100.0 ± 0.0 | 98.3 ± 1.7 a  | 96.7 ± 2.1 a | 85.0 ± 3.4 ab | 78.3 ± 6.0 a  | 71.7 ± 8.7a  | 66.7 ± 7.6a  | 63.3 ± 6.7b   | 63.3 ± 6.7a  | 63.3 ± 6.7a  | 56.7 ± 8.0a  | 50.0 ± 5.8ab |
| Γερμανική  | 92.5 ± 4.8  | 62.5 ± 4.8 b  | 47.5 ± 4.8 b | 35.0 ± 6.5 c  | 20.0 ± 12.2 b | 20.3 ± 12.2b | 17.5 ± 10.3b | 17.5 ± 10.3c  | 17.5 ± 10.3b | 17.5 ± 10.3b | 17.5 ± 10.3b | 17.5 ± 10.3b |
| Τούρκικη   | 96.7 ± 3.3  | 96.7 ± 3.3 a  | 83.3 ± 6.7 a | 73.3 ± 12.0 b | 73.3 ± 12.0 a | 73.3 ± 12.0a | 73.3 ± 12.0a | 70.0 ± 15.3ab | 70.0 ± 15.3a | 66.7 ± 13.3a | 66.7 ± 13.3a | 66.7 ± 13.3a |
| Ισπανική   | 100.0 ± 0.0 | 98.3 ± 1.7 a  | 90.0 ± 4.5 a | 85.0 ± 3.4 ab | 83.3 ± 3.3 a  | 83.3 ± 3.3a  | 85.5 ± 3.4a  | 85.0 ± 3.4ab  | 83.3 ± 4.2a  | 80.0 ± 3.7a  | 76.7 ± 4.2a  | 73.3 ± 4.2a  |
| F          | 2.199       | 34.816        | 23.513       | 20.744        | 16.712        | 12.188       | 15.403       | 14.986        | 13.509       | 13.068       | 10.216       | 8.713        |
| Df         | 5           | 5             | 5            | 5             | 5             | 5            | 5            | 5             | 5            | 5            | 5            | 5            |
| P          | 0.086       | 0.000         | 0.000        | 0.000         | 0.000         | 0.000        | 0.000        | 0.000         | 0.000        | 0.000        | 0.000        | 0.000        |

| Ποσοστό επιβίωσης ενηλίκων ατόμων (%) (B) |             |             |            |            |            |            |            |            |            |            |             |             |
|---|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
|   | 52 ημέρες   | 56 ημέρες   | 60 ημέρες  | 64 ημέρες  | 68 ημέρες  | 72 ημέρες  | 76 ημέρες  | 80 ημέρες  | 84 ημέρες  | 88 ημέρες  | 92 ημέρες   | 96 ημέρες   |
| Ελληνική                                  | 61.7± 7.0a  | 60.0± 6.8a  | 53.3± 4.2a | 48.3± 3.1a | 48.3± 3.1a | 48.3± 3.1a | 46.7± 3.3a | 45.0± 2.2a | 38.3± 4.8a | 38.3± 4.8a | 36.7±4.9a   | 28.3± 7.0ab |
| Ιταλική I                                 | 73.3± 6.1a  | 73.3± 6.1a  | 70.0± 5.1a | 66.7± 6.1a | 66.7± 6.1a | 68.3± 6.0a | 66.7± 5.6a | 58.3± 7.5a | 55.0± 8.9a | 51.7± 8.7a | 48.3± 11.4a | 46.7± 10.5a |
| Ιταλική II                                | 50.0± 5.8a  | 50.0± 5.8a  | 50.0± 5.8a | 48.3± 5.4a | 48.3± 5.4a | 46.7± 4.2a | 46.7± 4.2a | 46.7± 3.3a | 43.3± 3.3a | 40.0± 6.3a | 40.0± 6.3a  | 40.0± 6.3a  |
| Γερμανική                                 | 17.5± 10.3b | 17.5± 10.3b | 15.0± 8.7b | 15.0± 8.7b | 15.0± 8.7b | 7.5± 7.5b  | 7.5±7.5b   | 0.0±0.0b   | 0.0±0.0b   | 0.0±0.0b   | 0.0±0.0b    | 0.0±0.0b    |
| Τούρκικη                                  | 63.3± 12.0a | 63.3± 12.0a | 53.3± 8.8a | 53.3± 8.8a | 53.3± 8.8a | 53.3±8.8a  | 50.0± 5.8a | 46.7± 3.3a | 43.3± 3.3a | 43.3± 3.3a | 43.3± 3.3a  | 43.3± 3.3a  |
| Ισπανική                                  | 73.3± 4.2a  | 73.3± 4.2a  | 73.3± 4.2a | 68.3± 6.0a | 66.7± 7.1a | 70.0± 5.2a | 66.7± 7.1a | 61.7± 7.9a | 55.0± 8.5a | 53.3± 8.8a | 51.7± 8.0a  | 45.0± 7.6a  |
| F   | 7.890       | 7.953       | 11.741     | 8.983      | 7.903      | 15.237     | 12.699     | 13.179     | 8.208      | 6.343      | 4.927       | 4.430       |
| Df  | 5           | 5           | 5          | 5          | 5          | 5          | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 5           |
| P   | 0.000       | 0.000       | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.001      | 0.003       | 0.005       |

Πίνακας 14 Μέσοι όροι ( $\pm$  τυπικό σφάλμα μέσου όρου) του ποσοστού επιβίωσης των ενηλίκων ατόμων έξι διαφορετικών φυλών του *Tenebrio molitor* το οποίο καταγράφονταν κάθε 4 ημέρες για χρονικό διάστημα 96 ημερών. (Για την Ελληνική φυλή, την Ιταλική φυλή I, την Ιταλική φυλή II και την Ισπανική φυλή n=6. Για τη Γερμανική φυλή n=4. Για την Τούρκικη φυλή n=3). Για κάθε εβδομάδα, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δε διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σύμφωνα με το Tukey HSD test. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.