



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

"Αξιολόγηση της ευπάθειας των εντομαλεύρων από προνύμφες των εντόμων *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* σε εντομολογικές προσβολές από έντομα αποθηκών"



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΑΝΝΑ ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΒΟΛΟΣ 2021

ΘΕΜΑ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ:

"Αξιολόγηση της ευπάθειας των εντομαλεύρων από προνύμφες των εντόμων *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* σε εντομολογικές προσβολές από έντομα αποθηκών"

"Susceptibility of *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* larvae meals to infestations by major stored-product insects"

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Αθανασίου Χρήστος, Καθηγητής Π.Θ. (Επιβλέπων)

Παπαδόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής Π.Θ. (Μέλος)

Καρκάνης Ανέστης, Επ. Καθηγητής Π.Θ. (Μέλος)

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Αθανασίου Χρήστο, για την ευκαιρία που μου έδωσε, καθώς και την εμπιστοσύνη του, να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο και να το φέρω εις πέρας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κ. Παπαδόπουλο Νικόλαο και τον κ. Καρκάνη Ανέστη, για το χρόνο, τις παρατηρήσεις και τα σχόλια τους στην πτυχιακή μου διατριβή.

Ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες και στον κ. Ρούμπο Χρήστο για όλες τις πολύτιμες συμβουλές, τη βοήθεια και την καθοδήγηση του σε όλη την πορεία της εργασίας μου.

Ευχαριστίες και σε όλα τα άτομα που απαρτίζουν το Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του τμήματος για την τόσο καλή συνεργασία και βοήθεια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και το φιλικό μου περιβάλλον για την στήριξη και κατανόηση σε όλη την προσπάθεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

## Περίληψη

Η επιλογή και χρήση των εντόμων για κάλυψη των διατροφικών αναγκών, τόσο του ανθρώπου όσο και των ζώων, έχει αναφερθεί και καταγραφεί ήδη στο παρελθόν. Η ραγδαία πληθυσμιακή ανάπτυξη των τελευταίων ετών και η ανάγκη για εύρεση τροφής από εναλλακτικές πηγές επανέφερε την εντομοφαγία ως μία διατροφική επιλογή. Το εντομάλευρο θα παράγεται σε μεγάλες ποσότητες στο άμεσο μέλλον ως ένα νέο αγροτικό προϊόν και θα δέχεται μεταχείριση ανάλογη με εκείνη των παραδοσιακών αγροτικών προϊόντων, δηλαδή τα έντομα προς κατανάλωση θα εκτρέφονται, θα δέχονται επεξεργασία και θα αποθηκεύονται. Όπως όλα τα αγροτικά προϊόντα, τα εντομάλευρα μπορεί να είναι ευάλωτα σε εντομολογικές προσβολές κατά τη διάρκεια της μετασυλλεκτικής τους αποθήκευσης. Ωστόσο, καμία σχετική πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη αυτή τη στιγμή για την ευπάθεια των εντομαλεύρων σε προσβολές από έντομα αποθηκευμένων προϊόντων. Σκοπός τη παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση της ευπάθειας δύο εντομαλεύρων από προνύμφες των εντόμων *Alphitobius diaperinus* και *Tenebrio molitor* σε προσβολές από έντομα αποθηκευμένων προϊόντων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης τους. Ειδικότερα, ερευνήθηκε η ανάπτυξη του πληθυσμού μιας σειράς σημαντικών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων στο εντομάλευρο *A. diaperinus*. Επιπλέον, αξιολογήθηκε η πληθυσμιακή ανάπτυξη των *Tribolium castaneum*, *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* στο ίδιο εντομάλευρο αλλά και σε υποστρώματα βασισμένα στο εντομάλευρο με πίτουρο σίτου σε διαφορετικά ποσοστά. Επίσης, αξιολογήθηκε η ανάπτυξη του πληθυσμού των *Tribolium confusum*, *Trogoderma granarium*, *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* σε εντομάλευρο από προνύμφες *T. molitor* αλλά και σε υποστρώματα, όμοια με τη βιοδοκιμή με το εντομάλευρο *A. diaperinus*, βασισμένα στο εντομάλευρο με πίτουρο σίτου σε διαφορετικά ποσοστά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ανάμεσα σε μία σειρά κύριων εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων που εξετάστηκαν ορισμένα κατάφεραν να αναπτυχθούν και να δώσουν απογόνους σε υπόστρωμα με 100% εντομάλευρο. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το *T. molitor* και το *T. confusum* μπορούν να προσβάλουν το 100% εντομάλευρο *T. molitor* και να αναπτύξουν σημαντικούς πληθυσμούς σε αυτό το υπόστρωμα. Αντίστοιχα

αποτελέσματα πληθυσμιακής ανάπτυξης έδωσαν και στο 100% εντομάλευρο *A. diaperinus* τα *T. molitor* και *T. castaneum*. Ωστόσο, η ταχύτητα ανάπτυξης στο υπόστρωμα με 100% εντομάλευρο ήταν αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα που περιείχαν και πίτουρο σίτου. Αντίθετα, το *A. diaperinus* και *T. granarium* δεν αναπτύχθηκαν στο 100% εντομάλευρο *T. molitor* και έδωσαν χαμηλή πληθυσμιακή ανάπτυξη στο υπόστρωμα με εντομάλευρο *T. molitor* σε ποσοστό 75%, ενώ στο εντομάλευρο *A. diaperinus* τα είδη αυτά εξελίχθηκαν πληθυσμιακά. Γενικά, τα αποτελέσματα έδειξαν την ευπάθεια των εντομαλεύρων του *T. molitor* και του *A. diaperinus*, καθώς και των υποστρωμάτων με αυτά σε συνδυασμό με πίτουρο σίτου σε διαφορετικά ποσοστά, σε προσβολές από κύρια έντομα αποθηκευμένων προϊόντων. Μέχρι στιγμής αυτή είναι η πρώτη μελέτη για την ευπάθεια των εντομαλεύρων σε έντομα αποθηκών.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	7
1. Έντομα αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων .....	7
1.1. Ορισμός.....	7
1.2. Κυριότερα είδη εντόμων αποθηκών .....	7
1.3. Σημασία των εντόμων αποθηκών .....	9
2. Η χρήση των εντόμων για ζωοτροφές και για ανθρώπινη κατανάλωση ....	13
2.1. Ιστορική αναδρομή .....	13
2.2. Κυριότερα είδη.....	15
2.3. Η παραγωγή εντόμων για ζωοτροφές και ανθρώπινη κατανάλωση σε βιομηχανικό επίπεδο και το νομοθετικό πλαίσιο .....	16
2.4. Ζημιές σε παράγωγα και προϊόντα εντόμων από έντομα αποθηκών ..	19
3. Σκοπός .....	20
Υλικά και Μέθοδοι .....	20
4.1. Εκτροφή των εντόμων .....	20
4.2. Προετοιμασία εντομαλεύρων .....	22
4.3. Πειραματικός σχεδιασμός .....	22
4.3.1 Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> .....	22
4.3.2. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> .....	29
4.3.3. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο <i>T. molitor</i> .....	29
4.4. Στατιστική ανάλυση .....	30
Αποτελέσματα.....	30
5.1. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> .....	30
5.2. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> .....	31
5.3. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο <i>T. molitor</i> .....	32
Συμπεράσματα – Συζήτηση.....	49
Βιβλιογραφία.....	54

## Εισαγωγή

### 1. Έντομα αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων

#### 1.1. Ορισμός

Από τα μεγαλύτερα προβλήματα των γεωργικών προϊόντων και τροφίμων μετασυλλεκτικά είναι η ευπάθεια τους σε προσβολές, κυρίως εντομολογικές, από έντομα διαφόρων ειδών, κατά την περίοδο αποθήκευσής τους, με αρνητικό αντίκτυπο κυρίως ποσοτικά και ποιοτικά σε αυτά. Πιο συγκεκριμένα, ως έντομα αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων ορίζονται τα είδη των εντόμων που είναι επιζήμια για τα αποθηκευμένα προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των σιτηρών, των οσπρίων, των αποξηραμένων φρούτων και ξηρών καρπών, των σπόρων καθώς και των διαφόρων άλλων υλικών φυτικής και ζωικής προέλευσης (Hill, 2002). Από τις συνολικά 32 τάξεις εντόμων, τα επιζήμια είδη εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων ανήκουν κυρίως σε τρεις τάξεις, δηλαδή στα Coleoptera, τα Lepidoptera και τα Psocoptera. Σε μικρότερο βαθμό επιζήμια για τα αποθηκευμένα προϊόντα θεωρούνται και ορισμένα είδη των τάξεων Hemiptera και Hymenoptera (Rees, 2004; Hears, 2006).

#### 1.2. Κυριότερα είδη εντόμων αποθηκών

Τα έντομα των αποθηκευμένων προϊόντων, ανάλογα με τις τροφικές τους προτιμήσεις, δηλαδή τον τύπο των προϊόντων που προσβάλλουν και στα οποία ανιχνεύονται, διακρίνονται στις εξής κύριες κατηγορίες:

##### Είδη που προσβάλλουν σιτηρά και προϊόντα σιτηρών:

Εδώ ανήκουν τα έντομα εκείνα που προσβάλλουν ακέραιους σπόρους σιτηρών (π.χ. σιτάρι, βρώμη, κριθάρι κα.) ή τα διάφορα προϊόντα τους (π.χ. αλεύρι, πίτουρο κα.). Μερικά από τα είδη που περιλαμβάνονται στην κατηγορία αυτή είναι τα είδη του γένους *Sitophilus* (Coleoptera: Curculionidae) [*S. oryzae* (L.), *S. granarius* (L.)], τα ξυλοφάγα *Rhyzopertha dominica* (F.) και *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae), τα είδη *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) και *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae), καθώς και είδη του γένους *Tribolium* [*T. castaneum* (Herbst) και *T. confusum* Jacquelin du Val] (Coleoptera: Tenebrionidae), του γένους *Cryptolestes* [*C. ferrugineus* (Stephens)]

(Coleoptera: Cucujidae) και του γένους *Trogoderma* [*T. granarium* (Everts)]  
(Coleoptera: Dermestidae) (Nayak and Daglish, 2018)

Είδη που προσβάλλουν τα αποξηραμένα φρούτα και τους ξηρούς καρπούς:

Στα κυριότερα είδη της κατηγορίας αυτής αναφέρονται τα *Carpophilus hemipterus* (L.) (Coleoptera: Nitidulidae) και διάφορα Lepidoptera, όπως τα είδη *Plodia interpunctella* (Hübner), *Ephestia elutella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) κ.α. ως υπεύθυνα για προσβολές σε αποθηκευμένα αποξηραμένα φρούτα και ξηρούς καρπούς (Nayak and Daglish, 2018)

Είδη που προσβάλλουν ψάρια και άλλα ζωικά προϊόντα:

Πρόκειται για είδη που προσβάλλουν αποθηκευμένα αποξηραμένα ψάρια, δέρματα και άλλα αποξηραμένα ζωικά προϊόντα, όπως τα επεξεργασμένα κρέατα και τυριά, όπως τα είδη του γένους *Dermestes* (Coleoptera: Dermestidae) καθώς και το *Necrobia rufipes* (Degeer) (Coleoptera: Cleridae) (Nayak and Daglish, 2018)

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των ειδών των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων αφορά τον τρόπο με τον οποίο αυτά προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα. Έτσι, διακρίνονται 2 κατηγορίες, τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα είδη εντόμων αποθηκών. Ειδικότερα, τα πρωτεύοντα έντομα προσβάλλουν ακέραια τα αποθηκευμένα προϊόντα (π.χ. σιτηρά), ολόκληρο το σπόρο, και τρέφονται σε βάρος του εμβρύου του σπόρου, του ενδοσπερμίου ή των κοτυληδόνων. Συνεπώς, είναι σε θέση να διαπερνούν το ακέραιο περίβλημα των σπόρων και να διεισδύουν σε αυτούς στα πλαίσια του βιολογικού τους κύκλου. Ολόκληρος ο βιολογικός τους κύκλος, από το ωό στην προνύμφη και έως τη νύμφη, λαμβάνει χώρα εσωτερικά του σπόρου και επομένως καθίσταται δύσκολη η ανίχνευση της προσβολής στα προϊόντα, ιδιαίτερα στα πρώιμα στάδιά της. Προϋπόθεση για την επιβίωση των εντόμων αυτών, ωστόσο, είναι η ύπαρξη ολόκληρων ακέραιων σπόρων, παρουσιάζοντας ένα στενό φάσμα τροφικών προτιμήσεων, όπως δημητριακά και όσπρια. Αντίθετα, το φάσμα προϊόντων που προσβάλλεται από τα δευτερεύοντα έντομα είναι ευρύτερο, με τα είδη αυτά να προσβάλλουν διάφορα προϊόντα των σιτηρών, αλεσμένα προϊόντα, όπως αλεύρι, προϊόντα που έχουν υποστεί επεξεργασία όπως δημητριακά, σοκολάτες και ζωοτροφές, καθώς και



σπασμένους σπόρους ή σκόνη προϊόντων που έχουν ήδη προσβληθεί από πρωτεύοντα έντομα. Επιπλέον, τα είδη των δευτερευόντων εντόμων, σε αντίθεση πάλι με τα πρωτεύοντα, καθιστούν εμφανή εξαρχής την προσβολή, εφόσον, στα πλαίσια του βιολογικού τους κύκλου, η εναπόθεση των ωών τους πραγματοποιείται διάσπαρτα στο προϊόν, και όχι εσωτερικά των σπόρων. Κατά συνέπεια, η ύπαρξη εμφανών αναπτυσσόμενων προνυμφών στο αποθηκευμένο προϊόν αποτελεί ένδειξη προσβολής του αποθηκευμένου προϊόντος και μάλιστα χαρακτηριστικά από κάποιο δευτερεύον είδος εντόμου. Οι προσβολές αυτές, περιλαμβάνουν κυρίως είδη του γένους *Tribolium* και *Trogoderma*, μερικά του γένους *Cryptolestes*, το *O. surinamensis* καθώς και πληθώρα από τα *Lepidoptera* των αποθηκευμένων προϊόντων (οικογένεια *Pyralidae*) όπως π.χ. τα *Cadra cautella* (Walker) και *P. interpunctella* κ.α. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των προσβολών από πρωτεύοντα έντομα, κύρια είδη αποτελούν εκείνα των γενών *Sitophilus* και *Callosobruchus* (Coleoptera: Bruchidae), τα είδη *R. dominica* και *P. truncatus*, καθώς και από τα *Lepidoptera* το *S. cerealella* κ.α.

### **1.3. Σημασία των εντόμων αποθηκών**

Η προσβολή των διαφόρων προϊόντων και τροφίμων κατά την αποθήκευση τους από ένα μεγάλο αριθμό ειδών εντόμων αποθηκών επιφέρει τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές απώλειες στο προϊόν. Για παράδειγμα, η προσβολή των σιτηρών από έντομα αποθηκών έχει αφενός καταστροφικό αποτέλεσμα στη ζωτικότητα των ίδιων των σπόρων αλλά αφετέρου επιφέρει και την αύξηση της θερμότητας στο σωρό των σπόρων. Εκτός δηλαδή από τη φυσική καταστροφή του προϊόντος, οι αλλαγές αυτές στη θερμοκρασία του προϊόντος καθώς και στην υγρασία του χώρου αποθήκευσης διευκολύνει την ανάπτυξη των εντόμων στο προϊόν σε συγκεκριμένα σημεία (hot spots), με αποτέλεσμα, λόγω της έντονης αναπνοής των εντόμων στα σημεία αυτά, την ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας και υγρασίας (Stejskal et al., 2018). Το γεγονός αυτό αποτελεί σοβαρή απειλή για την ασφάλεια των σιλό (Len et al., 2016; Zhang et al., 2021) καθώς και των χώρων αποθήκευσης των προϊόντων.

Βέβαια, αναπόφευκτα σχεδόν όλα τα γεωργικά προϊόντα μακράς αποθήκευσης, π.χ. τρόφιμα και πρώτες ύλες όπως δημητριακά, όσπρια, ελαιούχοι σπόροι και ξηροί καρποί, αποξηραμένοι κόνδυλοι, αποξηραμένα

φρούτα, βότανα και μπαχαρικά, αποξηραμένα ψάρια και προϊόντα κρέατος, αλλά και μουσειακά αντικείμενα, δέρματα ή μαλλί, μπορεί να μολυνθούν κατά την επεξεργασία, μεταφορά και αποθήκευση από διάφορα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων (Nayak and Darglish 2018). Κάποια είδη εντόμων όπως προαναφέρθηκε στην κατηγοριοποίησή τους, π.χ. τα είδη του γένους *Tribolium*, εισέρχονται στο εσωτερικό του σπόρου, αναπτύσσονται εντός τρεφόμενα με το εσωτερικό ενδοσπέρμιο και εξέρχονται ως ενήλικα (Hagstrum et al., 2012; Nayak and Darglish, 2018). Το αποτέλεσμα αυτής της ανάπτυξης τους είναι τελικά σπόροι με εμφανείς τρύπες από την έξοδο των εντόμων, υποβαθμισμένοι ποιοτικά και ποσοτικά, γεγονός που επιφέρει σημαντική μείωση της τιμής τους στην αγορά.

Άλλες επιπτώσεις της δραστηριότητας των εντόμων αφορούν στο τάγγισμα των σπόρων, καθώς και στην αύξηση της θερμοκρασίας λόγω των σπασμένων σπόρων-πυρήνων, οι οποίοι περιορίζουν την κίνηση του αέρα κατά την αποθήκευση (Hagstrum et al., 2012). Επίσης, η ύπαρξη σωματικών τμημάτων εντόμων στο προϊόν προκαλεί σοβαρές απορρίψεις και απώλειες σε χονδρικό επίπεδο, καθώς εγείρει προβληματισμούς για την ποιότητα και τη φυτοϋγειονομική κατάσταση του προϊόντος (Hagstrum et al., 2012).

Υπάρχουν επίσης αναφορές στην επίδραση στην ψυχική υγεία του ανθρώπου, που μπορεί να επιφέρει η έκθεση του σε ένα προσβεβλημένο από έντομα προϊόν, με ποικίλες κοινωνικές όσο και ιατρικές διαστάσεις (Anderson 1993). Η ύπαρξη των εντόμων ή τμημάτων εντόμων μπορεί να έχει αρνητική συναισθηματική επίδραση, ιδιαίτερα εάν η προσβολή είναι μεγάλη (Baker και Swan, 2013). Η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε τρόφιμα προσβεβλημένα με έντομα μπορεί να οδηγήσει και σε σοβαρά ψυχολογικά προβλήματα άμεσα συνυφασμένα με την εντομοφοβία ή/και ακόμα με το παθολογικό άγχος (Stejskal et al., 2018).

Προϊόν προσβεβλημένο από πρωτεύοντα έντομα αποτελεί επίσης πρόσφορο έδαφος, μαζί με ήδη σπασμένους αποθηκευμένους σπόρους από άλλους παράγοντες (π.χ. ως απόρροια της μετασυλλεκτικής τους μεταχείρισης και μεταφοράς τους), για την προσβολή και ανάπτυξη δευτερευόντων ειδών εντόμων. Έτσι, εξαιτίας της ζημιάς που έχει προκληθεί από τα πρωτεύοντα

είδη, τα δευτερεύοντα είδη εντόμων μπορούν πλέον να εισέλθουν εσωτερικά στους σπόρους (Hagstrum et al., 2012) ενώ εξ ορισμού σε ακέραιο προϊόν αδυνατούν.

Συχνά, οι προσβολές αυτές από έντομα στα αποθηκευμένα προϊόντα, ενισχύουν την ευπάθεια τους σε μυκητολογικές προσβολές, μιας και τα έντομα εκθέτουν το υπό άλλες συνθήκες κρυμμένο ενδοσπέρμιο σε μύκητες και συμβάλουν στη μεταφορά και διασπορά των σπορίων τους (Hagstrum et al., 2012). Άλλωστε, η υγρασία λόγω της μεταβολικής δραστηριότητας των εντόμων έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μικροκλιμάτων στο προϊόν και επομένως ευνοεί την βλάστηση των σπορίων και εν τέλει την ανάπτυξη μυκήτων (Freeman, 1973; Hagstrum et al., 2012), με πολλές μυκητολογικές προσβολές να είναι υπεύθυνες και για την παραγωγή μυκοτοξινών στο προϊόν (Stejskal et al., 2018). Οι συνθήκες αυτές υγρασίας και θερμοκρασίας είναι ιδανικές και για την ανάπτυξη και μετέπειτα μετάδοση κι άλλων παθογόνων ιών και βακτηρίων (Stejskal et al., 2018). Η διασπορά των μικροοργανισμών μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσω των περιπτωμάτων τους ή μέσω της προσκόλλησης τους στην επιφάνεια του σώματος τους, όπως έδειξε η αλληλεπίδραση μεταξύ του εντόμου *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) και του βακτηρίου *Salmonella* (Crippen et al., 2012; Zheng et al., 2012). Όσον αφορά στα σκαθάρια γενικότερα, έχει αναφερθεί πως μπορούν να μεταφέρουν εντερόκοκκους με γονίδια ανθεκτικά σε αντιβιοτικά, όπως για παράδειγμα το *T. castaneum* (Yezerski et al., 2005). Το είδος αυτό μπορεί να αποκτήσει ανθεκτικούς στα αντιβιοτικά εντερόκοκκους μέσω ζωοτροφών και να τους μεταφέρει σε άλλες μη μολυσμένες ζωοτροφές (Channaiah et al., 2010).

Σε άλλη περίπτωση τίθεται το θέμα της ύπαρξης τοξινών, μεταλλαξιγόνων και καρκινογόνων ουσιών στα προσβεβλημένα από τα έντομα προϊόντα. Πράγματι, έχει διαπιστωθεί η παραγωγή αντίστοιχων ουσιών από έντομα, μεταξύ αυτών και του είδους *T. castaneum*, το οποίο και παράγει τουλάχιστον 13 διαφορετικές κινόνες (Howard, 1987). Πρόκειται ουσιαστικά για χημικές ουσίες που για το έντομο έχουν αμυντική και αντιμικροβιακή δράση (Yezerski et al., 2007) και οι οποίες εκτός από την δυσάρεστη οσμή που επιφέρουν στο προϊόν (el-Mofy et al., 1988;1989;1992) είναι τοξικές για τον άνθρωπο και τα

σπονδυλωτά έπειτα από κατάποσή τους (Stejskal et al., 2018). Μπορεί να μην έχει επαληθευτεί αυτή η αρνητική επίπτωση στην υγεία του ανθρώπου, όμως η ύπαρξη χαμηλών ποσοστών κίνησης σε ρύζι φαίνεται να αποτελεί σοβαρή υγειονομική απειλή (Hodges et al., 1996).

Σε κάθε περίπτωση πάντως, οποιαδήποτε μικροβιακή προσβολή του αποθηκευμένου προϊόντος ως απόρροια της εντομολογικής προσβολής καθιστά το εκάστοτε προϊόν ακατάλληλο για κατανάλωση από τον άνθρωπο ή τα ζώα (Stejskal et al., 2018). Εκτός από την μόλυνση των τροφίμων, πρόβλημα προκαλείται και σε επίπεδο αλλεργικών αντιδράσεων από αλλεργιογόνα γένη εντόμων, όπως για παράδειγμα τα είδη των γενών *Anthrenus*, *Trogoderma* και *Dermestes*. Η παρουσία των ίδιων των εντόμων ή ακόμα και τμημάτων αυτών μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές αντιδράσεις σε ορισμένα άτομα λόγω παραγωγής χημικών ενώσεων από τα έντομα. Ως αποτέλεσμα στον άνθρωπο μπορεί να προκληθεί κνησμός καθώς και προβλήματα του αναπνευστικού όπως π.χ. βήχας, άσθμα και ρινίτιδα. Η κατάποση προνυμφών Dermestidae μπορεί να προκαλέσει και ερεθισμό του πεπτικού συστήματος και να οδηγήσει σε εντερικά προβλήματα (Lillie and Pratt, 1980), όπως διάρροια (Okumura, 1967; Goddard, 2003). Όμως μη σαφές παραμένει ακόμα αν η επίδραση αυτή οφείλεται σε αλλεργιογόνο δράση ή απλά στον φυσικό ερεθισμό από τα έντομα. Υπάρχουν σχετικές αναφορές για εμφάνιση των παραπάνω αναπνευστικών συμπτωμάτων σε άτομα του προσωπικού σε μουσεία (Sheldon and Johnston, 1941). Υπάρχουν αναφορές για δερματίτιδα και κνίδωση από προνύμφες ορισμένων Λεπιδοπτέρων, αλλά δεν υπάρχει τεκμηριωμένη άποψη για την πρόκληση αυτού από τα γένη των αποθηκευμένων προϊόντων *Plodia* και *Ephestia*.

Στο επίπεδο των τροφίμων, εκτός από αλλεργιογόνα φαινόμενα έχουν εντοπιστεί και καρκινογόνοι και μεταλλαξογόνοι παράγοντες, ως απόρροια της δράσης των εντόμων. Σε αυτή την περίπτωση, όπως και στην αντίστοιχη της παραγωγής και ύπαρξης τοξινών στα αποθηκευμένα προϊόντα που ήδη αναφέρθηκε, τίθενται το υγειονομικό ζήτημα και οι δηλητηριάσεις έπειτα από κατανάλωση των τροφίμων αυτών από τον άνθρωπο. Με βάση τα παραπάνω, γίνεται σαφές ότι ο έλεγχος και η διαχείριση των προσβολών των εντόμων αποθηκών έχει ιδιαίτερη υγειονομική σημασία (Stejskal et al., 2018).

## **2. Η χρήση των εντόμων για ζωοτροφές και για ανθρώπινη κατανάλωση**

### **2.1. Ιστορική αναδρομή**

Η επιλογή και χρήση των εντόμων για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ανθρώπων και των ζώων παραλλάσει στα διάφορα μέρη του κόσμου και μπορεί να προσεγγιστεί από διαφορετικές οπτικές (Stejkal et al., 2018). Δεν μπορεί να περιγραφεί με σιγουριά αν η εντομοφαγία αποτέλεσε διατροφική συνήθεια ή απλά τυχαία επιλογή τους ως τροφή για κατανάλωση (Meyer-Rochow and Jung, 2020). Με σιγουριά, όμως, αναφέρεται ότι τα έντομα ήταν πράγματι ένα διατροφικό τμήμα αποδεκτό και στο παρελθόν από τον άνθρωπο παγκοσμίως (Bequaert, 1921; Bergier, 1941; Bodenheimer, 1951). Η εντομοφαγία έχει καταγραφεί στην ιστορία του ανθρώπου, με τις αναφορές να ξεκινούν σχεδόν 7000 χρόνια πριν (Ramos-Elorduy, 2009; Tang et al., 2019) και τα έντομα να έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρώπινης διατροφής, ιδιαίτερα στην Αφρική, την Ευρώπη, την Ασία και τη Λατινική Αμερική (Tiencheu and Macaire, 2017). Λιγότερο ή περισσότερο τυχαία μαζί με άλλα είδη, στην διαδικασία αναζήτησης τροφής, δεν υπάρχει αμφιβολία της κατανάλωσης των εντόμων από τον άνθρωπο (Meyer-Rochow and Jung, 2020). Με κάποιο τρόπο και για λόγους όχι πλήρως κατανοητούς για ένα διάστημα η χρήση των εντόμων έγινε λιγότερο συνήθης (Meyer-Rochow and Jung, 2020). Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται σε λόγους σχετιζόμενους με την εξάπλωση του Χριστιανισμού, που απαγόρευσε την κατανάλωση των εντόμων με εξαίρεση τέσσερα είδη ακρίδων, καθώς και στη συνειδητοποίηση ότι τα έντομα μπορούν να είναι φορείς ορισμένων ασθενειών ή ακόμα και λόγω της εντομοφοβίας (Meyer-Rochow and Jung, 2020). Ως πιθανοί λόγοι, επίσης, αναφέρονται τόσο η αυξανόμενη και καλύτερη ποικιλία από προϊόντα τροφίμων στα χέρια του καταναλωτή, όσο και τα μεταγενέστερα ηθικά ζητήματα και ερωτήματα αποδοχής των εντόμων ως διατροφικό είδος, δηλαδή ζητήματα που αφορούν κυρίως την σύνθεση και τη βιοδραστικότητα των εντόμων (Meyer-Rochow and Jung, 2020).

Βέβαια, ανάμεσα σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου και ανάμεσα σε διαφορετικές κουλτούρες, τα έντομα παρέμειναν μία επιλογή τροφής ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο, προτιμώμενη κυρίως λόγω της περιεκτικότητας τους σε πρωτεΐνες, λίπος, βιταμίνες και ιχνοστοιχεία, όπως

σίδηρο και ψευδάργυρο (Tiencheu and Macaire, 2017; Tang et al., 2019). Σήμερα, πάνω από 2 εκατομμύρια άνθρωποι καταναλώνουν έντομα σε καθημερινή βάση σε αρκετές περιοχές του πλανήτη, όπως η Αφρική, η Ασία, η κεντρική και νότια Αμερική και η Αυστραλία (Rickey Yada, 2017), κυρίως σε μία προσπάθεια διασφάλισης ζωικής πρωτεΐνης για κάλυψη των αναγκών τους (Tiencheu and Macaire, 2017). Κι αυτό διότι κάποια είδη εδώδιμων εντόμων φαίνεται να εμφανίζουν παρόμοια διατροφική αξία με εκείνη του κρέατος ή του ψαριού, ενώ κάποια άλλα είδη μπορεί να παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερη διατροφική αξία, προσφέροντας περισσότερη ενέργεια, με μεγαλύτερη την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες και λίπος (Tiencheu and Macaire, 2017).

Η συμβολή αυτή της εντομοφαγίας, λόγω της διατροφικής αξίας των εντόμων, μαζί με την αφθονία τους έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον μιας και ο αυξανόμενος παγκόσμιος πληθυσμός, οι μεταβολές στην παγκόσμια ζήτηση τροφίμων και η διαρκής ταχεία αστικοποίηση επιτάσσουν την εύρεση εναλλακτικών τροφίμων και πηγών πρωτεϊνών (Gerland et al., 2014; Godfray et al., 2010; Tiencheu and Macaire, 2017; Tang et al., 2019). Ήδη στο μεγαλύτερο μέρος του κόσμου, οι πόροι τροφίμων γίνονται όλο και πιο δυσεύρετοι και η εισαγωγή τροφίμων γίνεται ακριβότερη, με ιδιαίτερες αναφορές του προβλήματος αυτού στην Αφρική και τη Λατινική Αμερική (Tiencheu and Macaire, 2017), όπου αρκετά μεγάλη μερίδα ατόμων υφίσταται οικονομική πίεση και επομένως υποσιτίζεται (Tang et al., 2019). Τα αγροτικά προϊόντα, όπως τα λαχανικά και τα ζώα είναι συχνά παράνομα ή μη προσιτά για αυτούς, ενώ τα έντομα αποτελούν μια φθηνότερη επιλογή αλλά εξίσου θρεπτική συγκριτικά με τις παραδοσιακές διατροφικές επιλογές (Tang et al., 2019). Έτσι, σήμερα η κατανάλωση βρώσιμων ειδών εντόμων προσφέρεται ως μία λύση μείωσης του υποσιτισμού σε παγκόσμιο επίπεδο (Van Huis 2013; Tiencheu and Macaire, 2017), ικανή να αντικαταστήσει τα παραδοσιακά και διαδεδομένα στις ανεπτυγμένες χώρες τρόφιμα ζωικής προέλευσης στην ανθρώπινη διατροφή, όπως το γάλα, το κρέας, τα ψάρια και τα αυγά (Shockley and Dossey, 2014; EFSA, 2021)

Αντίθετα, η αποδοχή των εντόμων ως διατροφικό είδος στις ανεπτυγμένες χώρες εξακολουθεί να παραμένει όχι τόσο διαδεδομένη και αποδεκτή (Rickey

Yada, 2017) έως και σε πολλές περιπτώσεις άβολη, τις περισσότερες φορές κυρίως λόγω της εξωτερικής εμφάνισης των ακέραιων εντόμων προς κατανάλωση (Tang et al., 2019). Στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες, δηλαδή, το ενδιαφέρον των καταναλωτών για τρόφιμα με βάση τα έντομα αυξάνεται αργά (Tang et al., 2019). Ωστόσο, εμφανίζονται περισσότερο καταδεκτικοί στην επιλογή προϊόντων που περιέχουν θρυμματισμένα έντομα, όπως προνύμφες, συνήθως σε μορφή αλεύρου (Tang et al., 2019). Πρόσφατα φαίνεται να κερδίζει έδαφος η ανάπτυξη και προώθηση προϊόντων σνακ και ταχυφαγείας (street food) βασισμένα σε αυτή τη φιλοσοφία των θρυμματισμένων περιεχόμενων εντόμων, προσφέροντας τη γεύση και τη θρεπτική αξία τους σε μία μορφή τροφίμων με την οποία οι καταναλωτές των αναπτυσσόμενων χωρών είναι εξοικειωμένοι εμφανισιακά (Tan et al. 2015; Hartmann et al. 2018; Tang et al., 2019).

Όσον αφορά την κατανάλωση των εντόμων από τα ζώα, τα έντομα φαίνεται να είναι συχνά μέρος της φυσικής διατροφής τους ενώ αναφέρεται ότι αποτελούν μια εξαιρετικά βιώσιμη πηγή θρεπτικών συστατικών (Van Huis, 2013). Πλέον αναφέρεται ως τεχνικά εφικτή η παραγωγή των εντόμων σε μεγάλη κλίμακα και η χρήση τους ως εναλλακτικά βιώσιμα συστατικά, πλούσια σε πρωτεΐνες, σε διάιτες ζώων όπως χοίρων, πουλερικών και ψαριών (Makkar et al., 2014).

## **2.2. Κυριότερα είδη**

Πάνω από 1900 είδη εντόμων είναι γνωστά παγκοσμίως και καταγεγραμμένα ως μέρος της ανθρώπινης διατροφής σε 113 χώρες (Tiencheu and Macaire, 2017), με τις 27 έως και τις 34 (ποικίλλει στις αναφορές) από αυτές στην Αφρική να περιλαμβάνουν 246 από τα βρώσιμα είδη (Ramos – Elorduy, 2012; Van Huis et al., 2013; Tiencheu and Macaire, 2017). Γενικά κάποιες σημαντικές ομάδες περιλαμβάνουν ακρίδες, κάμπιες, σκαθάρια, μέλισσες κ.α., δηλαδή είδη εντόμων των τάξεων Orthoptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera και Isoptera (Tiencheu and Macaire, 2017). Αυτά τα έντομα ζουν τόσο σε υδάτινα όσο και σε χερσαία περιβάλλοντα (Jongema 2017). Φαίνεται, επίσης, να υπάρχει προτίμηση στην επιλογή των εντόμων και να προτιμώνται εκείνα που προσφέρονται ως άμεσα διαθέσιμα για κατανάλωση (Rickey Yada,

2017). Έτσι, σε μεγαλύτερο ποσοστό 31% επιλέγονται τα Coleoptera (σκαθάρια) με αμέσως επόμενη προτίμηση με ποσοστό 18% τα Lepidoptera (κάμπιες). Παραπλήσια στατιστικώς σε επιλογή φαίνεται να είναι τα Hymenoptera (κοινή μέλισσα, σφήκες, μυρμήγκια) και τα Orthoptera (ακρίδες, κρίκετ) σε ποσοστά 14% και 13%, αντίστοιχα, ενώ τάξεις όπως τα Hemiptera, τα Isoptera και τα Diptera φαίνεται να έχουν χαμηλότερα ποσοστά (<10%) σε προτίμηση (Van Huis et al., 2013; Rickey Yada, 2017).

Γενικά, υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι κατανάλωσης των εδώδιμων εντόμων από τον άνθρωπο και τα ζώα. Τα έντομα μπορούν να καταναλωθούν με την ακέραια μορφή τους ως ολόκληρα, διαφορετικά ως μεταποιημένα π.χ. σε μορφή σκόνης (αλεύρου) ή πάστας, και τέλος ως εκχύλισμα, όπως ένα προϊόν απομόνωσης πρωτεΐνης, λίπους ή χιτίνης από αυτά (EFSA, 2021). Ειδικότερα, προϊόντα εντόμων μπορεί να παραχθούν από αρκετά έντομα σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξής τους, όπως από προνύμφες και νύμφες του είδους *Hermetia illucens* (Black soldier), ενήλικα και νύμφες των Gryllidae (Crickets), προνύμφες και νύμφες των Calliphoridae και Muscidae, ενήλικα και νύμφες των Caelifera, νύμφες του *Bombyx spp.*, προνύμφες και νύμφες του *Tenebrio spp.*, ενήλικα Termitidae, από όλα τα στάδια ανάπτυξης των Chironomidae, Chaoboridae και Ephemeroptera, καθώς και μεταξύ άλλων από ενήλικα και νύμφες των Blattellidae (KEBS, 2017).

### **2.3. Η παραγωγή εντόμων για ζωοτροφές και ανθρώπινη κατανάλωση σε βιομηχανικό επίπεδο και το νομοθετικό πλαίσιο**

Τόσο η επιστημονική έρευνα όσο και οι βιομηχανίες τροφίμων αναγνωρίζουν το υψηλό δυναμικό που προσφέρουν αυτά τα εναλλακτικά πρωτεϊνικά συστατικά για τρόφιμα και ζωοτροφές, ιδιαίτερα όσον αφορά τις σκόνες (άλευρα) από βρώσιμα έντομα (Roncolini et al., 2019). Ήδη στην Ανατολική Αφρική, έχουν πάρει την πρωτοβουλία για την καλλιέργεια εδώδιμων εντόμων και ορισμένες χώρες έχουν αναπτύξει μηχανισμούς για την ενσωμάτωση της παραγωγής και της χρήσης τους, για παράδειγμα, σε ζωοτροφές (Nyangena et al., 2020). Ως εκ τούτου, υπάρχουν ευκαιρίες για τους αγρότες να παράγουν βρώσιμα έντομα, τα οποία μπορούν να παραδοθούν σε εργοστάσια τροφίμων και ζωοτροφών ως πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης



αξίας (Nyangena et al., 2020). Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, σε ορισμένες χώρες (π.χ. Κάτω Χώρες), η εκτροφή προνυμφών είναι ήδη μια κερδοφόρα δραστηριότητα που μπορεί να επωφεληθεί από καινοτόμες διαδικασίες εκμετάλλευσης, μιας και μεταξύ των βρώσιμων εντόμων, οι προνύμφες είναι εύκολο να εκτραφούν και μπορούν να παρέχουν πρωτεΐνες υψηλής θρεπτικής αξίας (Van Huis, 2013).

Πρόσφατα, το ενδιαφέρον των ερευνητών στράφηκε στα εντομάλευρα (Barroso et al., 2014; Henry et al., 2015; Lock et al., 2015) καθώς έχουν ενδιαφέρουσες θρεπτικές αξίες τόσο για τα ψάρια όσο και για τα χερσαία ζώα (Makkar et al., 2014; Gasco et al., 2016). Είναι προφανές από τα παραπάνω, επίσης, ότι οι προνύμφες από πολλά είδη εντόμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εντομοφαγία. Πολύ ελπιδοφόρες είναι οι προνύμφες του *Tenebrio molitor* για την υδατοκαλλιέργεια επειδή είναι πλούσιες σε πρωτεΐνες με επαρκές προφίλ αμινοξέων και είναι εύκολο να αναπαραχθούν και να τραφούν (De Marco et al., 2015; Gasco et al., 2016). Επί του παρόντος, οι προνύμφες πωλούνται ζωντανές, αποξηραμένες ή σε μορφή σκόνης (αλεύρου) για ψάρεμα (δόλωμα) ή σίτιση κατοικίδιων ζώων (Van Huis, 2013; Gasco et al., 2016). Μελέτες αναφέρουν τη χρήση του *T. molitor* στα πουλερικά (Bovera et al., 2015; De Marco et al., 2015; Biasato et al., 2016; Bovera et al., 2016) και τις ιχθυοτροφές (Gasco et al., 2016).

Η φυτική πρωτεΐνη είναι βασικό συστατικό των ζωοτροφών σε ολόκληρο τον κόσμο, ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις περιέχει χαμηλές ποσότητες λυσίνης, τρυπτοφάνης, θρεονίνης και μεθειονίνης (Bukkens, 2005). Ορισμένα είδη εντόμων παρέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αμινοξέων, για παράδειγμα οι κάμπιες Saturniidae, έχουν περιεκτικότητα σε λυσίνη μεγαλύτερη από 100 mg / 100 g CP (Bukkens, 2005; Zhao et al., 2016). Τα έντομα είναι εύκολο να αναπαράγονται και είναι εξαιρετικά θρεπτικά, γι' αυτό οι προνύμφες, με ιδιαίτερη αναφορά σε εκείνες του *T. molitor*, χρησιμοποιούνται ως τροφή για κατοικίδια ζώα, καθώς και εξωτικά είδη που διατηρούνται σε ζωολογικούς κήπους και πάρκα άγριας ζωής, συμπεριλαμβανομένων πτηνών, ερπετών, θηλαστικών, αμφιβίων και ψαριών (Zhao et al., 2016). Επίσης, αναφέρονται πιο αποτελεσματικές οι προνύμφες. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να παραχθούν

περισσότερα από 180 κιλά προνύμφων μύγας *H. illucens* σε 42 ημέρες από 1 m<sup>2</sup>, ενώ μόνο 30 κιλά ενήλικων γρύλων μπορούν να παραχθούν στην ίδια περιοχή (Zhao et al., 2016).

Δεδομένου ότι αναπτύσσονται και αναπαράγονται εύκολα, τα έντομα έχουν υψηλή απόδοση στη μετατροπή ζωοτροφών και μπορούν να εκτραφούν σε ροές βιολογικών αποβλήτων. Ένα κιλό βιομάζας εντόμων μπορεί να παραχθεί από κατά μέσο όρο 2 κιλά βιομάζας ζωοτροφών (Collano et al., 2005; Makkar et al., 2014). Το μεγάλο πλεονέκτημα της παραγωγής εντόμων βέβαια είναι το γεγονός ότι δεν πρέπει να εφαρμοστεί επιπλέον πόσιμο νερό. Σε σύγκριση με άλλα είδη ζώων, τα έντομα χρησιμοποιούν το νερό πολύ αποτελεσματικά και στις περισσότερες περιπτώσεις η τροφή είναι η κύρια πηγή νερού (Zhao et al., 2016). Καθώς η τροφή τα τροφοδοτεί με τόσο τα θρεπτικά όσο και το νερό, η βελτιστοποίηση των ζωοτροφών είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της παραγωγής εντόμων και πρέπει να αντιμετωπιστεί σε μελλοντική έρευνα (Zhao et al., 2016).

Προϋπόθεση για την εντατική παραγωγή εντόμων, αντίστοιχη με εκείνη των ζώων, για οποιαδήποτε εμπορική χρήση τους, είναι η γνώση των βέλτιστων συνθηκών της, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και ο αερισμός, καθώς και της τροφοδοσίας τόσο ως προς τη σύνθεση της τροφής όσο και για τη δομή της, ενώ επιπλέον, είναι σημαντική η γνώση για τις ασθένειες των εντόμων και τα πρότυπα βιοασφάλειας για τη μορφή αυτή παραγωγής τους (Zhao et al., 2016). Σε αντίθεση με τα περισσότερα είδη ζώων (εξαιρουμένων των ψαριών), τα έντομα μπορούν να παραχθούν σε τρισδιάστατα συστήματα, κάτι που επιτρέπει τη χρήση των κτηρίων πολύ αποτελεσματικά (Zhao et al., 2016). Για τη μαζική παραγωγή, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν αυτοματοποιημένες τεχνολογίες διεργασιών για τις διαδικασίες εκτροφής, συγκομιδής και εκείνες μετά τη συγκομιδή, οι οποίες σίγουρα περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της ασφάλειας και της ποιότητας των προϊόντων (Rumpold and Schlüter, 2013).

Αν και τα έντομα αναπτύσσονται γρήγορα και ελέγχονται όλα τα στάδια αναπαραγωγής τους, η τρέχουσα τιμή κόστους των εντομαλεύρων εξακολουθεί να μην είναι ανταγωνιστική σε σύγκριση με άλλες πηγές πρωτεΐνης (Koeleman, 2014). Ωστόσο, η αύξηση της ζήτησης αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε αύξηση

της κλίμακας παραγωγής τους και, συνεπώς, στη μείωση των τιμών τους στο μέλλον (Mancuso et al., 2016; Gasco et al., 2016). Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, θα πρέπει να εντοπιστούν και τα καταλληλότερα είδη εντόμων που έχουν αποτελεσματική πρωτεΐνη, όσον αφορά το κόστος παραγωγής σε βιομηχανική κλίμακα (Zhao et al., 2016).

Τέλος, όσον αφορά το νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την χρήση των εντόμων ως συστατικό των τροφίμων ή ως πρόσθετο σε αυτά, ορισμένα είδη είναι εγκεκριμένα για ανθρώπινη κατανάλωση ως προνύμφες, ενήλικα ή σε μορφή αλεύρου τους (Κανονισμός (ΕΥ) Νο 2015/2283). Ειδικότερα τα τρόφιμα στα οποία είναι επιτρεπτή η χρήση των εγκεκριμένων ειδών εντόμων περιλαμβάνουν δημητριακά και μπάρες δημητριακών, ζυμαρικά, προϊόντα αρτοποιίας, άλευρα κ.α. (Κανονισμός (ΕΥ) Νο 2015/2283). Ως προς τα εγκεκριμένα είδη των εντόμων προς χρήση τους στην παραγωγή τροφίμων αναφέρονται τα εξής: επιτρέπεται η χρήση του *A. diaperinus* σε μορφή προνυμφών (ολόκληρες ή θρυμματισμένες), του *Acheta domesticus* ως ενήλικο (ολόκληρο ή θρυμματισμένο) ή με τη μορφή αλεύρου, του *T. molitor* ως ενήλικο (ολόκληρο ή θρυμματισμένο), με τη μορφή προνυμφών (ολόκληρων ή θρυμματισμένων) καθώς και με τη μορφή αλεύρου του, και επίσης του *Gryllodes sigillatus* ως αποξηραμένο ενήλικο καθώς και του *Locusta migratoria* ως ενήλικο (ολόκληρο ή θρυμματισμένο) (Κανονισμός (ΕΥ) Νο 2015/2283). Όλα τα παραπάνω ισχύουν εφόσον τα χρησιμοποιούμενα έντομα τρέφονται κατά την εκτροφή τους με πιστοποιημένες τροφές σύμφωνα με τον κατάλογο του Κανονισμού Νο 68/2013 για τις ζωοτροφές.

#### **2.4. Ζημιές σε παράγωγα και προϊόντα εντόμων από έντομα αποθηκών**

Αναφορικά με τις εντομολογικές προσβολές σε εντομάλευρα και άλλα συναφή προϊόντα εντόμων θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχει μέχρι σήμερα κανένα δημοσιευμένο στοιχείο αναφορικά με την ευπάθεια των προϊόντων αυτών σε προσβολές από έντομα αποθηκών. Δεδομένης της μεγάλης αύξησης του κλάδου της παραγωγής εντόμων, γίνεται κατανοητό ότι οι ποσότητες εντομαλεύρων και άλλων συναφών προϊόντων που θα παράγονται στο εγγύς μέλλον θα είναι μεγάλες. Ένα μέρος αυτών των ποσοτήτων θα αποθηκεύεται, όπως γίνεται και με όλα τα παραγόμενα αγροτικά προϊόντα. Έχει ιδιαίτερη

σημασία, λοιπόν, να αξιολογηθεί η πιθανότητα τα εντομάλευρα να προσβάλλονται από έντομα κατά την αποθήκευση τους.

### **3. Σκοπός**

Με βάση τα παραπάνω και προκειμένου να καλυφθεί αυτό το κενό γνώσης στο θέμα της ευπάθειας των εντομαλεύρων σε εντομολογικές προσβολές κατά την αποθήκευση τους, στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκε η ευπάθεια δύο εντομαλεύρων από προνύμφες των εντόμων *Alphitobius diaperinus* και *Tenebrio molitor* σε προσβολές από έντομα αποθηκευμένων προϊόντων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης τους. Ειδικότερα, η εργασία πραγματοποιήθηκε με στόχο τη μελέτη της ανάπτυξης του πληθυσμού μιας σειράς σημαντικών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων στα εντομάλευρα αυτά. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία στόχευσε αρχικά στη μελέτη της ανάπτυξης του πληθυσμού των *Sitophilus granarius*, *Sitophilus oryzae*, *Tribolium confusum*, *Tribolium castaneum*, *Trogoderma granarium*, *Rhyzopertha dominica*, *Cryptolestes ferrugineus*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Lasioderma serricorne*, *Prostephanus truncatus*, *Callosobruchus maculatus*, *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* σε εντομάλευρο από προνύμφες *A. diaperinus*. Έπειτα, στόχευσε στη αξιολόγηση της πληθυσμιακής ανάπτυξης των *Tribolium castaneum*, *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* στο ίδιο εντομάλευρο αλλά και σε υποστρώματα βασισμένα στο εντομάλευρο με πίτουρο σίτου σε διαφορετικά ποσοστά. Επίσης, στόχευσε στην αξιολόγηση της ανάπτυξης του πληθυσμού των *Tribolium confusum*, *Trogoderma granarium*, *Tenebrio molitor* και *Alphitobius diaperinus* σε εντομάλευρο από προνύμφες *T. molitor* αλλά και σε υποστρώματα, όμοια με τη βιοδοκιμή με το εντομάλευρο *A. diaperinus*, βασισμένα στο εντομάλευρο με πίτουρο σίτου σε διαφορετικά ποσοστά.

## **Υλικά και Μέθοδοι**

### **4.1. Εκτροφή των εντόμων**

Η εκτροφή όλων των ειδών των εντόμων που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Ειδικότερα, τα είδη *S. oryzae*,

*S. granarius*, *T. granarium* και *R. dominica* εκτράφηκαν σε σπόρους μαλακού σιταριού, τα είδη *T. confusum* και *T. castaneum* σε αλεύρι, ενώ τα είδη *C. ferrugineus* και *T. molitor* σε πίτουρο σιταριού (Rumbos et al., 2018). Για την εκτροφή των ειδών *O. surinamensis*, *P. truncatus* και *C. maculatus* χρησιμοποιήθηκαν νιφάδες βρώμης, σπόροι αραβοσίτου και ρεβίθια, αντίστοιχα. Τέλος, το *A. diaperinus* εκτράφηκε σε μίγμα πίτουρου σιταριού και φυράματος ορνίθων ωτοκίας σε αναλογία 3:1 (Rumbos et al., 2020), ενώ το *L. serricornis* σε μίγμα από αλεύρι αραβοσίτου και μαγιά (18:1). Με εξαίρεση τα είδη *A. diaperinus* και *T. granarium*, που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες 30 °C με 55% σχετική υγρασία και 32 °C με 55% σχετική υγρασία, αντίστοιχα, όλα τα υπόλοιπα προαναφερθέντα είδη αναπτύχθηκαν στους 26 °C με 55% σχετική υγρασία. Στην περίπτωση των *A. diaperinus* και *T. molitor*, δίνονταν εβδομαδιαία μήλα και πατάτες, αντίστοιχα, για την εξασφάλιση της απαραίτητης υγρασίας για τα έντομα. Σε όλες τις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκαν ενήλικα έντομα ηλικίας μικρότερης του ενός μήνα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Ενήλικα *A. diaperinus* για χρήση τους στις βιοδοκιμές.

## 4.2. Προετοιμασία εντομαλεύρων

Για την προετοιμασία των εντομαλεύρων από *T. molitor* και *A. diaperinus* χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες τελικού σταδίου, οι οποίες συλλέχθηκαν και διαχωρίστηκαν από το υπόστρωμα εκτροφής με κόσκινο. Έπειτα, οι προνύμφες καταψύχθηκαν στους -20 °C, θρυμματίστηκαν και ξηράνθηκαν για 72 ώρες στους 60 °C. Για τον θρυμματισμό τους έγινε χρήση μύλου (Thermomix TM31-1, Vorwerk Elektrowerke GmbH & Co. KG, Wuppertal, Germany). Τελικά, τα παραγόμενα εντομάλευρα κοσκινίστηκαν με κόσκινο διαμέτρου 1mm και αποθηκεύτηκαν σε βάζα (Εικόνα 2) στους -20 °C έως την έναρξη των βιοδοκιμών.



Εικόνα 2. Εντομάλευρο *A. diaperinus* αποθηκευμένο σε βάζα.

## 4.3. Πειραματικός σχεδιασμός

### 4.3.1 Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε εντομάλευρο *A. diaperinus*

Αρχικά, σε μία πρώτη σειρά βιοδοκιμών αξιολογήθηκε η ανάπτυξη του πληθυσμού 13 σημαντικών ειδών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων σε εντομάλευρο *A. diaperinus*. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα 13 είδη εντόμων: *S. granarius*, *S. oryzae*, *T. castaneum*, *T. confusum*, *T. granarium*, *R. dominica*, *C. ferrugineus*, *O. surinamensis*, *L. serricorne*, *P.*

*truncatus*, *C. maculatus*, *T. molitor* και *A. diaperinus*. Για τα είδη του γένους *Sitophilus*, το *T. granarium* και το *R. dominica* ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκαν σπόροι μαλακού σιταριού. Στην περίπτωση των *C. ferrugineus*, *T. molitor* και *A. diaperinus* έγινε χρήση πίτουρου σιταριού ως μάρτυρας, ενώ για τα είδη *O. surinamensis*, *P. truncatus*, *C. maculatus* και *L. serricornis* χρησιμοποιήθηκαν νιφάδες βρώμης, σπόροι αραβοσίτου, ρεβίθια και μίγμα αλευριού αραβοσίτου με μαγιά (18:1), αντίστοιχα. Όλα τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές ήταν καθαρά και απαλλαγμένα από εντομολογικές προσβολές. Συνολικά, υπήρχαν δύο μεταχειρίσεις: 100% εντομάλευρο *A. diaperinus* και το θρεπτικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε σαν μάρτυρας για κάθε είδος εντόμου. Κυλινδρικά πλαστικά φιαλίδια (Rotilabo®-sample tins with snap-on lid, 3 cm σε διάμετρο, 8 cm σε ύψος, Carl Roth GmbH & Co. Kg, Karlsruhe, Germany) χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές (Εικόνα 3). Για να διασφαλιστεί ο σωστός αερισμός του εσωτερικού των φιαλιδίων δημιουργήθηκε ένα άνοιγμα με διάμετρο 6 cm στο καπάκι τους, το οποίο και καλύφθηκε με μουσελίνα. Στο πάνω εσωτερικό τμήμα των φιαλιδίων εφαρμόστηκε polytetrafluoroethylene (Fluon, 60 wt% dispersion in water, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Germany), ώστε να αποτραπεί η απόδραση των εντόμων από αυτά (Εικόνα 4)

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν πέντε γραμμάρια υποστρώματος ξεχωριστά σε κάθε φιαλίδιο (Εικόνες 5 και 6) και έγινε εισαγωγή 20 ενήλικων εντόμων ανεξαρτήτως φύλου σε κάθε φιαλίδιο. Για κάθε είδος εντόμου χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά φιαλίδια.

Κατόπιν, όλα τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν στους 26 °C με 55% σχετική υγρασία (Εικόνα 7), με εξαίρεση εκείνα των *T. granarium*, που τοποθετήθηκαν στους 32 °C με 55% σχετική υγρασία και των *L. serricornis* που τοποθετήθηκαν στους 30 °C με 55% σχετική υγρασία.

Επίσης, όσον αφορά τα είδη *T. molitor* και *A. diaperinus*, γινόταν εβδομαδιαία προσθήκη φρέσκιας φέτας πατάτας (Εικόνα 8) ή καρότου (Εικόνα 9), αντίστοιχα, για τη παροχή της αναγκαίας υγρασίας για την ανάπτυξη των εντόμων.



Εικόνα 3. Κυλινδρικά πλαστικά φιαλίδια (Rotilabo®-sample tins with snap-on lid, Carl Roth GmbH & Co. Kg, Karlsruhe, Germany) και polytetrafluoroethylene (Fluon, 60 wt% dispersion in water, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Germany).



Εικόνα 4. Τελική μορφή φιαλιδίου έχοντας πραγματοποιηθεί άνοιγμα στο καπάκι και τοποθέτηση μουσελίνας, καθώς επικάλυψη με polytetrafluoroethylene (Fluon, 60 wt% dispersion in water, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Germany).





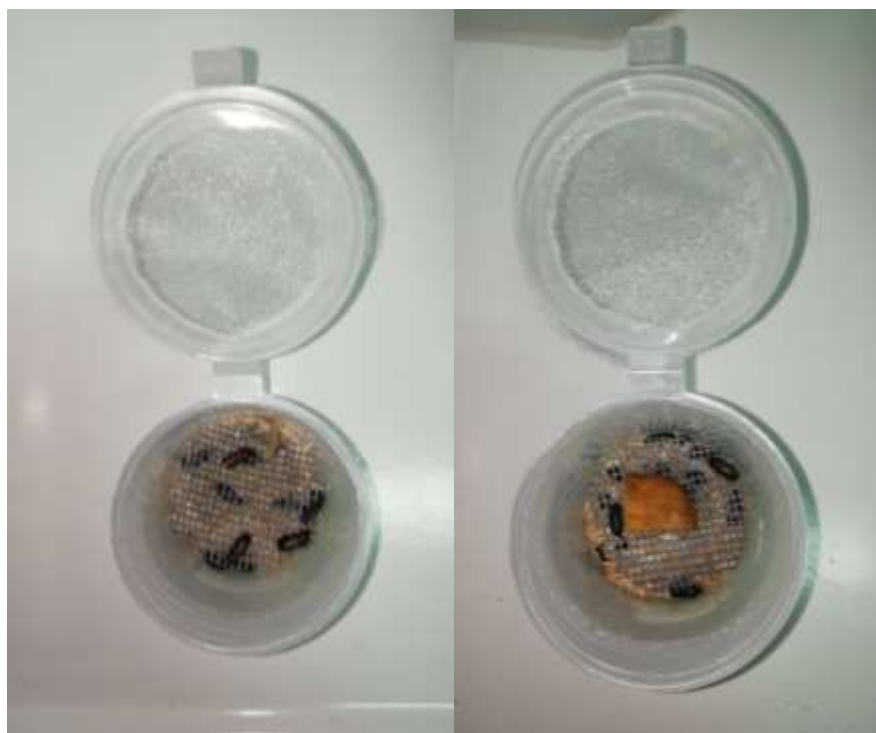
Εικόνα 5. Υπολογισμός των γραμμαρίων (g) στο ζυγό του υποστρώματος στο φιαλίδιο.



Εικόνα 6. Υπολογισμός των γραμμαρίων (g) των διαφορετικών υποστρωμάτων.



Εικόνα 7. Αποθήκευση των φιαλιδίων έως το πέρας της βιοδοκιμής στους 26°C με 55% σχετική υγρασία.



Εικόνα 8. Προσθήκη πατάτας στο *T. molitor*.



Εικόνα 9. Προσθήκη καρότου στο *A. diaperinus*.

Μετά από χρονικό διάστημα 65 ημερών, τα φιαλίδια ανοίχθηκαν και αξιολογήθηκε η παραγωγή των απογόνων των εντόμων, μέσω της καταμέτρησης του αριθμού τόσο των ενήλικων ατόμων (ζωντανών ή νεκρών) όσο και των προνυμφών (ζωντανών ή νεκρών). Για την καταμέτρηση αυτή, χρησιμοποιήθηκαν κόσκινα, βασισμένα στο μέγεθος των διαφόρων ειδών των εντόμων, για τον διαχωρισμό τους από το υπόστρωμα της τροφής (Εικόνες 10 και 11).

Ως άμεσο μέτρο την ανάπτυξης του πληθυσμού, για όλα τα είδη, ο στιγμιαίος ρυθμός αύξησης υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:  $r_i = \ln(N_f / N_0) / \Delta T$ , όπου  $N_f$  ήταν ο τελικός αριθμός των ατόμων,  $N_0$  ήταν ο αρχικός αριθμός των ατόμων και  $\Delta T$  ήταν το χρονικό διάστημα ανάπτυξης των εντόμων, δηλαδή η διάρκεια του πειράματος. Θετικές τιμές του  $r_i$  υποδεικνύουν έναν αυξανόμενο πληθυσμό,  $r_i = 0$  δείχνει ένα σταθερό πληθυσμό και αρνητικές  $r_i$  τιμές προσδιορίζουν έναν πληθυσμό σε παρακμή (Stark and Banks 2003). Κάθε μεταχείριση επαναλήφθηκε τρεις φορές, ενώ η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε δύο φορές προετοιμάζοντας νέα φιαλίδια κάθε φορά ( $2 \times 3 = 6$  επαναλήψεις συνολικά για κάθε μεταχείριση).



Εικόνα 10. Χρήση κόσκινου για διαχωρισμό του *T. molitor* από το υπόστρωμα με σκοπό την καταμέτρηση του.



Εικόνα 11. Χρήση κόσκινου για διαχωρισμό του *T. castaneum* από το υπόστρωμα με σκοπό την καταμέτρηση του.

#### **4.3.2. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο *A. diaperinus***

Σε μία σειρά βιοδοκιμών αξιολογήθηκε η ανάπτυξη του πληθυσμού τριών ειδών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων σε υποστρώματα με βάση το εντομάλευρο από προνύμφες *A. diaperinus*. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής είδη εντόμων στις βιοδοκιμές: *T. molitor*, *A. diaperinus* και *T. castaneum*. Στις βιοδοκιμές αξιολογήθηκε η ανάπτυξη των παραπάνω εντόμων σε εντομάλευρο αλλά και μίγματα αυτού με πίτουρο σιταριού σε διαφορετικά ποσοστά. Αναλυτικότερα, τα υποστρώματα που αξιολογήθηκαν ήταν: 100% εντομάλευρο *A. diaperinus* (0% πίτουρο σιταριού), μίγμα 75% εντομάλευρο *A. diaperinus* και 25% πίτουρο σιταριού, μίγμα 50% εντομάλευρο *A. diaperinus* και 50% πίτουρο σιταριού, μίγμα 10% εντομάλευρο *A. diaperinus* και 90% πίτουρο σιταριού και 100% πίτουρο σιταριού (0% εντομάλευρο *A. diaperinus*). Η επιλογή του πίτουρου σιταριού για χρήση του στα διάφορα υποστρώματα των βιοδοκιμών πραγματοποιήθηκε δεδομένου ότι πρόκειται για μία σημαντική ζωοτροφή (Fuller, 2004). Όλα τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν καθαρά και απαλλαγμένα από εντομολογικές προσβολές. Στις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος πειραματικός σχεδιασμός με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω, με τη διαφορά ότι σε κάθε φιαλίδιο προστέθηκαν δέκα γραμμάρια υποστρώματος και χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά πλαστικά φιαλίδια (Rotilabo®-sample tins with snap-on lid, 7,5 cm σε διάμετρο, 8,5 cm σε ύψος, Carl Roth GmbH & Co. Kg, Karlsruhe, Germany) χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές (Εικόνα 3).

#### **4.3.3. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο *T. molitor***

Σε μία άλλη σειρά βιοδοκιμών αξιολογήθηκε η ανάπτυξη τεσσάρων σημαντικών ειδών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων σε υποστρώματα με βάση εντομάλευρο από προνύμφες του *T. molitor*, αλλά και μίγματος αυτού με πίτουρο σιταριού σε διαφορετικά ποσοστά. Ακολουθήθηκε παρόμοιος πειραματικός σχεδιασμός με εκείνον της προηγούμενης σειράς βιοδοκιμών με τη διαφορά ότι σε κάθε φιαλίδιο προστέθηκαν είκοσι γραμμάρια υποστρώματος. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω είδη εντόμων: *T. molitor*, *T. confusum*, *T. granarium* και *A. diaperinus*, ενώ αξιολογήθηκαν επτά

διαφορετικά υποστρώματα βασισμένα στο εντομάλευρο *T. molitor*, δηλαδή 100% εντομάλευρο *T. molitor* (0% πίτουρο σιταριού), μίγμα 75% εντομάλευρο *T. molitor* και 25% πίτουρο σιταριού, μίγμα 50% εντομάλευρο *T. molitor* και 50% πίτουρο σιταριού, μίγμα 25% εντομάλευρο *T. molitor* και 75% πίτουρο σιταριού, μίγμα 10% εντομάλευρο *T. molitor* και 90% πίτουρο σιταριού, μίγμα 5% εντομάλευρο *T. molitor* και 95% πίτουρο σιταριού και, τέλος, 100% πίτουρο σιταριού (0% εντομάλευρο *T. molitor*).

#### **4.4. Στατιστική ανάλυση**

Τα δεδομένα ελέγχθηκαν ως προς την κανονικότητα των κατανομών τους μέσω του Shapiro-Wilk test και για την ομοιομορφία των παραλλακτικότητων των μέσων όρων τους μέσω του Levene's test. Επειδή οι τιμές δεν ακολουθούσαν την κανονική κατανομή, η στατιστική σύγκριση των μέσων όρων έγινε με το μη παραμετρικό Kruskal–Wallis H-test, ενώ για τον εντοπισμό των διαφορών μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων τα δεδομένα υποβλήθηκαν στο Mann–Whitney U test. Όλες οι αναλύσεις έγιναν χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο IBM® SPSS® Statistics software, Version 25 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

### **Αποτελέσματα**

#### **5.1. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε εντομάλευρο *A. diaperinus***

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα είδη *S. oryzae*, *S. granarius*, *R. dominica*, *P. truncatus*, *O. surinamensis*, *C. maculatus* και *C. ferrugineus* δεν μπόρεσαν να αναπτυχθούν και να εξελιχθούν στο 100% εντομάλευρο *A. diaperinus*, δίνοντας μηδενικές τιμές απογόνων και στιγμιαίου ρυθμού αύξησης, εμφανίζοντας συνολικό αριθμό ατόμων στο πέρας της βιοδοκιμής όχι ανώτερο των 20 αρχικών εισαχθέντων ατόμων (Πίνακες 1, 3 και 4). Αντίθετα, τα είδη *T. granarium* και *T. castaneum* φαίνεται να εμφάνισαν τις μεγαλύτερες τιμές συνολικού αριθμού ατόμων στο πέρας της βιοδοκιμής, με τη μεγαλύτερη τιμή εκείνη του *T. granarium* με 1570 άτομα και έπειτα του *T. castaneum* (445) (Πίνακες 4 και 5). Όλα τα υπόλοιπα είδη που εξετάστηκαν στη μελέτη αυτή, μπόρεσαν να αναπτυχθούν στο σκέτο εντομάλευρο *A. diaperinus*, δίνοντας τελικές τιμές πληθυσμού από 182 άτομα (*T. confusum*) (Πίνακας 5) έως 410

άτομα (*A. diaperinus*) (Πίνακας 2), με τον στιγμιαίο ρυθμό αύξησης να κυμαίνεται μεταξύ 0,032 και 0,047 (Πίνακες 2, 3 και 5). Σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη που εξετάστηκαν εμφανίζεται ο στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *T. granarium* με τιμή 0,067 (Πίνακας 4).

## **5.2. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο *A. diaperinus***

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το *T. castaneum* μπόρεσε να αναπτυχθεί και να εξελιχθεί στο σκέτο εντομάλευρο *A. diaperinus*, αφού ένας μεγάλος αριθμός από προνύμφες και νύμφες (71 προνύμφες και 76 νύμφες σε σύνολο ανά φιαλίδιο) μετρήθηκε στο τέλος της βιοδοκιμής σε αυτή τη μεταχείριση (Πίνακας 6). Ειδικότερα, σε αυτή τη μεταχείριση καταγράφηκε μία σχεδόν δεκατετραπλάσια αύξηση του πληθυσμού του *T. castaneum*, αφού τα αρχικά 20 ενήλικα άτομα που εισάχθηκαν παρήγαγαν σε 65 ημέρες ένα συνολικό πληθυσμό 275 ατόμων ανά φιαλίδιο, δίνοντας ένα στιγμιαίο ρυθμό αύξησης 0,039. Πολλοί απόγονοι παράχθηκαν και στα υπόλοιπα υποστρώματα που αξιολογήθηκαν, δηλαδή στα μίγματα του εντομαλεύρου *A. diaperinus* με διαφορετικά ποσοστά πίτουρου σίτου (0 έως 75% εντομάλευρο *A. diaperinus*), όπου ο συνολικός αριθμός των ατόμων κυμάνθηκε από 154 έως 358 άτομα στο τέλος της βιοδοκιμής, αντιστοιχώντας σε στιγμιαίες τιμές αύξησης κυμαινόμενες ανάμεσα στο 0,031 και 0,044. Καταγράφηκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερος στιγμιαίος ρυθμός αύξησης στα μίγματα του εντομαλεύρου *A. diaperinus* με το πίτουρο σίτου, στα ποσοστά 75% και 10% *A. diaperinus* σε σχέση με το εντομάλευρο μόνο του. Συγκεκριμένα, ο πληθυσμός του *A. diaperinus* αυξήθηκε κατά τουλάχιστον 8 φορές στα μίγματα του εντομαλεύρου *A. diaperinus* με το πίτουρο σίτου.

Όπως και στην περίπτωση του *T. castaneum* το *A. diaperinus*, μπόρεσε να αναπτυχθεί και να εξελιχθεί στο 100% εντομάλευρο *A. diaperinus*, αφού στο υπόστρωμα αυτό μετρήθηκε ένας σημαντικός αριθμός προνυμφών σε αυτό (342 προνύμφες ανά φιαλίδιο) (Πίνακας 7). Ο συνολικός αριθμός των ατόμων στο πέρας της βιοδοκιμής σε αυτή τη μεταχείριση έφτασε τα 363 άτομα ανά φιαλίδιο, γεγονός που ερμηνεύεται σε μία αύξηση του πληθυσμού κατά 18 φορές, με στιγμιαίο ρυθμό αύξησης 0,044. Πολλοί απόγονοι παράχθηκαν και στα υπόλοιπα υποστρώματα που αξιολογήθηκαν, δηλαδή στα μίγματα του

εντομαλεύρου *A. diaperinus* με διαφορετικά ποσοστά πίτουρου σίτου (0 έως 75% εντομάλευρο *A. diaperinus*), όπου ο συνολικός αριθμός των ατόμων κυμάνθηκε από 271 έως 365 άτομα στο τέλος της βιοδοκιμής, αντιστοιχώντας σε στιγμιαίες τιμές αύξησης μεταξύ 0,039 και 0,044. Συγκριτικά, με τα υπόλοιπα υποστρώματα (μίγματα εντομαλεύρων *A. diaperinus* με πίτουρο σίτου) ο συνολικός αριθμός των ατόμων στο πέρας της βιοδοκιμής στο 100% εντομάλευρο ήταν μεγαλύτερος, με εξαίρεση το υπόστρωμα, με εντομάλευρο *A. diaperinus* σε ποσοστό 75% (Πίνακας 7).

Όπως και τα δύο προηγούμενα είδη, το *T. molitor* μπόρεσε να αναπτυχθεί και να εξελιχθεί στο 100% εντομάλευρο *A. diaperinus*, αφού στο υπόστρωμα αυτό μετρήθηκε ένας σημαντικός αριθμός προνυμφών (194 προνύμφες ανά φιαλίδιο) (Πίνακας 8). Ο συνολικός αριθμός των ατόμων στο πέρας της βιοδοκιμής αυτής ήταν χαμηλότερος στη μεταχείριση αυτή (100% εντομάλευρο) από όλα τα υπόλοιπα υποστρώματα, ενώ αντίθετα, στο υπόστρωμα με εντομάλευρο *A. diaperinus* σε ποσοστό 75% ο συνολικός αριθμός των ατόμων στο πέρας της βιοδοκιμής ήταν σημαντικά μεγαλύτερος (Πίνακας 8). Ειδικότερα, στη βιοδοκιμή αυτή, καταγράφηκε μια αύξηση του πληθυσμού του *T. molitor* κατά τουλάχιστον 21 φορές, με την περίπτωση του υποστρώματος με 75% εντομάλευρο *A. diaperinus* να εμφανίζει πληθυσμιακή αύξηση κατά 24 φορές. Όσον αφορά το στιγμιαίο ρυθμό αύξησης των μεταχειρίσεων αυτών, κυμάνθηκε σε τιμές μεταξύ 0,035 και 0,048, με τη σημαντικά υψηλότερη στιγμιαία τιμή αύξησης να καταγράφεται στο 75% εντομάλευρο *A. diaperinus* (0,048) (Πίνακας 8). Επιπλέον, όσον αφορά το βάρος των προνυμφών του *T. molitor*, στο 100% εντομάλευρο *A. diaperinus* καταγράφηκε η τιμή των 4,4 g, αντίστοιχη στατιστικώς με εκείνη στο 0% εντομάλευρο *A. diaperinus* (4,8 g), ενώ η σημαντικά μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στο υπόστρωμα με 50% εντομάλευρο *A. diaperinus* (9,4 g) (Πίνακας 8).

### **5.3. Ανάπτυξη εντόμων αποθηκών σε υποστρώματα βασισμένα σε εντομάλευρο *T. molitor***

Σύμφωνα με τα αποτελέσματά το *T. molitor* μπόρεσε να αναπτυχθεί και να εξελιχθεί στο σκέτο εντομάλευρο *T. molitor*, αφού ένας μεγάλος αριθμός από προνύμφες (173 προνύμφες σε σύνολο ανά φιαλίδιο) μετρήθηκε στο τέλος της βιοδοκιμής σε αυτή τη μεταχείριση (Πίνακας 9). Ειδικότερα, σε αυτή τη



μεταχείριση καταγράφηκε μία σχεδόν δεκαπλάσια αύξηση του πληθυσμού του *T. molitor*, αφού τα αρχικά 20 ενήλικα άτομα που εισάχθηκαν παρήγαγαν σε 65 μέρες ένα συνολικό πληθυσμό 193 ατόμων ανά φιαλίδιο, δίνοντας ένα στιγμιαίο ρυθμό αύξησης 0,035. Ωστόσο, η πλειονότητα των προνυμφών ήταν μικρές (95% των συνολικών προνυμφών που μετρήθηκαν) και μόνο μικρή ποσότητα του συνολικού πληθυσμού των προνυμφών ήταν ηλικιακά μεγάλες (>0,5 mm διάμετρος). Πολλοί απόγονοι, παράχθηκαν και στα υπόλοιπα υποστρώματα που αξιολογήθηκαν, δηλαδή στα μίγματα του εντομαλεύρου *T. molitor* με διαφορετικά ποσοστά πίτουρου σίτου (0 έως 75% εντομάλευρο *T. molitor*), όπου ο συνολικός αριθμός των ατόμων κυμάνθηκε από 339 έως 453 άτομα στο τέλος της βιοδοκιμής, αντιστοιχώντας σε στιγμιαίες τιμές αύξησης κυμαινόμενες ανάμεσα στο 0,043 και 0,048. Σε όλες τις περιπτώσεις καταγράφηκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερος στιγμιαίος ρυθμός αύξησης στα μίγματα του εντομαλεύρου με το πίτουρο σε σχέση με το εντομάλευρο μόνο του. Συγκεκριμένα, ο πληθυσμός του *T. molitor* αυξήθηκε κατά τουλάχιστον 17 φορές στα μίγματα του εντομαλεύρου *T. molitor* με το πίτουρο σίτου. Αναφορικά με την ταχύτητα ανάπτυξης των προνυμφών, το ποσοστό των μεγάλων σε ηλικία προνυμφών σε αυτά τα υποστρώματα ήταν σε όλες τις περιπτώσεις υψηλά και κυμάνθηκαν ανάμεσα στο 64 και 97% του συνολικού αριθμού των προνυμφών που μετρήθηκαν. Η πληθυσμιακή ανάπτυξη του *T. molitor*, εκφρασμένη σαν τον συνολικό αριθμό ατόμων στο τέλος της βιοδοκιμής, ως συνάρτηση του ποσοστού του εντομαλεύρου στα υποστρώματα, περιγράφηκε καλύτερα από μια πολυωνυμική εξίσωση τρίτου βαθμού ( $R=0,67$ ;  $F=15,7$ ,  $P < 0,001$ ; Γράφημα 1A).

Στην περίπτωση του *T. confusum*, οι διαφορές στην ανάπτυξη του πληθυσμού του μεταξύ των υποστρωμάτων που αξιολογήθηκαν ήταν στατιστικώς σημαντικές για όλα τα στάδια ανάπτυξης που εξετάστηκαν, με εξαίρεση τα νεκρά ενήλικα (Πίνακας 2). Όπως και στην περίπτωση του *T. molitor*, το *T. confusum* μπόρεσε να αναπτυχθεί και να εξελιχθεί στο 100% εντομάλευρο *T. molitor*, αφού στο υπόστρωμα αυτό μετρήθηκε ένας σημαντικός αριθμός προνυμφών και νυμφών σε αυτό (131 και 33 προνύμφες και νύμφες ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα). Ο συνολικός αριθμός των ατόμων στο πέρας της βιοδοκιμής στο 100% εντομάλευρο ήταν σημαντικά χαμηλότερος από όλα τα

υπόλοιπα υποστρώματα που αξιολογήθηκαν, με εξαίρεση το υπόστρωμα που περιλάμβανε εντομάλευρο σε ποσοστό 75%. Το ίδιο ισχύει για τον αριθμό των ζωντανών ενηλίκων, τα οποία στο σκέτο εντομάλευρο *T. molitor* ήταν στατιστικώς σημαντικά λιγότερα από αυτά που μετρήθηκαν σε υποστρώματα με ποσοστό  $\leq 50\%$  εντομάλευρο. Δηλαδή, νέα ενήλικα δεν παρατηρήθηκαν στο 100% εντομάλευρο, δεδομένου ότι ο συνολικός αριθμός των ενηλίκων (νεκρών και ζωντανών) δεν ξεπερνούσε τα 20 αρχικά ενήλικα που εισάχθηκαν (13 και 8 ζωντανά και νεκρά άτομα, αντίστοιχα). Όμοια επίσης με το *T. molitor*, μια σημαντικά χαμηλότερη στιγμιαία τιμή αύξησης του *T. confusum* καταγράφηκε για το 100% εντομάλευρο (0,033), συγκριτικά με τα περισσότερα από τα άλλα υποστρώματα (0,044-0,052) (Πίνακας 10). Ο συνολικός αριθμός των ατόμων στο τέλος της βιοδοκιμής, ως συνάρτηση του ποσοστού σε εντομάλευρο στα υποστρώματα, περιγράφηκε καλύτερα από μια πολυωνυμική εξίσωση τρίτου βαθμού ( $R=0,73$ ,  $F=22,0$ ,  $P < 0,001$ ; Γράφημα 1B).

Σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν και στην ανάπτυξη του πληθυσμού του *A. diaperinus* μεταξύ των διαφορετικών υποστρωμάτων για όλα τα στάδια ανάπτυξης που εξετάστηκαν (Πίνακας 11). Σε αντίθεση με τα προηγούμενα είδη εντόμων που εξετάστηκαν (*T. molitor* και *T. confusum*), το *A. diaperinus* δεν αναπτύχθηκε ούτε στο 100% εντομάλευρο *T. molitor*, ούτε στο υπόστρωμα με ποσοστό 75% εντομάλευρο, παρότι στο τελευταίο μερικές προνύμφες επιβίωσαν και καταγράφηκαν (2 προνύμφες ανά φιαλίδιο). Χαμηλότερος αριθμός ατόμων καταγράφηκε επίσης στο υπόστρωμα με 50% εντομάλευρο συγκριτικά με τα υποστρώματα με ποσοστό λιγότερο από 50% εντομάλευρο, ωστόσο οι διαφορές αυτές ήταν στατιστικώς μη σημαντικές. Αναφορικά με την ταχύτητα ανάπτυξης, αυτή ήταν πιο αργή στα υποστρώματα με υψηλό ποσοστό εντομαλεύρου, δηλαδή στα 25, 50, 75 και 100%, αφού σε αυτά τα υποστρώματα ούτε νύμφες ούτε νεοεκκολαφθέντα ενήλικα καταγράφηκαν. Μια αρνητική τιμή  $r_i$ , περιγράφοντας έναν μειούμενο πληθυσμό (-0,001), και μια οριακά θετική (0,001) καταγράφηκε για το 100% εντομάλευρο και το υπόστρωμα που περιλάμβανε 75% εντομάλευρο, αντίστοιχα (Πίνακας 11). Για τα υπόλοιπα υποστρώματα, ο στιγμιαίος ρυθμός αύξησης ήταν σημαντικά υψηλότερος και κυμάνθηκε μεταξύ 0,023 και 0,039. Ο συνολικός αριθμός των ατόμων στο τέλος της βιοδοκιμής, ως συνάρτηση του ποσοστού σε

εντομάλευρο των υποστρωμάτων, περιγράφηκε καλύτερα από μια εκθετική εξίσωση ( $R=0,75$ ;  $F=77,4$ ;  $P < 0,001$ ; Γράφημα 1Γ).

Στην περίπτωση του *T. granarium*, σημαντικές διαφορές καταγράφηκαν στην ανάπτυξη του πληθυσμού του στα διαφορετικά υποστρώματα και σε όλα τα αναπτυξιακά στάδια που εξετάστηκαν (Πίνακας 12). Δεν καταγράφηκε παραγωγή απογόνων στη μεταχείριση με 100% εντομάλευρο, Παρομοίως, χαμηλός αριθμός απογόνων σημειώθηκε στο υπόστρωμα με ποσοστό εντομαλεύρου 75%. Όσον αφορά στις προνύμφες, βρέθηκαν μόνο 140 προνύμφες ανά φιαλίδιο στη μεταχείριση αυτή, ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, με ποσοστό εντομαλεύρου μικρότερο από 50, μετρήθηκαν σημαντικά περισσότερες προνύμφες (με τον αριθμό τους να κυμαίνεται από 1398 έως 2410 ανά φιαλίδιο). Συνολικά, στην μεταχείριση με 75% εντομάλευρο μετρήθηκαν μόνο 770 άτομα ανά φιαλίδιο, αριθμός στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερος από τον αριθμό των ατόμων στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, για τις οποίες ο συνολικός αριθμός των ατόμων που καταγράφηκε κυμαινόταν μεταξύ των 2271 και 2842 ανά φιαλίδιο. Όπως και στην περίπτωση του *A. diaperinus*, ο στιγμιαίος ρυθμός αύξησης ήταν οριακά αρνητικός στο 100% εντομάλευρο ( $-0,0001$ ) (Πίνακας 12). Για τη μεταχείριση με ποσοστό 75% εντομάλευρο καταγράφηκε μια θετική τιμή  $r_i$  (0,052), ωστόσο η τιμή αυτή ήταν στατιστικώς σημαντικά μικρότερη από εκείνη των υπόλοιπων μεταχειρίσεων (0,071–0,075). Η ανάπτυξη του πληθυσμού του *T. granarium*, ως συνάρτηση του ποσοστού του εντομαλεύρου στα υποστρώματα, περιγράφηκε καλύτερα από μια πολυωνυμική εξίσωση τρίτου βαθμού ( $R=0,77$ ;  $F=29,3$ ;  $P < 0,001$ ; Γράφημα 1Δ).

**Πίνακας 1.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), συνολικός αριθμός ατόμων] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης των εντόμων *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus granarius*, *Rhyzopertha dominica* και *Prostephanus truncatus* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε 100 % εντομάλευρο *A. diaperinus* και σε σπόρους μαλακού σιταριού (μάρτυρας) (n = 6).

Είδος Εντόμου	Ενήλικα (νεκρά)		Ενήλικα (ζωντανά)		Συνολικός αριθμός ατόμων		Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης	
	Μάρτυρας	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	Μάρτυρας	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	Μάρτυρας	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	Μάρτυρας	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>
<i>Sitophilus oryzae</i>	18,0 $\pm$ 1,7	19,3 $\pm$ 0,2	58,2 $\pm$ 14,6 *	0,0 $\pm$ 0,0	76,2 $\pm$ 13,8 *	19,3 $\pm$ 0,2	0,0019 $\pm$ 0,0028 *	0,0 $\pm$ 0,0
<i>Sitophilus granarius</i>	38,3 $\pm$ 3,0 *	20,0 $\pm$ 0,0	22,7 $\pm$ 4,9 *	0,0 $\pm$ 0,0	61,0 $\pm$ 6,5 *	20,0 $\pm$ 0,0	0,0167 $\pm$ 0,0020 *	0,0 $\pm$ 0,0
<i>Rhyzopertha dominica</i>	8,5 $\pm$ 3,7	17,2 $\pm$ 0,3	21,7 $\pm$ 3,9 *	0,0 $\pm$ 0,0	30,2 $\pm$ 5,6 *	17,2 $\pm$ 0,3	0,0054 $\pm$ 0,0025 *	0,0 $\pm$ 0,0
<i>Prostephanus truncatus</i>	4,2 $\pm$ 1,4 *	19,7 $\pm$ 0,2	15,7 $\pm$ 1,9 *	0,0 $\pm$ 0,0	19,8 $\pm$ 3,0	19,7 $\pm$ 0,2	0,0013 $\pm$ 0,0013	0,0 $\pm$ 0,0

Για κάθε μεταβλητή [ενήλικα (νεκρά ή ζωντανά), συνολικός αριθμός ατόμων, στιγμιαίος ρυθμός αύξησης], μέσοι όροι του μάρτυρα που ακολουθούνται από αστερίσκο διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από του αντίστοιχους σε εντομάλευρο *A. diaperinus* [σε όλες τις περιπτώσεις, df = 1, 11; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05]. Όπου δεν υπάρχει αστερίσκος, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

**Πίνακας 2.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), προνύμφες, συνολικός αριθμός ατόμων], συνολικό βάρος προνυμφών και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Alphitobius diaperinus* και του *Tenebrio molitor* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε 100 % εντομάλευρο *A. diaperinus* και στο μάρτυρα [μίγμα πίτουρου σιταριού και φυράματος ορνίθων ωτοκίας σε αναλογία 3:1 (*A. diaperinus*); πίτουρο σιταριού (*T. molitor*) (n = 6).

	Μεταχείριση	<i>Alphitobius diaperinus</i>	<i>Tenebrio molitor</i>
Ενήλικα (νεκρά)	Μάρτυρας	1,7 $\pm$ 0,4	2,3 $\pm$ 1,6
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	2,0 $\pm$ 0,4	4,0 $\pm$ 2,1
Ενήλικα (ζωντανά)	Μάρτυρας	17,7 $\pm$ 0,5	14,3 $\pm$ 2,0
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	18,0 $\pm$ 0,4	13,0 $\pm$ 2,8
Προνύμφες	Μάρτυρας	376,3 $\pm$ 44,7	113,8 $\pm$ 7,4
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	390,5 $\pm$ 37,0	174,7 $\pm$ 50,9
Συνολικός αριθμός ατόμων	Μάρτυρας	395,7 $\pm$ 44,7	130,5 $\pm$ 7,4
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	410,5 $\pm$ 37,0	191,7 $\pm$ 50,1
Βάρος προνυμφών (g)	Μάρτυρας	3,0 $\pm$ 0,0 *	1,9 $\pm$ 0,1
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	5,9 $\pm$ 0,3	4,5 $\pm$ 0,8
Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης	Μάρτυρας	0,0454 $\pm$ 0,0017	0,0287 $\pm$ 0,0009
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	0,0461 $\pm$ 0,0016	0,0317 $\pm$ 0,0046

Για κάθε μεταβλητή [ενήλικα (νεκρά ή ζωντανά), συνολικός αριθμός ατόμων, στιγμιαίος ρυθμός αύξησης], μέσοι όροι του μάρτυρα που ακολουθούνται από αστερίσκο διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από του αντίστοιχους σε εντομάλευρο *A. diaperinus* [σε όλες τις περιπτώσεις, df = 1, 11; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05]. Όπου δεν υπάρχει αστερίσκος, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

**Πίνακας 3.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), προνύμφες, πούπες, συνολικός αριθμός ατόμων], συνολικό βάρος προνυμφών και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Oryzaephilus surinamensis*, *Callosobruchus maculatus* και *Lasioderma serricorne* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε 100 % εντομάλευρο *A. diaperinus* και σε ρεβίθια (μάρτυρας) (n = 6).

Μεταχείριση		<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	<i>Callosobruchus maculatus</i>	<i>Lasioderma serricorne</i>
Ενήλικα (νεκρά)	Μάρτυρας	6,5 $\pm$ 0,8 *	144,8 $\pm$ 8,8 *	83,1 $\pm$ 50,2 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	12,2 $\pm$ 0,5	20,0 $\pm$ 0,4	12,3 $\pm$ 2,1
Ενήλικα (ζωντανά)	Μάρτυρας	179,8 $\pm$ 14,7 *	0,0 $\pm$ 0,0	37,3 $\pm$ 3,8
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	4,7 $\pm$ 0,5	0,0 $\pm$ 0,0	111,5 $\pm$ 23,1
Προνύμφες	Μάρτυρας	40,0 $\pm$ 7,2 *	23,3 $\pm$ 5,0 *	273,2 $\pm$ 88,2
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0	124,5 $\pm$ 30,3
Νύμφες	Μάρτυρας	2,3 $\pm$ 0,6 *	-	4,3 $\pm$ 3,4 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	0,0 $\pm$ 0,0	-	41,8 $\pm$ 18,7
Συνολικός αριθμός ατόμων	Μάρτυρας	228,7 $\pm$ 18,2 *	168,2 $\pm$ 10,7 *	398,0 $\pm$ 44,5
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	16,8 $\pm$ 0,5	20,0 $\pm$ 0,4	290,2 $\pm$ 23,0
Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης	Μάρτυρας	0,037 $\pm$ 0,0012 *	0,0326 $\pm$ 0,0011 *	0,045 $\pm$ 0,0018
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0	0,041 $\pm$ 0,0012

Για κάθε μεταβλητή [ενήλικα (νεκρά ή ζωντανά), συνολικός αριθμός ατόμων, στιγμιαίος ρυθμός αύξησης], μέσοι όροι του μάρτυρα που ακολουθούνται από αστερίσκο διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από του αντίστοιχους σε εντομάλευρο *A. diaperinus* [σε όλες τις περιπτώσεις, df = 1, 11; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05]. Όπου δεν υπάρχει αστερίσκος, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

**Πίνακας 4.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), προνύμφες, συνολικός αριθμός ατόμων] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Trogoderma granarium* και *Cryptolestes ferrugineus* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε 100 % εντομάλευρο *A. diaperinus* και σε σπόρους μαλακού σιταριού (μάρτυρας) (n = 6).

	Μεταχείριση	<i>Trogoderma granarium</i>	<i>Cryptolestes ferrugineus</i>
Ενήλικα (νεκρά)	Μάρτυρας	12,8 $\pm$ 5,8 *	0,5 $\pm$ 0,2 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	165,7 $\pm$ 10,0	20,0 $\pm$ 0,0
Ενήλικα (ζωντανά)	Μάρτυρας	2,8 $\pm$ 1,8	356,0 $\pm$ 29,4 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	2,0 $\pm$ 1,6	0,0 $\pm$ 0,0
Προνύμφες	Μάρτυρας	311,3 $\pm$ 48,8 *	45,3 $\pm$ 4,4 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	1402,8 $\pm$ 85,8	0,0 $\pm$ 0,0
Συνολικός αριθμός ατόμων	Μάρτυρας	327,0 $\pm$ 50,7 *	401,8 $\pm$ 31,4 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	1570,5 $\pm$ 84,9	20,0 $\pm$ 0,0
Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης	Μάρτυρας	0,0420 $\pm$ 0,0025 *	0,0459 $\pm$ 0,0013 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	0,0670 $\pm$ 0,0008	0,0 $\pm$ 0,0

Για κάθε μεταβλητή [ενήλικα (νεκρά ή ζωντανά), συνολικός αριθμός ατόμων, στιγμιαίος ρυθμός αύξησης], μέσοι όροι του μάρτυρα που ακολουθούνται από αστερίσκο διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από του αντίστοιχους σε εντομάλευρο *A. diaperinus* [σε όλες τις περιπτώσεις, df = 1, 11; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05]. Όπου δεν υπάρχει αστερίσκος, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

**Πίνακας 5.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), προνύμφες, συνολικός αριθμός ατόμων] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Tribolium confusum* και *Tribolium castaneum* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε 100 % εντομάλευρο *A. diaperinus* και σε σπόρους μαλακού σιταριού (μάρτυρας) ( $n = 6$ ).

	Μεταχείριση	<i>Tribolium confusum</i>	<i>Tribolium castaneum</i>
Ενήλικα (νεκρά)	Μάρτυρας	28,7 $\pm$ 2,5	2,5 $\pm$ 1,0 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	2,0 $\pm$ 0,6	13,0 $\pm$ 3,7
Ενήλικα (ζωντανά)	Μάρτυρας	1,2 $\pm$ 0,5 *	22,0 $\pm$ 1,2 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	204,7 $\pm$ 15,2	374,3 $\pm$ 44,7
Προνύμφες	Μάρτυρας	16,7 $\pm$ 2,2 *	9,5 $\pm$ 1,7 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	103,0 $\pm$ 9,0	56,7 $\pm$ 9,9
Νύμφες	Μάρτυρας	8,0 $\pm$ 1,3 *	1,0 $\pm$ 0,4
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	79,0 $\pm$ 7,3	1,2 $\pm$ 0,7
Συνολικός αριθμός ατόμων	Μάρτυρας	24,7 $\pm$ 2,3 *	35,0 $\pm$ 1,4 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	182,0 $\pm$ 12,3	445,2 $\pm$ 41,4
Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης	Μάρτυρας	0,0031 $\pm$ 0,0013 *	0,0085 $\pm$ 0,0006 *
	100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i>	0,0338 $\pm$ 0,0011	0,047 $\pm$ 0,0013

Για κάθε μεταβλητή [ενήλικα (νεκρά ή ζωντανά), συνολικός αριθμός ατόμων, στιγμιαίος ρυθμός αύξησης], μέσοι όροι του μάρτυρα που ακολουθούνται από αστερίσκο διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από του αντίστοιχους σε εντομάλευρο *A. diaperinus* [σε όλες τις περιπτώσεις,  $df = 1, 11$ ; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05]. Όπου δεν υπάρχει αστερίσκος, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές



**Πίνακας 6.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), προνύμφες, νύμφες, συνολικός αριθμός ατόμων] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Tribolium castaneum* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση το πύτουρο σιταριού και εντομάλευρο *Alphitobius diaperinus* σε διάφορες αναλογίες (0, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο) ( $n = 9$ ).

Θρεπτικό υπόστρωμα	Ενήλικα (νεκρά)	Ενήλικα (ζωντανά)	Προνύμφες	Νύμφες	Συνολικός αριθμός ατόμων	Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης
100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (0% πύτουρο σιταριού)	6,0 $\pm$ 1,7 BC	122,4 $\pm$ 18,5 BC	70,7 $\pm$ 8,3 AB	76,2 $\pm$ 16,1 AB	275,3 $\pm$ 36,5 AB	0,0393 $\pm$ 0,0020 AB
75 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (25% πύτουρο σιταριού)	13,9 $\pm$ 2,0 ABC	167,0 $\pm$ 10,2 AB	94,7 $\pm$ 7,0 A	82,0 $\pm$ 7,1 A	357,6 $\pm$ 18,0 A	0,0443 $\pm$ 0,0008 A
50 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (50% πύτουρο σιταριού)	23,6 $\pm$ 2,2 A	183,3 $\pm$ 8,6 AB	42,8 $\pm$ 8,4 B	21,6 $\pm$ 4,4 C	271,2 $\pm$ 19,4 AB	0,0399 $\pm$ 0,0011 A
10 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (75% πύτουρο σιταριού)	16,3 $\pm$ 1,8 AB	199,1 $\pm$ 6,3 A	37,9 $\pm$ 3,8 A	19,9 $\pm$ 4,0 C	273,2 $\pm$ 7,8 AB	0,0403 $\pm$ 0,0004 A
0 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (100% πύτουρο σιταριού)	3,3 $\pm$ 0,4 C	83,2 $\pm$ 5,0 C	36,3 $\pm$ 3,2 B	31,4 $\pm$ 6,7 BC	154,3 $\pm$ 8,5 B	0,0311 $\pm$ 0,0009 B
$\chi^2$	30,9	27,5	23,9	27,7	26,8	26,7
$P$	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί [σε όλες τις περιπτώσεις  $df = 4, 44$ ; Mann–Whitney U test για  $P = 0,05$ ].

**Πίνακας 7.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), προνύμφες, νύμφες, συνολικός αριθμός ατόμων] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Alphitobius diaperinus* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση το πύτουρο σιταριού και εντομάλευρο *Alphitobius diaperinus* σε διάφορες αναλογίες (0, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο) (n = 9).

Θρεπτικό υπόστρωμα	Ενήλικα (νεκρά)	Ενήλικα (ζωντανά)	Προνύμφες	Νύμφες	Συνολικός αριθμός ατόμων	Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης
100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (0% πύτουρο σιταριού)	1,0 $\pm$ 0,3	19,2 $\pm$ 0,3	342,0 $\pm$ 32,0	0,6 $\pm$ 0,3	362,8 $\pm$ 31,7	0,0442 $\pm$ 0,0013
75 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (25% πύτουρο σιταριού)	0,9 $\pm$ 0,3	19,3 $\pm$ 0,4	339,2 $\pm$ 24,1	5,1 $\pm$ 2,8	364,6 $\pm$ 22,6	0,0444 $\pm$ 0,0010
50 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (50% πύτουρο σιταριού)	1,1 $\pm$ 0,4	18,9 $\pm$ 0,4	323,2 $\pm$ 32,2	5,0 $\pm$ 2,3	348,2 $\pm$ 30,5	0,0436 $\pm$ 0,0014
10 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (75% πύτουρο σιταριού)	1,4 $\pm$ 0,3	18,8 $\pm$ 0,3	302,3 $\pm$ 28,8	3,0 $\pm$ 1,5	325,6 $\pm$ 28,5	0,0426 $\pm$ 0,0015
0 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (100% πύτουρο σιταριού)	1,0 $\pm$ 0,3	18,9 $\pm$ 0,3	249,2 $\pm$ 26,5	1,9 $\pm$ 1,0	271,0 $\pm$ 25,7	0,0394 $\pm$ 0,0017
$\chi^2$	1,8	2,4	6,1	2,9	6,4	6,7
<i>P</i>	0,781	0,663	0,195	0,581	0,170	0,154

Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί [σε όλες τις περιπτώσεις df = 4, 44; Mann–Whitney U test για *P* = 0,05].

**Πίνακας 8.** Μέσος αριθμός ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ατόμων [ενήλικα (νεκρά, ζωντανά), προνύμφες, νύμφες, συνολικός αριθμός ατόμων] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Tenebrio molitor* ανά φιαλίδιο μετά από 65 ημέρες σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση το πίτουρο σιταριού και εντομάλευρο *Alphitobius diaperinus* σε διάφορες αναλογίες (0, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο) (n = 9).

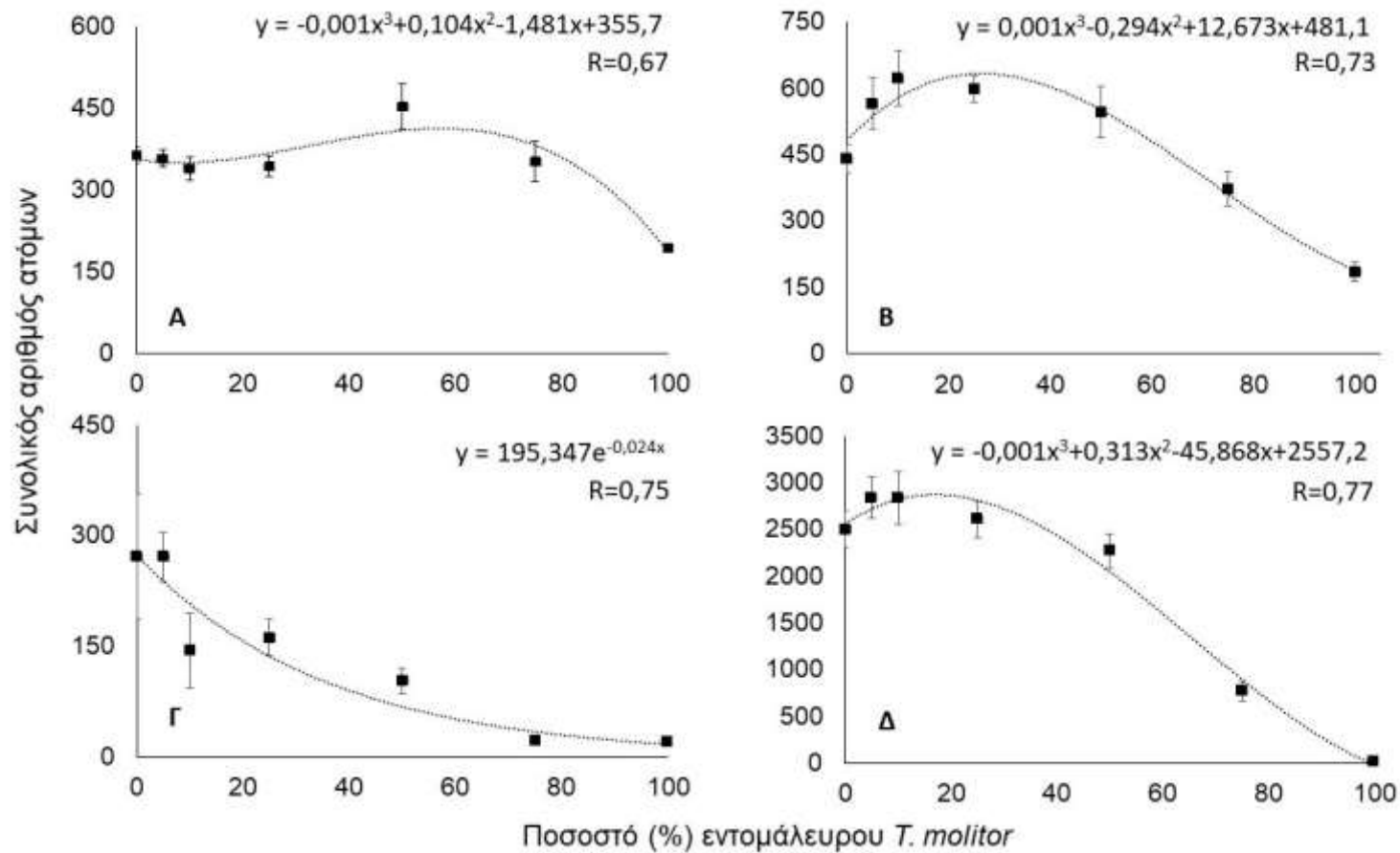
Θρεπτικό υπόστρωμα	Ενήλικα (νεκρά)	Ενήλικα (ζωντανά)	Προνύμφες	Συνολικό βάρος προνυμφών	Συνολικός αριθμός ατόμων	Στιγμιαίος ρυθμός αύξησης
100 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (0% πίτουρο σιταριού)	5,0 $\pm$ 1,3	12,8 $\pm$ 1,9 A	193,7 $\pm$ 26,6 B	4,4 $\pm$ 0,7 B	210,9 $\pm$ 26,1 B	0,0411 $\pm$ 0,0007 AB
75 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (25% πίτουρο σιταριού)	6,6 $\pm$ 1,2	12,3 $\pm$ 1,4 A	257,7 $\pm$ 30,9 AB	6,6 $\pm$ 0,5 AB	275,1 $\pm$ 30,6 AB	0,0369 $\pm$ 0,0008 B
50 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (50% πίτουρο σιταριού)	6,1 $\pm$ 0,5	3,4 $\pm$ 1,2 C	478,8 $\pm$ 49,3 A	9,4 $\pm$ 0,3 A	488,3 $\pm$ 48,2 A	0,0485 $\pm$ 0,0016 A
10 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (75% πίτουρο σιταριού)	2,8 $\pm$ 0,5	11,9 $\pm$ 0,8 AB	208,3 $\pm$ 11,0 B	6,2 $\pm$ 0,1 B	222,7 $\pm$ 11,2 B	0,0395 $\pm$ 0,0019 AB
0 % εντομάλευρο <i>A. diaperinus</i> (100% πίτουρο σιταριού)	4,3 $\pm$ 0,9	4,9 $\pm$ 1,3 BC	282,9 $\pm$ 13,1 AB	4,8 $\pm$ 0,2 B	292,1 $\pm$ 13,0 AB	0,0348 $\pm$ 0,0027 B
$\chi^2$	8,2	23,8	23,4	30,5	23,1	23,1
<i>P</i>	0,085	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί [σε όλες τις περιπτώσεις df = 4, 44; Mann–Whitney U test για *P* = 0,05].

**Πίνακας 9.** Ανάπτυξη του πληθυσμού [μέσος αριθμός ατόμων ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ανά φιαλίδιο] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Tenebrio molitor* μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση εντομάλευρο *T. molitor* και πίτουρο σιταριού σε διαφορετικές αναλογίες (0, 5, 10, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο *T. molitor*) (n = 9).

Θρεπτικό υπόστρωμα	Ενήλικα (νεκρά)	Ενήλικα (ζωντανά)	Προνύμφες (μικρές)	Προνύμφες (μεγάλες)	Συνολικός αριθμός ατόμων	Στιγμιαίος Ρυθμός Αύξησης
100% εντομάλευρο <i>T. molitor</i>	9,0 $\pm$ 1,1	10,8 $\pm$ 1,0 ab	166,0 $\pm$ 8,7 a	7,1 $\pm$ 1,4 b	193,0 $\pm$ 8,4 b	0,035 $\pm$ 0,001 b
75% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 25% πίτουρο σιταριού	6,0 $\pm$ 1,7	13,1 $\pm$ 2,0 a	119,7 $\pm$ 34,1 ab	212,9 $\pm$ 38,5 ab	351,7 $\pm$ 37,6 a	0,043 $\pm$ 0,002 a
50% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 50% πίτουρο σιταριού	6,6 $\pm$ 1,0	10,8 $\pm$ 1,5 ab	77,7 $\pm$ 38,2 abc	357,6 $\pm$ 15,9 a	452,6 $\pm$ 42,2 a	0,048 $\pm$ 0,001 a
25% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 75% πίτουρο σιταριού	10,0 $\pm$ 1,2	6,3 $\pm$ 1,6 abc	7,6 $\pm$ 1,3 c	319,0 $\pm$ 18,0 a	342,9 $\pm$ 18,3 a	0,044 $\pm$ 0,001 a
10% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 90% πίτουρο σιταριού	10,6 $\pm$ 1,3	3,7 $\pm$ 0,9 bc	42,1 $\pm$ 19,0 abc	282,4 $\pm$ 10,4 a	338,8 $\pm$ 20,5 ab	0,044 $\pm$ 0,001 a
5% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 95% πίτουρο σιταριού	10,6 $\pm$ 1,4	2,1 $\pm$ 0,5 c	63,4 $\pm$ 22,3 abc	281,4 $\pm$ 22,1 a	357,6 $\pm$ 15,6 a	0,044 $\pm$ 0,001 a
100% πίτουρο σιταριού	9,8 $\pm$ 1,3	4,4 $\pm$ 1,4 abc	12,1 $\pm$ 2,6 b	337,2 $\pm$ 12,6 a	363,6 $\pm$ 14,3 a	0,044 $\pm$ 0,008 a
$\chi^2$	11,4	30,1	28,2	28,8	28,7	28,4
<i>P</i>	0,076	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους [σε όλες τις περιπτώσεις, df = 6, 62; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0.05]. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



**Γράφημα 1.** Συνολικός αριθμός ατόμων του *Tenebrio molitor* (A), *Tribolium confusum* (B), *Alphitobius diaperinus* (C) και *Trogoderma granarium* (D) μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση εντομάλευρο *T. molitor* και πίτουρο σιταριού σε διάφορες αναλογίες (0, 5, 10, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο *T. molitor*). Οι συναρτήσεις είναι αυτές που σε κάθε περίπτωση περιγράφουν καλύτερα τα δεδομένα (n = 9). Ο συντελεστής R δίνεται για κάθε εξίσωση σε κάθε περίπτωση.

**Πίνακας 10.** Ανάπτυξη του πληθυσμού [μέσος αριθμός ατόμων ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ανά φιαλίδιο] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Tribolium confusum* μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση εντομάλευρο *T. molitor* και πίτουρο σιταριού σε διαφορετικές αναλογίες (0, 5, 10, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο *T. molitor*) (n = 9).

Θρεπτικό υπόστρωμα	Ενήλικα (νεκρά)	Ενήλικα (ζωντανά)	Προνύμφες (μικρές)	Προνύμφες (μεγάλες)	Συνολικός αριθμός ατόμων	Στιγμιαίος Ρυθμός Αύξησης
100% εντομάλευρο <i>T. molitor</i>	8,2 $\pm$ 0,8	12,9 $\pm$ 1,9 c	33,2 $\pm$ 4,9 c	130,7 $\pm$ 16,4 b	185,0 $\pm$ 22,3 b	0,033 $\pm$ 0,002 b
75% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 25% πίτουρο σιταριού	5,6 $\pm$ 0,8	78,2 $\pm$ 13,8 bc	99,4 $\pm$ 9,8 ab	189,4 $\pm$ 19,9 ab	372,7 $\pm$ 38,2 ab	0,044 $\pm$ 0,002 ab
50% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 50% πίτουρο σιταριού	4,4 $\pm$ 0,8	235,8 $\pm$ 39,7 ab	112,7 $\pm$ 15,2 a	193,6 $\pm$ 28,2 ab	546,4 $\pm$ 58,3 a	0,050 $\pm$ 0,002 a
25% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 75% πίτουρο σιταριού	5,1 $\pm$ 0,8	287,0 $\pm$ 57,2 ab	119,4 $\pm$ 6,7 a	243,2 $\pm$ 16,3 a	598,6 $\pm$ 30,8 a	0,052 $\pm$ 0,001 a
10% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 90% πίτουρο σιταριού	6,1 $\pm$ 1,2	327,3 $\pm$ 60,0 a	106,7 $\pm$ 7,1 ab	182,3 $\pm$ 11,3 ab	622,4 $\pm$ 63,1 a	0,052 $\pm$ 0,002 a
5% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 95% πίτουρο σιταριού	5,1 $\pm$ 0,8	291,3 $\pm$ 52,1 ab	83,7 $\pm$ 7,2 abc	185,4 $\pm$ 14,6 ab	565,6 $\pm$ 58,6 a	0,051 $\pm$ 0,002 a
100% πίτουρο σιταριού	5,8 $\pm$ 0,4	243,3 $\pm$ 24,3 ab	57,6 $\pm$ 3,7 bc	133,6 $\pm$ 9,6 b	440,2 $\pm$ 31,5 a	0,047 $\pm$ 0,001 ab
$\chi^2$	10,3	36,9	36,8	22,9	34,0	33,8
<i>P</i>	0,112	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους [σε όλες τις περιπτώσεις, df = 6, 62; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0.05]. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

**Πίνακας 11.** Ανάπτυξη του πληθυσμού [μέσος αριθμός ατόμων ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ανά φιαλίδιο] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Alphitobius diaperinus* μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση εντομάλευρο *T. molitor* και πύτουρο σιταριού σε διαφορετικές αναλογίες (0, 5, 10, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο *T. molitor*) (n = 9).

Θρεπτικό υπόστρωμα	Ενήλικα (νεκρά)	Ενήλικα (ζωντανά)	Προνύμφες (μικρές)	Προνύμφες (μεγάλες)	Νύμφες	Συνολικός αριθμός ατόμων	Στιγμιαίος Ρυθμός Αύξησης
100% εντομάλευρο <i>T. molitor</i>	11,4 $\pm$ 1,5 b	7,8 $\pm$ 1,8 ab	0,0 $\pm$ 0,0 b	0,0 $\pm$ 0,0 b	0,0 $\pm$ 0,0 b	19,2 $\pm$ 0,5 b	-0,001 $\pm$ 0,001 b
75% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 25% πύτουρο σιταριού	18,4 $\pm$ 0,6 ab	0,4 $\pm$ 0,4 c	0,0 $\pm$ 0,0 b	2,4 $\pm$ 2,2 b	0,0 $\pm$ 0,0 b	21,3 $\pm$ 2,4 b	0,001 $\pm$ 0,001 b
50% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 50% πύτουρο σιταριού	13,0 $\pm$ 2,0 b	5,0 $\pm$ 1,5 ab	11,4 $\pm$ 3,9 ab	73,3 $\pm$ 14,9 ab	0,0 $\pm$ 0,0 b	102,8 $\pm$ 16,8 ab	0,023 $\pm$ 0,003 a
25% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 75% πύτουρο σιταριού	17,7 $\pm$ 1,0 ab	2,0 $\pm$ 0,8 b	16,4 $\pm$ 5,8 a	141,0 $\pm$ 17,4 a	0,0 $\pm$ 0,0 b	161,4 $\pm$ 25,0 a	0,029 $\pm$ 0,004 a
10% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 90% πύτουρο σιταριού	22,7 $\pm$ 1,7 a	26,2 $\pm$ 7,6 a	11,6 $\pm$ 6,1 ab	97,0 $\pm$ 62,3 ab	8,0 $\pm$ 2,1 a	143,9 $\pm$ 50,3 ab	0,025 $\pm$ 0,004 a
5% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 95% πύτουρο σιταριού	12,6 $\pm$ 1,8 b	15,4 $\pm$ 2,1 a	28,1 $\pm$ 7,5 a	193,4 $\pm$ 35,9 a	21,1 $\pm$ 5,2 a	270,7 $\pm$ 32,3 a	0,039 $\pm$ 0,002 a
100% πύτουρο σιταριού	17,6 $\pm$ 1,9 ab	16,4 $\pm$ 5,5 ab	21,9 $\pm$ 10,0 a	213,7 $\pm$ 81,1 a	1,6 $\pm$ 0,5 ab	271,1 $\pm$ 85,3 a	0,031 $\pm$ 0,007 a
$\chi^2$	26,6	34,3	30,1	38,4	48,0	40,3	40,3
<i>P</i>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους [σε όλες τις περιπτώσεις, df = 6, 62; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0.05]. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

**Πίνακας 12.** Ανάπτυξη του πληθυσμού [μέσος αριθμός ατόμων ( $\pm$  τυπικό σφάλμα) ανά φιαλίδιο] και στιγμιαίος ρυθμός αύξησης του *Trogoderma granarium* μετά από 65 ημέρες ανάπτυξης σε θρεπτικά υποστρώματα με βάση εντομάλευρο *T. molitor* και πίτουρο σιταριού σε διαφορετικές αναλογίες (0, 5, 10, 25, 50, 75 και 100% εντομάλευρο *T. molitor*) ( $n = 9$ ).

Θρεπτικό υπόστρωμα	Ενήλικα	Προνύμφες	Νύμφες	Συνολικός αριθμός ατόμων	Στιγμιαίος Ρυθμός Αύξησης
100% εντομάλευρο <i>T. molitor</i>	18,9 $\pm$ 0,5 c	0,0 $\pm$ 0,0 c	0,0 $\pm$ 0,0 c	18,9 $\pm$ 0,5 b	-0,001 $\pm$ 0,001 b
75% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 25% πίτουρο σιταριού	561,0 $\pm$ 81,0 ab	139,8 $\pm$ 26,4 c	68,8 $\pm$ 10,4 a	769,7 $\pm$ 102,9 b	0,052 $\pm$ 0,003 b
50% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 50% πίτουρο σιταριού	822,2 $\pm$ 76,8 a	1397,8 $\pm$ 137,2 b	51,1 $\pm$ 6,5 ab	2271,1 $\pm$ 181,0 a	0,071 $\pm$ 0,002 a
25% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 75% πίτουρο σιταριού	511,3 $\pm$ 61,6 ab	2066,7 $\pm$ 214,9 ab	34,8 $\pm$ 6,5 ab	2612,7 $\pm$ 194,5 a	0,074 $\pm$ 0,001 a
10% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 90% πίτουρο σιταριού	412,6 $\pm$ 36,2 ab	2399,3 $\pm$ 283,2 ab	27,3 $\pm$ 5,4 abc	2839,2 $\pm$ 278,8 a	0,074 $\pm$ 0,002 a
5% εντομάλευρο <i>T. molitor</i> + 95% πίτουρο σιταριού	417,5 $\pm$ 48,8 b	2384,4 $\pm$ 251,5 ab	40,0 $\pm$ 7,8 ab	2841,9 $\pm$ 226,6 a	0,075 $\pm$ 0,002 a
100% πίτουρο σιταριού	69,4 $\pm$ 11,5 c	2409,6 $\pm$ 187,6 a	24,4 $\pm$ 5,2 bc	2503,5 $\pm$ 191,4 a	0,073 $\pm$ 0,002 a
$\chi^2$	91,8	83,7	34,9	69,1	69,5
$P$	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους [σε όλες τις περιπτώσεις,  $df = 6, 62$ ; Mann–Whitney U test στο επίπεδο σημαντικότητας 0.05]. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν εντοπίστηκα στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



## Συμπεράσματα – Συζήτηση

Τα αποτελέσματα δείχνουν την ευπάθεια των εντομαλεύρων από προνύμφες *T. molitor* και *A. diaperinus*, καθώς και των υποστρωμάτων με βάση τα παραπάνω εντομάλευρα με διαφορετικά ποσοστά πίτουρου σίτου, σε προσβολές από έντομα αποθηκευμένων προϊόντων. Συγκεκριμένα, για τα *T. molitor* και *T. confusum*, αποδείχθηκε ότι αυτά τα είδη μπορούν εύκολα να προσβάλουν 100% εντομάλευρο *T. molitor* και *A. diaperinus* και να αναπτύξουν σημαντικούς πληθυσμούς σε αυτά τα υποστρώματα. Και τα δύο αυτά είδη είναι γνωστά και συνήθη έντομα που εντοπίζονται σε διαφορετικές μονάδες αποθήκευσης, μολύνοντας ένα ευρύ φάσμα αγροτικών προϊόντων, κυρίως σπόρους και συναφή επεξεργασμένα αμυλούχα προϊόντα, όπως αλεύρι, πίτουρο και ζυμαρικά (Hagstrum et al., 2013). Βέβαια, υπάρχουν αναφορές που τα συσχετίζουν επίσης με μία αρκετά μεγάλη ποικιλία άλλων προϊόντων, κυρίως φυτικής προέλευσης (Hagstrum and Subramanyam 2009; Hagstrum et al., 2013). Και τα δύο είδη εντόμων έχουν αναφερθεί να μολύνουν αποξηραμένα έντομα (Campbell 1989; Hill 2002). Βέβαια, αυτή είναι η πρώτη αναφορά που δείχνει ότι τα *T. molitor* και *T. confusum* μπορούν να προσβάλουν εντομάλευρα, να αναπτυχθούν και να αναπτύξουν πληθυσμούς σε αυτά, υπό τις εξεταζόμενες εδώ συνθήκες. Η δυνατότητα του *T. molitor* να αναπτύσσεται στον εαυτό του και να προσβάλλει 100% εντομάλευρο *T. molitor* μπορεί να συσχετιστεί με την τάση των προνυμφών του *T. molitor* για κανιβαλισμό. Ο κανιβαλισμός των νυμφών από τις προνύμφες έχει αναφερθεί για το *T. molitor*, ειδικά σε υψηλές συγκεντρώσεις πληθυσμών και υπερπληθυσμών (Weaver and McFarlane 1990) και σε υποστρώματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (Ichikawa and Kurauchi 2009). Στις εμπορικές εκτροφές του *T. molitor*, οι προνύμφες τελευταίου σταδίου πρέπει να διαχωρίζονται ώστε να αποφευχθεί ο κανιβαλισμός (Morales-Ramos et al., 2012; Deruytter et al., 2019). Επιπλέον, ο κανιβαλισμός των αυγών από τα ενήλικα σκαθάρια έχει παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια εκτροφής του *T. molitor* (Morales-Ramos et al., 2012). Έτσι, τα δεδομένα αυτά ξεκάθαρα δείχνουν ότι οι μονάδες παραγωγής του *T. molitor* είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν «αυτομολύνσεις» του τελικού τους προϊόντος από ζωντανά άτομα *T. molitor* που μπορεί να υπάρχουν στην αλυσίδα παραγωγής του εντομαλεύρου. Επομένως, οι εγκαταστάσεις που παράγουν

εντομάλευρα *T. molitor* πρέπει να αναπτύξουν γραμμές εύρωστης παραγωγής και προγράμματα παρακολούθησης που θα ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο από αυτές τις προσβολές, από δραπετεύοντα άτομα.

Παρ' ότι το *T. molitor* ήταν ικανό να αναπτυχθεί σε σκέτο εντομάλευρο *T. molitor* και *A. diaperinus* τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το υπόστρωμα αυτό δεν ήταν το προτιμώμενο του συγκριτικά με τα υπόλοιπα υποστρώματα με πίτουρο σιταριού που εξετάστηκαν. Επιπλέον, η ταχύτητα ανάπτυξης του *T. molitor* στο 100% εντομάλευρο ήταν αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τις μεταχειρίσεις που περιείχαν και πίτουρο σιταριού σε διαφορετικά ποσοστά. Ενδεικτικά, η συντριπτική πλειονότητα των προνυμφών στο 100% εντομάλευρο *T. molitor* ήταν μικρές, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα υποστρώματα όπου το ποσοστό των μεγάλων προνυμφών ήταν αρκετά υψηλό και σε μερικές περιπτώσεις έφτασε το 98% σε σύνολο. Μία εξήγηση για αυτό το εύρημα θα μπορούσε να δοθεί από τις διατροφικές απαιτήσεις των προνυμφών του *T. molitor* που προτιμούν και πραγματοποιούν άριστη ανάπτυξη σε δίαιτες που αποτελούνται από υδατάνθρακες σε ποσοστό 80-85% (Fraenkel 1950). Αντίθετα, το εντομάλευρο του *T. molitor* που εξετάστηκε είχε υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (63,3%) και λιπίδια (19,3%). Το ίδιο αποτέλεσμα της μειωμένης παραγωγής απογόνων και της περιορισμένης ταχύτητας στο 100% εντομάλευρο *T. molitor* συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις που εξετάστηκαν παρατηρήθηκε και στο *T. confusum*. Συγκεκριμένα, σημαντικά λιγότεροι απόγονοι παράχθηκαν στο 100% εντομάλευρο *T. molitor* συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις με  $\leq 50\%$  εντομάλευρο. Επιπλέον, η πλειονότητα των απογόνων στο 100% εντομάλευρο ήταν στο στάδιο της προνύμφης στο τέλος της βιοδοκιμής, και μόνο λίγα άτομα έφτασαν στο στάδιο της νύμφης και του ενήλικου. Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε, σε μικρότερο βαθμό, στο 75% εντομάλευρο. Αντίθετα, στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, παράχθηκε υψηλός αριθμός απογόνων και η πλειονότητα τους έφτασε στο στάδιο του ενήλικου στο τέλος των πειραμάτων. Παρ' ότι το *T. confusum* προσβάλλει συνήθως άλευρα και συναφή αμυλούχα προϊόντα πλούσια σε υδατάνθρακες, μπορεί να αναπτυχθεί καλά σε δίαιτες με ένα ευρύ φάσμα σε περιεκτικότητα υδατανθράκων από 5 έως 80% (Fraenkel and Printy 1954), εξηγώντας την ικανότητα του να αναπτυχθεί στα υποστρώματα με βάση το εντομάλευρο *T. molitor*. Ακόμη, εκτός από τις

διαφορές στο συνολικό αριθμό των απογόνων, οι διαφορές στο μέγεθος των προνυμφών που παράχθηκαν στις διαφορετικές μεταχειρίσεις δείχνουν μια σημαντική καθυστέρηση στους ρυθμούς ανάπτυξης όταν το *T. molitor* και το *T. confusum* προσβάλουν το εντομάλευρο *T. molitor*. Αντίθετα το *T. castaneum* φαίνεται να έδειξε την ακριβώς αντίθετη προτίμηση στο εντομάλευρο *A. diaperinus*, δίνοντας το μέγιστο αριθμό απογόνων στο υπόστρωμα με 75% εντομάλευρο και ακολούθως στο σκέτο εντομάλευρο, και όχι στα υποστρώματα με  $\leq 50\%$ .

Παραδόξως, το *A. diaperinus* και το *T. granarium*, παρά το γεγονός ότι έδωσαν απογόνους στο εντομάλευρο *A. diaperinus*, δεν αναπτύχθηκαν καθόλου στο 100% εντομάλευρο *T. molitor*, ενώ και τα δύο παρουσίασαν φτωχή ανάπτυξη στο υπόστρωμα με περιεχόμενο εντομάλευρο *T. molitor* σε ποσοστό 75%. Αντίθετα, το *A. diaperinus* στο ίδιο του το εντομάλευρο *A. diaperinus* όχι απλώς αναπτύχθηκε στις περιπτώσεις των 100% και 75% εντομάλευρο *A. diaperinus*, αλλά έδωσε και τον μεγαλύτερο αριθμό απογόνων του στα ποσοστά αυτά. Επίσης το *T. granarium* κατάφερε κι αυτό σύμφωνα με τα αποτελέσματα να δώσει απογόνους στο εντομάλευρο *A. diaperinus*, όχι όμως στο βαθμό που έδωσε το *A. diaperinus*. Παρ' ότι το *A. diaperinus* φαίνεται να προσβάλλει συχνά σπόρους δημητριακών (π.χ. σιτάρι και κριθάρι), όπως επίσης άλλα αμυλούχα προϊόντα (π.χ. αλεύρι, πίτουρο και σανό) (Buchelos and Athanassiou 1998, 1999; Athanassiou and Buchelos 2000, 2001), είναι επίσης γνωστό για προσβολές σε προϊόντα ζωϊκής προέλευσης, π.χ., ιχθυάλευρα, οστά ζώων, καζεΐνη και δέρματα (Hagstrum et al., 2013). Ωστόσο, αυτό φάνηκε να μην ισχύει για το εντομάλευρο *T. molitor* στην παρούσα μελέτη, αλλά να επιβεβαιώνεται μόνο για το εντομάλευρο *A. diaperinus*. Όμοια, το *T. granarium* είναι ένα γενικευμένο είδος που μπορεί να αναπτυχθεί και να αναπτυχθεί σε μεγάλη ποικιλία υποστρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων ζώων (νεκρών ποντικών, αποξηραμένου αίματος και αποξηραμένων εντόμων) και αποθηκευμένων φυτικών προϊόντων (σπόρων, δημητριακών και συναφών αμυλούχων προϊόντων) (Hangstrum και Subramanyam, 2009; Athanassiou και Rumbos, 2018; Athanassiou et al., 2019). Ως εκ τούτου, εξέπληξε το γεγονός ότι το *T. granarium* δεν πρόσβαλε το εντομάλευρο *T. molitor* αλλά μόνο το εντομάλευρο *A. diaperinus*, δεδομένου ότι τα πιο πολλά Dermestidae,

συμπεριλαμβανομένων ειδών του γένους *Trogoderma*, έχουν βρεθεί να προσβάλλουν εντομολογικές συλλογές (Hastrum et al., 2013). Πιθανώς υπάρχουν συγκεκριμένοι ανασταλτικοί παράγοντες που κατέστησαν το εντομάλευρο *T. molitor* ένα ανεπιθύμητο υπόστρωμα για την ανάπτυξη του *T. granarium*. Πρόσφατα, οι Domingue et al. (2019) έδειξαν ότι ένα συγκεκριμένο λιπαρό οξύ έχει απωθητικό αποτέλεσμα στο *T. granarium*, όπως και στα *Trogoderma variabile* Everts, (Coleoptera: Dermestidae) και *Trogoderma inclusum* LeConte (Coleoptera: Dermestidae). Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να διερευνηθεί αν το εντομάλευρο *T. molitor* περιέχει αυτό το συγκεκριμένο λιπαρό οξύ, ή άλλοι ανασταλτικοί παράγοντες καθιστούν αυτό το εντομάλευρο ανεπιθύμητο για το *T. granarium*.

Για κάθε υπόστρωμα, καταγράφηκαν διαφορές στην αύξηση και ανάπτυξη μεταξύ των ειδών που εξετάστηκαν. Για παράδειγμα, δεν καταγράφηκαν ενήλικοι απόγονοι για το *T. molitor* και το *A. diaperinus* σε όλα τα υποστρώματα στο τέλος των βιοδοκιμών, σε αντίθεση με το *T. confusum* και το *T. granarium* για τα οποία πολυάριθμα ενήλικα (περισσότερα από τα 20 αρχικά ενήλικα που εισήχθησαν) υπήρχαν στο τέλος της δοκιμής. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των ειδών που εξετάστηκαν, οι οποίες είναι σαφώς απεικονιζόμενες από τους διαφορετικούς στιγμιαίους ρυθμούς ανάπτυξης, μπορούν να αποδοθούν στη μοναδική και συγκεκριμένη για το είδος ανάπτυξη και στον αναπαραγωγικό ρυθμό κάθε είδους. Για παράδειγμα, ο υψηλότερος στιγμιαίος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στο *T. granarium* στα υποστρώματα που περιείχαν εντομάλευρο σε ποσοστό  $\geq 50\%$ , αφού αυτό το είδος έχει την ικανότητα υπό ευνοϊκές συνθήκες να αναπτύσσει τάχιστα πληθυσμούς (EPPO, 2013; Athanassiou και Rumbos, 2018). Υπό τις εξεταζόμενες συνθήκες στη μελέτη αυτή, εκτιμάται ότι συμπληρώθηκαν τουλάχιστον δύο βιολογικοί κύκλοι για αυτό το είδος κατά τη διάρκεια της μελέτης (65 ημέρες). Αντίθετα, ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στο *A. diaperinus*, γεγονός που δείχνει μια πιο αργή ανάπτυξη του είδους αυτού υπό τις συνθήκες που εξετάστηκε σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είδη.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν για πρώτη φορά την ευπάθεια των εντομαλεύρων *T. molitor* και *A. diaperinus*, όπως και των βασισμένων στα εντομάλευρα αυτά υποστρωμάτων σε προσβολές από κύρια

έντομα αποθηκευμένων προϊόντων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι στρατηγικές διαχείρισης των παρασίτων πρέπει να εφαρμοστούν σε ανάπτυξη ενός «απαλλαγμένου από έντομα εντομαλεύρου». Επιπλέον, οι διασταυρούμενες μολύνσεις είναι ίσως πιο πιθανές να συμβούν στις εγκαταστάσεις παραγωγής εντομαλεύρων, λόγω της παρουσίας εντόμων που μπορεί να εγκαθιδρύσουν μια σημαντική παρουσία σε όλα τα στάδια της αλυσίδας παραγωγής, από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την εκτροφή των εντόμων έως το τελικό προϊόν. Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή ενός σχεδίου διαχείρισης των εντόμων μπορεί να είναι πολύ πιο περίπλοκη σε αυτές τις εγκαταστάσεις, συγκριτικά με τις τυπικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης και επεξεργασίας τροφίμων, όπως οι αλευρόμυλοι, από τη στιγμή που οποιαδήποτε εντομοκτόνος εφαρμογή μπορεί επίσης να έχει αρνητικά αποτελέσματα στην εκτροφή των εντόμων. Επιπλέον έρευνα σε αυτόν τον τομέα πρέπει να εστιάσει στην ευπάθεια επιπλέον εντομαλεύρων, συγκεκριμένα εκείνων που παράγονται σε εμπορική κλίμακα, από έντομα αποθηκευμένων προϊόντων.

## Βιβλιογραφία

- Anderson R.M., 1993. Epidemiology. In: Cox FEG (ed) Modern parasitology: a textbook of parasitology, 2nd edition. Blackwell Science, Oxford.
- Asemu A., Habtu N., Subramanyam B., et al., 2020. Effects of grain drying methods on postharvest insect infestation and physicochemical characteristics of maize grain. *Journal of Food Process Engineering* 43(7),e13423.
- Athanassiou C.G., Buchelos C.T., 2000. Comparison of four methods for the detection of Coleoptera adults infesting stored wheat: efficiency and detection sensitivity. *Journal of Pest Science*, 73:129–133.
- Athanassiou C.G., Buchelos C.T., 2001. Detection of stored-wheat beetle species and estimation of population density using unbaited probe traps and grain trier samples. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 98:67–78.
- Athanassiou C.G., Phillips T.W., Wakil W., 2019. Biology and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium*, a major quarantine threat to global food security. *Annual Review of Entomology*, 64:131–148.
- Athanassiou C.G., Rumbos C.I. 2018. Emerging pests in durable stored products. In: Athanassiou C.G., Arthur F.H. (eds) Recent advances in stored product protection. Springer, Germany.
- Barroso F.G., de Haro C., Sánchez-Muros M.-J., 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422–423, 193–201
- Belleggia L., Milanović V., Cardinali F., et al., 2020. *Listeria* dynamics in a laboratory-scale food chain of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) intended for human consumption. *Food control*, 10.1016/j.foodcont.2020.107246.
- Benzertih A, Kieronczyk B, Kołodziejcki P, et al., 2019. *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* full-fat meals as functional feed additives affect broiler chickens' growth performance and immune system traits. *Poultry Science*, 10.3382/ps/pez450.
- Bequaert J., 1921. Insects as food: How they have augmented the food supply of mankind in early and recent years. *Journal of Natural History*, 21, 191–200.
- Bergier E., 1941. *Peuples Entomophages et Insectes Comestibles: Étude sur les Moeurs de L'homme et de L'insecte*; Imprimerie Rullière Frères: Avignon, France.
- Bodenheimer F.S., 1951. *Insects as Human Food*; W. Junk Publishers: The Hague, The Netherlands.
- Bovera F., Loponte R., Marono S., et al., 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science*, 94, 639–647.

- Bovera F., Piccolo G., Gasco L., et al., 2015. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British Poultry Science*, 56, 569–575.
- Buchelos C.T., Athanassiou C.G., 1998. Beetle species in storerooms of Central and Southern Greece containing grain, four, bran and hay: a survey of 44 species. *Annual Review of Phytopathology Benaki*, 18:129–133.
- Buchelos C.T., Athanassiou C.G., 1999. Unbaited probe traps and grain trier: a comparison of the two methods for sampling Coleoptera in stored barley. *Journal of Stored Products Research*, 35:397–404.
- Bukkens S.G.F., 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. In: *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, M.G. Paoletti (ed.). Science Publishers, New Hampshire.
- Campbell J.M., 1989. Canadian beetles (Coleoptera) injurious to crops, ornamentals, stored products and buildings. Agricultural Canada Publications, Ottawa.
- Channaiah L.H., Subramanyam B., Zurek L., 2010. Survival of *Enterococcus faecalis* OG1RF: pCF10 in poultry and cattle feed: vector competence of the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Food Protection* 73:568–573.
- Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., et al., 2005. House cricket small-scale farming. In: Paoletti, M.G. (Ed.), *Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails*. Science Publishers, New Hampshire.
- Cominelli F., Reguzzi C., Nicoli Aldini R., Mazzoni E., 2020. Insect pest susceptibility of grains and seeds recently introduced to the Italian market: An experimental evaluation. *Journal of Stored Products Research*, 89,10169.
- Crippen T.L., Zheng L., Sheffield C.L., et al., 2012. Transient gut retention and persistence of *Salmonella* through metamorphosis in the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal Applied Microbiology* 112:920–926.
- De Marco M., Martínez S., Hernandez F., et al., 2015. Nutritional value of two insect meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 211–218.
- Deruytter D., Coudron C.L., Teerlinck S., 2019. Influence of crate size, oviposition time, number of adults and cannibalism on the reproduction of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5:247–255.
- EFSA Scientific Committee, 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10):4257.

- EFSA Scientific Committee, 2015. Scientific Opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), 4257.
- EFSA Scientific Committee, 2021. Edible insects: the science of novel food evaluations. *EFSA Journal*.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2013. Diagnostics. PM 7/13 (2) *Trogoderma granarium*. *EPPO Bull*, 43:431–448.
- el-Mofty M.M., Khudoley V.V., Sakr S.A., Fathala N.G., 1992. Flour infested with *Tribolium castaneum*, biscuits made of this flour, and 1,4-benzoquinone induce neoplastic lesions in Swiss albino mice. *Nutrition and Cancer*, 17:97–104891.
- el-Mofty M.M., Osman S.I., Sakr S.A., Toulan B.A., 1988. Carcinogenicity of flour infested with *Tribolium castaneum* using the Egyptian toad *Bufo regularis* as a biological test animal. *Oncology*, 45:65–67894.
- el-Mofty M.M., Sakr S.A., Osman S.I., Toulan B.A., (1989) Carcinogenic effect of biscuits made of 895 flour infested with *Tribolium castaneum* in *Bufo regularis*. *Oncology* 46:63–65
- Engström A., 2019. The Eating insects startups: Here is the list of Entopreneurs around the world!. Bug Burger.
- Fraenkel G., 1950. The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae: Coleoptera). *Physiological Zoology*, 23:92–108.
- Fraenkel G., Printy G.E., 1954. The amino acid requirements of the confused flour beetle, *Tribolium confusum*. *The Biological Bulletin*, 106:149–157.
- Freeman J.A., 1973. Infestation and control of pests of stored grain in international trade. In: Sinha RN, Muir WE (eds) *Grain storage: part of a system*. Avi Publishing Company, Westport, CT, USA.
- Gasco L., Henry M., Piccolo G., et al., 2016. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Anim Feed Sci Tech*, 220: 34–45.
- Gerland P., Raftery A. E., Sevcikova H., et al., 2014. World population stabilization unlikely this century. *Science*, 346(6206), 234–237.
- Goddard J., 2003. *Physician's guide to arthropods of medical importance*. 4th edn. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Godfray H. C., Beddington J. R., Crute I. R., et al., 2010. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818.
- Hagstrum D.W., Klejdysz T., Subramanyam B., Nawrot J., 2013. *Atlas of stored-product insects and mites*. AACC International Inc, Minnesota.



Hagstrum D., Phillips T., Cuperus G., 2012. *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan.

Hagstrum D.W., Subramanyam B., 2009. *Stored-product insect resource*. AACC International Inc, St Paul, MN.

Hamel D., Rozman V., Liška A., 2020. Storage of Cereals in Warehouses with or without Pesticides. *MDPI*, 11, 846.

Heaps J.W., 2006. *Insect management for food storage and processing*. AACC International.

Henry M., Gasco L., Piccolo G., Fountoulaki E., 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203,1–22.

Hill D.S., 2002. *Pests of stored foodstuffs and their control*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Hodges R.J., Robinson R., Hall D.R., 1996. Quinone contamination of dehusked rice by *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 32:31–37.

Howard R.W., 1987. Chemosystematic studies of the Triboliini (Coleoptera: Tenebrionidae): phylogenetic inferences from the defensive chemicals of eight *Tribolium* spp., *Palorus ratzeburgi* (Wissmann), and *Latheticus oryzae* Waterhouse. *Annals of the Entomological Society of America*, 80:398–405.

Ichikawa T., Kurauchi T., 2009. Larval cannibalism and pupal defense against cannibalism in two species of tenebrionid beetles. *Zoological Science*, 26:525–529.

Jongema Y., 2017. *Worldwide list of recorded edible insects*. The Netherlands: of Entomology, Wageningen University & Research.

Józefiak D., Józefiak A., Kierończyk B., et al., 2016. Insects—A natural nutrient source for poultry—A review. *Annals of Animal Science*, 10.1515/aoas-2016-0010.

Jung C., Meyer-Rochow V. B., (eds), 2020. *Edible Insects as Innovative Foods. Nutritional, Functional and Acceptability Assessments*. MDPI, Basel.

Jung C., Meyer-Rochow V. B., 2020. Insects Used as Food and Feed: Isn't That What We All Need?. *MDPI*, 9(8), 1003.

KEBS, 2017. *Dried Insect Products for Compounding Animal Feeds—Specification KS 2117: ICS 65.120*; Kenya Bureau of Standards, DKS 2711:2016.

Khan, H.A.A., 2020. Susceptibility to indoxacarb and synergism by enzyme inhibitors in laboratory and field strains of five major stored product insects in Pakistan. *Chemosphere* 257,127167.

- Koeleman E., 2014. Insects crawling their way into feed regulation. ALLABOUTFEED: V 22, N. 6.
- Len B., Wang F., QI Y., 2016. Discussion on the current situation and problems of stored grain pest control. Grain and Oil Storage Technology Newsletter, Amsterdam.
- Lillie T.H., Pratt G.K., 1980. The hazards of ingesting beetle larvae. USAF Medical Service Digest, 31:32–39.
- Lock E.R., Arsiwalla T., Waagbo R., 2015. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. Aquaculture Nutrition.
- Makkar H., Tran G., Ankers R., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology, FAO.
- Mancuso T., Baldi L., Gasco L., 2016. An empirical study on consumer acceptance of farmed fish fed on insect meals: the Italian case. Aquaculture International : Journal of the European Aquaculture Society, 24(5):1489-1507.
- Melgar-Lalanne G., Hernández-Álvarez A., Salinas-Castro A., 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies, Institute of Food Technologists, 10.1111/1541-4337.12463.
- Morales-Ramos J.A., Rojas M.G., Shapiro-Ilan D.I., Tedders W.L., 2013. Use of nutrient self-selection as a diet refining tool in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Entomological Science, 48:206–221.
- Müller A., Evans J., Payne C., Roberts R., 2016. Entomophagy and Power. Wageningen Academic Publishers, 2(2):121-136.
- Nayak K., Daghish J., 2018. Importance of stored product insects. In: Athanassiou CG, Arthur FH (eds). Recent advances in stored product protection. Springer, Basel.
- Nyangena D., Mutungi C., Imathiu S., Kinyuru J., Affognon H., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K., 2020. Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four Edible Insect Species Used for Food and Feed in East Africa, Edible Insects as Innovative Foods: Nutritional, Functional and Acceptability Assessments, 9(5), 574.
- Okumura G.T., 1967. A report of canthariasis and allergy caused by *Trogoderma* (Coleoptera: Dermestidae). California Vector Views, 14:19–24.
- Ramos-Elorduy J., 2009. Anthro-entomophagy: Culture, evolution and sustainability. Entomological Research, 39,271–288.
- Ramos-Elorduy J., 2005. Insects: A hopeful food source. Ecological Implications of Minilivestock (Potential of Insects, Rodents Frogs and Snails). Science Publishers, Plymouth.

Ramos-Elorduy J., 2012. Could Grasshoppers Be a Nutritive Meal?. Food and Nutrition Sciences, 03(02):164-175.

Rees D., 2007. Insects of Stored Grain: A Pocket Reference. CSIRO Second Edition, Australia.

Rees D., 2004. Insects of Stored Products. CSIRO, Australia.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the application: Defatted whole cricket (*Acheta domesticus*) powder, Applicant: Cricket One No., Ltd. 383/3/51 Quang Trung street, Ward 10, Go Vap district, HCMC, Vietnam.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of application: *Tenebrio molitor* protein concentrate, The company: YnsectGenopole Campus 3 / Batiment 2 – 1, rue Pierre Fontaine – 91058 Evry – France.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the application: Whole and ground mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae, Applicant: Fair Insects BV (A Protix Company), Industriestraat 3, 5107 NC Dongen, Netherlands

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the dossier, Applicant: Belgian Insect Industry Federation (BiiF), 15 rue Fernand Bernier, 1060 SaintGilles, Belgium.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the dossier: Dried crickets (*Gryllobes sigillatus*), Applicant: SAS EAP Group – MICRONUTRIS, 6 rue du partanais, 31650 Saint-Orens-de-Gameville, France.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the dossier: Dried mealworms (*Tenebrio molitor*), Applicant: SAS EAP Group – MICRONUTRIS, 6 rue du partanais, 31650 Saint-Orens-de-Gameville, France.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the dossier: Mealworm (*Tenebrio molitor*) flour, Applicant: Nutri'Earth 4 rue du MIN, Batiment B2, Cellule 14, Lomme, 59160, France.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the dossier: whole and grinded *Alphitobius diaperinus* larvae products, Applicant: Proti-Farm Holding NV, Harderwijkerweg 141B, 3852 AB Ermelo, Netherlands.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the dossier: Whole and ground cricket (*Acheta domesticus*), Applicant: Fair Insects BV (A Protix Company), Industriestraat 3, 5107 NC Dongen, Netherlands.

Regulation (EU) 2015/2283. Summary of the dossier: Whole and ground Grasshopper (*Locusta migratoria*), Applicant- Fair Insects BV (A Protix Company), Industriestraat 3, 5107 NC Dongen, Netherlands.

Roncolini A., Milanović V., Cardinali F., et al., 2019. Protein fortification with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) powder: Effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. PLoS One, 1;14(2):e0211747.

Rumbos C., Rigopoulou M., Athanassiou C., 2020. Are insect meals prone to insect infestation during storage? Development of major storage insects on

substrates based on *Tenebrio molitor* larvae meal. *Journal of Pest Science*, 93:1359-1367.

Sheldon J.M., Johnston J.H., 1941. Hypersensitivity to beetles (Coleoptera). Report of a case. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 12:493–497.

Shockley M., Dossey A.T., 2014. Insects for Human Consumption. In: Morales-Ramos J.A., Guadalupe Rojas M., Shapiro-Ilan D.I., (eds.). *Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates and Entomopathogens*, Academic Press, Cambridge.

Stejskal V., Hubert J., Li Z., 2018. *Human Health Problems and Accidents Associated with Occurrence and Control of Storage Arthropods and Rodents*. Springer, Germany.

Tang, C., Yang, D., Liao H., et al., 2019. Edible insects as a food source: a review. *Food Prod Process and Nutrition*, 10.1186/s43014-019-0008-1.

Tiencheu B., Macaire Womeni H., 2017. *Entomophagy: Insects as Food*. IntechOpen.

Van Huis A., et al., 2013. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. FAO, Roma.

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.

Yada R., 2017. *Proteins in Food Processing*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, England.

Yezerki A., Ciccone C., Rozitski J., Volingavage B., 2007. The effects of a naturally produced 1170 benzoquinone on microbes common to flour. *Journal of Chemical Ecology*, 33:1217–1225/1171.

Yezerki A., Cussatt G., Glick D., Evancho M., 2005. The effects of the presence of stored product 1172 pests on the microfauna of a flour community. *Journal of Applied Microbiology*, 98:507–515.

Zhang Y., Teng B., Wang D., Jiang J., 2021. Discovery of a specific volatile substance from rice grain and its application in controlling stored-grain pests. *Food Chemistry*, 339, 128014.

Zheng L., Crippen T.L., Sheffield C.L., et al., 2012. Evaluation of *Salmonella* movement through the gut of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Vector-Borne Zoonotic Dis.* 12:287–292.

Zhao X., Vázquez-Gutiérrez J., Johansson D., et al., 2016. Yellow mealworm protein for food purposes—extraction and functional properties. *PLoS One*, e0147791.

