

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας

**Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera:
Tenebrionidae) σε διάφορα θρεπτικά υποστρώματα**

Πανταζής Ιωάννης Ραφαήλ

Επιβλέπων καθηγητής

Αθανασίου Χρήστος

Βόλος, 2022

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά το έτος 2022 στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το κείμενο που ακολουθεί περιλαμβάνει γενικές πληροφορίες για το έντομο *Alphitobius diaperinus* (Panzer) αλλά και πιο ειδικές που αφορούν την πληθυσμιακή του ανάπτυξη όταν υποβλήθηκε σε μια σειρά βιοδοκιμών σε διάφορα θρεπτικά υποστρώματα. Επιπλέον, περιέχονται τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, τα αποτελέσματα που προέκυψαν, καθώς και κάποια συμπεράσματα που εξήχθησαν.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Χρήστο Γ. Αθανασίου, επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας, για την ανάθεση του θέματος, τη συνεχή καθοδήγηση, τις συμβουλές του καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε κάθε επίπεδο και τις διορθώσεις του στο κείμενο της πτυχιακής μου.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον μεταδιδακτορικό ερευνητή Χρήστο Ι. Ρούμπο για την ακατάπαυστη στήριξη και πολύτιμη βοήθειά του τόσο στην ανάλυση των αποτελεσμάτων και διόρθωση της πτυχιακής μου εργασίας, όσο και για τα τεχνικά ζητήματα και τις πληροφορίες που μου παρείχε συνεχώς κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, αλλά και μετά το πέρας της πειραματικής διαδικασίας.

Ευχαριστίες επίσης προς όλα τα άτομα που εργάζονται στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας όπου μοιραστήκαμε τον ίδιο χώρο για αρκετούς μήνες, για το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για τη διαρκή συμπαράσταση τους καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας.

Περίληψη

Το *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι ένα έντομο που συνήθως χαρακτηρίζεται ως επιβλαβές, καθώς είναι ένα από τα πιο κοινά έντομα σε εμπορικές πτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, αφού μπορεί να αναπαραχθεί και να τραφεί με περιττώματα πουλερικών, υπολείμματα πτηνοτροφής και άλλα οργανικά υλικά. Επίσης, είναι φορέας πολλών παθογόνων που προκαλούν ασθένειες στα πουλερικά, όπως η σαλμονέλα. Ταυτόχρονα, είναι μια πολλά υποσχόμενη πηγή θρεπτικών συστατικών. Από το 2017 πήρε έγκριση στην ΕΕ, η χρήση του εντομάλευρου του ως συστατικό των ιχθυοτροφών. Πιο πρόσφατα, το 2021, η έγκριση επεκτάθηκε και στις δίαιτες των πουλερικών και των χοίρων. Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, μελετήθηκε η πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε μια μεγάλη ποικιλία θρεπτικών υποστρωμάτων. Σε μια πρώτη σειρά βιοδοκιμών, χρησιμοποιήθηκαν άθικτοι, ολόκληροι σπόροι διαφόρων δημητριακών. Αρχικά, 20 g του κάθε υποστρώματος τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια μαζί με 20 ενήλικα του *A. diaperinus*, ενώ ακολούθησε επώαση στους 30°C, 55% σχετική υγρασία και πλήρες σκοτάδι. Μετά από 30 ημέρες, τα φιαλίδια ανοίχτηκαν και ξεκίνησε η καταμέτρηση των ενηλίκων και των προνυμφών του εντόμου. Σε μια δεύτερη σειρά βιοδοκιμών και ακολουθώντας το ίδιο πειραματικό πρωτόκολλο αξιολογήθηκε η πληθυσμιακή ανάπτυξη του εντόμου από υποστρώματα που αποτελούνταν από σπόρους μαλακού σιταριού με διαφορετικά ποσοστά σπασμένου σιταριού. Ομοίως, σε μια τρίτη και τέταρτη σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η ανάπτυξη του πληθυσμού του εντόμου σε διάφορα αμυλώδη και μη αμυλώδη προϊόντα, αντίστοιχα. Με βάση τα αποτελέσματα, το *A. diaperinus* παρουσίασε σαφή προτίμηση στα αμυλώδη προϊόντα στα οποία ανέπτυξε μεγαλύτερους πληθυσμούς σε σχέση με τα μη αμυλώδη. Επίσης, ικανοποιητική ανάπτυξη είχε και στους άθικτους σπόρους δημητριακών που δοκιμάστηκαν, με το μαλακό και σκληρό σιτάρι να δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα από άποψης πληθυσμιακής ανάπτυξης. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι όσο αύξανε το ποσοστό σπασμένου σιταριού, τόσο αύξανε και ο πληθυσμός του εντόμου εντός των φιαλιδίων. Η μελέτη αυτή, ήταν και η πρώτη που εξέτασε την καταλληλότητα ενός ευρέος φάσματος υποστρωμάτων, για την ανάπτυξη του πληθυσμού του εντόμου, το οποίο είναι μία πολλά υποσχόμενη πηγή θρεπτικών συστατικών για τα ψάρια, τα πουλερικά και τους χοίρους.

Summary

The lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), is an insect commonly characterized as a pest, and particularly as one of the most common insects found on commercial poultry farms, as it can reproduce and feed on poultry manure, spilled feed and other organic materials. It is also a carrier of many pathogens that cause avian diseases in poultry, such as salmonella. At the same time, it is a promising source of nutrients. Since 2017, the use of its meal as an ingredient in aquafeed, has been approved in the EU. More recently, in 2021 the approval has been extended to poultry and pig diets. In the present study, the population growth of *A. diaperinus* has been investigated on a wide variety of nutrient substrates. In a first series of bioassays, various intact cereal grains were used. Initially, 20 g of each substrate were placed in plastic vials, with 20 adults of *A. diaperinus*, followed by incubation at 30 °C, 55% relative humidity and complete darkness. After 30 days, the vials were opened and the counting of adults and larvae of the insect began. In a second series of bioassays, following the same experimental protocol, the population growth of the insect was evaluated from substrates consisting of soft wheat grain with different percentages of cracked kernels. Similarly in a third and fourth series of bioassays, the population growth of the insect on amylaceous and non-amylaceous commodities was evaluated, respectively. Based on the results, *A. diaperinus* showed a clear preference for amylaceous products in which it grew larger populations than the non-amylaceous ones. It had also satisfactory growth in the intact cereal grains tested, with soft and hard wheat giving the best results in terms of population growth. It was also observed that as the percentage of cracked wheat increased, so did the population of the insect inside the vials. This study was the first one to examine the suitability of a wide range of substrates for the population growth of *A. diaperinus*, which is a promising source of nutrients for fish, poultry and pigs.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 Γενικά χαρακτηριστικά του <i>Alphitobius diaperinus</i>	7
1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά του <i>A. diaperinus</i>	9
1.3 Γεωγραφική εξάπλωση και προέλευση του <i>A. diaperinus</i>	12
1.4 Διατροφικές προτιμήσεις του <i>A. diaperinus</i>	13
1.5 Βιολογία και οικολογία του <i>A. diaperinus</i>	14
1.6 Έλεγχος και καταπολέμηση	16
1.7 Προβλήματα στην παραγωγή ευρέως διαδεδομένων ζωοτροφών	20
1.8 Χρησιμοποίηση εντόμων ως ζωοτροφές.....	22
1.9 Αξιοποίηση του <i>A. diaperinus</i> ως πηγή ζωοτροφής	27
1.10 Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας	30
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	32
2.1 Συνθήκες εργαστηρίου και εκτροφή εντόμων	32
2.2 Βιοδοκιμή I. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε σπόρους μαλακού σιταριού με διαφορετικά ποσοστά σπασμένου σιταριού	33
2.3 Βιοδοκιμή II. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε υπόστρωμα αποτελούμενο από διάφορους σπόρους δημητριακών.....	34
2.4 Βιοδοκιμή III. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε διάφορα αμυλώδη υποστρώματα τροφής	35
2.5 Βιοδοκιμή IV. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε διάφορα μη αμυλώδη υποστρώματα τροφής	36
2.6 Στατιστική ανάλυση	37
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	37
3.1 Βιοδοκιμή I. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε σπόρους μαλακού σιταριού με διαφορετικά ποσοστά σπασμένου σιταριού	37
3.2 Βιοδοκιμή II. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε υπόστρωμα αποτελούμενο από διάφορους σπόρους δημητριακών.....	39
3.3 Βιοδοκιμή III. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε διάφορα αμυλώδη υποστρώματα τροφής	41

3.4 Βιοδοκιμή IV. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του <i>A. diaperinus</i> σε διάφορα μη αμυλώδη υποστρώματα τροφής.....	43
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	45
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά του *Alphitobius diaperinus*

Τα σύγχρονα συστήματα παραγωγής πουλερικών, χαρακτηριστικό των οποίων είναι η εκτροφή και διαχείριση των ζώων σε πολύ μεγάλες πυκνότητες, έχουν ως αποτέλεσμα την έκρηξη πληθυσμών πολλών παρασίτων των πουλερικών (Agabou and Alloui, 2012). Το έντομο *Alphitobius diaperinus* (Panzer) που ανήκει στην οικογένεια των Tenebrionidae και στην τάξη των Coleoptera (Πίνακας 1) είναι ένα μείζονος σημασίας παράσιτο στις εγκαταστάσεις εμπορικής παραγωγής πουλερικών καθώς το συναντάει κανείς σε πολύ μεγάλη αφθονία σε αυτές (Axtell 1994). Ενώ αυτό το είδος για πολλά χρόνια θεωρείτο ότι σχετίζεται με αποθηκευμένα προϊόντα (Aitken 1975), οι πρώτες καταγραφές προσβολών σε πτηνοτροφικές μονάδες ξεκινούν από τις αρχές της δεκαετίας του 1950 (Gould and Moses 1951). Αναπαράγεται εντός των απορριμάτων των πτηνοτροφείων, ενώ τρέφεται από ραγισμένα αυγά πουλερικών, νεκρά πουλερικά, κοπριά πουλερικών, χυμένη και διάσπαρτη τροφή που προορίζεται για τα πουλερικά και άλλα οργανικά υλικά (Pfeiffer & Axtell 1980; Axtell & Arends 1990; Reuda & Axtell 1997). Την ίδια στιγμή η παρουσία του *A. diaperinus* σε μία πτηνοτροφική εγκατάσταση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά οικονομικά την παραγωγή καθώς στην περίπτωση που βρεθούν υπερβολικοί πληθυσμοί από το είδος, τότε τα πουλερικά στρέφονται στην κατανάλωση των εντόμων αντί της τροφής που τους προσφέρεται, με αποτέλεσμα την μειωμένη αύξηση του βάρους τους (Despins & Axtell 1994, 1995). Επιπλέον, μπορεί να λειτουργήσει ως φορέας πολλών παθογόνων των πτηνών που προκαλούν σοβαρές ασθένειες και προβλήματα υγιεινής σε πτηνοτροφικές μονάδες (Strother et al. 2005; Hazeleger et al. 2008; Crippen et al. 2018). Πιο συγκεκριμένα, η κατανάλωση προνυμφών και ενηλίκων του *A. diaperinus* από πουλερικά μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές λοιμώξεις από μικροβιακά παθογόνα για παράδειγμα βακτήρια, όπως η σαλμονέλα (McAllister et al. 1994; Crippen et al. 2009; Roche et al. 2009), και τα *Campylobacter* (Strother et al. 2005) και *Escherichia* (De las Casas et al. 1968, 1972), μύκητες (De las Casas et al. 1972), ιούς (πχ. Marek's disease) (Eidson et al. 1965), αλλά και παράσιτα όπως ταινίες (Elowni & Elbihari 1979) και νηματώδεις (Karunamoorthy et al. 1994).

Προβλήματα στον άνθρωπο και οικονομική ζημιά στις εγκαταστάσεις πουλερικών

Εκτός από τις ασθένειες που προκαλεί στα πουλερικά, το *A. diaperinus* είναι ικανό να προκαλέσει ασθένειες και στον άνθρωπο όπως για παράδειγμα την ανθρώπινη γαστρεντερίτιδα (Bates et al. 2004), ενώ σχετίζεται επίσης και με αλλεργικές αντιδράσεις που προκλύονται σε

άτομα που βρίσκονται λόγω εργασίας σε στενή επαφή μαζί του για μεγάλο χρονικό διάστημα, εξαιτίας της «συνανθρωπικής» φύσης αυτού του είδους (Schroeckestein et al. 1988). Υπό ευνοϊκές συνθήκες, ειδικά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες, το έντομο μπορεί να φτάσει σε μεγάλους πληθυσμούς, προκαλώντας δημόσια ενόχληση εισβάλλοντας σε σπίτια και άλλες εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις από τις μολυσμένες επιχειρήσεις πουλερικών (Axtell & Arends 1990).

Πίνακας 1. Ταξινομική κατάταξη του *Alphitobius diaperinus*.

Superkingdom	Eukaryota
Kingdom	Animalia
Phylum	Arthropoda
Class	Insecta
Order	Coleoptera
Family	Tenebrionidae
Genus	<i>Alphitobius</i>
Species	<i>diaperinus</i>

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό του *A. diaperinus* που συμβάλλει αρνητικά περαιτέρω στην οικονομική σημασία του, είναι το γεγονός ότι το είδος αυτό είναι ικανό να προκαλέσει δαπανηρές δομικές βλάβες στις εγκαταστάσεις πουλερικών, καθώς οι προνύμφες μεγάλης ηλικίας μπορούν να φύγουν από τις θέσεις τους στη στρώμη του πτηνοτροφείου και να δημιουργήσουν τρύπες στους τοίχους, στο μονωτικό υλικό και στα δάπεδα, προκειμένου να κατασκευάσουν μέρη στα οποία θα μπορούν να νυμφωθούν (pupae) πριν περάσουν στο ενήλικο στάδιο. Αυτό πραγματοποιείται ως απάντηση στη χαμηλή διαθεσιμότητα εδάφους που χρειάζονται υπο φυσιολογικές συνθήκες για να ολοκληρώσουν αυτή τη διαδικασία και εξαιτίας της υψηλής ποσότητας του παρασίτου στη στρώμη του πτηνοτροφείου (Dale et al. 1976; Ichinose et al. 1980; Somerfield 1981; Vaughan & Turner 1982; Vaughan et al. 1984; Despins 1987; Despins et al. 1987, 1989, 1991; O'Connor 1987; Geden & Axtell 1987; Axtell & Arends 1990; Axtell 1994). Η ζημία στη μόνωση μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση του

κόστους θέρμανσης, άρα ακολούθως και του συνολικού κόστους παραγωγής στις εγκαταστάσεις πουλερικών (Loftin 2011). Μπορεί επίσης να μολύνει, να τραφεί και να αναπαραχθεί σε αποθηκευμένους σπόρους δημητριακών και σε συναφή αμυλώδη προϊόντα, όπως σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι, ρύζι, φυστίκια, μπιζέλια και αλεύρια, ενώ έχει επίσης βρεθεί σε καπνό, λιναρόσπορο, βαμβακόσπορο και άλλα προϊόντα του ελαιόσπορου (Spilman 1987; Buchelos & Athanassiou 1998; Athanassiou & Buchelos 2001; Hagstrum & Subramanyam 2009; Hagstrum et al. 2013). Ωστόσο, η οικονομική του σημασία ως έντομο παράσιτο σε αποθηκευμένα προϊόντα είναι μικρότερη από αυτή ως έντομο παράσιτο δημόσιας υγείας.

1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά του *A. diaperinus*

Αυγά, προνύμφες, νύμφες και ενήλικα

Τα αυγά του *A. diaperinus* είναι ωοειδή, ανοιχτόχρωμα, έχουν μήκος περίπου 1 mm ενώ οι προνύμφες του είναι επιμήκεις με μήκος 12-19 mm, με κοιλιά που έχει μυτερή άκρη, ενώ ο εξωσκελετός τους είναι λείος, λαμπερός χωρίς εμφανείς τρίχες (Axtell 1994). Οι προνύμφες επιπλέον ξεχωρίζουν για την κεφαλή που φέρει τα χαρακτηριστικά κάψουλας και το σώμα που είναι χωρισμένο σε μικρά τμήματα, καθώς και για τα τρία ζεύγη θωρακικών ποδιών που είναι υπεύθυνα για την γρήγορη κίνηση τους (Axtell 1994; Francisco & Prado 2001). Οι νεοεμφάνιζόμενες προνύμφες μικρής ηλικίας οι οποίες είναι λευκές αρχικά, μετατρέπονται σε καστανές με κάποια σημεία του σώματος να είναι υποκίτρινα-καστανά, μετά από οχτώ εκδύσεις (Εικόνες 1 και 2) (Francisco & Prado 2001).

Οι νύμφες, που δεν έχουν την ικανότητα να κινούνται, έχουν κρεμώδες λευκό χρώμα έως ανοιχτό καστανό (Εικόνα 3). Τα ενήλικα έχουν σχήμα οβάλ, είναι σκούρα καφέ ή μαύρα, μήκους 5,5 mm - 9,5 mm περίπου και πλάτους 2,5 mm - 3,2 mm, ενώ φέρουν κοντές, κίτρινες τρίχες (Εικόνες 2 και 4). Επιπρόσθετα, οι κεραίες τους είναι κοντές, έχουν πλατύ πρόνωτο, και τα έλυτρα τους έχουν σειρές μικρών τρυπημάτων σε όλο τους το μήκος (Green 1980; Hagstrum et al. 2013). Ένας εύκολος και κατανοητός τρόπος για τον προσδιορισμό του φύλου του *A. diaperinus* σε διαφορετικά στάδια της ζωής του παρέχεται από τους Esquivel et al. (2012) (Εικόνα 5). Τέλος, υπάρχουν πολλές μελέτες που δίνουν στοιχεία για τα εσωτερικά ανατομικά χαρακτηριστικά του εντόμου, όπως για παράδειγμα το αρσενικό και θηλυκό αναπαραγωγικό σύστημα (Hopkins et al. 1992, 1993) και το έντερο (Crippen & Esquivel 2012).



Εικόνα 1. Προνύμφες του *Alphitobius diaperinus* με το χαρακτηριστικό καστανό χρώμα (πηγή: <https://www.biolib.cz/en/image/id196451/>).



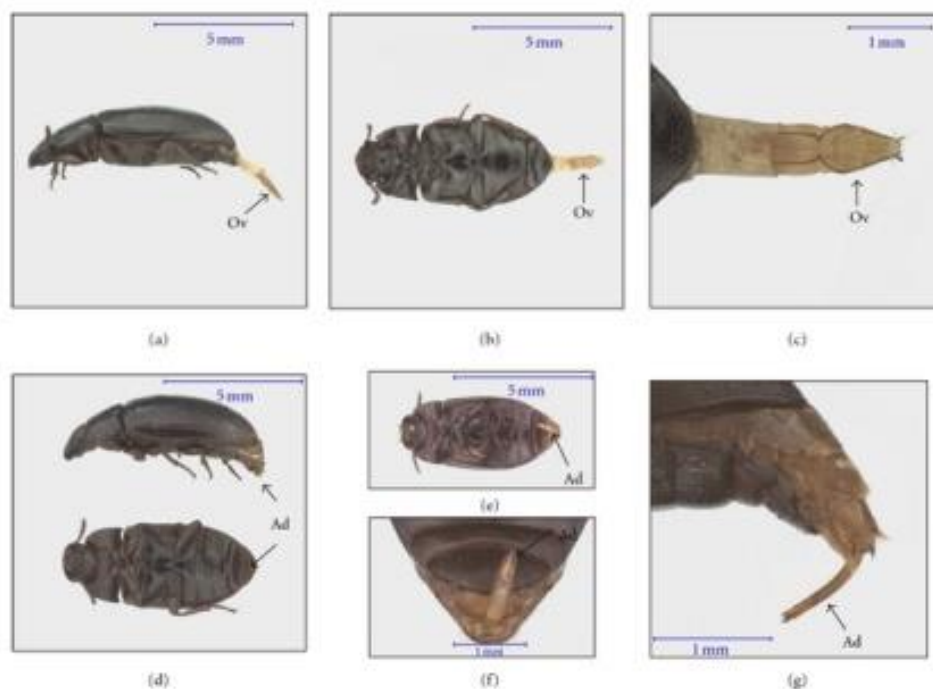
Εικόνα 2. Ενήλικα (αριστερά) και προνύμφες (δεξιά) του *Alphitobius diaperinus* (πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Dorsal-ventral-surfaces-of-adult-left-and-some-larval-stages-right-of-Alphitobius_fig1_232739719).



Εικόνα 3. Νύμφη του *Alphitobius diaperinus* με το χαρακτηριστικό κρεμώδες λευκό χρώμα (πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Pupa-of-the-lesser-mealworm-Alphitobius-diaperinus-Panzer-Credits-Jerry-Butler-and_fig9_255639483).



Εικόνα 4. Θηλυκό ενήλικο (αριστερά) και αρσενικό ενήλικο (δεξιά) (πηγές: https://www.researchgate.net/figure/Adult-female-lesser-mealworm-Alphitobius-diaperinus-Panzer-This-specimen-taken-from_fig3_255639483, https://www.researchgate.net/figure/Adult-male-lesser-mealworm-Alphitobius-diaperinus-Panzer-This-specimen-taken-from_fig2_25563948).



Εικόνα 5. Αναπαραγωγικά όργανα των ενηλίκων του *Alphitobius diaperinus*: όργανο ωοτοκίας θηλυκού που προεξέχει του υπόλοιπου σώματος σε πλευρική (a) και κοιλιακές όψεις (b,c) και όργανο αναπαραγωγής αρσενικού που προεξέχει (aedeagus) σε πλευρική και κοιλιακή όψη (d) , σε κοιλιακή όψη (e,f) και πλευρική όψη (g) (Esquivel et al. 2012).

1.3 Γεωγραφική εξάπλωση και προέλευση του *A. diaperinus*

Το *A. diaperinus* θεωρείται ότι προέρχεται από την υποσαχάρια Αφρική (Geden et al. 2001; Esquivel et al. 2012; Schawaller & Grimm 2014), ωστόσο στις μέρες μας είναι ένα κοσμοπολίτικο παράσιτο που έχει προσαρμοστεί απόλυτα στις ζεστές και υγρές συνθήκες των πτηνοτροφείων (Hagstrum & Subramayam 2009; Lyons et al. 2016; Szczepanik et al. 2018). Πιστεύεται ότι η εισαγωγή του σε εγκαταστάσεις παραγωγής πουλερικών εμφανίστηκε μέσω μολυσμένων ζωοτροφών (O' Connor 1987). Παρ'όλα αυτά, η πολύ ραγδαία και ταχεία εξάπλωση του οφείλεται στο γεγονός ότι στη γεωργική πρακτική χρησιμοποιούνται κοπριές πουλερικών ως λιπάσματα (Kaufman et al. 2002; Calibeo-Hayes et al. 2005). Στις μέρες μας, προσβολές του εντόμου έχουν καταγραφεί στη Βραζιλία (Chernaki-Leffer et al. 2002, 2007), στις Η.Π.Α (Hamm et al. 2006; Kaufman et al. 2008), στην Αφρική (π.χ Νιγηρία) (Banjo et al. 2004), στην Ευρώπη (π.χ Ολλανδία) (Hazeleger et al. 2008), στην Ασία (π.χ Πακιστάν) (Hosen et al. 2004), στην Αυστραλία (Lambkin 2005; Lambkin & Rice 2006, 2007; Lambkin et al.

2008) και στη Νέα Ζηλανδία (Bates et al. 2004), αποκαλύπτοντας με αυτό τον τρόπο την ευρεία κατανομή του εντόμου-παρασίτου σε όλα τα μήκη και πλάτη του πλανήτη.

1.4 Διατροφικές προτιμήσεις του *A. diaperinus*

Όσον αφορά στις διατροφικές του προτιμήσεις, το *A. diaperinus* έχει μεγάλο και ευρύ φάσμα τροφικών υποστρωμάτων με τα οποία μπορεί να τραφεί και να αναπαραχθεί, καθώς έχει βρεθεί ότι έχει σχέση με 89 διαφορετικά υποστρώματα τροφής (Hagstrum et al. 2013), συμπεριλαμβανομένων των υποστρωμάτων ζωικής προέλευσης (π.χ ιχθυάλευρα, αποξηραμένα ψάρια, δέρμα και κόκκαλα ζώων), των αποθηκευμένων προϊόντων φυτικής προέλευσης, κυρίως δημητριακών (π.χ σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι και ρύζι) και άλλων σχετικών αμυλώδων προϊόντων (π.χ αλεύρι και πίτουρο) (Hagstrum et al. 2013). Σχετικές μελέτες αναφέρουν την παρουσία του συγκεκριμένου εντόμου σε διάφορες εγκαταστάσεις αποθήκευσης (π.χ σιλό, μύλοι, αποθήκες) στις οποίες συνυπάρχει με άλλα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων (Buchelos & Athanassiou 1993, 1998, 1999 και Athanassiou & Buchelos 2000a, 2000b, 2001). Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, έχει βρεθεί με το συγγενικό του είδος *Alphitobius laevigatus* (Coleoptera: Tenebrionidae) (Buchelos & Athanassiou 1993). Ωστόσο, σε αντίθεση με τα πτηνοτροφεία, στα οποία βρίσκεται μαζί με μύγες, οι οποίες είναι το κυρίαρχο παράσιτο (Strother & Steelman 2001, Calibeo-Hayes et al. 2005, Retamales et al. 2011), μελέτες σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης σιτηρών και συναφή αμυλώδων προϊόντων ταξινομούν το *A. diaperinus* ως ένα δευτερεύον έντομο-παράσιτο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αποτελέσματα της μελέτης των Αθανασίου και Μπουχέλου (2001), όπου η παρουσία του εντόμου σε σιδερένια δοχεία που περιείχαν σιτάρι, βρέθηκε μειωμένη, αντίθετα με άλλα είδη σκαθαριών, όπως το *Sitophilus oryzae* (L) (Coleoptera: Curculionidae), το κόκκινο σκαθάρι του αλευριού, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) και τέλος το *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae) που ήταν τα είδη που βρίσκονται σε αφθονία στο τέλος αυτής της έρευνας. Επίσης, οι Μπουχέλος και Αθανασίου (1999) σε μία άλλη μελέτη, το βρήκαν να απαντάται σε μεγαλύτερους αριθμούς σε σύγκριση με την προηγούμενη μελέτη, στο κριθάρι, ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση δεν ήταν μεταξύ των κυρίαρχων ειδών. Αυτές οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι υπάρχει ενδοειδικός ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών που προσβάλλουν αποθηκευμένα προϊόντα σε καταστάσεις αποθήκευσης σε σιτηρά, και το *A. diaperinus* δεν βρίσκεται στην κυριαρχούσα πλευρά, καθώς είναι ανίκανο να ανταγωνιστεί τα υπόλοιπα συνυπάρχοντα είδη. Είναι φανερό ότι, το

συγκεκριμένο έντομο, προτιμάει τα συστήματα παραγωγής πουλερικών (Εικόνα 6) και συναφή περιβάλλοντα, στα οποία έχει προσαρμοστεί καλά, καθώς είναι διαφορετικά από τα συστήματα αποθήκευσης σιτηρών.



Εικόνα 6. Μονάδα παραγωγής πουλερικών στην Αγγλία (πηγή:

<https://www.poultryworld.net/poultry/building-a-flag-ship-poultry-farm-in-the-uk/>).

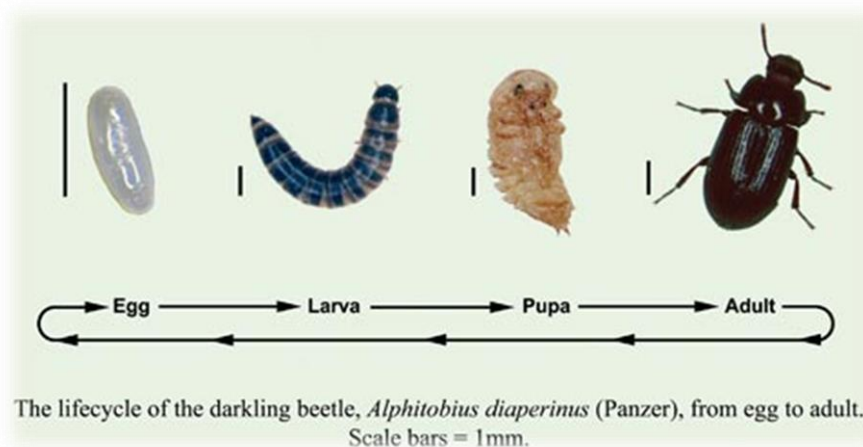
1.5 Βιολογία και οικολογία του *A. diaperinus*

Τα ζευγαρωμένα θηλυκά γεννούν τα αυγά τους σε ομάδες σε στρώσεις στα πτηνοτροφεία ή σε τροφίμα που είτε είναι χυμένα και διάσπαρτα είτε είναι αποθηκευμένα, εντός έξι έως δέκα ημερών μετά το ζευγάρωμα (Axtell 1994). Οι προνύμφες εκκολάπτονται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 15 και 38 °C εντός τριών έως δέκα ημερών, ενώ πρέπει να αναφερθεί ότι η εκκόλαψη δεν πραγματοποιείται πέρα από τα όρια αυτής της θερμοκρασίας (Axtell 1994; Rueda & Axtell 1996). Το στάδιο της προνύμφης διαρκεί περίπου μεταξύ 1-7 μήνες, κατά τη διάρκεια των οποίων οι προνύμφες περνούν 6 έως 11 εκδύσεις ανάλογα με την υπάρχουσα θερμοκρασία και τις συνθήκες διατροφής (Axtell 1994; Francisco & Prado 2001). Οι ώριμες προνύμφες μετακινούνται σε προστατευμένα μέρη και δημιουργούν κοιλάττες προκειμένου να ξεκινήσουν το στάδιο της νύμφωσης μέχρι να γίνουν νύμφες. Απορρίματα, κοπρία, χώμα κάτω από τις στρώσεις που βρίσκονται, ακόμα και μονώσεις κτιρίων έχουν αναγνωριστεί ως

τοποθεσίες στις οποίες συμβαίνει αυτό (Εικόνα 7) (Despins 1987, Stafford et al. 1988). Η διάρκεια του σταδίου της νύμφωσης είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία και διαρκεί από 4-14 ημέρες (Axtell 1994). Τα ενήλικα του *A. diaperinus* από την άλλη πλευρά, μπορούν και επιβιώνουν για πολλούς μήνες έως και ένα χρόνο σε εργαστηριακές συνθήκες όπου τρέφονται με διάφορα υποστρώματα τροφής (Esquivel et al. 2012). Τα ενήλικα θηλυκά τοποθετούν τα αυγά τους σε προστατευμένες θέσεις και είναι σε θέση να παράγουν στη διάρκεια της ζωής τους 1.000 έως 1.800 γόνιμα αυγά (Axtell 1994). Ο κύκλος ζωής ολοκληρώνεται σε 30-80 ημέρες σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 21 και 35 °C συνήθως είναι και οι επικρατέστερες στα πτηνοτροφεία (Εικόνα 8) (Rueda & Axtell 1996).



Εικόνα 7. Μεγάλος πληθυσμός των ενηλίκων του *Alphitobius diaperinus* σε απορρίματα πουλερικών (πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Adult-lesser-mealworms-Alphitobius-diaperinus-Panzer-on-poultry-refuse-Credits_fig11_255639483).



Εικόνα 8. Ο κύκλος ζωής του *Alphitobius diaperinus*. Από αυγό σε προνύμφη, από προνύμφη σε νύμφη και από νύμφη σε ενήλικο (πηγή: <https://www.poultryhub.org/all-about-poultry/husbandry-management/pest-mangement/darkling-beetles>).

Η ανάπτυξη και η επιβίωση όλων των σταδίων της ζωής εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία και όχι από την υγρασία, καθώς το *A. diaperinus* παρουσιάζει ανεκτικότητα σε ένα μεγάλο φάσμα καθεστώτων υγρασίας, συμπεριλαμβανομένων σχετικά ξηρών βιότοπων (Axtell 1994). Ακόμη, έχει παρατηρηθεί κανιβαλισμός μεταξύ των εντόμων που βρίσκονται σε συνθήκες συνωστισμού (Axtell 1994) και τέλος, όντας νυχτόβιο είδος έχει προσαρμοστεί σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού που υπάρχουν στις πτηνοτροφικές εγκαταστάσεις (Esquivel et al. 2012).

1.6 Έλεγχος και καταπολέμηση

Ο έλεγχος των πληθυσμών του *A. diaperinus* σε πτηνοτροφεία επιτυγχάνεται κυρίως με την εφαρμογή εντομοκτόνων επαφής, πρωτίστως με πυρεθροειδή και οργανοφωσφορικά στους τοίχους και στα δάπεδα τους (Cogan et al. 1996; Kaufman et al. 2008; Steelman 2008; Gazoni et al. 2012; Lyons et al. 2016; Oliveira et al. 2016; Hickman et al. 2018). Το επίπεδο ευαισθησίας διάφορων πληθυσμών στα εντομοκτόνα εξαρτάται από την δραστική ουσία που περιέχει το καθένα (Tomberlin et al. 2018; Lyons et al. 2016), από το στάδιο ανάπτυξης, τη γεωγραφική προέλευση (Kaufman et al. 2008), καθώς και από τον τύπο της επιφάνειας πάνω στην οποία εφαρμόζεται (Vaughan & Turner 1984; Lyons et al. 2016). Τα στοιχεία δείχνουν ότι ικανοποιητικός έλεγχος έχει επιτευχθεί με τις παρακάτω δραστικές ουσίες: permethrin, cyfluthrin (Weaver 1996; Kaufman et al. 2008), cypermethrin (Oliveira et al. 2016), b-cyfluthrin (Lyons et al. 2016), tetrachlorvinphos (Kaufman et al. 2008). Για παράδειγμα η έρευνα του Lyons (2014) που μελέτησε την ευαισθησία του *A. diaperinus* από έξι πληθυσμούς στις δραστικές b-cyfluthrin και permethrin που εφαρμόστηκαν ως επιφανειακές εφαρμογές σε διάφορες επιφάνειες, κατέγραψαν ποικίλα επίπεδα ευαισθησίας για τους διάφορους πληθυσμούς και τα εντομοκτόνα που δοκιμάστηκαν. Ενδεικτικά, για τη δραστική permethrin η μεγαλύτερη θνησιμότητα των εντόμων εμφανίστηκε στο σκυρόδεμα, ανεξαρτήτως του διαστήματος έκθεσης, ενώ για την b-cyfluthrin σημαντικά λιγότερα ενήλικα βρέθηκαν νεκρά σε μοριοσανίδες σε σύγκριση με επεξεργασμένο ξύλο, μετά από δύο ώρες έκθεσης (Lyons et al. 2016). Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι ο υποκαπνισμός με φωσφίνη ήταν αποτελεσματικός κατά των ενηλίκων και των προνυμφών του *A. diaperinus* σε δοκιμές που πήραν μέρος και στο εργαστήριο αλλά και σε εξωτερικό χώρο, ωστόσο, ζητήματα ασφαλείας που σχετίζονται με τη χρήση φωσφίνης στις εγκαταστάσεις παραγωγής πουλερικών ακόμα πρέπει να ξεπεραστούν για να πάρει το πράσινο φως η έγκριση της συγκεκριμένης μεθόδου καταπολέμησης (Gazoni et al. 2011).

Ανθεκτικότητα του A. diaperinus σε δραστικές ουσίες εντομοκτόνων

Η μακροχρόνια εξάρτηση από τα συμβατικά συνήθως χρησιμοποιούμενα εντομοκτόνα, καθώς και ο περιορισμένος αριθμός χημικών εντομοκτόνων που έχουν καταχωριστεί για χρήση και καταπολέμηση κατά του *A. diaperinus* έχει οδηγήσει σε πολλές περιπτώσεις στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας σε αυτά (Tomberlin et al. 2008). Οι πρώτες αναφορές ανάπτυξης αντοχής στα εντομοκτόνα εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1990 (Wakefield & Cogan 1990; Cogan et al. 1996). Από τότε, έχουν υπάρξει και άλλες αναφορές από διάφορους ερευνητές όσον αφορά την αντοχή σε διάφορα εντομοκτόνα, όπως για παράδειγμα στη δραστική cyflouthrin στις Η.Π.Α (Hamm et al. 2006; Steelman 2008; Lyons 2014; Singh & Johnson 2015) και στην Αυστραλία (Lambkin & Rice 2006; Lambkin et al. 2010). Ακόμη, ανθεκτικότητα έχει εμφανιστεί και στις δραστικές tetrachlorvinphos (Singh & Johnson 2015), fenitrothion (Cogan et al. 1996, Lambkin 2005), cypermethrin, dichlorvos (Chernaki-Leffer et al. 2011), permethrin (Cogan et al. 1996), chlorpyrifos (Hickmann et al. 2018).

Εναλλακτική καταπολέμηση

Χημικές ενώσεις με διαφορετικό τρόπο δράσης από τα συμβατικά εντομοκτόνα (οργανοφωσφορικά και πυρεθροειδή) όπως το spinosad (Lambkin & Rice 2007; Lambkin & Furlong 2014; Singh & Johnson 2015), το imidacloprid (Singh & Johnson 2015) καθώς και οι ρυθμιστές ανάπτυξης των εντόμων (Edwards & Abraham 1985; Weaver & Kondo 1987; Miller & Redfern 1988; Chernaki-Leffer et al. 2011; Singh & Johnson 2013) έχουν προταθεί ως τα εναλλακτικά μέσα ελέγχου για ανθεκτικούς πληθυσμούς εντόμων του είδους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Singh και Johnson (2013) αξιολόγησαν τρεις διαφορετικούς τύπους ρυθμιστών ανάπτυξης εντόμων, όπως fenoxycarb, diflubenzuron, 20-hydroxyecdysone (20E), κατά διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης του *A. diaperinus* και κατέληξαν στο γεγονός ότι και οι τρεις αυτοί ρυθμιστές ανάπτυξης προκάλεσαν τοπική, διατροφική και υπολλεϊματική τοξικότητα στο είδος. Η ευαισθησία των -ανεκτικών ως προς τη χρήση των πυρεθροειδών και των οργανοφωσφορικών- πληθυσμών του είδους στις δραστικές ουσίες cyflouthrin και gamma-cyhalothrin αυξήθηκε μετά τη θεραπεία με spinosad, πράγμα που αποδεικνύει τη συνεργαστική δράση των πυρεθροειδών και του spinosad σε ανθεκτικούς πληθυσμούς του *A. diaperinus* (Lambkin & Furlong 2014).

Ελπιδοφόρα αποτελέσματα έχουν ληφθεί επίσης με τη χρήση αλληλοχημικών, όπως τα φυτικά εκχυλίσματα και οι δευτερογενείς φυτικοί μεταβολίτες (Szczerpanik et al. 2008, 2012, 2018; Szczerpanik & Szumny 2011; Arena et al. 2018). Για παράδειγμα το εκχύλισμα του

αστεροειδούς γλυκάνισου (*Illicium verum*) είχε αντιδιατροφική επίδραση στις προνύμφες του *A. diaperinus* (Szczerpanik & Szumny 2011). Ομοίως, η έρευνα των Baran et al. (2018) απέδειξε σε τεστ συμπεριφοράς που έγιναν, την απωθητική δράση τεσσάρων λιπαρών πτητικών οξέων, δηλαδή του μυρμηγκικού, του οξικού, του προπιονικού και του βουτυρικού οξέως στά ενήλικα του είδους, με το μυρμηγκικό οξύ να είναι αποτελεσματικό ακόμα και στη μικρότερη δόση εφαρμογής που αξιολογήθηκε. Επίσης, ένα επιπλέον παράδειγμα εναλλακτικής καταπολέμησης αποτελεί το γεγονός ότι τα αιθέρια έλαια του *Dysphania ambrosioides* (L.) (Mosyakin & Clemants) (τσάι του Μεξικού) και του *Tagetes minuta* L. (Asteraceae) παρουσίασαν μεγάλη τοξικότητα επαφής στα ενήλικα του *A. diaperinus*, ενώ όταν εφαρμόστηκαν σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε συνδυασμό με την δραστική cypermethrin αύξησαν την δραστηριότητα του πυρεθροειδούς και ενίσχυσαν την αποτελεσματικότητα του (Arena et al. 2018). Πάντως, πρέπει να αναφερθεί σε αυτό στο σημείο ότι, η βιβλιογραφία που αφορά στην έρευνα για την αξιολόγηση του βιολογικού ελέγχου κατά του *A. diaperinus* είναι περιορισμένη.

Προβλήματα και περιορισμοί στη χρήση εντομοκτόνων

Εκτός από την ανάπτυξη ανθεκτικότητας, ο χημικός τρόπος καταπολέμησης με τη χρήση εντομοκτόνων παρουσιάζει περαιτέρω περιορισμούς, καθώς τα περισσότερα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα εντομοκτόνα μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε περιόδους καθαρισμού των περιττωμάτων, όταν δηλαδή τα πουλερικά είναι εκτός των πτηνοτροφικών εγκαταστάσεων και όχι κατά τη διάρκεια ανάπτυξής τους (Lyons et al. 2016). Ειδικότερα, σε ορνιθοτροφεία αναπαραγωγής, όπου τα πουλερικά μεγαλώνουν για πολύ μεγαλύτερο διάστημα πριν τον καθαρισμό, οι χημικές εφαρμογές είναι περιορισμένες, οδηγώντας με αυτό τον τρόπο στην αύξηση του πληθυσμού του *A. diaperinus* λόγω των ευνοϊκών συνθηκών που επικρατούν, ιδιαίτερα στα τελευταία στάδια του κύκλου παραγωγής (Rumbos et al. 2019). Επιπρόσθετα, η κρυπτική συμπεριφορά που παρουσιάζει το είδος, έχει ως αποτέλεσμα την απόκρυψη του σε βαθύτερα στρώματα της στρώμνης αποφεύγοντας έτσι την άμεση επαφή του με τα εντομοκτόνα, κάτι το οποίο επηρεάζει αρνητικά την αποτελεσματικότητα του χημικού ελέγχου (Szczerpanik et al. 2018). Αυτοί οι περιορισμοί, σε συνδυασμό με την ανησυχία της κοινής γνώμης όσον αφορά στους κινδύνους της υγείας που συνδέονται με την παρουσία χημικών υπολειμμάτων στις ζωικές τροφές, έχουν πυροδοτήσει την ανάπτυξη και αξιολόγηση άλλων τεχνικών αντιμετώπισης του *A. diaperinus* εκτός από το χημικό έλεγχο (Watson et al. 2003). Πιο συγκεκριμένα, η αξιολόγηση των θερμών και ψυχρών εφαρμογών έδειξε υποσχόμενα αποτελέσματα (Gazoni et al. 2012; Wolf et al. 2015). Όταν η θερμοκρασία

αυξήθηκε στους 45 °C για 24 ώρες, καταγράφηκε θνησιμότητα υψηλότερη του 90% για τις προνύμφες και τα ενήλικα του είδους (Wolf et al. 2015), όπως και στους 48 °C για τα ενήλικα (Salin et al. 2003). Από την άλλη, οι ψυχρές εφαρμογές σε εργαστηριακές βιοδοκιμές προκάλεσαν θάνατο σε όλα τα ενήλικα και σε όλες τις προνύμφες, μετά από έκθεση τους στους 10 °C για 75 και 60 λεπτά αντίστοιχα (Gazoni et al. 2012).

Υιοθέτηση ορθής αντίληψης και διαχείρισης από τους αγρότες

Καθώς αναφέρονται συνεχώς αποτυχίες στον έλεγχο των πληθυσμών του *A. diaperinus*, οι αγρότες με τη σειρά τους πρέπει να υιοθετήσουν μια πιο ορθή αντίληψη καταπολέμησης, αξιοποιώντας έναν ευρύ συνδυασμό εργαλείων ελέγχου (Rumbos et al. 2019). Ένα σχέδιο ολοκληρωμένης διαχείρισης για τον έλεγχο του είδους στις πτηνοτροφικές εγκαταστάσεις θα μπορούσε να περιλαμβάνει την εφαρμογή φυσικών, βιολογικών και χημικών μέσων. Σε εργαστηριακές βιοδοκιμές, η συνδυασμένη εφαρμογή υδροξειδίου του ασβεστίου (σβησμένη άσβεστος), αυξημένης θερμοκρασίας (45 °C) και σχετικής υγρασίας (45%), καθώς και ενός εντομοκτόνου που αποτελείται από τις δραστικές cypermethrin, chlorpyrifos και citronellal, παρείχαν πλήρη έλεγχο του είδους, πράγμα που δεν θα συνέβαινε εάν οι θεραπείες αυτές εφαρμόζονταν καθεμία ξεχωριστά (Wolf et al. 2015). Ομοίως, η συνδυασμένη εφαρμογή δραστικών που έχουν αποτελεσματικότητα στα ενήλικα (cyfluthrin) αλλά και στις προνύμφες (triflumuron) μπορεί να μειώσει δραματικά τους πληθυσμούς των ενήλικων και των προνυμφών του *A. diaperinus* σε πτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, σε όλες τις διαφορετικές περιόδους ανάπτυξης των πουλερικών (Salin et al. 2003).

Μία τέτοια στρατηγική, θα πρέπει να βασίζεται στη λεπτομερή παρακολούθηση του είδους εντός των εγκαταστάσεων, έτσι ώστε τα μέτρα ελέγχου να προσαρμοστούν σύμφωνα με τη χωροταξική και χρονική κατανομή του (Rumbos et al. 2019). Διαφορετικού είδους παγίδες έχουν κατασκευαστεί για την παρακολούθηση του *A. diaperinus* (Safrit & Axtell 1984; Stafford et al. 1988; Salin et al. 2000; Strother & Steelman 2001; Chernaki-Leffer et al. 2007; Lambkin et al. 2008; Pinto et al. 2010). Οι σωληνοπαγίδες Arends που αποτελούνται από κυματοειδές χαρτόνι και βρίσκονται εντός ενός PVC σωλήνα, αξιολογήθηκαν με επιτυχία και χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκτίμηση της πληθυσμιακής δυναμικής του είδους στις εγκαταστάσεις πουλερικών (Stafford et al. 1988; Salin et al. 2000; Strother & Steelman 2001; Chernaki-Leffer et al. 2007). Επιπρόσθετα, στην περίπτωση των αποθηκευμένων σιτηρών, επιτυχημένη δειγματοληψία των ατόμων του *A. diaperinus* υπάρχει όταν χρησιμοποιούνται παγίδες τύπου probe, παγίδες pitfall και σόντες (Buchelos & Athanassiou 1999; Athanassiou & Buchelos 2000a,b, 2001). Η βαθύτερη γνώση όσον αφορά την κατανομή του είδους σε μια

εγκατάσταση παραγωγής πουλερικών, μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες και πιο ολοκληρωμένες στρατηγικές ελέγχου, προσδιορίζοντας τις τοποθεσίες που συγκεντρώνεται ο μεγαλύτερος αριθμός του εντόμου, και έτσι να πραγματοποιούνται πιο ορθολογικές και στοχευμένες εφαρμογές καταπολέμησης (Rumbos et al. 2019).

Αντιμετώπιση με φερομόνες

Αν και είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται εργαλεία με βάση τις φερομόνες για τον έλεγχο διαφόρων ειδών σκαθαριών, στην περίπτωση του *A. diaperinus* αυτό δεν ήταν δυνατόν μέχρι πρόσφατα να συμβεί, καθώς καμία φερομόνη δεν είχε αναγνωριστεί για το είδος (Rumbos et al. 2019). Το 2009 οι Bartelt et al. (2009) ήταν οι πρώτοι που αναγνώρισαν πέντε χημικές ενώσεις, τις [(R)-(+)-limonene, (E)-b-ocimene, (S)-(+)-linalool, (R)-(+)-daucene και 2-nonanone], οι οποίες εκμπεμπονταν από ένα συγκεκριμένο πληθυσμό αρσενικών του είδους στην Αμερική, όπου το συνθετικό μείγμα των ενώσεων αυτών ήταν ελκυστικό και για τα αρσενικά και για τα θηλυκά του είδους. Ταυτόχρονα, οι ενώσεις αυτές αύξησαν την αποτελεσματικότητα των φερομονικών δολωματικών παγίδων, σε σύγκριση με τις απλές παγίδες ελέγχου, σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε πτηνοτροφεία (Bartelt et al. 2009; Singh & Johnson 2012). Το 2016, οι Hassemer et al. (2016) εντόπισαν ένα έκτο συστατικό, το (E,E)-a-farnesene, από έναν πληθυσμό της Βραζιλίας, ωστόσο επειδή η έρευνα για τη χημική οικολογία του είδους βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδια, η εφαρμογή της φερομόνης αυτής σε στρατηγικές ελέγχου έχει πολύ δρόμο ακόμη μέχρι να γίνει πράξη (Rumbos et al. 2019).

1.7 Προβλήματα στην παραγωγή ευρέως διαδεδομένων ζωοτροφών

Η παραγωγή τροφίμων ζωικής προέλευσης γίνεται όλο και πιο ακριβή από οικονομική και περιβαλλοντική άποψη. Αυτή η κατάσταση προκαλείται κυρίως λόγω της αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού και των συνεχών αλλαγών στις διατροφές και ανάγκες του ανθρώπου (Sánchez-Muros et al. 2016). Η διατροφή των ζώων είναι μία από τις πιο ακριβές πτυχές της ζωικής παραγωγής και είναι πολύ επιζήμια για το περιβάλλον (Sánchez-Muros et al. 2016). Η παγκόσμια παραγωγή ζωοτροφών υπολογίζεται σε περίπου 1000 εκατομμύρια τόνους/έτος, συμπεριλαμβανομένων 600 εκατομμυρίων τόνους/έτος σύνθετων ζωοτροφών (FAO, 2004a), παίζοντας μεγάλο ρόλο στη χρησιμοποίηση της πρωτογενούς παραγωγής (η καθαρή βιομάζα που παράγεται από τα φυτά), στην οξίνιση του εδάφους, στη κλιματική αλλαγή, στη συνεχή

εξάρτηση από νερό και στις μεγάλες πλέον εκτάσεις κατοχής της γης από την κτηνοτροφία (Mungkung et al. 2013).

Οι διατροφικές ανάγκες των μονογαστρικών ειδών περιλαμβάνουν υψηλή ποιότητα και υψηλές ποσότητες πρωτεΐνης στη διατροφή τους (Sánchez-Muros et al. 2016). Από διατροφικής άποψης, εκτός από τη σταθερή ποιοτική και ποσοτική παραγωγή, οι θρεπτικές πηγές πρέπει να έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, επαρκή ποσότητα αμινοξέων, υψηλή γευστικότητα, υψηλή πεπτικότητα, χωρίς να υπάρχουν αντιθρεπτικοί παράγοντες (Barows et al. 2008). Επί του παρόντος, οι κύριες πηγές πρωτεϊνών για τις ζωοτροφές είναι τα ιχθυάλευρα και τα σογιάλευρα, όμως και τα δύο αυτά προϊόντα συνδέονται με πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, η καλλιέργεια της σόγιας προκαλεί την αποψίλωση δασικών περιοχών με μεγάλη βιολογική αξία (Carvalho 1999; Osava 1999) ενώ είναι συνυφασμένη με την κατανάλωση μεγάλης ποσότητας νερού, φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων (Carvalho 1999), όπως και με τη χρήση διαγονιδιακών ποικιλιών (Garcia & Altieri 2005) τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν περιβαλλοντική υποβάθμιση. Από την άλλη πλευρά, το ιχθυάλευρο είναι ένας πόρος που εξαρτάται από τα αλιεύματα. Η υποβάθμιση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και η υπεραλίευση, έχει οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή ιχθυάλευρου και ως εκ τούτου, η παραγωγή είναι ποσοτικά και ποιοτικά μεταβλητή (AFRIS, 2015). Επιπλέον, η αύξηση της ζήτησης οδήγησε σε υψηλότερες τιμές, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης από 600 δολάρια/έτος το 2005 σε 2000 δολάρια/έτος έως τον Ιούνιο του 2010, με την τάση αύξησης των τιμών να είναι πιθανό να συνεχιστεί (Διεθνές Νομισματικό Ταμείο 2010) επειδή το απαγορευτικό κόστος των ζωοτροφών, όπως είναι τα ιχθυάλευρα, τα σογιάλευρα και τα κρεατάλευρα, είναι οι κύριοι περιορισμοί για περαιτέρω ανάπτυξη (Sánchez-Muros et al. 2016). Απαιτούνται αλλαγές και καινοτομία σε πολλά συστήματα κτηνοτροφικής παραγωγής εάν θέλουν να ανταποκριθούν στο παρόν και το μέλλον των απαιτήσεων που αφορούν τα ζωικά προϊόντα. Στο πλαίσιο αυτό, η έρευνα και η εμπορική εφαρμογή νέων τροφών, ιδίως των πλούσιων σε πρωτεΐνες, για τη διατροφή των ζώων, είναι απαραίτητη για να υπάρξει βιώσιμη ζωική παραγωγή (Sánchez-Muros et al. 2016). Αρκετά υποπροϊόντα και απόβλητα από διάφορες βιομηχανίες έχουν εξεταστεί ως προς τις δυνατότητες τους ως ενδεχόμενες επιλογές ζωοτροφών με ποικίλα αποτελέσματα, επιτρέποντας διαφορετικά επίπεδα συμπερίληψης συστατικών, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο από τις παραδοσιακές ζωοτροφές, όμως τα ποικίλα αποτελέσματα ποιότητας και η περιορισμένη παραγωγή είναι δύο σημαντικοί περιορισμοί (Sánchez-Muros et al. 2016).

1.8 Χρησιμοποίηση εντόμων ως ζωοτροφές

Σήμερα, υπάρχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για τον ρόλο των εντόμων στη διατροφή των ζώων. Μελέτες θρεπτικής σύνθεσης έδειξαν ότι πρωτεΐνες που προέρχονται από διάφορα είδη εντόμων είναι υψηλής ποιότητας και απαντώνται σε μεγάλες ποσότητες (Ladrón de Guevara et al. 1995; Ramos-Elorduy et al. 1981, 1982, 1984, 1997). Επίσης, έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες των ποσοστών πρωτεΐνης πολλών ειδών εντόμων, οι οποίες έχουν αποκαλύψει το γεγονός ότι υπάρχουν πολλά είδη εντόμων με υψηλότερα επίπεδα πρωτεΐνης από τα ιχθυάλευρα και τα σογιάλευρα (Sánchez-Muros et al. 2016). Οι υψηλότερες τιμές έχουν βρεθεί στα κολεόπτερα (*Metamasius spinolae* Gyllenhal, 69,1 %, *Rhantus atricolor* Aubé, 71,1%), στα δίπτερα [κοινή μύγα των φρούτων (*Drosophila melanogaster* Meigen, 70,1%)] και στην τάξη των ορθόπτερων (π.χ στα είδη *Boopedon flaviventris* Bruner, 76%, *Melanoplus mexicanus* Saussure 77,1% *Sphenarium histrio* Gerstaecker, 74,8%) (Sánchez-Muros et al. 2016). Επιπρόσθετα, εκτός από τις θρεπτικές τους ιδιότητες, η χρήση των εντόμων ως ζωοτροφή συνεπάγεται ορισμένα περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς τα έντομα επίσης τρέφονται με οργανικά απόβλητα, κάτι το οποίο μπορεί να βοηθήσει στην ανακύκλωση της οργανικής ύλης (Sánchez-Muros et al. 2016). Επιπλέον, σε σύγκριση με τα ζώα, η χρήση εντόμων θα μπορούσε να οδηγήσει στη μείωση των εκλυόμενων αερίων του θερμοκηπίου (Oonincx and de Boer 2012) και της αμμωνίας, και θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σε μείωση του ποσοστού κατοχής της γης από τα εκτρεφόμενα ζώα και κατα συνέπεια της αλόγιστης κατανάλωσης του νερού (Van Huis et al. 2013).

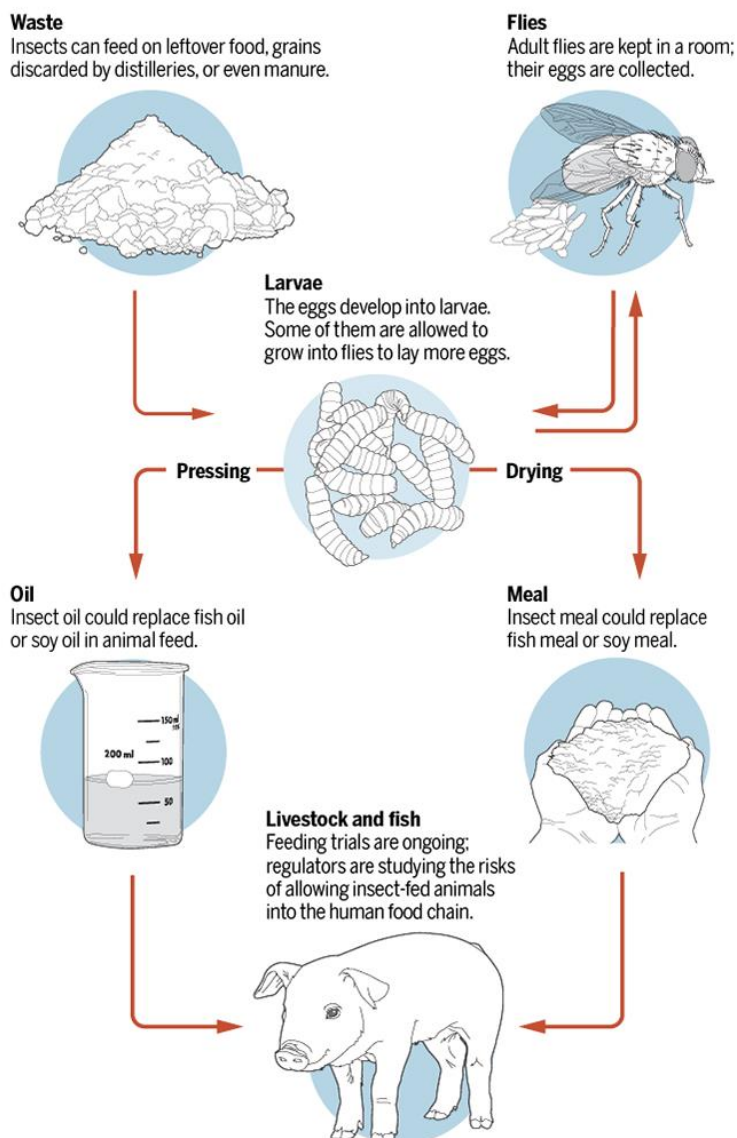
Τα παραπάνω στοιχεία και μελέτες λοιπόν, αποδεικνύουν ακράδαντα ότι ο ρόλος των εντόμων για τον πλανήτη και τον άνθρωπο είναι διττής φύσεως. Εκτός από παράσιτα με καταστροφικές συνέπειες στην υγεία και στη οικονομία, τα έντομα αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη, αποτελεσματική και βιώσιμη πηγή θρεπτικών συστατικών και για τον άνθρωπο και για τα ζώα ως ζωοτροφή. Τα έντομα έχουν για αιώνες συμβάλλει στην κάλυψη των διατροφικών αναγκών πολλών πολιτισμών που δεν ανήκουν στη Δύση και ως τροφή για τον άνθρωπο θεωρούνται θρεπτικά και υγιεινά, αν και η εντομοφαγία γενικότερα δεν είναι συνηθισμένη στην Ευρώπη και στον δυτικό πολιτισμό (Anankware et al. 2015; Adámková et al. 2016).

Πηγή πρωτεϊνών και αμινοξέων

Γενικά, η θρεπτική σύνθεση των εντόμων μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με το είδος του εντόμου, το είδος της διατροφής, το στάδιο της ανάπτυξης, καθώς και από άλλες συνθήκες εκτροφής του εντόμου, όπως η θερμοκρασία και η εντερική φόρτωση δηλαδή μίας διαδικασίας

From spare food to spare ribs

Researchers are studying how to use insects raised on waste to feed farm animals and fish.



Εικόνα 9. Απεικόνιση της χρησιμοποίησης των εντόμων ως πηγές ζωοτροφής. Οι προνύμφες με τη μέθοδο της αποξήρανσης μετατρέπονται σε εντομάλευρα προς αντικατάσταση των συμβατικών τροφών ή εξάγονται τα έλαια τους προκειμένου να τραφούν από τα ζώα (πηγή: <https://www.science.org/content/article/feature-why-insects-could-be-ideal-animal-feed>).

κατά την οποία το έντομο τρέφεται με ζωτικά θρεπτικά συστατικά προκειμένου να ταϊστεί σε άλλα ζώα (Rumbold & Schlüter 2013b; Vrabec et al. 2015; Adámková et al. 2016). Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη για τα περισσότερα είδη εντόμων κυμαίνεται μεταξύ 400 και 700 g/kg ξηρής ύλης (Rumpold & Schluter 2013b; Bosch et al. 2014; Makkar et al. 2014; Sanchez-

Muros et al. 2014), που είναι συγκρίσιμη με την τιμή των παραδοσιακών πηγών ζωικής πρωτεΐνης στη διατροφή τόσο των ανθρώπων όσο και των εκτρεφόμενων ζώων, αλλά είναι υψηλότερη από τις τιμές των συμβατικών τροφών που χρησιμοποιούνται στις ιχθυοκαλλιέργειες και έχουν ως βάση τα φυτά (Feedipedia, 2018b). Πιο συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των σπόρων δημητριακών είναι 100-200 g/kg ξηρής ύλης, των οσπρίων 180-450 g/kg ξηρής ύλης και των ελαιοδοτικών φυτών 170-540 g/kg ξηρής ύλης (Feedipedia, 2018b). Αυτή η φανερή διαφορά στις τιμές, είναι και η αιτία που κάνουν τα έντομα ιδιαίτερα ελκυστικές πηγές πρωτεΐνης για τις ζωοτροφές. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη ενός συγκεκριμένου εντόμου χαμηλής διατροφικής ποιότητας, μπορεί να αυξηθεί με τη διαδικασία της αφαίρεσης λίπους, η οποία εφαρμόζεται συνήθως για τη μείωση των επιπέδων λιπιδίων σε αυτού του είδους τα έντομα (Henry et al. 2015). Επιπρόσθετα, η πρωτεΐνη περιλαμβάνει απαραίτητα αμινοξέα, όπως η λυσίνη, η μεθειονίνη και η λευκίνη, τα οποία είναι περιορισμένα και βρίσκονται σε έλλειμμα σε πηγές πρωτεΐνης φυτικής προέλευσεως (Hall 1992). Για παράδειγμα, γεύματα από προνύμφες των ειδών *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), *Musca domestica* (κοινή οικιακή μύγα) L. (Diptera: Muscidae), *Hermetia illucens* (μαύρη μύγα στρατιώτης) L. (Diptera: Stratiomyidae) και άλλων διάφορων ειδών ακριδών, όπως επίσης και από νύμφες του είδους *Bombyx mori* (μεταξοσκώληκας) (L.) (Lepidoptera: Bombycidae) μπορούν όλα να χρησιμεύσουν ως πλούσιες πηγές μεθειονίνης (1,4-3,5% επί της συνολικής πρωτεΐνης) και λυσίνης (4,7-7,0% της συνολικής πρωτεΐνης) σε τροφές που προορίζονται για εγκαταστάσεις ιχθυοκαλλιεργειών, με τα επίπεδα αυτά να είναι συγκρίσιμα με τα επίπεδα των ιχθυάλευρων και των ελαιοδοτικών φυτών ως ιχθυοτροφές (Feedipedia 2018a).

Τέλος, η πεπτικότητα της πρωτεΐνης των εντόμων είναι ένας σημαντικός παράγοντας ως προς την αξιοποίησή τους ως ζωοτροφές, αλλά έως και σήμερα λίγα πράγματα είναι γνωστά στη διεθνή βιβλιογραφία (Sánchez-Muros et al. 2016). Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στα ψάρια, δείχνουν ότι η διατροφή τους μπορεί να περιλαμβάνει ένα ποσοστό εντομοφαγίας χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στην πεπτικότητα, όμως αυτό το ποσοστό εξαρτάται από το είδος του εντόμου και από το ζωικό είδος που το καταναλώνει (Sánchez-Muros et al. 2016). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Kroeckel et al. (2012) που ένω αντικατέστησε το 33% της διατροφής του καλκανιού *Psetta maxima* (είδος ψαριού) με τη μαύρη μύγα στρατιώτη, δεν επηρεάστηκε η πεπτικότητα των πρωτεΐνων, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στον σολωμό του Ατλαντικού που του είχε εφαρμοστεί η ίδια ακριβώς διατροφή με το καλκάνι (βρεθηκε χαμηλή πεπτικότητα πρωτεΐνης).

Πηγή λιπιδίων και λιπαρών οξέων

Μία ακόμη ενδιαφέρουσα πτυχή των εντόμων ως ζωοτροφή είναι το επίπεδο και η ποιότητα της περιεκτικότητας τους σε λιπίδια η οποία σε ορισμένα είδη μπορεί να φτάσει έως και το 77% της σύστασης του σώματος σε ορισμένα έντομα, όπως στις προνύμφες του *Phassus triangularis* (είδος νυχτοπεταλούδας Μεξικού) (Ramos-Elorduy et al. 1997). Το ποσοστό λιπιδίων στα έντομα ποικίλλει ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, και για τα ολομετάβολα είδη που έχουν στάδια προνύμφης και νύμφης, είναι υψηλότερο στις νύμφες και στις προνύμφες, παρά στα ενήλικα (Sánchez-Muros et al. 2014). Επιπλέον, το ποσοστό λιπιδίων στις προνύμφες και στα ενήλικα τείνει να είναι μεγαλύτερο από τα ιχθυάλευρα και τα σογιάλευρα, ένα σημαντικό πλεονέκτημα όταν απαιτούνται δίαιτες υψηλής ενέργειας (π.χ στα κοτόπουλα για παραγωγή κρέατος), καθώς παρέχουν υψηλά ποσοστά ενέργειας (Sánchez-Muros et al. 2016). Όσον αφορά το προφίλ των λιπαρών οξέων, το άλευρο εντόμων παρουσιάζει μειωμένα επίπεδα λινολεϊκού οξέος συγκριτικά με τα σογιάλευρα, όμως σε σχέση με τα ιχθυάλευρα παρουσιάζει υψηλά επίπεδα ω-6 λιπαρών οξέων και χαμηλά επίπεδα ω-3 λιπαρών οξέων (Sánchez-Muros et al. 2016). Τα ψάρια απαιτούν ένα συγκεκριμένο πολυακόρεστο ω-3 λιπαρό οξύ στη διατροφή τους, το εικοσιδιεξαενοϊκό οξύ (22:6 n=3), το οποίο η πλειοψηφία των εντόμων είτε το στερείται είτε το έχει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Makkar et al. 2014).

Χιτίνη

Η παρουσία της χιτίνης, η οποία είναι οργανική ουσία και το κύριο δομικό συστατικό του εξωσκελετού των αρθρόποδων, μπορεί να επηρεάσει την απόδοση ανάπτυξης επηρεάζοντας την πρόσληψη της τροφής, τη διαθεσιμότητα και την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών (Kroeckel et al. 2012). Η χιτίνη με θερμιδικό περιεχόμενο της τάξεως των 17,1 kJ/g, θα μπορούσε να είναι πηγή υδατανθράκων και να αποτελεί σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής πρόσληψης, ωστόσο ένα βασικό χαρακτηριστικό της είναι η δυσκολία της πέψης της από τα ψάρια (Sánchez-Muros et al. 2016) και ότι μπορεί να επηρεάσει τη θρεπτικότητα άλλων θρεπτικών συστατικών όπως των πρωτεϊνών και των λιπιδίων, οδηγώντας σε μείωση της ανάπτυξης (Longvah et al. 2011; Kroeckel et al. 2012). Πειράματα με ψάρια που ακολουθούσαν συγκεκριμένη διατροφή που περιείχε διαφορετικά επίπεδα χιτίνης, έδειξαν πολλά διαφορετικά αποτελέσματα, τα οποία θα μπορούσαν να εξαρτώνται από το είδος των ψαριών ή την προέλευση της χιτίνης (χιτίνη από έντομα ή καρκινοειδή) (Sánchez-Muros et al. 2016).

Βιταμίνες και μέταλλα

Οι βιταμίνες και τα μέταλλα που χρειάζονται τα εκτρεφόμενα ζώα, ποικίλλουν ανάλογα με το είδος, την ηλικία και την φυσιολογία του ζώου αλλά και από την ποιότητα και ποσότητα παραγωγής (Sánchez-Muros et al. 2016). Τα έντομα, είναι καλή πηγή μετάλλων, όπως σιδήρου, καλίου, μαγνησίου, ψευδαργύρου και σεληνίου, αλλά και βιταμινών όπως η ριβοφλαβίνη, το παντοθενικό οξύ, η βιοτίνη, το φολικό οξύ, η βιταμίνη B2 (FAO 2004b; Bukkens 2005). Ακόμη, μερικά είδη έχουν παρουσιάσει υψηλά επίπεδα της B12 βιταμίνης (σκώληκες των άλευρων, γρύλλοι) (Finke 2002; Bukkens 2005), φολικού οξέος (ακρίδες, γρύλλοι, σκαθάρια) και της βιταμίνης B1, ενώ παράλληλα έχουν δείξει έλλειψη στις βιταμίνες A, C, E και στη νιασίνη (FAO 2004b). Όσον αφορά τα μέταλλα, παρόλο που τα περισσότερα είδη εντόμων είναι φτωχά σε ασβέστιο, προνύμφες του είδους *H. illucens* μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μία πηγή ασβεστίου πλουσιότερη από τα ιχθυάλευρα (Εικόνα 10) στη διατροφή των ψαριών (Rumbos et al. 2019), ενώ από την άλλη, παρουσιάζουν πολύ υψηλά επίπεδα φωσφόρου, με τις προνύμφες των ειδών *M. domestica* (οικιακή μύγα) και *Anabrus simplex* Haldeman (Orthoptera: Tettigoniidae) να θεωρούνται ως οι καλύτερες και πλουσιότερες πηγές φωσφόρου για τη διατροφή των ψαριών (Makkar et al. 2014).



Εικόνα 10. Ιχθυάλευρο, διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη πηγή θρεπτικών συστατικών για τις υδατοκαλλιέργειες (πηγή: <https://www.allaboutfeed.net/all-about/new-proteins/heading-towards-total-replacement-of-fish-meal/>)



Εικόνα 11. Εντομάλευρο, εναλλακτική πηγή θρεπτικών στοιχείων ως ζωοτροφή (πηγή: <https://www.allaboutfeed.net/all-about/new-proteins/a-glimpse-at-the-recent-insect-meal-trials/>)

1.9 Αξιοποίηση του *A. diaperinus* ως πηγή ζωοτροφής

Τα ψάρια ως εκτρεφόμενα ζώα χρειάζονται υψηλή ποσότητα και ποιότητα πρωτεΐνης στη διατροφή τους, επομένως απαιτούνται συγκεκριμένα κριτήρια στην επιλογή των κατάλληλων ζωοτροφών. Η διατροφή των υδατοκαλλιεργειών εξαρτάται από τα ιχθυάλευρα λόγω των ιδιαίτερων θρεπτικών χαρακτηριστικών τους, όμως αυτή η εξάρτηση από τα ιχθυάλευρα και η μεγάλη ανάγκη για πρωτεΐνες προερχόμενες από τα ψάρια, καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την εύρεση πηγών πρωτεΐνης για την αντικατάσταση των ιχθυάλευρων, και τα έντομα είναι πολύ καλοί υποψήφιοι (Sánchez-Muros et al. 2016). Ήδη από τις αρχές αυτού του αιώνα είχαν ξεκινήσει κάποιες δοκιμές κατά τις οποίες τα έντομα χρησιμοποιούνται ως πηγή πρωτεΐνης και ιχθυοτροφή στα ψάρια, αλλά τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στις δυνατότητες των εντόμων ως ιχθυοτροφές, με αποκορύφωμα το 2017, οπότε και δώθηκε η έγκριση σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για χρήση των εντόμων στις ιχθυοτροφές (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2017/893) (Rumbos et al. 2019).

Αναλυτικότερα, το 2017 τέθηκε σε ισχύ ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2017/893, μεγάλο ορόσημο για την εκμετάλλευση της πρωτεΐνης των εντόμων, ο οποίος επιτρέπει, ρυθμίζει και διευκρινίζει τη χρήση πρωτεΐνης που προέρχεται από τα έντομα στη διατροφή των ψαριών (Rumbos et al. 2019). Σε αυτόν τον κανονισμό, το *A. diaperinus* έχει πάρει έγκριση μαζί με άλλα έξι είδη εντόμων προς παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα, προκειμένου να

συμπεριληφθεί ως ζωοτροφή στις υδατοκαλλιέργειες (Rumbos et al. 2019). Τα υπόλοιπα είδη, μαζί με το *A. diaperinus* φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Είδη εντόμων των οποίων επιτρέπεται η χρήση στις ιχθυοτροφές στην ΕΕ.

Τάξη	Οικογένεια	Επιστημονική ονομασία	Κοινή ονομασία
Coleoptera	Tenebrionidae	<i>Alphitobius diaperinus</i>	Lesser mealworm
Coleoptera	Tenebrionidae	<i>Tenebrio molitor</i>	Yellow mealworm
Diptera	Stratomyidae	<i>Hermetia illucens</i>	Black soldier fly
Diptera	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	Common housefly
Orthoptera	Gryllidae	<i>Acheta domesticus</i>	House cricket
Orthoptera	Gryllidae	<i>Gryllodes sigillatus</i>	Branded cricket
Orthoptera	Gryllidae	<i>Gryllus assimilis</i>	Field cricket

Το *A. diaperinus* ανήκει σε εκείνα τα είδη εντόμων που έχουν τη μεγαλύτερη προοπτική να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφές στην ΕΕ (EFSA 2015). Όσον αφορά στην περιεκτικότητα του σε πρωτεΐνη, αυτή κυμαίνεται μεταξύ 580-650 g/kg ξηρής ύλης, που είναι πολύ μεγαλύτερη τιμή από αυτή που παρουσιάζουν οι ελαιούχοι σπόροι, όπως για παράδειγμα το σογιάλυρο και η ελαιοκράμβη, ενώ παράλληλα είναι πολύ κοντά σε άλλες ζωικές πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται ευρέως ως ιχθυοτροφές στις υδατοκαλλιέργειες (Εικόνα 12), όπως τα ιχθυάλευρα και τα άλευρα πουλερικών (poultry meal) (Yi et al. 2013; Bosch et al. 2014; Van Broekhoven et al. 2015). Σε σύγκριση με άλλα άλευρα εντόμων που υπάρχει το ενδεχόμενο χρησιμοποίησής τους ως ιχθυοτροφές, το *A. diaperinus* θεωρείται ότι έχει μία από τις υψηλότερες περιεκτικότητες σε πρωτεΐνη μεταξύ των υπολοίπων εντόμων (Rumbos et al. 2019). Επιπλέον, το προφίλ αμινοξέων των προνυμφών του εντόμου περιλαμβάνει υψηλές ποσότητες όλων των βασικών αμινοξέων, συμπεριλαμβανομένης της αργινίνης, της ιστιδίνης, της ισολευκίνης, της μεθειονίνης, της θρεονίνης, και της βαλίνης, καθώς και υψηλών επιπέδων όλων των μη απαραίτητων αμινοξέων, που ξεπερνούν σε πολλές περιπτώσεις τα αντίστοιχα επίπεδα αμινοξέων άλλων ειδών εντόμων που έχουν δοκιμαστεί ως ζωοτροφές, όπως το *T. molitor* και το *H. illucens* (Bosch et al. 2014; Janssen et al. 2017). Ακόμη, το *A. diaperinus* και πιο συγκεκριμένα οι προνύμφες του έχουν αρκετή περιεκτικότητα σε λυσίνη, ένα αμινοξύ του οποίου οι απαιτήσεις στα ψάρια κυμαίνεται στο 4,0-6,0 g/16 g N (NRC 2011; Tibaldi &



Εικόνα 12. Υδατοκαλλιέργεια στην Ελλάδα (πηγή:

<https://ecozen.gr/2020/07/ydatokalliergeies-enas-polla-yposchomenos-ependytikos-klados/>)

Kaushik 2005) και αυτές το περιέχουν σε ποσότητες της τάξεως του 6,5 g/16g N (Bosch et al. 2014). Επομένως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις διατροφές των ψαριών αφού πληροί τις προϋποθέσεις. Η περιεκτικότητα του *A. diaperinus* σε λιπίδια ποικίλλει από 13 έως 29% με τη σύνηθη τιμή να είναι το 24% (Vrabec et al. 2015). Το λιπιδικό του κλάσμα κυριαρχείται από τα κορεσμένα (SFA) και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα, και σε μικρότερο βαθμό από τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA), με το παλμιτικό οξύ (16:0) και το ελαϊκό οξύ (18:1 $n=9$) να είναι τα πιο κυρίαρχα κορεσμένα και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα αντίστοιχα (Tzompra-Sosa et al. 2014; Van Broekhoven et al. 2015; Adámková et al. 2016). Όσον αφορά τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, αυτό το κλάσμα απαρτίζεται από το λινελεϊκό οξύ (18:2 $n=6$) κυρίως, με πολύ χαμηλά επίπεδα του α -λινολενικού οξέος (18:3 $n=3$) και έλλειψη των $n=3$ πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (HUFA), όπως των 22:6 $n=3$ και 20:5 $n=3$ (Rumbos et al. 2019). Το α -λινολενικό οξύ και το λινελεϊκό οξύ είναι δύο λιπαρά οξέα που παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή τόσο του ανθρώπου όσο και των ψαριών, με τα ψάρια του γλυκού νερού να αποτελούν ένα παράδειγμα (Innis, 1993; Tocher, 2010). Ωστόσο, για όλα τα εκτρεφόμενα θαλάσσια είδη ψαριών και καρκινοειδών, καθώς και για την πλειοψηφία των εκτρεφόμενων ειδών του γλυκού νερού, τα $n-3$ HUFA, είτε απαιτούνται αυτά καθαυτά, είτε είναι περισσότερο αποτελεσματικά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων σε λιπαρά οξέα από ότι τα α -λινολενικό και λινελεϊκό οξέα μόνα τους (Tocher, 2010). Επιπλέον, η χρήση διατροφικών συστατικών πλούσιων σε λινελεϊκό οξύ, μειώνει την περιεκτικότητα σε $n-3$ πολυακόρεστα λιπαρά οξέα του τελικού προϊόντος ψαριού, διακινδυνεύοντας τα οφέλη προς της υγεία του

ανθρώπου καταναλωτή (Rumbos et al. 2019). Αυτοί είναι και οι σημαντικότεροι λόγοι για τους οποίους το *A. diaperinus*, με το λιπιδικό του προφίλ να περιλαμβάνει υψηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα, έλλειψη σε n-3 HUFA και ακατάλληλη αναλογία σε n-3 και n-6 λιπαρών οξέων, θεωρείται ως μη συμβατή λιπιδική επιλογή για τις υδατοκαλλιέργειες. Ως εκ τούτου, θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως εναλλακτική πηγή ενέργειας στη διατροφή των ψαριών, εφόσον πληρούνται οι απαιτήσεις στα βασικά λιπαρά οξέα μέσω άλλων πηγών τροφής (Rumbos et al. 2019).

Στη διεθνή βιβλιογραφία, δεν υπάρχουν πολλές αναφορές χρησιμοποίησης του *A. diaperinus* ως πηγή τροφής, παρόλο που οι προνύμφες του εκτρέφονται λόγω υψηλής θρεπτικής αξίας και προορίζονται ως ζωοτροφές ερπετών, ψαριών και πουλερικών (Van Huis et al. 2013). Ένα πείραμα διεξήχθη από τους Despins & Axtell (1995) οι οποίοι μελέτησαν την διατροφική συμπεριφορά και ανάπτυξη των νεοσσών κοτόπουλων που προορίζονται για παραγωγή κρέατος, όταν αυτοί τρέφονταν για ένα χρονικό διάστημα με την βασική τους τροφή αλλά και με τις προνύμφες του *A. diaperinus*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συνδυασμός των προνυμφών και της βασικής τροφής ήταν η καταλληλότερη διατροφική επιλογή για να μπορέσουν να έχουν ικανοποιητική αύξηση βάρους οι νεοσσοί. Οι προνύμφες του εντόμου αποτελούνταν από 68% καθαρή πρωτεΐνη και 21% λίπος και είχαν υψηλότερες ποσότητες 18 αμινοξέων από την αρχική τροφή (Despins & Axtell, 1995). Αυτό όμως δεν ήταν το πρώτο και μοναδικό πείραμα των δύο ερευνητών που αφορούσε στην αξιοποίηση του εντόμου ως πηγή ζωοτροφής στα πουλερικά. Ένα χρόνο πριν, το 1994, πραγματοποίησαν το ίδιο ακριβώς πείραμα με αυτό που περιγράφηκε παραπάνω, με τη βασική διαφορά να είναι το είδος στο οποίο προορίζαν το *A. diaperinus* ως ζωοτροφή. Οι γαλοπούλες λοιπόν που είχαν αρχικά χρησιμοποιηθεί, δεν εμφάνισαν τα ίδια αποτελέσματα με τους νεοσσούς κοτόπουλων, καθώς ο συνδυασμός των προνυμφών του εντόμου και της βασικής τροφής δεν μετέβαλλε σημαντικά το βάρος τους, το οποίο ήταν συγκρίσιμο με το βάρος των γαλοπούλων που είχαν τραφεί μόνο με την βασική τροφή (Despins & Axtell, 1994).

1.10 Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς παραπάνω, το *A. diaperinus* είναι ένα έντομο που έχει χαρακτηριστεί κυρίως ως παράσιτο των εμπορικών πτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων, με τα αρνητικά του στοιχεία να είναι περισσότερο γνωστά και διαδεδομένα στο ευρύ κοινό από τα θετικά. Σίγουρα, το γεγονός ότι βρίσκεται σε πολύ μεγάλους πληθυσμούς στις εγκαταστάσεις παραγωγής, ενώ παράλληλα αποτελεί φορέα πολλών παθογόνων που προκαλούν σοβαρές ασθένειες όπως η σαλμονέλα, έχει δημιουργήσει στους παραγωγούς μια δικαιολογημένη

ανησυχία, ψάχνοντας συνεχώς τρόπους καταπολέμησης του. Όπως προαναφέρθηκε, είναι επίσης ικανό να τρέφεται και να αναπαράγεται σε αποθηκευμένους σπόρους και συναφή αμυλώδη προϊόντα, σε περιττώματα πουλερικών και σε άλλα οργανικά υλικά, καθιστώντας την καταπολέμηση του αρκετά ιδιαίτερη, καθώς τα περισσότερα από τα εντομοκτόνα που χρησιμοποιούνται πρέπει να εφαρμόζονται σε περιόδους καθαρισμού των μονάδων παραγωγής πουλερικών, αφού δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με τα πουλερικά.

Από την άλλη, πέρα από την παρασιτική του φύση, το *A. diaperinus* μπορεί να προσφέρει πολλά ως μια εναλλακτική πηγή ζωοτροφής, καθώς είναι ιδιαίτερα υψηλής θρεπτικής αξίας. Η έγκριση του ως ένα συστατικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις υδατοκαλλιέργειες για την τροφή των ψαριών και των καρκινοειδών από τον κανονισμό της Ε.Ε 2017/893 το 2017, αλλά και η πρόσφατη έγκριση του για χρήση στις πτηνοτροφές και τις χοιροτροφές με τον κανονισμό της ΕΕ 2021/1372, άλλαξε την οπτική πολλών για αυτό το έντομο. Πλέον αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη πηγή πρωτεΐνης και πρέπει να πραγματοποιηθούν και άλλα πειράματα για την αξιολόγηση του ως ζωοτροφή, προς καθησυχασμό των όποιων ανησυχιών θα προκύψουν από αυτή τη χρήση, γιατί είναι μεγάλη ανάγκη να βρεθούν εναλλακτικές πηγές ζωοτροφής. Ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται, οι εκτάσεις γης που χρησιμοποιούνται για την εκτροφή των ζώων πληθαίνουν, η υπεραλίευση καλά κρατεί. Όλα αυτά μας οδηγούν στην ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών πηγών ζωοτροφής και τα έντομα είναι μια πολλά υποσχόμενη κατηγορία.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας, είναι η αξιολόγηση της πληθυσμιακής ανάπτυξης του *A. diaperinus* σε διάφορα θρεπτικά υποστρώματα. Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε το εύρος των τροφικών προτιμήσεων του εντόμου, προκειμένου οι πληροφορίες αυτές να χρησιμοποιηθούν για την εκτροφή του με συγκεκριμένες τροφές που θεωρούνταν ιδανικές για να δώσουν κάποια σημαντικά αποτελέσματα διατροφικής συμπεριφοράς και προτίμησης, προκειμένου να ανοίξει ο δρόμος για μαζική παραγωγή του εντόμου και χρησιμοποίησής του ως ένα πιθανό συστατικό των ιχθυοτροφών σε εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειών, αλλά και των πτηνοτροφών και των χοιροτροφών, καλύτερη από τις συμβατικές που υπάρχουν σήμερα, εφόσον πληροί τις προϋποθέσεις.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Συνθήκες εργαστηρίου και εκτροφή εντόμων

Τα πειράματα της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας από τον Νοέμβριο του 2018 έως και τον Μάιο του 2019. Τα έντομα εκτράφηκαν σε πλαστικά κουτιά (50 × 30 × 10 cm) που περιείχαν 1.000 g θρεπτικού υποστρώματος, αποτελούμενο από πίτουρο σίτου (75%), φύραμα (25%) και δύο μισά μήλα τοποθετημένα και στραμμένα προς τα κάτω (Εικόνα 13) (Rice and Lambkin 2009).



Εικόνα 13. Κουτί εκτροφής του *Alphitobius diaperinus* με θρεπτικό υπόστρωμα φύραμα και πίτουρο.

Πριν από τη χρήση, τα μήλα ξεπλύθηκαν προσεκτικά με νερό βρύσης και ένα ήπιο απορρυπαντικό πιάτων προς αφαίρεση τυχόν χημικών υπολειμμάτων και στεγνώθηκαν με χαρτοπετσέτα. Το κουτί εκτροφής είχε ένα πλαστικό καπάκι με μια οπή εξαερισμού στη μέση (20 × 27 cm), καλυμμένη με ένα λεπτό πλέγμα για να διασφαλιστεί η διέλευση του αέρα και ο αερισμός του κουτιού. Το Fluon που χρησιμοποιήθηκε ως αναστολέας αναρρίχησης, εφαρμόστηκε στα εσωτερικά τοιχώματα του κουτιού, για να εμποδίσει τα ενήλικα έντομα να διαφύγουν. Τέσσερα κομμάτια κυματοειδούς χαρτονιού (50 × 100 × 5 mm) τοποθετήθηκαν

μέσα στις γωνίες κάθε κουτιού όπου και χρησίμευσαν ως τοποθεσίες ωτοκίας. Τα κουτιά καλλιέργειας διατηρήθηκαν στους 30 °C, σχετική υγρασία 55% και συνεχές σκοτάδι, που είναι κοντά στις βέλτιστες συνθήκες εκτροφής για αυτό το είδος (Rice and Lampkin 2009; Bjørge et al. 2018). Ενήλικα του *A. diaperinus* χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματά. Για την εξασφάλιση της σεξουαλικής τους ωριμότητας, ενήλικα που είχαν εμφανιστεί τουλάχιστον 10 ημέρες πριν από την έναρξη του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές (Wilson και Miner 1969).

2.2 Βιοδοκιμή I. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε σπόρους μαλακού σιταριού με διαφορετικά ποσοστά σπασμένου σιταριού

Σε αυτή τη σειρά βιοδοκιμών το μαλακό σιτάρι που χρησιμοποιήθηκε ήταν απαλλαγμένο από προσβολές εντόμων και αφέθηκε για 7 ημέρες σε συνθήκες περιβάλλοντος προκειμένου να εξισορροπήσει με το σχετικό επίπεδο υγρασίας. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των κόκκων ήταν 12,6%, όπως προσδιορίστηκε μετά τη ξήρανση μέχρι σταθερού βάρους σε φούρνο στους 105 °C για 24 ώρες. Οι μεταχειρίσεις με διαφορετικά ποσοστά σπασμένου μαλακού σίτου που δοκιμάστηκαν ήταν οι εξής έξι: 1. 100% άθικτοι σπόροι σιταριού (0% σπασμένοι σπόροι), 2. 5% σπασμένοι και 95% άθικτοι σπόροι σιταριού, 3. 10% σπασμένοι και 90% άθικτοι σπόροι σιταριού, 4. 25% σπασμένοι και 75% άθικτοι σπόροι σιταριού, 5. 50% σπασμένοι και 50% άθικτοι σπόροι σιταριού και 6. 100% σπασμένοι σπόροι. Τρία δείγματα (n=3) των 20 g τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε κυλινδρικά πλαστικά φιαλίδια με διάμετρο 3 cm και ύψος 8 cm. Τα πώματα των φιαλιδίων είχαν προηγουμένως ανοιχτεί σε διάμετρο 1,5 cm και καλυφθεί με γάζα μουσελίνας (τούλι) προκειμένου να εξασφαλίζεται ο επαρκής αερισμός των φιαλιδίων. Το εσωτερικό πάνω μέρος των φιαλιδίων καλύφθηκε με fluon για να αποφευχθεί η αναρρίχηση των εντόμων έτσι ώστε να μην απομακρύνονται από το υπόστρωμα του μαλακού σίτου. Στη συνέχεια 20 ενήλικα έντομα και των δύο φύλων του είδους τοποθετήθηκαν σε κάθε φιαλίδιο μαζί με ένα κομμάτι καρότου ως πηγή υγρασίας (περίπου 3 g) και όλα τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών (Εικόνα 15) στις συνθήκες που προαναφέρθηκαν. Γινόταν αλλαγή της φέτας του καρότου δύο φορές την εβδομάδα. Τα φιαλίδια άνοιξαν μετά το πέρας των 30 ημερών και η παραγωγή των απογόνων αξιολογήθηκε μετρώντας τα ζωντανά ενήλικα, τα νεκρά, όπως επίσης και τις ζωντανές προνύμφες τους. Η όλη πειραματική διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές (3 x 3 = 9) με αποτέλεσμα να υπάρχουν 9 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. Έξι (6) σειρές (μεταχειρίσεις) των 9 φιαλιδίων (επαναλήψεις) με σπές εξαερισμού καλυμμένες με τούλι, που περιέχουν διάφορα θρεπτικά υποστρώματα και ενήλικα του *Alphitobius diaperinus*.

2.3 Βιοδοκιμή II. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε υπόστρωμα αποτελούμενο από διάφορους σπόρους δημητριακών

Συγκεκριμένα σε αυτή τη σειρά χρησιμοποιήθηκαν άθικτοι σπόροι από σκληρό σιτάρι [*Triticum durum* (ποικ. Simeto)], μαλακό σιτάρι (μείγμα ποικιλιών), κριθάρι [*Hordeum vulgare* (ποικιλία Nure)], σίκαλη [*Secale cereale* (ποικιλία Danko)], ολόκληρη ωμή βρώμη [*Avena sativa* (ποικιλία Cassandra)], ρύζι [*Oryza sativa* (ποικιλία Thaibonnet)] και τέλος αραβόσιτος [*Zea mays* (ποικιλία Dias)]. Όλα τα θρεπτικά υποστρώματα ήταν καθαρά και απαλλαγμένα από προσβολές από έντομα και φυτοφάρμακα. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των υποστρωμάτων μετρήθηκε όπως περιγράφεται παραπάνω και κυμαινόταν μεταξύ 9,3% (σίκαλη) και 15,3% (ρύζι). Ακολουθήθηκε η ίδια πειραματική διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Επιπλέον, οι προνύμφες κοσκινίστηκαν με κόσκινο το οποίο είχε άνοιγμα 0,5 mm και ταξινομήθηκαν σε δύο κατηγορίες, δηλαδή σε νεαρές προνύμφες (μικρότερες από διάμετρο σώματος 0,5 mm) και μεγάλες προνύμφες (σώμα με άνω των 0,5 mm διάμετρο), με βάση το μέγεθος του σώματός τους.

2.4 Βιοδοκιμή III. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε διάφορα αμυλώδη υποστρώματα τροφής

Σε αυτές τις δοκιμές ποικίλα αμυλώδη υποστρώματα δοκιμάστηκαν όπως: πίτουρο σίτου, πίτουρο βρώμης, αλεύρι σκληρού σίτου, λευκό αλεύρι, αλεύρι ολικής άλεσης, αλεύρι καλαμποκιού, αλεύρι ρυζιού, σιμιγδάλι, νιφάδες βρώμης, νιφάδες σίκαλης και νιφάδες κριθαριού. Και εδώ, όλα τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν απαλλαγμένα από προσβολές εντόμων και φυτοφαρμάκων. Πριν από τις δοκιμές το περιεχόμενο υγρασίας τους υπολογίστηκε όπως περιγράφηκε προηγουμένως και κυμαινόταν από 8,7% (πίτουρο βρώμης) έως 14,2% (αλεύρι ολικής αλέσεως). Ακολουθήθηκε ο ίδιος πειραματικός σχεδιασμός όπως στις προηγούμενες βιοδοκιμές, όμως επειδή η παρουσία της φέτας του καρότου μέσα στα φιαλίδια οδήγησε σε εμφάνιση μούχλας στα προαναφερθέντα πειράματα, μεγαλύτερα φιαλίδια χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη βιοδοκιμή (7,5 cm σε διάμετρο, 8,5 cm σε ύψος). Τα συγκεκριμένα φιαλίδια είχαν μια τρύπα διαμέτρου 6 cm στη μέση του καπακιού τους, προκειμένου να αερίζεται το εσωτερικό τους, η οποία καλύφθηκε με γάζα μουσελίνας (τούλι).



Εικόνα 15. Κλιματικές μονάδες STULCompTrol 1001 (DiamardLtd) στις οποίες τοποθετήθηκαν τα κουτιά εκτροφής και τα φιαλίδια με τα διάφορα θρεπτικά υποστρώματα του *Alphitobius diaperinus* σε συνθήκες 30 °C, σχετική υγρασία 55% και συνεχές σκοτάδι.

2.5 Βιοδοκιμή IV. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε διάφορα μη αμυλώδη υποστρώματα τροφής

Τα θρεπτικά υποστρώματα που αξιολογήθηκαν σε αυτή τη βιοδοκιμή ήταν: αλεύρι φασολιού, αλεύρι φάβας, αλεύρι φακής, αλεύρι ηλιάνθου, αλεύρι λούπινου, ζωοτροφές με βάση το γάλα, σκόνη κρόκου αυγού, σκόνη ολόκληρου αυγού, αλεύρι λιναρόσπορου, αλεύρι σόγιας, αλεύρι καρύδας, τροφή για όρνιθες κατάλληλη για εναπόθεση αυγών. Η ξηρή τροφή για γάτες περιείχε κρέας κοτόπουλου (4%), βοδινό κρέας (4%), και συκώτι (0.5%) καθώς και δημητριακά, εκχυλίσματα φυτικής πρωτεΐνης, λίπος, ανόργανα άλατα και μαγιά (PURINA Friskies, Nestle Greece S.A., Marousi, Athens). Επίσης και σε αυτή την περίπτωση τα υπό δοκιμή υποστρώματα ήταν καθαρά και απαλλαγμένα από προσβολές από έντομα και φυτοφάρμακα, ενώ σε αυτά η περιεκτικότητα σε υγρασία κυμάνθηκε από 3,7% (ολόκληρη σκόνη αυγού) έως 11,9% (αλεύρι φασολιών). Ο ίδιος πειραματικός σχεδιασμός που περιγράφηκε για την προηγούμενη σειρά βιοδοκιμών ακολουθήθηκε χρησιμοποιώντας κυλινδρικά πλαστικά φιαλίδια διαμέτρου 7,5 cm και ύψους 8,5 cm.



Εικόνα 16. Διάφορα θρεπτικά υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις βιοδοκιμές.

2.6 Στατιστική ανάλυση

Σε όλες τις βιοδοκιμές κάθε μεταχείριση επαναλήφθηκε εννέα φορές (9 φιαλίδια για κάθε θρεπτικό υπόστρωμα) τα οποία τοποθετήθηκαν τυχαία μέσα στους θαλάμους ανάπτυξης ελεγχόμενων συνθηκών. Δεδομένου ότι ο αριθμός των ενηλίκων (νεκρών και ζωντανών) και οι προνύμφες (ζωντανές, νεαρές και μεγάλες προνύμφες) στις βιοδοκιμές II και IV δεν ακολούθησαν την κανονική κατανομή σύμφωνα με τη δοκιμή Shapiro – Wilk, τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν λογαριθμικά $\log(x + 1)$ για να εξασφαλιστεί η κανονικότητα (Zar 2010). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε επίσης για τους συνολικούς αριθμούς ατόμων που βρέθηκαν στα φιαλίδια.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Βιοδοκιμή I. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε σπόρους μαλακού σιταριού με διαφορετικά ποσοστά σπασμένου σιταριού

Ο αριθμός των ζωντανών και νεκρών ενηλίκων, των ζωντανών προνυμφών καθώς και ο συνολικός αριθμός των ατόμων του *A. diaperinus* σε μαλακό σιτάρι με διαφορετικά ποσοστά σπασμένου σιταριού παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3. Σε γενικές γραμμές, η θνησιμότητα των ενηλίκων ήταν χαμηλή σε όλες τις πειραματικές διαδικασίες και δεν υπερέβη το 22% σε όλες τις περιπτώσεις. Δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στον αριθμό των ζωντανών και νεκρών ενηλίκων που μετρήθηκαν στις διάφορες μεταχειρίσεις. Ωστόσο, σημαντικές ήταν οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στην πληθυσμιακή ανάπτυξη του εντόμου στις προνύμφες και στον συνολικό αριθμό των ατόμων. Πιο συγκεκριμένα, πολύ περισσότερες προνύμφες βρέθηκαν στο 100% σπασμένο σιτάρι (274 προνύμφες ανά φιαλίδιο) σε σύγκριση με τους άθικτους σπόρους σιταριού (154 προνύμφες ανά φιαλίδιο), όπως επίσης και με το 5% σπασμένο σιτάρι (146 προνύμφες ανά φιαλίδιο) και το 10% σπασμένο σιτάρι (131 προνύμφες ανά φιαλίδιο). Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν επίσης και για τον συνολικό αριθμό ατόμων που βρέθηκαν στα φιαλίδια με τις διαφορετικές συγκεντρώσεις σπασμένου σιταριού (Πίνακας 3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* (μέσος αριθμός ατόμων \pm SE σε κάθε φιαλίδιο) μετά από 30 μέρες σε σπόρους μαλακού σιταριού με διαφορετικά ποσοστά (0, 5, 10, 25, 50 και 100%) σπασμένου σιταριού (n=9)

Υπόστρωμα	Ενήλικα νεκρά	Ενήλικα ζωντανά	Προνύμφες ζωντανές	Συνολικός αριθμός ατόμων
100% σπόροι μαλακού σιταριού	1,9 \pm 0,4	16,8 \pm 0,7	154,8 \pm 24,5 B	173,4 \pm 24,5 AB
95% σπόροι μαλακού σιταριού και 5% σπασμένο σιτάρι	2,8 \pm 0,7	15,1 \pm 1,0	146,6 \pm 16,6 B	164,4 \pm 16,6 B
90% σπόροι μαλακού σιταριού και 10% σπασμένο σιτάρι	4,3 \pm 0,9	14,3 \pm 0,8	131,5 \pm 7,6 B	150,0 \pm 8,1 B
75% σπόροι μαλακού σιταριού και 25% σπασμένο σιτάρι	2,7 \pm 0,7	17,0 \pm 0,8	182,4 \pm 18,1 AB	202,1 \pm 18,3 AB
50% σπόροι μαλακού σιταριού και 50% σπασμένο σιτάρι	1,9 \pm 0,4	17,3 \pm 0,3	183,0 \pm 17,0 AB	202,2 \pm 17,1 AB
100% σπασμένο σιτάρι	4,4 \pm 1,1	15,3 \pm 1,1	274,2 \pm 50,2 A	294,0 \pm 50,2 A
F	2	2,1	3,4	2,9
P	0,1	0,08	0,01	0,02

Σε κάθε στήλη, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Turkey – Kramer test για $\alpha = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

3.2 Βιοδοκιμή II. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε υπόστρωμα αποτελούμενο από διάφορους σπόρους δημητριακών

Σημαντικές διαφορές καταγράφηκαν στον αριθμό των ενήλικων του *A. diaperinus* (νεκρών και ζωντανών), των προνυμφών (μεγάλων και μικρών), καθώς επίσης και στο συνολικό αριθμό ατόμων, μεταξύ των διαφορετικών σπόρων δημητριακών που χρησιμοποιήθηκαν ως υπόστρωμα σε αυτή τη βιοδοκιμή (Πίνακας 4). Σημαντικά περισσότερά νεκρά ενήλικα του εντόμου καταγράφηκαν στο ρύζι (28% θνησιμότητα) σε σχέση με τη βρώμη (9,5% θνησιμότητα), ενώ δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των υπολοίπων σπόρων δημητριακών. Ο αριθμός των νεαρών προνυμφών ήταν πολύ μικρότερος στο ρύζι (4 νεαρές προνύμφες ανά φιαλίδιο) συγκριτικά με τους υπόλοιπους σπόρους δημητριακών, ενώ οι υψηλότεροι αριθμοί νεαρών προνυμφών καταγράφηκαν στο σκληρό σιτάρι, στο μαλακό σιτάρι και στη σίκαλη (77, 66, 61 νεαρές προνύμφες ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα). Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν επίσης και στον αριθμό των μεγάλων προνυμφών, αφού οι περισσότερες εκ των οποίων βρέθηκαν στο μαλακό και σκληρό σιτάρι (93 και 64 μεγάλες προνύμφες ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα) και ήταν πολύ περισσότερες από ότι στον αραβόσιτο και στο ρύζι (18 και 2 μεγάλες προνύμφες ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα). Τέλος, σε ό,τι έχει να κάνει με ολόκληρο τον πληθυσμό (προνύμφες και ενήλικα), ο υψηλότερος αριθμός ατόμων καταγράφηκε στο σκληρό και μαλακό σιτάρι (172 και 160 άτομα ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα) και ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο με τα παραπάνω, ήταν πολύ υψηλότερος από τις καταγραφές του συνολικού πληθυσμού του εντόμου στον αραβόσιτο και στο ρύζι (73 και 27 άτομα ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα).

Πίνακας 4. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *Alphitobius diaperinus* (μέσος αριθμός ατόμων ± τυπικό σφάλμα σε κάθε φιαλίδιο) μετά από 30 μέρες σε υπόστρωμα αποτελούμενο από διάφορους σπόρους δημητριακών (n=9)

Υπόστρωμα	Ενήλικα νεκρά	Ενήλικα ζωντανά	Νεαρές προνύμφες (< 0.5mm)	Μεγάλες προνύμφες (>0.5mm)	Συνολικός αριθμός ατόμων
Σκληρό σιτάρι	4,6 ± 1,1 AB	12,8 ± 1,9	77,6 ± 17,8 A	64,7 ± 15,7 AB	160,4 ± 25,3 AB
Μαλακό σιτάρι	5,1 ± 1,1 AB	13,1 ± 1,3	61,3 ± 13,4 A	93,2 ± 9,8 A	172,8 ± 14,9 A
Κριθάρι	2,1 ± 1,0 AB	17,7 ± 0,9	28,6 ± 8,5 A	33,8 ± 16,1 BC	82,1 ± 20,2 BC
Βρώμη	1,9 ± 0,5 B	17,8 ± 0,5	58,2 ± 15,7 A	42,3 ± 10,6 ABC	120,2 ± 25,2 ABC
Σίκαλη	5,2 ± 1,4 A	13,4 ± 1,8	66,7 ± 11,9 A	32,0 ± 12,1 BC	117,3 ± 19,9 ABC
Αραβόσιτος	3,6 ± 0,8 AB	16,4 ± 0,8	34,9 ± 7,1 A	18,7 ± 8,0 C	73,6 ± 13,2 C
Ρύζι	5,6 ± 1,0 A	14,4 ± 1,0	4,4 ± 1,8 B	2,7 ± 0,6 D	27,1 ± 2,2 D
F	3,2	2,4	10,7	15	12,7
P	0,008	0,039	<0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Turkey – Kramer test για $\alpha = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

3.3 Βιοδοκιμή III. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε διάφορα αμυλώδη υποστρώματα τροφής

Η πληθυσμιακή ανάπτυξη του εντόμου στα διάφορα αμυλώδη υποστρώματα τροφής φαίνεται στον Πίνακα 5. Η θνησιμότητα των ενηλίκων κυμάνθηκε από 9 έως 87,5%, ενώ σημαντικά περισσότεροι νεκρά ενήλικα βρέθηκαν στο αλεύρι από σκληρό σιτάρι, στο αλεύρι ολικής άλεσης και στο λευκό αλεύρι (88,5, 63,5, 62,0%, αντίστοιχα), συγκριτικά με το ρυζάλευρο, τις νιφάδες βρώμης, τις νιφάδες σίκαλης, το πίτουρο βρώμης, τις νιφάδες κριθαριού και το σιμιγδάλι (23,5, 16,5, 15,0, 13,0, 11,5 και 9%, αντίστοιχα). Βρέθηκε ακόμη ότι ο αριθμός των νεαρών προνυμφών ήταν στατιστικώς σημαντικά υψηλότερος από τον αριθμό των μεγάλων προνυμφών καθώς και ότι οι περισσότερες νεαρές προνύμφες βρέθηκαν στις νιφάδες βρώμης και στο ρυζάλευρο (100 και 86 νεαρές προνύμφες, αντίστοιχα) και ήταν πολύ περισσότερες από αυτές που βρέθηκαν στις νιφάδες κριθαριού, στο αλεύρι ολικής άλεσης, στις νιφάδες σίκαλης, στο σιμιγδάλι και στο λευκό αλεύρι (24,0, 23,0, 18,7, 15,5, 12,0%, αντίστοιχα). Αναφορικά με τον αριθμό των μεγάλων προνυμφών, οι μεγαλύτερες τιμές βρέθηκαν στο καλαμποκάλευρο και στις νιφάδες σίκαλης (254 μεγάλες προνύμφες ανά φιαλίδιο και για τα δύο αυτά προϊόντα). Ωστόσο δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα υπόλοιπα θρεπτικά υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν, με εξαίρεση το σιμιγδάλι (109 μεγάλες προνύμφες ανά φιαλίδιο). Ο συνολικός αριθμός των ατόμων του είδους κυμάνθηκε από 323 έως 144 άτομα ανά φιαλίδιο, όπου ο μεγαλύτερος αριθμός αναφέρεται στο καλαμποκάλευρο και ο χαμηλότερος στο σιμιγδάλι. Παρόλα αυτά στατιστικώς σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο μεταξύ του καλαμποκάλευρου, των νιφάδων βρώμης, των νιφάδων σίκαλης, του ρυζάλευρου (323, 299, 292, 278 άτομα ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα) και του σιμιγδαλιού (144 άτομα ανά φιαλίδιο).

Πίνακας 5. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του εντόμου (μέσος αριθμός ατόμων \pm τυπικό σφάλμα σε κάθε φιαλίδιο) μετά από 30 μέρες σε διάφορα αμυλώδη υποστρώματα τροφής

Υπόστρωμα	Ενήλικα νεκρά	Ενήλικα ζωντανά	Νεαρές προνύμφες (<0.5mm)	Μεγάλες προνύμφες (>0.5mm)	Συνολικός αριθμός ατόμων
Πίτουρο σιταριού	10,2 \pm 1,0 AB	9,8 \pm 1,0 AB	47,2 \pm 10,6 ABC	153,3 \pm 27,8 AB	220,6 \pm 35,9 ABC
Πίτουρο βρώμης	2,6 \pm 0,6 C	16,1 \pm 0,8 A	32,4 \pm 7,9 ABC	186,3 \pm 38,5 AB	229,7 \pm 31,2 ABC
Αλεύρι σκληρού σιταριού	17,7 \pm 0,8 A	2,3 \pm 0,8 C	29,0 \pm 6,2 BC	148,9 \pm 37,9 AB	197,9 \pm 38,4 BC
Λευκό αλεύρι	12,4 \pm 1,9 AB	7,6 \pm 1,9 B	12,0 \pm 3,2 C	141,8 \pm 17,8 AB	173,8 \pm 17,3 BC
Αλεύρι ολικής άλεσης	12,7 \pm 2,1 AB	7,3 \pm 2,1 B	23,0 \pm 7,1 C	187,9 \pm 26,7 AB	230,9 \pm 28,8 ABC
Αλεύρι καλαμποκιού	5,6 \pm 0,7 BC	14,4 \pm 0,7 A	49,0 \pm 23,2 ABC	254,7 \pm 27,6 A	323,7 \pm 20,7 A
Ρυζάλευρο	4,7 \pm 0,9 C	15,3 \pm 0,9 A	86,1 \pm 20,0 AB	171,9 \pm 15,5 AB	278,0 \pm 22,1 AB
Σιμιγδάλι	1,8 \pm 0,3 C	18,2 \pm 0,3 A	15,5 \pm 6,1 C	109,0 \pm 18,7 B	144,5 \pm 14,3 C
Νιφάδες βρώμης	3,3 \pm 0,8 C	16,3 \pm 0,8 A	100,8 \pm 15,0 A	179,3 \pm 35,8 AB	299,8 \pm 36,6 AB
Νιφάδες σίκαλης	3,0 \pm 0,4 C	17,0 \pm 0,4 A	18,7 \pm 5,6 C	254,1 \pm 22,0 A	292,8 \pm 27,1 AB
Νιφάδες κριθαριού	2,3 \pm 0,5 C	17,7 \pm 0,5 A	24,9 \pm 8,5 C	187,0 \pm 26,9 AB	231,9 \pm 25,7 ABC
F	16,6	17,5	5,8	2,7	4,1
P	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	<0,001

Σε κάθε στήλη, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Turkey – Kramer test για $\alpha = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

3.4 Βιοδοκιμή IV. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus* σε διάφορα μη αμυλώδη υποστρώματα τροφής

Η θνησιμότητα των ενηλίκων φάνηκε πως σε γενικές γραμμές ήταν υψηλότερη στα περισσότερα από τα μη αμυλώδη υποστρώματα τροφής που εξετάστηκαν και κυμάνθηκε από 60,5 έως 100% (Πίνακας 6). Όλα τα ενήλικα έντομα ήταν νεκρά μετά το μεσοδιάστημα των 30 ημερών που παρέμειναν με ξηρή τροφή για γάτες και αλεύρο ηλιάνθου, ενώ παράλληλα υπολογίστηκαν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας (>90%) στη σκόνη ολόκληρων αυγών, στις τροφές για όρνιθες που είναι κατάλληλες για εναπόθεση αυγών, στη σκόνη κρόκου αυγού, στο αλεύρι λιναρόσπορου και στο αλεύρι φασολιού. Η πληθυσμιακή ανάπτυξη που εκφράζεται από τον αριθμό των νεαρών και μεγάλων προνυμφών, όπως επίσης και ο συνολικός αριθμός ατόμων ήταν γενικά περιορισμένος σε αυτή τη βιοδοκιμή. Λίγες μεγάλες προνύμφες αναπτύχθηκαν σε άλευρα φασολιών και ρεβυθιών (32 και 14 προνύμφες ανά φιαλίδιο, αντίστοιχα) ενώ στα υπόλοιπα υποστρώματα ο αριθμός των απογόνων ήταν χαμηλός και δεν ξεπερνούσε τις τρεις προνύμφες ανά φιαλίδιο.

Πίνακας 6. Πληθυσμιακή ανάπτυξη του *Alphitobius diaperinus* (μέσος αριθμός ατόμων ± τυπικό σφάλμα σε κάθε φιαλίδιο) μετά από 30 μέρες σε διάφορα μη αμυλωδη υποστρώματα τροφής.

Υπόστρωμα	Ενήλικα νεκρά	Ενήλικα ζωντανά	Νεαρές προνύμφες(<0.5mm)	Μεγάλες προνύμφες(>0.5mm)	Συνολικός αριθμός ατόμων
Αλεύρι φασολιού	18,0 ± 0,5 AB	2,0 ± 0,5 CDE	0,7 ± 0,2 B	32,2 ± 5,5 A	52,9 ± 5,6 A
Αλεύρι ρεβυθιού	13,6 ± 0,8 CD	6,4 ± 0,8 AB	4,0 ± 0,8 A	14,2 ± 1,9 B	38,2 ± 2,1 B
Αλεύρι καρύδας	12,1 ± 0,5 D	7,9 ± 0,5 A	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 D	20,0 ± 0,0 C
Ξηρά τροφή για γάτες	20,0 ± 0,0 A	0,0 ± 0,0 F	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 D	20,0 ± 0,0 C
Τροφή για όρνιθες	19,7 ± 0,2 A	0,3 ± 1,7 EF	0,0 ± 0,0 C	1,8 ± 0,9 CD	21,8 ± 0,9 C
Σκόνη κρόκου αυγού	18,9 ± 0,5 AB	1,1 ± 0,5 DEF	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 D	20,0 ± 0,0 C
Αλεύρι φάβας	17,8 ± 0,7 AB	2,2 ± 0,7 CDE	0,2 ± 0,1 BC	3,1 ± 1,7 C	23,3 ± 1,7 C
Αλεύρι λιναρόσπορου	19,6 ± 0,3 A	0,4 ± 0,3 EF	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 D	20,0 ± 0,0 C
Αλεύρι φακής	16,8 ± 1,2 ABC	3,2 ± 1,2 BCD	0,1 ± 0,1 BC	0,1 ± 0,1 D	20,2 ± 0,1 C
Αλεύρι λούπινου	15,7 ± 0,8 BC	4,3 ± 0,8 ABC	0,0 ± 0,0 C	0,2 ± 0,1 D	20,2 ± 0,1 C
Ζωοτροφή με βάση το γάλα	19,0 ± 0,6 AB	1,0 ± 0,6 DEF	1,0 ± 0,6 B	0,6 ± 0,4 CD	21,6 ± 0,9 C
Αλεύρι σόγιας	16,8 ± 1,1 AB	3,2 ± 1,1 BCD	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 D	20,0 ± 0,0 C
Αλεύρι ηλιάνθου	20,0 ± 0,0 A	0,0 ± 0,0 F	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 D	20,0 ± 0,0 C
Σκόνη ολόκληρου αυγού	19,8 ± 0,1 A	0,2 ± 0,1 EF	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 D	20,0 ± 0,0 C
F	13,2	17,1	21,7	57,1	52,9
P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Σε κάθε στήλη, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (Turkey – Kramer test για $\alpha = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την ικανότητα τους να μολύνουν προϊόντα και να τρέφονται με αυτά. Πιο συγκεκριμένα, είδη εντόμων που μολύνουν και τρέφονται με ολόκληρους σπόρους ταξινομούνται ως πρωτεύοντες αποικιστές ή έντομα που τρέφονται από το εσωτερικό μέρος των σπόρων (internal feeders), ενώ είδη εντόμων που δεν μπορούν να εισβάλλουν και να τραφούν με ολόκληρους σπόρους αλλά με σπασμένους κόκκους ή προϊόντα αυτών, ταξινομούνται ως δευτερεύοντες αποικιστές ή έντομα που τρέφονται με το εξωτερικό μέρος των σπόρων (external feeders) (Nayak & Darglish, 2018). Αυτό που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος, είναι ότι το *A. diaperinus* έδειξε ξεκάθαρη προτίμηση και αναπτύχθηκε πολύ ικανοποιητικά σε θρεπτικά υποστρώματα που είχαν ως βάση ολόκληρους σπόρους δημητριακών. Για την ακρίβεια, στο μαλακό και σκληρό σιτάρι, καθώς και στη σίκαλη εμφάνισε πενταπλάσια πληθυσμιακή ανάπτυξη, καθώς τα 20 ενήλικα που είχαν τοποθετηθεί αρχικά στα φιαλίδια στην αρχή του πειράματος, έδωσαν περισσότερους από 100 απογόνους ένα μήνα αργότερα. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς για πολύ καιρό τα έντομα αυτά θεωρούνταν δευτερεύοντες αποικιστές, όπως και τα περισσότερα της οικογένειας Tenebrionidae (Aitken 1975). Ακόμη, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπήρχε εσωτερική διείσδυση και προσβολή των σπόρων, που σημαίνει ότι τα ενήλικα και οι προνύμφες του *A. diaperinus* τρέφονταν με το εξωτερικό μέρος των σπόρων, όπως αποδεικνύεται και από την παρουσία περιττωμάτων στο εσωτερικό των φιαλιδίων με το πέρας της βιοδοκιμής, που πήγαζε από την τροφική δραστηριότητα τους. Ως εκ τούτου, πράγματι το *A. diaperinus* μπορεί να θεωρηθεί ως ένα έντομο που έχει την ικανότητα να προσβάλλει και να τρέφεται από άθικτους (όχι τραυματισμένους ή σπασμένους) σπόρους, άρα και ένας πρωτεύον αποικιστής, όμως σε αντίθεση με τους περισσότερους πρωτεύοντες αποικιστές, τα ευρύματα της εργασίας έδειξαν ότι το έντομο ξεκινά την προσβολή από το εξωτερικό μέρος των σπόρων, πράγμα που υποδεικνύει ότι παρόλο που είναι ένας πρωτεύον αποικιστής, δεν τρέφεται με το εσωτερικό μέρος των σπόρων.

Η παρουσία των σπασμένων σπόρων στη διάρκεια του πειράματος ήταν πολύ σημαντική για την πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus*. Γενικότερα, οι σπασμένοι σπόροι παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην πληθυσμιακή αύξηση των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων, όπως στην περιπτώσεις των *Trogoderma granarium* (Everts) (Coleoptera: Dermestidae), *Liposcelis bostrychophila* (Badonnel) (Psocoptera: Liposcelididae), *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) και του *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae) (Athanassiou et al. 2016; Athanassiou et al. 2010; Maegher et al. 1982;

Throne & Culik 1989). Στην περίπτωση του *A. diaperinus*, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση του πληθυσμού του επηρεάστηκε θετικά από την αύξηση του ποσοστού σπασμένου σπόρου σιταριού. Παρουσιάζει ενδιαφέρον το γεγονός ότι σημειώθηκε 14πλάσια αύξηση του πληθυσμού του σε 100% σπασμένο σιτάρι, αφού στο τέλος της βιοδοκιμής μετρήθηκαν 274 προνύμφες, ένα νούμερο πολύ υψηλότερο από το νούμερο που καταγράφηκε στις μεταχειρίσεις 0, 5 και 10% σπασμένου σπόρου σιταριού. Αυτό το χαρακτηριστικό της ταχείας ανάπτυξης του σε σπασμένους σπόρους σιταριού είναι ένας επιπλέον λόγος που εμφανίζεται πολύ συχνά σε μεγάλες μονάδες παραγωγής (π.χ πουλερικών), και γι' αυτό πρέπει πάντα να υπάρχουν τα απαραίτητα μέτρα ελέγχου.

Η διατροφή των εντόμων επηρεάζει σημαντικά την πληθυσμιακή τους αύξηση, όχι μόνο έχοντας αντίκτυπο στη θνησιμότητα των ενηλίκων, στη θηλυκή γονιμότητα και την παραγωγή ωαρίων, αλλά και στο χρόνο ανάπτυξης τους όταν ακόμα βρίσκονται στα αρχικά στάδια (Morales- Ramos et al. 2010). Στη μελέτη αυτή, εκτός από την θετική επίδραση των σπασμένων σπόρων σιταριού στον αριθμό των απογόνων, η αύξηση του ποσοστού τους επηρέασε και αυτή με τη σειρά της την ταχύτητα της ανάπτυξης των προνυμφών του *A. diaperinus*. Η γενική παρατήρηση ήταν ότι, στις βιοδοκιμές με υψηλό ποσοστό σπασμένου σιταριού παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες και πιο ογκώδεις προνύμφες σε σύγκριση με αυτές που ήταν τοποθετημένες σε ολόκληρους, άθικτους σπόρους ή σε χαμηλότερα ποσοστά σπασμένου σπόρου. Αυτή η παρατήρηση ήταν και το ερέθισμα για να προσδιοριστούν οι ηλικίες των προνυμφών και ακολούθως και της ταχύτητας ανάπτυξης τους στις υπόλοιπες βιοδοκιμές. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων σειρών βιοδοκιμών, με τη χρήση των μικρών φιαλιδίων και των καρότων, δημιουργήθηκε μούχλα στο εσωτερικό τους. Ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν είχε ιδιαίτερη αξία καθώς δεν επηρεάστηκε σημαντικά η ανάπτυξη του εντόμου και έρχεται σε συμφωνία με τις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες για το είδος, που αναφέρουν ότι προτιμά μέρη ανθυγιεινά με αλλοιωμένα υλικά, σε αυτή την περίπτωση, σπόρους με μούχλα. Οπότε, με βάση τα παραπάνω, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η μούχλα ίσως και να έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του, ένα χαρακτηριστικό που θα το κατέτασε στη κατηγορία των εντόμων που τρέφονται από μύκητες (fungus feeders).

Τα περισσότερα επεξεργασμένα αμυλώδη προϊόντα προκάλεσαν και αυτά με τη σειρά τους πληθυσμιακή ανάπτυξη του *A. diaperinus*, όπως οι διαφορετικοί τύποι άλευρων, πίτουρων και νιφάδων. Από τα αμυλώδη υποστρώματα τροφής που ελέγχθηκαν, οι υψηλότεροι αριθμοί απογόνων καταγράφηκαν στο άλευρο αραβόσιτου και σε νιφάδες βρώμης και σίκαλης, γεγονός που δείχνει την θετική τους επίδραση στην γονιμότητα των θηλυκών ενηλίκων του είδους και στην παραγωγή αυγών. Από την άλλη πλευρά, το σιμιγδάλι ήταν όπως αποδείχθηκε

βάση αποτελεσμάτων, η λιγότερο κατάλληλη διατροφική επιλογή για το είδος, καθώς η παραγωγή απογόνων ήταν περιορισμένη συγκριτικά με τα υπόλοιπα αμυλώδη προϊόντα που δοκιμάστηκαν. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι, εκτός από τις διαφορές που παρατηρήθηκαν στην ικανότητα παραγωγής απογόνων, υπήρχαν και διαφορές στην ταχύτητα ανάπτυξης των προνυμφών. Στο πίτουρος βρώμης, στο αλεύρι ολικής αλέσεως, στο λευκό αλεύρι και στις νιφάδες κριθαριού, περισσότερες από το 80% των προνυμφών που καταμετρήθηκαν ήταν μεγάλες προνύμφες σε μέγεθος και ηλικία, επομένως αποδεικνύεται η γρήγορη τους ανάπτυξης σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Σε αντίθεση με τα όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα, το *A. diaperinus* δεν τα πήγε ικανοποιητικά στην τελευταία βιοδοκιμή, καθώς η πληθυσμιακή του ανάπτυξη ήταν πολύ κακή στα μη αμυλώδη προϊόντα. Απέτυχε να αναπαραχθεί και να αναπτυχθεί στα άλευρα οσπρίων, δηλαδή σε άλευρα από φασόλια, φακές και φάβα, ενώ εξαίρεση δεν αποτέλεσαν τα υποστρώματα με βάση τα ζωικά προϊόντα (ξηρά τροφή για γάτες, σκόνη κρόκου αυγού, σκόνη ολόκληρου αυγού, ζωοτροφή με βάση το γάλα). Μέχρι και την παρούσα μελέτη, δεν είχε εξεταστεί η ικανότητα του είδους να αναπτύσσεται στα συγκεκριμένα προϊόντα και παρ'όλη την αποτυχία ανάπτυξης του σε αυτά, το *A. diaperinus* έχει δείξει ότι έχει μια μεγάλη γκάμα τροφικών προτιμήσεων, πολλών εκ των οποίων έχουν ως βάση ζωικά συστατικά (Hagstrum et al. 2013) και γι'αυτό το λόγο μια πιο ευρεία αξιολόγηση πάνω και σε άλλα μη αμυλώδη προϊόντα ίσως να μπορούσε να καλύψει περισσότερες πληροφορίες για το είδος και την τροφική του συμπεριφορά.

Ένα χρόνο περίπου πριν την έναρξη της παρούσας μελέτης, το *A. diaperinus* μαζί με άλλα έξι έντομα πήρε την έγκριση για να χρησιμοποιηθεί ως συστατικό των ιχθυοτροφών, αποτελώντας με αυτόν τον τρόπο μια πολλά υποσχόμενη πηγή θρεπτικών στοιχείων και πρωτεϊνών για τα ψάρια και καρκινοειδή. Η υψηλή του θρεπτική αξία ήταν δεδομένη και είχε μελετηθεί στο παρελθόν ως μια πιθανή εναλλακτική πηγή θρέψης στις υδατοκαλλιέργειες, όμως δεν υπάρχουν αντίστοιχα πειράματα σίτισης των ψαριών και καρκινοειδών με το έντομο και υπάρχει μεγάλη ανάγκη να πραγματοποιηθούν τέτοια πειράματα, προκειμένου να εκτιμηθεί εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροφή. Ζητήματα όπως το γεγονός ότι τα εκτρεφόμενα ψάρια δεν είναι σε θέση να αφομοιώνουν την χιτίνη, το βασικό δομικό υλικό των εντόμων, πρέπει να αξιολογηθούν εκ νέου. Ήδη σε ένα πείραμα των Kroeckel et al. (2012), καλκάνια που ακολούθησαν διατροφή πλούσια σε προνύμφες του είδους *H. illucens*, ενός εκ των έξι υπολοίπων ειδών εντόμων που πήραν την έγκριση της ΕΕ, δεν αναπτύχθηκαν ικανοποιητικά. Αντίθετα, σε ένα άλλο πείραμα, όταν αντικαταστάθηκε μέχρι και το 30% των ιχθυάλεурων με τις προνύμφες του *H. illucens* στη διατροφή της τσιπούρας (*Sparus aurata*), δεν

παρατηρήθηκαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη τους (Karapanagiotidis et al. 2014). Επιπλέον, διατροφικά πειράματα με το *T. molitor*, που ανήκει στην ίδια οικογένεια με το *A. diaperinus* (Οικ. Tenebrionidae), έχουν δείξει ότι το άλευρο του συγκεκριμένου είδους, μπορεί να συμπεριληφθεί σε διάφορα ποσοστά στη διατροφή πολλών ειδών ψαριών όπως των *Oncorhynchus mykiss* (Belforti et al. 2015), *Dicentrarchus labrax* (Gasco et al. 2016), *Sparus aurata* (Piccolo et al. 2017), του αφρικανικού γατόψαρου *Clarias gariepinus* (Ng et al. 2001) και του *Ameirus melas* (Roncarati et al. 2016). Σίγουρα όμως, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για την βελτίωση της κατανόησης μας σχετικά με τους μηχανισμούς που εμπλέκονται στην πεπτική ικανότητα των ψαριών και των ανταποκρίσεων τους στις διατροφές που περιλαμβάνουν το *A. diaperinus* σε διάφορα στάδια του κύκλου ζωής του.

Αυτή ήταν η πρώτη μελέτη που αξιολόγησε την ικανότητα του *A. diaperinus* να αναπαράγεται και να αναπτύσσεται κάτω από εργαστηριακές συνθήκες σε ποικίλα θρεπτικά υποστρώματα. Αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω εργαστηριακών συνθηκών δεν μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα σε αληθινές εξωτερικές συνθήκες, όμως αποτελούν μια πρώτη εκτίμηση και ένδειξη του τι δύναται να συμβεί σε αυτές. Ανακεφαλαιώνοντας, στη μελέτη αυτή το έντομο έδειξε σαφή προτίμηση στα αμυλώδη σε σχέση με τα μή αμυλώδη θρεπτικά υποστρώματα που δεν βοήθησαν καθόλου στην πληθυσμιακή του ανάπτυξη, μπόρεσε να δημιουργήσει γρήγορα σημαντικούς πληθυσμούς στους άθικτους, ολόκληρους σπόρους δημητριακών και έδειξε καλή ικανότητα προσαρμογής σε πολλά προϊόντα, στα οποία παρουσίασε συγκρίσιμα αποτελέσματα παραγωγής απογόνων. Επιπρόσθετα, όσον αφορά στις διατροφικές του προτιμήσεις και τα διατροφικά του περιβάλλοντα, το *A. diaperinus* παρουσίασε ένα αξιοσημείωτο προφίλ, καθώς μπορούσε να εναλλάσσεται μεταξύ πρωτεύοντα και δευτερεύοντα αποικιστή, όπως επίσης και σε έντομο που τρέφεται με μύκητες (fungus feeder) που εξαρτάται περισσότερο από τις συνθήκες υγρασίας του περιβάλλοντος στο οποίο βρισκεται.

Εν κατακλείδι, όλες αυτές οι παράμετροι μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω για την καλύτερη κατανόηση των περιβαλλόντων στα οποία αυτό το είδος είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί, αλλά και να επιτρέψουν τη συζήτηση για τη σχεδίαση πρωτόκολλων μαζικής εκτροφής του σε βιομηχανική κλίμακα, προκειμένου να αντικαταστήσουν σε ένα βαθμό της υπάρχουσες συμβατικές πηγές ζωοτροφής στις υδατοκαλλιέργειες και όχι μόνο. Η πρωτεΐνη των εντόμων και συγκεκριμένα του *A. diaperinus* έχει τις δυνατότητες να αποτελέσει πηγή τροφής και στην κτηνοτροφία (πουλερικά, χοίροι κλπ), καθώς προηγούμενες μελέτες του συγγενικού του είδους *T. molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) έχουν εξετάσει το ενδεχόμενο χρήσης τους σε κοτόπουλα προς παραγωγή κρέατος (Bovera et al. 2015; De Marco et al. 2015;

Biasato et al. 2016) και σε κοτόπουλα προς παραγωγή αυγών (Wang et al. 2005), ανοίγοντας με αυτόν τον τρόπο το δρόμο και για την μελέτη του *A. diaperinus* ως πηγή ζωοτροφής στις διατροφές και άλλων ζώων εκτός από τα ψάρια και καρκινοειδή. Ο πλανήτης έχει ανάγκη από εναλλακτικές πηγές ζωοτροφής και το *A. diaperinus*, όπως και τα έντομα γενικότερα, αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adámková A, Kourimská L, Borkovcová M, Kulma M, Mlcek J (2016) Nutritional values of edible coleopteran (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. *Potravinarstvo* 10: 663–671.

AFRIS 2015. Animal Feed Resource Information System. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Aitken AD (1975) *Insect Travelers, I: Coleoptera*. Technical Bulletin, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, vol. 31, pp. 191, H.M.S.O., London.

Anankware PJ, Fening KO, Osekre E, Obeng-Ofori D (2015) Insects as food and feed: a review. *International Journal of Agricultural Research and Review* 3: 143–151.

Arena JS, Omarini AB, Zunino MP, Peschiutta ML, Defago MT, Zygadlo JA (2018) Essential oils from *Dysphania ambrosioides* and *Tagetes minuta* enhance the toxicity of a conventional insecticide against *Alphitobius diaperinus*. *Industrial Crops & Products* 122: 190–194.

Athanassiou CG, Buchelos CT (2000a) 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 CG, Buchelos CT (2000b) Assessment of three killing agents' impact on the capturing of Coleoptera species infesting stored wheat. *Journal of Pest Science* 73: 148–151

Athanassiou CG, Buchelos CT (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 CG, Opit GP and Throne JE 2010 Influence of commodity type, percentage of cracked kernels, and wheat class on population growth of stored-product psocids (Psocoptera: Liposcelidae). *Journal of Economic Entomology* 103: 985–990.

Athanassiou CG, Kavallieratos NG and Boukouvala MC 2016 Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. *Journal of Stored Products Research* 69: 72–77.

Axtell RC, Arends JJ (1990) Ecology and management of arthropod pests of poultry. Annual Review of Entomology 35: 101–126.

Axtell RC (1994) Biology and economic importance of the darkling beetle in poultry houses. Proceedings of the North Carolina State University Poultry Supervisors' Short Course, pp. 8-17.

Amir AGABOU and Nadir Alloui Spatio-temporal variability of broiler house litter infestation with *Alphitobius diaperinus* during three successive breeding cycles in the north-east of Algeria International Journal of Current Research Vol. 4, Issue 08, pp. 140-142.

Baran B, Krzyzowski M, Cup M, Janiec J, Grabowski M, Francikowski J (2018) Repellent effect of volatile fatty acids on lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*). Insects 9:35.

Barroso FG, de Haro C, Sanchez-Muros M-J, Venegas E, Martinez-Sanchez A, Perez-Banon C (2014) The potential of various insect species for use as food for fish. Aquaculture 422–423: 193–301.

Barrows FT, Bellis D, Krogdahl A, Ashild S, Jeffrey T, Herman EM 2008. Report of the plant products in aquafeed strategic planning workshop: an integrated, interdisciplinary research roadmap for increase utilization of plant feedstuffs in diets for carnivorous fish. Reviews in Fisheries Science 16, 449–455.

Bartelt RJ, Zilkowski BW, Cossé AA, Steelman CD, Singh N (2009) Male-produced aggregation pheromone of the lesser mealworm beetle, *Alphitobius diaperinus*. Journal of Chemical Ecology 35: 422–434.

Bates C, Hiatt KL, Stern NJ (2004) Relationship of *Campylobacter* isolated from poultry and from darkling beetles in New Zealand. Avian Diseases 48: 138–147.

Belforti M, Gai F, Lussiana C, Renna M, Malfatto V, Rotolo L, de Marco M, Dabbou S, Schiavone A, Zoccarato I, Gasco L (2015) *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. Italian Journal of Animal Science 14: 4170.

Bosch G, Zhang S, Oonincx DGAB, Hendriks WH (2014) Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. Journal of Nutritional Science 3: e29.

Buchelos CT, Athanassiou CG (1993) Dominance and frequency of Coleoptera found on stored cereals and cereal products in Central Greece. *Entomologia Hellenica* 11: 17–22.

Buchelos CT, Athanassiou CG (1998) Beetle species in storerooms of Central and Southern Greece containing grain, flour, bran and hay: a survey of 44 species. *Annales de l' Institut Phytopathologique Benaki* 18: 129–133.

Buchelos CT, Athanassiou CG (1999) Unbaited probe traps and grain trier: a comparison of the two methods for sampling Coleoptera in stored barley. *Journal of Stored Product Research* 35: 397–404.

Calibeo-Hayes D, Denning SS, Stringham SM, Watson DW (2005) Lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) emergence after mechanical incorporation of poultry litter into field soils. *Journal of Economic Entomology* 98: 229– 235.

Chernaki-Leffer AM, Biesdorf SM, de Almeida LM, Leffer EVB, Vigne P (2002) Isolation of enteric litter organisms from *Alphitobius diaperinus* in brooder chicken houses in West Parana State, Brazil. *Revista Brasileira Ciencia Avicola (Brazilian Journal of Poultry Science)* 4: 243–247.

Chernaki-Leffer AM, Almeida LM, Sosa-Gomez DR, Anjos A, Vogado KM (2007) Populational fluctuation and spatial distribution of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera; Tenebrionidae) in a poultry house, Cascavel, Parana state, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 67: 209–213.

Chernaki-Leffer AM, Sosa-Gomez DR, Almeida LM, de Oliveira LI (2011) Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera, Tenebrionidae) to cypermethrin, dichlorvos and triflumuron in southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 55: 125–128.

Christos I. Rumbos, Ioannis T. Karapanagiotidis, Eleni Mente and Christos G. Athanassiou The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source? *Reviews in Aquaculture* (2019) 11, 1418–1437.

Crippen TL, Sheffield CL, Esquivel SV (2009) The acquisition and internalization of Salmonella by the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *VectorBorne and Zoonotic Diseases* 9: 65–71.

Crippen TL, Esquivel JF (2012) Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)—Part II: alimentary canal components and measurements. *Psyche* 607609: 8.

Crippen TL, Sheffield CL, Beier RC, Nisbet DJ (2018) The horizontal transfer of Salmonella between the lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) and poultry manure. *Zoonoses and Public Health* 65: e23–e33.

Dale PS, Hayes JC, Johannesson J (1976) New records of plant pests in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 19: 265–269.

De las Casas E, Pomeroy BS, Harein PK (1968) Infection and quantitative recovery of *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* from within the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer). *Poultry Science* 47: 1871–1875.

De las Casas E, Harein PK, Pomeroy BS (1972) Bacteria and fungi within the lesser mealworm collected from poultry brooder houses. *Environmental Entomology* 1: 27–30.

Despins JL (1987) Investigations of the destructive behavior, and methods for control of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae). Ph.D. dissertation, VPI&SU, Blacksburg, VA.

Despins JL, Axtell RC (1994) Feeding behavior and growth of turkey poult fed larvae of the darkling beetle, *Alphitobius diaperinus*. *Poultry Science* 73: 1526–1533. Despins JL, Axtell RC (1995) Feeding behavior and growth of broiler chicks fed larvae of the darkling beetle, *Alphitobius diaperinus*. *Poultry Science* 74: 331–336.

Despins JL, Turner EC, Ruzler PR (1987) Construction profiles of high rise caged layer houses in association with insulation damage caused by the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* in Virginia. *Poultry Science* 66: 243–250.

Despins JL, Turner EC, Ruzler PR (1989) Effects of poultry manure moisture and poultry house construction materials on movements of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), a structural insect pest in high rise layer houses. *Poultry Science* 68: 1326–1331.

Edwards JP, Abraham L (1985) Laboratory evaluation of two insect juvenile hormone analogues against *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Product Research* 28: 189–194.

Eidson CS, Schmittle SC, Goode RB, Lal JB (1965) The role of darkling beetle, *Alphitobius diaperinus* in transmission of acute leucosis in chickens. *Poultry Science* 44: 1366–1367.

Elowni EE, Elbihari S (1979) Natural and experimental infection on the beetle, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) with *Choanotaenia infundibulum* and others chickens tapeworms. *Veterinary Science Communications* 3: 171–173.

Esquivel JF, Crippen TL, Ward LA (2012) Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae): I. Morphological features for sex determination of multiple stadia. *Psyche* 328478: 7

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

Feedipedia, Animal Feed Resources Information System (2018a) [Cited 21 May 2018.] Available from URL: <https://www.feedipedia.org/content/feeds?category=17919>.

Feedipedia, Animal Feed Resources Information System (2018b) [Cited 21 May 2018.] Available from URL: <https://www.feedipedia.org/content/feeds?category=All>.

Finke MD (2002) Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology* 21: 269–285.

FAO, 2004a. Protein Sources for the Animal Feed Industry.

Francisco O, Prado AP (2001) Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. *Revista Brasileira de Entomologia* 61: 125–131.

Gasco L, Henry M, Piccolo G, Marono S, Gai F, Renna M, Lussiana C, Antonopoulou F, Mola P, Chatzifotis S (2016) *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology* 220: 34–45.

Gazoni FL, Wilsmann CG, Flores F, Silveira F, Bampi RA, Boufleur R, Lovato M (2011) Efficacy of phosphine gas against the darkling beetle (*Alphitobius diaperinus*). *Acta Scientiae Veterinariae* 39: 965.

Gazoni FL, Flores F, Bampi RA, Silveira F, Boufleur R, Lovato M (2012) Evaluation of the resistance of mealworm (*Alphitobius diaperinus*) (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) at different temperatures. *Arquivos de Instituto Biologico* 79: 69–74.

Geden CJ, Axtell RC (1987) Factors affecting climbing and tunneling behavior of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology* 80: 1197–1204.

Geden CJ, Arends JJ, Axtell RC, Barnard DR, Gaydon DM, Hickle LA, et al. (2001) Poultry. In: Geden CJ, Hogsette JA (eds) *Research and Extension Needs for Integrated Pest Management for Arthropods of Veterinary Importance*.

Green M (1980) *Alphitobius viator* Mulsant & Godart in stored products and its identification (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Product Research* 16: 67–70.

Gould GE, Moses HE (1951) Lesser mealworm infestation in the broiler house. *Journal of Economic Entomology* 44: 265–265.

Hagstrum DW, Subramanyam B (2009) *Stored-Product Insect Resource*. AACC International Inc., St. Paul, MN.

Hagstrum DW, Klejdysz T, Subramanyam B, Nawrot J (2013) *Atlas of Stored-Product Insects and Mites*. AACC International Inc., St. Paul, MN.

Hamm RL, Kaufman PE, Reasor CA, Rutz DA, Scott JG (2006) Resistance to cyfluthrin and tetrachlorvinphos in the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*, collected from the eastern United States. *Pest Management Science* 62: 673–677.

Hazeleger WC, Bolder NM, Beumer RR, Jacobs-Reitsma WF (2008) Darkling beetles (*Alphitobius diaperinus*) and their larvae as potential vectors for the transfer of *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enteric* serovar Paratyphi B variant Java between successive broiler flocks. *Applied and Environmental Microbiology* 74: 6887–6891.

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.

Hickmann F, de Morais AF, Bronzatto ES, Giacomelli T, Guedes JVC, Bernardi O (2018) Susceptibility of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), from broiler farms of southern Brazil to insecticides. *Journal of Economic Entomology* 111: 980–985.

Hopkins JD, Steelman CD, Carlton CE (1992) Anatomy of the adult female lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) reproductive system. *Journal of the Kansas Entomological Society* 65: 299–307.

Hopkins JD, Steelman CD, Carlton CE (1993) Internal reproductive system of the adult male lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 446–450.

Hosen M, Khan AR, Hossain M (2004) Growth and development of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) on cereal flours. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7: 1505–1508.

Hussein M, Pillai VV, Goddard JM, Park HG, Kothapalli KS, Ross DA, Ketterings QM, Brenna JT, Milstein MB, Marquis H, Johnson PA, Nyrop JP, Selvaraj V (2017) Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. *PLoS ONE* 12: e0171708.

Ichinose T, Shibasaki S, Ohta M (1980) Studies on the biology and mode of infestation of the tenebrionid beetle *Alphitobius diaperinus* (Panzer), harmful to broiler-chicken houses. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* 24: 167–174.

International Monetary Fund, 2010. International monetary fund primary commodity prices. Available from: <http://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx>

Innis SM (1993) Essential fatty acid requirements in human nutrition. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 71: 699–706.

Karapanagiotidis IT, Daskalopoulou E, Vogiatzis I, Rumbos C, Mente E, Athanassiou CG (2014) Substitution of fishmeal by fly *Hermetia illucens* prepupae meal in the diet of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *HydroMedit* 2014: 110–114.

Kaufman PE, Burgess M, Rutz DA (2002) Population dynamics of manure inhabiting arthropods under an integrated pest management (IPM) program in New York poultry facilities—3 case studies. *Journal of Applied Poultry Research* 11: 90–103.

Kaufman PE, Strong C, Rutz DA (2008) Susceptibility of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) adults and larvae exposed to two commercial insecticides on unpainted plywood panels. *Pest Management Science* 64: 108–111.

Kaufman PE, Burgess M, Rutz DA (2002) Population dynamics of manure inhabiting arthropods under an integrated pest management (IPM) program in New York poultry facilities—3 case studies. *Journal of Applied Poultry Research* 11: 90–103.

Kaufman PE, Strong C, Rutz DA (2008) Susceptibility of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) adults and larvae exposed to two commercial insecticides on unpainted plywood panels. *Pest Management Science* 64: 108–111.

Karunamoorthy G, Chellappa DJ, Anandari R (1994) The life history of *Subulura brumpti* in the beetle *Alphitobius diaperinus*. *Indian Veterinary Journal* 71: 12–15.

Kroeckel S, Harjes A-GE, Roth I, Katz H, Wuertz S, Susenbeth A, Schulz C (2012) When a turbot catches a fly: evaluation of a pre-pupae meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute – Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 364–365: 345–352.

Lambkin TA (2005) Baseline responses of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) to fenitrothion and susceptibility status of populations in Queensland and New South Wales, Australia. *Journal of Economic Entomology* 98: 938–942.

Lambkin TA, Rice SJ (2006) Baseline responses of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) to cyfluthrin and detection of strong resistance in field populations in eastern Australia. *Journal of Economic Entomology* 99: 908–913.

Lambkin TA, Rice SJ (2007) Baseline responses of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) to spinosad, and susceptibility of broiler populations in eastern and southern Australia. *Journal of Economic Entomology* 100: 1423–1427.

Lambkin TA, Kopittke RA, Rice SJ, Bartlett JS, Zalucki MP (2008) Factors affecting localized abundance and distribution of lesser mealworm in earth-floor broiler houses in subtropical Australia. *Journal of Economic Entomology* 101: 61–67.

Lambkin TA, Rice SJ, Furlong MJ (2010) Responses of susceptible and cyfluthrin-resistant broiler house populations of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) to gamma-cyhalothrin. *Journal of Economic Entomology* 103: 2155–2163.

Lambkin TA, Furlong MJ (2011) Metabolic mechanisms only partially explain resistance to pyrethroids in Australian broiler house populations of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology* 104: 629–635.

Lambkin TA, Furlong MJ (2014) Application of spinosad increases the susceptibility of insecticide resistant *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) to pyrethroids. *Journal of Economic Entomology* 107: 1590–1598.

Loftin KM (2011) Lesser mealworms. In: Hopkins JD, Loftin KM (eds) *Pest Management News*, pp. 3–5. University of Arkansas Cooperative Extension Service, Little Rock, AR.

Lyons BN (2014) Insecticide resistance of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) to b-cyfluthrin and associated heat tolerance. MSc Thesis, Texas A & M University, Texas.

Lyons BN, Crippen TL, Zheng L, Teel PD, Swiger SL, Tomberlin JK (2016) Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* in Texas to permethrin- and b-cyfluthrin-treated surfaces. *Pest Management Science* 73: 562–567.

Meagher RL, Reed C, Mills RB (1982) Development of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* on whole, cracked and ground pearl millet. *Journal of Kansas Entomological Society* 55: 91–94.

McAllister JC, Steelman CD, Skeeles JK (1994) Reservoir competence of the lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Salmonella typhimurium* (Eubacteriales: Enterobacteriaceae). *Journal of Medical Entomology* 31: 369–372.

Miller RW, Redfern RE (1988) Feed additive for control of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) in poultry broiler houses. *Journal of Economic Entomology* 81: 1137–1139.

Morales-Ramos JA, Rojas MG, Shapiro-Ilan DI and Tedders WL (2010) Developmental plasticity in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): analysis of instar variation in

number and development time under different diets. *Journal of Entomological Science* 45: 75–90.

National Research Council (NRC) (2011) Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, DC.

Nayak MK and Daglish GJ (2018) Importance of stored product insects, pp. 1–18. In Athanassiou CG, and Arthur FH (eds.), *Recent advances in stored product protection*. Springer-Verlag GmbH, Germany.

O'Connor JP (1987) *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) damaging polystyrene insulation on an Irish piggery. *Entomologist's Monthly Magazine* 123: 1472–1475.

Oliveira DGP, Cardoso RR, Mamprim AP, Angeli LF (2016) Laboratory and field evaluation of a cypermethrin-based insecticide for the control of *Alphitobius diaperinus* Panzer (Coleoptera: Tenebrionidae) and its in-vitro effects on *Beauveria bassiana* Bals. Vuill. (Hypocreales: Cordycipitaceae). *Revista Brasileira Ci^encia Avicola (Brazilian Journal of Poultry Science)* 18: 371–380.

Oonincx, D.G.A.B., de Boer, I.J.M., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment. *PLoS ONE* 7, e51145.

Pfeiffer DG, Axtell RC (1980) Coleoptera of poultry manure in caged layer houses in North Carolina. *Environmental Entomology* 9: 21–28.

Piccolo G, Iaconisi V, Marono S, Gasco L, Loponte R, Nizza S, Bovera F, Parisi G (2017) Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Animal Feed Science and Technology* 226: 12–20.

Pinto DM, Ribeiro PB, Silveira P (2010) Comparison of methods to monitor populations of *Alphitobius diaperinus* (PANZER, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae) in poultry farm, Pelotas, RS, Brazil. *Semina: Ciencias Agrarias* 31: 295–300.

Rice SJ and Lambkin TA 2009 A new culture method for lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Journal of Applied Entomology* 133: 67–72.

- Roche AJ, Cox NA, Richardson LJ, Buhr RJ, Cason JA, Fairchild BD, Hinkle NC (2009) Transmission of Salmonella to broilers by contaminated larval and adult lesser mealworms, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Poultry Science* 88: 44–48.
- Rueda LM, Axtell RC (1996) Temperature-dependent development and survival of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Medical and Veterinary Entomology* 10: 80–86.
- Rumpold BA, Schluter OK (2013b) Nutritional composition € and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research* 57: 802–823.
- Safrit RD, Axtell RC (1984) Evaluations of sampling methods for darkling beetles (*Alphitobius diaperinus*) in the litter of turkey and broiler houses. *Poultry Science* 63: 2368–2375.
- Salin C, Delettre YR, Cannavacciuolo M, Vernon P (2000) Spatial distribution of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) in the soil of a poultry house along a breeding cycle. *European Journal of Soil Biology* 36: 107–115.
- Salin C, Delettre YR, Vernon P (2003) Controlling the mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in broiler and turkey houses: field trials with a combined insecticide treatment: insect growth regulator and pyrethroid. *Journal of Economic Entomology* 96: 126–130.
- Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F (2014) Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production* 65: 16–27.
- Sánchez-Muros, Barroso FG, C. de Haro (2016) Brief Summary of Insect Usage as an Industrial Animal Feed/Feed Ingredient, Chapter 10: 273-297.
- Schroeckenstein DC, Meier-Davis S, Graziano FM, Falomo A, Bush RK (1988) Occupational sensitivity to *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (lesser mealworm). *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 82: 1081–1088.
- Schawaller W, Grimm R (2014) The genus *Alphitobius* Stephens (Coleoptera, Tenebrionidae, Alphitobiini) in Africa and adjacent islands. *ZooKeys* 415: 169–190.
- Singh N, Johnson DT (2012) Attractiveness of an aggregation pheromone lure and chicken droppings to adults and larvae of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology* 105: 2196–2206.

- Singh N, Johnson D (2013) Baseline responses of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) to insect growth regulators. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 29: 35–54.
- Singh N, Johnson D (2015) Baseline susceptibility and cross-resistance in adult and larval *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) collected from poultry farms in Arkansas. *Journal of Economic Entomology* 108: 1994–1999.
- Somerfield KG (1981) Recent aspects of stored product entomology in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24: 403–408.
- Spilman TJ (1987) Darkling beetles (Tenebrionidae, Coleoptera). In: Gorham JR (ed) *Insects and Mite Pests in Food: An Illustrated Key*, pp. 185–214. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 655, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington.
- Stafford KC, Collison CH, Burg JG, Cloud JA (1988) Distribution and monitoring lesser mealworms, hide beetles, and other fauna in high-rise, caged-layer poultry houses. *Journal of Agricultural Entomology* 5: 89–101.
- Steelman CD (2008) Comparative susceptibility of adult and larval lesser mealworms, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae), collected from broiler houses in Arkansas to selected insecticides. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 25: 111–125.
- Strother KO, Steelman CD (2001) Spatial analysis of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in broiler production facilities. *Environmental Entomology* 30: 556–561.
- Strother KO, Steelman CD, Gbur EE (2005) Reservoir competence of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Campylobacter jejuni* (Campylobacterales: Campylobacteraceae). *Journal of Medical Entomology* 42: 42–47.
- Szczepanik M, Dams I, Wawrzenczyk C (2008) Terpenoid lactones with the p-menthane system as feeding deterrents to the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128: 337–345.
- Szczepanik M, Szumny A (2011) Insecticidal activity of star anise (*Illicium verum* Hook. F.) fruits extracts against lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* Panzer (Coleoptera: Tenebrionidae). *Allelopathy Journal* 27: 277–287.

Szczepanik M, Zawitowska B, Szumny A (2012) Insecticidal activities of *Thymus vulgaris* essential oil and its components (thymol and carvacrol) against larvae of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* Panzer (Coleoptera: Tenebrionidae). *Allelopathy Journal* 30: 129–142.

Szczepanik M, Walczak M, Zawitowska B, Michalska-Sionkowska M, Szumny A, Wawrzenczyk C, Brzezinska MS (2018) Chemical composition, antimicrobial activity and insecticidal activity against the lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* (Link) and *Artemisia dracunculus* L. essential oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98: 767–774.

Throne, J. E., and M. P. Culik. 1989. Progeny production and duration of development of rusty grain beetles, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Cucujidae), on cracked and whole corn. *J. Econ. Entomol.* 24: 150–155.

Tocher DR (2010) Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research* 41: 717–732.

Tzompa-Sosa DA, Yi L, van Valenberg HJF, van Boekel MAJS, Lakemond CMM (2014) Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International* 62: 1087–1094.

United States Department of Agriculture (USDA) (2018) USDA Food Composition Databases, standard reference. [Cited 21 May 2018.]

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

Van Huis A, Itterbeek JV, Klunder HC, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P, 2013. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. URL: <http://www.fao.org/docrep/018/i32-53e/i3253e.pdf>

Vaughan JA, Turner EC (1982) Studies on the infestation into polystyrene insulation by the lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus* Panz.), a common inhabitant of deep-pit caged layer houses. *Virginia Journal of Science* 33: 91.

Vaughan JA, Turner EC (1984) Residual and topical toxicity of various insecticides to the lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology* 77: 216–220.

Vrabec V, Kulma M, Cocan D (2015) Insects as an alternative protein source for animal feeding: a short review about chemical composition. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies* 72: 116–126.

Wakefield ME, Cogan PM (1990) Resistance to iodofephos and malathion in the lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*. *Proceedings of the 5th International Working Conference on StoredProduct Protection* 2: 1065–1072.

Wang D, Zhai SW, Zhang CX, Bai YY, An SH, Xu YN (2005) Evaluation on nutritional value of field crickets as a poultry feedstuff. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 18: 667–670.

Watson DW, Denning SS, Zurek L, Stringham SM, Elliott J (2003) Effects of lime hydrate on the growth and development of darkling beetle, *Alphitobius diaperinus*. *International Journal of Poultry Science* 2: 91–96.

Weaver JE, Kondo VA (1987) Laboratory evaluation of insect growth regulators in producing lesser mealworm mortality and egg infertility. *Journal of Agricultural Entomology* 4: 233–245.

Weaver JE (1996) The lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*: field trials for control in a broiler house with insect growth regulators and pyrethroids. *Journal of Agricultural Entomology* 13: 91–93.

Wilson TH, Miner FD (1969) Influence of temperature on development of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Kansas Entomological Society* 42: 294–303.

Wolf J, Potrich M, Lozano ER, Gouvea A, Pegorini CS (2015) Combined physical and chemical methods to control lesser mealworm beetles under laboratory conditions. *Poultry Science* 94: 1145–1149.

Yi L, Lakemond CMM, Sagis LMC, Eisner-Schadler V, van Huis A, van Boekel MAJS (2013) Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry* 141: 3341–3348.

Zar, J. H. 2010. *Biostatistical analysis*, 5th ed. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ.

