

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ:

«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ
ΣΥΡΗΝΟΘΗΡΙΝ+PRALLETHRIN ΚΑΤΑ ΚΟΛΕΟΠΤΕΡΩΝ
ΑΠΟΘΗΚΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ»



ΚΑΡΑΝΙΚΑ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Επιβλέπων:

Αθανασίου Χρήστος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Μέλη επιτροπής :

Τσιρόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Παπαδόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Άλλο ένα ταξίδι έφτασε στο τέλος του με πολλή προσπάθεια και υπομονή, όμως και με την στήριξη και την βοήθεια από κάποιους ανθρώπους.

Γι αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, τους φίλους μου και την οικογένεια μου για την στήριξη. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κύριο Αθανασίου Χ. και τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κύριο Παπαδόπουλο Ν. και κύριο Τσιρόπουλο Ν. για τις διορθώσεις και την καθοδήγηση καθ όλη την διαδικασία.

Τέλος, ευχαριστώ τους συνεργάτες του εργαστηρίου κύριο Ρούμπο Χ. και Αγραφιώτη Π. για την βοήθεια τους τόσο στο πειραματικό μέρος όσο και στο συγγραφικό.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκε σε εργαστηριακές βιοδοκιμές η αποτελεσματικότητα ενός εντομοκτόνου με δύο δραστικές ουσίες το cyphenothrin σε εναιώρημα μικροκάψουλας και το prallethrin, εναντίον ενηλίκων εντόμων αποθηκών των *Tribolium confusum* Jacquelin du Val, *Oryzaephilus surinamensis* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) και *Prostephanus truncatus* (Horn) μετά από εφαρμογή με ψεκασμό επιφανειών (surface treatment). Σε όλες τις βιοδοκιμές, το εντομοκτόνο εφαρμόστηκε στην συνιστώμενη από τον κατασκευαστή δόση εφαρμογής. Σε μια πρώτη σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η επίδραση του τύπου της επιφάνειας στην αποτελεσματικότητα του εντομοκτόνου. Εν συντομία, το εντομοκτόνο εφαρμόστηκε σε επιφάνειες τσιμέντου και μετάλλου, ενώ τα ποσοστά θνησιμότητας και knockdown μετρήθηκαν μετά από 1, 3, 7 και 14 ημέρες έκθεσης. Σε μια άλλη σειρά βιοδοκιμών, μελετήθηκε η υπολειμματική του δράση σε επιφάνεια τσιμέντου εναντίον ενηλίκων των ειδών εντόμων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι επιφάνειες τσιμέντου εκτέθηκαν στο φως ή αποθηκεύθηκαν στο σκοτάδι. Η πρώτη βιοδοκιμή ξεκίνησε την ημέρα της αποθήκευσης, ενώ στη συνέχεια, γινόταν μία βιοδοκιμή κάθε μήνα για διάστημα 4 μηνών (συνολικά 5 βιοδοκιμές). Τα ποσοστά θνησιμότητας και knockdown σε αυτή τη βιοδοκιμή μετρήθηκαν μετά από 3, 7 και 14 ημέρες έκθεσης. Τέλος, σε μια τρίτη σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η καθυστερημένη επίδραση (delayed effect) του εντομοκτόνου στα ενήλικα των παραπάνω ειδών εντόμων αποθηκών μετά από έκθεση 1, 3 και 7 ημερών. Σε αυτή τη βιοδοκιμή, η θνησιμότητα και το knockdown αξιολογούνταν αμέσως μετά την έκθεση, και στη συνέχεια τα ζωντανά έντομα μεταφέρονταν σε καθαρά, απέκαστα τρυβλία για ένα επιπρόσθετο διάστημα 7 ημερών, οπότε και επαναλαμβάνονταν η αξιολόγηση της θνησιμότητας και του knockdown. Με βάση τα αποτελέσματα, η εφαρμογή με ψεκασμό επιφανειών του εντομοκτόνου που αξιολογήθηκε, μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό έλεγχο των ενηλίκων *T. confusum*, *O. surinamensis*, *S. oryzae* και *P. truncatus*. Ο τύπος της επιφάνειας δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά την αποτελεσματικότητα του εντομοκτόνου, τουλάχιστον όσον αφορά στο μέταλλο και το τσιμέντο. Επιπλέον, η έκθεση στο φως είχε αρνητική επίδραση στην υπολειμματική δράση του εντομοκτόνου, καθώς, για όλα τα είδη εντόμων που αξιολογήθηκαν, η θνησιμότητα ήταν στατιστικώς σημαντικά μικρότερη στις επιφάνειες που εκτέθηκαν στο φως σε σύγκριση με εκείνες που αποθηκεύθηκαν στο

σκοτάδι για τις βιοδοκιμές που ξεκίνησαν τουλάχιστον 2 μήνες μετά την εφαρμογή. Τέλος, παρατηρήθηκε μειωμένη καθυστερημένη θνησιμότητα για όλα τα διαστήματα έκθεσης που αξιολογήθηκαν, καθώς τα έντομα που βρίσκονταν σε κατάσταση knockdown αμέσως μετά την έκθεση παρέμειναν, στις περισσότερες περιπτώσεις, στην ίδια κατάσταση (δηλαδή δεν ανάνηψαν, ούτε πέθαναν) ακόμα και 7 ημέρες μετά την μεταφορά τους σε καθαρά, αφέκαστα τρυβλία.

ABSTRACT

In the present study, we investigated the insecticidal efficacy of a dual-action insecticide formulation, based on cyphenothrin and prallethrin, as structural treatment against adults of *Tribolium confusum* Jacquelin du Val, *Oryzaephilus surinamensis* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Prostephanus truncatus* (Horn) in laboratory bioassays. In all bioassays, the insecticide was applied as surface treatment on its label dose. In a first series of bioassays, the effect of surface type on its efficacy was evaluated. Briefly, the insecticide was applied on concrete and metal surfaces, and mortality and knockdown levels were assessed after 1, 3, 7 and 14 d of exposure. In another series of laboratory bioassays, its residual efficacy was studied on concrete against adults of the above mentioned insect species. The insecticide was applied at its label dose on concrete surfaces, stored either in continuous darkness or exposed to light. A bioassay was initiated at the day of storage and, afterwards, every month for a period of 4 consecutive months (5 bioassays in total), whereas mortality and knockdown of the exposed insects were measured after 3, 7 and 14 d of exposure. Finally, in a third series of bioassays, the delayed effect of the tested formulation to adults of the same insect species after exposure of 1, 3 and 7 d was investigated. In this bioassay, after the evaluation immediately after exposure, all alive individuals were transferred to clean, untreated dishes, and the delayed effect was evaluated after an additional period of 7 days. Based on our results, the application as surface treatment of the tested insecticide can provide efficient control against adults of *T. confusum*, *O. surinamensis*, *S. oryzae* and *P. truncatus*. The surface type did not significantly affect the insecticidal efficacy of the tested formulation, at least for the surfaces tested. Moreover, exposure to light negatively affected its residual activity, as for all insect species tested, mortality was significantly lower on dishes exposed to light than on the ones stored in the dark in the bioassays initiated later than two months after application. Finally, reduced delayed mortality was observed for all exposure intervals, as knocked down individuals remained, in most cases, knocked down even 7 d after their removal from the treated dishes.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Έντομα αποθηκών	8
1.2 Κυριότεροι εντομολογικοί εχθροί αποθηκευμένων προϊόντων.....	9
1.2.1 Κυριότερα Coleoptera	9
1.2.2 Κυριότερα Lepidoptera.....	19
1.3 Τρόποι αντιμετώπισης των εντόμων αποθηκών	22
1.3.1 Μηχανικές μέθοδοι.....	23
1.3.2 Φυσικές μέθοδοι.....	24
1.3.3 Χημική καταπολέμηση.....	27
1.4. Σκοπός της παρούσας μελέτης.....	31
2. Υλικά και Μέθοδοι	33
2.1 Είδη εντόμων	33
2.2 Δραστικές ουσίες	34
2.3 Πειραματικός σχεδιασμός.....	35
2.3.1 Πρώτη σειρά βιοδοκιμών	35
2.3.2 Δεύτερη σειρά βιοδοκιμών.....	36
2.3.3 Τρίτη σειρά βιοδοκιμών	37
2.3 Στατιστική ανάλυση.....	38
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	40
3.1. Πρώτη σειρά βιοδοκιμών: Επίδραση της επιφάνειας.....	40
3.2 Δεύτερη σειρά βιοδοκιμών: Υπολειμματική δράση	43
3.3 Τρίτη σειρά βιοδοκιμών: Καθυστερημένη επίδραση (delayed effect)	47
4.ΣΗΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΠΜΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Έντομα αποθηκών

Ως έντομα αποθηκών ορίζονται τα έντομα εκείνα που προκαλούν ζημιά σε εδώδιμα ή μη αποθηκευμένα προϊόντα και μπορούν να αναπτυχθούν και να αναπαραχθούν σε χώρους που φιλοξενούνται τέτοια προϊόντα. Η ζημιά που προκαλούν μπορεί να είναι τόσο ποιοτική, όσο και ποσοτική. Τα έντομα αποθηκών συγκαταλέγονται στους σοβαρότερους εντομολογικούς εχθρούς, ενώ το γεγονός ότι είναι τόσο «επιτυχημένα» οφείλεται στη ικανότητα τους να βαδίζουν και να πετούν (ακόμα και για δεκάδες χιλιόμετρα), να μετακινούνται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του διεθνούς εμπορίου με το προσβεβλημένο προϊόν, να χρησιμοποιούν σειρά καταφυγίων όπου αποφεύγουν την άμεση έκθεση σε εντομοκτόνα και φυσικούς εχθρούς και να επιζούν σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών (Μπουχέλος, 1985).

Οι απώλειες που οφείλονται στα έντομα αποθηκών, σε κάθε είδους εδωδιμων σπόρων ανέρχονται σε εκατοντάδες τόνους ετησίως. Αναλυτικότερα, οι απώλειες στα δημητριακά κατά την διάρκεια της αποθήκευσης φτάνουν το 17% στις ανεπτυγμένες χώρες, ενώ στις αναπτυσσόμενες ξεπερνούν το 30% (Food & Agricultural Organization, 2009). Το 59% των απωλειών αυτών οφείλεται στα έντομα αποθηκών. Εκτός από τις απώλειες που αφορούν τα γεωργικά προϊόντα, τα έντομα αποθηκών μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα και στην υγεία του ανθρώπου. Σύμφωνα με τους Bernton and Brown (1967), η παρουσία τμημάτων του σώματος των εντόμων (περύγων, ποδιών κ.α.) εντός των επεξεργασμένων προϊόντων μπορεί να επιφέρει αλλεργικές αντιδράσεις στους καταναλωτές και δερματικές παθήσεις.

Τα έντομα αποθηκών τα οποία είναι ικανά να προσβάλλουν ακέραιο προϊόν ονομάζονται πρωτεύοντα είδη (primary pests), ενώ αυτά που προσβάλλουν ήδη προσβεβλημένο ή μηχανικά σπασμένο προϊόν (π.χ. άλευρα) ονομάζονται δευτερεύοντα είδη (secondary pests).

1.2 Κυριότεροι εντομολογικοί εχθροί αποθηκευμένων προϊόντων

Τα περισσότερα έντομα αποθηκών ανήκουν στις τάξεις των Κολεοπτέρων (Coleoptera) και Λεπιδοπτέρων (Lepidoptera) και κατά πολύ λιγότερο στις τάξεις των Διπτέρων. Σύμφωνα με τον Hinton (Ημερομηνία) στην τάξη των Κολεοπτέρων υπάρχουν 600 είδη εντόμων που σχετίζονται με την προσβολή αποθηκευμένων προϊόντων, ενώ 70 είδη εντόμων αποθηκών ανήκουν στην τάξη των Λεπιδοπτέρων.

1.2.1 Κυριότερα Coleoptera

Οικογένεια Anobiidae

Στην οικογένεια Anobiidae τα έντομα που μπορούν να προσβάλλουν τα αγροτικά αποθηκευμένα προϊόντα είναι το *Lasioderma serricorne* F. και το *Stegobium raniceum* L. (Le Pesme, 1944).

Το *Lasioderma serricorne* ή κοινώς σκαθάρι του καπνού απαντάται σ' όλα σχεδόν τα μέρη της γης και ιδιαίτερα στα πιο ζεστά. Είναι αρκετά ανθεκτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά σε περιοχές όπου επικρατούν θερμοκρασίες κάτω των 5°C συνεχώς για ένα μήνα ή κάτω από 10°C για πέντε συνεχόμενους μήνες, μπορεί να επιβιώσει μόνο εντός θερμαινόμενων κτιρίων (Σταμόπουλος, 2013). Το σώμα των ενηλίκων ατόμων μπορεί να φτάσει σε μήκος τα 2-3 mm. Τα έλυτρα του είναι λεία, καστανοκόκκινου χρώματος και σε πλάγια όψη το πρόσθιο μέρος του σώματός του είναι χαρακτηριστικά κυρτό (Εικόνα 1). Οι προνύμφες είναι κυρτές, λευκού χρώματος, με καστανή κεφαλή και τρία ζεύγη ποδιών. Φέρουν σε όλο το σώμα τους λεπτές τρίχες και το τελικό μήκος τους φτάνει τα 5 mm (Εικόνα 2). Το ενήλικο έχει διάρκεια ζωής 2 με 4 εβδομάδες, αναλόγως των συνθηκών, ενώ το θηλυκό του είδους μπορεί να παράγει μέχρι και 100 αυγά τη φορά. Σε θερμοκρασία άνω των 20°C, η εκκόλαψη των προνυμφών πραγματοποιείται σε 7 ημέρες και ενώ σε 6-10 εβδομάδες ολοκληρώνουν το προνυμφικό στάδιο. Νυμφώνονται σε κουκούλι που κατασκευάζουν από υπολείμματα τροφής, ενώ η έξοδος του ενηλίκου πραγματοποιείται μετά από 5-14 ημέρες. Τέλος, η ανάπτυξη του συμπληρώνεται μέσα σε 8-13 εβδομάδες (Jacobs, 2013).



Εικόνα 1. Ενήλικο του είδους *Lasioderma serricorne*.

(πηγή: <https://bugguide.net/node/view/616514>)



Εικόνα 2. Προνύμφη του είδους *Lasioderma serricorne*.

(πηγή: <http://entoweb.okstate.edu/ddd/insects/drugstore.htm>)

Το *L. serricorne* προσβάλλει κυρίως τον αποθηκευμένο καπνό και τα προϊόντα του (τσιγάρα, πούρα κ.λπ.), καθώς και προϊόντα από κακάο. Όμως, μπορεί να προσβάλλει και ελαιώδεις σπόρους, όσπρια, ζυμαρικά, ξηρά φρούτα, ξηρά γλυκίσματα, μπαχαρικά κ.α. (Σταμόπουλος, 2013). Το ενήλικο του *Stegobium raniceum* (L.) μορφολογικά μοιάζει με το *L. serricorne*, είναι όμως ελαφρώς πιο φαρδύ, έχει ραβδώσεις στα έλυτρα και η κεφαλή του δεν σχηματίζει ορθή γωνία με το υπόλοιπο σώμα. Το τελικό μήκος του σώματος του φτάνει τα 2,5 mm και καλύπτεται από λεπτές τρίχες (Εικόνα 3). Είναι κοσμοπολίτικο είδος, αλλά ενδημεί περισσότερο σε θερμοκρασίες μεταξύ 15 και 34 °C με ελάχιστη σχετική υγρασία 35% (Lefkovich, 1967). Σε θερμοκρασία 30 °C, 60-90 % σχετική υγρασία και σπόρους σιταριού ως πηγή τροφής, ο βιολογικός του κύκλος ολοκληρώνεται σε 40 ημέρες. Το θηλυκό σε ιδανικές συνθήκες παράγει 20–100 αυγά μεμονωμένα ή σε σωρό, μέσα στην τροφή του. Έχει 4-6 προνυμφικές ηλικίες, εκ των οποίων η τελευταία σχηματίζει ένα

βομβύκιο μέσα στο οποίο νυμφώνεται. Τα ενήλικα μπορεί να παραμείνουν στο βομβύκιο για ποικίλα χρονικά διαστήματα και δεν τρέφονται. Ζημιά στα αγροτικά προϊόντα προκαλεί η προνύμφη του είδους, η οποία είναι πολυφάγος. Προσβάλλει κυρίως αρτοσκευάσματα και ζυμαρικά αλλά και σπόρους, προϊόντα σπόρων, ελαιούχους πλακούντες, ξερά φρούτα και μπαχαρικά.



Εικόνα 3. Ενήλικο του είδους *Stegobium paniceum*.

(πηγή: https://fr.wikipedia.org/wiki/Stegobium_paniceum)

Οικογένεια Bostrychidae

Σε αυτή την οικογένεια τα περισσότερα είδη είναι ξυλοφάγα και προκαλούν ζημιές σε ξύλινα δοκάρια, τοίχους καταστημάτων κ.α. Όμως το *Rhyzopertha dominica* F. (Bostrychidae, Coleoptera) και το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Bostrychidae, Coleoptera) προσβάλλουν αποθηκευμένα προϊόντα.

Το *Rhyzopertha dominica* προσβάλλει αποθηκευμένα δημητριακά. Έχει σώμα επίμηκες και κυλινδρικό, καστανοκόκκινου χρωματισμού, ενώ το τελικό μήκος του σώματος του φτάνει τα 2-3 mm. Η κεφαλή του καλύπτεται από τον προθώρακα και δεν είναι ορατή από την πάνω πλευρά του σώματος. Ο θώρακας φέρει πυκνά χιτινώδη εξογκώματα και τα έλυτρα φέρουν ευκρινείς κατά μήκος γραμμές από μικρά κοιλώματα. Κύριο χαρακτηριστικό του εντόμου είναι οι κεραιές σε ροπαλοειδές σχήμα, οι οποίες έχουν 10 τμήματα, εκ των οποίων τα 3 τελευταία πιο αραιά τοποθετημένα (Εικόνα 4). Η προνύμφη έχει κυρτό, παχύ σώμα, υπόλευκου χρωματισμού, με καστανά πόδια και κεφαλή (Koehler and Pereira, 1994). Τα θηλυκά παράγουν μέχρι και 30 αυγά χωριστά ή σε σωρούς. Κατά τη διάρκεια της ζωής του ένα θηλυκό μπορεί να παράγει 200-500 αυγά ανάλογα με την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του χώρου στον οποίο βρίσκεται. Σε υψηλές θερμοκρασίες (34-35

°C) ο βιολογικός του κύκλος μπορεί να διαρκέσει μόλις 30 ημέρες, κατά μέσο όρο όμως ολοκληρώνεται σε 58 ημέρες (Koehler and Pereira, 1994).



Εικόνα 4. Ενήλικο του είδους *Rhizophorthera dominica*.

(πηγή: https://www.kaefer-der-welt.de/rhizophorthera_dominica.htm)

Το *Prostephanus truncatus* (Horn) προέρχεται από την Κεντρική και Νότια Αμερική (Lesne, 1897; Chittenden, 1911). Την δεκαετία του 1970 υπάρχουν αναφορές για προσβολές στο αποθηκευμένο καλαμπόκι από το *P. truncatus* σε πολλά μέρη ανά τον κόσμο, ιδιαίτερα στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές (Shires, 1979; Howard, 1983). Το ενήλικο φτάνει σε μήκος τα 3 mm, έχει σχήμα κυλινδρικό και χρώμα καστανό. Η κεφαλή του καλύπτεται από τον θώρακα, ο οποίος φέρει χαρακτηριστικά εξογκώματα και τα έλυτρα φέρουν ευκρινείς κατά μήκος γραμμές από μικρά κοιλώματα (Εικόνα 5). Τα θηλυκά εναποθέτουν τα αυγά σε ομάδες των 20 εντός των σπερμάτων του αραβοσίτου (Hodges, 1982; Howard, 1983). Σε θερμοκρασία 32°C, ο βιολογικός του κύκλος διαρκεί 24-25 ημέρες (Bell and Watters, 1982). Ωστόσο, ζημιές μπορεί να προκαλέσει και σε καλλιέργειες καλαμποκιού στο χωράφι, πρώιμα όταν το σπέρμα έχει 40-50% υγρασία (Giles, 1975).



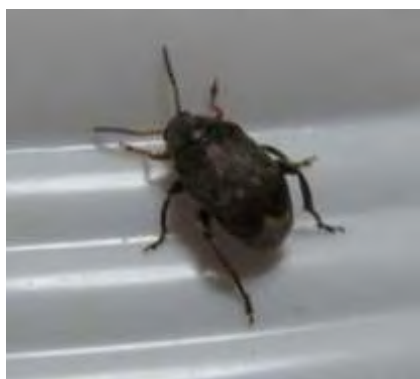
Εικόνα 5. Ενήλικο του είδους *Prostephanus truncatus*.

(πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Prostephanus_truncatus)

Οικογένεια Bruchidae

Τα είδη της οικογένειας αυτής, κοινώς γνωστά και ως «βρούχοι» προσβάλλουν αποκλειστικά αποθηκευμένα ψυχανθή. Μάλιστα, κάθε είδος ψυχανθούς προσβάλλεται και από διαφορετικό είδος βρούχου. Σε αυτή την οικογένεια το *Acanthoscelides obtectus* (Say), ή κοινώς ο βρούχος των φασολιών, είναι το πιο σημαντικό είδος που προσβάλλει αποθηκευμένα προϊόντα.

Τα ενήλικα του *Acanthoscelides obtectus* φτάνουν σε μήκος τα 3–4 mm, το σώμα τους έχει σχήμα ωοειδές, είναι σκούρου καστανού χρώματος και καλύπτεται με λεπτό φαιό χνούδι (Εικόνα 6). Η προνύμφη φτάνει σε μήκος τα 3 mm, είναι σαρκώδης, κυρτή, λευκού χρώματος με κίτρινη κεφαλή. Τα θηλυκά άτομα είναι ελαφρώς μεγαλύτερα από τα αρσενικά. Προσβάλλει κυρίως τα φασόλια τόσο στον αγρό όσο και στην αποθήκη. Στην αποθήκη η προσβολή γίνεται από τα θηλυκά άτομα, τα οποία βγαίνουν από τους ήδη προσβεβλημένους καρπούς και τοποθετούν τα αυγά τους σε ομάδες στην κάτω επιφάνεια των σπερμάτων των ψυχανθών, κολλώντας τα με μια κολλητική ουσία που εκκρίνουν. Σε θερμοκρασία 28°C και σχετική υγρασία 75% το *A. obtectus* ολοκληρώνει τον βιολογικό του κύκλο σε έναν μήνα.



Εικόνα 6. Ενήλικο του είδους *Acanthoscelides obtectus*.

(πηγή: <http://www.ozanimals.com/Insect/Bean-Weevil/Acanthoscelides/obtectus.html>)

Οικογένεια Curculionidae

Τα είδη που ανήκουν σε αυτή την οικογένεια, όπως τα *Sitophilus granarius* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) και *Sitophilus zeamais* (M.), συγκαταλέγονται ανάμεσα στα πιο επιβλαβή έντομα για τα αποθηκευμένα δημητριακά. Χαρακτηριστικό μορφολογικό

γνώρισμα των ειδών αυτών είναι η κεφαλή τους, η οποία προεκτείνεται μπροστά από τους οφθαλμούς και σχηματίζει ένα καλά διαμορφωμένο ρύγχος.

Το *S. granarius* είναι κοσμοπολίτικο είδος, συναντάται σε εύκρατα αλλά και σε ψυχρά κλίματα, ενώ σε υποτροπικά η ανάπτυξή του είναι σχεδόν αδύνατη. Τα ενήλικα έχουν μήκος σώματος 3 - 5 mm και χρώμα σκούρο κάστανο έως μαύρο. Η κεφαλή καταλήγει σε ένα κυρτό ρύγχος, το οποίο αποτελεί τα 2/3 του πρόνωτου. Ο θώρακας είναι διάστικτος και έχει μήκος σχεδόν ίσο με αυτό των ελύτρων, τα οποία έχουν κατά μήκος ραβδώσεις (Εικόνα 6). Οι οπίσθιες μεμβρανοειδείς πτέρυγες δεν είναι ανεπτυγμένες και γι' αυτό τον λόγο δεν πετά. Η προνύμφη έχει μήκος 3 - 4 mm και είναι κοντόχοντρη με κιτρινωπό χρωματισμό. Έχει 4 - 5 γενεές τον χρόνο. Διαχειμάζει ως προνύμφη μέσα στους αποθηκευμένους σπόρους ή ως ενήλικο στους σωρούς σπόρων ή σε διάφορα σημεία της αποθήκης. Τα θηλυκά συνευρίσκονται με τα αρσενικά αμέσως μετά την έξοδο τους από τους σπόρους. Μετά από 2 εβδομάδες, αρχίζουν να τοποθετούν τα αβγά τους μεμονωμένα σε βοθρία που ανοίγουν στους σπόρους (ένα βοθρίο σε κάθε σπόρο). Ένα θηλυκό μπορεί να γεννήσει μέχρι και 400 αυγά, ανάλογα με την θερμοκρασία του χώρου και την σκληρότητα των σπόρων (Σταμόπουλος, 2013). Ζημιές στα αποθηκευμένα προϊόντα προκαλούν τόσο τα ενήλικα όσο και οι προνύμφες του είδους. Προσβάλλουν κυρίως σπόρους σιτηρών (σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη κ.α.) αλλά και συμπαγή αμυλούχα προϊόντα (ξερό ψωμί, φρυγανιές, ζυμαρικά κ.α.).



Εικόνα 7. Ενήλικο του είδους *Sitophilus granarius*.

(πηγή: <https://www.pestsolutions.co.uk/pest-library/stored-product-insects/grain-weevil-sitophilus-granarius>)

Το *S. oryzae* είναι πιο κοσμοπολίτικο από το συγγενικό του είδος *S. granarius* και απαντάται κυρίως σε υποτροπικές και τροπικές περιοχές, όπως Ινδία, Αυστραλία, Η.Π.Α, τα παράλια της Β. Αφρικής και κάποια μέρη της Κίνας (Σταμόπουλος, 2013). Μορφολογικά είναι παρόμοιο με το *S. granarius*. Το σώμα των ενηλίκων έχει μήκος 2,5 - 4,5 mm και χρώμα σκούρο καστανό. Κύρια διαφορά με το συγγενικό του είδος είναι ότι στα έλυτρά του έχει 4 ανοιχτόχρωμες κηλίδες, δυο σε κάθε έλυτρο, όπως επίσης και το ότι έχει ανεπτυγμένες τις μεμβρανώδεις πτέρυγες και μπορεί να πετά (Εικόνα 7). Η προνύμφη είναι ευκέφαλη, άποδη, λευκού χρώματος με καστανόχρωμη κεφαλή. Σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να ξεπεράσει και τις 4 γενεές το έτος. Φτάνει στην αποθήκη πετώντας από τον αγρό, όπου το θηλυκό εναποθέτει τα αυγά του σε βοθρία που ανοίγει σε κάθε σπόρο. Κατά την διάρκεια της ζωής του ένα θηλυκό μπορεί να γεννήσει μέχρι και 500 αυγά. Η προνύμφη αναπτύσσεται μέσα στον σπόρο, από τον οποίο και τρέφεται. Βγαίνει από το σπόρο όταν ενηλικιωθεί και πετά προσβάλλοντας νέο προϊόν, ακόμα και στον αγρό. Προσβάλλει κυρίως ρύζι και σπόρους δημητριακών, αλλά και αλευρώδη προϊόντα, όσπρια, βαμβακόσπορο, ξηρούς καρπούς και ζωοτροφές.



Εικόνα 8. Ενήλικο του είδους *Sitophilus oryzae*.

(πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Rice_weevil)

Οικογένεια Dermestidae

Σε αυτή την οικογένεια ανήκουν είδη τα οποία τρέφονται σχεδόν αποκλειστικά από προϊόντα ζωικής προέλευσης, όπως τα *Dermestes lardarius* (L.), *Attagenus spp.*, *Anthrenus fasciatus* (T.) κ.α. Ορισμένα είδη όμως της οικογένειας των Dermestidae προσβάλλουν αποκλειστικά φυτικής προέλευσης προϊόντα. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι το *Trogoderma granarium* (E.) (Σταμόπουλος, 2013).

Το *T. granarium*, θεωρείται από τα πλέον επιζήμια έντομα αποθηκών στις θερμές χώρες, ενώ στις ψυχρές περιοχές οι προσβολές του περιορίζονται σημαντικά. Σε πολλές χώρες θεωρείται έντομο-καραντίνας. Το σώμα των ενηλίκων φτάνει σε μήκος τα 2-3 mm και είναι ωσειδές με καστανό χρώμα. Οι προνύμφες φτάνουν σε μήκος τα 4-6 mm, έχουν ανοιχτό καστανό χρώμα, και το σώμα τους φέρει μακριές και λεπτές κοκκινωπές τρίχες, με εμφανή θύσανο τριχών στο τελευταίο κοιλιακό τμήμα (Εικόνα 8). Δραστηριοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ 21 - 40 °C, με άριστη εκείνη των 35 °C, ενώ η χαμηλή σχετική υγρασία δεν το επηρεάζει σημαντικά. Τα ενήλικα δεν τρέφονται και την ζημιά προκαλεί εξ' ολοκλήρου η προνύμφη. Η αναπαραγωγή γίνεται στον σωρού του προϊόντος, με την προσβολή να μην είναι ορατή. Το θηλυκό μπορεί να γεννήσει μέχρι 125 αυγά, αραιά στην επιφάνεια των σπερμάτων. Σε ευνοϊκές συνθήκες ο βιολογικός κύκλος μπορεί να διαρκέσει μέχρι 30 ημέρες. Οι προνύμφες δεν διαχειμάζουν στο προϊόν, αλλά μεταναστεύουν σε σχισμές ή άλλες κρύπτες της αποθήκης. Το ενήλικο δεν τρέφεται, ενώ η προνύμφη μπορεί να έχει μακρά διάπαυση (έως και 8 έτη) και να νυμφωθεί όταν οι συνθήκες γίνουν ευνοϊκές (Σταμόπουλος, 2013). Εκτός από τις ζημιές που προκαλεί στα αποθηκευμένα προϊόντα, η παρουσία του μπορεί να προκαλέσει και σοβαρά προβλήματα στην δημόσια υγεία, όπως αλλεργικές αντιδράσεις.



Εικόνα 9. Προνύμφη (αριστερά) ενήλικο (δεξιά) του είδους *Trogoderma granarium*.

(πηγή: <https://gd.eppo.int/taxon/TROGPA/photos>)

Οικογένεια Sylanidae

Το σημαντικότερο είδος που ανήκει σε αυτή την οικογένεια και προκαλεί σοβαρές ζημιές σε αποθηκευμένα προϊόντα είναι το *Oryzaephilus surinamensis* (L.).

Προσβάλλει κυρίως σιτηρά και προϊόντα αυτών, όπως ζυμαρικά, ψωμί και μπισκότα. Ζημιές ωστόσο μπορεί να προκαλέσει και σε ξηρά όσπρια, σταφίδες, κακάο, καφέ, σοκολάτα, αποξηραμένα φυτά και ελαιούχους σπόρους. Τα ενήλικα έχουν λεπτό, πεπλατυσμένο σώμα καστανού χρώματος, με μήκος 3 mm. Στο πάνω μέρος του θώρακα υπάρχουν δυο κατά μήκος αυλακώσεις, ενώ στα πλάγια αυτού υπάρχουν από 6 οδοντοειδείς προεξοχές σε κάθε πλευρά του (Εικόνα 9). Οι προνύμφες είναι νηματοειδείς, πεπλατυσμένες με υποκίτρινο χρώμα και φτάνουν σε μήκος τα 4mm. Είναι ευκέφαλες και σε κάθε τμήμα του σώματος φέρουν από μια σκουρόχρωμη ραχιαία κηλίδα. Σε άριστες συνθήκες περιβάλλοντος, δηλαδή θερμοκρασία 30 - 35 °C και σχετική υγρασία 70 - 90%, ολοκληρώνει τον βιολογικό του κύκλο σε 20 ημέρες περίπου. Η βέλτιστη θερμοκρασία για την ωοτοκία είναι 25 °C και η υγρασία των κόκκων πρέπει να είναι άνω του 10% (Brich, 1944). Τα θηλυκά τοποθετούν τα αυγά μέσα στον σπόρο από μια μικρά οπή που δημιουργούν και στη συνέχεια την σφραγίζουν με τις εκκρίσεις τους. Η εκκόλαση τους γίνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 17,5 - 40 °C, ωστόσο σε θερμοκρασίες κάτω των 20 °C και πάνω από τους 37,5 °C και όταν η σχετική υγρασία είναι σε χαμηλά επίπεδα παρουσιάζουν υψηλή θνησιμότητα (Howe, 1956). Η νύμφωση γίνεται στο εσωτερικό του σπόρου και το ενήλικο εξέρχεται από αυτόν τρώγοντας το εσωτερικό του.



Εικόνα 10. Ενήλικο του είδους *Oryzaephilus surinamensis*.

(πηγή: <https://www.inaturalist.org/taxa/226660-Oryzaephilus-surinamensis>)

Οικογένεια Tenebrionidae

Αυτή η οικογένεια περιλαμβάνει περισσότερα από 10.000 είδη εντόμων, εκ των οποίων τα 100 θεωρούνται εχθροί των αποθηκευμένων προϊόντων. Τις σημαντικότερες ζημιές τις προκαλούν τα είδη *Tribolium confusum* Jacquelin du Val Duval και *Tribolium castaneum* (Herbst). Είναι δευτερεύοντα είδη και προσβάλλουν κυρίως το αλεύρι καλαμποκιού και σιταριού. Εκτός από τις ζημιές που προκαλούν

στα αποθηκευμένα προϊόντα, παράγουν και τοξικές κινόνες που μολύνουν το αλεύρι και τα παράγωγα του. Η γρήγορη αύξηση των πληθυσμών τους και η ανθεκτικότητα που έχουν αναπτύξει σε διάφορες κατηγορίες εντομοκτόνων είναι δύο από τους λόγους που τα κατατάσσει στα σπουδαιότερα έντομα αποθηκών.

Το *T. confusum*, κοινώς σκαθάρι ή ψείρα των αλεύρων (confused flour beetle) αναπτύσσεται καλύτερα και ταχύτερα σε σπασμένους παρά σε ολόκληρους σπόρους (Σταμόπουλος, 2008). Προσβολές στα αποθηκευμένα προϊόντα προκαλούν τόσο τα ενήλικα όσο και οι προνύμφες του είδους. Προσβάλλουν κυρίως σιτηρά, όσπρια, αλεύρι σιταριού και κεχριού, σιμιγδάλι, ξηρά λαχανικά, γλυκοπατάτα, ζωοτροφές, κακάο, μαύρο πιπέρι κ.α. Οι ζημιές είναι ανάλογες με την σχετική υγρασία του προϊόντος. Τα ενήλικα έχουν μακρόστενο και πεπλατυσμένο σώμα μήκους 4 - 4,5 mm καστανοκόκκινου χρώματος (Εικόνα 10). Η προνύμφη του είδους είναι ολιγόποδη, λευκοκίτρινου χρώματος, εκτός από την κεφαλή και το δίκρανο του τελευταίου κοιλιακού τμήματος που έχουν σκούρο καστανό χρώμα και φτάνει σε μήκος τα 5 mm. Το μορφολογικό χαρακτηριστικό του *T. confusum* που το διαφοροποιεί από το *T. castaneum* είναι ότι τα άρθρα της κεραίας του πλαταίνουν βαθμιαία ενώ του *T. castaneum* σχηματίζουν ρόπαλο (Σταμόπουλος, 2013). Διαχειμάζει ως ενήλικο μέσα στα προσβεβλημένα προϊόντα ή σε προφυλαγμένα σημεία της αποθήκης. Τα ενήλικα θηλυκά, τα οποία μπορούν να ζήσουν έως και 3 έτη σε άριστες συνθήκες (28 - 30 °C), παράγουν από 400 έως και 800 αυγά πάνω στα προϊόντα. Οι προνύμφες εκκολάπτονται όταν η θερμοκρασία είναι 15 - 40 °C, ενώ η σχετική υγρασία δεν παίζει σπουδαίο ρόλο. Η προνύμφη ολοκληρώνει την ανάπτυξή της σε 1 - 3 μήνες, αναλόγως της ποσότητας τροφής, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (Howe, 1960).



Εικόνα 11. Ενήλικο του είδους *Tribolium confusum*.

(πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Confused_flour_beetle)

Το είδος *T. castaneum* (Herbst) ή κοινώς σκούρο σκαθάρι των αλεύρων (Rust – red flour beetle) μορφολογικά μοιάζει πολύ με το *T. confusum*, με την κύρια διαφορά τους να εντοπίζεται στις κεραίες όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το ενήλικο έχει μήκος σώματος 3 - 4 mm και η προνύμφη είναι κιτρινωπή και ευκέφαλη.

Ο βιολογικός κύκλος του εντόμου ολοκληρώνεται σε ένα έτος περίπου. Τα θηλυκά σε ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας (32,5 °C) μπορούν να γεννήσουν έως και ένδεκα αυγά την ημέρα, ενώ καθ' όλη την διάρκεια ζωής του μπορεί να γεννήσει μέχρι και 1000 αυγά. Οι προνύμφες μέχρι την νύμφωση τους μένουν στον σπόρο. Τα ενήλικα προσβάλλουν μεγάλη ποικιλία τροφών όπως και το συγγενές είδος *T. confusum* και λόγω της μεγάλης προσαρμοστικότητας που εμφανίζουν μπορούν να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν σε διάφορες συνθήκες.



Εικόνα 12. Ενήλικο του είδους *Tribolium castaneum*.

(πηγή: http://www.science20.com/science_explained/selfdefense_for_insect_eggs-149901)

1.2.2 Κυριότερα Lepidoptera

Οικογένεια Pyralidae

Τα είδη που ανήκουν στις πυραλίδες και θεωρούνται οι βασικότεροι εχθροί των αποθηκευμένων προϊόντων είναι τα εξής: *Ephestia elutella* (Hübner), *Ephestia kuehniella* (Zeller) και *Plodia interpunctella* (Hübner).

Το είδος *E. elutella*, κοινώς σκουλήκι του καπνού ή του κακάο, μαζί με το *L. serricornis* αποτελούν τους σημαντικότερους εχθρούς του αποθηκευμένου καπνού στην Ελλάδα. Προσβάλλει επίσης κακάο, σοκολάτα, ξηρούς καρπούς, ρύζι, αφυδατωμένα λαχανικά κ.α. Εκτός από την κύρια ζημιά, λερώνει με τα αποχωρήματα του και τα μετάξινα νήματα που εκκρίνει το προϊόν (Σταμόπουλος, 2013). Τα ενήλικα

έχουν άνοιγμα πτερύγων περίπου 17 mm. Οι μπροστινές πτέρυγες έχουν τεφροκάστανο χρώμα με δυο εγκάρσιες κυματοειδείς γραμμές, ενώ οι πίσω είναι ανοιχτόχρωμες (Εικόνα 13). Η προνύμφη έχει μήκος 12 mm, χρώμα υπόλευκο κιτρινωπό ή ρόδινο, ανάλογα με την τροφή που τρώει, με καστανή κεφαλή και θωρακική πλάκα. Στα νώτα και στα πλάγια κάθε σωματικού δακτυλίου φέρει καστανά στίγματα από τα οποία εξέρχεται μια τρίχα. Στη χώρα μας, διαχειμάζει ως ανεπτυγμένη προνύμφη μέσα σε βομβύκιο σε αποθήκες. Τα ενήλικα, τα οποία εμφανίζονται τον Απρίλιο, ωτοκοούν στην επιφάνεια των προϊόντων 100 - 250 αυγά το καθένα. Οι προνύμφες τρέφονται με το έλασμα των φύλλων του καπνού από τον μίσχο προς την κορυφή. Προτιμούν καπνά με υψηλά ποσοστά σακχάρου και χαμηλά ποσοστά νικοτίνης. Σε ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (τροπικά και εύκρατα κλίματα) έχει 2 - 3 γενεές το έτος.



Εικόνα 13. Ενήλικο του είδους *Ephestia elutella*.

(πηγή: <https://alchetron.com/Ephestia-elutella>)

Το είδος *E. kuehniella*, κοινώς μεσογειακό σκουλήκι των αλεύρων (Mediterranean meal moth) απαντάται σε εύκρατες χώρες και προσβάλλει κυρίως άλευρα. Ζημιές ωστόσο μπορεί να προκαλέσει και σε όσπρια, σπόρους σιτηρών, ξηρούς καρπούς, πίτουρα κ.α. Εκτός από την κύρια προσβολή, ρυπαίνει τα άλευρα με τα εκδύματα, τα βομβύκια, τα μετάξινα νήματα και τα αποχωρήματα του. Τα ενήλικα έχουν άνοιγμα πτερύγων 22 mm περίπου. Οι μπροστινές πτέρυγες έχουν χρώμα τεφρό με τρεις μαύρες εγκάρσιες κυματοειδείς γραμμές, ενώ οι πίσω είναι υπόλευκες με την περιφέρεια και τα νεύρα να είναι καστανά (Εικόνα 14). Έχουν μικρή και σφαιρική κεφαλή και ευδιάκριτες χειλικές προσαρκτρίδες. Οι προνύμφες έχουν τελικό μήκος 20 - 22 mm και χρώμα συνήθως υπόλευκο ή ρόδινο με καστανή κεφαλή και πρόνωτο (Σταμόπουλος, 2013). Τα θηλυκά, τα οποία δραστηριοποιούνται κυρίως τη νύχτα μπορούν να γεννήσουν μέχρι και 300 αυγά σε ομάδες των 10-30 αυγών στην

επιφάνεια των αλεύρων. Οι προνύμφες αφού τραφούν λίγο, υφαίνουν θήκες με μετάξινα νήματα μέσα στις οποίες αναπτύσσονται. Η διάρκεια του βιολογικού κύκλου του εντόμου αυτού διαφοροποιείται αναλόγως με το είδος του αλεύρου. Σύμφωνα με έρευνα του Balachowski (1972) όσες προνύμφες είχαν τραφεί με καλαμποκάλευρο συμπλήρωσαν τον βιολογικό τους κύκλο σε 83 ημέρες, όσες τράφηκαν με άλευρο κριθαριού σε 123 και όσες τράφηκαν με ρυζάλευρο σε 217 ημέρες.



Εικόνα 14. Ενήλικο του είδους *Ephestia kuehniella*.

(πηγή: <http://www.hantsmoths.org.uk/species/1475.php>)

Το είδος *P. interpunctella*, κοινώς σκουλήκι των αποθηκών (Indian meal moth) απαντάται κυρίως σε χώρες με εύκρατο ή τροπικό κλίμα. Προσβάλλει κυρίως σπόρους, ξερά λαχανικά, γλυκίσματα, κακάο και αποξηραμένα φρούτα. Σε πολλές περιπτώσεις πάνω στα προσβεβλημένα προϊόντα παρατηρούνται μετάξινοι ιστοί, οι οποίοι εκκρίνονται από τις προνύμφες και είναι γεμάτοι με τα αποχωρήματα και τα εκδύματα του εντόμου. Τα ενήλικα έχουν μήκος σώματος περίπου 10 mm και άνοιγμα πτερυγών 15 - 20 mm. Οι πρόσθιες πτέρυγες είναι καστανέρυθρες στο μεγαλύτερο μέρος τους με δυο εγκάρσιες μαύρες γραμμώσεις, ενώ το υπόλοιπο τμήμα τους είναι αργυρόλευκο. Οι οπίσθιες πτέρυγες είναι ανοιχτόχρωμες και κροσσωτές, ενώ η κεφαλή και ο θώρακας έχουν καστανέρυθρο χρωματισμό (Εικόνα 15). Οι προνύμφες έχουν τελικό μήκος 8 - 12 mm και χρωματισμό που εξαρτάται από το είδος της τροφής (υπόλευκο έως ρόδινο), ενώ το κεφάλι και η θωρακική πλάκα είναι καστανά (Σταμόπουλος, 2013).



Εικόνα 15. Ενήλικο του είδους *Plodia interpunctella*.

(πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Indianmeal_moth)

Η διάρκεια του βιολογικού κύκλου του εξαρτάται από την θερμοκρασία και το είδος της τροφής που καταναλώνουν οι προνύμφες. Σε ιδανικές περιπτώσεις μπορεί να συμπληρώσει μέχρι και 8 γενεές το έτος. Τα ενήλικα θηλυκά δραστηριοποιούνται την νύχτα και φωτοκοούν μέχρι και 150 αυγά, συνήθως σε ομάδες πάνω στα προϊόντα.

1.3 Τρόποι αντιμετώπισης των εντόμων αποθηκών

Για να μειωθούν οι μετασυλλεκτικές απώλειες στα προϊόντα, θα πρέπει να υπάρχουν τρία επίπεδα διαχείρισης. Πρώτο επίπεδο, και ίσως το σημαντικότερο αυτών, είναι η πρόληψη. Περιλαμβάνει μέτρα τα οποία πρέπει να ληφθούν για να εμποδιστεί η είσοδος των εντόμων στον χώρο και στο προϊόν. Ενδεικτικά, κάποια βασικά μέτρα πρόληψης που βοηθούν στην μείωση ή και αποφυγή των προσβολών από έντομα αποθηκών είναι τα παρακάτω: οι αποθηκευτικοί χώροι δεν πρέπει να συνορεύουν με εστίες μόλυνσης, τα υλικά και ο τρόπος κατασκευής των αποθηκευτικών χώρων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζονται ευνοϊκές συνθήκες αποθήκευσης όσον αφορά την θερμοκρασία, την υγρασία και τον αερισμό, τα ανοίγματα (παράθυρα, συστήματα αερισμού κ.α) πρέπει να καλύπτονται με πυκνό πλέγμα (σήτα), ώστε να εμποδίζεται η είσοδος των εντόμων και να μην συσσωρεύονται σκόνη και ακαθαρσίες. Επίσης, οι εξωτερικοί χώροι πρέπει να είναι καθαροί και να γίνεται έλεγχος των ζιζανίων περιφερειακά της αποθήκης όταν αυτός απαιτείται.

Καθώς καμία μέθοδος απεντόμωσης δεν εγγυάται 100% αποτελεσματικό έλεγχο των εντόμων, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην πρόληψη των προσβολών. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι προσβολές σε μια αποθήκη εξαρτώνται και από τον τύπο και την κατάσταση του προς αποθήκευση προϊόντος. Υπάρχουν ποικιλίες που παρουσιάζουν την λεγόμενη “βιολογική

αντίσταση” και άλλες που είναι πιο επιδεκτικές προσβολής. Για παράδειγμα, η σκληρότητα των σπόρων σιταριού επηρεάζει την ανθεκτικότητά του, το ακατέργαστο ρύζι είναι πιο ανθεκτικό σε προσβολές εντόμων από το λευκό ή “γυαλισμένο” κ.ά. Επιπροσθέτως, η καθαρότητα και η ακεραιότητα των σπόρων και των ξηρών καρπών εξασφαλίζει την “μηχανική αντίσταση” κατά των εντόμων (Μπουχέλος, 2005).

Το δεύτερο επίπεδο διαχείρισης των εντόμων αποθηκών είναι η παρακολούθηση των πληθυσμών τους. Δηλαδή, ο οπτικός έλεγχος του αποθηκευμένου προϊόντος και των εγκαταστάσεων, ο έλεγχος των συνθηκών αποθήκευσης, η δειγματοληψία και η χρήση παγίδων έτσι ώστε να επιτύχουμε την έγκαιρη διαπίστωση τυχόν προσβολής. Κατά τις περιόδους με υψηλές θερμοκρασίες ή/και υψηλή σχετική υγρασία, οι έλεγχοι θα πρέπει να γίνονται πιο συχνά και με μεγαλύτερη προσοχή.

Το τελευταίο επίπεδο διαχείρισης είναι η καταπολέμηση (Pest control) και εφαρμόζεται όταν τα δύο προηγούμενα στάδια δεν ήταν αποτελεσματικά. Ως καταπολέμηση, ορίζεται ο περιορισμός του πληθυσμού των βλαβερών εντόμων και σπανιότερα η εξόντωση του πληθυσμού ενός εντόμου, με την παρέμβαση του ανθρώπου (Τζανακάκης, 1980).

Για να είναι επιτυχημένη η καταπολέμηση, θα πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε το μέγεθος της προσβολής (είδος εντόμου, μέγεθος πληθυσμού) καθώς και τις συνθήκες που επικρατούν εντός και εκτός της αποθήκης. Ακολουθώντας, με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, θα πρέπει να επιλέξουμε τις μεθόδους και τα μέσα καταπολέμησης. Η επιλογή αυτή θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη το είδος του προϊόντος, την πιθανότητα ρύπανσης του από τα εντομοκτόνα, την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, τον κίνδυνο έκθεσης των εργαζομένων στα εντομοκτόνα, το κόστος της μεθόδου κ.ά.

1.3.1 Μηχανικές μέθοδοι

Η αντιμετώπιση με μηχανικές μεθόδους περιλαμβάνει διάφορα φυσικά μέσα άμεσης νέκρωσης και μείωσης του πληθυσμού. Τέτοια είναι η μηχανική απομάκρυνση, η ξήρανση του προϊόντος, η δημιουργία κενού και η συσκευή Entoleter. Οι περισσότερες από αυτές τις μεθόδους είναι αποτελεσματικές μόνο όταν οι πληθυσμοί των εντόμων είναι σε χαμηλά επίπεδα.

Μηχανική απομάκρυνση

Σε αυτή την μέθοδο εκτοξεύεται νερό με μεγάλη πίεση στο προϊόν και απομακρύνει έντομα και ακαθαρσίες. Συνίσταται για έντομα που είναι ευπαθή και αποσπώνται εύκολα από τον ξενιστή τους (Τζανακάκης, 1980).

Ξήρανση

Η μείωση της υγρασίας των σπόρων και των δεμάτων, αυξάνει την διατηρησιμότητα του προϊόντος και παρεμποδίζει έμμεσα τη δράση των εντόμων.

Κενό

Με τη μέθοδο αυτή επιδιώκεται η αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα από το προϊόν και η δημιουργία κενού. Έτσι, καθώς τα έντομα αναπνέουν και απελευθερώνουν CO₂ δημιουργείται ένα ασφυκτικό περιβάλλον για αυτά. Η μέθοδος αυτή έχει υψηλό κόστος και παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα, όπως την ανάπτυξη αναερόβιων μικροοργανισμών, αλλά χρησιμοποιείται σε αρκετές περιπτώσεις με καλή αποτελεσματικότητα.

Entoleter

Πρόκειται για μια εντομοκτόνο συσκευή, η οποία αποτελείται από ζεύγος μεταλλικών δίσκων που περιστρέφονται γύρω από ένα κεντρικό άξονα με μεγάλη ταχύτητα (χιλιάδες στροφές ανά λεπτό). Το προϊόν διέρχεται μεταξύ των δίσκων και υποβάλλεται σε ταχεία φυγοκεντρική περιστροφή, με αποτέλεσμα τα έντομα, οι προνύμφες και τα αυγά να καταστρέφονται κατά την πρόσκρουση στα τοιχώματα της συσκευής. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται με μεγάλη αποτελεσματικότητα κυρίως, για την απεντόμωση αλεύρων.

1.3.2 Φυσικές μέθοδοι

Χρήση υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών

Τα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων ζουν και αναπαράγονται σε θερμοκρασίες από 15 έως 35 °C. Γενικά, η έκθεση σε θερμοκρασίες 4-5 °C πάνω από την ιδανική θερμοκρασία μειώνει τον ρυθμό ανάπτυξης τους, ενώ περαιτέρω αύξησή της

θερμοκρασίας επιφέρει και τον θάνατό τους (Αθανασίου και συνεργάτες, 2015). Έχει διαπιστωθεί ότι σε θερμοκρασίες άνω των 35 °C, μειώνεται η επιβίωση και η αναπαραγωγή των ενηλίκων εντόμων (Μπουχέλος, 2005). Στην πράξη για την άμεση θανάτωση των εντόμων χρησιμοποιούνται θερμοκρασίες άνω των 60 °C, ενώ στους 50 - 55 °C το έντομο θανατώνεται σε 3 - 4 ώρες. Η επιλογή της θερμοκρασίας εξαρτάται και από την ευαισθησία των προϊόντων σε υψηλές θερμοκρασίες. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με την χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, ειδικών γεννητριών θερμότητας, συσκευές μικροκυμάτων και με θερμό ρεύμα αέρος (Σταμόπουλος, 2013).

Η απεντόμωση με την μείωση της θερμοκρασίας είναι σε πολλές περιπτώσεις αποτελεσματική και προτιμάται, καθώς δεν προκαλεί αλλοιώσεις στα προϊόντα, είναι όμως πιο δαπανηρή. Βέβαια, σε χώρες με ψυχρό κλίμα και χαμηλές θερμοκρασίες το κόστος είναι μικρότερο. Τα ενήλικα και οι προνύμφες όταν εκτεθούν σε θερμοκρασία 10 °C υπό το μηδέν πεθαίνουν σε 24 με 30 ώρες, ενώ όσο μειώνεται η θερμοκρασία μειώνεται και ο χρόνος που απαιτείται για την θανάτωση τους. Μια μέση θερμοκρασία για τον έλεγχο τους με μικρότερο κόστος είναι οι 14-16 °C υπό του μηδενός στη μάζα του προϊόντος. Αυτό επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο με ρεύματα ψυχρού αέρα που διαπερνούν την μάζα των προϊόντων και προκαλούν αδρανοποίηση των εντόμων χωρίς να προκληθεί ο θάνατός τους (Σταμόπουλος, 2013).

Ελεγχόμενες ατμόσφαιρες

Με την χρήση αυτής της μεθόδου αποσκοπούμε στην δημιουργία δυσμενών συνθηκών επιβίωσης σε πληθυσμούς εντόμων που βρίσκονται σε κλειστούς και καλά μονωμένους χώρους και προσβάλλουν τα προϊόντα. Αυτό γίνεται είτε προσθέτοντας CO₂ ή N₂, είτε αφαιρώντας O₂. Για να είναι πιο αποτελεσματική η μέθοδος αυτή επεμβαίνουμε και στην σχετική υγρασία ή στην ατμοσφαιρική πίεση του χώρου. Παρόλο που το κόστος χρήσης αυτής της μεθόδου είναι αρκετά υψηλό, χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία διότι είναι αποτελεσματική, δίχως να αφήνει ανεπιθύμητα υπολείμματα και δεν επηρεάζει το προϊόν (Σταμόπουλος, 2013).

Ηλεκτροστατικό πεδίο

Η δημιουργία ηλεκτροστατικού πεδίου επιτυγχάνεται με ειδικά μηχανήματα που παράγουν υψηλής συχνότητας και έντασης ρεύμα, το οποίο διοχετεύεται στο προς απεντόμωση προϊόν και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του

σώματος των εντόμων σε υψηλά επίπεδα, προκαλώντας έτσι τον θάνατό τους. Η θερμοκρασία του προϊόντος (κυρίως σπόροι και καπνός) δεν επηρεάζονται σημαντικά. Τα μηχανήματα αυτά είναι εφοδιασμένα με αυτόματους ρυθμιστές, με τους οποίους ρυθμίζεται η ένταση του δημιουργούμενου ρεύματος, αναλόγως του προϊόντος και του είδους του εντόμου.

Ιονίζουσα ακτινοβολία

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται είτε άμεσα στο προσβεβλημένο προϊόν είτε για την στείρωση των εντόμων, με σκοπό την βαθμιαία μείωση των πληθυσμών τους. Ωστόσο η εφαρμογή της για στείρωση των εντόμων δεν βρήκε έδαφος για την απεντόμωση σε χώρους αποθήκευσης προϊόντων, διότι τα στείρα έντομα εξακολουθούν να τρέφονται από το προϊόν και να προκαλούν ζημιές. Οι τύποι ακτινοβολίας που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα είναι η ακτινοβολία γ , η οποία παράγεται από ραδιενεργά ισότοπα και τα ηλεκτρόνια υψηλής ταχύτητας εκπεμπόμενα από θερμαινόμενη κάθοδο και επιταχυνόμενα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο (Σταμόπουλος, 2013).

Αφυδάτωση (γη διατόμων)

Η γη διατόμων είναι κοιτάσματα απολιθωμένων διατόμων που αποτελούνται κυρίως από SiO_2 . Πρόκειται για κόκκους μεγέθους 5 - 20 μ με ακανόνιστο σχήμα, οι οποίοι προσκολλούνται εύκολα στα σώματα όλων των βαδιστικών εντόμων καθώς περπατούν και σχίζουν το κηρώδες επίστρωμα τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αφυδάτωση των εντόμων και τον επερχόμενο θάνατό τους μέσα σε λίγες ημέρες. Σημαντικό πλεονέκτημα της είναι ότι τα έντομα δεν μπορούν να αποκτήσουν ανοσία, δεδομένου ότι δεν περιέχει χημικά. Ανάλογα με το προϊόν και το είδος του εντόμου απαιτούνται διαφορετικές δόσεις για ικανοποιητικά αποτελέσματα και συνδυάζεται χωρίς πρόβλημα και με άλλες μεθόδους απεντόμωσης, όπως υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, φωσφίνη κ.ά.

Εφαρμογή των τροπισμών

Με τον όρο “τροπισμό” εννοούμε τον προσανατολισμό και την ανταντακλαστική μετατόπιση (θετική ή αρνητική) των εντόμων υπό την επίδραση δεδομένου ερεθίσματος. Με βάση τον τροπισμό χρησιμοποιούνται παγίδες, οι οποίες

στοχεύουν περισσότερο στην ανάδειξη της παρουσίας εντόμων στον χώρο και την εκτίμηση της διακύμανσης του πληθυσμού τους και όχι τόσο στην θανάτωσή τους (Μπουχέλος, 2005).

1.3.3 Χημική καταπολέμηση

Η χρήση χημικών ουσιών είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τον έλεγχο των εντόμων αποθηκών, καθώς μπορούν να αντιμετωπίσουν μεγάλους πληθυσμούς επιβλαβών εντόμων. Οι χημικές ενώσεις αναλόγως της δομής και της προέλευσής τους διακρίνονται σε ανόργανες και οργανικές ενώσεις. Οι εντομοκτόνες ουσίες που χρησιμοποιούνται κυρίως ανήκουν στα πυρεθροειδή, στα νεονικοτινοειδή και στα οργανοφωσφορικά.

Οργανικές Ενώσεις

Pirimiphos-methyl

Το pirimiphos-methyl είναι η συνηθέστερη χρησιμοποιούμενη ένωση ως εντομοκτόνο σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι οργανοφωσφορική ένωση, ευρέως φάσματος (Redlinger et al., 1988) και είναι δέκα φορές λιγότερο τοξική στα θηλαστικά από την ουσία pirimiphos-ethyl (Ζιώγας και Μάρκογλου, 2010). Γενικά, το pirimiphos-methyl είναι πιο τοξικό για τα θηλαστικά από ότι τα πυρεθροειδή ή οι σπινουσίνες. Ωστόσο, μελέτες δείχνουν ότι το pirimiphos-methyl είναι πολύ αποτελεσματικό. Για παράδειγμα, οι Athanassiou et al. (2009) αναφέρουν ότι το pirimiphos-methyl ελέγχει πλήρως πέντε είδη Ψωκοπτέρων στον αραβόσιτο. Τέλος, σύμφωνα με τους Rumbos et al. (2013) το pirimiphos-methyl αξιολογήθηκε εναντίον ενηλίκων των *S. granarius*, *S. oryzae*, *R. dominica*, *T.confusum*, *O. surinamensis* και *P. truncatus*, όπου διαπιστώθηκε ότι για τα είδη του γένους *Sitophilus* ήταν απολύτως αποτελεσματικό καθώς καταγράφηκε θνησιμότητα 100% στην δόση 1 ppm μετά από 7 μέρες έκθεσης.

Spinosad

Είναι βιολογικής προέλευσης εντομοκτόνο, το οποίο προκαλεί έντονη και συνεχή υπερδιέγερση του νευρικού συστήματος, η οποία οδηγεί στην εξάντληση και τελικά στον θάνατο του εντόμου, μέσα σε 1–7 ημέρες (Hertlein et al., 2011). Οι δραστικές ουσίες είναι δύο: η spinosyn A και η spinosyn D, οι οποίες είναι προϊόντα μεταβολισμού του ακτινομύκητα *Saccharopolyspora spinosa*. Δρα ως εντομοκτόνο

στομάχου και μέχρι στιγμής δεν έχουν αναφερθεί φαινόμενα ανθεκτικότητας για τα έντομα αποθηκών.

Ρυθμιστές ανάπτυξης

Οι ρυθμιστές ανάπτυξης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, στους μιμητές της νεανικής ορμόνης, στους αναστολείς συνθέσεως της χιτίνης και στους ανταγωνιστές της εκδυσόνης. Εντομοκτόνα με αυτή την δράση έχουν χρησιμοποιηθεί με πολύ καλά αποτελέσματα εναντίον Κολεοπτέρων αποθηκών, όπως τα *S. granarius*, *T. confusum* και *O. surinamensis* (Μπουχέλος, 1996).

Καπνιστικά αέρια

Τα καπνιστικά ή ατμίζοντα εντομοκτόνα βασίζονται σε δραστικές ουσίες, οι οποίες σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση υπάρχουν σε αέρια μορφή, ενώ σε ορισμένες συγκεντρώσεις και χρονικά διαστήματα έκθεσης η εφαρμογή τους είναι θανατηφόρα για τα έντομα (Σταμόπουλος, 1999). Η διείσδυση των καπνιστικών εντομοκτόνων μέσα στο σώμα του εντόμου γίνεται μέσω του αναπνευστικού συστήματος και μέσω διάχυσης από το χιτινικό περίβλημα. Χρησιμοποιούνται σε κλειστούς και καλά στεγανοποιημένους χώρους για τον έλεγχο εντομολογικών εχθρών, καθώς και σε χώρους επεξεργασίας φυτικών και ζωικών προϊόντων. Με την εφαρμογή των καπνιστικών εντομοκτόνων επιτυγχάνεται η θανάτωση όλων των σταδίων χωρίς επικίνδυνα υπολείμματα για την υγεία των καταναλωτών. Τα εντομοκτόνα αυτά εξαπλώνονται και διεισδύουν πολύ γρήγορα καταλαμβάνοντας όλο τον χώρο, γι αυτό και είναι πολύ αποτελεσματικά. Η εφαρμογή τους όμως είναι πολύ επικίνδυνη, καθώς μπορεί να προκληθούν δηλητηριάσεις, γι' αυτό χρειάζεται ειδικευμένο προσωπικό. Ο κίνδυνος ανάφλεξης είναι ένα επίσης σοβαρό πρόβλημα (Σταμόπουλος, 1999).

Φωσφίνη (PH₃)

Ανήκει στα καπνιστικά εντομοκτόνα. Είναι άχρωμο, πολύ τοξικό αέριο, με οσμή ασετιλίνης ή σκόρδου και σημείο ζέσεως -87.4°C. Μπορεί να προκαλέσει οξεία δηλητηρίαση και δεν υπάρχει κάποιο αντίδοτο, γι' αυτό θα πρέπει να τηρούνται όλες οι προφυλάξεις κατά την εφαρμογή της. Ορισμένα είδη εντόμων έχουν αναπτύξει ανθεκτικότητα στην φωσφίνη. Σύμφωνα με τους Pimentel *et al.* (2009), 20 από τους

22 πληθυσμούς του σκαθαριού *S. zeamais* που εξετάστηκαν ήταν ανθεκτικοί στην φωσφίνη. Στην αγορά η φωσφίνη διατίθεται σε διάφορες μορφές, όπως σε δισκία, σε σφαιρίδια, σε σακίδια ή φακέλους και σε κουβέρτες (Σταμόπουλος, 2013).

Βρωμιούχο μεθύλιο (CH₃Br)

Είναι καπνιστικό εντομοκτόνο ζωτικής σημασίας για την προστασία της αγροτικής παραγωγής στο παρελθόν. Βρίσκει εφαρμογή σε πολλά γεωργικά προϊόντα δίχως να εμφανίζονται δυσμενείς παρενέργειες. Είναι πολύ αποτελεσματικό εναντίον όλων των σταδίων των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων και δρα ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες, της τάξης των -10°C. Το 1992 συμπεριλήφθηκε στην λίστα με τις υπό έλεγχο ουσίες και αποφασίστηκε η σταδιακή μείωση της παραγωγής του, καθώς θεωρείται ότι καταστρέφει το όζον της ατμόσφαιρας. Τελικά, το 2005 έπαψε να χρησιμοποιείται στις αναπτυσσόμενες χώρες και το 2015 και στις αναπτυσσόμενες (Σταμόπουλος, 2013).

Υδροκυάνιο (HCN)

Είναι πολύ τοξικό αέριο για τα έντομα αποθηκών, τα φυτά και τον άνθρωπο και γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή και να τηρούνται οι κανόνες ασφάλειας. Η εντομοτοξικότητα του ελαττώνεται γρήγορα όταν τα προϊόντα είναι υγρά, λόγω της μεγάλης υδατοδιαλυτότητας του, οπότε δεν θεωρείται κατάλληλο για απεντόμωση σιτηρών, αλεύρων και άλλων υδαρών προϊόντων. Σήμερα η χρήση του έχει περιοριστεί.

Καρβονυλικό σουλφίδιο (COS)

Το COS εφαρμόζεται σε σπόρους και σε ξύλο για τα ξυλοφάγα έντομα και προκαλεί το θάνατο όλων των σταδίων που βρίσκονται εκτός των σπόρων σε συγκέντρωση 25 mg/l. Είναι αποτελεσματικό για τα έντομα και τα ακάρεα των αποθηκευμένων προϊόντων, όμως είναι πολύ τοξικό για τα θηλαστικά.

Πυρεθρινοειδή

Τα πυρεθρινοειδή ή συνθετικές πυρεθρίνες είναι ενώσεις της φυσικής χημικής ένωσης «Πυρεθρίνη Ι», η οποία παραλαμβάνεται από τις ταξιανθίες του *Chrysanthemum cinerariaefolium*, κοινώς χρυσάνθεμο. Κύρια πλεονεκτήματα είναι η

διάσπαση τους στον ανθρώπινο οργανισμό σε μη τοξικά παράγωγα, το γεγονός ότι δεν βιοσυσσωρεύονται (παρόλο που είναι λιπόφιλα), καθώς και η φωτοσταθερότητα και η μεγάλη υπολειμματική τους διάρκεια (Arthur, 1996). Τα πυρεθρινοειδή δρουν στο νευρικό σύστημα παρεμποδίζοντας το κλείσιμο των διαύλων νατρίου, προκαλώντας συνεχή μετάδοση ερεθισμάτων, υπερδιέγερση του νευρικού συστήματος και θάνατο (Γιαννοπολίτης, 2005; IRAC, 2018). Τα περισσότερα έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία σε διάφορα είδη εντόμων στα αποθηκευμένα προϊόντα και μερικά από αυτά έχουν άδεια για άμεση εφαρμογή στα προϊόντα (White and Leesch, 1995; Arthur, 1996). Μεταξύ αυτών, το alpha-cypermethrin είναι αποτελεσματικό κατά των εντόμων αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων σε σχετικά χαμηλή δόση (Athanassiou et al., 2004a; 2004b). Επίσης, σε μελέτη των Athanassiou *et al.* (2004b) βρέθηκε ότι συγκέντρωση 0,25 ppm του beta-cyfluthrin μπορεί να προκαλέσει υψηλή θνησιμότητα σε ενήλικα των *S. oryzae* και *T. confusum*. Τέλος, οι Agrafioti et al. (2015) μελέτησαν την επίδραση του alpha-cypermethrin σε ενήλικα του εντόμου *O. surinamensis* σε επιφάνειες τσιμέντου και σε μέταλλο και ανέφεραν 100% θνησιμότητα μετά από 5 ημέρες έκθεσης στην δραστική ουσία και στις δύο επιφάνειες.

Το cyphenothrin [χημικό όνομα (S)-α-cyano-3-phenoxybenzyl(1R)-cis, trans-chrysanthemate] είναι μια συνθετική πυρεθρίνη με ισχυρή εντομοκτόνο δράση εναντίον ενός μεγάλου αριθμού εντόμων-εχθρών και το οποίο έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί σαν δραστική ουσία εντομοκτόνων οικιακής χρήσης (aerosol sprays), κυρίως εναντίον εντόμων υγειονομικής σημασίας, όπως τα κουνούπια (Mittal et al., 2009; Al-Sarar et al. 2014), οι κατσαρίδες (Tilak et al., 2005; Stejskal et al., 2009) και τα ακάρεα (Stará et al. 2011). Παρά τον εκτενή έλεγχο της βιβλιογραφίας, βρέθηκε μόνο μια παλιά εργασία με το cyphenothrin, που να αφορά στη χρήση του εναντίον εντόμων αποθηκών (Halliday et al., 1987).

Το prallethrin είναι ένα μη χλωριωμένο πυρεθρινοειδές εντομοκτόνο, το οποίο απαντάται σε πολλά διαθέσιμα στην αγορά εντομοκτόνα εναντίον εντόμων υγειονομικής σημασίας, κυρίως εναντίον κουνουπιών (Farajollahi et al., 2012; Ujihara et al., 2012; Chin et al., 2017; Bibbs et al., 2018) και άλλων εντόμων φορέων ασθενειών (Sirak-Wizeman et al., 2008). Υπάρχει μόνο μία εργασία με το prallethrin εναντίον εντόμων αποθηκών, στην οποία διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα του εναντίον 7 κοινών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων (Arthur, 1993). Σε αυτή την

εργασία, καταγράφηκαν μεγάλα ποσοστά θνησιμότητας εναντίον των περισσότερων εντόμων από αυτά που εξετάστηκαν, ενώ τα ενήλικα του *T. confusum* και οι προνύμφες του *Attagenus megatoma* (F.) (Coleoptera, Dermestidae) ήταν τα λιγότερα ευαίσθητα.

Η αξιολόγηση εντομοκτόνων με περισσότερες από μία δραστικές ουσίες με διαφορετικούς τρόπους δράσης έχει προσελκύσει τελευταία το επιστημονικό ενδιαφέρον (Wakil et al., 2010; Athanassiou et al., 2013; Paudyal et al., 2017; Rumbos et al., 2018). Για παράδειγμα, υψηλά ποσοστά θνησιμότητας καταγράφηκαν για ένα εντομοκτόνο με βάση μια γη διατόμων (diatomaceous earth) και ένα φυτικό εκχύλισμα (bitterbarkomycin) εναντίον ενηλίκων των *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. castaneum* (Wakil et al., 2010). Παρομοίως, οι Athanassiou et al. (2013) μελέτησαν ένα εντομοκτόνο που περιείχε τις δραστικές ουσίες beta-cyfluthrin και imidacloprid μετά από εφαρμογή με ψεκασμό επιφανειών εναντίον επτά εντόμων αποθηκών, χωρίς όμως σε αυτή την περίπτωση να παρατηρήσουν κάποιο αθροιστικό ή συνεργιστικό αποτέλεσμα από τη συνδυασμένη εφαρμογή των δύο ουσιών. Η υπόθεση πίσω από όλες αυτές τις μελέτες είναι το ότι η εφαρμογή δραστικών ουσιών με διαφορετικό μηχανισμό δράσης μπορεί να προσφέρει πιο αποτελεσματικό έλεγχο απ' ό,τι κάθε ουσία ξεχωριστά, να αυξήσει τον αριθμό των εντόμων εναντίον των οποίων το εντομοκτόνο έχει δράση και να προσφέρει μια λύση στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας των εντόμων σε συχνά χρησιμοποιούμενα εντομοκτόνα.

1.4. Σκοπός της παρούσας μελέτης

Με βάση όλα τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του εντομοκτόνου σκευάσματος BOMBEX[®] FARUMY (cyphenothrin 10% β/ο, prallethrin 1% β/ο) εναντίον σημαντικών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων μετά από επιφανειακή εφαρμογή σε διάφορες επιφάνειες (surface treatment). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές βιοδοκιμών, οι οποίες είχαν τους παρακάτω επιμέρους στόχους:

1. Την αξιολόγηση της επίδρασης του τύπου της επιφάνειας (τσιμέντο, μέταλλο) στην αποτελεσματικότητα του εντομοκτόνου εναντίον των ειδών *S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* και *P. truncatus*.
2. Την αξιολόγηση της υπολειμματικής δράσης του εντομοκτόνου μετά από ψεκασμό σε επιφάνεια για διάστημα 4 μηνών εναντίον των ειδών *S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* και *P. truncatus*.

3. Την αξιολόγηση της καθυστερημένης δράσης του εντομοκτόνου εναντίον των ειδών *S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* και *P. truncatus*.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Είδη εντόμων

Στις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκαν ενήλικα άτομα τεσσάρων ειδών εντόμων αποθηκών (Εικόνα 16). Τα είδη αυτά ήταν τα: *Sitophilus oryzae* (L) (Coleoptera, Curculionidae), για το οποίο χρησιμοποιήθηκαν ως υπόστρωμα εκτροφής σπόροι σκληρού σίτου, *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera, Tenebrionidae) με υπόστρωμα εκτροφής αλεύρι σκληρού σίτου, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Sylvanidae) με υπόστρωμα εκτροφής νιφάδες βρώμης και *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera, Bostrychidae), με υπόστρωμα εκτροφής σπασμένους σπόρους αραβόσιτου.



Εικόνα 16. Τα είδη εντόμων που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές: *Sitophilus oryzae* (πηγή: <https://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepose/pip-irp/rw-cr-eng.htm>) (πάνω αριστερά), *Tribolium confusum* (πηγή: <https://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepose/pip-irp/cfb-tbf-eng.htm>) (πάνω δεξιά), *Oryzaephilus surinamensis* (πηγή: <https://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepose/pip-irp/sgb-cdg-eng.htm>) (κάτω αριστερά) και *Prostephanus truncatus* (πηγή: <https://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepose/pip-irp/lgb-gcm-eng.htm>) (κάτω δεξιά).

Και τα τέσσερα είδη εντόμων προήλθαν από τις εκτροφές του εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η εκτροφή των εντόμων έγινε σε θερμοκρασία 25 °C, σχετική υγρασία 55% και πλήρες σκοτάδι. Για την συλλογή των ενηλίκων και τον διαχωρισμό τους από τα υποστρώματα εκτροφής χρησιμοποιήθηκαν κόσκινα κατάλληλου διαμετρήματος.

2.2 Δραστικές ουσίες

Το εμπορικό σκεύασμα που αξιολογήθηκε είναι το πυρεθρουνοειδές εντομοκτόνο-ακαρεοκτόνο επαφής και στομάχου BOMBEX® FARUMY (Εικόνα 17), το οποίο χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση ιπταμένων και βαδιστικών αρθροπόδων και έχει ως δραστικές ουσίες τις cyphenothrin και prallethrin σε συγκεντρώσεις 10 και 1% β/ο, αντίστοιχα.



Εικόνα 17. Το εντομοκτόνο σκεύασμα BOMBEX® FARUMY που αξιολογήθηκε στις βιοδοκιμές.

Και οι δύο δραστικές ουσίες ανήκουν στην κατηγορία των πυρεθρουνοειδών και αποτελούν την τέταρτη γενιά συνθετικών οργανικών εντομοκτόνων. Το cyphenothrin είναι μη διασυστηματικό εντομοκτόνο επαφής και στομάχου, μίγμα ισομερών cis και trans. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη υπολειμματική διάρκεια. Η

δραστική ουσία prallethrin είναι εντομοκτόνο επαφής με γρήγορη (knockdown) δράση, το οποίο καταπολεμά έντομα των οικογενειών *Blattidae*, *Culicidae* και *Muscidae*. Η εφαρμογή του σκευάσματος γίνεται είτε με τον ψεκασμό επιφανειών σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους είτε με αεροψεκασμό σε κλειστούς χώρους.

2.3 Πειραματικός σχεδιασμός

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές βιοδοκιμών. Και στις τρεις σειρές βιοδοκιμών για την αξιολόγηση του εντομοκτόνου χρησιμοποιήθηκαν και τα τέσσερα είδη εντόμων, δηλαδή τα *S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* και *P. truncatus*. Για όλες τις βιοδοκιμές χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά τρυβλία (petri dishes) διαμέτρου 90mm (συνολικό εμβαδόν επιφάνειας 59,4 cm²).

Η δόση που εφαρμόστηκε σε κάθε σειρά βιοδοκιμών ήταν η συνιστώμενη δόση (label dose), δηλαδή 100 ml του σκευάσματος ανά 5 L H₂O για κάθε 100 m² επιφάνειας. Η προετοιμασία του διαλύματος έγινε διαλύοντας την απαιτούμενη ποσότητα του σκευάσματος σε απιονισμένο νερό. Ο συνολικός όγκος του διαλύματος που ψεκάζονταν σε κάθε τρυβλίο ήταν 1 ml. Η εφαρμογή του διαλύματος έγινε σε όλες τις περιπτώσεις με ψεκασμό χρησιμοποιώντας αερογράφο (Kyoto BD – 183 K, Ιαπωνία). Επιπροσθέτως, τρυβλία τα οποία είχαν ψεκαστεί με 1 ml απιονισμένο νερό ανά τρυβλίο αποτέλεσαν τους μάρτυρες του πειράματος.

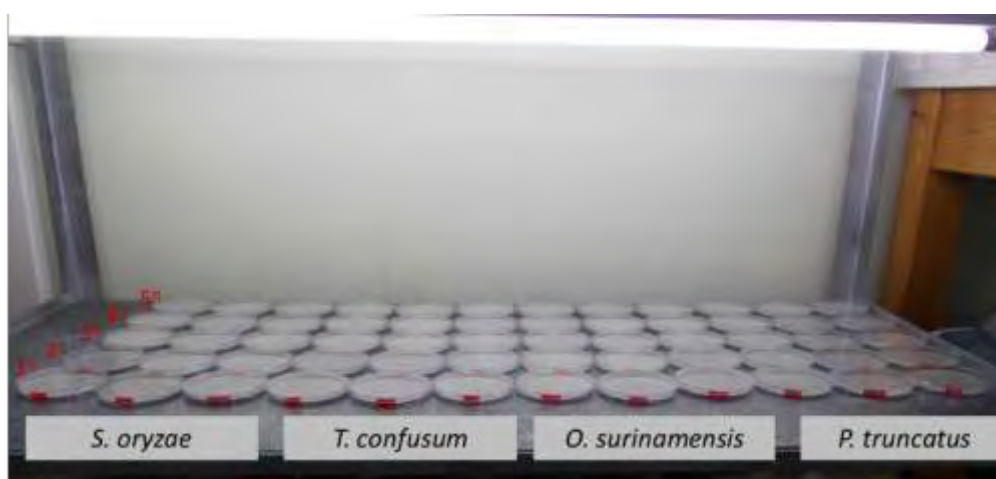
2.3.1 Πρώτη σειρά βιοδοκιμών

Σε αυτή τη σειρά μελετήθηκε η αποτελεσματικότητα του εντομοκτόνου σε δύο επιφάνειες, σε τσιμέντο και μέταλλο. Για κάθε μεταχείριση υπήρχαν 3 επαναλήψεις, ενώ ολόκληρη η διαδικασία επαναλήφθηκε 3 φορές με παρασκευή καινούργιων ψεκαστικών διαλυμάτων κάθε φορά. Για την παρασκευή του τσιμέντου έγινε ανάμιξη του τσιμέντου με νερό βρύσης σε αναλογία 1:3 μέχρι το μίγμα να ανακατεύεται καλά και δημιουργηθεί μια ομοιόμορφη μάζα. Μια ποσότητα του μείγματος (περίπου 15 γρ.) τοποθετούταν σε κάθε τρυβλίο ώστε να δημιουργηθεί η τσιμεντένια επίπεδη επιφάνεια στη βάση του με ύψος περίπου 2 mm. Έπειτα, τα τρυβλία παρέμειναν για λίγες ώρες σε θερμοκρασία δωματίου για να στεγνώσει το τσιμέντο. Για τα πειράματα σε μεταλλική επιφάνεια, τα τρυβλία καλύφθηκαν με φύλλα μετάλλου, τα οποία είχαν κοπεί στις διαστάσεις των τρυβλίων και κολλήθηκαν με την χρήση σιλικόνης στην βάση των τρυβλίων. Όταν οι επιφάνειες ήταν έτοιμες έγινε η εφαρμογή του ψεκαστικού διαλύματος με τον τρόπο που αναφέρθηκε

παραπάνω. Μια επιπλέον σειρά από τρυβλία ψεκάστηκε με απιονισμένο νερό τα οποία και αποτέλεσαν τους μάρτυρες του πειράματος. Τα τρυβλία αφήνονταν να στεγνώσουν, ενώ στη συνέχεια, σε κάθε τρυβλίο τοποθετούνταν 20 ενήλικα άτομα για κάθε είδος εντόμου και μικρή ποσότητα τροφής, χρησιμοποιώντας διαφορετικά τρυβλία για κάθε είδος εντόμου. Ακολούθως, τα τρυβλία μεταφερόταν σε δωμάτιο με σταθερές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (25 °C, 55% σχετική υγρασία) και πλήρες σκοτάδι. Η θνησιμότητα και το ποσοστό knockdown των εκτεθειμένων εντόμων αξιολογήθηκε 1, 3, 7 και 14 ημέρες μετά την έκθεση τους για όλα τα είδη εντόμων και για τους δύο τύπους επιφάνειας.

2.3.2 Δεύτερη σειρά βιοδοκιμών

Στη δεύτερη σειρά βιοδοκιμών ελέγχθηκε η υπολειμματική δράση του εντομοκτόνου μετά από ψεκασμό σε επιφάνεια τσιμέντου. Η διάρκεια του πειράματος ήταν 4 μήνες, ενώ συνολικά έγιναν πέντε βιοδοκιμές. Η πρώτη βιοδοκιμή ξεκίνησε 24 ώρες μετά των ψεκασμό των επιφανειών, ενώ η δεύτερη, τρίτη, τέταρτη και πέμπτη βιοδοκιμή πραγματοποιήθηκαν 4, 8, 12 και 16 εβδομάδες μετά τον ψεκασμό, αντίστοιχα. Η παρασκευή των επιφανιών τσιμέντου και ο ψεκασμός των τρυβλίων έγινε με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω. Τα μισά τρυβλία που ψεκάστηκαν αποθηκευτήκαν σε πλήρες σκοτάδι μέσα σε χάρτινα κιβώτια, ενώ οι υπόλοιπες εκτέθηκαν στο φως (φωτοπερίοδος 12:12) πάνω σε έναν πάγκο με τεχνητό φωτισμό (Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Τρυβλία ψεκασμένα με το εντομοκτόνο αποθηκευμένα σε συνθήκες 12/12 ώρες φως/σκοτάδι. Η πρώτη σειρά είναι η πρώτη βιοδοκιμή που ξεκίνησε 24

ώρες μετά τον ψεκασμό των τρυβλίων. Η δεύτερη αυτή που ξεκίνησε 4 εβδομάδες μετά τον ψεκασμό κ.ο.κ.

Η σχετική υγρασία του εντομοθαλάμου στον οποίον διατηρήθηκαν τα τρυβλία κατά την διάρκεια της δεύτερης αυτής βιοδοκιμής ήταν 55% και η θερμοκρασία 25°C. Η έναρξη κάθε βιοδοκιμής γινόταν με την τοποθέτηση των εντόμων στις επιφάνειες. Σε κάθε τρυβλίο τοποθετούνταν 20 ενήλικα άτομα με μικρή ποσότητα τροφής, δηλαδή 5-6 άθικτους σπόρους σιταριού για το *S. oryzae*, 5-6 νιφάδες βρώμης για το *O. surinamensis*, 5-6 σπασμένους σπόρους καλαμποκιού για το *P. truncatus* και μια μικρή ποσότητα αλεύρι σιταριού για το *T. confusum*. Η θνησιμότητα και το ποσοστό knockdown των εντόμων αξιολογήθηκε 3, 7 και 14 ημέρες μετά την έκθεσή τους στα ψεκασμένα τρυβλία. Υπήρχαν 3 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση, ενώ η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε συνολικά 3 φορές με την παρασκευή καινούργιων ψεκαστικών διαλυμάτων και τρυβλίων ως μάρτυρες (συνολικά υπήρχαν $3 \times 3 = 9$ επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση). Όπως και στην προηγούμενη σειρά βιοδοκιμών, τρυβλία τα οποία είχαν ψεκαστεί με απιονισμένο νερό αποτέλεσαν τους μάρτυρες του πειράματος.

2.3.3 Τρίτη σειρά βιοδοκιμών

Σε αυτή την τελευταία σειρά βιοδοκιμών, ενήλικα άτομα από κάθε είδος εντόμου εκτέθηκαν για μικρά χρονικά διαστήματα (1, 3 και 7 ημέρες) σε επιφάνεια τσιμέντου ψεκασμένη με το εντομοκτόνο, ενώ στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε απέκαστα τρυβλία προκειμένου να μελετηθεί η καθυστερημένη θνησιμότητα (delayed mortality) εξαιτίας αυτών των εκθέσεων. Αναλυτικότερα, 20 ενήλικα από το κάθε είδος εντόμου τοποθετήθηκαν σε κάθε τρυβλίο με μικρή ποσότητα τροφής, χρησιμοποιώντας διαφορετικά τρυβλία για κάθε είδος εντόμου. Τα μισά τρυβλία ψεκάστηκαν με το εντομοκτόνο, ενώ τα υπόλοιπα ψεκάστηκαν με απιονισμένο νερό και αποτέλεσαν τους μάρτυρες του πειράματος. Μετά από μια μέρα έκθεσης μετρήθηκε η θνησιμότητα και το ποσοστό knockdown των εντόμων. Τα άτομα τα οποία δεν είχαν πεθάνει μεταφέρθηκαν σε καθαρά, απέκαστα τρυβλία με μικρή ποσότητα τροφής. Μετά από επτά ημέρες, μετρήθηκε η καθυστερημένη θνησιμότητα και το ποσοστό knockdown των εντόμων. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την έκθεση των 3 και 7 ημερών. Οι συνθήκες του εντομοθαλάμου στον οποίον

διατηρήθηκαν τα τρυβλία κατά την διάρκεια της τρίτης αυτής βιοδοκιμής ήταν 55% σχετική υγρασία, 25°C και πλήρες σκοτάδι. Υπήρχαν 3 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση, ενώ η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε συνολικά 3 φορές με την παρασκευή καινούργιων ψεκαστικών διαλυμάτων και τρυβλίων ως μάρτυρες (συνολικά υπήρχαν $3 \times 3 = 9$ επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση).

2.3 Στατιστική ανάλυση

Γενικά, τα ποσοστά θνησιμότητας και knockdown στους μάρτυρες ήταν χαμηλά και δεν ξεπέρασαν σε καμία περίπτωση το 5%. Σε όλες τις σειρές βιοδοκιμών, υπήρχαν 3 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση, ενώ η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε 3 φορές, παρασκευάζοντας νέα ψεκαστικά διαλύματα και χρησιμοποιώντας νέα τρυβλία κάθε φορά ($3 \times 3 = 9$ τρυβλία συνολικά για κάθε μεταχείριση). Επειδή γινόταν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις της θνησιμότητας και του knockdown στα ίδια τρυβλία μετά από διαφορετικά διαστήματα έκθεσης στην 1^η και 2^η σειρά βιοδοκιμών, οι μέσοι όροι αναλύθηκαν με τη μέθοδο της ανάλυσης διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Repeated measures MANOVA) με το χρόνο έκθεσης σαν επαναλαμβανόμενο παράγοντα και τον τύπο της επιφάνειας (τσιμέντο, μέταλλο), το διάστημα αποθήκευσης (Μήνες 0, 1, 2, 3 και 4) και τις συνθήκες φωτισμού [φως (12:12 φωτοπερίοδος), σκοτάδι] σαν κύριους παράγοντες.

Στην πρώτη σειρά βιοδοκιμών, για κάθε τύπο επιφάνειας και είδος εντόμου (*S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* and *P. truncatus*), οι μέσοι όροι θνησιμότητας και knockdown υποβλήθηκαν σε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), προκειμένου να εντοπιστούν οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διαστημάτων έκθεσης (Ημέρες 1, 3, 7 και 14). Για κάθε διάστημα έκθεσης και είδος εντόμου, χρησιμοποιήθηκε το Student's t-test στο επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$) για τη σύγκριση των μέσων όρων θνησιμότητας και knockdown μεταξύ των επιφανειών τσιμέντου και μετάλλου. Παρομοίως, στη δεύτερη σειρά βιοδοκιμών, για κάθε είδος εντόμου, διάστημα αποθήκευσης και συνθήκη φωτισμού, οι μέσοι όροι θνησιμότητας και knockdown υποβλήθηκαν σε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), προκειμένου να εντοπιστούν οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διαστημάτων έκθεσης, ενώ για κάθε είδος εντόμου, διάστημα έκθεσης και συνθήκη φωτισμού, οι μέσοι όροι θνησιμότητας και knockdown υποβλήθηκαν σε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), προκειμένου να εντοπιστούν οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διαστημάτων

αποθήκευσης. Τέλος, για κάθε είδος εντόμου, όπως και για κάθε διάστημα έκθεσης ή αποθήκευσης, χρησιμοποιήθηκε το Student's t-test στο επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$) για τη σύγκριση των μέσων όρων θνησιμότητας και knockdown μεταξύ των τρυβλίων που αποθηκεύθηκαν στο σκοτάδι και εκείνων που εκτέθηκαν στο φως. Στην Τρίτη σειρά βιοδοκιμών, για κάθε είδος εντόμου και αξιολόγηση (άμεση και καθυστερημένη επίδραση) οι μέσοι όροι θνησιμότητας και knockdown υποβλήθηκαν σε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), προκειμένου να εντοπιστούν οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διαστημάτων έκθεσης, ενώ το Student's t-test εφαρμόστηκε προκειμένου να συγκριθούν οι μέσοι όροι θνησιμότητας και knockdown αμέσως μετά την έκθεση (άμεση επίδραση) ή 7 ημέρες μετά την μεταφορά των εντόμων σε καθαρά τρυβλία (καθυστερημένη επίδραση) [επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$)]. Για όλες τις στατιστικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό λογισμικό πακέτο JPM 8 (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Πρώτη σειρά βιοδοκιμών: Επίδραση της επιφάνειας

Για όλα τα είδη εντόμων που αξιολογήθηκαν, καταγράφηκε στατιστικώς σημαντική επίδραση του διαστήματος έκθεσης στα ποσοστά θνησιμότητας και knockdown, ενώ, με εξαίρεση το *S. oryzae*, δεν καταγράφηκε στατιστικώς σημαντική επίδραση του τύπου της επιφάνειας (τσιμέντο, μέταλλο) (Πίνακας 1). Αναφορικά στο *S. oryzae*, σχεδόν όλα τα ενήλικα (99,4 και 98,9% για το τσιμέντο και το μέταλλο, αντίστοιχα) ήταν σε κατάσταση knockdown μετά από μία ημέρα έκθεσης (Πίνακας 2). Με την αύξηση του διαστήματος έκθεσης, τα ποσοστά των εντόμων που ήταν σε κατάσταση knockdown μειώνονταν σταδιακά με το χρόνο και έφτασαν το 60,0, 9,4 και 0,0% μετά από 3, 7 και 14 ημέρες έκθεσης, αντίστοιχα. Την ίδια στιγμή, τα ποσοστά θνησιμότητα αυξάνονταν με τον χρόνο και έφθασαν το 94,4 και 100% μετά από 7 και 14 ημέρες έκθεσης, αντίστοιχα, σε ψεκασμένες επιφάνειες τσιμέντου (Πίνακας 2). Σε γενικές γραμμές, τα επίπεδα θνησιμότητας και knockdown δεν επηρεάστηκαν στατιστικώς σημαντικά από τον τύπο της επιφάνειας (Πίνακας 2).

Παρόμοια με το *S. oryzae*, σχεδόν όλα τα ενήλικα *O. surinamensis* ήταν σε κατάσταση knockdown μετά από μία ημέρα έκθεσης σε ψεκασμένες επιφάνειες τσιμέντου και μετάλλου (Πίνακας 2). Η θνησιμότητα αυξήθηκε σημαντικά και έφθασε το 76,7 και 80,0% μετά από τρεις ημέρες έκθεσης σε επιφάνεια τσιμέντου και μετάλλου, αντίστοιχα, ενώ πλήρης έλεγχος (100%) επιτεύχθηκε και στις δύο επιφάνειες μετά από 7 ημέρες έκθεσης (Πίνακας 2). Τα ποσοστά θνησιμότητας και knockdown ήταν παρόμοια και για τα είδη *T. confusum* και *P. truncatus* και στις δύο επιφάνειες (Πίνακας 2), δηλαδή το knockdown ήταν γρήγορο και υψηλό (100% και στις δύο επιφάνειες για το *T. confusum* την Ημέρα 1, 98,3 και 97,2% σε επιφάνεια τσιμέντου και μετάλλου για το *P. truncatus* μετά από μία ημέρα έκθεσης), ενώ τα ενήλικα που βρίσκονταν σε κατάσταση knockdown σταδιακά πέθαιναν με την αύξηση του διαστήματος έκθεσης (Πίνακας 2). Παρ' όλα αυτά, και στις δύο αυτές περιπτώσεις εντόμων, πλήρης θανάτωση των εντόμων δεν επιτεύχθηκε, ούτε στο τσιμέντο ούτε στο μέταλλο, ακόμα και μετά από 14 ημέρες έκθεσης (Πίνακας 2)

Πίνακας 1. Παράμετροι της πολλαπλής ανάλυσης διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Repeated measures MANOVA) για τα ποσοστά knockdown και θνησιμότητας ενηλίκων των *Sitophilus oryzae*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium confusum* και *Prostephanus truncatus* μετά από έκθεση για 1, 3, 7 και 14 ημέρες (διαστήματα έκθεσης) σε επιφάνεια τσιμέντου ή μετάλλου (τύπος επιφάνειας) ψεκασμένη με BOMBEX [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] [για όλα τα είδη εντόμου βαθμοί ελευθερίας του λάθους (error df) = 16].

Πηγή παραλλακτικότητας	<i>S. oryzae</i>		<i>O. surinamensis</i>		<i>T. confusum</i>		<i>P. truncatus</i>		
	df	F	P	F	P	F	P	F	P
Knockdown									
Μεταξύ μεταβλητών	1	6,7	<0,020	1,1	0,311	0,3	0,562	0,4	0,512
Τιμή αποκοπής	1	7177,3	<0,001	4228,5	<0,001	1959,1	<0,001	3174,8	<0,001
Επιφάνεια	1	6,7	<0,020	1,1	0,311	0,3	0,562	0,4	0,512
Μέσα στις μεταβλητές	3	2,5	<0,101	0,3	0,810	0,9	0,477	0,2	0,863
Χρόνος μετά την έκθεση	3	14218,6	<0,001	14381,8	<0,001	685,7	<0,001	2599,4	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Επιφάνεια	3	2,5	<0,101	0,3	0,810	0,9	0,477	0,2	0,863
Θνησιμότητα									
Μεταξύ μεταβλητών	1	6,7	<0,020	1,1	0,311	0,3	0,562	0,4	0,512
Τιμή αποκοπής	1	14896,9	<0,001	22570,4	<0,001	451,3	<0,001	2584,4	<0,001
Επιφάνεια	1	6,7	<0,020	1,1	0,311	0,3	0,562	0,4	0,512
Μέσα στις μεταβλητές	3	2,5	<0,101	0,3	0,810	0,9	0,477	0,2	0,863
Χρόνος μετά την έκθεση	3	14218,6	<0,001	14381,8	<0,001	685,7	<0,001	2599,4	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Επιφάνεια	3	2,5	<0,101	0,3	0,810	0,9	0,477	0,2	0,863

Πίνακας 2. Μέσο ποσοστό knockdown και θνησιμότητας (\pm τυπικό σφάλμα) ενηλίκων *Sitophilus oryzae*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium confusum* και *Prostephanus truncatus* μετά από έκθεση για 1, 3, 7 και 14 ημέρες σε επιφάνεια τσιμέντου ή μετάλλου ψεκασμένη με Bombex [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] (n = 9).

Διάστημα	Τσιμέντο		Μέταλλο	
	Knockdown	Θνησιμότητα	Knockdown	Θνησιμότητα
<i>S. oryzae</i>				
Ημέρα 1	99,4 \pm 0,6 A	0,6 \pm 0,6 D	98,9 \pm 0,7 A	1,1 \pm 0,7 D
Ημέρα 3	60,0 \pm 2,9 B	40,0 \pm 2,9 C	54,4 \pm 2,1 B	45,6 \pm 2,1 C
Ημέρα 7	9,4 \pm 1,5 C	90,6 \pm 1,5 B	5,6 \pm 1,3 C	94,4 \pm 1,3 B
Ημέρα 14	0,0 \pm 0,0 D	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 D	100,0 \pm 0,0 A
<i>O. surinamensis</i>				
Ημέρα 1	99,4 \pm 0,6 A	0,6 \pm 0,6 C	98,9 \pm 0,7 A	1,1 \pm 0,7 C
Ημέρα 3	23,3 \pm 3,0 B	76,7 \pm 3,0 B	20,0 \pm 1,4 B	80,0 \pm 1,4 B
Ημέρα 7	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A
Ημέρα 14	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A
<i>T. confusum</i>				
Ημέρα 1	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 D
Ημέρα 3	89,4 \pm 2,4 A	10,6 \pm 2,4 C	85,0 \pm 2,5 B	15,0 \pm 2,5 C
Ημέρα 7	67,2 \pm 3,5 B	32,8 \pm 3,5 B	65,0 \pm 4,0 C	35,0 \pm 4,0 B
Ημέρα 14	17,2 \pm 3,5 C	82,8 \pm 3,5 A	16,7 \pm 2,6 D	83,3 \pm 2,6 A
<i>P. truncatus</i>				
Ημέρα 1	98,3 \pm 0,8 A	1,7 \pm 0,8 D	97,2 \pm 1,2 A	2,8 \pm 1,2 D
Ημέρα 3	82,8 \pm 1,9 B	17,2 \pm 1,9 C	82,8 \pm 1,9 B	17,2 \pm 1,9 C
Ημέρα 7	27,8 \pm 3,5 C	72,2 \pm 3,5 B	25,0 \pm 2,6 C	75,0 \pm 2,6 B
Ημέρα 14	3,9 \pm 1,4 D	96,1 \pm 1,4 A	2,8 \pm 1,2 D	97,2 \pm 1,2 A

Για κάθε επιφάνεια (τσιμέντο, μέταλλο) και είδος εντόμου (*S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* και *P. truncatus*), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 3, 35$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0.05$). Για κάθε είδος εντόμου και διάστημα έκθεσης (Ημέρα 1, 3, 7 και 14), μέσοι όροι με αστερίσκο που αφορούν στη θνησιμότητα ή στο ποσοστό knockdown που καταγράφηκε σε επιφάνεια τσιμέντου, είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί από τους αντίστοιχους μέσους όρους που καταγράφηκαν στο μέταλλο σύμφωνα με το Student's t-test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

3.2 Δεύτερη σειρά βιοδοκιμών: Υπολειμματική δράση

Η θνησιμότητα και τα ποσοστά knockdown όλων των ειδών εντόμων που αξιολογήθηκαν επηρεάστηκαν στατιστικώς σημαντικά από το διάστημα έκθεσης, το διάστημα αποθήκευσης και τις συνθήκες φωτισμού, αλλά και από τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις (Πίνακας 3). Για το *S. oryzae*, στις δύο πρώτες βιοδοκιμές, η θνησιμότητα έφθασε το 40, 90 και 100% μετά από 3, 7 και 14 ημέρες έκθεσης, αντίστοιχα, ανεξάρτητα από τις συνθήκες φωτισμού (Πίνακας 4). Με την αύξηση του διαστήματος αποθήκευσης πέρα από τους δύο μήνες, η θνησιμότητα μειώθηκε στατιστικώς σημαντικά σε σύγκριση με τις δύο πρώτες βιοδοκιμές, ενώ αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε πιο έντονα στα τρυβλία που είχαν δεχθεί την επίδραση του φωτός (Πίνακας 4). Για παράδειγμα, η θνησιμότητα άγγιξε το 80, 43 και 1% στο τέλος της βιοδοκιμών (Ημέρα 14) που ξεκίνησαν μετά από δύο, τρεις και τέσσερις μήνες αποθήκευσης, αντίστοιχα, για τα τρυβλία που εκτέθηκαν στο φως, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για τα τρυβλία που αποθηκεύθηκαν στο σκοτάδι ήταν 100, 86 και 60%, αντίστοιχα (Πίνακας 4).

Τα επίπεδα θνησιμότητας και knockdown του *O. surinamensis* κυμάνθηκαν σε παρόμοια με το *S. oryzae* επίπεδα. Δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις δύο πρώτες βιοδοκιμές (Μήνες 0 και 1) μεταξύ της θνησιμότητας και του knockdown που σημειώθηκαν στα τρυβλία στο σκοτάδι, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά που καταγράφηκαν στο φως (Πίνακας 5). Αντίθετα, στις βιοδοκιμές που ξεκίνησαν δύο, τρεις και τέσσερις μήνες μετά την εφαρμογή του εντομοκτόνου, σε όλες τις περιπτώσεις, στατιστικά σημαντικά περισσότερα ενήλικα *O. surinamensis* ήταν σε κατάσταση knockdown ή πέθαναν σε τρυβλία που διατηρήθηκαν στο σκοτάδι, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα που εκτέθηκαν στο φως (Πίνακας 5). Στις δύο πρώτες βιοδοκιμές (Μήνες 0 και 1), υψηλά επίπεδα θνησιμότητας (>85%) καταγράφηκαν μόλις μετά από 3 ημέρες έκθεσης, ανεξάρτητα από το αν τα τρυβλία εκτέθηκαν στο φως ή διατηρήθηκαν στο σκοτάδι (Πίνακας 5). Πλήρης θανάτωση των εντόμων επιτεύχθηκε ακόμα και μετά από 3 μήνες αποθήκευσης στο τέλος της βιοδοκιμής (Ημέρα 14) στα τρυβλία που διατηρήθηκαν στο σκοτάδι. Κάτι τέτοιο όμως δεν παρατηρήθηκε στα τρυβλία που εκτέθηκαν στο φως, όπου η θνησιμότητα δεν ξεπέρασε το 72, 12 και 1% στα τρυβλία που είχαν αποθηκευθεί για δύο, τρεις και τέσσερις μήνες, αντίστοιχα, στο τέλος της βιοδοκιμής (Ημέρα 14) (Πίνακας 5).

Πίνακας 3. Παράμετροι της πολλαπλής ανάλυσης διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Repeated measures MANOVA) για τα ποσοστά knockdown και θνησιμότητας ενηλίκων των *Sitophilus oryzae*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium confusum* και *Prostephanus truncatus* μετά από έκθεση για 3, 7 και 14 ημέρες (διαστήματα έκθεσης) σε επιφάνειες τσιμέντου ψεκασμένες με BOMBEX [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] και αποθηκευμένες για 0, 1, 2, 3 και 4 μήνες (διαστήματα αποθήκευσης) στο σκοτάδι ή στο φως (12:12 φωτοπερίοδος) [για όλα τα είδη εντόμου βαθμοί ελευθερίας του λάθους (error df) = 80]. *: Wilks' Lamda approximate *F* value

Πηγή παραλλακτικότητας	<i>S. oryzae</i>		<i>O. surinamensis</i>		<i>T. confusum</i>		<i>P. truncatus</i>		
	df	F	P	F	P	F	P	F	P
Knockdown									
<i>Μεταξύ μεταβλητών</i>	9	276,6	<0,001	611,3	<0,001	329,1	<0,001	313,1	<0,001
Τιμή αποκοπής	1	11480,9	<0,001	5499,7	<0,001	19884,	<0,001	12810,5	<0,001
Διάστημα αποθήκευσης	4	93,9	<0,001	759,9	<0,001	129,2	<0,001	229,3	<0,001
Έκθεση στο φως	1	588,2	<0,001	312,7	<0,001	578,1	<0,001	401,0	<0,001
<i>Μέσα στις μεταβλητές</i>	18	69,6*	<0,001	32,1*	<0,001	106,2*	<0,001	136,5*	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση	2	5062,6	<0,001	341,2	<0,001	6439,9	<0,001	5076,6	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Διάστημα αποθήκευσης	8	58,8*	<0,001	19,3*	<0,001	190,3*	<0,001	136,9*	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Έκθεση στο φως	2	197,3	<0,001	28,4	<0,001	56,2	<0,001	155,7	<0,001
Διάστημα αποθήκευσης x Έκθεση στο φως	4	381,5	<0,001	537,2	<0,001	466,8	<0,001	374,8	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Διάστημα αποθήκευσης x Έκθεση στο φως	8	37,5*	<0,001	39,4*	<0,001	12,1*	<0,001	26,7*	<0,001
Θνησιμότητα									
<i>Μεταξύ μεταβλητών</i>	9	446,7	<0,001	1663,0	<0,001	488,5	<0,001	540,5	<0,001
Τιμή αποκοπής	1	20809,0	<0,001	50814,6	<0,001	7711,4	<0,001	19542,1	<0,001
Διάστημα αποθήκευσης	4	815,5	<0,001	2644,8	<0,001	1033,7	<0,001	1179,1	<0,001
Έκθεση στο φως	1	370,7	<0,001	2506,5	<0,001	122,8	<0,001	16,3	<0,001
<i>Μέσα στις μεταβλητές</i>	18	44,7*	<0,001	32,1*	<0,001	106,2*	<0,001	133,6*	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση	2	6501,8	<0,001	341,2	<0,001	6439,9	<0,001	4672,1	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Διάστημα αποθήκευσης	8	55,5*	<0,001	19,3*	<0,001	190,3*	<0,001	133,4*	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Έκθεση στο φως	2	243,7	<0,001	28,4	<0,001	56,2	<0,001	145,8	<0,001
Διάστημα αποθήκευσης x Έκθεση στο φως	4	97,0	<0,001	470,3	<0,001	34,7	<0,001	33,0	<0,001
Χρόνος μετά την έκθεση x Διάστ. Αποθήκ. x Έκθεση στο φως	8	35,2*	<0,001	39,4*	<0,001	12,1*	<0,001	27,2*	<0,001

Πίνακας 4. Μέση θνησιμότητα και ποσοστό knockdown (\pm τυπικό σφάλμα) ενηλίκων *Sitophilus oryzae* μετά από έκθεση για 3, 7 και 14 ημέρες σε επιφάνειες τσιμέντου ψεκασμένες με BOMBEX [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] και αποθηκευμένες για 0, 1, 2, 3 και 4 μήνες (διαστήματα αποθήκευσης) στο σκοτάδι ή στο φως (12:12 φωτοπερίοδος).

Διάστημα αποθήκευσης & έκθεσης	Φως		Σκοτάδι	
	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)
<i>Μήνας 0</i>				
Ημέρα 3	59,4 \pm 1,9 Aa	40,6 \pm 1,9 Ca	61,7 \pm 1,4 Ac	38,3 \pm 1,4 Ca
Ημέρα 7	9,4 \pm 1,0 Bc	90,6 \pm 1,0 Ba	10,6 \pm 1,0 Bc	80,6 \pm 8,9 Bab
Ημέρα 14	0,0 \pm 0,0 Cc	100,0 \pm 0,0 Aa	0,0 \pm 0,0 Cc	100,0 \pm 0,0 Aa
<i>Μήνας 1</i>				
Ημέρα 3	59,4 \pm 1,0 Aa	40,6 \pm 1,0 Ca	60,0 \pm 0,8 Ac	40,0 \pm 0,8 Ca
Ημέρα 7	8,3 \pm 0,8 Bc	91,7 \pm 0,8 Ba	8,9 \pm 0,7 Bc	91,1 \pm 0,7 Ba
Ημέρα 14	0,0 \pm 0,0 Cc	100,0 \pm 0,0 Aa	0,0 \pm 0,0 Cc	100,0 \pm 0,0 Aa
<i>Μήνας 2</i>				
Ημέρα 3	58,3 \pm 2,2 Aa*	21,1 \pm 1,8 Cb*	70,0 \pm 1,4 Ab	29,4 \pm 1,8 Cb
Ημέρα 7	13,9 \pm 1,4 Bb*	67,2 \pm 1,7 Bb*	9,4 \pm 1,0 Bc	90,0 \pm 1,2 Ba
Ημέρα 14	0,0 \pm 0,0 Cc	80,6 \pm 1,0 Ab*	0,0 \pm 0,0 Cc	100,0 \pm 0,0 Aa
<i>Μήνας 3</i>				
Ημέρα 3	48,9 \pm 1,4 Ab*	13,9 \pm 0,7 Cc*	73,3 \pm 2,2 Ab	21,7 \pm 0,8 Cc
Ημέρα 7	28,3 \pm 1,2 Ba	36,1 \pm 1,1 Bc*	31,7 \pm 2,0 Bb	65,6 \pm 1,9 Bb
Ημέρα 14	20,0 \pm 1,2 Ca*	43,3 \pm 1,2 Ac*	10,6 \pm 1,3 Cb	86,7 \pm 1,4 Ab
<i>Μήνας 4</i>				
Ημέρα 3	5,6 \pm 1,0 c*	0,0 \pm 0,0 d*	83,9 \pm 1,1 Aa	10,6 \pm 1,0 Cd
Ημέρα 7	5,6 \pm 1,0 c*	0,6 \pm 0,6 d*	57,7 \pm 1,5 Ba	36,6 \pm 2,0 Bc
Ημέρα 14	5,6 \pm 1,0 b*	0,6 \pm 0,6 d*	33,9 \pm 1,1 Ca	60,6 \pm 1,5 Ac

Για κάθε χρονικό διάστημα αποθήκευσης (Μήνες 0, 1, 2, 3 και 4) και συνθήκη φωτισμού (φως, σκοτάδι), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 2, 26$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Για κάθε συνθήκη φωτισμού και διάστημα έκθεσης (Ημέρα 3, 7 και 14), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 4, 4$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Μέσοι όροι με αστερίσκο που αφορούν στη θνησιμότητα ή το ποσοστό knockdown που καταγράφηκαν σε τρυβλία που εκτέθηκαν στο φως, είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί από τους αντίστοιχους μέσους όρους που καταγράφηκαν σε τρυβλία που είχαν αποθηκευθεί στο σκοτάδι σύμφωνα με το Student's t-test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα ή αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 5. Μέση θνησιμότητα και ποσοστό knockdown (\pm τυπικό σφάλμα) ενηλίκων *Oryzaephilus surinamensis* μετά από έκθεση για 3, 7 και 14 ημέρες σε επιφάνειες τσιμέντου ψεκασμένες με BOMBEX [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] και αποθηκευμένες για 0, 1, 2, 3 και 4 μήνες (διαστήματα αποθήκευσης) στο σκοτάδι ή στο φως (12:12 φωτοπερίοδος)].

Διάστημα αποθήκευσης & έκθεσης	Φως		Σκοτάδι	
	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)
<i>Μήνας 0</i>				
Ημέρα 3	14,5 \pm 1,7 Ad	85,6 \pm 1,7 Ba	12,7 \pm 1,4 Ac	87,2 \pm 1,4 Ba
Ημέρα 7	0,6 \pm 0,6 Bd	99,5 \pm 0,6 Aa	0,0 \pm 0,0 Bc	100,0 \pm 0,0 Aa
Ημέρα 14	0,0 \pm 0,0 Bc	100,0 \pm 0,0 Aa	0,0 \pm 0,0 Bc	100,0 \pm 0,0 Aa
<i>Μήνας 1</i>				
Ημέρα 3	13,9 \pm 1,3 Ad	86,1 \pm 1,3 Ba	10,6 \pm 1,3 Ac	89,5 \pm 1,3 Ba
Ημέρα 7	1,6 \pm 1,1 Bd	98,3 \pm 1,1 Aa	0,0 \pm 0,0 Bc	100,0 \pm 0,0 Aa
Ημέρα 14	0,6 \pm 0,6 Bc	99,5 \pm 0,6 Aa	0,0 \pm 0,0 Bc	100,0 \pm 0,0 Aa
<i>Μήνας 2</i>				
Ημέρα 3	47,2 \pm 1,4 Ab*	50,0 \pm 1,1 Bb*	12,7 \pm 1,4 Ac	87,2 \pm 1,4 Ba
Ημέρα 7	45,0 \pm 1,1 Ab*	52,2 \pm 1,2 Bb*	1,1 \pm 0,7 Bc	98,9 \pm 0,7 Aa
Ημέρα 14	25,6 \pm 2,1 Bb*	71,6 \pm 1,6 Ab*	0,0 \pm 0,0 Bc	100,0 \pm 0,0 Aa
<i>Μήνας 3</i>				
Ημέρα 3	74,5 \pm 1,3 Aa*	7,2 \pm 1,4 c*	32,2 \pm 1,4 Ab	66,6 \pm 1,6 Cb
Ημέρα 7	73,3 \pm 0,8 ABa*	8,3 \pm 1,1 c*	20,6 \pm 1,7 Bb	78,3 \pm 1,6 Bb
Ημέρα 14	70,0 \pm 0,8 Ba*	11,6 \pm 1,1 c*	12,2 \pm 2,2 Cb	86,6 \pm 2,0 Ab
<i>Μήνας 4</i>				
Ημέρα 3	22,2 \pm 1,4 c*	0,0 \pm 0,0 d*	73,9 \pm 1,3 Aa	19,5 \pm 2,5 Cc
Ημέρα 7	22,2 \pm 1,4 c*	0,0 \pm 0,0 d*	53,9 \pm 1,8 Ba	39,5 \pm 1,7 Bc
Ημέρα 14	21,6 \pm 1,4 b*	0,6 \pm 0,6 d*	36,1 \pm 2,3 Ca	57,2 \pm 2,0 Ac

Για κάθε χρονικό διάστημα αποθήκευσης (Μήνες 0, 1, 2, 3 και 4) και συνθήκη φωτισμού (φως, σκοτάδι), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 2, 26$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Για κάθε συνθήκη φωτισμού και διάστημα έκθεσης (Ημέρα 3, 7 και 14), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 4, 4$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Μέσοι όροι με αστερίσκο που αφορούν στη θνησιμότητα ή το ποσοστό knockdown που καταγράφηκαν σε τρυβλία που εκτέθηκαν στο φως, είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί από τους αντίστοιχους μέσους όρους που καταγράφηκαν σε τρυβλία που είχαν αποθηκευθεί στο σκοτάδι σύμφωνα με το Student's t-test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα ή αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Για το *T. confusum*, δεν επιτεύχθηκε πλήρης έλεγχος των εντόμων σε καμία από τις βιοδοκιμές, αφού η θνησιμότητα δεν ξεπέρασε το 91%, ακόμα και στα μεγαλύτερα διαστήματα έκθεσης (Ημέρα 14) (Πίνακας 6). Μετά από τρεις μήνες αποθήκευσης των ψεκασμένων τρυβλίων, η εφαρμογή του εντομοκτόνου έπαυσε να είναι αποτελεσματική, αφού κανένα έντομο δεν πέθανε στις ψεκασμένες επιφάνειες που εκτέθηκαν στο φως, ενώ στα τρυβλία που αποθηκεύθηκαν στο σκοτάδι η θνησιμότητα μόλις που έφθασε το 18 και 1% στο τέλος των βιοδοκιμών (Πίνακας 6).

Αποτελεσματικός έλεγχος των ενηλίκων του *P. truncatus* καταγράφηκε στις τρεις πρώτες βιοδοκιμές (Μήνες 0, 1 και 2), καθώς περισσότερα από το 91% των εντόμων πέθαναν στο τέλος αυτών των βιοδοκιμών (Ημέρα 14), ανεξάρτητα από τις συνθήκες φωτισμού (Πίνακας 7). Παρ' όλα αυτά, σε καμία περίπτωση δεν σημειώθηκε πλήρης έλεγχος των εντόμων (Πίνακας 7). Στις τελευταίες δύο βιοδοκιμές (Μήνες 3 και 4), τα επίπεδα θνησιμότητας μειώθηκαν στατιστικώς σημαντικά και έφθασαν το 47 και 75% στο μεγαλύτερο διάστημα έκθεσης (Ημέρα 14) μετά από τρεις μήνες αποθήκευσης των ψεκασμένων τρυβλίων, παρουσία ή απουσία φωτός, αντίστοιχα (Πίνακας 7).

3.3 Τρίτη σειρά βιοδοκιμών: Καθυστερημένη επίδραση (delayed effect)

Για όλα τα είδη εντόμων που αξιολογήθηκαν, τα επίπεδα θνησιμότητας και knockdown αμέσως μετά την έκθεση (άμεση επίδραση) ήταν παρόμοια με τα αντίστοιχα της πρώτης σειράς βιοδοκιμών για τα ίδια διαστήματα έκθεσης (Πίνακας 8). Όσον αφορά στην καθυστερημένη επίδραση (delayed effect), στις περισσότερες περιπτώσεις, τα έντομα που βρίσκονταν σε κατάσταση knockdown έμειναν σε αυτή την κατάσταση ακόμα και 7 ημέρες μετά την απομάκρυνση τους από τις ψεκασμένες με εντομοκτόνο επιφάνειες και την μεταφορά τους σε καθαρά, αγέκαστα τρυβλία (Πίνακας 8). Μόνο στην περίπτωση των ενηλίκων του *T. confusum* που εκτέθηκαν για τρεις ημέρες στο εντομοκτόνο, το ποσοστό των νεκρών εντόμων αυξήθηκε στατιστικώς σημαντικά 7 ημέρες μετά τη μεταφορά τους σε καθαρά τρυβλία από 9,4 σε 17,7% (Πίνακας 8).

Πίνακας 6. Μέση θνησιμότητα και ποσοστό knockdown (\pm τυπικό σφάλμα) ενηλίκων *Tribolium confusum* μετά από έκθεση για 3, 7 και 14 ημέρες σε επιφάνειες τσιμέντου ψεκασμένες με BOMBEX [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] και αποθηκευμένες για 0, 1, 2, 3 και 4 μήνες (διαστήματα αποθήκευσης) στο σκοτάδι ή στο φως (12:12 φωτοπερίοδος)].

Διάστημα αποθήκευσης & έκθεσης	Φως		Σκοτάδι	
	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)
<i>Μήνας 0</i>				
Ημέρα 3	89,5 \pm 1,5 Aa	10,6 \pm 7,1 Ca	87,7 \pm 1,2 Abc	12,2 \pm 1,2 Ca
Ημέρα 7	72,2 \pm 2,0 Bb	27,7 \pm 2,0 Ba	71,1 \pm 1,1 Bb	28,9 \pm 1,1 Ba
Ημέρα 14	13,3 \pm 1,1 Cc*	86,6 \pm 1,1 Aa*	9,4 \pm 1,0 Cb	90,6 \pm 1,0 Aa
<i>Μήνας 1</i>				
Ημέρα 3	90,0 \pm 0,8 Aa	10,0 \pm 0,8 Ca	91,1 \pm 1,1 Aab	8,9 \pm 1,1 Ca
Ημέρα 7	73,3 \pm 2,0 Bb	26,6 \pm 2,0 Ba	72,2 \pm 1,6 Bb	27,7 \pm 1,6 Ba
Ημέρα 14	11,1 \pm 1,1 Cc	88,9 \pm 1,1 Aa	10,0 \pm 0,8 Cb	90,0 \pm 0,8 Aa
<i>Μήνας 2</i>				
Ημέρα 3	94,4 \pm 2,1 Aa	3,3 \pm 1,1 Cb	91,6 \pm 1,4 Aab	8,3 \pm 1,4 Ca
Ημέρα 7	87,2 \pm 1,8 Ba*	10,6 \pm 1,5 Bb*	72,2 \pm 1,4 Bb	27,7 \pm 1,4 Ba
Ημέρα 14	38,3 \pm 1,4 Cb*	59,4 \pm 1,7 Ab*	11,1 \pm 0,7 Cb	88,9 \pm 0,7 Aa
<i>Μήνας 3</i>				
Ημέρα 3	53,3 \pm 2,0 b*	0,0 \pm 0,0 b	95,0 \pm 1,8 Aa	2,2 \pm 1,2 Cb
Ημέρα 7	52,7 \pm 2,0 c*	0,0 \pm 0,0 c*	84,5 \pm 1,9 Ba	12,7 \pm 1,2 Bb
Ημέρα 14	52,7 \pm 2,0 a*	0,0 \pm 0,0 c*	78,9 \pm 2,0 Ba	18,3 \pm 1,1 Ab
<i>Μήνας 4</i>				
Ημέρα 3	0,0 \pm 0,0 c*	0,0 \pm 0,0 b	85,0 \pm 1,6 c	0,0 \pm 0,0 b
Ημέρα 7	0,0 \pm 0,0 d*	0,0 \pm 0,0 c	83,9 \pm 1,3 a	1,1 \pm 0,7 c
Ημέρα 14	0,0 \pm 0,0 d*	0,0 \pm 0,0 c	83,9 \pm 1,3 a	1,1 \pm 0,7 c

Για κάθε χρονικό διάστημα αποθήκευσης (Μήνες 0, 1, 2, 3 και 4) και συνθήκη φωτισμού (φως, σκοτάδι), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 2, 26$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Για κάθε συνθήκη φωτισμού και διάστημα έκθεσης (Ημέρα 3, 7 και 14), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 4, 4$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Μέσοι όροι με αστερίσκο που αφορούν στη θνησιμότητα ή το ποσοστό knockdown που καταγράφηκαν σε τρυβλία που εκτέθηκαν στο φως, είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί από τους αντίστοιχους μέσους όρους που καταγράφηκαν σε τρυβλία που είχαν αποθηκευθεί στο σκοτάδι σύμφωνα με το Student's t-test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα ή αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 7. Μέση θνησιμότητα και ποσοστό knockdown (\pm τυπικό σφάλμα) ενηλίκων *Prostephanus truncatus* μετά από έκθεση για 3, 7 και 14 ημέρες σε επιφάνειες τσιμέντου ψεκασμένες με BOMBEX [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] και αποθηκευμένες για 0, 1, 2, 3 και 4 μήνες (διαστήματα αποθήκευσης) στο σκοτάδι ή στο φως (12:12 φωτοπερίοδος)].

Διάστημα αποθήκευσης & έκθεσης	Φως		Σκοτάδι	
	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)
<i>Μήνας 0</i>				
Ημέρα 3	75,6 \pm 1,9 Aa	24,5 \pm 1,9 Ca	78,9 \pm 2,0 Ac	21,6 \pm 2,3 Ca
Ημέρα 7	25,0 \pm 1,8 Bb	75,0 \pm 1,8 Ba	21,6 \pm 1,6 Bc	78,3 \pm 1,6 Ba
Ημέρα 14	0,6 \pm 0,6 Cc	99,4 \pm 0,6 Aa	0,6 \pm 0,6 Cd	99,4 \pm 1,6 Aa
<i>Μήνας 1</i>				
Ημέρα 3	77,7 \pm 2,3 Aa*	22,2 \pm 2,3 Cab*	83,9 \pm 1,3 Abc	16,1 \pm 1,3 Cab
Ημέρα 7	26,6 \pm 1,8 Bb	73,3 \pm 1,8 Ba	27,2 \pm 1,4 Bc	72,7 \pm 1,4 Ba
Ημέρα 14	3,8 \pm 1,1 Cbc	96,6 \pm 1,1 Aab	2,2 \pm 0,8 Ccd	97,7 \pm 0,8 Aab
<i>Μήνας 2</i>				
Ημέρα 3	75,6 \pm 1,3 Aa*	24,4 \pm 1,3 Ca*	87,7 \pm 1,2 Aab	12,2 \pm 1,2 Cb
Ημέρα 7	27,7 \pm 2,5 Bb	72,2 \pm 2,5 Ba	27,2 \pm 1,8 Bc	72,7 \pm 1,8 Ba
Ημέρα 14	7,2 \pm 1,2 Cb	92,7 \pm 1,2 Ab	8,3 \pm 1,4 Cc	91,6 \pm 1,4 Ab
<i>Μήνας 3</i>				
Ημέρα 3	80,6 \pm 1,9 Aa*	16,1 \pm 1,3 Cb*	88,9 \pm 1,1 Aab	6,1 \pm 1,3 Cc
Ημέρα 7	70,6 \pm 1,5 Ba*	26,1 \pm 1,6 Bb*	80,0 \pm 1,6 Bb	15,0 \pm 1,1 Bb
Ημέρα 14	48,9 \pm 1,8 Ca*	47,7 \pm 1,8 Ac*	20,0 \pm 1,4 Cb	75,0 \pm 1,6 Ac
<i>Μήνας 4</i>				
Ημέρα 3	1,1 \pm 0,7 b*	0,0 \pm 0,0 c	91,1 \pm 1,1 Aa	0,0 \pm 0,0 Bd
Ημέρα 7	1,1 \pm 0,7 c*	0,0 \pm 0,0 c	90,6 \pm 1,0 Aa	0,6 \pm 0,6 Bc
Ημέρα 14	1,1 \pm 0,7 c*	0,0 \pm 0,0 d*	40,0 \pm 3,5 Ba	51,1 \pm 2,6 Ad

Για κάθε χρονικό διάστημα αποθήκευσης (Μήνες 0, 1, 2, 3 και 4) και συνθήκη φωτισμού (φως, σκοτάδι), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 2, 26$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Για κάθε συνθήκη φωτισμού και διάστημα έκθεσης (Ημέρα 3, 7 και 14), μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 4, 4$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Μέσοι όροι με αστερίσκο που αφορούν στη θνησιμότητα ή το ποσοστό knockdown που καταγράφηκαν σε τρυβλία που εκτέθηκαν στο φως, είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί από τους αντίστοιχους μέσους όρους που καταγράφηκαν σε τρυβλία που είχαν αποθηκευθεί στο σκοτάδι σύμφωνα με το Student's t-test στο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα ή αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 8. Μέση θνησιμότητα και ποσοστό knockdown (\pm τυπικό σφάλμα) ενηλίκων των ειδών *Sitophilus oryzae*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium confusum* και *Prostephanus truncatus* μετά από έκθεση για 1, 3 και 7 ημέρες σε επιφάνειες τσιμέντου ψεκασμένες με BOMBEX [cyphenothrin (10%) και prallethrin (1%)] (άμεση επίδραση) και μετά από ένα επιπλέον διάστημα 7 ημερών μετά από τη μεταφορά τους σε καθαρά, αγέκαστα τρυβλία (καθυστερημένη επίδραση).

Διάστημα έκθεσης / Έντομο	Άμεση επίδραση		Καθυστερημένη επίδραση	
	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)	Knockdown (%)	Θνησιμότητα (%)
<i>S. oryzae</i>				
Ημέρα 1	98,8 \pm 0,7 A	1,1 \pm 0,7 C	98,9 \pm 0,7 C	1,1 \pm 0,7 C
Ημέρα 3	63,9 \pm 2,1 B	36,1 \pm 2,1 B	62,2 \pm 2,0 B	37,2 \pm 1,8 B
Ημέρα 7	5,6 \pm 1,0 C	94,4 \pm 1,0 A	5,0 \pm 0,8 A	95,0 \pm 0,8 A
<i>O. surinamensis</i>				
Ημέρα 1	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C
Ημέρα 3	22,7 \pm 2,0 B	77,2 \pm 2,0 B	22,7 \pm 2,0 B	77,2 \pm 2,0 B
Ημέρα 7	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A
<i>T. confusum</i>				
Ημέρα 1	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C	100,0 \pm 0,0 A	0,0 \pm 0,0 C
Ημέρα 3	90,6 \pm 1,3 B*	9,4 \pm 1,3 B*	82,2 \pm 1,2 B	17,7 \pm 1,2 B
Ημέρα 7	71,1 \pm 1,6 C	28,9 \pm 1,6 A	71,1 \pm 1,6 C	28,9 \pm 1,6 A
<i>P. truncatus</i>				
Ημέρα 1	98,3 \pm 0,8 A	1,6 \pm 0,8 C	98,3 \pm 0,8 A	1,6 \pm 0,8 C
Ημέρα 3	77,7 \pm 1,8 B	22,2 \pm 1,8 B	73,3 \pm 1,6 B	26,6 \pm 1,6 B
Ημέρα 7	17,7 \pm 2,5 C	82,2 \pm 2,5 A	17,2 \pm 2,2 C	82,7 \pm 2,2 A

Για κάθε είδος εντόμου (*S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* και *P. truncatus*) και αξιολόγηση (άμεση και καθυστερημένη επίδραση) μέσοι όροι θνησιμότητας ή knockdown που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (σε όλες τις περιπτώσεις $df = 2, 26$; Tukey HSD test στο επίπεδο σημαντικότητας $P = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα ή αστερίσκοι, δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

4. ΣΗΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι η επιφανειακή εφαρμογή του σκευάσματος που δοκιμάστηκε, το οποίο έχει ως δραστικές ουσίες το cyphenothrin και το prallethrin, μπορεί να παράσχει αποτελεσματικό έλεγχο έναντι των ενηλίκων εντόμων των *T. confusum*, *O. surinamensis*, *S. oryzae* και *P. truncatus*. Μεταξύ των εξεταζόμενων ειδών, το *O. surinamensis* ήταν εξαιρετικά ευαίσθητο, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα θνησιμότητας ήταν υψηλότερα από 80% ήδη μετά από 3 ημέρες έκθεσης. Αντίθετα, για τα ενήλικα του *T. confusum* και του *P. truncatus* η θνησιμότητα δεν έφθασε το 100% σε καμία από τις βιοδοκιμές, ακόμη και στο μεγαλύτερο διάστημα έκθεσης. Χαμηλά επίπεδα αποτελεσματικότητας έναντι του *T. confusum* παρουσιάστηκαν επίσης και για άλλα εντομοκτόνα, όπως το spinetoram (Vassilakos et al., 2012, Rumbos et al., 2018) και το pirimiphos-methyl (Rumbos et al., 2014). Δεδομένου ότι τόσο το cyphenothrin όσο και το prallethrin δεν χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις αποθηκευμένων προϊόντων έναντι εντόμων αποθήκευσης, καθώς και το ότι ο πληθυσμός *T. confusum* που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη μας ήταν εργαστηριακός, χωρίς οποιαδήποτε αναφορά σε εμφάνιση ανθεκτικότητας σε εντομοκτόνα, υποθέτουμε ότι η μειωμένη ευαισθησία στο υπό εξέταση σκεύασμα που παρατηρήθηκε στις βιοδοκιμές μας είναι μάλλον χαρακτηριστικό του είδους και όχι ένδειξη ανθεκτικότητας. Για το *P. truncatus*, η θνησιμότητα ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις κοντά στο 100% στο τέλος των βιοδοκιμών (14 ημέρες), επομένως μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο πλήρης έλεγχος μπορεί να επιτευχθεί μετά από περισσότερο από 14 ημέρες έκθεσης.

Τα εντομοκτόνα που βασίζονται σε δύο δραστικά συστατικά έχουν πρόσφατα προσελκύσει το επιστημονικό ενδιαφέρον για την προστασία της αποθηκευμένης γεωργικής παραγωγής (Wakil et al., 2010; Athanassiou et al., 2013; Paudyal et al., 2017). Για παράδειγμα, οι Paudyal et al. (2017) αξιολόγησαν σε συνθήκες πεδίου την αποτελεσματικότητα ενός παρασιτοκτόνου σκευάσματος βασισμένου σε ένα οργανοφωσφορικό (pirimiphos-methyl) και ένα πυρεθροειδές (permethrin) για την προστασία του αραβοσίτου από τα έντομα αποθήκευσης και ανέφεραν υψηλά επίπεδα ελέγχου. Ο συνδυασμός δραστικών ουσιών από διαφορετικές κατηγορίες εντομοκτόνων με διαφορετικούς τρόπους δράσης μπορεί να ενισχύσει τα επίπεδα ελέγχου των εντόμων και να αυξήσει τον αριθμό των ειδών-στόχων ενός σκευάσματος. Στην περίπτωση του σκευάσματος που αξιολογήθηκε στην παρούσα μελέτη, αμφότερα τα δραστικά συστατικά ανήκουν στα πυρεθροειδή, ωστόσο, το καθένα συμβάλλει με διαφορετικό χαρακτηριστικό στο τελικό αποτέλεσμα. Από τη μία πλευρά, το cyphenothrin, το οποίο περιέχεται στο σκεύασμα ως εναιώρημα κάψουλας, υπόσχεται βραδεία απελευθέρωση και μακρά υπολειμματική δραστηριότητα, καθώς τα σκευάσματα σε μορφή μικροκάψουλας συνήθως έχουν μεγαλύτερη υπολειμματική δράση και κατά συνέπεια μπορούν να παράσχουν καλύτερο έλεγχο των εντόμων για μεγαλύτερες περιόδους. Από την άλλη πλευρά, το

prallethrin είναι υπεύθυνο για το γρήγορο knockdown (TOXNET, 2018). Το prallethrin συμπεριλαμβάνεται συνήθως σε εντομοκτόνα σκευάσματα πολλαπλής δράσης, που εφαρμόζονται εναντίον εντόμων-φορέων ασθενειών, όπως τα κουνούπια (Makworo et al., 2017). Έχει επίσης χαρακτηριστεί ως διεγερτικό κίνησης (locomotor stimulant) για τα ενήλικα κουνούπια, καθώς ενεργοποιεί σε υποθανατηφόρες δόσεις υψηλή κινητική δραστηριότητα σε κουνούπια (Cooperband et al., 2010; Dye, 2016). Ωστόσο, δεν υπάρχουν διαθέσιμες σχετικές πληροφορίες σχετικά με την επίδραση του prallethrin στην κινητικότητα των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων.

Η αποτελεσματικότητα των ψεκασμών επιφανειών με υπολειμματικά εντομοκτόνα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο επιφανείας (Babamir-Satehi et al., 2017, Arthur et al., 2018, Doganay et al., 2018). Για παράδειγμα, το *α*-cypermethrin και το thiamethoxam ήταν λιγότερο αποτελεσματικά εναντίον ενηλίκων του *P. truncatus* σε επιφάνεια λινού σε σχέση με τις επιφάνειες από τσιμέντο ή πλαστικό (Doganay et al., 2018). Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Η αποτελεσματικότητα δύο σκευασμάτων του pirimiphos-methyl στο τσιμέντο, το ξύλο, το γαλβανισμένο μέταλλο, το πλαστικό και το κεραμικό πλακάκι κατά των ενηλίκων *S. granarius*, *R. dominica* και *T. confusum*, με ελάχιστες εξαιρέσεις, δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τον τύπο της επιφανείας. Με βάση τα δεδομένα μας, το εντομοκτόνο που αξιολογήθηκε ήταν εξίσου αποτελεσματικό στο τσιμέντο και το μέταλλο έναντι των τεσσάρων ειδών εντόμων που εξετάστηκαν, τουλάχιστον όσον αφορά την άμεση επίδρασή του. Η επίδραση του τύπου της επιφανείας στην υπολειμματική δράση του θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, καθώς τα ειδικά χαρακτηριστικά των διαφόρων επιφανειών (π.χ. πορώδες κ.λπ.) επηρεάζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα των υπολειμμάτων εντομοκτόνων (Arthur, 2012).

Η έκθεση του σκευάματος που αξιολογήθηκε στο φως επηρέασε αρνητικά την υπολειμματική του δράση. Στις βιοδοκιμές που ξεκίνησαν δύο μήνες μετά την εφαρμογή, η αποτελεσματικότητα του αξιολογούμενου εντομοκτόνου ήταν σημαντικά χαμηλότερη σε τρυβλία εκτεθειμένα στο φως απ' ό,τι σε αυτά που φυλάσσονταν στο σκοτάδι και για τα τέσσερα είδη εντόμων που εξετάστηκαν, υποδηλώνοντας ότι το εντομοκτόνο φωτοαποικοδομείται σε επιφάνεια από τσιμέντο. Η υψηλή ευαισθησία στο φως και η μείωση της εντομοκτόνου δραστηριότητάς του με την πάροδο του χρόνου έχει αποδειχθεί επίσης και για άλλα εντομοκτόνα, όπως το spinosad (Hertlein et al., 2011).

Με βάση όλα τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το εντομοκτόνο σκεύασμα διπλής δράσης που αξιολογήθηκε, που περιείχε το cyphenothrin και το prallethrin ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικό εναντίον ενηλίκων των *S. oryzae*, *O. surinamensis*, *T. confusum* και *P. truncatus* μετά από ψεκασμό επιφανείας (surface treatment) στην συνιστώμενη δόση. Για όλα τα είδη εντόμων που εξετάστηκαν, παρόμοια επίπεδα αποτελεσματικότητας επιτεύχθηκαν σε επιφάνειες

από τσιμέντο και μέταλλο, ενώ χαμηλότερη θνησιμότητα καταγράφηκε σε επιφάνειες τσιμέντου που εκτέθηκαν στο φως σε σύγκριση με τις αντίστοιχες επιφάνειες που αποθηκεύθηκαν στο σκοτάδι για διαστήματα αποθήκευσης μεγαλύτερα από 2 μήνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αθανασίου Χ., Αθανασόπουλος Δ., Βλάχος Δ., Γαμβρός Ρ., Μητσέας Α., Μπισμπίκης Β., Παπαδάτος Β., Σταθοπούλου Σ., Σωτηρούδας Β. (2015). Οδηγός Ορθής Πρακτικής για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Προστασίας από Ζωικούς Εχθρούς και Έντομα στις Επιχειρήσεις Τροφίμων, Σύνδεσμος Εταιριών Απεντομώσεων και Μυοκτονιών Ελλάδος και Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Αθήνα.
- Γιαννοπολίτης Κ. (2005). Οδηγός γεωργικών φαρμάκων, 195-326.
- Ζιώγας Β., Μαρκόγλου Α. (2010). Γεωργική Φαρμακολογία, Βιοχημεία, Φυσιολογία, Μηχανισμοί Δράσης και Χρήσεις των Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων, 2^η Έκδοση.
- Μπουχέλος Κ., Αθανασίου Χ. (1996). Τροπικά κολεόπτερα έντομα: ο κίνδυνος εισόδου και εγκατάστασή τους στην Ελλάδα. Γεωργία – Κτηνοτροφία 8, 62 – 64.
- Μπουχέλος Κ. (2005). Έντομα αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Αθήνα.
- Σταμόπουλος Δ. (1999). Έντομα αποθηκών, μεγάλων καλλιεργειών και λαχανικών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Σταμόπουλος, Δ. (2013). Εχθροί αποθηκευμένων προϊόντων, μουσείων και κατοικιών. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
- Τζανακάκης Μ. (1980). Μαθήματα Εφαρμοσμένης Εντομολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Agrafioti P., Athanassiou C.G., Vassilakos T.N., Vlontzos G., Arthur F.H. (2015). Using a lethality index to assess susceptibility of *Tribolium confusum* and *Oryzaephilus surinamensis* to insecticides. PLOS One 10:e0142044.
- Al-Sarar, A.S., Al-Shahrani, D., Hussein, H.I., Bayoumi, A.E., Abobakr, Y. (2014). Evaluation of cold and thermal fogging spraying methods for mosquito control. Neotropical Entomology 43, 85-89.
- Arthur F. (1996). Grain protectants: current status and prospects for the future. Journal of Stored Products Research 32, 293–302.
- Arthur, F.H. (2012). Aerosols and contact insecticides as alternatives to methyl bromide in flour mills, food production facilities, and food warehouses. Journal of Pest Science 85, 323-329.

- Arthur F.H., Ghimire M.N., Myers S.W., Phillips T.W. (2018). Evaluation of pyrethroid insecticides and insect growth regulators applied to different surfaces for control of *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) the khapra beetle. *Journal of Economic Entomology* 111, 612–619.
- Athanassiou C., Papagregoriou A., Buchelos C., (2004a). Insecticidal and residual effect of three pyrethroids against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored wheat. *Journal of Stored Products Research* 40, 289–297.
- Athanassiou C., Kavallieratos N., Vayias B., Dimizas C., Papagregoriou A., Buchelos C. (2004b). Residual toxicity of beta cyfluthrin, alpha cypermethrin and deltamethrin against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on stored wheat. *Applied Entomology and Zoology* 39, 195–202.
- Athanassiou C., Arthur F., Throne J. (2009). Efficacy of grain protectants against four psocid species on maize, rice and wheat. *Pest Management Science* 65, 1140-1146.
- Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Arthur F.H., Throne J.E. (2013). Efficacy of a combination of beta-cyfluthrin and imidacloprid and beta-cyfluthrin alone for control of stored-product insects on concrete. *Journal of Economic Entomology* 106, 1064–1070.
- Babamir-Satehi A., Ziaee M., Ashrafi A. (2017). Toxicity of chlorpyrifos against *Rhyzopertha dominica* and *Tribolium confusum* adults on different surfaces. *Toxin Reviews* 36, 57-62.
- Balachowski A. (1972). *Entomologie appliqué a l'agriculture*. Masson et Cie (eds), Paris, Tome I: Coleopteres.
- Bell R.J., Watters F.L. (1982) Environmental factors influencing the development and rate of increase of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) on stored maize. *Journal of Stored Product Research* 18, 131-142.
- Bernton H.S., Brown H. (1964). Insect as potential sources of ingestant allergens.
- Bibbs C.S., Tsikolia M., Bloomquist J.R., Bernier U.R, Xue R.-D., Kaufman P.E. (2018). Vapor toxicity of five volatile pyrethroids against *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, *Culex quinquefasciatus*, and *Anopheles quadrimaculatus* (Diptera: Culicidae). *Pest Management Science*, DOI 10.1002/ps.5088.
- Chin A.C., Chen C.D., Low V.L., Lee H.L., Azidah A.A., Lau K.W., Sofian-Azirun M. (2017). Comparative efficacy of commercial mosquito coils against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Malaysia: A nationwide report. *Journal of Economic Entomology* 110, 2247-2251.
- Chittenden F.H. (1911). Papers on insects affecting stored products. The lesser grain borer. The larger grain borer. *Bull. Bur. Ent. U.S. Dep. Agric.* 96, 29-52.

- Cooperband M.F., Golden F.V., Clark G.G., Jany W., Allan S.A. (2010). Prallethrin-induced excitation increases contact between sprayed ultralow volume droplets and flying mosquitoes (Diptera: Culicidae) in a wind tunnel. *Journal of Medical Entomology* 47, 1099-1106.
- Doganay I., Agrafioti P., Isikber A.A., Saglam O., Athanassiou C.G. (2018). Immediate and delayed mortality of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn), on different surfaces treated with thiamethoxam and alpha-cypermethrin. *Journal of Stored Products Research* 76, 1-6.
- Dye K.C. (2016). Subacute effects of prallethrin on behavior of mosquitoes (Diptera: Culicidae) and other human disease vectors. PhD Thesis, University of Kentucky.
- Farajollahi A., Healy S.P., Unlu I., Gaugler R., Fonseca D.M. (2012). Effectiveness of ultra-low volume nighttime applications of an adulticide against diurnal *Aedes albopictus*, a critical vector of dengue and chikungunya viruses. *PLoS ONE* 7, e49181.
- Giles P.H. (1975). Annual report 1974 on the activities of SEPRAL and the Grain Storage Extension Group. Rep. Section de Productos Almacenados (SEPRAL). Ministerio de Agricultura y Ganaderia, Nicaragua.
- Halliday W.R., Morgan N.O., Kirkpatrick R.L. (1987). Evaluation of insecticides for control of stored-product pests in transport vehicles. *Journal of Entomological Science* 22, 224-236.
- Hertlein M., Thompson D., Subramanyan B., Athanassiou C. (2011). Spinosad: A new natural product for stored grain protection. *Journal Stored Product Research* 47, 131-146.
- Howe R. (1956). The biology of two common storage species of *Oryzaephilus* (Coleoptera: Cucujidae), *Annals of Applied Biology*.
- Howard D. (1983). The population biology of the greater grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn). Ph.D. thesis. University of Reading
- Hodges R.J. (1982). A review of the biology and control of the greater grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostyichidae). *Trap. Stored Prod. Inf* 43, 3-9.
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) (2018). The IRAC mode of action classification. <http://www.irc-online.org/modes-of-action>. Accessed 6 September 2018.
- Lefkovitch L. (1967). A laboratory study of *Stegobium paniceum* (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Stored Products Research* 3, 235-249.
- Lesne P. (1897) Revision des Coleopteres de la famille des Bostrychides. *Ann. Sot. ent. Fr.* LXVI, 319-350.
- Makworo N.K., Ochieng V.O., Ogoyi D.O., Mukabana R.W. (2017). Knock down efficacy of commercially available insecticides against *Anopheles gambiae*. *Journal of Applied Biology and Biotechnology* 5, 77-84.

- Mittal P., Sreehari U., Razdan R.K., Dash A. (2009). Efficacy of cyphenothrin (Gokilaht-S 5% EC) as space spray against mosquitoes in sentinel cages. *Journal of Vector Borne Diseases* 46, 241-243.
- Paudyal S., Opit G.P., Osekre E.A., Arthur F.H., Bingham G.V., Payton M.E., Danso J.K., Manu N., Nsiah E.P. (2017). Field evaluation of the long-lasting treated storage bag, deltamethrin incorporated, (ZeroFly® Storage Bag) as a barrier to insect pest infestation. *Journal of Stored Products Research* 70, 44-52.
- Pimentel M., Faroni L., Guedes R., Sousa A., Totola M. (2009). Phosphine resistance in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Journal. Stored Products. Research.* 45, 71-74.
- Redlinger L., Zettler J., Davis R., Simonaitis A. (1988). Evaluation of pirimiphos-methyl as a protectant for export grain. *Journal of Economic Entomology.* 81, 718-721.
- Rumbos C., Dutton A., Athanassiou C. (2013). Comparison of two pirimiphos-methyl formulations against major stored-product insect species. *Journal of Stored Products Research* 55, 106-115.
- Rumbos C.I., Dutton A.C., Athanassiou C.G. (2014). Efficacy of two formulations of pirimiphos-methyl as surface treatment against *Sitophilus granarius*, *Rhyzopertha dominica*, and *Tribolium confusum*. *Journal of Pest Science* 87, 507–519.
- Shires S.W. (1979) Life history of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) at optimum conditions of temperature and humidity. *Journal of Stored Product Research* 16, 147-150.
- Sirak-Wizeman M., Faiman R., Al-Jawabreh A., Warburg A. (2008). Control of phlebotomine sandflies in confined spaces using diffusible repellents and insecticides. *Medical and Veterinary Entomology* 22, 405-412.
- Stará J., Stejskal V., Nesvorná M., Plachý J., Hubert J. (2011). Efficacy of selected pesticides against synanthropic mites under laboratory assay. *Pest Management Science* 67, 446-457.
- Stejskal V., Aulicky R., Pekar S. (2009). Brief exposure of *Blattella germanica* (Blattodea) to insecticides formulated in various microcapsule sizes and applied on porous and non-porous surfaces. *Pest Management Science* 65, 93-98.
- Tilak R., Agrawal V.K., Dutta J. (2005). Field performance of cyphenothrin: an integrated insecticide strategy against German cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae). *Journal of Vector Borne Diseases* 42, 68-73.
- TOXNET (Toxicology Data Network) 2018. Prallethrin. <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO-+8169>. Accessed 13 September 2018.

- Ujihara K., Mori T. Matsuo N. (2012). Recent advances of pyrethroids for household use. *Topics in Current Chemistry* 314, 31-48.
- Vassilakos T.N., Athanassiou C.G., Saglam O., Chloridis A.S., Dripps J.E. (2012). Insecticidal effect of spinetoram against six major stored grain insect species. *Journal of Stored Product Research* 51, 69-73.
- Wakil W., Ashfaq M., Ghazanfar M.U., Riasat T. (2010). Susceptibility of stored-product insects to enhanced diatomaceous earth. *Journal of Stored Products Research* 46, 248-249.
- White N., Leesch J. (1995). Chemical control. In: Subramanyam, Bh., Hagstrum, D.W. (Eds.), *Integrated Management of Insects in Stored Products*. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 287–330.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- <https://bugguide.net/node/view/616514>
- <http://entoweb.okstate.edu/ddd/insects/drugstore.htm>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Stegobium_paniceum
- https://www.kaefer-der-welt.de/rhizopertha_dominica.htm
- https://en.wikipedia.org/wiki/Prostephanus_truncatus
- <http://www.ozanimals.com/Insect/Bean-Weevil/Acanthoscelides/obtectus.html>
- <https://www.pestsolutions.co.uk/pest-library/stored-product-insects/grain-weevil-sitophilus-granarius>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Rice_weevil
- <https://gd.eppo.int/taxon/TROGPA/photos>
- <https://www.inaturalist.org/taxa/226660-Oryzaephilus-surinamensis>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Confused_flour_beetle
- http://www.science20.com/science_explained/selfdefense_for_insect_eggs-149901
- <https://alchetron.com/Ephestia-elutella>
- <http://www.hantsmoths.org.uk/species/1475.php>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Indianmeal_moth