



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ &
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων δραστικών ουσιών pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad και silicoSec κατά του *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) σε τρία δημητριακά.

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Ι. ΜΙΧΑΗΛ



Επιβλέπων Καθηγητής:

Νικόλαος Γ. Καβαλλιεράτος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ

2020

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων δραστικών ουσιών pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad και silicoSec κατά του *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) σε τρία δημητριακά.

“Efficacy of pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad and silicoSec against adults and larvae of *Tenebrio molitor* L. on wheat, barley and maize.”

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Ι. ΜΙΧΑΗΛ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Νικόλαος Γ. Καβαλλιεράτος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)

Γεώργιος Παπαδούλης, Καθηγητής ΓΠΑ

Γεώργιος Γκόρας, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων δραστικών ουσιών pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad και silicoSec κατά του *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) σε τρία δημητριακά.

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας

Περίληψη

Το σκαθάρι των αλεύρων, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι ένα επιβλαβές είδος που προκαλεί σοβαρές ζημιές στα αποθηκευμένα προϊόντα παγκοσμίως. Στην παρούσα μελέτη, αξιολογήθηκε η ικανότητα των pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad και silicoSec να δράσουν ως προστατευτικά των σιτηρών ενάντια σε τέλεια άτομα και σε μικρές και μεγάλες προνύμφες του εντόμου. Η εφαρμογή των εντομοκτόνων δραστικών ουσιών έγινε σε σιτάρι, κριθάρι και αραβόσιτο. Η θνησιμότητα εκτιμήθηκε μετά από 1, 3, 7 και 14 ημέρες έκθεσης. Όλα τα εντομοκτόνα που εξετάστηκαν ήσαν αποτελεσματικά επί των τελείων ατόμων του *T. molitor*. Μετά από 14 ημέρες έκθεσης στις εφαρμογές pirimiphos-methyl ή silicoSec σε σιτάρι και αραβόσιτο και της εφαρμογής με pirimiphos-methyl, silicoSec και spinosad σε κριθάρι, παρατηρήθηκε πλήρης (100%) θνησιμότητα των τελείων ατόμων. Οι προνύμφες ήσαν πιο ανθεκτικές σε σχέση με τα τέλεια άτομα στις εφαρμογές των εντομοκτόνων. Ωστόσο, 14 ημέρες μετά την έκθεση σε pirimiphos-methyl προκλήθηκαν υψηλά επίπεδα θνησιμότητας στις μικρές προνύμφες, τα οποία έφτασαν 71,1%, 91,1% και 60% όταν εφαρμόστηκε στο σιτάρι, στο κριθάρι και στον αραβόσιτο αντίστοιχα. Το είδος των δημητριακών διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων που ελέγχθηκαν. Η θνησιμότητα ήταν υψηλότερη στο κριθάρι και στο σιτάρι σε σχέση με τον αραβόσιτο, κατά όλων των σταδίων του εντόμου και σε όλα τα εντομοκτόνα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το στάδιο ζωής του *T. molitor* και το είδος του δημητριακού θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν για τη αποτελεσματική διαχείριση του είδους.

Επιστημονική περιοχή: Εντομολογία

Λέξεις κλειδιά: φυτοπροστασία, εντομοκτόνα, έντομα αποθηκών, δημητριακά

“Efficacy of pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad and silicoSec against adults and larvae of *Tenebrio molitor* L. on wheat, barley and maize.”

Department of Crop Science

Laboratory of Agricultural Zoology and Entomology

Abstract

The yellow mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) is a noxious insect that causes serious damages to stored products worldwide. In the present study, pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad and silicoSec were evaluated as grain protectants against adults, small and large larvae of this species on wheat, barley and maize at label doses. Mortalities were estimated after 1, 3, 7 and 14 days of exposure. All tested insecticides were able to control *T. molitor* adults. Complete (100%) mortality of adults was noted after 14 days of exposure on wheat and maize treated with pirimiphos-methyl or silicoSec and barley treated with pirimiphos-methyl, silicoSec and spinosad. Larvae were more tolerant than adults to insecticidal treatments. However, pirimiphos-methyl caused high levels of mortality to small larvae that were 71.1, 91.1 and 60% on wheat, barley and maize respectively after 14 days post exposure. The type of commodity played a significant role on the performance of the tested insecticides. Mortality was higher on barley and wheat than on maize for all tested stages and insecticides. Our results indicate that the life stage of *T. molitor* and the type of commodity should be taken into account for the management of this species.

Scientific area: Entomology

Key words: *Tenebrio molitor* L., pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad, silicoSec, crop protection, grains, insecticides, storage insects

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Γ. Καβαλλιεράτο που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με την επιστήμη της εντομολογίας. Επιθυμώ να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Παπαδούλη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Γκόρα για την ανάγνωση και διόρθωση της μεταπτυχιακής μελέτης. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δρα Μαρία Μπουκουβάλα, και τις υποψήφιες Διδάκτορες Εριφίλη Νίκα και Άννα Νικολέττα Σκούρτη, για τη βοήθεια, την οποία ευγενώς μου προσέφεραν.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
Πίνακας περιεχομένων	6
1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Τα είδη των εχθρών των αποθηκών.	9
1.2 Οι διατροφικές συνήθειες των εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων και η ζημιά που προκαλούν.	9
1.3 Κυριότερα έντομα εχθροί των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων.....	11
1.3.1 Τάξη PSOCOPTERA	11
1.3.2 Τάξη LEPIDOPTERA.....	12
1.3.3 Τάξη COLEOPTERA.....	12
2. Οικογένεια Tenebrionidae	13
2.1 Το <i>Tenebrio molitor</i>	13
2.1.1 Η μορφολογία του <i>Tenebrio molitor</i>	13
2.2 Η βιολογία του <i>Tenebrio molitor</i>	13
2.3 Ο κύκλος ζωής του <i>Tenebrio molitor</i>	14
2.4 Η διατροφή του <i>Tenebrio molitor</i>	15
2.5 Προβλήματα που δημιουργούνται από το <i>Tenebrio molitor</i> σε αποθηκευμένους χώρους και τρόφιμα.....	15
2.6 Αλλεργίες που δημιουργεί το <i>Tenebrio molitor</i>	15
2.7 Το <i>Tenebrio molitor</i> ως διατροφή των ζώων και του ανθρώπου.....	16

3. Αντιμετώπιση των εντόμων εχθρών στα αποθηκευμένα προϊόντα.	17
3.1 Προσβολές σε αποθηκευμένα προϊόντα από το <i>Tenebrio molitor</i>	17
3.2 Πρόληψη	17
3.3 Παρακολούθηση και εντοπισμός του εντόμου.	18
3.3.1 Παρακολούθηση και εντοπισμός του εντόμου με φερομονικές παγίδες.	18
3.4 Καταπολέμηση	19
3.4.1 Καταπολέμηση με μηχανικές μεθόδους.	19
3.4.2 Καταπολέμηση με χημικές μεθόδους.	20
3.5 Εγκεκριμένα εντομοκτόνα επαφής.	21
3.5.1 Pirimiphos-methyl	21
3.5.2 Deltamethrin	21
3.5.3 Spinosad	22
3.5.4 SilicoSec	22
5. Υλικά και μέθοδοι	26
5.1 Έντομα	26
5.2 Προϊόντα	26
5.3 Σκευάσματα	26
5.4 Βιοδοκιμές	27
5.5 Στατιστικές αναλύσεις	28
6. Αποτελέσματα	30
6.1 Θνησιμότητα των μαρτύρων	30

6.2 Θνησιμότητα των τελείων εντόμων του είδους <i>Tenebrio molitor</i>	30
6.3 Θνησιμότητα προνυμφών μικρού μεγέθους	33
6.4 Θνησιμότητα προνυμφών μεγάλου μεγέθους	35
7. Συζήτηση	37
8. Βιβλιογραφία.....	42

1. Εισαγωγή

1.1 Τα είδη των εχθρών των αποθηκών.

Οι εχθροί των αποθηκών αποτελούνται από όλους εκείνους τους οργανισμούς που είναι επιβλαβείς για τα αποθηκευμένα τρόφιμα όλων των ειδών, κυρίως όμως σιτηρών και οσπρίων, που προορίζονται για ανθρώπινη χρήση (Hill, 2003). Τα προϊόντα παρουσιάζουν συχνά προσβολές από έντομα. Αυτό, είτε εξαιτίας της διαδικασίας παραγωγής τους και προβλημάτων που σχετίζονται με την υγιεινή, είτε εξαιτίας του χρόνου αποθήκευσης που μεσολαβεί πριν από την πώλησή και την κατανάλωσή τους (Hill, 2003).

Τα έντομα αυτά ανήκουν κυρίως στις τάξεις Psocoptera, Lepidoptera και Coleoptera (Hill, 2003). Οι αποθηκευτικοί χώροι αποτελούν ιδανικές τοποθεσίες ώστε οι εχθροί των αποθηκευμένων προϊόντων να επιβιώνουν και να ευδοκιμούν σε αυτούς. Οι οργανισμοί αυτοί είναι ανθεκτικοί στις συνθήκες παρατεταμένης έλλειψης τροφής, στις ακραίες περιβαλλοντικές μεταβολές και ικανοί στην βέλτιστη εκμετάλλευση της περιόδου που υπάρχει υψηλή διαθεσιμότητα τροφής αυξάνοντας ραγδαία το πληθυσμιακό τους μέγεθος (Hagstrum, 2016).

1.2 Οι διατροφικές συνήθειες των εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων και η ζημιά που προκαλούν.

Σύμφωνα με τον Hill (2003), τα έντομα αποθηκών μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα με την διατροφή τους και τις επακόλουθες ζημιές που επιφέρουν στα προϊόντα.

Τα πρωτεύοντα είδη (primary pests) (Εικόνα 1) είναι τα έντομα που διαθέτουν όλες τις προσαρμογές ώστε να διεισδύσουν στην άθικτη προστατευτική μεμβράνη των καρπών και των σιτηρών. Αυτή η ικανότητά καθιστά τα πρωτεύοντα είδη ιδιαίτερα καταστροφικά (Hill, 2003). Η ιδιαίτερη προτίμηση κάποιων ειδών στην βλαστική περιοχή των δημητριακών μπορεί να οδηγήσει στην μείωση της θρεπτικής αξίας και στην απώλεια της βλαστικότητας των σπόρων τους. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα προνομφικά στάδια των γενών *Sitotroga*, *Callosobruchus* και τα γένη *Sitophilus*, *Rhyzopertha* και *Trogoderma*.



Εικόνα 1. Πρωτεύοντα είδη, από αριστερά προς δεξιά τα γένη *Sitotroga*, *Callosobruchus*, *Sitophilus*, *Rhyzopertha*, *Trogoderma*.

Τα δευτερεύοντα είδη (secondary pests) (Εικόνα 2) είναι έντομα που μπορούν να τρέφονται μόνο με κατεστραμμένους σπόρους και καρπούς, όπου το προστατευτικό περίβλημα έχει φθαρεί, τρυπηθεί ή σπάσει, είτε κατά την ταχεία ξήρανση του προϊόντος είτε εξαιτίας της προηγούμενης προσβολής από πρωτεύοντα είδη. Επομένως, πολλές φορές συνυπάρχουν στις αποθήκες σιτηρών μαζί με άλλα πρωτεύοντα είδη, όπως *Sitophilus* ή *Sitotroga*, αλλά συχνά τα δευτερεύοντα είδη βρίσκονται σε μεγαλύτερη αφθονία σε άλευρα και μεταποιημένα προϊόντα δημητριακών. Τα πιο κοινά δευτερεύοντα είδη που συναντώνται στους σπόρους περιλαμβάνουν τις προνύμφες λεπιδοπτέρων των γενών *Ephestia*, *Cadra*, *Plodia* και τα κολεόπτερα των γενών *Oryzaephilus*, *Cryptolestes*, *Tribolium* και τα άλλα Tenebrionidae (Εικόνα 2) (Hill, 2003).



Εικόνα 2. Δευτερεύοντες εχθροί, από αριστερά προς δεξιά *Ephestia*, *Cadra*, *Plodia*, και *Oryzaephilus*, *Cryptolestes*, *Tribolium*.

Ένας μεγάλος αριθμός εντόμων που βρίσκονται στις αποθήκες τροφίμων είναι μυκητοφάγα (fungus feeders) (Εικόνα 3) και τρέφονται με τα μυκήλια που αναπτύσσονται σε υγρές συνθήκες (Hill, 2003; Rees, 2007). Η υγρασία είναι συνήθως ένα σημαντικό πρόβλημα στους περισσότερους χώρους αποθήκευσης, τόσο των εμπορικών καταστημάτων, όσο και των οικιών και επομένως η μούχλα αποτελεί έναν κίνδυνο για τα τρόφιμα που φυλάσσονται σε αυτούς. Ορισμένα είδη είναι εν μέρει μυκητοφάγα και εν μέρει δευτερεύοντα, όπως κάποιες οικογένειες κολεοπτέρων (πχ. *Mycetophagidae*). Άλλα είδη ξεκινούν την διατροφή τους από τα μυκητιακά μυκήλια και μετά συνεχίζουν στα τρόφιμα ή τους σπόρους (Hill, 2003).



Εικόνα 3. Μυκητοφάγα είδη (αριστερά) *Psocoptera* (δεξιά).

1.3 Κυριότερα έντομα εχθροί των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων.

1.3.1 Τάξη PSOCOPTERA

Η τάξη των *Psocoptera* αποτελείται από μικρά έντομα, μερικά εκ των οποίων φέρουν πτέρυγες, και ανήκουν στα πρωτεύοντα είδη. Τα περισσότερα τρέφονται από μύκητες, λειχήνες ή επιφυτικά φύκη, αν και μερικά μπορούν να τραφούν από αποξηραμένο ζωικό υλικό, αποθηκευμένα άλευρα και προϊόντα δημητριακών (Hill, 2003). Τα *Psocoptera* μπορούν να αποτελέσουν σοβαρούς εχθρούς των αποθηκευμένων τροφίμων, καθώς σε συνθήκες υγρασίας μπορούν να αναπτυχθούν

μεγάλοι πληθυσμοί. Τα περισσότερα είδη δεν μπορούν να επιβιώσουν περισσότερο από 2-3 εβδομάδες σε λιγότερο από 58% RH (Hagstrum, 2016).

1.3.2 Τάξη LEPIDOPTERA

Η τάξη των Lepidoptera αποτελεί μία πολύ μεγάλη ομάδα εντόμων, από τα οποία μόνο λίγα ανήκουν στην κατηγορία των εντόμων αποθηκών. Περίπου 70 είδη σκόρων μπορούν να προκαλέσουν οικονομική ζημία στα προϊόντα (Hagstrum, 2016).

1.3.3 Τάξη COLEOPTERA

Τα Coleoptera αποτελούν την μεγαλύτερη τάξη εντόμων και την μακράν μεγαλύτερη ομάδα επιβλαβών οργανισμών των αποθηκευμένων προϊόντων με περισσότερα από 600 καταγεγραμμένα είδη. Τόσο οι προνύμφες, όσο και τα τέλεια άτομα μπορούν να τρέφονται με τους σπόρους προκαλώντας ζημία στα προϊόντα (Hagstrum, 2016).

2. Οικογένεια Tenebrionidae

2.1 Το *Tenebrio molitor*

2.1.1 Η μορφολογία του *Tenebrio molitor*.

Τα τέλεια άτομα του *Tenebrio molitor* έχουν μήκος 12 έως 18 mm, και είναι επιμήκη και επίπεδα. Το χρώμα τους είναι κοκκινωπό καφέ έως μαύρο ανάλογα με την ηλικία του ατόμου (Rees, 2007). Οι προνύμφες είναι σκωληκόμορφες, καφέ και μήκους 25-30 mm όταν αναπτύσσονται πλήρως (Rees, 2007). Όπως φαίνεται και από την (Εικόνα 4), τα άτομα του *T. molitor* έχουν ελαφρώς γυαλιστερή όψη, χαρακτηριστικό που τα διακρίνει από τα συγγενικά τους *T. obscurus* (Rees, 2007). Τα πόδια είναι καλυμμένα με μία κολλώδη ουσία που εκκρίνεται σε αυτά ώστε να μπορούν να κολλάνε πάνω σε επιφάνειες (Robinson, 2005).



Εικόνα 4. Τέλειο άτομο *Tenebrio molitor*

2.2 Η βιολογία του *Tenebrio molitor*.

Η πληθυσμιακή ανάπτυξη αυτών των εντόμων είναι αργή και μεταβλητή σε διάρκεια. Συνήθως μόνο μία έως δύο γενιές παράγονται ετησίως. Τα τέλεια μπορούν να ζήσουν για ένα έως δύο έτη. Οι προνύμφες είναι εξαιρετικά ανθεκτικές στο κρύο, και μπορούν να επιβιώσουν έως και τρεις εβδομάδες στους -12°C και σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας (Rees, 2007). Πληθυσμοί αυτού του εντόμου απαντώνται συνήθως σε μύλους ή αποθήκες σιτηρών και σε συνθήκες έλλειψης υγιεινής μπορούν να αναπτύξουν μεγάλους πληθυσμούς. Συνήθως, αποτελούν πηγή τροφής άλλων μεγαλύτερων εντόμων (Rees, 2007). Οι βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη του

Tenebrio molitor είναι 30-35°C και υγρασία 71% RH για την εκκόλαψη των προνυμφών τους και 25-35°C για τα προνυμφικά στάδια (Hill, 2003; Robinson, 2005).

2.3 Ο κύκλος ζωής του *Tenebrio molitor*.

Το *Tenebrio molitor* έχει κύκλο ζωής που αποτελείται από 4 στάδια: ωό, προνύμφη, νύμφη και τέλειο έντομο (Εικόνα 5) (Hill, 2003). Η εκκόλαψη των προνυμφών γίνεται σε 6 ημέρες στους 30-35°C και σε 17 ημέρες στους 15°C, με βέλτιστη υγρασία 71% RH. Η ανάπτυξη των προνυμφών ολοκληρώνεται συνήθως σε 1 χρόνο, αλλά μπορεί να χρειαστούν έως και 2 χρόνια και έχει το πολύ 20 προνυμφικά στάδια (Hill, 2003; Robinson, 2005). Κάθε προνύμφη χρειάζεται 30 με 649 μέρες για να φτάσει στο στάδιο των τελειών. Η διάρκεια του σταδίου της νύμφης είναι περίπου 7 ημέρες στους 25-35°C και 48 ημέρες στους 15°C (Robinson, 2005). Οι προνύμφες μπορούν είτε να μεταβούν στο στάδιο της νύμφης, είτε να παραμείνουν στο στάδιο της προνύμφης για πολλούς μήνες και να διαχειμάσουν. Οι προνύμφες είναι ανθεκτικές στην παρατεταμένη ασιτία ή ξηρασία (Hill, 2003). Τα τέλεια άτομα έχουν καλώς αναπτυγμένες πτέρυγες, και παρουσιάζουν φωτοτακτισμό (Robinson, 2005).



Εικόνα 5. Κύκλος ζωής του *Tenebrio molitor* (Από αριστερά στα δεξιά τέλειο έντομο, νύμφη, προνύμφη μεγάλη, προνύμφη μικρή, ωό).

2.4 Η διατροφή του *Tenebrio molitor*.

Το *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι δευτερεύον είδος. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι εφοδιασμένο με τα απαραίτητα στοματικά μόρια ώστε να διαρρήξει την προστατευτική μεμβράνη των σιτηρών και επομένως μπορεί να τραφεί με κατεστραμμένους σπόρους και καρπούς, όπου το προστατευτικό περίβλημα έχει φθαρεί, τρυπηθεί ή σπάσει (Hill, 2003). Επίσης μπορεί να θεωρηθεί και θρηματοφάγο, καθώς καταναλώνει φυτικά υπολείμματα και αποσυντεθειμένα φύλλα ή φρούτα, όπως επίσης και περιττώματα ζώων και άλλα ζωικά υπολείμματα (Robinson, 2005).

2.5 Προβλήματα που δημιουργούνται από το *Tenebrio molitor* σε αποθηκευμένους χώρους και τρόφιμα.

Το σκαθάρι των αλεύρων *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι ένα επιβλαβές δευτερεύον είδος. Στην προσβολή από *T. molitor* αποδίδεται η απώλεια μέχρι και του 15% της παραγωγής των αμυλούχων προϊόντων (Park et al., 2016; Plata-Rueda et al., 2017). Η μόλυνση μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστες οσμές στο εμπόρευμα λόγω έκκρισης βενζοκινονών από τους κοιλιακούς του αδένες (Rees, 2007). Στις εύκρατες περιοχές, το *T. molitor* προκαλεί ζημιές σε προϊόντα δημητριακών, σε υπολείμματα σιτηρών και σε προϊόντα που προέρχονται από ζώα (π.χ. κρέας, φτερά, νεκρά έντομα) (Hill, 2003; Robinson, 2005). Ωστόσο, έχει αναφερθεί ότι αναπτύσσει πληθυσμούς και σε ζωολογικούς κήπους, ενυδρεία και εμπορικούς διανομείς τροφίμων για πουλιά, ψάρια και άλλα μικρά ζώα από τον 18^ο αιώνα (Resh and Cardé, 2009). Θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα είδη που προσβάλλει σπόρους κατά την διάρκεια της αποθήκευσής τους (Aguilar Miranda et al., 2002).

2.6 Αλλεργίες που δημιουργεί το *Tenebrio molitor*.

Εκτός από τις ζημιές που προκαλεί στα προϊόντα, το *T. molitor* είναι επιβλαβές και για την υγεία του ανθρώπου. Η παρουσία του έχει συνδεθεί με την πρόκληση αλλεργικών αντιδράσεων, ειδικά στους εργαζόμενους στα δημητριακά ή στους ανθρώπους που χειρίζονται αυτό το είδος ως ζωοτροφή (Schroeckenstein et al. 1990a, b; Siracusa et al. 2003). Ανάμεσα στις αλλεργικές αντιδράσεις του

αναπνευστικού που έχουν αναφερθεί, ιδιαίτερη ανησυχία για την δημόσια υγεία εγείρει η εκδήλωση συμπτωμάτων άσθματος (Bernstein et al., 1983; Broekman et al., 2017; Krinsky, 2019) ή ακόμη και αναφυλαξίας (Freye et al., 1996).

2.7 Το *Tenebrio molitor* ως διατροφή των ζώων και του ανθρώπου.

Οι προνύμφες *T. molitor* παράγονται μαζικά ως τροφή για ζώα, όπως πτηνά, ερπετά, αμφίβια και ψάρια. Η εκτροφή τους γίνεται με την χρήση πίτουρου, το οποίο αποτελεί αγροτικό υποπροϊόν, ως κύρια πηγή τροφής (Oonincx and De Boer, 2012). Τα περιττώματα που παράγονται από το *T. molitor* πωλούνται ως εδαφικό λίπασμα. Σε πρόσφατες δοκιμές προτάθηκε η χρήση των προνυμφών ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για κοτόπουλα που προορίζονται για κατανάλωση (Bovera et al., 2016).

Σύμφωνα με τους Oonincx και De Boer (2012) το *T. molitor* αποτελεί μία από τις πιο βιώσιμες πηγές βρώσιμων πρωτεϊνών για τον άνθρωπο σε σχέση με το γάλα, το κοτόπουλο, το χοιρινό ή το βόειο κρέας. Άλλοι πρότειναν την χρήση του ως τροφή των αστροναυτών (Li et al., 2013).

3. Αντιμετώπιση των εντόμων εχθρών στα αποθηκευμένα προϊόντα.

3.1 Προσβολές σε αποθηκευμένα προϊόντα από το *Tenebrio molitor*.

Το *T. molitor* L. προσβάλλει κυρίως τα προϊόντα των δημητριακών και των σιτηρών και εκεί οφείλει και την κοινή του ονομασία «σκουλήκι των αλεύρων» ή «mealworm», καθώς και στις σκωληκόμορφες προνύμφες του είδους. Οι αποθηκευμένοι σπόροι, σχεδόν κάθε είδους, αποτελούν δυνητικά υποστρώματα ειδών όπως το *T. molitor*. Τα είδη αυτά συνήθως αναπτύσσονται και τρέφονται στο εσωτερικό των καρπών αφού αυτοί έχουν σπάσει μηχανικά ή έχουν προσβληθεί από άλλα έντομα (EI-Aziz, 2011). Ο μη ικανοποιητικός έλεγχος των εντόμων μπορεί να οδηγήσει σε προσβεβλημένα προϊόντα που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας, όπως αλλεργίες, και οικονομική ζημία με ενδεχόμενο να επακολουθήσουν νομικές διενέξεις (EI-Aziz, 2011). Ο έλεγχος των επιβλαβών οργανισμών των αποθηκευμένων προϊόντων είναι απαραίτητος για να αποφευχθεί η προσβολή των ανθρώπινων και ζωικών τροφών.

3.2 Πρόληψη

Ο έλεγχος των προϊόντων για ενδεχόμενη προσβολή θα πρέπει να γίνεται πριν την κατάληξή τους στην αποθήκη των τροφίμων. Τα προϊόντα που είναι ήδη προσβεβλημένα από τον αγρό, μπορούν να αποτελέσουν εστίες μόλυνσης και για προϊόντα τα οποία δεν έχουν προσβληθεί (Hagstrum, 2016). Οι αβιοτικές συνθήκες που επικρατούν στους αποθηκευτικούς χώρους αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τον κύκλο ζωής του εντόμου. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία μπορούν να επηρεάσουν τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου των εντόμων και την προαγωγή της διάπαυσής τους (Huang and Subramanyam, 2005). Ο σωστός σχεδιασμός των αποθηκευτικών χώρων θα πρέπει να αποτρέπει την εύκολη προσπέλαση εντόμων, όπως πόρτες με ερμητικό κλείσιμο, ψιλή σίτα στα ανοίγματα, δάπεδα που επιτρέπουν τον εύκολο και τακτικό καθαρισμό με χρήση εντομοκτόνων ή άλλων ουσιών (Rees, 2007).

Τα έντομα αποθηκών προκαλούν σημαντικές απώλειες στα αποθηκευμένα σιτηρά, σε επεξεργασμένα τρόφιμα και ζωικά προϊόντα (Arthur and Phillips, 2003).

Οι απώλειες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν όταν εντοπίζονται γρήγορα οι προσβολές και εφαρμόζονται κατάλληλα μέτρα ελέγχου.

3.3 Παρακολούθηση και εντοπισμός του εντόμου.

Οι μέθοδοι παρακολούθησης των εντόμων ποικίλουν, ανάλογα με τον τύπο του εντόμου, του εμπορεύματος και του τρόπου συσκευασίας και αποθήκευσης. Στο πλαίσιο αυτό, θα πρέπει να γίνεται παρατήρηση της επιφάνειας του εμπορεύματος και του χώρου για τον εντοπισμό της παρουσίας των εντόμων, όπως π.χ. άτομα, εκδύματα, σκόνη, οσμή κλπ. (Sinha, 1995). Επίσης, θεωρείται χρήσιμη η δειγματοληψία των προϊόντων και η τοποθέτηση παγίδων στην επιφάνεια των σιτηρών (Arthur and Phillips, 2003).

Για τον ευκολότερο εντοπισμό των εντόμων χρησιμοποιείται η ιδιότητά τους να προσανατολίζονται και να μετατοπίζονται υπό την επίδραση ενός ερεθίσματος, μια ιδιότητά που ονομάζεται «τροπισμός» ή «τακτισμός» (Arthur and Phillips, 2003). Στην περίπτωση που το ερέθισμα είναι μία φωτεινή πηγή, τότε το φαινόμενο καλείται φωτοτροπισμός, αλλά χρησιμοποιείται κυρίως για ιπτάμενα έντομα, που προσελκύνονται από λυχνίες υπεριώδους φωτός και θανατώνονται στα ηλεκτροφόρα πλέγματα. Στην περίπτωση που το ερέθισμα είναι χημικό τότε το φαινόμενο καλείται χημειοτακτισμός (El-Aziz, 2011). Τα έντομα μπορούν να αντιληφθούν τις χημικές ουσίες, ακόμη κι όταν η πηγή τους βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από αυτά (Mueller et al., 1990). Τα έντομα, ανάλογα με την ουσία που αντιλαμβάνονται, έλκονται ή απωθούνται (Hagstrum, 2016).

3.3.1 Παρακολούθηση και εντοπισμός του εντόμου με φερομονικές παγίδες.

Οι μέθοδοι παρακολούθησης επιβλαβών οργανισμών αποθηκευμένων προϊόντων μπορεί να οδηγήσουν στην πρώιμη ανίχνευση των προσβολών ακόμη και όταν οι πληθυσμοί είναι σε χαμηλές πυκνότητες καθώς και στον εντοπισμό της εστίας τους (Trematerra, 1997). Τα δεδομένα παρακολούθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μείωση της χρήσης των φυτοφαρμάκων (Fleurat-Lessard et al., 1994).

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες ανάπτυξης και διερεύνησης των μεθόδων ανίχνευσης των εντόμων που προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα (Hill, 2003). Η πιο ελπιδοφόρα τεχνική που έχει αναπτυχθεί και συνεχίζει να βελτιώνεται, είναι η παρακολούθηση πληθυσμών με φερομόνες εντόμων ή και άλλων προσελκυστικών

ουσιών των τροφίμων (Hagstrum, 2016). Οι φερομόνες είναι χημικές ουσίες που παράγουν τα έντομα και τις χρησιμοποιούν ως μέσο επικοινωνίας μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους (Campbell et al., 2004).

3.4 Καταπολέμηση

Οι στρατηγικές ελέγχου των εντόμων πρέπει να χρησιμοποιούν συνδυασμούς τεχνικών, οι οποίες πρέπει να είναι αποτελεσματικές, οικονομικές και να δίνουν έμφαση στην πρόληψη των προσβολών από τα έντομα. Αυτές οι στρατηγικές πρέπει να στοχεύουν στην αντιμετώπιση των ήδη υπάρχουσών προσβολών, καθώς και στην πρόληψη μελλοντικών προσβολών (Wilkin et al., 1990). Οι τεχνικές αντιμετώπισης θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις συνήθεις καθημερινές ανάγκες, αλλά να είναι ευέλικτες για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης για την καταπολέμηση των εντόμων (El-Aziz, 2011).

3.4.1 Καταπολέμηση με μηχανικές μεθόδους.

Οι πληθυσμοί των εντόμων μπορούν να ελεγχθούν με φυσικούς τρόπους (El-Aziz, 2011). Επομένως, για την αντιμετώπιση τους θα πρέπει να ελέγχονται οι αβιοτικοί παράμετροι, όπως είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η σχετική σύνθεση των ατμοσφαιρικών αερίων. Για παράδειγμα, η χρήση θερμότητας αποτελεί ένα μέσο καταπολέμησης, ωστόσο η ευαισθησία των διαφόρων ειδών ποικίλει αν και κανένα έντομο δεν μπορεί να επιβιώσει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες άνω των 60°C (Mason and Strait, 1998). Η έκθεση σε θερμοκρασίες μόλις 5°C πάνω από το βέλτιστο είναι ικανή να επιβραδύνει ή να σταματήσει τη δραστηριότητα των εντόμων, την ανάπτυξη και ανάλογα με το είδος, μπορεί να προκαλέσει θάνατο (Mason and Strait, 1998). Ωστόσο, η παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο βλάβης του κατεργασμένου προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της βλάστησης και της ποιότητας ψησίματος (Ghaly and Taylor, 1982). Αύξηση της θερμοκρασίας με στόχο την απεντόμωση μπορεί να γίνει με ροή θερμού αέρα (Nelson and Stetson, 1974).

Αντίστοιχα, καταπολέμηση εντόμων μπορεί να γίνει και με έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η χαμηλή θερμοκρασία μειώνει την ανάπτυξη των εντόμων. Τα έντομα γίνονται ανενεργά και τελικά πεθαίνουν σε θερμοκρασίες κάτω των 12°C.

Τέλος, ένας άλλος τρόπος που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των εντόμων αποθηκών είναι η ακτινοβολία, κατά την οποία το προσβεβλημένο

εμπόρευμα βομβαρδίζεται με σωματίδια "γ" ή με ηλεκτρόνια υψηλής ταχύτητας, με αποτέλεσμα την εξόντωση των εντόμων (Hallman, 2013).

Η χρήση της χαμηλής πίεσης στην απολύμανση αποθηκευμένων αγαθών που έχουν προσβληθεί με έντομα αποθηκών, έχει αποτελέσει αντικείμενο ερευνών πολλών επιστημονικών ομάδων (Cline and Highland, 1987). Η θνησιμότητα των εντόμων υπό χαμηλή πίεση πιστεύεται ότι προκύπτει από τη χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου που επηρεάζει άμεσα τη βασική μεταβολική δραστηριότητά τους, και όχι από κάποια φυσική επίδραση στα κύτταρα από μειωμένη πίεση (Friedlander and Navarro, 1983). Πολλές πρόσφατες μελέτες έχουν διερευνήσει τα αποτελέσματα της χαμηλής πίεσης σε έντομα με στόχο την ανάπτυξη της επεξεργασίας κενού ως μία μη χημική εναλλακτική λύση στη χρήση βρωμιούχου μεθυλίου (Mbata and Phillips, 2001). Πρόσφατα διαπιστώθηκε ότι τα στάδια τελείων και προνυμφών τριών ειδών εντόμων ήσαν πιο ευαίσθητα στην χαμηλή πίεση, ενώ τα ωά χρειάζονταν μεγαλύτερες περιόδους έκθεσης για να θανατωθούν (Mbata and Phillips, 2001). Η αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα από τα γεωργικά προϊόντα, σε συνδυασμό με την αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα από την αναπνοή των προϊόντων δημιουργεί κατάσταση ασφυξίας στα έντομα (Friedlander and Navarro, 1983).

3.4.2 Καταπολέμηση με χημικές μεθόδους.

Οι στρατηγικές χημικού ελέγχου των πληθυσμών των εντόμων αποθηκών έχουν εξελιχθεί με την πάροδο των ετών, με αποτέλεσμα λιγότερες, αλλά ασφαλέστερες, πιο εξειδικευμένες και φιλικές προς το περιβάλλον χημικές ουσίες. Προτιμώνται τα εντομοκτόνα που παρέχουν προστασία σε χαμηλότερες δόσεις, ενώ παράλληλα θα πρέπει να έχουν ελάχιστη ή μηδενική τοξικότητα για τα θηλαστικά. Οι πρόοδοι στις μεθόδους εφαρμογής επιτρέπουν την ακριβή στόχευση, τη μείωση των δραστικών συστατικών και τη συχνότητα των εφαρμογών (Arthur and Phillips, 2003).

Τα εντομοκτόνα μπορούν να διακριθούν σε διαφορετικές κατηγορίες. Ανάλογα με τον τρόπο δράσης, το σύστημα ή/και τον μηχανισμό του εντόμου που επιδρούν καθώς και την χημική φύση της ουσίας.

3.5 Εγκεκριμένα εντομοκτόνα επαφής.

3.5.1 Pirimiphos-methyl

Η εντομοκτόνος δραστική ουσία pirimiphos-methyl χρησιμοποιείται ευρέως στην προστασία των αποθηκευμένων σιτηρών. Καθώς έχει χαμηλότερη τοξικότητα στα θηλαστικά σε σχέση με το chlorpyrifos-methyl, αποτελεί μια πιθανή εναλλακτική για τον έλεγχο των εντόμων αποθηκών (Deighton, 1986). Οι περισσότερες μελέτες στηρίζουν την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του εντομοκτόνου τόσο στο σιτάρι, όσο και σε άλλα αποθηκευμένα προϊόντα, έναντι αρκετών ειδών εντόμων (Huang and Subramanyam, 2006).

Το pirimiphos-methyl ανήκει στα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα. Τα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα αποτελούν μία ομάδα εντομοκτόνων που χρησιμοποιείται ευρέως και έχει αποδειχθεί ότι έχει τοξικές επιδράσεις τόσο στον άνθρωπο, όσο και στα ζώα (Tsatsakis et al., 1998). Η έκθεση σε οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, έχει χρόνιες επιδράσεις όπως πολυνευροπάθεια, ανοσοτοξικότητα, καρκινογένεση και τοξικότητα στο ενδοκρινικό και αναπαραγωγικό σύστημα (Cranmer et al. 1978; Reuber, 1985; Sultatos, 1994; Astroff et al., 1998).

Το pirimiphos-methyl φωσφορυλιώνει την ακετυλοχολινεστεράση στις χολινεργικές συνάψεις του κεντρικού νευρικού συστήματος (Silman and Futerman, 1987). Η αναστολή της ακετυλοχολινεστεράσης αυξάνει τη διαθεσιμότητα της ακετυλοχολίνης αφού δεν γίνεται η υδρόλυση της σε χολίνη, τερματίζοντας έτσι τα νευρικά ερεθίσματα. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ο θάνατος των εντόμων (Μάρκογλου και Ζιώγας, 2010).

3.5.2 Deltamethrin

Η δραστική ουσία deltamethrin ανήκει στις πυρεθρίνες και χρησιμοποιείται εκτεταμένα για τον έλεγχο διαφόρων ειδών εντόμων, όπως των ανθρωπίνων ψειρών, των κουνουπιών, των κατσαρίδων, των σκαθαριών και των μυγών (Shafer et al., 2005). Οι πυρεθρίνες έχουν φυσική προέλευση δεδομένου ότι έχουν απομονωθεί από ορισμένα είδη χρυσανθέμων (*Chrysanthemum* spp.).

Το deltamethrin είναι νευροτοξικό εντομοκτόνο, δρα δηλαδή στο κεντρικό και περιφερικό νευρικό σύστημα, διαταράσσοντας την ισορροπία των ιόντων νατρίου και καλίου στα νευρικά κύτταρα καθώς προκαλεί παράταση στο άνοιγμα των διαύλων

ιόντων νατρίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση νευρικών σημάτων, την παράλυση των εντόμων και στο τέλος τον θάνατό τους (Μάρκογλου και Ζιώγας, 2010).

3.5.3 Spinosad

Το spinosad αποτελεί ένα μίγμα σπινουσινών A και D που παράγονται από τον ακτινομυκήκητα *Saccharopolyspora spinosa* (Mertz and Yao), που ενδημεί στα εδάφη της Jamaica (Sparks et al., 1998). Καθώς αυτές οι ουσίες δημιουργούνται με βιοσύνθεση κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του *S. spinosa*, το spinosad έχει ταξινομηθεί ως βιοεντομοκτόνο (Copping and Menn, 2000).

Το spinosad είναι κατά κύριο λόγο εντομοκτόνο στομάχου με κάποια εξ επαφής δράση και είναι ιδιαίτερα δραστικό έναντι των Λεπιδοπτερών και των Διπτερών. Ο τρόπος δράσης του μπορεί να το κατατάξει στις νευροτοξίνες που στοχεύουν στους νικοτινικούς υποδοχείς της ακετυλοχολίνης και τους υποδοχείς του γ-αμινοβουτυρικού οξέος (Salgado and Sparks, 2010). Η έκθεση σε αυτή την νευροτοξίνη έχει ως αποτέλεσμα την υπερδραστηριότητα των εντόμων, προκαλώντας συσπάσεις στους μυείς. Μετά την αρχική έκθεση, ο θάνατος έρχεται γρήγορα, εντός ολίγων ωρών (Thompson et al., 2000).

Όπως έχει αποδειχτεί από συμβατικές βιοδοκιμές τοξικότητας, το spinosad δεν έχει σχεδόν καμία τοξικότητα στα πτηνά και στα θηλαστικά, ενώ για την δόση LC50 των 200 ppm, είναι πρακτικά μη τοξικό για τους φυσικούς εχθρούς εντόμων (Bret et al., 1997). Για αυτό τον λόγο το spinosad θεωρείται μειωμένου κινδύνου εντομοκτόνο περιβαλλοντικά και τοξικολογικά (Saunders and Bret, 1997).

3.5.4 SilicoSec

Η γη διατόμων silicoSec, είναι φυσική αδρανής σκόνη και έχει εντομοκτόνες ιδιότητες. Αποτελείται από διάτομα, δηλαδή από απολιθωμένους σκελετούς φυτοπλαγκτόν (Athanassiou et al., 2011). Οι σκελετοί αυτοί αποτελούνται κυρίως από πυρίτιο. Τραυματίζει τα έντομα ή προσκολλάται πάνω στον εξωσκελετό τους, και οδηγεί στην αφυδάτωσή τους και μετέπειτα στον θάνατό τους (Ebeling, 1971; Athanassiou et al., 2011). Η γη διατόμων έχει εξαιρετικά χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά και έχει εκτός από εντομοκτόνα και ωκτόνα αποτελέσματα, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης επιβλαβών οργανισμών (Hallman, 2013). Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο όλων των

εντόμων στα αποθηκευμένα σιτηρά, όπως σκαθάρια και σκόρους (Erb-Brinkmann, 2000). Το silicoSec δεν καταστρέφεται ή αποδομείται και παρέχει μακροπρόθεσμα έλεγχο των παρασιτικών εντόμων σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας.

4. Σκοπός της μελέτης

Παρά το γεγονός ότι το *T. molitor* είναι σύνηθες έντομο στις αποθήκες τροφίμων και στις μονάδες επεξεργασίας αυτών, υπάρχουν λίγα δεδομένα για την αντιμετώπισή του. Πρόσφατες μελέτες χρησιμοποίησαν αιθέρια έλαια (ΑΕ) ή εντομοπαθογόνους μύκητες, αντί χημικών εντομοκτόνων για τον έλεγχο του *T. molitor*. Οι Wang et al. (2015) βρήκαν ότι το ΑΕ του λεμονιού *Citrus limon* (L.) Burm. fil. (Sapindales: Rutaceae), και της βερβένας, *Litsea cubeba* (Lour.) Pers. (Laurales: Lauraceae), είχαν καπνογόνα και απωθητική δράση εναντίων του *T. molitor*. Το ΑΕ του σκόρδου, *Allium sativum* L. (Asparagales: Amaryllidaceae), και τα κύρια συστατικά του ΑΕ του σκόρδου (diallyl disulfide και diallyl sulfide) είχαν θανατηφόρα αποτελέσματα στο *T. molitor* (Plata Rueda et al., 2017). Επιπλέον, το ΑΕ της κανέλλας, *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Laurales: Lauraceae), και του γαριφαλόδενδρου *Syzygium aromaticum* (L.) Merrill and Perry (Myrtales: Myrtaceae), όπως επίσης και τα κύρια συστατικά τους ήσαν τοξικά και προκάλεσαν μεγάλη απώθηση στο είδος (Martínez et al., 2018). Οι Oreste et al. (2012) ανέφεραν ότι ο *Beauveria bassiana* Vuillemin (Ascomycota: Hygrocreales) που είναι βάση του εμπορικού βιοεντομοκτόνου Naturalis, σκότωσε όλες τις προνύμφες του *T. molitor* σε μία μέρα έκθεσης. Αρκετές ουσίες του *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Ascomycota: Hygrocreales) ήσαν πολύ αποτελεσματικές ενάντια στις προνύμφες του *T. molitor*, όταν εφαρμόστηκαν σε πίτουρο σιταριού με 35% περιεκτικότητα σε υγρασία (Chen et al., 2014).

Ωστόσο, οι μελέτες για την αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων επαφής για τον έλεγχο του *T. molitor* είναι λίγες. Πρόσφατα, οι Athanassiou et al. (2015) αξιολόγησαν την άμεση και καθυστερημένη θνησιμότητα των τελείων, μικρών και μεγάλων προνυμφών του *T. molitor* σε σκυρόδεμα που είχε εφαρμοστεί το πυρεθρινοειδές εντομοκτόνο alpha-cypermethrin και το νεονικοτινοειδές εντομοκτόνο thiamethoxam, όπου το πρώτο ήταν πιο αποτελεσματικό από το δεύτερο. Επίσης, η χρήση της γης διατόμων, έχει αποδειχθεί μη αποτελεσματική εναντίον τούτου του είδους. Οι Trewin and Reichmuth (1997) βρήκαν ότι η εφαρμογή γης διατόμων Dryacide σε επιφάνεια, προκάλεσε την πλήρη θανάτωση των τελείων *T. molitor* αλλά όχι των προνυμφών. Παρομοίως, οι Mewis and Ulrichs (2001) όταν εφάρμοσαν την γη διατόμων Fossil Shield σε ξύλινες πλάκες, όλα τα τέλεια *T. molitor* ήσαν νεκρά μετά από 7 ημέρες έκθεσης, ενώ όλες οι προνύμφες ήσαν

ζωντανές. Ωστόσο, ο χημικός έλεγχος του *T. molitor* μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση καπνογόνων εντομοκτόνων (Sulfuryl fluoride), αλλά τα ωά του είδους είναι ανθεκτικά στα εντομοκτόνα καπνογόνου δράσεως (Hagstrum and Subramanyam, 2006).

Οι εντομοκτόνες δραστικές ουσίες deltamethrin, pirimiphos-methyl, spinosad και η γη διατόμων silicoSec, έχουν ελεγχθεί για την δράση τους ως προστατευτικά σπόρων εναντίων πολλών εντόμων αποθηκών (Daglish, 1998; Athanassiou et al. 2003; Huang and Subramanyam, 2005; Kavallieratos et al., 2005, 2015, 2017a; Athanassiou and Kavallieratos, 2014). Όμως δεν υπάρχουν δεδομένα για την αποτελεσματικότητα τους εναντίον του *T. molitor*.

5. Υλικά και μέθοδοι

5.1 Έντομα

Τα άτομα *T. molitor* που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές εξετράφησαν σύμφωνα με την μεθοδολογία των De Vosjoli (2012) σε πίτουρα βρώμης, στους 30°C, σε 65% σχετική υγρασία (RH) και συνεχές σκότος (Athanassiou et al., 2015).

Οι αρχικές αποικίες συλλέχθηκαν από ελληνικές μονάδες αποθηκών και διατηρούνται στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών από το 2014. Στα πειράματα της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν άτομα που βρίσκονταν σε διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια, προνύμφες και τέλεια. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν μικρές και μεγάλες προνύμφες και τυχαία τέλεια άτομα (αρσενικά και θηλυκά) του *T. molitor*. Οι μικρές προνύμφες που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές ήταν μικρότερες των 14 mm (κατά μέσο όρο 10 mm), ενώ οι μεγάλες ήταν μεγαλύτερες των 14 mm (κατά μέσο όρο 15mm) (Athanassiou et al., 2015). Τα τέλεια άτομα που χρησιμοποιήθηκαν δεν ήταν μεγαλύτερα των 2 εβδομάδων (Athanassiou et al., 2015).

5.2 Προϊόντα

Τα δημητριακά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το σκληρό σιτάρι *Triticum durum* Desf. (var. Claudio), το κριθάρι *Hordeum vulgare* L. (var. Persephone) και ο αραβόσιτος, *Zea mays* L. (var. Dias). Τα σιτηρά που χρησιμοποιήθηκαν δεν είχαν προσβληθεί από έντομα αποθηκών και δεν είχαν κατάλοιπα εντομοκτόνων ουσιών. Πριν από την έναρξη των βιοδοκιμών, τα σιτηρά κοσκινίστηκαν προκειμένου να απομακρυνθούν οι ακαθαρσίες και τα συσσωματώματα. Η υγρασία των σιτηρών ελέγχθηκε με μετρητή υγρασίας Dickey-John (mini GAC plus, Dickey-John Europe S.A.S., Colombes, France) και ρυθμίστηκε σε ποσοστό $13,5 \pm 0,5\%$. Η ρύθμιση της υγρασίας των σιτηρών έγινε μέσω θέρμανσης των σιτηρών σε κλίβανο στους 50°C ή μέσω της προσθήκης απεσταγμένου ύδατος (Kavallieratos et al., 2012).

5.3 Σκευάσματα

Στα πειράματα της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα τέσσερα εντομοκτόνα σκευάσματα: 1) Actellic EC (εμπορική ονομασία) με περιεκτικότητα 50% pirimiphos-methyl (δραστική ουσία), το οποίο παρείχε η εταιρεία

Syngenta (Ανθούσα, Ελλάδα), 2) K-Obiol ULV (εμπορική ονομασία) με περιεκτικότητα 0,6% deltamethrin (δραστική ουσία), το οποίο παρείχε η εταιρεία Bayer Hellas (Μαρούσι, Ελλάδα), 3) Laser SC (εμπορική ονομασία) με περιεκτικότητα 48% spinosad (δραστική ουσία), το οποίο παρείχε η εταιρεία Dow Agrosiences Export S.A.S. (Λαύριο, Ελλάδα), 4) silicoSec (εμπορική ονομασία), είναι μια γη διατόμων με περιεκτικότητα 92% σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) που παρείχε η εταιρεία Biofa GmbH (Münsingen, Γερμανία).

5.4 Βιοδοκιμές

Στα πειράματα της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης ελέγχθηκε η ικανότητα των εντομοκτόνων να δράσουν ως προστατευτικά σπόρων σιτηρών. Στις βιοδοκιμές ελέγχθηκαν τα pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad και silicoSec στις συνιστώμενες δόσεις των 5 ppm, 0,504 ppm, 1 ppm και 1000 ppm, αντίστοιχα (Kavallieratos et al., 2017a). Όλα τα εντομοκτόνα χρησιμοποιήθηκαν σε μορφή διαλύματος, με εξαίρεση το silicoSec που εφαρμόστηκε σε μορφή σκόνης.

Οι ψεκασμοί έγιναν σε δίσκους, όπου ένα κιλό σιταριού, κριθαριού και αραβοσίτου, ψεκάστηκαν με υδατικά διαλύματα εντομοκτόνων, τελικού όγκου 1ml, που περιείχε την κατάλληλη ποσότητα δραστικής ουσίας. Διαφορετικοί δίσκοι κάθε είδους σιτηρών χρησιμοποιήθηκαν για τον ψεκασμό κάθε διαλύματος εντομοκτόνου. Τα σιτηρά ψεκάστηκαν με χρήση αερογράφου AG-4 (Mecafer S.A., Valence, France). Αρχικά, κάθε ποσότητα διαφορετικών δίσκων ψεκάστηκε με το ίδιο εντομοκτόνο. Πριν τον ψεκασμό με το επόμενο εντομοκτόνο σε κάθε ποσότητα, η συσκευή ψεκασμού καθαρίστηκε με ακετόνη. Στη συνέχεια, οι ψεκασμένες ποσότητες σιτηρών τοποθετήθηκαν χωριστά σε γυάλινα βάζα όγκου 5 λίτρων και ανακινήθηκαν χειροκίνητα για 10 λεπτά ώστε να επιτευχθεί ίση κατανομή του εντομοκτόνου σε ολόκληρη την μάζα των σιτηρών (Kavallieratos et al., 2017a).

Για την εφαρμογή του silicoSec, δίσκοι ενός κιλού σιταριού, κριθαριού και αραβοσίτου τοποθετήθηκαν σε κυλινδρικά γυάλινα βάζα των 5 λίτρων και υποβλήθηκαν σε εφαρμογή silicoSec συγκέντρωσης 1000 ppm. Τα βάζα ανακινήθηκαν χειροκίνητα για 10 λεπτά για να επιτευχθεί η ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων της γης διατόμων σε ολόκληρη την μάζα των προϊόντων (Kavallieratos et al., 2017a). Επιπλέον, δίσκοι του ενός κιλού από κάθε είδος σιτηρών χρησιμοποιήθηκαν ως σειρά ελέγχου (μάρτυρας).

Από κάθε ποσότητα σιτηρών, είτε με εντομοκτόνο, είτε από τους μάρτυρες, ελήφθησαν τρία δείγματα των 10 g και τοποθετήθηκαν σε μικρά γυάλινα φιαλίδια (διαμέτρου 7,5 cm και ύψους 12,5 cm) με διαφορετική σέσουλα για κάθε βάζο-δραστική ουσία. Οι ποσότητες των 10 g ζυγίστηκαν σε μία λεπτή επιφάνεια με ζυγό Precisa XB3200D (Alpha Analytical Instruments, Γέρακας, Ελλάδα). Για κάθε ζύγιση χρησιμοποιήθηκε μία διαφορετική επιφάνεια. Τα πώματα των φιαλιδίων είχαν μια οπή διαμέτρου 1,5 cm στη μέση, η οποία καλύφθηκε από γάζα, για να επιτρέψει τον επαρκή αερισμό του φιαλιδίου.

Σε καθένα φιαλίδιο τοποθετήθηκαν είτε 10 τέλεια άτομα, είτε 10 μικρές προνύμφες, είτε 10 μεγάλες προνύμφες του *T. molitor*. Ο εσωτερικός "λαιμός" του φιαλιδίου καλύφθηκε από υδατικό διάλυμα πολυτετραφθοροαιθυλενίου συγκέντρωσης 60% κατά βάρος διασπορά σε ύδωρ (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Germany), ώστε αποφευχθεί η διαφυγή των εντόμων. Στη συνέχεια, όλα τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα ρυθμισμένους επωαστήρες στους 25°C και σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 65% καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος.

Η θνησιμότητα του *Tenebrio molitor* προσδιορίστηκε με την τοποθέτηση των ατόμων κάτω από στερεοσκόπιο Olympus (SZX9, Bacacos S.A., Αθήνα, Ελλάδα) και με το άγγιγμα κάθε ατόμου με πινέλο με σκοπό την ανίχνευση οποιασδήποτε κίνησης. Η εκτίμηση της θνησιμότητας έγινε μετά από διάστημα 1, 3, 7 και 14 ημερών. Τα πινέλα που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε σειρά φιαλιδίων εντομοκτόνου και μαρτύρων ήσαν διαφορετικά. Για κάθε συνδυασμό προϊόντος, δραστικής ουσίας εντομοκτόνου και αναπτυξιακού σταδίου έγιναν τρεις επαναλήψεις.

5.5 Στατιστικές αναλύσεις

Τα δεδομένα αναλύθηκαν σύμφωνα με το μοντέλο επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Repeated Measures) (Sall et al., 2001). Ο επαναλαμβανόμενος παράγοντας ήταν το διάστημα έκθεσης, ενώ η θνησιμότητα ήταν η εξαρτημένη μεταβλητή. Το εντομοκτόνο και το είδος του σιτηρού ήσαν οι κύριες επιδράσεις. Πέραν των κύριων επιδράσεων, στην ανάλυση ενσωματώθηκαν οι σχετικές αλληλεπιδράσεις, δηλαδή προϊόν x εντομοκτόνο (μεταξύ των διαστημάτων έκθεσης), έκθεση x προϊόν, έκθεση x εντομοκτόνο, έκθεση x προϊόν x εντομοκτόνο (εντός των διαστημάτων έκθεσης). Όλες οι αναλύσεις διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό JMP 13 (SAS Institute Inc, 2016). Οι μέσες τιμές διαχωρίστηκαν με τη

δοκιμή Tukey-Kramer (HSD) σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 (Sokal and Rohlf, 1995).

6. Αποτελέσματα

6.1 Θνησιμότητα των μαρτύρων

Στην σειρά των μαρτύρων του *T. molitor* παρατηρήθηκε χαμηλή θνησιμότητα (<5%) σε όλα τα στάδια που εξετάστηκαν και επομένως δεν έγινε καμία διόρθωση στην θνησιμότητα των σειρών με τα εντομοκτόνα.

6.2 Θνησιμότητα των τελείων ατόμων του είδους *Tenebrio molitor*

Όλες οι κύριες επιδράσεις, αλλά και οι αλληλεπιδράσεις ανά δύο, τόσο μεταξύ, όσο και εντός των διαστημάτων έκθεσης, ήσαν σημαντικές (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Παράμετροι MANOVA για τις κύριες επιδράσεις και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις για τα επίπεδα θνησιμότητας των τελείων *T. molitor*, μικρές ή μεγάλες προνύμφες μεταξύ και εντός των διαστημάτων έκθεσης (σφάλμα df = 96 για όλα τα στάδια).

		Τέλεια άτομα		Μικρές προνύμφες		Μεγάλες προνύμφες	
Μεταξύ των διαστημάτων έκθεσης							
Πηγή	df	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Προϊόν	2	9,6	0,01	3,5	0,04	1,8	0,18
Εντομοκτόνο	3	28,6	<0,01	42,3	<0,01	29,7	<0,01
Προϊόν x Εντομοκτόνο	6	5,4	<0,01	4,3	0,01	1,7	0,14
Εντός των διαστημάτων έκθεσης							
Πηγή	df	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Έκθεση	3	5741,3	<0,01	391,6	<0,01	246,0	<0,01
Έκθεση x Προϊόν	6	7,5	<0,01	2,0	0,07	3,1	0,01
Έκθεση x Εντομοκτόνο	8	16,3	<0,01	34,1	<0,01	17,9	<0,01
Έκθεση x Προϊόν x Εντομοκτόνο	18	3,9	<0,01	1,8	0,03	1,8	0,03

Μετά από 1 ημέρα έκθεσης, η θνησιμότητα των ενήλικων ατόμων *T. molitor* ήταν πολύ χαμηλή και δεν ξεπέρασε το 5,6% στο σιτάρι που εφαρμόστηκε silicoSec (Πίνακας 2). Μετά από διάστημα 3 ημερών έκθεσης, η συνολική θνησιμότητα κυμάνθηκε από 5,6 έως 20%. Επτά ημέρες μετά την έναρξη του πειράματος, η θνησιμότητα αυξήθηκε σημαντικά στο σιτάρι που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl, ενώ στις άλλες εφαρμογές δεν υπερέβη το 44,4%. Πλήρης θνησιμότητα των ατόμων καταγράφηκε σε σιτάρι που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl και silicoSec μετά από 14 ημέρες έκθεσης. Οι θνησιμότητες που προκλήθηκαν από το deltamethrin και το spinosad ήσαν 92,2 και 94,4% αντίστοιχα.

Όσον αφορά το κριθάρι, μετά από 1 ημέρα, η συνολική θνησιμότητα ήταν πολύ χαμηλή και κυμάνθηκε από 1,1 έως 4,4% (Πίνακας 2).

Την τρίτη μέρα του πειράματος, η θνησιμότητα των τελείων *T. molitor* αυξήθηκε περαιτέρω, αλλά δεν ξεπέρασε το 24,4%. Μετά από επτά ημέρες έκθεσης, η θνησιμότητα αυξήθηκε σημαντικά και έφθασε το 86,7 και 77,8% στα φιαλίδια που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl και silicoSec, αντίστοιχα. Ωστόσο, η θνησιμότητα που προκλήθηκε από το deltamethrin και το spinosad κυμάνθηκε σε σημαντικώς χαμηλότερα επίπεδα, δηλαδή από 32,2 έως 36,7%. Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, μετά το πέρας 14 ημερών, όλα τα τέλεια άτομα στο κριθάρι που ψεκάστηκε με pirimiphos-methyl, silicoSec και spinosad, ήσαν νεκρά, ενώ το κριθάρι που ψεκάστηκε με deltamethrin η θνησιμότητα έφθασε το 97,8%.

Όσον αφορά τον αραβόσιτο, μετά από 1 ημέρα έκθεσης, η υψηλότερη θνησιμότητα ήταν χαμηλή. Η συνολική θνησιμότητα προκλήθηκε από το silicoSec, δηλαδή το 10,0%, ενώ δεν παρατηρήθηκε θνησιμότητα για τα άτομα που εκτέθηκαν στο spinosad (Πίνακας 2). Την τρίτη μέρα του πειράματος, η θνησιμότητα έφθασε το 27,8% στον αραβόσιτο που εφαρμόστηκε silicoSec. Επτά ημέρες μετά την έναρξη του πειράματος, η θνησιμότητα αυξήθηκε σημαντικά στη σειρά των φιαλιδίων με pirimiphos-methyl, και έφτασε το 73,3%. Στην περίπτωση του silicoSec, η θνησιμότητα έφτασε το 51,1%, ενώ στις περιπτώσεις του deltamethrin και του spinosad κυμάνθηκε μεταξύ 13,3 και 30,0%. Μετά από 14 ημέρες έκθεσης παρατηρήθηκε θνησιμότητα 100% στα τέλεια άτομα στον αραβόσιτο που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl και silicoSec, ενώ η θνησιμότητα που προκλήθηκε από deltamethrin και spinosad ήταν 80,0 και 88,9% αντίστοιχα.

Πίνακας 2. Μέση \pm SE θνησιμότητα (%) των τελείων ατόμων *T. molitor* μετά από 1, 3, 7 και 14 ημέρες σε σιτάρι, κριθάρι και αραβόσιτο που εκτέθηκαν στις συνιστώμενες δόσεις deltamethrin, pirimiphos-methyl, silicoSec και spinosad. Σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς [σε όλες τις περιπτώσεις $df= 3,35$ Tukey-Kramer (HSD) σε $P = 0,05$]. Σε κάθε σειρά, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς [σε όλες τις περιπτώσεις $df=3,35$ Tukey-Kramer (HSD) σε $P = 0,05$]. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές.

Σιτάρι						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	0,0 \pm 0,0 ^{Cb}	5,6 \pm 2,4 ^C	24,4 \pm 5,6 ^{Bb}	92,2 \pm 2,2 ^{Ab}	172,8	<0,01
Pirimiphos-methyl	1,1 \pm 1,1 ^{Cab}	11,1 \pm 5,6 ^C	66,7 \pm 4,1 ^{Ba}	100,0 \pm 0,0 ^{Aa}	176,3	<0,01
SilicoSec	5,6 \pm 1,8 ^{Ca}	20,0 \pm 4,7 ^C	44,4 \pm 8,2 ^{Bab}	100,0 \pm 0,0 ^{Aa}	74,9	<0,01
Spinosad	1,1 \pm 1,1 ^{Cab}	12,2 \pm 3,6 ^C	35,6 \pm 6,5 ^{Bb}	94,4 \pm 2,4 ^{Ab}	111,2	<0,01
<i>F</i>	4,4	1,9	8,2	5,8		
<i>P</i>	0,01	0,14	0,01	0,01		
Κριθάρι						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	3,3 \pm 1,7 ^C	15,6 \pm 5,0 ^C	32,2 \pm 6,2 ^{Bb}	97,8 \pm 1,5 ^A	103,3	<0,01
Pirimiphos-methyl	4,4 \pm 2,4 ^D	24,4 \pm 5,8 ^C	86,7 \pm 2,9 ^{Ba}	100,0 \pm 0,0 ^A	181,5	<0,01
SilicoSec	1,1 \pm 1,1 ^D	18,9 \pm 4,8 ^C	77,8 \pm 5,5 ^{Ba}	100,0 \pm 0,0 ^A	161,8	<0,01
Spinosad	4,4 \pm 2,4 ^C	16,7 \pm 5,5 ^C	36,7 \pm 4,4 ^{Bb}	100,0 \pm 0,0 ^A	129,3	<0,01
<i>F</i>	0,7	0,6	32,4	2,3		
<i>P</i>	0,6	0,65	<0,01	0,1		
Αραβόσιτος						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	4,4 \pm 1,8 ^{Cab}	14,4 \pm 2,9 ^{Cbc}	30,0 \pm 3,3 ^{Bc}	80,0 \pm 4,7 ^{Ab}	99,9	<0,01
Pirimiphos-methyl	2,2 \pm 1,5 ^{Db}	20,0 \pm 3,7 ^{Cab}	73,3 \pm 3,7 ^{Ba}	100,0 \pm 0,0 ^{Aa}	277,1	<0,01
SilicoSec	10,0 \pm 2,9 ^{Da}	27,8 \pm 3,6 ^{Ca}	51,1 \pm 4,8 ^{Bb}	100,0 \pm 0,0 ^{Aa}	135,1	<0,01
Spinosad	0,0 \pm 0,0 ^{Cb}	4,4 \pm 2,4 ^{BCc}	13,3 \pm 3,7 ^{Bd}	88,9 \pm 3,1 ^{Ab}	238,9	<0,01
<i>F</i>	5,4	9,2	43,4	11,8		
<i>P</i>	0,01	0,01	<0,01	<0,01		

6.3 Θνησιμότητα προνυμφών μικρού μεγέθους

Όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις τους, τόσο μεταξύ, όσο εντός των διαστημάτων έκθεσης, ήσαν σημαντικές, με εξαίρεση την αλληλεπίδραση έκθεσης x προϊόν (Πίνακας 1).

Μετά από 1 ημέρα έκθεσης, η θνησιμότητα των προνυμφών μικρού μεγέθους του *T. molitor* ήταν χαμηλή για όλα τα εντομοκτόνα που ελέγχθηκαν στο σιτάρι και δεν υπερέβη το 3,3% (Πίνακας 3). Την τρίτη μέρα του πειράματος, η συνολική θνησιμότητα συνέχισε να παραμένει χαμηλή και έφθασε στο 6,7% στο σιτάρι που εφαρμόστηκε deltamethrin. Στις μετρήσεις της θνησιμότητας στις 7 ημέρες του πειράματος παρατηρήθηκαν επίσης χαμηλές τιμές θνησιμότητας, με εξαίρεση το pirimiphos-methyl, όπου η θνησιμότητα αυξήθηκε σημαντικά και έφτασε το 28,9%. Μετά το πέρας 14 ημερών από την έναρξη του πειράματος, η υψηλότερη θνησιμότητα παρατηρήθηκε στο σιτάρι που είχε επεξεργαστεί με pirimiphos-methyl με μέση τιμή 71,1%. Ακολούθησε η σειρά φιαλιδίων με το silicoSec, που σκότωσε το 43,3% των μικρών προνυμφών του *T. molitor*, ενώ χαμηλότερες τιμές θνησιμότητας καταγράφηκαν σε σιτάρι που εφαρμόστηκε deltamethrin και spinosad που δεν ξεπέρασε το 10 και το 28,9% αντίστοιχα.

Όσον αφορά το κριθάρι, μετά από 1 ημέρα έκθεσης, η θνησιμότητα παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα και κυμάνθηκε από 1,1 έως 4,4% (Πίνακας 3). Την 3^η και 7^η ημέρα του πειράματος, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή σε όλα τα εντομοκτόνα, με εξαίρεση το pirimiphos-methyl, το οποίο προκάλεσε 2,2% θνησιμότητα μετά από 7 μέρες έκθεσης. Στις 14 ημέρες, η υψηλότερη θνησιμότητα παρατηρήθηκε στα άτομα που βρίσκονταν στο κριθάρι που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl, με μέση τιμή 91,1%, ενώ όλα τα άλλα εντομοκτόνα κυμάνθηκαν από 13,3 έως 42,2%.

Όσον αφορά τον αραβόσιτο, η συνολική θνησιμότητα παρέμεινε χαμηλή και δεν υπερέβη το 4,4% μετά από 1 και 3 ημέρες έκθεσης (Πίνακας 3). Κατά την έβδομη μέρα του πειράματος, η θνησιμότητα παρέμεινε χαμηλή, αφού κυμάνθηκε από 4,4% έως 12,2%. Μετά από 14 ημέρες καταγράφηκε η υψηλότερη θνησιμότητα, δηλαδή το 60% των ατόμων, στον αραβόσιτο που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl, ενώ ακολούθησαν οι σειρές που εφαρμόστηκε silicoSec (41,1%) και spinosad (34,4%), ενώ για τα άτομα που εκτέθηκαν στο deltamethrin δεν σκοτώθηκε περισσότερο από το 8,9% των προνυμφών.

Πίνακας 3. Μέση \pm SE θνησιμότητα (%) προνυμφών μικρού μεγέθους *T. molitor* μετά από 1, 3, 7 και 14 ημέρες σε σιτάρι, κριθάρι και αραβόσιτο που εκτέθηκαν στις συνιστώμενες δόσεις deltamethrin, pirimiphos-methyl, silicoSec και spinosad. Σε κάθε στήλη, οι μέσοι που φέρουν το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς [σε όλες τις περιπτώσεις $df= 3,35$ Tukey-Kramer (HSD) σε $P = 0,05$]. Σε κάθε σειρά, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς [σε όλες τις περιπτώσεις $df=3,35$ Tukey-Kramer (HSD) σε $P = 0,05$]. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές.

Σιτάρι						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	3,3 \pm 2,4	6,7 \pm 4,4	6,7 \pm 4,4 ^b	10,0 \pm 6,7 ^c	0,3	0,80
Pirimiphos-methyl	0,0 \pm 0,0 ^C	5,6 \pm 2,4 ^C	28,9 \pm 5,4 ^{Ba}	71,1 \pm 7,7 ^{Aa}	44,3	<0,01
SilicoSec	2,2 \pm 1,5 ^B	2,2 \pm 1,5 ^B	5,6 \pm 1,8 ^{Bb}	43,3 \pm 2,9 ^{Ab}	102,3	<0,01
Spinosad	0,0 \pm 0,0 ^B	2,2 \pm 1,5 ^B	8,9 \pm 4,6 ^{Bb}	28,9 \pm 5,4 ^{Abc}	13,3	<0,01
<i>F</i>	1,4	0,7	6,7	18,8		
<i>P</i>	0,25	0,55	0,01	<0,01		
Κριθάρι						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	2,2 \pm 1,5 ^B	3,3 \pm 1,7 ^B	8,9 \pm 2,6 ^{ABb}	13,3 \pm 2,9 ^{Ad}	5,3	0,01
Pirimiphos-methyl	4,4 \pm 2,4 ^C	10,0 \pm 3,3 ^C	42,2 \pm 4,3 ^{Ba}	91,1 \pm 2,0 ^{Aa}	158,9	<0,01
SilicoSec	2,2 \pm 1,5 ^B	4,4 \pm 1,8 ^B	7,8 \pm 2,2 ^{Bb}	42,2 \pm 3,2 ^{Ab}	68,7	<0,01
Spinosad	1,1 \pm 1,1 ^B	2,2 \pm 1,5 ^B	6,7 \pm 1,7 ^{Bb}	26,7 \pm 3,7 ^{Ac}	28,3	<0,01
<i>F</i>	0,7	2,5	35,6	125,7		
<i>P</i>	0,57	0,08	<0,01	<0,01		
Αραβόσιτος						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	2,2 \pm 1,5	3,3 \pm 1,7	4,4 \pm 1,8	8,9 \pm 2,6 ^C	2,3	0,10
Pirimiphos-methyl	0,0 \pm 0,0 ^C	1,1 \pm 1,1 ^C	12,2 \pm 4,0 ^B	60,0 \pm 2,4 ^{Aa}	140,5	<0,01
SilicoSec	2,2 \pm 1,5 ^B	2,2 \pm 1,5 ^B	5,6 \pm 1,8 ^B	41,1 \pm 4,2 ^{Ab}	56,8	<0,01
Spinosad	3,3 \pm 2,4 ^B	4,4 \pm 2,4 ^B	12,2 \pm 4,3 ^B	34,4 \pm 4,4 ^{Ab}	16,7	<0,01
<i>F</i>	0,8	0,7	1,7	35,7		
<i>P</i>	0,50	0,57	0,18	<0,01		

6.4 Θνησιμότητα προνυμφών μεγάλου μεγέθους

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1, τόσο μεταξύ, όσο εντός των διαστημάτων έκθεσης, η επίδραση του εντομοκτόνου και οι αλληλεπιδράσεις ήσαν σημαντικές.

Μετά από 1, 3 και 7 ημέρες έκθεσης, η θνησιμότητα των προνυμφών μεγάλου μεγέθους του *T. molitor* ήταν πολύ χαμηλή, και δεν ξεπέρασε το 10,0% στο σιτάρι που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl (Πίνακας 4). Μετά από 14 ημέρες, η θνησιμότητα αυξήθηκε, με την μέγιστη θνησιμότητα να καταγράφεται στα φιαλίδια με το σιτάρι που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl (41,1%), και ακολούθησαν τα φιαλίδια με το silicoSec (36,7%), spinosad (23,3%) ενώ στο deltamethrin παρέμεινε χαμηλή (2,2%).

Όσον αφορά το κριθάρι, η συνολική θνησιμότητα των προνυμφών μεγάλου μεγέθους του *T. molitor*, δεν ξεπέρασε το 10,0% μετά από 1, 3 και 7 ημέρες έκθεσης σε όλα τα εξεταζόμενα εντομοκτόνα (Πίνακας 4). Κατά την 14^η μέρα του πειράματος η υψηλότερη θνησιμότητα, δηλαδή το 57,8% των προνυμφών μεγάλου μεγέθους, καταγράφηκε στο κριθάρι που εφαρμόστηκε pirimiphos-methyl, ενώ ακολούθησαν οι σειρές που εφαρμόστηκε silicoSec (38,9%) και spinosad (25,6%), ενώ για τα άτομα που εκτέθηκαν στο deltamethrin δεν σκοτώθηκαν περισσότερα από το 7,8% των μεγάλων προνυμφών.

Παρόμοια τάση παρατηρήθηκε και για την θνησιμότητα στον αραβόσιτο, μετά από 1, 3 και 7 ημέρες έκθεσης στα deltamethrin, pirimiphos-methyl, silicoSec και spinosad. Η συνολική θνησιμότητα ήταν χαμηλή και κυμάνθηκε από 0,0% έως 13,3% (Πίνακας 4). Μετά από 14 ημέρες, η θνησιμότητα στον αραβόσιτο που εφαρμόστηκε deltamethrin ήταν 7,8%, ενώ το pirimiphos-methyl, το silicoSec και το spinosad σκότωσαν 34,4%, 28,9% και 24,4% των εκτεθειμένων μεγάλων προνυμφών του *T. molitor* αντίστοιχα.

Πίνακας 4. Μέση \pm SE θνησιμότητα (%) προνυμφών μεγάλου μεγέθους *T. molitor* μετά από 1, 3, 7 και 14 ημέρες σε σιτάρι, κριθάρι και αραβόσιτο που εκτέθηκαν στις συνιστώμενες δόσεις deltamethrin, pirimiphos-methyl, silicoSec και spinosad. Σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς [σε όλες τις περιπτώσεις $df= 3,35$ Tukey-Kramer (HSD) σε $P = 0,05$]. Σε κάθε σειρά, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς [σε όλες τις περιπτώσεις $df=3,35$ Tukey-Kramer (HSD) σε $P = 0,05$]. Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές.

Σιτάρι						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0 ^b	2,2 \pm 1,5 ^c	2,3	0,10
Pirimiphos-methyl	0,0 \pm 0,0 ^C	2,2 \pm 1,5 ^{BC}	10,0 \pm 2,9 ^{Ba}	41,1 \pm 2,6 ^{Aa}	83,6	<0,01
SilicoSec	0,0 \pm 0,0 ^B	3,3 \pm 2,4 ^B	8,9 \pm 3,1 ^{Bab}	36,7 \pm 4,1 ^{Aa}	35,1	<0,01
Spinosad	1,1 \pm 1,1 ^B	1,1 \pm 1,1 ^B	6,7 \pm 2,9 ^{Bab}	23,3 \pm 3,7 ^{Ab}	17,9	<0,01
<i>F</i>	1,0	0,9	3,1	30,9		
<i>P</i>	0,41	0,44	0,04	<0,01		
Κριθάρι						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	1,1 \pm 1,1	3,3 \pm 1,5	3,3 \pm 1,7	7,8 \pm 2,2 ^c	2,2	0,11
Pirimiphos-methyl	0,0 \pm 0,0 ^B	2,2 \pm 1,5 ^B	10,0 \pm 2,9 ^B	57,8 \pm 5,5 ^{Aa}	73,2	<0,01
SilicoSec	0,0 \pm 0,0 ^B	0,0 \pm 0,0 ^B	3,3 \pm 1,7 ^B	38,9 \pm 5,4 ^{Ab}	45,2	<0,01
Spinosad	1,1 \pm 1,1 ^B	1,1 \pm 1,1 ^B	5,6 \pm 1,8 ^B	25,6 \pm 2,9 ^{Ab}	47,7	<0,01
<i>F</i>	0,7	1,3	2,4	25,6		
<i>P</i>	0,58	0,28	0,08	<0,01		
Αραβόσιτος						
Διάρκεια έκθεσης (σε ημέρες)	1	3	7	14		
Εντομοκτόνο					<i>F</i>	<i>P</i>
Deltamethrin	2,2 \pm 1,5	2,2 \pm 1,5	3,3 \pm 1,7 ^{ab}	7,8 \pm 2,2 ^c	2,3	0,09
Pirimiphos-methyl	0,0 \pm 0,0 ^C	2,2 \pm 1,5 ^C	13,3 \pm 4,4 ^{Ba}	34,4 \pm 2,9 ^{Aa}	32,8	<0,01
SilicoSec	0,0 \pm 0,0 ^B	0,0 \pm 0,0 ^B	2,2 \pm 1,5 ^{Bb}	28,9 \pm 3,5 ^{Aa}	54,9	<0,01
Spinosad	1,1 \pm 1,1 ^B	2,2 \pm 1,5 ^B	5,6 \pm 1,8 ^{Bab}	24,4 \pm 2,9 ^{Aa}	31,5	<0,01
<i>F</i>	1,3	0,8	3,7	15,3		
<i>P</i>	0,28	0,52	0,02	<0,01		

7. Συζήτηση

Τα εντομοκτόνα που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη καλύπτουν ένα εύρος διαφορετικών μηχανισμών δράσης, είτε χημικό είτε φυσικό. Ειδικότερα, η ουσία deltamethrin ανήκει στις πυρεθρινοειδείς ουσίες, και παρατείνει την ενεργοποίηση του διαύλου νατρίου επηρεάζοντας τις μεμβράνες των νευρικών κυττάρων (Freeborn et al., 2015). Η οργανοφωσφορική ουσία pirimiphos-methyl δρα μέσω της φωσφορυλίωσης του ενζύμου της ακετυλοχολινεστεράσης (AChE) που καταλύει την υδρόλυση της ακετυλοχολίνης στη συναπτική σχισμή του νευρικού συστήματος (O'Brien, 1967; Donarski et al., 1989; Eleršek and Filipić, 2011). Το Spinosad επηρεάζει τους μετασυναπτικούς νικοτινικούς υποδοχείς της ακετυλοχολίνης και τους μετασυναπτικούς υποδοχείς του γ-αμινοβουτυρικούς οξέος (Salgado, 1998; Salgado and Sparks, 2005). Η γη διατόμων silicoSec επάγει την απενεργοποίηση των αδιάβροχων λιπιδίων της δερμίδας των εντόμων, με αποτέλεσμα το θάνατό τους μέσω της αφυδάτωσης (Ebeling, 1971; Athanassiou et al., 2007).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των βιοδοκιμών που έγιναν στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης, όλα τα εντομοκτόνα που εφαρμόστηκαν στο σιτάρι, στο κριθάρι και στον αραβόσιτο ήσαν ικανά να ελέγξουν τους πληθυσμούς των τελείων ατόμων του *T. molitor*. Ωστόσο, οι προνύμφες μικρού και μεγάλου μεγέθους είχαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε αυτά τα εντομοκτόνα σε σχέση με τα τέλεια άτομα. Εξαιρέση αποτελεί το pirimiphos-methyl, το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα την πρόκληση υψηλών τιμών θνησιμότητας στις μικρές προνύμφες και μέτρια θνησιμότητα στις μεγάλες προνύμφες, σε σχέση με τα υπόλοιπα εντομοκτόνα. Σε πρόσφατη μελέτη των Athanassiou et al. (2015), οι οποίοι έλεγξαν την επίδραση του πυρεθρινοειδούς εντομοκτόνου, alpha-cypermethrin σε μικρές και μεγάλες προνύμφες και τέλεια άτομα *T. molitor*, διαπίστωσαν επίσης την ευαισθησία των τελείων ατόμων και των μικρών προνυμφών, και την ανθεκτικότητα των μεγάλων προνυμφών, όταν εκτέθηκαν σε σκυρόδεμα εμποτισμένο με την παραπάνω δραστική ουσία (Athanassiou et al., 2015).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης, οι προνύμφες, ανεξαρτήτως αναπτυξιακού σταδίου ήσαν πιο ανθεκτικές στην έκθεση σε deltamethrin σε σχέση με τα τέλεια άτομα, υποδεικνύοντας ότι η μέθοδος της εφαρμογής ενός εντομοκτόνου (εφαρμογή σε επιφάνειες ή σε σπόρους), μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων, ακόμη και στην ίδια χημική

ομάδα (π.χ. πυρεθρινοειδή). Εκτός από τις διαφορετικές δραστικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν, η θνησιμότητα των προνυμφών μικρού και μεσαίου μεγέθους καθώς και των τελείων ατόμων ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση του σκυροδέματος, σε σχέση με την αντίστοιχη θνησιμότητα στα σιτηρά (Athanassiou et al., 2015). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην συνεχόμενη έκθεση των ατόμων στο εντομοκτόνο πάνω στο σκυρόδεμα. Αντίθετα, στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, τα σιτηρά έχουν ποικίλα σχήματα (ελλειψοειδή, οβάλ, σφαιρικά, κωνικά, ατρακτοειδή) και λόγω των κενών που σχηματίζονται μεταξύ τους, μπορούν να υπάρξουν σημεία από τα οποία απουσιάζει το εντομοκτόνο και στα οποία τα έντομα μπορούν να καταφύγουν για να διαφύγουν την έκθεσή τους σε αυτό (Vayias et al., 2006). Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη διευκρίνιση αυτού του ζητήματος.

Τα προϊόντα παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση των εντομοκτόνων. Από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων στα διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια, οι πληθυσμοί του *T. molitor* στον αραβόσιτο είχαν πολύ χαμηλότερη θνησιμότητα σε σχέση με τους αντίστοιχους πληθυσμούς στο κριθάρι και στο σιτάρι σε όλα τα εντομοκτόνα. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, επτά παράγωγα πυρολών, που χρησιμοποιούνται ως προστατευτικά σπόρων, ήταν πιο αποτελεσματικά στο κριθάρι και στο σιτάρι παρά στον αραβόσιτο ενάντια σε πληθυσμούς του σκαθαριού των αλεύρων *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) και του μεσογειακού σκόρου των αλεύρων, *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) (Boukounala et al., 2016a, b, 2017). Αντίστοιχα οι Kavallieratos et al. (2017a), βρήκαν ότι οι υψηλότερες θνησιμότητες των cypermethrin, deltamethrin, pirimiphos-methyl, silicoSec, s-methoprene και spinosad, ενάντια στο σκαθάρι *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae), είτε τελείων είτε προνυμφών, ήταν στο σιτάρι και στο κριθάρι απ' ότι στο άγριο ρύζι και στον αραβόσιτο. Επιπλέον, μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στον έλεγχο του πληθυσμού του *S. oryzae* καταγράφηκε στην περίπτωση που οι πληθυσμοί βρίσκονταν σε σιτάρι ή κριθάρι που είχε εφαρμοστεί chlorfenapyr, σε αντίθεση με εκείνα που βρίσκονταν σε ρύζι ή αραβόσιτο (Kavallieratos et al., 2011). Ομοίως, μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στον έλεγχο του *S. oryzae* στο κριθάρι και στο άγριο ρύζι, σε σχέση με τον αραβόσιτο διαπίστωσαν και οι Athanassiou et al., (2003) μετά από εφαρμογή silicoSec σε αυτά τα προϊόντα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μεγαλύτερη τραχύτητα του κριθαριού ή του σιταριού, σε σχέση με τους σπόρους του αραβόσιτου, παρέχοντας την δυνατότητα μεγαλύτερης προσκόλλησης των εντομοκτόνων σε αυτή την επιφάνεια (Kavallieratos et al., 2005; Boukounala et al., 2016b). Επιπλέον, τα

χημικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του αραβοσίτου μπορούν να αλληλεπιδράσουν αρνητικά με τα εντομοκτόνα (Chintzoglou et al., 2008).

Μια άλλη παράμετρος που έδειξε να διαφοροποιεί τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης ήταν το αναπτυξιακό στάδιο των εντόμων. Τα τέλεια άτομα ήταν πιο ευάλωτα σε σχέση με τις προνύμφες, ενώ οι προνύμφες μεγάλου μεγέθους ήταν πιο ανθεκτικές σε σχέση με εκείνες μικρότερου μεγέθους. Αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών. Σύμφωνα με τους Athanassiou et al. (2015), οι μεγάλες προνύμφες των εντόμων *T. granarium* και *T. molitor* ήταν πιο ανθεκτικές σε σχέση με τις μικρές προνύμφες, όταν οι πληθυσμοί αυτοί εκτέθηκαν σε σκυρόδεμα που είχε ψεκαστεί με thiamethoxam και alpha-cypermethrin, ενώ τα τέλεια άτομα και των δύο ειδών ήταν πιο ευάλωτα, ιδιαίτερα στην περίπτωση του alpha-cypermethrin. Σε αντίστοιχο πείραμα των Kavallieratos et al. (2016), οι μεγάλες προνύμφες του *T. granarium* παρουσίασαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε σχέση με τις μικρές προνύμφες όταν εκτέθηκαν σε σκυρόδεμα που είχε ψεκαστεί με chlorfenapyr, deltamethrin, pirimiphos-methyl, pyriproxyfen και spinosad. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και στο πείραμα των Kavallieratos et al. (2007a) σε προνύμφες μικρού και μεγάλου μεγέθους του *T. granarium* που εκτέθηκαν σε σιτηρά (σιτάρι, κριθάρι, αραβόσιτο και άγριο ρύζι) που είχαν ψεκαστεί με cypermethrin, deltamethrin, silicoSec, s-methopren και spinosad. Στην ίδια εργασία, οι συγγραφείς ανέφεραν ότι τα παραπάνω εντομοκτόνα κατάφεραν να καταστείλουν τα τέλεια *T. granarium*. Παρόμοια αποτελέσματα σημειώθηκαν και για τις προνύμφες *T. confusum* σε σκυρόδεμα που εφαρμόστηκε chlorantraniliprole, imidacloprid, spinetoram και thiamethoxam (Sağlam et al., 2013). Αυτή η διαφοροποίηση στην ευαισθησία των διαφορετικών σταδίων των προνυμφών ενδεχομένως να σχετίζεται στην διαφορετική σύνθεση των δερμίδων τους (Mewis and Ulrichs, 2001). Οι προνύμφες μεγάλου μεγέθους προετοιμάζονται για την νύμφωση και επηρεάζεται η κινητικότητα, ο μεταβολισμός και η συμπεριφορά τους, και ως εκ τούτου είναι πιο ανθεκτικές στην έκθεση σε εντομοκτόνα (Cox et al., 1984). Επομένως είναι σημαντικό να εντοπιστεί η προσβολή του *T. molitor* στα αρχικά στάδια όταν τα τέλεια ή οι μικρές προνύμφες είναι παρόντα στα προϊόντα. Αντιθέτως, η παρουσία μεγάλων προνυμφών μπορεί να οδηγήσει σε μη αποτελεσματικότερο έλεγχο του πληθυσμού τους, καθώς είναι ανθεκτικές στα εντομοκτόνα.

Ανάμεσα στα εντομοκτόνα που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, το pirimiphos-methyl προκάλεσε την μεγαλύτερη θνησιμότητα σε όλα τα εξεταζόμενα στάδια, ενώ το deltamethrin, το silicoSec και το spinosad, μπορεί να

προκάλεσαν ικανοποιητική θνησιμότητα στα τέλεια άτομα, δεν κατάφεραν όμως να ελέγξουν τους πληθυσμούς των προνουμφών. Γενικά το silicoSec, έχει επιβεβαιωθεί ως αποτελεσματικό ενάντια σημαντικών εχθρών αποθηκών όπως το *E. kuehniella*, το *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae), το *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae), το *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), το *T. confusum* και το *T. granarium* (Athanassiou et al., 2005, 2006, 2016; Kavallieratos et al., 2005, 2016, 2017a). Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη, δεν ήταν αποτελεσματικό έναντι των προνουμφών του *T. molitor*, γεγονός που συμφωνεί με αντίστοιχες έρευνες των Trewin και Riechmuth (1997) και των Mewis και Ulrichs (2001). Όσον αφορά το spinosad, οι Athanassiou et al., (2008) ανέφεραν ότι το *R. dominica* και το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrychidae) ήσαν μη ανθεκτικά σε αυτό το εντομοκτόνο, ακολουθούμενα από το *S. oryzae*, ενώ το *T. confusum* ήταν το πιο ανθεκτικό είδος. Τα μέλη της οικογένειας Tenebrionidae, φαίνεται να έχουν φυσική ανθεκτικότητα στο spinosad, σύμφωνα με την παρούσα εργασία, καθώς και με προηγούμενες (Athanassiou et al., 2008; Athanassiou και Kavallieratos, 2014).

Η αποτελεσματικότητα του pirimiphos-methyl έχει ελεγχθεί και επιβεβαιωθεί ενάντια σε μια ποικιλία εντόμων αποθηκών που προσβάλλουν προϊόντα μετά την συγκομιδή. Σύμφωνα με τα πειράματα των Rumbos et al. (2013, 2016), δύο σκευάσματα του pirimiphos-methyl (γαλακτωποιήσιμο συμπύκνωμα και εναιώρημα κάψουλας) κατάφεραν να ελέγξουν πλήρως μέσα στις πρώτες 7 ημέρες έκθεσης τους πληθυσμούς των *S. oryzae* και του *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). Σε άλλη έρευνα των Kavallieratos et al. (2017a), το pirimiphos-methyl προκάλεσε την πλήρη θανάτωση των προνουμφών του *T. granarium*, σε τέσσερα διαφορετικά προϊόντα. Παρομοίως, το pirimiphos-methyl ήταν αποτελεσματικό ως προστατευτικό σπόρων ενάντια σε τέσσερα είδη ψωκοπτέρων (Athanassiou et al., 2009). Επιπλέον, όταν το pirimiphos-methyl εφαρμόστηκε σε σάκους αποθήκευσης πολυπροπυλενίου αποδείχθηκε αποτελεσματική μέθοδος για τον έλεγχο των πληθυσμών των *P. truncatus*, *R. dominica* και *S. Oryzae* (Kavallieratos et al., 2017b), καθώς επίσης και στους πληθυσμούς *T. granarium* σε συσκευασίες αποθήκευσης από πλεκτό πολυπροπυλένιο, φίλμ προπυλενίου και χαρτί συσκευασίας (Kavallieratos and Boukouvala, 2018). Συνεπώς, το pirimiphos-methyl θα μπορούσε να προταθεί ως σκεύασμα για την προστασία των προϊόντων από αυτά τα είδη εντόμων αποθηκών, μόνο του ή σε συνδυασμό με την alpha-cypermethrin για εφαρμογή σε επιφάνειες, για τον ικανοποιητικό έλεγχο τουλάχιστον των τελείων και

των προνυμφών μικρού μεγέθους (Athanassiou et al., 2015) που μπορούν να φύγουν από τους σπόρους που έχει εφαρμοστεί pirimiphos-methyl, και να έρθουν σε επαφή με το πάτωμα της αποθήκης.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί την πρώτη προσπάθεια ελέγχου τεσσάρων διαφορετικών εντομοκτόνων με ένα ευρύ φάσμα δραστικών ουσιών, το pirimiphos-methyl, το deltamethrin, το spinosad και το silicoSec, που χρησιμοποιήθηκαν ως προστατευτικά σπόρων για τον έλεγχο του *T. molitor* σε διαφορετικά υποστρώματα σιτηρών. Τα αποτελέσματά έδειξαν ότι τα εντομοκτόνα που ελέγχθηκαν ήσαν πιο αποτελεσματικά ενάντια στα τέλεια άτομα του *T. molitor* και λιγότερο αποτελεσματικά έναντι των προνυμφών τους, με εξαίρεση το pirimiphos-methyl. Το στάδιο ζωής του *T. molitor* και ο τύπος του προϊόντος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη διαχείριση αυτού του είδους, καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων που εξετάστηκαν. Ωστόσο, απαιτούνται επιπρόσθετοι πειραματισμοί για τον έλεγχο του *T. molitor*, ειδικά στο στάδιο μεγάλων προνυμφών, με περισσότερα εντομοκτόνα, είτε ως προστατευτικά των σπόρων, είτε ως εντομοκτόνα επιφανειών, και με την εισαγωγή περισσότερων αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων, όπως διαφορετικά στελέχη, διαφορετικά είδη προϊόντων, και ένα εύρος θερμοκρασιακών συνθηκών και επιπέδων σχετικής υγρασίας.

8. Βιβλιογραφία

- Aguilar Miranda, E.D., López, M.G., Escamilla Santana, C., Barba de la Rosa, A.P., 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *J. Agric. Food Chem.* 50, 192–195.
- Arthur, F.H., Phillips., T.W., 2003. Stored-product insect pest management and control. In: Hui, Y.H., Bruinsma, B.L., Gorham, J.R, Nip, W.K., Tong, P.S., Ventresca, P. (Eds.), *Food plant sanitation*. Marcel Dekker, Inc, New York., 341-358.
- Astroff, A.B., Freshwater, K.J., Eigenberg., D.A., 1998. Comparative organophosphate-induced effects observed in adult and neonatal sprague-dawley rats during the conduct of multigeneration toxicity studies. *Reprod. Toxicol.* 12, 619-645.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., 2014. Evaluation of spinetoram and spinosad for control of *Prostephanus truncatus*, *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus oryzae*, and *Tribolium confusum* on stored grains under laboratory tests. *J. Pest Sci.* 87, 469–483.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Tsaganou, F.C., Vayias, B.J., Dimizas, C.B., Buchelos, C.Th., 2003. Effect of grain type on the insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Prot.* 22, 1141–1147.
- Athanassiou, C.G., Vayias, B.J., Dimizas, C.B., Kavallieratos, N.G., Papagregoriou, A.S., Buchelos, C.Th., 2005. Insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on stored wheat: influence of dose rate, temperature and exposure interval. *J. Stored Prod. Res.* 41, 47–55.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Tsakiri, J.B., Xyrafidis, S.N., Vayias, B.J., 2006. Effect of temperature and humidity on the insecticidal effect of silicoSec against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. *J. Econ. Entomol.* 99, 1520–1524.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Meletsis, C.M., 2007. Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations, applied alone or in combination, against three stored-product beetle species on wheat and maize. *J. Stored Prod. Res.* 43, 330–334.

- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Yiailis, A.E., Vayias, B.J., Mavrotas, C.S., Tomanović, Ž., 2008. Influence of temperature and humidity on the efficacy of spinosad against four stored-grain beetle species. *J. Insect Sci.* 8, 60.
- Athanassiou, C.G., Arthur, F.H., Throne, J.E., 2009. Efficacy of grain protectants against four psocid species on maize, rice and wheat. *Pest Manag. Sci.* 65, 1140–1146.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C., Mavroforos, M.E., Kontodimas, D.C., 2015. Efficacy of alpha-cypermethrin and thiamethoxam against *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) and *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) on concrete. *J. Stored Prod. Res.* 62, 101–107.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Chiriloaie, A., Vassilakos, T.N., Fătu, V., Drosu, S., Ciobanu, M., Dudoiu, R., 2016. Insecticidal efficacy of natural diatomaceous earth deposits from Greece and Romania against four stored grain beetles: the effect of temperature and relative humidity. *Bull. Insectol.* 69, 25–34.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Vayias, B.J., Tomanovic, J., Petrovic, A., Rozman, V., Adler, C., Korunic, Z. and Milovanovic D. 2011. Laboratory evaluation of diatomaceous earth deposits mined from several locations in central and southeastern Europe as potential protectants against coleopteran grain pests. *Crop Prot.* 30, 329-339.
- Bernstein, D.I., Gallagher, J.S., Bernstein, I.L., 1983. Mealworm asthma: clinical and immunologic studies. *J. Allergy Clin. Immunol.* 72, 475–480.
- Boukouvala, M.C., Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Hadjirapoglou, L.P., 2016a. Biological activity of two new pyrrole derivatives against stored-product species: influence of temperature and relative humidity. *Bull. Entomol. Res.* 106, 446–456.
- Boukouvala, M.C., Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Hadjirapoglou, L.P., 2016b. Insecticidal effect of two novel pyrrole derivatives against two major stored product insect species. *Crop Prot.* 75, 132–138.
- Boukouvala, M.C., Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Losic, D., Hadjirapoglou, L.P., Elemes, Y., 2017. Laboratory evaluation of five novel pyrrole derivatives as grain protectants against *Tribolium confusum* and *Ephestia kuehniella* larvae. *J. Pest Sci.* 90, 569–585.

- Bovera, F., Loponte, R., Marono, S., Piccolo, G., Parisi, G., Iaconisi, V., Nizza, A., 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *J. Anim. Sci.* 94, 639-647.
- Bret, B.L., Larson, L.L., Schoonover, J.R., Sparks, T.C., Thompson, G.D., 1997. Biological properties of spinosad. *Down to earth*.
- Broekman, H.C.H.P., Knulst, A.C., Den Hartog Jager, C.F., Van Bilsen, J.H.M., Raymakers, F.M.L., Kruizinga, A.G., Gaspari, M., Gabriele, C., Bruijnzeel Koomen, C.A.F.M., Houben, G.F., Verhoeckx, K.C.M., 2017. Primary respiratory and food allergy to mealworm. *J. Allergy Clin. Immunol.* 140, 600–603.
- Campbell, J.F., Arthur, F.H., Mullen, M.A., 2004. Insect management in food processing facilities. *Advances in food and nutrition research.* 48, 239-295.
- Chen, Z.H., Xu, L., Yang, F.L., Ji, G.H., Yang, J., Wang, J.Y., 2014. Efficacy of *Metarhizium anisopliae* isolate MAX-2 from Shangri-la, China under desiccation stress. *BMC Microbiol.* 14, 4.
- Chintzoglou, G.J., Athanassiou, C.G., Markoglou, A.N., Kavallieratos, N.G., 2008. Influence of commodity on the effect of spinosad dust against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Int. J. Pest Manag.* 54, 277–285.
- Cline, D.L., Highland, H.A., 1987. Survival of four species of stored-product insects confined with food in vacuumized and unvacuumized film pouches. *J. Econ. Entomol.* 80, 73-76.
- Copping, L.G., Menn, J.J., 2000. Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. *Pest Manag. Sci.* 56, 651-676.
- Cox, P.D., Bell, C.H., Pearson, J., Beirne, M.A., 1984. The effect of diapause on the tolerance of larvae of *Ephestia kuehniella* to methyl bromide and phosphine. *J. Stored Prod. Res.* 20, 215–219.
- Cranmer, J.S., Avery, D.L., Grady, R.R., Kitay, J.I., 1978. Postnatal endocrine dysfunction resulting from prenatal exposure to carbofuran, diazinon or chlordane. *J. Environ. Pathol. Toxicol.* 2, 357-369.
- Daglish, G.J., 1998. Efficacy of six grain protectants applied alone or in combination against three species of Coleoptera. *J. Stored Prod. Res.* 34, 263–268.
- DeFoliart, G.R., 2009. Food, Insects as. In: Resh, V.H., Cardé, R.T. (Eds.), *Encyclopedia of insects*. Academic Press, Burlington, pp. 376-381.

- Deighton, J.M., 1986. Pirimiphos-methyl' advantages for grain storage. Proc 4th Int Work Conf Stored-Product Prot, Tel Aviv, Israel, pp. 538-539.
- De Vosjoli, P., 2007. The lizard keeper's handbook. Advanced Vivarium Systems, Irvine, California, CA.
- Donarski, W.J., Dumas, D.P., Heitmeyer, D.P., Lewis, V.E., Raushel, F.M., 1989. Structure-activity relationships in the hydrolysis of substrates by the phosphotriesterase from *Pseudomonas diminuta*. Biochemistry 28, 4650–4655.
- Ebeling, W., 1971. Sorptive dusts for pest control. Annu. Rev. Entomol. 16, 123–158.
- Eleršek, T., Filipić, M., 2011. Organophosphorous pesticides - mechanisms of their toxicity. In: Stoytcheva M (Ed.). Pesticides - the impacts of pesticide exposure. InTech, Rijeka, pp. 243–260.
- El-Aziz, S. E. A., 2011. Control strategies of stored product pests. J. Entomol. 8, 101-122.
- Erb-Brinkmann, M., 2000. Application of amorphous silica dust (SilicoSec®) in Germany-practical experiences. IOBC WPRS BULLETIN. 23, 239-242.
- Fleurat-Lessard, F., Andrieu, A.J., Wilkin, D. R., 1994. New trends in stored-grain infestation detection inside storage bins for permanent infestation risk monitoring. Conference Sixth International Working Conference on Stored Product Protection. 1, 397-402.
- Freeborn, D.L., McDaniel, K.L., Moser, V.C., Herr, D.W., 2015. Use of electroencephalography (EEG) to assess CNS changes produced by pesticides with different modes of action: effects of permethrin, deltamethrin, fipronil, imidacloprid, carbaryl, and triadimefon. Toxicol. Appl. Pharmacol. 282, 184–194.
- Freye, H.B., Esch, R.E., Litwin, C.M., Sorkin, L., 1996. Anaphylaxis to the ingestion and inhalation of *Tenebrio Molitor* (Mealworm) and *Zophobas morio* (Superworm). Allergy Asthma Proc. 17, 215–219.
- Friedlander, A., Navarro, S., 1983. Effect of controlled atmospheres on the sorbitol pathway in *Ephestia cautella* (Walker) pupae. Experientia. 39, 744-746.
- Ghaly, T.F., Taylor, P.A., 1982. Quality effects of heat treatment of two wheat varieties. J. Agric. Eng. Res. 27, 227-234.
- Hallman, G.J., 2013. Control of stored product pests by ionizing radiation. J. Stored Prod. Res. 52, 36-41.

- Hagstrum, D.W., Subramanyam, Bh., 2016. Fundamentals of stored-product entomology. AACC International, St. Paul, MN.
- Hill, D.S., 2003. Pests of storage foodstuffs and their control. Kluwer Academic Publishers, New York, NY.
- Huang, F., Subramanyam, Bh., 2005. Management of five stored-product insects in wheat with pirimiphos-methyl and pirimiphos-methyl plus synergized pyrethrins. *Pest Manag. Sci.* 61, 356–362.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Pashalidou, F.G., Andris, N.S., Tomanović, Ž., 2005. Influence of grain type on the insecticidal efficacy of two diatomaceous earth formulations against *Rhyzopertha dominica* (F) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Manag. Sci.* 61, 660–666.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Hatzikonstantinou, A.N., Kavallieratou, H.N., 2011. Abiotic and biotic factors affect efficacy of chlorfenapyr for control of stored-product insect pests. *J. Food Prot.* 74, 1288–1299.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Arthur, F.H., Throne, J.E., 2012. Lesser grain borers, *Rhyzopertha dominica*, select rough rice kernels with cracked hulls for reproduction. *J. Insect Sci.* 12, 38.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Arthur, F.H., 2015. Efficacy of deltamethrin against stored-product beetles at short exposure intervals or on a partially treated rice mass. *J. Econ. Entomol.* 108, 1416–1421.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Barda, M.S., Boukouvala, M.C., 2016. Efficacy of five insecticides for the control of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) larvae on concrete. *J. Stored Prod. Res.* 66, 18–24.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Diamantis, G.C., Gioukari, H.G., Boukouvala, M.C., 2017a. Evaluation of six insecticides against adults and larvae of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on wheat, barley, maize and rough rice. *J. Stored Prod. Res.* 71, 81–92.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Nika, E.P., Boukouvala, M.C., 2017b. Efficacy of alpha-cypermethrin, chlorfenapyr and pirimiphos-methyl applied on polypropylene bags for the control of *Prostephanus truncatus* (Horn), *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *J. Stored Prod. Res.* 73, 54–61.

- Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C., 2018. Efficacy of four insecticides on different types of storage bags for the management of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) adults and larvae. *J. Stored Prod. Res.* 78, 50–58.
- Krinsky, W.L., 2019. Beetles (Coleoptera). In: Mullen, G.R., Durde, L.A. (Eds.). *Medical and Veterinary Entomology*, third ed. Academic Press, London, pp. 129–143.
- Li, L., Zhao Z., Liu, H., 2013. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronaut.* 92, 103-109.
- Martínez LC, Plata Rueda A, Colares HC, Campos JM, Dos Santos MH, Fernandes FL, Serrão JE, Zanuncio JC (2018) Toxic effects of two essential oils and their constituents on the mealworm beetle, *Tenebrio molitor*. *Bull Entomol Res* 108, 716–725.
- Mbata, G.N., Phillips, T.W., 2001. Effects of temperature and exposure time on mortality of stored-product insects exposed to low pressure. *J. Econ. Entomol.* 94, 1302-1307.
- Mewis, I., Ulrichs, Ch., 2001. Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus granarius* and *Plodia interpunctella*. *J. Stored Prod. Res.* 37, 153–164.
- Mueller, D., Pierce, L., Benezet, H., Krischik, V., 1990. Practical application of pheromone traps in food and tobacco industry. *J. Kansas Entomol. Soc.* 63, 548-553.
- Nelson, S.O., Stetson, L.E., 1974. Comparative effectiveness of 39-and 2450-MHz electric fields for control of rice weevils in wheat. *J. econ. Entomol.* 67, 592-595.
- O'Brien, R.D., 1967. *Insecticide action and metabolism*. Academic Press Inc., New York, NY.
- Oonincx, D.G., De Boer, I.J., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PLoS one.* 7, e51145.
- Oreste, M., Bubici, G., Polisenio, M., Triggiani, O., Tarasco, E., 2012. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* (Bals. Criv.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin against *Galleria mellonella* L. and *Tenebrio molitor* L. in laboratory assays. *Redia* 95, 43–48.

- Park, S.J., Ha, N.R., Ryu, S.Y., Chae, J.S., Kim, H.C., Park, J., Choi, K.S., Yu, D.H., Park, B.K., 2016. Subcutaneous canthariasis due to *Tenebrio molitor* larva (Coleoptera: Tenebrionidae) in *Ergetta intermedia*. J. Dairy Vet. Anim. Res. 3, 00086.
- Plata Rueda, A., Martínez, L.C., Dos Santos, M.H., Fernandes, F.L., Wilcken, C.F., Soares, M.A., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2017. Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). Sci. Rep. 7, 46406.
- Rees, D., 2007. Insects of stored grain: a pocket reference. CSIRO Publishing, Collingwood.
- Reuber, M.D., 1985. Carcinogenicity and toxicity of malathion and malaoxon. Environ. Res. 37, 119-153.
- Robinson, W.H. 2005. Urban insects and arachnids. A handbook of urban entomology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rumbos, C.I., Dutton, A.C., Athanassiou, C.G., 2013. Comparison of two pirimiphos-methyl formulations against major stored-product insect species. J. Stored Prod. Res. 55, 106–115.
- Rumbos, C.I., Dutton, A.C., Athanassiou, C.G. 2016. Insecticidal efficacy of two pirimiphos-methyl formulations for the control of three stored-product beetle species: effect of commodity. Crop Prot. 80, 94–100.
- Sağlam, Ö., Athanassiou, C.G., Vassilakos, T.N., 2013. Comparison of spinetoram, imidacloprid, thiamethoxam and chlorantraniliprole against life stages of *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on concrete. Crop Prot. 53, 85–95.
- Salgado, V.L., 1998. Studies on the mode of action of spinosad: insect symptoms and physiological correlates. Pestic. Biochem. Physiol. 60, 91–102.
- Salgado, V.L., Sparks, T.C., 2005. The spinosyns: chemistry, biochemistry, mode of action and resistance. In: Gilbert, L.I., Iatrou, K., Gill, S. (Eds.). Comprehensive insect molecular science, vol. 6. Elsevier, Oxford, pp. 137–173.
- Salgado, V.L., Sparks, T.C., 2010. The spinosyns: chemistry, biochemistry, mode of action, and resistance. In: Gilber, L.I., Sarjeet, S.G. (Eds.), Insect control: biological and synthetic agents. Academic Press, London, pp. 207-243.

- Sall, J., Lehman, A., Creighton, L., 2001. JMP Start Statistics. A guide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software. Duxbury Press, Belmont, CA.
- SAS Institute Inc., 2016. Using JMP 13. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Saunders, D.G., Bret, B.L., 1997. Fate of spinosad in the environment. Down to Earth. 52, 14-20.
- Schroeckenstein, D.C., Meier-Davis, S., Yunginger, J.W., Bush, R.K., 1990a. Allergens involved in occupational asthma caused by baby's breath (*Gypsophila paniculata*). J. allergy clin. immun. 86, 189-193.
- Schroeckenstein, D.C., Meier Davis, S., Bush, R.K., 1990b. Occupational sensitivity to *Tenebrio molitor* Linnaeus (yellow mealworm). J. Allergy Clin. Immunol. 86, 182–188.
- Shafer, T.J., Meyer, D.A., Crofton, K.M., 2005. Developmental neurotoxicity of pyrethroid insecticides: critical review and future research needs. Environ. Health Persp. 113, 123-136.
- Silman, I., Futerman, A.H., 1987. Modes of attachment of acetylcholinesterase to the surface membrane. Eur. J. Biochem. 70, 11-22.
- Sinha, R. N., 1995. The stored-grain ecosystem. In: Jayas, D.S., White, N.D., Muir, W.E. (Eds.), Stored-grain ecosystems. Marcel Dekker, Inc., Ne York, pp. 1-32.
- Siracusa, A., Marcucci, F., Spinozzi, F., Marabini, A., Pettinari, L., Pace, M.L., Tacconi, C., 2003. Prevalence of occupational allergy due to live fish bait. Clin Exp Allergy 33, 507–510.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1995. Biometry, third ed. Freedman and Company, New York, NY.
- Sparks, T.C., Thompson, G.D., Kirst, H.A., Hertlein, M.B., Larson, L.L., Worden, T.V., Thibault, S.T., 1998. Biological activity of the spinosyns, new fermentation derived insect control agents, on tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. J. Econ. Entomol. 91, 1277-1283.
- Sultatos, L. G., 1994. Mammalian toxicology of organophosphorus pesticides. J. Toxicol. Env. Heal, A. 43, 271-289.
- Thompson, G.D., Dutton, R., Sparks, T.C., 2000. Spinosad – a case study: an example from a natural products discovery programme. Pest Manag. Sci. 56, 696-702.
- Trematerra, P., 1997. Integrated pest management of stored-product insects: practical utilization of pheromones. Anz. Schädlingkd, Pfl. 70, 41-44.

- Trewin, B., Reichmuth, C., 1997. Wirksamkeit des kieselgurpräparates Dryacide® gegen vorratsschädliche Insekten. Anz. Schädlingskde. Pflanzenschutz Umweltschutz 70, 51–54.
- Tsatsakis, A.M., Manousakis, A., Anastasaki, M., Tzatzarakis, M., Katsanoulas, K., Delaki, C., Agouridakis, P., 1998. Clinical and toxicological data in fenthion and omethoate acute poisoning. J. Environ. Sci. Heal. B. 33, 657-670.
- Vayias, B.J., Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Tsesmeli, C.D., Buchelos, C.Th., 2006. Persistence and efficacy of two diatomaceous earth formulations and a mixture of diatomaceous earth with natural pyrethrum against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on wheat and maize. Pest Manag. Sci. 62, 456–464.
- Wang, X., Hao, Q., Chen, Y., Jiang, S., Yang, Q., Li, Q., 2015. The effect of chemical composition and bioactivity of several essential oils on *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). J. Insect Sci. 15, 116.
- Wilkin, D.R., Armitage, D.M., Cogan, P.M., Thomas, K.P., 1990. Integrated pest control strategy for stored grain. HGCA Project R. 24, 87.
- Μάρκογλου, Α.Ν., Ζιώγας, Β.Ν., 2010. Γεωργική Φαρμακολογία. Αθήνα.