



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΧΡΗΣΗ ΕΤΕΡΟΚΥΚΛΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΝΤΟΜΩΝ ΤΩΝ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΟΙ
ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ ΔΡΑΣΗ
ΤΟΥΣ**

ΜΑΡΙΑ Κ. ΜΠΟΥΚΟΥΒΑΛΑ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2019



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΧΡΗΣΗ ΕΤΕΡΟΚΥΚΛΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΝΤΟΜΩΝ ΤΩΝ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΟΙ
ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ ΔΡΑΣΗ
ΤΟΥΣ**

ΜΑΡΙΑ Κ. ΜΠΟΥΚΟΥΒΑΛΑ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2019

«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Χημείας της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα Ν. 5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2»

Ορισμός Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής από τη Γ.Σ.Ε.Σ.: 871/ 17-07-2013
όπως αντικαταστάθηκαν από τη Γ.Σ.Ε.Σ.: 891/ 15-07-2014.

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων:

Χατζηαράπογλου Λάζαρος, Καθηγητής

Μέλη:

Καβαλλιεράτος Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής

Αθανασίου Χρήστος, Καθηγητής

Ημερομηνία ορισμού θέματος: 30-05-2014

Θέμα: «Χρήση ετεροκυκλικών ενώσεων του αζώτου για την αντιμετώπιση εντόμων των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων και αξιολόγηση παραγόντων οι οποίοι επιδρούν στην εντομοκτόνο δράση τους»

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ από τη Γ.Σ.Ε.Σ.: 989/
15-1-2019

1. Χατζηαράπογλου Λάζαρος, Καθηγητής
2. Καβαλλιεράτος Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής
3. Αθανασίου Χρήστος, Καθηγητής
4. Αβτζής Δημήτριος, Εντεταλμένος ερευνητής
5. Βέλλιος Ευάγγελος, Επίκουρος Καθηγητής
6. Τσιρόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής
7. Κουλούσης Νικόλαος, Καθηγητής

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» στις 22-01-2019

Η Πρόεδρος του Τμήματος Χημείας
Λουλούδη Μαρία, Καθηγήτρια

Η Γραμματέας του Τμήματος
Ξανθή Τουτουτζόγλου

Θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα Διδακτορική Διατριβή σε τρεις ανθρώπους οι οποίοι δεν βρίσκονται κοντά μας και ο καθένας ξεχωριστά είχε τον ρόλο του σε αυτή την προσπάθεια.

Αφιερώνω την παρούσα Διδακτορική Διατριβή στον σημαντικότερο άνθρωπο της ζωής μου, την μητέρα μου Αναστασία Μπουκουβάλα, η οποία τα τελευταία χρόνια είχε επωμιστεί και τον ρόλο του πατέρα. Στεκόταν πάντα δίπλα μου σαν βράχος, δίνοντάς μου δύναμη, κουράγιο και αισιοδοξία για να αντιμετωπίσω την κάθε δυσκολία που παρουσιαζόταν. Η σκέψη της και η ανάμνησή της μου έδωσαν την δύναμη να φτάσω μέχρι το τέλος.

Αφιερώνω την παρούσα Διδακτορική Διατριβή στην πολυαγαπημένη εξαδέλφη μου, ποτέ Μαρία Μπιμπίκα, η οποία με στήριζε πολύ σε αυτή την προσπάθεια αλλά δυστυχώς δεν πρόφτασε να την δει ολοκληρωμένη.

Αφιερώνω την παρούσα Διδακτορική Διατριβή στον Καθηγητή ποτέ Ιωάννη Ελεμέ, ο οποίος, ενώ δέχτηκε με χαρά την επίβλεψή της και ήταν πάντα πρόθυμος να μου προσφέρει την βοήθεια και τις γνώσεις του, δυστυχώς έφυγε νωρίς.

Περίληψη

Τα μέλη της ομάδας των πυρρολίων είναι πιθανόν να έχουν εντομοκτόνες ιδιότητες οι οποίες χρήζουν έρευνα στα μετασυλλεκτικά στάδια των γεωργικών προϊόντων. Σε αυτό το πλαίσιο, διερευνήθηκε η εντομοκτόνος δράση 13 νέων παραγώγων του πυρρολίου (δίνοντας τις κοινές ονομασίες 2a-syn, 2a-anti, 2f-syn, 2f-anti, 3a, 3g, 3i, 3k, 3l, 3m, 3h, 3e και 0665), από τα οποία επιλέχθησαν τα επτά. Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή αξιολογήθηκε η εντομοκτόνος δράση των νέων παραγώγων του πυρρολίου 3a, 3g, 3i, 3k, 3l, 3m και 3h, κατά των ακμαίων ή προνυμφών *Tribolium confusum* Jaquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) και των προνυμφών *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) σε διαφορετικές δόσεις (0,1, 1 και 10 ppm), διαστήματα εκθέσεως (7, 14 και 21 ημέρες ή 1, 2, 7, 14 και 21 ημέρες), θερμοκρασίες (20, 25 και 30 °C), επίπεδα σχετικής υγρασίας (ΣΥ) (55 και 75%) και προϊόντα (σιτάρι, αραβόσιτος, κριθάρι).

Για τα ακμαία *T. confusum*, στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3i, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή και δεν υπερέβη το 32,2% στον σίτο στην δόση των 10 ppm του 3i στους 30 °C και 55% ΣΥ. Στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3k, η θνησιμότητα έφθασε στο 67,8% στους 30 °C και 55% ΣΥ στο σιτάρι στην δόση των 10 ppm μετά από 21 ημέρες εκθέσεως. Η παραγωγή των απογόνων ήταν πολύ χαμηλή (<1 άτομο / φιαλίδιο για το 3i και $\leq 0,7$ ατόμων / φιαλίδιο για το 3k) σε όλους τους συνδυασμούς του 55% ΣΥ, συμπεριλαμβανομένων των μαρτύρων. Όλα τα ακμαία *T. confusum* ήσαν νεκρά σε όλες τις δόσεις του κριθαριού όπου εφαρμόστηκε το 3i μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, ενώ για το 3k η θνησιμότητα ήταν >92%. Η παραγωγή των απογόνων ήταν πολύ χαμηλή (≤ 1 άτομο ανά φιαλίδιο) σε όλες τις δόσεις και για τα δύο παράγωγα του πυρρολίου. Για τις προνύμφες *T. confusum*, στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3i, στην υψηλότερη δόση, η θνησιμότητα ήταν 82,2% στους 25 °C και 55% ΣΥ ενώ στην περίπτωση του 3k έφτασε το 77,8% στον ίδιο συνδυασμό. Αντίθετα, η θνησιμότητα στο 75% ΣΥ παρέμεινε χαμηλότερη από το 55% ΣΥ. Για το κριθάρι, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως όλες οι εκτεθειμένες προνύμφες βρέθηκαν νεκρές σε όλες τις δόσεις και των δυο παραγώγων του πυρρολίου. Στον αραβόσιτο, η θνησιμότητα δεν ήταν πλήρης σε όλες τις δόσεις των εξετασθέντων παραγώγων του πυρρολίου, αλλά υπερέβη το 96% στα

10 ppm του 3k μετά από 21 ημέρες εκθέσεως. Για τις προνύμφες *E. kuehniella* παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες θνησιμότητες, 44,4 και 63,3%, στα 10 ppm στους 25 °C και 55% ΣΥ για τα δύο παράγωγα του πυρρολίου, 3i και 3k. Στο κριθάρι, η θνησιμότητα ήταν πλήρης στις δόσεις των 1 και 10 ppm του 3i και σε όλες τις δόσεις του 3k στις 7 ημέρες εκθέσεως. Μετά από 14 ημέρες, όλες οι προνύμφες ήταν νεκρές στο 0,1 ppm του 3i.

Το παράγωγο του πυρρολίου 3a επέδειξε την υψηλότερη εντομοκτόνο δράση, ενώ τα 3g, 3l, 3m και 3h προκάλεσαν παρόμοια θνησιμότητα κατά των προνυμφών *T. confusum*. Εκτός από το επίπεδο της αποτελεσματικότητας, όλα τα δοκιμασθέντα παράγωγα του πυρρολίου έδρασαν παρομοίως με βάση την θερμοκρασία. Διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αύξησε τη θνησιμότητα στην πλειονότητα των δοκιμασθέντων συνδυασμών. Γενικώς, τα παράγωγα του πυρρολίου προκάλεσαν τα υψηλότερα επίπεδα θνησιμότητας στους 30 °C. Τα παράγωγα πυρρολίου 3a, 3g, 3l και 3m επηρεάστηκαν από την ΣΥ σε όλους σχεδόν τους συνδυασμούς οι οποίοι εξετάστηκαν. Το επίπεδο της ΣΥ 75% μείωσε την αποτελεσματικότητα των παραγώγων του πυρρολίου, ενώ το 55% την αύξησε. Η θνησιμότητα των *T. confusum* και *E. kuehniella* στον αραβόσιτο ήταν χαμηλότερη από το κριθάρι ή το σιτάρι. Ωστόσο, ο πλήρης έλεγχος, 100% και των δύο ειδών εντόμων καταγράφηκε μόνο στο κριθάρι.

Όλες οι εξετασθέντες ενώσεις της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής διαφέρουν στον εστερικό υποκαταστάτη και στην άλκυλο ομάδα που συνδέεται στο θείο. Φαίνεται ότι ο αρωματικός χαρακτήρας του πυρρολίου και η επίπεδη δομή του είναι απαραίτητα για τη δραστηριότητα των ενώσεων, δεδομένου ότι τα παράγωγα του πυρρολίου 2a-syn, 2a-anti, 2f-syn και 2f-anti, δεν ήταν τοξικά. Κατέστη προφανές ότι η εντομοκτόνος δράση των παραγώγων του πυρρολίου σχετίζεται με το γεγονός ότι το άτομο του αζώτου δεν πρέπει να υποκατασταθεί. Στην πραγματικότητα, το αρωματικό παράγωγο του πυρρολίου 0665, το οποίο έχει ένα άτομο αζώτου υποκατεστημένο με άλκυλο ομάδα, είχε ως αποτέλεσμα τη μέτρια τοξικότητα έναντι όλων των δοκιμασθέντων ειδών εντόμων. Εν τούτοις, οι πιο τοξικές ενώσεις βρέθηκαν να είναι οι 3a, 3g, 3h, 3i, 3k, 3l και 3m, οι οποίες διατηρούν τα δύο προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, και αποδείχθηκαν ιδιαίτερες αποτελεσματικές κατά των *E. kuehniella* και *T. confusum*. Τα αποτελέσματα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής καταδεικνύουν ότι νέα παράγωγα του πυρρολίου θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως προστατευτικά των σπόρων κατά των *T. confusum*

Περίληψη

και *E. kuehniella*, σοβαρών εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων, υπό συγκεκριμένες βιοτικές και αβιοτικές συνθήκες.

Summary

Members of the pyrrole group are likely to have interesting properties that merit additional investigation as insecticides at the post-harvest stages of agricultural commodities. In this context, we investigate the insecticidal activity of 13 new pyrrole derivatives (under the trivial names 2a-syn, 2a-anti, 2f-syn, 2f-anti, 3a, 3g, 3i, 3k, 3l, 3m, 3h, and 0665), of which seven were selected. In the present Doctoral Thesis, we evaluated the insecticidal activity of the novel pyrrole derivatives 3a, 3g, 3i, 3k, 3l, 3m and 3h against adults or larvae of *Tribolium confusum* Jaquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) and larvae of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) at different doses (0.1, 1 and 10 ppm), exposure intervals (7, 14 and 21 days or 1, 2, 7, 14, 21 days), temperatures (20, 25 and 30 °C), relative humidity (RH) (55 and 75 %) levels and commodities (wheat, maize, barley).

For *T. confusum* adults, in the case of the pyrrole derivative 3i, mortality was low and it did not exceed 32.2% in wheat treated with 10 ppm 3i at 30°C and 55 % RH. In the case of the pyrrole derivative 3k, mortality reached 67.8% at 30°C and 55 % RH in wheat treated with 10 ppm after 21 days of exposure. Progeny production was very low (<1 individual/vial in the case of 3i and ≤ 0.7 individuals/ vial in the case of 3k) in all combinations of 55% RH, including control. All *T. confusum* adults were dead at all doses on barley treated with 3i after 21d of exposure, while for 3k mortality was >92%. Progeny production was very low (≤ 1 individual per vial) at all doses for both pyrrole derivatives. For *T. confusum* larvae, in the case of the pyrrole derivative 3i, at the highest dose, mortality was 82.2% at 25°C and 55% RH whereas in the case of 3k it reached 77.8% at the same combination. In contrast, mortality at 75% RH remained lower than at 55% RH. For barley, all exposed larvae were found dead at all doses of both pyrrole derivatives after 7d of exposure. On maize, mortality was not complete with any dose of both pyrrole derivatives but it exceeded 96% with 3k at 10 ppm after 21d of exposure. For *E. kuehniella* larvae, the highest mortalities, 44.4 and 63.3%, were observed in 10 ppm at 25°C and 55% RH for both pyrrole derivatives (3i and 3k). For barley, mortality was complete at 1 and 10 ppm of 3i and all doses of 3k at 7d of exposure. After 14d of exposure, all larvae were dead at 0.1 ppm of 3i.

Summary

The pyrrole derivative 3a exhibited the highest insecticidal activity, while 3g, 3l, 3m and 3h caused similar mortality against larvae of *T. confusum*. Apart of the level of efficacy, all tested pyrrole derivatives performed similarly according temperature. We found that increase in temperature increased mortality in the majority of the tested combinations. Generally, the pyrrole derivatives caused the highest mortality levels at 30 °C. The pyrrole derivatives 3a, 3g, 3l and 3m were affected by relative humidity at almost all combinations tested. The 75 % level of RH moderated the efficacy of the pyrrole derivatives, while the 55 % enhanced it. Mortality of *T. confusum* and *E. kuehniella* on maize was much lower on treated maize than barley or wheat. However, 100 % control of both species was recorded only on treated barley.

All examined compounds of the present Doctoral Thesis differ in the ester substituent and the alkyl group connected to sulfur. It seems that the aromatic character of the pyrrole and the flatness of the system are necessary for the activity of these compounds, given that the pyrrole derivatives 2a-*syn*, 2a-*anti*, 2f-*syn* and 2f-*anti*, which lack this characteristic, were not toxic. It is also evident that the insecticidal activity of pyrrole derivatives is related to the fact that the nitrogen atom should not be substituted. In fact, the aromatic pyrrole derivative 0665, which has a nitrogen atom substituted with an alkyl group, resulted in average toxicity against all tested insect-targets. However, the most toxic compounds are 3a, 3g, 3h, 3i, 3k, 3l and 3m, which holds both characteristics, and were proved highly effective against *E. kuehniella* and *T. confusum*. The results of the present Doctoral Thesis indicate that the pyrrole derivatives tested could serve as grain protectants against the noxious stored-product insects *T. confusum* and *E. kuehniella* under certain biotic and abiotic conditions.

Περιεχόμενα

Πρόλογος - Ευχαριστίες.....	v
-----------------------------	---

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κεφάλαιο 1

Μετασυλλεκτικά στάδια των γεωργικών προϊόντων και η σημασία της αποθηκεύσεώς τους.....	1
--	---

1.1 Μετασυλλεκτικά στάδια των σιτηρών.....	1
1.1.1. Καθαρισμός.....	2
1.1.2. Ξήρανση.....	3
1.1.3. Μεταφορά.....	4
1.1.4. Αποθήκευση.....	5
1.1.5. Επεξεργασία.....	5
1.2. Η σημασία της αποθηκεύσεως των σιτηρών.....	6

Κεφάλαιο 2

Τα κυριότερα αίτια που προκαλούν ζημιές στα γεωργικά προϊόντα κατά τη διάρκεια της αποθηκεύσεώς τους.....	10
---	----

2.1. Ζωικοί εχθροί.....	10
2.1.1. Θηλαστικά.....	10
2.1.2. Πτηνά.....	11
2.2. Μύκητες και μυκοτοξίνες στα αποθηκευμένα προϊόντα.....	12
2.3. Ακάρεα.....	13
2.3.1. Τα σημαντικότερα είδη ακάρεων των αποθηκών.....	14
2.4. Έντομα.....	16
2.4.1. Τα σημαντικότερα είδη εντόμων των αποθηκών.....	18
2.4.1.1. Τάξη Coleoptera.....	18
2.4.1.1.1. Οικογένεια Anobiidae.....	18

2.4.1.1.2. Οικογένεια Bostrychidae	20
2.4.1.1.3. Οικογένεια Bruchidae	22
2.4.1.1.4. Οικογένεια Curculionidae.....	22
2.4.1.1.5. Οικογένεια Dermestidae	24
2.4.1.1.6. Οικογένεια Laemophloeidae.....	26
2.4.1.1.7. Οικογένεια Nitidulidae	26
2.4.1.1.8. Οικογένεια Silvanidae	28
2.4.1.1.9. Οικογένεια Tenebrionidae	29
2.4.1.2. Τάξη Lepidoptera	30
2.4.1.2.1. Οικογένεια Gelechiidae	30
2.4.1.2.2. Οικογένεια Pyralidae	31
2.4.1.2.3. Οικογένεια Tineidae	34
2.4.1.3. Τάξη Psocoptera	34
2.4.2. Μελετηθέντα έντομα.....	36
2.4.2.1. <i>Tribolium cofusum</i> Jacquelin du Val.....	36
2.4.2.2. <i>Ephestia kuehniella</i> Zeller.....	38
Κεφάλαιο 3	
Έλεγχος και καταπολέμηση των εντόμων – εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων.....	42
3.1. Προληπτικά μέτρα	42
3.2 Φυσικές μέθοδοι	43
3.2.1. Ακραίες θερμοκρασίες	43
3.2.2. Η χρήση της γης διατόμων.....	45
3.3. Βιολογικές μέθοδοι	48
3.3.1. Οι σημαντικότεροι φυσικοί εχθροί των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων.....	48
3.3.2. Εντομοπαθογόνοι μικροοργανισμοί.....	49
3.4. Βιοτεχνολογικές μέθοδοι	51
3.4.1. Φερομόνες	52
3.5. Χημικές μέθοδοι	53
3.5.1. Φυσικά εντομοκτόνα.....	53
3.5.1.1. Αιθέρια έλαια.....	53

3.5.2. Συνθετικά εντομοκτόνα.....	54
3.5.3. Καπνογόνα	56
3.5.4. Ρυθμιστές αναπτύξεως	58
3.5.4.1. Ορμόνες νεότητας.....	59
3.5.4.2. Παρεμποδιστές βιοσυνθέσεως χιτίνης.....	61
3.5.4.3. Μιμητές της δράσεως της εκδυσόνης.....	62

Κεφάλαιο 4

Χρήση νέων δραστικών ουσιών για την αντιμετώπιση των εντόμων - εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων.....

63

4.1. Νεονικοτινοειδή.....	63
4.2. Σπινোসίνες	65
4.2.1. Spinosad	65
4.2.2. Spinetoram	67
4.3. Chlorantraniliprole	69
4.4. Αβερμεκτίνες	70
4.5. Παράγωγα του πυρρολίου.....	71

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 5

Πειραματικό μέρος.....

76

5.1. Υλικά και μέθοδοι.....	77
5.1.1. Έντομα	77
5.1.2. Προϊόντα	78
5.1.3. Παράγωγα του πυρρολίου	78
5.2. Προκαταρτικός έλεγχος	84
5.2.1. Βιοδοκιμές.....	84
5.2.2. Αποτελέσματα προκαταρτικού ελέγχου.....	85
5.3. Βιοδοκιμές	86
5.3.1. Σειρές Βιοδοκιμών 1	86

5.3.2. Σειρές Βιοδοκιμών 2	87
5.3.3. Σειρές Βιοδοκιμών 3	88
5.3.4. Σειρές Βιοδοκιμών 4	88
5.4. Στατιστική ανάλυση.....	90
5.4.1. Σειρές Βιοδοκιμών 1	90
5.4.2. Σειρές βιοδοκιμών 2.....	90
5.4.3. Σειρές βιοδοκιμών 3.....	90
5.4.4. Σειρές βιοδοκιμών 4.....	91
5.5. Αποτελέσματα.....	91
5.5.1. Σειρές Βιοδοκιμών 1	91
5.5.1.1. Θνησιμότητα και απόγονοι των ακμαίων ατόμων <i>T. confusum</i>	91
5.5.1.2. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>T. confusum</i>	92
5.5.1.3. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>E. kuehniella</i>	93
5.5.2. Σειρές Βιοδοκιμών 2	94
5.5.2.1. Θνησιμότητα και απόγονοι των ακμαίων ατόμων <i>T. confusum</i>	94
5.5.2.2. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>T. confusum</i>	95
5.5.2.3. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>E. kuehniella</i>	95
5.5.3. Σειρές Βιοδοκιμών 3	96
5.5.3.1. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>T. confusum</i>	96
5.5.3.2. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>E. kuehniella</i>	98
5.5.4. Σειρές Βιοδοκιμών 4	98
5.5.4.1. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>T. confusum</i>	98
5.5.4.2. Θνησιμότητα των προνυμφών <i>E. kuehniella</i>	99

Κεφάλαιο 6

Γενική συζήτηση – Συμπεράσματα	146
--------------------------------------	-----

Βιβλιογραφία	154
--------------------	-----

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Τα έντομα που προσβάλλουν τα αγροτικά προϊόντα κατά την διάρκεια της αποθηκεύσεώς τους, αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα αλλοιώσεως και καταστροφής τους, προκαλώντας κυρίως την ποσοτική και ποιοτική υποβάθμισή τους όπως και την ανάπτυξη δευτερογενών μολύνσεων και προσβολών από άλλους οργανισμούς. Τα έντομα αυτά καθώς και η καταπολέμησή τους αποτελούν ένα ξεχωριστό κεφάλαιο για την γεωργία και έχουν μεγάλη σημασία για τη συντήρηση των προϊόντων μετασυλλεκτικώς. Την καταπολέμηση των εντόμων αυτών δυσχεραίνει η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στα συνθετικά εντομοκτόνα. Συνεπώς, κρίνεται σκόπιμη η αξιολόγηση νέων ουσιών που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικώς ως προστατευτικά των σπόρων.

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή με θέμα: «Χρήση ετεροκυκλικών ενώσεων του αζώτου για την αντιμετώπιση εντόμων των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων και αξιολόγηση παραγόντων οι οποίοι επιδρούν στην εντομοκτόνο δράση τους» εκπονήθηκε στο μεγαλύτερο της μέρος στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Πραγματεύεται την αξιολόγηση επτά νέων παραγώγων του πυρρολίου ως προστατευτικά των σπόρων, σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας και σε διαφορετικά είδη δημητριακών, έναντι δύο ειδών εντόμων, εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων. Ο προκαταρκτικός έλεγχος των παραγώγων του πυρρολίου πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Εντομολογίας του Τμήματος Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Μπεννακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου.

Στα πέντε πρώτα κεφάλαια της Διδακτορικής Διατριβής δίδονται γενικές πληροφορίες για τα στάδια από τα οποία διέρχονται τα δημητριακά μετασυλλεκτικώς και περιγράφεται η σημασία της αποθηκεύσεώς τους. Περιγράφονται τα κυριότερα αίτια που προκαλούν την αλλοίωση και την καταστροφή των προϊόντων κατά την αποθήκευσή τους, με ιδιαίτερη έμφαση στα έντομα. Συγκεκριμένως, δίδονται συνοπτικές πληροφορίες για την βιολογία, την μορφολογία και τις ζημιές που προκαλούν και περιγράφονται λεπτομερώς τα δύο είδη εντόμων που εξετάστηκαν. Επιπροσθέτως, γίνεται λεπτομερής αναφορά στις μεθόδους καταπολεμήσεως των

εντόμων καθώς και της χρήσεως νέων δραστικών ουσιών που εφαρμόζονται σήμερα για τον σκοπό αυτό. Τέλος, δίδονται πληροφορίες για τα παράγωγα του πυρρολίου και της χρήσεώς τους στην καταπολέμηση των εντόμων. Στο έκτο και έβδομο κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερώς ο σκοπός της Διδακτορικής Διατριβής, η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την εκπόνηση των βιοδοκιμών, τα αποτελέσματα, ο ενδελεχής σχολιασμός των αποτελεσμάτων και ο πιθανός τρόπος δράσεως των ενώσεων του πυρολλίου οι οποίες μελετήθηκαν.

Οι φωτογραφίες 1 – 6 και 20 – 26 που παρατίθενται στο κείμενο προέρχονται από το προσωπικό αρχείο της Μαρίας Κ. Μπουκουβάλα. Συγκεκριμένως, οι φωτογραφίες 1 – 4 και 24 – 26, ελήφθησαν με κάμερα η οποία ήταν προσαρμοσμένη σε στερεομικροσκόπιο Olympus SZX9, ενώ οι φωτογραφίες υπ' αριθμόν 5, 6 και 20 – 23, ελήφθησαν με κάμερα Canon eos 600 d. Επίσης, οι εικόνες 7 – 19, οι οποίες αντιστοιχούν στους συντακτικούς τύπους των εξετασθέντων παραγώγων του πυρρολίου, δημιουργήθηκαν από τον επιβλέποντα καθηγητή Λάζαρο Χατζηαράπογλου. Τέλος, οι φωτογραφίες 27 – 43 ελήφθησαν από τον Καθηγητή Dusan Losic και την συνεργάτιδά του Dr Diana Tran (University of Adelaide, School of Chemical engineering) με Scanning Electron Microscope.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμώς τον Λάζαρο Χατζηαράπογλου, Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, ο οποίος δέχθηκε να αναλάβει την επίβλεψη της Διδακτορικής Διατριβής μου, μετά από τον αιφνίδιο θάνατο του αρχικού επιβλέποντος της Καθηγητή Ιωάννη Ελεμέ. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθεια την οποία μου προσέφερε καθ' όλην την διάρκεια της εκπονήσεως της Διδακτορικής Διατριβής μου.

Ευχαριστώ θερμώς τον Νικόλαο Γ. Καβαλλιεράτο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Φυτικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, που από τα πρώτα βήματά μου αναγνώρισε και πίστεψε στις δυνατότητές μου και χάρη στην δική του προτροπή και επιμονή ολοκληρώνεται ένα σημαντικό βήμα στην επιστημονική πορεία μου. Επίσης, τον ευχαριστώ θερμώς για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω μέρος της Διδακτορικής Διατριβής μου στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, και μέρος της στο Εργαστήριο Γεωργικής Εντομολογίας του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου, κατά την διάρκεια της θητείας του ως Προϊστάμενος του Τμήματος Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, για την πολύτιμη επίβλεψη που μου

προσέφερε κατά την διεξαγωγή όλων των φάσεων της και για τις γνώσεις τις οποίες απέκόμισα κατά τη συνεργασία μας.

Ευχαριστώ θερμώς τον Χρήστο Γ. Αθανασίου, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής, για την πολύτιμη στήριξη και την αισιοδοξία την οποία μου μετέδιδε σε όλες τις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν, για την σημαντική καθοδήγηση και την βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της Διδακτορικής Διατριβής μου.

Εκφράζω τις θερμές ευχαριστίες μου στα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής: Αβτζή Δημήτριο, Εντεταλμένο ερευνητή του Εργαστηρίου Δασικής Εντομολογίας του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών, του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού "ΔΗΜΗΤΡΑ", Βέλλιο Ευάγγελο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τσιρόπουλο Νικόλαο, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Κουλούση Νικόλαο, Καθηγητή Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την συμμετοχή τους στην κρίση της διδακτορικής διατριβής μου.

Ευχαριστώ θερμώς τον Καθηγητή Dusan Losic και την Dr Diana Tran για τις φωτογραφίες των μελετηθέντων ενώσεων του πυρρολίου τις οποίες ευγενώς μου παραχώρησαν.

Ευχαριστώ θερμώς την κα Μαρία Χριστοδούλου, ΕΤΕΠ του Εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Τμήματος Φυτικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη στήριξη και την βοήθεια που μου προσέφερε.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμώς τον αδελφό μου, Αναστάσιο Μπουκουβάλα, για το βαρύ οικογενειακό φορτίο το οποίο επωμίσθηκε εξ ολοκλήρου ώστε να μου δώσει τον απαραίτητο χρόνο να ξεκινήσω την Διδακτορική Διατριβή μου καθώς και για την πολύτιμη στήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου. Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τις στενές φίλες μου, Ευθαλία Κουτεντάκη και Ελένη Ζόμπολα, για την πολύτιμη ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλες τις φάσεις της προσπάθειάς μου.

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή ενισχύθηκε μερικώς από την υποτροφία «Αθανασίου Σωτηρούδα» της Εντομολογικής Εταιρείας Ελλάδος (2015-2016).

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1

Μετασυλλεκτικά στάδια των γεωργικών προϊόντων και η σημασία της αποθηκεύσεώς τους

Τα σιτηρά συγκομίζονται στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και πρέπει να αποθηκεύονται με την ελάχιστη δυνατή απώλεια της ποιότητάς τους, έως ότου καταναλωθούν από τον άνθρωπο και τα ζώα κατά τη διάρκεια του έτους (Hagstrum, & Subramanyam 2006). Συνεπώς, όλοι οι μετασυλλεκτικοί χειρισμοί αποσκοπούν στην διατήρηση της αρίστης ποιότητας των συγκομισθέντων σιτηρών. Η απώλεια της ποιότητας των σπόρων μπορεί να προκύψει λόγω των ελλειπών τεχνικών ξήρανσης, του ακατάλληλου χειρισμού τους κατά την διάρκεια των μετασυλλεκτικών σταδίων τους ή της έλλειψης επαρκών προδιαγραφών της αποθήκης (Jones *et al.*, 2012). Γενικώς, η ατελής διαχείριση των σιτηρών κατά την αποθήκευσή τους δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης προσβολών από έντομα, ακάρεα και μύκητες. Οι τοξίνες που προκαλούνται από τους μύκητες και η καταστροφή των σπόρων που προκαλούνται από τα έντομα και τα ακάρεα υποβαθμίζουν ποιοτικώς και ποσοτικώς τα αποθηκευμένα σιτηρά με αποτέλεσμα να μην καθίστανται εμπορικώς εκμεταλλεύσιμα (Hill, 2003).

1.1. Μετασυλλεκτικά στάδια των σιτηρών

Μετά από την συγκομιδή της καλλιέργειας, τα σιτηρά υποβάλλονται σε διάφορους χειρισμούς οι οποίοι εάν δεν γίνουν ορθώς μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές απώλειες των προϊόντων (Laubscher & Cairns, 1983, Jonsson & Kashweka, 1987). Η αρχική επεξεργασία της καλλιέργειας πραγματοποιείται αμέσως μετά από τη συγκομιδή και περιλαμβάνει συνήθως τον καθαρισμό, την ξήρανση και την μεταφορά των προϊόντων στον χώρο της αποθήκης όπου θα παραμείνουν στην αποθήκη για ποικίλες χρονικές περιόδους αναλόγως της ζήτησεως της αγοράς. Το τελικό στάδιο της διαχείρισεως των προϊόντων, είναι η επεξεργασία τους για την παραγωγή αλεύρων ή η συσκευασία τους (Hill, 2003).

Από λειτουργικής απόψεως, ο πρωταρχικός ρόλος ενός αποτελεσματικού μετασυλλεκτικού συστήματος είναι η εξασφάλιση ότι το συγκομιζόμενο προϊόν θα

φτάσει ακέραιο στον καταναλωτή, ενώ παράλληλα εκπληρώνει τις προσδοκίες της αγοράς περί του όγκου, της ποιότητας, της διατροφικής αξίας και της ασφάλειας των προϊόντων (Zorya *et al.*, 2011). Μετά την συγκομιδή, τα προϊόντα υπόκεινται σε βιολογική υποβάθμιση, αλλά ο βαθμός της αλλοίωσης επηρεάζεται από τους παράγοντες και τις πρακτικές που αυξάνουν την έκθεση του προϊόντος, κατά μήκος της αλυσίδας του μετασυλλεκτικού συστήματος, σε ακραίες θερμοκρασίες, υπερβολική υγρασία, μόλυνση από μικροοργανισμούς και από έντομα και μηχανική βλάβη (Kumar & Kalita, 2017). Επομένως, ένα κρίσιμο βήμα για την ελαχιστοποίηση της υποβαθμίσεως των προϊόντων μετά από την συγκομιδή, είναι η κατανόηση της επιδράσεως των βιολογικών και των περιβαλλοντικών παραγόντων, καθώς και των μετασυλλεκτικών χειρισμών, όπου θα επιβραδύνουν την διαδικασία και θα διατηρήσουν την ποιότητα και την ασφάλεια του προϊόντος (Zorya *et al.*, 2011).

1.1.1. Καθαρισμός

Ο καθαρισμός των σπόρων πραγματοποιείται μετά από το αλώνισμα και περιλαμβάνει την αφαίρεση των τεμαχίων των φυτικών υπολειμμάτων, των λίθων, των σωματιδίων του εδάφους, των σπόρων ζιζανίων και των κατεστραμμένων σπόρων (Kumar & Kalita, 2017). Ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή αποθήκευση των προϊόντων, είναι η ακεραιότητα των σπόρων. Συνεπώς, οι σπασμένοι ή οι ραγισμένοι κόκκοι θα πρέπει να απομακρύνονται, διότι ευνοούν τις προσβολές από τα έντομα και τους μύκητες κατά την αποθήκευση. Επίσης, ο καθαρισμός των σπόρων θα πρέπει να γίνεται προσεκτικώς, ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε ζημιά σε αυτούς (Jones *et al.*, 2012).

Κατά την συγκομιδή των καλλιεργειών, πολλές φορές μαζί με τα στελέχη των δημητριακών συλλέγονται και οι ανθήλες, οι οποίες θα πρέπει να αφαιρεθούν από τους σπόρους. Αυτό επιτυγχάνεται με την θεριζοαλωνιστική μηχανή, όπου διαχωρίζονται οι σπόροι από τα φυτικά υπολείμματα μέσω του αέρα που δημιουργείται εντός του μηχανήματος. Ωστόσο, αν και η μέθοδος αυτή απομακρύνει ένα μεγάλο ποσοστό των φυτικών υλών, για καλύτερα αποτελέσματα, θα πρέπει να συνδυάζεται και με άλλες μεθόδους καθαρισμού (Fleurat-Lessard, 2016).

Υπάρχουν τεχνικές οι οποίες βασίζονται στη διαφορά του βάρους, του μεγέθους ή του σχήματος του σπόρου, όπου χρησιμοποιούνται κόσκινα με διάφορα μεγέθη οπών. Τα κόσκινα χρησιμοποιούνται είτε για να επιτρέψουν στους σπόρους

των καλλιεργειών να περάσουν μέσα από αυτά (συλλογή και απόρριψη των υλικών που είναι μεγαλύτερα από τους σπόρους), είτε να διατηρήσουν τους σπόρους στην επιφάνεια του κόσκινου και να επιτρέψουν στα υλικά μικρότερου μεγέθους να περάσουν από αυτό. Επίσης, ο καθαρισμός των σπόρων χρησιμοποιώντας τις διαφορές στο ειδικό βάρος, είναι μία από τις παλαιότερες τεχνικές. Συγκεκριμένως, οι σπόροι αφήνονται να πέσουν πριν από μια πηγή αιολικής ενέργειας, η οποία μπορεί να είναι ο φυσικός άνεμος ή ένας ανεμιστήρας τα βαρύτερα υλικά πέφτουν πιο κοντά στην πηγή της αιολικής ενέργειας ενώ τα ελαφρύτερα απομακρύνονται μέσω του αέρα. Η μέθοδος αυτή θεωρείται πολύ αποτελεσματική για τον γρήγορο καθαρισμό των σπόρων. Επίσης, υπάρχουν μηχανές οι οποίες διαχωρίζουν τους σπόρους από τις ξένες ύλες με βάση το ηλεκτρομαγνητικό φορτίο ή το χρώμα των σπόρων, όμως είναι δαπανηρές και συνήθως χρησιμοποιούνται μόνο από μεγάλες εταιρείες (Colley *et al.*, 2015).

1.1.2. Ξήρανση

Η περιεκτικότητα της υγρασίας των σπόρων των δημητριακών είναι ζωτικής σημασίας στην αλυσίδα της διαχείρισεως και της αποθηκεύσεώς τους. Η βλάστηση, η ανάπτυξη των μυκήτων, η προσβολή από τα έντομα, η αλλοίωση του χρώματος και της γεύσεως, καθώς και η μείωση της θρεπτικής αξίας, είναι ορισμένοι ποιοτικοί παράγοντες που συνδέονται με την αποθήκευση των σπόρων, οι οποίοι περιέχουν υψηλή υγρασία και καθιστούν το προϊόν ακατάλληλο για κατανάλωση. Έτσι, η αφαίρεση της υγρασίας καθίσταται ένα κρίσιμο βήμα το οποίο εξασφαλίζει εκτεταμένη διάρκεια στην αποθήκευση, ευκολία στον χειρισμό και διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων (FAO, 2011).

Τα είδη που πρέπει να φυλάσσονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα στην αποθήκη θα πρέπει να είναι αρκετά ξηρά, και οι εγκαταστάσεις της αποθήκης θα πρέπει να έχουν χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία. Η ξήρανση είναι συνήθως ο πιο σημαντικός παράγοντας για την πρόληψη της υποβαθμίσεως των τροφίμων, αρχικώς ως ξήρανση στον αγρό και αργότερα με τη χρήση ειδικών συσκευών ξήρανσης, όπως είναι οι μεγάλοι κλίβανοι ή οι φούρνοι. Το πρόβλημα της υγρασίας απαντάται σε κάποιο βαθμό και στα προς αποθήκευση όσπρια. Το ιδανικό επίπεδο της περιεχόμενης υγρασίας για την αποθήκευση των σιτηρών είναι 10 - 12%, ενώ οι μύκητες των αποθηκών για να αναπτυχθούν χρειάζονται περιεκτικότητα σε υγρασία

15% ή παραπάνω. Συνεπώς, είναι λίαν σημαντικό να διατηρείται η περιεχόμενη υγρασία των σπόρων σε αυτό το επίπεδο (Hill, 2003).

Οι παραδοσιακές μέθοδοι παρέχουν συνήθως φθηνούς και εφικτούς τρόπους για τον μετασυλλεκτικό χειρισμό των σιτηρών. Οι παραγωγοί υιοθετούν διαφορετικές μεθόδους για την ξήρανση των σιτηρών ανάλογα με το περιβάλλον και την κοινωνικοοικονομική κατάστασή τους. Επί παραδείγματι, η ξήρανση στον ήλιο είναι μια ευρέως διαδεδομένη πρακτική, στις περιοχές όπου υπάρχει αρκετή ηλιοφάνεια και ελάχιστη βροχή. Στην περίπτωση αυτή, οι σπόροι απλώνονται πάνω σε μία πλαστική επιφάνεια, ώστε να απομονωθούν από την υγρασία του εδάφους και να καταστεί εφικτή η μετακίνησή τους μετά από το στέγνωμα ή στην περίπτωση μιας ξαφνικής βροχής (Sallam, 2013). Επιπροσθέτως, η μέθοδος αυτή θα βοηθήσει να απαλλαγούν οι σπόροι από τα ακμαία έντομα, διότι αυτά θα απομακρυνθούν από τους εκτεθειμένους σπόρους στον ήλιο ή θα θανατωθούν εάν οι σπόροι ζεσταθούν γρήγορα. Όμως, η μέθοδος αυτή δεν θα καταφέρει να θανατώσει όλα τα ατελή στάδια των εντόμων, όπως τις προνύμφες ή τις νύμφες που ζουν εντός των σπόρων (Golob, 2009). Ωστόσο, τα ξηραντήρια των σιτηρών είναι δαπανηρά ως προς την κατασκευή και την λειτουργία τους και απαντώνται συνήθως σε μεγάλους αγροτικούς συνεταιρισμούς (Alavi *et al.*, 2012).

1.1.3. Μεταφορά

Η μεταφορά των προϊόντων αποτελεί μια σημαντική λειτουργία της αλυσίδας των μετασυλλεκτικών σταδίων των σιτηρών, καθώς τα προϊόντα πρέπει να μετακινούνται από το ένα στάδιο στο άλλο, όπως για παράδειγμα από τον αγρό στις εγκαταστάσεις της επεξεργασίας ή στους χώρους αποθηκείωσης και από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας στην αγορά (Kumar & Kalita, 2017). Γενικώς, η μεταφορά των γεωργικών προϊόντων σε διεθνές επίπεδο αποτελεί τον κύριο παράγοντα για τη διάδοση των εντόμων από το ένα μέρος του κόσμου στο άλλο. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τα έντομα καραντίνας διότι υπάρχουν γεωργικά προϊόντα τα οποία ευνοούν την επιβίωσή τους σε μικρούς αριθμούς και ευκόλως δύνανται να διέλθουν απαρατήρητα (Athanassiou *et al.*, 2016a). Οι διεθνείς μεταφορές πλέον ελέγχονται προσεκτικώς με την φυτοϋγειονομική νομοθεσία και τις διεθνείς συμφωνίες (Hill, 2003, Myers and Hagstrum, 2012).

1.1.4. Αποθήκευση

Τα σιτηρά μπορούν να αποθηκευτούν σε μια ποικιλία δομών. Η απόφαση σχετικά με το είδος της δομής που πρέπει να χρησιμοποιηθεί επηρεάζεται από τον τύπο και τον όγκο των σπόρων που πρόκειται να αποθηκευτούν, τη συχνότητα φόρτωσης και εκφόρτωσης, την διαθεσιμότητα του χώρου της εγκατάστασης, το έδαφος και τις κλιματολογικές συνθήκες. Ο στόχος της αποθηκείσεως των προϊόντων, είναι η διατήρησή τους στην καλύτερη δυνατή κατάσταση. Η ποιότητα των σπόρων δεν μπορεί να βελτιωθεί κατά τη διάρκεια της αποθηκείσεως, όμως ο καθαρισμός των σπόρων μπορεί να βελτιώσει τη συνολική ποιότητα των αποθηκευμένων προϊόντων. Η ελαχιστοποίηση του ποσοστού των ζημιών και της απώλειας της ποιότητας εξαρτάται από την εγκατάσταση της αποθηκείσεως και από τη διαχείριση των σιτηρών. Γενικώς, υπάρχουν πέντε κατηγορίες μονάδων αποθηκείσεως: τα μεταλλικά σιλό, τα τσιμεντένια σιλό, τα επίπεδα κτίρια αποθηκείσεως, σιλό με κωνικό πυθμένα και χώροι προσωρινής αποθηκείσεως (Jones *et al.*, 2012).

1.1.5. Επεξεργασία

Η ιστορία των χειρισμών της επεξεργασίας των δημητριακών είναι πολύ πλούσια και τόσο παλιά όσο και ο ανθρώπινος πολιτισμός. Οι ιστορικοί έχουν θεωρήσει το επίπεδο της τεχνολογίας της επεξεργασίας των προϊόντων, ως δείκτη για την ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου πολιτισμού εκείνη την χρονική περίοδο. Αν και τα εργαλεία της επεξεργασίας καθώς και οι διαδικασίες έχουν αλλάξει ριζικώς, ο βασικός σκοπός της επεξεργασίας παραμένει ουσιαστικά ο ίδιος και συνίσταται στην βελτίωση της γεύσεως και της πεπτικότητας των δημητριακών (Chakraverty *et al.*, 2003). Οι περισσότερες εγκαταστάσεις που κατασκευάζονται σήμερα, περιλαμβάνουν έναν υψηλό βαθμό αυτοματισμού επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο της διαδικασίας μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών (Mahapatra & Lan, 2007).

Στις μέρες μας, υπάρχει πληθώρα επεξεργασμένων τροφίμων με βάση τα δημητριακά τα οποία διατίθενται στην αγορά. Η φύση αυτών των προϊόντων διατροφής επηρεάζει εν μέρει τις απαιτήσεις της επεξεργασίας που σχετίζονται με την ποιότητα του προϊόντος. Ο πιο σημαντικός τύπος επεξεργασίας είναι η άλεση των σιτηρών για την παραγωγή αλεύρων τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή

άρτου, ζυμαρικών και άλλων αμυλούχων υλικών. Η άλεση των σιτηρών περιλαμβάνει την χρήση αλευρόμυλων και αποθηκών για τη διατήρηση των αλεύρων, τα οποία μπορεί να παραμείνουν στους χώρους αυτούς για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα προτού πωληθούν (Hill, 2003).

Οι σπόροι των δημητριακών περιβάλλονται εξωτερικώς από προστατευτικά στρώματα του φλοιού που αποτελούνται από ακατέργαστες, ινώδεις, χρωματισμένες και κηρώδεις ουσίες, οι οποίες είναι ανεπιθύμητες για τα προς βρώση προϊόντα. Επίσης, αποτελούνται από ελαιώδη φύτρα τα οποία δεν είναι επιθυμητά για την αποθήκευση. Η απομάκρυνση αυτών των τμημάτων αποτελεί την βασικότερη προϋπόθεση για την επεξεργασία των σπόρων ή για την τεχνολογία της αλέσεως των αλεύρων των δημητριακών. Κατά την επεξεργασία των σπόρων, τα προστατευτικά στρώματα του φλοιού απομακρύνονται από τους σπόρους, διατηρώντας το σχήμα τους, ενώ κατά την άλεσή τους, παρασκευάζεται αλεύρι χωρίς ή με αμελητέα περιεκτικότητα σε πίτουρο (αλεσμένος φλοιός). Η επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει τον καθαρισμό / διαχωρισμό, την αποφλοιώση, την διαλογή, την λεύκανση, την στίλβωση, την άλεση και το κοσκίνισμα. Μερικές φορές οι σπόροι των δημητριακών υποβάλλονται σε υδροθερμική επεξεργασία πριν από την άλεση για την αύξηση της ποιότητας της επεξεργασίας των δημητριακών, την βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας των τελικών προϊόντων τους και την διευκόλυνση των εργασιών της επεξεργασίας για τα επιθυμητά προϊόντα (Mahapatra & Lan, 2007).

1.2. Η σημασία της αποθηκείσεως των σιτηρών

Η αποθήκευση των σιτηρών και των σπόρων αποτελεί ένα βασικό στοιχείο στην αλυσίδα της εμπορίας και της διανομής των προϊόντων. Επίσης, έχει ως στόχο να καλύψει την βασική ανάγκη του ανθρώπου για συνεχή παροχή τροφίμων κατά την διάρκεια του έτους. Αν και η παραγωγή των σιτηρών και κυρίως η περίοδος της συγκομιδής είναι σχετικώς μικρή, η κατανάλωση επεκτείνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Rajendran, 2003). Η αποθήκευση των δημητριακών είναι συχνώς κρίσιμη για την εμπορία των προϊόντων. Οι αγοραστές συχνά δεν έχουν τον επαρκή αποθηκευτικό χώρο ή και την οικονομική ευχέρεια για να δεχτούν μία μεγάλη καλλιέργεια ταυτοχρόνως. Μια καλλιέργεια μπορεί να χρειαστεί να αποθηκευτεί για ορισμένες εβδομάδες ή μήνες (μέχρι 11), για την κάλυψη της ζήτησεως της αγοράς. Συχνώς, η καλύτερη τιμή των σιτηρών προσφέρεται αρκετούς μήνες μετά από την

συγκομιδή τους, έτσι η αποθήκευση των σπόρων μπορεί να προσφέρει επιπλέον οικονομικό πλεονέκτημα (Heiniger, 2014).

Η σημασία της αποθηκείσεως των σπόρων έγινε αντιληπτή από πολύ νωρίς. Η ιστορία δείχνει ότι στην αρχαιότητα ο άνθρωπος, εκτός από το κυνήγι των αγρίων ζώων, άρχισε να συλλέγει διάφορα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των σπόρων ορισμένων άγριων φυτών, τα αποθήκευε και τα χρησιμοποιούσε τις περιόδους όπου δεν μπορούσε να βρει τροφή. Τα δημητριακά αποτελούν την πολυτιμότερη καλλιέργεια όλων των εποχών και ήταν από τους πρώτους τύπους φυτών που καλλιεργήθηκαν και αποθηκεύτηκαν με ευκολία. Η αποθήκευση των καλλιεργειών φαίνεται ότι έχει ξεκινήσει από το 8000 π.Χ. και μετακινείται από τη Νεολιθική εποχή και την εποχή του Χαλκού στην εποχή του Σιδήρου και την Ρωμαϊκή εποχή (Kumar, 2017). Ο άνθρωπος, αρχικώς αποθήκευε τους σπόρους για να καλύψει τις ανάγκες του ιδίου και της οικογένειάς του και εν συνεχεία, με την αύξηση του πληθυσμού, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την εμπορική αποθήκευση. Στην αρχή, υπήρξε ένα σύστημα ανταλλαγής προϊόντων προς ικανοποίηση των καθημερινών απαιτήσεων των μελών της κοινωνίας και στην συνέχεια αντικαταστάθηκε με την χρήση των χρημάτων (Kumar, 2017). Σε κάθε χώρα τα πλεονασματικά προϊόντα διατίθενται στην αγορά και διατηρείται το περίσσειμα ως αποθεματικό ασφαλείας. Επί παραδείγματι, στην Ελλάδα συμφώνως προς το ισοζύγιο των σιτηρών για το εμπορικό έτος από την 1^η Ιουλίου 2015 έως την 30^η Ιουνίου 2016, η συνολική προσφορά για το μαλακό σιτάρι ήταν 1.340.748 τόνοι και χρησιμοποιήθηκαν συνολικώς 1.260.176 τόνοι (ανθρώπινη κατανάλωση, βιομηχανική χρήση, ζωοτροφές, εξαγωγές και απώλειες) και έμειναν ως τελικό απόθεμα 80.572 τόνοι, οι οποίοι χρησίμευσαν ως αρχικό απόθεμα για το επόμενο εμπορικό έτος (Πίνακας 1) (minagric.gr, 2016, 2017).

Ο γενικός στόχος της αποθηκείσεως των σπόρων των σιτηρών είναι η διαφύλαξη της ποιότητάς τους, συμπεριλαμβανομένης της διατροφής αξίας τους, ώστε να βρίσκονται σε καλή κατάσταση για την εμπορία και την επεξεργασία τους (Mahapatra & Lan, 2007). Οι σπόροι των σιτηρών είναι ζωντανοί οργανισμοί και ως εκ τούτου θα πρέπει να αποθηκεύονται καταλλήλως. Ένας σπόρος είναι φυσιολογικά αρκετά σταθερός μετά τη συγκομιδή και αυτή η σταθερότητα καθώς και η βιωσιμότητά του θα πρέπει να διατηρηθεί με μια καλή μέθοδο αποθηκείσεως. Ωστόσο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, οι αποθηκευμένοι σπόροι από μόνοι τους υποβάλλονται σε χημικές αλλαγές. Περαιτέρω αλλοίωση προκαλείται από

εξωτερικούς ζώντες οργανισμούς, όπως είναι τα έντομα, οι μύκητες, τα ακάρεα και τα τρωκτικά. Γενικώς, η αποθήκευση των σπόρων αποτελεί ένα σύστημα στο οποίο η φθορά προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των φυσικών, χημικών, φυσιολογικών και βιολογικών μεταβλητών. Μερικές από τις μεταβλητές αυτές είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, το οξυγόνο, η δομή της αποθήκης, οι φυσικές, οι χημικές και οι βιολογικές ιδιότητες των σπόρων, οι μικροοργανισμοί, τα έντομα, τα ακάρεα, τα τρωκτικά και τα πτηνά (Chakraverty & Singh, 2014). Αρχικώς, ο ρυθμός της υποβαθμίσεως των σπόρων είναι αργός, αλλά καθώς ο συνδυασμός των μεταβλητών γίνεται ευνοϊκός και η περίοδος της αποθηκείσεως παρατείνεται, εμφανίζεται μία μεγάλη απώλεια της ποιότητας και της ποσότητας των σπόρων. Επομένως, ο ρόλος της αποθηκείσεως είναι πολύ σημαντικός, καθώς τα πρότυπα της ποιότητας των σπόρων σε σχέση με τα παράσιτα, τα παρασιτοκτόνα και με άλλες αλλοιώσεις που υφίστανται κατά την αποθήκευση, έχουν γίνει αυστηρά στις εθνικές και στις διεθνείς αγορές. Συνεπώς, για να διατηρηθεί η ποιότητα των σπόρων κατά την αποθήκευση και να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητάς τους, θα πρέπει να είναι απαλλαγμένοι από εντομολογικές και μυκητολογικές προσβολές και να αποθηκεύονται στις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Η αποθήκευση των σπόρων, είναι ένα σημαντικό μετασυλλεκτικό στάδιο των σιτηρών και αποτελεί μια συνεχιζόμενη πρόκληση τόσο για τις βιομηχανοποιημένες όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες (Rajendran, 2003).

Πίνακας 1. Ισοζύγιο σιτηρών για τα εμπορικά έτη 2015 – 2016 και 2016 – 2017 (minagric.gr, 2016, 2017).

	Μαλακό σιτάρι	Κριθάρι	Σκληρό σιτάρι	Αραβόσιτος	Σίκαλη	Σόργο	Βρώμη	Τριτικάλε	Λοιπά	ΣΥΝΟΛΟ ΣΙΤΗΡΩΝ
2015-2016										
Αρχικά αποθέματα (τόνοι)	80.000	6.000	80.000	170.000	2.500	800	5.000	2.500	1.500	348.300
Εισαγωγές (Σύνολο) (τόνοι)	907.773	105.715	181.248	484.123	1.349	552	10.328	84	15.183	1.706.355
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ (τόνοι)	1.340.748	465.601	1.046.905	2.196.427	26.823	11.626	98.386	34.573	17.322	5.238.411
Εγχώρια χρήση (τόνοι)										
Ανθρώπινη κατανάλωση	615.000	5.000	671.000	5.000	3.000	100	500	200	300	1.300.100
Σπόρος	30.969	30.822	66.450	30.409	3.143	572	19.203	3.778	47	185.393
Βιομηχανική χρήση		63.444								
Ζωοτροφή	595.000	357.000	20.000	1.952.000	18.000	10.500	73.000	28.500	15.000	3.069.000
Απώλειες	7.600	3.040	4.250	13.110	345		740	290	130	29.505
Συνολική Εγχώρια χρήση (τόνοι)	1.248.569	459.306	761.700	2.000.519	24.488	11.172	93.443	32.768	15.477	4.647.442
Εξαγωγές (Σύνολο) (τόνοι)	11.607	748	205.528	25.685	71	21	48	28	80	243.817
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	1.260.176	460.055	967.229	2.026.205	24.559	11.193	93.490	32.796	15.557	4.891.259
Τελικά αποθέματα** (τόνοι)	80.572	5.546	79.676	170.222	2.264	433	4.896	1.777	1.765	347.152
2016-2017										
Αρχικά αποθέματα (τόνοι)	80.572	5.546	79.676	170.222	2.264	433	4.896	1.777	1.765	347.151
Εισαγωγές (Σύνολο) (τόνοι)	915.729	157.659	167.036	674.686	741	320	9.627	378	17.565	1.943.740
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ (τόνοι)	1.467.867	526.121	1.368.340	2.291.917	31.531	7.179	132.512	49.966	20.013	5.895.445
Εγχώρια χρήση (τόνοι)										
Ανθρώπινη κατανάλωση	685.000	5.200	615.000	7.500	3.500	100	500	200	300	1.317.300
Σπόρος	29.883	26.549	77.472	27.832	2.952	549	19.194	4.160	52	188.643
Βιομηχανική χρήση		56.510								
Ζωοτροφή	600.000	380.000	0	2.050.000	22.000	6.000	105.000	42.500	18.000	3.223.500
Απώλειες	7.600	3.040	4.250	13.110	345		740	290	130	29.505
Συνολική Εγχώρια χρήση (τόνοι)	1.322.483	471.299	696.722	2.098.442	28.797	6.649	125.434	47.150	18.482	4.815.458
Εξαγωγές (Σύνολο) (τόνοι)	13.492	1.786	668.657	8.730	249	79	118	514	97	693.722
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	1.335.975	473.085	1.365.379	2.107.172	29.046	6.728	125.552	47.664	18.579	5.509.180
Τελικά αποθέματα** (τόνοι)	131.892	53.036	2.961	184.744	2.485	451	6.960	2.302	1.434	386.265

Κεφάλαιο 2

Τα κυριότερα αίτια που προκαλούν ζημιές στα γεωργικά προϊόντα κατά την διάρκεια της αποθηκεύσεώς τους

Οι επιβλαβείς οργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων των εντόμων και των ακάρεων μεταξύ των ασπόνδυλων, των πτηνών και των τρωκτικών μεταξύ των σπονδυλωτών, καθώς και οι μικροοργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων των μυκήτων, προκαλούν την καταστροφή των σιτηρών μέσα στις αποθήκες. Η αλληλεπίδραση όλων των ζημιογόνων οργανισμών στο οικοσύστημα της αποθήκης έχει ως αποτέλεσμα τις ποιοτικές, ποσοτικές και θρεπτικές απώλειες των αποθηκευμένων σιτηρών (Rajendran, 2003). Ωστόσο, μπορούν να προκληθούν ζημιές στους σπόρους κατά την διάρκεια της συγκομιδής και της μεταφοράς τους προς τον χώρο της αποθηκεύσεώς τους, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητα τους και να δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη προσβολών από τους επιβλαβείς οργανισμούς (Hill, 2003).

2.1. Ζωικοί εχθροί

Η τροφή και το ύδωρ είναι οι πιο προφανείς λόγοι για τους οποίους τα ζώα υπάρχουν γύρω από μια εγκατάσταση. Τα πεσμένα σιτηρά στο έδαφος ή άλλα προϊόντα διατροφής, καθώς και η ύπαρξη ύδατος τα προσελκύουν. Επιπλέον, τα ζώα έχοντας ικανοποιήσει τις βασικές ανάγκες τους για επιβίωση βρίσκοντας τροφή και ύδωρ, ψάχνουν και για καταφύγιο όπου μπορούν να αναπαραχθούν. Επομένως, μπορεί να βρουν ρωγμές ή κενά γύρω από την αποθήκη ή στο εσωτερικό της. Επιπροσθέτως, οι ανοικτές θύρες ή η κακή σφράγισή τους επιτρέπουν την είσοδο των ζώων μέσα στην εγκατάσταση. Τα κυριότερα ζώα εχθροί των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων είναι τα θηλαστικά και τα πτηνά (Kells, 2012).

2.1.1. Θηλαστικά

Τα πιο σημαντικά θηλαστικά εχθροί των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων είναι τα τρωκτικά τα οποία ανήκουν στην οικογένεια Muridae (ποντίκια)

(Hill, 2003). Τα τρωκτικά είναι ιδιαίτερα καταστροφικά, όχι μόνο για τα προϊόντα της αποθήκης με τα οποία τρέφονται, αλλά και για την ίδια την αποθήκη (Kumar, 2017). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τρωκτικά είναι πολύ καλοί αναρριχητές, μπορούν να κολυμπήσουν και να κάνουν άλματα και έτσι μπορούν να αποκτήσουν εύκολα πρόσβαση στις εγκαταστάσεις της αποθήκης από σημεία που δεν μπορεί να τα αντιληφθεί ο άνθρωπος (Golob, 2009).

Η ζημιά που προκαλούν κατά κύριο λόγο τα τρωκτικά είναι η κατανάλωση του προϊόντος, η μεταφορά εντόμων και ακάρεων στα προϊόντα, η μόλυνση που προκαλούν με τις τρίχες, τα κόπρανα και τα ούρα τους ενώ συμβάλουν στην εξάπλωση διαφόρων ασθενειών (πανούκλα, τύφος, σαλμονέλωση, τριχινέλωση κα.) (Rajendran, 2003). Συνήθως καταστρέφουν μεγαλύτερη ποσότητα προϊόντων από ό,τι πραγματικά χρειάζονται για να διατραφούν. Επιπλέον, δημιουργούν οπές στις συσκευασίες των προϊόντων τα οποία μεταφέρουν στις φωλιές τους (Golob, 2009).

Η πιο αποτελεσματική μέθοδος πρόληψης της προσβολής από τα τρωκτικά, είναι η διατήρηση της αποθήκης καθαρής και τακτοποιημένης, διότι τα τρωκτικά θα παραμείνουν στον χώρο μόνο εάν μπορούν εύκολα να βρουν τροφή και καταφύγιο. Επίσης διατηρώντας την περιοχή γύρω από την αποθήκη απαλλαγμένη από σκουπίδια, εξαλείφονται οι τοποθεσίες αναπαραγωγής των τρωκτικών (Golob, 2009).

2.1.2. Πτηνά

Οι μετασυλλεκτικές απώλειες των προϊόντων που οφείλονται στα πτηνά αποτελούν ένα μεγάλο ζήτημα ανησυχίας παγκοσμίως. Γενικώς, το πρόβλημα των πτηνών ξεκινάει από τον αγρό, στις ώριμες καλλιέργειες αλλά μπορούν να βλάψουν τους σπόρους στις αποθήκες ή σε οποιοσδήποτε δομές αποθηκεύσεως Τα πόδια και τα ράμφη των πτηνών είναι ιδιαίτερος τροποποιημένα ώστε να μπορούν να τρέφονται με διαφορετικούς τύπους προϊόντων. Πολλά πτηνά τα οποία τρέφονται με τα σιτηρά αποτελούν σημαντικούς εχθρούς των αποθηκευμένων προϊόντων σε διάφορες χώρες (Kumar, 2017).

Πολλά είδη πτηνών μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα μέσα και γύρω από τις εγκαταστάσεις μιας αποθήκης. Ένα πτηνό το οποίο βρίσκεται πλησίον της εγκαταστάσεως της αποθήκης, διερευνά την περιοχή για να βρει τροφή, ύδωρ και τοποθεσία για να κατασκευάσει την φωλιά του. Βρίσκοντας αυτές τις πηγές, το πτηνό μπορεί να καλέσει και άλλα πτηνά στην περιοχή προς σύζευξη). Καθώς τα πτηνά

μαθαίνουν για την εγκατάσταση, οι αριθμοί τους αυξάνονται και υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εισέλθουν σε αυτή (Kells, 2012). Εκτός από την κατανάλωση των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων, τα πτηνά καταστρέφουν τις συσκευασίες τους προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση στην τροφή τους, προκαλώντας έτσι την διαρροή των προϊόντων στο πάτωμα της αποθήκης (Kumar, 2017). Εκτός από τις άμεσες απώλειες, μολύνουν τις εγκαταστάσεις της αποθήκης καθώς και τους σπόρους, με τα περιττώματα και τα φτερά τους και δρουν επίσης ως φορείς πολλών ειδών ακάρεων (Rajendran, 2003). Επιπροσθέτως, τα υλικά φωλεοποίησης των πτηνών λειτουργούν ως καταφύγια και μέρη αναπαραγωγής ορισμένων εντόμων των αποθηκευμένων σιτηρών. Τέλος, οι σπόροι που έχουν υποστεί βλάβη από τα πτηνά είναι πιο ευαίσθητοι στις μολύνσεις αρκετών μυκήτων των αποθηκών και επιπλέον, τα ίδια τα πτηνά μεταφέρουν σπόρια μυκήτων (Kumar, 2017).

2.2. Μύκητες και μυκοτοξίνες στα αποθηκευμένα προϊόντα

Κατά την διάρκεια της αποθηκεύσεως των σπόρων δημητριακών, οι μύκητες καταστρέφουν και μειώνουν τη βλαστική ικανότητά τους. Επίσης, υποβαθμίζουν την ποιότητα των σπόρων λόγω της δυσάρεστης οσμής που τους προσδίδουν, λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε λιπαρά οξέα και λόγω της μειωμένης περιεκτικότητας σε άμυλο και σάκχαρα. Η υπεροξειδωση των λιπιδίων είναι ένα άλλο φαινόμενο που προκαλεί την αλλοίωση των προϊόντων και μεταβάλλει τη γεύση και το άρωμά τους, καθώς επίσης μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία (Kumar *et al.*, 2007). Ωστόσο, μεταξύ των 70.000 καταγεγραμμένων ειδών μυκήτων, λίγα είδη σχετίζονται με την προσβολή των αποθηκευμένων σπόρων (Kumar, 2017).

Οι ασθένειες που προκαλούνται από τους μύκητες μπορεί να είναι εξαιρετικώς επικίνδυνες καθώς ορισμένα είδη μυκήτων παράγουν μυκοτοξίνες κατά την ανάπτυξή τους (Reddy & Nusrath, 1988, Latus *et al.*, 1995, Miller, 1995, Birzele & Prange 2003, Magan *et al.*, 2010, Mylona *et al.*, 2012). Συγκεκριμένως, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων και για το λόγο αυτό εφαρμόζονται αυστηροί κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αποφυγή της εισαγωγής τροφίμων και ζωοτροφών που έχουν μολυνθεί με μυκοτοξίνες κατά την επεξεργασία τους (European Commission, 2006a, b, 2007, 2010a, b, Choudhary & Kumari, 2010, Codex Alimentarius Commission, 2014). Επιπροσθέτως, οι μυκοτοξίνες είναι εξαιρετικώς σταθερές ενώσεις οι οποίες δεν

καταστρέφονται μέσω της επεξεργασίας των τροφίμων και ο μόνος τρόπος για την αποφυγή τους είναι η πρόληψη της αναπτύξεως των μυκήτων (Sallam, 2013).

Οι μυκοτοξίνες μπορούν να σχηματιστούν στον αγρό κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ωστόσο, μπορούν να παράγονται και να αυξάνει η συγκέντρωσή τους στα γεωργικά προϊόντα κατά τη συγκομιδή, την ξήρανση και την αποθήκευση, λόγω των ανεπαρκών γεωργικών πρακτικών (Wild *et al.*, 2015). Οι κύριοι παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων και τη βιοσύνθεση των μυκοτοξινών τους στους αποθηκευμένους σπόρους είναι η υψηλή υγρασία των σπόρων (16 - 30%), η θερμοκρασία (25 - 32 °C) και η σχετική υγρασία (80 - 100%) (Shanahan *et al.*, 2003).

Οι μυκοτοξίνες που προκαλούν μεγάλη ανησυχία για την ανθρώπινη υγεία παράγονται από τρία γένη μυκήτων: *Aspergillus*, *Fusarium* και *Penicillium*. Οι κύριες κατηγορίες μυκοτοξινών είναι οι αφατοξίνες (alfatoxins), τα τριχοθυκένια (trichothecenes), οι φουμονισίνες (fumonisins), η ζεαραλενόνη (zearalenone) και η ωχρατοξίνη (ochratoxin) (Neme & Mohammed, 2017). Για παράδειγμα, οι αφατοξίνες, παράγονται από τα είδη *Aspergillus flavus* Link και *Aspergillus parasiticus* Spreare, θεωρούνται η πιο επικίνδυνη ομάδα μυκοτοξινών, καθώς αυξάνουν τον κίνδυνο καρκίνου του ήπατος και επιπροσθέτως, επηρεάζουν την ανάπτυξη των παιδιών (Turner *et al.*, 2005, Suleiman & Kurt, 2016). Μπορούν να μολύνουν πολλά τρόφιμα, ιδιαιτέρως υπό ορισμένες συνθήκες (ξηρός καιρός κοντά στην καλλιέργεια, υψηλή υγρασία κατά τη συγκομιδή, ανεπαρκής ξήρανση και αποθήκευση των καλλιεργειών) (PACA, 2012). Επίσης, οι ωχρατοξίνες παράγονται κυρίως από τα είδη των γενών *Aspergillus* και *Penicillium* (*Aspergillus ochraceus* Wilhelm και *Penicillium verrucosum* Dierckx), με την ωχρατοξίνη A ως την πλέον διαδεδομένη μυκοτοξίνη (Richard *et al.*, 2003, Channaiah, 2011). Η μόλυνση από τα είδη των γενών *Aspergillus* και *Penicillium* εμφανίζονται κυρίως μετασυλλεκτικώς, κατά το στάδιο της αποθηκείσεως (Channaiah, 2011).

2.3. Ακάρεα

Τα ακάρεα των αποθηκευμένων προϊόντων είναι σημαντικά παράσιτα τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές απώλειες και υποβάθμιση, σε πολλούς τύπους αποθηκευμένων προϊόντων, όπως αλεύρα, σπόροι, βολβοί, βότανα, αποξηραμένα φρούτα, κρέας ή ψάρια (Solomon, 1946, Hughes, 1976, Žd' árkoná &

Reška, 1976, Hill, 2003, Hubert *et al.*, 2003, Sánchez Ramos *et al.*, 2007, Pekar & Hubert, 2008, Hubert, 2012). Στους αποθηκευμένους σπόρους και στα προϊόντα τους προκαλούν άμεση και έμμεση ζημιά αυξάνοντας την υγρασία τους και παράγοντας θερμότητα η οποία ευνοεί την ανάπτυξη μυκήτων. Επίσης, οι σπόροι οι οποίοι έχουν προσβληθεί από ακάρεα υποβάλλονται σε μια σειρά αλλαγών στη χημική σύνθεσή τους με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η βλαστική ικανότητά τους (Kumar, 2017).

Εκτός από τις ζημιές που προκαλούν στα αποθηκευμένα προϊόντα, έχουν μεγάλη σημασία για τη δημόσια υγεία (Hubert, 2012), διότι παράγουν πολλά αλλεργιογόνα τα οποία επηρεάζουν αρνητικώς την υγεία του ανθρώπου, προκαλώντας αναπνευστικά συμπτώματα και αναφυλαξία (Holgate, 1999, Edston & Van Hage Hamsten, 2003, Hubert, 2012). Τα αλλεργιογόνα υπάρχουν στα σώματα είτε των ζωντανών είτε των νεκρών ακάρεων, στα τμήματα του σώματος ή στα περιττώματά τους, γεγονός το οποίο αυξάνει τον κίνδυνο της μόλυνσης των αποθηκευμένων προϊόντων (Tovey *et al.*, 1981, Arlian *et al.*, 1997, Hubert, 2012). Επιπροσθέτως, τα ακάρεα των αποθηκευμένων προϊόντων τρέφονται με μύκητες και μπορούν να μεταφέρουν και να διαδίδουν διάφορα είδη μυκήτων στα προϊόντα που προσβάλλουν, μέσω των σπορίων των μυκήτων τα οποία έχουν προσκολληθεί στο σώμα τους ή μέσω των περιττωμάτων τους, αυξάνοντας την πιθανότητα μόλυνσης από μυκοτοξίνες (Sinha & Mills, 1968, Sinha, 1979, Duek *et al.*, 2001; Hubert, 2012, Hubert *et al.*, 2013).

Τα σημαντικότερα είδη ακάρεων των αποθηκευμένων προϊόντων παγκοσμίως είναι το *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk) (Sarcoptiformes: Acaridae) και το *Acarus siro* L. (Sarcoptiformes: Acaridae), τα οποία μπορούν να βρεθούν σε ευρεία ποικιλία προϊόντων τόσο φυτικής όσο και ζωικής προέλευσης (McClymont Peace, 1983, Thind & Clarke, 2001, Hill, 2003, García, 2004). Επίσης, τα είδη αυτά περιλαμβάνονται στον κατάλογο των αλλεργιογόνων που σχετίζονται με τα αρθρόποδα των αποθηκευμένων προϊόντων που έχει εκδοθεί από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization, WHO) και της Διεθνούς Ένωσης Ανοσολογικών Εταιρειών (International Union of Immunological Societies, IUIS) Υποεπιτροπή Ονοματολογίας Αλλεργιογόνων Ουσιών (Hubert, 2012).

2.3.1. Τα σημαντικότερα είδη ακάρεων των αποθηκών

***Acarus siro* (L.) (Sarcoptiformes: Acaridae) (Ακαρι των αλεύρων)**

Είναι ένα σοβαρό και κοσμοπολιτικό είδος, το οποίο προσβάλλει όλους τους τύπους των ξηρών αλευρωδών προϊόντων, τα δημητριακά, το σανό, το τυρί, τα ιχθυάλευρα, τον λιναρόσπορο και άλλα προϊόντα. Προκαλεί άμεση ζημιά με την κατανάλωση του προϊόντος και προσβάλλει κυρίως τους κατεστραμμένους σπόρους. Δείχνει ιδιαίτερη προτίμηση στο ενδοσπέρμιο των σπόρων, καταστρέφοντας έτσι την βλαστική ικανότητα και συνεπώς, υποβαθμίζει την θρεπτική αξία των σπόρων. Επιπροσθέτως, όταν το ακάρι βρίσκεται στο αλεύρι μπορεί να προκαλέσει δερματικό ερεθισμό (Hill, 2003).

Τα ακμαία άτομα έχουν χρώμα μαργαριτώδες λευκό με ελαφρώς ροδόχρους πόδες και με μήκος σώματος 0,3 - 0,4 mm. Με γυμνό οφθαλμό, τα ακμαία μοιάζουν με στίγματα σκόνης. Τα θήλεα γεννούν περίπου 200 - 300 ωά επί των προϊόντων, τα οποία είναι σχετικώς μεγάλα σε μέγεθος. Οι εκκολαφθείσες προνύμφες φέρουν τρία ζεύγη ποδών, όπου μετά από ένα στάδιο ηρεμίας εξέρχεται η πρωτονύμφη, η οποία φέρει τέσσερα ζεύγη ποδών, στη συνέχεια εξέρχεται η δευτερονύμφη και ακολούθως το ακμαίο (Hill, 2003). Σε ευνοϊκές συνθήκες πολλαπλασιάζεται ταχέως. Οι βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξή του είναι οι 25 - 27 °C και 80 - 90 % ΣΥ και ο βιολογικός κύκλος του μπορεί να ολοκληρωθεί σε 8 - 12 ημέρες (Kumar, 2017) ωστόσο μπορεί να επιβιώσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (έως 3 °C) (Hill, 2003).

***Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Sarcoptiformes: Acaridae) (άκαρι της μούχλας)**

Είναι κοσμοπολίτικο είδος; το οποίο έχει βρεθεί σε τρόφιμα πλούσια σε λίπος και πρωτεΐνες όπως: τυρί, μπέικον, φιστίκια, αποξηραμένοι καρποί κακάο, ιχθυάλευρα, καπνό, λιναρόσπορο, αποξηραμένα ωά, άλευρα, σε ορισμένα δημητριακά, σε αποξηραμένα φρούτα και σε φαρμακευτικά βότανα. Επίσης, τρέφεται και με ωά εντόμων (Hill, 2003). Οι βέλτιστες συνθήκες αναπτύξεώς του είναι περίπου οι 23 °C και 80 - 90% ΣΥ (Kumar, 2017). Τα θήλεα γενούν έως 500 ωά. Ο χρόνος αναπτύξεως μιας γενιάς ποικίλλει από 9,5 - 130 ημέρες αναλόγως των περιβαλλοντικών συνθηκών. Τα ακμαία ζουν για περίπου 2 - 5 μήνες, και μπορεί να αντέξουν χωρίς τροφή για τουλάχιστον 2 μήνες (περισσότερο σε χαμηλότερες θερμοκρασίες) (Hill, 2003).

2.4. Έντομα

Τα έντομα αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες απειλές για την διατήρηση της ποιότητας των σπόρων κατά την αποθήκευση, καταναλώνοντας και μολύνοντας τους. Υπάρχουν πάνω από 100 είδη εντόμων τα οποία προσβάλλουν τους αποθηκευμένους σπόρους των σιτηρών, τα περισσότερα από αυτά ανήκουν στην Τάξη Coleoptera, ακολουθούν αυτά που ανήκουν στην Τάξη Lepidoptera και τέλος αυτά που ανήκουν στην Τάξη Psocoptera. Μόνο οι προνύμφες των λεπιδοπτέρων είναι καταστροφικές, καθώς τα ακμαία δεν τρέφονται και είναι βραχύβια. Στην περίπτωση των κολεοπτέρων, εκτός από τις προνύμφες, τα ακμαία είναι συνήθως μακρόβια και προκαλούν ζημιές στους σπόρους μέσω της διατροφής και της ωτοκίας τους (Rajendran, 2003).

Η κίνηση των εντόμων εντός της μάζας των σπόρων των σιτηρών προσδιορίζεται από τις εποχιακές συνθήκες και την θερμοκρασία των σπόρων. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου, η προσβολή των εντόμων ανιχνεύεται στην επιφάνεια των σπόρων και καταναμώμενα σε ομάδες σε όλη την μάζα των σπόρων. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, τα έντομα συγκεντρώνονται στο κέντρο και στα κατώτερα τμήματα του σωρού των σπόρων και μπορεί να μην γίνει αντιληπτή η ύπαρξή τους μέχρι να αυξηθεί ο αριθμός τους. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες τα έντομα δεν κινούνται και είναι πιθανό να μην ανιχνευτούν σε μία τυχαία δειγματοληψία (Mason & MacDonough, 2012).

Τα έντομα μολύνουν τους σπόρους με τα απεκκρίματά τους τα οποία περιέχουν ουρικό οξύ, τα εκδύματα των προνυμφών, τα τμήματα των νεκρών εντόμων ή ολόκληρα νεκρά άτομα και με τα μετάξινα νημάτια που δημιουργούνται από τις προνύμφες των λεπιδοπτέρων. Η μόλυνση των αποθηκευμένων σπόρων από τα έντομα μειώνει την εμπορική αξία τους ενώ συχνώς έχει ως αποτέλεσμα την απόρριψη των προϊόντων πριν φθάσουν στην αγορά. Επιπροσθέτως, τα έντομα διαδραματίζουν ενεργό ρόλο στη διάδοση των μυκήτων που βρίσκονται στις αποθήκες. Η δραστηριότητα των εντόμων, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θερμότητας τοπικώς στον σωρό των σπόρων. Τα σημεία αυτά προκαλούν βαθμιαία μεταβολή της υγρασίας και της θερμοκρασίας στη μάζα των σπόρων η οποία ευνοεί την ανάπτυξη των μυκήτων και συνεπώς στην περαιτέρω υποβάθμιση της καταστάσεως των αποθηκευμένων σιτηρών (Salam, 2013).

Οι πληθυσμοί των εντόμων θα πρέπει να ελέγχονται πριν οι σπόροι καταστραφούν από τη διάτρηση ή τα φαγώματα των εντόμων και από την ανάπτυξη των μυκήτων. Οι σπόροι θα πρέπει να επιθεωρούνται κάθε 21 ημέρες όταν η θερμοκρασία τους υπερβαίνει τους 15 °C. Συσκευές παγιδεύσεως τύπου pitfall θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των εντόμων και θα πρέπει να καταγράφονται το είδος και ο αριθμός τους. Επίσης, θα πρέπει να παρακολουθείται η θερμοκρασία των σπόρων. Ο αριθμός των εντόμων σε κάθε παγίδα θα πρέπει να καταγράφεται και να δημιουργούνται διαγράμματα για την παρακολούθηση των αλλαγών της πυκνότητας του πληθυσμού. Οι σπόροι μπορούν να ελέγχονται για τυχόν προσβολές από έντομα με διαλογή ή κοσκίνισμα, παρατηρώντας τους σπόρους για την ύπαρξη νηματίων και ανιχνεύοντας τις τυχόν δυσάρεστες οσμές (Mason & MacDonough, 2012).

Μερικά έντομα αναπτύσσονται στο εσωτερικό των σπόρων, τρεφόμενα με το ενδοσπέρμιο και εξέρχονται από αυτούς τα ακμαία άτομα δημιουργώντας οπές. Ολόκληρος ο κύκλος ζωής του εντόμου (ωό, προνύμφη και νύμφη) ή μέρος του λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό του σπόρου και το έντομο μπορεί να επιβιώσει μόνο όταν υπάρχουν ολόκληροι σπόροι. Αυτά τα έντομα είναι γνωστά ως πρωτεύοντες εχθροί. Άλλα είδη εντόμων αναπτύσσονται σε σπασμένους σπόρους και στην σκόνη τους, οι οποίοι μπορεί να καταστραφούν κατά την συγκομιδή. Επίσης, μπορούν να προσβάλουν σπόρους οι οποίοι έχουν καταστραφεί από άλλα έντομα πρωτεύοντες εχθρούς. Αυτά τα είδη εντόμων είναι γνωστά ως δευτερεύοντες εχθροί (Hill, 2003, Mason & MacDonough, 2012).

Η επόμενη κατηγορία εντόμων των αποθηκών είναι τα έντομα που τρέφονται με τους μύκητες τα οποία, αν και είναι τρεφόμενα εξωτερικώς των σπόρων, δεν καταστρέφουν άμεσα τους σπόρους μέσω της σίτισης. Αυτά τα έντομα μολύνουν την μάζα των σπόρων μέσω της παρουσίας τους και της μεταβολικής δράσεώς τους. Επιπροσθέτως, μπορούν να μειώσουν σημαντικώς την ποιότητα των σπόρων μέσω των μεταβολικών εκκρίσεών τους καθώς και με τα τμήματα των σωμάτων τους (Mason & MacDonough, 2012, Salam, 2013). Τα είδη των εντόμων δημιουργούν διαφορετικούς τύπους προσβολών και έχουν διαφορετικές περιόδους δραστηριότητας. Η αναγνώριση του είδους είναι το πρώτο βήμα στην κατανόηση και τον έλεγχο των προβλημάτων που δημιουργούν. Η γνώση της βιολογίας των εντόμων είναι απαραίτητη για τα προγράμματα ολοκληρωμένης διαχείρισης των επιβλαβών οργανισμών (Mason & MacDonough, 2012).

2.4.1. Τα σημαντικότερα είδη εντόμων των αποθηκών

Όπως προαναφέρθηκε, δύο μεγάλες τάξεις εντόμων περιλαμβάνουν τα σημαντικότερα είδη τα οποία προσβάλουν τα αποθηκευμένα γεωργικά προϊόντα: η τάξη Coleoptera και η τάξη Lepidoptera. Διάφορα είδη κολεοπτέρων και λεπιδοπτέρων προσβάλουν τα δημητριακά τόσο στον αγρό όσο και στην αποθήκη. Οι καταστροφές των σπόρων από τα λεπιδόπτερα προκαλούνται μόνο από τις προνύμφες. Πολλές προνύμφες των λεπιδοπτέρων εκκρίνουν μετάξινα νήματα τα οποία καλύπτουν την επιφάνεια των προσβεβλημένων προϊόντων με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συσσωματώματα και να υποβαθμίζεται η ποιότητά τους. Στην περίπτωση των κολεοπτέρων, οι προνύμφες και τα ακμαία τρέφονται με τους προσβεβλημένους σπόρους και τα δύο αυτά στάδια είναι υπεύθυνα για την καταστροφή και υποβάθμιση των προϊόντων. Τα έντομα που προσβάλλουν τα προϊόντα μετασυλλεκτικώς, μπορεί να είναι πρωτεύοντες εχθροί, δηλαδή μπορούν να προσβάλλουν άθικτους και ακέραιους σπόρους, όπως το γένος *Sitophilus*, ενώ άλλα είναι δευτερεύοντες εχθροί και επιτίθενται σε ήδη κατεστραμμένους ή προσβεβλημένους σπόρους από άλλα είδη εντόμων, όπως το γένος *Tribolium* (Salam, 2013). Η τάξη Psocoptera περιλαμβάνει και αυτή είδη τα οποία προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα. Τα ψωκόπτερα θεωρούνταν ενοχλητικά έντομα τα οποία εντοπίζονται συχνώς σε βιβλία και σε στοίβες χαρτιών (από όπου και προέρχεται η κοινή ονομασία τους booklice) ή στις αποθήκες τροφίμων. Η αντίληψη περί των ψωκοπτέρων ως ανερχομένων εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων αυτών άρχισε να αλλάζει διεθνώς περί τα τέλη της δεκαετίας του 1980, καθώς οι πρώτες αναφορές μεγάλων μολύνσεων σε αποθηκευμένους σπόρους καταγράφησαν στη Δυτική Αφρική και στη Νοτιοανατολική Ασία (Nayak *et al.*, 2014).

2.4.1.1. Τάξη Coleoptera

2.4.1.1.1 Οικογένεια Anobiidae

Τα είδη της οικογένειας απαντώνται κυρίως στις τροπικές περιοχές. Είναι μικρά ωσειδή σκαθάρια, με οριζόντιες κεραίες και με κεφαλή κρυμμένη κάτω από τον προθώρακα. Τα περισσότερα είδη είναι ξυλοφάγα. Οι προνύμφες έχουν τρία ζεύγη θωρακικών ποδών με λεπτές ακανθώδεις προεκβολές τμηματικώς στον θώρακα και

στην κοιλία. Αρκετά είδη μπορεί να προσβάλουν τα δομικά ξύλα των αποθηκών και δύο είδη αποτελούν σημαντικούς εχθρούς των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων (Hill, 2003).

***Lasioderma serricorne* (F.)**

Είναι ένα κοσμοπολιτικό είδος και σοβαρός εχθρός στα θερμά μέρη του κόσμου. Είναι το πιο καταστρεπτικό έντομο του αποθηκευμένου καπνού ενώ προσβάλλει ευρύ φάσμα αποξηραμένων προϊόντων ζωικής ή φυτικής προελεύσεως. Τα προϊόντα που έχουν αναφερθεί ως υλικά αναπαραγωγής ή διατροφής του *L. serricorne* περιλαμβάνουν σπόρους καπνού, αποξηραμένα σύκα, αποξηραμένες ρίζες και μπαχαρικά, μαγιά, αποξηραμένους χουρμάδες, άμυλο, πίτουρο, μελαντόνα, αποξηραμένα ψάρια, σκόνη πύρεθρου (pyrethrum powder), αποξηραμένο βαμβάκι, σπόρους βαμβακιού, σκυλοτροφή, αμύγδαλα και την πάστα βιβλιοδεσίας (Runner, 1919, Howe, 1957, Singh *et al.*, 1977, Yokoyama & Mackey, 1987). Οι προνύμφες του εντόμου προκαλούν άμεση βλάβη των προϊόντων ενώ παράγεται άφθονη σκόνη. Τα ακμαία δημιουργούν οπές για να εισχωρήσουν ή να διαφύγουν από τα συσκευασμένα προϊόντα, όμως τρέφονται σπανίως. Τα θήλεα γεννούν περίπου 100 ωά τα οποία εναποθέτουν επί των προϊόντων. Οι νεαρές προνύμφες είναι λίαν δραστήριες, αλλά γίνονται αργές καθώς μεγαλώνουν διερχόμενες μεταξύ 4 και 6 προνυμφικών σταδίων. Η ανάπτυξη της προνύμφης σε ένα σωστό ενδιαίτημα διαρκεί από 17 έως 30 ημέρες. Η νύμφωση διαρκεί από 3 έως 10 ημέρες και ακολουθείται από μια περίοδο ωριμάνσεως (3 - 10 ημέρες) πριν από την εμφάνιση του ακμαίου (Hill, 2003). Τα ακμαία είναι μικρά (2-4 mm), ερυθροκαστανά, με κεφαλή ευρέως κρυμμένη κάτω από το επιθωράκιο και οι κεραίες είναι πριονοειδείς αποτελούμενες από 11 τμήματα (Edde *et al.* 2012). Τα ακμαία ζουν από 2 έως 6 εβδομάδες και ίπτανται κυρίως τη νύχτα. Ο βιολογικός κύκλος του εντόμου ολοκληρώνεται εντός 26 ημερών στους 37 °C, αλλά μπορεί να διαρκέσει 120 ημέρες στους 20 °C και 70% ΣΥ. Στους 17 °C, έχει καταγραφεί ότι η ανάπτυξή του σταματά και στους 4 °C τα ακμαία θανατώνονται μετά από 6 ημέρες (Hill, 2003).

***Stegobium paniceum* (L.)**

Το είδος αυτό απαντάται συχνώς σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, στις αποθήκες σιτηρών, σε μουσεία, σε οικείες και στις φωλιές των πτηνών και των εντόμων (Trematerra & Sciarretta, 2003, Stejskal *et al.*, 2003). Προσβάλλει ευρύ φάσμα

αποξηραμένων τροφίμων, όπως αλεύρι, αποξηραμένο ψωμί, μπισκότα, σοκολάτα, σιτηρά, ζωοτροφές,, μπαχαρικά, και μη διατροφικά υλικά ζωικής προελεύσεως (π.χ. δέρμα, μαλλί) (Hagstrum & Subramanyam, 2009). Γενικώς, είναι σημαντικός εχθρός σε ψυχρότερα μέρη εν συγκρίσει με το *L. serricorne*. Προκαλεί ως επί το πλείστον άμεση απώλεια της παραγωγής μέσω της διατροφής. Τα θήλεα γεννούν έως 75 ωά και ζουν από 13 έως 65 ημέρες. Τα ακμαία είναι παρόμοια σε εμφάνιση με το *L. serricorne*. Το *S. paniceum* μπορεί να διακριθεί από το *L. serricorne* από δύο χαρακτηριστικά. Οι κεραίες του *L. serricorne* είναι πριονοειδείς, ενώ στο *S. paniceum*, τα τρία τελευταία άρθρα της κεραίας σχηματίζουν ένα μεγάλο και χαλαρό κατά διαστήματα ρόπαλο. Η δεύτερη διαφορά είναι ότι το έλυτρα του *S. paniceum* έχουν διαμήκεις σειρές από κοιλώματα που δίνουν μία γραμμωτή εμφάνιση, ενώ τα έλυτρα του *L. serricorne* είναι ομαλά. Οι προνύμφες *S. paniceum* είναι επίσης παρόμοιες με τις προνύμφες *L. serricorne*, αλλά οι πρώτες έχουν μικρότερες τρίχες και η κεφαλή τελειώνει σε μία ευθεία γραμμή κατά μήκος των άκρων ακριβώς πάνω από τα στοματικά μόρια. Οι προνύμφες συνήθως λαμβάνουν μια καμπύλη θέση όταν τρέφονται. Η νύμφη είναι επίσης παρόμοια σε σχήμα με το *L. serricorne*, αλλά αναλογικώς πολύ πιο λεπτή (Edde *et al.*, 2012). Τα ακμαία *S. paniceum* δεν τρέφονται, εν αντιθέσει με τα ακμαία *L. serricorne* τα οποία τρέφονται (Lefkovitch & Currie, 1967). Μπορεί να εμφανίσει τέσσερις ή πέντε γενεές ανά έτος στις θερμότερες περιοχές ή στα θερμαινόμενα κτίρια των ευκράτων χωρών (Edde *et al.*, 2012). Οι βέλτιστες συνθήκες αναπτύξεως του εντόμου είναι οι 30 °C και 60 - 90% ΣΥ, όπου ο βιολογικός κύκλος του ολοκληρώνεται σε 40 ημέρες περίπου (Lefkovitch, 1967).

2.4.1.1.2. Οικογένεια Bostrychidae

Τα μέλη αυτής της οικογένειας είναι επιμήκη, με κυλινδρικό σώμα, καφέ ή μαύρου χρώματος και το κεφάλι τους κάμπτεται προς τον θώρακα. Τα περισσότερα από τα είδη αυτά προσβάλλουν τα ξύλα ή τις ρίζες. Αυτή η οικογένεια περιέχει δύο σοβαρούς εχθρούς των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων: το *Rhyzopertha dominica* (F.) και το *Prostephanus truncatus* (Horn) (Hill, 2003).

***Rhyzopertha dominica* (F.)**

Είναι ένας σοβαρός πρωτεύων εχθρός των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων παγκοσμίως, αλλά έχει βρεθεί ότι προσβάλλει και τα ώριμα δημητριακά

στον αγρό (Hill, 2003). Τρέφεται με σπόρους και γεννά τα ωά του στην επιφάνειά τους. Τα θήλεα ωοτοκούν επί τέσσερις μήνες και είναι σε θέση να γεννήσουν μέχρι 500 ωά στους 34 °C. Οι προνύμφες τρέφονται είτε εξωτερικώς είτε εσωτερικώς του σπόρου και η νύμφωση πραγματοποιείται στο εσωτερικό του φαγωμένου σπόρου. Τόσο τα ακμαία όσο και οι προνύμφες καταναλώνουν το ενδοσπέρμιο αφήνοντας τους φαγωμένους σπόρους σκονισμένους. Η σκόνη μπορεί να συσσωρευτεί στους τοίχους των αποθηκών αποτελούσα γνώρισμα το οποίο υποδεικνύει υψηλή προσβολή από το έντομο (Sallam, 2013). Τα ακμαία έχουν μικρό μέγεθος (2 - 3 mm), είναι αδηφάγα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ίπτανται. Ωστόσο, οι χρόνοι πτήσεως επηρεάζονται από την εποχή και από τις συνθήκες του φωτός (Potter, 1935). Για παράδειγμα, η μέγιστη δραστηριότητα πτήσεως απαντάται κατά τη διάρκεια του Μαΐου και επαναλαμβάνεται από τον Σεπτέμβριο μέχρι τον Οκτώβριο (Toews *et al.*, 2006).

***Prostephanus truncatus* (Horn)**

Το *P. truncatus* είναι σοβαρός εχθρός του αποθηκευμένου αραβοσίτου και των αποξηραμένων κονδύλων κασάβας στην Αφρική (Hill 2003, Muatinte *et al.*, 2014). Μπορεί να βλάψει ευρύ φάσμα δημητριακών και σπόρων, αλλά μπορεί να αναπαραχθεί μόνο στον αραβόσιτο και στην κασάβα (Hill, 2003). Επιπλέον, το είδος αυτό μπορεί να βρίσκεται σε μεγάλους αριθμούς έξω από το οικοσύστημα της αποθήκης, όπως για παράδειγμα σε δάση, όπου τρέφεται με το ξύλο, όπως στην περίπτωση των περισσότερων μελών της οικογένειας Bostrychidae (Borgemeister *et al.*, 1998, Hill *et al.*, 2002, Muatinte *et al.*, 2014), ενώ είναι ιδιαιτέρως άφθονο στον αραβόσιτο πριν από τη συγκομιδή (Hill *et al.*, 2002).

Τα ακμαία τρυπούν τους σπόρους του αραβοσίτου και παράγουν μεγάλες ποσότητες σκόνης. Τα ωά τοποθετούνται σε βραχείες σήραγγες μέσα στους σπόρους που βρίσκονται στην αποθήκη. Τα θήλεα γεννούν 50 - 200 ή και περισσότερα ωά σε διάστημα 12 - 14 ημερών. Η εκκόλαψη πραγματοποιείται μετά από 3 - 7 ημέρες στους 27 °C ή μετά από 4 ημέρες στους 32 °C. Οι προνύμφες είναι λευκές με ευδιάκριτα τα μεγαλύτερα θωρακικά τμήματα. Οι πλήρως ανεπτυγμένες προνύμφες έχουν μέγεθος 4 mm και η ανάπτυξή τους διαρκεί περίπου 27 ημέρες στους 32 °C και 80% RH, όταν τρέφονται με σπόρους αραβοσίτου. Τα ακμαία έχουν μήκος 3 - 4 mm, σκούρο χρώμα, κυλινδρικό σχήμα σώματος και ίπτανται. Συνήθως ζουν μεταξύ 40 και 60 ημερών (Hill, 2003).

2.4.1.3. Οικογένεια **Bruchidae**

Πρόκειται για οικογένεια εντόμων με τροπική προέλευση. Τα ακμαία έχουν μικρά έλυτρα τα οποία δεν καλύπτουν πλήρως την κοιλιακή χώρα, είναι βραχύβια και λαμβάνουν λίγη ή καθόλου τροφή, αλλά προσλαμβάνουν ύδωρ και νέκταρ (Hill, 2003). Οι προνύμφες των περισσότερων ειδών αναπτύσσονται σε σπόρους οσπρίων, συμπεριλαμβανομένων των νωπών και αποθηκευμένων προϊόντων όπως τα φασόλια, τα μπιζέλια και οι φακές (Anton *et al.*, 1997).

***Acanthoscelides obtectus* (Say)**

Είναι σοβαρός εχθρός των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων, έχει προσαρμοστεί να ζει και να αναπαράγεται στις ξηρές συνθήκες που επικρατούν στις αποθήκες, ενώ η προσβολή μπορεί να ξεκινήσει από τον αγρό όταν τα θήλεα ωστοκούν στους λοβούς των ώριμων φασολιών (Hill, 2003). Οι προνύμφες έχουν μικρό μέγεθος, διαθέτουν ισχυρές γνάθους και τρέφονται εντός των σπόρων όπου ολοκληρώνουν την ανάπτυξή τους. Τα ακμαία εξέρχονται από τον σπόρο μέσω στρογγυλών οπών με διάμετρο περίπου 2 mm (Wendt, 1992). Έχουν γκριζο χρώμα και σχήμα σώματος επίμηκες, το οποίο καλύπτεται από κιτρινωπές σμήριγκες. Επιπροσθέτως, τα ακμαία ίπτανται αρκετά, αλλά συνήθως δεν τρέφονται και είναι βραχύβια. Τα θήλεα είναι σχεδόν διπλάσια σε μέγεθος από τα άρρενα και γεννούν κατά μέσο όρο 40 - 60 ωά. Το είδος αυτό προσβάλλει κυρίως τα φασόλια του γένους *Phaseolus*, αλλά και άλλα όσπρια εντός της αποθήκης. Οι βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη του εντόμου είναι οι 30 °C και 70% ΣΥ, αλλά η ανάπτυξή του θα προχωρήσει αργά σε θερμοκρασίες (18 °C) (Hill, 2003).

Ανάλογες προσβολές σε όσπρια προκαλούν τα συγγενή είδη:

***Bruchus pisorum* (L.)** (μπιζέλια)

***Bruchus rufimanus* Boheman** (κουκιά)

***Bruchus lentis* Frolich** (φακές)

2.4.1.4. Οικογένεια **Curculionidae**

Πρόκειται για μια μεγάλη ομάδα εντόμων η οποία περιλαμβάνει μερικούς από τους πιο σοβαρούς εχθρούς των καλλιεργειών και των αποθηκευμένων γεωργικών

προϊόντων. Τα μέλη αυτής της οικογενείας χαρακτηρίζονται από τη μορφή του ρύγχους (rostrum) το οποίο προεκτείνεται στα περισσότερα είδη (Sallam, 2013).

***Sitophilus oryzae* (L.) (Σκαθάρι του ρυζιού)**

Είναι ένας από τους πιο καταστροφικούς πρωτεύοντες εχθρούς των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων παγκοσμίως στις τροπικές και εύκρατες περιοχές (Hill, 2003). Προσβάλλει ευρύ φάσμα σπόρων δημητριακών όπως σιτάρι, αραβόσιτο, κριθάρι, σόργο, σίκαλη, βρώμη, φαγόπυρο, βαμβακόσπορο και ρύζι, ενώ έχει καταγραφεί ότι τρέφεται με φασόλια, ξηρούς καρπούς, μεταποιημένα δημητριακά, μακαρόνια, ζυμαρικά, κασάβα, κανναβούρι, καρύδια, τροφή κατοικίδιων ζώων και με το ινδικό καλαμπόκι (Mason & Donough, 2012). Προκαλεί άμεση καταστροφή των σπόρων των δημητριακών με την κατανάλωσή τους. Τα ακμαία άτομα ίπτανται και μπορούν να προσβάλουν τις καλλιέργειες από τον αγρό και να καταλήξουν μαζί με τους σπόρους στις αποθήκες (Hill, 2003).

Τα ακμαία έχουν σκούρο καστανό χρώμα με τέσσερις καστανές κηλίδες στα έλυτρα, με μήκος σώματος 2,4 - 4,5 mm, τρέφονται και μπορούν να ζήσουν από 4 έως 12 μήνες. Το θήλυ ανοίγει μια μικροσκοπική οπή στην επιφάνεια των σπόρων και εναποθετεί ένα ωό, σφραγίζοντας στην συνέχεια την οπή με μία ειδική κηρώδη έκκριση. Ένα θήλυ άτομο μπορεί να γεννήσει 150 - 300 ωά και η επώαση διαρκεί περίπου 6 ημέρες στους 25 °C. Η ωοτοκία πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ 15 και 35 °C και σε όλες τις περιεκτικότητες σε υγρασία των σπόρων που είναι πάνω από 10%. Τα θήλεα συνεχίζουν να ωοτοκούν για το μεγαλύτερο διάστημα της μακράς ζωής τους. Η προνύμφη είναι λευκή, άποδη, τρέφεται εσωτερικώς του σπόρου, ορύσσοντας μια σήραγγα, και διέρχεται μέσω 4 σταδίων σε περίπου 25 ημέρες (στους 25 °C και 70% ΣΥ). Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η ανάπτυξη είναι αργή, διαρκώντας 100 ημέρες στους 18 °C. Οι πλήρως αναπτυγμένες προνύμφες έχουν μήκος περίπου 4 mm. Η νύμφωση πραγματοποιείται μέσα στον σπόρο και το νεαρό ακμαίο είναι αρκετά εμφανές ως μία σκοτεινή κηλίδα κάτω από το περίβλημα του σπόρου. Το ακμαίο τρέφεται καθώς βγαίνει από τον σπόρο, αφήνοντας μία χαρακτηριστική κυκλική οπή εμφανίσεως (Hill, 2003).

***Sitophilus zeamais* (Motschulsky)**

Ο διαχωρισμός του από το *S. oryzae* μπορεί να γίνει με βάση το σχήμα του αιδοιαγού και από τον σκληρίτη στα θήλεα γεννητικά όργανα. Πιστεύεται ότι αυτό το

είδος είναι ελαφρώς μεγαλύτερο σε μέγεθος, αλλά υπάρχει μεγάλη ποικιλία στο μέγεθος στους περισσότερους πληθυσμούς. Είναι ένας σημαντικός πρωτεύων εχθρός του αποθηκευμένου αραβοσίτου (Hill, 2003).

***Sitophilus granarius* (L.)**

Το είδος αυτό είναι σημαντικός εχθρός των αποθηκευμένων προϊόντων και προσβάλλει κυρίως σπόρους δημητριακών όπως σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη, βρώμη, τριτικάλε, αραβόσιτο, ρύζι, κεχρί και μερικές φορές τα ζυμαρικά (Dobie & Kilminster, 1978, Schwartz & Burkholder, 1991). Τρέφεται εσωτερικώς των σπόρων προκαλώντας σημαντικές απώλειες στην ποιότητα και την ποσότητα των σιτηρών (Kucerova *et al.*, 2003, Park *et al.*, 2003). Δεν φέρει μεμβρανώδεις πτέρυγες και δεν ίπτανται. Μετακινείται μέσω του βαδίσματος και διασπείρεται ευκόλως όταν οι μολυσμένοι σπόροι μεταφέρονται από μία τοποθεσία σε άλλη, μέσω του μολυσμένου εξοπλισμού συγκομιδής, των μολυσμένων κάδων και των φορτηγών (Mason & McDonough, 2012). Ένας μορφολογικός χαρακτήρας που το διακρίνει από τα άλλα δύο είδη είναι οι ωοειδείς διατρήσεις στον προθώρακα, ενώ στα άλλα δύο είδη είναι κυκλικές. Σε μερικά δείγματα δεν υπάρχουν χρωματιστές κηλίδες στα έλυτρα (Hill, 2003).

2.4.1.1.5.. Οικογένεια Dermestidae

Αποτελεί μια μικρή αλλά σημαντική ομάδα εντόμων αποθηκών και κατοικημένων χώρων με μεγάλη ποικιλία στις συνήθειές τους. Τα ακμαία έχουν μικρό μέγεθος (κυρίως 2 - 4 mm), το σώμα τους είναι ωοειδές και κυρτό και είναι καλυμμένο με χνούδι από μικρές τρίχες. Οι κεραίες είναι βραχείες και μερικές φορές ροπαλοειδείς. Υπάρχει ένα χαρακτηριστικό μονό ομματίδιο μεταξύ των δύο συνθέτων οφθαλμών (εκτός από τα *Dermestes*). Οι προνύμφες καλύπτονται με ανορθωμένες βραχείες τρίχες στους σωματικούς δακτυλίους και στο άκρο της κοιλίας. Το χρώμα τους είναι ερυθροκαστανό, καστανόφαιο έως μελανό. Οι προνύμφες τρέφονται είτε αποκλειστικώς με ζωικές ύλες και πρωτεΐνες, ή με ζωικές και φυτικές ύλες ή με φυτικές ύλες, όπως είναι οι σπόροι των δημητριακών και τα υποπροϊόντα (Hill, 2003).

***Trogoderma granarium* Everts**

Είναι καταστροφικός εχθρός των αποθηκευμένων προϊόντων διεθνώς (Hagstrum & Subramanyam, 2009) και θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά έντομα καραντίνας στον κόσμο (Lowe *et al.*, 2000). Είναι πρωτεύων εχθρός, αλλά οι προνύμφες του εντόμου μπορούν να τρέφονται με ακέραιους και με κατεστραμμένους σπόρους, αναλόγως του σταδίου τους (Lindgren *et al.*, 1955, Athanassiou *et al.*, 2016a) Τρέφεται κυρίως με δημητριακά και συναφή αμυλώδη υλικά, όπως το αλεύρι (Lindgren *et al.*, 1955, Bhattacharya & Pant, 1968, Viljoen, 1990) και μπορεί να προσβάλει μπαχαρικά, ξηρούς καρπούς, ελαιούχους σπόρους, αποξηραμένα φρούτα ή αποξηραμένα λαχανικά (Lindgren *et al.*, 1955, Lindgren & Vincent, 1959, Hagstrum & Subramanyam, 2009, Degri & Zainab, 2013). Τα ακμαία τρέφονται σπανίως ή δεν τρέφονται (Hill, 2003). Οι προνύμφες, τρεφόμενες με τους σπόρους, προκαλούν ταχεία απώλεια της παραγωγής και επιπλέον μολύνουν τα προϊόντα με τα εκδύματα, τις τρίχες και τα αποχωρήματά τους τα οποία μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία (Morison, 1925, Pruthi & Singh, 1950).

Τα θήλεα μπορούν να γεννήσουν κατά μέσο όρο 35 ωά σε μία περίοδο από 3 έως 12 ημέρες στους 40 °C και 25% ΣΥ. Η ανάπτυξη των προνυμφών δεν επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 21 °C. Στους 35 °C και 75% ΣΥ ο βιολογικός κύκλος του εντόμου ολοκληρώνεται σε 18 ημέρες, τα άρρενα άτομα υφίστανται τέσσερις εκδύσεις ενώ τα θήλεα πέντε, αν και αυτό είναι μεταβλητό (Hill, 2003). Οι προνύμφες αυτού του είδους μπορούν να επιβιώσουν σε ένα ευρύ φάσμα αβιοτικών συνθηκών, όπως οι θερμές και οι ξηρές περιοχές, στις οποίες τα περισσότερα είδη εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων δεν μπορούν να αναπτυχθούν (Hadaway, 1956, Aitken, 1975, Bell *et al.*, 1984, Hill, 2003, EPPO, 2013). Επιπροσθέτως, κάποιες προνύμφες είναι σε θέση να εισέλθουν σε προαιρετική διάπαυση, η οποία μπορεί να διαρκέσει μέχρι 8 έτη, όταν οι συνθήκες είναι δυσμενείς, όπως για παράδειγμα η απουσία τροφής (Sallam, 2013) και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 30 °C (Lindgren *et al.*, 1955, Hadaway, 1956, Burges, 1957, 1959, 1962, Aitken, 1975, Hagstrum & Subramanyam, 2009). Τα θήλεα ξεκινούν την ωοτοκία αμέσως μετά την σύζευξη στους 40 °C, αλλά στους 25 °C υπάρχει μια περίοδος προ-ωοτοκίας 2 - 3 ημερών. Το θήλυ πεθαίνει συντόμως μετά την ολοκλήρωση της ωοτοκίας ενώ το άρρεν λίγες ημέρες αργότερα, συνεπώς τα ακμαία δεν ζουν περισσότερο από περίπου 2 εβδομάδες. Τα ακμαία άρρενα είναι μικρά (2 - 3 mm), ενώ τα θήλεα έχουν μεγαλύτερο μέγεθος, ωοειδές σχήμα, χρώμα

σκούρο καφέ και μαύρο και οι κεραίες σχηματίζουν ένα αρκετά ευδιάκριτο ρόπαλο αποτελούμενο από 3 - 5 τμήματα. Έχουν πτέρυγες αλλά δεν ίπτανται (Hill, 2003).

2.4.1.6. Οικογένεια Laemophloeidae

Στην οικογένεια αυτή ανήκουν είδη τα οποία είναι μικρά σε μέγεθος (1,5 – 2,5 mm) και έχουν μακριές κεραίες. Τα περισσότερα είδη ζουν κάτω από τον χαλαρό φλοιό των δέντρων όπου τρέφονται με τα νεκρά έντομα που παραμένουν στους ιστούς των αραχνών, ή άλλα είναι αρπακτικά και ορισμένα είδη είναι εχθροί των αποθηκευμένων προϊόντων (είδη του γένους *Cryptolestes*) (Hill, 2003).

***Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)**

Είναι ένα κοινό και ευρύτατα διαδεδομένο έντομο εχθρός των αποθηκευμένων σπόρων στα θερμά μέρη του κόσμου. Προσβάλλει τους αποθηκευμένους σπόρους όλων των τύπων όπως σιτάρι, σίκαλη, καλαμπόκι, ρύζι, βρώμη και κριθάρι, ελαιούχους σπόρους, αποξηραμένα φρούτα, ξηρούς καρπούς, βαμβακόπιττα, ρίζες κασάβα, τσίλι, πίτουρο, φύτρο, άλευρα (Mason & Donough, 2012). Αν και δευτερεύων εχθρός, οι προνύμφες μπορούν να εισχωρήσουν σε πολύ ελαφρώς κατεστραμμένους σπόρους, όπου τρέφονται κατά προτίμηση με τα φύτρα και τα μαλακά μέρη των σπόρων, μειώνοντας έτσι την ποιότητα και την βλαστική ικανότητα των σπόρων (Mason & Donough, 2012). Τα ακμαία είναι μικρά (2,5 mm), με επίπεδες και επιμήκεις, ανοιχτοκίτρινες, μακρές νηματοειδείς κεραίες (μεγαλύτερες στο άρρεν), ίπτανται σπάνια και κάθε θηλυκό μπορεί να γεννήσει έως 200 ωά. Ο βιολογικός κύκλος της ζωής του εντόμου μπορεί να ολοκληρωθεί από 17 έως 26 ημέρες, στους 38 °C και 75% ΣΥ, αλλά στους 21 °C ολοκληρώνεται μεταξύ 70 και 100 ημερών. Οι βέλτιστες συνθήκες αναπτύξεώς του είναι περίπου οι 33 °C και 70% ΣΥ, όπου ο κύκλος ζωής του διαρκεί 23 ημέρες (Hill, 2003). Άλλα είδη όπως το *Cryptolestes pusillus* (Schonherr) και το *Cryptolestes pusilloides* (Steel and Howe) είναι κοινά σε υγρές περιοχές των τροπικών χωρών (Banks, 1979).

2.4.1.1.7. Οικογένεια Nitidulidae

Είναι μεγάλη και ποικιλόμορφη οικογένεια, με διαφορετικές συνήθειες, με τα περισσότερα είδη να τρέφονται με τους χυμούς των φυτών και των δέντρων ή με τα

αλλοιωμένα φυτικά και ζωικά υλικά. Μερικά είδη προσβάλλουν τις καλλιέργειες και μερικά είναι σημαντικοί εχθροί των αποθηκευμένων προϊόντων. Στα τρόφιμα έχουν καταγραφεί 22 είδη, κυρίως του γένους *Carpophilus*. Τα περισσότερα βρίσκονται στα αποξηραμένα φρούτα ή στα αλλοιωμένα προϊόντα με μούχλα (Hill, 2003).

***Carpophilus hemipterus* (L.)**

Είναι κοσμοπολιτικό είδος, το οποίο δεν απαντάται συχνώς στις ψυχρές περιοχές της εύκρατης ζώνης. Στις αποθήκες, προσβάλλει ως επί το πλείστον τα αποξηραμένα φρούτα και τα αλλοιωμένα από μούχλα δημητριακά (π.χ. αραβόσιτος) (Hill, 2003). Επιπροσθέτως, είναι ένα σημαντικός εχθρός των αποξηραμένων σύκων και των χουρμάδων ενώ μπορεί να προσβάλλει τις σταφίδες κατά την διαδικασία της αποξήρανσής τους (Simmons & Nelson, 1975, Carpenter & Elmer, 1978). Η κυρία ζημιά προκαλείται με την άμεση κατανάλωση του προϊόντος, τόσο από τα ακμαία όσο και από τις προνύμφες. Προτιμά την υψηλή υγρασία και τα προϊόντα που έχουν υποστεί σήψη. Δρα συχνώς ως φορέας μυκήτων και βακτηρίων που προκαλούν αλλοιώσεις στους καρπούς (Hill, 2003).

Τα ακμαία δραστηριοποιούνται την άνοιξη και τα θήλεα γεννούν κατά μέσο όρο 1.000 ωά (Hill, 2003). Τα ακμαία έχουν σχήμα ωοειδές και μήκος 2 - 4 mm. Τα έλυτρα έχουν σκούρο καστανό χρώμα και το καθένα έχει μία ευδιάκριτη υποκίτρινη κηλίδα στο άκρο και μία μικρότερη στην εξωτερική βάση (προς τον θώρακα) (Burks & Johnson, 2012). Η κεραία αποτελείται από 11 άρθρα και καταλήγει σε συμπαγές ρόπαλο τριών άρθρων. Τα ακμαία ίπτανται κατά τη διάρκεια της ημέρας και μόνο όταν η θερμοκρασία είναι πάνω από 18 °C (Simmons & Nelson, 1975). Ζουν δε περισσότερο από 100 ημέρες στους 25 °C και έως 60 ημέρες στους 35 °C (El-Kady *et al.*, 1962).

***Carpophilus dimidiatus* (F.)**

Είναι κοσμοπολιτικό έντομο το οποίο προσβάλλει ευρύ φάσμα αποθηκευμένων τροφίμων, ιδιαιτέρως αποξηραμένα φρούτα και δημητριακά, αλλά σπανίως προσβάλλει ακεραίους σπόρους. Στην φύση τρέφεται με φρούτα και λαχανικά και τον χυμό των τραυματισμένων φυτών. Οι ευνοϊκότερες συνθήκες για την ανάπτυξή του είναι οι 22 - 25 °C και 70% ΣΥ (Hill, 2003).

Τα άλλα είδη *Carpophilus* που καταγράφονται στα αποθηκευμένα προϊόντα περιλαμβάνουν τα:

Carpophilus freemani Dobson. Είναι είδος τροπικής προέλευσης και απαντάται στον αραβόσιτο, στο ρύζι, στα καρύδια Βραζιλίας, στα νωπά λαχανικά και στα οστά.

Carpophilus fumatus Boheman. Απαντάται στην Αφρική και είναι συνήθως εχθρός των φρούτων στον αγρό, του βαμβακιού και μερικών δημητριακών.

Carpophilus ligneus Murray. Είναι κοσμοπολιτικό είδος και προσβάλλει τα αποξηραμένα φρούτα, το κακάο, την βαμβακόπιττα και τα δημητριακά.

Carpophilus maculatus Murray. Βρίσκεται στην Ασία, την Αυστραλία, τον Ειρηνικό και τη Δυτική Αφρική και προσβάλλει τα αποξηραμένα φρούτα και τα δημητριακά.

Carpophilus obsoletus Erichson. Είναι παντροπικό είδος το οποίο προσβάλλει τα αποξηραμένα φρούτα και τα δημητριακά.

2.4.1.8. Οικογένεια Silvanidae

Αποτελούν μια μικρή ομάδα με διαφορετικές συνήθειες, μερικά είδη είναι φυτοφάγα και κάποια είναι αρπακτικά και συχνά βρίσκονται κάτω από τον χαλαρό φλοιό των δέντρων. Ωστόσο, περιλαμβάνει δύο σημαντικά είδη που προσβάλουν τους αποθηκευμένους σπόρους:

Oryzaephilus surinamensis (L.)

Oryzaephilus mercator (Fauvel)

Αυτά τα δύο συγγενικά είδη είναι δευτερεύοντες εχθροί μεγάλης ποικιλίας αποθηκευμένων σπόρων, δημητριακών προϊόντων, αποξηραμένων φρούτων, ξηρών καρπών, ζωοτροφών και ελαιούχων σπόρων. Το *O. surinamensis* προτιμά τα δημητριακά και τα προϊόντα τους ενώ το *O. mercator* τους ελαιούχους σπόρους (Mahroof & Hagstrum, 2012). Έχουν μικρό μέγεθος το οποίο τα βοηθάνα κρύβονται ευκόλως με αποτέλεσμα η προσβολή να μην γίνεται εγκαίρως αντιληπτή. Οι προνύμφες εισέρχονται εντός των κατεστραμμένων σπόρων των δημητριακών ή προσβάλλουν την περιοχή των φύτρου των ολόκληρων και άθικτων σπόρων. Επίσης, οι προνύμφες μπορούν να διαπεράσουν πολύ εύκολα τα υλικά συσκευασίας (Hill, 2003). Τα ακμαία είναι μικρού μεγέθους με μήκος 2,5 - 3 mm, καστανού χρώματος, με κοντές ροπαλοειδείς κεραίες, με έξι οδοντοειδείς εκφύσεις σε κάθε πλευρά του θώρακος και με δυο επιμήκεις νωτιαίες αύλακες. Στο *O. surinamensis* η περιοχή κάτω από τους οφθαλμούς είναι καμπύλη, ενώ στο *O. mercator* είναι οξεία (Mahroof &

Hagstrum, 2012). Τα ακμαία τρέφονται και είναι αρκετά μακρόβια. Είναι πολύ δραστήρια, έχουν πτέρυγες αλλά σπανίως ίπτανται. Το *O. mercator* είναι ευρέως διαδεδομένο σε όλες τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, ενώ το *O. surinamensis* είναι κοσμοπολίτικο, συμπεριλαμβανομένων των εύκρατων περιοχών της γης (Hill, 2003).

2.4.1.9. Οικογένεια Tenebrionidae

Πρόκειται για μια μεγάλη οικογένεια εντόμων η οποία περιλαμβάνει περισσότερα από 10.000 είδη, από τα οποία τα 100 περίπου σχετίζονται με τα αποθηκευμένα γεωργικά προϊόντα. Τα περισσότερα από αυτά τα είδη έχουν χρώμα μαύρο ή σκούρο καστανό και είναι κυρίως φυτοφάγα (Sallam, 2013). Είναι μικρού έως μέτριου μεγέθους (3-12 mm), οι κεραίες έχουν συνήθως 11 τμήματα και συχνώς σχηματίζουν ρόπαλο και ο ταρσικός τύπος είναι 5: 5: 4 (Hill, 2003). Η προσβολή από αυτά τα είδη προκαλεί μια άσχημη οσμή στα προϊόντα η οποία οφείλεται στην έκκριση βενζοκινόνων από τους κοιλιακούς αδένες. Τα ακόλουθα είδη είναι σοβαροί δευτερεύοντες εχθροί των αποθηκευμένων σπόρων και αλεύρων (Sallam, 2013).

***Tribolium castaneum* (Herbst)**

Είναι σημαντικό κοσμοπολιτικό έντομο των αποθηκευμένων δημητριακών και διαφόρων ειδών διατροφής, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές ζημιές. Έχει το υψηλότερο ποσοστό αυξήσεως του πληθυσμού που έχει καταγραφεί για τους εχθρούς των αποθηκευμένων προϊόντων και τα ακμαία είναι μακρόβια (Hill, 2003). Οι προνύμφες και τα ακμαία τρέφονται με ευρύ φάσμα προϊόντων όπως τα δημητριακά και τα προϊόντα τους, τα καρύδια, τα μπαχαρικά, ο καφές, το κακάο, η σοκολάτα, τα αποξηραμένα φρούτα και μερικές φορές μπορεί να τραφούν με όσπρια (Hill, 2003). Τόσο οι προνύμφες όσο και τα ακμαία τρέφονται με τα έμβρυα των σπόρων και τους κατεστραμμένους σπόρους, τείνουν όμως να προτιμούν τα άλευρα (Arbogast, 1991), ενώ δεν αναπτύσσονται σε ακεραίους σπόρους (Anonymous, 1986).

Τα θήλεα *T. castaneum* γεννούν μικρά, κυλινδρικά, λευκά ωά διάσπαρτα στο προϊόν. Στην βέλτιστη θερμοκρασία των 32,5 °C, τα θήλεα γεννούν μέχρι 11 ωά ημερησίως. Οι προνύμφες είναι κιτρινωπές με κεφαλή χρώματος ανοικτού καφέ, και ζουν εκτός των σπόρων μέχρι τη νύμφωση. Τα ακμαία έχουν μήκος περίπου 3 - 4 mm και μπορεί να ζήσουν για ένα έτος ή περισσότερο. Τα θήλεα είναι εξαιρετικώς γόνιμα

και κατά τη διάρκεια της ζωής τους είναι σε θέση να γεννήσουν μέχρι 1000 ωά, στους 40 και τους 22 °C ως ανώτατο και κατώτατο όριο ανάπτυξης (Sallam, 2013). Ο κανιβαλισμός είναι ένας σημαντικός παράγοντας ελέγχου του πληθυσμού. Τα άρρενα άτομα δείχνουν προτίμηση στις νύμφες ενώ τα θήλεα στα ωά (Hill, 2003).

***Tenebrio molitor* L.**

Το *T. molitor* είναι ένα σημαντικό έντομο εχθρός των μετασυλλεκτικών σταδίων των γεωργικών προϊόντων παγκοσμίως. Είναι το μεγαλύτερο έντομο που απαντάται στις αποθήκες με μήκος σώματος 15 - 20 mm (Hill, 2003). Τα ακμαία είναι επιμήκη, με καστανόμαυρο χρώμα, ελαφρώς γυαλιστερό. Τα θήλεα μπορούν να γεννούν μέχρι και 600 ωά κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Οι προνύμφες τρέφονται με άλευρα ή πίτυρα, προκαλώντας την μείωση της αξίας των προϊόντων αυτών με τα περιττώματά τους (Hill, 2003). Οι προνύμφες είναι αδηφάγες και εξαιρετικώς ανθεκτικές στις χαμηλές θερμοκρασίες, μπορούν δε να παραμείνουν ζωντανές για 80 ημέρες στους -5 °C (Sallam, 2013).

2.4.1.2. Τάξη Lepidoptera

2.4.1.2.1. Οικογένεια Gelechiidae

Περιλαμβάνει πολλά είδη αλλά μόνον ελάχιστα σχετίζονται με τα αποθηκευμένα προϊόντα. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της οικογενείας είναι οι επιμήκεις και ισχυρώς κεκαμμένες χειλικές προσακτρίδες και η προβοσκίς, η οποία, κατά το 1/3 του βασικού τμήματός της, είναι πυκνώς κεκαλυμμένη από λεπιοειδείς σμήριγγες (Hill, 2003).

***Sitotroga cerealella* (Oliver)**

Είναι σημαντικός εχθρός των αποθηκευμένων σπόρων σε όλες τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές (Hill, 2003). Προσβάλλει κυρίως τον αραβόσιτο, το σιτάρι και το σόργο, τόσο στον αγρό όσο και στην αποθήκη. Είναι πρωτεύων εχθρός και απαιτεί ακεραίους σπόρους δημητριακών για την αναπαραγωγή του. Η προσβολή ξεκινά στον αγρό όπου τα θήλεα εναποθέτουν τα ωά τους (περίπου 200) σε περίοδο 5 - 10 ημερών, μεμονωμένα ή σε μικρές ομάδες στους σπόρους. Οι προνύμφες

αρχίζουν να τρέφονται μέσα στους σπόρους και αναπτύσσονται μέσα σε αυτούς. Έτσι, η προσβολή είναι δύσκολο να ανιχνευθεί σε αυτό το στάδιο (Sallam, 2013).

Το ακμαίο έχει μήκος 5 - 7 mm, οι πρόσθιες πτέρυγες έχουν χρώμα ωχρόλευκο χρυσίζον, με δύο μικρές σκούρες κηλίδες στην κάθε μία, είναι στενές και μυτερές στα άκρα και φέρουν κροσσούς στο ακραίο 1/3 της περιφέρειας. Οι οπίσθιες πτέρυγες έχουν χρώμα φαιό καστανό, είναι κοντύτερες από τις πρόσθιες και έχουν μυτερά άκρα με μακρούς κροσσούς (Hill, 2003). Τα ακμαία ίπτανται και είναι σε θέση να επεκτείνουν την προσβολή στις γειτονικές σιταποθήκες. Είναι βραχύβια (ζουν 5 - 12 ημέρες). Στους 30 °C και 80% ΣΥ ο βιολογικός κύκλος ολοκληρώνεται σε 28 ημέρες ή λίγο περισσότερο (Hill, 2003).

2.4.1.2.2. Οικογένεια Pyralidae

Τα μέλη αυτής της οικογενείας είναι μικρά και λεπτά λεπιδόπτερα και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία τόσο στην εμφάνιση όσο και στις συνήθειές τους. Οι προνύμφες όλων των ειδών διαθέτουν αδένες οι οποίοι εκκρίνουν μετάξινα νήματα με τα οποία καλύπτουν τα προσβεβλημένα προϊόντα καθώς κινούνται πάνω σε αυτά (Sallam, 2013).

***Ephestia cautella* (Walker)**

Είναι ένα πολύ σοβαρό και κοσμοπολιτικό έντομο, το οποίο προσβάλλει μεγάλη ποικιλία ξενιστών όπως ο αραβόσιτος, το σιτάρι και άλλα αποθηκευμένα σιτηρά. Μπορεί επίσης να τραφεί με αποξηραμένα φρούτα, φασόλια, ξηρούς καρπούς, μπανάνες και φιστίκια (Sallam, 2013). Τα θήλεα γεννούν μέχρι 300 μικρά στρογγυλά κολλώδη ωά μέσα στο υπόστρωμα. Οι βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των προνυμφών είναι οι 32 – 33 °C και 70% ΣΥ. Οι προνύμφες τρέφονται με το ενδοσπέρμιο των σπόρων και είναι αρκετά ευκίνητες μέσα στην μάζα του προϊόντος. Ένας σημαντικός αριθμός ζημιών οφείλεται στα μετάξινα νημάτια τα οποία υφαίνουν στους σπόρους και στην επιφάνεια των σάκων σχηματίζοντας μεγάλους σβώλους και επομένως τα τρόφιμα δεν είναι πλέον κατάλληλα για κατανάλωση (Hill, 2003). Η νύμφωση λαμβάνει χώρα στις ρωγμές ή μεταξύ των σάκων (Sallam, 2013). Τα ακμαία ζουν 1-2 εβδομάδες και δεν τρέφονται στις αποθήκες. Οι πρόσθιες πτέρυγες των ακμαίων είναι γκριζοκάστανες με ένα αδιόμορφο μοτίβο και το άνοιγμά τους κυμαίνεται από 11 έως 20 mm. Τόσο οι

πρόσθιες όσο και οι οπίσθιες πτέρυγες έχουν στρογγυλεμένα άκρα και κοντούς κροσσούς από τρίχες (Hill, 2003).

***Ephestia elutella* (Hübner)**

Είναι πολυφάγο παράσιτο το οποίο τρέφεται με μια μεγάλη ποικιλία αποθηκευμένων προϊόντων, όπως σπόρους κακάο, σπόρους σιτηρών, όσπρια, καρύδια, καπνό, καρύδα και αποξηραμένα φρούτα. Η προσβολή λαμβάνει χώρα κυρίως μετά τη συγκομιδή των προϊόντων (Sallam, 2013). Ο συνολικός κύκλος της ζωής του εντόμου διαρκεί περίπου 30 ημέρες στους 30 °C και 70% ΣΥ. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ζημιάς που προκαλούν οφείλεται στην μόλυνση των τροφίμων από τα εκδύματα που αφήνουν, από τα νεκρά άτομα και την σκόνη. Τα μετάξινα νημάτια που παράγονται από τις προνύμφες μπορεί να είναι εκτεταμένα. Το έντομο είναι διαδεδομένο παγκοσμίως, αλλά βρίσκεται σε αφθονία κυρίως στις υποτροπικές και εύκρατες περιοχές του κόσμου (Hill, 2003).

***Plodia interpunctella* Hübner (Κοινό σκουλήκι αποθηκών)**

Εμφανίζεται σε όλες τις τροπικές και τις υποτροπικές περιοχές και σε ορισμένα μέρη των ευκράτων περιοχών (Hill, 2003). Προσβάλλει ευρύ φάσμα αποθηκευμένων δημητριακών και οσπρίων, αποξηραμένα φρούτα και ξηρούς καρπούς, αποξηραμένα λαχανικά και επεξεργασμένα τρόφιμα (Perez-Mendoza & Aguilera-Reña, 2004). Επιπροσθέτως, τα προϊόντα μολύνονται με τα νεκρά σώματα των προνυμφών, με την σκόνη και με τα μετάξινα νημάτια. Τα θήλεα γεννούν περίπου 200 - 400 ωά πάνω στα προϊόντα ή τους τοίχους της αποθήκης. Οι προνύμφες αναπτύσσονται και τρέφονται εκτός των σπόρων και είναι ευαίσθητες στις μεταβολές της θερμοκρασίας (Sallam, 2013).

Τα ακμαία έχουν μήκος σώματος 6 – 7 mm και άνοιγμα πτερύγων 15 - 20 mm, οι πρόσθιες πτέρυγες, από την βασική χώρα μέχρι σχεδόν το μέσο της πτέρυγας, έχουν υπόλευκο χρώμα και το υπόλοιπο τμήμα τους είναι σκωριόχρουν (Hill, 2003). Είναι νυκτόβιο είδος. Ο αριθμός των γενεών μπορεί να είναι μόνο δύο ανά έτος στην Ευρώπη, αλλά ο αριθμός αυτός αυξάνεται σε οκτώ στις τροπικές περιοχές. Η πλήρης ανάπτυξη διαρκεί περίπου 27 ημέρες στους 30 °C και 70% ΣΥ ενώ η ανάπτυξη σταματάει κάτω από τους 15 °C (Sallam, 2013).

***Pyralis farinalis* (L.)**

Είναι κοσμοπολίτικο είδος και είναι αρκετά διαδεδομένο στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική. Προσβάλλει σπόρους σιτηρών, αλευρώδη προϊόντα, φιστίκια, άχυρα, πίτυρα, αλεύρι, ακόμη και τα γεώμηλα τα οποία είναι αποθηκευμένα (Hill, 2003). Το ακμαίο έχει άνοιγμα πτερύγων 22 - 30 mm, η βάση και η κορυφή των πρόσθιων πτερύγων είναι ερυθροκαστανή, με μία ανοιχτοκαστανή ζώνη στο κέντρο η οποία περιβάλλεται από μια κυματιστή λευκή γραμμή. Οι οπίσθιες πτέρυγες είναι ανοιχτοκαστανές με λευκά σημάδια. Το ακμαίο έχει μία χαρακτηριστική στάση όταν είναι σε ηρεμία, οι πτέρυγες διατηρούνται επίπεδες και πλευρικός εκτεταμένες και η κοιλία προεκτείνεται πάνω από το σώμα (Hill, 2003). Η προνύμφη είναι υπόφαια με βαθυκύανη κεφαλή και με μήκος έως 25 mm. Στην Ευρώπη, η ανάπτυξη των προνυμφών μπορεί να διαρκέσει έως και δύο έτη, αλλά ο βιολογικός κύκλος μπορεί να ολοκληρωθεί εντός 2 μηνών κατά το θέρος (Hill, 2003).

***Corcyra cephalonica* (Stainton)**

Απαντάται στις υγρές τροπικές περιοχές και προσβάλλει ευρύ φάσμα προϊόντων όπως το ρύζι, ο αραβόσιτος και άλλα αποθηκευμένα δημητριακά, τα αποξηραμένα φρούτα, τα καρύδια, μπαχαρικά, ορισμένα όσπρια, σοκολάτα και μπισκότα. Προκαλεί άμεση ζημία με την διατροφή των προνυμφών ενώ η έμμεση ζημία, η οποία είναι συχνά μεγάλης οικονομικής σημασίας, προκαλείται από τα εκτεταμένα μετάξινα νημάτια που παράγουν (Hill, 2003).

Τα ωά είναι κολλώδη και τοποθετούνται επί των προϊόντων. Η προνύμφη είναι λευκή με καστανή κεφαλή (Hill, 2003). Ο αριθμός των προνυμφικών σταδίων είναι μεταβλητός, αλλά συνήθως υπάρχουν 7 για τα άρρενα και 8 για τα θήλεα. Οι βέλτιστες συνθήκες αναπτύξεως είναι οι 30 - 32 °C και 70% ΣΥ. Το ενδιαίτημα επιδρά σημαντικώς στον ρυθμό αναπτύξεως του εντόμου. Ο βιολογικός κύκλος του εντόμου μπορεί να ολοκληρωθεί από 26 έως 28 ημέρες. Τα μετάξινα νήματα που παράγουν οι προνύμφες είναι πυκνότερα και πιο σκληρά από αυτά που παράγουν άλλα είδη προνυμφών. Η νύμφωση πραγματοποιείται είτε στο προϊόν είτε στις δομές του κτιρίου. Το ακμαίο έχει άνοιγμα πτερύγων 15 - 25 mm, οι οπίσθιες πτέρυγες έχουν χρώμα ανοιχτό καστανό, ενώ οι πρόσθιες είναι υποκάστανες στα θήλεα και υπομελανές στα άρρενα. Τα ακμαία ίπτανται κατά την διάρκεια της νυκτός (Hill, 2003).

2.4.1.2.3. Οικογένεια Tineidae

Τα ακμαία της οικογενείας χαρακτηρίζονται από την κεφαλή η οποία είναι καλυμμένη με ανορθωμένα και τραχιά λέπια και τις σμήριγγες οι οποίες φύονται πλευρικός επί των χειλικών προσακτριδών. Η προβοσκίς είναι σχετικώς μικρού μήκους ή απύσα και δεν φέρει λέπια. Οι προνύμφες τρέφονται με αποξηραμένα ζωικά υλικά στην φύση. Ορισμένα είδη είναι φυτοφάγα και μπορεί να είναι επιβλαβή για τα αποθηκευμένα προϊόντα (Hill, 2003).

Tinea granella L.

Απαντάται συνήθως στις εύκρατες περιοχές. Προσβάλλει κυρίως τους σπόρους των σιτηρών (σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη, αραβόσιτος), σπόρους ψυχανθών, άλευρα, αποξηραμένα μανιτάρια και φρούτα, ξηρούς καρπούς, τρόφιμα και ζωοτροφές. Το ακμαίο έχει μικρό μέγεθος και άνοιγμα πτερυγών 10 - 14 mm. Οι πρόσθιες πτέρυγες είναι αργυρόλευκες με σκούρες κηλίδες και οι οπίσθιες πτέρυγες είναι γκρι.. Ο αριθμός των γενεών ανά έτος κυμαίνεται από 1 - 4, αναλόγως του κλίματος. Οι προνύμφες προκαλούν άμεση ζημιά στους σπόρους καθώς τρέφονται με αυτούς. Επιπροσθέτως, οι προνύμφες ενώνουν με μετάξινα νήματα τους σπόρους προκαλώντας έμμεσες ζημιές (Hill, 2003).

2.4.1.3. Τάξη Psocoptera

Τα ψωκόπτερα, ιδιαίτερος ορισμένα είδη της οικογένειας Liposcelididae, μπορούν ευκόλως να δημιουργήσουν μεγάλους πληθυσμούς, κυρίως σε αποθηκευμένους σπόρους (Nayak *et al.*, 2014). Αποτελούν μια ομάδα μικρών και λεπτών εντόμων. Ορισμένα είδη φέρουν πτέρυγες ενώ κάποια είναι άπτερα. Τα ψωκόπτερα των αποθηκευμένων προϊόντων είναι άπτερα και κινούνται ενεργώς πάνω στα προϊόντα, στους τοίχους και σε άλλα μέρη της αποθήκης. Έχουν μακρές και νηματοειδείς κεραίες (13 - 50 τμήματα), το σώμα τους είναι στρογγυλεμένο και μαλακό, και οι οφθαλμοί τους προεξέχουν. Τα είδη του γένους *Liposcelis* αναπαράγονται παρθενογενετικώς, δηλαδή παράγονται μόνο θήλεα άτομα (Manson & McDonough, 2012). Το γεγονός αυτό επιτρέπει στους πληθυσμούς τους να αναπτύσσονται γρήγορα υπό ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Είναι ετερομετάβολα έντομα, με τις νύμφες, οι οποίες ομοιάζουν με τα ακμαία, να

διέρχονται από πολλά στάδια. Αναλόγως του είδους, τα ψωκόπτερα μπορούν να αναπτυχθούν από ωό σε ακμαίο σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 20 °C και 40 °C, αν και η ανάπτυξή τους σε θερμοκρασίες τους < 20 °C δεν έχει ελεγχθεί (Nayak *et al.*, 2014).

Τα περισσότερα είδη τρέφονται με μύκητες, λειχήνες ή επίφυτα, αλλά ορισμένα τρέφονται με αποξηραμένα ζωικά υλικά και αποθηκευμένα άλευρα και προϊόντα δημητριακών. Είναι παγκοσμίως διαδεδομένα, με ορισμένα είδη να βρίσκονται στις τροπικές περιοχές και άλλα να περιορίζονται στις εύκρατες. Επίσης, αποτελούν σοβαρή απειλή για τα μουσεία και τις εντομολογικές συλλογές, διότι λόγω του μικρού μεγέθους τους δεν γίνονται αμέσως αντιληπτά. Ορισμένα είδη της οικογένειας Liposcelididae προκαλούν σοβαρές απώλειες βάρους στα προϊόντα, καταναλώνοντας το σπέρμα και το ενδοσπέρμιο των σπόρων, μολύνουν τα προϊόντα με τα περιττώματα και τα εκδύματά τους και μπορούν να αποτελέσουν πιθανή απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Τα ψωκόπτερα έχουν εμπλακεί στην ανάπτυξη αλλεργιών στον άνθρωπο μέσω της μεταδόσεως μικροοργανισμών (Obr, 1978, Turner, 1986, Turner *et al.*, 1996). Τα ψωκόπτερα που ανήκουν στο γένος *Liposcelis* είναι δραστήρια, έχουν μικρό μέγεθος (περίπου 1,0 mm), δεν φέρουν πτέρυγες, έχουν μαλακό σώμα, καστανό χρώμα έως κίτρινο με μεγάλες κεφαλές και οφθαλμούς οι οποίοι προεξέχουν. Περίπου 100 είδη έχουν αναφερθεί ότι προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα (Lienhard & Smithers, 2002), τέσσερα από τα οποία είναι οικονομικά σημαντικά σε όλο τον κόσμο: *Liposcelis bostrychophila* Badonnel, *L. decolor* (Pearman), *L. entomophila* (Enderlein) και *L. paeta* Pearman.

***Liposcelis bostrychophila* Badonnel**

Το *L. bostrychophila* έχει παγκόσμια κατανομή και τρέφεται με μια ευρεία ποικιλία τροφίμων, αλλά είναι ιδιαίτερος συνδεδεμένο με αμυλώδη προϊόντα, όπως σιτηρά και το αλεύρι (Nayak, 2006, Throne *et al.*, 2006). Μεγάλος πληθυσμός του *L. bostrychophila* μπορεί να μολύνει τα τρόφιμα με τα προϊόντα των εκκρίσεών του και μπορεί να προκαλέσει υλική ζημιά στα δημητριακά, όπως το ρύζι (Turner, 1988).

Το *L. bostrychophila* αναπαράγεται παρθενογενετικώς, δηλαδή όλοι οι απόγονοι είναι θηλυκοί. Έχει μικρό μέγεθος με μήκος 1 - 1,5 mm, το σώμα του είναι μαλακό και πεπλατυσμένο, με χρώμα ανοιχτό καστανό, δεν φέρει πτέρυγες και η μεταμόρφωση είναι απλή. Έχει επιπέδους οπισθίους μηρούς με μία πλευρική απόφυση, επίπεδη ωοειδή κοιλία η οποία αποτελείται από 11 τμήματα, πρόγναθο

κεφαλή με διογκωμένο επιστόμιο, κεραίες που αποτελούνται από 15 τμήματα και συνθέτους οφθαλμούς, με 5 έως 8 ομμάτια ο καθένας. Τα βασικά μορφολογικά χαρακτηριστικά των ακμαίων ατόμων ισχύουν και για τις νύμφες. Τα θήλεα γεννούν μη γονιμοποιημένα διπλοειδή ωά. Το ωά είναι σχετικώς μεγάλα, περίπου το ένα τρίτο του μεγέθους του ακμαίου, ωοειδή, λευκού χρώματος, με λεία, γυαλιστερή και ημιδιαφανή επιφάνεια. Κατά τη διάρκεια της αναπτύξεως του εμβρύου τα ωά χάνουν την λάμψη τους και η επιφάνεια γίνεται ελαφρώς ρυτιδωδής. Το χρώμα τους επίσης σκουραίνει και γίνεται ωχροκίτρινο πλησίον της επώσεως. Οι νύμφες στην αρχή της ζωής τους είναι λευκές, εκτός από τα στοματικά μόρια τα οποία είναι καστανά. Στη συνέχεια όμως, μετά από κάθε έκδυση, το χρώμα τους αρχίζει και σκουραίνει. Η νύμφες διέρχονται από 4 εκδύσεις. Με κάθε διαδοχική έκδυση, καθώς οι κεραίες και οι οφθαλμοί αναπτύσσονται, η νύμφη γίνεται σταδιακώς όλο και περισσότερο όμοια με το ακμαίο άτομο (Chin *et al.*, 2010).

Έχει σχετικώς μεγάλη διάρκεια ζωής, η οποία όμως ποικίλει αναλόγως της θερμοκρασίας, της υγρασίας και τις διαθέσιμες πηγές τροφίμων. Είναι αρκετά ανθεκτικά στις ξηρές συνθήκες (Rudolph, 1982) και ο χρόνος ολοκλήρωσης της γενεάς (από το ωό έως το ακμαίο θήλυ) εξαρτάται από την θερμοκρασία και διαρκεί περίπου 56 ημέρες στους 20 °C, ένα μήνα στους 25 °C και μειώνεται στις 22 ημέρες στους 30 °C, ενώ κάτω από τους 15 °C η ανάπτυξη του ωού σταματά (Turner, 1994).

2.4.2.. Μελετηθέντα έντομα.

2.4.2.1. *Tribolium confusum* Jacquelin du Val

Το *T. confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) είναι γνωστό από την αρχαιότητα για τις καταστροφές που προκαλεί. Βρέθηκε στην Αίγυπτο το 2500 π.Χ. σε τάφους των Φαραώ (Τουταγχαμών). Συμφώνως με τον Good (1933), το *T. confusum* περιγράφηκε εν αγνοία του Etienne Mulsant, ο οποίος στην προσπάθειά του να βελτιώσει την περιγραφή του ήδη γνωστού *T. castaneum*, δημοσίευσε μία περιγραφή του *T. confusum*. Η περιγραφή του εντόμου έχει αποδοθεί στην P. N. Camille Jacquelin du Val, η οποία το 1868 αναγνώρισε το *T. confusum* ως ξεχωριστό είδος.

Ως περιοχή προελεύσεως του είδους αυτού θεωρείται η Αιθιοπία, έχει όμως εξαπλωθεί περαιτέρω σε βορειότερα μέρη και ως εκ τούτου δεν απαντάται συχνώς στις θερμότερες τροπικές περιοχές. Προσβάλλει όλα τα είδη σπόρων, άλευρα, πίτυρα,

σπέρματα ψυχανθών, ξηρές ρίζες, ξηρά φρούτα, ξηρούς καρπούς, εντομολογικές συλλογές, σοκολάτα, φάρμακα, καπνό και πολλά άλλα προϊόντα. Προκαλούνται ζημιές στα προσβεβλημένα προϊόντα τόσο από τις προνύμφες όσο και από τα ακμαία και αναπτύσσονται καλύτερα σε σπασμένους ή κατεστραμμένους σπόρους (είναι δευτερεύων εχθρός). Σε σοβαρές προσβολές, τα τρόφιμα μπορεί να αποχρωματιστούν, να αποκτήσουν δυσάρεστη οσμή και συχνώς μπορεί να περιέχουν εκδύματα του εντόμου και αποχωρήματα. Επιπροσθέτως, είναι γνωστό ότι τα είδη του γένους *Tribolium* εκκρίνουν ορισμένες τοξικές κινόνες οι οποίες μολύνουν τα άλευρα και τα προϊόντα αλεύρου, προκαλώντας σημαντικούς κινδύνους στην υγεία του ανθρώπου (Ladisch *et al.*, 1967). Οι κινόνες είναι σταθερές στη θερμότητα και προσδίδουν την δυσάρεστη οσμή στα τρόφιμα, η οποία δεν απομακρύνεται με το μαγείρεμά τους (Hodges *et al.*, 1996).

Συγγέεται συχνώς με το συγγενές *T. castaneum*, λόγω της ομοιότητάς τους στην εξωτερική μορφολογία, την βιολογία και τις τροφικές προτιμήσεις. Η κυριότερη διαφορά τους βρίσκεται στις κεραίες; στο *T. confusum* οι κεραίες αποτελούνται από άρθρα τα οποία μεγεθύνονται βαθμιαίως προς το άκρο και δεν σχηματίζουν ρόπαλο, ενώ στο *T. castaneum* τα τρία τελευταία άρθρα της κεραίας του σχηματίζουν πλατυνόμενα ρόπαλο (Mahroof & Hagstrum, 2012).

Οι προνύμφες και τα ακμαία *T. confusum* παρουσιάζουν κανιβαλιστική συμπεριφορά (Park, 1934). Συνήθως καταναλώνουν τα ωά, όμως σπανίως τρέφονται με τις νύμφες (Park *et al.*, 1968). Η κατανάλωση των ωών από θήλεα ακμαία ενίσχυσε τη γονιμότητά τους (Ho & Dawson, 1966) και αύξησε σημαντικώς την γονιμότητα των ακμαίων τα οποία εξετράφησαν με ωά κατά το στάδιο της προνύμφης (Dawson, 1968).

Το ακμαίο έχει σώμα επίμηκες, πεπιεσμένο, λείο, μήκους 3,5 - 4,5 mm, χρώματος στιλπνού ερυθροκαστανού, κεφαλή και επιθωράκιο με πολλά μικρά στίγματα (εικ. 1). Αναλόγως των συνθηκών που επικρατούν στις αποθήκες μπορεί να εμφανίσει μέχρι 5 γενεές το έτος. Διαχειμάζει ως ακμαίο στα προϊόντα τα οποία προσβάλλει ή σε διάφορα προφυλαγμένα σημεία της αποθήκης. Τα θήλεα μπορούν να ζήσουν μέχρι δύο έτη. Εναποθέτουν μέχρι 600 ωά / θήλυ άτομο συνήθως επί των προϊόντων. Τα ωά έχουν ωοειδές σχήμα και περιβάλλονται από μια κολλώδη μεμβράνη, πάνω στην οποία προσκολλώνται τα σωματίδια των αλεύρων με αποτέλεσμα να εμφανίζουν ακανόνιστο σχήμα. Η προνύμφη είναι ευκέφαλη ολιγόποδη, έχει σώμα επίμηκες και είναι ωχροκίτρινη με μήκος 4 - 5 mm (εικ. 2).

Έχει σμήριγγες στα πλάγια των σωματικών τμημάτων, κεφαλή σκοτεινού χρώματος και το τελευταίο κοιλιακό τμήμα έχει χιτινισμένη δικρανοειδή απόφυση (Mahroof & Hagstrum, 2012). Η νύμφη αρχικώς έχει λευκοκίτρινο χρώμα και στην συνέχεια γίνεται ωχρό και είναι αδρανής εκτός μιας μικρής κοιλιακής κινήσεως (εικ. 3). Σε αυτό το στάδιο μπορεί να διακριθούν ευκόλως τα δύο φύλα, διότι διαθέτουν αξιόπιστο και ευδιάκριτο εξωτερικό σεξουαλικό χαρακτηριστικό από τα υπόλοιπα στάδια. Το θήλυ έχει ένα ζεύγος μικρών εξαρτημάτων στο τελευταίο κοιλιακό τμήμα, τα οποία δεν είναι ευκρινή στο άρρεν (Park, 1934).

Τα άρρενα και τα θήλεα *T. confusum* συζεύγνυνται επανειλημμένως με διαφορετικά άτομα. Η πολυανδρία (σύζευξη με πολλά άρρενα) επιτρέπει στα θήλεα να αυξήσουν την γονιμότητά τους λόγω του ανταγωνισμού των σπερματοζωαρίων από διαφορετικά άρρενα (Park, 1933, Fedina & Lewis, 2008).

2.4.2.2. *Ephestia kuehniella* Zeller

Το *Ephestia kuhniella* (Lepidoptera: Pyralidae) είναι κοσμοπολίτικο έντομο με ασαφή καταγωγή. Πιθανώς, το είδος αυτό να ήταν ευρέως διαδεδομένο, ώσπου προσελκύστηκε από το αλεύρι και τα προϊόντα του, άλλαξε τις συνήθειές του και έγινε μια σημαντική απειλή στην αλευροβιομηχανία. Η πρώτη επίσημη αναφορά του είδους έγινε στη Γαλλία, συγκεκριμένως το 1840 στο Παρίσι, ενώ το 1872 έγινε η πρώτη αναφορά του εντόμου στην Κωνσταντινούπολη και το 1877 στην Γερμανία. Δύο χρόνια μετά από την πρώτη αναφορά του εντόμου στη Γερμανία, έλαβε την ονομασία του από τον καθηγητή Zeller, ο οποίος πίστευε ότι το έντομο είχε εισαχθεί από τις ΗΠΑ. Όμως, οι προηγηθείσες αναφορές, οι οποίες προέρχονταν από διαφορετικές πηγές, απεδείκνυαν ότι το έντομο τελικώς δεν κατάγεται από τις ΗΠΑ, διότι μέχρι το 1889 δεν είχε γίνει επίσημη αναφορά του εντόμου στην αμερικανική ήπειρο (Washburn, 1904). Τελικώς, το 1892 βρέθηκε στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών και από τότε έχει διαδοθεί ευρέως στις ΗΠΑ και για πολλά χρόνια θεωρήθηκε ο πιο ενοχλητικός εχθρός της αλευροποιίας (Agricultural Research Service, 1986).

Οι κύριοι οικότοποί του είναι οι αλευρόμυλοι, οι μονάδες αλέσεως αραβοσίτου, τα αρτοποιεία και κάθε άλλο μέρος το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταποίηση σπόρων ή για την παρασκευή προϊόντων αλεύρου. Οι προνύμφες τρέφονται κυρίως με αλεύρι σιταριού, αλλά προσβάλλουν ευρύ φάσμα προϊόντων

όπως δημητριακά, σπασμένους σπόρους, αμύγδαλα, σόγια, ρύζι, φιστίκι, κακάο, σουσάμι, ξηρούς καρπούς, όσπρια, πίτυρα, γύρη στις κυψέλες μελισσών και νεκρά έντομα (είναι δευτερεύον εχθρός) (Hill, 2003). Οι προνύμφες κατασκευάζουν θήκες υφαίνοντας μετάξινα νημάτια εντός των οποίων τρέφονται και αναπτύσσονται. Τα μετάξινα νημάτια καλύπτουν πολλές φορές την επιφάνεια των προσβεβλημένων προϊόντων (Mahroof & Hagstrum, 2012). Τα αποχωρήματα των προνυμφών και τα εκδύματά τους ρυπαίνουν τα προϊόντα και προκαλούν ζυμώσεις και δυσάρεστες οσμές στα αλεύρα, υποβαθμίζοντας την ποιότητά τους. Επιπροσθέτως, οι προνύμφες προκαλούν ζημιές στα μηχανήματα, φράζοντάς τα με τις μάζες των μεταξίνων νηματίων στα οποία προσκολλώνται τα προσβεβλημένα προϊόντα.

Τα ακμαία είναι παρόμοια με το *E. cautella* αλλά το σώμα τους είναι σχετικώς μακρύτερο. Είναι το μεγαλύτερο λεπιδόπτερο του γένους και έχει άνοιγμα πτερύγων 2 - 2,5 εκατοστά. Τα θήλεα είναι λίγο μεγαλύτερα από τα άρρενα, αλλά ο χρωματισμός των πτερύγων είναι ο ίδιος και στα δύο φύλα. Το σώμα και οι πρόσθιες πτέρυγες έχουν χρώμα τεφρό με διάσπαρτες μικρές σκουρόχρωμες κηλίδες και τρεις μαύρες εγκάρσιες κυματοειδείς ή τεθλασμένες γραμμές. Οι οπίσθιες πτέρυγες είναι λεπτές, ημιδιαφανείς και είναι υπόλευκες ή ανοιχτότεφρες, με καστανά νεύρα και περιφέρεια. Η κεφαλή τους είναι μικρή αλλά σφαιρική με μέτωπο γυμνό από λέπια. Τα ακμαία είναι νυκτόβια και δραστηριοποιούνται το ημίφως και τη νύχτα, όπως τα περισσότερα λεπιδόπτερα των αποθηκών, ενώ την ημέρα αδρανούν στα τοιχώματα της αποθήκης ή επάνω στα προϊόντα (Hill, 2003). Τα θήλεα παράγουν φερομόνη φύλου, η οποία έχει προταθεί για τον έλεγχο του εντόμου (Trematerra, 1994). Το *E. kuehniella* είναι πρωτόγονο είδος, διότι τα θήλεα εμφανίζονται σημαντικώς νωρίτερα από τα άρρενα, μπορούν να συζευχθούν την ημέρα της εμφανίσεώς τους και να παρουσιάζουν πολυανδρία (Xu *et al.*, 2008).

Τα θήλεα εναποθέτουν 200 - 300 ωά το καθένα και ωοτοκούν συνήθως πάνω στους σωρούς των αλεύρων ή σε οποιοδήποτε χώρο της αποθήκης, στον οποίο έχουν πρόσβαση, ακόμα και μέσα σε μηχανήματα. Τα ωά είναι υπόλευκα, ελλειψοειδή με κοκκώδη επιφάνεια. Οι προνύμφες έχουν μήκος 15 - 20 mm, με χρώμα υπόλευκο ή ελαφρώς ρόδινο, με καστανά ή μαύρα στίγματα, έχουν τρίχες και η κεφαλή τους είναι καστανή. Έχουν διάρκεια ζωής περίπου σαράντα ημέρες. Έχουν τρία ζεύγη ποδών στον θώρακα και άλλα τέσσερα ζεύγη στην κοιλία. Τα κοιλιακά ζεύγη των ποδών είναι εφοδιασμένα με δακτυλίους μικρών αγκίστρων στις άκρες. Υπάρχει επίσης ένα ακόμα ζεύγος στο οπίσθιο άκρο του σώματός τους (Hill, 2003). Τα ωά και οι

προνύμφες του εντόμου χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτροφή των παρασιτοειδών και των αρπακτικών για τον βιολογικό έλεγχο ορισμένων εντόμων εχθρών, καθώς και στην έρευνα της συμπεριφοράς, της βιοχημείας και της μοριακής βιολογίας των παρασιτοειδών και των αρπακτικών (Corbet, 1973, Rahman *et al.*, 2004, Özder & Tayat, 2018). Η πλήρως ανεπτυγμένη προνύμφη, κατασκευάζει ένα μετάξινο βομβύκιο, μέσα στο οποίο μεταμορφώνεται σε νύμφη. Η νύμφη έχει χρώμα ερυθροκαστανό, με μήκος λιγότερο από 1,5 εκατοστό και πάχος περίπου 2 χιλιοστά. Το τελευταίο τμήμα του σώματος της είναι καλυμμένο με λίγες κοντές σμήριγγες (εικ. 4) (Hill, 2003).

Εμφανίζει μέχρι 5 γενεές το χρόνο. Διαχειμάζει ως νύμφη και ως προνύμφη και τα ακμαία εμφανίζονται την άνοιξη. Απαντάται στα περισσότερα εύκρατα και υποτροπικά μέρη του κόσμου, όπου οι μέσες θερμοκρασίες είναι περίπου 20 – 25°C. Η πλήρης ανάπτυξη του εντόμου απαιτεί περίπου 74 ημέρες στους 25 °C και 75% ΣΥ. Ωστόσο, η ανάπτυξη μπορεί να προχωρήσει στους 12 °C, όμως ο ρυθμός επιβίωσης είναι χαμηλός και η ανάπτυξη πολύ παρατεταμένη. Η υψηλότερη θερμοκρασία για την ανάπτυξή του είναι οι 28 °C. Οι προνύμφες αντέχουν στο ψύχος και μπορούν να επιβιώσουν στους -10 °C για 3 - 4 ημέρες (Hill, 2003).

Το *E. kuhniella* έχει αρκετούς φυσικούς εχθρούς, όπως τα ακάρεα *Cheyletus eruditus* (Schrank) (Acari: Cheyletidae) και *Blattisocius tarsalis* (Berlese) (Acari: Ascidae) τα οποία τρέφονται με τα ωά και με τα πρώιμα στάδια του εντόμου. Επίσης, τα παρασιτοειδή των οικογενειών Braconidae και Ichneumonidae παρασιτούν τις προνύμφες του εντόμου, τα Trichogrammatidae παρασιτούν τα ωά και πέντε είδη ημιπτέρων το χρησιμοποιούν ως λεία (Mahroof & Hagstrum, 2012).



Εικ. 1. Ακμαίο *T. confusum*.



Εικ. 2. Προνώμφη *T. confusum*.



Εικ. 3. Νύμφη *T. confusum*.



Εικ. 4. Ακμαίο, νύμφη και προνώμφη *E. kuehniella*.

Κεφάλαιο 3

Έλεγχος και καταπολέμηση των εντόμων - εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων

3.1. Προληπτικά μέτρα

Η εκλογή του χώρου που πρόκειται να φιλοξενήσει τα προς αποθήκευση προϊόντα γίνεται κατόπιν σχολαστικής έρευνας. Θα πρέπει να αποφεύγονται χώροι οι οποίοι γειτνιάζουν με πιθανές εστίες μόλυνσεως (π.χ. εργοστάσια επεξεργασίας φυτικών προϊόντων, αποθήκες, χωματερές) ώστε να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες εισβολής ζωικών εχθρών στην υπό ανέγερση/ λειτουργία αποθήκη. Επιπροσθέτως, οι αποθήκες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες έτσι ώστε να εξασφαλίζουν την υγιεινή συντήρηση των προϊόντων με την τήρηση των ευνοϊκών συνθηκών υγρασίας, θερμοκρασίας και αερισμού. Ένα ακόμα σημαντικό μέτρο αποτελεί η σχολαστική καθαριότητα των χώρων. Ο συχνός καθαρισμός των χώρων όπου παράγονται, επεξεργάζονται ή αποθηκεύονται τα προϊόντα και η απομάκρυνση των υπολειμμάτων της επεξεργασίας, συμβάλλει σημαντικώς ώστε να αποτρέπεται η εγκατάσταση και ο πολλαπλασιασμός των εντόμων εχθρών (Hagstrum & Subramanyam, 2006). Επίσης, η κατασκευή της αποθήκης θα πρέπει να επιτρέπει τον σωστό καθαρισμό. Το δάπεδο, οι τοίχοι και η οροφή θα πρέπει να είναι λεία και οι γωνίες που σχηματίζουν μεταξύ τους να είναι στρογγυλεμένες ώστε να καθαρίζονται εύκολα. Ο καθαρισμός του χώρου επιτυγχάνεται με την χρήση ηλεκτρικής σκούπας μεγάλης ισχύος. Με τον τρόπο αυτό απομακρύνονται εκτός από τα απορρίμματα και τα προσφάτως εγκατεστημένα επιβλαβή αρθρόποδα. Στους χώρους των εγκαταστάσεων όπου ο συχνός καθαρισμός δεν είναι εφικτός, θα πρέπει να εφαρμόζονται τοπικά εντομοτοξικές ουσίες με την βοήθεια ειδικών φορητών συσκευών (Kumar, 2017).

Σε μία σωστά σχεδιασμένη σύγχρονη μονάδα, θα πρέπει παράλληλα με τα μέτρα που λαμβάνονται, να τηρείται κατάλογος με τις «ευαίσθητες» περιοχές ή με τα σημεία της εγκαταστάσεως που πιθανολογείται ότι μπορούν να αποτελέσουν εστίες ή καταφύγια εντόμων και να χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι παγίδων, οι οποίοι θα

πρέπει να είναι κατάλληλοι για κάθε περίπτωση, για την έγκαιρη διαπίστωση τυχόν υπάρξεως εντόμων (Hill, 2003).

3.2. Φυσικές μέθοδοι

Οι φυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και σήμερα για την προστασία των αποθηκευμένων σπόρων από εντομολογικούς εχθρούς είναι η χρήση ακραίων θερμοκρασιών και η χρήση της σκόνης γης διατόμων. Οι περισσότερες από τις φυσικές μεθόδους αποτελούν διαδικασίες χωρίς υπολείμματα και διαφυλάσσεται η ποιότητα των σπόρων. Ωστόσο, εν συγκρίσει με τις χημικές μεθόδους, οι φυσικές μέθοδοι είναι συνήθως πιο δαπανηρές (Kumar, 2017).

3.2.1. Ακραίες θερμοκρασίες

Η διαχείριση της θερμοκρασίας των αποθηκευμένων σπόρων είναι η καλύτερη μέθοδος η οποία θανατώνει αποτελεσματικώς τα διάφορα στάδια ζωής των εντόμων. Επί προσθέτως, η θέρμανση και η ψύξη των σπόρων παρέχουν επιπλέον προστασία χωρίς χημική επεξεργασία (Kumar, 2017). Γενικώς, τα έντομα δεν ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του σώματός τους και συνεπώς, οι ακραίες θερμοκρασίες μειώνουν την επιβίωσή τους (Hagstrum & Subramanyam, 2006). Ο έλεγχος των πληθυσμών των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων με ακραίες θερμοκρασίες, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Αυτές οι τεχνικές είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Για την εφαρμογή τους δεν απαιτούνται εγγραφές ή ειδικές άδειες και τα έντομα δεν αναπτύσσουν ανθεκτικότητα όπως συμβαίνει με τα χημικά εντομοκτόνα. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι απαιτούν εκτεταμένες κεφαλαιακές επενδύσεις για την αγορά του καταλλήλου εξοπλισμού, δεν παρέχουν μακροχρόνια προστασία στους αποθηκευμένους σπόρους ενώ εάν εφαρμοστούν εσφαλμένως, μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στα κτίρια, στον εξοπλισμό καθώς και στα προϊόντα (Hagstrum & Subramanyam, 2006).

Οι ανταποκρίσεις των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων σε ακραίες θερμοκρασίες είναι καλώς τεκμηριωμένες (Fields, 1992, Mason & Strait, 1998, Burks *et al.*, 2000, Beckett *et al.*, 2007, Abdelghany *et al.*, 2010, Fields *et al.*, 2012). Για παράδειγμα, η θέρμανση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας τροφίμων στους 50 °C ή σε υψηλότερες θερμοκρασίες (έως 75 °C) για 28 - 35 ώρες, προκάλεσε 95 - 99%

θανάτωση των ακμαίων των *T. castaneum*, *T. confusum*, *O. surinamensis*, *C. ferrugineus*, *R. dominica* και *S. oryzae* (Roesli *et al.*, 2003). Η ξήρανση με θερμό αέρα μπορεί να θανατώσει μέχρι και 90% των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων, όμως απαιτεί αρκετές ώρες εκθέσεως και ορισμένα έντομα επιβιώνουν επειδή η θέρμανση δεν κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του προϊόντος (Keever *et al.*, 1988). Ωστόσο, οι συμβατικές θερμικές επεξεργασίες, όπως είναι η χρήση ζεστού αέρα (Li *et al.*, 2011), νερού (Armstrong & Follet, 2007) και η θέρμανση με ατμό (Samtani *et al.*, 2012) εξακολουθούν να έχουν μειονεκτήματα, όπως η χαμηλή απόδοση της θέρμανσης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τον μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας των προϊόντων στις υψηλές θερμοκρασίες και κατ' επέκταση την υποβάθμιση της ποιότητας αυτών (Wang *et al.*, 2001a, b).

Οι μέθοδοι διηλεκτρικής θέρμανσης, όπως είναι τα μικροκύματα, οι ραδιοσυχνότητες και η υπέρυθρη θέρμανση, χρησιμοποιήθηκαν προσφάτως ως εναλλακτικές των προαναφερθέντων μεθόδων για απολύμανση των γεωργικών προϊόντων, λόγω της υψηλής θερμικής απόδοσής τους (Khamis *et al.*, 2010, Yadav *et al.*, 2014, Hou *et al.*, 2016). Συμφώνως προς τους Yadav *et al.* (2014), η χρήση των μικροκυμάτων για την αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικώς των χημικών μεθόδων για τον έλεγχο των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων, διότι η εφαρμογή της δεν αφήνει ανεπιθύμητα υπολείμματα και επιπλέον, θεωρείται ασφαλής και ανταγωνιστική εναλλακτική μέθοδος του υποκαπνισμού, καθώς αποφεύγεται η ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι Zhou *et al.* (2015) βρήκαν 100% θνησιμότητα των ακμαίων *S. oryzae* όταν δείγματα αποφλοιωμένου ρυζιού εκτέθηκαν σε ραδιοσυχνότητες με ένταση 13,72 kW / kg για 4,3 λεπτά με αντίστοιχες θερμοκρασίες ρυζιού που κυμάνθηκαν από 25 έως 50 °C. Επιπροσθέτως, τα αποτελέσματα εμφάνισαν ασήμαντες αλλαγές στην ποιότητα του ρυζιού όσον αφορά την υγρασία, την πρωτεΐνη, το λίπος, το άμυλο, τη σκληρότητα και το χρώμα. Ομοίως, οι Zhou & Wang (2016) διερεύνησαν περαιτέρω την ομοιομορφία της θέρμανσης με ραδιοσυχνότητες και επικύρωσαν τα αναπτυγμένα πρωτόκολλα για την απολύμανση όχι μόνο του αποφλοιωμένου ρυζιού, αλλά του αναποφλοιώτου και του καστανού. Τα αποτελέσματα έδειξαν την επιτυχία της εναλλακτικής μεθόδου των ραδιοσυχνοτήτων για τον πλήρη έλεγχο των σπόρων κατά του *S. oryzae* χωρίς να επηρεαστεί η ποιότητα των διαφορετικών ειδών ρυζιού.

Η αύξηση της θερμοκρασίας με την χρήση υπέρυθρων ακτινοβολιών για την καταπολέμηση των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων είναι καλώς

τεκμηριωμένη (Khamis *et al.*, 2010, Wang *et al.*, 2014, Duangkhamchan *et al.*, 2017, Pei *et al.*, 2018), ωστόσο, σε προηγούμενες μελέτες έχει βρεθεί ότι παράλληλα με την προστασία των σπόρων μπορεί να αφαιρέσει την υγρασία των σπόρων (Pan *et al.*, 2008, Laohavanich & Wongpichet, 2009, Pan *et al.*, 2011, Ding *et al.*, 2016).

Η ψύξη των σπόρων μπορεί να είναι αποτελεσματική για τον έλεγχο των εντόμων, όμως έχει υψηλό κόστος εξοπλισμού (Kumar, 2017). Επίσης, για την απεντόμωση των προϊόντων με αυτή τη μέθοδο, απαιτούνται συνήθως 2 - 3 εβδομάδες αποθηκεύσεως σε εμπορικούς καταψύκτες (Johnson & Valero, 2003, Johnson, 2007). Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η θερμοκρασία των $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ θα μπορούσε να ελέγξει πολλά βασικά έντομα των αποθηκευμένων προϊόντων, ιδιαιτέρως τα κολεόπτερα και τα ψωκόπτερα (Arthur *et al.*, 2015, 2017, Flinn *et al.*, 2015). Για παράδειγμα, οι Arthur *et al.* (2015) αξιολόγησαν την ευαισθησία των *T. castaneum* και *Trogoderma inclusum* LeConte (Coleoptera: Dermestidae) στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ και διαπίστωσαν ότι ανάλογα με το είδος και το στάδιο ζωής των εξετασθέντων εντόμων, απαιτήθηκαν από 0,5 έως 64 ώρες εκθέσεως στην θερμοκρασία αυτή για τον πλήρη έλεγχό τους. Για τον έλεγχο των ωών *T. castaneum* απαιτήθηκαν 8 ώρες εκθέσεως τους στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ και διαπίστωσαν ότι αυτό το στάδιο του ωού ήταν το πιο ανθεκτικό στο ψύχος από τα ακμαία ή τις προνύμφες. Ομοίως, οι Arthur *et al.* (2017) εκθέτοντας νεαρά και ώριμα ωά, νύμφες και ακμαία των *L. bostrychophila*, *L. paeta*, *L. decolor* και *L. entomophila* στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ για διάφορα χρονικά διαστήματα, βρήκαν ότι τα ωά ήταν το πιο ανθεκτικό στάδιο στο ψύχος. Τα νεαρά ωά *L. bostrychophila* ήταν τα πιο ανθεκτικά μεταξύ των εξετασθέντων ειδών με επιβίωση μέχρι 120 ώρες εκθέσεως στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ωστόσο, οι Athanassiou *et al.* (2018) βρήκαν ότι οι προνύμφες και οι νύμφες *T. confusum* ήταν πιο ανθεκτικές στις χαμηλές θερμοκρασίες (0, -5, -10 και $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) από τα ωά και τα ακμαία, ενώ τα ωά και τα ακμαία *O. surinamensis* ήταν πιο ανθεκτικά στις χαμηλές θερμοκρασίες από τις προνύμφες.

3.2.2. Η χρήση της γης διατόμων

Η γη διατόμων (diatomaceous earth) είναι ένα σχεδόν καθαρό προϊόν που αποτελείται από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και έχει προέλθει από απολιθωμένα διάτομα. Τα διάτομα είναι μονοκύτταρα φύκη και πιθανότατα αποτελούν το πιο διαδεδομένο είδος φυτών στο πλανήτη. Τα ζωντανά διάτομα είναι μικροσκοπικοί

οργανισμοί που εμφανίζονται σε αλμυρά ή γλυκά και στάσιμα νερά, σε λάσπη, σε βράχια, σε φύκια και όπου το φως και το ύδωρ συνυπήρχαν για μεγάλο χρονικό διάστημα για την ανάπτυξη και την συσσώρευσή τους (Kumar, 2017). Επίσης, τα ζωντανά διάτομα παράγουν πυρίτιο και μετά από τον θάνατο και την αποσύνθεσή τους, παραμένει μόνον το πυρίτιο. Υπάρχουν περισσότερα από 25000 είδη διατόμων τα οποία βρίσκονται σε αφθονία σε όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα, αν και ορισμένα απαντώνται σε χερσαία περιβάλλοντα (Round *et al.*, 1992).

Η γη διατόμων έχει χαμηλή τοξικότητα στους ανθρώπους και στα θηλαστικά, ενώ μπορεί να εφαρμοστεί με τα ίδια μέσα που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των συμβατικών εντομοκτόνων και μπορεί να απομακρυνθεί ευκόλως από τα προϊόντα πριν από την επεξεργασία τους (Golob, 1997, Korunic, 1998, 2013, Subramanyam & Roesli 2000, Stathers *et al.*, 2004). Οι εντομοκτόνες ιδιότητές τους, κατατάσσουν τις γαίες διατόμων μεταξύ των πλέον υποσχόμενων εναλλακτικών λύσεων των συνθετικών εντομοκτόνων έναντι των εντομολογικών προσβολών στο περιβάλλον της αποθήκης (Korunic, 1998). Συγκεκριμένως, έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν τα λιπίδια του κηρώδους χιτώνα των εντόμων και να τα απορροφούν (Korunic, 1997). Η δέσμευση των λιπιδίων εκμηδενίζει τον ρόλο του κηρώδους χιτώνα ως μέσο προστασίας της ισορροπίας του ύδατος στο εσωτερικό των εντόμων. Επιπροσθέτως, η επίδραση της γης διατόμων, προκαλεί την απώλεια υγρασίας στα έντομα οδηγώντας τα στην εξάντληση και εν συνεχεία στον θάνατο (Ebeling, 1971).

Οι συνέπειες της δράσεως της γης διατόμων εξαρτώνται από το είδος του εντόμου καθώς και από τις συνθήκες αποθηκεύσεως. Επιπροσθέτως, τόσο το στάδιο του εντόμου όσο και το είδος του επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της γης διατόμων, εξαιτίας μορφολογικών και ανατομικών διαφορών. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα ακμαία *Tribolium* spp. ανήκουν στα πιο ανθεκτικά είδη στη γη διατόμων (Arthur, 2000, Fields & Korunic, 2000, Athanassiou *et al.*, 2004a, 2016b), ενώ τα *S. oryzae* και *R. dominica* είναι πιο ευαίσθητα στις σκόνες αυτές από τα *Tribolium* spp. (Arthur, 2000, Fields & Korunic, 2000, Athanassiou *et al.*, 2003, 2004a, 2005, 2014a, 2016b, Kavallieratos *et al.*, 2005, 2015b). Επίσης, οι Athanassiou *et al.* (2005), χρησιμοποιώντας το σκεύασμα SilicoSec, διαπίστωσαν ότι τα ακμαία *T. confusum* μπορούν να επιβιώσουν σε δόσεις οι οποίες είναι θανατηφόρες για τα ακμαία *S. oryzae*. Ομοίως, όταν η γη διατόμων DEBBM εφαρμόστηκε σε επτά διαφορετικά δημητριακά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το *S. oryzae* ήταν πιο ευαίσθητο από ότι το *T. confusum* (Kavallieratos *et al.*, 2010a). Συμφώνως με τα προηγούμενα

αποτελέσματα, οι Kavallieratos *et al.* (2015a) ανέφεραν ότι η θνησιμότητα του *T. confusum* ήταν σημαντικώς χαμηλότερη εν συγκρίσει με τα *S. oryzae* και *R. dominica*.

Πέραν της δεσμεύσεως των λιπιδίων, η γη διατόμων δρα και μηχανικώς δημιουργώντας αμυχές επί της επιδερμίδας των εντόμων προκαλώντας συμπτώματα αφυδατώσεως. Μελέτες αναφέρουν την είσοδο της γης διατόμων στο εσωτερικό των εντόμων μέσω του πεπτικού συστήματος με τα ίδια αποτελέσματα (Carlson & Ball, 1962, Korunic, 1997). Στα αποτελέσματα της δράσεως της γης διατόμων αναφέρονται στις ίδιες μελέτες περιπτώσεις ασφυξίας και απωθητική δράση επί των εντόμων αυξάνοντάς έτσι το επίπεδο της προστασίας.

Παράγοντες όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, το είδος του εντόμου και η τροφή του στις αποθήκες επιδρούν στην αποτελεσματικότητα της γης διατόμων. Επί παραδείγματι, το σκεύασμα γης διατόμων SilicoSec βρέθηκε να είναι αποτελεσματικό κατά των προνυμφών *E. kuehniella*, εφ' όσον ληφθούν υπ' όψιν η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία (Athanassiou *et al.*, 2006). Οι Athanassiou *et al.* (2007) εκτίμησαν την εντομοκτόνο δράση τριών σκευασμάτων γης διατόμων: Protect-it, PyriSec (500, 1000, 1500 ppm) και DEA-P (75, 150, 500 ppm) κατά των ακμαίων *P. truncatus* σε αποθηκευμένο αραβόσιτο σε τρεις θερμοκρασίες, 20, 25, 30 °C και σε δυο επίπεδα RH, 55, 75%. Βρέθηκε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις το Protect-it και το PyriSec ήσαν περισσότερο δραστικά στους 20 °C εν συγκρίσει με τους 30 °C. Αντιθέτως, η δράση του DEA-P ήταν διαρκώς υψηλή σε όλους τους εξετασθέντες συνδυασμούς θερμοκρασίας και ΣΥ. Ωστόσο, άλλες μελέτες έχουν τεκμηριώσει καλώς ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την αποτελεσματικότητα των γαιών διατόμων (Fields & Korunic, 2000, Vayias & Athanassiou, 2004, Athanassiou *et al.*, 2014a). Οι περισσότερες γαίες διατόμων είναι γενικώς λιγότερο αποτελεσματικές στον αραβόσιτο εν συγκρίσει με το σιτάρι για αρκετά είδη των αποθηκευμένων σπόρων, συμπεριλαμβανομένου του *S. oryzae* (Athanassiou *et al.*, 2003, 2011a). Επί παραδείγματι, οι Athanassiou *et al.* (2003) βρήκαν ότι η θνησιμότητα των ακμαίων *S. oryzae* μετά από 7 ημέρες εκθέσεως στο κριθάρι και στον αραβόσιτο όπου είχαν εφαρμοστεί 250 ppm SilicoSec, ήταν 70,8 και 16,6% αντιστοίχως.

3.3. Βιολογικές μέθοδοι

3.3.1. Οι σημαντικότεροι φυσικοί εχθροί των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων

Αρκετά είδη του γένους *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) είναι σημαντικά παρασιτοειδή των ωών των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων. Το *Habrobracon* (= *Bracon*) *hebetor* (L.) (Hymenoptera: Braconidae) παρασιτεί τα ατελή στάδια σχεδόν όλων των εντόμων της τάξεως Lepidoptera, εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων. Το *Cephalonomia tarsalis* (Ashmead) (Hymenoptera: Bethyridae) είναι αρπακτικό και εκτοπαρασιτοειδές των προνυμφών *O. surinamensis*. Το *Cephalonomia waterstoni* (Gahan) (Hymenoptera: Bethyridae) είναι παρασιτοειδές των προνυμφών *C. ferrugineus* και μπορεί συχνώς να αποτρέψει τους πληθυσμούς του εντόμου να φθάσουν σε ζημιογόνα επίπεδα (Hagstrum, 1987). Το *Anisopteromalus calandrae* (Howard) (Hymenoptera: Pteromalidae), είναι εκτοπαρασιτοειδές των προνυμφών των κολεοπτέρων και συγκεκριμένως των οικογενειών Anobiidae, Bruchidae, Bostrichidae και Curculionidae. Οι Press *et al.* (1984), βρήκαν ότι με την εξαπόλυση μόνο πέντε ζευγών *A. calandrae* μειώθηκε ο πληθυσμός του *S. oryzae* κατά περίπου 50%. Τα παρασιτοειδή *Lariophagus distinctus* (Förster) (Hymenoptera: Pteromalidae) και *Theocolax elegans* (Westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae), επιτίθενται επίσης στις προνύμφες των οικογενειών Bostrychidae και Curculionidae. Το *Laelius pedatus* (Say) (Hymenoptera: Bethyridae) είναι εκτοπαρασίτο των προνυμφών κυρίως των κολεοπτέρων της οικογενείας Dermestidae. Το υμενόπτερο αυτό έχει ορισμένα επιθυμητά χαρακτηριστικά για τον δυναμικό έλεγχο του *T. granarium*, όπως υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό, ευκολία εκτροφής και εξαπολύσεως υπό από τεχνητές συνθήκες (Al-Kirshi *et al.*, 1996).

Το *Holepyris sylvanidis* (Bréthes) (Hymenoptera: Bethyridae) είναι ένα κοσμοπολιτικό παρασιτοειδές των κολεοπτέρων των οικογενειών Cucujidae, Curculionidae και Tenebrionidae (Gahan, 1930, Evans, 1978, Abdella *et al.*, 1985, Gordh & Móczár, 1990, O'Connor & Ronayne, 2002). Μεταξύ των Tenebrionidae, ο προτιμώμενος ξενιστής είναι το *T. confusum* (Ahmed & Islam, 1988, Lorenz *et al.*, 2010, Flinn & Schöller, 2012). Το *H. sylvanidis* τρέφεται με τις προνύμφες *T. confusum* των πρώτων σταδίων και ωοτοκεί στις μεγαλύτερες προνύμφες, συνήθως

τοποθετώντας ένα μόνο ωό σε κάθε ξενιστή (Ahmed *et al.*, 1997). Προσφάτως, οι Fürstenau *et al.* (2016) βρήκαν ότι τα θήλα *H. sylvanidis* προσελκύονται από τις οσμές που προέρχονται από τα αποχωρήματα των προνυμφών *T. confusum*.

Υπάρχουν μάλλον πολλά είδη αρπακτικών που προσβάλλουν τα έντομα των αποθηκευμένων προϊόντων, αλλά τα περισσότερα από αυτά δεν έχουν μελετηθεί, με την εξαίρεση του *Xylocoris flavipes* (Reuter) (Hemiptera: Anthocoridae), το οποίο είναι αρπακτικό ωών και προνυμφών στις περισσότερες κατηγορίες εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων και του *Teretriosoma nigrescens* (L.) (Coleoptera: Histeridae), το οποίο είναι αρπακτικό διαφόρων ειδών κολεοπτέρων τα οποία προσβάλλουν αποθηκευμένα προϊόντα (Hagstrum & Subramanyam, 2006). Για παράδειγμα, το *X. flavipes* μπορεί να καταστείλει τον πληθυσμό του *T. confusum* υπό την παρουσία μικρής ποσότητας αλεύρου σίτου (Scholler & Prozell, 2010). Το αρπακτικό *Amphibolus venator* (Klug) (Hemiptera: Reduviidae), τρέφεται τόσο με προνύμφες όσο και με ακμαία διαφόρων εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων (Pingale, 1954, Haines, 1991, Takahashi & Romeo, 2001, Nishi *et al.*, 2004, Imamura *et al.*, 2008) σε διάφορες περιοχές του κόσμου όπως η Βόρεια Αφρική, η Μέση Ανατολή, η Ιαπωνία, η Μαλαισία και η Ταϊλάνδη (Hayashi *et al.*, 2004). Σε μία πρόσφατη μελέτη, οι Murata *et al.* (2016) εξαπέλυσαν ταυτοχρόνως το παρασιτοειδές *T. elegans* και το αρπακτικό *Amphibolus venator* (Klug) (Hemiptera: Reduviidae) κατά του *S. zeamais*, καταδεικνύοντας ότι ο συνδυασμός τους μπορεί να ενισχύσει ικανοποιητικώς τον βιολογικό έλεγχο του *S. zeamais*, εν συγκρίσει με την κατά μόνας εξαπόλυσή τους.

3.3.2. Εντομοπαθογόνοι μικροοργανισμοί

Οι εντομοπαθογόνοι μικροοργανισμοί είναι αποτελεσματικοί κατά ευρέως φάσματος ειδών εντόμων αποθηκών (Kavallieratos *et al.*, 2006, 2014). Οι περισσότεροι από αυτούς μπορούν να παραχθούν μαζικώς *in vitro* σε εμπορική κλίμακα και εφαρμόζονται με τα ίδια τεχνικά μέσα όπως τα χημικά προστατευτικά (Wraight & Hajek, 2009). Μεταξύ των εντομοπαθογόνων μικροοργανισμών, οι μύκητες αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση των χημικών εντομοκτόνων (Moore *et al.*, 2000, Kavallieratos *et al.*, 2006), διότι έχουν χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά, υπάρχουν άφθονα στην φύση, είναι φιλικά προς το περιβάλλον και προσβάλλουν τα έντομα μέσω της επαφής.

Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες χρησιμοποιούνται για τον βιολογικό έλεγχο πολλών ειδών εντόμων (Batta, 2007, Gabarty *et al.*, 2014, Han *et al.* 2014) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικώς για τον έλεγχο των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων (Batta, 2016). Για παράδειγμα, ο μύκητας *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycotina: Hyphomycetes), έχει δοκιματεί επιτυχώς κατά διαφόρων ειδών εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων, τόσο στο εργαστήριο όσο και στην φύση (Rice & Cogburn, 1999, Moore *et al.*, 2000, Dal-Bello *et al.*, 2001, Lord, 2001, 2005 Padin *et al.*, 2002, Stathers, 2002, Wakefield *et al.*, 2002, Akbar *et al.*, 2004, Batta *et al.*, 2010, Kaur *et al.*, 2014, Kavallieratos *et al.*, 2014, Batta, 2018). Για τον μύκητα *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes), υπάρχουν ενδείξεις ότι είναι αποτελεσματικός κατά των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων (Batta, 2004, 2005, Kavallieratos *et al.*, 2014, Batta, 2018). Το είδος αυτό αποτελεί ένα καλό πρότυπο για βιοδοκιμές διότι παράγει μεγάλους αριθμούς κωνιδίων τα οποία συλλέγονται ευκόλως.

Η συνδυασμένη χρήση των εντομοπαθογόνων μυκήτων με την γη διατομών έχει διερευνηθεί διεξοδικώς κατά αρκετών ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων (Rumbos & Athanassiou, 2017). Για παράδειγμα, ο Lord (2001) ανέφερε την συνεργηστική δράση της γης διατόμων με τον μύκητα *B. bassiana* κατά των ακμαίων *R. dominica* και *O. surinamensis*. Επίσης, η μελέτη της αποτελεσματικότητας του εντομοπαθογόνου μύκητα *M. anisopliae* σε συνδυασμό με το σκεύασμα της γης διατόμων SilicoSec κατά των προνυμφών *T. confusum* έδειξε ότι η παρουσία του SilicoSec ενίσχυσε την εντομοκτόνο δράση του *M. anisopliae* υπό συγκεκριμένες συνθήκες (Michalaki *et al.*, 2005). Ωστόσο, όταν ο συνδυασμός αυτός εφαρμόστηκε σε ακμαία άτομα *T. confusum*, δεν ελήφθησαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ για τα ακμαία *S. oryzae* και *R. dominica* η θνησιμότητα μετά από 14 ημέρες εκθέσεως ήταν 82 και 94%, αντίστοιχα (Kavallieratos *et al.*, 2006).

Οι εντομοπαθογόνοι νηματώδεις οι οποίοι έχουν μελετηθεί και διερευνηθεί εκτενώς ανήκουν κυρίως στις οικογένειες Steinernematidae (Rhabditida: Nematoda) και Heterorhabditidae (Rhabditida: Nematoda). Σε αυτές τις οικογένειες ανήκουν τα σημαντικότερα είδη εντομοπαθογόνων νηματωδών και έχουν αποκτήσει εμπορική εφαρμογή (Gaugler *et al.*, 2000, Ehlers, 2003). Οι εντομοπαθογόνοι νηματώδεις είναι υποχρεωτικά παράσιτα τα οποία θανατώνουν τα έντομα με την βοήθεια συμβιωτικών βακτηρίων (*Photorhabdus* spp.) που βρίσκονται στο έντερο του νηματώδη (Poinar,

1990, Boemare, 2002). Οι νύμφες 3^{ου} σταδίου του νηματώδη (J3) εισέρχονται στον ξενιστή τους μέσω φυσικών ανοιγμάτων του σώματος όπως είναι το στόμα, και απελευθερώνουν τα βακτήρια που θανατώνουν τον ξενιστή εντός 48 ωρών (Poinar, 1990). Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι ορισμένα είδη και βιότυποι των εντομοπαθογόνων νηματωδών μπορεί να είναι αποτελεσματικά στον έλεγχο των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων (Mbata & Shapiro-Pan, 2005, Ramos-Rodriguez *et al.*, 2007, Athanassiou *et al.*, 2008a, 2010a, Rumbos & Athanassiou 2012, 2016, Negrisoli *et al.*, 2013). Για παράδειγμα, οι Athanassiou *et al.* (2008a), χρησιμοποιώντας διάφορους βιότυπους του εντομοπαθογόνου νηματώδη *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Nematoda: Steinernematidae), ανέφεραν ότι η θνησιμότητα των προνυμφών *E. kuehniella* και *T. confusum* έφθασε το 69 και το 100%, αντιστοίχως, και ότι υπήρξαν αξιοσημείωτες διαφορές στην αποτελεσματικότητα των εξετασθέντων βιοτύπων.

Άλλοι εντομοπαθογόνοι μικροοργανισμοί, όπως το βακτήριο *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae), το οποίο είναι ένα Gram θετικό βακτήριο του εδάφους, χαρακτηρίζεται από την παραγωγή δ-ενδοτοξινών που δρουν ως ισχυρή εντερική τοξίνη για διάφορα έντομα (Vidyardhi *et al.*, 2002). Είναι το εμπορικότερο παθογόνο το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των εντόμων, είναι εγκεκριμένο για την εφαρμογή του σε αποθηκευμένους σπόρους σε διάφορες χώρες του κόσμου (Lord *et al.*, 2007) και έχει αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα έναντι πολλών ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων, όπως τα *R. dominica*, *T. molitor*, *T. castaneum*, *E. kuehniella* και *P. interpunctella* (Oppert *et al.*, 2011, Yilmaz *et al.*, 2012, Nouri-Ganbalani *et al.*, 2016).

Πολλοί ιοί έχουν απομονωθεί από έντομα των αποθηκευμένων προϊόντων, κυρίως από λεπιδόπτερα (Brower *et al.*, 1996) και έχουν αξιολογηθεί έναντι εντόμων αποθηκών (Hunter, 1970, Vail *et al.*, 1991). Επιπροσθέτως, έχει διεξαχθεί περιορισμένη έρευνα με εντομοπαθογόνα πρωτόζωα κατά των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων (Lord, 2003).

3.4. Βιοτεχνολογικές μέθοδοι

Οι βιοτεχνολογικές μέθοδοι αντιμετώπισης των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων περιλαμβάνουν τη χρήση σηματοχημικών ουσιών.

3.4.1. Φερομόνες

Προσφάτως έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος περί της χρήσεως των φερομονών όχι μόνο για την παρακολούθηση αλλά και για τον έλεγχο αρκετών ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων. Σε αυτή την προσπάθεια, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στον έλεγχο των λεπιδοπτέρων των αποθηκών της οικογένειας Pyralidae, με τη χρήση φερομονών μέσω της μεθόδου της σεξουαλικής συγχύσεως (Ryne *et al.*, 2001, 2006, 2007, Burks *et al.*, 2011, Savoldelli & Trematerra, 2011, Trematerra *et al.*, 2011, Burks & Kuenen, 2012, Trematerra, 2012, Trematerra & Savoldelli, 2013, Campos & Phillips, 2014, Athanassiou *et al.*, 2016c). Ωστόσο, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η μέθοδος αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση των κολεοπτέρων των αποθηκευμένων προϊόντων (Mahroof & Phillips, 2014).

Η εφαρμογή της μεθόδου της σεξουαλικής συγχύσεως στις εγκαταστάσεις των αποθηκών πλεονεκτεί σε σχέση με την εφαρμογή της στους εχθρούς των καλλιεργειών στον αγρό, διότι οι συνθήκες στο περιβάλλον των αποθηκευμένων προϊόντων είναι ελεγχόμενες (Trematerra *et al.*, 2011). Η φερομόνη (Z,E)-9,12-tetradecadien-1-yl acetate, γνωστή ως TDA ή ZETA, είναι το προσελκυστικό των αρρένων για πολλά είδη της οικογένειας Pyralidae που προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα (Levinson & Buchelos, 1981) και έχει εφαρμοστεί επιτυχώς με την μέθοδο της σεξουαλικής συγχύσεως σε αποθήκες της Τσεχίας, της Ιταλίας και της Ελλάδας κατά των *E. cautella*, *E. kuehniella* και *P. interpunctella* (Trematerra *et al.*, 2011) και σε εγκαταστάσεις της κεντρικής Ελλάδας, κατά του *E. kuehniella* (Athanassiou *et al.*, 2016c), όπως και με τη μέθοδο της αυτοσυγχύσεως κατά των *E. kuehniella* και *P. interpunctella*, σε αποθηκευτικές εγκαταστάσεις στην Ιταλία και την Ελλάδα (Trematerra *et al.*, 2013). Επιπροσθέτως, η συνεχής χρήση της μεθόδου της σεξουαλικής συγχύσεως παρέχει ικανοποιητικό επίπεδο προστασίας σε μακροπρόθεσμη βάση (Ryne *et al.*, 2007, Sieminska *et al.*, 2009, Trematerra *et al.*, 2011, Athanassiou *et al.*, 2016c). Για παράδειγμα, οι Athanassiou *et al.* (2016c) βρήκαν ότι η συνεχής εφαρμογή της μεθόδου αυτής επί τέσσερα έτη, μείωσε δραστηκώς τους πληθυσμούς του *E. kuehniella*. Ομοίως, οι Trematerra *et al.* (2013) μετά από την εφαρμογή της μεθόδου της αυτοσυγχύσεως για δύο έτη (2008 – 2010), μειώθηκε σημαντικώς ο αριθμός των ακμαίων λεπιδοπτέρων.

3.5. Χημικές μέθοδοι

3.5.1. Φυσικά εντομοκτόνα

3.5.1.1. Αιθέρια έλαια.

Τα αιθέρια έλαια είναι ένας από τους κυριότερους τύπους των βοτανικών προϊόντων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των εντόμων, λόγω της χαμηλής τοξικότητάς τους στο περιβάλλον και προς τα έντομα - μη στόχους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πτητική φύση τους οδηγεί σε ελάχιστη υπολειμματική δράση (Isman, 2006). Επίσης, χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα επαφής, υποκαπνιστικά, προσελκυστικά ή απωθητικά για τον έλεγχο των εντόμων (Miresmailli & Isman, 2014). Πολλές πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει την αποτελεσματικότητα των αιθέριων ελαίων για τον έλεγχο ευρέος φάσματος ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων (Ayvaz *et al.*, 2010, Liu & Du, 2011, Lu *et al.*, 2013, Nenaah, 2014a, b, Nenaah *et al.*, 2015, de Araújo *et al.*, 2017, Cao *et al.*, 2018, Chen *et al.*, 2018, Koutsaviti *et al.*, 2018).

Οι Ayvaz *et al.* (2010), μελέτησαν την εντομοκτόνο δράση των αιθέριων ελαίων από τη ρίγανη, *Origanum onites* L. (Lamiales: Lamiaceae), το θρούμπι, *Satureja thymbra* L. (Lamiales: Lamiaceae) και τη μυρτιά, *Myrtus communis* L. (Rosales: Myrtaceae) κατά των *P. interpunctella* και *E. kuhniella* και βρήκαν ότι τα αιθέρια έλαιά τους ήταν ιδιαιτέρως αποτελεσματικά, προκαλώντας πλήρη θνησιμότητα μετά από 24 ώρες, ενώ της μυρτιάς ήταν λιγότερο αποτελεσματικό με θνησιμότητα 90%. Οι Lu *et al.* (2013) βρήκαν ότι το allicin, συστατικό το οποίο προέρχεται από το σκόρδο, *Allium sativum* L. (Asparagales: Amaryllidaceae), έχει μια σημαντική υποκαπνιστική τοξικότητα κατά των *T. castaneum*, *O. surinamensis* και *C. ferrugineus*. Το αιθέριο έλαιο των άγριων φρούτων *Evodia lenticellata* Huang (Sapindales: Rutaceae), προκάλεσε μετά από 24 ώρες υποκαπνισμού, 87 και 93% θνησιμότητα στα ακμαία των *T. castaneum* και *L. serricorne* αντιστοίχως, όμως, δεν ήταν αποτελεσματικό κατά των ακμαίων του *L. bostrychophila* (Cao *et al.*, 2018).

3.5.2. Συνθετικά εντομοκτόνα

Τα συνθετικά εντομοκτόνα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία των σιτηρών κατά την διάρκεια της αποθηκεύσεώς τους. Τα εντομοκτόνα θανατώνουν τα έντομα που ήδη υπάρχουν στα προϊόντα και αποτρέπουν την πολλαπλή προσβολή και την επανεμφάνισή τους. Χρησιμοποιούνται σε όλα τα επίπεδα αποθηκεύσεως και εφαρμόζονται ευκόλως, είτε ως υγρά με ψεκασμό είτε με επίταση, σε συγκεκριμένες περιοχές των εγκαταστάσεων της αποθήκης, στα όχημα μεταφοράς ή στο αποθηκευμένο προϊόν (Hagstrum & Subramanyam, 2006).

Τα εντομοκτόνα που χρησιμοποιούνται κυρίως για την αντιμετώπιση των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων είναι τα οργανοφωσφορικά, τα οποία φωσφορυλιώνουν το ένζυμο χολινεστεράση που υδρολύει την ακετυλοχολίνη στο νευρικό σύστημα των εντόμων (Donarski *et al.*, 1989, Ibrahim, 1998, Carlo del *et al.*, 2005, Elešrec & Filipić, 2011) και τα πυρεθρινοειδή τα οποία δρουν στις μεμβράνες των νευρώνων των εντόμων, προκαλώντας παρατεταμένη ενεργοποίηση του διαύλου νατρίου (Cremer, 1983, Vijverberg & van den Bercken, 1990, Narahasi, 2000, Soderlund *et al.*, 2002, Freeborn *et al.*, 2015)

Για την επιλογή του καταλλήλου εντομοκτόνου θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν το είδος του εντόμου που πρόκειται να καταπολεμηθεί, η διάρκεια προστασίας, η δόση και τα υπολείμματα που αφήνει το εντομοκτόνο στα προϊόντα, το είδος του προϊόντος που είναι αποθηκευμένο ή που πρόκειται να αποθηκευθεί, ο χρόνος επαναχρησιμοποίησεως του χώρου από τους εργαζόμενους και τα τυχόν παρασκευαζόμενα στον χώρο προϊόντα (Hagstrum & Subramanyam, 2006).

Εκτός από τις άμεσες εφαρμογές των εντομοκτόνων ως προστατευτικά των σπόρων, ο έλεγχος των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων εξαρτάται από τη χρήση των σκευασμάτων που εφαρμόζονται σε επιφάνειες, σε άδειες αποθήκες ή σε στοχευμένους ελέγχους ρωγμών και σχισμών (Kavallieratos *et al.*, 2011, Arthur, 2012, Kharel *et al.*, 2014). Μία μεγάλη κατηγορία εντομοκτόνων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι τα αερολύματα, τα οποία έχουν ως βάση τα οργανοφωσφορικά, με τη συνεργιστική δράση πυρεθρινοειδών ή IGRs (Arthur & Campbell, 2008, Sutton *et al.*, 2011, Kharel *et al.*, 2014). Επίσης, τα αερολύματα έχουν αποδειχθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματικά έναντι ενός ευρέος φάσματος ειδών εντόμων σε διάφορους τύπους δημητριακών (Arthur, 2012). Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των επιφανειακών ψεκασμών μπορεί να επηρεάζεται αρνητικώς

από την παρουσία μιας πηγής τροφής. Για παράδειγμα, ο Arthur (1998) βρήκε ότι όταν τα ακμαία *T. castaneum* είχαν τροφή κατά την διάρκεια ή μετά από την έκθεσή τους σε ψεκασμένη επιφάνεια με cyfluthrin, η επιβίωσή τους αυξήθηκε σε σχέση με τα ακμαία που εκτέθηκαν χωρίς τροφή.

Όσον αφορά τα ενσაკισμένα προϊόντα, τα τελευταία χρόνια άρχισε να αναπτύσσεται μία καινοτόμος ιδέα, η οποία μειώνει περαιτέρω τον κίνδυνο προσβολών από έντομα. Για το λόγο αυτό, τα εντομοκτόνα μπορούν να εμποτιστούν στα υλικά των σάκων αποθηκεύσεως (π.χ. ZeroFly σάκοι αποθηκεύσεως από πολυμερές πολυπροπυλένιο, Vestergaard S.A., Lausanne, Ελβετία) ή να ψεκαστούν απ' ευθείας στο υλικό της συσκευασίας (π.χ. χαρτί, πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο) (Highland *et al.*, 1977, 1984a, b, Highland & Cline, 1986, Scheff *et al.*, 2016, Kavallieratos *et al.*, 2017a, b, Paudyal *et al.*, 2017a, b, Scheff *et al.*, 2017, Scheff & Arthur, 2018). Επομένως, η ψεκασμένη συσκευασία εμποδίζει τις προσβολές των εντόμων που προέρχονται είτε από το περιβάλλον της αποθήκης και εισέρχονται στα συσκευασμένα προϊόντα ή το αντίστροφο (Kavallieratos *et al.*, 2017a, b, Paudyal *et al.*, 2017a). Θα έπρεπε να σημειωθεί ότι αυτή η στρατηγική διαχείρισεως απαιτεί τον υποκαπνισμό των σπόρων πριν από την εισαγωγή τους στις συσκευασίες, έτσι ώστε να αποφευχθούν ή να καθυστερήσουν οι ζημιές από τα έντομα, κατά την περίοδο της αποθηκεύσεώς τους (Kavallieratos *et al.*, 2017a, Paudyal *et al.*, 2017b).

Πολλές μελέτες τεκμηριώνουν την αποτελεσματικότητα της ιδέας αυτής. Οι Paudyal *et al.* (2017b) βρήκαν ότι οι σάκοι αποθηκεύσεως ZeroFly προστατεύουν τον αποθηκευμένο αραβόσιτο για μία περίοδο τεσσάρων μηνών κατά των *Cryptolestes* spp., *Sitophilus* spp. και *Tribolium* spp. Ομοίως, οι Scheff & Arthur (2018) έδειξαν όταν τα συζευγμένα *T. castaneum* και *T. confusum* δεν παρήγαγαν απογόνους μετά από την έκθεσή τους στον ίδιο τύπο σάκων αποθηκεύσεως για 2 και 7 ημέρες αντιστοίχως. Επίσης, οι Kavallieratos *et al.* (2017b) ψέκασαν σάκους αποθηκεύσεως με τις δραστικές ουσίες chlorfenapyr και pirimiphos-methyl και διαπίστωσαν ότι οι 3 ημέρες εκθέσεως ήσαν αρκετές ώστε να θανατωθούν όλα τα εκτεθέντα ακμαία άτομα *P. trunactus* και *R. dominica*. Επιπροσθέτως, οι Kavallieratos & Boukouvala (2018) ψέκασαν τρεις διαφορετικές συσκευασίες (σάκοι από διαφορετικό τύπο πολυπροπυλένιο και χαρτόσακος) για την αποθήκευση των σπόρων με a-cypermethrin, chlorfenapyr, deltamethrin και pirimiphos-methyl και πρότειναν ότι ο έλεγχος των ακμαίων και των προνυμφών *T. granarium* είναι εφικτός στις συσκευασίες αυτές με την εφαρμογή των pirimiphos-methyl και chlorfenapyr.

Η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στα εντομοκτόνα που προστατεύουν τα αποθηκευμένα προϊόντα από έντομα έχουν αναφερθεί σε πολλές χώρες (Collins, 1990, Herron, 1990, Collins *et al.*, 1993, Guedes *et al.*, 1996, Zettler & Arthur, 1997, Lorini & Galley, 1999). Οι κυριότερες ομάδες εντομοκτόνων που έχουν καταγραφεί για την ανάπτυξη ανθεκτικότητας είναι τα οργανοφωσφορικά, τα πυρεθροειδή και οι ορμόνες νεότητας, όμως η ανάπτυξη ανθεκτικότητας έχει αναφερθεί σε ένα ή περισσότερα είδη επιβλαβών εντόμων στα εντομοκτόνα κάθε μιας από αυτές τις ομάδες. Μια λύση είναι ο συνδυασμός των προστατευτικών για τον έλεγχο ορισμένων ειδών εντόμων ή των ανθεκτικών γονοτύπων (Daglish *et al.*, 1995). Η ανάπτυξη ανθεκτικότητας σε οποιοδήποτε από τα προστατευτικά που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό μπορεί να δώσει ένα συνδυασμό ο οποίος θα είναι αναποτελεσματικός (Daglish & Nayak, 2012). Συνεπώς, είναι επιτακτική η ανάγκη ευρέσεως νέων δραστικών για την αντιμετώπιση των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων.

3.5.3. Καπνογόνα

Ο υποκαπνισμός είναι η πρακτική της χρήσεως αερίων εντομοκτόνων τα οποία εφαρμόζονται απ' ευθείας στα προϊόντα ή σε όλες τις δομές της αποθήκης. Το καπνογόνο, είναι μια τοξική χημική ουσία ή μίγμα ενώσεων που θανατώνει τα έντομα ως πτητικό αέριο εντός ενός εύρους θερμοκρασιών. Τα καπνογόνα αποτελούν τα αποτελεσματικότερα μέτρα ελέγχου των εντόμων που προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα. Όταν εφαρμόζονται ορθά, παρέχουν υψηλό επίπεδο θνησιμότητας και δεν αφήνουν υπολείμματα στους σπόρους ή τα τρόφιμα. Εκτός από την αποτελεσματικότητά τους ως εντομοκτόνα, τα καπνογόνα είναι από τα πιο επικίνδυνα σκευάσματα για τον άνθρωπο και για τους οργανισμούς μη-στόχους. Συνεπώς, είναι σημαντικό τα άτομα που θα εφαρμόζουν τα καπνογόνα να λαμβάνουν εμπεριστατωμένη εκπαίδευση από πιστοποιημένους οργανισμούς πριν από την χρήση τους (Phillips *et al.*, 2012).

Η χρήση των καπνογόνων έχει πολλά πλεονεκτήματα. Οι περισσότερες από τις μεθόδους διαχείρισεως που χρησιμοποιούνται κατά των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων είναι προληπτικές. Επειδή τα καπνογόνα δρουν ταχέως και είναι αποτελεσματικά έναντι των περισσότερων ειδών εντόμων, χρησιμοποιούνται ως άμεση λύση στην εμφάνιση της εντομολογικής προσβολής.

Επιπλέον, τα καπνογόνα είναι πτητικά αέρια που μπορούν να διεισδύσουν στα χύδην προϊόντα. Ωστόσο, η διάχυση του καπνογόνου είναι αργή και εξαρτάται από τα φυσικά ρεύματα αέρος μέσα στη μάζα των σπόρων στην διάχυση. Ωστόσο, εξαιτίας της οσμής τους απαιτείται αερισμός μετά από τον υποκαπνισμό για να μειωθεί η συγκέντρωση του καπνογόνου στα ασφαλή επίπεδα. Τα καπνογόνα είναι φθηνά και η εφαρμογή τους είναι απλή. Παρ' όλα αυτά, τα καπνογόνα δεν παρέχουν μακροπρόθεσμη προστασία. Τα προϊόντα είναι απροστάτευτα μετά τον αερισμό του αποθηκευτικού χώρου και τα προϊόντα μπορούν να προσβληθούν ξανά από τα έντομα (Hagstrum & Subramanyam, 2006).

Το κυριότερο καπνογόνο που χρησιμοποιείται σήμερα στην αντιμετώπιση των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων είναι η φωσφίνη (PH_3). Η κοινή χρήση της φωσφίνης σε παγκόσμιο επίπεδο οφείλεται στην κατάργηση των παλαιότερων καπνογόνων (carbon tetrachloride, carbon disulfide, ethylene dichloride, ethylene dibromide, methyl bromide), στην φθίνουσα χρήση των υπολειμματικών εντομοκτόνων επαφής και στην έλλειψη εναλλακτικών καπνογόνων τα οποία να είναι εξ ίσου εύκολα στην χρήση και οικονομικά όπως η φωσφίνη (Collins *et al.*, 2001, Fields & White, 2002, Nayak *et al.*, 2003, Phillips & Throne, 2010). Χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στην ευρεία διάδοση της χρήσεως της φωσφίνης είναι η εύκολη εφαρμογή, η χαμηλή τιμή, αφήνει ελάχιστα υπολείμματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα τύπων αποθηκεύσεως και προϊόντων (Nayak & Collins, 2008).

Η φωσφίνη έχει καταστεί το μοναδικό οικονομικώς βιώσιμο καπνογόνο για την καταπολέμηση των επιβλαβών εντόμων των αποθηκευμένων σιτηρών (Hagstrum *et al.*, 1999). Θανατώνει τα έντομα προκαλώντας αναπνευστικό στρες λόγω της διατάραξης της οξειδωτικής διαδικασίας που συμβαίνει μέσα στα ζωντανά κύτταρα, μια διαδικασία με την οποία η χημική ενέργεια των οργανικών μορίων απελευθερώνεται σε μια σειρά μεταβολικών βημάτων που αφορούν την κατανάλωση το οξυγόνου και την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα και ύδατος (Chefurka *et al.*, 1976, Chaudhry, 1997, Schlipalius *et al.*, 2008).

Η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στην φωσφίνη των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων, αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τους Champ & Dyte (1976). Συγκεκριμένως, μία παγκόσμια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το FAO (Food and Agriculture Organization) το 1972 – 1973, έδειξε ότι περίπου το 10% του πληθυσμού των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων, από δειγματοληψίες που

πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες χώρες, περιείχε άτομα ανθεκτικά στην φωσφίνη. Τα επόμενα χρόνια, η ανάπτυξη ανθεκτικότητας των εντόμων στην φωσφίνη αναφέρθηκε σε πολλές περιοχές του κόσμου (Borah & Chahal, 1979, Tyler *et al.*, 1983, Sayaboc *et al.*, 1998, Benhalima *et al.*, 2004, Lorini *et al.*, 2007, Emery *et al.*, 2011, Nayak *et al.*, 2012, Opit *et al.*, 2012a, Daghli *et al.*, 2014, 2015, Chen *et al.*, 2015, Kaur *et al.*, 2015, Κοçak *et al.*, 2015). Η ανάπτυξη ανθεκτικότητας περιορίζει την αποτελεσματικότητα της φωσφίνης ως εργαλείο διαχείρισεως των επιβλαβών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων και αυτό έχει καταστεί πρόβλημα σε διάφορα μέρη του κόσμου (Collins *et al.*, 2001, Pimentel *et al.*, 2010, Opit *et al.*, 2012a). Ωστόσο, είναι γνωστό ότι η αύξηση της συγκεντρώσεως της φωσφίνης ή της περιόδου εκθέσεως ή και των δύο αυτών παραγόντων, μπορούν να ελέγξουν την ανθεκτικότητα (Collins *et al.*, 2005, Daghli *et al.*, 2002). Όμως, αυτές οι συνθήκες μπορούν να επιτευχθούν μόνο σε καλώς σφραγισμένες δομές (Navarro & Zettler, 2001).

Ο στόχος της διαχείρισεως της ανθεκτικότητας στην φωσφίνη είναι να διατηρηθεί η ευαισθησία των εντόμων στην φωσφίνη έτσι ώστε να επιτυγχάνεται υψηλό επίπεδο θνησιμότητας κάθε φορά που χρησιμοποιείται. Μία στρατηγική για την διαχείριση της ανθεκτικότητας στην φωσφίνη επιδιώκει αφ' ενός την καθυστέρηση στην ανάπτυξη της ανθεκτικότητας όπου δεν έχει συμβεί και αφ' ετέρου, να μετριάσει την ανθεκτικότητα των πληθυσμών, όπου εμφανίζεται, με την σπάνια χρήση της φωσφίνης.

3.5.4. Ρυθμιστές αναπτύξεως

Οι ρυθμιστές αναπτύξεως των εντόμων (Insect Growth Regulators, IGRs) αποτελούν ομάδα εντομοκτόνων τα οποία παρεμποδίζουν την φυσιολογική ανάπτυξη των εντόμων, επηρεάζοντας την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και τη συμπεριφορά τους (Oberlander *et al.*, 1997, Mondal & Parween, 2000, Oberlander & Silhacek, 2000). Οι IGRs δρουν κατά των ατελών σταδίων των εντόμων αναστέλλοντας την μεταμόρφωσή τους και κατά συνέπεια τον πολλαπλασιασμό τους (Oberlander & Silhacek, 2000). Λόγω του τρόπου δράσεως, οι ρυθμιστές αναπτύξεως των εντόμων δρουν ενάντια των ανώριμων σταδίων των εντόμων αναστέλλοντας τη μεταμόρφωση και κατά συνέπεια τον πολλαπλασιασμό των εντόμων στο μολυσμένο προϊόν (Oberlander & Silhacek, 2000). Αυτά τα εντομοκτόνα δρουν συγκεκριμένα κατά των

εντόμων και έχουν χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά (Oberlander *et al.*, 1997, Mondal & Parween, 2000, Oberlander & Silhacek, 2000, Mohandass *et al.*, 2006). Σε αυτή την ομάδα ανήκουν οι ορμόνες νεότητας, οι παρεμποδιστές βιοσυνθέσεως χιτίνης καθώς και οι μιμητές της δράσεως της εκδυσόνης (Oberlander *et al.*, 1997, Oberlander *et al.*, 1997, Oberlander & Silhacek, 2000).

3.5.4.1. Ορμόνες νεότητας

Οι ορμόνες νεότητας (Juvenile Hormone Analogues, JHAs) είναι υπεύθυνες για την παράταση του προνυμφικού σταδίου των εντόμων, αλλά και τη διαταραχή της ανάπτυξης του εμβρύου στο στάδιο του ωού (Mamatha *et al.*, 2008). Επιδρούν στην μεταμόρφωση των προνυμφών (Mondal & Parween., 2000, Oberlander & Silhacek, 2000) παράγοντας παραμορφωμένες νύμφες και εμποδίζοντας την ολοκλήρωση της αναπτύξεως των εμβρύων (Oberlander *et al.*, 1997). Επιπροσθέτως, επηρεάζουν την αναπαραγωγή των ακμαίων, επηρεάζοντας την λεκιθογένεση, την ανάπτυξη των ωοθυλακίων, τη σύνθεση πρωτεϊνών στις ωοθήκες (Koeppe *et al.*, 1985), την σεξουαλική επικοινωνία (Teal *et al.*, 2000) ή την συμπεριφορά κατά την σύζευξη. Οι JHAs, μπορούν (Chanbang *et al.*, 2008) ή δε μπορούν (Wijayaratne *et al.*, 2012) να μειώσουν τη γονιμότητα των ενηλίκων όταν εφαρμόζονται στις προνύμφες ή στις νύμφες τους.

Το methoprene είναι ορμόνη νεότητας, η οποία επηρεάζει την ανάπτυξη των ατελών σταδίων των εντόμων, έχει ωοκτόνο δράση και υπο-θανατηφόρα αποτελέσματα, όπως μειωμένη γονιμότητα στα έντομα τα οποία εκτίθενται ως ατελή (Oberlander *et al.*, 1997) ή ως ακμαία (Daglish & Pulvirenti, 1997). Έχει αξιολογηθεί με επιτυχία εναντίον διαφόρων ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων, σε δημητριακά (Chanbang *et al.*, 2008, Athanassiou *et al.*, 2010b, c, Kavallieratos *et al.*, 2012, 2017a). Μέχρι στιγμής, μόνο δύο μορφές του methoprene (methoprene που περιέχει τα R και S ισομερή και το s-methoprene το οποίο περιέχει μόνο το S ισομερές) χρησιμοποιούνται ως προστατευτικά των σπόρων στις ΗΠΑ, με συνιστώμενες δόσεις από 1 έως 5 ppm (Arthur, 2004, Athanassiou *et al.*, 2010b, c, Wijayaratne *et al.*, 2012).

Το methoprene είναι πιο αποτελεσματικό επί των εντόμων που τρέφονται εξωτερικώς των σπόρων (Mian & Mulla, 1982, Smet *et al.*, 1989) και έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως ως εναλλακτική μέθοδος ελέγχου των εχθρών *O.*

surinamensis και *R. dominica* λόγω της ανθεκτικότητας που παρουσίασαν το μεν πρώτο στα οργανοφωσφορικά το δε δεύτερο στα πυρεθρινοειδή εντομοκτόνα. Επίσης, το methoprene μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ένα ακμαιοκτόνο σκεύασμα για μια πιο αποτελεσματική και μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας για την αντιμετώπιση των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων (Oberlander *et al.*, 1997). Σε μία πρόσφατη μελέτη, ο Arthur (2016) αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα του methoprene στην πολυετή προστασία διαφορετικών αποθηκευμένων σπόρων (σιτάρι, καστανό ρύζι, αναποφλύωτο ρύζι και αραβόσιτος) κατά των *R. dominica*, *S. cerealella* και *T. castaneum*. Το methoprene κατέστειλε πλήρως την παραγωγή των απογόνων *R. dominica* και *T. castaneum* σε όλα τα προϊόντα για δύο χρόνια. Ωστόσο, το s-methoprene, ήταν αναποτελεσματικό έναντι των προνυμφών *T. granarium* όταν εφαρμόστηκε ως προστατευτικό των σπόρων, όμως μειώθηκε σημαντικώς η παραγωγή των απογόνων (Kavallieratos *et al.*, 2017a).

Το methoprene μπορεί επίσης να εφαρμοστεί ως αερόλυμα, όμως στις ΗΠΑ συνήθως συνδυάζεται με πυρεθρίνες ή πυρεθροειδή (Wijayarathne *et al.*, 2012). Για παράδειγμα, όταν το methoprene εφαρμόζεται σε συνδυασμό με πυρεθρίνη σε επιφάνειες ή ως αερόλυμα, μπορεί να ελέγξει τα *T. castaneum* και *T. confusum* για αρκετούς μήνες (Wijayarathne *et al.*, 2012, Arthur, 2015a).

Άλλοι αντιπρόσωποι των ορμονών νεότητας είναι το fenoxycarb και το rygiroxyrphen τα οποία χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα επαφής. Το fenoxycarb χαρακτηρίζεται από ωοκτόνο δράση, παρεμποδίζει την εμβρυογένεση και την ομαλή εξέλιξη των εντόμων. Είναι αποτελεσματικό εναντίον λεπιδοπτέρων και ημιπτέρων σε πολλές καλλιέργειες. Επίσης, είναι αποτελεσματικό εναντίον κολεοπτέρων και λεπιδοπτέρων σε αποθηκευμένα γεωργικά προϊόντα, όπως και εναντίον των εντόμων υγειονομικής σημασίας. Αρκετές μελέτες έχουν τεκμηριώσει την υψηλή αποτελεσματικότητα του rygiroxyrphen κατά των επιβλαβών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων. Οι Kostyukovsky *et al.* (2000) αναφέρουν ότι ήταν σε θέση να ελέγξει ανθεκτικούς πληθυσμούς *T. castaneum* στο pirimiphos-methyl και ότι ήταν ανώτερο του methoprene για τον έλεγχο των *S. oryzae* και *R. dominica*. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι το rygiroxyrphen μετά από 7 ημέρες εκθέσεως σε επιφάνεια σκυροδέματος δεν ήταν αποτελεσματικό έναντι των προνυμφών *T. granarium* (Kavallieratos *et al.*, 2016).

3.5.4.2. Παρεμποδιστές βιοσυνθέσεως της χιτίνης

Οι παρεμποδιστές βιοσυνθέσεως χιτίνης (Chitin Synthesis Inhibitor, CSIs) εμποδίζουν την βιοσύνθεση της νέας δερμίδας και συνεπώς τα έντομα δεν είναι ικανά να προχωρήσουν σε έκδυση ή σχηματίζουν μη φυσιολογική δερμίδα (Ishaaya & Casida, 1974, Mondal & Parween, 2000). Από τους CSIs, το diflubenzuron είναι ένα αποτελεσματικό σκεύασμα εναντίον πολλών εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων.

Οι Desmarchelier & Allen (1992) έδειξαν ότι δεν εμφανίστηκαν απόγονοι *S. granarius* και *S. oryzae*, μετά από την έκθεση των γονεϊκών ατόμων *S. granarius* και *S. oryzae* για μια περίοδο δύο εβδομάδων στο σιτάρι, όπου εφαρμόστηκε το diflubenzuron, σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0,6 και 9,0 ppm. Ο Mahanthi (2006), δοκίμασε το lufenuron και το diflubenzuron στον αραβόσιτο και βρήκε ότι ανέστειλαν πλήρως την εμφάνιση των ακμαίων *S. oryzae* και έγινε πλήρης έλεγχος του *C. cephalonica*. Ο Ammar (1988) αξιολόγησε το flufenoxuron κατά του *S. oryzae* στο σιτάρι και διαπίστωσε ότι μετά από έκθεση 8 μηνών η μείωση της F1 γενεάς ήταν 92,9 ή 96,3%, ενώ της F2 ήταν 95,9% ή 100% σε 5 ή 25 ppm αντιστοίχως. Με το triflumuron και το flufenoxuron γίνεται πλήρης έλεγχος του *S. oryzae* στο σιτάρι στις συγκεντρώσεις 1 και 10 ppm για μια περίοδο 9 μηνών (Eisa & Ammar, 1992).

Οι Kostyukovsky & Trostanetsky (2006) εξέτασαν τις άμεσες επιδράσεις του novaluron, όταν εφαρμόστηκε σε αλεύρι σιταριού, επί των διαφόρων αναπτυξιακών σταδίων του *T. castaneum*, στις συγκεντρώσεις των 0,1, 0,3, 1, 10 και 100 ppm. Τα ακμαία *T. castaneum* δεν θανατώθηκαν σε αυτές τις συγκεντρώσεις, αλλά στο 1 ppm προκάλεσαν την πλήρη θνησιμότητα των προνυμφών τρίτου σταδίου. Επίσης, το novaluron δεν επηρέασε τον αριθμό των ωών που γέννησαν τα ακμαία, όμως ανέστειλε πλήρως την εκκόλαψη των προνυμφών μετά από την τρίτη ημέρα εκθέσεως τους στο 1 ppm. Ομοίως, οι Trostanetsky & Kostyukovsky (2008) βρήκαν ότι η εκκόλαψη των ωών *T. castaneum* μειώθηκε σημαντικώς στην συγκέντρωση 0,3 ppm novaluron. Παρόμοιες μελέτες διεξήχθησαν από τους Arthur & Fontenot (2012) για τα *T. castaneum* και *T. confusum*, αξιολογώντας επιπλέον την εξέλιξη των απογόνων μέσω της εκθέσεως των γονεϊκών ατόμων σε επιφάνειες σκυροδέματος, οι οποίες είχαν ψεκαστεί με novaluron και methoprene και βρήκαν ότι η εμφάνιση των ακμαίων με φυσιολογική μορφολογία είχε μειωθεί σημαντικώς για τις δύο χημικές ουσίες. Προσφάτως, οι Arthur & Hartzler (2018), βρήκαν ότι ο συνδυασμός του

pyriproxifen (JHAs) και του novaluron σε ψεκασμένες επιφάνειες σκυροδέματος, όπου είχαν εκτεθεί ωά και προνύμφες *T. castaneum*, εμπόδισε τα εκτεθέντα ωά και τις προνύμφες να φτάσουν στο στάδιο του ακμαίου.

3.5.4.3. Μιμητές της δράσεως της εκδυσόνης

Η χρήση των μιμητών της εκδύσεως προκαλεί την πρόωρη σύνθεση της δερμίδας του εντόμου, ειδικώς κοντά στην περιοχή της κεφαλής, προκαλώντας αναστολή της σιτίσεως, ανεξαρτήτως της ηλικίας ή του σταδίου του εντόμου (Schneiderman, 1972, Fox, 1990, Wing & Aller, 1990). Αυτές οι ενώσεις δείχνουν χειμειοστερωτική δράση των θηλυκών (Heller *et al.*, 1992), δρουν μέσω του στομάχου και μέσω επαφής (Fox, 1990) και μπορούν να διεισδύσουν στην δερμίδα του εντόμου. Οι Oberlander *et al.* (1998) ανέφεραν ότι το βάρος των νυμφών του *P. interpunctella* εκτεθέντων στο methoxyfenozide σε συγκεντρώσεις των 10 και 25 ppm, αυξήθηκε κατά 50% σε σύγκριση με την αύξηση των μαρτύρων που ήταν 400% σε διάστημα 3 ημερών. Επιπλέον, η θνησιμότητα των προνυμφών αυξήθηκε σημαντικώς σε δόσεις μεταξύ 5 και 25 ppm εν συγκρίσει με τους μάρτυρες.

Οι Kavallieratos *et al.* (2012) δοκίμασαν δύο νεανικές ορμόνες (fenoxycarb και pyriproxifen), τέσσερις παρεμποδιστές βιοσυνθέσεως χιτίνης (diflubenzuron, flufenoxuron, lufenuron, and triflumuron), ένα μιμητή της δράσεως της εκδυσόνης (methoxyfenozide) και ένα συνδυασμό παρεμποδιστή βιοσυνθέσεως χιτίνης και νεανικής ορμόνης (lufenuron και fenoxycarb), κατά των ακμαίων *P. truncatus* στον αραβόσιτο και των ακμαίων *R. dominica* στο σιτάρι. Οι IGRs αξιολογήθηκαν σε τρεις δόσεις (1, 5, 10 ppm) και σε τρία επίπεδα θερμοκρασίας (20, 25, 30 °C) στην περίπτωση του *P. truncatus*, ενώ στην περίπτωση του *R. dominica* στους 25 °C. Διαπίστωσαν ότι η αποτελεσματικότητα των IGRs ήταν εξαρτημένη από την δόση και σε πολλές περιπτώσεις επιτεύχθηκε σχεδόν πλήρης καταστολή της παραγωγής των απογόνων ακόμη και με 1 ppm, ενώ η θερμοκρασία δεν επηρέασε την αποτελεσματικότητα των δόσεων οι οποίες εξετάστηκαν σε μεγάλο βαθμό.

Κεφάλαιο 4

Χρήση νέων δραστικών ουσιών για την αντιμετώπιση των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων

4.1. Νεονικοτινοειδή

Τα νεονικοτινοειδή, αποτελούν μία νέα και σημαντική κατηγορία εντομοκτόνων, τα οποία έχουν εξαιρετική ισχύ και συστηματική δράση για την προστασία των φυτών στον αγρό και αντιμετωπίζουν αποτελεσματικώς ένα ευρύ φάσμα εντόμων όπως είδη που ανήκουν στις τάξεις Hemiptera, Lepidoptera, Thysanoptera και Coleoptera. Επιπροσθέτως, συμβάλλουν στον έλεγχο των ψύλλων στις γάτες και τους σκύλους. Έχουν χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά (οξεία και χρόνια), στα πτηνά και στους ιχθύες (Tomizava & Casida, 2005). Στην ομάδα αυτή των εντομοκτόνων υπάγονται οι ενώσεις acetamiprid, clothianidin, dinotefuran, imidacloprid, nitenpyram, thiacloprid και thiamethoxam.

Η δράση των νεονικοτινοειδών οφείλεται στη δέσμευση των μετασυναπτικών (νικοτινικών) υποδοχέων της ακετυλοχολίνης στο περιφεριακό νευρικό σύστημα των εντόμων. Εν αντιθέσει με τα οργανοφωσφορικά και τα καρβαμιδικά εντομοκτόνα, τα νεονικοτινοειδή δεν παρεμποδίζουν την ακετυλοχολινεστεράση, η οποία ελέγχει τη συγκέντρωση της ακετυλοχολίνης στο συναπτικό διάκενο. Η δέσμευση των υποδοχέων της ακετυλοχολίνης έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της φυσιολογικής μεταδόσεως των νευρικών σημάτων μεταξύ των νευρικών κυττάρων, την διαρκή υπερδιέγερση, την πρόκληση νευρικών σπασμών, την παράλυση και τελικώς τον θάνατο του εντόμου. Επομένως, τα νεονικοτινοειδή εντομοκτόνα, λόγω του διαφορετικού τρόπου δράσεως εν συγκρίσει με τα οργανοφωσφορικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικώς αντί των οργανοφωσφορικών (Tsaganou *et al.*, 2015).

Η επίδραση των imidacloprid και thiamethoxam είναι καλώς τεκμηριωμένη για τα έντομα εχθρούς των καλλιεργειών στον αγρό (Yue *et al.*, 2003). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια της αξιολογήσεως των ενώσεων αυτών ως προστατευτικά των σπόρων κατά την διάρκεια της αποθηκεύσεώς τους. Οι Yue *et al.* (2003), εξέτασαν την αποτελεσματικότητα του imidacloprid στο σόργο και του

thiamethoxam στον αραβόσιτο και στο σόργο, κατά των προνυμφών *P. interpunctella*. Όλες οι προνύμφες δευτέρου και τρίτου σταδίου πέθαναν μετά από την έκθεση 5 ημερών στον αραβόσιτο όπου είχαν εφαρμοστεί 50 ppm thiamethoxam. Όμως, για τις προνύμφες μεγαλύτερων σταδίων, απαιτήθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις και μεγαλύτερο διάστημα εκθέσεως ώστε να επιτευχθεί πλήρης θνησιμότητα. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν όταν οι προνύμφες εκτέθηκαν στον αραβόσιτο όπου είχε εφαρμοστεί το imidacloprid και στο σόργο όπου είχε εφαρμοστεί το thiamethoxam.

Οι Arthur *et al.* (2004) διαπίστωσαν ότι το thiamethoxam ήταν αποτελεσματικό για τον έλεγχο των *S. zeamais* και *O. surinamensis* στον αραβόσιτο, των *S. oryzae* και *R. dominica* στο σιτάρι και του *T. castaneum* στον αραβόσιτο και το σιτάρι. Οι Nayak & Darglish (2006) βρήκαν ότι το imidacloprid ήταν λίαν αποτελεσματικό στο σιτάρι κατά τεσσάρων ειδών του γένους *Liposcelis*, όπου παρατηρήθηκε πλήρης θνησιμότητα των ακμαίων μετά από 28 ημέρες εκθέσεως και όλοι οι απόγονοι ήταν νεκροί μετά από την έκθεση μόνο 14 ημερών των γονεϊκών ατόμων. Επιπλέον, οι Tsaganou *et al.* (2015) αξιολόγησαν την άμεση και την καθυστερημένη θνησιμότητα των *R. dominica*, *S. oryzae*, *T. confusum*, *P. truncatus* και *O. surinamensis* στο σιτάρι και τον αραβόσιτο (στην περίπτωση του *P. truncatus*), με την εφαρμογή του thiamethoxam στις δόσεις των 0,1, 1 και 10 ppm. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το *O. surinamensis* ήταν το λιγότερο ευαίσθητο είδος στο thiamethoxam, ενώ το *P. truncatus* ήταν το πιο ευαίσθητο.

Προσφάτως, το imidacloprid και το thiamethoxam εφαρμόστηκαν σε επιφάνειες για τον έλεγχο των εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων. Επιπροσθέτως, λόγω του διαφορετικού τρόπου δράσεως εν συγκρίσει με τις παραδοσιακές νευροτοξικές ενώσεις, τα νεονικοτινοειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικώς των πυρεθρινοειδών ή σε συνδυασμό με αυτά. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός του πυρεθρινοειδούς beta-cyfluthrin με το νεονικοτινοειδές imidacloprid ήταν αποτελεσματικός για τον έλεγχο των *C. ferrugineus*, *O. surinamensis*, *L. bostrychophila*, και *L. paeta* σε επιφάνειες σκυροδέματος και η θνησιμότητα κυμάνθηκε από 97 έως 100% μετά από 7 ημέρες εκθέσεως (Athanassiou *et al.*, 2013). Οι Athanassiou *et al.* (2015) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα του thiamethoxam σε επιφάνειες σκυροδέματος, κατά των προνυμφών και των ακμαίων *T. granarium* και *T. molitor* και ανέφεραν ότι οι προνύμφες ήταν περισσότερο ανθεκτικές από τα ακμαία.

4.2. Σπινოსίνες

Οι σπινοςίνες είναι δευτερογενείς μεταβολίτες του ακτινομύκητα *Saccharopolyspora spinosa* Mertz and Yao (Bacteria: Actinobacteridae). Επιπλέον, διαθέτουν ένα νέο τρόπο δράσεως ο οποίος συνδυάζεται με εντομοκτόνο αποτελεσματικότητα που είναι εφ' άμιλλη της αποτελεσματικότητας πολλών πυρεθρουνοειδών εντομοκτόνων υπό ευνοϊκό τοξικολογικό προφίλ (Bert *et al.*, 1997; Sparks *et al.*, 1998). Έτσι, οι σπινοςίνες παρουσιάζουν πολλά ιδιαίτερα επιθυμητά χαρακτηριστικά για τον έλεγχο των εντόμων. Οι σπινοςίνες προσκολλώνται σε πρωτεϊνικές υπομονάδες των υποδοχέων της ακετυλοχολίνης με αποτέλεσμα την διατάραξη της κανονικής μεταδόσεως των νευρικών σημάτων (Ζιώγας & Μάρκογλου, 2010).

4.2.1. Spinosad

Το spinosad, είναι εμπορικός διαθέσιμο εντομοκτόνο το οποίο περιέχει τις σπινοςίνες A και D. Το spinosad είναι λίαν δραστικό, τόσο κατά την επαφή όσο και κατά την κατάποση, έναντι πολλών επιβλαβών εντόμων που ανήκουν στις τάξεις Lepidoptera, Diptera, Thysanoptera, Coleoptera, Orthoptera και Hymenoptera (Sparks *et al.*, 1995, Bert *et al.*, 1997). Επιπροσθέτως, το spinosad θεωρείται φυσικό προϊόν και ως εκ τούτου έχει εγκριθεί για χρήση στην βιολογική γεωργία από πολυάριθμους εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς (Cleveland, 2007, Racke, 2007). Έχει χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά και αποδομείται ταχέως όταν εκτίθεται στο ηλιακό φως (Thompson *et al.*, 2000), αλλά είναι σχετικώς σταθερό στους αποθηκευμένους σπόρους (Fang *et al.*, 2002, Flinn *et al.*, 2004). Έχει 78 φορές υψηλότερη μέση θανατηφόρο δόση (LD₅₀) από ότι το chlorpyrifos και 3,5 φορές υψηλότερο LD₅₀ από το pirimiphos-methyl (USEPA, 1998, WHO, 2004, IUPAC, 2012).

Το spinosad, χρησιμοποιείται σε πολλές καλλιέργειες κατά ευρέως φάσματος εχθρών, όπου είναι εξαιρετικώς αποτελεσματικό σε χαμηλές δόσεις (Bert *et al.*, 1997, Salgado, 1997, Sparks *et al.*, 1995, Cloyd & Sadof, 2000, Peck & McQuate, 2000). Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι το spinosad μπορεί να είναι αποτελεσματικό προστατευτικό σπόρων έναντι πολλών επιβλαβών ειδών των αποθηκευμένων προϊόντων. Για παράδειγμα, οι Fang *et al.* (2002) ανέφεραν ότι για την πλήρη θνησιμότητα του *R. dominica* χρησιμοποίησαν 0,1 ppm υγρού σκευάσματος spinosad.

Οι Mutambuki *et al.* (2003) διαπίστωσαν ότι η σκόνη spinosad ήταν αποτελεσματική κατά των *P. truncatus*, *S. zeamais* και *T. castaneum*. Η Getchell (2006) ανέφερε ότι η αποτελεσματικότητα του spinosad κατά των *R. dominica*, *S. oryzae*, *T. castaneum* και *C. ferrugineus*, στο σιτάρι τον αραβόσιτο και το σόργο επηρεάστηκε από το τύπο του προϊόντος. Συγκεκριμένως, εκτός από το *R. dominica*, η θνησιμότητα για τα υπόλοιπα είδη ήταν εξαιρετικώς καθορισμένη από τον τύπο του προϊόντος και η υψηλότερη θνησιμότητα καταγράφηκε στο σιτάρι. Ομοίως, οι Chintzoglou *et al.* (2008) ανέφεραν ότι η σκόνη spinosad ήταν πιο αποτελεσματική στο σιτάρι, εν συγκρίσει με το κριθάρι και τον αραβόσιτο, για τον έλεγχο των *R. dominica* και *S. oryzae*. Οι Athanassiou *et al.* (2008b, c) βρήκαν ότι το spinosad ήταν γενικώς πιο αποτελεσματικό στις υψηλές θερμοκρασίες τόσο για το σκεύασμα της σκόνης όσο και για το υγρό σκεύασμα spinosad κατά των *R. dominica* και *S. oryzae*, αντιστοίχως. Επιπροσθέτως, οι Athanassiou *et al.* (2008c) χρησιμοποίησαν επιτυχώς χαμηλότερες δόσεις (0,025 και 0,06 ppm) από αυτές που έχουν χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες μελέτες για τα υγρά σκευάσματα για τον έλεγχο των *S. oryzae* και *R. dominica*, σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες και προϊόντα.

Συμφώνως προς τους Kavallieratos *et al.* (2010b), ακόμα και μεταξύ των ποικιλιών του σίτου, υπήρξαν διαφορές ως προς την αποτελεσματικότητα του spinosad. Η αποτελεσματικότητά του κατά των *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum* ήταν υψηλότερη στις ποικιλίες Άθως και Σίφνος εν συγκρίσει με την ποικιλία Πόντος. Επίσης, η θνησιμότητα του *R. dominica* σε όλα τα είδη των σπόρων που εξετάστηκαν, κυμάνθηκε από 91 – 100% στην δόση 0,06 ppm. Το spinosad ήταν πιο αποτελεσματικό από το οργανοφωσφορικό chlorpyrifos-methyl και εξίσου αποτελεσματικό με το πυρεθρουοειδές deltamethrin και το οργανοφωσφορικό pirimiphos-methyl κατά του *P. truncatus* (Pozidi-Metaxa & Athanassiou, 2012). Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν για τον έλεγχο των ακμαίων και των προνυμφών *T. granarium* στο σιτάρι, τον αραβόσιτο, στο κριθάρι και το ρύζι (Kavallieratos *et al.*, 2017a). Το spinosad ήταν πιο αποτελεσματικό στο σιτάρι και το κριθάρι ενώ στο αναποφλοϊώτο ρύζι και στον αραβόσιτο οι θνησιμότητες ήσαν χαμηλότερες. Συνεπώς, η αποτελεσματική χρήση του spinosad ως προστατευτικό των αποθηκευμένων σπόρων δημητριακών εξαρτάται από συγκεκριμένους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρώς υπ' όψιν πριν την εφαρμογή του.

Το spinosad είναι εξαιρετικώς τοξικό στους βιοτύπους ορισμένων ειδών εντόμων τα οποία έχουν αναπτύξει ανθεκτικότητα στα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, όπως το *R. dominica*, ακόμη και αν εφαρμόζεται μόνο σε ένα μέρος της μάζας των σπόρων (Getchell, 2006, Getchell & Subramanyam, 2008, Athanassiou *et al.*, 2009). Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικώς κατά των ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων τα οποία έχουν αναπτύξει ανθεκτικότητα (Daglish, 2008).

4.2.2. Spinetoram

Το spinetoram είναι μία ουσία η οποία βασίζεται στους μεταβολίτες της οικογένειας των σπινোসινών και έχει παρόμοιο τρόπο δράσεως με το spinosad (Dripps *et al.*, 2008). Είναι ένα μίγμα δύο νεωτέρων τροποποιημένων σπινোসινών, την σπινোসίνη J (κύριο συστατικό) και την σπινোসίνη L (δευτερεύον συστατικό). Μέχρι στιγμής, το spinetoram έχει αποδειχθεί αποτελεσματικό σε ένα μεγάλο εύρος εχθρών, συχνώς σε δόσεις χαμηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση του spinosad (Williams *et al.*, 2003). Συμφώνως με την διαθέσιμη βιβλιογραφία, το spinetoram είναι μετρίως τοξικό για ορισμένους πληθυσμούς εντόμων. Στην πραγματικότητα, το spinetoram έχει αποδειχθεί πολύ πιο ασφαλές από το spinosad για το *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) (Besard *et al.*, 2011). Επί προσθέτως, το spinetoram παρουσιάζει χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά και θεωρείται αβλαβές για το περιβάλλον, καθώς αποδομείται σε απλούστερα τμήματα που περιέχουν μόνο άνθρακα, οξυγόνο, άζωτο και υδρογόνο (Dripps *et al.*, 2011). Εν αντιθέσει με το spinosad, το spinetoram μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ακαρεοκτόνο (El Kady *et al.*, 2007).

Οι Vassilakos & Athanassiou (2012a) εκτίμησαν την αποτελεσματικότητα του spinetoram ως προστατευτικό των σπόρων κατά των *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum* στο ρύζι και στο σιτάρι. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι το spinetoram ήσαν λίαν αποτελεσματικό κατά του *R. dominica*, μετρίως αποτελεσματικό έναντι του *S. oryzae* και όχι πολύ αποτελεσματικό για το *T. confusum*. Επιπροσθέτως, για τα ίδια είδη εντόμων, οι Vassilakos & Athanassiou (2012b) εξέτασαν την επίδραση της σύντομης εκθέσεώς τους σε δύο σκευάσματα spinetoram, βρέξιμοι κόκκοι (WG) και συμπυκνωμένο εναιώρημα (SC-NC), στο σιτάρι. Τα αποτελέσματά τους, σε συνδυασμό με αυτά που υπάρχουν για την σύντομη έκθεση των εντόμων στο

spinosad, έδειξαν ότι τα δύο σκευάσματα του spinetoram ήσαν εξ ίσου αποτελεσματικά έναντι των μελετηθέντων ειδών εντόμων. Παρομοίως, οι Vassilakos *et al.* (2012), βρήκαν ότι το spinetoram ήσαν εξ ίσου αποτελεσματικό με το spinosad, κατά έξι ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων. Ωστόσο, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία επηρέασαν την αποτελεσματικότητά του κατά του *S. oryzae* (Vassilakos & Athanassiou, 2013). Συγκεκριμένως, η θνησιμότητα του εντόμου αυξήθηκε σημαντικώς με την αύξηση της θερμοκρασίας, όχι όμως σε όλους τους συνδυασμούς δόσεως- σχετικής υγρασίας.

Οι Athanassiou & Kavallieratos (2014), εξέτασαν την εντομοκτόνο δράση των spinosad και spinetoram, μόνα τους ή σε συνδυασμό μεταξύ τους, κατά των *P. truncatus*, *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum*, σε τρεις θερμοκρασίες (20, 25 και 30 °C) και σε τέσσερα δημητριακά (κριθάρι, αραβόσιτος, σίκαλη και σιτάρι). Τα αποτελέσματα της μελέτης τους έδειξαν ότι η ταυτόχρονη εφαρμογή του spinetoram και του spinosad ήταν γενικώς εξ ίσου αποτελεσματική με την χρήση είτε μόνο του spinosad είτε μόνο του spinetoram. Επιπλέον, η αύξηση της δόσεως της κάθε ενώσεως είχε ως αποτέλεσμα τα ίδια επίπεδα θνησιμότητας. Συνεπώς, δεν επετεύχθησαν οφέλη όταν το spinetoram και το spinosad χρησιμοποιήθηκαν ταυτοχρόνως στους σπόρους, ανεξαρτήτως της αναλογίας του κάθε συστατικού. Όσον αφορά την ευαισθησία των εξετασθέντων ειδών, τα δύο είδη της οικογένειας Bostrychidae, *P. truncatus* και *R. dominica*, ήσαν ιδιαίτερος ευαίσθητα σε όλους τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν, ενώ το *T. confusum* ήταν το λιγότερο ευαίσθητο είδος.

Προσφάτως, οι Vassilakos *et al.* (2015), εκτίμησαν την εντομοκτόνο δράση του spinetoram κατά των *S. oryzae*, *R. dominica* και *S. granarius*, σε επτά διαφορετικά είδη σιτηρών (σκληρό σιτάρι, μαλακό σιτάρι, βρώμη, σίκαλη, τριτικάλε, αναποφλοιώτο ρύζι και αραβόσιτος). Γενικώς, το spinetoram αποδείχθηκε αποτελεσματικό στα εξετασθέντα προϊόντα. Συγκεκριμένως, για τα *S. oryzae* και *S. granarius*, μεταξύ των δοκιμασθέντων προϊόντων και με βάση τη θνησιμότητα και την παραγωγή των απογόνων, το spinetoram βρέθηκε πιο αποτελεσματικό στον σκληρό σίτο, αλλά λιγότερο αποτελεσματικό στον μαλακό σίτο στην δόση του 1 ppm. Επιπλέον, το spinetoram ήταν αποτελεσματικό στο 1 ppm μετά από 14 ημέρες εκθέσεως για τα περισσότερα από τα προϊόντα που εξετάστηκαν,. Ωστόσο, το *R. dominica* ήταν εξαιρετικώς ευαίσθητο σε όλες τις δόσεις και τα δοκιμασθέντα προϊόντα.

4.3. Chlorantraniliprole

Το chlorantraniliprole είναι ένα καινοτόμο εντομοκτόνο το οποίο ανήκει σε μια νέα χημική οικογένεια, των ανθρανιλικών διαμιδίων (IRAC MoA Group 28) και έχει ένα νέο τρόπο δράσεως ως ενεργοποιητής των υποδοχέων ρυανοδίνης (ryanodine receptor modulator) των εντόμων (Cordova *et al.*, 2006, Nauen, 2006, Lahm *et al.*, 2005). Οι υποδοχείς παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των μυών. Η σύσπαση των μυϊκών κυττάρων απαιτεί μία ρυθμισμένη απελευθέρωση ασβεστίου από τα εσωτερικά αποθέματα εντός του κυτοπλάσματος του κυττάρου. Οι υποδοχείς ρυανοδίνης ενεργούν ως διάλυτοι επιλεκτικών ιόντων, κανονίζοντας την απελευθέρωση του ασβεστίου. Το chlorantraniliprole δεσμεύεται στους υποδοχείς ρυανοδίνης προκαλώντας ανεξέλεγκτη απελευθέρωση και εξάντληση του εσωτερικού ασβεστίου, εμποδίζοντας περισσότερο τη σύσπαση των μυών. Στα έντομα που εφαρμόζεται το chlorantraniliprole παρουσιάζεται γρήγορη κατάπαυση της διατροφής, λήθαργος, αποβολή της τροφής, μυϊκή παράλυση και οδηγούνται τελικώς στο θάνατο (Lahm *et al.*, 2005, Cordova *et al.*, 2006). Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του chlorantraniliprole είναι η χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά (Lahm *et al.*, 2007) και η επιλεκτικότητά του στα ωφέλιμα αρθρόποδα, όπως είναι τα παρασιτοειδή, τα αρπακτικά και οι επικονιαστές (Dinter *et al.* 2008, Gradish *et al.*, 2009, Preetha *et al.*, 2009, Campos *et al.*, 2011).

Το chlorantraniliprole είναι δραστικό εναντίων των μασητικών εντόμων κυρίως μέσω καταπόσεως και δευτερευόντως μέσω επαφής, δείχνοντας καλή ωο-προνυμφοκτόνο και προνυμφοκτόνο δράση. Σε ορισμένα είδη, παρατηρείται επίσης δράση εναντίων των ακμαίων. Το chlorantraniliprole έχει αποδειχτεί ότι ελέγχει αποτελεσματικώς τα έντομα που ανήκουν στις τάξεις Lepidoptera (Hannig *et al.*, 2008, Dong *et al.*, 2009, Ioriatti *et al.*, 2009, Cao *et al.*, 2010, Jones *et al.*, 2010, Sial & Brunner, 2010, Sial *et al.*, 2010, Wang *et al.*, 2010, Lai & Su, 2011), Coleoptera (Koppenhöfer & Fuzy, 2008, Jiang *et al.*, 2012), Diptera (Teixeira *et al.*, 2008), Hemiptera (Dhawan *et al.*, 2009, Lahm *et al.*, 2009, Liu *et al.*, 2012) και Isoptera (Yeoh & Lee, 2007, Spomer *et al.*, 2009, Neoh *et al.*, 2011). Σε μία πρόσφατη μελέτη, αξιολογήθηκε η εντομοκτόνος δράση δύο εμπορικών σκευασμάτων του chlorantraniliprole, κατά των *E. kuehniella*, *L. bostrychophila*, *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum*, σε έξι διαφορετικά προϊόντα (Kavallieratos *et al.*, 2013). Τα δύο αυτά σκευάσματα, έδρασαν ομοίως και ήσαν αποτελεσματικά για τον έλεγχο των

εξετασθέντων εντόμων, τα οποία είναι από τα πιο σημαντικά είδη εντόμων των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων.

4.4. Αβερμεκτίνες

Οι αβερμεκτίνες είναι μεγάλου μοριακού βάρους δευτερογενείς μεταβολίτες (μακροκυκλικές λακτόνες) του ακτινομύκητα *Streptomyces avermitilis* (ex Burg *et al.*) Kim and Goodfellow, με κύριο εκπρόσωπο την avermectin B₁ ή abamectin (Ζιώγας & Μάρκογλου, 2010). Ο βιοχημικός μηχανισμός δράσεως των αβερμεκτινών οφείλεται στην παρεμβολή τους στη λειτουργία των διαύλων των ιόντων χλωρίου (Cl) της μετασυναπτικής μεμβράνης, που ελέγχονται από το νευρο-διαβιβαστή GABA. Συγκεκριμένως, οι αβερμεκτίνες προκαλούν παρατεταμένο άνοιγμα των διαύλων ιόντων χλωρίου, αυξάνοντας την πρόσδεση του νευροδιαβιβαστή GABA στον υποδοχέα του, με αποτέλεσμα την αυξημένη ροή και διατάραξη της ισορροπίας των ιόντων χλωρίου στους μετασυναπτικούς δενδρίτες και τελικώς η παράλυση και τον θάνατο του εντόμου (Ζιώγας & Μάρκογλου, 2010). Οι αβερμεκτίνες έχουν χαμηλή τοξικότητα στα ωφέλιμα αρθρόποδα, όπως οι μέλισσες, τα παρασιτοειδή και τα αρπακτικά (Hoy & Cave, 1985, Zhang & Sanderson, 1990) και όταν εκτίθενται στο ηλιακό φως αποδομούνται γρήγορα (Wislocki *et al.*, 1989).

Η χρήση των αβερμεκτινών έναντι πολλών εντόμων και ακάρεων των καλλιεργειών είναι τεκμηριωμένη από πολλούς ερευνητές (Corbitt *et al.* 1989, Abro *et al.*, 1993, Ahmad *et al.*, 2003, Gouamene-Lamine *et al.*, 2003, Fitzgerald, 2004, Seal *et al.*, 2006), ωστόσο υπάρχουν ελάχιστα στοιχεία σχετικά με τη χρήση τους ως προστατευτικά των σπόρων. Οι Hussain *et al.* (2005) εξέτασαν την τοξικότητα έξι εντομοκτόνων έναντι των ανθεκτικών στο Malathion και των ευαίσθητων προνυμφών στα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα *T. castaneum*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αβερμεκτίνη ήταν η πιο τοξική από όλα τα εντομοκτόνα που εξετάστηκαν. Οι Athanassiou & Korunic (2007) βρήκαν ότι το ενισχυμένο σκεύασμα της γης διατόμων με αβερμεκτίνη ήταν πιο αποτελεσματικό κατά των *S. oryzae*, *R. dominica*, *Tribolium castaneum* και *C. ferrugineus*, εν συγκρίσει με τα εμπορικά διαθέσιμα σκευάσματα. Λόγω της ακαρεοκτόνου δράσεως των αβερμεκτινών, με την χρήση τους ως προστατευτικά των σπόρων, είναι πιθανό να ελέγχονται ταυτόχρονα τα ακάρεα και τα έντομα των αποθηκών (Kavallieratos *et al.*, 2009). Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της αβερμεκτίνης βρέθηκε ότι επηρεάζεται από το διάστημα της εκθέσεως, την

θερμοκρασία και το είδος του δημητριακού (Kavallieratos *et al.*, 2009). Συγκεκριμένως, για να είναι αποτελεσματική η αβερμεκτίνη, απαιτήθηκε διάστημα εκθέσεως μεγαλύτερο από 7 ημέρες, ειδικά στην περίπτωση του *T. confusum*. Η θνησιμότητα των *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum* αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και βρέθηκε ότι είναι πιο αποτελεσματική στον αραβόσιτο εν συγκρίσει με το σιτάρι.

4.5. Παράγωγα του πυρρολίου

Το πυρρόλιο είναι μια πενταμελής ετεροκυκλική αρωματική οργανική ουσία που αντιστοιχεί στον χημικό τύπο C_4H_5N . Κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η έρευνα έχει τεκμηριώσει διαφορετικά είδη βιολογικών δραστηριοτήτων που παρουσιάζουν πολλά παράγωγα του πυρρολίου, τα οποία είτε έχουν συντεθεί στο εργαστήριο είτε έχουν ανακαλυφθεί στους φυσικούς πόρους. Έτσι, τα παράγωγα του πυρρολίου μπορούν να χρησιμεύσουν ως αναστολείς ενζύμων, ως αντικαρκινικά, αντιμικροβιακά, κατά της φυματιώσεως, ως αντιφλεγμονώδη, αντιοξειδωτικά, κυτταροτοξικά, ως εντομοκτόνοι και ακαρεοκτόνοι παράγοντες (Gholap, 2016) ή ως μιμιτές των φυσικών προϊόντων (Zaidi *et al.*, 2006, Lucas *et al.*, 2013).

Μια κριτική εξέταση της διεθνούς βιβλιογραφίας αποκαλύπτει αρκετές μελέτες που δείχνουν ότι ορισμένα παράγωγα του πυρρολίου είναι ικανά να θανατώσουν ευρύ φάσμα ειδών εντόμων και ακάρεων τόσο γεωργικής όσο και υγειονομικής σπουδαιότητας. Για παράδειγμα, οι Cantín *et al.* (1998) βρήκαν ότι οι ενώσεις 2-(3-Oxodecanoyl)-pyrrole και 2-(2-Methyl-3-oxopentanoyl)-pyrrole, οι οποίες είναι ανάλογα που βασίζονται στους πυρρολικούς μεταβολίτες του μύκητα *Penicillium brevicompactum* Dierckx (Eurotiales: Trichocomaceae), ήταν ιδιαίτερος αποτελεσματικές κατά των νυμφών τρίτου σταδίου *Oncopeltus fasciatus* (Dallas) (Hemiptera: Lygaeidae) στα 7,5 mg / cm² μετά από 3 ημέρες εκθέσεως. Παρομοίως, οι Cantín *et al.* (2000) βρήκαν ότι το ανάλογο N-Oktanoyl-3-pyrroline, το οποίο προέρχεται από τον ίδιο μύκητα, προκάλεσε πλήρη θνησιμότητα στις νύμφες τρίτου σταδίου *O. fasciatus* στα 7,5 mg / cm² μετά από 3 από ημέρες εκθέσεως. Η ίδια ένωση έδειξε 76,7% αναστολή της περιφερειακής μυκηλιακής αναπτύξεως των μυκήτων *Colletotrichum coccodes* (Wallr) S. Hughes (Glomerellales: Glomerellaceae). Η καθαρή ένωση 5- (2, 4-dimethylbenzyl)-pyrrolidin-2-one, η οποία εξάγεται από το θαλάσσιο ακτινοβακτήριο *Streptomyces* VITSVK5 sp., προκάλεσε πλήρη

θνησιμότητα στις προνύμφες του τσιμπουριού των βοοειδών, *Rhipicephalus microplus* (Canestrini) (Ixodida: Ixodidae), και στα κουνούπια *Anopheles stephensi* Liston (Diptera: Culicidae) και *Culex tritaeniorhynchus* Giles (Diptera: Culicidae) στα 500 ppm μετά από 24 ώρες εκθέσεως (Saurav *et al.*, 2013).

Οι Ito *et al.* (2003) ανέφεραν την υψηλή τοξικότητα των σειρών που συνετέθησαν από τα *N*-sulfanyl-, *N*-sulfinyl και *N*-sulfonyldihydropyrrole παράγωγα κατά του *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) και *Nephotettix cincticeps* (Uhler) (Hemiptera: Cicadellidae) στο 1 ppm μετά από 5 ημέρες εκθέσεως. Ομοίως, οι Zhao *et al.* (2008a, b) βρήκαν ότι πολλά 2-aryl-pyrrole παράγωγα προκάλεσαν 100% θνησιμότητα στις προνύμφες *Mythimna separata* Walker (Lepidoptera: Noctuidae), στις προνύμφες *Culex pipiens* L. ssp. *pallens* Coquillett (Diptera: Culicidae) και στα ακμαία *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae) μετά από 2 ημέρες εκθέσεως, σε 10 - 20, σε 0,1 - 0,5 και σε 50 - 200 ppm, αντιστοίχως. Η καθαρή ένωση 5-(2, 4-dimethylbenzyl)pyrrolidin-2-one, η οποία εκχυλίστηκε από το θαλάσσιο ακτινοβακτήριο *Streptomyces* VITSVK5 spp., προκάλεσε 100% θνησιμότητα στις προνύμφες *Rhipicephalus microplus* (Canestrini) (Ixodida: Ixodidae), *Anopheles stephensi* Liston (Diptera: Culicidae) και *Culex tritaeniorhynchus* Giles (Diptera: Culicidae) στα 500 ppm μετά από 1 ημέρα εκθέσεως (Saurav *et al.*, 2013).

Επίσης, παράγωγα του πυρρολίου προερχόμενα από την φύση, όπως η ένωση 5-azidomethyl-3-(2-ethoxy carbonyl-ethyl-4-ethoxycarbonylmethyl-1H-pyrrole-2-carboxylic acid, ethyl ester, εκχυλίστηκε από το θαλάσσιο ακτινοβακτήριο *Streptomyces* VITSVK7 spp. εμφάνισαν 61, 69, 57 και 52% θνησιμότητα στο *Haemaphysalis bispinosa* Neumann (Ixodida: Ixodidae), *R. microplus*, *Anopheles subpictus* Meigen (Diptera: Culicidae) και *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae), αντιστοίχως, μετά από 1 ημέρα εκθέσεως (Thenmozhi *et al.*, 2013).

Όλα τα προαναφερθέντα παράγωγα του πυρρολίου μπορεί να είναι εν δυνάμει εντομοκτόνα τα οποία αξίζουν εμπορευματοποίηση, όπως στην περίπτωση του chlorfenapyr, δηλαδή του 4-bromo-2-(4-chlorophenyl)-1-ethoxymethyl-5-(trifluoromethyl)pyrrole-3-carbonitrile (Zhao *et al.*, 2008a, b). Πρόκειται για ένα μη-νευροτοξικό πυρρόλιο, το οποίο προκαλεί οξειδωτική φωσφορυλίωση στα μιτοχόνδρια, η οποία διαταράσσει τη σύνθεση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και έχει χαμηλή τοξικότητα στα θηλαστικά (Hunt, 1996, Tomlin, 2000, McLeod *et al.*, 2002). Προσφάτως, το chlorfenapyr καταχωρήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, με

την εμπορική ονομασία Phantom, για την εφαρμογή του σε επιφάνειες στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων και στους αλευρόμυλους, καθώς και σε αστικές περιοχές, κατά εντόμων υγειονομικής σημασίας.

Σε πρόσφατες μελέτες, το chlorfenapyr αξιολογήθηκε επιτυχώς για τον έλεγχο αρκετών ειδών εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων. Για παράδειγμα, οι Guedes *et al.* (2008) και οι Athanassiou *et al.* (2014b) βρήκαν ότι το chlorfenapyr ήταν πολύ αποτελεσματικό κατά πολλών ειδών ψωκοπτέρων (Psocoptera: Liposcelididae), όταν η ένωση εφαρμόστηκε σε επιφάνειες σκυροδέματος. Επιπλέον, ο Arthur (2013, 2015b) έδειξε ότι το chlorfenapyr είναι αποτελεσματικό κατά των *T. castaneum* και *T. confusum* όταν εφαρμόστηκε σε σκυροδέμα. Προσφάτως, σε μία μελέτη για την υπολειμματική δράση του chlorfenapyr, οι Athanassiou *et al.* (2014a) ανέφεραν ότι προκάλεσε 100% θνησιμότητα στα ακμαία *L. bostrychophila*, *L. entomophila* και *L. raeta*, όταν εκτέθηκαν σε επιφάνειες σκυροδέματος στις οποίες είχε εφαρμοστεί στις δόσεις των 110, 13,8 και 20,6 mg (a.i.) / m² μετά από 3, 2 και 3 ημέρες αντιστοίχως, κατά την πρώτη εβδομάδα του πειράματος. Οι Kavallieratos *et al.* (2016), διαπίστωσαν ότι το chlorfenapyr ήταν το πιο αποτελεσματικό, μεταξύ των δοκιμασθέντων εντομοκτόνων τα οποία εφαρμόστηκαν σε επιφάνειες σκυροδέματος, τόσο για την άμεση όσο και την καθυστερημένη θνησιμότητα των προνυμφών πρώτου σταδίου *T. granarium*. Προσφάτως, εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα του chlorfenapyr κατά των εντόμων αποθηκών, με την εφαρμογή του σε διαφορετικές συσκευασίες αποθηκεύσεως των σιτηρών. Οι Kavallieratos *et al.* (2017b) διαπίστωσαν ότι οι 3 ημέρες εκθέσεως σε σάκκους (πλεκτό πολυπροπυλένιο) οι οποίοι έχουν ψεκαστεί με chlorfenapyr ήσαν αρκετές ώστε να θανατωθούν όλα τα εκτεθέντα ακμαία άτομα *P. truncatus* και *R. dominica*. Ωστόσο, ο πλήρης έλεγχος του *S. oryzae* επετεύχθη στις 5 ημέρες, στην περίπτωση όπου ο σάκος ήταν ψεκασμένος και στις δύο επιφάνειές του (εσωτερική και εξωτερική). Ομοίως, οι Kavallieratos & Boukounala (2018), βρήκαν ότι με την εφαρμογή του chlorfenapyr σε διαφορετικές συσκευασίες αποθηκεύσεως είναι εφικτός ο έλεγχος των ακμαίων και των προνυμφών *T. granarium*.

Το chlorfenapyr είναι επίσης πολύ αποτελεσματικό ως προστατευτικό των σπόρων σιτηρών. Οι Kavallieratos *et al.* (2011), εξέτασαν την αποτελεσματικότητα του chlorfenapyr κατά των *R. dominica*, *S. oryzae*, *P. truncatus*, *T. confusum* και *L. bostrychophila*, σε τέσσερα προϊόντα (σιτάρι, αραβόσιτος, κριθάρι και αναποφλοίοτο ρύζι), σε τρεις θερμοκρασίες (20, 25 και 30 °C) και σε δυο επίπεδα σχετικής υγρασίας

(55% κα 75%). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ήταν πολύ αποτελεσματικό κατά του *P. truncatus* στον αραβόσιτο, σε δόσεις > 0,1 ppm μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του επηρεάστηκε από το είδος του προϊόντος, την θερμοκρασία και την ΣΥ.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ

ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 5

Πειραματικό μέρος

Η προστασία των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων προς το παρόν βασίζεται κυρίως στη χρήση των συμβατικών νευροτοξικών εντομοκτόνων, όπως τα οργανοφωσφορικά και τα πυρεθρινοειδή (Arthur & Campbell, 2008, Daglish, 2008, Hertlein *et al.*, 2011, Arthur, 2012, Kavallieratos *et al.*, 2015b) και στη χρήση της φωσφίνης (Chaudhry, 2000, Benhalima *et al.*, 2004, Corrêa *et al.*, 2014). Ωστόσο, πολλά είδη εντόμων των αποθηκευμένων προϊόντων έχουν αναπτύξει ανθεκτικότητα στην φωσφίνη (Champ & Dyte, 1976, Borah & Chahal, 1979, Tyler *et al.*, 1983, Sayaboc *et al.*, 1998, Benhalima *et al.*, 2004, Lorini *et al.*, 2007, Emery *et al.*, 2011) και στα εντομοκτόνα που δρουν ως προστατευτικά των σπόρων, σε πολλά μέρη του κόσμου (Collins, 1990, Herron, 1990, Collins *et al.*, 1993, Guedes *et al.*, 1996, Zettler & Arthur, 1997, Lorini & Galley, 1999). Επιπροσθέτως, ορισμένες ενώσεις, όπως οι οργανοφωσφορικές, αφήνουν τοξικά υπολείμματα στο τελικό προϊόν, με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να αναζητούν τρόφιμα απαλλαγμένα από υπολείμματα εντομοκτόνων (Arthur, 1996, 1999, Athanassiou *et al.*, 2013). Έτσι, υπάρχει ένα συνεχές ενδιαφέρον για την εύρεση καινοτόμων εντομοκτόνων ή απωθητικών δραστικών ουσιών που θα ενισχύσουν την προστασία των αποθηκευμένων προϊόντων (Bedini *et al.*, 2015, Germinara *et al.*, 2015, Abdelgaleil *et al.*, 2016). Τα εντομοκτόνα αυτά θα πρέπει να έχουν χαμηλή τοξικότητα στον άνθρωπο και τα θηλαστικά και να έχουν υψηλή αποτελεσματικότητα επί των εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων.

Αρκετά παράγωγα του πυρρολίου επιδεικνύουν εντομοκτόνες ιδιότητες έναντι πολλών ειδών εντόμων (Cantín *et al.*, 1998, 2000, Ito *et al.*, 2003, Zhao *et al.*, 2008a, b, Saurav, 2013, Thenmozhi *et al.*, 2013). Επιπροσθέτως, κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η έρευνα έχει τεκμηριώσει διαφορετικά είδη βιολογικών δραστηριοτήτων που παρουσιάζουν πολλά παράγωγα του πυρρολίου, τα οποία είτε έχουν συντεθεί στο εργαστήριο είτε έχουν ανακαλυφθεί σε φυσικά περιβάλλοντα (Zaidi *et al.*, 2006, Lucas *et al.*, 2013, Gholap, 2016). Προσφάτως, βρέθηκε ότι ορισμένα νέα sulfanyl 5*H*-dihydro-pyrrole παράγωγα έχουν βιολογική δράση, εμφανίζοντας έντονη αντιοξειδωτική δράση (αναστολή της λιπιδικής υπεροξειδωσης και λιποξυγενάσης της σόγιας) (Georgiou *et al.*, 2012, Oikonomou *et al.*, 2015). Ωστόσο, δεν υπάρχουν

διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τις εντομοκτόνες ιδιότητες των ενώσεων αυτών. Επίσης, λαμβάνοντας υπ' όψιν το γεγονός ότι η δράση αρκετών άλλων παραγώγων του πυρρολίου δεν είναι γνωστή κατά κανενός είδους εντόμου των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και βασιζόμενοι στην ανάγκη αναπτύξεως νέων εντομοκτόνων διερευνήθηκε η εντομοκτόνη δράση επτά νέων παραγώγων του πυρρολίου κατά των λίαν επιζήμιων εντόμων εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων, *T. confusum* και *E. kuehniella* (Aitken, 1975, Hill, 2003, Mahroof & Hagstrum, 2012), εξετάζοντας διαφορετικούς βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, όπως το στάδιο ζωής του εντόμου, το είδος του δημητριακού, το διάστημα της εκθέσεως, την δόση και διαφορετικούς συνδυασμούς θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Επίσης, περιγράφεται ο πιθανός τρόπος δράσεως των εξετασθέντων παραγώγων του πυρρολίου.

5.1. Υλικά και μέθοδοι

5.1.1. Έντομα

Τα έντομα που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές εξετράφησαν αρχικώς στο εργαστήριο Γεωργικής Εντομολογίας, του Μπενακείου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου και στην συνέχεια στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σε συνεχές σκότος. Το *T. granarium* εξετράφη σε ολόκληρους σπόρους μαλακού σιταριού στους 30 °C και 65% ΣΥ. Το *T. molitor* εξετράφη σε πίτουρο σιταριού στους 30 °C και 65% ΣΥ. Τα *S. oryzae* και *R. dominica* εξετράφησαν σε ολόκληρους σπόρους μαλακού σιταριού, στους 25 °C και 65% ΣΥ. Το *T. confusum* εξετράφη σε αλεύρι σιταριού με 5 % ζυθοζύμη στους 27 °C και 60% Σ.Υ (εικ. 5). Το *E. kuehniella* εξετράφη σε αλεύρι σίτου στους 26 °C και 60% Σ.Υ (εικ. 6). Τα ακμαία άτομα *S. oryzae*, *R. dominica* και *T. confusum* ήσαν ηλικίας μικρότερης των 2 εβδομάδων και προνύμφες πρώτου σταδίου *T. granarium*, *T. molitor*, *T. confusum* ή *E. kuehniella* χρησιμοποιήθηκαν για τον πειραματισμό. Για την επιλογή των προνυμφών του πρώτου σταδίου, συλλέχθησαν ωά των *T. granarium*, *T. molitor*, *T. confusum* και *E. kuehniella* από αλεύρι με τη χρήση κόσκινου με 60 mesh (250 micron, W.S. Tyler, Mentor, OH, USA). Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών στους 30

°C και 65% ΣΥ, 27 °C και 60% ΣΥ ή στους 26 °C και 60% ΣΥ αντιστοίχως. Ακολούθως, συλλέχθησαν οι εκκολαυθείσες προνύμφες.



Εικ. 5. Εκτροφή *T. confusum*.



Εικ. 6. Εκτροφή *E. kuehniella*.

5.1.2. Προϊόντα

Για τον πειραματισμό χρησιμοποιήθηκαν σπόροι σκληρού σιταριού, *Triticum durum* Desf. (var. Mexa), κριθαριού, *Hordeum vulgare* L. (var. Persephone) και αραβοσίτου, *Zea mays* L. (var. Dias). Οι περιεκτικότητες σε υγρασία των εξεταζομένων προϊόντων, όπως προσδιορίστηκαν με το υγρασιόμετρο mini GAC plus, Dickey-John Europe S.A.S., Colombes, France, ήσαν 11,0, 11,1 και 10,8 για το σιτάρι, το κριθάρι και τον αραβόσιτο αντιστοίχως. Όλα τα προϊόντα κοσκινίστηκαν πριν από τις βιοδοκιμές για την απομάκρυνση της σκόνης και των ξένων σωμάτων.

5.1.3. Παράγωγα του πυρρολίου

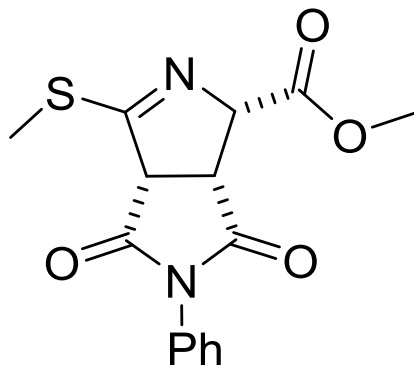
Δέκα τρία παράγωγα του πυρρολίου, τα οποία αναπτύχθηκαν από την ομάδα του εκλιπόντος Καθηγητή Ιωάννη Ελεμέ (Georgiou *et al.*, 2012, Oikonomou *et al.*, 2015), χρησιμοποιήθηκαν για τον πειραματισμό. Αυτά ήσαν τα παρακάτω:

1. (1S,3aR,6aR)-3-(μεθυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξαυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με Μοριακό Βάρος (MB) = 318.35g/mol και Σημείο Τήξεως (ΣΤ) = 163,5 - 164 °C.

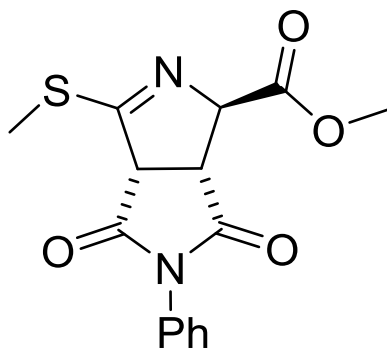
2. (1S,3aR,6aR)-3-(μεθυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με Μοριακό Βάρος (MB) = 318,35 g/mol και Σημείο Τήξεως (ΣΤ) = 170,5 - 171 °C.
3. (1S,3aR,6aR)-3-(βενζυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με Μοριακό Βάρος (MB) = 394,44 g/mol και Σημείο Τήξεως (ΣΤ) = °C.
4. (1S,3aR,6aR)-3-(βενζυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με Μοριακό Βάρος (MB) = 394,44 g/mol και Σημείο Τήξεως (ΣΤ) = 129,5 - 130 °C.
5. 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-μεθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με Μοριακό Βάρος (MB) = 316,33 g/mol και Σημείο Τήξεως (ΣΤ) = 171 - 172 °C.
6. 3-(θειοβενζυλο)-4,6-διοξο-5-δαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-μεθυλεστέρας. Είναι λευκοί κρύσταλλοι με MB = 392,43 g/mol και ΣΤ = 185 - 186 °C.
7. 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-αιθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με MB = 330,36 g/mol και ΣΤ = 161 - 162 °C.
8. 3-(θειοβενζυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-αιθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με MB = 406,45 g/mol και ΣΤ = 181 - 182 °C.
9. 3-(θειοβενζυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-ισοπροπυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με MB = 420,48 g/mol και ΣΤ = 181 - 182 °C.
10. 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-τετρ-βουτυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με MB = 358,41 g/mol και ΣΤ = 173 - 174 °C.
11. 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-βενζυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με MB = 392,43 g/mol και ΣΤ = 186 - 187 °C.
12. 3-(βουτυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-2,4,5,6-τετραυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας. Είναι λευκή σκόνη με MB = 345,39 g/mol και ΣΤ = 151 - 152 °C.
13. 2-βενζυλο-3-(μεθυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-2,4,5,6-τετραυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας.

Για τα παραπάνω παράγωγα του πυρρολίου δίδονται οι κοινές ονομασίες 2a-*syn*, 2a-*anti*, 2f-*syn*, 2f-*anti* (Georgiou *et al.*, 2012), 3a, 3g, 3h, 3i, 3k, 3l, 3m, 3e

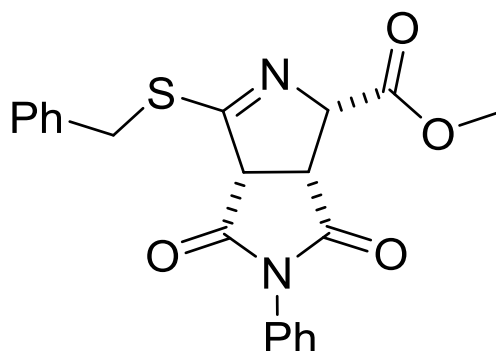
(Οικονομου *et al.*, 2015) και 0665 αντιστοίχως. Πληροφορίες και λεπτομέρειες για την σύνθεση των ενώσεων αυτών βρίσκονται στις εργασίες των Georgiou *et al.* (2012) και Οικονομου *et al.* (2015). Παραθέτονται παρακάτω οι συντακτικοί τύποι των εξετασθέντων παραγώγων του πυρρολίου (εικ. 7 - 19).



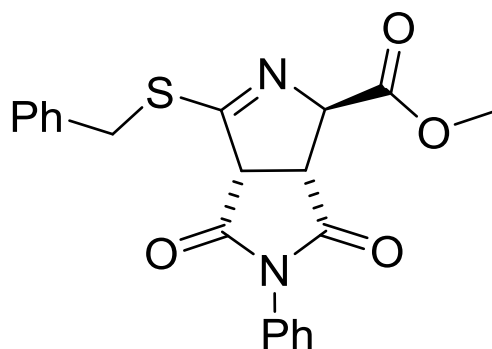
Εικ. 7. (1S,3aR,6aR)-3-(μεθυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1- καρβοξυλικός μεθυλεστέρας (2a-*syn*).



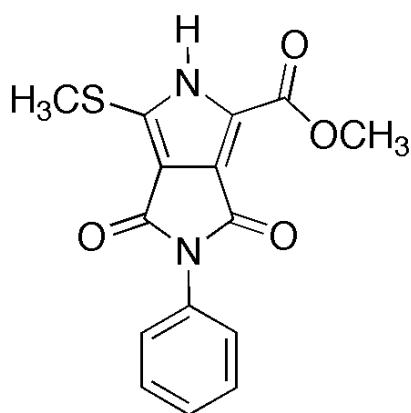
Εικ. 8. (1R,3aR,6aR)-3-(μεθυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1- καρβοξυλικός μεθυλεστέρας (2a-*anti*).



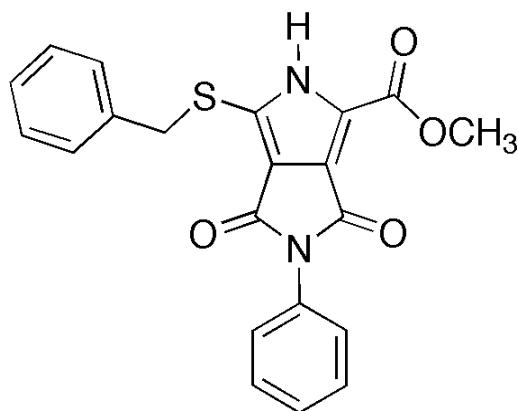
Εικ. 9. (1S,3aR,6aR)-3-(βενζυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1- καρβοξυλικός μεθυλεστέρας (2f-*syn*).



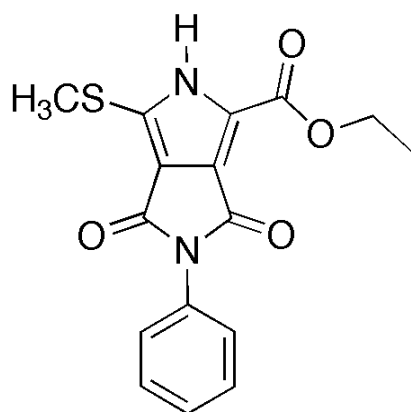
Εικ. 10. (1R,3aR,6aR)-3-(βενζυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-1,3a,4,5,6,6a-εξαυδροπυρρολο[3,4-c]πυρρόλιο-1- καρβοξυλικός μεθυλεστέρας (2f-anti).



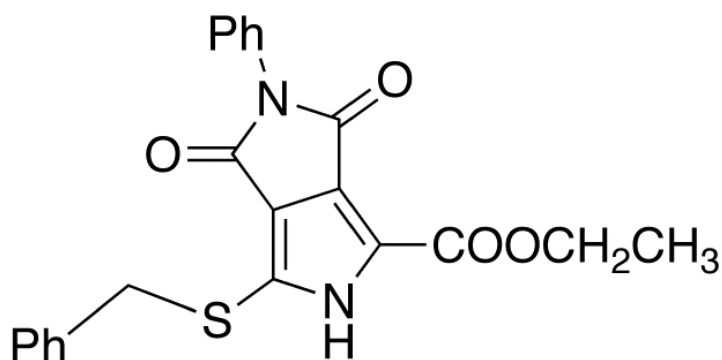
Εικ. 11 . 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-μεθυλεστέρας (3a).



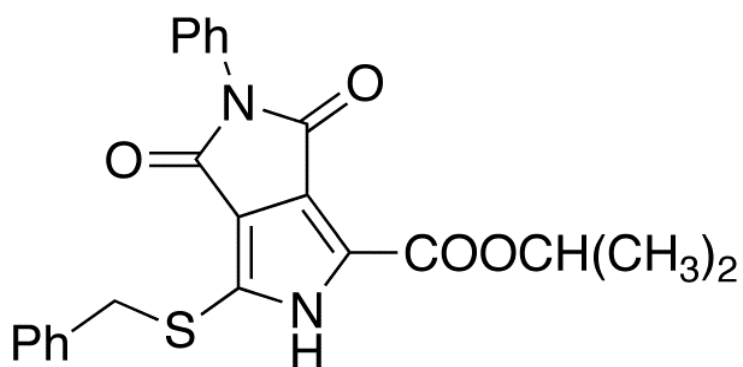
Εικ. 12. 3-(θειοβενζυλο)-4,6-διοξο-5-δαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-c]πυρρολ-1-μεθυλεστέρας (3g).



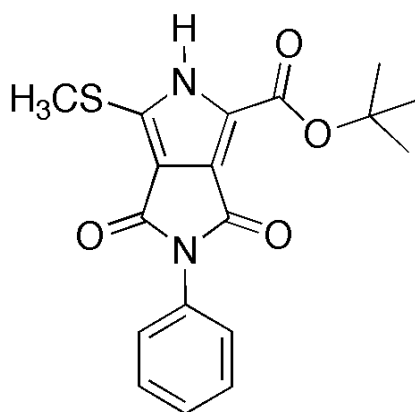
Εικ. 13. 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-*c*]πυρρολ-1-αιθυλεστέρας (3h).



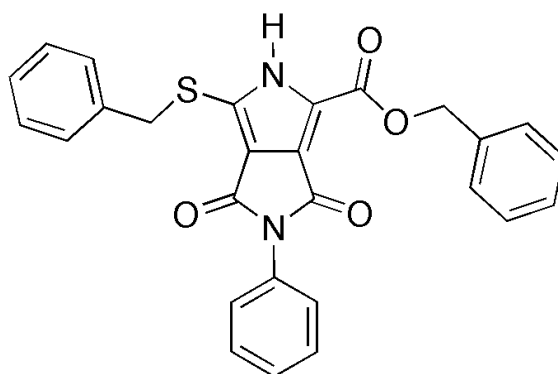
Εικ. 14. 3-(θειοβενζυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-*c*]πυρρολ-1-αιθυλεστέρας (3i).



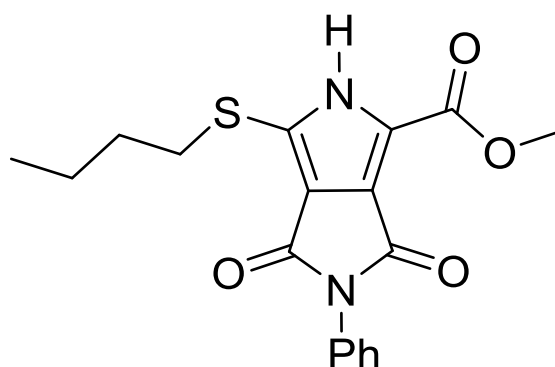
Εικ. 15. 3-(θειοβενζυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-*c*]πυρρολ-1-ισοπροπυλεστέρας (3k).



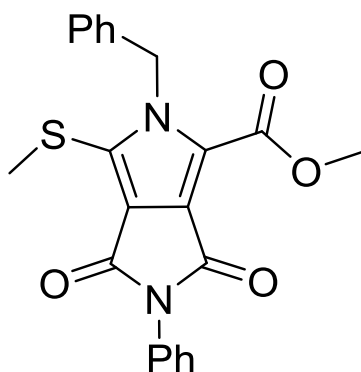
Εικ. 16. 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-*c*]πυρρολ-1-τετρ-βουτυλεστέρας (31).



Εικ. 17. 3-(θειομεθυλο)-4,6-διοξο-5-φαινυλ-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-*c*]πυρρολ-1-βενζυλεστέρας (3m).



Εικ. 18. 3-(βουτυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-2,4,5,6-τετραϋδροπυρρολο[3,4-*c*]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας (3e).



Εικ. 19. 2-βενζυλο-3-(μεθυλοθειο)-4,6-διοξο-5-φαινυλο-2,4,5,6-τετραυδροπυρρολο[3,4-*c*]πυρρόλιο-1-καρβοξυλικός μεθυλεστέρας (0665).

5.2. Προκαταρκτικός Έλεγχος

Για να διερευνηθεί ποια παράγωγα του πυρρολίου επιδεικνύουν εντομοκτόνες ιδιότητες προηγήθηκε προκαταρκτικός έλεγχος. Εξετάσθηκαν συνολικώς 13 παράγωγα του πυρρολίου: 2*a-syn*, 2*a-anti*, 2*f-syn*, 2*f-anti* (Georgiou *et al.*, 2012) 3*k*, 3*i*, 3*a*, 3*h*, 3*l*, 3*m*, 3*g*, 3*e* (Oikonomou *et al.*, 2015) και 0665, από τα οποία επιλέχθησαν τα εφτά. Τα πειράματα διενεργήθηκαν στο σιτάρι, στους 25 °C και 55% ΣΥ, κατά των ακμαίων *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum* και κατά των προνυμφών *T. granarium*, *T. molitor*, *T. confusum* και *E. kuehniella*.

5.2.1. Βιοδοκιμές

Σε γυάλινα δοχεία τοποθετήθηκαν από 1 kg σίτου με τα παράγωγα του πυρρολίου 2*a-syn*, 2*a-anti*, 2*f-syn*, 2*f-anti*, 3*k*, 3*i*, 3*a*, 3*h*, 3*l*, 3*m*, 3*g*, 3*e* και 0665, στη δόση των 10 ppm (mg παραγώγου του πυρρολίου σε σκόνη / kg σίτου). Τα γυάλινα δοχεία ανακινήθηκαν επί 5 λεπτά ώστε να επιτευχθεί η ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων των παραγώγων του πυρρολίου σε ολόκληρη τη μάζα του σιταριού.

Από κάθε γυάλινο δοχείο ελήφθησαν τρία δείγματα των 10 g το καθένα και τοποθετήθηκαν σε μικρά γυάλινα φιαλίδια διαμέτρου 7 cm και ύψους 12 cm. Η ποσότητα των 10 g ζυγίστηκε με ζυγό ακριβείας Precisa XB3200D (Alpha Analytical Instruments, Γέρακας, Ελλάδα). Στο καπάκι των φιαλιδίων υπήρχε οπή διαμέτρου 1,5 cm στην μέση, η οποία καλύφθηκε με γάζα, για να επιτρέψει τον επαρκή αερισμό το εσωτερικό του φιαλιδίου. Στη συνέχεια, 10 ακμαία άτομα ή προνύμφες κάθε είδους τοποθετήθηκαν χωριστά μέσα σε κάθε φιαλίδιο. Το εσωτερικό χείλος των φιαλιδίων

καλύφθηκε με Fluon (Northern Products, Woonsocket, RI, USA), για την αποτροπή της διαφυγής των εντόμων. Εν συνεχεία, τα φιαλίδια από κάθε ένωση τοποθετήθηκαν σε ελεγχόμενους θαλάμους στους 25 °C και 55% ΣΥ, ή στους 30 °C και 55% ΣΥ στην περίπτωση του *T. granarium*, για όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου. Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές.

Η θνησιμότητα των ατόμων εκτιμήθηκε μετά από 7, 14 και 21 ημέρες εκθέσεως. Η θνησιμότητα των εντόμων εκτιμήθηκε με στερεομικροσκόπιο Olympus SZX9, Μπακάκος ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα) (εικ. 23), μέσω της ελαφράς πίεσεώς τους με πινέλο προς ανίχνευση της οποιασδήποτε κίνησεώς τους. Το πινέλο καθαριζόταν προσεχτικώς μετά από την εξέταση του κάθε φιαλιδίου.

5.2.2 Αποτελέσματα προκαταρκτικού ελέγχου

Ελήφθη υπ' όψιν η θνησιμότητα την οποία προκάλεσε η υψηλότερη δόση (10 ppm) των ενώσεων αυτών μετά από 21 ημέρες εκθέσεως (πίνακας 2). Για τα ακμαία *T. confusum*, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή και δεν ξεπέρασε το 50%. Ωστόσο, τα ακμαία *T. confusum* συμπεριελήφθησαν στον πειραματισμό, διότι τα παράγωγα του πυρρολίου 3i και 3k προκάλεσαν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας στις προνύμφες του εντόμου, το οποίο έδωσε το έναυσμα για επιπρόσθετο πειραματισμό (διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και ΣΥ και διαφορετικά προϊόντα). Τα υπόλοιπα παράγωγα του πυρρολίου απερρίφθησαν διότι η θνησιμότητα των ακμαίων δεν ξεπέρασε το 16,7%. Τα περισσότερα από τα παράγωγα του πυρρολίου που δοκιμάστηκαν, προκάλεσαν υψηλή θνησιμότητα στις προνύμφες *T. confusum*, ενώ απερρίφθησαν όσα προκάλεσαν θνησιμότητα μικρότερη από 65%.

Η θνησιμότητα την οποία προκάλεσαν τα παράγωγα του πυρρολίου 2a-syn, 2a-anti, 2f-syn, 2f-anti, 3i, 3k, 3g, 3e και 665 στα ακμαία άτομα *R. dominica* και *S. oryzae* ήσαν μέτρια και κυμάνθηκε από 8,9 έως 50,0 και από 10,0 έως 36,7 αντιστοίχως. Για τον λόγο αυτό, τα *R. dominica* και *S. oryzae* απερρίφθησαν από τον περαιτέρω πειραματισμό.

Όσον αφορά τις προνύμφες *E. kuehniella*, μόνο τρία παράγωγα του πυρρολίου βρέθηκαν να είναι αποτελεσματικά κατά του εντόμου, επιδεικνύοντας υψηλά ποσοστά θνησιμότητας. Τα υπόλοιπα παράγωγα, τα οποία απερρίφθησαν, προκάλεσαν μικρή έως μέτρια θνησιμότητα η οποία κυμάνθηκε μεταξύ 13,3 και 57,8%.

Τα παράγωγα του πυρρολίου 2a-*syn*, 3a, 3h, 3e, 3g, 3i, 3k, 3g, 3m και 0665 δεν ήταν αποτελεσματικά κατά των προνυμφών *T. granarium* και *T. molitor*, η θνησιμότητα που προκάλεσαν ήταν μηδενική και ως εκ τούτου δεν συμπεριελήφθησαν στον πίνακα των αποτελεσμάτων του προκαταρτικού πειραματισμού.

5.3. Βιοδοκιμές

5.3.1. Σειρές Βιοδοκιμών 1.

Σε γυάλινα δοχεία τοποθετήθηκαν από 1 kg σίτου με τα παράγωγα του πυρρολίου 3i και 3k σε τρεις δόσεις: 0,1 ppm (Mg παραγώγου του πυρρολίου σε σκόνη / kg σίτου), 1 ppm και 10 ppm. Τα γυάλινα δοχεία ανακινήθηκαν για 5 λεπτά ώστε να επιτευχθεί η ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων των παραγώγων του πυρρολίου σε ολόκληρη τη μάζα του σίτου. Μία επιπλέον ποσότητα του ενός κιλού σίτου χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας.

Από κάθε γυάλινο δοχείο ελήφθησαν τρία δείγματα των 10 g το καθένα και τοποθετήθηκαν σε μικρά γυάλινα φιαλίδια διαμέτρου 7 cm και ύψους 12 cm. Η ποσότητα των 10 g ζυγίστηκε με ζυγό ακριβείας Precisa XB3200D (Alpha Analytical Instruments, Γέρακας, Ελλάδα). Στο καπάκι των φιαλιδίων υπήρχε μια οπή διαμέτρου 1,5 cm στην μέση, η οποία καλύφθηκε με γάζα, για να επιτρέψει τον επαρκή αερισμό το εσωτερικό του φιαλιδίου. Στη συνέχεια, 10 ακμαία άτομα ή προνύμφες κάθε είδους τοποθετήθηκαν χωριστά μέσα σε κάθε φιαλίδιο. Το εσωτερικό χείλος των φιαλιδίων καλύφθηκε με Fluon (Northern Products, Woonsocket, RI, USA), για την αποτροπή της διαφυγής των εντόμων. Εν συνεχεία, έξι σειρές βιοδοκιμών από κάθε ένωση τοποθετήθηκαν σε ελεγχόμενους θαλάμους υπό τις ακόλουθες συνθήκες: 20 °C και 55% ΣΥ, 25 °C και 55% ΣΥ, 30 °C και 55% ΣΥ, 20 °C και 75% ΣΥ, 25 °C και 75% ΣΥ, 30 °C και 75% ΣΥ για όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου.

Η θνησιμότητα των ατόμων εκτιμήθηκε μετά από 7, 14 και 21 ημέρες εκθέσεως. Η θνησιμότητα των εντόμων εκτιμήθηκε με στερεομικροσκόπιο Olympus SZX9, Μπακάκος ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα), μέσω της ελαφράς πίεσεώς τους με πινέλο προς ανίχνευση της οποιασδήποτε κίνησεώς τους. Το πινέλο καθαριζόταν προσεχτικώς μετά από την εξέταση του κάθε φιαλιδίου. Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές για κάθε είδος (ακμαία ή προνύμφες), με την

προετοιμασία νέων ποσοτήτων σίτου κάθε φορά. Μετά από την καταμέτρηση της θνησιμότητας στις 21 ημέρες, όλα τα γονικά άτομα (ζωντανά ή νεκρά) απομακρύνονταν από τα φιαλίδια. Στην περίπτωση των φιαλιδίων που περιείχαν τα γονικά ακμαία άτομα *T. confusum*, επέστρεψαν στους θαλάμους με τις ίδιες συνθήκες για ένα επιπλέον χρονικό διάστημα 60 ημερών. Ακολούθως, τα φιαλίδια ανοίχθηκαν και πάλι και πραγματοποιήθηκε η καταμέτρηση των απογόνων όπως περιγράφηκε παραπάνω. Κατεγράφησαν τα ακμαία και τα ατελή άτομα και η παραγωγή των απογόνων εκφράστηκε ως ο αριθμός των ατόμων ανά φιαλίδιο. Τα ακμαία άτομα ωστόσο, αντιπροσώπευσαν το 85% του συνολικού αριθμού των απογόνων που κατεγράφη. Δεδομένου ότι η θνησιμότητα των μαρτύρων ήταν λίαν χαμηλή (<3%), δεν θεωρήθηκε απαραίτητο να γίνει διόρθωση στα στοιχεία της θνησιμότητας.

5.3.2. Σειρές Βιοδοκιμών 2

Σε αυτές τις σειρές βιοδοκιμών, ποσότητες του ενός κιλού κριθής ή αραβοσίτου τοποθετήθηκαν σε κυλινδρικά γυάλινα δοχεία με τα παράγωγα του πυρρολίου 3i και 3k στις ακόλουθες τρεις δόσεις: 0,1 ppm, 1 ppm και 10 ppm. Ακολούθως, τα γυάλινα δοχεία ανακινήθηκαν όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Μία επιπλέον ποσότητα του ενός κιλού κριθαριού ή αραβοσίτου χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Η προετοιμασία των δειγμάτων και η πειραματική διαδικασία ήσαν η ίδια όπως στις σειρές βιοδοκιμών 1. Όλα τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν μέσα σε ελεγχόμενους θαλάμους στους 25 °C και 65% ΣΥ για ολόκληρη την πειραματική περίοδο (εικ. 20 - 22). Η θνησιμότητα των εντόμων αξιολογήθηκε μετά από 1, 2, 7, 14 και 21 ημέρες εκθέσεως, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές για κάθε είδος (ακμαία ή προνύμφες), με την προετοιμασία νέων ποσοτήτων κριθαριού ή αραβοσίτου κάθε φορά. Μετά την καταμέτρηση της θνησιμότητας στις 21 ημέρες, ακολούθησε η ίδια διαδικασία όπως περιγράφηκε προηγουμένως, για την καταμέτρηση της παραγωγής των απογόνων των γονεϊκών ακμαίων *T. confusum*. Δεδομένου ότι η θνησιμότητα των μαρτύρων ήσαν λίαν χαμηλή (<4%), δεν θεωρήθηκε απαραίτητο να γίνει διόρθωση στα στοιχεία της θνησιμότητας.

5.3.3. Σειρές βιοδοκιμών 3.

Οι προνύμφες *T. confusum* εξετάστηκαν στο σιτάρι με τα παράγωγα του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m και 3h, ενώ οι προνύμφες *E. kuehniella* εξετάστηκαν στο σιτάρι με το παράγωγο του πυρρολίου 3h. Η προετοιμασία των ποσοτήτων του σιταριού με το κάθε ένα παράγωγο του πυρρολίου και των δειγμάτων, οι συνθήκες, η πειραματική διαδικασία και ο πειραματικός σχεδιασμός, ήταν ίδια με τις σειρές των βιοδοκιμών 1. Η θνησιμότητα των μαρτύρων ήταν λίαν χαμηλή (<5%), επομένως δεν θεωρήθηκε απαραίτητη η διόρθωση των στοιχείων της θνησιμότητας. Στις εικόνες 27 (α, β), 28 (α, β), 29 (α, β), 30 (α - γ) και 31 (α, β) φαίνονται τα σωματίδια των παραγώγων του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m και 3h αντίστοιχα, τα οποία είναι προσκολλημένα στην επιφάνεια του σιταριού.

5.3.4. Σειρές βιοδοκιμών 4

Στην τετάρτη σειρά πειραμάτων, οι προνύμφες *T. confusum* εξετάστηκαν στο κριθάρι και τον αραβόσιτο με τα παράγωγα του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m και 3h, ενώ οι προνύμφες *E. kuehniella* εξετάστηκαν στο κριθάρι και τον αραβόσιτο με το παράγωγο του πυρρολίου 3h. Η προετοιμασία των ποσοτήτων του κριθαριού και του αραβόσιτου με το κάθε ένα παράγωγο του πυρρολίου και των δειγμάτων, οι συνθήκες, η πειραματική διαδικασία και ο πειραματικός σχεδιασμός ήταν ίδια με τις σειρές βιοδοκιμών 2. Η θνησιμότητα των μαρτύρων ήταν λίαν χαμηλή (<5%), συνεπώς δεν ήταν απαραίτητη η διόρθωση των δεδομένων της θνησιμότητας. Στις εικόνες 32 (α, β), 34 (α, β), 36 (α - γ), 38 (α,β), 40 (α, β) και 42 (α, β) φαίνονται τα σωματίδια των παραγώγων του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m και 3h αντίστοιχα, τα οποία είναι προσκολλημένα στην επιφάνεια του κριθαριού και στις εικόνες 33 (α, β), 35 (α - γ), 37 (α, β), 39 (α - γ), 41 (α, β) και 43 (α, β) φαίνονται τα σωματίδια των προαναφερθέντων παραγώγων του πυρρολίου τα οποία είναι προσκολλημένα στην επιφάνεια του αραβόσιτου.



Εικ. 20. Γυάλινα φιαλίδια βιοδοκιμών εντός θαλάμου ελεγχόμενων συνθηκών όπου εκτέθηκαν προνύμφες *T. confusum* σε σιτάρι στο οποίο είχε εφαρμοστεί το παράγωγο του πυρρολίου 3i.



Εικ. 21. Γυάλινα φιαλίδια βιοδοκιμών εντός θαλάμου ελεγχόμενων συνθηκών όπου εκτέθηκαν ακμαία *T. confusum* σε κριθάρι στο οποίο είχε εφαρμοστεί το παράγωγο του πυρρολίου 3i.



Εικ. 22. Γυάλινα φιαλίδια βιοδοκιμών εντός θαλάμου ελεγχόμενων συνθηκών όπου εκτέθηκαν προνύμφες *E. kuehniella* σε αραβόσιτο στον οποίο είχε εφαρμοστεί το παράγωγο του πυρρολίου 3i.

5.4. Στατιστική ανάλυση

5.4.1. Σειρές Βιοδοκιμών 1

Τα δεδομένα αναλύθηκαν ξεχωριστά για καθένα από τα εξετασθέντα είδη εντόμων ή το στάδιό τους, σύμφωνα με την ανάλυση Repeated Measures (Sall *et al.*, 2001). Ο επαναλαμβανόμενος παράγοντας ήταν το διάστημα της εκθέσεως, ενώ η θνησιμότητα ήταν η εξαρτημένη μεταβλητή. Η δόση, το παράγωγο του πυρρολίου, η ΣΥ και η θερμοκρασία ήσαν οι κύριες επιδράσεις. Οι αλληλεπιδράσεις των κυρίων επιδράσεων ενσωματώθηκαν στην ανάλυση. Η καταμέτρηση της παραγωγής των απογόνων υποβλήθηκε σε τετραπλή ανάλυση διασποράς (ANOVA), με τη δόση, το παράγωγο του πυρρολίου, την ΣΥ και την θερμοκρασία ως κύριες επιδράσεις. Οι αλληλεπιδράσεις των κυρίων επιδράσεων ενσωματώθηκαν στην ανάλυση. Η παραγωγή των απογόνων στα φιαλίδια των μαρτύρων (0 ppm) συμπεριλήφθηκε στην ανάλυση. Όλες οι αναλύσεις διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό JMP 11 (SAS Institute 2013). Οι μέσοι διαχωρίστηκαν με την δοκιμασία Tukey-Kramer HSD στο 0,05 επίπεδο σημαντικότητας (Sokal & Rohlf, 1995).

5.4.2. Σειρές βιοδοκιμών 2

Τα δεδομένα αναλύθηκαν ξεχωριστά για καθένα από τα εξετασθέντα είδη εντόμων ή στάδιό τους, σύμφωνα με την ανάλυση Repeated Measures όπως προηγουμένως. Η δόση, το παράγωγο του πυρρολίου και το είδος του δημητριακού ήσαν οι κύριες επιδράσεις. Οι αλληλεπιδράσεις των κυρίων επιδράσεων ενσωματώθηκαν στην ανάλυση. Η καταμέτρηση της παραγωγής των απογόνων υποβλήθηκε σε τετραπλή ανάλυση διασποράς ANOVA όπως προηγουμένως, με την δόση, το παράγωγο του πυρρολίου και το είδος του δημητριακού ως κύριες επιδράσεις. Η παραγωγή των απογόνων στα φιαλίδια των μαρτύρων (0 ppm) συμπεριλήφθηκε στην ανάλυση.

5.4.3. Σειρές βιοδοκιμών 3

Τα δεδομένα αναλύθηκαν ξεχωριστά για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα είδη σύμφωνα με την ανάλυση Repeated Measures όπως στην σειρά βιοδοκιμών 1. Η

θερμοκρασία, η ΣΥ, το παράγωγο του πυρρολίου και η δόση ήσαν οι κύριες επιδράσεις στην περίπτωση των προνυμφών *T. confusum*, ενώ η θερμοκρασία, η ΣΥ και η δόση ήσαν οι κύριες επιδράσεις στην περίπτωση των προνυμφών *E. kuehniella*.

5.4.4. Σειρές βιοδοκιμών 4

Τα δεδομένα αναλύθηκαν ξεχωριστά για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα είδη σύμφωνα με την ανάλυση Repeated Measures όπως στην σειρά βιοδοκιμών 1. Το παράγωγο του πυρρολίου, το είδος του δημητριακού και η δόση ήσαν οι κύριες επιδράσεις στην περίπτωση των προνυμφών *T. confusum* ενώ είδος του δημητριακού και η δόση ήσαν οι κύριες επιδράσεις στην περίπτωση των προνυμφών *E. kuehniella*.

5.5. Αποτελέσματα

5.5.1. Σειρές Βιοδοκιμών 1

5.5.1.1. Θνησιμότητα και απόγονοι των ακμαίων ατόμων *T. confusum*

Οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ και εντός των διαστημάτων της εκθέσεως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3i, μετά από την έκθεση των 7 ημερών, η θνησιμότητα ήταν πολύ χαμηλή (<8%) σε όλους τους δοκιμασθέντες συνδυασμούς (Πίνακας 4). Επτά ημέρες αργότερα, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω στους συνδυασμούς του 55% ΣΥ, αλλά δεν υπερέβη το 24,4%, ενώ στους συνδυασμούς του 75% ΣΥ, η θνησιμότητα παρέμεινε σε πολύ χαμηλά επίπεδα (<3,5%). Παρόμοιες τάσεις παρατηρήθηκαν μετά από 21 ημέρες εκθέσεως. Οι θνησιμότητες ήσαν υψηλότερες στο 55% ΣΥ από εκείνες στο 75% ΣΥ. Ωστόσο, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή και δεν υπερέβη το 32,2% στο σιτάρι στην δόση των 10 ppm του 3i στους 30 °C και 55% ΣΥ. Όσον αφορά την παραγωγή απογόνων, οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Η παραγωγή των απογόνων ήταν πολύ χαμηλή (<1 άτομο/φιαλίδιο) σε όλους τους συνδυασμούς του 55% ΣΥ, συμπεριλαμβανομένου του μάρτυρα (Πίνακας 6). Δεν παρατηρήθηκε εμφάνιση απογόνων στη δόση του 1 ppm στους 20 °C ή στην δόση των 10 ppm στους 20 και 25 °C και 55% ΣΥ. Η αύξηση της θερμοκρασίας αύξησε σημαντικώς την εμφάνιση των ακμαίων ατόμων

στην δόση του 0,1 ppm στο 75% ΣΥ. Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην παραγωγή απογόνων μεταξύ του μάρτυρα και των επεμβάσεων μόνο στους 25 °C και 75% ΣΥ, όπου στα 10 ppm εμφανίστηκαν σημαντικώς λιγότεροι απόγονοι εν συγκρίσει με το 0 ppm.

Στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3k, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, η υψηλότερη θνησιμότητα (18,9%) παρατηρήθηκε στην δόση των 10 ppm στους 25 °C και 55% ΣΥ ενώ στους 25 °C και 75% ΣΥ η θνησιμότητα ήταν 1,1% (Πίνακας 7). Στο 75% ΣΥ, οι θνησιμότητες ήταν πολύ χαμηλές και δεν υπερέβησαν το 6,7%. Δεν καταγράφηκε θνησιμότητα στους 20 και 25 °C και 75% ΣΥ στις δόσεις των 0,1 και 1 ppm του παραγώγου 3k. Μετά από 14 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω. Στο 55% ΣΥ, η θνησιμότητα κυμάνθηκε από 13,3 έως 37,8%, ενώ στο 75% ΣΥ η θνησιμότητα δεν υπερέβη το 12,2%. Τελικώς, μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα έφθασε στο 67,8% στους 30 °C και 55% ΣΥ στην δόση των 10 ppm. Η συνολική θνησιμότητα ήταν χαμηλότερη στο 75% από ότι στο 55% ΣΥ και κυμάνθηκε από 2,2 έως 25,6%. Η παραγωγή απογόνων ήταν χαμηλή σε όλους τους συνδυασμούς οι οποίοι δοκιμάστηκαν (<0,7 άτομα / φιαλίδιο) (Πίνακας 8). Δεν παρατηρήθηκε εμφάνιση απογόνων στις δόσεις 1 ή 10 ppm 3k στους 20 και 25 °C και 55% ΣΥ και στο 1 ppm 3k στους 20 °C ή στα 10 ppm 3k στους 20 και 25 °C και 75% ΣΥ. Η παραγωγή απογόνων σε όλες τις επεμβάσεις ήταν σημαντικώς χαμηλότερη εν συγκρίσει με τον μάρτυρα στους 25 και 30 °C και 75% ΣΥ.

5.5.1.2. Θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum*

Οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ και εντός των διαστημάτων της εκθέσεως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3i, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, σημαντικώς περισσότερες προνύμφες πέθαναν στους 25 °C από ό, τι στους 30 °C και 55% ΣΥ στη δόση του 1 ppm, όμως η θνησιμότητα δεν υπερέβη το 26,7% (Πίνακας 9). Παρόμοιες τάσεις παρατηρήθηκαν επίσης στα 10 ppm, αλλά χωρίς σημαντικές διαφορές. Ακόμη, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή (<37%). Στο 75% ΣΥ, η θνησιμότητα παρέμεινε σε πολύ χαμηλά επίπεδα (<12%) στο 1 ppm 3i. Ωστόσο, στα 10 ppm του 3i η θνησιμότητα αυξήθηκε στο 36,7% στους 20 °C, η οποία ήταν σημαντικώς υψηλότερη από εκείνη στους 25 και 30 °C. Παρόμοιες τάσεις παρατηρήθηκαν μετά από 14 ημέρες εκθέσεως, όπου η θνησιμότητα ήταν σημαντικώς υψηλότερη στο 0,1 και 1 ppm στους 25 °C και

55% ΣΥ, φτάνοντας στο 35,6 και 44,4% αντίστοιχα, από ό, τι στους 30 °C και 55% ΣΥ. Στα 10 ppm, η θνησιμότητα ήταν 60% στους 25 °C και 55% ΣΥ. Η συνολική θνησιμότητα ήταν χαμηλότερη στο 75% ΣΥ από ό, τι στο 55% ΣΥ. Μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω. Στην υψηλότερη δόση ήταν 82,2 στους 25 °C και 55% ΣΥ και σημαντικώς υψηλότερη από ό, τι στις άλλες δύο θερμοκρασίες. Ωστόσο, η θνησιμότητα ήταν χαμηλότερη στο 75% από ό, τι στο 55% ΣΥ και δεν ξεπέρασε το 55,6 στους 20 °C και 75% ΣΥ στα 10 ppm του 3i.

Στην περίπτωση του 3k, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή στις δόσεις των 0,1 και 1 ppm σε όλες τις θερμοκρασίες και στα επίπεδα της σχετικής υγρασίας και δεν ξεπέρασε το 26,7% (Πίνακας 10). Στα 10 ppm, η θνησιμότητα ήταν σημαντικώς υψηλότερη στους 25 °C από ό, τι στους 30 °C και 55% ΣΥ. Μετά από 14 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω και έφτασε στο 67,8 και 52,2% στο 55 και το 75% ΣΥ στους 25 °C στα 10 ppm, αντίστοιχα. Μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα αυξήθηκε στο 77,8% στους 25 °C και 55% ΣΥ. Στο 75% ΣΥ, η θνησιμότητα ήταν χαμηλότερη από ό, τι στο 55% σε όλους τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν και έφτασε στο 65,6% στους 25 °C μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, ενώ στα 10 ppm στους 25 °C και 55% ΣΥ, η θνησιμότητα ήταν 77,8%.

5.5.1.3. Θνησιμότητα των προνυμφών *E. kuehniella*

Οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ και εντός των διαστημάτων της εκθέσεως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3i, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, η υψηλότερη θνησιμότητα (20%) παρατηρήθηκε στα 10 ppm στους 25 °C και 55% ΣΥ (Πίνακας 11). Η συνολική θνησιμότητα στο 75% ΣΥ ήταν πολύ χαμηλή και κυμάνθηκε από 1,1 έως 5,6%. Στον ίδιο συνδυασμό, μετά από 14 και 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα έφτασε στο 41,1 και 44,4%, αντιστοίχως, ενώ στο 75% ΣΥ η θνησιμότητα παρέμεινε πολύ χαμηλή και δεν ξεπέρασε το 11,1 και 13,3% μετά τις 14 και 21 ημέρες εκθέσεως, αντιστοίχως.

Στην περίπτωση του παραγώγου 3k, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως στις δόσεις 0,1 ή 1 ppm, η θνησιμότητα δεν υπερέβη το 12,2% στους 25 °C και 55% ΣΥ (Πίνακας 12). Σημαντικώς υψηλότερη θνησιμότητα καταγράφηκε στους 25 °C (42,2%) από ότι στους 20 ή 30 °C στα 10 ppm 3k. Στο 75% ΣΥ, δεν σημειώθηκαν

σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών σε οποιαδήποτε δόση. Η μέγιστη θνησιμότητα (30%) καταγράφηκε στα 10 ppm στους 20 °C και 75% ΣΥ. Μετά από 14 και 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω και έφθασε στο 52,2 και 63,3% στα 10 ppm 3k στους 25 °C και 55% ΣΥ, αντιστοίχως. Η συνολική θνησιμότητα στο 75% ΣΥ ήταν χαμηλότερη και δεν ξεπέρασε το 45,6 και 50% στα 10 ppm 3k στους 20 °C και 75% ΣΥ στις 14 και 21 ημέρες εκθέσεως, αντιστοίχως. Όπως και στις 7 ημέρες εκθέσεως, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών σε όλες τις δόσεις μετά από 14 ή 21 ημέρες εκθέσεως.

5.5.2. Σειρές Βιοδοκιμών 2

5.5.2.1. Θνησιμότητα και απόγονοι των ακμαίων ατόμων *T. confusum*

Μεταξύ των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και η αλληλεπίδραση παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν ήσαν σημαντικές (Πίνακας 13). Εντός των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν και έκθεση x προϊόν x δόση ήσαν σημαντικές.

Όσον αφορά τον αραβόσιτο, μετά από 1 και 2 ημέρες εκθέσεως, δεν καταγράφηκε θνησιμότητα σε όλες τις δόσεις και τα παράγωγα του πυρρολίου που εξετάστηκαν (Πίνακας 14). Μετά από 7 και 14 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα σε όλες τις δόσεις και στα δύο παράγωγα του πυρρολίου και δεν υπερέβη το 34,4 και το 43,3% στα 10 ppm των 3i και 3k, αντιστοίχως. Η θνησιμότητα των ακμαίων ατόμων *T. confusum* έφτασε το 54,4 και 72,2% μετά τις 21 ημέρες εκθέσεως στην υψηλότερη δόση των 3i και 3k, αντιστοίχως.

Στο κριθάρι, την πρώτη ημέρα εκθέσεως, δεν καταγράφηκε θνησιμότητα σε όλες τις δόσεις των παραγώγων του πυρρολίου που δοκιμάστηκαν. Την δεύτερη ημέρα εκθέσεως, καταγράφηκε μικρή ή καθόλου θνησιμότητα (κυμάνθηκε από 0 – 3,3%). Θνησιμότητα καταγράφηκε μόνο στην υψηλότερη δόση του 3k. Ωστόσο, μετά 7 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα αυξήθηκε ραγδαίως και έφτασε στο 75,6 και 85,6% για το 3i και 3k, αντιστοίχως. Επτά ημέρες αργότερα, πλήρης θνησιμότητα παρατηρήθηκε στις δόσεις 1 και 10 ppm του 3i και στα 10 ppm του 3k. Μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, όλα τα ακμαία άτομα *T. confusum* ήσαν νεκρά στο κριθάρι σε όλες

τις δόσεις του 3i (εικ. 24), ενώ στην περίπτωση του 3k η θνησιμότητα κυμάνθηκε μεταξύ 92,2 και 100%.

Όσον αφορά την παραγωγή απογόνων, η κυρία επίδραση δόση ήταν σημαντική (Πίνακας 15). Η παραγωγή απογόνων ήταν πολύ χαμηλή (≤ 1 άτομο ανά φιαλίδιο) σε όλες τις δόσεις για τα δύο εξετασθέντα παράγωγα του πυρρολίου (Πίνακας 16). Δεν παρατηρήθηκε εμφάνιση απογόνων στον αραβόσιτο στις δόσεις 1 ή 10 ppm του 3i και 3k, ενώ στο κριθάρι δεν καταγράφηκε παραγωγή απογόνων στα 10 ppm για τα δύο παράγωγα του πυρρολίου.

5.5.2.2. Θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum*

Μεταξύ των διαστημάτων της εκθέσεως, οι κύριες επιδράσεις προϊόν και δόση και οι αλληλεπιδράσεις προϊόν x δόση ήταν σημαντικές (Πίνακας 13). Εντός των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις ήταν σημαντικές.

Όσον αφορά τον αραβόσιτο, μετά από 1 ημέρα εκθέσεως, η συνολική θνησιμότητα ήταν πολύ χαμηλή και κυμάνθηκε από 3,3 έως 10% (Πίνακας 17). Μετά από 7 ημέρες εκθέσεως η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω, αλλά δεν υπερέβη το 26,7 και το 24,4% στα 10 ppm του 3i και 3k, αντιστοίχως. Ωστόσο, στις 14 ημέρες εκθέσεως η θνησιμότητα αυξήθηκε και έφτασε το 90% στα 10 ppm του 3k η οποία δεν διέφερε σημαντικώς από το αντίστοιχο επίπεδο θνησιμότητας του 3i. Μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα δεν έφθασε στο 100% σε όλες τις δόσεις των παραγώγων του πυρρολίου, αλλά ξεπέρασε το 96% στα 10 ppm του 3k.

Στην περίπτωση του κριθαριού, μετά από 1 ημέρα εκθέσεως, η συνολική θνησιμότητα ήταν χαμηλή και δεν υπερέβη το 23,3% στα 10 ppm του 3i. Μετά από 2 ημέρες εκθέσεως, σημαντικώς περισσότερες προνύμφες *T. confusum* ήταν νεκρές στα 10 ppm του 3i (εικ. 25) από τους υπολοίπους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, φτάνοντας το 86,7%. Επτά ημέρες αργότερα, όλες οι εκτεθειμένες προνύμφες βρέθηκαν νεκρές σε όλες τις δόσεις και των δυο παραγώγων του πυρρολίου.

5.5.2.3. Θνησιμότητα των προνυμφών *E. kuehniella*

Μεταξύ των διαστημάτων της εκθέσεως, οι κύριες επιδράσεις προϊόν και δόση και η αλληλεπίδραση προϊόν x δόση ήταν σημαντικές (Πίνακας 13). Εντός των

διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις ήταν σημαντικές.

Όσον αφορά τον αραβόσιτο, μετά από 1, 2 και 7 ημέρες εκθέσεως, η συνολική θνησιμότητα ήταν χαμηλή και δεν ξεπέρασε το 66,7% στα 10 ppm του 3k (Πίνακας 18). Εφτά και 14 ημέρες αργότερα, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω φτάνοντας το 80 και 84,4% στα 10 ppm του 3i και 3k, αντιστοίχως.

Όσον αφορά το κριθάρι, μετά από 1 ημέρα εκθέσεως, η θνησιμότητα ήταν κατά μέσο όρο στα ίδια επίπεδα σε όλες τις δόσεις του 3i, αλλά έφτασε το 80% στα 10 ppm του 3k. Μετά από 2 ημέρες εκθέσεως, πλήρης θνησιμότητα καταγράφηκε στην υψηλότερη δόση του 3k (εικ. 26). Επτά ημέρες αργότερα, πλήρης θνησιμότητα παρατηρήθηκε στις δόσεις των 1 και 10 ppm του 3i και σε όλες τις δόσεις του 3k. Μετά από 14 ημέρες, όλες οι προνύμφες *E. kuehniella* ήταν νεκρές στη δόση 0,1 ppm του 3i.

5.5.3. Σειρές Βιοδοκιμών 3

5.5.3.1. Θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum*

Μεταξύ των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις θερμοκρασία x ΣΥ, παράγωγο του πυρρολίου x δόση, θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου, ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου, ΣΥ x δόση και θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου ήταν σημαντικές (Πίνακας 19). Εντός των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις ήταν σημαντικές, εκτός από τις αλληλεπιδράσεις έκθεση x θερμοκρασία x δόση, έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ x δόση και έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση.

Μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, για το 3a, η θνησιμότητα παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα στις δόσεις 0,1 και 1 ppm σε όλους τους συνδυασμούς οι οποίοι εξετάστηκαν (Πίνακας 20). Ωστόσο, η θνησιμότητα έφτασε σχεδόν το 79% στην δόση των 10 ppm στους 30 °C και 55% ΣΥ, ενώ δεν υπερέβη το 55,6% στους 30 °C και 75% ΣΥ. Μετά από 14 ημέρες εκθέσεως, στη δόση 1 ppm στους 30 °C, η θνησιμότητα ήταν 70 και 64,4% στο 55 και 75% ΣΥ, αντιστοίχως. Στα 10 ppm, η θνησιμότητα ήταν >94% στους 30 °C και 55% ΣΥ, ενώ κυμάνθηκε από 57,8 έως 72,2% στην ίδια θερμοκρασία στο 75% ΣΥ. Εφτά ημέρες αργότερα η θνησιμότητα αυξήθηκε σημαντικώς σε όλους

τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν. Έτσι, ακόμη και στο 0,1 ppm, η θνησιμότητα ήταν 80%, αλλά έφθασε το 98,9% στα 10 ppm στους 30 °C και 55% ΣΥ. Η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 20 ή 25 °C στους 30 °C αύξησε σημαντικώς την θνησιμότητα σε όλους τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν στο 55% ΣΥ. Στις εικόνες 27 γ – ε φαίνονται να σωματίδια του παραγώγου του πυρρολίου 3a τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

Όσον αφορά το παράγωγο του πυρρολίου 3g, μετά από 7 ή 14 ημέρες εκθέσεως η συνολική θνησιμότητα κατά μέσο όρο ήταν αμελητέα (Πίνακας 21). Ωστόσο, μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, στους 25 και 30 °C η θνησιμότητα ήταν 90 και 97,8% στο 55% ΣΥ, ενώ στο 75% ΣΥ η θνησιμότητα ήταν χαμηλότερη και δεν ξεπέρασε το 56,7% στους 30 °C. Στις εικόνες 28 γ και δ φαίνονται να σωματίδια του παραγώγου του πυρρολίου 3g τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

Η θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum* ήταν χαμηλή ή μέτρια για το παράγωγο του πυρρολίου 3l μετά από 7 και 14 ημέρες εκθέσεως και δεν υπερέβη το 56,7% στα 10 ppm στους 30 °C και 75% ΣΥ (Πίνακας 22). Ωστόσο, μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα ήταν 84,4 και 95,6% στα 10 ppm του 3l στους 25 και 30 °C και 55% ΣΥ. Παρομοίως, στο 75%, η θνησιμότητα ήταν μέτρια και δεν υπερέβη το 67,8% στους 30 °C. Γενικώς, οι τιμές της θνησιμότητας στο 55% ΣΥ ήσαν υψηλότερες από ότι στο 75% ΣΥ. Στις εικόνες 29 γ - ε φαίνονται να σωματίδια του παραγώγου του πυρρολίου 3l τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

Στην περίπτωση του παραγώγου του πυρρολίου 3m, για τα δύο επίπεδα ΣΥ, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum* ήταν κατά μέσο όρο χαμηλή (Πίνακας 23). Εφτά ημέρες αργότερα, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω και έφθασε στο 76,7% στα 10 ppm στους 30 °C και 55% ΣΥ. Στις 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα ήταν >84 και >95% στα 10 ppm στους 25 και 30 °C και στο 55% ΣΥ, αντιστοίχως. Στις εικόνες 30 δ - στ φαίνονται να σωματίδια του παραγώγου του πυρρολίου 3m τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

Για το παράγωγο του πυρρολίου 3h, μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum* κυμάνθηκε από 12,2% έως 46,7 και από 10 έως 42,2% στο 55% και 75 ΣΥ, αντιστοίχως (Πίνακας 24). Εφτά ημέρες αργότερα, η θνησιμότητα ήταν ακόμη μέτρια και για τα δύο επίπεδα ΣΥ που εξετάστηκαν. Μετά

από 21 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα στο 1 ppm ήταν >80% στους 30 °C και 55% ΣΥ. Ωστόσο, στις θερμοκρασίες ≥ 25 °C, η θνησιμότητα ήταν >88%. Στο 75% ΣΥ η θνησιμότητα ήταν γενικώς παρόμοια με το 55% ΣΥ. Στις εικόνες 31 γ – ε φαίνονται να σωματίδια του παραγώγου του πυρρολίου 3h τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

5.5.3.2. Θνησιμότητα των προνυμφών *E. kuehniella*

Μεταξύ των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις θερμοκρασία x ΣΥ και θερμοκρασία x ΣΥ x δόση ήσαν σημαντικές (Πίνακας 19). Εντός των διαστημάτων της εκθέσεως, οι κύριες επιδράσεις έκθεση x θερμοκρασία και έκθεση x δόση ήσαν σημαντικές. Όλες οι αλληλεπιδράσεις ήσαν σημαντικές, εκτός από την έκθεση x ΣΥ x δόση.

Μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα των προνυμφών *E. kuehniella* με την εφαρμογή του παραγώγου 3h εμφάνισαν μεγάλη διακύμανση στα δύο επίπεδα ΣΥ μεταξύ των θερμοκρασιών (Πίνακας 25). Παρόμοια τάση καταγράφηκε στις 14 και 21 ημέρες εκθέσεως. Οι υψηλότερες τιμές θνησιμότητας παρατηρήθηκαν στα 10 ppm στους 30 °C, όπου ήσαν 87.9% για το 55% ΣΥ και 90% για το 75% ΣΥ. Παρομοίως, μετά από 14 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα ήταν σχεδόν πλήρης (98,9%) στους 30 °C και 55% ΣΥ, ενώ έφθασε στο 95,6% στους 30 °C και 75% ΣΥ.

5.5.4. Σειρές Βιοδοκιμών 4

5.5.4.1. Θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum*

Μεταξύ των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και η αλληλεπίδραση παραγώγο του πυρρολίου x προϊόν ήσαν σημαντικές (Πίνακας 26). Εντός των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις ήσαν σημαντικές.

Μετά από 1 και 2 ημέρες εκθέσεως, δεν παρατηρήθηκε θνησιμότητα στον αραβόσιτο στην δόση 0,1 ppm στα παράγωγα του πυρρολίου τα οποία δοκιμάστηκαν. Ωστόσο, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή στο 1 ή στα 10 ppm όλων των παραγώγων του πυρρολίου (Πίνακας 27). Μετά από 7 ημέρες εκθέσεως, δεν καταγράφηκε θνησιμότητα στο 0,1 ppm του 3h, ενώ ήταν ακόμα χαμηλή για όλα τα υπόλοιπα

παράγωγα του πυρρολίου. Στις δόσεις 1 και 10 ppm, η θνησιμότητα ήταν μέτρια. Μετά από 14 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα αυξήθηκε περαιτέρω αλλά δεν υπερέβη το 74,4% (3a στα 10 ppm). Παρουσιάζει ενδιαφέρον το γεγονός ότι η θνησιμότητα έφτασε στο 91,1% στον αραβόσιτο στη δόση των 10 ppm του 3a, ακολουθούμενη από το παράγωγο του πυρρολίου 3h η οποία έφτασε σχεδόν στο 80% στα 10 ppm. Στις εικόνες 33 (γ, δ), 37 (γ, δ), 39 (δ – στ) και 41 (γ – ε) φαίνονται να σωματίδια των παραγώγων του πυρρολίου 3a, 3l, 3m και 3h αντίστοιχα, τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

Όσον αφορά το κριθάρι, μετά από 1 ημέρα εκθέσεως, καταγράφηκε χαμηλή ή καθόλου θνησιμότητα για τις εξετασθέντες ουσίες. Ωστόσο, μετά από 2 ημέρες εκθέσεως, παρά το γεγονός ότι η θνησιμότητα αυξήθηκε σε όλους τους συνδυασμούς, ήταν μικρή ή μετρία. Στις 7 ημέρες εκθέσεως, το παράγωγο του πυρρολίου 3a προκάλεσε 82,2% θνησιμότητα στις προνύμφες *T. confusum*. Επτά ημέρες αργότερα, πλήρης θνησιμότητα καταγράφηκε στα 10 ppm των 3a και 3m και ακολούθησε το παράγωγο του πυρρολίου 3g όπου η θνησιμότητα έφτασε στο 97,8% στην υψηλότερη δόση (10 ppm). Μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, πλήρης θνησιμότητα καταγράφηκε επίσης στο 1 ppm του 3a και στα 10 ppm των 3g, 3l και 3h. Στις εικόνες 32 (γ - ε), 34 (γ - ε), 36 (δ – στ), 38 (γ – ε) και 40 (γ, δ) φαίνονται να σωματίδια των παραγώγων του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m και 3h αντίστοιχα, τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

5.5.4.2. Θνησιμότητα των προνυμφών *E. kuehniella*

Μεταξύ και εντός των διαστημάτων της εκθέσεως, όλες οι κύριες επιδράσεις ήταν σημαντικές, ενώ οι αλληλεπιδράσεις δεν ήταν σημαντικές (Πίνακας 26). Μετά από 1, 2 και 7 ημέρες εκθέσεως στον αραβόσιτο, το παράγωγο του πυρρολίου 3h προκάλεσε μετρία ή καθόλου θνησιμότητα στις προνύμφες *E. kuehniella*. Η θνησιμότητα αυξήθηκε στο 71,1% μετά από 14 ημέρες εκθέσεως στην δόση των 10 ppm και επτά ημέρες αργότερα έφτασε στο 82,2% (Πίνακας 28). Στις εικόνες 42 γ - ε φαίνονται να σωματίδια του παραγώγου του πυρρολίου 3h τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.

Στο κριθάρι, μετά από 1, 2 και 7 ημέρες εκθέσεως, η θνησιμότητα ήταν χαμηλή ή μετρία. Ωστόσο, 7 ημέρες αργότερα αυξήθηκε στο 91,1% και έφτασε στο 100% μετά από 21 ημέρες εκθέσεως στην ίδια δόση. Στις εικόνες 43 γ και δ

φαίνονται να σωματίδια του παραγώγου του πυρρολίου 3h τα οποία είναι προσκολλημένα στο σώμα της νεκρής προνύμφης.



Εικ. 23. Εκτίμηση της θνησιμότητας των εντόμων με στερεομικροσκόπιο Olympus SZX9.



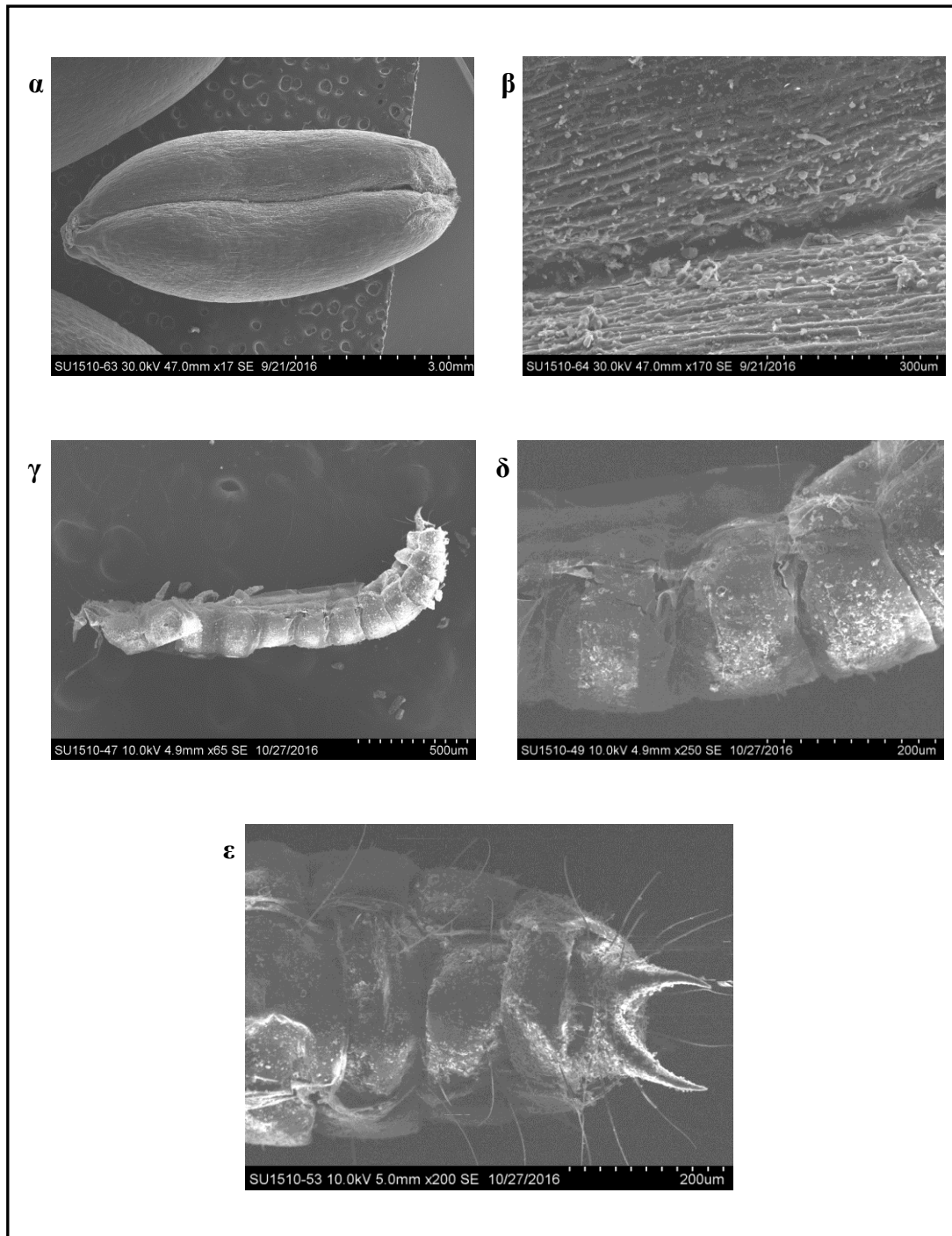
Εικ. 24. Νεκρά ακμαία *T. confusum* εκτεθέντα σε κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παράγωγο του πυρρολίου 3i.



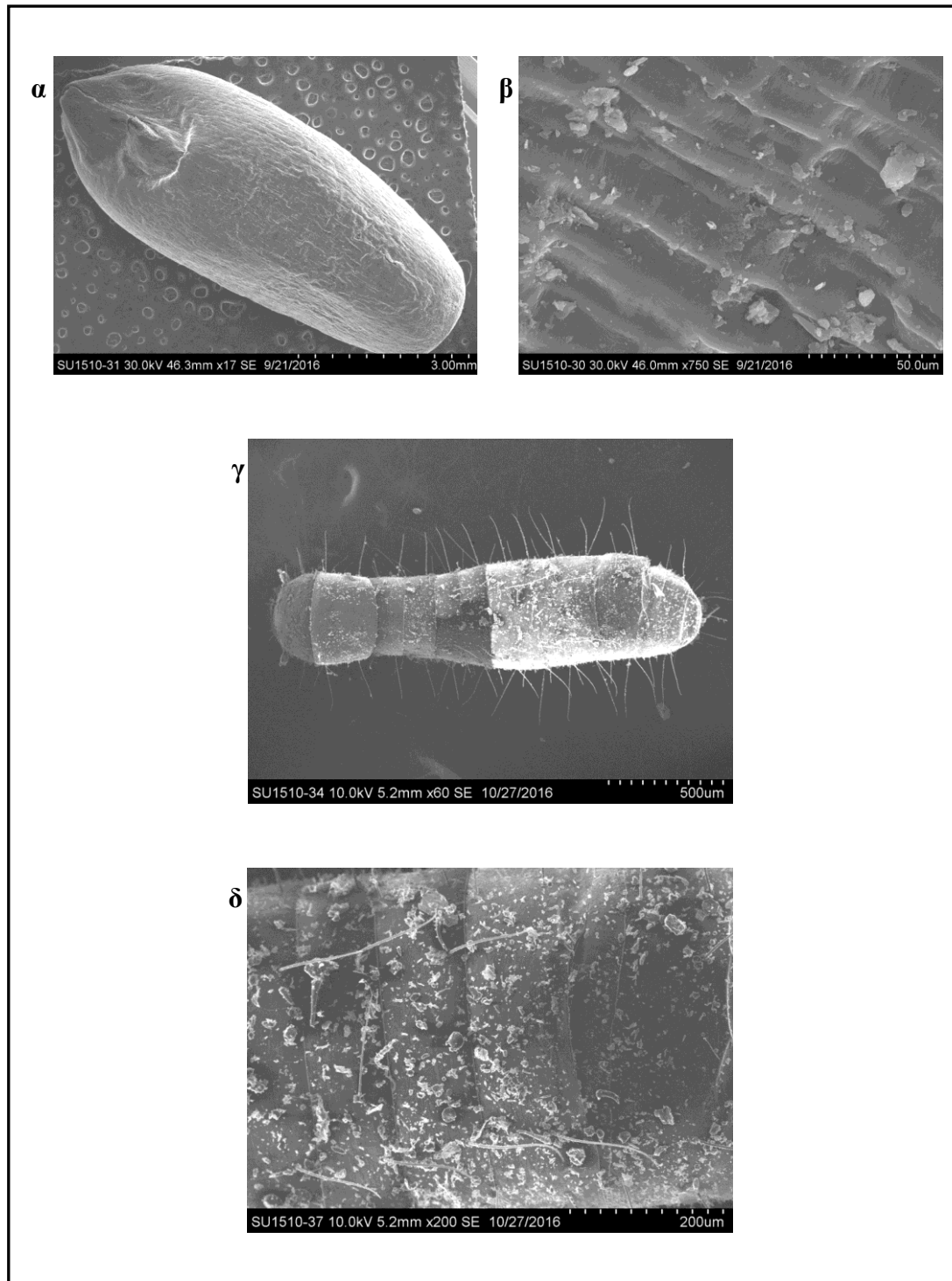
Εικ. 25. Νεκρές προνύμφες *T. confusum* εκτεθείσες σε κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παράγωγο του πυρρολίου 3i.



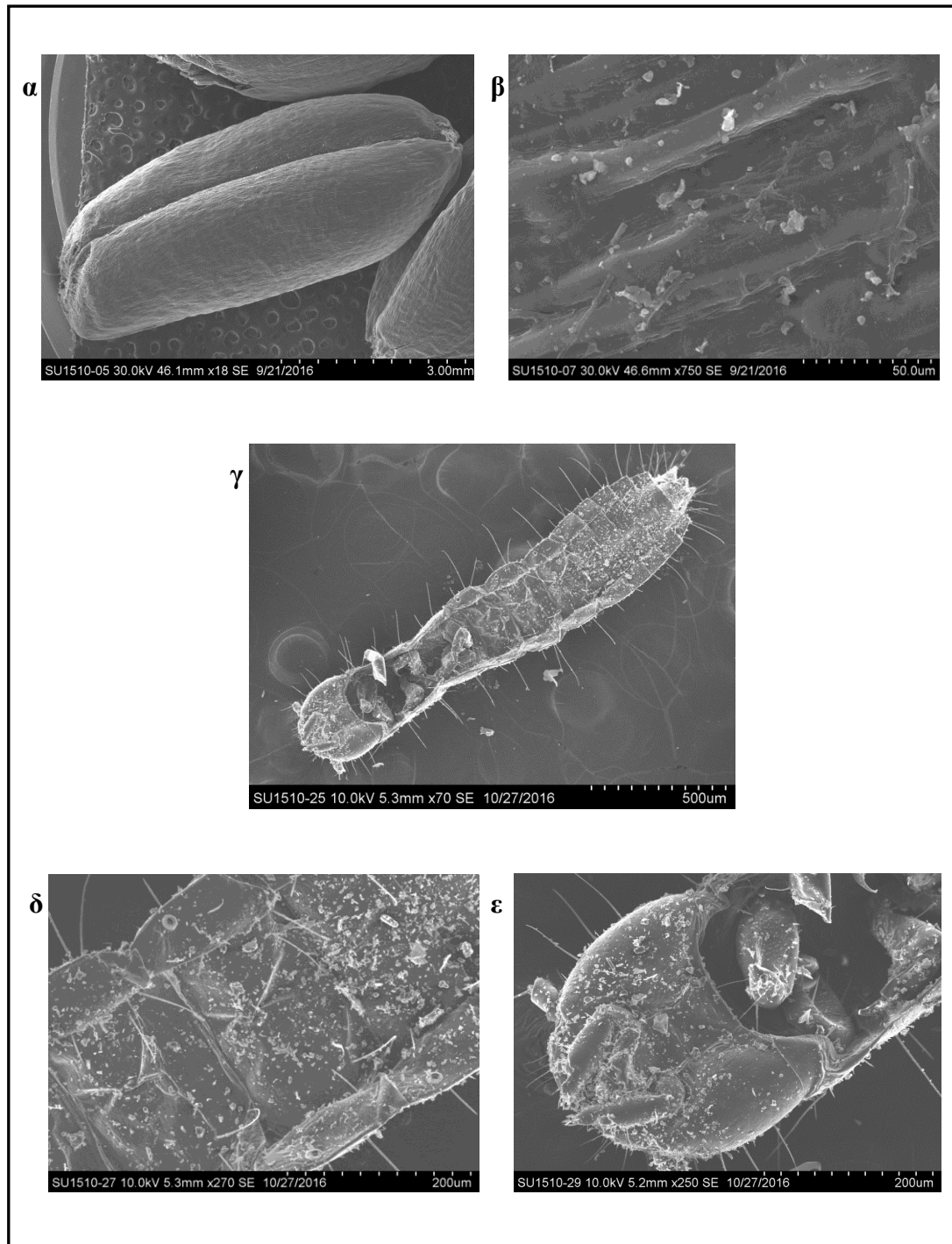
Εικ. 26. Προνύμφες *E. kuehniella* (αριστερά νεκρή και δεξιά ζωντανή), εκτεθείσες σε κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παράγωγο του πυρρολίου 3k.



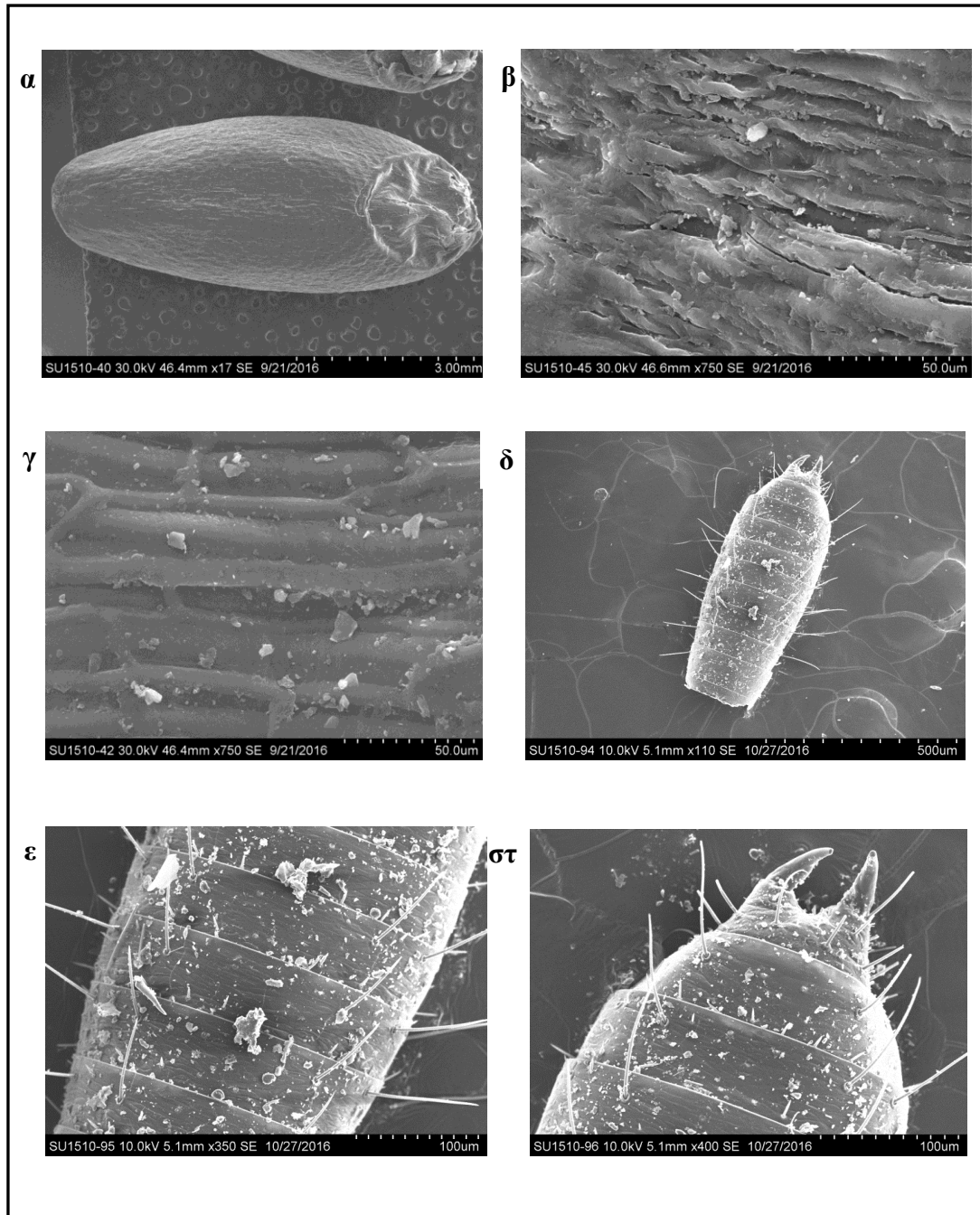
Εικ. 27. Σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3a (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3a (γ - ε).



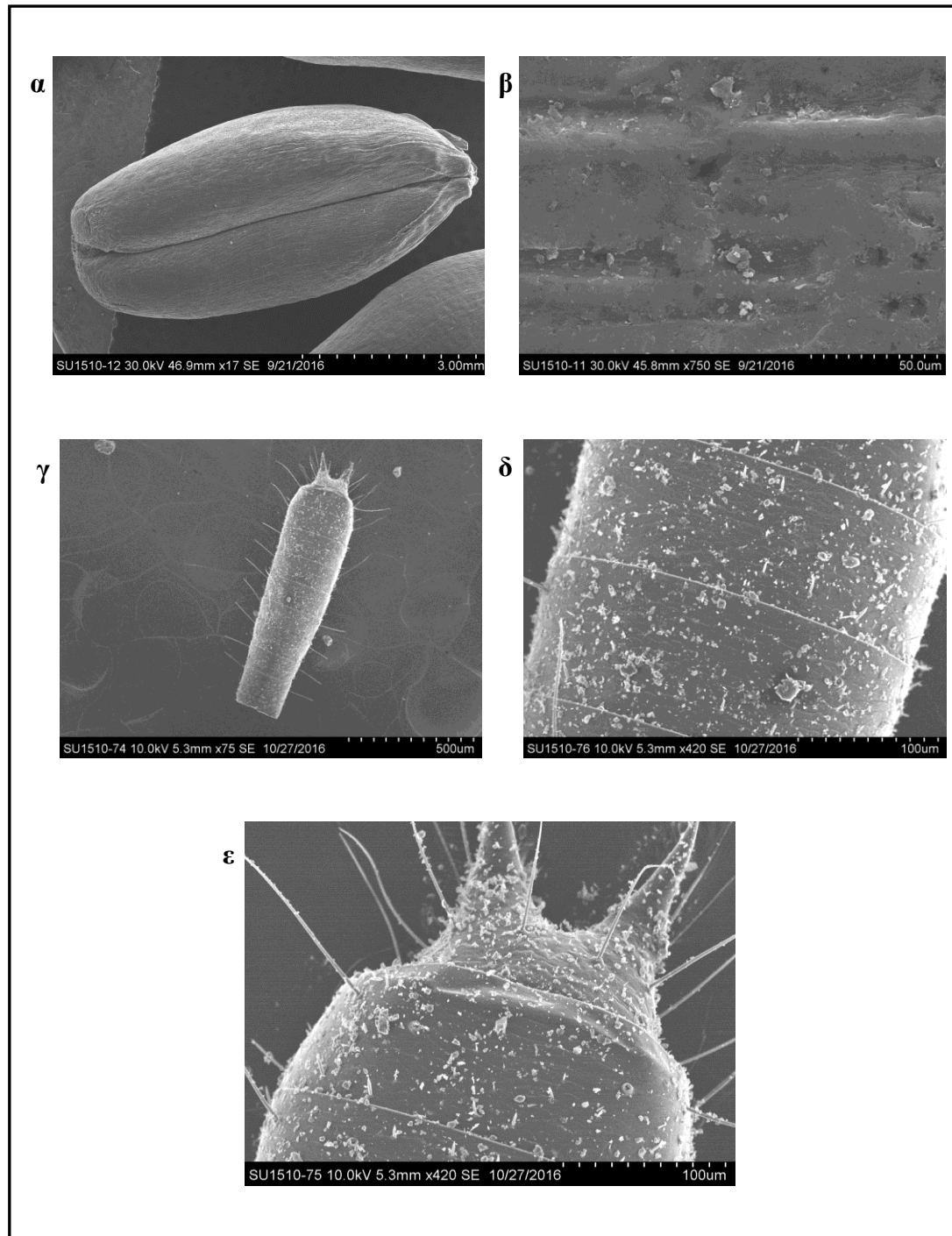
Εικ. 28. Σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3g (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3g (γ, δ).



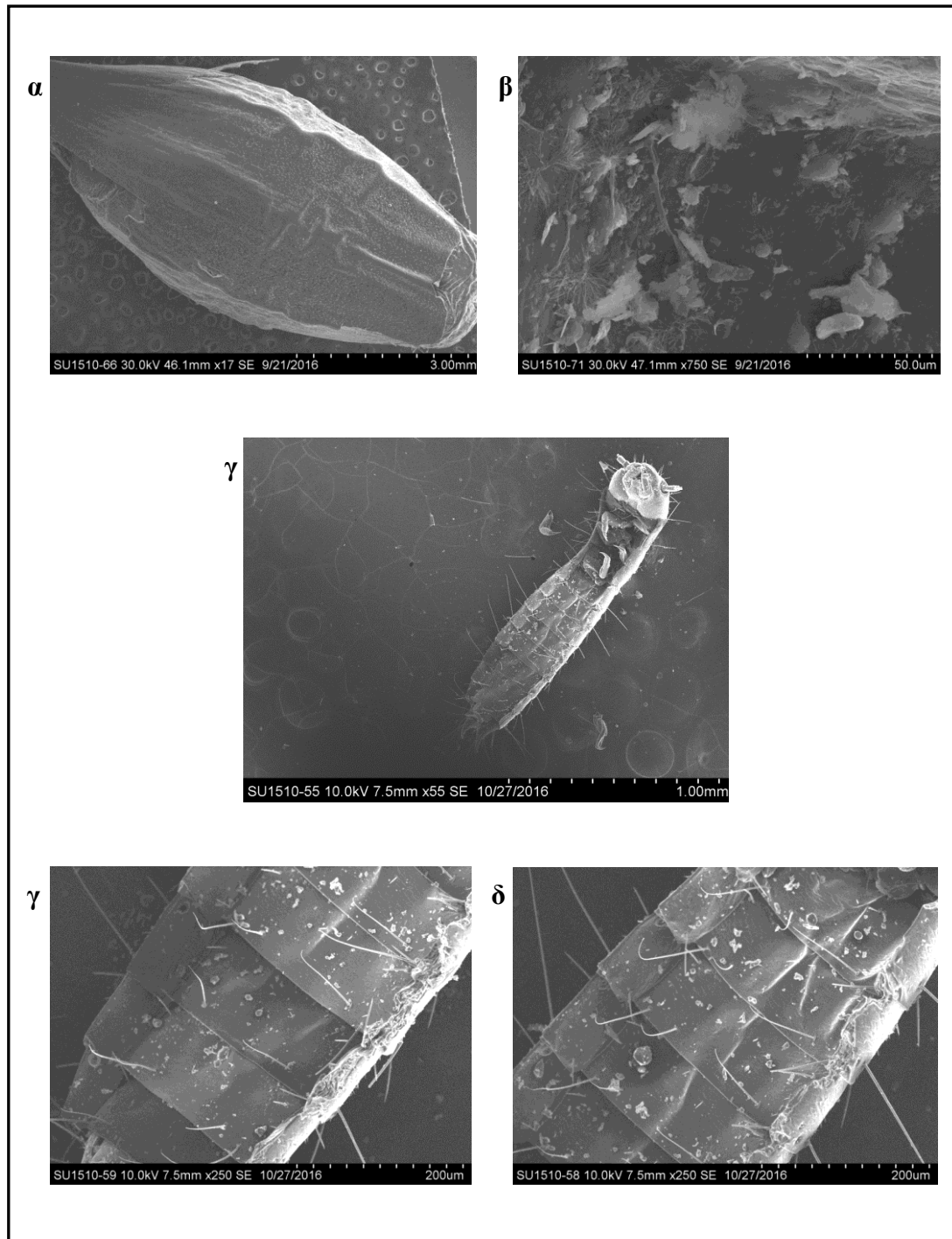
Εικ. 29. Σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 31 (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 31 (γ - ε).



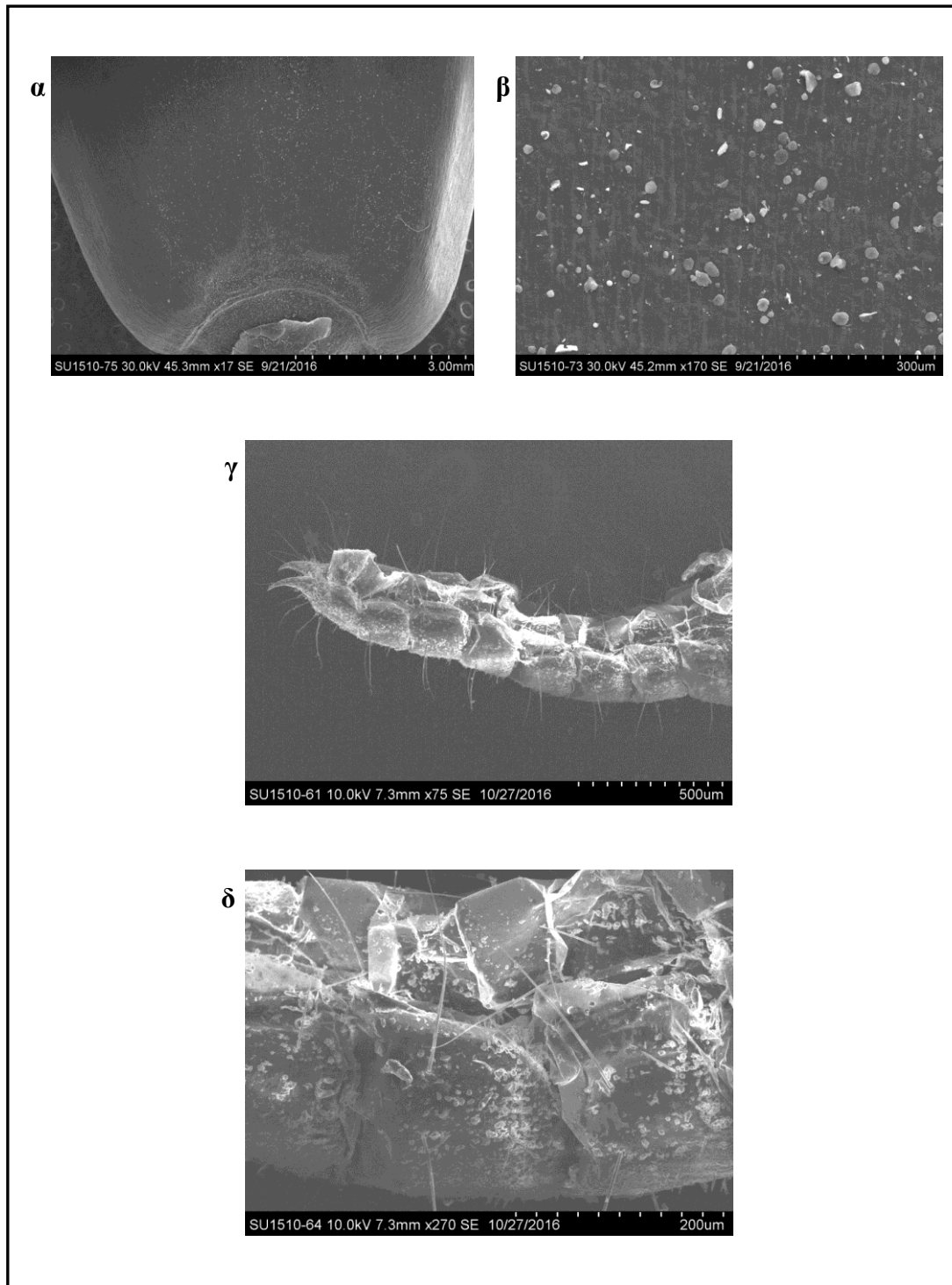
Εικ. 30. Σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3m (α – γ).
Προνύμφη *T. confusum* στο σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3m (δ – στ).



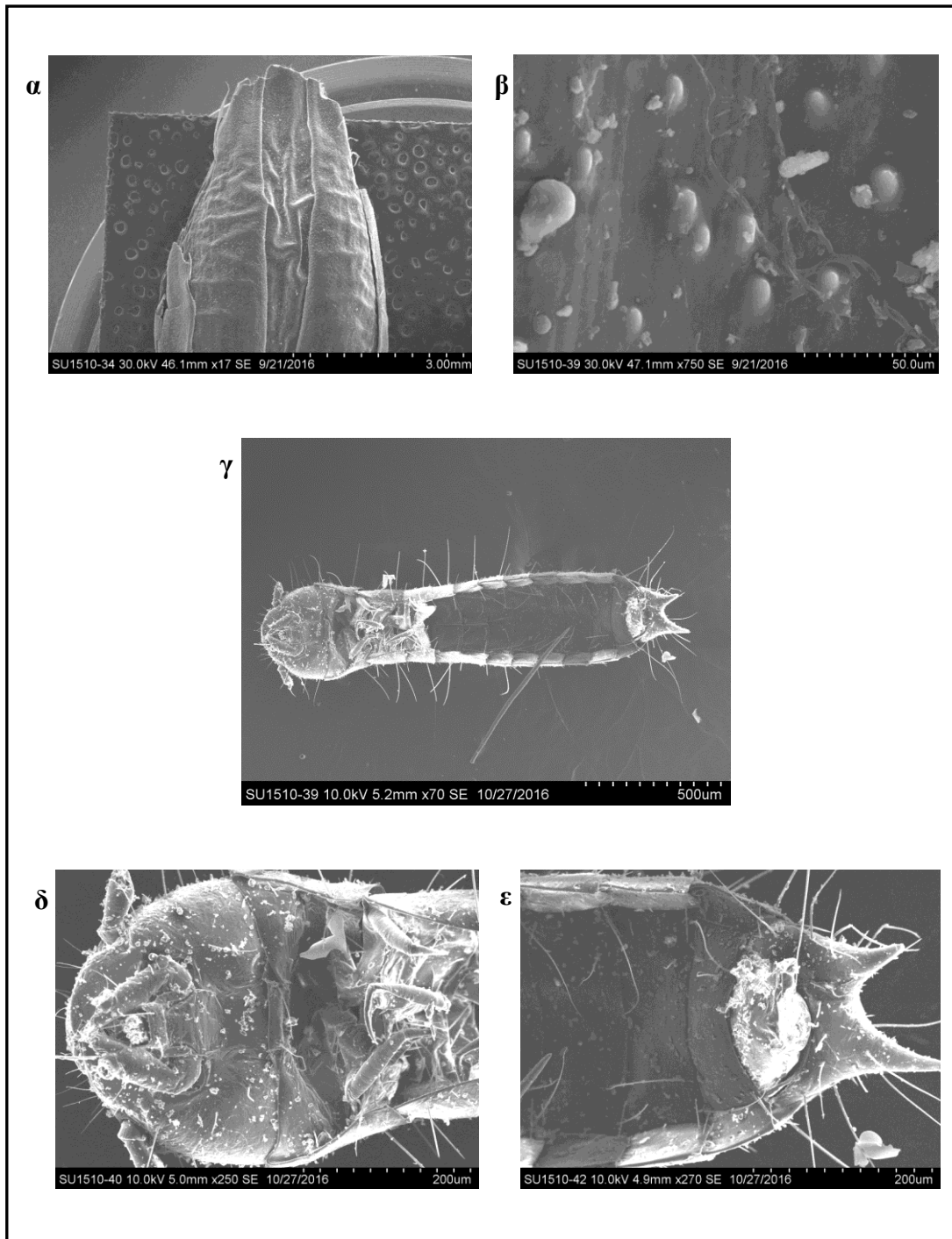
Εικ. 31. Σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3h (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο σιτάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3h (γ - ε).



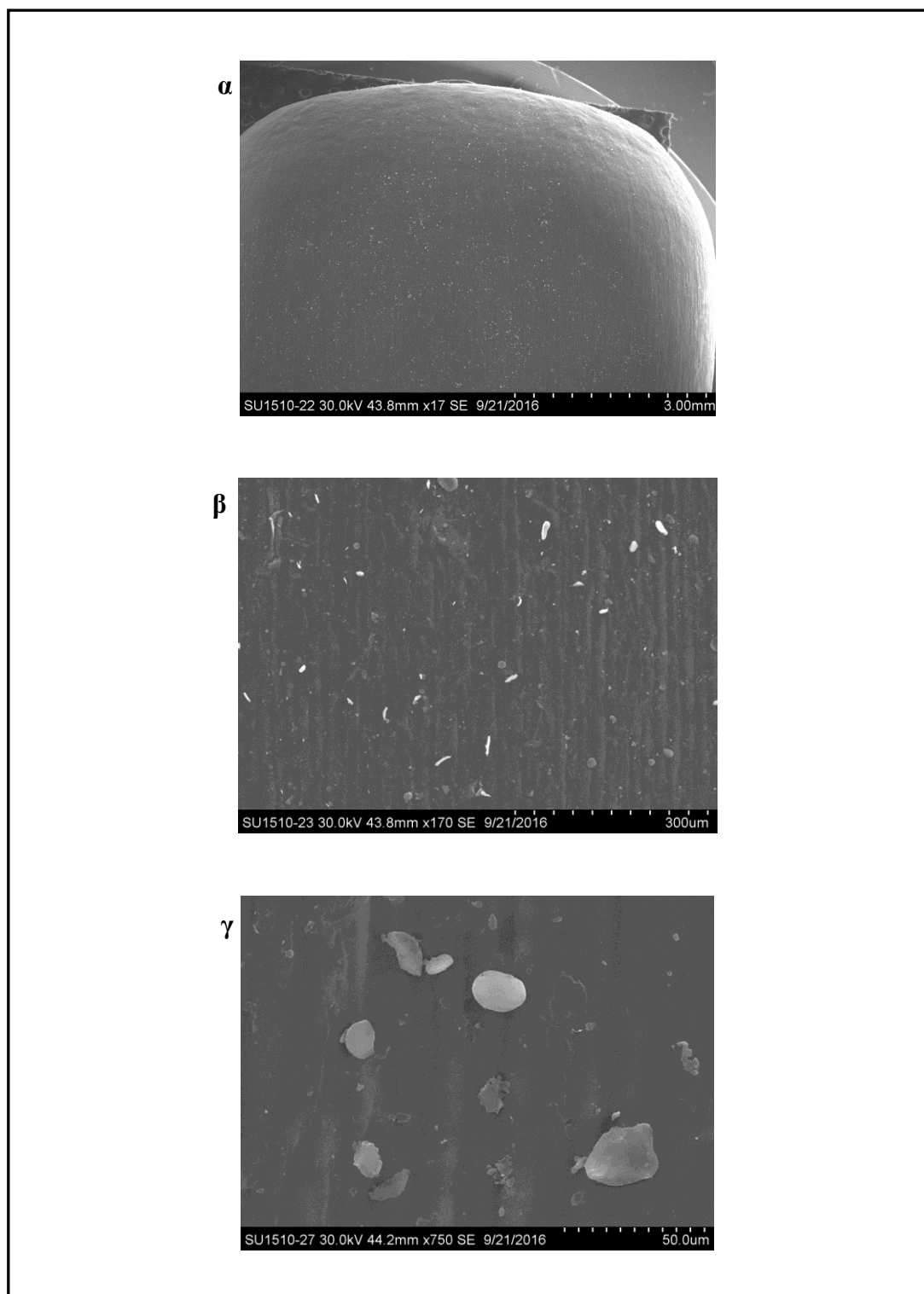
Εικ. 32. Κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3a (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3a (γ - ε).



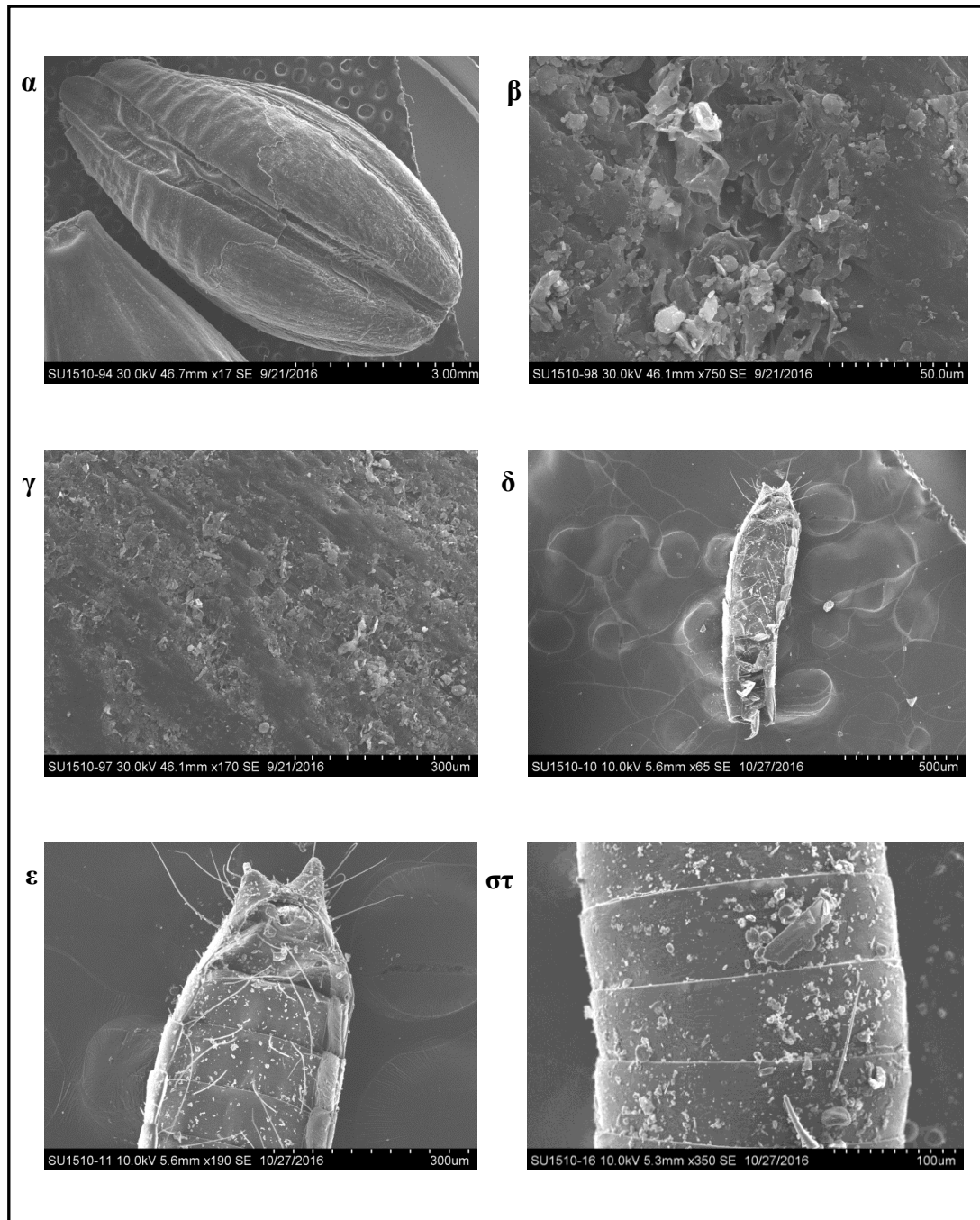
Εικ. 33. Αραβόσιτος στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3a (α, β). Προνύμφη *T. confusum* στον αραβόσιτο στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3a (γ, δ).



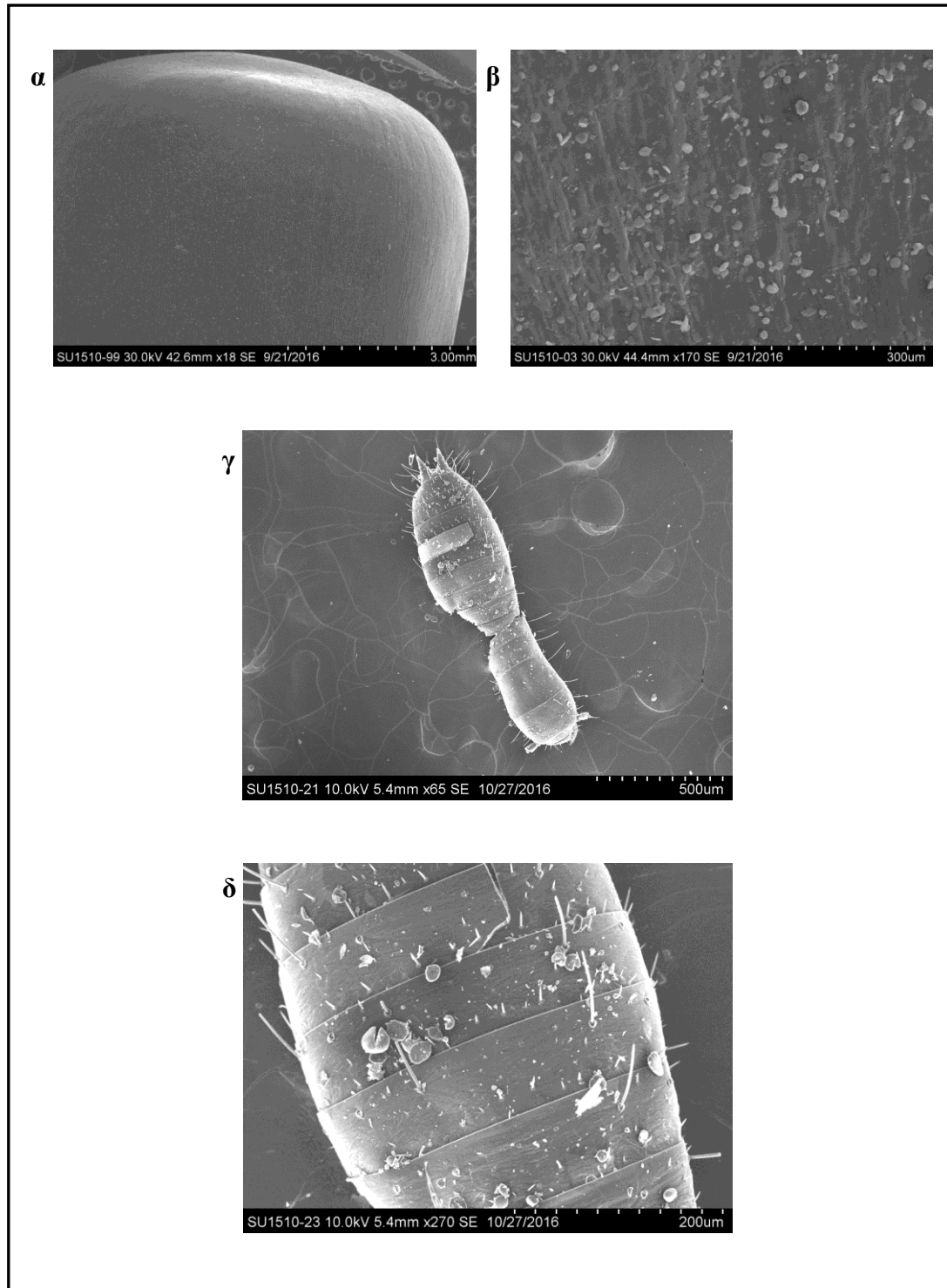
Εικ. 34. Κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3g (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3g (γ - ε).



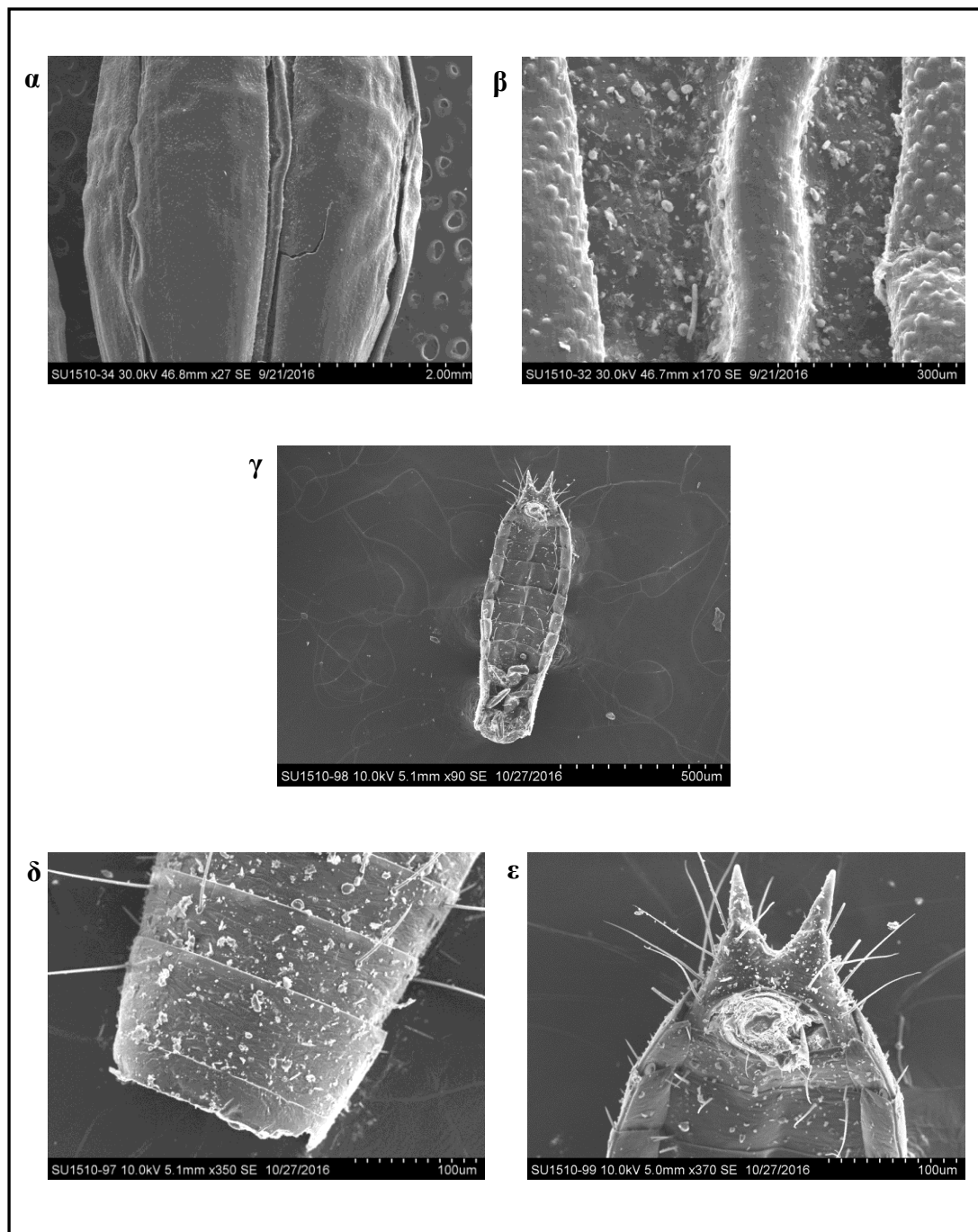
Εικ. 35. Αραβόσιτος στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3g (α - γ).



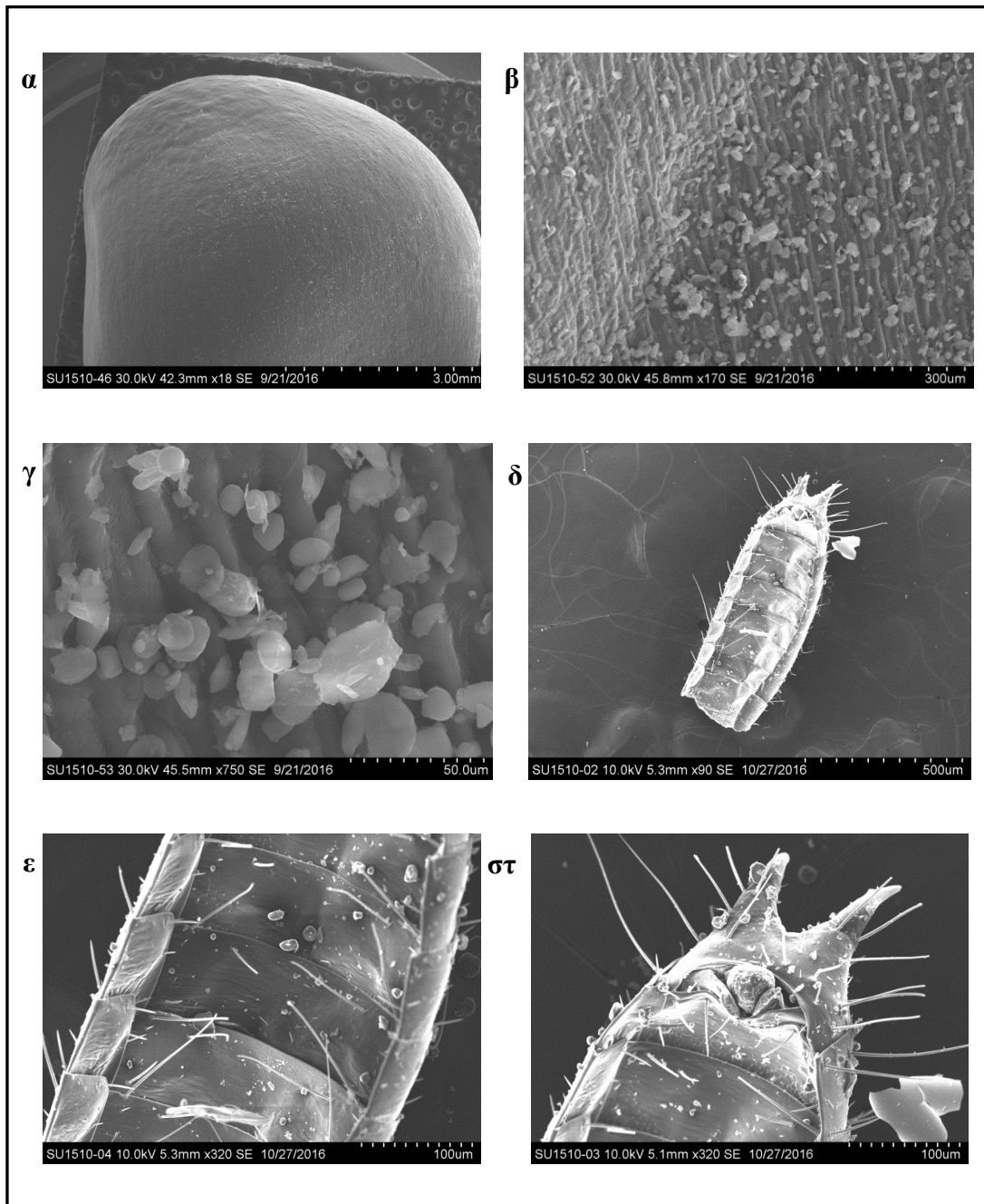
Εικ. 36. Κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 31 (α - γ).
Προνύμφη *T. confusum* στο κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 31 (δ - στ).



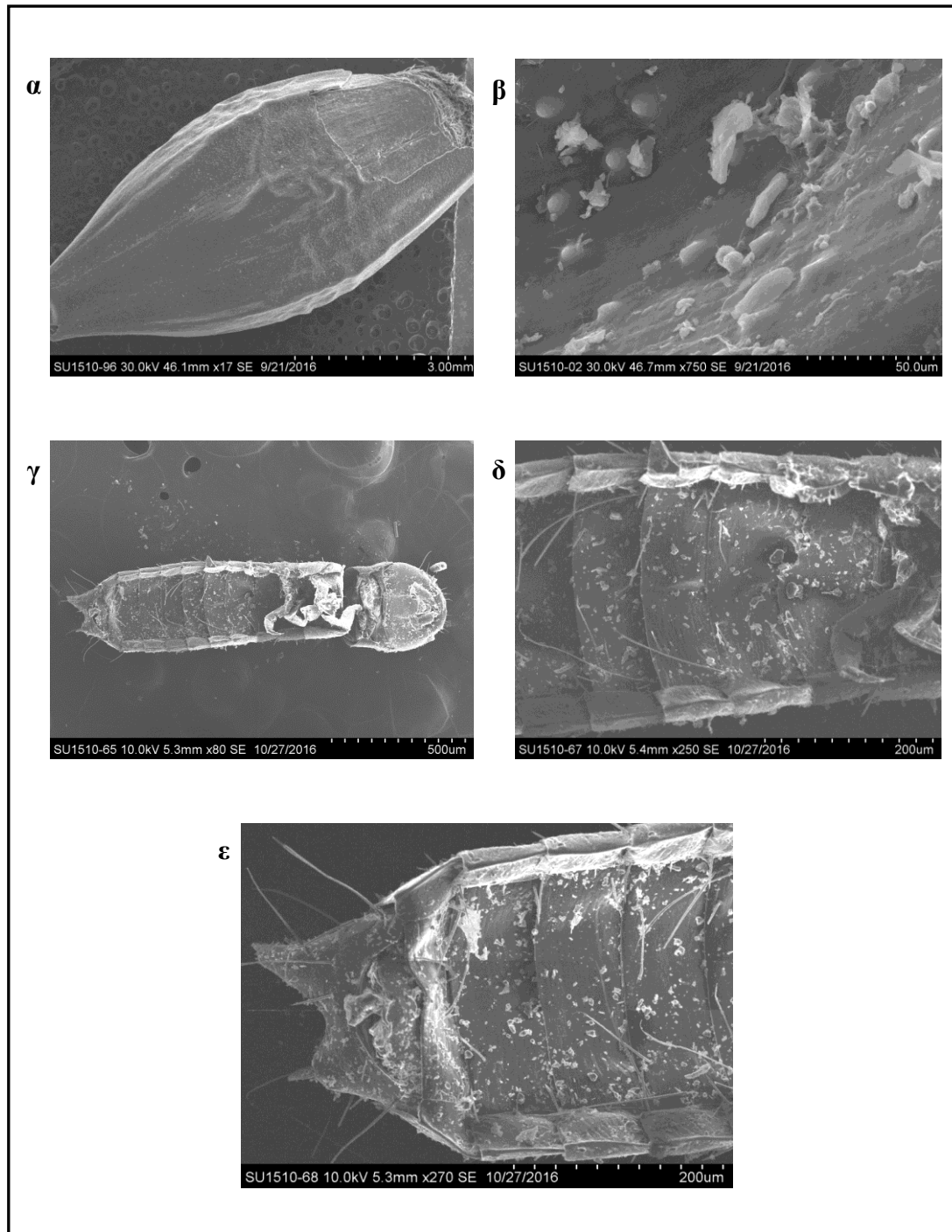
Εικ. 37. Αραβόσιτος στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 31 (α, β). Προνύμφη *T. confusum* στον αραβόσιτο στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 31 (γ, δ).



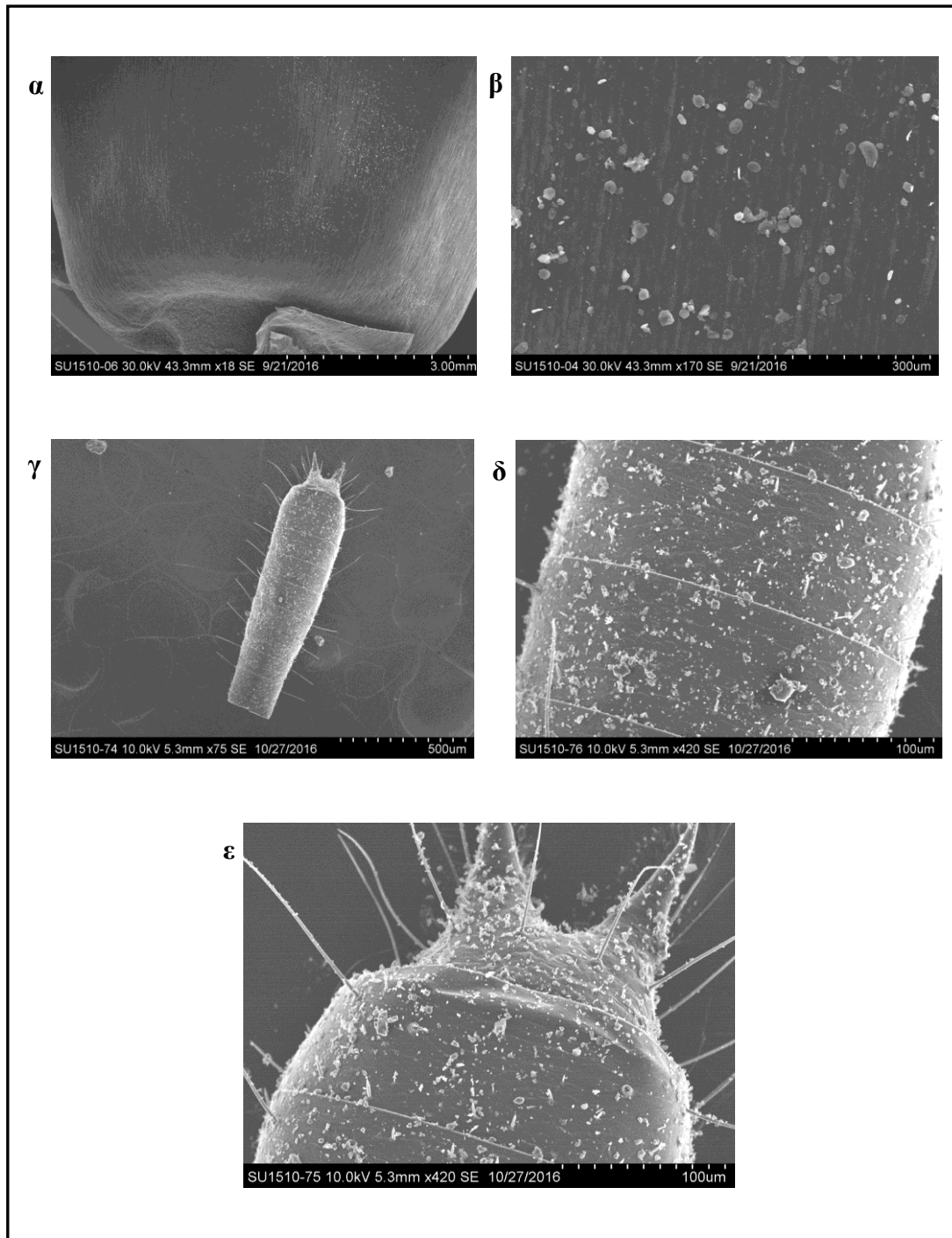
Εικ. 38. Κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παράγωγο του πυρρολίου 3m (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3m (γ – ε).



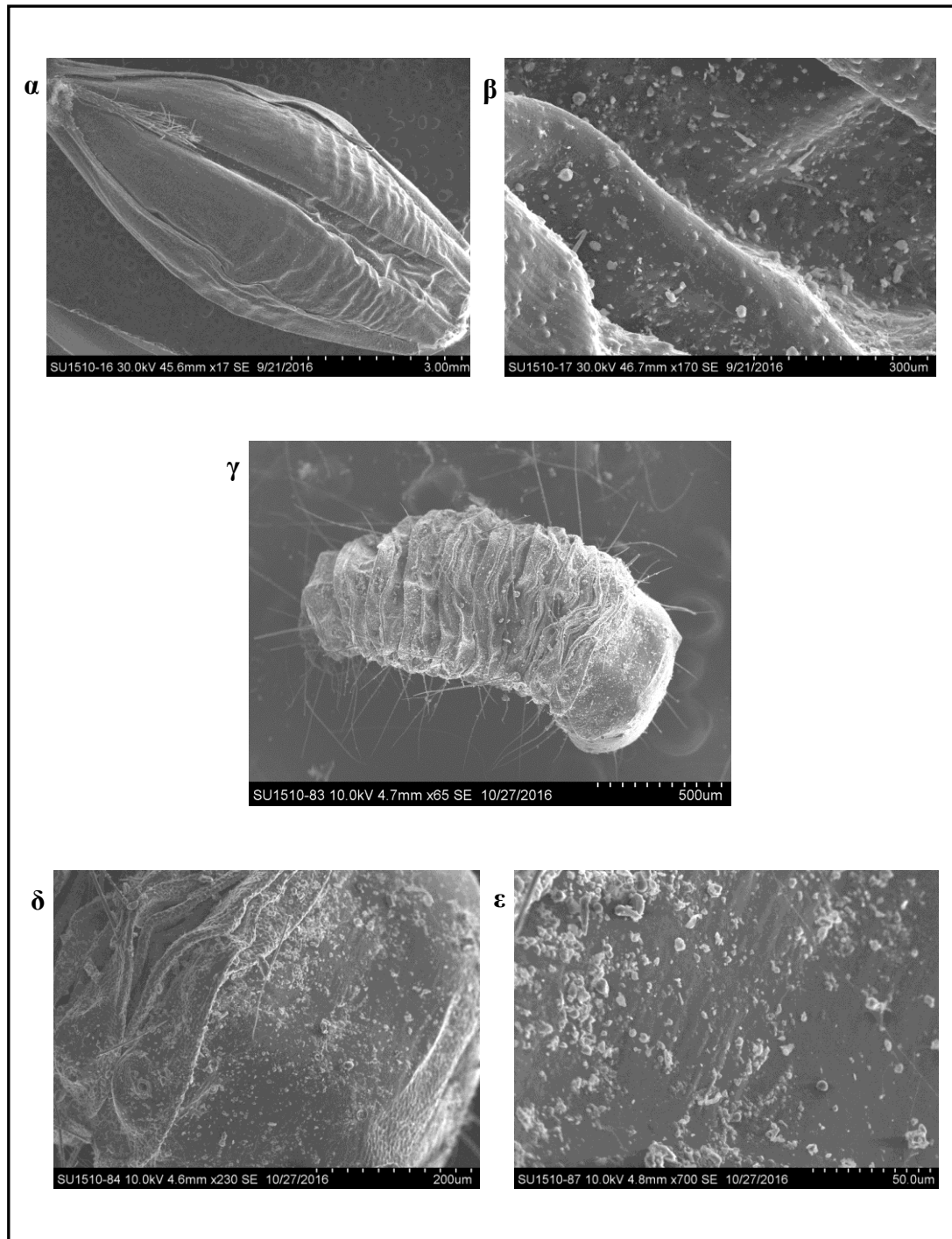
Εικ. 39. Αραβόσιτος στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3m (α – γ). Προνύμφη *T. confusum* στον αραβόσιτο στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3m (δ – στ).



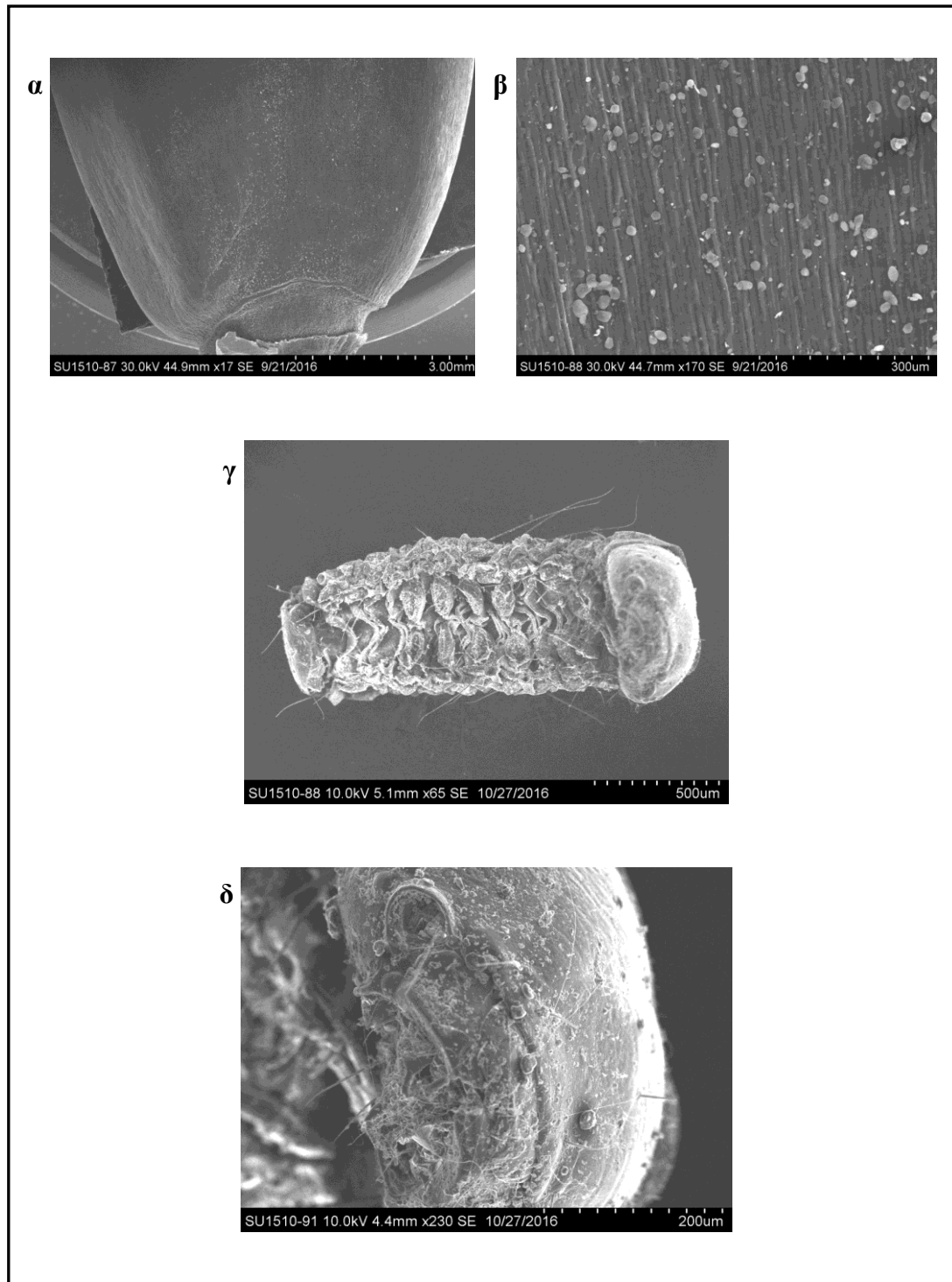
Εικ. 40. Κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3h (α, β).
Προνύμφη *T. confusum* στο κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3h (γ, δ).



Εικ. 41. Αραβόσιτος στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3h (α, β). Προνύμφη *T. confusum* στον αραβόσιτο στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3h (γ - ε).



Εικ. 42. Κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3h (α, β).
Προνύμφη *E. kuehniella* στο κριθάρι στο οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του
πυρρολίου 3h (γ - ε).



Εικ. 43. Αραβόσιτος στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3h (α, β). Προνύμφη *E. kuehniella* στον αραβόσιτο στον οποίο έχει εφαρμοστεί το παραγώγου του πυρρολίου 3h (γ, δ).

Πίνακας 2. Μέση θνησιμότητα ($\% \pm \text{T}\Sigma$) των ακμαίων και προνυμφών *T. confusum*, των προνυμφών *E. kuehniella* και των ακμαίων *R. dominica* και *S. oryzae* που εκτέθηκαν επί 21 ημέρες σε σιτάρι στο οποίο είχαν εφαρμοστεί παραγώγων του πυρρολίου 2a-syn, 2a-anti, 2f-syn, 2f-anti, 3k, 3i, 3a, 3h, 3l, 3m, 3g, 3e και 0665, στους 25 °C και 55% ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 8$, 80 *R. dominica* και *S. oryzae*, $df = 10$, 98 ακμαία *T. confusum*, $df = 12$, 116 προνύμφες *T. confusum*, $df = 12$, 116 προνύμφες *E. kuehniella*, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $P = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

Είδος εντόμου	<i>T. confusum</i> (προνύμφες)	<i>E. kuehniella</i> (προνύμφες)	<i>T. confusum</i> (ακμαία)	<i>R. dominica</i> (ακμαία)	<i>S. oryzae</i> (ακμαία)
Παράγωγο του πυρρολίου					
2a-syn	38,9 ± 5,6 gh	57,8 ± 4,0 c	16,7 ± 1,7 c	46,7 ± 1,7 ab	36,7 ± 2,8 a
2a-anti	42,2 ± 5,2 fgh	28,9 ± 2,6 de	15,6 ± 1,8 c	33,3 ± 5,5 bc	21,1 ± 3,5 bc
2f-syn	31,1 ± 2,0 h	32,2 ± 3,2 d	13,3 ± 1,7 c	50,0 ± 2,4 a	32,2 ± 3,2 ab
2f-anti	35,6 ± 6,3 gh	43,3 ± 3,3 cd	16,7 ± 1,7 c	41,1 ± 3,1 ab	27,8 ± 3,2 ab
3k	86,7 ± 1,7 abc	76,7 ± 3,3 b	50,0 ± 2,9 a	8,9 ± 3,1 d	10,0 ± 2,9 c
3i	93,3 ± 3,3 ab	93,3 ± 1,7 a	26,7 ± 1,7 b	13,3 ± 3,3 d	10,0 ± 2,9 c
3a	100,0 ± 0,0 a	36,7 ± 6,0 d	-	-	-
3h	71,1 ± 4,8 cde	96,7 ± 1,7 a	13,3 ± 1,7 c	-	-
3l	76,7 ± 1,7 bcd	30,0 ± 0,0 de	16,7 ± 1,7 c	-	-
3m	90,0 ± 5,0 abc	13,3 ± 4,4 f	-	-	-
3g	80,0 ± 2,9 abcd	16,7 ± 1,7 ef	13,3 ± 1,7 c	18,9 ± 2,6 cd	10,0 ± 0,0 c
3e	62,2 ± 2,8 def	33,3 ± 2,4 d	10,0 ± 2,9 c	17,8 ± 3,6 d	21,1 ± 2,0 bc
665	55,6 ± 6,9 efg	35,6 ± 2,4 d	10,0 ± 2,9 c	16,7 ± 2,9 d	13,3 ± 1,7 c
<i>F</i>	31,9	73,8	30,1	22,2	14,4
<i>P</i>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Πίνακας 3. Παράμετροι της MANOVA για τις κύριες επιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις για τα επίπεδα της θνησιμότητας των *T. confusum* (ακμαία ή προνύμφες) και *E. kuehniella* (προνύμφες) μεταξύ και εντός των διαστημάτων εκθέσεως (σύνολο df = 384 για όλα τα είδη).

		<i>T. confusum</i> (ακμαία)		<i>T. confusum</i> (προνύμφες)		<i>E. kuehniella</i> (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>
Θερμοκρασία	2	20,5	<0,01	14,7	<0,01	11,5	<0,01
ΣΥ	1	299,2	<0,01	55,8	<0,01	16,6	<0,01
Παράγωγο του πυρρολίου	1	75,4	<0,01	7,7	0,01	94,6	<0,01
Δόση	2	20,6	<0,01	76,4	<0,01	64,2	<0,01
Θερμοκρασία x ΣΥ	2	5,8	0,01	4,2	0,02	23,5	<0,01
Παράγωγο του πυρρολίου x δόση	2	0,7	0,48	2,5	0,09	17,7	<0,01
Θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου	2	8,9	0,01	14,7	<0,01	3,6	0,03
ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	1	16,6	<0,01	0,9	0,36	3,9	0,05
Θερμοκρασία x δόση	4	0,4	0,84	0,7	0,58	1,2	0,31
ΣΥ x δόση	2	3,9	0,02	1,2	0,30	0,1	0,91
Θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	2	0,6	0,55	20,5	<0,01	10,3	<0,01
Θερμοκρασία x ΣΥ x δόση	4	0,3	0,87	1,4	0,24	3,3	0,01
Θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	4	0,2	0,93	0,7	0,57	1,3	0,27
Συ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	2	0,1	0,87	0,2	0,79	2,2	0,12
Θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	4	0,3	0,86	2,1	0,09	0,8	0,52
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 x θερμοκρασία	4	12,7	<0,01	2,9	0,02	3,0	0,02
Έκθεση x ΣΥ	2	115,2	<0,01	48,4	<0,01	14,4	<0,01
Έκθεση x δόση	4	4,6	0,01	4,4	0,01	6,2	<0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου	2	53,3	<0,01	1,9	0,16	13,7	<0,01
Έκθεση x ΣΥ x δόση	4	1,0	0,43	1,2	0,33	0,6	0,66
Έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ	4	3,8	0,01	1,4	0,25	7,3	<0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	4	0,5	0,75	0,4	0,78	1,4	0,24
Έκθεση x θερμοκρασία x δόση	8	0,6	0,75	1,7	0,09	0,7	0,68
Έκθεση x θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου	4	9,5	<0,01	9,3	<0,01	4,7	0,01
Έκθεση x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	2	8,9	0,01	1,0	0,37	1,7	0,18
Έκθεση x θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	8	0,8	0,60	1,3	0,23	2,3	0,02
Έκθεση x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	4	0,7	0,56	1,1	0,34	0,5	0,72
Έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ x δόση	8	1,2	0,32	0,7	0,70	1,5	0,15
Έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	4	2,2	0,06	22,0	<0,01	7,6	<0,01
Έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	8	1,6	0,12	0,9	0,49	1,1	0,35

Πίνακας 4. Μέση θνησιμότητα (% \pm SE) των ακμαίων ατόμων *T. confusum* εκτεθέντων επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3i σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 3, 35). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές. Όπου υπάρχουν παύλες, δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση.

ΣΥ	7 ημέρες									
	55 %			75 %						
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση (ppm)				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1	3,3 \pm 1,7	2,2 \pm 1,5	4,4 \pm 1,8	0,5	0,64	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	-	-
1	2,2 \pm 1,5	5,6 \pm 2,4	6,7 \pm 2,4	1,2	0,32	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	1,1 \pm 1,1	1,0	0,38
10	5,6 \pm 1,8	7,8 \pm 2,2	5,6 \pm 2,4	0,4	0,70	2,2 \pm 1,5	2,2 \pm 1,5	1,1 \pm 1,1	0,2	0,80
<i>F</i>	1,1	1,8	0,3			2,3	2,3	0,5		
<i>P</i>	0,36	0,19	0,78			0,12	0,12	0,61		
	14 ημέρες									
0,1	7,8 \pm 3,6	11,1 \pm 2,6	12,2 \pm 4,0	0,4	0,65	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	-	-
1	12,2 \pm 4,6	15,6 \pm 5,0	17,8 \pm 6,0	0,3	0,75	1,1 \pm 1,1	0,0 \pm 0,0	1,1 \pm 1,1	0,5	0,61
10	15,6 \pm 4,7	18,9 \pm 4,8	24,4 \pm 8,0	0,5	0,58	3,3 \pm 1,7	3,3 \pm 2,4	2,2 \pm 1,5	0,1	0,89
<i>F</i>	0,8	0,8	1,0			2,2	2,0	1,1		
<i>P</i>	0,46	0,45	0,39			0,14	0,16	0,35		
	21 ημέρες									
0,1	12,2 \pm 4,9	15,6 \pm 5,3	17,8 \pm 6,0	0,3	0,77	0,0 \pm 0,0 ab	1,1 \pm 1,1	0,0 \pm 0,0	1,0	0,38
1	20,0 \pm 6,2	23,3 \pm 5,8	28,9 \pm 7,7	0,5	0,64	2,2 \pm 1,5 ab	1,1 \pm 1,1	3,3 \pm 2,4	0,4	0,67
10	24,4 \pm 5,0	28,9 \pm 5,6	32,2 \pm 8,0	0,4	0,69	7,8 \pm 2,8 a	4,4 \pm 2,4	6,7 \pm 2,4	0,5	0,64
<i>F</i>	1,3	1,4	1,1			4,9	1,3	3,0		
<i>P</i>	0,29	0,26	0,35			0,02	0,28	0,07		

Πίνακας 5. Παράμετροι της ANOVA για τις κύριες επιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις για την παραγωγή απογόνων των ακμαίων *T. confusum* (σύνολο df = 431).

Πηγή	df	F	P
Θερμοκρασία	2	29,5	<0,01
Δόση	3	25,2	<0,01
Παράγωγο του πυρρολίου	1	3,3	0,07
ΣΥ	1	35,5	<0,01
Θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου	2	1,7	0,18
Παράγωγο του πυρρολίου x ΣΥ	1	3,3	0,07
Παράγωγο του πυρρολίου x δόση	3	1,5	0,22
Δόση x ΣΥ	3	8,6	<0,01
Δόση x θερμοκρασία	6	4,2	0,01
ΣΥ x θερμοκρασία	2	14,4	<0,01
ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	3	1,1	0,34
Θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	2	2,0	0,14
Θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	6	0,6	0,77
Δόση x ΣΥ x θερμοκρασία	6	3,3	0,01
Θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	6	0,8	0,56

Πίνακας 6. Παραγωγή απογόνων *T. confusum* (άτομα/φιαλίδιο \pm ΤΣ) σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγωγού του πυρρολίου 3i σε τέσσερις δόσεις (περιλαμβάνεται η δόση 0 ppm) υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ 60 ημέρες μετά την απομάκρυνση των γονεϊκών ακμαίων. Μέσα σε κάθε στήλη και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 3, 35$). Μέσα σε κάθε γραμμή και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 2, 26$, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $P = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	55 %			75 %			<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
	Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C	20 °C	25 °C				
Δόση (ppm)				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0	0,3 \pm 0,2	0,3 \pm 0,2	0,7 \pm 0,2	0,8	0,46	0,4 \pm 0,2 B	1,2 \pm 0,2 ABa	3,2 \pm 1,0 A	5,9	0,01
0,1	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	0,5	0,62	0,1 \pm 0,1 B	0,8 \pm 0,3 ABab	2,1 \pm 0,8 A	4,4	0,02
1	0,0 \pm 0,0	0,1 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	1,1	0,35	0,0 \pm 0,0	0,4 \pm 0,2 ab	1,8 \pm 0,9	2,7	0,09
10	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,1 \pm 0,1	1,0	0,38	0,0 \pm 0,0	0,2 \pm 0,1 b	0,4 \pm 0,2	1,8	0,18
<i>F</i>	1,4	1,3	1,6			2,5	3,7	2,1		
<i>P</i>	0,25	0,28	0,20			0,08	0,02	0,12		

Πίνακας 7. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των ακμαίων ατόμων *T. confusum* εκτεθέντων επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σίτο με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3k σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 3, 35). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες										
	55 %			75 %							
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C			
Δόση (ppm)				F	P				F	P	
0,1	1,1 \pm 1,1 Bb	7,8 \pm 1,5 Ab	7,8 \pm 1,5 Ab	8,0	0,01	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	2,2 \pm 1,5	2,3	0,12	
1	6,7 \pm 2,4 ab	10,0 \pm 2,9 ab	12,2 \pm 1,5 ab	1,5	0,25	0,0 \pm 0,0 B	0,0 \pm 0,0 B	3,3 \pm 1,7 A	4,0	0,03	
10	8,9 \pm 2,6 a	18,9 \pm 3,9 a	14,4 \pm 2,4 a	2,7	0,09	1,1 \pm 1,1 B	1,1 \pm 1,1 B	6,7 \pm 2,4 A	3,8	0,04	
F	3,5	4,0	3,4				1,0	1,0	1,5		
P	0,04	0,03	0,05				0,38	0,38	0,24		
14 ημέρες											
0,1	13,3 \pm 4,1	17,8 \pm 3,6 b	18,9 \pm 3,1 b	0,7	0,53	1,1 \pm 1,1	2,2 \pm 1,5	4,4 \pm 2,4	0,9	0,41	
1	18,9 \pm 2,6 B	23,3 \pm 4,4 Bab	37,8 \pm 3,6 Aa	7,4	0,01	3,3 \pm 1,7	3,3 \pm 2,4	5,6 \pm 1,8	0,4	0,65	
10	18,9 \pm 3,1 B	35,6 \pm 4,1 Aa	35,6 \pm 5,3 Aa	5,1	0,01	5,6 \pm 2,4	5,6 \pm 2,4	12,2 \pm 3,2	2,0	0,16	
F	0,9	5,0	6,3				1,5	0,6	2,7		
P	0,41	0,02	0,01				0,24	0,54	0,09		
21 ημέρες											
0,1	21,1 \pm 4,2 Bb	33,3 \pm 6,7 B	54,5 \pm 3,8 A	11,1	0,01	2,2 \pm 1,5 B	8,9 \pm 2,6 AB	12,2 \pm 3,6 Ab	3,5	0,05	
1	31,1 \pm 4,8 Bab	42,2 \pm 7,0 B	63,3 \pm 5,3 A	8,0	0,01	4,4 \pm 2,4 B	11,1 \pm 3,1 AB	16,7 \pm 2,4 Aab	5,4	0,01	
10	35,6 \pm 3,0 Ba	51,1 \pm 5,9 B	67,8 \pm 4,6 A	12,0	0,01	6,7 \pm 2,9 B	16,7 \pm 6,0 AB	25,6 \pm 2,9 Aa	5,0	0,01	
F	3,3	1,8	2,2				0,9	0,9	5,0		
P	0,05	0,18	0,14				0,42	0,41	0,01		

Πίνακας 8. Παραγωγή απογόνων *T. confusum* (άτομα/φιαλίδιο \pm ΤΣ) σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγωγού του πυρρολίου 3k σε τέσσερις δόσεις (περιλαμβάνεται η δόση 0 ppm) υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ 60 ημέρες μετά την απομάκρυνση των γονεϊκών ακμαίων. Μέσα σε κάθε στήλη και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 3, 35). Μέσα σε κάθε γραμμή και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $P = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	55 %			75 %			<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
	Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C	20 °C	25 °C				
Δόση (ppm)				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0	0,3 \pm 0,2	0,3 \pm 0,2	0,7 \pm 0,2	0,8	0,50	0,4 \pm 0,2 Ba	1,2 \pm 0,2 Ba	3,2 \pm 1,0 Aa	5,9	0,01
0,1	0,2 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	1,3	0,28	0,1 \pm 0,1 b	0,3 \pm 0,2 b	0,6 \pm 0,2 b	1,5	0,24
1	0,0 \pm 0,0 B	0,0 \pm 0,0 B	0,3 \pm 0,2 A	4,0	0,03	0,0 \pm 0,0 b	0,2 \pm 0,1 b	0,2 \pm 0,1 b	1,1	0,34
10	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,1 \pm 0,1	1,0	0,38	0,0 \pm 0,0 b	0,0 \pm 0,0 b	0,1 \pm 0,1 b	1,0	0,38
<i>F</i>	2,3	2,5	1,7			2,5	20,7	11,9		
<i>P</i>	0,10	0,08	0,19			0,08	<0,01	<0,01		

Πίνακας 9. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3i σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 3, 35). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες										
	55 %			75 %							
	Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση (ppm)					<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1		7,8 \pm 2,2 b	16,7 \pm 6,2	6,7 \pm 3,3 b	1,6	0,21	8,9 \pm 3,5 b	3,3 \pm 2,4	4,4 \pm 2,4 b	1,1	0,35
1		16,7 \pm 2,9 ABab	26,7 \pm 7,3 A	6,7 \pm 2,9 Bb	4,3	0,03	11,1 \pm 4,2 b	6,7 \pm 2,4	7,8 \pm 3,6 ab	0,4	0,65
10		21,1 \pm 3,9 a	36,7 \pm 10,0	23,3 \pm 6,0 a	1,4	0,27	36,7 \pm 6,5 Aa	8,9 \pm 3,1 B	14,4 \pm 1,8 Ba	11,9	0,01
<i>F</i>		4,9	1,6	5,0			9,9	1,1	3,5		
<i>P</i>		0,02	0,23	0,02			0,01	0,34	0,05		
		14 ημέρες									
0,1		24,4 \pm 5,0 ABb	35,6 \pm 5,3 A	13,3 \pm 5,0 Bb	4,7	0,02	27,8 \pm 7,4 A	7,8 \pm 2,2 B	13,3 \pm 4,1 ABb	4,2	0,03
1		38,9 \pm 5,6 Aab	44,4 \pm 5,8 A	16,7 \pm 2,9 Bb	8,8	0,01	28,9 \pm 7,0 A	12,2 \pm 3,2 A	14,4 \pm 2,9 Ab	3,6	0,04
10		48,9 \pm 3,5 a	60,0 \pm 10,1	36,7 \pm 5,5 a	2,8	0,08	48,9 \pm 7,9 A	21,1 \pm 7,5 B	31,1 \pm 3,5 ABa	4,5	0,02
<i>F</i>		6,5	2,8	7,5			2,6	1,9	7,9		
<i>P</i>		0,01	0,08	0,01			0,10	0,17	0,01		
		21 ημέρες									
0,1		42,2 \pm 4,6 Ab	57,8 \pm 4,3 Ab	15,6 \pm 5,0 Bb	20,8	<0,01	32,2 \pm 8,6 A	10,0 \pm 2,4 B	14,4 \pm 3,8 ABb	4,4	0,02
1		50,0 \pm 5,3 Aab	58,9 \pm 4,2 Ab	25,6 \pm 4,1 Bab	14,3	<0,01	36,7 \pm 7,1 A	15,6 \pm 4,4 B	20,0 \pm 4,4 ABb	4,2	0,03
10		63,3 \pm 4,4 Ba	82,2 \pm 5,5 Aa	41,1 \pm 5,6 Ca	15,7	<0,01	55,6 \pm 8,4 A	27,8 \pm 8,1 B	38,9 \pm 3,1 ABa	4,0	0,03
<i>F</i>		5,0	8,6	6,7			2,4	2,7	11,4		
<i>P</i>		0,02	0,01	0,01			0,11	0,09	0,01		

Πίνακας 10. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3k σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 3, 35). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες									
	55 %			75 %						
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση (ppm)				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1	6,7 \pm 2,4 b	11,1 \pm 4,8 b	6,7 \pm 1,7	0,6	0,55	5,6 \pm 2,4	7,8 \pm 2,2 b	5,6 \pm 1,8 b	0,4	0,70
1	12,2 \pm 4,0 b	22,2 \pm 5,5 b	13,3 \pm 4,7	1,3	0,29	10,0 \pm 2,9 B	26,7 \pm 3,3 Aa	12,2 \pm 2,8 Bb	9,0	0,01
10	36,7 \pm 7,8 Aa	43,3 \pm 4,7 Aa	16,7 \pm 2,9 B	6,3	0,01	17,8 \pm 6,6	34,4 \pm 7,8 a	31,1 \pm 8,1 a	1,4	0,27
<i>F</i>	9,2	10,6	2,3			2,0	7,3	6,9		
<i>P</i>	0,01	0,01	0,12			0,16	0,01	0,01		
	14 ημέρες									
0,1	12,2 \pm 3,2 Bb	18,9 \pm 6,1 ABc	35,6 \pm 5,6 A	5,5	0,01	11,1 \pm 3,5 Bb	24,4 \pm 3,4 Ab	12,2 \pm 3,2 Bb	4,8	0,02
1	31,1 \pm 7,0 b	45,6 \pm 6,9 b	38,9 \pm 6,3	1,2	0,33	18,9 \pm 5,1 Bab	43,3 \pm 5,3 Aab	15,6 \pm 3,4 Bb	10,5	0,01
10	54,4 \pm 6,7 ABa	67,8 \pm 3,2 Aa	46,7 \pm 4,4 B	4,6	0,02	31,1 \pm 6,8 a	52,2 \pm 9,1 a	40,0 \pm 7,6 a	1,8	0,19
<i>F</i>	12,9	18,8	1,1			3,6	5,0	8,6		
<i>P</i>	0,01	<0,01	0,36			0,04	0,02	0,01		
	21 ημέρες									
0,1	17,8 \pm 4,0 Bc	33,3 \pm 7,5 ABb	52,2 \pm 4,6 Ab	9,6	0,01	16,7 \pm 4,4 B	41,1 \pm 3,5 Ab	13,3 \pm 3,3 Bb	16,1	<0,01
1	45,6 \pm 6,9 b	52,2 \pm 6,4 b	60,0 \pm 2,9 ab	1,6	0,22	30,0 \pm 6,2 B	54,4 \pm 3,8 Aab	17,8 \pm 3,6 Bb	15,8	<0,01
10	67,8 \pm 4,6 a	77,8 \pm 2,8 a	70,0 \pm 5,2 a	1,4	0,25	34,4 \pm 6,7 B	65,6 \pm 7,3 Aa	43,3 \pm 8,2 ABa	4,7	0,02
<i>F</i>	22,1	14,3	4,1			2,5	5,6	8,6		
<i>P</i>	<0,01	<0,01	0,03			0,10	0,01	0,01		

Πίνακας 11. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *E. kuehniella* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3i σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 3, 35$). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 2, 26$, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες									
	55 %			75 %						
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση (ppm)				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1	2,2 \pm 1,5	2,2 \pm 1,5 b	1,1 \pm 1,1	0,2	0,80	1,1 \pm 1,1	2,2 \pm 1,5	2,2 \pm 1,5	0,2	0,80
1	4,4 \pm 2,4	10,0 \pm 4,1 ab	5,6 \pm 2,4	0,9	0,41	5,6 \pm 3,0	1,1 \pm 1,1	4,4 \pm 2,4	1,0	0,38
10	5,5 \pm 2,4	20,0 \pm 6,5 a	8,9 \pm 3,5	2,9	0,08	5,6 \pm 2,4	1,1 \pm 1,1	5,6 \pm 2,4	1,5	0,24
<i>F</i>	0,6	3,9	2,3			1,3	0,3	0,6		
<i>P</i>	0,55	0,03	0,12			0,30	0,77	0,55		
	14 ημέρες									
0,1	7,8 \pm 2,8	11,1 \pm 5,6 b	2,2 \pm 1,5	1,5	0,25	2,2 \pm 1,5	3,3 \pm 1,7	2,2 \pm 1,5	0,2	0,84
1	11,1 \pm 4,5 AB	23,3 \pm 5,2 Aab	6,7 \pm 2,4 B	4,1	0,03	6,7 \pm 3,3	3,3 \pm 1,7	4,4 \pm 2,4	0,4	0,65
10	13,3 \pm 3,7 B	41,1 \pm 11,7 Aa	8,9 \pm 3,5 B	5,6	0,01	11,1 \pm 3,1	5,6 \pm 1,8	6,7 \pm 3,3	1,1	0,35
<i>F</i>	0,6	3,5	1,7			2,6	0,6	0,8		
<i>P</i>	0,58	0,05	0,20			0,10	0,57	0,47		
	21 ημέρες									
0,1	12,2 \pm 4,3 AB	24,4 \pm 8,1 A	2,2 \pm 1,4 B	4,2	0,03	4,4 \pm 2,4	4,4 \pm 2,4	6,7 \pm 2,4	0,3	0,75
1	15,6 \pm 4,7 AB	31,1 \pm 7,3 A	8,9 \pm 3,1 B	4,5	0,02	7,8 \pm 3,2	5,6 \pm 2,4	10,0 \pm 3,7	0,5	0,62
10	25,6 \pm 4,1 AB	44,4 \pm 12,7 A	10,0 \pm 4,1 B	4,6	0,02	13,3 \pm 4,1	11,1 \pm 2,6	12,2 \pm 4,0	0,1	0,91
<i>F</i>	2,5	1,1	1,9			1,8	2,1	0,7		
<i>P</i>	0,11	0,35	0,18			0,18	0,15	0,53		

Πίνακας 12. Μέση θνησιμότητα (% ± ΤΣ) των προνυμφών *E. kuehniella* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3k σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 3, 35). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες										
	55 %			75 %							
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C			
Δόση (ppm)				F	P				F	P	
0,1	1,1 ± 1,1	12,2 ± 5,5 b	7,8 ± 2,2 b	2,6	0,95	3,3 ± 1,7 b	4,4 ± 1,8 b	5,6 ± 1,8 b	0,4	0,67	
1	5,5 ± 1,8	12,2 ± 5,5 b	11,1 ± 3,1 b	0,9	0,42	6,7 ± 2,9 b	13,3 ± 2,4 ab	6,7 ± 2,4 b	2,3	0,12	
10	4,4 ± 1,8 C	42,2 ± 4,3 Aa	26,7 ± 2,9 Ba	35,6	<0,01	30,0 ± 4,4 a	26,7 ± 6,0 a	27,8 ± 6,6 a	0,1	0,92	
F	2,2	11,4	13,3				20,7	8,4	9,0		
P	0,13	0,01	0,01				<0,01	0,01	0,01		
14 ημέρες											
0,1	4,4 ± 2,4	18,9 ± 6,1 b	13,3 ± 2,9 b	3,1	0,06	12,2 ± 4,3 b	7,8 ± 2,2 b	5,6 ± 1,8 b	1,3	0,29	
1	11,1 ± 2,6 B	27,8 ± 7,6 Ab	26,7 ± 3,7 Ab	3,3	0,05	22,2 ± 5,0 b	18,9 ± 4,2 ab	10,0 ± 3,3 b	2,2	0,13	
10	12,2 ± 2,8 B	52,2 ± 4,6 Aa	50,0 ± 5,0 Aa	28,0	<0,01	45,6 ± 4,7 a	32,2 ± 6,6 a	42,2 ± 7,0 a	1,2	0,31	
F	2,6	7,7	21,9				13,3	6,7	18,9		
P	0,10	0,01	<0,01				0,01	0,01	<0,01		
21 ημέρες											
0,1	8,9 ± 4,5	30,0 ± 8,3b	20,0 ± 4,4 b	3,1	0,07	15,6 ± 5,2 b	12,2 ± 3,2 b	6,7 ± 1,7 b	1,5	0,25	
1	16,7 ± 3,3 B	40,0 ± 8,0 Aab	31,1 ± 4,2 ABb	4,5	0,02	33,3 ± 5,0 Aa	21,1 ± 3,5 ABb	15,6 ± 2,9 Bb	5,4	0,01	
10	20,0 ± 2,4 B	63,3 ± 4,4 Aa	60,0 ± 5,8 Aa	30,0	<0,01	50,0 ± 4,7 a	37,8 ± 6,2 a	43,3 ± 7,1 a	1,0	0,38	
F	2,6	5,7	18,1				11,8	8,3	17,9		
P	0,09	0,01	<0,01				0,01	0,01	<0,01		

Πίνακας 13. Παράμετροι της MANOVA για τις κύριες επιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις για τα επίπεδα της θνησιμότητας των *T. confusum* (ακμαία ή προνούμφες) και *E. kuehniella* (προνούμφες) μεταξύ και εντός των διαστημάτων εκθέσεως (σύνολο df = 96 για όλα τα είδη).

		<i>T. confusum</i> (ακμαία)		<i>T. confusum</i> (προνούμφες)		<i>E. kuehniella</i> (προνούμφες)	
Μεταξύ των διαστημάτων έκθεσης							
Πηγή	df	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Παράγωγο του πυρρολίου	1	3,8	0,05	0,2	0,61	2,4	0,12
Προϊόν	1	900,2	<0,01	522,8	<0,01	1071,7	<0,01
Δόση	2	15,2	<0,01	35,9	<0,01	62,9	<0,01
Παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν	1	5,1	0,03	0,1	0,75	3,2	0,08
Παράγωγο του πυρρολίου x δόση	2	0,6	0,54	0,2	0,82	0,2	0,82
Commodity x δόση	2	2,7	0,07	16,2	<0,01	16,7	<0,01
Παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν x δόση	2	0,1	0,98	1,6	0,20	0,3	0,71
Εντός των διαστημάτων έκθεσης							
Έκθεση x δόση	8	4,7	<0,01	3,5	0,01	3,8	0,01
Έκθεση x προϊόν	4	344,8	<0,01	183,5	<0,01	81,7	<0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου	4	4,5	0,01	3,0	0,02	15,6	<0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν	4	7,2	<0,01	2,9	0,02	13,2	<0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	8	1,3	0,22	3,5	0,01	2,1	0,04
Έκθεση x προϊόν x δόση	8	3,8	0,01	6,8	<0,01	12,5	<0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν x δόση	8	1,3	0,25	2,2	0,03	3,1	0,01

Πίνακας 14. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των ακμαίων ατόμων *T. confusum* εκτεθέντων επί 1, 2, 7, 14 και 21 ημέρες, σε αραβόσιτο ή κριθάρι με την εφαρμογή των παραγώγων του πυρρολίου 3i και 3k. Μέσα σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 5, 53). Μέσα σε κάθε γραμμή, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 4, 44, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές. Όπου υπάρχουν παύλες, δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση.

Προϊόν	Αραβόσιτος							
Έκθεση		1 ημέρα	2 ημέρες	7 ημέρες	14 ημέρες	21 ημέρες		
Παράγωγο του πυρρολίου	Δόση						F	P
3i	0,1 ppm	0,0 \pm 0,0 B	0,0 \pm 0,0 B	4,4 \pm 1,8 Bb	16,7 \pm 3,3 Ac	26,7 \pm 5,3 Ac	16,4	<0,01
	1 ppm	0,0 \pm 0,0 C	0,0 \pm 0,0 C	7,8 \pm 2,2 Cb	26,7 \pm 3,3 Babc	41,1 \pm 4,2 Abc	48,6	<0,01
	10 ppm	0,0 \pm 0,0 D	0,0 \pm 0,0 D	12,2 \pm 2,2 Cab	34,4 \pm 3,4 Bab	54,4 \pm 4,1 Aab	84,6	<0,01
3k	0,1 ppm	0,0 \pm 0,0 C	0,0 \pm 0,0 C	6,7 \pm 1,7 Cb	22,2 \pm 3,6 Bbc	42,2 \pm 5,7 Abc	33,6	<0,01
	1 ppm	0,0 \pm 0,0 C	0,0 \pm 0,0 C	12,2 \pm 2,2 Cab	30,0 \pm 4,1 Babc	53,3 \pm 5,0 Aab	55,5	<0,01
	10 ppm	0,0 \pm 0,0 D	0,0 \pm 0,0 D	20,0 \pm 3,7 Ca	43,3 \pm 5,8 Ba	72,2 \pm 5,7 Aa	59,7	<0,01
F		-	-	5,4	5,4	9,3		
P		-	-	0,01	0,01	<0,01		
	Κριθάρι							
3i	0,1 ppm	0,0 \pm 0,0 C	0,0 \pm 0,0 Cb	65,6 \pm 5,3 B	96,7 \pm 1,7 A	100,0 \pm 0,0 A	400,5	<0,01
	1 ppm	0,0 \pm 0,0 C	0,0 \pm 0,0 Cb	76,7 \pm 4,1 B	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	792,7	<0,01
	10 ppm	0,0 \pm 0,0 C	0,0 \pm 0,0 Cb	81,1 \pm 6,8 B	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	294,8	<0,01
3k	0,1 ppm	0,0 \pm 0,0 C	0,0 \pm 0,0 Cb	75,6 \pm 8,7 B	92,2 \pm 4,3 A	92,2 \pm 4,3 A	101,8	<0,01
	1 ppm	0,0 \pm 0,0 B	0,0 \pm 0,0 Bb	81,1 \pm 8,6 A	92,2 \pm 4,3 A	92,2 \pm 4,3 A	97,0	<0,01
	10 ppm	0,0 \pm 0,0 C	3,3 \pm 1,7 Ca	85,6 \pm 5,3 B	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	430,9	<0,01
F		-	4,0	1,1	1,9	2,2		
P		-	0,01	0,39	0,11	0,07		

Πίνακας 15. Παράμετροι της ANOVA για την παραγωγή απογόνων των ακμαίων *T. confusum* (σύνολο df = 143).

Πηγή	df	F	P
Παράγωγο του πυρρολίου	1	0,1	0,84
Προϊόν	1	0,1	0,84
Δόση	3	23,2	<0,01
Παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν	1	0,4	0,54
Παράγωγο του πυρρολίου x δόση	3	0,3	0,85
Προϊόν x δόση	3	1,1	0,34
Παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν x δόση	3	0,8	0,49

Πίνακας 16. Παραγωγή απογόνων *T. confusum* (άτομα/φιαλίδιο \pm ΤΣ) σε αραβόσιτο ή κριθάρι με την εφαρμογή των παραγώγων του πυρρολίου 3i και 3k σε τέσσερις δόσεις (περιλαμβάνεται η δόση 0 ppm) 60 ημέρες μετά την απομάκρυνση των γονεϊκών ακμαίων. Μέσα σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 7, 71, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $P = 0,05$).

Προϊόν		Αραβόσιτος	Κριθάρι
Παράγωγο του πυρρολίου	Δόση		
3i	0 ppm	0,7 \pm 0,2 ab	0,7 \pm 0,2 a
	0,1 ppm	0,2 \pm 0,1 bc	0,2 \pm 0,2 a
	1 ppm	0,0 \pm 0,0 c	0,1 \pm 0,1 b
	10 ppm	0,0 \pm 0,0 c	0,0 \pm 0,0 b
3k	0 ppm	1,0 \pm 0,2 a	0,6 \pm 0,2 a
	0,1 ppm	0,1 \pm 0,1 c	0,2 \pm 0,2 a
	1 ppm	0,0 \pm 0,0 c	0,1 \pm 0,1 b
	10 ppm	0,0 \pm 0,0 c	0,0 \pm 0,0 b
F		9,8	2,7
P		<0,01	0,02

Πίνακας 17. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθέντων επί 1, 2, 7, 14 και 21 ημέρες, σε αραβόσιτο ή κριθάρι με την εφαρμογή των παραγώγων του πυρρολίου 3i και 3k. Μέσα σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 5, 53). Μέσα σε κάθε γραμμή, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 4, 44, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές. Όπου υπάρχουν παύλες, δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση.

Προϊόν	Αραβόσιτος							
Έκθεση		1 ημέρα	2 ημέρες	7 ημέρες	14 ημέρες	21 ημέρες	<i>F</i>	<i>P</i>
Παράγωγο του πυρρολίου	Δόση							
3i	0,1 ppm	3,3 \pm 1,7 Db	7,8 \pm 1,5 CDc	24,4 \pm 6,3 Cc	43,3 \pm 5,8 Bc	63,3 \pm 4,7 Abc	31,5	<0,01
	1 ppm	6,7 \pm 2,4 Cb	16,7 \pm 2,4 Cabc	43,3 \pm 7,3 Babc	61,1 \pm 6,3 ABbc	77,8 \pm 6,0 Aab	31,7	<0,01
	10 ppm	13,3 \pm 3,3 Ca	26,7 \pm 4,4 Ca	52,2 \pm 7,0 Bab	75,6 \pm 6,5 Aab	93,3 \pm 2,9 Aa	42,2	<0,01
3k	0,1 ppm	3,3 \pm 1,7 Cb	13,3 \pm 3,7 BCbc	28,9 \pm 8,1 ABCbc	37,8 \pm 9,5 ABc	46,7 \pm 8,8 Ac	6,2	0,01
	1 ppm	6,7 \pm 1,7 Cab	17,8 \pm 2,8 Cabc	35,6 \pm 3,8 Bbc	57,8 \pm 6,4 Abc	70,0 \pm 5,5 Ab	36,5	<0,01
	10 ppm	10,0 \pm 0,0 Da	24,4 \pm 1,8 Cab	65,6 \pm 3,4 Ba	90,0 \pm 2,9 Aa	96,7 \pm 1,7 Aa	293,0	<0,01
<i>F</i>		3,6	5,7	6,1	9,0	12,0		
<i>P</i>		0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01		
	Κριθάρι							
3i	0,1 ppm	16,7 \pm 1,7 Cab	56,7 \pm 1,7 Bb	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	1,263,0	<0,01
	1 ppm	20,0 \pm 2,9 Cab	60,0 \pm 2,9 Bb	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	384,0	<0,01
	10 ppm	23,3 \pm 1,7 Ca	86,7 \pm 4,4 Ba	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	249,5	<0,01
3k	0,1 ppm	10,0 \pm 0,0 Cb	63,3 \pm 4,4 Bb	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	400,9	<0,01
	1 ppm	13,3 \pm 4,4 Cab	66,7 \pm 1,7 Bb	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	323,0	<0,01
	10 ppm	20,0 \pm 2,9 Cab	70,0 \pm 2,9 Bb	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	366,0	<0,01
<i>F</i>		3,4	11,1	-	-	-		
<i>P</i>		0,01	<0,01	-	-	-		

Πίνακας 18. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *E. kuehniella* εκτεθεισών επί 1, 2, 7, 14 και 21 ημέρες, σε αραβόσιτο ή κριθάρι με την εφαρμογή των παραγώγων του πυρρολίου 3i και 3k. Μέσα σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 5, 53). Μέσα σε κάθε γραμμή, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 4, 44, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου υπάρχουν παύλες, δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση.

Προϊόν	Αραβόσιτος								
Έκθεση		1 ημέρα	2 ημέρες	7 ημέρες	14 ημέρες	21 ημέρες			
Παράγωγο του πυρρολίου	Δόση						<i>F</i>	<i>P</i>	
3i	0,1 ppm	3,3 \pm 1,7 Bc	10,0 \pm 0,0 Bc	13,3 \pm 1,7 Bc	28,9 \pm 4,2 Ac	28,9 \pm 4,2 Ac	16,1	<0,01	
	1 ppm	6,7 \pm 1,7 Cbc	16,7 \pm 1,7 Cabc	33,3 \pm 4,7 Bbc	50,0 \pm 4,4 Abc	50,0 \pm 4,4 Abc	28,6	<0,01	
	10 ppm	16,6 \pm 1,7 Ca	27,8 \pm 3,2 Ca	50,0 \pm 5,0 Bab	80,0 \pm 4,1 Aa	80,0 \pm 4,1 Aa	59,4	<0,01	
	3k	0,1 ppm	2,2 \pm 1,5 Cc	5,6 \pm 2,4 BCc	18,9 \pm 5,1 ABCc	25,6 \pm 5,6 ABc	36,7 \pm 8,2 Abc	7,7	0,01
		1 ppm	4,4 \pm 1,8 Dc	12,2 \pm 1,5 CDbc	25,6 \pm 5,0 BCc	41,1 \pm 7,0 ABc	54,4 \pm 7,1 Ab	16,2	<0,01
		10 ppm	13,3 \pm 3,3 Bab	24,4 \pm 5,6 Bab	66,7 \pm 9,4 Aa	74,4 \pm 9,0 Aab	84,4 \pm 5,8 Aa	20,5	<0,01
	<i>F</i>		8,4	8,5	12,9	14,7	14,8		
	<i>P</i>		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
	Κριθάρι	3i	0,1 ppm	36,7 \pm 2,9 Dc	72,2 \pm 4,3 Cc	86,7 \pm 2,4 Bb	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	106,2
1 ppm			41,1 \pm 7,2 Cc	84,4 \pm 4,1 Bbc	100,0 \pm 0,0 Aa	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	47,7	<0,01
10 ppm			67,8 \pm 5,5 Ca	87,8 \pm 2,7 Bab	100,0 \pm 0,0 Aa	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	26,3	<0,01
3k		0,1 ppm	45,6 \pm 3,4 Cbc	80,0 \pm 4,1 Bbc	100,0 \pm 0,0 Aa	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	100,4	<0,01
		1 ppm	62,2 \pm 1,5 Cab	93,3 \pm 1,7 Bab	100,0 \pm 0,0 Aa	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	272,5	<0,01
		10 ppm	80,0 \pm 7,1 Ba	100,0 \pm 0,0 Aa	100,0 \pm 0,0 Aa	100,0 \pm 0,0 A	100,0 \pm 0,0 A	72,0	<0,01
<i>F</i>			16,1	9,1	32,0	-	-		
<i>P</i>			<0,01	<0,01	<0,01	-	-		

Πίνακας 19. Παράμετροι της MANOVA για τις κύριες επιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις για τα επίπεδα της θνησιμότητας των προνυμφών των *T. confusum* και *E. kuehniella* μεταξύ και εντός των διαστημάτων έκθεσης (σύνολο df = 720 για τις προνύμφες *T. confusum* και σύνολο df = 76 για τις προνύμφες *E. kuehniella*).

		<i>T. confusum</i> (προνύμφες)		<i>E. kuehniella</i> (προνύμφες)	
Μεταξύ των διαστημάτων έκθεσης					
Πηγή	df	F	P	F	P
Θερμοκρασία	2	110,4	<0,01	29,5	<0,01
ΣΥ	1	240,3	<0,01	13,9	0,01
Παράγωγο του πυρρολίου	4	88,6	<0,01	-	-
Δόση	2	210,8	<0,01	268,7	<0,01
Δόση x ΣΥ	2	11,6	<0,01	3,7	0,03
Παράγωγο του πυρρολίου x δόση	8	3,7	0,01	-	-
Θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου	8	22,8	<0,01	-	-
ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	4	34,0	<0,01	-	-
Θερμοκρασία x δόση	4	0,5	0,76	0,9	0,48
ΣΥ x δόση	2	7,8	0,01	2,2	0,11
Θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	8	19,3	<0,01	-	-
Θερμοκρασία x ΣΥ x δόση	4	0,9	0,45	2,5	0,05
Θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	16	1,1	0,31	-	-
ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	8	1,1	0,35	-	-
Θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	16	0,7	0,75	-	-
Εντός των διαστημάτων έκθεσης					
Πηγή	df	F	P	F	P
Έκθεση x θερμοκρασία	4	4,2	0,01	10,3	<0,01
Έκθεση x ΣΥ	2	87,7	<0,01	0,9	0,40
Έκθεση x δόση	4	20,4	<0,01	15,5	<0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου	8	19,6	<0,01	-	-
Έκθεση x ΣΥ x δόση	4	9,1	<0,01	2,1	0,09
Έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ	4	7,1	<0,01	4,3	0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	16	6,2	<0,01	-	-
Έκθεση x θερμοκρασία x δόση	8	1,8	0,08	7,2	<0,01
Έκθεση x θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου	16	8,0	<0,01	-	-
Έκθεση x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	8	4,0	0,01	-	-
Έκθεση x θερμοκρασία x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	32	1,9	0,01	-	-
Έκθεση x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	16	3,2	<0,01	-	-
Έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ x δόση	8	0,8	0,62	2,3	0,02
Έκθεση x θερμοκρασία x ΣΥ x παράγωγο του πυρρολίου	32	1,9	0,01	-	-
Έκθεση x temperature x RH x pyrrole derivative x dose	32	1,1	0,37	-	-

Πίνακας 20. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3a σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες									
	55%			75%						
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1 ppm	15,6 \pm 4,4 b	17,8 \pm 6,2 b	18,9 \pm 3,5 b	0,1	0,89	12,2 \pm 4,0 Bb	11,0 \pm 3,1 Bb	32,2 \pm 7,2 A	5,4	0,01
1 ppm	28,9 \pm 5,1 b	25,6 \pm 7,7 b	32,2 \pm 3,2 b	0,3	0,71	16,6 \pm 5,5 Bb	26,6 \pm 5,0 Bb	43,3 \pm 4,1 A	7,6	0,01
10 ppm	50,0 \pm 4,4 Ba	64,4 \pm 8,4 ABa	78,9 \pm 4,8 Aa	5,6	0,01	43,3 \pm 6,2 a	46,7 \pm 5,0 a	55,6 \pm 7,8	1,0	0,39
<i>F</i>	13,8	11,3	64,3			9,9	16,0	3,2		
<i>P</i>	0,01	0,01	<0,01			0,01	<0,01	0,06		
	14 ημέρες									
0,1 ppm	33,3 \pm 6,0 Bb	30,0 \pm 7,3 Bb	62,2 \pm 4,3 Ab	8,7	0,01	16,6 \pm 5,0 Bb	26,7 \pm 4,1 Bb	58,9 \pm 7,0 A	16,2	<0,01
1 ppm	48,9 \pm 4,2 ABb	45,6 \pm 10,2 Bb	70,0 \pm 4,7 Ab	3,7	0,04	31,1 \pm 7,0 Bb	43,3 \pm 5,7 Bab	64,4 \pm 4,1 A	8,6	0,01
10 ppm	68,9 \pm 5,9 Ba	76,7 \pm 6,9 ABa	94,4 \pm 2,9 Aa	5,7	0,01	57,8 \pm 6,6 a	58,9 \pm 5,1 a	72,2 \pm 6,0	1,8	0,18
<i>F</i>	10,8	8,3	17,1			11,1	10,2	1,3		
<i>P</i>	0,01	0,01	<0,01			0,01	0,01	0,28		
	21 ημέρες									
0,1 ppm	47,8 \pm 4,6 Bc	50,0 \pm 10,4 Bb	80,0 \pm 3,3 Ab	6,8	0,01	31,1 \pm 7,3 Bb	33,3 \pm 4,1 Bb	67,8 \pm 5,5 A	12,6	0,01
1 ppm	63,3 \pm 4,4 Bb	64,4 \pm 7,5 Bab	86,7 \pm 2,9 Ab	6,2	0,01	46,7 \pm 7,6 Bab	54,4 \pm 4,4 ABa	73,3 \pm 4,4 A	5,8	0,01
10 ppm	81,1 \pm 3,5 Ba	86,7 \pm 4,4 Ba	98,9 \pm 1,1 Aa	7,5	0,01	66,7 \pm 6,2 a	66,7 \pm 6,2 a	78,9 \pm 6,5	1,2	0,31
<i>F</i>	15,6	5,6	13,3			6,3	11,3	1,0		
<i>P</i>	<0,01	0,01	0,01			0,01	0,01	0,38		

Πίνακας 21. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3g σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές. Όπου υπάρχουν παύλες, δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση.

ΣΥ	7 ημέρες									
	55%			75%						
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1 ppm	5,6 \pm 1,8 Bc	25,6 \pm 2,9 Ab	26,7 \pm 4,7 Ab	12,2	0,01	0,0 \pm 0,0 B	0,0 \pm 0,0 B	3,3 \pm 1,7 Ab	4,0	0,03
1 ppm	15,6 \pm 1,8 Bb	30,0 \pm 4,4 Ab	40,0 \pm 2,4 Aa	16,1	<0,01	0,0 \pm 0,0 B	0,0 \pm 0,0 B	11,1 \pm 2,6 Aab	18,2	<0,01
10 ppm	25,6 \pm 2,9 Ba	52,2 \pm 3,6 Aa	45,6 \pm 1,8 Aa	23,1	<0,01	0,0 \pm 0,0 B	0,0 \pm 0,0 B	17,8 \pm 2,8 Aa	41,0	<0,01
<i>F</i>	20,3	14,8	9,2			-	-	9,1		
<i>P</i>	<0,01	<0,01	0,01			-	-	0,01		
	14 ημέρες									
0,1 ppm	7,8 \pm 1,5 Bc	44,4 \pm 4,4 Ab	46,7 \pm 3,7 Ab	40,0	<0,01	0,0 \pm 0,0 B	10,0 \pm 2,9 A	10,0 \pm 2,4 Ab	7,2	0,01
1 ppm	20,0 \pm 1,7 Bb	52,2 \pm 4,7 Aab	57,8 \pm 2,8 Aab	38,9	<0,01	1,1 \pm 1,1 B	15,6 \pm 3,4 A	15,6 \pm 3,4 Aab	8,7	0,01
10 ppm	34,4 \pm 2,4 Ba	64,4 \pm 3,8 Aa	66,7 \pm 2,9 Aa	34,2	<0,01	4,4 \pm 2,4 B	20,0 \pm 4,4 A	23,3 \pm 3,3 Aa	8,4	0,01
<i>F</i>	49,5	5,5	10,1			2,3	1,9	4,8		
<i>P</i>	<0,01	0,01	0,01			0,13	0,17	0,02		
	21 ημέρες									
0,1 ppm	8,9 \pm 2,0 Bc	57,8 \pm 6,8 Ab	64,4 \pm 5,0 Ac	36,4	<0,01	8,9 \pm 2,0	10,0 \pm 2,9 b	17,8 \pm 4,7 c	2,1	0,15
1 ppm	28,9 \pm 3,5 Bb	73,3 \pm 4,1 Aab	77,8 \pm 2,8 Ab	59,7	<0,01	11,1 \pm 3,1 B	20,0 \pm 4,1 ABab	35,6 \pm 6,3 Ab	7,0	0,01
10 ppm	55,6 \pm 3,8 Ba	90,0 \pm 2,4 Aa	97,8 \pm 1,5 Aa	69,1	<0,01	12,2 \pm 3,2 C	24,4 \pm 4,1 Ba	56,7 \pm 2,4 Aa	47,9	<0,01
<i>F</i>	53,8	11,3	24,0			0,4	3,9	17,1		
<i>P</i>	<0,01	0,01	<0,01			0,70	0,03	<0,01		

Πίνακας 22. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 31 σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 2, 26$). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 2, 26$, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες									
	55%			75%			75%			
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1 ppm	1,1 \pm 4,2	12,2 \pm 2,2 b	20,0 \pm 5,5 b	1,3	0,29	0,0 \pm 0,0 Bb	2,2 \pm 1,5 B	20,0 \pm 4,4 A	16,7	<0,01
1 ppm	4,4 \pm 2,4 B	16,7 \pm 3,7 Bb	32,2 \pm 5,7 Aab	11,1	0,01	3,3 \pm 1,7 Bab	12,2 \pm 4,3 B	26,7 \pm 4,7 A	9,5	0,01
10 ppm	7,7 \pm 2,8 B	32,2 \pm 5,2 Aa	37,8 \pm 3,2 Aa	16,8	<0,01	6,7 \pm 1,7 Ba	13,3 \pm 5,8 B	28,9 \pm 4,5 A	6,9	0,01
<i>F</i>	1,1	7,1	3,4			6,0	2,2	1,0		
<i>P</i>	0,36	0,01	0,05			0,01	0,15	0,37		
	14 ημέρες									
0,1 ppm	24,4 \pm 6,3	26,7 \pm 3,3 Bb	45,6 \pm 5,6 A	5,0	0,02	13,3 \pm 4,4 B	14,4 \pm 4,1 B	35,6 \pm 7,7 A	4,9	0,02
1 ppm	31,1 \pm 2,6 B	38,9 \pm 5,4 ABab	54,4 \pm 6,5 A	5,4	0,01	15,6 \pm 2,4 B	24,4 \pm 7,8 B	47,8 \pm 7,8 A	6,5	0,01
10 ppm	33,3 \pm 6,2 B	50,0 \pm 6,0 ABa	55,6 \pm 4,1 A	4,4	0,02	25,6 \pm 3,8 B	34,4 \pm 4,4 B	56,7 \pm 3,7 A	16,1	<0,01
<i>F</i>	0,8	5,4	1,0			3,2	3,1	2,5		
<i>P</i>	0,48	0,01	0,38			0,06	0,07	0,10		
	21 ημέρες									
0,1 ppm	30,0 \pm 5,8 Ba	40,0 \pm 5,3ABb	54,4 \pm 4,1 Ab	5,8	0,01	17,7 \pm 4,6 B	21,1 \pm 4,5 Bb	44,4 \pm 6,5 Ab	7,5	0,01
1 ppm	46,7 \pm 6,5 ab	53,3 \pm 5,5 b	62,2 \pm 5,5 b	1,8	0,19	27,8 \pm 4,0 B	35,6 \pm 7,3 Bab	58,9 \pm 6,0 Aab	6,9	0,01
10 ppm	60,0 \pm 6,5 Ba	84,4 \pm 1,8 Aa	95,6 \pm 1,8 Aa	20,8	<0,01	30,0 \pm 3,3 B	40,0 \pm 3,3 Ba	67,8 \pm 5,7 Aa	20,9	<0,01
<i>F</i>	5,8	25,4	28,6			2,6	3,4	3,5		
<i>P</i>	0,01	<0,01	<0,01			0,10	0,05	0,05		

Πίνακας 23. Μέση θνησιμότητα (% ± ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3m σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

ΣΥ	7 ημέρες									
	55%					75%				
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C	F	P	20 °C	25 °C	30 °C	F	P
Δόση										
0,1 ppm	4,4 ± 1,8 B	22,2 ± 8,6 AB	31,1 ± 5,4 Ab	5,2	0,01	8,8 ± 4,6 B	3,3 ± 1,7 Bb	30,0 ± 4,7 Ab	13,0	0,01
1 ppm	8,9 ± 2,6 B	28,9 ± 8,7 AB	46,7 ± 6,0 Aab	8,9	0,01	12,2 ± 2,2 B	4,4 ± 1,8 Bab	44,4 ± 6,0 Ab	30,4	<0,01
10 ppm	13,3 ± 4,1 B	40,0 ± 7,8 A	50,0 ± 4,1 Aa	11,4	0,01	15,6 ± 4,1 B	11,1 ± 2,6 Ba	48,9 ± 2,6 Aa	48,9	<0,01
F	2,2	1,1	3,7			0,8	4,2	4,5		
P	0,13	0,34	0,01			0,47	0,03	0,02		
	14 ημέρες									
0,1 ppm	15,6 ± 3,4 B	30,0 ± 9,1 AB	40,0 ± 5,8 Ab	3,5	0,05	20,0 ± 6,5 B	17,8 ± 2,8 B	40,0 ± 8,5 A	3,4	0,05
1 ppm	26,7 ± 2,4 Bab	45,6 ± 8,7 AB	67,8 ± 7,8 Aa	9,0	0,01	28,9 ± 5,9 B	21,1 ± 3,1 B	50,0 ± 6,2 A	8,1	0,01
10 ppm	31,1 ± 5,1 Ba	56,7 ± 9,1 A	76,7 ± 2,9 Aa	13,3	0,01	32,2 ± 4,0 B	24,4 ± 1,8 B	63,3 ± 5,8 A	24,2	<0,01
F	4,5	2,2	10,7			1,3	1,6	2,9		
P	0,02	0,13	0,01			0,29	0,22	0,08		
	21 ημέρες									
0,1 ppm	32,2 ± 2,2 Bc	51,1 ± 7,7 Ab	54,4 ± 3,4 Ac	5,7	0,01	26,7 ± 6,7	24,4 ± 2,4	43,3 ± 8,0	2,8	0,08
1 ppm	50,0 ± 3,3 Bb	66,7 ± 5,8 ABb	78,9 ± 6,1 Ab	7,7	0,01	36,7 ± 7,1 B	27,8 ± 2,8 B	53,3 ± 6,5 A	5,1	0,01
10 ppm	65,6 ± 1,8 Ca	84,4 ± 4,1 Ba	95,6 ± 1,8 Aa	29,8	<0,01	46,7 ± 6,7 AB	33,3 ± 2,9 B	65,6 ± 5,0 A	10,1	0,01
F	43,6	7,6	24,7			2,2	2,8	2,8		
P	<0,01	0,01	<0,01			0,14	0,08	0,08		

Πίνακας 24. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σιτάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3h σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05).

ΣΥ	7 ημέρες									
	55%			75%						
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1 ppm	14,4 \pm 4,4 B	12,2 \pm 3,6 B	30,0 \pm 4,4 Ab	5,4	0,01	10,0 \pm 2,9 Bb	17,8 \pm 3,2 ABb	24,4 \pm 5,0 Ab	3,6	0,04
1 ppm	16,7 \pm 3,7 B	18,9 \pm 4,2 B	35,6 \pm 3,8 Aab	7,0	0,01	17,8 \pm 3,6 ab	34,4 \pm 7,1 ab	31,1 \pm 3,5 ab	3,1	0,07
10 ppm	26,7 \pm 8,0 AB	20,0 \pm 6,7 B	46,7 \pm 5,3 Aa	4,2	0,03	26,7 \pm 5,5 a	36,7 \pm 3,7 a	42,2 \pm 5,2a	2,6	0,10
<i>F</i>	1,3	0,7	3,5			4,0	4,3	3,7		
<i>P</i>	0,29	0,51	0,05			0,03	0,03	0,04		
	14 ημέρες									
0,1 ppm	27,8 \pm 4,0 Bb	30,0 \pm 4,1 Bb	62,2 \pm 4,6 A	20,5	<0,01	37,8 \pm 4,0 b	35,6 \pm 2,4 b	43,3 \pm 3,3 b	1,5	0,25
1 ppm	35,6 \pm 4,1 Bab	55,6 \pm 4,7 Aa	68,9 \pm 4,8 A	13,4	0,01	45,6 \pm 7,8 ab	56,7 \pm 6,7 a	52,2 \pm 3,6 b	0,8	0,47
10 ppm	50,0 \pm 6,5 Ba	58,9 \pm 5,9 ABa	74,4 \pm 3,8 A	5,1	0,01	65,6 \pm 6,7 a	63,3 \pm 4,1 a	70,0 \pm 3,7 a	0,5	0,64
<i>F</i>	5,1	10,2	1,9			5,0	9,4	14,5		
<i>P</i>	0,01	0,01	0,17			0,01	0,01	<0,01		
	21 ημέρες									
0,1 ppm	41,1 \pm 3,5 Bb	42,2 \pm 4,9 Bb	66,7 \pm 6,0 Ab	8,6	0,01	51,1 \pm 6,5 b	44,4 \pm 3,8 b	54,4 \pm 4,4 b	1,0	0,38
1 ppm	47,8 \pm 5,2 Bb	75,6 \pm 4,4 Aa	81,1 \pm 4,8 Aab	13,6	0,01	64,4 \pm 5,3 ab	68,9 \pm 6,8 a	61,1 \pm 4,5 ab	0,5	0,62
10 ppm	73,3 \pm 7,3 Ba	88,9 \pm 2,6 ABa	91,1 \pm 2,0 Aa	4,4	0,02	81,1 \pm 5,9 a	76,7 \pm 5,0 a	72,2 \pm 3,2 a	0,9	0,44
<i>F</i>	9,4	34,0	7,1			6,4	10,0	4,6		
<i>P</i>	0,01	<0,01	0,01			0,01	0,01	0,02		

Πίνακας 25. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *E. kuehniella* εκτεθεισών επί 7, 14 και 21 ημέρες, σε σίτο με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3h σε τρεις δόσεις, υπό τρεις θερμοκρασίες και δύο επίπεδα ΣΥ. Μέσα σε κάθε στήλη, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 2, 26$). Μέσα σε κάθε γραμμή, έκθεση και ΣΥ, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς ($df = 2, 26$, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$).

ΣΥ	7 ημέρες									
	55%			75%						
Θερμοκρασία	20 °C	25 °C	30 °C			20 °C	25 °C	30 °C		
Δόση				<i>F</i>	<i>P</i>				<i>F</i>	<i>P</i>
0,1 ppm	8,8 \pm 2,9 b	14,4 \pm 4,4 b	18,9 \pm 4,5 b	1,5	0,22	5,6 \pm 2,4 b	7,8 \pm 2,2 b	7,8 \pm 3,2 b	0,2	0,79
1 ppm	11,1 \pm 3,5 Bb	20,0 \pm 3,3 ABb	26,7 \pm 5,5 Ab	3,4	0,05	14,4 \pm 1,8 b	14,4 \pm 2,9 b	15,6 \pm 4,1 b	0,1	0,96
10 ppm	42,2 \pm 4,3 Ba	54,4 \pm 9,1 ABa	72,2 \pm 8,3 Aa	4,0	0,03	27,8 \pm 4,3 Ba	38,9 \pm 4,2 Ba	80,0 \pm 5,8 Aa	32,4	<0,01
<i>F</i>	27,4	12,3	20,7			13,5	25,6	77,5		
<i>P</i>	<0,01	0,01	<0,01			0,01	<0,01	<0,01		
	14 ημέρες									
0,1 ppm	20,0 \pm 5,0 Bb	21,1 \pm 5,4 Bb	41,1 \pm 7,3 Ab	3,9	0,03	15,6 \pm 5,3 b	12,2 \pm 3,6 b	8,9 \pm 3,1 c	0,7	0,53
1 ppm	24,4 \pm 4,4 Bb	33,3 \pm 4,4 ABb	44,4 \pm 5,3 Ab	4,5	0,02	25,6 \pm 5,0 Bb	20,0 \pm 3,7 Bb	43,3 \pm 3,7 Ab	8,4	0,01
10 ppm	73,3 \pm 5,3 a	84,4 \pm 5,6 a	87,9 \pm 5,7 a	1,9	0,17	81,1 \pm 2,6 ABa	67,8 \pm 6,2 Ba	90,0 \pm 3,3 Aa	6,7	0,01
<i>F</i>	36,2	42,7	17,7			62,2	41,5	143,8		
<i>P</i>	<0,01	<0,01	<0,01			<0,01	<0,01	<0,01		
	21 ημέρες									
0,1 ppm	22,2 \pm 6,0 Bb	25,6 \pm 5,9 Bb	62,2 \pm 7,6 Ab	11,6	0,01	17,8 \pm 4,6 c	15,6 \pm 5,3 b	21,1 \pm 3,5 c	0,4	0,69
1 ppm	26,7 \pm 5,0 Bb	42,2 \pm 6,4 Bb	66,7 \pm 7,1 Ab	10,5	0,01	33,3 \pm 5,0 Bb	27,8 \pm 5,2 Bb	54,4 \pm 6,0 Ab	6,7	0,01
10 ppm	78,9 \pm 6,8 Ba	88,9 \pm 4,8 ABa	98,9 \pm 1,1 Aa	4,3	0,03	88,9 \pm 2,6 ABa	75,6 \pm 6,0 Ba	95,6 \pm 1,8 Aa	6,7	0,01
<i>F</i>	28,1	32,9	11,0			78,5	32,9	80,5		
<i>P</i>	<0,01	<0,01	0,01			<0,01	<0,01	<0,01		

Πίνακας 26. Παράμετροι της MANOVA για τις κύριες επιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις για τα επίπεδα της θνησιμότητας των προνυμφών *T. confusum* και *E. kuehniella* μεταξύ και εντός των διαστημάτων εκθέσεως (σύνολο df = 240 για τις προνύμφες *T. confusum* και σύνολο df = 76 για τις προνύμφες *E. kuehniella*).

		<i>T. confusum</i> (προνύμφες)		<i>E. kuehniella</i> (προνύμφες)	
Μεταξύ των διαστημάτων έκθεσης					
Πηγή	df	F	P	F	P
Παράγωγο του πυρρολίου	4	20,9	<0,01	-	-
Προϊόν	1	235,1	<0,01	20,4	<0,01
Δόση	2	449,7	<0,01	54,3	<0,01
Προϊόν x δόση	2	2,2	0,12	0,7	0,49
Παράγωγο του πυρρολίου x δόση	8	1,9	0,06	-	-
Παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν	4	2,7	0,03	-	-
Παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν x δόση	8	0,9	0,56	-	-
Εντός των διαστημάτων έκθεσης					
Πηγή	df	F	P	F	P
Έκθεση x δόση	8	60,7	<0,01	6,7	<0,01
Έκθεση x προϊόν	4	45,9	<0,01	4,2	0,01
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου	16	5,7	<0,01	-	-
Έκθεση x προϊόν x δόση	8	4,8	<0,01	1,3	0,24
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x δόση	32	3,5	<0,01	-	-
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν	16	2,1	0,01	-	-
Έκθεση x παράγωγο του πυρρολίου x προϊόν x δόση	32	2,2	0,01	-	-

Πίνακας 27. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *T. confusum* εκτεθεισών επί 1, 2, 7, 14 και 21 ημέρες, σε αραβόσιτο ή κριθάρι με την εφαρμογή των παραγώγων του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m, 3h. Μέσα σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 14, 134). Μέσα σε κάθε γραμμή, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 4, 44, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, p = 0,05). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

Προϊόν		Αραβόσιτος					F	P
Έκθεση		1 ημέρα	2 ημέρες	7 ημέρες	14 ημέρες	21 ημέρες		
Παράγωγο του πυρρολίου	Δόση							
3a	0.1	0,0 \pm 0,0 Cc	0,0 \pm 0,0 Cc	11,1 \pm 2,0 Befg	15,6 \pm 2,4 Bef	25,6 \pm 2,4 Ade	37,6	<0,01
	1	10,0 \pm 4,1 Cab	25,6 \pm 5,3 Bab	45,6 \pm 7,8 ABabcd	55,6 \pm 7,5 Aabcd	61,1 \pm 6,6 Abc	11,1	<0,01
	10	14,4 \pm 2,4 Ca	32,2 \pm 6,2 Ca	64,4 \pm 6,0 Ba	74,4 \pm 5,0 ABa	91,1 \pm 2,6 Aa	43,7	<0,01
3g	0.1	0,0 \pm 0,0 Bc	0,0 \pm 0,0 Bc	5,6 \pm 2,4 Bfg	10,0 \pm 2,4 ABf	18,9 \pm 4,8 Ade	9,0	<0,01
	1	3,3 \pm 1,7 Cbc	11,1 \pm 3,5 Cbc	27,8 \pm 2,8 Bde	38,9 \pm 5,4 ABcde	51,1 \pm 4,8 Ac	25,5	<0,01
	10	7,8 \pm 2,8 Cab	21,1 \pm 4,2 BCab	40,0 \pm 5,3 Bbcd	62,2 \pm 5,2 Aabc	75,6 \pm 5,6 Aab	35,3	<0,01
3l	0.1	0,0 \pm 0,0 Bc	0,0 \pm 0,0 Bc	2,2 \pm 1,5 Bg	5,6 \pm 2,4 Bf	14,4 \pm 2,9 Ae	10,9	<0,01
	1	4,4 \pm 2,4 Cbc	18,9 \pm 5,1 BCab	31,1 \pm 7,0 ABcde	46,7 \pm 6,0 Abcd	50,0 \pm 7,5 Ac	10,6	<0,01
	10	8,9 \pm 2,6 Dabc	32,2 \pm 4,9 Ca	55,6 \pm 5,0 Bab	68,9 \pm 5,1 ABab	75,6 \pm 4,8 Aab	36,0	<0,01
3m	0.1	0,0 \pm 0,0 Cc	0,0 \pm 0,0 Cc	4,4 \pm 1,8 BCfg	8,9 \pm 2,0 Bf	16,7 \pm 2,4 Ae	19,4	<0,01
	1	3,3 \pm 1,7 Cbc	10,0 \pm 2,9 BCbc	28,9 \pm 4,5 Bde	52,2 \pm 6,8 Aabcd	58,9 \pm 6,8 Abc	24,6	<0,01
	10	6,7 \pm 2,4 Dabc	24,4 \pm 2,4 Cab	51,1 \pm 2,6 Bab	70,0 \pm 3,3 Aab	75,6 \pm 3,8 Aab	100,1	<0,01
3h	0.1	0,0 \pm 0,0 Bc	0,0 \pm 0,0 Bc	0,0 \pm 0,0 Bg	4,4 \pm 1,8 ABf	7,8 \pm 2,8 Ae	5,8	0,01
	1	6,7 \pm 2,4 Bab	10,0 \pm 3,3 Bbc	25,6 \pm 6,9 ABdef	34,4 \pm 7,3 Ade	41,1 \pm 7,9 Acd	6,3	0,01
	10	12,2 \pm 1,5 Eab	28,9 \pm 2,0 Da	45,6 \pm 2,4 Cabcd	60,0 \pm 2,4 Bab	78,9 \pm 2,0 Aab	156,7	<0,01
F		5,6	13,5	21,8	28,9	31,3		
P		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		

Παράγωγο του πυρρολίου	Δόση	Κριτήριο					F	P
3a	0,1	6,6 ± 2,4 Dbcde	13,3 ± 2,9 Defg	32,2 ± 3,2 Cefgh	50,0 ± 2,4 Bcdef	67,8 ± 3,2 Abc	79,6	<0,01
	1	12,2 ± 1,5 Ebcd	31,1 ± 2,0 Dbcd	56,7 ± 3,7 Cbcd	86,7 ± 3,3 Bab	100,0 ± 0,0 Aa	216,7	<0,01
	10	23,3 ± 1,7 Da	51,1 ± 2,6 Ca	82,2 ± 1,5 Ba	100,0 ± 0,0 Aa	100,0 ± 0,0 Aa	477,0	<0,01
3g	0,1	5,6 ± 2,4 Ccde	13,3 ± 3,7 Cefg	32,2 ± 6,0 Befgh	41,1 ± 4,6 ABefg	56,7 ± 3,7 Acd	23,9	<0,01
	1	11,1 ± 1,1 Cbcd	21,1 ± 2,0 Ccdef	51,1 ± 4,8 Bbcde	68,9 ± 4,8 Abc	80,0 ± 3,7 Ab	67,0	<0,01
	10	16,7 ± 1,7 Dab	34,4 ± 4,1 Cbc	66,7 ± 4,7 Babc	97,8 ± 1,5 Aa	100,0 ± 0,0 Aa	157,3	<0,01
3l	0,1	4,4 ± 1,8 Bde	12,2 ± 1,5 Bfg	31,1 ± 6,3 Aefgh	38,9 ± 5,6 Afg	44,4 ± 5,0 Ade	14,5	<0,01
	1	10,0 ± 1,7 Dbcde	17,8 ± 1,5 Ddefg	40,0 ± 1,7 Cdefg	58,9 ± 2,6 Bcde	74,4 ± 2,4 Ab	180,2	<0,01
	10	12,2 ± 3,2 Dbcd	31,1 ± 5,1 Cbcd	67,8 ± 5,7 Babc	87,8 ± 4,0 Aab	100,0 ± 0,0 Aa	81,1	<0,01
3m	0,1	0,0 ± 0,0 Ce	3,3 ± 5,0 BCg	21,1 ± 5,4 ABgh	33,3 ± 6,0 Afg	35,6 ± 7,3 Ae	11,3	<0,01
	1	15,0 ± 2,7 Eabc	28,0 ± 3,3 Dbcde	46,7 ± 2,9 Ccdef	63,3 ± 2,4 ABcd	77,8 ± 2,2 Ab	83,7	<0,01
	10	15,6 ± 2,4 Dabc	42,2 ± 3,2 Cab	68,9 ± 3,9 Bab	100,0 ± 0,0 Aa	100,0 ± 0,0 Aa	204,9	<0,01
3h	0,1	4,4 ± 2,4 Bde	8,9 ± 3,1 Bfg	17,8 ± 4,3 ABh	28,9 ± 5,9 Ag	32,2 ± 4,7 Ae	8,1	<0,01
	1	7,8 ± 2,2 Cbcde	13,3 ± 3,3 BCefg	28,9 ± 3,9 Bfgh	45,6 ± 5,0 Adefg	52,2 ± 4,9 Acd	23,0	<0,01
	10	15,6 ± 2,4 Eabc	30,0 ± 3,3 Dbcd	56,7 ± 4,1 Cbcd	83,3 ± 3,3 Bab	100,0 ± 0,0 Aa	139,4	<0,01
F		8,3	19,0	19,9	42,2	55,7		
P		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		

Πίνακας 28. Μέση θνησιμότητα (% \pm ΤΣ) των προνυμφών *E. kuehniella* εκτεθεισών επί 1, 2, 7, 14 και 21 ημέρες, σε αραβόσιτο ή κριθάρι με την εφαρμογή του παραγώγου του πυρρολίου 3h. Μέσα σε κάθε στήλη, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 2, 26). Μέσα σε κάθε γραμμή, οι μέσοι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικώς (df = 4, 44, Tukey-Kramer HSD δοκιμή, $p = 0,05$). Όπου δεν υπάρχουν γράμματα, δεν κατεγράφησαν σημαντικές διαφορές.

Έκθεση		1 ημέρα	2 ημέρες	7 ημέρες	14 ημέρες	21 ημέρες		
Προϊόν	Δόση						<i>F</i>	<i>P</i>
Αραβόσιτος	0,1	0,0 \pm 0,0 Bb	3,3 \pm 1,7 Bb	7,8 \pm 2,8 Bb	14,4 \pm 4,1 ABc	27,8 \pm 7,2 Ac	7,6	0,01
	1	5,6 \pm 1,8 Bab	16,7 \pm 3,3 Ba	38,9 \pm 4,6 Aa	51,1 \pm 6,3 Ab	54,4 \pm 7,1 Ab	18,4	<0,01
	10	11,1 \pm 3,1 Ca	24,4 \pm 3,8 Ca	47,8 \pm 5,5 Ba	71,1 \pm 5,6 Aa	82,2 \pm 4,0 Aa	50,0	<0,01
<i>F</i>		7,3	12,2	22,7	31,9	18,8		
<i>P</i>		0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
Κριθάρι	0,1	2,2 \pm 1,5 Cc	8,9 \pm 2,6 BCc	33,3 \pm 7,5 ABb	38,9 \pm 7,9 Ab	42,2 \pm 8,5 Ac	8,4	<0,01
	1	12,2 \pm 1,5 Bb	24,4 \pm 3,8 Bb	50,0 \pm 4,7 Ab	58,9 \pm 5,6 Ab	64,4 \pm 6,5 Ab	22,8	<0,01
	10	20,0 \pm 2,4 Da	40,0 \pm 3,7 Ca	72,2 \pm 4,0 Ba	91,1 \pm 2,6 Aa	100,0 \pm 0,0 Aa	136,2	<0,01
<i>F</i>		24,1	20,8	12,2	20,6	22,4		
<i>P</i>		<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01		

Κεφάλαιο 6

Γενική συζήτηση - Συμπεράσματα

Τα ευρήματα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής δείχνουν ότι η αποτελεσματικότητα των δοκιμασθέντων παραγώγων του πυρρολίου ποικίλλει αναλόγως του διαστήματος της εκθέσεως, της θερμοκρασίας, της ΣΥ, του προϊόντος, του παραγώγου του πυρρολίου, την δόση, το είδος του εντόμου και το στάδιο της ζωής του. Γενικώς, τα παράγωγα του πυρρολίου 3i και 3k είχαν χαμηλή τοξικότητα κατά των ακμαίων *T. confusum* σε όλους τους συνδυασμούς της θερμοκρασίας και της ΣΥ που εξετάστηκαν, γεγονός το οποίο υποδεικνύει ότι είναι πτωχά ακμαιοκτόνα. Όταν εφαρμόστηκαν στο κριθάρι τα 3i και 3k, αποδείχτηκε ότι είχαν βραδεία δράση στα ακμαία άτομα *T. confusum* εν συγκρίσει με άλλα συμβατικά προστατευτικά σπόρων των σιτηρών (Athanassiou *et al.*, 2004b, 2013, Rumbos *et al.*, 2013), δεδομένου ότι η θνησιμότητα κατά την διάρκεια των 2 πρώτων ημερών της εκθέσεως ήταν αμελητέα. Ωστόσο, αυτές οι ενώσεις παρουσίασαν υψηλή εντομοκτόνο δράση εναντίον των προνυμφών και δύο ειδών που εξετάστηκαν, το οποίο σημαίνει ότι είναι πιθανώς καλύτερα προνυμφοκτόνα. Αυτό το εύρημα είναι σημαντικό, δεδομένου ότι η εμφάνιση των ακμαίων θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικώς, ένα ζήτημα που χρήζει περαιτέρω πειραματισμό με τη συμμετοχή περισσότερων ειδών εντόμων των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων. Επιπλέον, η παραγωγή των απογόνων ήταν πολύ χαμηλή σε όλους τους συνδυασμούς οι οποίοι εξετάστηκαν.

Η θνησιμότητα που προκαλούν στα ακμαία οι IGRs είναι μηδενική έως χαμηλή, αλλά η παραγωγή των απογόνων καταστέλλεται μέσω της θνησιμότητας των ατελών σταδίων των εντόμων (Cogburn, 1988, Darglish *et al.*, 1993, Kostyukovsky *et al.*, 2000, Darglish & Wallbank, 2005, Darglish, 2008, Athanassiou *et al.*, 2011b, Kavallieratos *et al.*, 2012). Για παράδειγμα, οι Kavallieratos *et al.* (2012) εξέτασαν οκτώ σκευάσματα IGRs κατά του *P. truncatus* και διαπίστωσαν ότι η θνησιμότητα των ακμαίων ήταν χαμηλή, αλλά η καταστολή των απογόνων ήταν ικανοποιητική (86.4 - 100%), υποδεικνύοντας ότι η προνυμφοκτόνος ή ωοκτόνος επίδραση ήταν υψηλή. Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή διαπιστώθηκε ότι τα παράγωγα του πυρρολίου 3i και 3k παρείχαν αξιοσημείωτο επίπεδο θνησιμότητας των προνυμφών, τουλάχιστον σε ορισμένους από τους συνδυασμούς οι οποίοι μελετήθηκαν. Παρά το γεγονός ότι δεν ελήφθησαν ποσοτικά στοιχεία, παρατηρήθηκε ότι οι προνύμφες που

επέζησαν ήσαν σε θέση να αναπτυχθούν φυσιολογικώς, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι δεν υπήρξε επίδραση κατά την έκδυση. Η καταστολή της παραγωγής των απογόνων *T. confusum* σχετίζεται με την βιολογία του είδους αυτού, δεδομένου ότι ως δευτερεύων εχθρός δεν μπορεί να αναπτυχθεί ευκόλως σε ακεραίους σπόρους δημητριακών (Brewer & Ferrell, 1992), γεγονός το οποίο μπορεί να εξηγήσει την χαμηλή παραγωγή των απογόνων που παρατηρήθηκε στους ακέрайους σπόρους του σιταριού, του κριθαριού και του αραβόσιτου που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον πειραματισμό. Έτσι, ενδέχεται οι εξετασθέντες ουσίες να μην ενεργούν ως IGRs.

Για το πυρρόλιο chlorfenapyr, οι Kavallieratos *et al.* (2011) διαπίστωσαν ότι η θνησιμότητα των ακμαίων *P. truncatus* ήταν 98,3% στον αραβόσιτο στο 1 ppm, μετά από 14 ημέρες εκθέσεως. Στις ίδιες συνθήκες, η θνησιμότητα των ακμαίων *T. confusum* ήταν 47,8%. Γενικώς, ο έλεγχος των ακμαίων *T. confusum* δεν μπορεί να επιτευχθεί ευκόλως με την εφαρμογή διαφόρων εντομοκτόνων, όπως των acypermethrin, deltamethrin, abamectin, spinosad, chlorfenapyr, γαίες διατομών και spinetoram (Athanassiou *et al.*, 2004c, Kavallieratos *et al.*, 2009, Hertlein *et al.*, 2011, Kavallieratos *et al.*, 2012, 2013, Athanassiou & Kavallieratos, 2014). Για παράδειγμα, το spinosad μπορεί να ελέγξει τα ακμαία *T. confusum* σε δόσεις οι οποίες υπερβαίνουν σε μεγάλο βαθμό την συνιστώμενη δόση (1 ppm) (Hertlein *et al.*, 2011). Ωστόσο, οι προνύμφες *T. confusum* ήσαν πολύ ευαίσθητες στο spinosad, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο έλεγχος των ακμαίων θα επέλθει τελικώς μέσω της αυξημένης θνησιμότητας των προνυμφών (Hertlein *et al.*, 2011). Στην παρούσα περίπτωση, η θνησιμότητα των προνυμφών *T. confusum* έφτασε στο 82,2 και 77,8% στο σιτάρι, στο 93,3 και 96,7% στον αραβόσιτο και στο 100% στο κριθάρι όπου εφαρμόστηκαν οι 3i και 3k αντιστοίχως, μετά από 21 ημέρες εκθέσεως, υποδεικνύοντας ότι ο υψηλός έλεγχος των ατελών σταδίων μπορεί να συμβάλει στον ταυτόχρονο έλεγχο των ακμαίων. Το ίδιο ισχύει και για τις προνύμφες *E. kuehniella*, καθώς η θνησιμότητα μετά από 21 ημέρες εκθέσεως ήταν 63,3% στο σιτάρι, 84,4% στον αραβόσιτο και 100% στο κριθάρι με την εφαρμογή του παραγώγου 3k.

Όσον αφορά τα παράγωγα του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m και 3h, το 3a παρουσίασε την υψηλότερη εντομοκτόνο δράση, ενώ τα 3g, 3l, 3m και 3h προκάλεσαν παρόμοια θνησιμότητα κατά των προνυμφών *T. confusum*. Εκτός από το επίπεδο της αποτελεσματικότητας, όλα τα εξετασθέντα παράγωγα του πυρρολίου έδρασαν παρομοίως με βάση την θερμοκρασία. Στην πραγματικότητα, η θερμοκρασία φάνηκε να είναι ένας βασικός παράγοντας ο οποίος ρύθμιζε σημαντικώς την

θνησιμότητα. Έτσι, η αύξηση της θερμοκρασίας αύξησε την θνησιμότητα στην πλειοψηφία των συνδυασμών που δοκιμάστηκαν. Αυτά τα παράγωγα του πυρρολίου προκάλεσαν τα υψηλότερα επίπεδα θνησιμότητας στους 30 °C και 55% ΣΥ. Η θερμοκρασία παίζει έναν βασικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα αρκετών εντομοκτόνων που εφαρμόζονται ως προστατευτικά των σπόρων των σιτηρών. Για τις γαίες διατόμων, οι Vayias & Athanassiou (2004) διαπίστωσαν ότι η αποτελεσματικότητά τους εναντίον των προνυμφών *T. confusum* αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας. Παρόμοιες παρατηρήσεις έγιναν από τους Badii *et al.* (2013) για το *C. maculatus* με την εφαρμογή της γης διατόμων στους σπόρους αραχίδας (*Macrotyloma geocarpum* Harms). Επιπλέον, για το νεονικοτινοειδές εντομοκτόνο thiamethoxam, οι Arthur *et al.* (2004) ανέφεραν ότι η θνησιμότητα των *O. surinamensis*, *R. dominica*, *S. zeamais* και *T. castaneum* ήταν υψηλότερη στους 32 σε σχέση με τους 22°C. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επίσης αναφερθεί για το spinosad και το spinetoram ως προστατευτικά των σπόρων κατά του *P. truncatus* στον αραβόσιτο και των *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum* στο σιτάρι (Athanassiou & Kavallieratos, 2014). Η λογική για αυτή την επίδραση είναι ότι σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνονται οι σημαντικές μεταβολικές δραστηριότητες του εντόμου, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι τα έντομα είναι πιο ευάλωτα στον τοξικό παράγοντα (Athanassiou & Kavallieratos, 2014). Επιπλέον, τα έντομα είναι συνήθως πιο ευκίνητα στις υψηλές θερμοκρασίες και συνεπώς έχουν μεγαλύτερη επαφή με το υπόστρωμα στο οποίο έχει εφαρμοστεί κάποιο εντομοκτόνο (Kavallieratos *et al.*, 2015a). Ωστόσο, τα αποτελέσματα των παραγώγων του πυρρολίου 3i και 3k ήταν πιο αποτελεσματικά στους 25 σε σύγκριση με τους 20 ή τους 30 °C κατά των ιδίων εντόμων ειδών στόχων. Έχει διαπιστωθεί ότι το chlorfenapyr προκαλεί υψηλότερη θνησιμότητα στα *L. bostrychophila*, *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum* στους 25 ή στους 30 °C σε σύγκριση με τους 20 °C ως προστατευτικό των σπόρων (Kavallieratos *et al.*, 2011). Συνεπώς, διάφορα παράγωγα του πυρρολίου μπορούν να δράσουν διαφορετικά με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Παρόμοια ευρήματα έχουν αναφερθεί για τα δύο εντομοκτόνα τα οποία βασίζονται στους μεταβολίτες (σπινοσίνες) του ακτινομύκητα *S. spinosa*, όπως το spinosad, το οποίο περιέχει την σπινοσίνη A και την σπινοσίνη D και το spinetoram το οποίο περιέχει την σπινοσίνη L και την σπινοσίνη J (Dripps *et al.*, 2011), η θερμοκρασία μπορεί ή δεν μπορεί να παίζει ρόλο στην αποτελεσματικότητά τους έναντι των εντόμων των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων. Για παράδειγμα, οι Athanassiou *et al.* (2008c) ανέφεραν ότι η

θνησιμότητα του *S. oryzae* στο σιτάρι, στο οποίο είχε εφαρμοστεί υγρό σκεύασμα του spinosad, είχε επηρεαστεί θετικά από τις θερμοκρασίες που κυμαίνονταν από 20 έως 30 °C. Εν αντιθέσει, η θνησιμότητα του ίδιου είδους εντόμου δεν επηρεάστηκε από την θερμοκρασία σε σιτάρι στο οποίο είχε εφαρμοστεί το spinetoram (Vassilakos & Athanassiou, 2013). Από πρακτική άποψη, μια πιθανή εφαρμογή των δοκιμασθέντων παραγώγων του πυρρολίου, κυρίως του 3a στο σιτάρι, θα μπορούσε να βελτιστοποιήσει τα μέτρα ελέγχου στις υψηλές θερμοκρασίες (30 °C) κατά του *T. confusum*, δεδομένου ότι η αναπτυξιακή περίοδος από ωό σε ενήλικο καθώς και η γονιμότητα των θηλέων ατόμων ευνοούνται από τις θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ των 29 και 34 °C (Park & Burton Frank, 1948, Aitken, 1975). Αντιθέτως, οι θερμοκρασίες ≥ 31 °C αναστέλλουν την ανάπτυξη του *E. kuehniella* από το ωό σε ακμαίο, αλλά στους 25 °C επιταχύνεται η ανάπτυξή του (Jacob & Cox, 1977). Συνεπώς, μία συνδυασμένη εφαρμογή των παραγώγων του πυρρολίου 3i ή 3k με τα παράγωγα του πυρρολίου 3a, 3g, 3l, 3m και 3h, θα μπορούσαν να προσφέρουν ουσιαστικό έλεγχο και για τα δύο είδη, περιορίζοντας την επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας, τουλάχιστον μεταξύ των 25 και 30 °C. Η έννοια των συνδυασμένων μεταχειρίσεων θα μπορούσε να επεκταθεί με άλλα εντομοκτόνα που ήδη χρησιμοποιούνται ως προστατευτικά των σπόρων δημητριακών (π.χ., spinosad, πυρεθροειδή, γαίες διατομών). Οι υποθέσεις αυτές ωστόσο, αξίζουν περαιτέρω πειραματική εργασία για τα ίδια έντομα ή για άλλα είδη εντόμων των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων σε διαφορετικά είδη δημητριακών, δεδομένου ότι προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι οι συνδυασμοί εντομοκτόνων θα μπορούσαν να είναι ή να μην είναι πιο αποτελεσματικοί από τις μεμονωμένες εφαρμογές των εντομοκτόνων αυτών. Για παράδειγμα, οι Nayak & Darglish (2007) βρήκαν ότι ο συνδυασμός 1 ppm spinosad με 10 ppm chlorpyrifos-methyl ήταν ικανός να προκαλέσει τον πλήρη έλεγχο των *L. bostrychophila*, *L. decolor*, *L. entomophila* και *L. paeta* για 3 μήνες στο σιτάρι εν αντιθέσει με το spinosad ή το chlorpyrifos-methyl μεμονωμένων. Ωστόσο, ο Darglish (2008) δεν βρήκε σημαντικές διαφορές στην θνησιμότητα του *S. oryzae* στο σιτάρι με την εφαρμογή του chlorpyrifos-methyl ή στους συνδυασμούς του chlorpyrifos-methyl με το spinosad ή το *s*-methoprene. Παρόμοια αποτελέσματα κατεγράφησαν από τους Athanassiou & Kavallieratos (2014) για τον συνδυασμό του spinosad και του spinetoram στο σιτάρι κατά των *P. truncatus*, *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum*.

Τα παράγωγα του πυρρολίου 3i, 3k, 3a, 3g, 3l και 3m επηρεάστηκαν από την ΣΥ σε όλους σχεδόν τους συνδυασμούς οι οποίοι εξετάστηκαν. Το επίπεδο 75% ΣΥ μετρίασε την αποτελεσματικότητα των παραγώγων του πυρρολίου, ενώ το 55% ΣΥ την ενίσχυσε. Το γεγονός ότι τα παράγωγα του πυρρολίου εφαρμόστηκαν ως σκόνες, και ως προς την αποτελεσματικότητά τους εξαρτώνται από την ΣΥ και την θερμοκρασία, ενδέχεται να υποδηλώνει ότι αυτές οι ενώσεις έχουν τόσο φυσικό όσο και βιοχημικό τρόπο δράσεως. Η αδρανοποίηση των σωματιδίων τους δια μέσω της απορροφήσεως του ύδατος από το υγρό περιβάλλον, όπως στην περίπτωση των γαιών διατόμων, θα μπορούσε να επηρεάσει άμεσα την αποτελεσματικότητά τους (Subramanyam & Roesli, 2000, Korunic, 1998, Fields & Korunic, 2000). Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι υφίσταται υψηλή αποτελεσματικότητα των εντομοκτόνων τα οποία βασίζονται στην δέσμευση του ύδατος από το σώμα των εντόμων στις υψηλές θερμοκρασίες (Arthur, 2000, Fields & Korunic, 2000). Το γεγονός ότι τα δοκιμασθέντα παράγωγα του πυρρολίου επιδεικνύουν αυξημένη εντομοκτόνο αποτελεσματικότητα σε χαμηλά επίπεδα ΣΥ είναι σημαντικό, δεδομένου ότι το *T. confusum* είναι ανθεκτικό σε ξηρές συνθήκες (Aitken, 1975). Η αποτελεσματικότητα του παραγώγου 3h επηρεάστηκε από την ΣΥ, ως ανωτέρω, σε ορισμένους συνδυασμούς, δηλαδή στους 30 °C, για εκθέσεις μεγαλύτερες των 7 ημερών στην περίπτωση του *T. confusum*, ή στους 25 °C για οποιαδήποτε έκθεση στην περίπτωση του *E. kuehniella*. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με την επίδραση της ΣΥ στην εντομοκτόνο αποτελεσματικότητα του chlorfenapyr ως προστατευτικό του σιταριού, η οποία διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών ειδών εντόμων, των δόσεων, των θερμοκρασιών και των διαστημάτων της εκθέσεως (Kavallieratos *et al.*, 2011). Επιπλέον, η πλειοψηφία των δοκιμασθέντων παραγώγων του πυρρολίου προκάλεσε τα υψηλότερα επίπεδα θνησιμότητας, κατά των δύο ειδών εντόμων στα 10 ppm. Παρόμοια εικόνα της δόσεως έχει παρατηρηθεί για το chlorfenapyr ως προστατευτικό των σιτηρών κατά των *L. bostrychophila*, *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. confusum* (Kavallieratos *et al.*, 2011). Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι ο βιοχημικός τρόπος δράσεως θα μπορούσε επιπλέον να εξηγήσει την παρατηρούμενη εντομοκτόνο δράση των ενώσεων που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Ο τρόπος δράσεως του εμπορικός διαθέσιμου εντομοκτόνου με βάση το πυρρόλιο (chlorfenapyr) βασίζεται στην διατάραξη της παραγωγής της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και του κυτταρικού θανάτου, μέσω μιας οξειδωτικής απομακρύνσεως της N-ethoxymethyl ομάδας του μορίου το οποίο δεν υπάρχει στις

ενώσεις αυτές. Όλες οι ενώσεις sulfanyl 5H-dihydropyrrole που εξετάτηκαν στην Διδακτορική Διατριβή είναι NH παράγωγα με δραστικές ομάδες που θα μπορούσαν να δράσουν ως θέσεις προσδέσεως για τους υποδοχείς οι οποίοι σχετίζονται με τους καλωδιακούς διαύλους (κανάλια) νατρίου με τάση (Voltage-gated Sodium Channels, VgSCh) και να εμποδίσουν τις δραστηριότητές τους. Οι διαφορετικές εντομοκτόνες δραστηριότητές τους μπορούν να εξηγηθούν από την επιρροή των συνδεδεμένων ομάδων στα άτομα του O και του S (μεθύλιο, αιθύλιο, τριτοταγές-βουτύλιο, φαινύλιο) επί της συνδέσεως του N-H σε αυτούς τους υποδοχείς. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες μελέτες εν συγκρίσει με ενώσεις-μάρτυρες και με διαφορετικούς συζευκτές ώστε να αποσαφηνιστεί ο προτεινόμενος βιοχημικός τρόπος δράσεως των εξετασθέντων ενώσεων.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα αποτελέσματα των τεσσάρων σειρών βιοδοκιμών, το είδος του δημητριακού ήταν σημαντικός παράγοντας που επηρέασε την απόδοση των παραγώγων του πυρρολίου ως προστατευτικά των αποθηκευμένων σιτηρών. Συγκεκριμένως, όλα τα δοκιμασθέντα παράγωγα του πυρρολίου ήταν πιο αποτελεσματικά στο κριθάρι, όπου η θνησιμότητα των προνυμφών ή των ακμαίων *T. confusum* και των προνυμφών *E. kuehniella* ήταν 100%, ενώ στον αραβόσιτο παρατηρήθηκαν τα χαμηλότερα ποσοστά θνησιμότητας, εν συγκρίσει με το κριθάρι ή το σιτάρι. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα ευρήματα για άλλα σημαντικά προστατευτικά των σιτηρών, τα οποία είναι λιγότερο αποτελεσματικά στον αραβόσιτο σε σχέση με άλλα δημητριακά. Για τις γαίες διατομών, οι Athanassiou *et al.* (2003) διαπίστωσαν ότι η αποτελεσματικότητά τους ήταν υψηλότερη στο κριθάρι από ότι στον αραβόσιτο. Επίσης, οι Kavallieratos *et al.* (2005) συσχέτισαν την υψηλή αποτελεσματικότητα των γαιών διατόμων κατά των ακμαίων *R. dominica* με την υψηλή (>82%) συγκράτηση των γαιών διατόμων στην επιφάνεια ολοκλήρων σπόρων κριθαριού, η οποία είναι τραχιά, και την μικρότερη αποτελεσματικότητά τους με την μικρότερη συγκράτησή τους (<52%) στην επιφάνεια του αποφλοιωμένου σπόρου της κριθής, η οποία είναι ομαλή. Για το spinosad, οι Athanassiou *et al.* (2008b) βρήκαν ότι ήταν πιο δραστικό στο σιτάρι από ότι στον αραβόσιτο, το ρύζι ή το κριθάρι κατά του *S. oryzae*. Οι Kavallieratos *et al.* (2011) βρήκαν ότι το chlorfanapyr ήταν λιγότερο αποτελεσματικό στο αναποφλοιώτο ρύζι και τον αραβόσιτο από ότι στον σίτο και το κριθάρι για τον έλεγχο του *S. oryzae* ενώ για τον έλεγχο του *R. dominica* ήταν λιγότερο αποτελεσματικό στον αραβόσιτο από ότι στο κριθάρι ή το σιτάρι. Σε μια πρόσφατη μελέτη, οι Vassilakos *et al.* (2015)

ανέφεραν ότι η θνησιμότητα του *S. oryzae* στον αραβόσιτο όπου είχε εφαρμοστεί το spinetoram, ήταν μικρότερη από ότι στην βρώμη, το ρύζι, την σίκαλη, το τριτικάλε, το σκληρό ή το μαλακό σιτάρι. Κάποιοι από τους λόγους που προτείνονται για αυτές τις παρατηρήσεις, περιλαμβάνουν τις πιθανές διαφορές στις προσκολλητικές ιδιότητες των διαφόρων ειδών σιτηρών στο εντομοκτόνο (Athanassiou & Kavallieratos, 2005, Kavallieratos *et al.*, 2005), τις διαφορές στο ποσοστό της αποδομήσεως μετά την εφαρμογή (Chintzoglou *et al.*, 2008) ή τις αρνητικές αλληλεπιδράσεις των χημικών χαρακτηριστικών των σπόρων του αραβοσίτου με το εντομοκτόνο (Chintzoglou *et al.*, 2008). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Vassilakos *et al.* (2012) βρήκαν ότι το spinetoram ήταν πολύ αποτελεσματικό στον αραβόσιτο και το σιτάρι κατά των ακμαίων *P. truncatus* και *R. domonica*, αντιστοίχως. Ομοίως, οι Athanassiou & Kavallieratos (2014) βρήκαν ότι για τα ακμαία *T. confusum* το spinetoram παρουσίασε την υψηλότερη θνησιμότητα στον αραβόσιτο σε σχέση με το κριθάρι, την σίκαλη ή τον σιτάρι. Ορισμένα έντομα δε, έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσονται ευκολότερα σε ορισμένα προϊόντα από ότι σε κάποια άλλα, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να αυξηθεί η επιβίωσή τους στα προτιμώμενα προϊόντα μετά από την έκθεσή τους σε δεδομένο εντομοκτόνο. Για παράδειγμα, τα ψωκόπτερα των αποθηκευμένων προϊόντων δεν μπορούν να αναπτυχθούν πολύ εύκολα στον αραβόσιτο (Orit & Throne, 2008, Athanassiou *et al.*, 2010d) έχοντας ως αποτέλεσμα την αυξημένη ευαισθησία τους στα εντομοκτόνα επαφής τα οποία εφαρμόζονται σε αυτό το δημητριακό (Athanassiou *et al.*, 2009).

Το γεγονός ότι οι πυρρόλες είναι μια νέα ομάδα εντομοκτόνων (Legaspi *et al.*, 2000), παρουσιάζοντας ένα μοναδικό τρόπο δράσεως (Sparks, 1996), τα κατηγοριοποιεί στα πολλά υποσχόμενα εντομοκτόνα τα οποία συνεπώς ενδέχεται να παίξουν ένα ρόλο στην προστασία των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων. Όλες οι εξετασθέντες ενώσεις της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής διαφέρουν στον διαφορετικό εστερικό υποκαταστάτη και στην άλκυλο ομάδα που συνδέεται στο θείο. Φαίνεται ότι ο αρωματικός χαρακτήρας του πυρρολίου και η επιπεδότητα αυτού του συστήματος είναι απαραίτητα για τη δραστηριότητα των ενώσεων, δεδομένου ότι τα παράγωγα του πυρρολίου 2a-*syn*, 2a-*anti*, 2f-*syn* και 2f-*anti*, δεν ήταν τοξικά. Κατέστη προφανές ότι η εντομοκτόνος δράση των παραγώγων του πυρρολίου σχετίζεται με το γεγονός ότι το άτομο του αζώτου δεν πρέπει να υποκατασταθεί. Στην πραγματικότητα, το αρωματικό παράγωγο του πυρρολίου 0665, το οποίο έχει ένα άτομο αζώτου υποκατεστημένο με άλκυλο ομάδα, είχε ως αποτέλεσμα την μέτρια

τοξικότητα έναντι όλων των δοκιμασθέντων ειδών εντόμων. Εν τούτοις, οι πιο τοξικές ενώσεις βρέθηκαν να είναι οι 3a, 3g, 3h, 3i, 3k, 3l και 3m, οι οποίες διατηρούν τα δύο χαρακτηριστικά, και αποδείχθηκαν ιδιαίτερες αποτελεσματικές κατά των *E. kuehniella* και *T. confusum*.

Εν κατακλείδι, αξιολογήθηκε για πρώτη φορά η εντομοκτόνος δράση επτά νέων παραγώγων του πυρρολίου κατά των *T. confusum* και *E. kuehniella*. Η δράση τους βρέθηκε να επηρεάζεται από την θερμοκρασία, την υγρασία, το είδος του δημητριακού, την δόση, το είδους του εντόμου και το στάδιο της ζωής του. Απαιτούνται περισσότερες μελέτες για την περαιτέρω αξιολόγηση της αποδόσεως αυτών των νέων δραστικών ουσιών για την προστασία των σιτηρών μετασυλλεκτικώς από άλλα επιβλαβή έντομα, δεδομένου ότι τα διαφορετικά είδη εντόμων εμφανίζουν διαφορετική ευαισθησία στα εντομοκτόνα (Kavallieratos *et al.*, 2011). Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή τεκμηριώνει ότι οι ενώσεις sulfanyl 5*H*-dihydro-pyrrole μπορούν να λειτουργήσουν ως πολλά υποσχόμενα προστατευτικά των αποθηκευμένων σιτηρών υπό ορισμένους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, γεγονός το οποίο μπορεί να βοηθήσει στην προώθησή τους προς το σχηματισμό νέας τάξεως εντομοκτόνων. Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η εμπλοκή της ποσοτικής σχέσεως δομής - δραστηριότητας (QSAR) στις μελλοντικές μελέτες προκειμένου να βοηθήσει στην σύνθεση νέων παραγώγων του πυρρολίου με βελτιστοποιημένη απόδοση.

Βιβλιογραφία

- Abdelgaleil, S.A.M., Mohamed, M.I.E., Shawir, M.S. & Abou Taleb H.K.** (2016) Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of essential oils of different plant species from northern Egypt on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. *Journal of Pest Science* **89**, 219–229.
- Abdelghany, A.Y., Awadalla, S.S., Abdel-Bakye, N.F., El-Syrafy, H.A. & Fields, P.G.** (2010) Effect of high and low temperatures on the drugstore beetle (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Economic Entomology* **103**, 1909-1914.
- Abdella, M.M.H., Tawfic, M.F.S. & Awadallah, K.T.** (1985) Biological studies on the bethylid parasitoid *Holepyris sylvanidis* Bréthes. *Annals of Agricultural Sciences* **23**, 1355-1363.
- Abro, G.H., Corbitt, T.S., Christie, P.T. & Wright, v D.J.** (1993) Sub-lethal effects of abamectin on *Plutella xylostella* L. and *Spodoptera littoralis* Boisduval larvae. *Crop Protection* **12**, 39-44.
- Agricultural Research Service** (1986) Stored-Grain Insects. D.S. Government Printing Office Washington, D.C. 20-102.
- Ahmad, M., Iqbal Arif, M. & Ahmad, Z.** (2003) Susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to new chemistries in Pakistan. *Crop Protection* **22**, 539-544.
- Ahmed, K.N. & Islam, W.** (1988) A new record of the parasite *Rhabdepyris zaeae* Waterston (Hymenoptera: Bethyridae) from Bangladesh and some aspects of its biology. *Bangladesh Journal of Zoology* **16**, 137-141.
- Ahmed, K.N., Khatun, M., Nargis, A. & Dey, N.C.** (1997) Mating, egg laying and host feeding behaviour of *Rhabdepyris zaeae* Waterston (Hymenoptera: Bethyridae) parasitizing *Tribolium confusum* larvae. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* **32**, 633-637.
- Aitken, A.D.** (1975) Insect travelers. I: Coleoptera. Technical Bulletin 31, HMSO, London, UK.
- Akbar, W., Lord, J.C., Nechols, J.R. & Howard, R.W.** (2004) Diatomaceous earth increases the efficacy of *Beauveria bassiana* against *Tribolium castaneum*

- larvae and increases conidia attachment. *Journal of Economic Entomology* **97**, 273-280.
- Al-Kirshi, A.G., H. Boshow, W.E. Burkholder and C. Reichmuth. 1996.** The biology of the parasitoid *Laelius pedatus* (Hymenoptera: Berthylidae), and its potential for the biological control of *Trogoderma granarium* and *Trogoderma angustum* (Coleoptera: Dermestidae). *Proceedings of the 20th International Congress of Entomology*, Florence, Italy, **pp.** 554.
- Alavi, H.R., Htenas, A., Kopicki, R., Shepherd, A.W. & Clarete, R. (2012)** Trusting Trade and the Private Sector for Food Security in Southeast Asia. World Bank Publications: Washington, DC, USA.
- Ammar, I.M.A. (1988)** Residual bioactivity of insect growth regulators against *Sitophilus oryzae* (L.) in wheat grain. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* **61**, 56–60.
- Anonymous (1986)** Stored Grain Insects, Agricultural Research Services, United Stated Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Anton, K.W., Halperin, J. & Calderon, M. (1997)** An annotated list of the Bruchidae (Coleoptera) of Israel and adjacent areas. *Israel Journal of Entomology* **31**, 59-96.
- Arbogast, R.T. (1991)** Beetles: Coleoptera. In: J.R. Gorham (Ed.), Ecology and management of food-industry pests. Association of Official Analytical chemists, Arlington, VA. **pp.** 131-150.
- Arlan, L.G., Vyszanski Moher, D., Johanson, S.G.O. & Van Hage Hamsten, M. (1997)** Allergenic characterization of *Tyrophagus putrescentiae* using sera from occupationally exposed farmers. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology* **79**, 525-529.
- Armstrong, J.W. & Follet, P.A. (2007).** Hot-water immersion quarantine treatment against Mediterranean fruit fly and oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) eggs and larvae in litchi and longan fruit exported from Hawaii. *Journal of Economic Entomology* **100**, 1091–1097.
- Arthur, F.H. (1996)** Grain protectants: current status and prospects for the future. *Journal of Stored Products Research* **32**, 293–302.
- Arthur, F.H. (1998)** Effects of a flour food source on red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) survival after exposure on concrete treated with cyfluthrin. *Journal of Economic Entomology* **91**, 773-778.

- Arthur, F.H.** (1999) Effect of temperature on residual toxicity of cyfluthrin wettable powder. *Journal of Economic Entomology* **92**, 695–699.
- Arthur, F.H.** (2000) Toxicity of diatomaceous earth to red flour beetles and confused flour beetles (Coleoptera: Tenebrionidae): effects of temperature and relative humidity. *Journal of Economic Entomology* **93**, 526–532.
- Arthur, F.H.** (2004) Evaluation of methoprene alone and in combination with diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) on stored wheat. *Journal of Stored Products Research* **40**, 485–498.
- 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.** (2013) Dosage rate, temperature, and food source provisioning affect susceptibility of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* to chlorfenapyr. *Journal of Pest Science*. **86**, 507-213.
- Arthur, F.H.** (2015a) Residual efficacy of pyrethrin + methoprene for control of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* in a commercial flour mill. *Journal of Stored Products Research* **64**, 42–44.
- Arthur, F.H.** (2015b) Food source effect and residual efficacy of chlorfenapyr as a surface treatment on sealed and unsealed concrete. *Journal of Stored Products Research* **64**, 65–71.
- Arthur, F.H.** (2016) Efficacy of methoprene for multi-year protection of stored wheat, brown rice, rough rice and corn. *Journal of Stored Products Research* **68**, 85–92.
- Arthur, F.H. & Campbell, J.F.** (2008) Distribution and efficacy of pyrethrin aerosol to control *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in food storage facilities. *Journal of Stored Products Research* **44**, 58–64.
- Arthur, F.H. & Fontenot, E.A.** (2012) Residual activity of methoprene and novaluron as surface treatments to manage the flour beetles, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. *Journal of Insect Science* **12**, 95.
- Arthur, F. H. & Hartzler, K.L.** (2018) Susceptibility of selected stored product insects to a combination treatment of pyriproxyfen and novaluron. *Journal of Pest Science* **91**, 699–705.

- Arthur, F.H., Yue, B. & Wide, G.E.** (2004) Susceptibility of stored-product beetles on wheat and maize treated with thiamethoxam: effects of concentration, exposure interval, and temperature. *Journal of Stored Products Research* **40**, 527–546.
- Arthur, F.H., Hartzler, K.L., Throne, J.E. & Flinn, P.W.** (2015) Susceptibility of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Trogoderma inclusum* (Coleoptera: Dermestidae) to cold temperatures. *Journal of Stored Products Research* **64**, 45–53.
- Arthur, F.H., Hartzler, K.L., Throne, J.E. & Flinn, P.W.** (2017) Freezing for control of stored-product psocids. *Journal of Stored Products Research* **72**, 166–171.
- Athanassiou, C.G. & Kavallieratos, N.G.** (2005) Insecticidal effect and adherence of PyriSec[®] in different grain commodities. *Crop Protection* **24**, 703-710.
- Athanassiou, C.G. & Korunic, Z.** (2007) Evaluation of two new diatomaceous earth formulations, enhanced with abamectin and bitterbarkomycin, against four storedgrain beetle species. *Journal of Stored Products Research* **43**, 468-473.
- 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. *Journal of Pest Science* **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 Silico-Sec[®] against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Protection*. **22**, 1141-1147.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Andris, N.S.** (2004a) Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations against adults of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on oat, rye and triticale. *Journal of Economic Entomology* **97**, 2160-2167.
- Athanassiou, C.G., Papagregoriou, A.S. & Buchelos, C.Th.** (2004b) 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.G., Kavallieratos, N.G., Vayias, B.J., Papagregoriou, A.S., Dimizas, C.B. & Buchelos, C.Th.** (2004c) Residual toxicity of beta cyflurthrin, alpha cypermethrin and deltamethrin against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on stored wheat. *Applied Entomology and Zoology* **39**, 195–202.
- Athanassiou, C.G., Vayias, B.J., Dimizas, C.B., Kavalieratos, 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. *Journal of Stored Product Research* **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 Insecticidal Effect of SilicoSec Against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae. *Journal of Economic Entomology* **99**, 1520-1524.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Peteinatos, G.C., Prtrou, S.E., Boukouvala, M.C. & Tomanovic, Z.** (2007) Influence of temperature and humidity on insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations against larger grain borer (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Economic Entomology* **100**, 599-603.
- Athanassiou, C.G., Palyvos, N.E. & Kakouli-Duarte, T.** (2008a) Insecticidal effect of *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Nematoda: Steinernematidae) against *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) in stored wheat. *Journal of Stored Products Research* **44**, 52-57.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Chintzoglou, G.J., Peteinatos, G.G., Boukouvala, M.C., Petrou, S.S. & Panoussakis, E.C.** (2008b) Effect of temperature and commodity on insecticidal efficacy of spinosad dust against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Economic Entomology* **101**, 976-981.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Yiatilis, A.E., Vayias, B.J., Mavrotas, C.S. & Tomanovic, Z.** (2008c) Influence of temperature and humidity on the efficacy of spinosad against four stored grain beetle species. *Journal of Insect Science* **8**, 60.

- Athanassiou, C.G., Arthur, F.H. & Throne, J.E.** (2009) Efficacy of spinosad in layertreated wheat against five stored-product insect species. *Journal of Stored Products Research* **45**, 236-240.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.C., Menti, H. & Karanastasi, E.** (2010a) Mortality of four stored product pests in stored wheat when exposed to doses of three entomopathogenic nematodes. *Journal of Economic Entomology* **103**, 977-984.
- Athanassiou, C.G., Arthur, F.H. & Throne, J.E.** (2010b) Efficacy of layer treatment with methoprene for control of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) on wheat, rice and maize. *Pest Management Science* **67**, 380–384.
- Athanassiou, C.G., Arthur, F.H. & Throne, J.E.** (2010c) Efficacy of methoprene for control of five species of psocids (Psocoptera) on wheat, rice, and maize. *Journal of Food Protection* **73**, 2244– 2249.
- Athanassiou, C.G., Opit, G.P. & Throne, J.E.** (2010d) Influence of commodity type, percentage of cracked kernels, and wheat class on population growth of stored-product psocids (Psocoptera: Liposcelidae). *Journal of Economic Entomology* **103**, 985-990.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Vayias, B.J., Tomanovic, Ž., Petrović, A., Rozman, V., Adler, C., Korunic, Z., Milovanović, D.** (2011a) Laboratory evaluation of diatomaceous earth deposits mined from several locations in central and southeastern Europe as potential protectants against coleopteran grain pests. *Crop Protection* **30**, 329-339.
- Athanassiou, C.G., Arthur, F.H., Kavallieratos, N.G. & Throne, J.E.** (2011b) Efficacy of spinosad and methoprene, applied alone or in combination against six stored-product insect species. *Journal of Pest Science* **84**, 61–71.
- 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.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G. & Lazzari, F.A.** (2014a) Insecticidal effect of Keepdry for the control of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) on

- wheat under laboratory conditions. *Journal of Stored Products Research* **59**,133–139.
- Athanassiou, C.G.,Kavallieratos,N.G., Arthur, F.H.&Throne, J.E.** (2014b) Residual efficacy of chlorfenapyr for control of stored-product psocids (Psocoptera). *Journal of Economic Entomology* **10**, 854–859.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C., Mavroforos, M.E., Kontodimas, D.C.** (2015) Efficacy of alpha-cypermethrin and thiamathoxam against *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) and *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) on concrete. *Journal of Stored Product Research* **62**, 101-107.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C.** (2016a). Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. *Journal of Stored Product Research* **69**, 72-77.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Chiriloaie, A., Vassilakos, T.N., Fătu, V. Drosu, S. Ciobamu, M. & Dudoiu, R.** (2016b) Insecticidal efficacy of natural diatomaceous earth deposits from Greece and Romania against four stored grain beetles: the effect of temperature and relative humidity. *Bulletin of Insectology* **69**, 25-34.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Sciarretta, A. & Trematerra, P.** (2016c) Mating disruption of *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) in a storage facility: Spatio-temporal distribution changed after long-term application. *Journal of Stored Products Research* **67**, 1-12.
- Athanassiou, C.G., Arthur, F.H., Kavallieratos, N.G. & Hatzer, K.L.** (2018) Susceptibility of Different Life Stages of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) to Cold Treatment. *Journal of Economic Entomology* **111**, 1481–1485.
- Ayvaz, A., Sagdic, O., Karaborklu, S. & Ozturk, I.** (2010) Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. *Journal of Insect Science* **10** (21).
- Badii, K.B., Adarkwash, C., Ulrichs, C. & Obeng Ofori, D.** (2013) Efficacy of diatomaceous earth formulations against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in Kersting's groundnut (*Macrotyloma geocarpum*

- Harms): influence of dosage rate and relative humidity. *Journal of Pest Science* **87**, 285–294.
- Banks, H.J.** (1979) Identification of stored product *Cryptolestes* spp. (Coleoptera: Cucujidae): a rapid technique for preparation of suitable mounts. *Australian Journal of Entomology* **18**, 217–222.
- Batta, Y.A.** (2004) Control of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) with various formulations of *Metarhizium anisopliae*. *Crop Protection* **23**, 103-108.
- Batta, Y.A.** (2005) Control of the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (F.), (Coleoptera: Bostrychidae) by treatments with residual formulations of *Metarhizium anisopliae* (Metschinkoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Journal of Stored Products Research* **41**, 221-229.
- Batta, Y.** (2007) Biocontrol of almond bark beetle (*Scolytus amygdali* GeurinMeneville, Coleoptera: Scolytidae) using *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Journal of Applied Microbiology* **103**, 1406–1414.
- Batta, Y.** (2016) Recent advances in formulation and application of entomopathogenic fungi for biocontrol of stored grain insects. *Biocontrol Science and Technology* **26**, 1171–1183.
- Batta, Y.A.** (2018) Efficacy of two species of entomopathogenic fungi against the stored-grain pest, *Sitophilus granarius* L. (Curculionidae: Coleoptera), via oral ingestion. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* **28**, 44.
- Batta, Y.A., Murdoch, G. & Mansfield, S.** (2010) Investigations into the formulation and efficacy of entomopathogenic fungi against larvae of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L., Coleoptera: Tenebrionidae). *General and Applied Entomology* **39**, 5–8
- Beckett, S.J., Fields, P.G. & Subramanyam, Bh.** (2007) Disinfestation of stored products and associated structures using heat. In: Tang, J., Mitcham, E., Wang, S. & Lurie, S. (Eds) (2007) Heat Treatments for Post Harvest Pest Control: Theory and Practice. CABI, Wallingford, Oxfordshire, UK. **pp.** 182-237.
- Bedini, S., Flamini, G., Girardi, J., Cosci, F. & Conti, B.** (2015) Not just for beer: evaluation of spent hops (*Humulus lupulus* L.) as a source of eco-friendly repellents for insect pests of stored foods. *Journal of Pest Science* **88**, 583–592.

- Bell, C.H., Wilson, S.M. & Banks, H.J.** (1984) Studies of the toxicity of phosphine to tolerant stages of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research* **20**, 111-117.
- Benhalima, H., Chaudhry, M.Q., Mills, K.A. & Price, N.R.** (2004) Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *Journal of Stored Products Research* **40**, 241–249.
- Bert, B.L., Larson, L.L., Schoonover, J.R., Sparks, T.C. & Thompson, G.D.** (1997) Biological properties of spinosad. *Down to Earth* **52**, 6–13.
- Besard, L., Mommaerts, V., Abdu-Alla, G. & Smagghe, G.** (2011) Lethal and sublethal side-effect assessment supports a more benign profile of spinetoram compared with spinosad in the bumblebee *Bombus terrestris*. *Pest Management Science* **67**, 541-547.
- Bhattacharya, A.K. & Pant, N.C.** (1968) Dietary efficiency of natural, semi-synthetic and synthetic diets with special reference to qualitative amino acid requirements of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research* **4**, 249-257.
- Birzele, B. & Prange, A.** (2003) *Fusarium* spp. and storage fungi in suboptimally stored wheat: Mycotoxins and influence on wheat gluten proteins. *Mycotoxin Research* **19**, 162-170.
- Boemare, N.** (2002) Biology, taxonomy, and systematics. Entomopathogenic nematology. Gaugler R. New York, CABI, pp. 35–56.
- Borah, B. & Chahal, B.S.** (1979) Development of resistance in *Trogoderma granarium* Everts to phosphine in the Punjab. *FAO Plant Protection Bulletin* **27**, 77–80.
- Borgemeister, C., Tchabi, A. & Scholz, D.** (1998) Trees or stores? The origin of migrating *Prostephanus truncatus* collected in different ecological habitats in southern Benin. *Entomologia Experimentalis Applicata* **87**, 285–294.
- Brewer, M.J. & Ferrell, M.A.** (1992) Stored Grain Insects of Wyoming, an Introduction. MP-22. Laramie, WY, Cooperative Extension Service.
- Brower, J.H., Smith, L., Vail, P.V. & Flinn, P.W.** (1996) Biological Control. In: Subramanyam, B. & Hagstrum, D.W. (Eds) (1996) Integrated management of insects in stored products. Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 223-286.

- Burges, H.D.** (1957) Studies on the dermestid beetle *Trogoderma granarium* Everts. I. Identification and duration of the developmental stages. *Entomologist's Monthly Magazine* **93**, 105-110.
- Burges, H.D.** (1959) Studies on the dermestid beetle *Trogoderma granarium* Everts: ecology in malt stores. *Annals of Applied Biology* **47**, 445-462.
- Burges, H.D.** (1962) Diapause, pest status and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts. *Annals of Applied Biology* **50**, 614-617.
- Burks, C.S. & Johnson, J.A.** (2012) Biology, Behavior, and Ecology of Stored Fruit and Nut Insects. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS. pp. 21-32.
- Burks, C.S. & Kuenen, L.P.S.** (2012) Effect of mating disruption and lure load on the number of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) males captured in pheromone traps. *Journal of Stored Products Research* **49**, 189-195.
- Burks, C.S., Johnson, J.A., Maier, D.E. & Heaps, J.W.** (2000) Temperature. In: Subramanyam, B. & Hagstrum, D.W. (Eds) (2000) *Alternatives to pesticides in stored-product IPM*. Kluwer Academic Publishers, Boston. pp. 73-104.
- Burks, C.S., McLaughlin, J.R., Miller, J.R. & Brandl, D.G.** (2011) Mating disruption for control of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in dried beans. *Journal of Stored Products Research* **47**, 216-221.
- Campos, M. & Phillips, T.W.** (2014) Attract-and-kill and other pheromone-based methods to suppress populations of the Indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology* **107**, 473-480.
- Campos, M.R., Picanc, M.C., Martins, J.C., Tomaz, A.C. & Guedes, R.N.C.** (2011) Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. *Crop Protection* **30**, 1535–1540.
- Cantín, A., Moya, P., Miranda, M.A., Primo, J. & Primo Yúfera, E.** (1998) Isolation of *N*- (2-Methyl-3-oxodecanoyl)pyrrole and *N*-(2-Methyl-3-oxodec-8-enoyl)pyrrole, two new natural products from *Penicillium brevicompactum* and synthesis of analogues with insecticidal and fungicidal activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **46**, 4748-4753.
- Cantín, A., Moya, P., Miranda, M.A., Primo, J. & Primo Yúfera, E.** (2000) Synthesis and biological evaluation of new analogues of the active fungal

- metabolites *N*-(2-Methyl-3-oxodecanoyl)-2pyrroline and *N*-(2-Methyl-3-oxodec-8-enoyl)-2-pyrroline (II). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **48**, 3682-3688.
- Cao, G., Lu, Q., Zhang, L., Guo, F., Liang, G., Wu, K., Wyckhuys, K.A.G. & Guo, Y.** (2010) Toxicity of chlorantraniliprole to Cry1Ac-susceptible and resistant strains of *Helicoverpa armigera*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **98**, 99-103.
- Cao, J.Q., Guo, S.S., Wang, Y., Pang, X., Geng, Z.F., Du, S.S.** (2018) Toxicity and repellency of essential oil from *Evodia lenticellata* Huang fruits and its major monoterpenes against three stored-product insects. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **160**, 342–348.
- Carlson, S.D. & Ball, H.J.** (1962) Mode of action and insecticidal value of a diatomaceous earth as a grain protectant. *Journal of Economic Entomology* **55**, 964-969.
- Carpenter, J.B. & Elmer, H.S.** (1978) USDA Agri. Handbook No. 527. Pests and diseases of the date palm. USDA, Washington, D.C.
- Chakraverty, A., Mujumdar, A.S., Raghavan, V., & Ramaswamy, H.S.** (2003) Handbook of postharvest technology - Cereals, fruits, vegetables, teas and spices. Boca Raton: CRC.
- Chakraverty, A., & Singh, R.P.** (2014) Postharvest Technology and Food Process Engineering. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Champ, B.R. & Dyte, C.E.** (1976) Report of the FAO global survey of pesticide susceptibility of stored grain pests. FAO Plant Production and Protection Series, 5, FAO, Rome.
- Channaiah, L.** (2011). Mycotoxin. World-Grain.com. <http://www.world-grain.com/News/News%20Home/Features/2011/6/Mycotoxins.aspx?cck¼1>.
- Chanbang, Y., Arthur, F.H., Wilde, G.E., Throne, J.E. & Subramanyam, B.** (2008) Susceptibility of eggs and adult fecundity of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, exposed to methoprene. *Journal of Insect Science* **8**, 48.
- Chaudhry, M.Q.** (1997) A review of the mechanisms involved in the action of phosphine as an insecticide and phosphine resistance in stored-product insects. *Pesticide Science* **49**, 213-228.

- Chaudhry, M.Q.** (2000) Phosphine resistance: a growing threat to an ideal fumigant. *Pesticide Outlook* **11**, 88–91.
- Chefurka, W., Kashi, K.P. & Bond., E.J.** (1976) The effect of phosphine on electron transport in mitochondria. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **6**, 65-84.
- Chen, Z., Schlipalius, D., Opit, G., Subramanyam, B. & Phillips, T.W.** (2015) Diagnostic molecular markers for phosphine resistance in U.S. populations of *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica*. *PLoS One* **10**, e0121343.
- Chen, Z.Y., Guo, S.S., Cao, J.Q., Pang, X., Geng, Z.F., Wang, Y., Zhang, Z. & Du, S.S** (2018) Insecticidal and repellent activity of essential oil from *Amomum villosum* Lour. and its main compounds against two stored-product insects. *International Journal of Food Properties* **21**, 2265-2275.
- Chin, H.C., Jeffery, J., Ahmad, N.W., Kiang, H.S., Omar, B., Othman, H. & Lim, L.H.** (2010) First Report of *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelidae) as a Museum Insect Pest in Malaysia. *Sains Malaysiana* **39**, 329-331.
- 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). *International Journal of Pest Management* **54**, 277-285.
- Choudhary, A.K. & Kumari, P.** (2010) Management of mycotoxin contamination in preharvest and postharvest crops: present status and prospects. *Journal of Phytology* **2**, 37-52.
- Cleveland, C.B.** (2007) Environmental and health assessments for spinosad against the backdrop of organic certification. In: Felsot, A.J. & Racke, K.D. (Eds) (2007) Certified Organic and Biologically-Derived Pesticides: Environmental, Health, and Efficacy Assessment. Symposium Series. American Chemical Society, Washington D.C. **pp.** 109-130.
- Cloyd, R. A. & Sadof, C. S.** (2000) Effects of spinosad and acephate on western flower thrips inside and outside a greenhouse. *Hortechology* **10**, 359-362.
- Codex Alimentarius Commission** (2014) Discussion Paper on the Possible Revision of the Code of Practice for the Prevention and Reduction of Mycotoxin Contamination in Cereals (Cac/rcp 51e2003), 8th Session. Codex Committee

- on Contaminants in Foods, The Hague, the Netherlands, 31 March-4 April 2014. ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf8/cf08_14e.pdf.
- Collins, P.J.** (1990) A new resistance to pyrethroids in *Tribolium castaneum* (Herbst). *Pesticide Science* **28**, 101–115.
- Collins, P.J., Lambkin, T.M., Bridgeman, B.W. & Pulvirenti, C.** (1993) Resistance to grain-protectant insecticides in coleopterous pests of stored cereals in Queensland, Australia. *Journal of Economic Entomology* **86**, 239–245.
- Collins, P.J., Daghish, G.J., Nayak, M.K., Ebert, P.R., Schlipalius, D., Chen, W., Pavic, H., Lambkin, T.M., Kopittke, R. & Bridgeman, B.W.** (2001) Combating resistance to phosphine in Australia. In: Donahaye, E.J., Navarro, S. & Leesch, J.G. (Eds) (2001) International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products, 29 October - 3 November 2000, Fresno, CA. Executive Printing Services, Clovis, CA. **pp.** 593-607.
- Collins, P.J., Daghish, G.J., Pavic, P., Kopittke, R.A.** (2005) Response of mixed-age cultures of phosphine-resistant and susceptible strains of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, to phosphine at a range of concentrations and exposure periods. *Journal of Stored Products Research* **41**, 373–385.
- Colley, M., Stone, A. & Brewer, L.** (2015) Organic Seed Processing: Threshing, Cleaning and Storage. eOrganic. (<http://articles.extension.org/pages/18350/organic-seed-processing:-threshing-cleaning-and-storage>)
- Cogburn, R.R.** (1988) Fenoxycarb as a long-term protectant for stored rough rice. *Journal of Economic Entomology* **81**, 722–726.
- Corbet, S.A.** (1973) Oviposition pheromone in larval mandibular glands of *Ephestia kuhniella* (Zeller). *Journal of Entomology* **47**, 201-209.
- Corbitt, T.S., Green, A.S.J. & Wright, D.J.** (1989) Relative potency of abamectin against larval stages of *Spodoptera littoralis* (Boisd.), *Heliothis armigera* (Hübner) and *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection* **8**, 127-132.
- Cordova, D., Benner, E.A., Sacher, M.D., Rauh, J.J., Sopa, J.S., Lahm, G.P., Selby, T.P., Stevenson, T.M., Flexner, L., Gutteridge, S., Rhoades, D.F., Wu, L., Smith, R.M. & Tao, Y.** (2006) Anthranilic diamides: a new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **84**, 196-214.

- Corrêa, A.S., Tomé, H.V.V., Braga, L.S., Martins, G.F., de Olivera, L.O. & Guedes, R.N.C.** (2014) Are mitochondrial lineages, mitochondrial lysis and respiration rate associated with phosphine susceptibility in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *Annals of Applied Biology* **165**, 137–146.
- Cremer, J.E.** (1983) The influence in mammals of the pyrethroid insecticides. In: Hayes, A.W., Schnell, R.C. & Miya, T.S. (Eds) (1983) *Developments in the Science and Practice of Toxicology. Proceedings of the Third International Congress on Toxicology, 28 August-03 September 1983*. San Diego, CA. Elsevier, NY, pp. 61-72.
- Daglish, G.J.** (2008) Impact of resistance on the efficacy of binary combinations of spinosad, chlorpyrifos-methyl and s-methoprene against five stored-grain beetles. *Journal of Stored Products Research* **44**, 71–76.
- Daglish, G.J. & Pulvirenti, C.** (1997) Reduced fecundity of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) following exposure of adults to methoprene. *Journal of Stored Products Research* **34**, 201–206.
- Daglish, G.J. & Wallbank, B.E.** (2005) Efficacy of diflubenzuron plus methoprene against *Sitophilus oryzae* and *Rhyzopertha dominica* in stored sorghum. *Journal of Stored Products Research* **41**, 353–360.
- Daglish, G.J. & Nayak, M.K.** (2012) Potential of the neonicotinoid imidacloprid and the oxadiazine indoxacarb for controlling five coleopteran pests of stored grain. *Insect Science* **19**, 96-101.
- Daglish, G.J., Erbacher, J.M. & Eelkema, M.** (1993) Efficacy of protectants against *Callosobruchus phaseoli* (Gyll.) and *C. maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in mugbeans. *Journal of Stored Products Research* **29**, 345–349.
- Daglish, G.J., Eelkema, M. & Harrison, L.M.** (1995) Chlorpyrifos-methyl plus either methoprene or synergized phenothrin for control of Coleoptera in maize in Queensland, Australia. *Journal of Stored Products Research* **31**, 235–241.
- Daglish, G.J., Collins, P.J., Pavic, H., Kopittke, R.A.** (2002) Effects of time and concentration on the mortality of phosphine-resistant *Sitophilus oryzae* (L.) fumigated with phosphine. *Pest Management Science* **58**, 1015–1021.
- Daglish, G.J., Nayak, M.K. & Pavic, H.** (2014) Phosphine resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) from eastern Australia: inheritance, fitness and prevalence. *Journal of Stored Products Research* **59**, 237-244.

- Daglish, G.J., Nayak, M.K., Pavic, H. & Smith, L.W.** (2015) Prevalence and potential fitness cost of weak phosphine resistance in *Tribolium castaneum* (Herbst) in Eastern Australia. *Journal of Stored Products Research* **61**, 54-58.
- Dal-Bello, G., Padin, S., Lopez-Lastra, C., Fabrizio, M.** (2001) Laboratory evaluation of chemical-biological control of the rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) in stored grains. *Journal of Stored Products Research* **37**, 77-81.
- Dawson, P.S.** (1968) Xenocide, suicide and cannibalism in flour beetles. *The American Naturalist* **102**, 97-105.
- de Araújo, A.M.N., Faroni, L.R.D.A., de Oliveira, J.V., Navarro, D.M.D.A.F., Barbosa, D.R.E.S., Breda, M.O. & de França, S.M.** (2017) Lethal and sublethal responses of *Sitophilus zeamais* populations to essential oils. *Journal of Pest Science* **90**, 589–600.
- Degri, M.M. & Zainab, J.A.** (2013) A study of insect pest infestations on stored fruits and vegetables in the north eastern Nigeria. *International Journal of Science and Nature* **4**, 646-650.
- Carlo del, M., Pepe, A., Mascini, M., De Gregorio, M., Visconti, A. & Compagnone, D.** (2005) Determining pirimiphos-methyl in durum wheat samples using an acetylcholinesterase inhibition assay. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **381**, 1367-1372.
- Desmarchelier, J.M. & Allen, S.E.** (1992) Diflubenzuron as a grain protectant for control of *Sitophilus* species. *Journal of Stored Products Research* **28**, 283–287.
- Dhawan, A., Saini, S., Singh, K. & Aneja, A.** (2009) Persistence and residual toxicity of some insecticides against *Phenacoccus solenopsis* on cotton (*Gossypium* spp.). *Indian Journal of Agricultural Sciences* **79**, 203-206.
- Ding, C., Khir, R., Pan, Z., Wood, D. E., Tu, K., El-Mashad, H. & Berrios, J.** (2016). Improvement in storage stability of infrared-dried rough rice. *Food and Bioprocess Technoogy* **9**, 1010–1020.
- Dinter, A., Brugger, K., Bassi, A. & Frost, N.M.** (2008) Chlorantraniliprole (DPX-E2Y45, DuPontTM Rynaxypyr[®], Coragen[®] and Altacor[®] insecticide) a novel anthranilic diamide insecticide - demonstrating low toxicity and low risk for beneficial insects and predatory mites. *IOBC/WPRS Bulletin* **35**, 128-135.

- Dobie, P. & Kilminster, A.M.** (1978) The susceptibility of triticale to post-harvest in infestation by *Sitophilus zeamais* Motschul-sky, *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus granarius* (L.). *Journal of Stored Products Research* **14**, 87-93.
- 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.
- Dong, B., Sun, G.J., Jiang, L.Z., Ji, M. & Li. F.H.** (2009) Effect testes of indoxacarb and chlorantraniliprole on *Cnaphalocrocis medialis* Guenee. *Pesticide Science and Administration* **30**, 31-32.
- Dripps, J., Olson, B., Sparks, T. & Crouse, G.** (2008) Spinetoram: how artificial intelligence combined natural fermentation with synthetic chemistry to produce a new spinosyn insecticide. Online. Plant Health Progress. (doi:http://dx.doi.org/10.1094/PHP-2008-0822-01-PS).
- Dripps, J.E., Boucher, R.E., Chloridis, A., Cleveland, C.B., DeAmicis, C.V., Gomez, L.E., Paroonagian, D.L., Pavan, L.A., Sparks, T.C. & Watson, G.B.** (2011) The spinosyn insecticides. In: Lopez, O. & Fernandez Bolanos J.G. (Eds) (2011) Trends in insect control. Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp. 163–212.
- Du Val, P.N. Camille Jacquelin** (1868) Genera des Coléoptères d' Europe, Catalogue. Tome 3: p. 181, nota (I).
- Duangkhamchan, W., Phomphai, A., Wanna, R., Wiset, L., Laohavanich, J., Ronsse, F. & Pieters, J.G.** (2017) Infrared heating as a disinfestation method against *Sitophilus oryzae*, and its effect on textural and cooking properties of milled rice. *Food and Bioprocess Technology* **10**, 284-295.
- Duek, L., Kaufma, G., Palevky, E. & Berdicevsky, I.** (2001) Mites in fungal cultures. *Mycoses* **44**, 390-394.
- Ebeling, W.** (1971) Sorptive dust for pest control. *Annual Review of Entomology* **16**, 123-158.
- Edde, P., Eaton, M., Kells, S. & Phillips, T.** (2012) Biology, behavior, and ecology of pests in other durable commodities. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012). Stored Product Protection. Kansas State Univeristy, Manhattan, KS. pp. 45-62.
- Edston, E. & Van Hage Hamsten, M.** (2003) Death in anaphylaxis in a man with house dust mite allergy. *International Journal of Legal Medicine* **117**, 299-301.

- Ehlers, R.U.** (2003) Entomopathogenic nematodes in the European biocontrol market. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* **68**, 3–16.
- Eisa, A.A. & Ammar, I.M.A.** (1992) Persistence of insect growth regulators against the rice weevil, *Sitophilus oryzae*, in grain commodities. *Phytoparasitica* **20**, 7–13.
- El-Kady, H., Zazou, H., El-Deeb, A. & Hammad, S.M.** (1962) The biology of the dried-fruit beetle *Carpophilus hemipterus* L. (Coleoptera: Nitidulidae). *Bulletin de la Societe Entomologique d' Egypte* **46**, 97-118.
- El Kady, G.A., El Sharabasy, H.M., Mahmoud, M.F., Bahgat, I.M.** (2007) Toxicity of two potential bio-insecticides against moveable stages of *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied Science Research* **3**, 1315-1319.
- Elešrec, T., & Filipić, M.** (2011) Organophosphorous pesticides - mechanisms of their toxicity. In: Stoytcheva, M. (Ed.) (2011) Pesticides - the Impacts of Pesticides Exposure. InTech, Rijeka, pp. 243-260.
- Emery, R.N., Nayak, M.K. & Holloway, J.C.** (2011) Lessons learned from phosphine resistance monitoring in Australia. *Stewart Postharvest Review* **7**, 1–8.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization)** (2013) Diagnostics. PM 7/13 (2) *Trogoderma granarium*. EPPO Bulletin **43**, 431-448.
- European Commission** (2006a) Commission Regulation (EC) 401/2006 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of the levels of mycotoxins in foodstuffs. Off. J. Eur. Union. L 70/12-34.
- European Commission** (2006b) Commission Regulation (EC) 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Off. J. Eur. Union. L 364/ 5-24.
- European Commission** (2007) Commission Regulation (EC) 1126/2007 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards Fusarium toxins in maize and maize products. Off. J. Eur. Union. L252/3-6.
- European Commission** (2010a) Commission Regulation (EU) 165/2010 amending Regulation (EC) No 1881/2006. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards aflatoxins. Off. J. Eur. Union. L50/8-12.

- European Commission** (2010b) Commission Regulation (EU) 105/2010 amending Regulation (EC) No 1881/2006. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards ochratoxin A. Off. J. Eur. Union. L35/7-8.
- Evans, H.E.** (1978) The Bethyilidae of America North of Mexico. *Memoirs of the American Entomological Institute* **27**, 1-332.
- Fang, L., Subramanyam, B., Arthur & F.H.** (2002) Effectiveness of spinosad on four classes of wheat against five stored-product insects. *Journal of Economic Entomology* **95**, 640-650.
- FAO** (2011) Rural structures in the tropics. Design and development. Rome.
- Fedina, T.Y. and Lewis, S.M.** (2008) An integrative view of sexual selection in *Tribolium* flour beetles. *Biological Reviews* **83**, 151-71.
- Fields, P.G.** (1992) The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research* **28**, 89-118.
- Fields, P. & Korunic, Z.** (2000) The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research* **36**, 1–13.
- Fields, P.G. and White, N.D.G.** (2002) Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. *Annual Review of Entomology* **47**, 331-359.
- Fields, P.G., Subramanyam, B. & Hulasare, R.** (2012) Extreme temperatures. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) *Stored Products*. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, pp. 179-190.
- Fitzgerald, J.** (2004) Laboratory bioassays and field evaluation of insecticides for the control of *Anthonomus rubi*, *Lygus rugulipennis* and *Chaetosiphon fragaefolii*, and effects on beneficial species, in UK strawberry production. *Crop Protection* **23**, 801-809.
- Fleurat-Lessard, F.** (2016) Postharvest Operations for Quality Preservation of Stored Grain. In: Wrigley, C.W., Corke, H., Seetharaman, K. & Faubion, J. (Eds) (2016) *Encyclopedia of Food Grains*. pp. 117-125.
- Flinn, P.W. & Schöller, M.** (2012) Biological Control: Insect Pathogens, Parasitoids, and Predators. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012)

- Stored Product Protection. Kansas State University, Manhattan, KS. pp. 203-212.
- Flinn, P.W., Subramanyam, B. & Arthur, F.H.** (2004) Comparison of aeration and spinosad for suppressing insects in stored wheat. *Journal of Economic Entomology* **97**, 1465-1473.
- Flinn, P.W., Arthur, F.H., Throne, J.E., Friesen, K.S. & Hartzer, K.L.** (2015) Cold temperature disinfestation of bagged flour. *Journal of Stored Products Research* **63**, 42–46.
- Fox, P.** (1990) Insect growth regulators. PJB Publications Ltd., Richmond, UK.
- 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. *Toxicology and Applied Pharmacology* **282**, 184-194.
- Fürstenau, B., Adler, C., Schulz, H. & Hilker, M.** (2016) Host Habitat Volatiles Enhance the Olfactory Response of the Larval Parasitoid *Holepyris sylvanidis* to Specifically Host-Associated Cues. *Chemical Senses* **41**, 611–621.
- Gabarty, A., Salem, H.M., Fouda, M., Abas, A. & Ibrahim, A.A.** (2014) Pathogenicity induced by the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in *Agrotis ipsilon*. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* **7**, 95–100.
- Gahan, A.B.** (1930) Synonymical and descriptive notes on parasitic Hymenoptera. In: United States Natl. Mus. Proc. **77**, 1–12.
- García, N.** (2004) Efforts to control mites on Iberian ham by physical methods. *Experimental and Applied Acarology* **32**, 41-50.
- Gaugler, R., Grewal, P.S., Kaya, H.K. & Smith-Fiola, D.** (2000) Quality assessment of commercially produced entomopathogenic nematodes. *Biological Control* **17**, 100–109.
- Georgiou, D., Toutountzoglou, V., Muir, K.W., Hadjipavlou Litina, D. & Elemes, Y.** (2012) Synthesis of sulfur containing dihydro-pyrrolo derivatives and their biological evaluation as antioxidants. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **20**, 5103–5109.

- Germinara, G.S., De Cristofaro, A. & Rotundo, G.** (2015) Repellents effectively disrupt the olfactory orientation of *Sitophilus granarius* to wheat kernels. *Journal of Pest Science* **88**, 675–684.
- Getchell, A.I.** (2006) Efficacy of two spinosad formulations on various commodities against stored-product insects. M.Sc. thesis. Department of Grain Science and Industry, College of Agriculture, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Getchell, A.I. & Subramanyam, B.** (2008) Immediate and delayed mortality of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) adults exposed to spinosad-treated grain. *Journal of Economic Entomology* **101**, 1022-1027.
- Gholap, S.S.** (2016) Pyrrole: an emerging scaffold for construction of valuable therapeutic agents. *European Journal of Medical Chemistry* **110**, 13–31.
- Golob, P.** (1997) Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. *Journal of Stored Products Research* **33**, 69-79.
- Golob, P.** (2009) On-Farm Post-Harvest Management of Food Grains - A Manual for Extension Workers with Special Reference to Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Good, N.E.** (1933) Biology of flour beetles, *Tribolium confusum* Duv., and *T. ferrugineum* Fab. *Journal of Agricultural Research* **46**, 372-334.
- Gordh, G. & Móczár, L.** (1990) A catalog of the world Bethyridae (Hymenoptera: Aculeata). *Memoirs of the American Entomological Institute* **46**, 1-364.
- Gouamene-Lamine, C.N., Yoon, K.S. & Clark, J.M.** (2003) Differential susceptibility to abamectin and two bioactive avermectin analogs in abamectin-resistant and –susceptible strains of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* **76**, 15-23.
- Gradish, A.E., Scott- Dupree, C.D., Shipp, L., Harris, C.R. & Ferguson, G.** (2009) Effect of reduced risk pesticides for use in greenhouse vegetable production on *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae). *Pest Managment Science* **66**, 142-146.
- Guedes, R.N.C., Dover, B.A. & Kambhampati, S.** (1996) Resistance to chlorpyrifos-methyl, pirimiphos-methyl, and malathion in Brazilian and US populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Economic Entomology* **89**, 27–32.

- Guedes, R.N.C., Campbell, J.F., Arthur, F.H., Opit, G.P., Zhu, K.Y. & Throne, J.E.** (2008) Acute and behavioral sublethal responses of two stored-product psocids to surface insecticides. *Pest Management Science* **64**, 1314-1322.
- Hadaway, A.B.** (1956) The biology of the dermestid beetles *Trogoderma granarium* Everts and *Trogoderma versicolor* (Creutz.). *Bulletin of Entomological Research* **46**, 781-796.
- Hagstrum, D.W.** (1987) Seasonal variation of stored wheat environment and insect populations. *Environmental Entomology* **16**, 77-83.
- Hagstrum, D.W. & Subramanyam Bh.** (2006) Fundamentals in stored-product entomology. AACC International.
- Hagstrum, D. & Subramanyam, B.** (2009) Stored-product Insect Resource. AACC Press, St. Paul.
- Hagstrum, D.W., Reed, C. & Kenkel, P.** (1999) Management of stored wheat insect pests in the USA. *Integrated Pest Management Reviews* **4**, 127-142.
- Haines, C.P.** (1991) Insects and Arachnids of Tropical Stored Products: Their Biology and Identification. Natural Resources Institute, Kent.
- Han, J.H., Jin, B.R., Kim, J.J. & Lee, S.Y.** (2014) Virulence of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus* for the microbial control of *Spodoptera exigua*. *Biological Control* **42**, 385-390.
- Hannig G.T., Ziegler, M. & Marcon, P.G.** (2008) Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. *Pest Management Science* **65**, 969-974.
- Hayashi, T., Nakamura, S., Visarathanonth, P., Uraichuen, J. & Kengkanpanich, R.** (2004) Stored rice insect pests and their natural enemies in Thailand. JIRCAS Interantional Agricultural Series. No. 13. Funny Publishing Co. Ltd., Bangkok, Thailand.
- Heiniger, R.** (2014) Post-Harvest Handling of Organic Grain. In: Organic Grain Production Guide. pp. 175-176.
- Heller, J.J., Mattioda, H., Klein, E. & Sagenmuller, A.** (1992) Field evaluation of RH 5992 on lepidopterous pests in Europe. In: *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases*, Brighton, UK, 23 to 26 November 1992. British Crop Protection Council, Farnham, UK. pp. 59-65.

- Herron, G.A.** (1990) Resistance to grain protectants and phosphine in coleopterous pests of grain stored on farms in New South Wales. *Journal of the Australian Entomological Society* **29**, 183–189.
- Hertlein, M.B., Thompson, G.D., Subramanyam, Bh. & Athanassiou, C.G.** (2011) Spinosad: a new natural product for stored grain protection. *Journal of Stored Products Research* **47**, 131–146.
- Highland, H.A. & Cline, L.D.** (1986) Resistance to insect penetration of food pouches made of untreated polyester or permethrin-treated polypropylene film. *Journal of Economic Entomology* **79**, 527-529.
- Highland, H.A., Cline, L.D. & Simonaitis, R.A.** (1977) Insect resistant food pouches made from laminates treated with synergized pyrethrins. *Journal of Economic Entomology* **70**, 483-485.
- Highland, H.A., Simonaitis, R.A. & Boatright, R.E.** (1984a) Insecticide-treated film wrap to protect small packages from infestation. *Journal of Economic Entomology* **7**, 1269-1274.
- Highland, H.A., Kamel, A.H., El-Sayed, M., Fam, E.Z., Simonaitis, R., Cline & L.D.** (1984b) Evaluation of permethrin as insect-resistant treatment on paper bags and of tricalcium phosphate as a suppressant of stored product insects. *Journal of Economic Entomology* **77**, 240-246.
- Hill, D.S.** (2003) Pests of stored foodstuffs and their control. Kluwer Academic Publishers, New York.
- Hill, M.G., Borgemeister, C. & Nansen, C.** (2002) Ecological studies on the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) and their implications for integrated pestmanagement. *Integrated Pest Management Reviews* **7**, 201–221.
- Ho, F.K. & Dawson, P.S.** (1966) Egg cannibalism by *Tribolium* larvae . *Ecology* **45**, 318–322.
- Hodges, R.J., Robinson, R. and Hall, D.R.** (1996) Quinone contamination of dehusked rice by *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Product Research* **32**, 31-37.
- Holgate, T.** (1999) The epidemic of allergy and asthma. *Nature* **402**, 2-4.
- Hou, L., Johnson, J. A. & Wang, S.** (2016). Radio frequency heating for postharvest control of pests in agricultural products: a review. *Postharvest Biology and Technology* **113**, 106–118.

- Howe, R.W.** (1957) A Laboratory study of the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (F.) (Col., Anobiidae) with a critical review of the literature on its biology. *Bulletin of Entomological Research* **48**, 9-56.
- Hoy, M.A. & Cave, F.E.** (1985) Laboratory evaluation of avermectin as a selective acaricide for use with *Metascululus occidentalis* (Nesbitt) (Acarina: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology* **1**, 139-152.
- Hubert, J.** (2012) The Pest Importance of Stored Product Mites (Acari: AcariDida). Nova Science Publishers Inc, New York.
- Hubert, J., Stejskal, V., Kubátová, Munzbergová, Váňová, M., Žd'árková, E.** (2003) Mites as selective fungal carriers in stored grain habitats. *Experimental and Applied Acarology* **29**, 69-87.
- Hubert, J., Nesvrná, M., Hujslová, M., Stará, J., Hajšlová, J., Stejskal, V.** (2013) *Acarus siro* and *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acarididae) transfer of *Fusarium culmorum* into germinated barley increases mycotoxin deoxynivalenol content in barley under laboratory conditions. *International Journal of Acarology* **39**, 235-238.
- Hughes, A.M.** (1976) The Mites of Stored Food and Houses. Technical Bulletin 9, second ed. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- Hunt, D.A.** (1996) 2-Arylpyrroles: a new class of insecticide. Structure, activity, and mode of action. *Pesticides Science* **47**, 201-202.
- Hunter, D.K.** (1970) Pathogenicity of a granulosis virus of the Indian meal moth. *Journal of Invertebrate Pathology* **16**, 339-341.
- Hussain, R., Ashfaq, M., Saleem, M. A. & Ahmed, S.** (2005) Toxicity of some insecticides with novel modes of action against malathion-resistant and organophosphate-susceptible strains of *Tribolium castaneum* larvae. *International Journal of Agriculture and Biology* **5**, 768-772.
- Ibrahim, H., Kheir, R., Helmi, S., Lewis, J. & Crane, M.** (1998) Effects of organophosphorus, carbamate, pyrethroid and organochlorine pesticides, and a heavy metal on survival and cholinesterase activity of *Chironomus riparius* Meigen. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **60**, 448-455.
- Imamura, T., Murata, M., Nishi, A. & Miyanoshita, A.** (2008). Biological aspects and predatory abilities of hemipterans attacking stored-product insects. *Japan Agricultural Research Quarterly* **42**, 1-6.

- Ioriatti, C., Anfora, G., Angeli, G., Mazzoni, V. & Trona, F.** (2009) Effects of chlorantraniliprole on eggs and larvae of *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermuller) (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Management Science* **65**, 717-722.
- Ishaaya, I. & Casida, J.E.** (1974) Dietary TH 6040 alters composition and enzyme activity of housefly larvae cuticle. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **4**, 484-490.
- Isman, M.B.** (2006) Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology* **51**, 45-66.
- Ito, M., Okui, H., Nakagawa, H., Mio, S., Kinoshita, A., Obayashi, T., Miura, T., Nagai, J., Yokoi, S., Ichinose, R., Tanaka, K., Kodama, S., Iwasaki, T., Miyake, T., Takashio, M. & Iwabuchi, J.** (2003) Synthetic and insecticidal activity of novel dihydropyrrole derivatives with *n*-sulfanyl, sulfinyl, and sulfonyl moieties. *Bioorganic & Medical Chemistry* **11**, 489-494.
- IUPAC** (International Union of Pure and Applied Chemistry) (2012) *Properties Database*. <http://siterm.herts.ac.uk/aeru/iupac/154.htm>.
- Jacob, T.A. & Cox, P.D.** (1977) The influence of temperature and humidity on the life-cycle of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research* **13**, 107-118.
- Jiang, W.H., Lu, W.P., Guo, W.C., Xia, Z.X., Fu, W.J. & Li, G.Q.** (2012) Chlorantraniliprole susceptibility in *Leptinotarsa decemlineata* in the north Xinjiang Uygur autonomous region in China. *Journal of Economic Entomology* **105**, 549-554.
- Johnson, J.A.** (2007) Survival of Indianmeal Moth and Navel Orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) at Low Temperatures. *Journal of Economic Entomology* **100**, 1482-1488.
- Johnson, J.A. & Valero, K.A.** (2003) Use of Commercial Freezers to Control Cowpea Weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), in Organic Garbanzo Beans. *Journal of Economic Entomology* **96**, 1952-1957.
- Jones, M.M., Robertson, J.L. & Weinzierl, R.A.** (2010) Susceptibility of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) larvae to selected reduced-risk insecticides. *Journal of Economic Entomology* **103**, 1815-1820.

- Jones, C., Casada, M. & Loewer, O.** (2012) Drying, Handling, and Storage of Raw Commodities. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) Stored Product Protection. Kansas State University, Manhattan, KS. **pp.** 101-120.
- Jonsson, L.O. & Kashweka, K.** (1987). Relationship between drying, harvesting and storage losses, production and consumption of maize for a rural household in Zambia. Improving food crop production on small farms in Africa. *Proceedings of FAO-SIDA seminar on increased food production through low-cost food crops technology.* 2-17 March 1987. Harare, Zimbabwe. **pp.** 475-482.
- Khamis, M., Subramanyam, B., Dogan, H., Flinn, P.W. & Gwirtz, J.A.** (2010) Effectiveness of flameless catalytic infrared radiation against life stages of three stored-product insect species in stored wheat. *Julius-Kühn-Archiv* **425**, 695-700.
- Kaur, S., Thakur, A. & Rajput, M.** (2014) A laboratory assessment of the potential of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin as a biocontrol agent of *Corcyra cephalonica* Stainton (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research* **59**, 185–189.
- 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. *Journal of Stored Products Research* **78**, 50-58.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Pashalidou, F.G., Andris, N.S. & Tomanovic, Z.** (2005) Influence of grain type on the insecticidal efficacy of two diatomaceous earth formulations against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Management Science* **61**, 660-666.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Michalaki, M.P., Batta, Y.A., Rigatos, H.A., Pashalidou, F.G., Balotis, G.N., Tomanovic, Z. & Vayias, B.J.** (2006) Effect of the combined use of *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes) and diatomaceous earth for the control of three stored-product beetle species. *Crop Protection* **25**, 418-425.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Vayias, B.J., Mihail, S. & Tomanović, Ž.** (2009) Insecticidal efficacy of abamectin against three stored product insect

- pests: influence of dose rate, temperature, commodity and exposure interval. *Journal of Economic Entomology* **102**, 1352–1359.
- Kavallieratos N.G., Athanassiou, C.G., Vayias, B.J. & Boukouvala, M.C.** (2010a) Mortality and suppression of progeny production of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) in seven different grains treated with an enhanced diatomaceous earth formulation. *Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product protection*. Estoril, Portugal, 27 June–2 July 2010, pp. 925-931.
- Kavallieratos, N.G. , Athanassiou, C.G., Vayias, B.J., Kotzamanidis, S. & Synodis, S.D.** (2010b) Efficacy and adherence ratio of diatomaceous earth and spinosad in three wheat varieties against three stored product insect pests. *Journal of Stored Products Research* **46**, 73–80.
- 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. *Journal of Food Protection* **74**, 1288–1299.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Vayias, B.J. and Tomanović, Ž.** (2012) Efficacy of insect growth regulators as grain protectants against two stored-product pests in wheat and maize. *Journal of Food Protection* **75**, 942–950.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G. & Boukouvala, M.C.** (2013) Insecticidal effect of chloraniliprole against major stored-product insect pests in different grain commodities under laboratory tests. *Pest Management Science* **69**, 1141–1154.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Aountala, M. & Kontodimas, D.C.** (2014) Evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Isaria fumosorosea* for control of *Sitophilus oryzae*. *Journal of Food Protection* **77**, 87–93.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Korunic, Z. & Mikeli, N.H.** (2015a) Evaluation of three novel diatomaceous earths against three stored-grain beetle species on wheat and maize. *Crop Protection* **75**, 132–138.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G. & Arthur, F.H.** (2015b) Efficacy of deltamethrin against stored-product beetles at short exposure intervals or on a partially treated rice mass. *Journal of Economic Entomology* **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. *Journal of Stored Products Research* **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. *Journal of Stored Products Research* **71**, 81-92.
- Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Nika, E.P. & Boukouvala, M.C.** (2017b) Efficacy of alpha-cypermethrin, chlorfenapyr and pirimiphos-methyl for the control of *Prostephanus truncatus* (Horn), *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Stored Products Research* **73**, 54-61.
- Kaur, R., Subbarayalu, M., Jagadeesan, R., Darglish, G.J., Nayak, M.K., Naik, H.R., Ramasamy, S., Subramanian, C., Ebert, P.R. & Schlipalius, D.I.** (2015) Phosphine resistance in India is characterised by a dihydroliipoamide dehydrogenase variant that is otherwise unobserved in eukaryotes. *Heredity* **115**, 188-194.
- Keever, D.W., Wiseman, B.R. & Widstrom, N.W.** (1988) Effects of threshing and drying on maize weevil populations in field-infested corn. *Journal of Economic Entomology* **81**, 727-730.
- Kells, S.A.** (2012) Vertebrates in Stored Products. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS. pp. 69-84.
- Kharel, K., Arthur, F.H., Zhu, K.Y., Campbell, J.F. & Subramanyam, Bh.** (2014) Evaluation of synergized pyrethrin aerosol for control of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology* **107**, 462-468.
- Koçak, E., Schlipalius, D., Kaur, R., Tuck, A., Ebert, P., Collins, P. & Yılmaz, A.** (2015) Determining phosphine resistance in rust red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera : Tenebrionidae) populations from Turkey. *Turkish Journal of Entomology* **39**, 129-136.
- Koeppel, J.K., Fuchs, M., Chen, T.T., Hunt, L.M., Kovalick, G.E. & Briers, T.** (1985) The role of juvenile hormone in reproduction, In: Kerkut, L.I. &

- Gilbert, G.A. (ed.) (1985) *Comprehensive insect physiology and pharmacology*. Pergamon Press, Oxford, UK. pp. 165–203.
- Koppenhöfer, A.M. & Fuzy, E.M.** (2008) Effect of the anthranilic diamide insecticide, chlorantraniliprole, on *Heterorhabditis bacteriophora* (Rhabditida: Heterorhabditidae) efficacy against white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae). *Biological Control* **45**, 93-102.
- Korunic, Z.** (1997) Rapid assessment of the insecticidal value of diatomaceous earths without conducting bioassays. *Journal of Stored Products Research* **33**, 219-229.
- Korunic, Z.** (1998) Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research* **34**, 87–97.
- Korunic, Z.** (2013) Diatomaceous earths-natural insecticides. *Pesticides and Phytomedicine* **28**, 77-95.
- Kostyukovsky, I.M. & Trostanetsky, A.** (2006) The effect of a new chitin synthesis inhibitor, novaluron, on various developmental stages of *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Stored Products Research* **42**, 136–148.
- Kostyukovsky, M., Chen, B., Atsmi, S. & Shaaya, E.** (2000) Biological activity of two juvenoids and two ecdysteroids against three stored product insects. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* **30**, 891–897.
- Koutsaviti, A., Antonopoulou, V., Vlassi, A., Antonatos, S., Michaelakis, A., Papachristos, D. & Tzakou, O.** (2018) Chemical composition and fumigant activity of essential oils from six plant families against *Sitophilus oryzae* (Col: Curculionidae). *Journal of Pest Science* **91**, 873–886.
- Kucerova, Z., Aulicky, L. & Stejskal, V.** (2003) Accumulation of pest arthropods in grain residues found in an empty store. *Journal of Plant Diseases and Protection*. **110**, 499- 504.
- Kumar., R.** (2017) *Insect pests of stored grain : biology, behavior, and management strategies*. (Postharvest biology and technology book series) Waretown, NJ: Apple Academic Press.
- Kumar, D. & Kalita, P.** (2017) Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods* **6**, 8.
- Kumar, R., Mishra, A.K., Dubey, N. & Tripathi, Y.** (2007) Evaluation of *Chenopodium ambrosioides* oil as a potential source of antifungal,

- antiaflatoxic and antioxidant activity. *International Journal of Food Microbiology* **115**, 159–164.
- Ladisch, R.K., Ladisch, S.K., Howe, P.M.** (1967) Quinoid secretions in grain and flour beetles. *Nature* **215**, 939-940.
- Lahm, G.P., Selby, T.P., Freudenberger, J.H., Stevenson, T.M., Myers, B.J., Seburyamo, G., Smith, B.K., Flexner, L., Clark, C.E. & Cordova, D.** (2005) Insecticidal anthranilic diamides: a new class of potent ryanodine receptor activators. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters* **15**, 4898-4906.
- Lahm, G.P., Stevenson, T.M., Selby, T.P., Freudenberger, J.H., Cordova, D., Flexner, L., Bellin, C.A., Dubas, C.M., Smith, B.K., Hughes, K.A., Hollingshaus, J.G., Clark, C.E. & Benner, E.A.** (2007) RynaxypyrTM: a new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potent and selective receptor activator. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters* **17**, 6274-6279.
- Lahm, G.P., Cordova, D. & Barry, J.D.** (2009) New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorganic and Medicinal Chemistry* **17**, 4127-4133.
- Lai, T. & Su, J.** (2011) Effects of chlorantraniliprole on development and reproduction of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner). *Journal of Pest Science* **84**, 381-386.
- Laohavanich, J. & Wongpichet, S.** (2009) Drying characteristics and milling quality aspects of paddy dried with gas-fired infrared. *Journal of Food Process Engineering* **32**, 442–461.
- Latus, D., Perkowski, J. & Chelkowski, J.** (1995) Mycotoxins production, pathogenicity and toxicity of *Fusarium* species isolated from potato tubers with dry rot injuries. *Microbiologie, Aliments, Nutrition*. **13**, 87-100.
- Laubscher, E.W. & Cairns, A.L.** (1983). The effect of harvesting technique and storage procedure on the germination of barley. *Crop Production* **12**, 128-132.
- Legaspi, J.C., French, J.V. & Legaspi Jr., B.C.** (2000) Toxicity of novel and conventional insecticides to selected beneficial insects. *Subtropical Plant Science* **52**, 23-32.
- Lefkovitch, L.P.** (1967) A laboratory study of *Stegobium paniceum* (L.) (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Stored Products Research* **3**, 235- 249.

- Lefkovitch, L.P. & Currie, J.E.** (1967) Factors influencing fecundity in *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera, Anobiidae). *Journal of Stored Products Research* **3**, 199-212.
- Levinson, H.Z. & Buchelos, C.T.** (1981) Surveillance of storage moth species (Pyralidae, Gelechiidae) in a flour mill by adhesive traps with notes on the pheromone-mediated flight behaviour of male moths. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* **92**, 233-251.
- Li, H.B., Shi, L., Lu, M.X., Wang, J.J. & Du, Y.Z.** (2011). Thermal tolerance of *Frankliniella occidentalis*: effects of temperature, exposure time, and gender. *Journal of Thermal Biology* **36**, 437–442.
- Lienhard, C. & Smithers, C.N.** (2002) Pscoptera (Insecta) World Catalogue and Bibliography. Museum of Natural History, Geneva, Switzerland. **pp.** 745.
- Lindgren, D.L. & Vincent, L.E.** (1959) Biology and control of *Trogoderma granarium* Everts. *Journal of Economic Entomology* **52**, 312-319.
- Lindgren, D.L., Vincent, L.E. & Krohne, H.E.** (1955) The khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts. *Hilgardia* **24**, 1-36.
- Liu, X.C. & Du, S.S.** (2011) Fumigant components from the essential oil of *Evodia rutaecarpa* hort unripe fruits. *Journal of Chemistry* **8**, 1937-1943.
- Liu, F., Zhang, X., Gui, Q.Q. & Xu, Q.J.** (2012) Sublethal effects of four insecticides on *Anagrus nilaparvatae* (Hymenoptera: Mymaridae), an important egg parasitoid of the rice planthopper *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Crop Protection* **37**, 13-19.
- Lord, J.C.** (2001) Desiccant dusts synergise the effect of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) on stored-grain beetles. *Journal of Economic Entomology* **94**, 367-372.
- Lord, J.C.** (2003) *Mattesia oryzaephili* (Neogregarinorida: Lipotrophidae), a pathogen of stored-grain insects: virulence, host range and comparison with *Mattesia dispora*. *Biocontrol Science and Technology* **13**, 589–598.
- Lord, J.C.** (2005) Low humidity, moderate temperature, and desiccant dust favor efficacy of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) for the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bruchidae). *Biological Control* **34**, 180–186.
- Lord, J.C., Campbell, J.F., Sedlacek, J.D. & Vail, P.V.** (2007) Application and evaluation of entomopathogens for managing insects in stored products. In:

- Lacey LA, Kaya HK (Eds) (2007) Field manual of techniques in invertebrate pathology. Springer, Dordrecht, **pp.** 677–693.
- Lorenz, S., Adler, C. & Reichmuth, C.** (2010) Penetration ability of *Holepyris sylvanidis* into the feeding substrate of its host *Tribolium confusum*. *Julius-Kühn-Arch.* **425**, 721-725.
- Lorini, I. & Galley, D.J.** (1999) Deltamethrin resistance in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae), a pest of stored grain in Brazil. *Journal of Stored Products Research* **35**, 37–45.
- Lorini, I., Collins, P.J., Darglish, G.J., Nayak, M.K. & Pavic, H.** (2007) Detection and characterization of strong resistance to phosphine in Brazilian *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Management Science* **63**, 358–364.
- Lowe, S., Brone, M., Boudjelas, S. & Poorter De, M.** (2000) 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. A Selection from the Global Invasive Species Database. Hollands Printing Ltd, Auckland.
- Lu, Y., Zhong, J., Wang, Z., Liu, F. & Wan, Z.** (2013) Fumigation toxicity of allicin against three stored product pests. *Journal of Stored Products Research* **55**, 48–54.
- Lucas, X., Wohlwend, D., Hügler, M., Schmidtkunz Gerhardt, S., Schule, R., Jung, M., Einsle, O. & Gunther, S.** (2013) 4-Acyl pyrroles: mimicking acetylated lysines in histone code reading. *Angewandte Chemie International Edition* **52**, 14055–14059.
- Magan, N., Aldred, D., Mylona, K. & Lambert, R.J.W.** (2010) Limiting mycotoxins in stored wheat. *Food Additives and Contaminants* **27**, 644-650.
- Mahanthi, V.** (2006) Management of stored grain pests of maize using safer grain protectants. *Pestology* **30**, 23-31.
- Mahapatra, A.K. & Lan, Y.** (2007) Postharvest handling of grains and pulses. In Rahman M.S. Handbook of food preservation. CRC Press, Taylor & Francis Group. **pp.** 74-119.
- Mahroof, R.M. & Hagstrum, D.W.** (2012) Biology, behavior, and ecology of insects in processed commodities. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) Stored product protection. Kansas State University, Manhattan, **pp.** 33–44.

- Mahroof, R.M. & Phillips, T.W.** (2014) Mating disruption of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) in stored product habitats using the synthetic pheromone serricornin. *Journal of Applied Entomology* **138**, 378-386.
- Mamatha, D.M., Kanji, V.K., Cohly, H.H.P. & Rao, M.R.** (2008) Juvenile hormone analogues, methoprene and fenoxycarb dose dependently enhance certain enzyme activities in the silkworm *Bombyx mori* (L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health* **5**, 120-124.
- Mason, L.J. & Strait, C.A.** (1998) Stored product integrated pest management with extreme temperatures. In: Hallman, G.J. & Denlinger, D.L. (Eds) (1998) Temperature sensitivity in insects and application in integrated pest management. Westview Press. pp. 141-177.
- Mason, L.J. & McDonough, M.** (2012) Biology, Behavior, and Ecology of Stored Grain and Legume Insects. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) Stored Product Protection. Kansas State University, Manhattan, KS. pp. 7-20.
- Mbata, G.N. & Shapiro-Ilan, D.I.** (2005) Laboratory evaluation of virulence of Heterorhabditid nematodes to *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology* **34**, 676-682.
- McClymont Peace, D.** (1983) Reproductive success of the mite *Acarus siro* L. on stored cheddar cheese of different ages. *Journal of Products Research* **19**, 97-104.
- McLeod, P., Diaz, F.J. & Johnson, D.T.** (2002) Toxicity, persistence, and efficacy of spinosad, chlorfenapyr, and thiamethoxam on eggplant when applied against the eggplant flea beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology* **95**, 331-335.
- Mian, L.S. & Mulla, M.S.** (1982) Residual activity on insect growth regulators against stored – product beetles in grain commodities. *Journal of Economic Entomology* **69**, 479-480.
- Michalaki, M.P., Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Batta, Y.A. & Balotis, G.N.** (2005) Effectiveness of *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin applied alone or in combination with diatomaceous earth against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val larvae: influence of temperature, relative humidity and type of commodity. *Crop Protection* **25**, 418-425.

- Miller., J.** (1995). Fungi and mycotoxins in grain: implications for stored product research. *Journal of Stored Products Research* **31**, 1-16.
- Miresmailli, S. & Isman, M.B.** (2014) Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. *Trends in Plant Science* **19**, 29-35.
- Mohandass, S.M., Arthur, F.H., K.Y. Zhu, K.Y. & Throne, J.E.** (2006) Hydroprene: mode of action, current status in stored-product pest management, insect, and future prospects. *Crop Protection* **25**, 902–909.
- Mahroof, R.M. & Hagstrum, D.W.** (2012) Biology, Behavior, and Ecology of Insects in Processed Commodities. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS. **pp.** 33-44.
- Mondal, K.A.M.S.H. & Parween S.** (2000) Insect growth regulators and their potential in the management of stored-product insect pests. *Integrated Pest Management Reviews* **5**, 255-295.
- Moore, D., Lord, J.C. & Smith, S.M.** (2000) Pathogens. In: Subramanyam, Bh. & Hagstrum, D.W. (Eds) (2000) *Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, **pp.** 193-227.
- Morison, G.D.** (1925) The khapra beetle (*Trogoderma granarium* Everts). *Proceedings of Royal Physical Society of Edinburgh* **21**, 10-13.
- Muatinte, B.L., Van den Berg, J. & Santos, L.A.** (2014) *Prostephanus truncatus* in Africa: a review of biological trends and perspectives on future pest management strategies. *African Crop Science Journal* **22**, 237–256.
- Murata, M., Imamura, T. & Miyanoshita, A.** (2016) Suppression of the stored-product pest *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) by simultaneous release of a predatory bug and a parasitoid wasp. *Biocontrol Science and Technology* **26**, 872-876.
- Mutambuki, K., Ngatia, C.M., Mbugua, J.N. & Likhayo, P.** (2003) Evaluation on the efficacy of spinosad dust against major storage pests. In: Credland, P.F., Armitage, D.M., Bell, C.H., Cogan, P.M. & Highley, E. (Eds) (2003) *Proceedings of the 8th International Conference on Stored-Product Protection*, 2002 July 22–26, York, Wallingford, Oxon: CAB International. **pp.** 888–891.

- Myers, S.W., Hagstrum, D.W.** (2012) Quarantine. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W., Cuperus, G. (Eds) (2012) *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS, **pp.** 297-304.
- Mylona, K., Sulyok, M. & Magan, N.** (2012) Relationship between environmental factors, dry matter loss and mycotoxin levels in stored wheat and maize infected with *Fusarium* species. *Food Additives and Contaminants* **29**, 1118-1128.
- Narahashi, T.** (2000) Neuroreceptors and ion channels as the basis for drug action: past, present and future. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* **294**, 1-26.
- Nauen, R.** (2006) Insecticide mode of action: return of the ryanodine receptor. *Pest Management Science* **62**, 690-692.
- Navarro, S. & Zettler, J.L.** (2001) Critical limits of sealing for successful application of controlled atmosphere or fumigation. In: Donahaye, E.J., Navarro, S., Leesch, J.G. (Eds) (2001) *Proceedings of the International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products*, 29 October – 3 November 2000, Fresno, California. Executive Printing Services, Clovis, CA, USA, **pp.** 507–520.
- Nayak, M.K.** (2006) Psocid and mite pests of stored commodities: small but formidable enemies, In: Lorini, I., Bacaltchuk, B., Beckel, H., Deckers, D., Sundfeld, E., dos Santos, J.P., Biagi, J.D., Celaro, J.C., D'A Faroni, L.R., de L., Bortolini, O.F. *et al.* (Eds) (2006) *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored-Product Protection*, 15-18 October 2006, Campinas, Sao Paulo, Brazil. Brazilian Post-harvest Association- ABRAPOS, Passo Fundo, RS, Brazil. **pp.** 1061-1073.
- Nayak, M.K. & Darglish, G.J.** (2006) Potential of imidacloprid to control four species of psocids (Psocoptera: Liposcelididae) infesting stored grain. *Pest Management Science* **62**, 646– 650.
- Nayak, M.K. & Darglish, G.J.** (2007) Combined treatments of spinosad and chlorpyrifos-methyl for management of resistant psocid pests (Psocoptera: Liposcelididae) of stored grain. *Pest Management Science* **63**, 104–109.
- Nayak, M.K. and Collins, P.J.** (2008) Influence of concentration, temperature and humidity on the toxicity of phosphine to the strongly phosphine resistant

- psocid *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelididae). *Pest Management Science* **64**, 971-976.
- Nayak, M.K., Collins, P.J., Pavic, H. & Kopittke, R.A.** (2003) Inhibition of egg development by phosphine in the cosmopolitan pest of stored products *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelididae). *Pest Management Science* **59**, 1191-1196.
- Nayak, M.K., Holloway, J.C., Emery, R.N., Pavic, H., Bartlet, J. & Collins, P.J.** (2012) Strong resistance to phosphine in the rusty grain beetle *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae): its characterisation, a rapid assay for diagnosis and its distribution in Australia. *Pest Management Science* **69**, 48-53.
- Nayak, M.K., Collins, P.J., Throne, J.E. & Wang, J.J.** (2014) Biology and management of psocids infesting stored products. *Annual Review of Entomology* **59**, 279–297.
- Negrisoli, C.R.D.C.B., Negrisoli, A.S.J., Bernardi, D. & Garcia, M.S.** (2013) Activity of eight strains of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) against five stored product pests. *Experimental Parasitology* **134**, 384–388.
- Neme, K. & Mohammed, A.** (2017) Mycotoxin occurrence in grains and the role of postharvest management as a mitigation strategies. A review. *Food Control* **78**, 412-425.
- Nenaah, G.** (2014a) Chemical composition, insecticidal and repellence activities of essential oils of three *Achillea* species against the Khapra beetle (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Pest Science* **87**, 273–283.
- Nenaah, G.** (2014b) Chemical composition, toxicity and growth inhibitory activities of essential oils of three *Achillea* species and their nano-emulsions against *Tribolium castaneum* (Herbst). *Industrial Crops and Products* **53**, 252–260.
- Nenaah, G., Ibrahim, S. & Al-Assiuty, B.** (2015) Chemical composition, insecticidal activity and persistence of three Asteraceae essential oils and their nanoemulsions against *Callosobruchus maculatus* (F.). *Journal of Stored Products Research* **61**, 9–16.
- Neoh, K.B., Hu, J., Yeoh, B.H. & Lee, C.Y.** (2011) Toxicity and horizontal transfer of chlorantraniliprole against the Asian subterranean termite *Coptotermes*

- gestroi* (Wasmann): effects of donor: recipient ratio, exposure duration and soil type. *Pest Management Science* **68**, 749-756.
- Nishi, A., Imamura, T., Miyanoshita, A., Morimoto, S., Takahashi, K., Visarathanonth, P., Kengkanpanich, R., Shazali, M.E.H. & Sata, K.** (2004) Predatory abilities of *Amphibolus venator* (Klug) (Hemiptera: Reduviidae), a predator of stored-product insect pests. *Applied Entomology and Zoology* **39**, 321–326.
- Nouri-Ganbalani, G., Borzoui, E., Abdolmaleki, A., Abedi, Z. & Kamita, S.G.** (2016) Individual and combined effects of *Bacillus thuringiensis* and azadirachtin on *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Insect Science* **16**, 95.
- O'Connor, J.P. & Ronayne, C.** (2002) Irish records of *Holepyris sylvanidis* (Brèthes) and *Plastanoxus munroi* Richards (Hym., Bethyliidae). *Entomologist's Monthly Magazine* **138**, 1652-1655.
- Oberlander, H. & Silhacek, D.** (2000) Insect growth regulators. In: Subramanyam, B. & Hagstrum, D.W. (Eds) (2000) Alternatives to pesticides in stored-product IPM. Kluwer Academic Publishers, Boston. **pp.** 147–163.
- Oberlander, H., Silhaek, D.L. Shayya, E. & Isayya, I.** (1997) Current status and future perspectives of the use of insect growth regulators for the control of stored product insects. *Journal of Stored Products Research* **33**, 1-6.
- Obr, S.** (1978) Psocoptera of food-processing plants and storages, dwellings and collections of natural objects in Czechoslovakia. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* **75**, 226–42.
- Oikonomou, K., Georgiou, D., Katsamakas, S., Hadjipavlou Litina, D. & Elemes, Y.** (2015) Sulfanyl 5H-dihydropyrrole derivatives via 1,3-dipolar cycloaddition, their further chemical manipulation and antioxidant activity. *Arkivoc* **16**, 214–231.
- Opit, G.P. & Throne, J.E.** (2008) Population growth and development of the psocid *Lepinotus reticulatus* at constant temperatures and relative humidities. *Journal of Economic Entomology* **101**, 605-615.
- Opit, G.P., Phillips, T.W., Aikins, M.J. & Hasan, M.M.** (2012a) Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. *Journal of Economic Entomology* **105**, 1107-1114.

- Opit, G.P., Collins, P. & Darglish, V.** (2012b) Resistance management. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) *Stored Product Protection*. Kansas State University, KS. pp. 143-155.
- Oppert, B., Morgan, T.D. & Kramer, K.J.** (2011) Efficacy of *Bacillus thuringiensis* Cry3Aa protoxin and protease inhibitors against coleopteran storage pests. *Pest Management Science* **67**, 568–573.
- Özder, N. & Tayat, E.** (2018) Mass production of *Trichogramma pintoi* Voegelé using *Ephesia kuehniella* Zeller stored in liquid nitrogen. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* **15**, 53-57.
- PACA** (2012). Aflatoxin impacts and potential solutions in agriculture, trade, and health. An introduction to aflatoxin impacts in Africa. Partnership for aflatoxin control in Africa (PACA). In: http://www.un.org/esa/ffd/ffd3/wp-content/uploads/sites/2/2015/10/PACA_aflatoxin-impacts-paper1.pdf.
- Padin, S.B., Dal-Bello, G. & Fabrizio, V.** (2002) Grain loss caused by *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* and *Acanthoscelides obtectus* in stored durum wheat and beans treated with *Beauveria bassiana*. *Journal of Stored Products Research* **38**, 69-74.
- Pan, Z., Khir, R., Godfrey, L.D., Lewis, R., Thompson, J.F. & Salim, A.** (2008) Feasibility of simultaneous rough rice drying and disinfestations by infrared radiation heating and rice milling quality. *Journal of Food Engineering* **84**, 469-479.
- Pan, Z., Khir, R., Bett-Garber, K. L., Champagne, E. T., Thompson, J. F., Salim, A., Hartsough, B. R. & Mohamed, S.** (2011) Drying characteristics and quality of rough rice under infrared radiation heating. *Transactions of the ASABE* **54**, 203–210.
- Park, T.** (1933) Studies in population physiology. II. Factors regulating initial growth of *Tribolium confusum* populations. *Journal of Experimental Zoology* **65**, 17–42.
- Park, T.** (1934) Observations on the general biology of the flour beetle, *Tribolium confusum*. *Quarterly Review of Biology* **9**, 36-54.
- Park, T. & Burton Frank, M.** (1948) The fecundity and development of the flour beetles, *Tribolium confusum* and *Tribolium castaneum*, at three constant temperatures. *Ecology* **29**, 368–374.

- Park, T., Mertz, D.B. & Nathason, M.** (1968) The cannibalism of pupae by adult flour beetles. *Physiological Zoology* **41**, 228-253.
- Park, I.K., Shin, S.C., Choib, D.H., Park, J.D. & Ahn, Y.J.** (2003) Insecticidal activities of constituents indentified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtuse* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Stored products research* **39**, 375-384.
- Paudyal, S., Opit, G.P., Arthur, F.H., Bingham, G.V., Payton, M.E., Gautam, S.G. & Noden, B.** (2017a) Effectiveness of the ZeroFly[®] storage bag fabric against stored-product insects. *Journal of Stored Products Research* **73**, 87-97.
- 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.** (2017b) Field evaluation of the long-lasting treated storage bag, deltamethrin incorporated, (ZeroFly[®] storage bag) as a barrier to insect pest. *Journal of Stored Products Research* **70**, 44-52.
- Peck, S. L. & McQuate, G. T.** (2000) Field tests of environmentally friendly malathion replacements to suppress wild Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations. *Journal of Economic Entomology* **93**, 280-289.
- Pei, Y., Tao, T., Yang, G., Wang, Y., Yan, W. & Ding, C.** (2018) Lethal effects and mechanism of infrared radiation on *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* in rough rice. *Food Control* **88**, 149-158.
- Pekar, S. & Hubert, J.** (2008) Assessing biological control of *Acarus siro* by *Cheyletus malaccensis* under laboratory conditions: effect of temperatures and prey density. *Journal of Products Research* **44**, 335-340.
- Perez-Mendoza, J. & Aguilera-Pena, M.** (2004) Development, reproduction, and control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae), in stored seed garlic in Mexico. *Journal of Stored Products Research* **40**, 409-421.
- Phillips, T.W. & Throne, J.E.** (2010) Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology* **55**, 375-397.
- Phillips, T.W., Thoms, E.M., DeMark, J. & Walse, S.** (2012) Fumigation. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) (2012) *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS. pp. 157-178.
- Pimentel, M.A.G., L.R.D'A. Faroni, F.H. da Silva, Batista, M.D., & Guedes, R.N.C.** (2010) Spread of phosphine resistance among Brazilian populations of three species of stored product insects. *Neotropical Entomology* **39**, 101-107.

- Pingale, S.V.** (1954) Biological control of some stored grain pests by the use of bug predator, *Amphibolus venator* Klug. *Indian Journal of Entomology* **16**, 300–302.
- Poinar, G.O.** (1990) Biology and taxonomy of Steinernematidae and Heterorhabditidae. Entomopathogenic nematodes in biological control. Gaugler R. Kaya H.K. Boca Raton, FL, CRC, pp. 23–62.
- Potter, C.** (1935) The biology and distribution of *Rhizopertha dominica* (Fab.) *Transactions of the Royal Entomological Society of London* **83**, 449-482.
- Pozidi-Metaxa, E. & Athanassiou, C.G.** (2012) Comparison of spinosad with three traditional grain protectants against *Prostephanus truncatus* (Horn) and *Ephestia kuehniella* (Zeller) at different temperatures. *Journal of Pest Science* **86**, 203-210.
- Preetha, G., Stanley, J., Suresh, S., Kuttalam, S. & Samiyappan, R.** (2009) Toxicity of selected insecticides to *Trichogramma chilonis*: assessing their safety in the rice ecosystem. *Phytoparasitica* **37**, 209-215.
- Press, J.W., Cline, L.D. & Flaherty, B.R.** (1984) Suppression of residual populations of the rice weevil, *Sitophilus oryzae*, by the parasitic wasp, *Anisopteromalus calandrae*. *Journal of the Georgia Entomological Society* **19**, 110-113.
- Pruthi, H.S. & Singh, M.** (1950) Pests of stored grain and their control. *Indian Journal of Agricultural Sciences* **18**, 1-88.
- Racke, K.D.** (2007) A reduced risk insecticide for organic agriculture. In: Felsot, A.J., Racke, K.D. (Eds) (2007) Certified Organic and Biologically-Derived Pesticides: Environmental, Health, and Efficacy Assessment. Symposium Series. American Chemical Society, Washington D.C. pp. 92-108.
- Rahman, M.M., Robert H.L.S. & Schmidt O.** (2004) The development of the endoparasitoid *Venturia canescens* in Bit-tolerant, immune induced larvae of the flour moth *Ephestia kuhniella*. *Journal of Invertebrate Pathology* **87**, 129-131.
- Rajendran. S.** (2003) Grain storage: perspective and problems. In: Chakraverty, A., Mujumdar, A.S., Raghavan, G.S.V., Ramaswamy, H.S. (Eds) (2003) Handbook of Postharvest Technology. New York: Marcel Dekker. pp. 183-214.

- Ramos-Rodríguez, O., Campbell, J.F. & Ramaswamy, S.B.** (2007) Efficacy of the entomopathogenic nematode *Steinernema riobrave* against the stored-product insect pests *Tribolium castaneum* and *Plodia interpunctella*. *Biological Control* **40**, 15-21.
- Reddy, B.N. & Nusrath, M.** (1988) Relationship between the incidence of storage pests and production of mycotoxin in jowar. *National Academy Science Letters*. **11**, 307-308.
- Rice, W.C. & Cogburn, R.R.** (1999) Activity of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: Hyphomycetes) against three coleopteran pests of stored grains. *Journal of Economic Entomology* **92**, 691-694.
- Richard, J., Payne, G., Desjardins, A., Maragos, C., Norred, W. & Pestka, J.** (Eds) (2003). Mycotoxins: Risks in plant, animal and human systems. CAST Task Force Report. **139**, 101-103.
- Roesli, R., Subramanyam, B., Fairchild, F.J. & Behnke, K.C.** (2003) Trap catches of stored-product insects before and after heat treatment in a pilot feed mill. *Journal of Stored Products Research* **39**, 521-540.
- Round F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G.** (1992) The Diatoms. Biology & Morphology of the genera. Cambridge University Press, New York, USA.
- Rudolph, D.** (1982) Occurrence, properties and biological implications of the active uptake of water vapour from the atmosphere in Psocoptera. *Journal of Insect Physiology* **28**, 111-121.
- Rumbos, C.I. & Athanassiou, C.G.** (2012) Insecticidal effect of six entomopathogenic nematode strains against *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) and *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* **50**, 21–26.
- Rumbos, C.I. & Athanassiou, C.G.** (2016) The use of entomopathogenic nematodes in the control of stored-product insects. *Journal of Pest Science* **90**, 39-49.
- Rumbos, C.I. & Athanassiou, C.G.** (2017) Use of entomopathogenic fungi for the control of stored-product insects: can fungi protect durable commodities? *Journal of Pest Science* **90**, 839-854.
- Rumbos, C.I., Dutton, A.C. & Athanassiou, C.G.** (2013) Comparison of two pirimiphos-methyl formulations against major stored-product insect species. *Journal of Stored Products Research* **55**, 106–115.

- Runner, G.A.** (1919) The tobacco beetle: an important pest in tobacco products. *U. S. Department of Agricultural Bulletin* **737**, 1-77.
- Ryne, C., Svensson, G.P. & Löfstedt, C.** (2001) Mating disruption of *Plodia interpunctella* in small-scale plots: effects of pheromone blend, emission rates, and population density. *Journal of Chemical Ecology* **27**, 2109-2124.
- Ryne, C., Ekeberg, M., Jonzén, N., Oehlschlager, C., Löfstedt, C. & Anderbrant, O.** (2006) Reduction in an almond moth *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae) population by means of mating disruption. *Pest Management Science* **62**, 912-918.
- Ryne, C., Svensson, G.P., Anderbrant, O. & Löfstedt, C.** (2007) Evaluation of long-term mating disruption of *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in indoor storage facilities by pheromone traps and monitoring of relative aerial concentrations of pheromone. *Journal of Economic Entomology* **100**, 1017-1025.
- Salgado, V. L.** (1997) The modes of action of spinosad and other insect control products. *Down Earth* **52**, 35-43.
- Sall, J., Lehman, A. & Creighton, L.** (2001) JMP Start Statistics. *A Guide to Statistics and Data Analysis using JMP and JMP IN Software*. Belmont, CA, Duxbury Press.
- Sallam, M.N.** (2013) Insect Damage: Damage on Post-harvest. FAO: Roma, Italy pp. 10-22.
- Sánchez Ramos, I., Álvarez Alfageme, F., Castañera, P.** (2007) Effects of relative humidity on development, fecundity and survival of three storage mites. *Experimental and Applied Acarology* **41**, 87-100.
- SAS Institute Inc** (2013) Using JMP 11. SAS Institute Inc, Cary.
- Sallam, M.N.** (2013) Insect damage: Damage on post-harvest. FAO: Roma, Italy, pp. 38.
- Samtani, J. B., Gilbert, C., Ben Webber, J., Subbarao, K. V., Goodhue, R. E. & Fennimore, S. A.** (2012) Effect of steam and solarisation treatments on pest control, strawberry yield, and economic returns relative to methyl bromide fumigation. *HortScience* **47**, 64–70.
- Saurav, K., Rajakumar, G., Kannabiran, K., Rahuman, A.A., Velayutham, K., Elango, G., Kamaraj, C. & Zahir, A.A.** (2013) Larvicidal activity of isolated compound 5-(2,4-dimethylbenzyl) pyrrolidin-2-one from marine *Streptomyces*

- VITSVK5 sp. against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, *Anopheles stephensi*, and *Culex tritaeniorhynchus*. *Parasitology Research* **112**, 215-226.
- Savoldelli, S. & Trematerra, P.** (2011) Mass-trapping, mating-disruption and attracticide methods for managing stored-product insects: success stories and research needs. *Stewart Postharvest Review* **7**, 1-8.
- Sayaboc, P.D., Gibe, A.J.G. & Caliboso, F.M.** (1998) Resistance of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) to phosphine in the Philippines. *The Philippine Entomologist* **12**, 91–95.
- Scheff, D.S. & Arthur, F.H.** (2018) Fecundity of *Tribolium castaneum* and *Trivolum confusum* adults after exposure to deltamethrin packaging. *Journal of Pest Science* **91**, 717-725.
- Scheff, D.S., Subramanyam, Bh. & Arthur, F.H.** (2016) Effect of methoprene treated polymer packaging on fecundity, egg, hatchability, and egg-to-adult emergence of *Tribolium castaneum* and *Trogoderma variabile*. *Journal of Stored Products Research* **69**, 227-234.
- Scheff, D.S., Subramanyam, Bh. & Arthur, F.H.** (2017) Susceptibility of *Tribolium castaneum* and *Trogoderma variabile* larvae and adults exposed to methoprenetreated woven packaging material. *Journal of Stored Products Research* **73**, 142-150.
- Schlipalius, D.I., Chen, W., Collins, P.J., Nguyen, T., Reilly, P.E.B. & Ebert., P.R.** (2008) Gene interactions constrain the course of evolution of phosphine resistance in the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*. *Heredity* **100**, 506-516.
- Schneiderman, H.A.** (1972) Insect hormones and insect control. In: Mendoza, J.J. & Beroza, M. (Eds) (1972) Insect juvenile hormones. Chemistry and Action. Academic Press, London. pp. 3– 27.
- Schwartz, B.E. & Burkholder, W.E.** (1991) Development of the granary weevil (Coleoptera: Curculionidae) on barley, corn, oats, rice, and wheat. *Journal of Economic Entomology* **84**, 1047-1052.
- Scholler, M. & Prozell, S.** (2010) Potential of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) to Control *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Central Europe. *IOBC/WPRS Bulletin* pp. 10.
- Seal, D.R., Ciomperlik, M., Richards, M.L. & Klassen, W.** (2006) Comparative effectiveness of chemical insecticides against the chilli thrips, *Scirtothrips*

- dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae), on pepper and their compatibility with natural enemies. *Crop Protection* **25**, 949-955.
- Shanahan, J., Brown Jr., W. & Blunt, T.** (2003) Aflatoxins. Colorado State University, Cooperative Extension Publication. Crop Series: Production. No. 0.306.
- Sial, A. & Brunner, J.** (2010) Toxicity and residual efficacy of chlorantraniliprole, spinetoram, and abamectin benzoate to obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology* **103**, 1277-1285.
- Sial, A., Brunner, J. & Doerr, M.D.** (2010) Susceptibility of *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) to two new reduced-risk insecticides. *Journal of Economic Entomology* **103**, 140-146.
- Sieminska, E., Ryne, C., Löfstedt, C. & Anderbrant, O.** (2009) Long-term pheromone-mediated mating disruption of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella*, in a flourmill. *Entomologia et Experimentalis et Applicata* **131**, 294-299.
- Simmons, P. and Nelson, H.D.** (1975) Insects on Dried Fruits. Agriculture Handbook 464. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Singh, D., Ramzan, M. & Dhatt, A.S.** (1977) Record of cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Fab.) on stored almonds. Punjab Hort. J. 17: 60-61. Solarz K, Solarz D: The allergenic mites in coal-mine dust from coal mines in Upper Silesia (Poland). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* (1996) **3**, 55-62.
- Sinha, R.N.** (1979) Ecology of microflora in stored grain. *Annales de Technologie Agricole* **28**, 191-209.
- Sinha, R.N. & Mills, J.T.** (1968) Feeding and reproduction of the grain mite and the mushroom mite on some species of *Penicillium*. *Journal of Economic Entomology* **61**, 1548-1552.
- Smet, H.J., Rans, M. & De Loof, A.** (1989) Activity of new juvenil hormone analogues on a stored food insect, *Tribolium confusum*. *Journal of Stored Products Research* **25**, 165-169.
- Soderlund, D.M., Clark, J.M., Sheets, L.P., Mullin, L.S., Piccirillo, V.J., Sargent, D., Stevens, J.T. & Weiner, M.I.** (2002) Mechanisms of pyrethroid

- neurotoxicology: implications for cumulative risk assessment. *Toxicology* **171**, 3-59.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J.** (1995) *Biometry*. 3rd edn. New York, W.H. Freeman & Company.
- Sokoloff, A., Lerner, M. and Ho, F.K.** (1965) Self-elimination of *Tribolium castaneum* following xenocide of *T. confusum*. *The American Naturalist* **99**, 399-404.
- Solomon, M.E.** (1946) Tyroglyphid mites in stored products. Ecological studies. *Annals of Applied Biology* **33**, 280-289.
- Sparks, T.C., Thompson, G.D., Larson, L.L., Kirst, H.A., Jantz, O.K., Worden, T.V., Hertjein, M.B. & Busacca, J.D.** (1995) Biological characteristics of the spinosyns: new naturally derived insect control agents, In: Richter, D.A. & Amour, J. (Eds) (1995) *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*, 4-7 January 1995, San Antonio, TX. National Cotton Council of America, Memphis, TN. **pp.** 903-907.
- Sparks, T.C.** (1996) Toxicity of insecticides and acaricides. In: King, E.G., Phillips, J.R. & Coleman, J. (Eds) (1996) *Cotton Insects and Mites: Characterization and Management*. Cotton Foundation Memphis Tennessee, **pp.** 283-322.
- 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. *Journal of Economic Entomology* **91**, 1277-1283.
- Spomer, N.A., Kamble, S.T. & Siegfried, B.D.** (2009) Bioavailability of chlorantraniliprole and indoxacarb to eastern subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) in various soils. *Journal of Economic Entomology* **102**, 1922-1927.
- Stathers, T.** (2002) Entomopathogenic fungi in grain storage- any lessons for Europe from elsewhere? In: Zdarkova, E., Lukas, J. & Hubert, J. (Eds) (2002) *Proceedings of the 2nd meeting of WG 4 of COST Action 842*, Prague, **pp.** 100-109.
- Stathers, T., Denniff, M. & Golob, P.** (2004) The efficacy and persistence of diatomaceous earths admixed with commodity against four tropical stored product beetle pests. *Journal of Stored Products Research* **40**, 113-123.

- Stejskal, V., Hubert, J., Kučerová, Z., Munzbergová, Z., Lukás, J. & Zdářková, E.** (2003) The influence of type of storage on pest infestation of stored grain in the Czech Republic. *Plant Soil Environment* **49**, 55-62.
- Subramanyam, Bh. & Roesli, R.** (2000) Inert dusts. In: Subramanyam, Bh. & Hagstrum, D.W. (Eds) (2000) Alternatives to pesticides in stored-product IPM. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 321–380.
- Suleiman, R.A. & Kurt, R.A.** (2015) Current maize production, postharvest losses and the risk of mycotoxins contamination in Tanzania. In: *Proceedings of the American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*, New Orleans, LA, USA, 26–29 July 2015.
- Sutton, A.E., Arthur, F.H., Zhu, K.Y., Campbell, J.F. & Murray, L.W.** (2011) Residual efficacy of synergized pyrethrin and methoprene aerosol against larvae of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* **47**, 399-406.
- Takahashi, K. & Romeo, M.V.** (2001) Investigation of stored-product insect pests and their natural enemies in Okinawa-jima and Ishigaki-jima Islands, Okinawa, Japan. *Japanese Journal of Entomology* **4**, 91–97.
- Teal, P.E.A., Gomez-Simuta, Y. & Proveaux, A.T.** (2000) Mating experience and juvenile hormone enhance sexual signaling and mating in male Caribbean fruit flies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **97**, 3708-3712.
- Teixeira, L.A.F., Gut, L.J., Wise, J.C. & Isaacs, R.** (2008) Lethal and sublethal effects of chlorantraniliprole on three species of *Rhagoletis* fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Pest Management Science* **65**, 137-143.
- Thenmozhi, M., Gopal, J.V., Kannabiran, K., Rajakumar, G., Velayutham, K. & Rahuman, A.A.** (2013) Eco-friendly approach using marine actinobacteria and its compounds to control ticks and mosquitoes. *Parasitology Research* **112**, 719–729.
- Thind, B. & Clarke, P.** (2001) The occurrence of mites in cereal-based foods destined for human consumption and possible consequences of infestation. *Experimental and Applied Acarology* **25**, 203-215.
- Thompson, G.D., Dutton, R. & Sparks, T.C.** (2000) Spinosad a case study: an example from a natural products discovery programme. *Pest Management Science* **56**, 696-702.

- Throne, J.E., Opit, G.P. & Flinn, P.W.** (2006) Seasonal distribution of psocids in stored wheat, pp. 1095-1103. In: Lorini, I., Bacaltchuk, B., Beckel, H., Deckers, D., Sundfeld, E., dos Santos, J.P., Biagi, J.D., Celaro, J.C., D'A Faroni, L.R., de, L., Bortolini, O.F. *et al.* (Eds) (2006) *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored-Product Protection*, 15-18 October 2006, Campinas, Sao Paulo, Brazil. Brazilian Post-harvest Association- ABRAPOS, Passo Fundo, RS, Brazil.
- Toews, M.D. & Subramanyam, Bh.** (2003) Contribution of contact toxicity and wheat condition to mortality of stored product insects exposed to spinosad. *Pest Management Science* **59**, 538-544.
- Tomizawa, M. & Casida, J.E.** (2005) Neonicotinoid Insecticide Toxicology: Mechanisms of Selective Action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* **45**, 247-268.
- Tomlin, C.D.S.** (2000) *The Pesticide manual*. London, BCPC Publications.
- Tovey, E.R., Chapman, M.D. & Platts Mills, T.A.** (1981) Mite faeces are a major source of house dust allergens. *Nature* **289**, 592-593.
- Trematerra, P.** (1994) Control of *Ephestia kuhniella* Zell by sex pheromones in the flour mills. *Anzeiger Fur Schadlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz* **67**, 74-77.
- Trematerra, P.** (2012) Advances in the use of pheromones for stored-product protection. *Journal of Pest Science* **85**, 285-299.
- Trematerra, P. & Sciaretta, A.** (2003) Phenology and spatial analysis of some Coleoptera infesting a feed mill. In: Credland, P.F., Armitage, D.M., Bell, C.H., Cogan, P.M., Highley, E. (Eds) (2003) *Advances in Stored Products Protection. Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection*, 22-26 July 2002, York, UK. CABI International, Wallingford, UK, pp. 276-280.
- Trematerra, P. & Savoldelli, S.** (2013) The use of water traps and presence of spermatophores to evaluate mating-disruption in Almond moth, *Ephestia cautella* (Walker), during exposure to synthetic sex pheromone. *Journal of Pest Science* **86**, 227-233.
- Trematerra, P., Athanassiou, C., Stejskal, V., Sciarretta, A., Kavallieratos, N. & Palyvos, N.** (2011) Large-scale mating disruption of *Ephestia* spp. and *Plodia*

- interpunctella* in Czech Republic, Greece and Italy. *Journal of Applied Entomology* **135**, 749-762.
- Trostanetsky, A., Kostyukovsky, M.** (2008) Transovarial activity of the chitin synthesis inhibitor novaluron on egg hatch and subsequent development of larvae of *Tribolium castaneum*. *Phytoparasitica* **36**, 38–41.
- Tsaganou, F.C., Vassilakos, T.N. & Athanassiou, C.G.** (2015) Knockdown and mortality of five stored product beetle species after short exposures of thiamethoxam. *Journal of Economic Entomology* **107**, 2222-2228.
- Turner, B.D.** (1986) What's moving in the muesli. *New Scientist*. **1513**, 43-45.
- Turner, B.D.** (1988) Psocids: a problem to control. In *Pest Control without pesticides: proceedings of a symposium of the Society of Food Hygiene Technology*, pp. F1-F10. Huddersfield, UK: SOFTH.
- Turner, B.D.** (1994) *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelididae), a stored food pest in the UK. *International Journal of Pest Management* **40**, 179-190.
- Turner, B.D., Staines, N., Brostoff J., Howe, C.A. & Cooper, K.** (1996) Allergy to psocids. *Proceedings of the 2nd International Conference of Insect Pests in the Urban Environment*. ed. KB Wildey, Edinburgh: BCP Wheatons. pp. 609.
- Turner, P., Sylla, A., Gong, Y., Diallo, M., Sutcliffe, A., Hall, A. & Wild, C.** (2005) Reduction in exposure to carcinogenic aflatoxins by postharvest intervention measures in west Africa: A community-based intervention study. *Lancet* **365**, 1950–1956.
- Tyler, P.S., Taylor, R.W.D. & Flees, D.P.** (1983) Insect resistance to phosphine fumigation in food warehouses in Bangladesh. *International Pest Control* **25**, 10–13.
- USEPA (U. S. Environmental Protection Agency)** (1998) Spinosad; time-limited pesticide tolerance. *Federal Register* **63**, 40239-40247.
- Vail, P.V., Tebbets, J.S., Cowan, D.C. & Jenner, K.E.** (1991) Efficacy and persistence of a granulosis virus against infestations of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) on raisins. *Journal of Stored Products Research* **27**, 103–107.
- Vassilakos, T.N. & Athanassiou, C.G.** (2012a) Effect of uneven distribution of spinetoram-treated wheat and rice on mortality and progeny production of *Rhyzopertha dominica* (F.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. *Journal of Stored Products Research* **50**, 73–80.

- Vassilakos, T.N. & Athanassiou, C.G.** (2012b) Effect of short exposures to spinetoram against three stored-product beetle species. *Journal of Economic Entomology* **105**, 1088–1094.
- Vassilakos, T.N. & Athanassiou, C.G.** (2013) Effect of temperature and relative humidity on the efficacy of spinetoram for the control of three stored product beetle species. *Journal of Stored Products Research* **55**, 73–77.
- 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 Products Research* **51**, 69-73.
- Vassilakos, T.N., Athanassiou, C.G. & Tsiropoulos, N.G.** (2015) Influence of grain type on the efficacy of spinetoram for the control of *Rhizopertha dominica*, *Sitophilus granarius* and *Sitophilus oryzae*. *Journal of Stored Products Research* **64**, 1-7.
- Vayias, B.J. & Athanassiou, C.G.** (2004) Factors affecting efficacy of the diatomaceous earth formulation SilicoSec against adults and larvae of the confused beetle *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Crop Protection* **23**, 565–573.
- Vidyarthi, A.S., Tyagi, R.D., Valero, J.R. & Surampalli, R.Y.** (2002) Studies on the production of *B. thuringiensis* based biopesticides using waste water sludge as a raw material. *Water Research* **36**, 4850-4860.
- Viljoen, J.H.** (1990) The occurrence of *Trogoderma* (Coleoptera: Dermestidae) and related species in southern Africa with special reference to *T. granarium* and its potential to become established. *Journal of Stored Products Research* **26**, 43-51.
- Vijverberg, H.P.M. & Bercken van den, J.** (1990). Neurotoxic effects and the mode of action of pyrethroid insecticides. *Critical Reviews in Toxicology* **21**, 105-126.
- Wakefield, M., Cox, P.D., Wildey, K.B., Price, N.R., Moore, D. & Bell, B.A.** (2002) The use of entomopathogenic fungi for stored product insect and mite control - further progress in the “Mycopest project”. In: Zdarkova, E., Lukas, J. & Hubert, J. (Eds) (2002) *Proceedings of the 2nd meeting of WG 4 of COST Action 842, Prague*, pp. 110-115.

- Wang, S., Ikediala, J. N., Tang, J., Hansen, J. D., Mitcham, E., Mao, R. & Swanson, B.** (2001a) Radio frequency treatments to control codling moth in in-shell walnuts. *Postharvest Biology and Technology* **22**, 29–38.
- Wang, S., Tang, J. & Cavalieri, R.** (2001b) Modeling fruit internal heating rates for hot air and hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology* **22**, 257–270.
- Wang, X., Li, X., Shem, A. & Wu, Y.** (2010) Baseline susceptibility of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) to chlorantraniliprole in China. *Journal of Economic Entomology* **103**, 843-848.
- Wang, B., Khir, R., Pan, Z., El-Mashad, H., Atungulu, G.G., Ma, H., McHugh, T. H., Qu, W. & Wu, B.** (2014). Effective disinfection of rough rice using infrared radiation heating. *Journal of Food Protection* **77**, 1538–1545.
- Washburn, F.L.** (1904) Special report of the state entomologist of Minnesota to the Governor: The Mediterranean flour moth. St. Anthony Park, Minnesota. Agricultural Experiment Station.
- Wendt, H.** (1992) Contribution to the bruchid fauna of the Balearic Islands (Coleoptera, Chrysomeloidea). *Deutsche Entomologische Zeitschrift* **39**, 117–122.
- Wijayarathne, L.K.W., Fields, P.G., & Arthur, F.H.** (2012) Effect of methoprene on the progeny production of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Pest Management Science* **68**, 217–224.
- Wild, C., Miller, J.D. & Groopman, J.D.** (2015) Mycotoxin control in low-and middle-income countries. IARC Working Group Report.
- Williams, T., Valle, J. & Vinuela, E.** (2003) Is the naturally-derived insecticide spinosad compatible with insect natural enemies? *Biocontrol Science and Technology* **13**, 459-475.
- Wing, H.D. & Aller, H.E.** (1990) Ecdysteroid agonists as novel insect regulators. In: Casida J.E. (Ed) (1990) Pesticides and alternatives. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam. **pp.** 251–257.
- WHO (World Health Organization)** (2004) Specifications and Evaluations for Public Health Pesticides. Pirimiphos-methyl, Geneva, Switzerland. **pp.** 30.
- Wislocki, P.G., Grosso, L.S. & Dybas, R.A.** (1989) Environmental aspects of abamectin use in crop protection. In: Campbell, W.C. (ed) Ivermectin and abamectin. Springer, Berlin Heidelberg, New York, **pp.** 182-200.

- Wraight, S.P. & Hajek, A.E.** (2009) Manipulation of arthropod pathogens for integrated pest management. In: Radcliffe, E.B., Hutchison, W.D. & Cancelado, R.E. (Eds) (2009) Integrated pest management: concepts, tactics, strategies and case studies. Cambridge University Press, New York. **pp.** 131–150.
- Xu, J., Wang, Q. & He, X.Z.** (2008) Emergence and reproductive rhythms of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *New Zealand Plant Protection* **61**, 227–282.
- Yadav, D. N., Anand, T., Sharma, M. & Gupta, R.** (2014). Microwave technology for disinfestation of cereals and pulses: an overview. *Journal of Food Science and Technology* **51**, 3568–3576.
- Yeoh, B. & Lee, C.Y.** (2007) Tunneling responses of the Asian subterranean termite, *Coptotermes gestroi* in termiticide-treated sand (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology* **50**, 457-468.
- Yilmaz, S., Ayvaz, A., Akbulut, M., Azizoglu, U. & Karabörklü, S.** (2012) A novel *Bacillus thuringiensis* strain and its pathogenicity against three important pest insects. *Journal of Stored Products Research* **51**, 33–40.
- Yokoyama, V.Y. & Mackey, B.E.** (1987) Relation of plant protein and suitability of cotton foliage for cigarette beetle (Coleoptera: Anobiidae) growth. *Journal of Economic Entomology* **80**, 830-833.
- Yue, B.S., Wilde, G.E. & Arthur, F.** (2003) Evaluation of thiamethoxam and imidacloprid as seed treatments to control European corn borer and Indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. *Journal of Economic Entomology* **96**, 503-509.
- Zaidi, J.H., Naeem, F., Ambreen, N., Khan, K.M., Pang, Y.P., Cusack, B., Richelson, E., Anwar, A. & Voelter, W.** (2006) Pyrrole-based partial peptidic mimic of neurotensin (8–13): design and synthesis. *Letters in Organic Chemistry* **3**, 21–24.
- Žd’árková, E. & Reška, M.** (1976) Weight losses of groundnuts (*Arachis hypogaea* L.) from infestation by the mites *Acarus siro* L. and *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank). *Journal of Stored Products Research* **12**, 101-104.
- Zettler, J.L. & Arthur, F.H.** (1997) Dose-response tests on red flour beetle and confused flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) collected from flour mills in the United States. *Journal of Economic Entomology* **90**, 1157-1162.

- Zhang, Z. & Sanderson, J.P.** (1990) Relative toxicity of abamectin to the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) and the two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology* **83**, 1783-1790.
- Zhao, Y., Mao, C., Li, Y., Zhang, P., Huang, Z., Bi, F., Huang, R. & Wang, Q.** (2008a) Synthesis, insecticidal, and acaricidal activities of novel 2-aryl-pyrrole derivatives containing ester groups. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**, 10176–10182.
- Zhao, Y., Mao, C., Li, Y., Zhang, P., Huang, Z., Bi, F., Huang, R. & Wang, Q.** (2008b) Synthesis, crystal structure, and insecticidal activity of novel *n*-alkyloxyoxalyl derivatives of 2-arylpyrrole. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**, 7326–7332.
- Zhou, L. & Wang, S.** (2016) Verification of radio frequency heating uniformity and *Sitophilus oryzae* control in rough, brown, and milled rice. *Journal of Stored Products Research* **65**, 40–47.
- Zhou, L., Ling, B., Zheng, A., Zhang, B. & Wang, S.** (2015) Developing radio frequency technology for postharvest insect control in milled rice. *Journal of Stored Products Research* **62**, 22–31.
- Zorya, S., Morgan, N., Diaz Rios, L., Hodges, R., Bennett, B., Stathers, T., Mwebaze, P., Lamb, J.** (2011) Missing Food: The Case of Postharvest Grain Losses in Sub-Saharan Africa. The international bank for reconstruction and development/the world bank: Washington, DC, USA.
- Ζιώγας Β.Ν. & Μαρκόγλου, Α.Ν.** (2010) Γεωργική Φαρμακολογία: Βιοχημεία, Φυσιολογία, Μηχανισμοί δράσης & Χρήσεις των Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων. Β έκδοση, Εκδόσεις Αγροτύπος.
- http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/Dimitriaka/isoz_sitira2015_2016.pdf
- http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/Dimitriaka/isoz_sitira2016_2017.pdf