

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακή Διατριβή

«Πληθυσμιακή ανάπτυξη κολεοπτέρων αποθηκών σε δημητριακά»

ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΥΡΓΙΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΒΟΛΟΣ

2024

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

Τίτλος πτυχιακής στα αγγλικά:

«Population growth of stored product beetles in grains»

ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΥΡΓΙΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΒΟΛΟΣ

2024

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Χρήστος Αθανασίου, Καθηγητής Π.Θ. (Επιβλέπων)

Νικόλαος Παπαδόπουλος, Καθηγητής Π.Θ.

Κυριάκος Γιαννούλης, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες.....	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	8
1.1 Γενικές πληροφορίες για τα έντομα.....	8
1.2 Έντομα αποθηκών και η σημασία τους.....	9
1.3 Σημαντικότερα κολεόπτερα αποθηκών.....	11
1.4 Δημητριακά και tritordeum.....	17
Κεφάλαιο 2: Υλικά και μέθοδοι.....	21
2.1 Έντομα που συμμετείχαν στις βιοδοκιμές.....	21
2.2 Βιοδοκιμές.....	21
2.3 Στατιστική ανάλυση.....	25
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα.....	26
3.1 Ανάπτυξη πληθυσμού (πείραμα 1 ^ο).....	26
3.2 Αριθμός και βάρος προσβεβλημένων και άθικτων σπόρων, παραγωγή σκόνης (πείραμα 1 ^ο).....	28
3.3 Ανάπτυξη πληθυσμού (πείραμα 2 ^ο).....	30
Κεφάλαιο 4: Συζήτηση.....	33
Βιβλιογραφία.....	37

Περίληψη

Τα είδη των εντόμων αποθηκών μπορούν να αναπτυχθούν σε μια πληθώρα ειδών από σπόρους αποθηκευμένων προϊόντων. Στην παρούσα μελέτη, γίνεται σύγκριση τριών διαφορετικών σπόρων δημητριακών όσον αφορά την καταλληλότητά τους ως προς την ανάπτυξη πληθυσμού ορισμένων πρωτευνόντων και δευτερευόντων ειδών εντόμων που προσβάλλουν αποθηκευμένα προϊόντα. Στην πρώτη σειρά βιοδοκιμών, αξιολογήθηκε η πληθυσμιακή ανάπτυξη και η προσβολή που προκάλεσαν τα: *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae), *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) και *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) σε ολόκληρους σπόρους σιταριού, κριθαριού και tritordeum (σιταροκρίθαρο) μετά από 65 ημέρες. Στην δεύτερη σειρά βιοδοκιμών, εξετάστηκαν τρία διαφορετικά ποσοστά από ολόκληρους και σπασμένους σπόρους των παραπάνω δημητριακών: 100% ολόκληροι σπόροι, 50% ολόκληροι + 50% σπασμένοι σπόροι και 100% σπασμένοι σπόροι, για τα είδη: *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) και *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), έπειτα από 65 ημέρες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα βρέθηκε ότι το tritordeum φαίνεται να αποτελεί ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη πληθυσμού όλων των ειδών που εξετάστηκαν. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το *Rhyzopertha dominica* παρουσίασε την μεγαλύτερη παραγωγή σκόνης, ωστόσο το *Sitophilus granarius* έδειξε να έχει τον υψηλότερο αριθμό προσβεβλημένων σπόρων. Ακόμη, οι θραυσμένοι κόκκοι προτιμήθηκαν από τα δευτερεύοντα είδη σε σύγκριση με τους ολόκληρους και στο σιτάρι διαπιστώθηκε γενικά μεγαλύτερη παραγωγή απογόνων συγκριτικά με το σιταροκρίθαρο και το κριθάρι. Συνολικά, το είδος του δημητριακού και διάφορα χαρακτηριστικά των σπόρων, όπως το ποσοστό των σπασμένων σπόρων, μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη πληθυσμού των ειδών των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων.

Abstract

Stored product species can be developed in a variety of stored product grains. In this study, we compare three different grains for their suitability for population growth of primary and secondary stored product insects. In the first series, we evaluated the population growth and damage of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae), *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on whole wheat, barley and tritordeum kernels after 65 days. In the second series, three different percentages of whole and cracked kernels were tested: 100% cracked kernels, 100% whole kernels and 50% cracked + 50% whole kernels, for *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) and *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). The results showed that tritordeum seems to be suitable for the population growth of all species tested. In most of the cases, *R. dominica* showed greater frass production but *S. granarius* showed a higher number of damaged kernels. Cracked kernels were preferred by secondary pests than whole kernels and wheat showed higher progeny production than tritordeum and barley. Overall, commodity, and several characteristics of the kernels such as percentage of cracked kernels can affect the population growth of stored product insect species.

Ευχαριστίες

Καταρχάς, θέλω να αποδώσω εγκάρδιες ευχαριστίες στον καθηγητή κ. Χρήστο Αθανασίου για την ευκαιρία που μου έδωσε, έτσι ώστε να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, ασχολούμενος περαιτέρω με τα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων και για την χρήσιμη και πολύτιμη συμβολή του, χωρίς την οποία δεν θα κατάφερνα να ολοκληρώσω αυτήν την εργασία. Επιπλέον, θέλω να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στη Δρ. Μαρία Σακκά για την κομβική βοήθεια, την άριστη επιτήρηση, την εκτενή και υπομονετική καθοδήγηση που μου παρείχε, λύνοντάς μου οποιαδήποτε απορία εμφανίζονταν, σε όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Καθηγητές κ. Χρήστο Αθανασίου, κ. Νικόλαο Παπαδόπουλο και κ. Κυριάκο Γιαννούλη για την παρουσία τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου που με στήριξε ψυχολογικά στο διάστημα αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1. Γενικές πληροφορίες για τα έντομα

Τα έντομα αποτελούν ένα πολύ σημαντικό μέρος του βασιλείου των ζώων (Animalia) και πιο συγκεκριμένα κατατάσσονται στην τάξη των αρθρόποδων. Πρόκειται για την εξελικτικά ανώτερη αλλά και πολυπληθέστερη ζωική ομάδα σε είδη και αριθμό ατόμων. Το τελευταίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ικανότητα προσαρμογής που έχουν αναπτύξει εξελικτικά έτσι ώστε να μπορούν να διαβιώνουν σε ποικίλα περιβάλλοντα, κυρίως χερσαία, στα οποία επικρατούν δυσμενείς συνθήκες. Οι δύο σημαντικότεροι παράμετροι πάνω στους οποίους στηρίχθηκε η εκτενής εξάπλωσή τους είναι η πρωιμότερη απόκτηση της δυνατότητας πτήσης συγκριτικά με άλλα πτηνά και θηλαστικά, κατά περίπου 250 εκατομμύρια χρόνια, που τους βοήθησε να υπερβούν διάφορα φυσικά εμπόδια και το μικρό τους μέγεθος, το οποίο συνέβαλε στο να διανύσουν τεράστιες αποστάσεις αξιοποιώντας παράλληλα ρεύματα αέρα και νερού (Hickman et al. 2015).

Είναι ζώα πολύμορφα καθώς η τελική τους μορφή διαφέρει από την αρχική και για να φτάσουν σε αυτή πρέπει να περάσουν από επιμέρους στάδια, μια διαδικασία που ονομάζεται μεταμόρφωση. Αυτά είναι: του ωού, της προνύμφης, της νύμφης και τελικά του ακμαίου, που είναι το μόνο αναπαραγωγικά ικανό στάδιο. Ως προς την ανατομία τους, είναι εξοπλισμένα με έναν ανθεκτικό εξωσκελετό, ο οποίος συγκροτείται από πολλαπλά στρώματα χιτίνης παρέχοντάς τους αυξημένη προστασία από περιβαλλοντικές επιδράσεις. Το σώμα των εντόμων συγκροτείται από τρία διακριτά τμήματα, τα οποία είναι η κεφαλή, ο θώρακας και η κοιλιά. Όσον αφορά την κεφαλή, σε αυτήν περιλαμβάνονται τα μάτια, ένα ζεύγος κεραίες και τα στοματικά μόρια που βρίσκονται εξωτερικά των γνάθων. Στον θώρακα βρίσκονται τα πόδια των εντόμων, τα οποία είναι κατά κανόνα έξι, οι πτέρυγες, αναπνευστικοί και ακουστικοί πόροι. Στην κοιλιακή χώρα περιέχονται αδένες και όργανα του αναπαραγωγικού, του πεπτικού, του απεκκριτικού συστήματος όπως και

όργανα ζωτικής σημασίας. Τις ειδοποιούς διαφορές των εντόμων σχετικά με τα υπόλοιπα αρθρόποδα αποτελούν: η ύπαρξη έξι ποδιών στα ενήλικα άτομα και η παρουσία δύο ζευγών πτερύγων στον θώρακα με ορισμένες εξαιρέσεις όπου εντοπίζεται ένα ή κανένα ζεύγος (Hickman et al. 2015).

Η επιστήμη η οποία έχει ως αντικείμενο μελέτης τα έντομα ονομάζεται εντομολογία και ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία της ζωολογίας. Η θέση των εντόμων στο φυσικό οικοσύστημα είναι σπουδαιότατη εξαιτίας της έντονης παρουσίας τους, με εξαίρεση τα μεγάλα βάθη της θάλασσας, και παίζει κομβικό ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας της φύσης, που είναι στενά συνδεδεμένη με την συνέχεια της ομαλής λειτουργίας της. Αυτό, σε συνδυασμό με την τεράστια οικονομική και υγειονομική σημασία των εντόμων για την ανθρωπότητα κάνουν επιτακτική την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και μελέτη πάνω στον ταχέως εξελισσόμενο τρόπο λειτουργίας και συμπεριφοράς τους (Τζανακάκης, 1995). Σκοπός βέβαια των εντομολόγων ερευνητών δεν είναι ο αφανισμός των βλαβερών για τον άνθρωπο εντόμων, αλλά ο περιορισμός του πληθυσμού τους σε ανεκτά όρια.

1.2. Έντομα αποθηκών και η σημασία τους

Από τα πρώτα χρόνια ακόμα, κατά τα οποία ο άνθρωπος ξεκίνησε την καλλιέργεια φυτών για να καλύψει τις διατροφικές του ανάγκες, τα έντομα έβρισκαν και εισέβαλλαν στους χώρους όπου αποθηκεύονταν τα συγκομισμένα προϊόντα προκαλώντας έτσι προβλήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εύρεση ατόμων του γένους *Tribolium sp.* που εντοπίστηκαν σε αιγυπτιακό τάφο χρονολογίας του 2500 π.χ. (Μπουχέλος, 2018). Μάλιστα, οι προσβολές άρχισαν να γίνονται κομβικότερες όταν ο άνθρωπος ξεκίνησε να αυξάνει την παραγωγή της τροφής τους έτσι ώστε να την αποθηκεύσει για δυσμενείς περιόδους, όπως πολέμους, και παράλληλα στο πλαίσιο της επέκτασης του εξαγωγικού εμπορίου κυρίως στον τομέα των σιτηρών. Τις τελευταίες δεκαετίες, με βάση τα στατιστικά δεδομένα του F.A.O. (οργανισμός

τροφίμων και γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών) εκτιμάται ό,τι οι απώλειες σε γεωργικά προϊόντα κατά την αποθήκευση κυμαίνονται περίπου στο 17% της παγκόσμιας παραγωγής με το 10% αυτού να οφείλεται σε προσβολές εντόμων. Ειδικά σε αποθηκευμένο σιτάρι ή κριθάρι, όπου πολλά είδη εντόμων αποθηκών φαίνεται να έχουν μια ιδιαίτερη προτίμηση, σημειώνονται συχνά απώλειες άνω της τάξης του 20% (Phillips and Throne, 2010; Ahmed et al., 2013). Επίσης, η παρουσία των εντόμων σε αποθήκες γεωργικών προϊόντων ευνοεί την ανάπτυξη ποικίλλων ζημιογόνων παθογόνων (βακτήρια και μύκητες), προκαλώντας έτσι εκτός από ποσοτική και σημαντική ποιοτική υποβάθμιση στα προϊόντα τα οποία ενδέχεται να απειλήσουν την υγεία των καταναλωτών (π.χ. η κατάποση μεγάλης ποσότητας εκδυμάτων, τριχών ή προνυμφών των εντόμων της οικογένειας Dermestidae είναι πιθανό να επιφέρει οξύ κνησμό στο λαιμό σε συνδυασμό με στεγνό βήχα) (Αθανασιάδης, 2008). Όλα τα προαναφερθέντα συνδέονται άμεσα με τεράστια οικονομική ζημιά. Για αυτούς τους λόγους κρίνεται αναγκαία η προσπάθεια για την καταπολέμησή τους, συμβάλλοντας έτσι στην αντιμετώπιση του ευρύτερου προβλήματος του υποσιτισμού.

Με βάση με τον Μπουχέλο (2018) ως έντομα αποθηκευμένων προϊόντων ορίζονται εκείνα τα οποία προκαλούν άμεση προσβολή και φθορά σε ένα προϊόν και είναι ικανά να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο σε οποιοδήποτε χώρο στον οποίο αποθηκεύονται γεωργικά προϊόντα ή τρόφιμα για ένα υπολογίσιμο χρονικό διάστημα. Παγκοσμίως, περίπου 1000 είδη εντόμων έχουν συσχετιστεί με αποθηκευμένα προϊόντα (Srivastava and Subramanian, 2016), η πλειονότητα των οποίων ανήκει στα κολεόπτερα (60%), με αμέσως επόμενα τα λεπιδόπτερα (10%) ενώ αρκετά υποδεέστερος είναι ο αριθμός εκείνων που ανήκουν στα ψωκόπτερα, στα δίπτερα και στα υμενόπτερα (Σταμόπουλος, 2013). Αν και η πρωταρχική προσβολή των εντόμων αυτών μπορεί να γίνει κατευθείαν στο χώρο αποθήκευσης των προϊόντων, πολλές φορές έχει παρατηρηθεί ό,τι συμβαίνει και σε άλλα στάδια της παραγωγής όπως κατά την επεξεργασία, τη μεταφορά ή ακόμα και στον αγρό (Deshwal et al., 2020). Τα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων κατηγοριοποιούνται σε δύο μεγάλες ομάδες: στα πρωτεύοντα και στα

δευτερεύοντα είδη. Τα πρωτεύοντα διακρίνονται για την ικανότητά τους να προσβάλλουν άθικτους, ακέραιους σπόρους, σε αντίθεση με τα δευτερεύοντα, τα οποία μπορούν να προσβάλλουν μόνο σπόρους οι οποίοι έχουν υποστεί φθορά είτε μηχανική ή προερχόμενη από πρωτεύοντα είδη (Marid, 2020).

1.3 Σημαντικότερα κολεόπτερα αποθηκών.

Sitophilus oryzae (Coleoptera: Curculionidae)

Το *S. oryzae* ανήκει στα πρωτεύοντα έντομα αποθηκών, είναι κοσμοπολίτικο είδος και συναντάται συνήθως σε περιοχές με τροπικό ή υποτροπικό κλίμα όπως η Ινδία, η Αυστραλία, οι Η.Π.Α, σε παραθαλάσσιες περιοχές της Β. Αφρικής και σε κάποιες περιοχές της Κίνας (Σταμόπουλος, 2013). Αποτελεί είδος μεγάλης οικονομικής σημασίας καθώς είναι από τους πιο κοινούς εχθρούς του ρυζιού και των σπόρων των δημητριακών ενώ πιο σπάνια μπορεί να εντοπιστεί σε αλευρώδη προϊόντα, ξηρούς καρπούς, ζωοτροφές κ.α.. Προτιμά να ζει σε συνθήκες σχετικά υψηλής θερμοκρασίας (28-32 °C) και υγρασία περίπου 70% (Batta, 2004). Χρωματικά, το ακμαίο είναι σκουρόχρωμο καστανό με 4 κιτρινωπά ή κοκκινωπά στίγματα (δύο σε κάθε έλυτρο), με μήκος 2.5-4,5 mm και εμφανίζει πολυάριθμες μικρές θυλακώσεις στον προθώρακα. Επίσης, χάρις στις μεμβρανώδεις πτέρυγες που διαθέτει έχει την δυνατότητα να πετάει, γεγονός που του επιτρέπει να προσβάλλει τους σπόρους από τον αγρό και έπειτα να μεταβιβάζεται στις αποθήκες (Μπουχέλος, 2018). Το θηλυκό γεννά περίπου 400 αυγά τα οποία εναποθέτει σε οπές που έχει δημιουργήσει στους σπόρους και έπειτα καλύπτει το άνοιγμα χρησιμοποιώντας ένα παχύρρευστο έκκριμα. Έτσι η αναπτυσσόμενη προνύμφη που προκύπτει, η οποία είναι άσπρη και άποδη, τρέφεται με το εσωτερικό του σπόρου, όπου και ακολουθεί η νύμφωση και η μετατροπή του σε τέλειο. Ο βιολογικός κύκλος του *S. oryzae* διαρκεί 34-49 ημέρες (Swamy et al., 2014) και εφόσον αναπτύσσεται σε θερμό κλίμα μπορεί να φτάσει ή ακόμα και να υπερβεί τις τέσσερις γενιές μέσα σε ένα έτος.

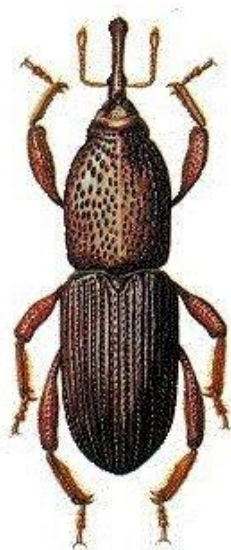
Sitophilus granarius (Coleoptera: Curculionidae)

Το *S. granarius* αποτελεί ακόμη ένα κομβικής σημασίας έντομο αποθηκευμένων προϊόντων. Θεωρείται ίσως το πιο καταστροφικό είδος για τους ακατέργαστους αποθηκευμένους σπόρους δημητριακών (Champ and Dyte 1976; Omar et al., 2013) προκαλώντας απώλειες που ανέρχονται στο 10-15% παγκοσμίως ως προνύμφη και ως ενήλικο (Rajendran 2002; Neethirajan et al., 2007) ενώ λιγότερο συχνά μπορεί να βρεθεί και σε όσπρια. Γεωγραφικά, εντοπίζεται κατά κύριο λόγο σε περιοχές με εύκρατο ή και ψυχρό κλίμα (π.χ. Σκανδιναβία) με την παρουσία του στην Ελλάδα μάλιστα να είναι αρκετά έντονη (Σταμόπουλος, 2013). Είναι ικανό να επιβιώσει σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (από 12°C ως και λίγο πάνω από τους 30°C), με τις ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης να είναι οι 25°C με σχετική υγρασία γύρω στο 70% (Omar et al., 2013). Εμφανισιακά φέρει αρκετές ομοιότητες με το *S. oryzae*, όντας λίγο πιο σκουρόχρωμο και χωρίς ανοιχτόχρωμα σημάδια στα έλυτρά του. Έχει μήκος σώματος 3-5 mm αλλά σε αντίθεση με το *S. oryzae*, δεν διαθέτει μεμβρανώδεις πτέρυγες οπότε μπορεί να πετάξει. Ως προς τον βιολογικό του κύκλο, ομοίως οι παρόμοιες μορφολογικά με το συγγενικό του είδος προνύμφες δημιουργούν οπές στους σπόρους, εναποθέτουν μέσα τα ωά τους και στην συνέχεια σφραγίζουν τα κενά. Αξιοσημείωτο είναι ό,τι στην περίπτωση που αφεθούν περισσότερα του ενός αυγά εντός τους ίδιου σπόρου, οι προνύμφες που προκύπτουν αναπτύσσουν κανιβαλιστική συμπεριφορά με αποτέλεσμα να επιβιώνει ένα μόνο άτομο (Σταμόπουλος, 2013). Η ανάπτυξη του είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί σε περίπου 35 μέρες στους 26°C (Galecki et al., 2019) και έχει συνήθως 3-4 γενιές ανά έτος, με τα θηλυκά να γεννούν ως και 400 αυγά έκαστα. Επιπλέον, αφού το *S. granarius* φτάσει στην τέλεια του μορφή μπορεί να ζήσει έως και 8 μήνες. Ένα φαινόμενο που αξίζει να αναφερθεί είναι ό,τι όταν σε κάποια σημεία του προϊόντος η πυκνότητα του πληθυσμού του είναι αυξημένη, σημειώνεται τοπική άνοδος της θερμοκρασίας, παρουσία υψηλής υγρασίας, που οφείλεται στην έντονη μεταβολική δραστηριότητα των εντόμων. Το αποτέλεσμα αυτού είναι η

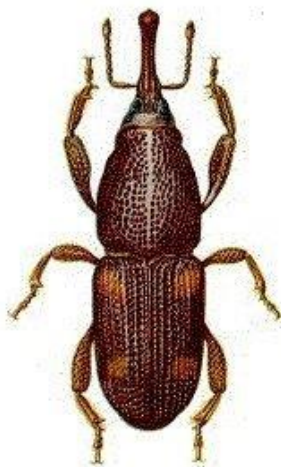
δημιουργία των «θερμών κηλίδων» (hot spots), οι οποίες συμβάλλουν στην ανάπτυξη μυκήτων υποβαθμίζοντας έτσι το προϊόν και καθιστώντας το πλέον ευάλωτο και σε άλλα έντομα (Howe, 1962).

Rhyzopertha dominica (Coleoptera: Bostrychidae)

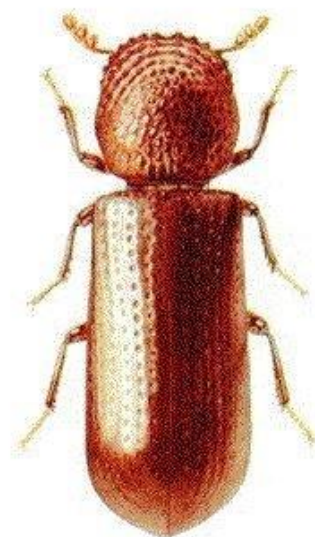
Το *R. dominica* αποτελεί ακόμα ένα πρωτεύον είδος, το οποίο ζει κατά κύριο λόγο σε περιοχές όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Προσβάλλει σπόρους δημητριακών όπως καλαμπόκι, ρύζι, σιτάρι και άλλα αμυλούχα προϊόντα αυτών (Chittenden, 1911). Μάλιστα, σύμφωνα με τον Μπουχέλο (2018) είναι το έντομο με την εντονότερη παρουσία σε αποθηκευμένο ρύζι και σιτάρι στην Ελλάδα. Ως προς την μορφολογία του, το σώμα του είναι μακρόστενο, κυλινδρικό, ερυθροκαστανό ως βαθύ καστανό, μήκους 2,5-3 mm και έχει λακκίσκους στον θώρακα και στα έλυτρα (Beiriger and Sites, 1996; Edde, 2012). Ακόμη, στην κάτοψη δεν διακρίνεται η κάψα της κεφαλής καθώς έχει κλίση προς τα κάτω και αντί αυτού καλύπτεται από τον προθώρακα. Επίσης, φέρει κοντές ροπαλοειδείς κεραίες με τρία άρθρα οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές του είδους (Edde, 2012) και διαθέτει την ικανότητα πτήσης. Η προνύμφη είναι ανοιχτόχρωμη με κυρτό σώμα (σκαραβαιόμορφη), διαθέτει κεφαλή και πόδια και μπορεί να φτάσει σε μήκος ως και 5-6 mm. Επιβιώνει σε κάθε στάδιο του βιολογικού του κύκλου σε θερμοκρασίες 18°C ως και 40°C με ιδανική θερμοκρασία τους 28°C (Howe, 1950) όπου, σύμφωνα με τον Μπουχέλο (2018), μπορεί να έχει ως και 6 γενεές μέσα σε ένα έτος. Αρχικά, τα θηλυκά τοποθετούν τα αυγά εξωτερικά του σπόρου και εν συνεχεία οι εκκολαπτόμενες προνύμφες εισέρχονται σε αυτόν καταναλώνοντάς τον. Εκεί, ακολουθεί η νύμφωση και η έξοδος του εντόμου ως ακμαίο. Μάλιστα, μόνο η οπή εξόδου είναι διακριτή κάτι που σημαίνει ό,τι η ζημιά μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά ποσοστά (ως και της τάξης του 80%) προτού γίνει αντιληπτή η προσβολή (Kavalieratos, et al, 2012). Έτσι, για όλα τα παραπάνω το *R. dominica* θεωρείται, από πολλούς, ίσως το κομβικότερο έντομο αποθηκών ανά την υφήλιο.



Granary weevil



Rice weevil



Lesser grain borer

Εικόνα 1: *S. granarius* (Granary weevil), *S. oryzae* (Rice weevil) και *R. dominica* (Lesser grain borer)

(https://www.agric.wa.gov.au/sites/all/modules/custom/seed_tools/pestweb/images/primarydegesch.jpg)

Tribolium castaneum (Coleoptera: Tenebrionidae)

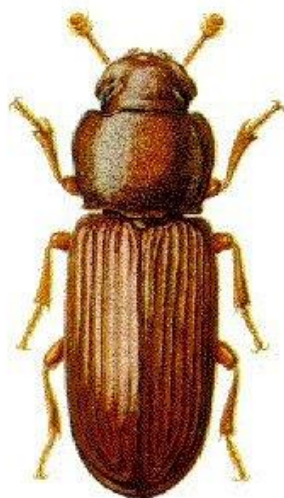
Το *T. castaneum* (Herbst 1797) αποτελεί ένα κοσμοπολίτικο είδος ύψιστης οικονομικής σημασίας καθώς μπορεί να επιβιώσει σε περιοχές με διάφορων ειδών κλίματα, γεγονός που συμβάλλει στην ευρεία γεωγραφική του εξάπλωση. Τα γενετικά του χαρακτηριστικά παρουσιάζουν τεράστιο επιστημονικό ενδιαφέρον καθώς στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης των εντόμων αποθηκών και της γενετικής γενικότερα, έχουν πραγματοποιηθεί εκτενείς μελέτες και έρευνες πάνω στη βιολογία του διότι θεωρείται πρότυπο οργανισμού με μεγάλη δυναμική για τα έντομα. Μάλιστα υπήρξε το πρώτο σκαθάρι (κολεόπτερο) του οποίου το γονιδίωμα χαρτογραφήθηκε με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και συμπεριφοράς του (Campbell et al., 2022). Μερικά από τα πλεονεκτήματά του είναι: η σχετικά μικρή περίοδος εκκόλαψης, η μεγάλη διάρκεια ζωής των ακμαίων (ως και δύο έτη τα θηλυκά με

βάση τον Μπουχέλο, 2018), η υψηλή γονιμότητα και η ευκολία μετακίνησης (Wang et al., 2007). Ως προς τις διατροφικές του προτιμήσεις, οι προνύμφες και τα ενήλικα τρέφονται με σχεδόν όλων των ειδών σπόρους (κυρίως σπασμένους) από σιτηρά και όσπρια, άλευρα, ξηρά λαχανικά, διάφορα μπαχαρικά, κακάο, σοκολάτα, ζωοτροφές κ.α. Το σώμα του *T. castaneum* είναι επίμηκες (μήκους 4-4,5 mm), έχει ερυθροκαστανό γυαλιστερό χρώμα και οι κεραίες του διαμορφώνουν ρόπαλο χάρις στα τρία τελευταία πεπλατυσμένα του άρθρα. Το τελευταίο αποτελεί την ειδοποιό διαφορά που έχει με το, κατά τα άλλα παρόμοιο, συγγενικό του είδος *T. confusum* (Park, 1934). Η προνύμφη του είναι ανοιχτόχρωμη, μήκους 5 mm, ολιγόποδη και ευκέφαλη. Τα ακμαία επιβιώνουν τον χειμώνα μέσα στα άλευρα ή τους φθαρμένους αποθηκευμένους σπόρους, με τα θηλυκά να γεννούν 500-600 αυγά (3-5 γενεές) ανά έτος. Τέλος, ιδανικές συνθήκες διαβίωσης θεωρούνται όταν επικρατούν θερμοκρασίες που κυμαίνονται στους 28°C και υγρασία γύρω στο 70-90% (Howe, 1956). Στις συγκεκριμένες συνθήκες, ο βιολογικός του κύκλος ολοκληρώνεται σε κατά προσέγγιση 30 ημέρες.

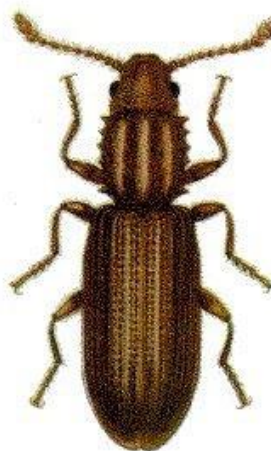
Oryzaephilus surinamensis (Coleoptera: Silvanidae)

Το συγκεκριμένο είδος είναι κοσμοπολίτικο και εντοπίζεται συχνότερα σε θερμές χώρες αν και μπορεί να επιβιώσει και σε ψυχρότερα μέρη όπως ο Καναδάς, η Μεγάλη Βρετανία και η Βόρεια Αμερική. Το *O. surinamensis* όντας δευτερεύον είδος αδυνατεί να προσβάλλει απευθείας ακέραιους σπόρους αλλά εξαρτάται κατά κύριο λόγο στην παρουσία και άλλων επιβλαβών εντόμων σε αυτές τις περιπτώσεις. Για παράδειγμα, έχει καταγραφεί ουκ ολίγες φορές η συνύπαρξή του με άτομα του είδους *S. granarius* σε αποθήκες σιταριού και κριθαριού (Σταμόπουλος, 2013). Όσον αφορά τις τροφικές του προτιμήσεις, συναντάται σε σπόρους σιτηρών, αποξηραμένα φρούτα, ξηρούς καρπούς, ελαιούχους σπόρους, κακάο, καφέ, ζάχαρη και άλλα αμυλούχα προϊόντα όπως ψωμί, μακαρόνια, μπισκότα κ.α. (Howe, 1956). Το σώμα του τέλειου έχει μήκος 2,5-3 mm, είναι λεπτό, συμπίεσμένο, καφέ χρώματος και σκουραίνει με την πάροδο του χρόνου. Στον θώρακα του υπάρχουν κατά μήκος δύο αυλακώσεις και από

έξι οδοντωτά εξογκώματα σε κάθε πλευρά (McMullen, 1928). Επίσης, τα ενήλικα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευκινησία. Οι προνύμφες είναι νηματοειδείς, κιτρινωπές, ευκέφαλες, ολιγόποδες, μήκους 4 mm και έχουν αμφίπλευρα μια ραχιαία κηλίδα σκουρόχρωμης απόχρωσης. Μπορούν να αναπτυχθούν σε θερμοκρασίες από 20°C ως και 37°C με τον μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης να εμφανίζεται γύρω στους 30-33°C σε συνδυασμό με 70% σχετική υγρασία, όπου ο βιολογικός κύκλος ολοκληρώνεται σε περίπου 20 μέρες (Beckett and Evans, 1994). Σύμφωνα με τον Μπουχέλο (2018), οι γενιές είναι κατά κανόνα 2-3 αλλά μπορούν να φτάσουν ακόμα και τις 6 υπό ευνοϊκές συνθήκες ενώ τα ενήλικα μπορούν να ζήσουν ως και 2-3 χρόνια αν υπάρχει διαθέσιμη τροφή.



Rust-red flour beetle



Saw-tooth grain beetle

Εικόνα 2: *Tribolium castaneum* (Rust-red flour beetle) και *Oryzaephilus surinamensis* (Saw-tooth grain beetle).

(https://www.agric.wa.gov.au/sites/all/modules/custom/seed_tools/pestweb/images/secondarydegesch.jpg)

1.4 Δημητριακά και σιταροκρίθαιο

Τα δημητριακά αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι, μεγάλης σπουδαιότητας, της ιστορίας του ανθρώπινου πολιτισμού. Από τις απαρχές της γεωργίας, η καλλιέργεια δημητριακών μεταμόρφωσε τις ανθρώπινες κοινωνίες από μικρές κλειστές κοινότητες «κυνηγών και τροφοσυλλεκτών» σε μεγάλες οργανωμένες ομάδες από «τροφοπαραγωγούς» (Slavin, 2004; Awika, 2011). Πλέον, δημητριακά όπως το ρύζι, ο σίτος και ο αραβόσιτος παίζουν θεμελιώδη ρόλο στη διατροφή του ανθρώπου, αποτελώντας την κύρια πηγή πρωτεΐνης για το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού της γης (Nuss and Tanumihardjo, 2010; Bhullar and Gruissem, 2013; Poole et al., 2021). Παράλληλα, η ανεπάρκεια αυτών συνδέεται άμεσα με υποσιτισμό σε τεράστιες γεωγραφικές εκτάσεις (π.χ. στην υποσαχάρια Αφρική). Στην κατηγορία των δημητριακών την πλειονότητα αποτελούν τα σιτηρά (σιτάρι, κριθάρι, βρώμη κ.α.), ενώ συμπεριλαμβάνονται και τα οσπριοειδή (φασόλια, φακές, ρεβίθια κ.α.) όπως και τα ελαιούχα δημητριακά (ηλίανθος, σόγια, κάρδαμο κ.α.).

Η εξέλιξη της καλλιέργειας των δημητριακών, ιδιαίτερα των σιτηρών, έχει αυξήσει σημαντικά το πλήθος των καλλιεργούμενων ειδών και έχει συμβάλλει ακόμα και στην δημιουργία νέων υβριδικών ειδών που δεν υπήρχαν στην φύση νωρίτερα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του *triticales* (*tritico-secale*) το οποίο είναι υβρίδιο σιταριού (*triticum*) και σίκαλης (*secale*) και προέκυψε από φυσικές διασταυρώσεις πάνω από εκατό χρόνια πριν (Lorenz and Pomeranz, 1974; McGoverin, et al., 2011). Το *triticales* συνδυάζει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του σιταριού και της σίκαλης και μάλιστα θεωρείται εδώ και κάποια χρόνια εμπορικά βιώσιμη καλλιέργεια (Skonmand et al., 1984; Mergoum et al., 2009; Randhawa et al., 2015). Προς το παρόν, διάφορες ποικιλίες του *triticales* καλλιεργούνται σε ένα μεγάλο πλήθος χωρών σε όλο τον κόσμο με σκοπό την παραγωγή ζωοτροφών ή και προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση (McGoverin et al., 2011).

Άλλο ένα πρόσφατο παράδειγμα τέτοιου είδους είναι η περίπτωση του tritordeum (σιταροκρίθαρο), το οποίο αποτελεί προϊόν διασταύρωσης σκληρού σιταριού (*Triticum durum*) και ενός είδους άγριου κριθαριού, ιθαγενές της Λατινικής Αμερικής (*Hordeum chilense* Roem et Schultz (Martin et al., 1999; Ávila et al., 2021; Papadopoulos et al., 2023). Το tritordeum είναι ένα νεοσύστατο (1977), φυσικό δημητριακό που προορίζεται κυρίως για ανθρώπινη κατανάλωση και χαρακτηρίζεται από ποικίλα διατροφικά οφέλη. Για παράδειγμα, συγκριτικά με το σιτάρι περιέχει περισσότερες φυτικές ίνες και χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε πεπτιδία γλουτένης, καθιστώντας έτσι τα προϊόντα που προέρχονται από τα άλευρά του πιο εύπεπτα (Ανατολίτης, 2022) χωρίς όμως να χάνει τις ιδιότητες παραγωγής τους (Comino et al., 2016; Sánchez et al., 2021). Επίσης, είναι πλούσιο σε λουτεΐνη (ξανθοφύλλη), ένα καροτενοειδές με αντιοξειδωτικές ιδιότητες χάρις στο οποίο το tritordeum και τα προϊόντα του (ψωμί, μπισκότα, ζυμαρικά κ.α.) αποκτούν ένα χαρακτηριστικό κιτρινωπό χρώμα (Erlandsson, 2010), (Εικόνα 3).

Οι πρώτες καλλιέργειες του σιταροκρίθαρου πραγματοποιήθηκαν στην Ισπανία και την Ιταλία το 2013 ενώ στην συνέχεια εξαπλώθηκε και σε άλλες χώρες της μεσογείου (Ελλάδα, Γαλλία, Πορτογαλία, Τουρκία) και σε μερικές ακόμη χώρες της βορειοκεντρικής Ευρώπης (Κοντονασάκη, 2021). Είναι κατά βάση χειμερινό σιτηρό αλλά υπό κατάλληλες συνθήκες μπορεί να καλλιεργηθεί και σαν ανοιξιάτικο. Η σπορά λαμβάνει χώρα κατά τους φθινοπωρινούς μήνες αφού προηγηθεί η ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιεργητικής περιόδου και η κατεργασία του εδάφους. Ως προς τη μορφολογία του παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με το σιτάρι. Χαρακτηρίζεται από μεγάλες ταξιανθίες, συμπαγείς σπόρους και κοντύτερο στέλεχος, το οποίο του προσδίδει αυξημένη αντοχή στο πλάγιασμα. Επιπλέον, ανθίζει και ωριμάζει οψιμότερα από το σιτάρι κατά περίπου μία εβδομάδα, ενώ είναι πιο ανθεκτικό σε συνθήκες ξηρασίας και υψηλής εδαφικής αλατότητας (Villegas et al., 2010). Ακόμη ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι το γεγονός ό,τι εμφανίζει μειωμένη ευαλωτότητα σε ασθένειες όπως το ωίδιο των σιτηρών (*Erysiphe graminis*), η

σεπτορίαση του σίτου (*Septoria tritici*), και σε κάποιες σκωριάσεις (π.χ. *Puccinia recondita*). Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο γονιδιακό υλικό που έχει κληρονομήσει από το *Hordeum chilense* (Martinek et al., 2003). Η συγκομιδή γίνεται αρχές με μέσα καλοκαιριού (ανάλογα με την ημερομηνία σποράς) με θεριζοαλωνιστικά μηχανήματα όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο της οικονομικής ωρίμανσης. Δηλαδή όταν οι καρποί έχουν γεμίσει, δεν συμπιέζονται και η συντριπτική πλειονότητα των κόμβων του καλαμιού έχει αποξηρανθεί. Αναφορικά με την απόδοση, σε πειράματα αγρού που διεξήχθησαν σε Ισπανία, Τυνησία και Λίβανο βρέθηκε ό,τι η απόδοση του σιταροκρίθου σε σπόρο υπό ξηρές μεσογειακές συνθήκες φτάνει ως και τους 3 τόνους ανά ha σε συμβατική καλλιέργεια (Villegas et al, 2010). Μάλιστα, από την ίδια έρευνα προέκυψε ό,τι σε ακόμη ξηρότερες συνθήκες οι αποδόσεις του σιταροκρίθου ήταν πολύ κοντά συγκριτικά με τον σίτο και το tritcale. Όμως σε ευνοϊκότερες συνθήκες ανάπτυξης οι αποδόσεις του σιταριού υπερτερούν σε σχέση με αυτές του tritordeum (Villegas et al., 2010) με τα περιθώρια για αύξηση των αποδόσεων, μέσω γενετικής βελτίωσης, να είναι μεγάλα καθώς πρόκειται για νεοσύστατη καλλιέργεια. Ως προς την υγρασία των σπόρων, πρέπει να κυμαίνεται σε επίπεδα κάτω του 13,5 % για να παρατείνεται όσο το δυνατόν περισσότερο η περίοδος αποθήκευσης, η οποία είναι αναγκαίο να πραγματοποιείται σε χώρους με επαρκή αερισμό και θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους 20°C (Κοντονασάκη, 2021).

Από όσα είναι γνωστά και παρά το γεγονός ό,τι υπάρχουν πολυπληθείς μελέτες για άλλα σιτηρά, οι ποσότητες των διαθέσιμων δεδομένων δεν επαρκούν ως προς τα μοτίβα προσβολής των εντόμων αποθηκών στο σιταροκρίθαρο. Εντός του πλαισίου αυτού, η συγκεκριμένη έρευνα αποσκοπεί στην παρατήρηση της προσβολής και της αύξησης πληθυσμού πολλών σημαντικών (κολεοπτέρων) εντόμων αποθηκών στο tritordeum προκειμένου να καταδειχθεί η ευαισθησία του συγκριτικά με το σιτάρι και το κριθάρι. Στην προσπάθεια αυτή, εκτός από την άμεση προσβολή που προκαλείται από τα ενήλικα έντομα, εκτιμήθηκε ταυτόχρονα η παραγωγική τους ικανότητα στα διάφορα δημητριακά.



Εικόνα 3: Ψωμί από αλεύρι σπιταροκρίθαραου.

(<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fnl.wikipedia.org%2Fwiki%2FTritordeum&psig=AOvVaw1i509RhaueFIFkYQ1pmD4S&ust=1717856894246000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCLiWkeDZyYYDFQAAAAAdAAAAABAE>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υλικά και μέθοδοι

2.1 Έντομα που συμμετείχαν στις βιοδοκιμές

Στα συγκεκριμένα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν ενήλικα άτομα (νεότερα των δύο εβδομάδων) των ειδών *R. dominica*, *S. granarius*, *S. oryzae*, *T. castaneum* και *O. surinamensis*, οι εκτροφές των οποίων έλαβαν χώρα στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας 30°C και 55% σχετικής υγρασίας, απουσία φωτός.

2.2 Βιοδοκιμές

(Πείραμα 1^ο)

Χρησιμοποιήθηκαν μη επεξεργασμένοι σπόροι από τρία διαφορετικά δημητριακά: σκληρό σιτάρι (var. *Triticum durum*), κριθάρι (var. *Hordeum vulgare* L.) και σιταροκρίθαρο (var. *Hordeum chilense* and *Triticum durum*), με μηδαμινή ποσότητα ξένων υλικών (<0,1%). Καταρχάς, βρέθηκε η υγρασία τους με τη βοήθεια υγρασιόμετρου (Multitest, Gode SAS, Le Catelet, France) και ήταν κατά προσέγγιση 12% στο σιτάρι, 11% στο κριθάρι και 10% στο σιταροκρίθαρο (tritordeum). Το πείραμα διεξήχθη σε πλαστικά φιαλίδια (διαμέτρου 3 και ύψους 8 εκατοστών) (Εικόνα 4), κάθε ένα από τα οποία περιείχε 10 γραμμάρια ενός από τα προαναφερθέντα δημητριακά. Τα «περιλαίμια» των φιαλιδίων εσωτερικά καλύφθηκαν με ένα λεπτό φιλμ από Fluon, έτσι ώστε έντομα να μην απομακρύνονται από τους σπόρους. Έπειτα, προστέθηκαν σε κάθε φιαλίδιο 10 ενήλικα από τα είδη *R. dominica*, *S. granarius* και *S. oryzae* (ένα είδος ανά φιαλίδιο), ανεξαρτήτως φύλου και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν όλα μαζί σε θαλάμους με σταθερές συνθήκες (30°C και 55%

σχετική υγρασία, απουσία φωτός). Οι μετρήσεις καταγράφηκαν μετά από 65 μέρες. Πιο συγκεκριμένα, τα φιαλίδια ανοίχτηκαν, κοσκινίστηκαν (Εικόνα 5) και καταμετρήθηκε ο πληθυσμός των ατόμων που είχαν παραχθεί, το βάρος και το πλήθος των σπόρων που είχαν προσβληθεί από τα έντομα, το βάρος και το πλήθος των σπόρων που είχαν μείνει άθικτοι και η ποσότητα σκόνης που είχε παραχθεί από την κατανάλωση των σπόρων από τα έντομα (Εικόνα 6). Για κάθε συνδυασμό πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις και 2 υποεπαναλήψεις (3 X 2).

(Πείραμα 2^ο)

Ομοίως, για το πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν ίδιου τύπου πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια με τη διαφορά ό,τι περιείχαν διαφορετικά ποσοστά από σπασμένους και ολόκληρους σπόρους των τριών σιτηρών. Ειδικότερα, υπήρχαν φιαλίδια με 100% ολόκληρους σπόρους, με 50% ολόκληρους και 50% σπασμένους σπόρους και με 100% σπασμένους σπόρους. Ακολούθησε η εισαγωγή 10 ενήλικων ατόμων των ειδών *O.surinamensis* και *T.castaneum* σε κάθε ένα φιαλίδιο, με ξεχωριστή σειρά φιαλιδίων για κάθε είδος και στην συνέχεια εισήχθησαν σε θαλάμους ανάπτυξης με τις ίδιες συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Μετά από περίοδο 65 ημερών, τα φιαλίδια ανοίχτηκαν, κοσκινίστηκαν και έγινε η καταμέτρηση της παραγωγής απογόνων (Εικόνα 7). Για το πείραμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις με 2 υποεπαναλήψεις για κάθε συνδυασμό (3 x 2).



Εικόνα 4: Πλαστικά κυλινδρικά φιαλίδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές.



Εικόνα 5: Διαχωρισμός σπόρων σιταροκρίθου και εντόμων αποθηκών με κοσκίνισμα.



Εικόνα 6: Παραγωγή σκόνης και η καταγραφή της.



Εικόνα 7: Καταμέτρηση απογόνων με τη βοήθεια στερεοσκοπίου.

2.3 Στατιστική ανάλυση

Για τον έλεγχο της ομοιογένειας των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το τεστ O'Brien και, όπου ήταν απαραίτητο, τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν σε λογάριθμο για να πληρούν τα κριτήρια. Για το πρώτο πείραμα, ξεχωριστά για κάθε είδος, το πλήθος των ατόμων, καθώς και το βάρος των προσβεβλημένων σπόρων, το βάρος των άθικτων σπόρων, το πλήθος των προσβεβλημένων σπόρων, το πλήθος των άθικτων σπόρων και το βάρος της σκόνης που παράχθηκε από τα έντομα αναλύθηκαν με τη χρήση one-way ANOVA, με κύρια μεταβλητή το είδος του δημητριακού. Αντίστοιχα, για το δεύτερο πείραμα, ακολουθήθηκε παρόμοια προσέγγιση, αλλά σε αυτή την περίπτωση η ανάλυση των δεδομένων έγινε με two-way ANOVA, με το είδος του δημητριακού και το ποσοστό των σπασμένων σπόρων ως κύριες μεταβλητές. Τέλος, ο διαχωρισμός των μέσων όρων πραγματοποιήθηκε μέσω της δοκιμής Tukey-

Kramer (HSD) στο 0,05 έτσι ώστε να αναδειχθούν οι αποκλίσεις μεταξύ των εντόμων και μεταξύ των δημητριακών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αποτελέσματα

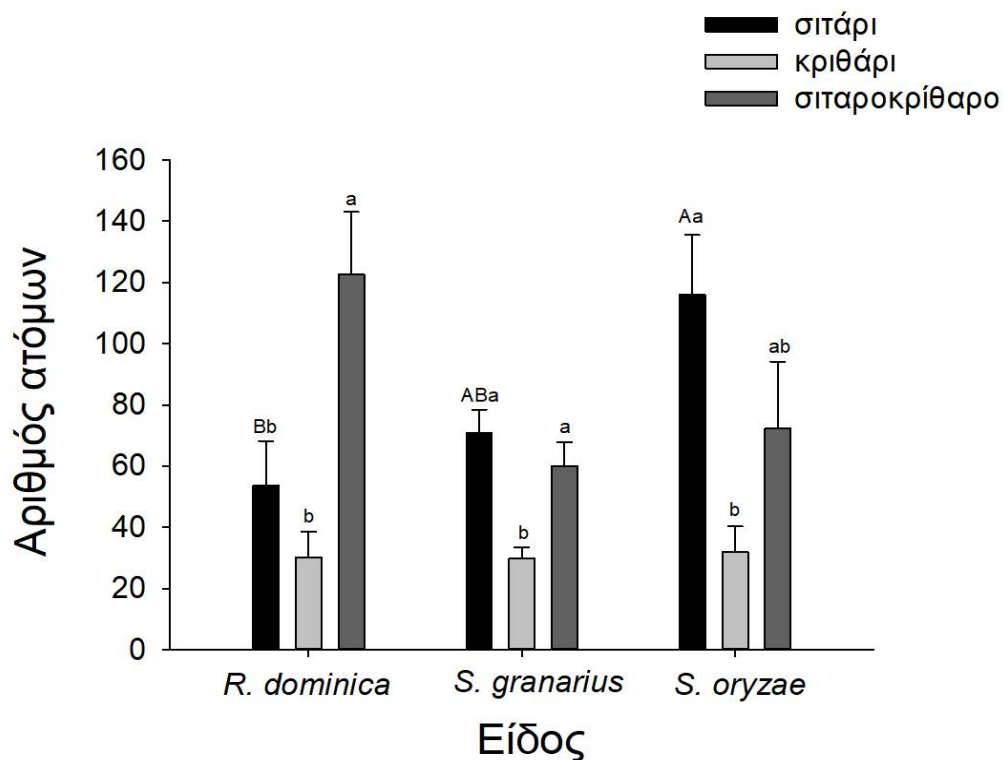
3.1 Ανάπτυξη πληθυσμού (πείραμα 1^ο)

Στον πίνακα 1 απεικονίζονται οι παράμετροι της ANOVA. Αναφορικά με τον αριθμό των ατόμων, τα δημητριακά αποδείχθηκαν σημαντική παράμετρος για όλα τα είδη των εντόμων (πίνακας 1). Ειδικότερα, για το *R. dominica* καταμετρήθηκαν στο σιτάρι 54 ενήλικα/φιαλίδιο, στο κριθάρι 30 ενήλικα/φιαλίδιο, ενώ στο σιταροκρίθαρο (*tritordeum*) 123 ενήλικα/φιαλίδιο. Ως προς το *S. granarius*, βρέθηκαν 71 ενήλικα/φιαλίδιο στο σιτάρι, 30 ενήλικα/φιαλίδιο στο κριθάρι και 60 ενήλικα/φιαλίδιο στο σιταροκρίθαρο. Παράλληλα, για το *S. oryzae* καταγράφηκαν στο σιτάρι 116 ενήλικα/φιαλίδιο, στο κριθάρι 34 ενήλικα/φιαλίδιο και στο σιταροκρίθαρο 72 ενήλικα/φιαλίδιο (διάγραμμα 1). Άρα από τα αποτελέσματα βγαίνει το συμπέρασμα ότι για το *R. dominica*, ο πληθυσμός ήταν υψηλότερος στα φιαλίδια που περιείχαν *tritordeum* από εκείνα που περιείχαν σιτάρι ή κριθάρι (διάγραμμα 1). Από την άλλη πλευρά, για το *S. granarius* και το *S. oryzae*, δεν υπήρχαν σημαντικές αποκλίσεις στον αριθμό των ενηλίκων μεταξύ σιταριού και σιταροκρίθαρου.

Πίνακας 1: Παράμετροι ANOVA ως προς την ανάπτυξη πληθυσμού των *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius* and *Sitophilus oryzae* στα διάφορα δημητριακά (β.ε. σφάλματος=15).

Έντομο	β.ε.	<i>R. dominica</i>		<i>S. granarius</i>		<i>S. oryzae</i>	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Μεταξύ μεταβλητών	2	9.88	0.002	9.93	0.002	5.72	0.014
Τιμή αποκοπής	1	60.6	<0.001	190.06	<0.001	52.44	<0.001
		1					
Δημητριακό	2	9.88	0.002	9.93	0.002	5.72	0.014

Διάγραμμα 1: Μέσος αριθμός ενηλίκων/φιαλίδιο ($\pm$ τυπικό σφάλμα) των *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius* και *Sitophilus oryzae*, έπειτα από 65 ημέρες σε σιτάρι, κριθάρι και tritordeum (σιταροκρίθαρο). Σε κάθε είδος, όπου οι μέσες τιμές ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν αποκλίνουν σημαντικά (σε κάθε περίπτωση, β.ε. σφάλματος= 15- HSD test στο 0,05). Εντός κάθε στήλης και δημητριακού, οι μέσοι όροι οι οποίοι ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δεν αποκλίνουν σημαντικά (σε όλες τις περιπτώσεις, β.ε. σφάλματος= 15; Tukey HSD test στο 0,05). Στις περιπτώσεις στις οποίες δεν εμφανίζονται γράμματα, δεν σημειώθηκαν σημαντικές αποκλίσεις.



3.2 Αριθμός και Βάρος προσβεβλημένων και άθικτων σπόρων, παραγωγή σκόνης (πείραμα 1^ο).

Στον πίνακα 2 απεικονίζονται οι σχετικοί παράμετροι της ANOVA. Όσον αφορά το βάρος των σπόρων που έχουν υπέστησαν ζημιές από τα έντομα, τον αριθμό των σπόρων αυτών και την σκόνη που παράχθηκε, τόσο οι κύριες επιδράσεις όσο και οι αλληλεπιδράσεις τους κρίθηκαν σημαντικές (Πίνακας 2). Σε γενικές γραμμές, το βάρος των προσβεβλημένων σπόρων ήταν μεγαλύτερο στα φιαλίδια που περιείχαν άτομα του είδους *S. granarius* συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη, χωρίς όμως να ανιχνεύονται σε κάθε περίπτωση σημαντικές αλλαγές, ενώ κάτι ανάλογο ισχύει και για τον αριθμό των προσβεβλημένων σπόρων (πίνακας 3). Αντίθετα, η μεγαλύτερη ποσότητα σκόνης, σε όλα τα είδη των δημητριακών, ανιχνεύθηκε στα φιαλίδια που περιείχαν τα ενήλικα του είδους *R. dominica*, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στην περίπτωση του κριθαριού (πίνακας 3).

Πίνακας 2: Παράμετροι ANOVA για το βάρος και τον αριθμό των προσβεβλημένων, από τα έντομα, σπόρων, το βάρος και τον αριθμό των άθικτων σπόρων και την παραγωγή σκόνης στα δημητριακά (β.ε. σφάλματος= 45)

	Βάρος προσβεβλημένων σπόρων			Βάρος άθικτων σπόρων		Αριθμός προσβεβλημένων σπόρων		Αριθμός άθικτων σπόρων		Παραγωγή σκόνης	
	β.ε	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Μεταξύ μεταβλητών	8	43.37	<0.001	21.67	<0.001	30.00	<0.001	18.19	<0.001	9.67	<0.001
Τιμή αποκοπής	1	578.55	<0.001	1038.22	<0.001	429.81	<0.001	1063.81	<0.001	90.11	<0.001
Δημητριακό	2	65.94	<0.001	46.36	<0.001	58.33	<0.001	22.31	<0.001	9.86	<0.001
Έντομο	2	78.86	<0.001	26.10	<0.001	41.33	<0.001	30.66	<0.001	19.45	<0.001
Δημητριακό Χ έντομο	4	14.33	<0.001	7.11	<0.001	10.16	<0.001	9.89	<0.001	4.68	<0.001

Πίνακας 3: Μέση τιμή ($\pm$ SE) του βάρους των προσβεβλημένων και των άθικτων σπόρων (σε γραμμάρια), αριθμός προσβεβλημένων και άθικτων σπόρων και μέσο βάρος της σκόνης που παράχθηκε (σε γραμμάρια), σε φιαλίδια που περιείχαν *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius* και *Sitophilus oryzae*, σε σιτάρι, κριθάρι ή σιταροκρίθαρο μετά από 65 ημέρες. Σε κάθε δημητριακό, οι μέσες τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (σε κάθε περίπτωση β.ε. σφάλματος=15; HSD test στο 0,05). Σε κάθε είδος εντόμου στα διάφορα δημητριακά, οι μέσες τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δεν αποκλίνουν σημαντικά (σε κάθε περίπτωση β.ε. σφάλματος=15; HSD test στο 0,05). Στις περιπτώσεις στις οποίες δεν εμφανίζονται γράμματα, δεν σημειώθηκαν σημαντικές αποκλίσεις.

Είδος εντόμου	Δημητριακό	Βάρος προσβεβλημένων σπόρων	Βάρος άθικτων σπόρων	Αριθμός προσβεβλημένων σπόρων	Αριθμός άθικτων σπόρων	Παραγωγή σκόνης
<i>R. dominica</i>	Σιτάρι	1.5 $\pm$ 0.4Bab	7.6 $\pm$ 0.7Aab	59.5 $\pm$ 18.5Bb	191.7 $\pm$ 19.1A	0.5 $\pm$ 0.2Ab
<i>S. granarius</i>		5.6 $\pm$ 0.4Aa	2.2 $\pm$ 0.7Bb	193.7 $\pm$ 17.2Ab	60.5 $\pm$ 19.0Bba	0.4 $\pm$ 0.1ABa
<i>S. oryzae</i>		2.2 $\pm$ 0.1Ba	5.3 $\pm$ 0.6Ab	95.5 $\pm$ 9.1Ba	147.7 $\pm$ 12.7Ab	0.1 $\pm$ 0.1B
<i>R. dominica</i>	Κριθάρι	0.7 $\pm$ 0.2b	9.3 $\pm$ 0.5a	26.3 $\pm$ 10.2b	226.8 $\pm$ 11.7	0.3 $\pm$ 0.1b
<i>S. granarius</i>		1.1 $\pm$ 0.2b	8.6 $\pm$ 0.3a	44.8 $\pm$ 9.1c	211.7 $\pm$ 9.2	0.1 $\pm$ 0.1b
<i>S. oryzae</i>		0.5 $\pm$ 0.1b	9.2 $\pm$ 0.4a	23.5 $\pm$ 6.9b	222.7 $\pm$ 9.5a	0.1 $\pm$ 0.1
<i>R. dominica</i>	Σιταροκρίθαρο	2.6 $\pm$ 0.3Ba	5.4 $\pm$ 0.7Ab	147.2 $\pm$ 23.0Ba	176.2 $\pm$ 23.3B	1.2 $\pm$ 0.2Aa
<i>S. granarius</i>		5.9 $\pm$ 0.1Aa	2.2 $\pm$ 0.3Bb	260.0 $\pm$ 10.6Aa	74.5 $\pm$ 10.2Cb	0.4 $\pm$ 0.1Ba
<i>S. oryzae</i>		1.7 $\pm$ 0.4Ba	7.3 $\pm$ 0.8Aab	75.0 $\pm$ 19.8Ca	258.2 $\pm$ 21.7Aa	0.1 $\pm$ 0.1B

3.3 Ανάπτυξη πληθυσμού (πείραμα 2^ο)

Λαμβάνοντας υπόψιν το πλήθος των ατόμων, το είδος του δημητριακού και το ποσοστό των ολόκληρων ή σπασμένων σπόρων αποτέλεσαν σημαντικές παραμέτρους αμφότερα για τα δύο είδη των εντόμων (πίνακας 4). Αντίθετα, η αλληλεπίδραση δημητριακού Χ ποσοστού σπασμένων σπόρων ήταν σημαντική μόνο για τα άτομα του είδους *O. surinamensis*. Εκατέρωθεν για τα δύο είδη που συμμετείχαν στο πείραμα, ο αριθμός των ενηλίκων που καταγράφηκαν στα φιαλίδια που περιείχαν 100% ολόκληρους σπόρους ήταν σαφώς μικρότερος συγκριτικά με τα υπόλοιπα φιαλίδια, ανεξαρτήτως δημητριακού (διάγραμμα 2). Για το *O. surinamensis*, στα φιαλίδια που περιείχαν 100% θραυσμένους σπόρους, το πλήθος των ατόμων ήταν σημαντικά μεγαλύτερο στο κριθάρι (203 άτομα/φιαλίδιο) συγκριτικά με το σιτάρι (135 άτομα/φιαλίδιο), ενώ δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ κριθαριού και tritordeum (163 άτομα/φιαλίδιο) όπως και μεταξύ tritordeum και σιταριού. Στα φιαλίδια με 100% ολόκληρους σπόρους, καταμετρήθηκε σημαντικά μεγαλύτερος πληθυσμός στην περίπτωση του σιταροκρίθαρου (38 άτομα/φιαλίδιο) σε σχέση με τα υπόλοιπα σιτηρά, ενώ σε αυτά με περιεχόμενο 50% ολόκληρους και 50% σπασμένους σπόρους, λιγότερα άτομα καταγράφηκαν, και από τα τρία δημητριακά, στο σιτάρι (50 άτομα/φιαλίδιο).

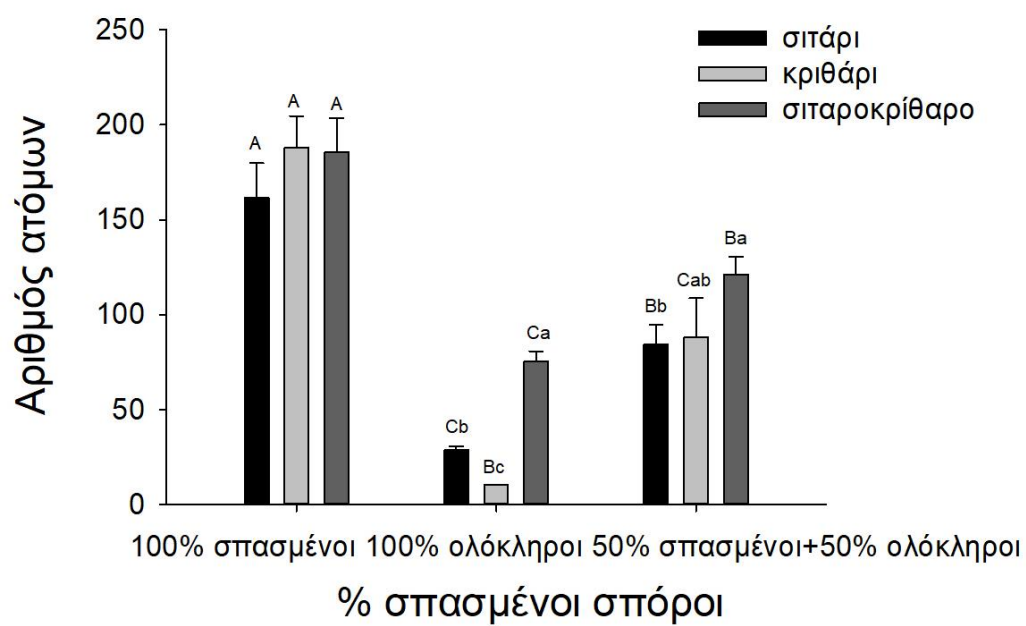
Όσον αφορά το είδος *T. castaneum*, δεν σημειώθηκαν σημαντικές αποκλίσεις στο πλήθος των ατόμων στα φιαλίδια με 100% θραυσμένους σπόρους και στα τρία δημητριακά (διάγραμμα 2). Από την άλλη πλευρά, στα φιαλίδια που περιείχαν 100% ολόκληρους σπόρους, καταμετρήθηκαν σημαντικά περισσότερα άτομα στο tritordeum (75 άτομα/φιαλίδιο) συγκριτικά με τα υπόλοιπα δημητριακά. Τέλος, στα φιαλίδια που περιείχαν 50% ολοκληρους και 50% σπασμένους σπόρους σημειώθηκαν σημαντικά περισσότερα ενήλικα στην περίπτωση του σιταροκρίθαρου (121 άτομα/φιαλίδιο) σε σύγκριση με το σιτάρι (84 άτομα/φιαλίδιο). Στον πίνακα 4 φαίνονται οι σχετικοί παράμετροι της ANOVA.

Πίνακας 4: Παράμετροι ANOVA για το πλήθος των ατόμων των *Oryzaephilus surinamensis* και *Tribolium castaneum*, στα τρία δημητριακά και σε τρία διαφορετικά ποσοστά σπασμένων σπόρων (β.ε. σφάλματος=45).

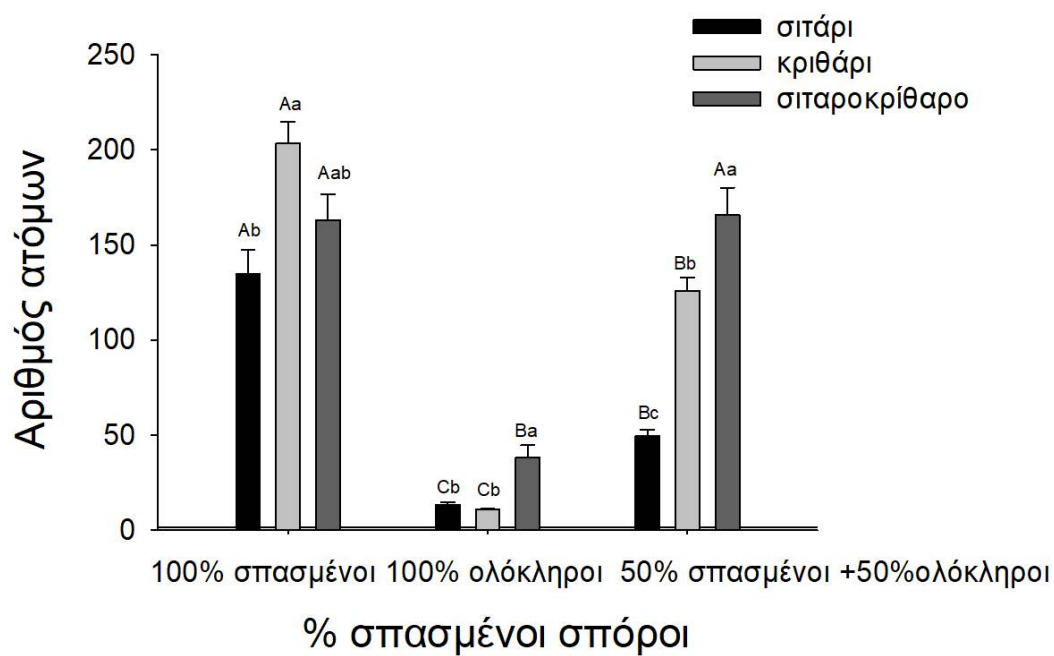
Έντομο	<i>O. surinamensis</i>			<i>T. castaneum</i>	
	β.ε.	F	P	F	P
Μεταξύ μεταβλητών	8	60.87	<0.001	23.54	<0.001
Τιμή αποκοπής	1	1036.65	<0.001	558.83	<0.001
Δημητριακό	2	31.49	<0.001	6.56	<0.001
Ποσοστό σπασμένων σπόρων	2	187.53	<0.001	84.27	<0.001
Δημητριακό X Ποσοστό	4	12.22	<0.001	1.67	0.173

Διάγραμμα 2: Μέσος αριθμός ατόμων/φιαλίδιο ($\pm$ σφάλμα) των *Oryzaephilus surinamensis* και *Tribolium castaneum*, σε διαφορετικούς συνδυασμούς ποσοστών σπασμένων σπόρων (100% ολόκληροι σπόροι, 100% σπασμένοι σπόροι ή 50% ολόκληροι σπόροι +50% σπασμένοι σπόροι) έπειτα από 65 ημέρες σε σιτάρι, κριθάρι ή σιταροκρίθαρο. Εντός κάθε δημητριακού και συνδυασμού, οι μέσες τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (σε κάθε περίπτωση β.ε. σφάλματος= 15; HSD test στο 0,05). Εντός κάθε συνδυασμού ποσοστών, οι μέσες τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο πεζό γράμμα δεν αποκλίνουν σημαντικά (σε όλες τις περιπτώσεις, β.ε. σφάλματος= 15-HSD test στο 0,05). Στις περιπτώσεις στις οποίες δεν εμφανίζονται γράμματα, δεν σημειώθηκαν σημαντικές αποκλίσεις.

Tribolium castaneum



Oryzaephilus surinamensis



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συζήτηση

Το πόρισμα το οποίο αποκομίζεται από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας είναι ό,τι το *tritordeum* αποτελεί επιρρεπές δημητριακό, ως προς την μόλυνση των εντόμων που χρησιμοποιήθηκαν στις παραπάνω βιοδοκιμές. Παράλληλα, όσον αφορά τα μοτίβα προσβολής, παρουσιάστηκαν αρκετές ομοιότητες μεταξύ των τριών δημητριακών. Όμως, καταγράφηκαν επίσης κάποιες διαφορές, οι οποίες σχετίζονταν με το είδος του εντόμου, καθώς διαφορετικά είδη εντόμων παρουσίασαν διαφορετικά επίπεδα παραγωγής απογόνων στο *tritordeum*, σε σχέση με το κριθάρι και το σιτάρι. Αυτό ήταν φυσικά αναμενόμενο, καθώς τα σιτηρά έχουν διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, γεγονός που έχει άμεση επίδραση στην ανάπτυξη πληθυσμού των εντόμων αποθηκών εντός αυτών (Antunes et al., 2016; Lemic et al., 2020). Σαφώς, το είδος του δημητριακού έπαιξε σημαντικό ρόλο για κάθε ένα από τα είδη των εντόμων τα οποία μελετήθηκαν στο πείραμα.

Στην περίπτωση των πρωτευόντων ειδών (*R. dominica*, *S. granarius* και *S. oryzae*), δηλαδή εκείνων που είναι ικανά να προσβάλλουν και ακέραιους σπόρους, βρέθηκε ό,τι το κριθάρι ήταν το λιγότερο επιθυμητό δημητριακό. Επιπροσθέτως, φαίνεται ό,τι στην περίπτωση του *R. dominica*, το σιταροκρίθαρο ήταν το ευνοϊκότερο δημητριακό, σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη εντόμων, των οποίων η ανάπτυξη πληθυσμού ήταν παρόμοια με το σιτάρι και το *tritordeum*. Μάλιστα, το γεγονός ό,τι στα φιαλίδια που περιείχαν σιταροκρίθαρο, η μέση τιμή του πληθυσμού των ενηλίκων του *R. dominica* ξεπέρασε τα 120 άτομα/φιαλίδιο, είναι αρκετά εντυπωσιακό, δεδομένου ό,τι τα φιαλίδια περιείχαν μόλις 10 γραμμάρια σπόρων έκαστως. Επίσης, η ποσότητα σκόνης που παράχθηκε είναι ενδεικτική της μεγαλύτερης ζημιάς που προξένησε η παρουσία των ακμαίων του *R. dominica* συγκριτικά με αυτά των *S. granarius* και *S. oryzae*. Για παράδειγμα, αν και ο αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων ήταν μεγαλύτερος στα φιαλίδια που περιείχαν άτομα του *S. granarius*, η ποσότητα της σκόνης που παράχθηκε από τα άτομα του *R. dominica* ήταν τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη. Με βάση τη βιβλιογραφία, έχει αναφερθεί ό,τι το *R. dominica* είναι ικανό να δημιουργεί

υψηλότερη ποσότητα σκόνης από άλλα είδη και πως η παραγόμενη σκόνη μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη των νεοεκκολαπτόμενων προνυμφών του συγκεκριμένου είδους (Edde, 2012; Quellhorst et al., 2021). Αντίθετα, το μεγαλύτερο πλήθος προσβεβλημένων σπόρων που βρέθηκε για το *S. granarius*, μπορεί να αποδοθεί στον τρόπο με τον οποίο προσβάλλει το είδος αυτό τους σπόρους, καθώς χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ευκινησία και ωτοκεί σε περισσότερους σπόρους σε σύγκριση με το *R. dominica*. Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν στο σιτάρι και το κριθάρι, όπου η ποσότητα σκόνης που παράχθηκε από τα ενήλικα του *R. dominica* ήταν μεγαλύτερη από τα δύο άλλα είδη.

Όσον αφορά τη δεύτερη σειρά βιοδοκιμών, η ανάπτυξη πληθυσμού στις περιπτώσεις του *O. surinamensis* και του *T. castaneum* ευνοήθηκε σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία σπασμένων σπόρων, ενώ η αύξηση του ποσοστού αυτών από 50% σε 100% βελτίωσε σημαντικά την ικανότητα παραγωγής απογόνων. Όλα τα παραπάνω ήταν φυσικά αναμενόμενα καθώς τα δυο συγκεκριμένα είδη, όντας δευτερεύοντα είδη εντόμων αποθηκών, δεν έχουν την δυνατότητα να αναπτυχθούν με ευκολία παρουσία αποκλειστικά ολόκληρων σπόρων, καθώς δεν διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό έτσι ώστε να μπορέσουν να τραφούν από αυτούς όταν βρίσκονται στην ακέραια μορφή τους (Shah et al., 2021; Nika et al., 2022). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ό,τι στα φιαλίδια που περιείχαν μόνο ολόκληρους σπόρους, αμφότερα τα είδη έδειξαν να προτιμάνε το σιταροκρίθαρο σε σύγκριση με τα άλλα δύο σιτηρά, γεγονός που υπονοεί ό,τι ίσως το tritordeum να είναι πιο ευάλωτο σε προσβολές από τα συγκεκριμένα είδη εντόμων. Επιπλέον, για το *O. surinamensis* σημειώθηκε καλύτερη ανάπτυξη σε φιαλίδια που είχαν 50% ακέραιους και 50% θραυσμένους σπόρους από σιταροκρίθαρο συγκριτικά με τα αντίστοιχα φιαλίδια των υπολοίπων δημητριακών. Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ό,τι η παρουσία σπασμένων σπόρων, τυχόν ιχνών από άλλους φυτικούς ιστούς ή ξένων υλικών πολύ λεπτής διατομής ενδέχεται να διαφοροποιήσει τις προτιμήσεις των ξενιστών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων και, ως αποτέλεσμα, μπορεί να καθορίσει τον ρυθμό παραγωγής απογόνων και την χωρική κατανομή εντός της μάζας των κόκκων (Flinn et al.,

1992; Nansen, 2009). Λόγου χάρη, οι Athanassiou και Buchelos (2020) σε πειράματα που έλαβαν χώρα σε σιλό σιτηρών, διαπίστωσαν ότι η προσβολή, αμέσως μετά τη συγκομιδή, ξεκινούσε από την κεντρική μάζα, όπου η παρουσία λεπτών υλικών ήταν υψηλότερη από εκείνη στις άλλες περιοχές. Επίσης, στη τοποθεσία αυτή, τα σιτηρά παραμένουν θερμότερα για ευρύτερο χρονικό διάστημα, κάτι το οποίο μπορεί να δικαιολογήσει εν μέρει την αυξημένη παρουσία εντόμων (Athanassiou and Buchelos, 2001; 2020).

Σαφώς, τα κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δημητριακών αποτελούν βασικές παραμέτρους ως προς τον καθορισμό του τρόπου προσβολής. Για παράδειγμα, το *S. oryzae* προτιμά να καταναλώνει πιο ευμεγέθεις κόκκους σιταριού (Campbell 2002). Επιπλέον, οι Kavallieratos et al. (2012) διαπίστωσαν πως το *R. dominica* προτιμά να ωτοκεί σε σπασμένα κελύφη ρυζιού, όταν αυτά συνυπάρχουν με ολόκληρα κελύφη. Η σκληρότητα των κόκκων παίζει επίσης κομβικό ρόλο στην προσβολή των εντόμων αποθηκών, ειδικά στην περίπτωση των πρωτευόντων ειδών (Toews et al., 2000; Arthur, 2020). Ωστόσο, υπάρχουν και μελέτες οι οποίες δείχνουν πως ίσως η σκληρότητα των κόκκων και το μέγεθος αυτών να μην είναι τόσο σημαντικοί παράγοντες (McGauhey, 1990; Fang, 2002). Ακόμη, τα επίπεδα γλουτένης, τα οποία είναι γενικότερα χαμηλότερα στο σιταροκρίθαρο σε σύγκριση με το σιτάρι, έχουν συνδεθεί ως παράγοντας που επηρεάζει την επιμόλυνση των εντόμων, αλλά με ανόμοια και συχνά μη συγκρίσιμα αποτελέσματα (Perišić, 2018). Παραδείγματος χάρη, οι Trematerra και Savoldelli (2014) κατέγραψαν ό,τι τα ενήλικα άτομα του είδους *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) παρουσίασαν μειωμένη προτίμηση σε ζυμαρικά χωρίς γλουτένη, συγκριτικά με τα τυπικά ζυμαρικά του εμπορίου. Αντίθετα οι Aly and Ali (2019) διαπίστωσαν ότι η έκταση της προσβολής από άτομα του *S. oryzae* σε διάφορες ποικιλίες σιταριού ήταν αντιστρόφως ανάλογη με την περιεκτικότητα σε γλουτένη.

Συμπεραίνοντας, τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής υποδεικνύουν πως το σιταροκρίθαρο είναι ευάλωτο σε μια ευρεία γκάμα εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων (κολεοπτέρων), δηλαδή μπορεί να του προξενήσουν σοβαρή ζημιά

κατά την αποθήκευση, τη μεταφορά και την επεξεργασία. Μάλιστα, είναι γεγονός ό,τι σε κάποιους από τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν, ο ρυθμός ανάπτυξης των εντόμων στο σιταροκρίθαρο ήταν υψηλότερος από τους αντίστοιχους σε σιτάρι και κριθάρι, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη για λήψη μέτρων ελέγχου. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι αναγκαίο να λάβει χώρα περισσότερη έρευνα, ούτως ώστε να αξιολογηθούν οι αποδόσεις συγκεκριμένων μεθόδων αντιμετώπισης στο σιταροκρίθαρο, καθώς ορισμένοι μέθοδοι οι οποίοι κρίνονται αποτελεσματικοί σε κάποια δημητριακά, μπορεί να μην είναι εξίσου αποτελεσματικοί σε κάποια άλλα (Athanassiou and Arthur, 2018).

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Ahmed, M., Ahmad, A., Rizvi, S.A., Ahmad, T., (2013). Storage losses caused by four stored grain insect pest species and the development of a mathematical model for damage grain. *Int. J. Appl. Agric. Sci.* 5, 34-40.
- Alvarez, J.B., Ballesteros, J., Sillero, J.A. and Martin, L.M. (1992). Tritordeum: a new crop of potential importance in the food industry. *Hereditas*, 116: 193-197. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1992.tb00227.x>
- Aly, M.F., Ali, A.M., (2019). Evaluation of certain Egyptian wheat cultivars against rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) using biochemical and biophysical traits. *J. Phytopathol. and Pest Manag.* 54-65.
- Antunes, C., Mendes, R., Lima, A., Barros, G., Fields, P., Da Costa, L. B., Rodrigues, J.C., Silva M.J., Carvalho MO (2016). Resistance of rice varieties to the stored-product insect, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Econ. Entomol.* 109, 445-453.
- Arthur, F.H., Bean, S.R., Smolensky, D., Cox, S., Lin, H.H., Peiris, K.H.S., Petersen, J., (2020). Development of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) on sorghum: quality characteristics and varietal susceptibility. *J. Stored Prod. Res.* 87, 101569.
- Athanassiou, C.G., Arthur, F.H. (Eds.), (2018). Recent advances in stored product protection (p. 273). Berlin, Germany: Springer.

Athanassiou, C.G., Buchelos, C.T., (2001). Detection of stored-wheat beetle species and estimation of population density using unbaited probe traps and grain trier samples. *Entomol. Exp. Appl.* 98, 67-78.

Athanassiou, C.G., Buchelos, C.T., (2020). Grain properties and insect distribution trends in silos of wheat. *J. Stored Prod. Res.* 88, 101632.

Ávila, C.M., Rodríguez-Suárez, C., Atienza, S.G., (2021). Tritordeum: Creating a new crop species—the successful use of plant genetic resources. *Plants* 10, 1029.

Awika, J.M., (2011). Major cereal grains production and use around the world. In: *Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion* (pp. 1-13). American Chemical Society.

Batta, Y.A., (2004). Control of rice weevil (*Sitophilus oryzae* L., Coleoptera: Curculionidae) with various formulations of *Metarhizium anisopliae*. *Crop Protection*, 23(2), 103-108.

Beiriger, R.L., Sites, R.W., (1996). The Bostrichidae (Coleoptera) of Missouri. *Journal of the Kansas Entomological Society* 69, 45e68.

Bhullar, N.K., Gruissem, W., (2013). Nutritional enhancement of rice for human health: the contribution of biotechnology. *Biotechnol. Adv.* 31, 50-57.

Campbell, J.F., Athanassiou, C.G., Hagstrum, D.W., & Zhu, K.Y. (2022). *Tribolium castaneum*: a model insect for fundamental and applied research. *Annual review of entomology*, 67, 347-365.

- Campbell, J.F., (2002). Influence of seed size on exploitation by the rice weevil, *Sitophilus oryzae*. *J. Insect Behav.* 15, 429-445.
- Champ, B.R., Dyte, C.E., (1976). Report of the FAO global survey of pesticide susceptibility of stored grain pests. *Plant Prod Prot Bull.* 5:112–124.
- Chittenden, F.H., (1911). The lesser grain borer and the larger grain borer. *Bulletin of United State Bureau of Entomology* 96, 29-47.
- Comino Montilla, I.M., Bernardo, D., Bancel, E., Moreno Amador, M.D.L., Sánchez, B., Barro, F., Sousa Martín, C., (2016). Identification and molecular characterization of oat peptides implicated on coeliac immune response. *Food Nutr. Res.* 60, 1–13.
- Deshwal, R., Vaibhav, V., Kumar, N., Kumar, A., & Singh, R. (2020). Stored grain insect pests and their management: An overview. *J Entomol Zool Stud*, 8(5), 969-974.
- Edde, P.A. (2012). A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research*, 48, 1-18.
- Erlandsson, A., (2010). *Tritordeum*, evaluation of a new food cereal. Publication - Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Food Science, volume 291.
- Fang, L., Subramanyam, B., Arthur F.H., (2002). Effectiveness of spinosad on four classes of wheat against five stored- product insects. *J. Econ. Entomol.* 95, 640–650.

Flinn, P.W., McGaughey, W.H., Burkholder, W.E., (1992). Effects of fine material on insect infestation: a review. In: North Central Regional Research Pub. 332. OARDC Special Circ. 141. Ohio Agricultural Research and Development Center, The Ohio State University, Wooster, OH, pp. 24–30.

Gałęcki, R., Bakula, T., Wojtacki, M., & Żuk-Golaszewska, K. (2019). Susceptibility of ancient wheat species to storage pests *Sitophilus granarius* and *Tribolium confusum*. *Journal of stored products research*, 83, 117-122.

Hickman, C.P., Roberts, L.S., Keen, S.L., Eisenhour, D.J., Larson, A., L'Anson, H. (2015). Ζωολογία: ολοκληρωμένες αρχές, Τόμος Ι , εκδόσεις Υτοπία, ΑΤΤΙΚή, σελ. 621-658

Howe, R.W., (1950). The development of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) under constant temperature. *Entomologist's Monthly Magazine* 86, 1–5.

Howe, R.W. (1956). The biology of the two common storage species of *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera, Cucujidae). *Annals of Applied Biology*, 44: 341-355. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1956.tb02127.x>

Howe, R.W. (1956). The effect of temperature and humidity on the rate of development and mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae). *Annals of Applied Biology*, 44: 356-368.

Howe, R.W. (1962). A study of the heating of stored grain caused by insects. *Annals of Applied Biology*, 50: 137-158. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1962.tb05995.x>

- Kavallieratos N.G., Athanassiou C.G., Arthur F.H., Throne J.E. (2012). Lesser grain borers, *Rhyzopertha dominica*, select rough rice kernels with cracked hulls for reproduction. *Journal of Insect Science* 12:38 available online: insectscience.org/12.38
- Lemic, D., Mikac, K.M., Genda, M., Jukić, Ž., Pajač Živković, I., (2020). Durum wheat cultivars express different level of resistance to granary weevil, *Sitophilus granarius* (Coleoptera; Curculionidae) infestation. *Insects* 11, 343.
- Liangjiang Wang, Suzhi Wang, Yonghua Li, Martin S.R. Paradesi, Susan J. Brown, 1 January (2007). BeetleBase: the model organism database for *Tribolium castaneum*, *Nucleic Acids Research*, Volume 35, Issue suppl_1, Pages D476–D479, <https://doi.org/10.1093/nar/gkl776>
- Lorenz K., Pomeranz Y., (1974). The history, development, and utilization of triticale. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 5, 175-280.
- Marid T., (2020). Post-harvest loss of stored grain, its causes and reduction strategies. *Food Science and Quality Management*; 96:26-35.
- Martin, A., Alvarez, J.B., Martin, L.M., Barro, F., Ballesteros, J., (1999). The development of tritordeum: a novel cereal for food processing. *J. Cereal Sci.* 30, 85-95.
- Martinek, P., Ohnoutkova, L., Vyhnanek, T., Bednar, J., (2003). Characteristics of wheat-barley hybrids (X Tritordeum Ascherson et Graebner) under Central-European climatic conditions, available at: < <https://www.researchgate.net/publication/291771390> >

- McGaughey, W.H., Speirs, R.D., Martin, C.R., (1990). Susceptibility of classes of wheat grown in the United States to stored-grain insects. *J. Econ. Entomol.* 37, 292–302.
- McGoverin, C.M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G., Manley, M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *J. Sci. Food Agric.* 91, 1155-1165.
- McMullen, D.B. (1928). Genetical and Cytological Observations on *Oryzaephilus surinamensis* (The Saw-Toothed Grain Beetle). *The American Naturalist*, 62(682), 435–445. <http://www.jstor.org/stable/2457071>
- Mergoum, M., Singh, P.K., Pena, R.J., Lozano-del Río, A.J., Cooper, K.V., Salmon, D.F., Gómez Macpherson, H., (2009). Triticale: a “new” crop with old challenges. *Cereals* 267-287.
- Nansen, C., Flinn, P., Hagstrum, D., Toews, M.D., Meikle, W.G., (2009). Interspecific associations among stored-grain beetles. *J. Stored Prod. Res.* 45, 254-260.
- Neethirajan, S., Karunakaran, C., Jayas, D.S, White, N.D.G., (2007). Detection techniques for stored-product insects in grain. *Food Control.* 18:157–162.
- Nika, E.P., Kavallieratos, N.G., Malesios, C., (2022). Dangerous liaisons of three key secondary stored-product pests in cracked maize. *J. Stored Prod. Res.* 99, 102037.

Nuss, E.T., Tanumihardjo, S.A., (2010). Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 9, 417-436.

Omar, Y.M., Darwish, Y.A., Hassan, R.E., Mahmoud, M.A., (2014), Threshold temperature and heat unit requirements for the development of the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.). *Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz*, 555–563.

Papadopoulos, G., Mavroeidis, A., Stavropoulos, P., Anastasopoulos, V., Beslemes, D., Tigka, E., Kakabouki, I., (2023). Triticum: a versatile and resilient cereal for Mediterranean agriculture and sustainable food production. *Cereal Res. Commun.* 1-9.

Park, T., (1934). Observations on the General Biology of the Flour Beetle, *Tribolium Confusum*. *The Quarterly Review of Biology*, 9(1), 36–54.
<http://www.jstor.org/stable/2808486>

Perišić, V., (2018). Technological quality of wheat infested with *Rhyzopertha dominica* F. (coleoptera: Bostrichidae). *Adv. Mater. Technol.* 7, 35–40.

Phillips, T.W., Throne, J.E., (2010). Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annu. Rev. Entomol.* 55, 375-397.

Poole, N., Donovan, J., Erenstein, O., (2021). Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. *Food Policy* 100, 101976.

- Quellhorst, H., Athanassiou, C.G., Zhu, K.Y., Morrison, W.R.III., (2021). The biology, ecology and management of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). J. Stored Prod. Res. 94, 101860.
- Rajendran S. (2002). Post harvest pest losses. In: Pimentel D, editor. Encyclopedia of pest management. New York: Marcel Dekker; p. 654–656.
- Randhawa, H.S., Bona, L., Graf, R.J., (2015). Triticale breeding-Progress and prospect. Triticale 15-32.
- Beckett, S.J., Evans, D.E., (1994). The demography of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on kibbled wheat, Journal of Stored Products Research, Volume 30, Issue 2, Pages 121-137.
- Sánchez-León, S., Haro, C., Villatoro, M., Vaquero, L., Comino, I., González-Amigo, A.B., Vivas, S., Pastor, J., Sousa, S., Landa, B.B., Barro, F., (2021). Tritordeum breads are well tolerated with preference over gluten-free breads in non-celiac wheat-sensitive patients and its consumption induce changes in gut bacteria. J. Sci. Food Agric. 101, 3508–3517
- Shah, J.A., Vendl, T., Aulicky, R., Stejskal, V., (2021). Frass produced by the primary pest *Rhyzopertha dominica* supports the population growth of the secondary stored product pests *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum*, and *T. confusum*. Bull. Entomol. Res. 111, 153-159.
- Skovmand, B., Fox, P.N., Villareal, R.L., (1984). Triticale in commercial agriculture: progress and promise. Adv. Agron. 37, 1-45.

- Slavin, J., (2004). Whole grains and human health. *Nutr. Res. Rev.* 17, 99-110.
- Srivastava, C., & Subramanian, S. (2016). Storage insect pests and their damage symptoms: an overview. *Indian Journal of Entomology*, 78(special), 53-58.
- Swamy, K. N., Mutthuraju, G. P., Jagadeesh, E., & Thirumalaraju, G. T. (2014). Biology of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored maize grains.
- Toews, M.D., Cuperus, G.W., Phillips, T.W., (2000). Susceptibility of eight US wheat cultivars to infestation by *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Environ. Entomol.* 29, 250-255.
- Trematerra, P., Savoldelli, S., (2014). Pasta preference and ability to penetrate through packaging of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Dryophthoridae). *J. Stored Prod. Res.* 59, 126-132.
- Villegas, D., Casadesúsa, J., Atienza, S., Martosc, V., Maalouf, F., Karamelker F., Aranjuelof, I., Nogués, S., (2010). Tritordeum, wheat and triticale yield components under multi-local mediterranean drought conditions. *Field Crops Research.* 116, (1–2, 3): 68-74.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αθανασιάδης, Χ. (2008). Έντομα αποθηκών και μέθοδοι αντιμετώπισης τους.
- Ανατολίτης, Κ.Μ., (2022). Ερευνα προθυμίας αποδοχής και προθυμίας πληρωμής του καταναλωτή για προϊόν αρτοποιίας από άλευρο του δημητριακού *Tritordeum* spp.
- Κοντονασάκη, Ε., (2021). Επίδραση της οργανικής και της ανόργανης λίπανσης στα αγρονομικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας του *Tritordeum* σε μεσογειακό κλίμα.
- Μπουχέλος, Κ., (2018). Έντομα αποθηκών και τροφίμων. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα, σελ. 13-50.
- Σταμόπουλος, Δ.Κ., (2013). Εχθροί αποθηκευμένων προϊόντων, μουσείων και κατοικιών. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 133-200.
- Τζανακάκης, Μ.Ε., (1995). Εντομολογία. Εκδόσεις university studio press, Θεσσαλονίκη, σελ. 13-17.