

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

Πτυχιακή Διατριβή

Ανάπτυξη δύο ειδών του γένους *Sitophilus* σε διαφορετικές θερμοκρασίες και δημητριακά

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΕΡΖΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΒΟΛΟΣ

2023

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

Τίτλος πτυχιακής στα αγγλικά:

Development of two species of the genus *Sitophilus* in different temperatures and grains

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΕΡΖΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΒΟΛΟΣ

2023

2

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Χρήστος Αθανασίου, Καθηγητής Π.Θ. (Επιβλέπων)

Νικόλαος Παπαδόπουλος, Καθηγητής Π.Θ.

Ιωάννης Βαγγέλας, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	8
1.1. Γενικά για τα έντομα.....	8
1.2 Κολεόπτερα – Σκαθάρια	9
1.3 Έντομα αποθηκών	11
1.4 Σημαντικότερα είδη εντόμων αποθηκών	12
1.5 Έντομα αποθηκών και ανταγωνισμός.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υλικά και μέθοδοι	19
2.1 Έντομα που χρησιμοποιήθηκαν	19
2.2 Βιοδοκιμές.....	19
2.3 Στατιστική ανάλυση.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αποτελέσματα	24
3.1 Παραγωγή απογόνων	24
3.2 Αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων και παραγωγή σκόνης.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συζήτηση.....	34
Βιβλιογραφία.....	38

Περίληψη

Μελετήθηκε σε εργαστηριακές συνθήκες η αύξηση του πληθυσμού του είδους *Sitophilus oryzae* (L.) και του *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) στο σιτάρι και το κριθάρι. Δέκα ενήλικα από κάθε είδος τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια που περιείχαν σιτάρι ή κριθάρι μόνα τους ή σε συνδυασμό (5+5 ενήλικα από κάθε είδος, 10 στο σύνολο) και ο αριθμός των απογόνων μετρήθηκε μετά από 65 και 120 ημέρες. Οι βιοδοκιμές πραγματοποιήθηκαν στους 25 και 30 °C. Επίσης μετρήθηκε ο αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων κάθε δημητριακού καθώς και το βάρος της σκόνης που είχε παραχθεί. Γενικά η ταυτόχρονη ύπαρξη και των δύο ειδών είχε αρνητικό αποτέλεσμα στην αύξηση του πληθυσμού είτε του *S. oryzae* είτε του *S. granarius*. Δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στον αριθμό των προσβεβλημένων σπόρων και στο βάρος της παραγωγής της σκόνης στους περισσότερους συνδυασμούς που μελετήθηκαν. Παράλληλα φαίνεται ότι η θερμοκρασία είχε αρνητικές επιπτώσεις ιδιαίτερα όταν τα δύο είδη βρίσκονταν σε συνδυασμό στους 30 °C. Τα αποτελέσματά μας έδειξαν ότι υπάρχει ανταγωνισμός για την παραγωγή απογόνων όταν τα δύο είδη βρίσκονταν μαζί, αλλά εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία και το δημητριακό.

Abstract

We evaluated in laboratory conditions the population growth of *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on wheat and barley. Ten adults of these species were placed in vials containing wheat or barley alone or in combination (5+5 adults of each species=10 in total) and the number of adults was counted after 65 and 120 days. These tests were performed at 25 and 30 °C. Moreover, the number of damaged grain kernels and the weight of frass produced were also recorded. In general, the simultaneous presence of both species had a negative effect on the population growth of either *S. oryzae* or *S. granarius*. Nevertheless, no significant differences were noted regarding the number of damaged kernels and the weight of frass in most of the combinations tested. Moreover, the temperature seems to have a negative effect if both species were combined, especially at 30 °C. Our results showed that there is a competition in the progeny production capacity when both species were together, but this competition was temperature and commodity- mediated.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Χρήστο Αθανασίου για την πολύτιμη βοήθειά του για τη σύμπραξή του καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας, τις πολύτιμες συμβουλές του και την ευκαιρία που μου έδωσε ώστε να ασχοληθώ περισσότερο με τα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων. Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δρ. Μαρία Σακκά για την άριστη καθοδήγηση και επίβλεψη καθόλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, την αμέριστη υπομονή της και τη βοήθειά της, τόσο πρακτική όσο και ηθική. Ευχαριστώ πολύ τους Καθηγητές κ. Χρήστο Αθανασίου, κ. Νικόλαο Παπαδόπουλο και κ. Ιωάννη Βαγγέλα για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή. Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου και την αδερφή μου για τη στήριξή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1. Γενικά για τα έντομα

Η λέξη **έντομο** στα ελληνικά προέρχεται από την σύνθεση του προθέματος **εν-** και του ρήματος **τέμνω**, δηλαδή κόβω. Ο όρος που έχει επικρατήσει στην αγγλική προέρχεται από το λατινικό *insectum* για την οποία πηγή έμπνευσης αποτέλεσε η ελληνική λέξη. Το *insectum* προήλθε από το ρήμα *insecure* που αντίστοιχα σημαίνει κόβω. Η λέξη **insect** χρησιμοποιείται σήμερα στην αγγλική γλώσσα βάσει αυτής της λατινικής προέλευσης.

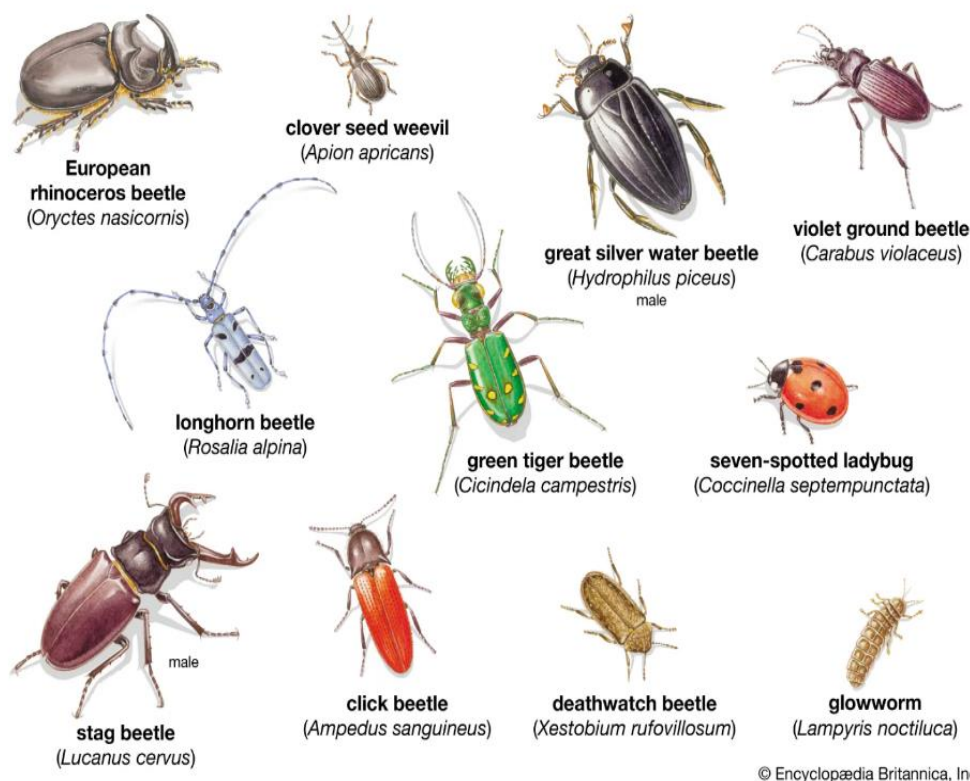
Τα έντομα ανήκουν στην μεγαλύτερη **τάξη των αρθροπόδων**, τα οποία ανήκουν στο βασιλείο των ζώων (**Animalia**). Η διάκριση μεταξύ των εντόμων και άλλων αρθροπόδων γίνεται βάσει της σχετικής ανατομίας τους με το σώμα τους να χωρίζεται σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες, την περιοχή της κεφαλής, του θώρακα και της κοιλίας. Η κεφαλή των εντόμων αποτελείται από το στόμα και τα μέρη που αποτελούν το στόμα, τα μάτια και δυο κεραίες. Ο θώρακας αντίστοιχα φέρει τα πόδια του εντόμου που κατά βάση είναι 3 ζεύγη και ακολούθως 2 ζεύγη πτερύγων, αν και ορισμένα έχουν ένα ζεύγος ή και κανένα. Στην κοιλία τα έντομα περικλείουν ζωτικά όργανα, το πεπτικό σύστημα, το σύστημα απέκκρισης και το σύστημα αναπαραγωγής (Wigglesworth, 2020).

Τα έντομα ως οντότητες αποτελούν μέρος του ευρύτερου οικοσυστήματος ζωής και ως εκ τούτου αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι όλης της λειτουργίας αυτού του οικοσυστήματος και συνεισφέρουν στην ανάπτυξη και διατήρηση του. Ως ένα **μεγάλο μέρος του οικοσυστήματος**, είναι σημαντική η κατανόηση της λειτουργίας και της συνεισφοράς τους ευρύτερα (Resh and Cardé, 2009).

1.2 Κολεόπτερα (Σκαθάρια)

Τα σκαθάρια ανήκουν στην κατηγορία (Τάξη) των εντόμων που ονομάζονται **κολεόπτερα**.

Τα κολεόπτερα ως ευρύτερη κατηγορία εντόμων πρωτοεμφανίστηκαν στον πλανήτη στην Λιθανθρακοφόρο περίοδο, που ήταν μια εκτενής περίοδος του πλανήτη διάρκειας περίπου 60 εκατομμυρίων χρόνων και έληξε σχεδόν 300 εκατομμύρια χρόνια πριν από σήμερα (Lawrence and Newton, 1982). Σημειώνεται επίσης ότι συνολικά περίπου 160 οικογένειες σκαθαριών εντοπίζονται ήδη από την Ιουρασική περίοδο που τοποθετείται 200 με 146 εκατομμύρια χρόνια πριν (McKenna and Farrell, 2009). Τα κολεόπτερα αποτέλεσαν ουσιαστικά προϊόν εξέλιξης παλαιότερου ενδοπτερυγωτού εντομοειδούς.



Εικόνα 1: Διάφορα είδη σκαθαριών (<https://cdn.britannica.com/63/91763-050-02621C9B/Beetles-sizes-colours.jpg>)

Τα πρώτα κολεόπτερα είχαν μικρή διάρκεια ζωής και δρούσαν στην επιφάνεια του πλανήτη, ενώ ως προς τα εξωτερικά χαρακτηριστικά τους είχαν μεμβρανοειδείς πτέρυγες, μακριά πόδια, κοιλία κατατμημένη σε 10 διαφορετικά σημεία, και κεραίες που χωριζόταν σε μικρότερα τμήματα μεταξύ άλλων. Με την πάροδο των χρόνων σταδιακά το αρχικό κολεόπτερο εξελίχθηκε στην σημερινή μορφή του σκαθαριού, αφού τελέστηκαν αρκετές αλλαγές ως προς αυτά τα χαρακτηριστικά. **Μια από τις βασικές διαφοροποιήσεις** που παρατηρούνται είναι ότι μειώθηκαν τα διαφορετικά τμήματα των κεραιών, ενώ παράλληλα ορισμένα σημεία έγιναν πιο επίπεδα στο σώμα του κολεοπτέρου. Παράλληλα τα πόδια έγιναν πιο μικρά σε μήκος, αλλαγές στην στομαχική περιοχή και την γενετική. Γενικά η εξέλιξη του είδους έχει φέρει σημαντικές αλλαγές, καθώς το έχει καταστήσει πιο ευκίνητο αλλά και ευάλωτο σε φυσικούς κινδύνους και εχθρούς, καθώς ένα μεγάλο τμήμα της φυσικής άμυνας του έχει αποδυναμωθεί ή αφαιρεθεί. Ο λόγος γι' αυτή την αλλαγή αποδίδεται στην ανάγκη που διαμορφώθηκε να κινούνται τα κολεόπτερα σε πιο «μικρά» περιβάλλοντα. Άλλοι παράγοντες που μπορεί να σχετίζονται με αυτή την αλλαγή είναι και η αύξηση της διάρκειας ζωής των κολεοπτέρων όπως και η μεγαλύτερη και πιο εύκολη αξιοποίηση πηγών τροφής από αυτά (Lawrence and Newton, 1982).

Τα κολεόπτερα γενικά θεωρούνται όλα αυτά τα έντομα που ανήκουν στην **τάξη των Κολεοπτέρων**. Τα κολεόπτερα είναι η μεγαλύτερη τάξη εντόμων που εντοπίζεται στον πλανήτη καθώς και η πιο πολυπληθής σε αριθμό γενών. Υπολογίζεται ότι ένα **40% των εντόμων** ανήκουν σε αυτήν την τάξη, ενώ έχουν καταγραφεί περισσότερα των **360.000 ειδών**. Τα βασικά χαρακτηριστικά για την διάκριση των σύγχρονων σκαθαριών εντοπίζονται στην εμφάνιση τους. Διακρίνονται από δυο ζεύγη φτερών. Το ένα ζεύγος φτερών είναι πιο σκληρό, ονομάζεται έλυτρα και καλύπτει το δεύτερο ζεύγος που βρίσκεται πιο κοντά στο σώμα του εντόμου και είναι αυτό που του δίνει την ικανότητα πτήσης. Αυτό το χαρακτηριστικό, των πρόσθετων σκληρών φτερών, θεωρείται κάτι που διακρίνει τα σκαθάκια, από άλλα έντομα και

παρέχει προστασία στο σώμα του σκαθαριού από ζημιά, φυσικούς κινδύνους και εχθρούς, παράσιτα, παθογόνους οργανισμούς και άλλα (McKenna and Farrell, 2009).

Γενικά διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες σκαθαριών, μεταξύ των οποίων τα **Archostemmata, τα Myxophaga, τα Adepnaga και τα Polyphaga**. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν και τα περισσότερα είδη κολεοπτέρων. Τα είδη των κολεοπτέρων εντοπίζονται γενικά σε δυο υποκατηγορίες, στην μια ανήκουν τα Myxophaga και τα Archostemmata ενώ στην άλλη τα Adepnaga και Polyphaga. Στην πρώτη κατηγορία εντοπίζονται περίπου 65 γνωστά είδη, στην δεύτερη 35, στην τρίτη 35.000, ενώ στην τελευταία που είναι και η πιο πολυπληθής 315.000. Ως προς τις υπαρκτές “superfamilies” και οικογένειες σκαθαριών είναι γνωστές 16 και 168 αντίστοιχα (McKenna and Farrell, 2009). Τα διάφορα είδη κολεοπτέρων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους αναφορικά με το μέγεθος αλλά και την δομή τους. Υπάρχουν αρκετά μικρά είδη, αλλά και άλλα αρκετά μεγαλύτερα σε μέγεθος (Gressitt, 2021).

1.3 Έντομα αποθηκών

Τα έντομα αποθηκών ανήκουν στις **τάξεις των Κολεόπτέρων, των Λεπιδοπτέρων και των Ψωκόπτέρων** ενώ συνολικά έχουν εντοπιστεί περίπου 100 διαφορετικά είδη εντόμων που προσβάλλουν δημητριακά (Stejskal et al., 2014). Τα Κολεόπτερα και τα Λεπιδόπτερα αποτελούν και τον μεγαλύτερο όγκο των εντόμων που προκαλούν τις σχετικές ζημιές, καθώς αποτελούν το 60 και 10% αυτών των εντόμων, αντίστοιχα.

Τα έντομα αποθηκών χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τα **πρωτεύοντα** και τα **δευτερεύοντα** ανάλογα μπορούν να προσβάλλουν ακέραιους σπόρους ή ήδη προσβεβλημένους και σπασμένους σπόρους. Τα πρωτεύοντα έντομα αποθηκών είναι αυτά που αποσκοπούν στο να

προσβάλλουν ουσιαστικά και να αναπαραχθούν σε περιοχή που έχουν εναποτεθεί σπόροι, οι οποίοι όμως δεν έχουν προσβληθεί από κάτι άλλο νωρίτερα. Αντίθετα τα δευτερεύοντα έντομα αποθηκών αν και αντίστοιχα προσβάλλουν σπόρους και αποθηκευμένες τροφές, το κάνουν μόνο σε αυτές που έχουν προσβληθεί ήδη από τα πρωτεύοντα ή που έχουν υποστεί ζημιά από κάποια άλλη μηχανική διαδικασία.

1.4 Σημαντικότερα είδη εντόμων αποθηκών

Sitophilus oryzae (Coleoptera: Curculionidae)

Το *S. oryzae*, τρέφεται με αποθηκευμένους σπόρους και θεωρείται ως ένα από τα πιο διαδεδομένα έντομα στα αποθηκευμένα σιτηρά και τα προϊόντα που σχετίζονται με αυτά (Khan, 2006). Η ανάπτυξη του στο στάδιο της προνύμφης και της νύμφης γίνεται στο εσωτερικό του σπόρου. Σημειώνεται ότι η μέση διάρκεια ζωής του είναι έξι μήνες. Η ανάπτυξη του ευνοείται από ένα περιβάλλον με ευνοϊκή θερμοκρασία και αρκετή υγρασία (Casem, 2016). Ιδανικά επιβιώνουν και δρουν σε θερμοκρασίες κοντά στους 30 °C με αρκετά υψηλή υγρασία κοντά στο 70%. Χρωματικά είναι είτε μαύρα είτε καφέ. Επιπρόσθετα, τα έλυτρα τους, που αποτελούν ειδικές πτέρυγες χιτίνης στην εμπρόσθια περιοχή των συγκεκριμένων εντόμων έχουν αντίστοιχα τέσσερα πορτοκαλί σημάδια.

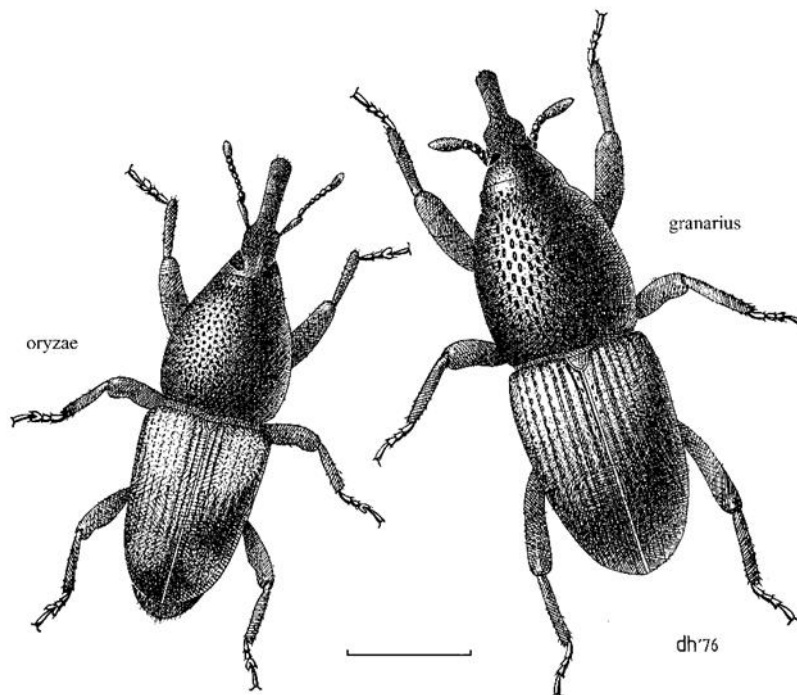
Τα θηλυκά άτομα εναποθέτουν περίπου **300 με 400 αυγά** και τα τοποθετούν στο εσωτερικό των οπών που δημιουργούν στους σπόρους, ενώ τα προστατεύουν κλείνοντας αυτές τις τρύπες με σκληρυντικό υλικό μέχρι να εκκολαφθούν τα αυγά. Ως προς τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων σκαθαριών σημειώνεται αρχικά ότι δεν είναι γνωστή η αρχική προέλευση τους, αλλά φαίνεται να προέρχονται από την Ινδία (Thangaraj, 2019)

Sitophilus granarius (Coleoptera: Curculionidae)

Το *S. granarius* θεωρείται όπως και το *S. oryzae* ως ένα από τα πιο επιβλαβή έντομα αποθηκών. Αναπτύσσονται στο **εσωτερικό του σπόρου**, αφού το ενήλικο ανοίξει μια τρύπα στο εσωτερικό του σπόρου και εναποθέσει τα αυγά του. Στη συνέχεια καλύπτει αυτό το κενό με μια σκληρή μεμβράνη που παρέχει προστασία στα αυγά. Στο εσωτερικό αφού ολοκληρωθεί η ανάπτυξη τους τα ενήλικα τρώνε το περίβλημα του σπόρου και βγαίνουν έξω. Η διαδικασία όταν φτάσει σε αυτό το στάδιο συνήθως σημαίνει ότι έχει οδηγηθεί σε μόλυνση το αποθηκευμένο προϊόν. Το συγκεκριμένο είδος εντοπίζεται κυρίως στα μη επεξεργασμένα προϊόντα, στους σπόρους και όχι σε έτοιμα προϊόντα (Bell, 2011). Όπως και στο προηγούμενο είδος στην φάση της προνύμφης τα άτομα είναι λευκά και χωρίς πόδια. Το μέσο μέγεθος αυτών των σκαθαρών παρουσιάζει σημαντική διακύμανση από τα πιο μικρά που είναι κοντά στα 2.5mm σε μήκος μέχρι μεγαλύτερα που είναι στα 5mm. Χρωματικά δεν διαφέρουν σημαντικά από το *S. oryzae* με τα χρώματα να είναι καφέ και συνδυασμός καφέ και κόκκινου αλλά και μαύρο. Η σημαντική διαφορά με το *S. oryzae* ότι τα ενήλικα δεν έχουν φτερά κάτω από τα έλυτρα, οπότε δεν μπορούν να πετάξουν. Επίσης δεν παρουσιάζουν χρωματικά μοτίβα στα έλυträ τους σε σύγκριση με το *S. oryzae*. Ως προς τον βιολογικό τους κύκλο και την αναπαραγωγή δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές με τα άλλα σκαθάρια του ίδιου γένους. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ζουν περίπου 7 με 8 μήνες αφού φτάσουν στην ενηλικίωση, ενώ γεννούν περίπου 300 αυγά σε όλη την διάρκεια της ζωής τους. Αντίστοιχα τα αυγά τοποθετούνται στο εσωτερικό των οπών που δημιουργούν στους σπόρους και σφραγίζονται με σκληρυντικό υλικό (Kirkpatrick and Wilbur, 1965).

Για να εκκολαφθούν οι προνύμφες σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες και κυρίως η θερμοκρασία και η υγρασία, ενώ η διάρκεια που χρειάζεται για αυτό κυμαίνεται μεταξύ τεσσάρων και 14 ημερών συνολικά.. Η θερμοκρασία και η υγρασία πρέπει

αντίστοιχα όπως και στα άλλα είδη του γένους να βρίσκεται στους 30 °C με περίπου 70% υγρασία (Richards, 1947). Ως σημαντική διαφορά με τα άλλα είδη του γένους *Sitophilus* αξίζει να σημειωθεί ότι αν και οι ιδανικές θερμοκρασίες είναι αρκετά υψηλές, εντούτοις έχει παρατηρηθεί ότι μπορούν να αναπτυχθούν και σε πιο χαμηλές, μέχρι και 11° C , κάτι που τα καθιστά ικανά να αναπτυχθούν και σε πιο ψυχρές περιοχές που άλλα είδη του ίδιου γένους δεν μπορούν (Howe and Hole, 1968).



Εικόνα 2: *Sitophilus oryzae* και *Sitophilus granarius*

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:COLE_Curculionidae_Sitophilus_granarius-oryzae.png)

1.5 Έντομα αποθηκών και ανταγωνισμός

Τα έντομα που προσβάλουν αποθηκευμένα δημητριακά σχετίζεται **άμεσα με την ανθρώπινη δραστηριότητα**. Συγκεκριμένα εδώ και χιλιάδες χρόνια με την ανάπτυξη της καλλιέργειας και σταδιακά της μαζικότερης παραγωγής τροφίμων ο άνθρωπος βρέθηκε στο σημείο να έχει την ανάγκη να αποθηκεύσει τα παραγόμενα προϊόντα με σκοπό να αντέξουν στις καιρικές συνθήκες και να καταναλωθούν αργότερα ή να ανταλλαχθούν και να πωληθούν. Αυτό ξεκίνησε με την αποθήκευση ξηρών προϊόντων όπως δημητριακών, ινών και δερμάτων μεταξύ άλλων. Η συσσωρευμένη τροφή αποτέλεσε στόχο για τα έντομα που τρέφονται και αναπαράγονται σε μέρη που υπάρχουν τρόφιμα και κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη τους. Πολλά από τα είδη εντόμων αποθηκών έχουν συνδεθεί στενά με την ανθρώπινη δραστηριότητα εδώ και πολλά χρόνια, όπως για παράδειγμα διάφορα είδη κολεοπτέρων που ήδη από τα χρόνια της αρχαίας Αιγύπτου θεωρούνται σημαντικοί εχθροί των αποθηκευμένων δημητριακών. Τα έντομα αυτά βέβαια μέχρι ένα σημείο είχαν τοπικό χαρακτήρα και εμφανίζονταν συγκεκριμένα είδη σε συγκεκριμένες περιοχές. Αυτό, τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία ανάπτυξη του εμπορίου και παράλληλα λόγω της παγκοσμιοποίησης πλέον δεν ισχύει, καθώς έχουν διασπαρθεί παγκοσμίως και παρατηρούνται πολλά είδη εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων σε διαφορετικά μέρη του κόσμου.

Η μόλυνση των αποθηκευμένων τροφίμων από έντομα έχει μεγάλες συνέπειες για την ανθρωπότητα. Όπως προαναφέρθηκε χάνεται ένα μεγάλο μέρος του παραγόμενου προϊόντος που πλέον **δεν μπορεί να καταναλωθεί**. Ένα σημαντικό ποσοστό των αποθηκευμένων προϊόντων που σε περιπτώσεις αγγίζει και το 40% ιδιαίτερα στις πιο θερμές και ξηρές περιοχές του πλανήτη καταστρέφεται από διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, αλλά και την δράση των συγκεκριμένων εντόμων (Adja et al., 2016). Αυτό που παρατηρείται συγκεκριμένα αναφορικά με τα έντομα είναι απώλειες μεταξύ

9 και 20% αντίστοιχα σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες στα αποθηκευμένα προϊόντα. Παράλληλα παρατηρείται και σημαντική πτώση της ποιότητας των προϊόντων που έχουν συλλεχθεί, ακόμα και αν δεν έχουν προσβληθεί τα ίδια από αυτούς τους μικροοργανισμούς ή τα έντομα.

Η **οικογένεια των Curculionidae** περιλαμβάνει πολύ καταστροφικά είδη για τα αποθηκευμένα δημητριακά, όπως για παράδειγμα το *S. oryzae* και το *Sitophilus granarius*, καθώς και το *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε πληθώρα δημητριακών όπως το ρύζι, το σιτάρι, το κριθάρι και τον αραβόσιτο (Athanassiou and Buchelos 2001; Athanassiou et al., 2017; Rees, 2018). Έρευνες έχουν δείξει ότι περισσότερα από ένα είδη του γένους *Sitophilus* μπορούν να συνυπάρξουν και να καταστρέψουν το ίδιο δημητριακό, σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Athanassiou et al., 2017; Bolivar-Silva et al., 2018).

Η πληθώρα διαφορετικών πρωτογενών και δευτερογενών εντόμων αποθηκευμένων δημητριακών, σαπροφάγων, παρασιτοειδών είναι ένα κύριο κομμάτι στην οικολογία όπου φυλάσσονται και επεξεργάζονται δημητριακά (Strong 1970; White 1995; Chimoya and Abdullahi 2011). Όλα αυτά τα είδη μπορούν να συνυπάρχουν και να μολύνουν αποθηκευμένα προϊόντα παρουσιάζοντας πληθυσμιακές διακυμάνσεις (Athanassiou et al., 2011; Sakka and Athanassiou, 2018). Με βάση αυτό εξετάστηκε ο ανταγωνισμός διαφορετικών ειδών εντόμων που μολύνουν αποθηκευμένα προϊόντα χρησιμοποιώντας διαφορετικά βιολογικά χαρακτηριστικά όπως η πληθυσμιακή αύξηση και η παραγωγή απογόνων (Giga and Canhao, 1993; Oliveira et al., 2007; Athanassiou et al., 2014, 2018; Sakka and Athanassiou, 2018; Larsen et al. 2020; Domingue et al. 2023), σε ένα μεταβαλλόμενο μικροπεριβάλλον που επηρεάζεται σημαντικά από μια σειρά βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και το είδος του δημητριακού (Athanassiou et al. 2017;

Bolivar Silva et al. 2018; Papanikolaou et al. 2018). Σύμφωνα με τον Papanikolaou et al. (2018), η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία μπορούν να αυξήσουν ή να μειώσουν τον πληθυσμό του εκάστοτε εντόμου και την προσβολή του δημητριακού. Για παράδειγμα, τα ενήλικα του *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera:Bostrychidae) μπορούν να προσβάλλουν μεγαλύτερο μέρος αραβόσιτου από ότι το *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera:Bostrychidae) στους 25 και 30° C με 55 έως 75% σχετική υγρασία (Papanikolaou et al., 2018).

Ο ανταγωνισμός είναι σημαντικός μεταξύ των εντόμων αποθηκών καθώς μοιράζονται το ίδιο μικροπεριβάλλον για την ανάπτυξή τους (Athanassiou et al., 2003; 2005; 2011). Υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες για τα έντομα αποθηκών (Lale and Vidal, 2001; Nansen et al., 2009; Athanassiou et al., 2014, Kavallieratos et al., 2017; Giunti et al., 2018; Baliota, 2022; Nika et al., 2022). Για παράδειγμα, οι Baliota et al. (2022) εξέτασαν τον ανταγωνισμό του *P. truncatus* με το *S. oryzae* και διαπίστωσαν ότι το *S. oryzae* παρήγαγε λιγότερους απογόνους από το *P. truncatus* στους 25 και 30° C. Επίσης, οι Kavallieratos et al. (2017) παρατήρησαν ότι το *Trogoderma granarium* (Everts) (Coleoptera: Dermestidae) μπορούσε με μεγάλη επιτυχία να ανταγωνιστεί το *S. oryzae* και το *R. dominica* όταν οι θερμοκρασίες ξεπερνούσαν τους 30° C.

Ο ενδοειδικός ανταγωνισμός μπορεί να είναι πιο «επιθετικός» από τον ανταγωνισμό ειδών από διαφορετικές οικογένειες (Athanassiou et al., 2017; Sakka and Athanassiou, 2018). Για παράδειγμα οι Sakka and Athanassiou (2018) βρήκαν ότι το *Dinoderus porcellus* (Lesne) (Coleoptera: Bostrychidae) επωφελείται από την παρουσία είτε του *R. dominica* είτε του *P. truncatus* στο ίδιο δημητριακό. Επιπροσθέτως, οι Athanassiou et al. (2017) εξέτασαν τρία είδη του γένους *Sitophilus* σε ρύζι και αραβόσιτο και βρήκαν ότι το *S. oryzae* παρήγαγε μεγαλύτερους αριθμούς απογόνων από τα άλλα δύο είδη.

Υπάρχουν μελέτες που αποδεικνύουν τη **σημασία του είδους του δημητριακού** στην ανταγωνιστική ικανότητα των διαφορετικών εντόμων αποθηκών. Οι Athanassiou et al. (2017) συμπέραναν ότι το δημητριακό ήταν σημαντικό όταν τρία είδη Bostrychidae συνυπήρχαν. Επίσης οι Sakka and Athanassiou (2018) μελέτησαν τον ανταγωνισμό μεταξύ των *Dinoderus porcellus* (Lesne) (Coleoptera: Bostrychidae), *R. dominica* και *P. truncatus* και βρήκαν ότι στους 25 και 30 °C στο σιτάρι και τον αραβόσιτο η παραγωγή απογόνων του *R. dominica* ήταν υψηλή στο σιτάρι και στις δύο θερμοκρασίες και το *P. truncatus* δεν παρουσίασε παραγωγή απογόνων στο σιτάρι αλλά παρουσίασε υψηλή παραγωγή στον αραβόσιτο. Ο Gökçe (2004) εξέτασε σε πειραματικές συνθήκες τον ανταγωνισμό του *S. oryzae* και του *S. granarius* και βρήκε ότι το επίπεδο της επικράτησης άλλαζε ανάλογα με τον τύπο του δημητριακού. Σε γενικές γραμμές το δημητριακό είναι σημαντικός παράγοντας καθώς τα είδη ανταγωνίζονται για την ίδια πηγή τροφής που είναι καθοριστικής σημασίας για την επιβίωσή τους.

Παρόλο που τα είδη του γένους *Sitophilus* είναι συνηθισμένα σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης σιτηρών, οι πλειονότητα των ερευνών είναι στραμμένη στον ανταγωνισμό διαφορετικών εντόμων. Προηγούμενες συγκρίσεις έχουν γίνει μεταξύ των ειδών του γένους *Sitophilus* (Gökçe 2004; Athanassiou et al. 2017) και σημειώθηκε ότι το δημητριακό ήταν καθοριστικό για την παραγωγή απογόνων. Παρά τις έρευνες, δεν υπήρχαν δεδομένα διαθέσιμα σχετικά με την επίδραση που έχουν οι διαφορετικές θερμοκρασίες στον ανταγωνισμό μεταξύ του *S. oryzae* και του *S. granarius*. Επομένως **εξετάσαμε σε εργαστηριακές συνθήκες** και τα δύο είδη του γένους *Sitophilus* όταν τα είδη τοποθετήθηκαν μόνα τους ή σε συνδυασμό σε σιτάρι ή σε κριθάρι σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες ώστε να μελετήσουμε και να κατανοήσουμε τα μοτίβα συνύπαρξής τους στους 25 και 30 °C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υλικά και μέθοδοι

2.1 Έντομα που χρησιμοποιήθηκαν

Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη του γένους *Sitophilus* και η εκτροφή τους έγινε στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού περιβάλλοντος σε σταθερές συνθήκες 25 °C, 65% σχετική υγρασία και συνθήκες διαρκούς συσκότισης.

2.2 Βιοδοκιμές

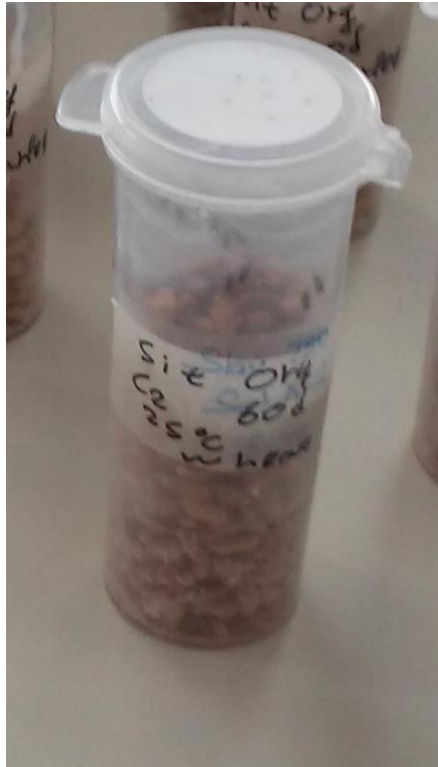
Χρησιμοποιήθηκε καθαρό, μη επεξεργασμένο σκληρό σιτάρι και κριθάρι με ελάχιστη ποσότητα ξένων υλικών (<0.1%) (Εικόνα 3). Η υγρασία των δημητριακών μετρήθηκε με υγρασιόμετρο (Multitest, GODE Co, France) και ήταν 12-13% (Εικόνα 4). Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά πλαστικά φιαλίδια (3 εκατοστά διάμετρο και 8 εκατοστά ύψος) (Εικόνα 5), όπου εισάγαμε μέσα τα δημητριακά. Για κάθε είδος εντόμου, μόνο του ή σε συνδυασμό, 20 γραμμάρια σίτου ή κριθαριού τοποθετήθηκαν στα φιαλίδια. Στη συνέχεια, 10 ενήλικα προστέθηκαν σε κάθε φιαλίδιο όπου θα χρησιμοποιούνταν μόνο ένα είδος, ενώ για τον συνδυασμό αυτών εισήχθησαν 5 και 5 ενήλικα από το κάθε είδος. Κατόπιν όλα τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε θαλάμους ανάπτυξης σε θερμοκρασία 25 ή 30°C, 65% σχετική υγρασία και συνεχές σκοτάδι. Για κάθε συνδυασμό είχαμε 3 επαναλήψεις με 3 υποεπαναλήψεις, (3 X 3) με την προετοιμασία νέας σειράς φιαλιδίων κάθε φορά. Εξήντα πέντε και 120 ημέρες μετά μετρήθηκε η παραγωγή απογόνων μέσα στα φιαλίδια (Εικόνα 6), ο αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων στα δημητριακά (Εικόνα 7), καθώς και η ποσότητα σκόνης που παράχθηκε.



Εικόνα 3: Σιτάρι που χρησιμοποιήθηκε για τις βιοδοκιμές.



Εικόνα 4 Υγρασιόμετρο.



Εικόνα 5: Πλαστικά φιαλίδια που χρησιμοποιήθηκαν για τις βιοδοκιμές.



Εικόνα 6: Μέτρηση των απογόνων με την βοήθεια στερεοσκοπίου.



Εικόνα 7: Διαχωρισμός υγιών και προσβεβλημένων σπόρων.

2.3 Στατιστική ανάλυση

Πριν από την ανάλυση, όλα τα δεδομένα ελέγχθηκαν για την κανονικότητα και την ομοιογένεια των διακυμάνσεων χρησιμοποιώντας την δοκιμή Levene. Στη συνέχεια τα δεδομένα από την παραγωγή απογόνων, του αριθμού των προσβεβλημένων σπόρων και της ποσότητας της σκόνης που παρήγαγαν τα έντομα αναλύθηκαν με three way ANOVA, με το είδος των εντόμων, την θερμοκρασία και το είδος του δημητριακού καθώς και οι μέρες έκθεσης ως κύριες μεταβλητές. Οι μέσοι διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας τη δοκιμή Tukey Kramer HSD για να υποδείξουν διαφορές μεταξύ των εντόμων ή Student's t-test για να υποδείξουν διαφορές μεταξύ των δημητριακών, στο επίπεδο 0.05.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αποτελέσματα

3.1 Παραγωγή απογόνων

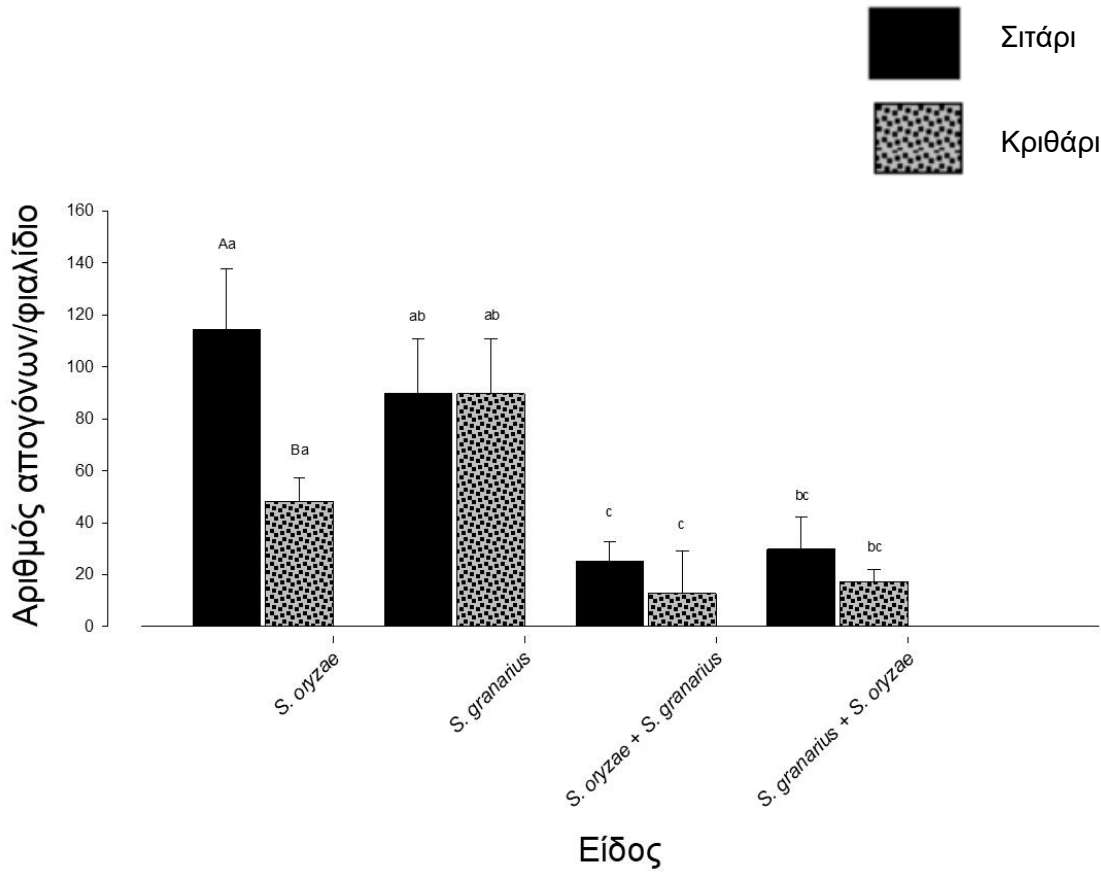
Οι παράμετροι της ANOVA φαίνονται στον Πίνακα 1. Στο σιτάρι μετά από 65 ημέρες καταγράφηκαν 114 ενήλικα/φιαλίδιο για το *S. oryzae* στους 25 °C. Στους 30 °C καταγράφηκαν 59 ενήλικα/φιαλίδιο για το *S. oryzae* και 45 ενήλικα/φιαλίδιο για το *S. granarius*. Αντιθέτως, στο κριθάρι στις 65 ημέρες το *S. granarius* στους 25 °C καταγράφηκαν 89 ενήλικα/φιαλίδιο ενώ για το *S. oryzae* καταγράφηκαν 48 ενήλικα/φιαλίδιο.

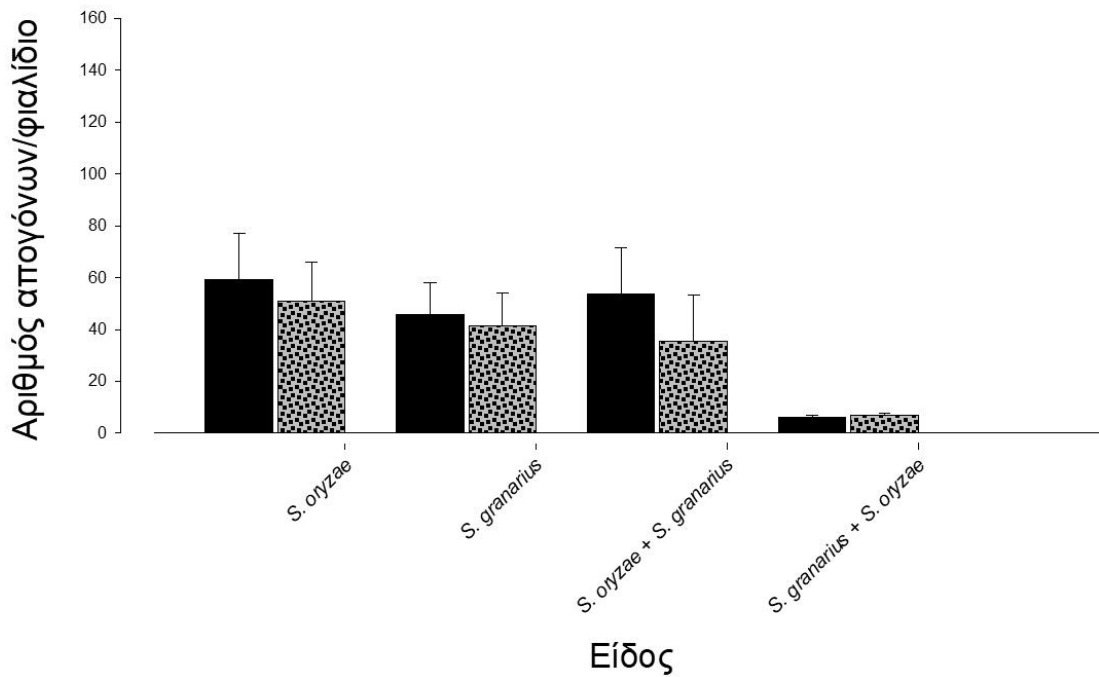
Στις μετρήσεις των 120 ημερών παρατηρείται αυξημένος αριθμός ενηλίκων σε σύγκριση με τα φιαλίδια των 65 ημερών, και σε ανάλογα επίπεδα. Συγκεκριμένα, στο σιτάρι στους 25 °C μετρήθηκαν 78 ενήλικα/φιαλίδιο για το *S. oryzae* και αντίστοιχα στο κριθάρι 121 ενήλικα/φιαλίδιο. Ο αριθμός των ενηλίκων του *S. granarius* ανά φιαλίδιο ήταν πιο χαμηλός από ότι του *S. oryzae* αλλά και πάλι υψηλότερος από τις μετρήσεις του *S. granarius* στις 65 ημέρες. Σε γενικές γραμμές η παραγωγή απογόνων ήταν ιδιαίτερα μειωμένη και για τα δύο είδη όταν βρίσκονταν σε κοινά φιαλίδια σε σύγκριση με τα φιαλίδια που περιείχαν μόνο ένα είδος.

Πίνακας 1: Παράμετροι ANOVA για την παραγωγή απογόνων του *Sitophilus oryzae* και του *Sitophilus granarius*, όταν τα είδη βρίσκονταν είτε μόνα είτε σε συνδυασμό, σε σιτάρι ή κριθάρι στους 25 ή 30 °C για 65 ή 120 μέρες (β.ε. σφάλματος=64).

Είδος εντόμου	β.ε.	<i>S. oryzae</i>		<i>S. granarius</i>		<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Μεταξύ των μεταβλητών	7	2.29	0.037	1.58	0.156	1.91	0.083
Τιμή αποκοπής	1	137.15	<0.001	176.5	<0.001	53.64	<0.001
Θερμοκρασία	1	0.38	0.537	8.47	0.005	2.47	0.121
Δημητριακό	1	0.01	0.986	0.20	0.654	7.21	0.009
Μέρες	1	5.96	0.017	0.23	0.623	0.66	0.420
Θερμοκρασία X Δημητριακό X Μέρες	1	1.46	0.231	0.07	0.794	0.58	0.450
Θερμοκρασία X Δημητριακό	1	0.59	0.446	0.11	0.741	0.19	0.661
Θερμοκρασία X Μέρες	1	1,36	0.247	1.99	0.163	1.09	0.299
Δημητριακό X Μέρες	1	6.34	0.014	0.01	0.921	1.1	0.287

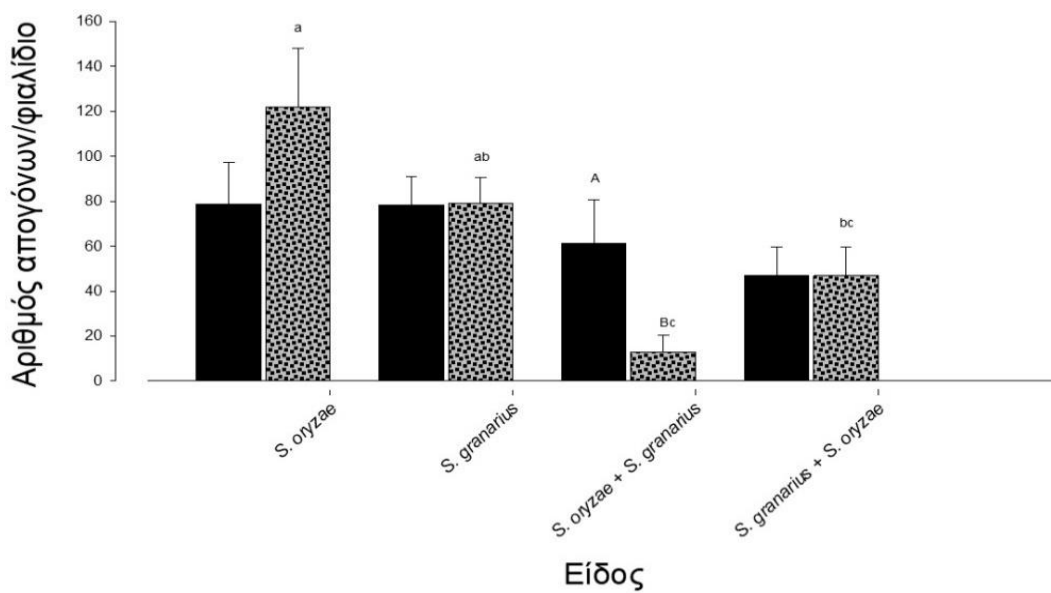
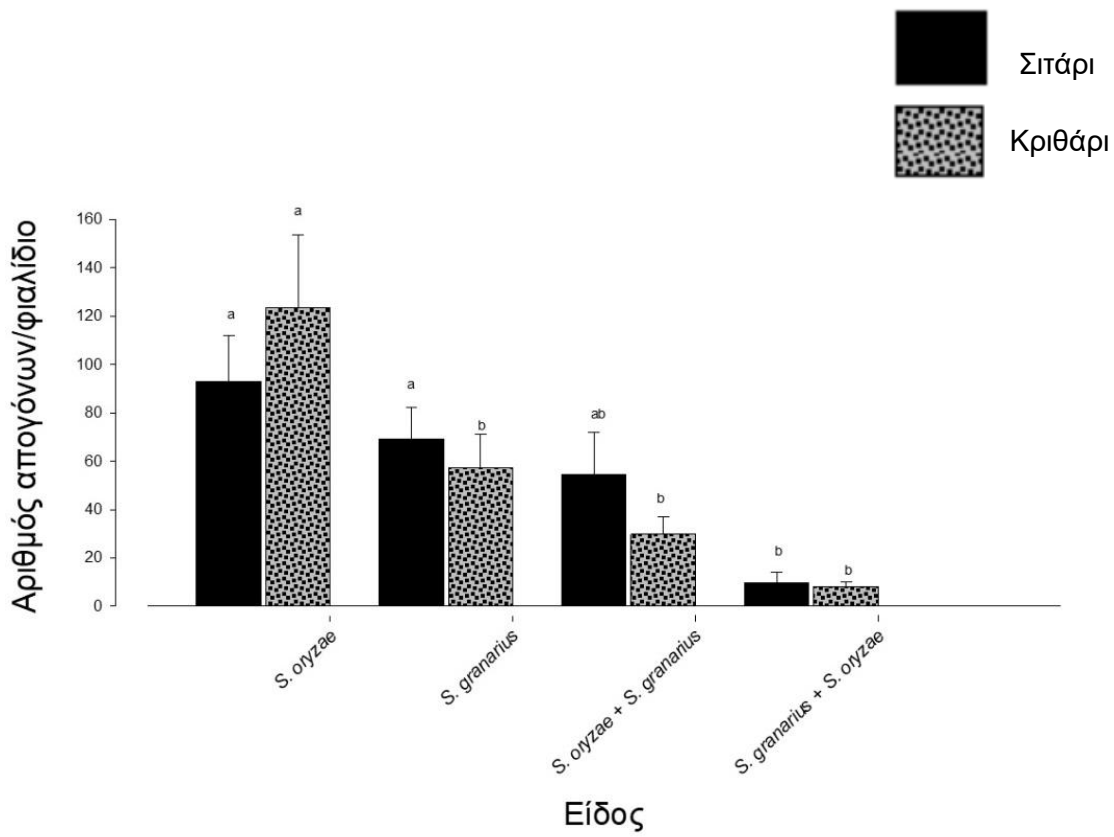
Διάγραμμα 1: Παραγωγή απογόνων (αριθμός ενήλικων/φιαλίδιο \pm τυπικό σφάλμα) του *Sitophilus oryzae* και του *Sitophilus granarius*, όταν τα είδη βρίσκονταν είτε μόνα είτε σε συνδυασμό, σε σιτάρι ή κριθάρι στους 25 (πάνω) ή 30 °C (κάτω) μετά από 65 μέρες σε σιτάρι και κριθάρι.





Σε κάθε είδος, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (β.ε. σφάλματος=1,17, Student's t test στο 0.05). Μέσα σε κάθε στήλη και δεμητριακό, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (β.ε. σφάλματος=3,35, Tukey HSD test στο 0.05). Όπου δεν υπάρχει γράμμα δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές.

Διάγραμμα 2: Παραγωγή απογόνων (αριθμός ενήλικων/φιαλίδιο \pm τυπικό σφάλμα) του *Sitophilus oryzae* και του *Sitophilus granarius*, όταν είτε τα δύο είδη βρίσκονται σε συνδυασμό είτε μόνα τους, στους 25(A) ή 30 °C(B) μετά από 120 μέρες σε σιτάρι ή κριθάρι.



Σε κάθε είδος, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (β.ε. σφάλματος=1,17, Student's t test στο 0.05). Μέσα σε κάθε στήλη και δημητριακό, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά(β.ε. σφάλματος=3,35, Tukey HSD test στο 0.05). Όπου δεν υπάρχει γράμμα δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές.

3.2 Αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων και παραγωγή σκόνης

Μετά από 65 ημέρες ο αριθμός προσβεβλημένων σπόρων στο σιτάρι στους 25 °C ήταν χαμηλότερος όταν είχαμε συνδυασμό και των δύο ειδών (Πίνακας 2). Στο κριθάρι, το *S. granarius* καταγράφηκε με τον μεγαλύτερο αριθμό προσβεβλημένων σπόρων σε όλους τους συνδυασμούς που μελετήθηκαν (Πίνακας 2). Μετά από 120 ημέρες στο σιτάρι το *S. oryzae* προκάλεσε την μεγαλύτερη προσβολή στους 25 °C σε σύγκριση με τους άλλους συνδυασμούς. Σε αντίθεση, στους 30 °C παρατηρήθηκε ότι το *S. granarius* είχε την μεγαλύτερη προσβολή στο σιτάρι όταν ήταν μόνο του (Πίνακας 2). Το βάρος της σκόνης δεν υπερέβη τα 184 mg/φιαλίδιο σε κανέναν συνδυασμό και για κανένα είδος (Πίνακας 3). Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνδυασμών στα διαφορετικά είδη στους 25 και 30 °C (Πίνακας 3).

Πίνακας 2: Μέση τιμή των κατεστραμμένων σπόρων(σπόροι με 1 τρύπα και σπόροι με πάνω από 1 τρύπα) του *Sitophilus oryzae* και του *Sitophilus granarius*, όταν τα είδη βρίσκονταν είτε μόνα είτε σε συνδυασμό, σε σιτάρι ή κριθάρι στους 25 ή 30 °C για 65 ή 120 μέρες (β.ε. σφάλματος=1,16).

Ημέρες έκθεσης	Δημητριακό	Συνδυασμός ειδών	Προσβεβλημένοι σπόροι			
			Σπόροι με 1 τρύπα		Σπόροι με πάνω από 1 τρύπα	
			25°C	30°C	25°C	30°C
60	Σιτάρι	<i>S. oryzae</i>	98.8 ± 15.9Aa	46.2 ± 14.2b	22.4 ± 6.4AB	8.1 ± 3.2
		<i>S. granarius</i>	94.2 ± 21.4A	62.9 ± 14.6	30.7 ± 6.2A	18.0 ± 5.4
		<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	56.7 ± 12.2B	64.3 ± 22.6	10.2 ± 13.2 B	13.2 ± 7.1
	Κριθάρι	<i>S. oryzae</i>	33.4 ± 8.6AB	34.3 ± 8.6	2.8 ± 0.7B	4.2 ± 1.8
		<i>S. granarius</i>	67.9 ± 18.7A	33.2 ± 3.5	18.2 ± 5.9A	7.8 ± 3.6
		<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	22.4 ± 5.5B	26.2 ± 8.8	5.8 ± 1.6B	4.7 ± 2.2
120	Σιτάρι	<i>S. oryzae</i>	71.8 ± 21.7	48.8 ± 14.1	21.9 ± 9.0	41.3 ± 13.0
		<i>S. granarius</i>	60.6 ± 16.2	101.2 ± 22.4	17.1 ± 5.9a	46.2 ± 11.0b

	<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	29.1 ± 17.4	36.7 ± 22.2	5.1 ± 2.8	9.9 ± 6.1
Κριθάρι	<i>S. oryzae</i>	98.6 ± 28.9	41.6 ± 16.1	30.4 ± 10.7a	6.4 ± 3.6b
	<i>S. granarius</i>	31.8 ± 13.1	40.0 ± 14.7	11.2 ± 5.2	10.8 ± 5.0
	<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	49.8 ± 24.2	19.6 ± 6.3	17.6 ± 9.1	2.9 ± 1.2

Σε κάθε δημητριακό και ημέρα μέτρησης, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (β.ε. σφάλματος=2,24, Tukey HSD test στο 0.05). Για κάθε είδος σε κάθε γραμμή και θερμοκρασία, οι μέσες τιμές που συνοδεύονται από το ίδιο μικρό γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (β.ε. σφάλματος=1,16, Student's T-test στο 0.05). Όπου δεν υπάρχει γράμμα δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 3: Το βάρος της σκόνης (mg) που παρήγαγαν το *Sitophilus oryzae* και το *Sitophilus granarius*, όταν τα είδη βρίσκονταν είτε μόνα είτε σε συνδυασμό, σε σιτάρι ή κριθάρι στους 25 ή 30 °C για 65 ή 120 μέρες (β.ε. σφάλματος=1,16).

Ημέρες έκθεσης	Δημητριακό	Συνδυασμός ειδών	Σκόνη (mg)	
			25°C	30°C
65	Σιτάρι	<i>S. oryzae</i>	135.3 ± 2.6	81.9 ± 21.6
		<i>S. granarius</i>	183.5 ± 44.6	158.0 ± 41.6
		<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	155.7 ± 37.3	81.4 ± 17.2
	Κριθάρι	<i>S. oryzae</i>	101.5 ± 20.3	91.8 ± 25.8
		<i>S. granarius</i>	68.8 ± 20.3	66.9 ± 21.4
		<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	78.7 ± 16.0	52.0 ± 18.0
120	Σιτάρι	<i>S. oryzae</i>	68.48 ± 23.3	26.6 ± 8.6B
		<i>S. granarius</i>	71.7.2 ± 25.5	120.7 ± 35.9A
		<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	51.4 ± 23.3	44.1 ± 25.4AB
	Κριθάρι	<i>S. oryzae</i>	141.9 ± 38.4	120.2 ± 38.7
		<i>S. granarius</i>	31.2 ± 15.5	70.8 ± 27.8
		<i>S. oryzae</i> + <i>S. granarius</i>	136.7 ± 55.8	54.3 ± 22.3

Σε κάθε στήλη και μέρα μέτρησης οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο κεφαλαίο γράμμα δεν διέφεραν σημαντικά (β.ε. σφάλματος=2,24, Tukey HSD test στο 0.05). Για κάθε είδος σε κάθε γραμμή και θερμοκρασία, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο μικρό

γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (β.ε. σφάλματος=1,16 Students T-test στο 0.05). Όπου δεν υπάρχει γράμμα δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι η συνύπαρξη μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή απογόνων των δύο ειδών *Sitophilus* που μοιράζονται την ίδια πηγή τροφής. Ο αριθμός των απογόνων επηρεάστηκε αρνητικά από την ύπαρξη ενός ανταγωνιστή, γεγονός το οποίο έχει καταγραφεί και σε αντίστοιχες εργασίες στο πρόσφατο παρελθόν. Οι Athanassiou et al. (2014) εξέτασαν διαφορετικά είδη Ψωκόπτερων της οικογένειας Liposcelididae π.χ. το *Liposcelis bostrychophila* (Badonnel), το *Liposcelis decolor* (Pearman), και το *Liposcelis paeta* Pearman (Psocoptera:Liposcelidae) και έδειξαν ότι η παρουσία του *L. bostrychophila* μείωσε την πληθυσμιακή αύξηση των άλλων ειδών σε όλες τις θερμοκρασίες που εξετάστηκαν. Επίσης, οι Athanassiou et al. (2014) κατέγραψαν το χαμηλότερο αριθμό ενήλικων όταν το *S. oryzae* και το *S. granarius* ήταν σε συνδυασμό από ότι όταν βρισκόνταν μόνα τους. Παράλληλα, ο Gökçe (2004) εξέτασε τον ανταγωνισμό μεταξύ του *S. oryzae* και του *S. granarius* σε διαφορετικά δημητριακά και ανέφερε ότι το *S. oryzae* ήταν το επικρατέστερο είδος σε κάθε συνδυασμό. Στη παρούσα μελέτη στο σιτάρι, η παραγωγή απογόνων του *S. oryzae* ήταν υψηλότερη από αυτή του *S. granarius* είτε όταν τα είδη ήταν μόνα τους είτε σε συνδυασμό. Αντιθέτως, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η μοναδική περίπτωση όπου το *S. granarius* έδειξε υψηλή παραγωγή απογόνων ενώ βρισκόταν σε συνδυασμό με το *S. oryzae* ήταν όταν βρισκόταν στους 25 °C και μετά από 120 ημέρες στο κριθάρι, αλλά είναι αβέβαιο αν για αυτό ευθύνεται περισσότερο η θερμοκρασία ή το δημητριακό. Παρ' όλα αυτά, η καταγραφή αυτή ήταν η μόνη εξαίρεση στην παραγωγή απογόνων, καθώς το *S. oryzae* είχε συνεχώς μεγαλύτερη παραγωγή απογόνων σε όλους τους συνδυασμούς.

Είναι γενικά αναμενόμενο ότι το διάστημα έκθεσης είναι σημαντικό στην παραγωγή απογόνων διαφόρων ειδών εντόμων αποθηκών καθώς σχετίζεται με τον ρυθμό ανάπτυξης τους (Baliota et al. 2021; Sakka and Athanassiou 2022). Στη μελέτη μας, το διάστημα έκθεσης είχε και θετικά

και αρνητικά αποτελέσματα στην παραγωγή απογόνων και των δύο ειδών, είτε βρίσκονταν μόνα τους είτε σε συνδυασμό. Παραδόξως, παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή απογόνων επηρεάστηκε από το διάστημα έκθεσης αφού σε μερικές περιπτώσεις στους 25 °C η παραγωγή των απογόνων ήταν χαμηλή μετά από 65 ημέρες στο κριθάρι και υψηλή μετά τις 120 ημέρες, σε αντίθεση με το σιτάρι στο οποίο η παραγωγή απογόνων ήταν υψηλότερη μετά τις 65 ημέρες έκθεσης. Παρατηρήθηκε όμως ότι σε μερικά φιαλίδια μετά τις 120 ημέρες αναπτύχθηκαν μύκητες λόγω της δραστηριότητας των εντόμων, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει την αύξηση του πληθυσμού. Καθώς η διαθεσιμότητα τροφής ήταν σταθερή, δηλ. βασίστηκε μόνο στην αρχική ποσότητα, ο ανταγωνισμός έδειξε ότι σε μεγάλα χρονικά διαστήματα είναι πιθανόν η παραγωγή απογόνων να μειώνεται.

Το δημητριακό είναι σημαντικός παράγοντας στον ανταγωνισμό των εντόμων που έχουν στενές συγγενικές σχέσεις σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες (Gökçe, 2004; Athanassiou et al., 2014; Sakka et al., 2018). Σε γενικές γραμμές η παραγωγή απογόνων και των δύο ειδών κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα, με την εξαίρεση του *S. oryzae* στους 25 °C ύστερα από 65 ημέρες όπου σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο σιτάρι και το κριθάρι. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έρχονται σε συμφωνία με αυτά των Lampiri et al. (2021) που εξέτασε την παραγωγή απογόνων του *T. granarium* και του *Trogoderma variable* Ballion (Coleoptera: Dermestidae) στο σιτάρι και το ρύζι και βρήκαν παρόμοια παραγωγή απογόνων και στα δύο δημητριακά. Οι Athanassiou et al. (2017) εξέτασαν διαφορετικά δημητριακά για το *P. truncatus* και βρήκαν ότι μπορεί να αναπτυχθεί εύκολα μόνο στον αραβόσιτο, αλλά δεν καταγράφηκε ανάπτυξη στα άλλα δημητριακά, όπως το σιτάρι και το κριθάρι. Επιπροσθέτως, οι Sakka and Athanassiou (2018) παρατήρησαν ότι η παραγωγή απογόνων του *D. porcellus* στον αραβόσιτο στο σιτάρι ήταν αντίστοιχη με αυτή του *P. truncatus*, ακόμα και όταν τα δύο είδη ήταν μαζί στο ίδιο φιαλίδιο. Τα δικά μας ευρήματα δεν υποστηρίζουν ότι το δημητριακό μπορεί να επηρεάσει το ανταγωνισμό των δύο ειδών, τουλάχιστον στην περίπτωση των δύο

δημητριακών που εξετάστηκαν εδώ. Πρέπει να διεξαχθούν περισσότερα πειράματα για να διευκρινιστεί αυτή η υπόθεση.

Η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας καθοριστικής σημασίας για την παραγωγή των απογόνων (Giga and Canhao, 1993; Quellhorst et al., 2020). Σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας το *S. granarius* φαίνεται να αποδίδει καλύτερα στους 25 °C ανεξάρτητα από την παρουσία ή όχι του άλλου είδους. Στη μελέτη μας, ανεξάρτητα από τον παράγοντα της θερμοκρασίας, και τα δύο είδη είχαν μειωμένη παραγωγή απογόνων όταν βρίσκονταν σε συνδυασμό. Οι Baliota et al. (2022) εξέτασαν δύο διαφορετικούς πληθυσμούς του *L. serricorne* και βρήκαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αύξησε και την παραγωγή των απογόνων και των δύο πληθυσμών. Όμως τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να μην είναι προς σύγκριση με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, δοθέντος του ότι αφορούν άλλο είδος, που δεν είναι πρωτεύον. Καθώς όλα τα φιαλίδια περιείχαν την ίδια ποσότητα δημητριακού, η αύξηση του χρόνου έκθεσης μπορεί να περιορίσει τη διαθεσιμότητα της τροφής, περιορισμός ο οποίος μπορεί να εκφραστεί πιο έντονα με την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω αυξημένης δραστηριότητας των εντόμων.

Ο υψηλός αριθμός απογόνων όταν τα δύο είδη τοποθετηθήκαν μόνα τους φαίνεται και από την προσβολή που έχουν προκαλέσει στα δημητριακά. Το *S. oryzae* προκάλεσε τον υψηλότερο αριθμό προσβεβλημένων σπόρων στο σιτάρι ενώ το *S. granarius* αντίστοιχα στο κριθάρι, με βάση τις μετρήσεις μας σε φιαλίδια που περιείχαν μόνο ένα είδος. Όταν τα δύο είδη βρίσκονταν μαζί τότε ο αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων ήταν αρκετά χαμηλότερος, για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι Athanassiou et al. (2017) ανέφεραν ότι το *S. oryzae* προκαλεί τον μεγαλύτερο βαθμό προσβολής στους σπόρους σε σύγκριση με άλλα είδη του γένους *Sitophilus*. Στην έρευνά μας ο υψηλότερος αριθμός προσβεβλημένων σπόρων καταγράφηκε στους 30 °C για το *S. granarius* στο σιτάρι στις 120 μέρες, αλλά, στην περίπτωση που και τα

δύο είδη ήταν μαζί στο ίδιο φιαλίδιο, τα δεδομένα μας δείχνουν ότι το *S. oryzae* προκάλεσε μεγαλύτερη ζημιά σε σχέση με το *S. granarius*.

Από όσα γνωρίζουμε, αυτή η έρευνα είναι η πρώτη στην οποία αξιολογήθηκε ο ενδοειδικός ανταγωνισμός για το *S. oryzae* και το *S. granarius* στο σιτάρι και το κριθάρι σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες και χρονικές περιόδους. Για τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν ήταν φανερό ότι η παραγωγή απογόνων ήταν μειωμένη όταν και τα δύο είδη βρίσκονταν μαζί. Ειδικότερα, για το *S. granarius* η παραγωγή απογόνων ύστερα από 120 ημέρες στους 30 °C ήταν εξαιρετικά χαμηλή. Τέλος, το *S. oryzae* φαίνεται να υπερέχει του *S. granarius* στους περισσότερους συνδυασμούς που εξετάστηκαν σε αυτή την έρευνα. Περισσότερα πειράματα θα πρέπει να διεξαχθούν με διαφορετικά ποσοστά ατόμων προκειμένου να προσδιοριστεί η δυνατότητα δημιουργίας απογόνων και η προσβολή των σπόρων.

Βιβλιογραφία

- Adja, N. H., Danho, M., Alabi, T. A. F., Zimmer, J. Y., Francis, F., Gnago, A. J., Kouassi K. P., Zoro Bi I. A., Baudoin, J. P. (2016). Identification and Impact of Insects Feeding on the Stored Seeds of *Lagenaria siceraria* Molina (Standl. 1930) and *Citrullus lanatus* Thunb (Matsum & Nakai, 1916), two Oilseed Cucurbits of the Ivory Coast. *American Journal of Research Communication* 4: 104-132.
- Agrafioti, P., Athanassiou, C. G. (2018). Insecticidal effect of contact insecticides against stored product beetle populations with different susceptibility to phosphine. *Journal of Stored Products Research* 79: 9–15.
- Ahmad, R., Hassan, S., Ahmad, S., Nighat, S., K. Devi, Y., Javeed, K., Usmani, S., Javed Ansari, M., Erturk, S., Alkan, M., Hussain, B. (2021). Stored Grain Pests and Current Advances for their Management. *Postharvest Technology - Recent Advances, New Perspectives and Applications*.
- Albuquerque, G. S., Tauber, C. A., Tauber, M. J. (1994). *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae): life history and potential for biological control in Central and South America. *Biological control* 4: 8-13.
- 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. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 98: 67–78.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Campbell, J. F. (2017). Competition of three species of *Sitophilus* on rice and maize. *PLoS One* 12: e0173377.

- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Palyvos, N. E., & Buchelos, C. T. (2003). Three-dimensional distribution and sampling indices of insects and mites in horizontally-stored wheat. *Applied Entomology and Zoology* 38: 413-426.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Palyvos, N. E., Sciarretta, A., Trematerra, P. (2005). Spatiotemporal distribution of insects and mites in horizontally stored wheat. *Journal of Economic Entomology* 98: 1058-1069.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Sciarretta, A., Palyvos, N. E., Trematerra, P. (2011). Spatial associations of insects and mites in stored wheat. *Journal of Economic Entomology* 104: 1752-1764.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Throne, J. E., Nakas, C. T. (2014). Competition among species of stored-product psocids (Psocoptera) in stored grain. *PLoS One* 9: e102867.
- Baliota, G. V., Scheff, D. S., Morrison, W. R., Athanassiou, C. G. (2022). Competition between *Prostephanus truncatus* and *Sitophilus oryzae* on maize: the species that gets there first matters. *Bulletin of Entomological Research* 112: 520-527.
- Bell, C. (2011). Insect and mite penetration and contamination of packaged foods. *Food and Beverage Stability and Shelf Life* 106–131.
- Bolívar-Silva, D. A., Guedes, N. M. P., Guedes, R. N. C. (2018). Larval cannibalism and fitness in the stored grain weevils *Sitophilus granarius* and *Sitophilus zeamais*. *Journal of Pest Science* 91: 707–716.
- Bronstein, J. L., Alarcón, R., Geber, M. (2006). The evolution of plant–insect mutualisms. *New Phytologist* 172: 412-428.
- Casem, M. L. (2016). Cell Systems. *Case Studies in Cell Biology* 345–371.

- Catarino, R., Ceddia, G., Areal, F. J., Park, J. (2015). The impact of secondary pests on *Bacillus thuringiensis* (Bt) crops. *Plant biotechnology Journal* 13: 601-612.
- Chen, G., Wang, Z. W., Qin, Y., Sun, W. B. (2017). Seed dispersal by hornets: An unusual insect-plant mutualism. *Journal of Integrative Plant Biology* 59: 792-796.
- Chimoya, I. A., Abdullahi, G. (2011). Species compositions and relative abundance of insect pest associated with some stored cereal grains in selected markets of Maiduguri metropolitan. *Journal of American Science* 7: 355-358.
- Crespo-Pérez, V., Kazakou, E., Roubik, D. W., Cárdenas, R. E. (2020). The importance of insects on land and in water: a tropical view. *Current Opinion in Insect Science* 40: 31-38.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A. and Boumans, R.M.J. (2002). A Typology for the Classification, Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services. *Ecological Economics* 41: 393-408.
- Dent, D. R., Binks, R. H. (2020). *Insect Pest Management* (3rd ed.). CABI.
- Dicke, M. (2017) *Ecosystem Services of Insects*. In: Van Huis, A. and Tomberlin, J.K., Eds., *Insects as Food and Feed: From Production to Consumption*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 61-76.
- Domingue, M. J., Wu, Y., Vieira, K. A., McGraw, A. R., Furtado, M., Athanassiou, C. G., Morrison W. R. Myers, S. W. (2023). Direct competition and potential displacement involving managed *Trogoderma* stored product pests. *Scientific Reports* 13: 3656.
- Giga, D. P., Canhao, S. R. J. (1993) Competition between *Prostephanus truncatus* (Horn) and *Sitophilus zeamais* (Motsch.) in maize at two temperatures. *Journal of Stored Product Research* 29: 63–70.

- Gillot, C. (2005). Reproduction and development—mating behavior. *Entomology*. Springer, The Netherlands 581-586.
- Giunti, G., Palmeri, V., Algeri, G. M., Campolo, O. (2018). VOC emissions influence intra-and interspecific interactions among stored-product Coleoptera in paddy rice. *Scientific reports* 8: 2052.
- Gökçe A. (2004) Interspecific competition between granary weevil (*Sitophilus granarius* (L.)) and rice weevil (*Sitophilus oryzae* (L.)) in four different cereals. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University* 21: 9-18.
- Gressitt, J. Linsley (2021, October 11) Coleopteran. *Encyclopedia Britannica*.
<https://www.britannica.com/animal/beetle>
- Howe, R. W., Hole, B. D. (1968). The susceptibility of developmental stages of *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) to moderately low temperatures. *Journal of Stored Products Research* 40: 147–156.
- Huffaker, C. B. (Ed.). (2012). *Theory and practice of biological control*. Elsevier.
- Huxley, C. R., Cutler, D. F. (Eds.). (1991). *Ant-plant interactions* (No. 595.7960452482/H896). Oxford: Oxford University Press.
- Jankielsohn, A. (2018). The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology* 06: 62–73.
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Guedes, R. N., Drempela, J. D., Boukouvala, M. C. (2017). Invader competition with local competitors: displacement or coexistence among the invasive khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae), and two other major stored-grain beetles? *Frontiers in Plant Science* 8: 1837.

- Khan S. (2006). Effects of six plant extracts on rice weevil *Sitophilus oryzae* L. in the stored wheat grains. *Journal of Agricultural and Biological Science* 1.
- Kirkpatrick, R. L., Wilbur, D. A. (1965). The development and habits of the granary weevil, *Sitophilus granarius* within the kernel of wheat. *Journal of Economic Entomology* 58: 979-985.
- Kremen, C., Chaplin-Kramer, R. (2007, June). Insects as providers of ecosystem services: crop pollination and pest control. In: *Insect conservation biology: proceedings of the royal entomological society's 23rd symposium* (pp. 349-382). CABI Publishing.
- Lale, N. E. S., Vidal, S. (2001). Intraspecific and interspecific competition in *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) on stored bambara groundnut, *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt. *Journal of Stored Products Research* 37: 329-338.
- Lawrence, J. F., Newton Jr, A. F. (1982). Evolution and classification of beetles. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 261-290.
- Losey, J. E., Vaughan, M. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience* 56: 311-323.
- McKenna, D. D., Farrell, B. D. (2009). Beetles (Coleoptera). *The timetree of life* 278- 289.
- Menalled, F. D., Liebman, M. (2008). Seed Pred.ation by Insects. *Encyclopedia of Entomology* 3339–3342.
- Messina, F. J., Renwick, J. A. A. (1985). Ability of ovipositing seed beetles to discriminate between seeds with differing egg loads. *Ecological Entomology* 10: 225-230.
- Myllymäki, A. (1979). Importance of small mammals as pests in agriculture and stored products. *Ecology of Small Mammals* 239-279.
- Nansen, C., Flinn, P., Hagstrum, D., Toews, M. D., Meikle, W. G. (2009). Interspecific associations among stored-grain beetles. *Journal of Stored Products Research* 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., Papanikolaou, N. E., Malesios, C. (2022). Interactions of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) with two key stored-product pests under variable abiotic conditions. *Entomologia Generalis* 42.
- Okram, S., Hath, T. K. (2019). Biology of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored rice grains during different seasons in Terai agro-ecology of West Bengal. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8: 1955-1963.
- Oliveira, E. E., Guedes, R. N. C., Tótoła, M. R., De Marco Jr, P. (2007). Competition between insecticide-susceptible and-resistant populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Chemosphere* 69: 17-24.
- 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.). *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 47: 555-563.
- Papanikolaou, N. E., Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., Malesios, C. (2018). Do temperature, relative humidity and interspecific competition alter the population size and the damage potential of stored-product insect pests? A hierarchical multilevel modeling approach. *Journal of Thermal Biology* 78: 415–422.
- Phillips, T. W., Throne, J. E. (2010). Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology* 55: 375-397.
- Pimentel, D. (2021). *World Food, Pest Losses, And The Environment* (1st ed.). CRC Press.
- Quellhorst, H., Athanassiou, C. G., Bruce, A., Scully, E.D., Morrison, W. R. (2020) Temperature-mediated competition between the invasive larger grain borer (Coleoptera: Bostrichidae) and

- the cosmopolitan maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Entomology* 49: 255–264.
- Rees, D. P. (2018). Coleoptera. In: *Integrated management of insects in stored products*. CRC Press:1-39.
- Resh, V. H., Cardé, R. T. (2009). *Encyclopedia of Insects* (2nd ed.). Academic Press.
- Richards, O.W. (1947). Observations of Grain Weevils, Calandra (Coleoptera: Curculionidae). I. General Biology and Oviposition. *Proceedings of the Zoological Society of London* 117: 1-43.
- Roy, B., Sarker, B. C., Amin, M. R., Roy, B. C., Jalal, S. (2010). Bio-efficacy of shiyalmutra leaf extract against rice weevil. *Journal of Science and Technology* 8: 1-5.
- Sakka, M. K., Athanassiou, C. G. (2018). Competition of three stored-product bostrychids on different temperatures and commodities. *Journal of Stored Products Research* 79: 34-39.
- Stejskal, V., Aulicky, R., & Kucerova, Z. (2014). Pest control strategies and damage potential of seed-infesting pests in the Czech stores – a review. *Plant Protection Science* 50: 165–173.
- Strong R.G. (1970). Distribution and Relative Abundance of Stored-Product Insects in California: A Method of Obtaining Sample Populations, *Journal of Economic Entomology* 63: 591–596.
- Thangaraj, S. R., McCulloch, G. A., Subtharishi, S., Chandel, R. K., Debnath, S., Subramaniam, C., Walter G. H., Subbarayalu, M. (2019). Genetic diversity and its geographic structure in *Sitophilus oryzae* (Coleoptera; Curculionidae) across India–implications for managing phosphine resistance. *Journal of Stored Products Research* 84: 101512.
- White NDG (1995) Insects, mites and insecticides in stored-grain ecosystems. In: Jayas DS, White NDG, Muir WE, editors. *Stored-grain ecosystems*. New York: Marcel Dekker. 123–167.

White, N. D., Demianyk, C. J., Kawamoto, H., Sinha, R. N. (1995). Population growth of *Cryptolestes ferrugineus* and *C. pusillus* (Coleoptera: Cucujidae) alone, or in competition in stored wheat or maize at different temperatures. *Bulletin of Entomological Research* 85: 425-429.

Wigglesworth, V. Brian (2020, December 22). Insect. *Encyclopedia Britannica*.
<https://www.britannica.com/animal/insect>.