



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Παραδοτέο Π2.3 «Μοντελοποίηση της αποτελεσματικότητας της ΓΔ, χρησιμοποιώντας ως πρότυπο συγκεκριμένες εγκαταστάσεις, προκειμένου να ενισχυθεί η προοπτική υιοθέτησης της μεθόδου από τον συνεταιρισμό»

Τύπος: Έκθεση



DiatomiteThem

DiatomiteThem

Τίτλος Έργου:

**Προστασία των αποθηκευμένων δημητριακών με τη
χρήση γης διατόμων**

«Το έργο αυτό υλοποιείται στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου: Τ2ΕΔΚ-03532)»



ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγικά Στοιχεία	3
2. Πρωτόκολλο Βιοδοκιμών Ι	5
2.1. Υλικά και μέθοδοι	5
2.2. Δειγματοληπτικός έλεγχος	9
2.3. Αποτελέσματα	14
2.4. Συμπεράσματα	23
3. Πρωτόκολλο Βιοδοκιμών ΙΙ	25
3.1. Υλικά και μέθοδοι	25
3.2. Αποτελέσματα	28
3.3. Συμπεράσματα	31
4. Βιβλιογραφία	32



1. Εισαγωγικά στοιχεία

Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια (βλ. Π2.1.1 και αλλού), ενώ υπάρχουν πολλά δεδομένα για την εφαρμογή της ΓΔ σε συνθήκες εργαστηρίου, ελάχιστες είναι οι αναφορές για εφαρμογή της ΓΔ σε πραγματικές συνθήκες, δηλ. σε συνθήκες πεδίου. Για το σκοπό αυτό, δεσμεύθηκαν χώροι στο Αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Εικ. 1), όπου το Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (ΕΕΓΖ) διαθέτει εμπορευματοκιβώτια (containers) καθώς και άλλους χώρους (αποθήκες οριζοντίου τύπου κα.). Ο σκοπός της παρούσας δράσης ήταν να γίνουν εφαρμογές σε πραγματικές συνθήκες προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το μοντέλο πρόβλεψης της θνησιμότητας των εντόμων εξαιτίας της εφαρμογής της ΓΔ. Συνεπώς, τα αποτελέσματα αυτής της Δράσης μέσω της εμπορικής εφαρμογής της ΓΔ κάτω από πραγματικές συνθήκες στις εγκαταστάσεις, θα επιτρέψουν την βελτιστοποίηση και επιβεβαίωση του μοντέλου πρόβλεψης θνησιμότητας των εντόμων εξαιτίας της εφαρμογής της ΓΔ σε εμπορική-ρεαλιστική κλίμακα. Παράλληλα, η Δράση αυτή αποτέλεσε μια πρώτη εκτενή ένδειξη της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής, παράμετροι της οποίας λήφθηκαν υπόψιν στις επόμενες δράσεις της ΕΕ4.



Εικόνα 1: Προετοιμασία του χώρου για τις βιοδοκιμές με την συνεργασία του ΕΕΓΖ και του συνεταιρισμού ΘΕΣγη, στο Αγρόκτημα του ΠΘ. Στο πίσω μέρος της φωτογραφίας διακρίνεται το κτίριο στο οποίο έλαβε χώρα ο πειραματισμός.



Στην πρώτη φάση του πειραματισμού, χρησιμοποιήθηκαν 3 είδη εντόμων, τα *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) και *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Δύο από τα είδη, τα *S. zeamais* και *R. dominica* θεωρήθηκαν ως κυρίαρχα είδη στις αποθήκες του συνεταιρισμού, έπειτα και τις δειγματοληψίες της EE1 (βλέπε Π1.2.1), οπότε και κρίθηκε αναγκαίο να συμπεριληφθούν σε αυτή τη Δράση, για την αξιολόγηση της εφαρμογής της ΓΔ σε εμπορική-ρεαλιστική κλίμακα για τα εν λόγω είδη.

Από την άλλη πλευρά, το *T. granarium* θεωρείται ως ένα πολύ σημαντικό είδος αποθηκευμένων προϊόντων όσον αφορά το εύρος του ξενιστή και την ικανότητα προσβολής. Εκτός από τα αποθηκευμένα δημητριακά που φαίνεται να είναι οι κύριοι ξενιστές του, το *T. granarium* έχει βρεθεί σε περισσότερα από 100 διαφορετικά προϊόντα φυτικής και ζωικής προέλευσης (Finkelman et al. 2006, Hosseinaveh et al. 2007, Burges 2008, Hagstrum και Subramanyam 2009). Αποτελεί είδος καραντίνας σε πολλά μέρη του πλανήτη και θεωρείται παγκόσμια απειλή για την επισιτιστική ασφάλεια, αφού έχει καταχωρηθεί ως έντομο καραντίνας από τον Ευρωπαϊκό και Μεσογειακό Οργανισμό Προστασίας Φυτών (EPPO 2017, Athanassiou et al. 2019). Δεδομένης της μεγάλης σημασίας του για το διεθνές εμπόριο, υπάρχουν αυστηροί κανονισμοί προκειμένου να μετριαστεί η περαιτέρω εξάπλωσή του σε χώρες όπου αυτό το είδος δεν υπάρχει επί του παρόντος, όπως οι ΗΠΑ και η Αυστραλία (Stibick 2009, Myers and Hagstrum 2012, Day and White 2016). Σήμερα, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την κατανόηση της βασικής βιολογίας και οικολογίας του *T. granarium* προκειμένου να αναπτυχθούν σχετικές με τη συμπεριφορά τακτικές δειγματοληψίας και διαχείρισης (π.χ. Morrison et al. 2021). Για τον λόγο αυτό, κρίθηκε αναγκαίο από το ΕΕΓΖ και τον συνεταιρισμό, να ενταχθεί το είδος στα πρωτόκολλα αξιολόγησης της ΓΔ, με σκοπό την ανάδειξη μεθόδων αντιμετώπισης σε περίπτωση εμφάνισής του στις αποθήκες και τα προϊόντα του συνεταιρισμού, ειδικά στις περιπτώσεις των δημητριακών που προορίζονται για εξαγωγές. Να σημειωθεί ότι το είδος αυτό έχει περιστασιακά αναφερθεί σε διάφορες περιοχές, τύπους αποθηκευτικών χώρων και προϊόντα.

Ταυτόχρονα, κρίθηκε αναγκαία η αξιολόγηση των βασικότερων μεθόδων δειγματοληψίας των εν λόγω ειδών σε συνθήκες αποθήκευσης που προσομοιάζουν αυτές του συνεταιρισμού, προκειμένου να δημιουργηθούν οι σωστές βάσεις τόσο για να γίνει δυνατή μια γενικότερη



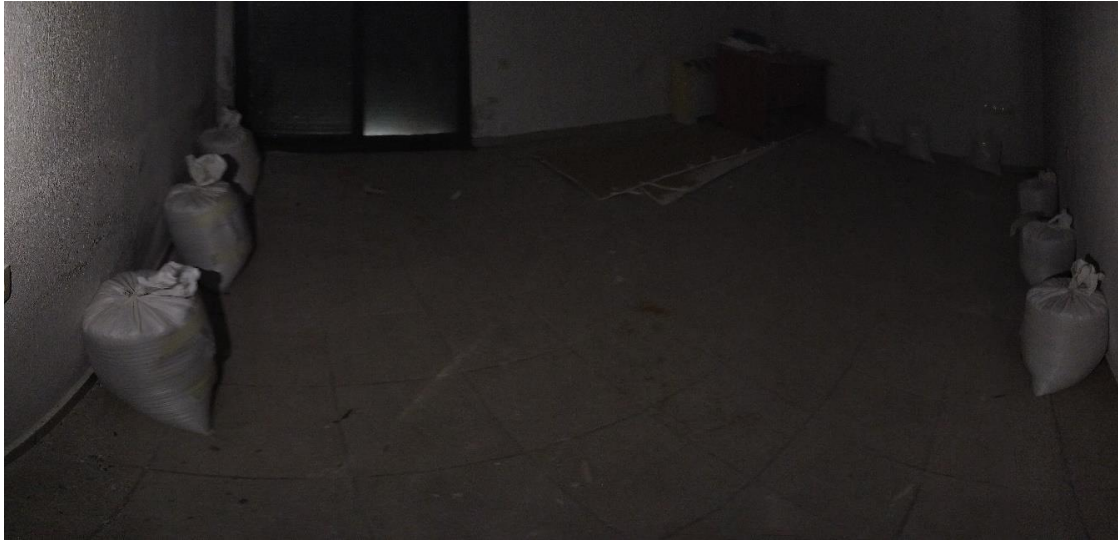
και σωστή καταγραφή της ύπαρξης αλλά και της εντομολογικής προσβολής των συγκεκριμένων ειδών στις αποθήκες του συνεταιρισμού αλλά και για την ορθή προετοιμασία των προβλεπόμενων δράσεων εκπαίδευσης του προσωπικού του συνεταιρισμού αλλά και άλλων ενδιαφερόμενων αγροτών-παραγωγών. Τα παραγόμενα στοιχεία των πειραμάτων στην παρούσα ΕΕ, έθεσαν και τα θεμέλια για τις περαιτέρω έρευνες της ΕΕ4, δηλ. την εκτενέστερη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής σε αποθήκες.

2. Πρωτόκολλο βιοδοκιμών I

2.1. Υλικά και μέθοδοι

Το πείραμα έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε πραγματικές συνθήκες απεντόμωσης. Στην πρώτη φάση της Δράσης, σχεδιάστηκε πρωτόκολλο βιοδοκιμών με σκοπό την αξιολόγηση της εντομοκτόνου δράσης της γης διατόμων της εταιρίας Detia Garda GmbH (Silicid, Laudenbach, Germany), εναντίον 3 ειδών εντόμων σημαντικών εχθρών των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων. Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν 3 είδη εντόμων, τα *S. zeamais*, *R. dominica* και *T. granarium*. Τα έντομα που χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές προήλθαν από εκτροφές του ΕΕΓΖ. Η εκτροφή των εντόμων πραγματοποιήθηκε σε γυάλινα βάζα του ενός λίτρου με υπόστρωμα εκτροφής το σκληρό σιτάρι, σε συνεχές σκοτάδι και σε θερμοκρασία και σχετική υγρασία 25°C και 55-66%, αντίστοιχα, σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών.

Για την δημιουργία των πειραματικών μονάδων, σακιά με 20 κιλά σκληρού σιταριού έκαστο τοποθετήθηκαν σε δωμάτιο του Αγροκτήματος, το οποίο είχε πρωτίστως καθαριστεί επιμελώς (Εικόνα 2). Η διαδικασία έλαβε χώρα σε κτίριο το οποίο χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό.



Εικόνα 2: Το δωμάτιο στο οποίο τοποθετήθηκαν τα σακιά.

Σε κάθε σακί έγινε εφαρμογή ποσότητας γης διατόμων (Εικόνα 3), υπολογισμένης σε δύο διαφορετικές δόσεις, 500 και 1000 ppm (mg εντομοκτόνου / kg σπόρου). Για κάθε δόση χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό σακί. Έπειτα, έγινε ανάδευση της ΓΔ εντός κάθε σακιού, με χρήση κονταριού, περιστρέφοντάς το σε έξι νοητούς κύκλους (Εικόνα 4).

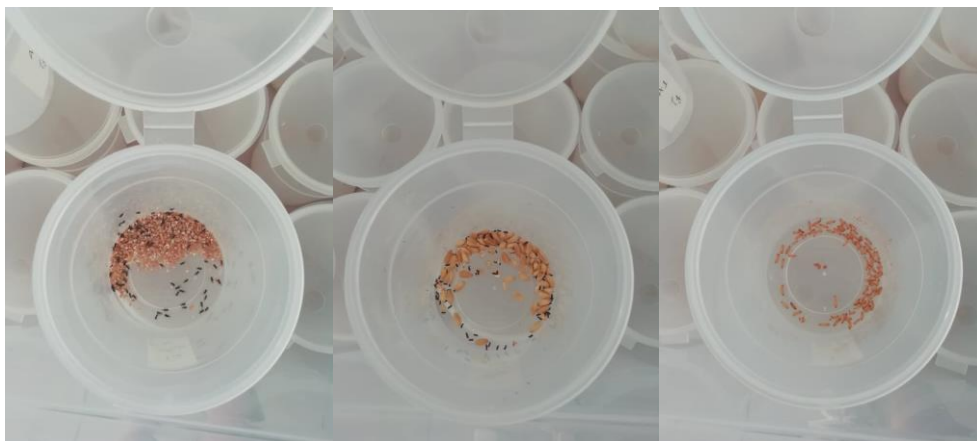


Εικόνα 3: Εφαρμογή του εντομοκτόνου (σκόνης) στα σακιά.



Εικόνα 4: Χρήση κονταριού για ανάδευση του εντομοκτόνου με το σπόρο.

Έπειτα, σε κάθε σακί εισήχθησαν 100 ακμαία *S. zeamais* ηλικίας μικρότερης των 7 ημερών, 100 ακμαία *R. dominica* ηλικίας μικρότερης των 7 ημερών, και 100 προνύμφες (μεγάλες, δηλ. πάνω από 0.5 χιλ., ηλικίας περίπου 2 εβδομάδων) *T. granarium* (Εικόνα 5). Έτσι, σε κάθε σακί τοποθετήθηκαν συνολικά 300 άτομα. Όλα τα σακιά στη συνέχεια έκλεισαν με τη χρήση σχοιניού. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιήθηκαν και σακιά στα οποία δεν έλαβε χώρα εφαρμογή γης διατόμων, τα οποία ήταν οι μάρτυρες του πειράματος.



Εικόνα 5: 100 ακμαία *S. zeamais* (αριστερά), 100 ακμαία *R. dominica* (κέντρο) και 100 προνύμφες *T. granarium* (δεξιά) προς εισαγωγή σε κάθε σακί.



Για την όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις, με διαφορετικά σακιά ανά δόση (συνολικά 3 σακιά) (Εικόνα 6). Την επόμενη μέρα της προσθήκης των εντόμων προστέθηκε στο κέντρο των σακίων δειγματοληπτική παγίδα τύπου probe (Storgrard, WBII, Trece Inc., Salina, USA, Εικόνα 7) και τα σακιά έκλεισαν ξανά με τον ίδιο τρόπο. Επιπλέον, η θερμοκρασία και η υγρασία του χώρου καθώς και των σακίων εσωτερικά καταγράφηκε με τη χρήση αυτόματων καταγραφικών HOB0 καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Εικόνα 8).



Εικόνα 6: Οι επαναλήψεις των σακίων.



Εικόνα 7: Προσθήκη δειγματοληπτικής παγίδας probe στο σωρό του δημητριακού.



Εικόνα 8: Καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας με χρήση HOBO, και δίπλα probe trap στο σωρό του δημητριακού.



2.2. Δειγματοληπτικός Έλεγχος

Ο δειγματοληπτικός έλεγχος των σακίων περιλάμβανε δυο μεθόδους δειγματοληψίας, την παγίδευση με χρήση παγίδας τύπου probe και την συλλογή δειγμάτων από τον σωρό των σπόρων. Η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν κάθε 7 ημέρες. Ειδικότερα, κάθε σακί ανοιγόταν και 100 γραμμάρια σπόρου συλλέγονταν από τυχαίο σημείο (Εικόνα 9). Επίσης, συλλέγονταν και τα έντομα από το φιαλίδιο συλλογής της παγίδας probe, που βρίσκεται στο κάτω μέρος της (Εικόνα 10), η οποία μετά τοποθετούταν πάλι στην ίδια θέση στο σακί και τα σακιά έκλειναν ξανά, μέχρι την επόμενη δειγματοληψία. Έτσι, για την κάθε μεταχείριση και σακί, υπήρχε κάθε φορά ένα δείγμα δημητριακού, καθώς και οι συλλήψεις της αντίστοιχης παγίδας από το σωρό του δημητριακού.



Εικόνα 9: Συλλογή 100 g σπόρου από τυχαίο σημείο.



Εικόνα 20: Συλλογή εντόμων από την παγίδα.

Τα δείγματα τόσο του σπόρου όσο και των εντόμων μεταφέρονταν στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, για περαιτέρω καταμέτρηση και προσδιορισμό των ευρεθέντων εντόμων. Όσον αφορά τα συλλεχθέντα έντομα, αυτά αναγνωρίζονταν και καταμετρούνταν ανά είδος, με τη βοήθεια στερεοσκοπίου. Στην περίπτωση του δείγματος σπόρου, αυτό κοσκινιζόταν με χρήση κόσκινων 2 mm, 1 mm και 500 μ m (Endecotts Ltd, 9 Lombard Road, London SW19 3UP, England), τα οποία αποτελούν και τα πρότυπα μεγέθη διατομής του Υπουργείου Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών (Εικόνα 11) ώστε να συλλεχθούν τα έντομα και η σκόνη, σε ξεχωριστά κόσκινα το καθένα.



Εικόνα 11: Δείγμα σπόρου και τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν.



Επίσης, πραγματοποιούταν μέτρηση του ειδικού βάρους του σπόρου με τη χρήση ειδικού μηχανήματος του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας (Multitest, Gode SAS, Le Catelet, France) (Εικόνα 12 και 13). Στη συνέχεια, πραγματοποιούταν διαχωρισμός του σπόρου σε προσβεβλημένο και απρόσβλητο από τα έντομα (Εικόνα 14). Τέλος, το σύνολο των προσβεβλημένων σπόρων όσο και εκείνο των απρόσβλητων καταμετρούταν (Εικόνα 15) και ζυγιζόταν (Εικόνα 16). Όλες οι παρατηρήσεις καταγράφονταν ανά δείγμα, για το κάθε σακί, με βάση την ημερομηνία συλλογής.



Εικόνα 32: Μέτρηση ειδικού βάρους του σπόρου.



Εικόνα 43: Αποτελέσματα μέτρησης ειδικού βάρους του σπόρου.



Εικόνα 14. Προσβεβλημένοι από τα έντομα σπόροι.



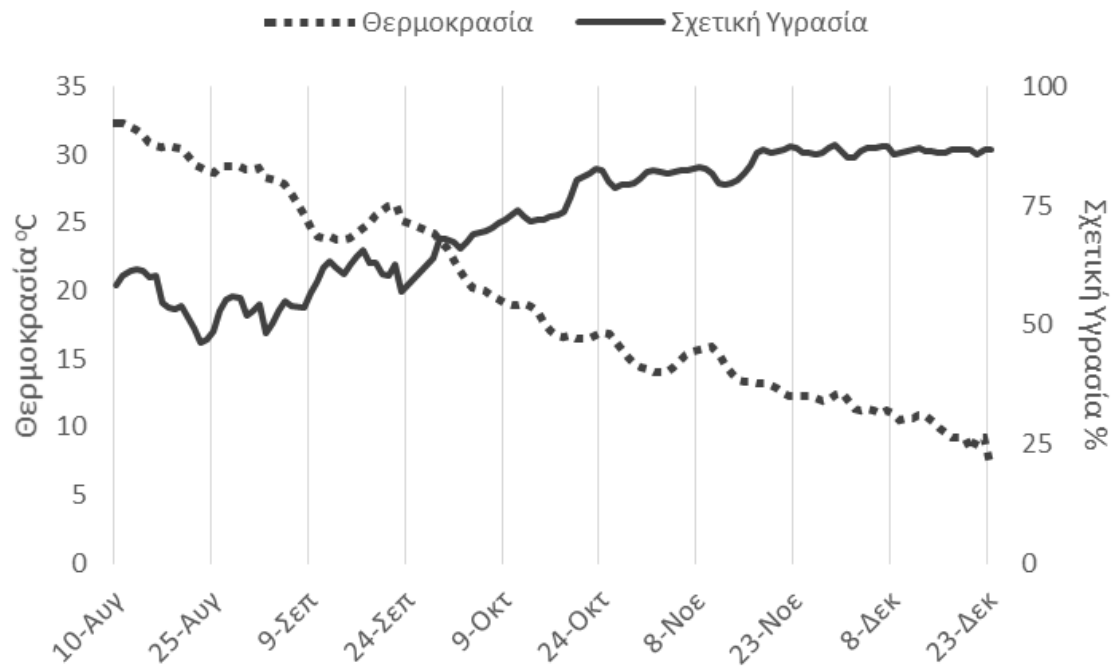
Εικόνα 15. Απρόσβλητοι από τα έντομα σπόροι – Καταμέτρηση τους.



Εικόνα 16. Ζύγισμα απρόσβλητων σπόρων (αριστερά) και προσβεβλημένων (δεξιά).

2.3. Αποτελέσματα

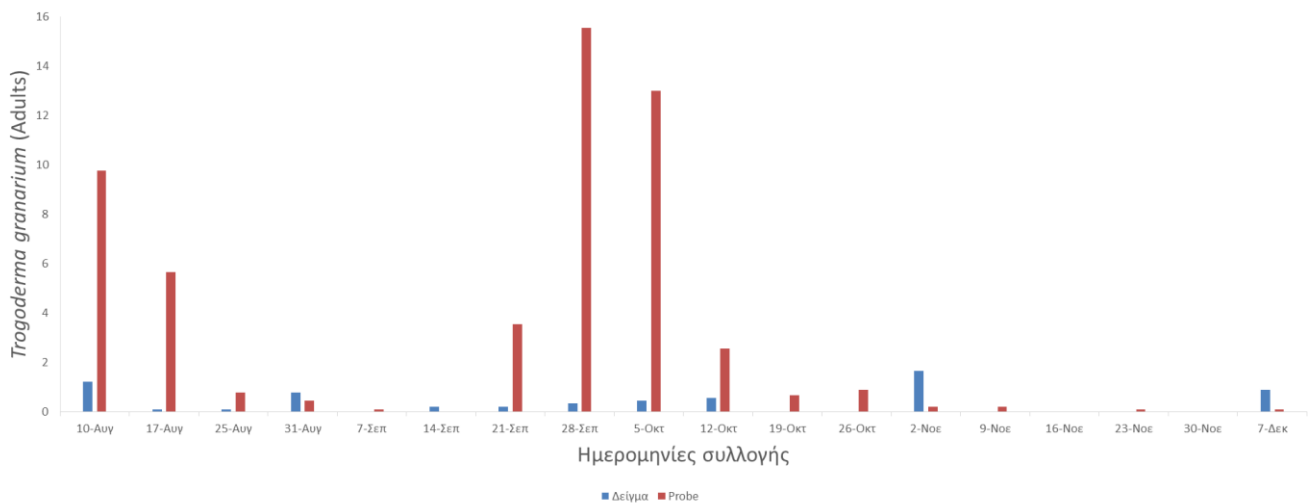
Στο Διάγραμμα 1, παρουσιάζεται η θερμοκρασία (°C) και η σχετική υγρασία (%) όπως καταγράφηκε στον αποθηκευτικό χώρο που βρίσκονταν οι πειραματικές μονάδες (σακιά) από τα HOBO, καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Όπως ήταν αναμενόμενο, η θερμοκρασία παρουσίασε μια πτωτική τάση με την πάροδο του χρόνου, με μέγιστη τους 32 °C τον Αύγουστο και ελάχιστη τους 10 °C τον Δεκέμβρη. Από την άλλη πλευρά, η σχετική υγρασία αυξήθηκε από το 50 στο 85%, στο αντίστοιχο διάστημα μεταξύ Αυγούστου και Δεκεμβρίου.



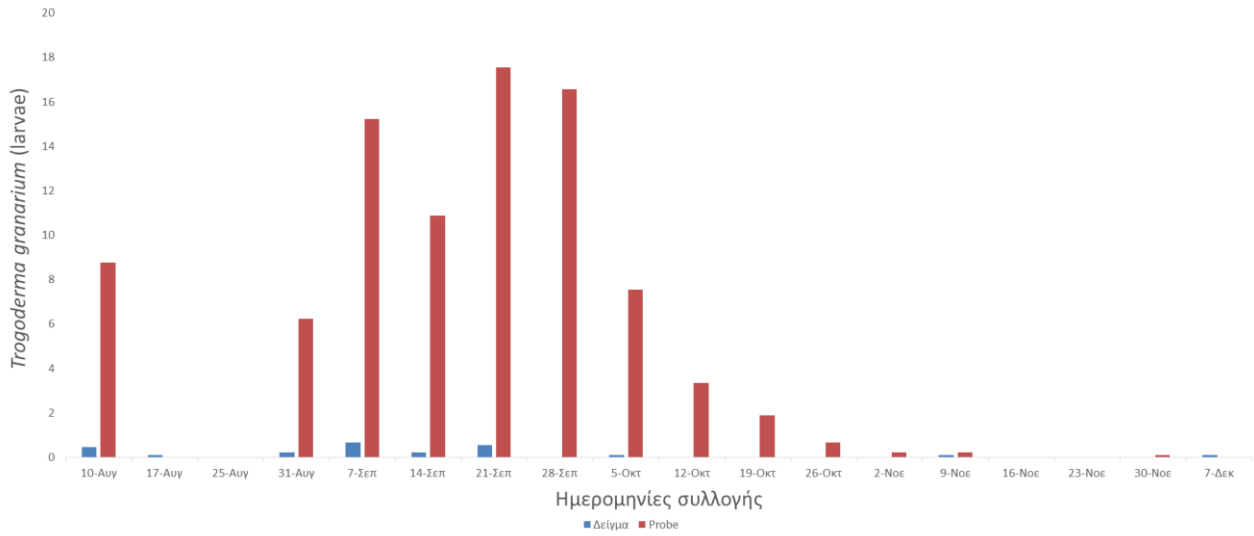
Αρχικά, έγινε μια πρώτη σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων δειγματοληψίας, δηλαδή της συλλογής δειγμάτων σπόρου από το κάθε σακί και της χρήσης παγίδας probe, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 2, 3, 4 και 5. Ειδικότερα, υπολογίστηκε ο μέσος όρος όλων των συλλεχθέντων εντόμων των ειδών που βρέθηκαν στα δείγματα ή στις παγίδες probe σε όλα τα σακιά, ανεξαρτήτως δόσης, στις ημερομηνίες δειγματοληψίας. Όπως είναι φανερό από τα διαγράμματα, περισσότερα άτομα συλλέχθηκαν με την παγίδα probe, σε σχέση με το δείγμα σπόρου, ανεξαρτήτως από το είδος εντόμου. Ταυτόχρονα, η χρήση της παγίδας ανέδειξε και την πληθυσμιακή διακύμανση του πληθυσμού αυτών ανάλογα με την ημερομηνίας συλλογής. Ειδικότερα, στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζεται ο μέσος όρος των ακμαίων *T. granarium* που συλλέχθηκαν από τις δύο μεθόδους δειγματοληψίας. Το πρώτο μέγιστο των ακμαίων σημειώθηκε στα μέσα Αυγούστου και αφορούσε την πρώτη γενιά ακμαίων, ενώ η δεύτερη παρατηρήθηκε περίπου 20 ημέρες μετά, μεταξύ του διαστήματος τέλος Σεπτεμβρίου και αρχές Οκτωβρίου. Τα πολύ χαμηλά ποσοστά συλλήψεων μετά τον Οκτώβριο, ανεξαρτήτως δειγματοληπτικής μεθόδου, οφείλονται στις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν στον αποθηκευτικό χώρο, όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 1. Στο Διάγραμμα 3, παρουσιάζεται η πληθυσμιακή διακύμανση των προνυμφών του *T. granarium*, όπου διακρίνουμε αρκετές συλλήψεις κατά



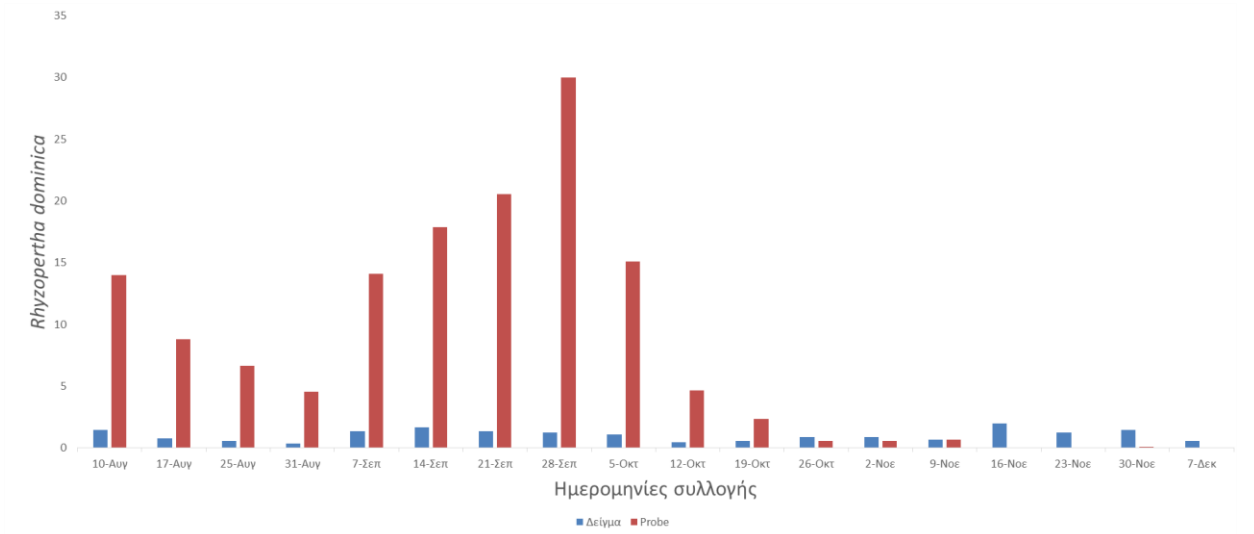
την περίοδο από αρχές Σεπτεμβρίου μέχρι τις αρχές Οκτωβρίου. Αντίστοιχα αποτελέσματα ανέδειξαν και οι συλλήψεις των ακμαίων του *R. dominica* (Διάγραμμα 4) στις παγίδες probe, όπου η πτώση της θερμοκρασίας φάνηκε να επηρεάζει την ανάπτυξη του εντόμου. Αντιθέτως, το *S. zeamais* φάνηκε να μην επηρεάζεται σε αξιοσημείωτο βαθμό (Διάγραμμα 5) από τις επικρατούσες συνθήκες, αφού ενώ το μέγιστο του πληθυσμού συλλέχθηκε το διάστημα από τα τέλη Σεπτεμβρίου μέχρι τις αρχές Οκτωβρίου, τους επόμενους μήνες και μέχρι το τέλος του πειράματος οι συλλήψεις ήταν στα ίδια επίπεδα με αυτές από τον Αύγουστο μέχρι και τον Σεπτέμβρη. Στο ίδιο είδος (Διάγραμμα 5), τα μέγιστα των συλλήψεων στα δείγματα σπόρου που συλλέχθηκαν διέφεραν ημερολογιακά από αυτά των παγίδων, ενώ άτομα ξεκίνησαν να συλλέγονται σχεδόν ένα μήνα μετά τις πρώτες συλλήψεις στις παγίδες.



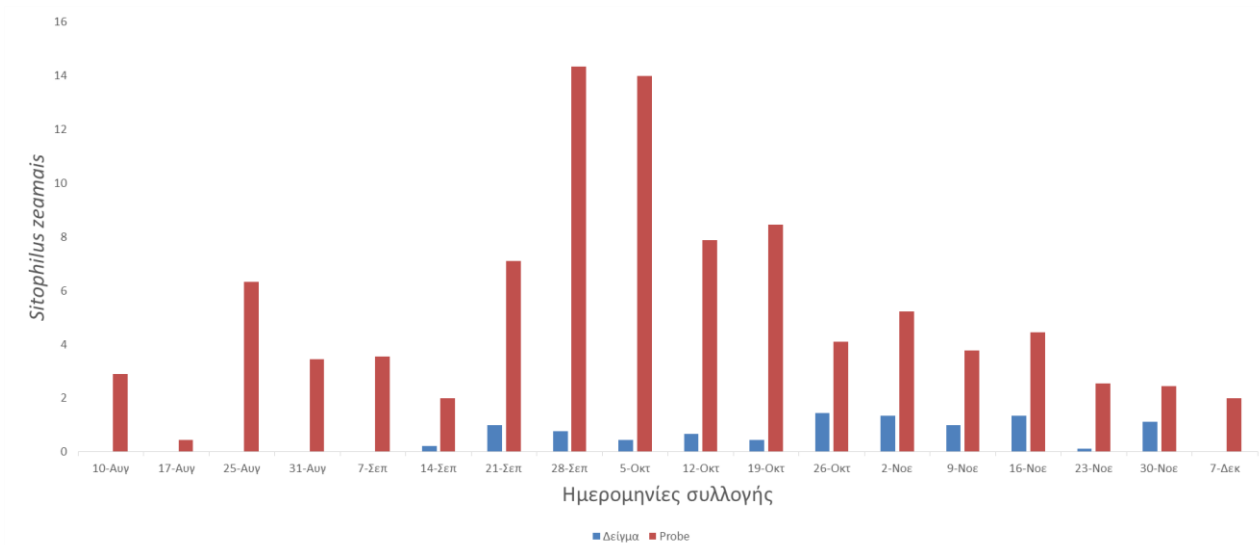
Διάγραμμα 2: Μέσος όρος των ακμαίων *T. granarium* ανά δείγμα ή παγίδα probe σε όλα τα σακιά ανεξαρτήτως δόσης ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 3: Μέσος όρος των προνυμφών *T. granarium* ανά δείγμα ή παγίδα probe σε όλα τα σακιά ανεξαρτήτως δόσης ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.

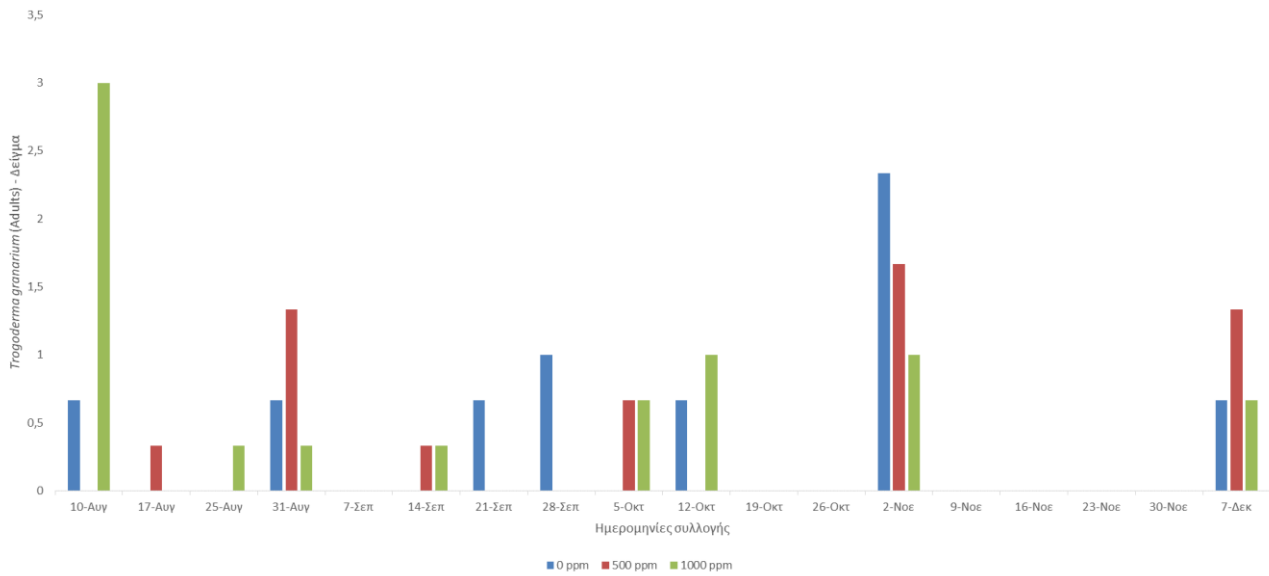


Διάγραμμα 4: Μέσος όρος των ακμαίων *Rhyzopertha dominica* ανά δείγμα ή παγίδα probe σε όλα τα σακιά ανεξαρτήτως δόσης ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.

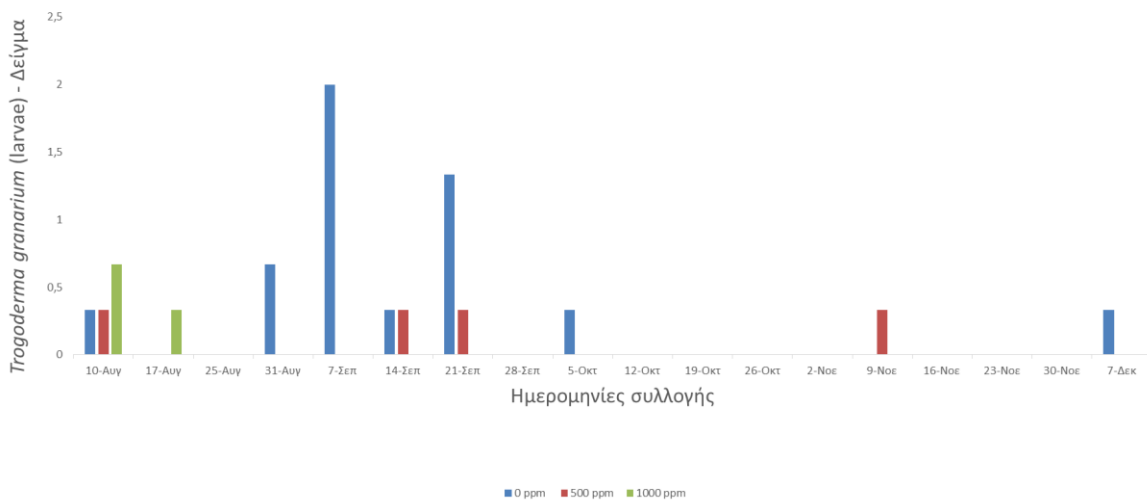


Διάγραμμα 5: Μέσος όρος των ακμαίων *Sitophilus zeamais* ανά δείγμα ή παγίδα probe σε όλα τα σακιά ανεξαρτήτως δόσης ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.

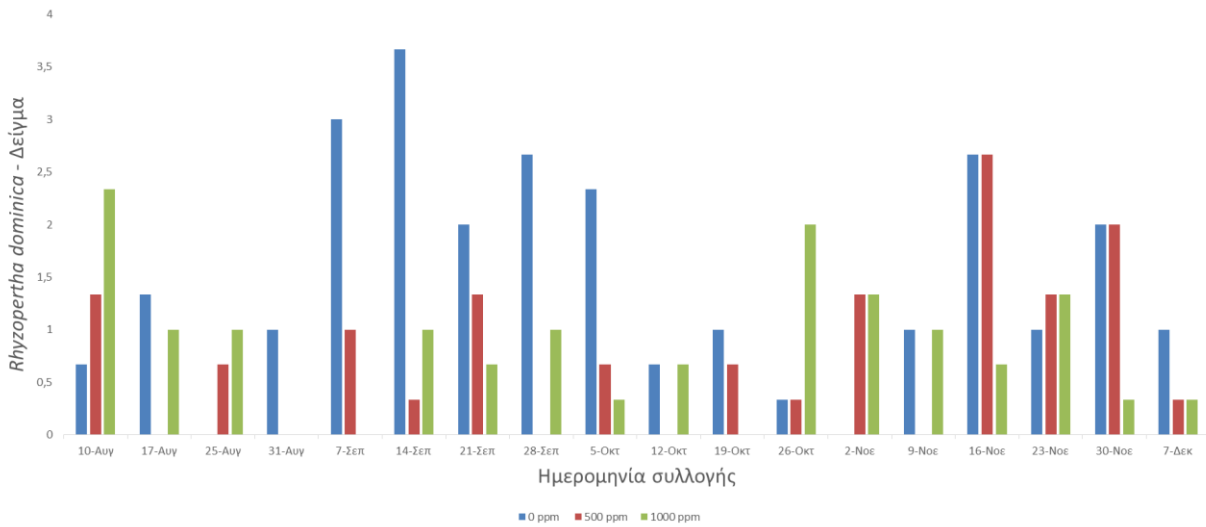
Στα παρακάτω Διαγράμματα 6, 7, 8 και 9 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι όλων των ειδών εντόμων που συλλέχθηκαν από τα δείγματα σπόρου, από τα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ ανά τις ημερομηνίες συλλογής. Κατά γενικό κανόνα, και οι δύο δόσεις ΓΔ (500 και 1000 ppm) φαίνεται να μην μπορούν να καταπολεμήσουν τα ακμαία *T. granarium* και *R. dominica* καθώς όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 6 και 8, αντίστοιχα, τα ποσοστά μεταξύ της υψηλότερης δόσης και των μαρτύρων (0 ppm) δεν διέφεραν στις περισσότερες των περιπτώσεων. Αντιθέτως, η υψηλότερη δόση των 1000 ppm καταπολέμησε πλήρως τις προνύμφες του *T. granarium* (Διάγραμμα 7) αλλά και τα ακμαία *S. zeamais*, αφού καμία προνύμφη δεν βρέθηκε μετά την δεύτερη εβδομάδα των πειραμάτων για το *T. granarium*, ενώ σε πολύ λίγες περιπτώσεις βρέθηκαν κάποια ακμαία του *S. zeamais* και στις δύο δόσεις ΓΔ.



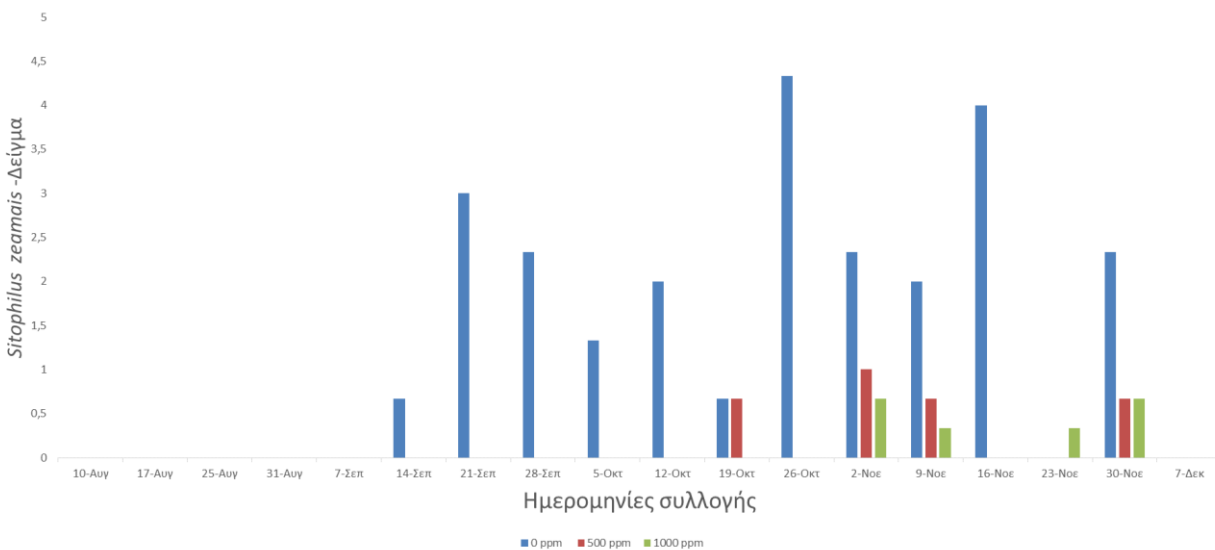
Διάγραμμα 6: Μέσος όρος των ακμαίων *T. granarium* ανά δείγμα σπόρου στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 7: Μέσος όρος των προνυμφών *T. granarium* ανά δείγμα σπόρου στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 8: Μέσος όρος των ακμαίων *Rhyzopertha dominica* ανά δείγμα σπόρου στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.

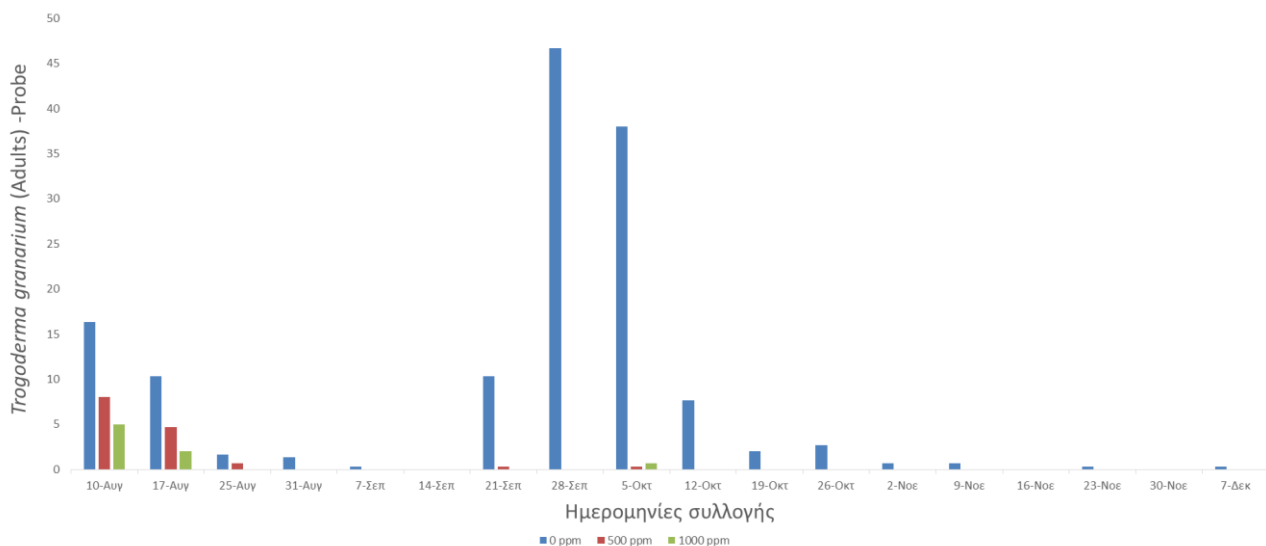


Διάγραμμα 9: Μέσος όρος των ακμαίων *Sitophilus zeamais* ανά δείγμα σπόρου στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.

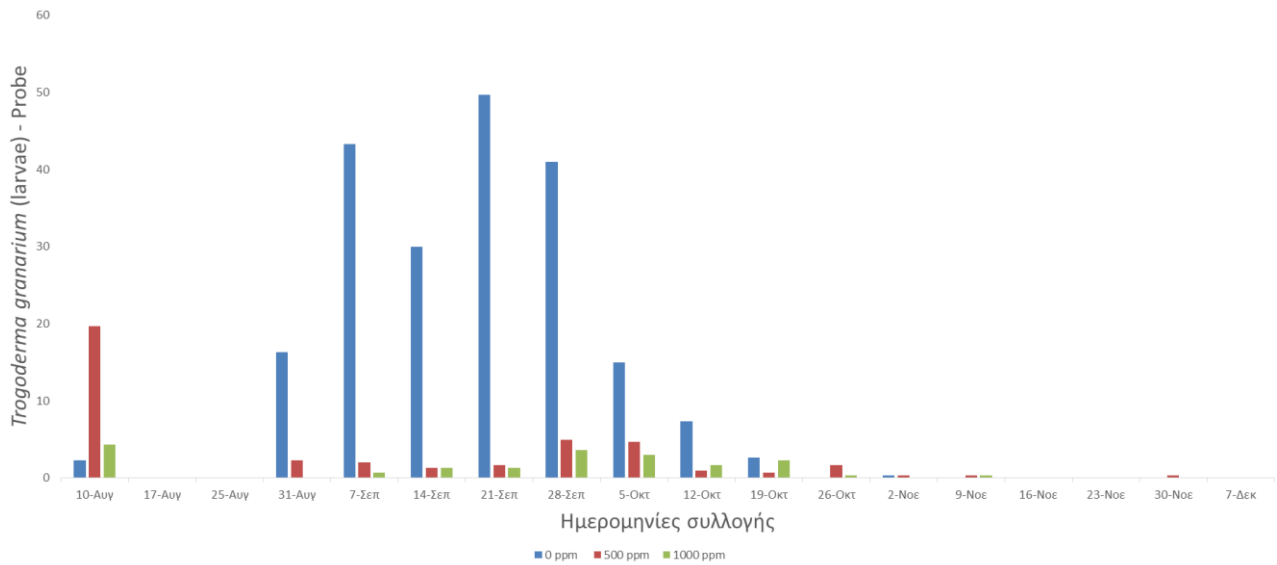
Αντιθέτως, ικανοποιητικό μέγεθος δείγματος (υπό την έννοια των συλλήψεων) συλλέχθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε η παγίδα probe ως δειγματοληπτική μέθοδος, όπως φαίνεται και από τα Διαγράμματα 10, 11, 12 και 13. Το μεγάλο μέγεθος δείγματος βοήθησε τόσο στην άμεση ένδειξη της ύπαρξης των εντόμων στο προϊόν, αλλά κυρίως και στην καλύτερη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΓΔ, τόσο σε σχέση με τον μάρτυρα όσο και στην σύγκριση των δύο δόσεων (500 και 1000 ppm). Ειδικότερα, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 10, το



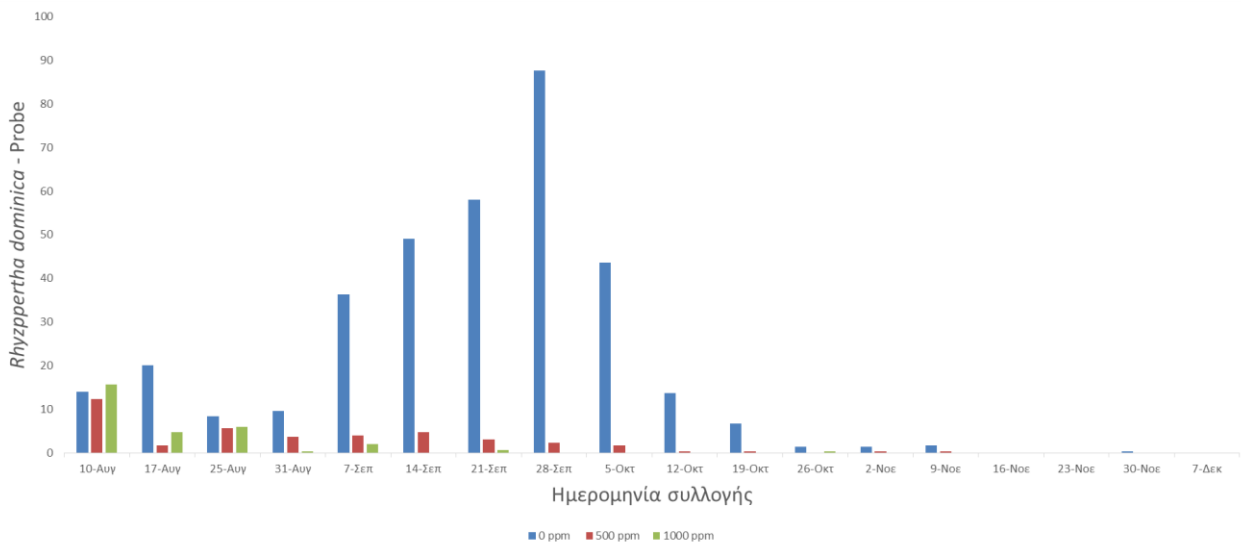
μέγιστο των συλλήψεων παρατηρήθηκε τον Σεπτέμβρη, με πάνω από 45 ακμαία *T. granarium* στον μάρτυρα, σε αντίθεση με τα μέγιστα των 8 και 5 ακμαίων που βρέθηκαν στο επιπασμένο με 500 και 1000 ppm ΓΔ, αντίστοιχα, κατά την έναρξη των πειραμάτων. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαμε και στην περίπτωση των προνυμφών του ίδιου είδους, όπου το μέγιστο των προνυμφών παρατηρήθηκε τον Σεπτέμβρη, με τον μέσο όρο ανά παγίδα στα σακιά του μάρτυρα να κυμαίνεται από 30 έως και πάνω από 50 προνύμφες, ενώ κάτω από 10 προνύμφες βρέθηκαν στα σακιά με εφαρμογή ΓΔ, καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαμε επίσης για τα *R. dominica* (Διάγραμμα 12) και *S. zeamais* (Διάγραμμα 13), όπου σημαντικά περισσότερα ακμαία βρέθηκαν στον μάρτυρα σε σχέση με το σιτάρι όπου είχε επιπαστεί η ΓΔ.



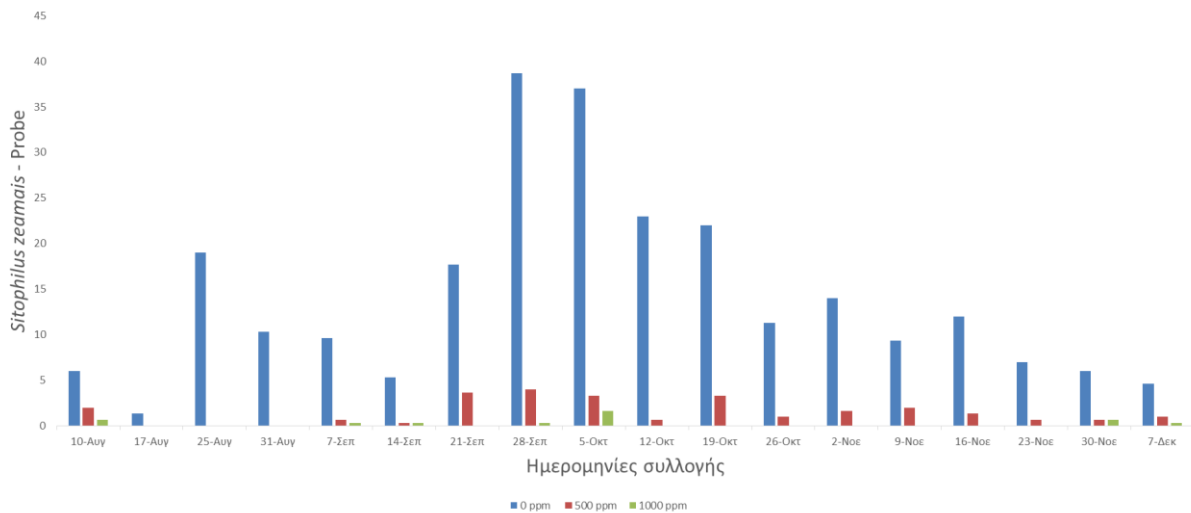
Διάγραμμα 10: Μέσος όρος των ακμαίων *T. granarium* ανά παγίδα probe στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 11: Μέσος όρος των προνυμφών *T. granarium* ανά παγίδα probe στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 12: Μέσος όρος των ακμαίων *R. dominica* ανά παγίδα probe στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 13: Μέσος όρος των ακμαίων *Sitophilus zeamais* ανά παγίδα probe στα σακιά με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ, στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.

Τέλος, ο διαχωρισμός των προσβεβλημένων και των απρόσβλητων σπόρων σιταριού από τα έντομα δεν επέφερε κάποιο αποτέλεσμα, αφού ο αριθμός των προσβεβλημένων σπόρων βρέθηκε να είναι κατά μέσο όρο 0 – 2 σπόρους / σακί / ημερομηνία. Έτσι, τα συγκεκριμένα δεδομένα κρίθηκαν ως αναξιόπιστα για την εξαγωγή συμπερασμάτων και δεν συμπεριλήφθηκαν σε αυτή την έκθεση.

2.4. Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας βιοδοκιμής, η μέθοδος της δειγματοληψίας με συλλογή σπόρου φάνηκε να μην είναι αξιόπιστη, καθώς λιγότερα από 3 άτομα συλλέχθηκαν και καταμετρήθηκαν σε κάθε μεταχείριση, σε σχέση με τις δεκάδες αυτών που βρέθηκαν στα ίδια σακιά χρησιμοποιώντας παγίδες τύπου probe. Επιπλέον, εκτός από το μικρό δείγμα που παρείχαν τα δείγματα σπόρων, σε κάποιες περιπτώσεις, έντομα ξεκίνησαν να συλλέγονται σχεδόν ένα μήνα μετά τις αντίστοιχες πρώτες συλλήψεις στις παγίδες probe. Αυτό είναι ύψιστης σημασίας καθώς η έγκαιρη ανάδειξη των εντομολογικών εχθρών σε ένα αποθηκευμένο προϊόν συμβάλλει στην άμεση λήψη μέτρων τόσο για την μετέπειτα παρακολούθηση της πληθυσμιακής τους ανάπτυξης στο προϊόν όσο και για την άμεση λήψη μέτρων που στοχεύουν στην αντιμετώπισή του. Με άλλα λόγια, η ευαισθησία στην



ανίχνευση που παρέχει η άμεση δειγματοληψία (δηλ. η λήψη μικρής ποσότητας δημητριακού) είναι γενικά περιορισμένη, γεγονός που θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψη, καθ' όσον η άμεση δειγματοληψία είναι συνήθως η τεχνική που χρησιμοποιείται στην πράξη. Πρότερες μελέτες αναφέρουν ότι η άμεση δειγματοληψία είναι πιθανόν να προκαλέσει μια σχετική εικόνα «υποτίμησης» της προσβολής (Buchelos and Athanassiou 1999, Athanassiou and Buchelos 2001).

Από την άλλη πλευρά, το μεγάλο δείγμα των παγίδων probe προσέφερε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά την εντομοκτόνο δράση της ΓΔ στις διαφορετικές δόσεις του σκεύασματος εναντίον των διαφόρων ειδών εντόμων και σταδίων ανάπτυξης αυτών. Από τα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι και οι δύο δόσεις της ΓΔ παρουσίασαν καλή εντομοκτόνο αλλά ταυτόχρονα και υπολειμματική δράση, αφού προσέφεραν ικανοποιητική προστασία εναντίων των εντομολογικών εχθρών που εξετάστηκαν εδώ, για περίοδο τεσσάρων μηνών με μία μόνο εφαρμογή σε σκληρό σιτάρι, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του μάρτυρα. Σε γενικές γραμμές, οι παγίδες probe θεωρούνται ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην ανίχνευση των κολεοπτέρων των δημητριακών, με πολύ καλή ευαισθησία στην ανίχνευση, ενώ παρέχουν και τη δυνατότητα ανίχνευσης πολλών ειδών ταυτόχρονα (Buchelos and Athanassiou, 1999, Athanassiou and Buchelos, 2000).

Παράλληλα, φάνηκε πως οι κλιματολογικές συνθήκες αποτελούν έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για την πληθυσμιακή ανάπτυξη των εντόμων αποθηκών, αφού όλα τα είδη εκτός του *S. zeamais*, όχι μόνο δεν μπόρεσαν να αναπτυχθούν αλλά σχεδόν μηδενίστηκε ο πληθυσμός τους μέσα στις πειραματικές μονάδες (σακιά), όταν η θερμοκρασία ήταν μικρότερη των 15°C στον αποθηκευτικό χώρο. Από την άλλη πλευρά, η σχετική υγρασία φαίνεται να μην επηρέασε σημαντικά την ανάπτυξή τους, ή τουλάχιστον δεν ήταν φανερό στο συγκεκριμένο πείραμα, υπό την έννοια της ταχύτερης πληθυσμιακής ανάπτυξης. Τα δεδομένα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι το σκεύασμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν αποτελεσματικό σε ευρύ κύκλο συνθηκών, για όλα τα είδη εντόμων.



3. Πρωτόκολλο βιοδοκιμών II

3.1. Υλικά και μέθοδοι

Στην δεύτερη φάση του πειραματισμού, ως πειραματική μονάδα χρησιμοποιήθηκε ένα εμπορευματοκιβώτιο (container) του ΕΕΓΖ που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο (Εικόνα 17). Αναφορικά με τα είδη, εξετάστηκε η χειρότερη περίπτωση, δηλαδή τα είδη των εντόμων που αποδείχθηκαν ότι είναι τα πιο ανθεκτικά στην εφαρμογή ΓΔ με βάση τα αποτελέσματα των Δράσεων 2.1 και 2.2. (βλέπε Π2.1.3 και Π2.2.3). Ειδικότερα, ποσότητες σκληρού σιταριού χύδην (σε σωρούς), το οποίο παραλήφθηκε από τον συνεταιρισμό, χωρίς να έχει εφαρμοστεί κάποιο άλλο εντομοκτόνο, επιμολύνθηκαν τεχνητά με προνύμφες και ακμαία δύο ειδών εντόμων, του *Tribolium confusum* και του *Oryzaephilus surinamensis*. Το σιτάρι χωρίστηκε σε δυο ισόποσες ποσότητες των 40 κιλών και τοποθετήθηκε σε χαρτόκουτο (χύδην) σε δυο σημεία του εμπορευματοκιβωτίου (Εικόνα 18). Κατά την τοποθέτηση του σιταριού στο ένα χαρτοκιβώτιο, έγινε εφαρμογή ΓΔ σε δόση των 1000 ppm, ενώ ο δεύτερος σωρός αφέθηκε χωρίς εντομοκτόνο, ως μάρτυρας.



Εικόνα 17: Το εμπορευματοκιβώτιο (container) που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και χρησιμοποιήθηκε για τον πειραματισμό.



Εικόνα 18: Τοποθέτηση των χαρτόκουτων με το σκληρό σιτάρι στο εμπορευματοκιβώτιο του Αγροκτήματος.

Έπειτα, τοποθετήθηκαν 500 ακμαία και 500 προνύμφες από τα δύο είδη εντόμων, σε κάθε σωρό, δηλαδή τοποθετήθηκαν συνολικά 2000 έντομα σε κάθε σωρό (Εικόνα 19). Τα διάφορα στάδια των εντόμων διαχωρίστηκαν με τον ίδιο τρόπο που περιεγράφηκε στα Π2.1.3 και Π2.2.3 (βλέπε αντίστοιχα παραδοτέα). Μετά την εισαγωγή των εντόμων, οι δυο σωροί αφέθηκαν για μια εβδομάδα, με σκοπό να κινηθούν τα έντομα μέσα σε αυτούς. Μετά το πέρας των 7 ημερών, τοποθετήθηκαν παγίδες probe σε διάφορα σημεία του σωρού και σε απόσταση τουλάχιστον 50 εκατοστών μεταξύ τους (Εικόνα 20). Επιπλέον, η θερμοκρασία και η υγρασία του χώρου καταγράφηκε με τη χρήση αυτόματων μετρητών HOBO καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Εικόνα 20). Ο δειγματοληπτικός έλεγχος πραγματοποιούνταν κάθε 7 ημέρες, όπου συλλέγονταν και τα έντομα από την παγίδα (probe), η οποία μετά τοποθετούταν πάλι στην ίδια θέση στο σακί. Η όλη διαδικασία διήρκησε δύο μήνες.



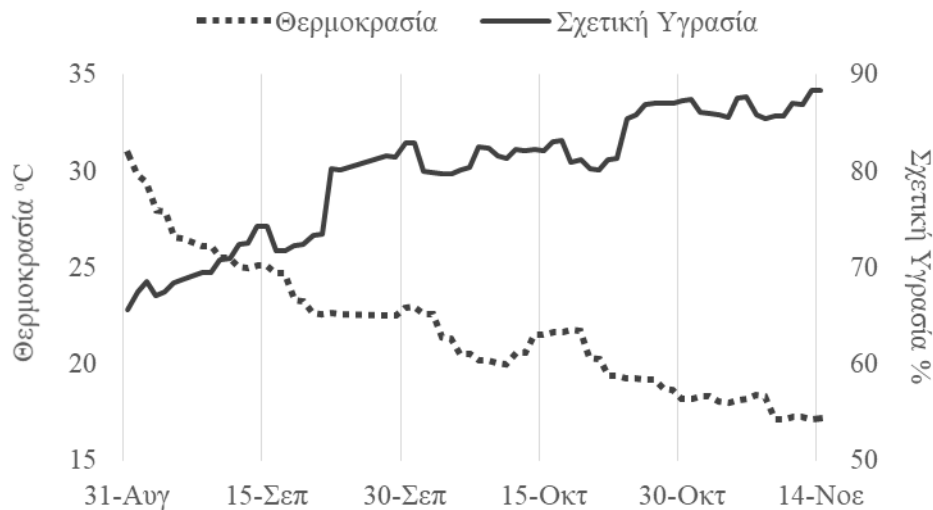
Εικόνα 19: Ακμαία άτομα *O. surinamensis* και προνύμφες *T. confusum* όπως φαίνονται στο στερεοσκόπιο κατά την συλλογή τους.



Εικόνα 20: Παγίδες probe σε διάφορα σημεία των σωρών και HOBO για την καταγραφή των συνθηκών και στα δυο χαρτοκιβώτια, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Παρακάτω παρουσιάζεται η θερμοκρασία (°C) και η σχετική υγρασία (%) όπως καταγράφηκε στον αποθηκευτικό χώρο (container) που βρίσκονταν οι πειραματικές μονάδες (σωροί σιταριού) από τα HOBO, καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος.



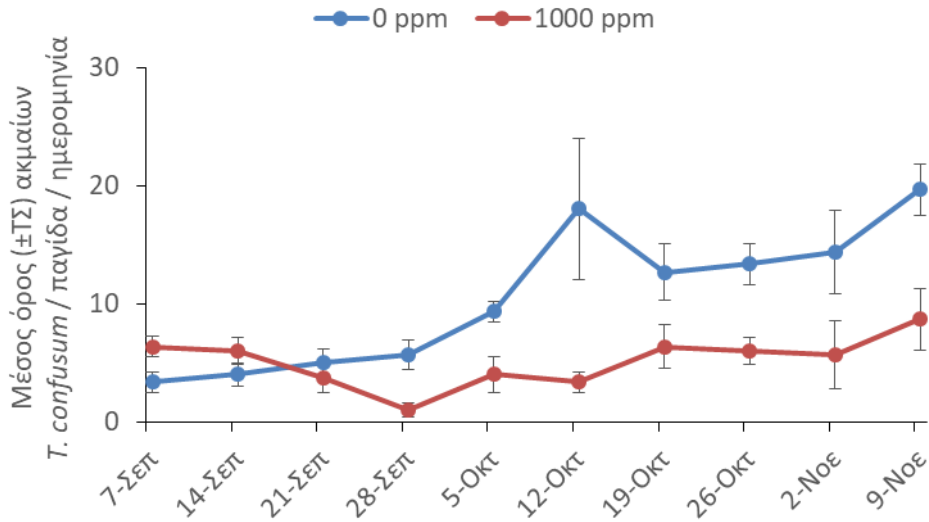
3.2. Αποτελέσματα

Σημαντική διαφορά στις συλλήψεις μεταξύ του σωρού σιταριού με 1000 ppm γης διατόμων και του μάρτυρα (0 ppm) παρατηρήθηκαν μετά τις 3 εβδομάδες εφαρμογής της γης διατόμων. Πιο συγκεκριμένα, στο Διάγραμμα 14, ο μέσος όρος των ακμαίων *T. confusum* που συλλέγονταν ανά παγίδα στον επιπασμένο με γη διατόμων σωρό (κόκκινη γραμμή) μετά τις 21 Σεπτεμβρίου, ήταν κατά πολύ μικρότερος των αντίστοιχων συλλήψεων του μάρτυρα, με την διαφορά να αμβλύνεται με το πέρας των εβδομάδων. Στο τέλος του δεύτερου μήνα, το ποσοστό των συλλήψεων ήταν διπλάσιο στην μεταχείριση του μάρτυρα από την αντίστοιχη με την γη διατόμων. Αντίστοιχο μοτίβο συλλήψεων παρουσίασαν και οι προνύμφες του ίδιου είδους (Διάγραμμα 15), με διπλάσιο αριθμό προνυμφών ανά παγίδα στον μάρτυρα σε σχέση με την μεταχείριση της γης διατόμων στο τέλος του πειράματος (9 Νοεμβρίου).

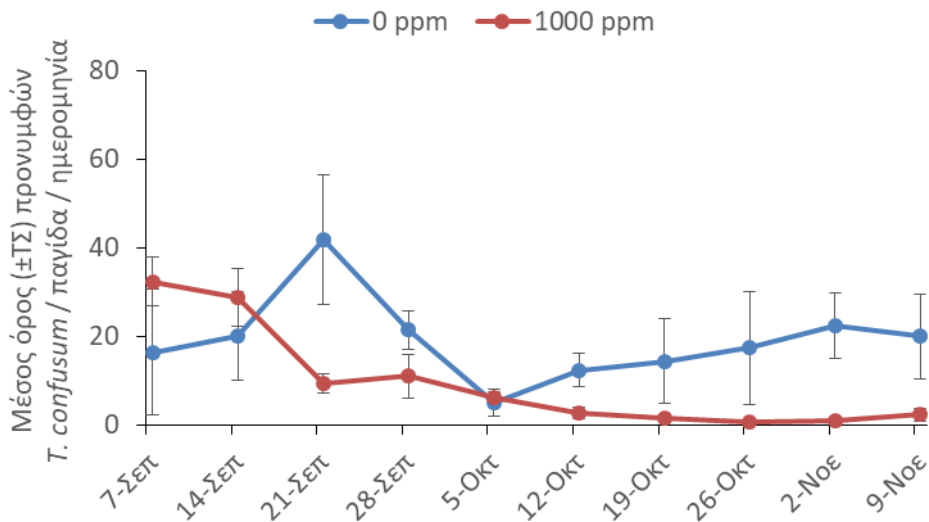
Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή των 1000 ppm της γης διατόμων φάνηκε να καταπολέμησε πλήρως τα ακμαία και τις προνύμφες του *O. surinamensis*, όπως φαίνεται και από τα Διαγράμματα 16 και 17 αντίστοιχα. Η διαφορά των συλλήψεων μεταξύ των μεταχειρίσεων ήταν μεγάλη, αφού στο τέλος του πειράματος 70 ακμαία και 53 προνύμφες



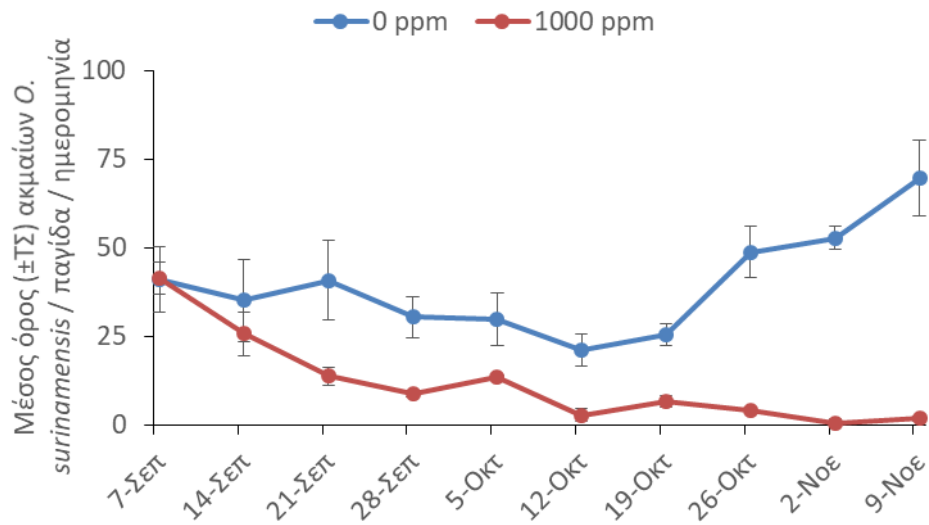
παγιδεύτηκαν κατά μέσο όρο στον σωρό του μάρτυρα, σε σχέση με τα 2 ακμαία και 1 προνύμφη που βρέθηκαν στον σωρό με την γη διατόμων.



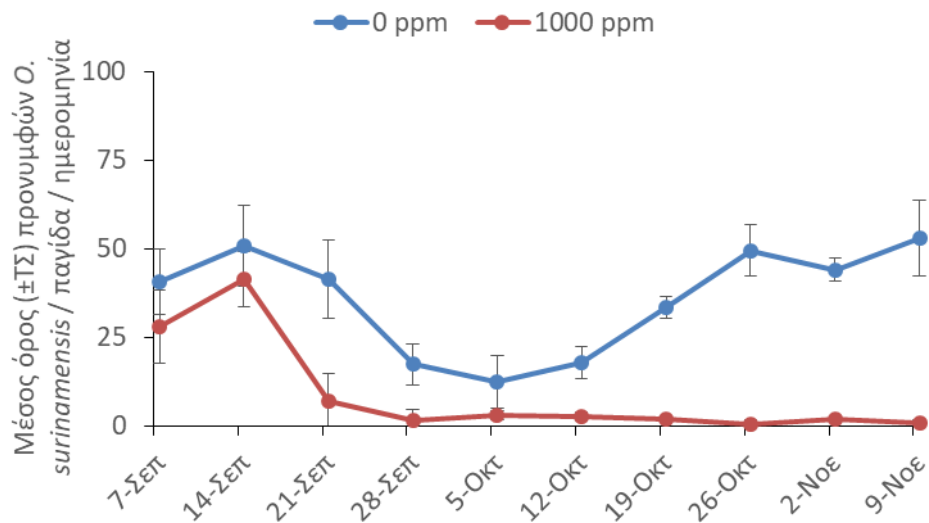
Διάγραμμα 14: Μέσος όρος των ακμαίων *T. confusum* ανά παγίδα probe στους σωρούς με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ (0 και 1000 ppm), στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 15: Μέσος όρος των προνυμφών *T. confusum* ανά παγίδα probe στους σωρούς με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ (0 και 1000 ppm), στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 16: Μέσος όρος των ακμαίων *O. surinamensis* ανά παγίδα probe στους σωρούς με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ (0 και 1000 ppm), στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



Διάγραμμα 17: Μέσος όρος των προνυμφών *O. surinamensis* ανά παγίδα probe στους σωρούς με τις διαφορετικές δόσεις ΓΔ (0 και 1000 ppm), στις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας.



3.3. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με τα προηγούμενα δεδομένα των Δράσεων 2.1 και 2.2, αφού το *T. confusum* φάνηκε να είναι ανεκτικότερο στην εφαρμογή της γης διατόμων σε σχέση με το *O. surinamensis*. Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, η εφαρμογή της γης διατόμων επέδρασε θετικά στην μείωση της εντομολογικής προσβολής είτε επιβραδύνοντάς την είτε καταπολεμώντας πλήρως τον εχθρό, σε διάφορα στάδια ανάπτυξης. Ταυτόχρονα, από το παρόν πείραμα φάνηκε η βραδεία εντομοκτόνος δράση της γης διατόμων, αφού σαφής διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων φάνηκε μετά την 3^η εβδομάδα εφαρμογής (21 ημέρες), γεγονός που επαληθεύει τόσο τα δεδομένα των προηγούμενων δράσεων όσο και αυτά της βιβλιογραφίας. Παρά το γεγονός αυτό όμως, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, ακόμα και στην περίπτωση εντόμων τα οποία είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν ως ακμαία με τη γη διατόμων, οι προνύμφες παραμένουν ιδιαίτερα ευαίσθητες, και έτσι, ο πληθυσμός ελέγχεται με τη μείωση της παρουσίας των ατελών σταδίων. Το φαινόμενο αυτό έχει μελετηθεί σχετικά εκτενώς στην περίπτωση του *T. confusum*, όπου οι προνύμφες του είδους ήταν ιδιαίτερα ευαίσθητες στη γη διατόμων (Subramanyam and Roesli 2000, Vayias and Athanassiou 2004, Vayias et al. 2006, Zeni et al. 2022).

Εμφανής ήταν επίσης και η υπολειμματική δράση της γης διατόμων, με σαφή προστασία του σιταριού από εντομολογικούς εχθρούς για διάστημα τουλάχιστον 2 μηνών αποθήκευσης. Εφόσον η γη διατόμων υπάγεται στην κατηγορία των αδρανών σκονών, η εντομοκτόνος δράση της δεν μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, καθώς δεν υπάρχει αξιοσημείωτη αλληλεπίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον. Συνεπώς, η εφαρμογή της σε προϊόντα που αποθηκεύονται υπό σταθερές σχετικά συνθήκες, προσφέρει μια μακράς διάρκειας προστασία κατά την αποθήκευση. Η μεγάλη υπολειμματική δράση της γης διατόμων έχει διαπιστωθεί και σε εργαστηριακό επίπεδο, με στοιχεία να αναφέρουν ότι η δράση αυτή μπορεί να ξεπεράσει και το ένα έτος, αλλά τα δεδομένα σε πραγματικές συνθήκες πεδίου είναι αρκετά περιορισμένα (Athanassiou et al. 2005, Zeni et al. 2022). Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό, δεδομένου ότι η φωσφίνη, το πιο συνηθισμένο εντομοκτόνο που χρησιμοποιείται από τον συνεταιρισμό για την απεντόμωση των αποθηκευτικών χώρων και προϊόντων, δεν έχει υπολειμματική διάρκεια και εντομολογικές προσβολές μπορεί να εμφανιστούν μετά από λίγες εβδομάδες εφαρμογής, ειδικά σε



περιπτώσεις ανθεκτικών πληθυσμών στην φωσφίνη (Yuchi et al., 2008, Wakil et al., 2021). Έτσι, η υπολειμματική δράση τέτοιων φυσικών και ακίνδυνων για την υγεία σκευασμάτων όπως η γη διατόμων είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό.

4. Βιβλιογραφία

Athanassiou C.G., Phillips T.W., Wakil W. (2019). Biology and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium*, a major quarantine threat to global food security. *Annual Review of Entomology*, 64: 131–148.

Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Economou L.P., Dimizas C.B., Vayias B.J., Tomanovic S., Milutinovic M. (2005). Persistence and efficacy of three diatomaceous earth formulations against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) on wheat and barley. *Journal of Economic Entomology*, 98: 1404-1412.

Athanassiou C.G., Buchelos C.Th. (2000). Comparison of four methods for the detection of Coleoptera adults infesting stored wheat: efficiency and detection sensitivity. *Journal of Pest Science*, 73: 129-133.

Buchelos C.Th., Athanassiou C.G. (1999). Unbaited probe traps and grain trier: a comparison of the two methods for sampling Coleoptera in stored barley. *Journal of Stored Products Research*, 35: 397-404.

Athanassiou C.G., Buchelos C. Th. (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

Burges H.D. (2008). Development of the khapra beetle, *Trogoderma granarium*, in the lower part of its temperature range. *Journal of Stored Products Research*, 44: 32–35.

Day C., White B. (2016). Khapra beetle, *Trogoderma granarium* interceptions and eradications in Australia and around the world. SARE Working Paper 1609. School of Agricultural and Resource Economics, Crawley.

Hagstrum D.W., Subramanyam B. (2009). Stored-product insect resource. AACC International, St. Paul, MN. pp. 1–518.



Hosseininaveh V., Bandani A., Azmayeshfard P., Hosseinkhani S., Kazzazi M. (2007). Digestive proteolytic and amylolytic activities in *Trogoderma granarium* Everts (Dermestidae: Coleoptera). *Journal of Stored Products Research*, 43: 515–522.

EPPO (2017). EPPO A2 list of pests recommended for regulation as quarantine pests. European and Mediterranean Plant Protection Organization, Paris, France.

Finkelman S., Navarro S., Rindner M., Dias R. (2006). Effect of low pressure on the survival of *Trogoderma granarium* Everts, *Lasioderma serricorne* (F.) and *Oryzaephilus surinamensis* (L.) at 30°C. *Journal of Stored Products Research*, 42: 23–30.

Morrison W.R. III, Scully E.D., Campbell J. F. (2021). Towards developing area wide semiochemical-mediated, behaviorally-based integrated pest management programs for stored product insects. *Pest Management Science*, 77: 2667–2682.

Myers S.W., Hagstrum D.W. (2012). Quarantine. In D. W. Hagstrum, T. W. Phillips, G. Cuperus (eds.), *Stored product protection*. Kansas State University, Manhattan, pp. 297–304.

Stibick J. (2009). New pest response guidelines: khapra beetle. APHIS– PPQ—emergency and domestic programs. U.S Department of Agriculture, Riverdale, MD, p. 114.

Vayias B.J., Athanassiou C.G. (2004). Factors affecting the insecticidal efficacy of the diatomaceous earth formulation SilicoSec against adults and larvae of the confused flour beetle, *Tribolium confusum* Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Crop Protection* 23: 565–573.

Yuchi C., Hui W., Jinhua L., Qiang Z. (2008). How to effectively control phosphine resistance development in stored-grain insects by integrated pest management, pp. 610–615. In D. Guo, S. Navarro, J. Yang, C. Tao, Z. Jin, Y. Li et al. (eds.), *Proceedings of the 8th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Product*, 21–26 September 2008, Chengdu, China. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Chengdu, China.

Vayias B.J., Athanassiou C.G., Buchelos C.Th. (2006). Evaluation of three diatomaceous earth and one natural pyrethrum formulations against pupae of *Tribolium confusum* Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on wheat and flour. *Crop Protection*, 25: 766–772.



Wakil W., Kavallieratos N.G., Usman M., Gulzar S., El-Shafie H. (2021). Detection of phosphine resistance in field populations of four key stored-grain insect pests in Pakistan. *Insects*, 12: 288. <https://doi.org/10.3390/insects12040288>

Zeni V., Baliota G.V., Benelli G., Canale A., Athanassiou C.G. (2021). Diatomaceous earth for arthropod pest control: back to the future. *Molecules*, 26: 7487.