



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Παραδοτέο έργου Π2.2. Έκθεση αναφοράς για τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της ΓΔ εναντίον των σημαντικότερων εντόμων αποθηκών

Τύπος: Έκθεση

Υπο-παραδοτέο Π2.2.1. «Καθορισμός των σημαντικότερων παραμέτρων που δύνανται να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της ΓΔ εναντίον των σημαντικότερων εντόμων αποθηκών»



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. Επίδραση αβιοτικών παραγόντων στην αποτελεσματικότητα της γης διατόμων	3
2.1. Επίδραση της σχετικής υγρασίας	3
2.2. Επίδραση της θερμοκρασίας	4
2.3. Επίδραση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της γης διατόμων	5
3. Επίδραση αβιοτικών παραγόντων στην αποτελεσματικότητα της γης διατόμων	6
3.1. Επίδραση του είδους του προϊόντος	6
3.2. Επίδραση του είδους του εντόμου-στόχου	7
3.3. Επίδραση του σταδίου ανάπτυξης του εντόμου	9
4. Συμπεράσματα	10
5. Βιβλιογραφία	11



## 1. Εισαγωγικά στοιχεία

Η εντομοκτόνος δράση της γης διατόμων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η προέλευση της και οι χημικές και φυσικές της ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους, του σχήματος, του πορώδους και της επιφάνειας των σωματιδίων της, καθώς επίσης και από παράγοντες όπως το έντομο-στόχος, το στάδιο ανάπτυξης τους εντόμου-στόχου, τον τύπο του αποθηκευμένου προϊόντος, την μέθοδο εφαρμογής (π.χ. επίπαση ή ψεκασμός) και τη δόση της γης διατόμων. Μετά την εφαρμογή, η γη διατόμων παραμένει σταθερή και αποτελεσματική για όσο διάστημα παραμένει ξηρή και σε επαρκή συγκέντρωση που να εξασφαλίζει την επαφή των εντόμων με αρκετά σωματίδια γης διατόμων. Οτιδήποτε μειώνει την ικανότητα των σωματιδίων της γης διατόμων να προσκολληθούν στον εξωσκελετό των εντόμων, και συγκεκριμένα στο κηρώδες τμήμα του δερματίου, έχει άμεση αρνητική επίδραση στην αποτελεσματικότητά της. Για τον παραπάνω λόγο είναι εξαιρετικά σημαντικό να είναι γνωστοί οι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά της εφαρμογής της γης διατόμων, προκειμένου να καθοριστούν οι σωστές δόσεις εφαρμογής που θα εξασφαλίσουν ικανοποιητικά επίπεδα προστασίας των αποθηκευμένων προϊόντων.

## 2. Επίδραση αβιοτικών παραγόντων στην αποτελεσματικότητα της γης διατόμων

Η εντομοκτόνος δράση της γης διατόμων μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους αβιοτικούς παράγοντες, όπως η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία και οι φυσικοχημικές ιδιότητες της γης διατόμων, όπως αναλύεται διεξοδικά παρακάτω.

### 2.1. Επίδραση της σχετικής υγρασίας

Με δεδομένη την μεγάλη προσροφητική ικανότητα της γης διατόμων, η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας στο χώρο εφαρμογής. Τα αποτελέσματα διάφορων μελετών έδειξαν ότι μερικοί τύποι γης διατόμων μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικοί σε ξηρές συνθήκες απ' ό,τι σε υγρές συνθήκες. Για παράδειγμα, οι Vayias and Athanassiou (2004) αξιολόγησαν την ευπάθεια προνυμφών του εντόμου *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (confused flour beetle, Coleoptera: Tenebrionidae) στην εφαρμογή της γης διατόμων και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αποτελεσματικότητα εμπορικών σκευασμάτων γης διατόμων μπορεί να



μειωθεί όταν η σχετική υγρασία αυξηθεί από 55 σε 65%. Αυτό το αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την προστασία των αποθηκευμένων προϊόντων καθώς επίπεδα υγρασίας μεταξύ 55 και 75% αντιστοιχούν σε υγρασία στο προϊόν μεταξύ 10.5 και 14%, το οποίο αποτελεί ένα ρεαλιστικό εύρος υγρασίας για αποθήκευση μακράς διάρκειας (Pixton, 1967, Pixton and Warburton, 1971). Από την άλλη, υπάρχουν μελέτες, τα αποτελέσματα των οποίων δεν έδειξαν μεγάλη επίδραση της σχετικής υγρασίας στην αποτελεσματικότητα της γης διατόμων, γεγονός που φανερώνει ότι ενδεχομένων κάποιου τύπου γης διατόμων δεν αλληλεπιδρούν τόσο ισχυρά με την υγρασία. Η εφαρμογή γης διατόμων σαν ψεκαστικό διάλυμα, δηλαδή γη διατόμων αναμεμιγμένη με νερό, μπορεί να μην είναι τόσο αποτελεσματική σαν την εφαρμογή γης διατόμων σε μορφή σκόνης με επίπαση (Athanassiou and Korunić, 2007). Παρά ταύτα όμως, η εφαρμογή ψεκαστικού διαλύματος μπορεί να είναι πιο πρακτική για εμπορικές εφαρμογές σε αποθηκευτικούς χώρους, ιδιαίτερα όσον αφορά την απευθείας εφαρμογής πάνω στο προϊόν με τα ίδια τεχνολογικά μέσα με τα οποία πραγματοποιούνται οι εφαρμογές με τα παραδοσιακά χημικά εντομοκτόνα (Vayias and Athanassiou, 2004, Athanassiou and Korunić, 2007, Athanassiou and Arthur, 2018).

## 2.2. Επίδραση της θερμοκρασίας

Πέρα από τη σχετική υγρασία, και η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει εμμέσως την αποτελεσματικότητα της γης διατόμων, καθώς σε υψηλότερες θερμοκρασίες η απώλεια της υγρασίας συμβαίνει γρηγορότερα. Επιπρόσθετα, η κινητικότητα των εντόμων αυξάνεται στις υψηλές θερμοκρασίες, αυξάνοντας την επαφή του εντόμου με τα σωματίδια της γης διατόμων και κατά συνέπεια μεγαλώνοντας την προσκόλληση των σωματιδίων στον εξωσκελετό των εντόμων. Όταν αξιολογήθηκε ένα εμπορικό σκεύασμα γης διατόμων σε σιτάρι για τον έλεγχο των ενηλίκων των εντόμων *T. confusum* και *Sitophilus oryzae* (L.) (rice weevil, Coleoptera: Curculionidae) παρατηρήθηκε ότι υπήρχε μια θετική συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων θνησιμότητας των εντόμων και της θερμοκρασίας (Vayias and Athanassiou, 2004, Athanassiou et al., 2005). Συγκεκριμένα, μετά από αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C, τα επίπεδα θνησιμότητας των εντόμων αυξήθηκαν από περίπου 45% στους 22 °C στο 100% στους 32 °C (Athanassiou et al., 2005). Άλλες μελέτες έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα για ένα μεγάλο εύρος ειδών εντόμων (Fields and Korunić, 2000, Subramanyam and Roesli, 2000, Vayias and Athanassiou, 2004, Athanassiou et al., 2006), σε κάποιες περιπτώσεις όμως η αύξηση της θερμοκρασίας είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση



της θνησιμότητας (Aldryhim, 1993, Fields and Korunić, 2000, Subramanyam and Roesli, 2000).

### 2.3. Επίδραση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της γης διατόμων

Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της γης διατόμων που προσκολλάται στον εξωσκελετό του εντόμου, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αποτελεσματικότητα της. Σε αυτό το πλαίσιο, όταν το μέγεθος των σωματιδίων είναι μικρό, είναι δηλαδή μεγάλη η αναλογία της επιφάνειας προς τον όγκο των σωματιδίων, η γη διατόμων είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με μια γη διατόμων με μεγαλύτερα σωματίδια (Chiu, 1939a, 1939b). Οι Vayias et al. (2009) έδειξαν ότι οι γαίες διατόμων με μέγεθος σωματιδίων μικρότερο των 45 μm ήταν πιο αποτελεσματικές από γαίες διατόμων με μεγαλύτερο μέγεθος σωματιδίων εναντίον των ειδών *Rhyzopertha dominica* (F.) (lesser grain borer, Coleoptera: Bostrychidae), *S. oryzae* και *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (rusty grain beetle, Coleoptera: Laemophloeidae). Πιο πρόσφατα, οι Baliota and Athanassiou (2020) έδειξαν ότι το σχήμα των σωματιδίων της γης διατόμων παίζει σημαντικότερο ρόλο στην αποτελεσματικότητα της απ' ότι το μέγεθός τους. Οι ίδιοι υποστήριξαν ότι το μικρό μέγεθος των σωματιδίων της γης διατόμων δεν σημαίνει αναγκαστικά και μεγάλη αποτελεσματικότητα (Baliota and Athanassiou, 2020). Τουναντίον, το πολύ μικρό μέγεθος σωματιδίων της γης διατόμων μπορεί να μην είναι επιθυμητό γιατί μπορεί να εγείρει σημαντικά θέματα ασφαλείας (π.χ. επιβάρυνση του αναπνευστικού συστήματος του εφαρμοστή κα) (Vayias et al., 2009, Subramanyam and Roesli, 2000, Athanassiou et al., 2005).

Η κάθε γη διατόμων αποτελείται από διάφορα είδη διατόμων, τα οποία έχουν διαφορετικά σχήματα και μεγέθη. Για παράδειγμα, η γη διατόμων που αποτελείται από διάτομα του θαλασσινού νερού περιέχει επίπεδα διάτομα, ενώ η γη διατόμων που αποτελείται από διάτομα του γλυκού νερού περιέχει τόσο επίπεδα διάτομα, όσο και στρογγυλά (Korunić, 1998). Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων της γης διατόμων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα της (Korunić, 1998). Αντίθετα, η προέλευση της γης διατόμων, το αν δηλαδή αυτή προέρχεται από διάτομα του γλυκού ή του θαλασσινού νερού, δεν σχετίζεται άμεσα με την αποτελεσματικότητα της (Korunić, 1998). Σε μια παλαιότερη μελέτη, ο Korunić (1997) κατέγραψε τις φυσικές ιδιότητες σαρανταδύο (42) γαιών διατόμων διαφορετικής γεωγραφικής προέλευσης. Με βάση αυτή τη μελέτη, παρατηρήθηκε μεγάλη παραλλακτικότητα αναφορικά με τα περισσότερα φυσικοχημικά



χαρακτηριστικά των γαιών διατόμων. Για παράδειγμα, η πυκνότητα κυμάνθηκε μεταξύ 195-679 g ανά λίτρο γης διατόμων, το pH από 4.4-9.2, ενώ η περιεκτικότητα σε άμορφο πυρίτιο (SiO<sub>2</sub>) για τις περισσότερες γαίες διατόμων ήταν μεγαλύτερο του 70%. Ομοίως, το μέσο μέγεθος των σωματιδίων κυμάνθηκε μεταξύ 7-16.4 μm, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό των σωματιδίων (46.3-80%) ήταν μικρότερα από 12 μm (Korunic and Ormesher, 2000). Η παραλλακτικότητα αυτή στις φυσικοχημικές ιδιότητες της γης διατόμων είναι υπεύθυνη σε μεγάλο βαθμό και για τα διαφορετικά επίπεδα αποτελεσματικότητας που επιτυγχάνονται με τις διάφορες γαίες διατόμων. Ο Korunic (1997) προσπάθησε να συσχετίσει τις φυσικοχημικές αυτές ιδιότητες των γαιών διατόμων με την αποτελεσματικότητά τους, με στόχο να μπορεί να προβλεφθεί η αποτελεσματικότητα μιας γης διατόμων με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της και χωρίς να χρειάζονται χρονοβόρες και πολυέξοδες βιοδοκιμές με έντομα. Με βάση τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε, η περιεκτικότητα της γης διατόμων σε διοξείδιο του πυριτίου αλλά και το pH είναι παράμετροι με ιδιαίτερη σημασία, όσον αφορά στην αποτελεσματικότητά της γης διατόμων εναντίον εντόμων αποθηκών (Korunic, 1997). Ακόμα πιο σημαντική όμως, είναι η επίδραση της πυκνότητας, της μείωσης του ειδικού βάρους αλλά και η προσκολλητικότητα των σωματιδίων στους σπόρους του προϊόντος στην αποτελεσματικότητά της γης διατόμων (Korunic, 1997, Kavallieratos et al., 2005). Αντίθετα, το είδος των διατόμων, η προέλευση της γης διατόμων και άλλα χαρακτηριστικά δεν παίζουν τόσο σημαντικό ρόλο στο πόσο αποτελεσματική είναι μια γη διατόμων εναντίον των εντόμων αποθηκών (Korunic, 1997, Subramanyam and Roesli, 2000).

### **3. Επίδραση βιοτικών παραγόντων στην αποτελεσματικότητα της γης διατόμων**

Πέρα όμως από τους διάφορους αβιοτικούς παράγοντες, σημαντική είναι η επίδραση διαφόρων βιοτικών παραγόντων, όπως το είδος του αποθηκευμένου προϊόντος, το έντομο-στόχος και το στάδιο ανάπτυξης του εντόμου-στόχου, όπως αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω.

#### *3.1. Επίδραση του είδους του προϊόντος*

Το είδος του προϊόντος πάνω στο οποίο γίνεται η εφαρμογή της γης διατόμων είναι ακόμα ένα κρίσιμο σημείο που θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τη χρήση της. Στην περίπτωση των αποθηκευμένων σπόρων, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην αποτελεσματικότητά της γης διατόμων ανάλογα με το είδος του προϊόντος, γεγονός που



φανερώνει ότι υπάρχει συγκεκριμένη αλληλεπίδραση της γης διατόμων με το εξωτερικό τμήμα των σπόρων που μπορεί να «αδρανοποιήσει» τη γη διατόμων. Σε μια σειρά εργαστηριακών βιοδοκιμών, η αποτελεσματικότητα της γης διατόμων σε σπόρους αραβόσιτου ήταν πιο μειωμένη σε σχέση με άλλους μικρότερους σπόρους, όπως οι σπόροι σιταριού, ρυζιού ή κριθαριού (Athanassiou and Kavallieratos, 2005, Kavallieratos et al., 2005, Athanassiou et al., 2007, Vayias et al., 2009). Συγκεκριμένα, οι Kavallieratos et al. (2005) χρησιμοποίησαν κόσκινα για να απομακρύνουν δύο τύπους γης διατόμων από οκτώ είδη σπόρων και ανέφεραν ότι το ποσοστό της γης διατόμων που απομακρύνονταν ήταν μεγαλύτερο στον αραβόσιτο και μικρότερο στο σιτάρι και το κριθάρι. Επιπρόσθετα, η προσκόλληση των σωματιδίων της γης διατόμων ήταν μικρότερη στο καθαρισμένο απ' ότι στο ακαθάριστο κριθάρι, το οποίο αποτελεί μια σαφή ένδειξη ότι το σχήμα του εξωτερικού τμήματος του σπόρου είναι ιδιαίτερα σημαντικό όσον αφορά στην προσκόλληση και στη διατήρηση των σωματιδίων της γης διατόμων (Subramanyam and Roesli, 2000, Kavallieratos et al., 2005, Athanassiou and Kavallieratos, 2005). Παρ' όλα αυτά, δεν υπήρχε άμεση συσχέτιση μεταξύ των διαφορών στην προσκολλητικότητα των σωματιδίων της γης διατόμων στους διάφορους τύπους σπόρων και των επιπέδων θνησιμότητας του είδους *R. dominica* (Kavallieratos et al., 2005, Athanassiou and Kavallieratos, 2005, Athanassiou et al., 2007, Vayias et al., 2009).

### 3.2. Επίδραση του είδους του εντόμου-στόχου

Τα διάφορα είδη εντόμων έχουν διαφορετική ευπάθεια στη γη διατόμων. Γενικά, πιστεύεται ότι τα είδη εντόμων με μαλακό εξωσκελετό είναι πιο ευπαθή στη γη διατόμων, καθώς το δερμάτιο τους μπορεί να τραυματιστεί εύκολα, προκαλώντας γρήγορη αφυδάτωση (Athanassiou and Arthur, 2018). Όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις και έχουν καταγραφεί σημαντικές διαφοροποιήσεις σε διάφορα είδη. Για παράδειγμα, κάποια ακάρεα που προσβάλλουν τα αποθηκευμένα προϊόντα, όπως τα Astigmata, είναι εξαιρετικά ευπαθή στη γη διατόμων, γεγονός που πιστεύεται ότι είναι άμεση συνέπεια της ευαισθησίας τους στην απώλεια νερού και στο λεπτό τους δερμάτιο (Palyvos et al., 2006, Vayias et al., 2006, Athanassiou and Arthur, 2018). Σε αντιδιαστολή, μια άλλη κατηγορία εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων με μαλακό σώμα, τα ψωκόπτερα, είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στη γη διατόμων (Athanassiou et al., 2009). Τα ψωκόπτερα έχουν έναν συγκεκριμένο μηχανισμό προκειμένου να μετριάσουν τις απώλειες νερού, ενώ μπορούν να απορροφούν υγρασία από τον ατμοσφαιρικό αέρα, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο τις απώλειες





(Rudolph, 1982a, 1982b). Γενικά, τα είδη με μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας με όγκο σώματος, δηλαδή μικρόσωμα έντομα, όπως τα είδη *C. ferrugineus* και *Cryptolestes pusillus* (Schönherr) (flat grain beetle, Coleoptera: Laemophloeidae) είναι πολύ ευαίσθητα στη γη διατόμων γιατί έχουν την τάση να χάνουν υγρασία με μεγαλύτερο ρυθμό. Στα μικρότερα δηλαδή έντομα καταγράφονται υψηλά επίπεδα θνησιμότητας, ακόμα και πλήρης έλεγχος (100%) με μικρότερες δόσεις γης διατόμων και σε συντομότερο χρονικό διάστημα (1-2 ημέρες) σε σύγκριση με άλλα πιο ανθεκτικά είδη, όπως τα είδη *Tribolium castaneum* (Herbst) (red flour beetle, Coleoptera: Tenebrionidae) και *R. dominica*. Στην ίδια λογική, είδη με δερμάτιο με παχύ κηρώδες στρώμα είναι λιγότερο ευπαθή στη γη διατόμων σε σχέση με έντομα με λεπτό κηρώδες στρώμα (Bartlett, 1951, Nair 1957), ενώ είδη με πιο μαλακό κηρώδες στρώμα ήταν πιο ευαίσθητα συγκριτικά με είδη με σκληρό κηρώδες στρώμα (Ebeling, 1971).

Τα έντομα που φέρουν πολλές τρίχες συνήθως είναι πιο προστατευμένα και κατά συνέπεια λιγότερο ευπαθή σε σχέση με τα έντομα με λίγες τρίχες, καθώς οι τρίχες αποτρέπουν τα σωματίδια της γης διατόμων να έρθουν σε επαφή με τον εξωσκελετό (David and Gardiner, 1950). Σε αυτό το γεγονός πιθανώς οφείλεται και η μειωμένη αποτελεσματικότητα της γης διατόμων εναντίον των προνυμφών του είδους *Trogoderma parabile* (Beal) (το οποίο σήμερα θεωρείται συνώνυμο με το warehouse beetle, *Trogoderma variabilie* Ballion, Coleoptera: Dermestidae) που φέρουν θυσσάνους τριχών στο σώμα τους (Carlson and Ball, 1962). Οι Fields and Korunic (2000) ανέφεραν μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ των ενηλίκων τεσσάρων ειδών εντόμων αποθηκών αναφορικά με την ποσότητα της γης διατόμων που προσκολλήθηκε στον εξωσκελετό τους, γεγονός που αποδίδεται στους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Εξαιτίας των παραπάνω χαρακτηριστικών των διαφόρων ειδών εντόμων, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές όσον αφορά στην ευπάθεια τους στη γη διατόμων. Για παράδειγμα, τα ενήλικα των ειδών *R. dominica* and *T. castaneum* θεωρούνται τα πιο ανθεκτικά στις εφαρμογές γης διατόμων. Ενδεικτικά, ο χρόνος που απαιτείται για να θανατωθεί το 90% ενός πληθυσμού των ειδών *C. ferrugineus*, *O. surinamensis*, *S. oryzae*, *T. castaneum* και *R. dominica* μετά από εφαρμογή 1 g μιας εμπορικής γης διατόμων (Harper Valley DE) ανά κιλό σιταριού αποθηκευμένου στους 26.7 °C και 65-75% σχετική υγρασία είναι 2.5, 6.1, 3.5, 13.2 και 63.1 ημέρες, αντίστοιχα (Subramanyam and Roesli, 2000). Όταν εφαρμόζονται χαμηλότερες δόσεις (π.χ. 0.5 g ανά κιλό προϊόντος), μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα έκθεσης απαιτούνται για να επιτευχθούν ικανοποιητικά ποσοστά θνησιμότητας. Γίνεται





λοιπόν κατανοητό, ότι όταν αναφερόμαστε στην αποτελεσματικότητα της γης διατόμων σημασία δεν έχει μόνο το ποσοστό των εντόμων που θανατώνεται από την εφαρμογή, αλλά και η ταχύτητα δράσης της γης διατόμων και το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη θανάτωση των εντόμων. Η ταχύτητα δράσης μάλιστα θεωρείται πιο σημαντική, καθώς όταν απαιτείται μεγάλο διάστημα έκθεσης για τη θανάτωσή τους, τα έντομα μπορούν εντωμεταξύ να αναπαραχθούν και να αφήσουν απογόνους αλλά και να διασπαρούν από το προϊόν που έχει δεχθεί την εφαρμογή σε προϊόν που δεν έχει δεχθεί εφαρμογή και με αυτόν τον τρόπο να αποφύγουν την θανάτωση. Τα σκευάσματα αυτά λοιπόν, με βάση την κριτική επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, μπορούν να θεωρηθούν ως βραδείας δράσης, σε σχέση με τα συμβατικά εντομοκτόνα επαφής (π.χ. συνθετικά πυρεθροειδή ή οργανοφωσφορικά), όπου η πλήρης θνησιμότητα μπορεί να λάβει χώρα και σε λιγότερο από επτά ημέρες έκθεσης.

Η ποσότητα της γης διατόμων που προσκολλάται στον εξωσκελετό του εντόμου είναι συνάρτηση της δόσης εφαρμογής, της ποσότητας της γης διατόμων που προσκολλάται στο προϊόν, του χρόνου έκθεσης αλλά και του είδους του εντόμου. Για παράδειγμα, όταν έγινε εφαρμογή του σκευάσματος γης διατόμων Sipernat 22S σε σιτάρι στη δόση των 0.15 g ανά κιλό προϊόντος, η ποσότητα της γης διατόμων που επικάθισε στους σπόρους ήταν 4.8 μg ανά κιλό προϊόντος ή 0.15 μg ανά σπόρο (κάνοντας την υπόθεση ότι το μέσο βάρος ενός σπόρου είναι 37 mg) (Subramanyam and Roesli, 2000). Στην περίπτωση των ενηλίκων του είδους *S. oryzae* που κινήθηκαν μέσα στο προϊόν που είχε δεχθεί την εφαρμογή, το μεγαλύτερο ποσοστό της γης διατόμων προσκολλήθηκε στο σώμα των εντόμων τα πρώτα 5 λεπτά της έκθεσης, ενώ σωματίδια σκόνης συνέχισαν να συσσωρεύονται στο σώμα των εντόμων για τις επόμενες 48 ώρες. Σε αυτό το διάστημα έκθεσης, η μέγιστη ποσότητα γης διατόμων που προσκολλήθηκε στα έντομα ήταν 2 μg ανά έντομο. Αντίστοιχα αποτελέσματα όσον αφορά στη προσκόλληση της γης διατόμων στην επιφάνεια των εντόμων κατέγραψαν οι Gowers and le Patourel (1984) για το είδος *Sitophilus granarius* (L.) (granary weevil, Coleoptera: Curculionidae) και ο Singh (1981) για το είδος *T. castaneum*.

Πέρα από το μέγεθος, το σχήμα και άλλα χαρακτηριστικά του σώματος των εντόμων, η κινητικότητα τους είναι μια κρίσιμη παράμετρος. Ένα έντομο που κινείται πιο αργά, θεωρείται ότι είναι λιγότερο ευαίσθητο στη γη διατόμων, καθώς θα είναι μικρότερη η ποσότητα της γης διατόμων που θα προσκολληθεί στο σώμα του κατά τη διάρκεια της κίνησης του ανάμεσα στους σπόρους του προϊόντος που έχουν δεχθεί την εφαρμογή (Zeni et al., 2021). Για παράδειγμα, η αργή κίνηση του εντόμου *R. dominica* θεωρείται το βασικό



χαρακτηριστικό στο οποίο αποδίδεται η μειωμένη αποτελεσματικότητα κάποιων σκευασμάτων γης διατόμων για το συγκεκριμένο έντομο (Korunić, 1998, Fields and Korunić, 2000).

### 3.3. Επίδραση του σταδίου ανάπτυξης του εντόμου

Οι προνύμφες θεωρούνται πιο ευπαθείς στη γη διατόμων σε σχέση με τα ενήλικα (Athanassiou and Arthur, 2018). Για παράδειγμα, οι Vayias and Athanassiou (2004) βρήκαν ότι οι προνύμφες του *T. confusum* είναι πιο ευπαθείς στη γη διατόμων από τα ενήλικα, τα οποία μπορούν να επιβιώσουν ακόμα και μετά από εφαρμογή δόσεων γης διατόμων που ήταν θανατηφόρες για τα υπόλοιπα στάδια ανάπτυξης. Συγκεκριμένα, το 90% των προνυμφών του εντόμου *T. confusum* θανατώθηκε μετά από εφαρμογή 1.5 g του εμπορικού σκευάσματος γης διατόμων SilicoSec ανά κιλό προϊόντος 48 ώρες μετά την έκθεση, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό θνησιμότητας για τα ενήλικα ήταν μόλις 50% (Vayias and Athanassiou, 2004). Ομοίως, μεταξύ των διαφορετικών προνυμφικών ηλικιών, οι προνύμφες μικρής προνυμφικής ηλικίας είναι οι πιο ευπαθείς (Vayias and Athanassiou, 2004). Το ίδιο ισχύει και για τα πιο νεαρά ενήλικα. Για παράδειγμα ενήλικα μίας ημέρας ή δύο ημερών ήταν πιο ευαίσθητα στην εφαρμογή της γης διατόμων σε σχέση με ενήλικα μεγαλύτερης ηλικίας (π.χ. 7 ημερών), φανερώνοντας ότι η ευπάθεια των εντόμων επηρεάζεται σημαντικά ακόμα και από την ηλικία των ενηλίκων. Αντίστοιχα αποτελέσματα για την ευπάθεια των ενηλίκων διαφορετικής ηλικίας έχουν αναφερθεί και για το είδος *T. castaneum* (Losic and Korunić, 2018).

Δεν ισχύει το ίδιο όμως στην περίπτωση του εντόμου *Tenebrio molitor* L. (yellow mealworm, Coleoptera: Tenebrionidae), για το οποίο βρέθηκε ότι τα ενήλικα είναι πιο ευπαθή στη γη διατόμων σε σχέση με τις προνύμφες. Επίσης βρέθηκε ότι οι προνύμφες επηρεάζονται λιγότερο από την εφαρμογή της γης διατόμων εξαιτίας ενός μηχανισμού που έχουν που τους επιτρέπει να περιορίζουν τις απώλειες νερού (Mewis and Ulrichs, 2001). Τα ενήλικα άτομα των ειδών *T. confusum* και *T. castaneum* θεωρούνται ως τα πιο ευπαθή είδη στη γη διατόμων, με το πρώτο να είναι ελαφρώς πιο ανθεκτικό (Arthur, 2000a, 2000b, Athanassiou et al., 2004, Vayias and Athanassiou, 2004, Athanassiou and Arthur, 2018). Από την άλλη μεριά, τα ενήλικα του είδους *C. ferrugineus*, είναι πιο ευαίσθητα στη γη διατόμων, καθώς έχουν πιο επίπεδο σχήμα και η απώλεια νερού μπορεί να συμβεί πιο απότομα (Korunić, 1998, Fields and Korunić, 2000, Vayias et al., 2009). Παρά το γεγονός ότι οι διαφορές στην ευπάθεια των διαφόρων ειδών εντόμων αλλά και των σταδίων



ανάπτυξης τους στη γη διατόμων δεν έχουν ακόμα μελετηθεί σε βάθος, το πάχος τους, το δερματίου αλλά και η συμπεριφορά του κάθε εντόμου θεωρούνται ότι ευθύνονται για τις παρατηρούμενες αυτές διαφορές (Losic and Korunić, 2018).

#### **4. Συμπεράσματα**

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει έντονο ερευνητικό αλλά και εμπορικό ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της γης διατόμων για την προστασία των αποθηκευμένων προϊόντων από εντομολογικές προσβολές σαν εναλλακτικό μέσο ελέγχου των εντόμων αποθηκών προς αντικατάσταση των χημικών συνθετικών εντομοκτόνων. Αρκετά σκευάσματα γης διατόμων έχουν πάρει έγκριση σε διάφορες χώρες τους κόσμου για εμπορική εφαρμογή στα αποθηκευμένα προϊόντα. Όπως όμως αναλύθηκε διεξοδικά παραπάνω, η αποτελεσματικότητα της γης διατόμων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, τόσο αβιοτικούς όσο και βιοτικούς. Προκειμένου λοιπόν η αποτελεσματικότητα των εφαρμογών με γη διατόμων να είναι υψηλή θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παραπάνω παράγοντες κατά την εφαρμογή.

Η περαιτέρω μελέτη των ως άνω παραγόντων θα μπορούσε να αξιοποιηθεί στο πλαίσιο της παραμετροποίησης της αποτελεσματικότητας της γης διατόμων ανά είδος, καθώς και ανά σενάριο εφαρμογής. Επιπροσθέτως, η διερεύνηση σκευασμάτων γης διατόμων που θα προκαλούν όσο το δυνατόν μικρότερες αρνητικές επιδράσεις στο ειδικό βάρος των διαφόρων δημητριακών, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την επέκταση μιας τέτοιας εφαρμογής σε εμπορική κλίμακα.

#### **5. Βιβλιογραφία**

Aldryhim Y. N. (1993). Combination of classes of wheat and environmental factors affecting the efficacy of amorphous silica dust, dryacide, against *Rhizopertha dominica* (F.). *Journal of Stored Products Research* 29: 271–275.

Arthur F. H. (2000a). Impact of food source on survival of red flour beetles and confused flour beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) exposed to diatomaceous earth. *Journal of Economic Entomology* 93: 1347–1356.

Arthur F. H. (2000b). Toxicity of diatomaceous earth to red flour beetles and confused flour beetles (Coleoptera: Tenebrionidae): Effects of temperature and relative humidity. *Journal of Economic Entomology* 93: 526–532.



Athanassiou C. G., Kavallieratos N. G., Andris N. S. (2004). Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations against adults of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on oat, rye, and triticale. *Journal of Economic Entomology* 97: 2160–2167.

Athanassiou C., Kavallieratos N. (2005). Insecticidal effect and adherence of PyriSec® in different grain commodities. *Crop Protection* 24: 703-710.

Athanassiou C. G., Vayias B. J., Dimizas C. B., Kavallieratos N. G., Papagregoriou A. S., Buchelos C. T. (2005). Insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on stored wheat: Influence of dose rate, temperature and exposure interval. *Journal of Stored Products Research* 41: 47–55.

Athanassiou C. G., Kavallieratos N. G., Tsakiri J. B., Xyrafidis S. N., Vayias B. J. (2006) Effect of temperature and humidity on insecticidal effect of SilicoSec against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. *Journal of Economic Entomology* 99: 1520–1524.

Athanassiou C. G., Korunić Z. (2007). Evaluation of two new diatomaceous earth formulations, enhanced with abamectin and bitterbarkomycin, against four stored-grain beetle species. *Journal of Stored Products Research* 43: 468–473.

Athanassiou C. G., Kavallieratos N. G., Meletsis C. M. (2007). Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations, applied alone or in combination, against three stored-product beetle species on wheat and maize. *Journal of Stored Products Research* 43: 330–334.

Athanassiou C.G., Korunić Z., Vayias B.J. (2009). Diatomaceous earths enhance the insecticidal effect of bitterbarkomycin against stored-grain insects. *Crop Protection* 28: 123–127.

Athanassiou C. G., Arthur F. H. (2018). Bacterial Insecticides and Inert Materials. In *Recent Advances in Stored Product Protection*, Athanassiou C. G., Arthur F. H., Eds., Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 83–98.



Baliota G. V., Athanassiou C. G. (2020). Evaluation of a Greek diatomaceous earth for stored product insect control and techniques that maximize its insecticidal efficacy. *Applied Sciences* 10: 6441.

Bartlett B. R. (1951). The action of certain “inert” dust materials on parasitic Hymenoptera. *Journal of Economic Entomology* 44: 891-896.

Carlson S. D., Ball H. J. (1962). Mode of action and insecticidal value of a diatomaceous earth as a grain protectant. *Journal of Economic Entomology* 55: 964-970.

Chiu S. F. (1939a). Toxicity studies of so-called “inert” materials with the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Journal of Economic Entomology* 32: 240-248.

Chiu S. F. (1939b). Toxicity studies of so-called “inert” materials with the rice weevil and the granary weevil. *Journal of Economic Entomology* 32: 810-821.

David W. A. L., Gardiner B. O. C. (1950). Factors influencing the action of dust insecticides. *Bulletin of Entomological Research* 41: 1-61.

Ebeling W. (1971). Sorptive dust for pest control. *Annual Review of Entomology* 16: 123-158.

Fields P., Korunić Z. (2000). The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research* 36: 1-13.

Gowers S. L., Le Patourel G. N. J. (1984). Toxicity of deposits of an amorphous silica dust on different surfaces and their pick-up by *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 70: 25–29.

Kavallieratos N. G., Athanassiou C. G., Paschalidou F. G., Andris N. S., Tomanovic Z. (2005). Influence of grain type on the insecticidal efficacy of two diatomaceous earth formulations against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Management Science* 61: 660–666.

Korunić Z. (1997). Rapid assessment of the insecticidal value of diatomaceous earths without conducting bioassays. *Journal of Stored Product Research* 33: 219–229.



Korunić Z. (1998). Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research* 34: 87–97.

Korunic Z., Ormesher P. (2000). Evaluation and standardised testing of diatomaceous earth, pp. 738-744. In J. Zuxun, L. Quan, L. Yongsheng, T. Xianchang and G. Lianghua [eds.], 7th Intl. Working Conf. Stored-Prod. Prot., Sichuan Publishing House of Science & Technology, Chengdu, Sichuan Province, Peoples Republic of China.

Losic D., Korunić Z. (2018). Diatomaceous Earth, A Natural Insecticide for Stored Grain Protection: Recent Progress and Perspectives. In *Nanoscience & Nanotechnology Series No. 44, Diatom Nanotechnology: Progress and Emerging Applications*, Losic D., Ed., The Royal Society of Chemistry, pp. 219-247.

Mewis I., Ulrichs Ch., 2001. Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research* 37: 153–164.

Nair M. R. G. K. (1957). Structure of waterproofing epicuticular layers in insects in relation to inert dust action. *Indian Journal of Entomology* 10: 37-49.

Palyvos N. E., Athanassiou C. G., Kavallieratos N. G. (2006). Acaricidal effect of a diatomaceous earth formulation against *Tyrophagus putrescentiae* (Astigmata: Acaridae) and its predator *Cheyletus malaccensis* (Prostigmata: Cheyletidae) in four grain commodities. *Journal of Economic Entomology* 99: 229–236.

Pixton S. W. (1967). Moisture content-its significance and measurement in stored products. *Journal of Stored Products Research* 3: 35–47.

Pixton S. W., Warburton S. (1971). Moisture content/relative humidity equilibrium of some cereal grains at different temperatures. *Journal of Stored Products Research* 6: 283–293.

Rudolph D. (1982a). Occurrence, properties and biological implications of the active uptake of water vapour from the atmosphere in Psocoptera. *Journal of Insect Physiology* 28: 111–121.





Rudolph D. (1982b). Site, process and mechanism of active uptake of water vapour from the atmosphere in the Psocoptera. *Journal of Insect Physiology* 28: 205–212.

Pixton Subramanyam B., Roesli R. (2000). Inert Dusts. In *Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM*. Subramanyam B., Hagstrum D. W., Eds., Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Netherlands, pp. 321–380.

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

Vayias B. J., Athanassiou C. G., Kavallieratos N. G., Tsesmeli C. D., Buchelos C. Th. (2006). Persistence and efficacy of two diatomaceous earth formulations and a mixture of diatomaceous earth with natural pyrethrum against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on wheat and maize. *Pest Management Science* 62: 456-464.

Vayias B. J., Athanassiou C. G., Korunić Z., Rozman V. (2009). Evaluation of natural diatomaceous earth deposits from south-eastern Europe for stored-grain protection: The effect of particle size. *Pest Management Science* 65: 1118–1123.

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.