



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Παραδοτέο έργου Π2.1. Έκθεση αναφοράς για την αποτελεσματικότητα της ΓΔ εναντίον των κυριότερων εντόμων αποθηκών, κάτω από τις ίδιες συνθήκες για όλα τα είδη και στάδια ανάπτυξης των εντόμων

Τύπος: Έκθεση

Υπο-παραδοτέο Π2.1.2. «Βιβλιογραφική ανασκόπηση της υπάρχουσας έρευνας για την χρήση της ΓΔ κατά εντομολογικών εχθρών κατά την αποθήκευση»



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)»



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγικά στοιχεία	3
2. Ερευνητικά αποτελέσματα σχετικά με τη χρήση της γης διατόμων εναντίον εντόμων αποθηκών	4
2.1. Εφαρμογή γης διατόμων σε επιφάνειες	5
2.2. Συνδυαστική εφαρμογή γης διατόμων με εντομοπαθογόνους μύκητες	7
2.3. Συνδυαστική εφαρμογή γης διατόμων με συνθετικά εντομοκτόνα επαφής	11
2.4. Συνδυαστική εφαρμογή γης διατόμων με εντομοκτόνες ουσίες φυτικής προέλευσης	13
3. Συμπεράσματα	14
4. Βιβλιογραφία	15



1. Εισαγωγικά στοιχεία

Στις μέρες μας γίνεται σημαντική προσπάθεια για τη μείωση της χρήσης των συνθετικών εντομοκτόνων για την καταπολέμηση των εντομολογικών προσβολών κατά τα μετασυλλεκτικά στάδια επεξεργασίας των γεωργικών προϊόντων. Η ανησυχία για τις επιπτώσεις της εκτεταμένης χρήσης χημικών εντομοκτόνων στην βιοποικιλότητα και την ασφάλεια των τροφίμων έχει ωθήσει στην αναζήτηση πιο αειφορικών πρακτικών για τον έλεγχο των εντόμων κατά την αποθήκευση. Τα τελευταία χρόνια έχει εκδηλωθεί έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον προς την κατεύθυνση της αναζήτησης περιβαλλοντικά φιλικών εναλλακτικών και την ενσωμάτωση τους στα πρωτόκολλα και τις στρατηγικές καταπολέμησης των εντόμων αποθηκών. Σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται και η αξιοποίηση της γης διατόμων, η οποία θεωρείται ότι αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για την αντιμετώπιση των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων. Η γη διατόμων αποτελεί έναν τύπο φυσικού, μαλακού πυριτούχου πετρώματος, το οποίο δημιουργήθηκε από τα απολιθώματα των εξωσκελετών των μονοκύτταρων μικροφυκών που ονομάζονται διάτομα (Korunić, 1998).

Υπάρχουν διάφορες θεωρίες για τον τρόπο δράσης της γης διατόμων (Korunić, 1998; Subramanyam and Roesli, 2000). Γενικά, θεωρείται ότι τα σωματίδια της γης διατόμων προσκολλώνται στον εξωσκελετό των εντόμων, προκαλώντας τον θάνατο των εντόμων μέσω της αφυδάτωσης (Korunić, 1998; Subramanyam and Roesli, 2000). Επιπρόσθετα, η επαφή των εντόμων με τα σωματίδια της γης διατόμων προκαλεί μικροτραυματισμούς στην εξωτερική επιφάνεια του εξωσκελετού των εντόμων (Subramanyam and Roesli, 2000). Γι' αυτό και το σχήμα των σωματιδίων της γης διατόμων έχει καθοριστική σημασία για την εντομοκτόνο δράση τους, καθώς τα πιο στρογγυλεμένα διάτομα λειτουργούν περισσότερο μέσω της αφυδάτωσης και της απορρόφησης της υγρασίας των εντόμων, ενώ τα σωματίδια με πιο αιχμηρές άκρες δημιουργούν περισσότερους τραυματισμούς στην εξωτερική επιφάνεια των εντόμων (Korunić, 1998; 1997; Subramanyam and Roesli, 2000). Σε κάθε περίπτωση όμως, το σχήμα των διατόμων και κατά συνέπεια η εντομοκτόνος δράση τους μπορεί να μεταβληθεί μέσω διαφόρων τεχνικών επεξεργασίας (Baliota and Athanassiou, 2020).



Σε γενικές γραμμές, προκειμένου η γη διατόμων να είναι αποτελεσματική θα πρέπει να εφαρμόζεται σε υψηλές συγκεντρώσεις, πολύ μεγαλύτερες από τις δόσεις εφαρμογής των συμβατικών εντομοκτόνων, οι οποίες συνήθως ξεπερνούν τα 1000 ppm (Athanassiou et al., 2004, 2005a, Korunić, 2016). Μετά την εφαρμογή οι σπόροι φαίνονται σαν σκονισμένοι, ενώ η σκόνη αυτή μπορεί ενδεχομένως να προκαλέσει προβλήματα υγείας στους εργάτες, όπως αναπνευστικές δυσλειτουργίες (Korunić, 1997, 1998, Subramanyam and Roesli, 2000). Επιπρόσθετα, η εφαρμογή της γης διατόμων προκαλεί τη μείωση του ειδικού βάρους των σπόρων, της αναλογίας δηλαδή βάρους προς όγκο, το οποία αποτελεί ξεχωριστής σπουδαιότητας ιδιότητα των σπόρων που επηρεάζει μέχρι και την εμπορική τιμή τους στη διεθνή αγορά (Korunić, 1998, Korunić et al., 1996).

2. Ερευνητικά αποτελέσματα σχετικά με τη χρήση της γης διατόμων εναντίον εντόμων αποθηκών

Μέχρι σήμερα έχει πραγματοποιηθεί ένας σημαντικός αριθμός ερευνητικών μελετών σχετικά με την αξιολόγηση της εντομοκτόνου δράσης της γης διατόμων εναντίον εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων. Τα αποθηκευμένα προϊόντα και συγκεκριμένα τα αποθηκευμένα σιτηρά και ψυχανθή έχουν ιδιαίτερη σημασία για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ανθρώπων και των εκτρεφόμενων ζώων καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου σε παγκόσμιο επίπεδο. Κατά την αποθήκευση τους όμως τα αγροτικά προϊόντα ενδέχεται να προσβληθούν από έντομα, η ανάπτυξη και ο πολλαπλασιασμός των οποίων ευνοείται σε πολλές περιπτώσεις από τις συνθήκες αποθήκευσης (Nayak and Darglish, 2018). Οι εντομολογικές προσβολές κατά την αποθήκευση μπορούν να επιφέρουν τόσο την ποσοτική απομείωση των αποθηκευμένων προϊόντων μέσω της άμεσης κατανάλωσης των προϊόντων από τα έντομα, όσο και την ποιοτική υποβάθμιση των προϊόντων, μέσω της μεταφοράς μυκήτων και της παρουσίας τεμαχιδίων εντόμων. Συγκεκριμένα η παρουσία τμημάτων των εντόμων στο τελικό προϊόν μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές αντιδράσεις στα άτομα που θα το καταναλώσουν, να αλλοιώσουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, αλλά και να το επιμολύνουν με επικίνδυνα για την υγεία παθογόνα (Campbell et al., 2004). Για τους παραπάνω λόγους, ακόμα και ένα μικρό ποσοστό αρχικής προσβολής μπορεί, εφόσον δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα αντιμετώπισης, να προκαλέσουν μεγάλες οικονομικές απώλειες. Παρά την τεχνολογική πρόοδο που έχει επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια, οι περισσότεροι κλάδοι της βιομηχανίας τροφίμων είναι ακόμα πολύ ευάλωτοι και ευπαθείς στις εντομολογικές προσβολές, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά στους αποθηκευμένους



σπόρους (Stejskal et al., 2015). Από την άλλη, η καταπολέμηση των εντόμων βασίζεται ακόμα σε μεγάλο βαθμό κυρίως στις χημικές εφαρμογές, αλλά αυτή η προσέγγιση θα πρέπει να βελτιωθεί μέσω της υιοθέτησης φιλικών προς το περιβάλλον και αειφορικών εφαρμογών για τα αποθηκευμένα προϊόντα (Hagstrum and Athanassiou, 2019).

Η χρήση της γης διατόμων αποτελεί μια ακόμα πολλά υποσχόμενη μέθοδο αντιμετώπισης των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων (Golob, 1997, Subramanyam and Roesli, 2000). Η γη διατόμων είναι μία αδρανής σκόνη, η οποία σχηματίζεται από τη συσσώρευση απολιθωμάτων φυτοπλαγκτού, που είναι γνωστά σαν διάτομα και τα οποία έζησαν σε γλυκά, υφάλμυρα και θαλάσσια νερά κατά τη διάρκεια της Ηώκαινου περιόδου, πριν από 34 εκατομμύρια χρόνια (Kavallieratos et al., 2006). Πρόκειται για ένα ελαφρύ υλικό με χαμηλή πυκνότητα και χρώμα που ποικίλει από λευκό έως σκούρο γκρι (Shah and Khan, 2014). Η γη διατόμων αποτελείται κατά 80-93% από διοξείδιο του πυριτίου (Korunić, 1998; Stathers et al., 2004, Athanassiou et al., 2005). Καθώς τα έντομα κινούνται στο περιβάλλον όπου έχει εφαρμοστεί η γη διατόμων, τα μικροσκοπικά σωματίδια της γης διατόμων τραυματίζουν και καταστρέφουν το προστατευτικό κηρώδες επίστρωμα της εξωτερικής επιφάνειας του εξωσκελετού τους με αποτέλεσμα το έντομο να πεθάνει από αφυδάτωση (Golob, 1997, Korunić, 1998, Subramanyam and Roesli, 2000, Mewis and Ulrichs, 2001). Η γη διατόμων είναι φυσικής προέλευσης και χαμηλής τοξικότητας για τον άνθρωπο και τα θηλαστικά, μπορεί με ευκολία να διαχωριστεί από το προϊόν στο οποίο εφαρμόζεται και μπορεί να εφαρμοστεί με τα ίδια μέσα όπως τα συμβατικά εντομοκτόνα (Golob, 1997, Korunić, 1998). Επιπρόσθετα, η εντομοκτόνος δράση της γης διατόμων εναντίον των κυριότερων εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων έχει δειχθεί από ένα μεγάλο αριθμό εργασιών, οι πιο πρόσφατες εκ των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Το μόνο μειονέκτημα της χρήσης της γης διατόμων είναι ότι απαιτείται η εφαρμογή μεγάλων ποσοτήτων, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, κυρίως η πυκνότητα των αποθηκευμένων σπόρων (Korunić, 1998, Subramanyam and Roesli, 2000, Athanassiou and Korunić, 2007).

2.1. Εφαρμογή γης διατόμων σε επιφάνειες

Αρκετές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε εργαστηριακό επίπεδο προκειμένου να αξιολογηθεί η εντομοκτόνος δράση διαφορετικών σκευασμάτων γης διατόμων μετά από εφαρμογή σε επιφάνειες διαφόρων τύπων, όπως τσιμέντο, κεραμικό, πλαστικό, μέταλλο κα (Arthur, 2000, Cook et al., 2004, Collins and Cook, 2006a, 2006b, Schöller and Reichmuth,



2010, Ertürk et al., 2020). Γενικά, σε ορισμένες επιφάνειες όπως το μέταλλο και το γυαλί αρκούν χαμηλότερες δόσεις για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των εντόμων αποθηκών σε σύγκριση με πιο αδρές επιφάνειες, όπως το ξύλο και το τσιμέντο (Gowers and Le Patourel, 1984, Cook et al., 2004, Schöller and Reichmuth, 2010, Ertürk et al., 2020). Ενδεικτικά, οι Collins and Cook (2006a) ανέφεραν ότι η εφαρμογή του σκευάσματος γης διατόμων SilicoSec® στη δόση των 5 g/m² ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική, και εξίσου αποτελεσματική με την δόση των 20 g/m², εναντίον ενός μεγάλου αριθμού εντόμων αποθηκών και ακάρεων και προκάλεσε θνησιμότητα μεγαλύτερη του 86% μια εβδομάδα μετά την έκθεση των εντόμων σε επιφάνειες γυαλιού και πλαστικού. Σε αντίστοιχα συμπεράσματα κατέληξαν οι Cook (2003), Mewis and Ulrichs (2001) και Athanassiou et al. (2011) καταδεικνύοντας ότι υπάρχει ένα ανώτερο όριο στον αριθμό των σωματιδίων γης διατόμων που μπορούν να προσκολληθούν στον εξωσκελετό των εντόμων. Ειδικότερα, έχει δειχθεί ότι τα έντομα προσλαμβάνουν σωματίδια γης διατόμων πιο εύκολα όταν η γη διατόμων εφαρμόζεται πάνω σε επιφάνειες (π.χ. σε ένα τρυβλίο Petri) και όχι απευθείας πάνω στο προϊόν (Athanassiou et al., 2011). Στην περίπτωση της εφαρμογής της γης διατόμων απευθείας πάνω στο προϊόν, η αποτελεσματικότητα της γης διατόμων ενδέχεται να μειωθεί εξαιτίας της απορρόφησης λιπιδίων από την εξωτερική επιφάνεια του σπόρου (Korunić, 1998, Subramanyam and Roesli, 2000). Ο σχολαστικός καθαρισμός των χώρων στους οποίους πρόκειται να εφαρμοστεί η γη διατόμων είναι καθοριστικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής, καθώς η παρουσία τροφής μπορεί να αυξήσει τα ποσοστά επιβίωσης των εντόμων (Dowdy and Fields, 2002, Cox and Parish, 1991). Με αυτή τη λογική ο Arthur (2000) εφάρμοσε το εμπορικό σκεύασμα γης διατόμων Protect-It® στη δόση των 0.5 mg/cm² σε πλαστική επιφάνεια εναντίον των ειδών *T. castaneum* και *T. confusum* και επισήμανε την ανάγκη για απομάκρυνση πιθανών πηγών τροφής για τα έντομα στον αποθηκευτικό χώρο προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής. Ομοίως, ο Dowdy (1999) τόνισε την επίδραση της τροφής στην αποτελεσματικότητα των συνδυασμένων εφαρμογών θερμότητας και των εμπορικών σκευασμάτων γης διατόμων Insecto®, Protect-It®, Concern®, and Natural Guard® (VPG Co-op Gardening Group, Inc., Bonham, TX, USA). Η πρόσβαση σε τροφή μείωσε στατιστικώς σημαντικά την επιβίωση των εντόμων, με τη θνησιμότητα των εντόμων που είχαν πρόσβαση σε τροφή να κυμαίνεται κατά μέσο όρο στο 21%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τα έντομα που δεν μπορούσαν να τραφούν έφτασε το 88%, 7 ημέρες μετά την εφαρμογή. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί επίσης και για άλλες αδρανείς ύλες,



καθώς η τροφή μπορεί να παράσχει θρεπτικά συστατικά αλλά και νερό στα έντομα, επιμηκώνοντας έτσι την επιβίωση τους, και μεγεθύνοντας την προσβολή (Vrba et al., 1983; Loschiavo, 1988; White and Loschiavo, 1989). Τέλος, ενώ με βάση τις περισσότερες εργαστηριακές μελέτες είναι προτιμότερη η χρήση της γης διατόμων σαν σκόνη και η εφαρμογή της με επίπαση σε σχέση με την εφαρμογή ψεκαστικού διαλύματος (McLaughlin, 1994, Bridgeman, 1998, Collins and Cook, 2006b, Athanassiou et al., 2007, 2011), το αντίθετο είναι πιθανόν πιο προτιμητέο για εμπορικές εφαρμογές. Τα ψεκαστικά διαλύματα εφαρμόζονται ευκολότερα από το προσωπικό, ενώ επιπρόσθετα αποφεύγεται η έκθεση του προσωπικού σε περιβάλλοντα με αυξημένα επίπεδα σκόνης (Gowers and Le Patourel, 1984, McLaughlin, 1994).

2.2. Συνδυαστική εφαρμογή γης διατόμων με εντομοπαθογόνους μύκητες

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η συνδυασμένη εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων και γης διατόμων έχει συνεργιστικό αποτέλεσμα και μεγαλύτερη εντομοκτόνο δράση σε σχέση με την εφαρμογή μυκήτων και γης διατόμων ξεχωριστά (Lord, 2001, 2005, Akbar et al., 2004, Kavallieratos et al., 2006, Vassilakos et al., 2006, Michalaki et al., 2007, Batta 2008, Ramaswamy et al., 2009). Αρκετές ερευνητικές εργασίες έδειξαν την ύπαρξη συνεργισμού μεταξύ της γης διατόμων και του μύκητα *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Ascomycota: Hypocreales) εναντίον ενός μεγάλου εύρους εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων (Lord, 2001; Akbar et al., 2004). Η ύπαρξη αυτού του συνεργισμού αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον Lord (2001), ο οποίος μαζί με τον μύκητα *B. bassiana* έκανε χρήση και ενός εμπορικού σκευάσματος γης διατόμων εναντίον ενηλίκων των ειδών *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) και *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae). Παρόμοια αποτελέσματα που αποδεικνύουν τη συνεργιστική ή αθροιστική δράση μεταξύ της γης διατόμων και του εντομοπαθογόνου μύκητα *B. bassiana* δημοσιεύτηκαν εναντίον των ειδών *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) (Akbar et al., 2004), *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) (Athanassiou and Steenberg, 2007), *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) (Dal Bello et al. 2006, Vassilakos et al., 2006), *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) (Dal Bello et al., 2006), and *R. dominica* (Lord, 2005, Vassilakos et al., 2006, Riasat et al., 2011, Wakil et al., 2011, 2012). Αυξημένη αποτελεσματικότητα μετά τη



συνδυασμένη εφαρμογή με γη διατόμων έχει αποδειχθεί και για τον εντομοπαθογόνο μύκητα *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Ascomycota: Hypocreales)

Πίνακας 1. Πρόσφατες βιβλιογραφικές αναφορές της χρήσης γης διατόμων εναντίον εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων.

Τάξη	Έντομο - Στόχος	Βιβλιογραφική αναφορά
Coleoptera	<i>Sitophilus oryzae</i>	Fields and Korunić, 2000; Arthur, 2002; Athanassiou et al., 2003; 2005b; 2007; 2008; 2011; Saez and Mora, 2007; Kljajic et al., 2010; Rojht et al., 2010; Sadeghi et al., 2012; Stadler et al., 2012; Nwaubani et al., 2014
	<i>Tribolium confusum</i>	Vayias and Athanassiou, 2004; Vayias et al., 2005; Athanassiou et al., 2005a; 2007; 2011; Mewis and Ulrichs, 2001
	<i>Rhyzopertha dominica</i>	Fields and Korunić, 2000; Athanassiou and Kavallieratos, 2005; 2008; Kavallieratos et al., 2005; Athanassiou et al., 2007; 2011; Vardeman et al., 2007a, 2007b; Saez and Mora, 2007; Kljajic et al., 2010; Sadeghi et al., 2012; Stadler et al., 2012; Nwaubani et al., 2014
	<i>Tribolium castaneum</i>	Fields and Korunić, 2000; Collins and Cook, 2006a; 2006b; Arnaud et al., 2005; Kljajic et al., 2010; Doumbia et al., 2014
	<i>Sitophilus graanarius</i>	Collins and Cook, 2006a; Mewis and Ulrichs, 2001; Saez and Mora, 2007
	<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	Fields and Korunić, 2000; Collins and Cook, 2006a; Sadeghi et al., 2012
	<i>Tenebrio molitor</i>	Mewis and Ulrichs, 2001
	<i>Callosobruchus maculatus</i>	Sadeghi et al., 2012



Cryptolestes ferrugineus Fields and Korunić, 2000; Saez and Mora, 2007; Sadeghi et al., 2012

Lasioderma serricorne Sadeghi et al., 2012

Sitophilus zeamais Demissie et al., 2008

Ephestia kuehniella Collins and Cook, 2006a; 2006b

Lepidoptera

Plodia interpunctella Mewis and Ulrichs, 2001



εναντίον των ειδών *S. oryzae* και *R. dominica* σε σιτάρι και αραβόσιτο (Athanassiou et al., 2008). Ο Lord (2001) απέδωσε τον συνεργισμό αυτό στις μεταβολές στη χημική σύνθεση στο δερμάτιο του εντόμου παρουσία γης διατόμων, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα των κονιδίων να προσκολληθούν, να βλαστήσουν και να διεισδύσουν στον ξενιστή. Επιπρόσθετα, σε ορισμένες περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί μια αύξηση του αριθμού των κονιδίων που προσκολλώνται στον εξωσκελετό των εντόμων παρουσία γης διατόμων (Lord, 2001, Akbar et al., 2004), χωρίς αυτό να σημαίνει όμως ότι η αυξημένη παρουσία κονιδίων στον εξωσκελετό των εντόμων παίζει κάποιον σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της συνδυασμένης εφαρμογής (Lord, 2001). Χρησιμοποιώντας μια μετασηματισμένη φυλή του μύκητα *B. bassiana* με τη χρήση του βακτηρίου *Agrobacterium* σημαίνουσα με την πράσινη φθορίζουσα πρωτεΐνη (Green Fluorescent Protein, GFP), οι Stephou et al. (2012) βρήκαν ότι ο φθορισμός του μύκητα στον εξωσκελετό των ενηλίκων των *S. oryzae* και *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) ήταν εντονότερος σε σχέση με την εφαρμογή του μύκητα μόνου του. Κατά συμπέρασμα, η προσκόλληση των κονιδίων των εντομοπαθογόνων μυκήτων παρουσία γης διατόμων αυξάνεται. Επίσης, παρουσία γης διατόμων, ο μύκητας *B. bassiana* είχε μεγαλύτερη υπολειμματικότητα (Stephou et al., 2012). Όμως, αυτό δεν ισχύει πάντα. Η αποτελεσματικότητα του μύκητα *M. anisopliae* εναντίον προνυμφών του *T. confusum* σε σιτάρι και αλεύρι δεν αυξήθηκε, πόσο μάλλον σε ορισμένες περιπτώσεις μειώθηκε παρουσία της γης διατόμων (Michalaki et al., 2006). Ανάμικτα αποτελέσματα αναφέρθηκαν επίσης όταν συνδυάστηκε η εφαρμογή του μύκητα *M. anisopliae* και της γης διατόμων εναντίον ενηλίκων των ειδών *S. oryzae* και *T. confusum* (Kavallieratos et al., 2006) ή μετά την εφαρμογή του μύκητα *Isaria fumosorosea* (Ifr) Wize [προηγουμένως *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown and Smith] (Ascomycota: Hypocreales)] μαζί με γη διατόμων εναντίον προνυμφών και ενηλίκων του εντόμου *T. confusum* και προνυμφών του *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) (Michalaki et al. 2007). Στην περίπτωση του εντομοπαθογόνου μύκητα *M. anisopliae* η παρουσία γης διατόμων στους σπόρους αύξησε σε πολλές περιπτώσεις την υπολειμματική δράση του μύκητα (Athanassiou et al., 2008). Στην ίδια μελέτη, η θνησιμότητα ενηλίκων του εντόμου *R. dominica* ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερη σε σπόρους που δέχθηκαν συνδυασμένη εφαρμογή της γης διατόμων και του μύκητα *M. anisopliae*, σε σχέση με την εφαρμογή του μύκητα μόνου του 6 μήνες μετά την εφαρμογή. Για την περίπτωση του μύκητα *B. bassiana* οι Vassilakos et al. (2006) παρατήρησαν ότι σε χαμηλές δόσεις του μύκητα, η συνδυαστική εφαρμογή γης διατόμων



δεν αύξησε την αποτελεσματικότητα του εναντίον του είδους *R. dominica*, ενώ σε υψηλές δόσεις του μύκητα η δράση του μύκητα και της γης διατόμων ήταν αθροιστική. Οι λόγοι για την αυξημένη αποτελεσματικότητα κάποιων εντομοπαθογόνων μυκήτων παρουσία γης διατόμων εναντίον εντόμων αποθηκών δεν είναι μέχρι σήμερα απολύτως κατανοητοί. Οι βασικές υποθέσεις είναι ότι παρουσία των σωματιδίων της γης διατόμων αυξάνεται η προσκόλληση των κονιδίων του μύκητα στον εξωσκελετό του εντόμου ή ότι η γη διατόμων αυξάνει την επιβίωση των κονιδίων και τη βλαστικότητά τους.

2.3. Συνδυαστική εφαρμογή γης διατόμων με συνθετικά εντομοκτόνα επαφής

Μια εναλλακτική προσέγγιση στην εφαρμογή γης διατόμων σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι η συνδυαστική εφαρμογή της με συνθετικά εντομοκτόνα επαφής. Ειδικά, εξαιτίας της υψηλής προσροφητικότητας των σωματιδίων της γης διατόμων, αυτή μπορεί να λειτουργήσει σαν φορέας για την εφαρμογή συνθετικών εντομοκτόνων σε χαμηλές δόσεις. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η συνδυαστική εφαρμογή εντομοκτόνων με διαφορετικούς τρόπους δράσης, δηλαδή την αφυδάτωση μέσω της εφαρμογής της γης διατόμων και έναν ακόμα τρόπο δράσης (π.χ. νευροτοξική δράση) ανάλογα με τον τύπο του εντομοκτόνου με το οποίο θα συνδυαστεί η γη διατόμων. Ένας σημαντικός αριθμός ερευνητικών μελετών έχουν αναφέρει μια σημαντική συνεργιστική δράση της συνδυασμένης εφαρμογής εμπορικών σκευασμάτων γης διατόμων με χημικά εντομοκτόνα. Για παράδειγμα, οι Wakil et al. (2013) ανέφεραν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας του εντόμου *R. dominica* μετά από συνδυαστική εφαρμογή σε σιτάρι, ρύζι και αραβόσιτο ενός εμπορικού σκευάσματος γης διατόμων [SilicoSec® (Biofa GmbH, Munsingen, Γερμανία)] με thiamethoxam. Και τα δύο σκευάσματα εφαρμόστηκαν σε χαμηλές δόσεις, δηλαδή 0.25, 0.5, και 0.75 ppm για το thiamethoxam και 100 ppm για το SilicoSec®. Στην ίδια λογική η συνδυασμένη δράση του εμπορικού σκευάσματος γης διατόμων Protect-It® (Hedley Technologies Inc., Mississauga, ON, Καναδάς) στη δόση των 150 ppm με χαμηλές δόσεις imidacloprid (1.25, 2.5 και 5.0 ppm) είχε σαν αποτέλεσμα υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας για διάφορα είδη εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων σε σχέση με τη εφαρμογή του κάθε εντομοκτόνου χωριστά για σχεδόν όλες τις μεταχειρίσεις, διαστήματα έκθεσης και προϊόντα (Wakil et al., 2021). Χρησιμοποιώντας ένα άλλο εμπορικό σκεύασμα γης διατόμων [Keepdry® (Irrigaçao Dias Cruz ME, Βραζιλία)] στις δόσεις των 500 και 1000 ppm σε συνδυασμό με deltamethrin σε σκόνη στις χαμηλές δόσεις των 0.5 και 1 g δραστικής ουσίας/τόνο, επιτεύχθηκε αποτελεσματικός έλεγχος του είδους *Sitophilus zeamais*



Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) σε αποθηκευμένο αραβόσιτο (Ceruti and Lazzari, 2005). Η μέθοδος αυτή της συνδυασμένης εφαρμογής του deltamethrin με γη διατόμων είχε σαν αποτέλεσμα μειωμένα υπολείμματα του χημικού εντομοκτόνου, συγκριτικά με την εφαρμογή του deltamethrin μόνου του σε μεγαλύτερες δόσεις. Σε μια άλλη σειρά βιοδοκιμών οι Awais et al. (2019, 2020) δοκίμασαν τρεις δόσεις ενός εμπορικού σκευάσματος γης διατόμων Concern (Wood Stream™ Corporation, Lititz, PA, USA) σε συνδυασμό με τους ρυθμιστές ανάπτυξης lufenuron και tebufenozide εναντίον του *T. castaneum* και του είδους-καραντίνας *Trogoderma granarium* Everts (knap beetle; Coleoptera: Dermestidae) και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συνδυασμένη χρήση γης διατόμων με ρυθμιστές ανάπτυξης είναι πολύ αποτελεσματική για τον έλεγχο των εντόμων αποθηκών. Σε μια παρόμοια μελέτη, μελετήθηκε η συνδυαστική εφαρμογή του ρυθμιστή ανάπτυξης S-methoprene και του σκευάσματος γης διατόμων Protect-It® (Arthur, 2004a). Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της βιοδοκιμής η συνδυαστική εφαρμογή είχε αθροιστική δράση και επέτρεψε τη μείωση των δόσεων των δύο εντομοκτόνων που ήταν απαραίτητες για τη μείωση των απογόνων του είδους *R. dominica* σε σχέση με την εφαρμογή του κάθε σκευάσματος ξεχωριστά. Όταν το σκεύασμα γης διατόμων SilicoSec® εφαρμόστηκε στη δόση των 25 ppm μαζί με beta-cyfluthrin στις δόσεις των 0.125 και 0.25 ppm η δράση τους ήταν συνεργιστική, τόσο εναντίον του *T. castaneum* όσο και του *S. oryzae* (Athanassiou, 2006). Σε κάποιες περιπτώσεις, το ίδιο το εντομοκτόνο σκεύασμα περιέχει τόσο την γη διατόμων όσο και τη χημική δραστική ουσία. Για παράδειγμα, ο Arthur (2004b) αξιολόγησε ένα σκεύασμα που περιείχε 0.03% deltamethrin, 0.37% piperonyl butoxide, 0.95% chlorpyrifos-methyl, 10% mineral oil και 88% γη διατόμων (Protect-It®) και διαπίστωσε ότι ήταν πολύ αποτελεσματικό στην καταπολέμηση των ειδών *S. zeamais*, *R. dominica*, *S. oryzae* και *T. castaneum* σε σιτάρι, αραβόσιτο και ρύζι, καταδεικνύοντας την δυνατότητα αξιοποίησης του συνδυασμού αυτό σε διάφορα είδη αποθηκευμένων σπόρων δημητριακών, με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Η προστασία των αποθηκευμένων προϊόντων για ένα ικανό διάστημα είναι μια σημαντική παράμετρος κατά την αποθήκευση αγροτικών προϊόντων και την εφαρμογή εντομοκτόνων για την καταπολέμηση των ήδη υπαρχόντων εντόμων αλλά και την αποφυγή νέων μολύνσεων. Η συνδυασμένη δράση γης διατόμων με άλλες δραστικές ουσίες σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να αυξήσει την υπολειμματικότητα των σκευασμάτων. Για παράδειγμα, οι Wakil et al. (2012) διαπίστωσαν αυξημένη αποτελεσματικότητα της εφαρμογής 200 ppm του σκευάσματος γης διατόμων SilicoSec® μαζί με 0.5 ppm thiamethoxam για ένα διάστημα



9 μηνών εναντίον του εντόμου *R. dominica*, συγκριτικά με την εφαρμογή του thiamethoxam μόνου του, η αποτελεσματικότητα του οποίου μειώθηκε σημαντικά 2 μήνες μετά την εφαρμογή. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν οι Korunić et al. (2010) οι οποίοι εφάρμοσαν ένα σκεύασμα που περιείχε μια χαμηλή δόση γης διατόμων σε συνδυασμό με μικρή συγκέντρωση deltamethrin και ανέφερε υψηλή υπολειμματική δράση εναντίον των ειδών *S. oryzae*, *R. dominica* και *T. castaneum* ακόμα και 12 μήνες μετά την εφαρμογή. Ομοίως, η συνδυασμένη εφαρμογή 150 ppm DEBBM (γη διατόμων + bitterbarkomycin) με 5.0 ppm imidacloprid ήταν πιο αποτελεσματική από την εφαρμογή κάθε εντομοκτόνου μόνου του για μια περίοδο 5 μηνών εναντίον όλων των ειδών εντόμων που αξιολογήθηκαν σε αποθηκευμένο σιτάρι (Wakil and Schmitt, 2015).

2.4. Συνδυαστική εφαρμογή γης διατόμων με εντομοκτόνες ουσίες φυτικής προέλευσης

Τα διάφορα φυτικά εκχυλίσματα, τα αιθέρια έλαια καθώς και άλλες ουσίες φυτικής προέλευσης έχειδειχθεί ότι μπορεί να έχουν σημαντική εντομοκτόνο δράση εναντίον σημαντικών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων (Athanassiou et al., 2014; Campolo et al., 2018). Όμως, η αξιοποίησή τους στην πράξη πολλές φορές δεν είναι τόσο αποτελεσματική λόγω της χημικής αστάθειας των ουσιών αυτών αλλά και των υψηλών δόσεων που απαιτούνται. Ο συνδυασμός αυτών των ουσιών με γη διατόμων έχει προταθεί σαν ένας τρόπος να βελτιωθεί η εντομοκτόνος δράση τους ακόμα και σε χαμηλές δόσεις και να διευρυνθεί το εύρος των συνθηκών εφαρμογής τους. Σε αυτή την κατεύθυνση, ένας σημαντικός αριθμός ερευνητικών μελετών έχουν αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα της συνδυασμένης εφαρμογής ουσιών φυτικής προέλευσης με γη διατόμων. Η ουσία bitterbarkomycin (BBM), ένα φυτικό εκχύλισμα από τις ρίζες του φυτού *Celastrus angulatus* Max (Celastraceae), είναι γνωστή για τις ισχυρές εντομοκτόνες ιδιότητες εναντίον διαφόρων ειδών εντόμων. Συγκεκριμένα, χαμηλές δόσεις της συνδυασμένης εφαρμογής της ουσίας bitterbarkomycin με γη διατόμων είχε μεγάλη αποτελεσματικότητα εναντίον των ειδών *S. oryzae*, *S. zeamais*, *T. castaneum*, *R. dominica* και *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Cucujidae) σε αποθηκευμένο σιτάρι (Athanassiou and Korunić, 2007; Athanassiou et al., 2009). Δύο γαίες διατόμων εμπλουτισμένες με αβαμεκτίνη (abamectin), μια ουσία που παράγεται από τον ακτινομύκητα *Streptomyces avermitilis* (Fisher and Mrozik, 1989), είχαν ισχυρή εντομοκτόνο δράση εναντίον διαφόρων ειδών εντόμων αποθηκών ακόμα και σε χαμηλές δόσεις (75–125 ppm) (Athanassiou and Korunić, 2007). Οι Yang et al. (2010) μελέτησαν την συνδυασμένη δράση ενός αιθερίου ελαίου του



σκόρδου, *Allium sativum* L. (Amaryllidaceae), με 250 ppm μιας γης διατόμων και ανέφεραν μια ισχυρά συνεργιστική δράση και μεγάλη αποτελεσματικότητα εναντίον του είδους *S. oryzae*. Ομοίως, οι Ziaee et al. (2014) αξιολόγησαν τη συνεργιστική/ανταγωνιστική αλληλεπίδραση του αιθερίου ελαίου του φυτού *Carum copticum* (L.) (Apiaceae) με γη διατόμων από φυσικά κοιτάσματα στο Ιράν εναντίον των ειδών *T. confusum* και *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), και συμπέραναν ότι η συνδυασμένη εφαρμογή τους είναι πολλά υποσχόμενη σε προγράμματα ολοκληρωμένης καταπολέμησης των εντόμων αποθηκών. Επιπρόσθετα, ανέφεραν ότι η εφαρμογή του αιθερίου ελαίου αύξησε την αποτελεσματικότητα της γης διατόμων μέσω της αύξησης της κινητικότητας των εντόμων διαμέσου των σπόρων που είχαν δεχθεί την εφαρμογή και στους οποίους είχαν προσκολληθεί τα σωματίδια της γης διατόμων. Ακόμα, ανέφεραν ότι η εφαρμογή της γης διατόμων μείωσε την απαραίτητη συγκέντρωση του αιθερίου ελαίου για αποτελεσματική προστασία των σπόρων. Ένα σχετικά καινούργιο εντομοκτόνο σκεύασμα [Celatom MN 23 (Celatom Diatomaceous Earth Functional Additives Technical Data Sheet, EP Minerals, Reno, NV, USA)] εμπλουτισμένο με αιθέριο έλαιο του φυτού *Anethum graveolens* L. (Apiaceae) αξιολογήθηκε από τους Korunić and Fields (2020), οι οποίοι βρήκαν ότι ήταν αποτελεσματικό εναντίον τεσσάρων ειδών εντόμων αποθηκών σε χαμηλές δόσεις εφαρμογής και με πολύ λιγότερες αρνητικές επιδράσεις στο ειδικό βάρος των σπόρων σε σχέση με την εφαρμογή γης διατόμων μόνης της. Αντίθετα, οι Campolo et al. (2014) βρήκαν ότι η συνδυασμένη δράση του αιθερίου ελαίου της φλούδας του *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae) με το σκεύασμα γης διατόμων Protector (Intrachem Bio, Grassobbio, Λομπαρδία, Ιταλία) είχε μειωμένη δράση σε σχέση με τις εφαρμογές της κάθε εντομοκτόνου ουσίας μόνη της. Τέλος, οι Paronja et al. (2020) ανέπτυξαν και αξιολόγησαν μια εμπλουτισμένη εκδοχή του σκευάσματος γης διατόμων SilicoSec® με διάφορες ουσίες φυτικής προέλευσης (αιθέριο έλαιο λεβάντας, αραβοσιτέλαιο κα) και silica gel και ανέφεραν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας και για τα τρία είδη εντόμων που δοκιμάστηκαν. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται περισσότερος πειραματισμός προκειμένου να προσδιοριστούν οι επιμέρους παράμετροι που επηρεάζουν τη συνδυασμένη εφαρμογή της γης διατόμων με ουσίες φυτικής προέλευσης και να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της συνδυασμένης εφαρμογής τους.

3. Συμπεράσματα

Με τα σημερινά δεδομένα (απόσυρση χημικών σκευασμάτων και δραστικών ουσιών, εμφάνιση ανθεκτικότητας, ανησυχία του καταναλωτικού κοινού για τα υπολείμματα στα



τρόφιμα) προβάλλει αναγκαία μια πιο ολιστική προσέγγιση στην αντιμετώπιση των εχθρών αποθηκευμένων προϊόντων, που να βασίζεται στο συνδυασμό διαφορετικών μεθόδων για τον έλεγχο των εντομολογικών προσβολών στους χώρους αποθήκευσης γεωργικών προϊόντων. Όπου η χημική καταπολέμηση αδυνατεί να δώσει λύσεις εναντίον των εντόμων αποθηκών θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων που να περιλαμβάνει την εφαρμογή της γης διατόμων. Σε αυτό το πλαίσιο κινείται και η υλοποίηση του ερευνητικού έργου DiatomiteThem, το οποίο περιλαμβάνει μια ευρεία σειρά βιοδοκιμών και πειραμάτων, που αφορούν τόσο μελέτες στο εργαστήριο, όσο και εφαρμογές σε χώρους αποθήκευσης δημητριακών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό από τη μεριά της «ΘΕΣγη».

4. Βιβλιογραφία

Akbar W., Lord J.C., Nechols J.R., Howard R.W. (2004). Diatomaceous earth increases the efficacy of *Beauveria bassiana* against *Tribolium castaneum* larvae and increases conidia attachment. *Journal of Economic Entomology* 97: 273–280.

Arnaud L., Lan H.T.T., Brostaux Y., Haubruge E. (2005). Efficacy of diatomaceous earth formulations admixed with grain against populations of *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research* 41: 121-130.

Arthur F.H. (2000). 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. (2002). Survival of *Sitophilus oryzae* (L.) on wheat treated with diatomaceous earth: impact of biological and environmental parameters on product efficacy. *Journal of Stored Products Research* 38: 305-313.

Arthur F.H. (2004a). Evaluation of methoprene alone and in combination with diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) on stored wheat. *Journal of Stored Products Research* 40: 485–498.

Arthur F.H. (2004b). Evaluation of a new insecticide formulation (F2) as a protectant of stored wheat, maize, and rice. *Journal of Stored Products Research* 40: 317–330.



Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Tsaganou F.C., Vayias B.J., Dimizas C.B., Buchelos C.Th. (2003). Effect of grain type on the insecticidal efficacy of SilicoSec against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Protection* 22: 1141-1147.

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.G., Kavallieratos N.G. (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. (2005a). 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., Economou L.P., Dimizas C.B., Vayias B.J., Tomanovic S., Milutinovic M. (2005b). 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., Kavallieratos N.G. (2005). Insecticidal effect, and adherence of PyriSec® in different grain commodities. *Crop Protection* 24: 703–710.

Athanassiou C.G. (2006). Toxicity of beta cyfluthrin applied alone or in combination with diatomaceous earth against adults of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* DuVal (Coleoptera: Tenebrionidae) on stored wheat. *Crop Protection* 25: 788–794.

Athanassiou C.G., Steenberg T. (2007). Insecticidal effect of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Ascomycota: Hypocreales) in combination with three diatomaceous earth formulations against *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Biological Control* 40: 411–416.



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., Kavallieratos N.G., Vayias B.J., Tsakiri J.B., Mikeli N.H., Meletsis C.M., Tomanović Z. (2008). Persistence and efficacy of *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes) and diatomaceous earth against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) on wheat and maize. *Crop Protection* 27: 1303–1311.

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., Kavallieratos N.G., Vayias B.J., Tomanović Z., Petrović A., Rozman V., Adler C., Korunić Z., Milovanović D. (2011). Laboratory evaluation of diatomaceous earth deposits mined from several locations in central and southeastern Europe as potential protectants against coleopteran grain pests. *Crop Protection* 30: 329–339.

Athanassiou C.G., Rani P.U., Kavallieratos N.G. (2014). The use of plant extracts for stored product protection. In *Advances in Plant Biopesticides*, Singh, D., Ed.; Springer: New Delhi, India, pp. 131–147.

Awais M., Mansoor-ul-Hasan, Sagheer M., Asif M.U., Ali Q., Zaman S. (2019). Efficacy of diatomaceous earth and insect growth regulators against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Letters*, 7: 59–67.

Awais M., Zeeshan M., Mansoor-ul-Hasan, Sagheer M., Asif M.U., Ali Q., Zaman S. (2020). Combined effect of diatomaceous earth and two insect growth regulators against *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). *Scientific Letters*, 8: 55–60.



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.

Batta Y.A. (2008). Control of main stored-grain insects with new formulations of entomopathogenic fungi in diatomaceous earth dusts. *International Journal of Food Engineering*, 4, 9.

Bridgeman B. (1998). Application technology and usage patterns of diatomaceous earth in stored product protection. *Stored-product Protection*. In *Proceedings of the Seventh International Working Conference on Stored-product Protection*, Beijing, China, 14–19 October 1998; Zuxun, J., Quan, L., Yongsheng, L., Xianchang, T., Lianghua, G., Eds.; pp. 785–789.

Campbell J.F., Arthur F.H., Mullen M.A. (2004). Insect management in food processing facilities. *Advances in Food and Nutrition Research*, 48: 240–295.

Campolo O., Romeo F.V., Malacrinò A., Laudani F., Carpinteri G., Fabroni S., Rapisarda P., Palmeri V. (2014). Effects of inert dusts applied alone and in combination with sweet orange essential oil against *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) and wheat microbial population. *Industrial Crops and Products*, 61: 361–369.

Campolo O., Giunti G., Russo A., Palmeri V., Zappalà L. (2018). Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, 2018: 6906105.

Cook D.A. (2003). The efficacy of high temperature and diatomaceous earth combinations against adults of the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and the grain weevil *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). In *Proceedings of the BCPC International Congress—Crop Science and Technology; The British Crop Protection Council*: Alton, UK, pp. 445–450.

Cook D.A., Collins D.A., Collins L.E. (2004). Efficacy of diatomaceous earths, applied as structural treatments, against stored product insects and mites. *HGCA Project Report*, 344: 50



Collins D.A., Cook D.A. (2006a). Laboratory studies evaluating the efficacy of diatomaceous earths, on treated surfaces, against stored-product insect and mite pests. *Journal of Stored Products Research*, 42: 51-60.

Collins D.A., Cook D.A. (2006b). Laboratory evaluation of diatomaceous earths, when applied as dry dust and slurries to wooden surfaces, against stored-product insect and mite pests. *Journal of Stored Products Research* 42: 197-206.

Cox P.D., Parish W.E. (1991). Effects of refuge content and food availability on refuge-seeking behavior in *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Cucujidae). *Journal of Stored Products Research*, 27: 135–139.

Ceruti F.C., Lazzari S.M.N. (2005). Combination of diatomaceous earth and powder deltamethrin for insect control in stored corn. *Revista Brasileira de Entomologia*, 49: 580–583.

Dal Bello G., Padín S., Juárez P., Pedrini N., De Giusto M. (2006). Biocontrol of *Acanthoscelides obtectus* and *Sitophilus oryzae* with diatomaceous earth and *Beauveria bassiana* on stored grains. *Biocontrol Science and Technology*, 16: 215–220.

Demissie G., Tefera T., Tadesse A. (2008). Efficacy of Silicosec, filter cake and wood ash against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on three maize genotypes. *Journal of Stored Products Research*, 44: 227-231.

Doumbia M., Douan B.G., Kwadjo K.E., Kra D.K., Martel V., Dagnogo M. (2014). Effectiveness of diatomaceous earth for control of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* and *Palorus subdepressus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Product Research*, 57: 1-5.

Ertürk S., Atay T., Toprak U., Alkan M. (2020). The efficacy of different surface applications of wettable powder formulation of Detech® diatomaceous earth against the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 89: 101725.

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.



Fisher M.H., Mrozik H. (1989). Chemistry. In Ivermectin and Abamectin; Campbell, W.C., Ed.; Springer: New York, NY, USA, pp. 1–23.

Golob P. (1997). Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. *Journal of Stored Products Research* 33: 69–79.

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.

Hagstrum D.W., Athanassiou C.G. (2019). Improving stored product insect management: From theory to practice. *Insects*, 10: 332.

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.

Kavallieratos N.G., Athanassiou C.G., Michalaki M.P., Batta Y.A., Rigatos H.A., Pashalidou F.G., Balotis G.N., Tomanović Z., Vayias B.J. (2006). Effect of the combined use of *Metarhizium anisopliae* (Metschinkoff) Sorokin and diatomaceous earth for the control of three stored-product beetle species. *Crop Protection*, 25: 1087–1094.

Kljajić P., Andrić G., Adamović M., Bodoroza-Solarov M., Marković M., Perić I., (2010). Laboratory assessment of insecticidal effectiveness of natural zeolite and diatomaceous earth formulations against three stored-product beetle pests. *Journal of Stored Products Research*, 46: 1-6.

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.

Korunić Z. (2016). Overview of undesirable effects of using diatomaceous earths for direct mixing with grains. *Pesticidi i fitomedicina*, 31: 9–18.



Korunić Z., Fields P. G., Kovacs M. I. P., Noll J. S., Lukow O. M., Demianyk C. J., Shibley K. J. (1996). The effect of diatomaceous earth on grain quality. *Postharvest Biology and Technology* 9: 373–387.

Korunić Z., Kalinovic I., Liska A., Hamel D. 2010. Long term effectiveness of the mixture of diatomaceous earth and deltamethrin on wheat. In *Proceedings of the Tenth International Working Conference on Stored Product Protection*, Estoril, Portugal, 27 June–2 July 2010, Carvalho M.O., Fields P.G., Adler C.S., Arthur F.H., Athanassiou C.G., Campbell J.F., Fleurat-Lessard F., Flinn P.W., Hodges R.J., Isikber A.A., et al., Eds., Julius-Kühn-Archiv, Berlin, Germany, pp. 857–861.

Korunić Z., Fields P. G. 2020. Evaluation of three new insecticide formulations based on inert dusts and botanicals against four stored-grain beetles. *Journal of Stored Products Research* 88: 101633.

Lord J.C. 2001. Desiccant dusts synergise the effect of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) on stored-grain beetles. *Journal of Economic Entomology* 94: 367–372.

Lord J.C. 2005. Low humidity, moderate temperature, and desiccant dust favor efficacy of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) for the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bruchidae). *Biological Control* 34: 180–186.

Loschiavo S.R. (1988). Availability of food as a factor in the effectiveness of a silica aerogel against the merchant grain beetle (Coleoptera: Cucujidae). *Journal of Economic Entomology* 81: 1237–1240.

McLaughlin A. (1994). Laboratory trials on desiccant dust insecticides. In *Stored Product Protection, Proceedings of the Sixth International Conference on Stored Product Protection*; Highley, E., Wright, E.J., Banks, H.J., Champ, B.R., Eds.; University Press: Cambridge, UK; pp. 638–645.

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.



- Michalaki M., Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G, Batta Y.A., Balotis G.N. (2006). Effectiveness of *Metarhizium anisopliae* (Metschinkoff) Sorokin applied alone or in combination with diatomaceous earth against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val: influence of temperature, relative humidity and type of commodity. *Crop Protection* 25: 418–425.
- Michalaki M. P., Athanassiou C. G., Steenberg T., Buchelos C. Th. (2007). Effect of *Paecilomyces fumosoroseus* (Wise) Brown and Smith (Ascomycota: Hypocreales) alone or in combination with diatomaceous earth against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Biological Control* 40: 280-286.
- Nayak M.K., Daglish G.J. (2018). Importance of stored product insects. In *Recent Advances in Stored Product Protection*; Athanassiou C. G. Arthur F. H., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 1–19.
- Nwaubani S.I., Opit G.P., Otitoduna G.O., Adesidaa M.A. (2014). Efficacy of two Nigeria-derived diatomaceous earths against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) on wheat. *Journal of Stored Products Research* 59: 9-16.
- Paponja I., Rozman V., Liška A. (2020). Natural formulation based on diatomaceous earth and botanicals against stored product insects. *Insects* 11: 613.
- Ramaswamy K., Vijayarangan N., Krishnaiah H.E. (2009). Insecticidal effect of *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* alone and in combination with diatomaceous earth against rice weevil (*Sitophilus oryzae*) and red flour beetle (*Tribolium castaneum*). *Journal of Pure and Applied Microbiology* 3: 637-642.
- Riasat T., Wakil W., Ashfaq M., Sahi S.T. (2011). Effect of *Beauveria bassiana* mixed with diatomaceous earth on mortality, mycosis and sporulation of *Rhyzopertha dominica* on stored wheat. *Phytoparasitica* 39: 325–331.
- Rojht H., Horvat A., Athanassiou C.G., Vayias B. J., Tomanovic Z., Trdan S. (2010). Impact of geochemical composition of diatomaceous earth on its insecticidal activity against adults of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Pest Science* 83: 429-436.



Sadeghi G.R., Pourmirza A.A., Safaralizade M.H. (2012). Lethality impact of diatomaceous earth (Sayan), bran, sawdust and clay on adult of six stored-product insects. Archives of Phytopathology and Plant Protection 45: 986-999.

Saez A., Mora V.H.F. (2007). Comparison of the desiccation effects of marine and freshwater diatomaceous earths on insects. Journal of Stored Products Research, 43: 404-409.

Schöller M., Reichmuth C. (2010). Field trials with the diatomaceous earth SilicoSec® for treatment of empty rooms and bulk grain. Julius-Kühn-Archiv 425: 899–905.

Shah M.A., Khan A.A. (2014). Use of diatomaceous earth for the management of stored-product pests. International Journal of Pest Management 60: 100-113.

Stadler T., Buteler M., Weaver D.K., Sofie S. (2012). Comparative toxicity of nanostructured alumina and a commercial inert dust for *Sitophilus oryzae* (L.) and *Rhyzopertha dominica* (F.) at varying ambient humidity levels. Journal of Stored Products Research 48: 81-90.

Stathers T.E., Denniff M., Golob P. (2004). The efficacy and persistence of DE admixed with commodity against four tropical stored product beetle pests. Journal of Stored Products Research 40: 113-123.

Stejskal V., Hubert J., Aulocky R., Kucerova Z. (2015). Overview of present and past and pest-associated risks in stored food and feed products: European perspective. Journal of Stored Products Research 64: 122–132.

Stephou V.K., Tjamos S.E., Paplomatas E.J., Athanassiou C.G. (2012). Transformation and attachment of *Beauveria bassiana* conidia on the cuticle of *Tribolium confusum* and *Sitophilus oryzae* in conjunction with diatomaceous earth. Journal of Pest Science 85: 387–394.

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.



Vardeman E.A., Arthur F.H., Nechols J.R., Campbell J.F. (2007a). Efficacy of surface applications with diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. *Journal of Stored Products Research* 43: 335-341.

Vardeman E.A., Campbell J.F., Arthur F.H., Nechols J.R. (2007b). Behavior of female *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in a mono-layer of wheat treated with diatomaceous earth. *Journal of Stored Products Research* 43: 297-301.

Vassilakos T.N., Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Vayias B.J. (2006). Influence of temperature on the insecticidal effect of *Beauveria bassiana* in combination with diatomaceous earth against *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae* on stored wheat. *Biological Control* 38: 270–281.

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., Buchelos C.T. (2006). Susceptibility of different European populations of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) to five diatomaceous earth formulations. *Journal of Economic Entomology* 99: 1899–1904.

Vayias B.J., Athanassiou C.G., Buchelos C.T. (2008). Evaluation of resistance development by *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) to diatomaceous earth under laboratory selection. *Journal of Stored Product Research* 44: 162–168.

Vrba C.H., Arai H.P., Nosal M. (1983). The effect of silica aerogel on the mortality of *Tribolium confusum* (Duval) as a function of exposure time and food deprivation. *Canadian Journal of Zoology* 61: 1481–1486.

Wakil W., Riasat T., Ghazanfar M.U., Kwon Y. J., Shaheen F. A. (2011). Aptness of *Beauveria bassiana* and enhanced diatomaceous earth (DEBBM) for control of *Rhyzopertha dominica* F. *Entomological Research* 41: 233–241.

Wakil W., Riasat T., Ashfaq M. (2012). Residual efficacy of thiamethoxam, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, and diatomaceous earth formulation against *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Pest Science* 85: 341–350.



Wakil W., Riasat T., Lord J.C. (2013). Effects of combined thiamethoxam and diatomaceous earth on mortality and progeny production of four Pakistani populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) on wheat, rice and maize. *Journal of Stored Products Research*, 52: 28–35.

Wakil W., Schmitt T. (2015). Field trials on the efficacy of *Beauveria bassiana*, diatomaceous earth and Imidacloprid for the protection of wheat grains from four major stored grain insect pests. *Journal of Stored Products Research*, 64: 160–167.

Wakil W., Schmitt T., Kavallieratos N. G. (2021). Performance of diatomaceous earth and imidacloprid as wheat, rice and maize protectants against four stored-grain insect pests *Journal of Stored Products Research*, 91: 101759.

White N.D.G., Loschiavo S. R. (1989). Factors affecting survival of the merchant grain beetle (Coleoptera: Cucujidae) and the confused flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) exposed to silica aerogel. *Journal of Economic Entomology*, 82: 960–969.

Yang F., Liang G., Xu Y., Lu Y., Zeng L. (2010). Diatomaceous earth enhances the toxicity of garlic, *Allium sativum*, essential oil against stored-product pests. *Journal of Stored Products Research*, 46: 118–123.

Ziaee M., Moharramipour S., Francikowski J. (2014). The synergistic effects of *Carum copticum* essential oil on diatomaceous earth against *Sitophilus granarius* and *Tribolium confusum*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17: 817–822.