



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**Παραδοτέο έργου Π1.3.** Έκθεση αξιολόγησης του βαθμού ανθεκτικότητας των ευρεθέντων ειδών εντόμων στα συνήθη χρησιμοποιούμενα εντομοκτόνα.

**Τύπος:** Έκθεση

**Υπο-παραδοτέο Π1.3.1.** «Επισκόπηση της βιβλιογραφίας για την ανθεκτικότητα στα ευρεθέντα είδη εντόμων παγκοσμίως»



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. Ανθεκτικότητα στην φωσφίνη	6
3. Ανθεκτικότητα στα εντομοκτόνα επαφής	15
4. Βιβλιογραφία	21



## 1. Εισαγωγικά στοιχεία

Τα έντομα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ποσοτικές απώλειες και ποιοτικές υποβαθμίσεις στα αποθηκευμένα αγροτικά προϊόντα. Έτσι, η χρήση εντομοκτόνων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση ότι υπάρχει άφθονη προσφορά τροφής. Χωρίς την χρήση εντομοκτόνων, η παγκόσμια παραγωγή και μετασυλλεκτική διαχείριση των τροφίμων θα μπορούσε να επηρεαστεί σημαντικά, μειώνοντας την τελική ποσότητα των προϊόντων που θα διατεθούν στην αγορά και αυξάνοντας παράλληλα το κόστος των τροφίμων, απειλώντας τελικά την επισιτιστική ασφάλεια σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο, η αλόγιστη χρήση τους ενέχει δυνητικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (Tilman 1999, Fantke et al. 2012). Παράλληλα, είδη εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων που έχουν αναφερθεί ως σημαντικοί εχθροί από την αρχαιότητα εξακολουθούν να αποτελούν το επίκεντρο της διαχείρισης παρασίτων παγκοσμίως και ως εκ τούτου, αποτελούν απειλή για τα τρόφιμα ειδικά όταν πληθυσμοί των ειδών αυτών εμφανίζουν ανθεκτικότητα στα εγκεκριμένα εντομοκτόνα.

Ως ανθεκτικότητα ορίζεται η γενετική (και άρα κληρονομήσιμη) αλλαγή που βοηθά τον οργανισμό και τους απογόνους του να ανεχθούν μια δόση εντομοκτόνου, η οποία διαφορετικά θα είναι θανατηφόρα για τα περισσότερα άτομα του πληθυσμού (Subramanyam και Hagstrum, 1996). Η πρώτη περίπτωση ανθεκτικότητας στα εντομοκτόνα αναφέρθηκε πριν από έναν αιώνα (Melander, 1914). Ωστόσο, οι ανθεκτικοί πληθυσμοί των εντόμων έγιναν σοβαρή απειλή μόνο μετά την εισαγωγή των συνθετικών οργανικών εντομοκτόνων τη δεκαετία του 1940. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η έρευνα σε οργανικές ενώσεις φωσφόρου (OP), όπως το pirimiphos-methyl, μαζί με τα συνθετικά πυρεθροειδή, όπως οι δραστικές ουσίες deltamethrin και cypermethrin, καθώς και η υποκαπνιστική ουσία φωσφίνη προσέλκυσαν το μεγαλύτερο μέρος του επιστημονικού ενδιαφέροντος για μελέτες ανθεκτικότητας, λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους στην προστασία αποθηκευμένων προϊόντων. Η δραστική pirimiphos-methyl αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως αντικαταστάτης της δραστικής malathion, δεδομένων των πολλών αναφορών ανάπτυξης ανθεκτικότητας σε πολλές περιοχές του κόσμου (Guedes et al., 1995) και έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς από τότε ως εντομοκτόνο επαφής και στομάχου ευρέως φάσματος (Huang and Subramanyam, 2005, Kljajic and Peric, 2007) για σιτηρά ή για ψεκασμούς επιφανειών (Collins and Nayak, 2000, Lagisz et al., 2010, Rumbos et al., 2013). Οι δραστικές ουσίες deltamethrin και



cypermethrin, επίσης ευρέως φάσματος εντομοκτόνα επαφής και στομάχου, είναι γνωστά για την αντιμετώπιση εντόμων υγειονομικής σημασίας (κουνούπια, κατσαρίδες κ.λπ.) (Limoe et al., 2012, Dusfour et al., 2015) λόγω της σχετικά χαμηλής τοξικότητάς τους σε θηλαστικά και ανθρώπους (Chrustek et al., 2018). Επιπλέον, χρησιμοποιούνται και για την αντικατάσταση παλαιότερων ή απαγορευμένων δραστικών ουσιών στην προστασία αποθηκευμένων προϊόντων (Athanassiou et al., 2004, Gourgouta et al., 2019). Η φωσφίνη είναι επί του παρόντος το πιο κοινό υποκαπνιστικό εντομοκτόνο στην προστασία αποθηκευμένων προϊόντων παγκοσμίως (Nayak et al., 2020). Η ευρεία βιομηχανική χρήση της φωσφίνης έγκειται στην ικανότητά της για εύκολη εφαρμογή και διείσδυση σε προϊόντα θανατώνοντας όλα τα στάδια ανάπτυξης των εντόμων και, παρόλο που είναι ένα εξαιρετικά δηλητηριώδες αέριο, μπορεί να αφαιρεθεί γρήγορα με αερισμό του χώρου μετά την εφαρμογή, χωρίς να αφήνει επικίνδυνα υπολείμματα στα τρόφιμα (Hagstrum and Subramanyam, 2006, Nayak et al., 2020). Ωστόσο, παρά την αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα της φωσφίνης σε ένα ευρύ φάσμα σεναρίων εφαρμογής, συνήθως παρατηρούνται αστοχίες ελέγχου των πληθυσμών εντόμων, είτε από ακατάλληλες πρακτικές υποκαπνισμού (άνιση κατανομή της φωσφίνης στον χώρο, κακή σφράγιση του χώρου, χαμηλές συγκεντρώσεις κ.λπ.) (Athanassiou et al., 2016, Agrafioti et al., 2018) είτε από την εμφάνιση ανθεκτικών πληθυσμών από διάφορα είδη (Phillips et al., 2012, Nayak et al., 2013).

Η κατανόηση της ανάπτυξης ανθεκτικότητας στα εντομοκτόνα είναι σημαντική για τον σχεδιασμό μεθόδων πρόληψης αλλά και διαχείρισης των ανθεκτικών πληθυσμών εντόμων. Ταυτόχρονα, καθώς η ανάπτυξη ανθεκτικότητας προϋποθέτει την ύπαρξη συγκεκριμένων γονιδίων που την εκφράζουν, η έρευνα πάνω στο θέμα παρέχει θεμελιώδεις γνώσεις για την εξέλιξη, τη γενετική, τη φυσιολογία και την οικολογία τόσο στα έντομα όσο και σε γενικότερο επίπεδο. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη της ανθεκτικότητας μπορεί να λάβει χώρα δυννητικά σε κάθε εντομοκτόνο, ανεξάρτητα από τον τρόπο δράσης αυτού, αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες.

Ο σχεδιασμός μεθόδων πρόληψης και διαχείρισης της ανθεκτικότητας μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της χρήσης των εντομοκτόνων, μειώνοντας παράλληλα τις αρνητικές επιπτώσεις που φέρουν και παρατείνοντας την αποτελεσματικότητά τους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στις περιπτώσεις ύπαρξης ανθεκτικών πληθυσμών εντόμων σε δεδομένο



χώρο, οι συνιστώμενες δόσεις εφαρμογής των δραστικών ουσιών δεν μπορούν να καταπολεμήσουν πλήρως το έντομο-στόχο και ως εκ τούτου, οι δόσεις ή η συχνότητα των εφαρμογών των εντομοκτόνων συχνά αυξάνονται, μεγεθύνοντάς τελικά το πρόβλημα ανθεκτικότητας. Συνεπώς, η εφαρμογή συγκεκριμένων μεθόδων διαχείρισης της ανθεκτικότητας μπορεί να αποτελέσει λύση στην μείωση των ποσοτήτων εντομοκτόνων που εφαρμόζονται στα γεωργικά προϊόντα. Η παρακολούθηση της ανάπτυξης-ύπαρξης ανθεκτικότητας σε δεδομένο χώρο μπορεί να μειώσει τις αστοχίες της απεντόμωσης λόγω της ανάδειξης των ανθεκτικών πληθυσμών εντόμων σε αυτόν. Η ύπαρξη ανθεκτικών πληθυσμών συχνά οδηγεί στην αντικατάσταση μιας δραστικής ουσίας με μια άλλη, πιο ακριβή και ίσως λιγότερο αποτελεσματική. Για παράδειγμα, ορισμένες δραστικές ουσίες θεωρούνται «εκλεκτικές» επειδή είναι ιδιαίτερα τοξικές για ορισμένα έντομα αλλά δεν επηρεάζουν τους ωφέλιμους οργανισμούς όπως τα παρασιτοειδή ή τα αρπακτικά των εντόμων-στόχων. Με χρήση μη-εκλεκτικών δραστικών ουσιών που θανατώνουν και τους ωφέλιμους οργανισμούς, διαταράσσεται ο υπάρχων βιολογικός έλεγχος των διαφόρων εντομολογικών εχθρών, γεγονός που εν τέλει αυξάνει την εξάρτηση από τα εντομοκτόνα. Από την άλλη πλευρά, η ταχεία εξάπλωση ανθεκτικών πληθυσμών εντόμων μέσω του διεθνούς εμπορίου, καθιστά απαραίτητη την περαιτέρω αξιολόγηση της ανθεκτικότητας όσον αφορά τα εντομοκτόνα που χρησιμοποιούνται σήμερα σε τοπικό αλλά και σε βιομηχανικό επίπεδο, και ταυτόχρονα τον σχεδιασμό διορθωτικών ενεργειών για την αντιμετώπισή της. Στην Ελλάδα, τα στοιχεία ύπαρξης ανθεκτικών πληθυσμών είναι λιγοστά, παρόλο που η μακροχρόνια αποθήκευση σιτηρών είναι κοινή πρακτική σε τοπικές αποθήκες και σιλό (Baliota et al., 2022). Με βάση τα ανωτέρω, στα επόμενα κεφάλαια γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση των περιπτώσεων ανθεκτικότητας που έχουν αναφερθεί παγκοσμίως στα κυριότερα από τα ευρεθέντα είδη εντόμων των αποθηκών του συνεταιρισμού (δηλ. αυτών που καταγράφηκαν κατά τις δειγματοληψίες) σε διάφορες δραστικές ουσίες.



## 1. Ανθεκτικότητα στην φωσφίνη

Η φωσφίνη χρησιμοποιείται ως υποκαπνιστικό για περισσότερο από 100 χρόνια μετά την πρώτη περιγραφή της από τον Philippe Gengembre το 1783 ως προϊόν θέρμανσης στοιχειακού φωσφόρου σε ένα διάλυμα ανθρακικού καλίου (Gengembre 1973). Ενώ η φωσφίνη έχει χρησιμοποιηθεί για την απεντόμωση χύδην εμπορευμάτων, δεν χρησιμοποιήθηκε εκτενώς μέχρι την δεκαετία του 1960 λόγω της χρήσης των λεγόμενων υγρών υποκαπνιστικών τα οποία καταργήθηκαν λόγω της νομοθεσίας (Thoms and Phillips 2004). Το αέριο παράγεται από συνθέσεις μεταλλικών φωσφιδίων, συνήθως φωσφιδίου αργιλίου (AlP) ή μαγνησίου ( $Mg_3P_2$ ), δηλ. φωσφορούχο αργίλιο και φωσφορούχο μαγνήσιο, αντίστοιχα, που περιέχουν επιπρόσθετα υλικά (αδρανή στη φύση) για τη ρύθμιση της απελευθέρωσης του αερίου. Τα στερεά υλικά είναι σταθερά όταν είναι ξηρά, αλλά αντιδρούν με νερό όπως φαίνεται στις παρακάτω αντιδράσεις για να παραχθεί η φωσφίνη, για τις ενώσεις αργιλίου και μαγνησίου (Bond 1984):



Ο υποκαπνισμός με φωσφίνη χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για την απεντόμωση των αποθηκευμένων προϊόντων, δεδομένου ότι πλεονεκτεί σε σχέση με τα εντομοκτόνα επαφής, όπως το σχετικά φθινό κόστος της, οι διαφορετικές διαθέσιμες μορφές της όπως δισκία, κουβέρτες και φακελλίσκοι όπου διευκολύνουν την εφαρμογή σε διάφορες δομές απεντόμωσης όπως σιλό, αποθήκη, στα αμπάρια τρένων και πλοίων και η άριστη αποτελεσματικότητά της εναντίον όλων των εντόμων αποθηκών, σε όλα τα στάδια ανάπτυξής τους (Kaur and Nayak, 2015). Με βάση τα παραπάνω πλεονεκτήματα, η φωσφίνη έγινε πολύ γρήγορα γνωστή για την προστασία των αποθηκευμένων προϊόντων εναντίον εντομολογικών εχθρών. Παράλληλα, η απουσία επικίνδυνων υπολειμμάτων φωσφίνης στα τρόφιμα, ίσως να είναι ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για την αλόγιστη χρήση της, με πολλές εφαρμογές κατά την αποθηκευτική περίοδο και σε πολύ υψηλές δόσεις, παράγοντες που συντέλεσαν στην παρουσία πολλών αναφορών για ανθεκτικούς πληθυσμούς σημαντικών ειδών εντόμων αποθηκών, σε όλο τον πλανήτη. Η ανθεκτικότητα στη φωσφίνη έχει καταγραφεί στις ΗΠΑ (Afful et al., 2018), την Κίνα (Song et al., 2011), την Ινδία (Rajendran et al., 1994), τη Βραζιλία (Pimentel and Guedes, 2010) και την



Αυστραλία (Nayak et al., 2013) και θεωρείται ζήτημα μείζονος σημασίας για την περαιτέρω χρήση του εντομοκτόνου στις στρατηγικές διαχείρισης εντόμων αποθηκών (Collins et al., 2005, Nayak et al., 2015, Afful et al., 2018, Nayak et al., 2020). Παραδόξως, υπάρχουν πολύ λίγες δημοσιευμένες μελέτες σχετικά με την κατάσταση της ανθεκτικότητας στη φωσφίνη στα αποθηκευμένα προϊόντα στις ευρωπαϊκές χώρες, αλλά πιο πρόσφατα δεδομένα δείχνουν την ανάπτυξη του φαινομένου της ανθεκτικότητας στη φωσφίνη και στην Ελλάδα, σε διάφορα είδη κολεοπτέρων (Champ and Dyte, 1976, Agrafioti et al., 2019, Aulicky et al., 2019, Baliota et al., 2022).

Πρόσφατες μελέτες έχουν προχωρήσει πέρα από την απλή τεκμηρίωση της παρουσίας ή της απουσίας ανθεκτικότητας στη φωσφίνη σε έναν πληθυσμό εντόμων. Με βάση τις εν λόγω έρευνες, φαίνεται να υπάρχουν σήμερα δύο γενικοί φαινότυποι ανθεκτικότητας, η «ισχυρή» ανθεκτικότητα στη φωσφίνη, δηλαδή άτομα που μπορούν να επιβιώσουν σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις φωσφίνης, και η «ασθενής» ανθεκτικότητα όπου τα έντομα θανατώνονται σε συγκεντρώσεις φωσφίνης μόλις μερικές φορές μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις που απαιτούνται για τη θανάτωση των αντίστοιχων ευαίσθητων (μη ανθεκτικών) εντόμων (Lorini et al. 2007, Opit et al. 2012, Nayak et al. 2013). Η «ισχυρή» ανθεκτικότητα στη φωσφίνη έχει βρεθεί ότι οφείλεται σε δύο γονίδια που δρουν σε συνέργεια, τα γονίδια *rph1* και *rph2*, τα οποία είναι υπεύθυνα για την έκφραση της ανθεκτικότητας των εντόμων *Rhyzopertha dominica* (F.) (Schlipalius et al., 2002, Schlipalius et al., 2008), *Tribolium castaneum* (Jagadeesan et al., 2013) και *Sitophilus oryzae* (L.) (Nguyen et al., 2015). Παρόλο που η μελέτη των υπεύθυνων γονιδίων είναι ακόμα σε αρχικό επίπεδο, η κατανόηση της ανθεκτικότητας σε γενετικό επίπεδο μπορεί να βοηθήσει στην ερμηνεία των δεδομένων από μελέτες ανθεκτικότητας και στον καλύτερο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων υποκαπνισμού με στόχο την καταπολέμηση της ανάπτυξης περαιτέρω ανθεκτικότητας στο εν λόγω εντομοκτόνο.

Τα επίπεδα ανθεκτικότητας που έχουν βρεθεί σε πληθυσμούς όλων των σημαντικών εντόμων-εχθρών των αποθηκευμένων προϊόντων στις ΗΠΑ επισημαίνουν την αναγκαιότητα για τον σχεδιασμό ενός προγράμματος παρακολούθησης της ανθεκτικότητας που μπορούν να ακολουθήσουν οι υπεύθυνοι απεντόμωσης για να λάβουν αποφάσεις σχετικά με τη εφαρμογή φωσφίνης ή όχι σε μια δεδομένη περίοδο. Η Αυστραλία εφαρμόζει με επιτυχία ένα τέτοιο πρόγραμμα παρακολούθησης της ανθεκτικότητας, και χρησιμοποιεί



τα δεδομένα για την σύσταση στρατηγικών διαχείρισης των εντομολογικών εχθρών σε τοπικό επίπεδο (Emery et al. 2011). Εάν ένα πρόγραμμα παρακολούθησης προσδιορίσει την ύπαρξη ανθεκτικών πληθυσμών σε μια δεδομένη τοποθεσία, δίνονται συστάσεις για την διόρθωση των μέχρι πρότινος μεθόδων απεντόμωσης για να διατηρηθεί η αποτελεσματικότητα της φωσφίνης εναντίον των εντόμων, όπως η σωστή σφράγιση των δομών αποθήκευσης σιτηρών για την αποφυγή διαρροής της φωσφίνης, η παρακολούθηση των συγκεντρώσεων του αερίου για την επιβεβαίωση ότι στον χώρο εφαρμόζονται αποτελεσματικές συγκεντρώσεις κ.α. (Emery et al. 2011). Από την άλλη πλευρά, αν ανιχνεύονται ανθεκτικοί πληθυσμοί σε ένα συγκεκριμένο σημείο (τοποθεσία ή αποθήκη) για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή υπάρχει υποψία «ισχυρής» ανθεκτικότητας ή υπάρχει ιστορικό ή υποψία αποτυχιών ελέγχου των εντομολογικών εχθρών με φωσφίνη, θα πρέπει να εξεταστεί η περίπτωση της πλήρους διακοπής της χρήσης φωσφίνης ως μέθοδος καταπολέμησης και εναλλαγή της με άλλη δραστική ουσία με διαφορετικό τρόπο δράσης (Opit et al. 2016). Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις αναφορές ανθεκτικών πληθυσμών ανά είδος εντόμου παρατίθενται παρακάτω.

### *Rhizopertha dominica*

Το έντομο *R. dominica*, είναι από τους πιο σοβαρούς εχθρούς αποθηκευμένων προϊόντων σε πολλές περιοχές του κόσμου. Η καταπολέμηση του εντόμου είναι δύσκολη, καθώς τα εντομοκτόνα επαφής δεν μπορούν να εισχωρήσουν στο εσωτερικό του σπόρου και να θανατώσουν την προνύμφη. Ο έλεγχος των πληθυσμών γίνεται σχεδόν εξολοκλήρου με την χρήση καπνιστικών εντομοκτόνων με καλή διαπεραστικότητα όπως η φωσφίνη σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Ωστόσο, η εκτενής εφαρμογή της φωσφίνης εναντίον του είδους για πάνω από μισό αιώνα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Ήδη από το 1973, οι 22 από τους 92 πληθυσμούς *R. dominica* που συλλέχθηκαν από 11 χώρες του κόσμου αναφέρθηκαν ως ανθεκτικοί στην φωσφίνη, στα πλαίσια έρευνας που διεξήχθη από τους Champ και Dyte (1976). Την ίδια στιγμή στην Αυστραλία, οι Attia και Greening (1981) ανέφεραν ότι οι 3 από τους 112 πληθυσμούς βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη κατά την περίοδο από το 1968 έως το 1980. Μετέπειτα αναφορές κάνουν λόγο για ανθεκτικούς πληθυσμούς *R. dominica* στο Μπαγκλαντές (Mills 1983), στην Ινδία





(Rajendran and Narasimhan 1994), την Κίνα (Ren et al. 1994) και την Αυστραλία (Collins 1998). Μελέτες στην Oklahoma των ΗΠΑ το 1990 από τους Zettler και Cuperus ανέφεραν την ύπαρξη ανθεκτικών στην φωσφίνη πληθυσμών *R. dominica* σε διάφορες αποθήκες σιτηρών στην περιοχή (Zettler and Cuperus 1990). Είκοσι δυο χρόνια αργότερα, οι Orit et al. (2012) συνέλεξαν πληθυσμούς του *R. dominica* από τις ίδιες τοποθεσίες με τους Zettler και Cuperus (1990), και διαπίστωσαν ότι η συχνότητα ανθεκτικότητας των ευρεθέντων πληθυσμών στην φωσφίνη είχε αυξηθεί κατά 100% σε σχέση με αυτή που είχε πρωτίστως μετρηθεί. Οι Afful et al., (2017) αναφέρουν ότι ανθεκτικοί πληθυσμοί *R. dominica* είναι πλέον ένα πολύ συχνό φαινόμενο στην Βόρεια Αμερική, καθότι 32 από τους 34 πληθυσμούς που συλλέχθηκαν από πέντε πολιτείες των ΗΠΑ και τρεις από τον Καναδά βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη. Παράλληλα, η ίδια έρευνα αναφέρει ότι όλοι οι πληθυσμοί από τις ΗΠΑ ήταν ανθεκτικοί ενώ σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρήθηκε και «ισχυρή» ανθεκτικότητα.

Στην Βραζιλία, και οι 19 πληθυσμοί που συλλέχθηκαν από διάφορα μέρη της χώρας κατά την περίοδο 1991 – 2003 βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη. Από αυτούς τους πληθυσμούς, οι πέντε διαγνώστηκαν με «ασθενή» ανθεκτικότητα ενώ οι υπόλοιποι με «ισχυρή» (Lorini et al., 2007). Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, οι συγγραφείς αναφέρουν ότι η ύπαρξη ανθεκτικών πληθυσμών είναι ένα γενικό φαινόμενο στην Βραζιλία και υποδεικνύουν την αναγκαιότητα της εφαρμογής στρατηγικών διαχείρισης της ανθεκτικότητας για την αποφυγή περαιτέρω μεγέθυνσης του προβλήματος. Η νεότερη καταγραφή ανθεκτικού πληθυσμού *R. dominica* στην Κίνα έγινε το 1976 (Zeng 1996). Σε επόμενες μελέτες, οι Song et al., (2011) αναφέρουν ότι και οι 16 πληθυσμοί που εξετάστηκαν από διάφορα σημεία της Κίνας βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη, ενώ από αυτούς τους πληθυσμούς, το 31,25% θεωρήθηκε να φέρει «ασθενή» ανθεκτικότητα, το 37,5% «μέτρια» και το 31,25% «υψηλή». Οι Wakil et al. (2021) αναφέρουν την καταγραφή ανθεκτικών πληθυσμών του είδους αυτού από διάφορες περιοχές του Πακιστάν, σε πρόσφατη μελέτη με σκοπό την ανάδειξη του φαινομένου της ανθεκτικότητας στη φωσφίνη στη χώρα.

Στην Ελλάδα, ελάχιστες αναφορές υπάρχουν για ανθεκτικούς πληθυσμούς του είδους. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης των Agrafioti et al. (2019) όλοι οι πληθυσμοί *R. dominica* που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της χώρας βρέθηκαν ανθεκτικοί στην



φωσφίνη. Από αυτή την μελέτη είναι φανερό ότι η ύπαρξη ανθεκτικών πληθυσμών του είδους σε προϊόντα που αποθηκεύονται σε εγκαταστάσεις στην Ελλάδα είναι ένα συχνό αλλά μάλλον παραμελημένο φαινόμενο και περαιτέρω μελέτες πρέπει να διενεργηθούν προς αυτή την κατεύθυνση.

#### *Acanthoscelides obtectus*

Παρόλο που το είδος αυτό είναι σημαντικός εχθρός των οσπρίων και κυρίως των φασολιών δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την ύπαρξη ανθεκτικών πληθυσμών. Μελέτη σχετικά με την ανοχή των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης του εντόμου σε διάφορες συγκεντρώσεις φωσφίνης έδειξε ότι οι νύμφες *A. obtectus* εμφανίζουν την μεγαλύτερη ανοχή στο εντομοκτόνο, μάλλον λόγω των χαμηλών επιπέδων αναπνευστικής δραστηριότητας (Hole et al., 1976).

Λιγοστές αντίστοιχες έρευνες υπάρχουν και για άλλα γένη της οικογένειας των Bruchidae, στις οποίες μάλιστα δεν αναφέρονται ανθεκτικοί πληθυσμοί. Για παράδειγμα, οι Ahmed et al. (2002) αναφέρουν ότι και οι 6 πληθυσμοί του *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές του Πακιστάν βρέθηκαν ευαίσθητοι σε διάφορες συγκεντρώσεις φωσφίνης, με παρόμοια ποσοστά θνησιμότητας. Ωστόσο, οι El-Lakwah et al. (1995) αναφέρουν ότι το *C. maculatus* έχει τη γενετική δυνατότητα να αναπτύξει ανθεκτικότητα στην φωσφίνη και το ίδιο πιθανώς να ισχύει και για το *A. obtectus*.

#### *Cryptolestes ferrugineus*

Το *C. ferrugineus* είναι επίσης ένα είδος με αναφορές ανθεκτικών πληθυσμών στη φωσφίνη σε διάφορες χώρες του κόσμου. Στην Βραζιλία, όλοι οι πληθυσμοί από 4 διαφορετικές περιοχές της χώρας βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη (Sartori et al., 1990). «Ισχυρή» ανθεκτικότητα έχει αναφερθεί στην Αυστραλία (Nayak et al. 2012), στο Μπαγκλαντές (Price and Mills 1988) και στην Κίνα (Yuchi et al. 2008). Αντίστοιχες έρευνες στην Τουρκία και την Ελλάδα αναφέρουν ότι πληθυσμοί του είδους με «ισχυρή» ανθεκτικότητα είναι



σύνηθες φαινόμενο στις χώρες αυτές (Kocak et al. 2018, Agrafioti et al., 2019). Οι Parasian et al. (2018) μελέτησαν τα επίπεδα ανθεκτικότητας πληθυσμών του *C. ferrugineus* που βρέθηκαν μέσα σε ποσότητες κακάο εισαγωγής από το εξωτερικό στην Ινδονησία και ανέφεραν ότι οι περισσότεροι των πληθυσμών από το Καμερούν, την Ακτή του Ελεφαντοστού και του Μπαντουνγκ ήταν ανθεκτικοί στη φωσφίνη, ενώ ο πληθυσμός της Δομινικανής Δημοκρατίας ευαίσθητος.

Η πρώτη αναφορά ανθεκτικών πληθυσμών *C. ferrugineus* στις ΗΠΑ έγινε από τους Konemann et al. (2015). Μετέπειτα έρευνες από τους Konemann et al. (2017) αναφέρουν ότι όλοι οι συλλεχθέντες πληθυσμοί *C. ferrugineus* από την Oklahoma των ΗΠΑ ήταν ανθεκτικοί με διαφορετικά επίπεδα ανθεκτικότητας, ενώ οι δυο πληθυσμοί με τα μεγαλύτερα επίπεδα ανθεκτικότητας δεν θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν πλήρως με τις συνιστώμενες δόσεις φωσφίνης. Οι ίδιοι συγγραφείς ανέφεραν ότι ο μοριακός μηχανισμός στον οποίο βασίζεται η ανθεκτικότητα του *C. ferrugineus* στη φωσφίνη πρέπει να διερευνηθεί με τρόπο παρόμοιο με αυτόν για τους αυστραλιανούς πληθυσμούς του ίδιου είδους αλλά και των *T. castaneum*, *R. dominica* και *S. oryzae*. Η αποσαφήνιση αυτών των μηχανισμών θα μπορούσε να οδηγήσει σε γρήγορες μεθόδους ανίχνευσης ανθεκτικότητας σε μοριακό επίπεδο, με σκοπό την δημιουργία καλύτερων πρωτοκόλλων διαχείρισης των ανθεκτικών πληθυσμών του *C. ferrugineus*.

#### Sitophilus spp.

Οι Wakil et al. (2021) προσδιόρισαν τα επίπεδα ανθεκτικότητας στη φωσφίνη μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικά καταναμημένων πληθυσμών του *Sitophilus granarius* (L.) στο Πακιστάν και ανέφεραν ότι οι πληθυσμοί που συλλέχθηκαν ήταν κατά 64.63 και 24.18 φορές περισσότερο ανθεκτικοί σε σχέση με τον εργαστηριακό πληθυσμό που εξετάστηκε. Οι Kocak et al. (2018) ανέφεραν ότι οι 5 από τους 26 συνολικά πληθυσμούς *S. granarius* και το 39,3% των πληθυσμών *S. oryzae* που συλλέχθηκαν σε δειγματοληψία από διάφορες περιοχές της Τουρκίας ήταν ανθεκτικοί στην φωσφίνη, με κάποιους από τους πληθυσμούς να παρουσιάζουν «ισχυρή» ανθεκτικότητα. Ωστόσο, οι ίδιοι συγγραφείς ανέφεραν ότι μεταξύ των εξετασθέντων ειδών εντόμων που συλλέχθηκαν από αποθήκες, οι πληθυσμοί του *S. granarius* είχαν πολύ λιγότερα άτομα ανθεκτικά στη φωσφίνη σε σχέση με άλλα είδη.



Παρόμοια αποτελέσματα ανέφεραν και οι Tingiř et al. (2018), αφού πάνω από το 83% των πληθυσμών που συλλέχθηκαν από δύο περιοχές της Τουρκίας ήταν ανθεκτικοί στην φωσφίνη, ενώ πάνω από το 33% αυτών είχαν πάνω από 90% ποσοστό επιβίωσης, γεγονός που υποδεικνύει την ύπαρξη «ισχυρής» ανθεκτικότητας. Οι Aulicky et al. (2019) μελέτησαν την υπάρχουσα κατάσταση ανθεκτικότητας στη φωσφίνη σε 23 πληθυσμούς *S. granarius* έπειτα από δειγματοληψίες σε αποθήκες σιτηρών της Τσεχίας, αναφέροντας ότι το 21,7% αυτών βρέθηκαν ανθεκτικοί αλλά με χαμηλά επίπεδα ανθεκτικότητας. Ο Ignatowicz (2000) ανέφερε έναν ανθεκτικό πληθυσμό *S. granarius* σε αποθήκη σιτηρών στην Πολωνία και πιο πρόσφατα, οι Pimentel et al. (2008) ανέφεραν ότι η ύπαρξη ανθεκτικότητας είναι διαδεδομένο φαινόμενο στην Βραζιλία, έπειτα από εξέταση 27 πληθυσμών του *S. zeamais* που συλλέχθηκαν από 36 τοποθεσίες σε επτά πολιτείες της χώρας. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξε και η έρευνα των Agrafioti et al. (2019), όπου οι 4 στους 6 πληθυσμούς *S. oryzae* που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της Ελλάδας βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη, με τον ένα από αυτούς να φαίνεται «ισχυρά» ανθεκτικός.

#### *Oryzaephilus surinamensis*

Οι Kocak et al. (2018) ανέφεραν ότι το 18,7% των πληθυσμών που συλλέχθηκαν σε δειγματοληψία από διάφορες περιοχές της Τουρκίας ήταν ανθεκτικοί στην φωσφίνη, με κάποιους από τους πληθυσμούς να παρουσιάζουν «ισχυρή» ανθεκτικότητα. Οι Gautam et al. (2020) αναφέρουν ότι 4 από τους 14 συλλεχθέντες πληθυσμούς ακμαίων ατόμων *O. surinamensis* και 9 από τους 14 πληθυσμούς ωών του είδους ήταν ανθεκτικοί στην φωσφίνη, έπειτα από δειγματοληψία σε διάφορες περιοχές της Βόρειας Αμερικής. Οι Agrafioti et al. (2019), αναφέρουν ότι το 50% των πληθυσμών που συλλέχθηκαν από την Ελλάδα ήταν ανθεκτικοί στην φωσφίνη. Οι Pimentel et al. (2008) ανέφεραν για πρώτη φορά την ύπαρξη ανθεκτικών πληθυσμών *O. surinamensis* στην Βραζιλία και μάλιστα, κάποιιοι από τους συλλεχθέντες πληθυσμούς είχαν «ισχυρή» ανθεκτικότητα. Οι ίδιοι συγγραφείς σε μια προσπάθεια να εξηγήσουν την ύπαρξη διαφορετικών επιπέδων ανθεκτικότητας μεταξύ των πληθυσμών, αναφέρουν κάποια πιθανά σενάρια εμφάνισης αυτού του φαινομένου, όπως η λάθος εφαρμογή του εντομοκτόνου στις αποθήκες από όπου ελήφθησαν τα δείγματα, η γρήγορη ανάπτυξη των ανθεκτικών πληθυσμών μιας αποθήκης λόγω της ύπαρξης ευνοϊκών



συνθηκών σε σχέση με έναν άλλο πληθυσμό / αποθήκη, οι αποθηκευτικοί χώροι πιθανώς να μην πληρούσαν τις προδιαγραφές για την σωστή εφαρμογή της φωσφίνης ή οι συγκεντρώσεις της φωσφίνης στον χώρο δεν παρακολουθούνταν κατά τον υποκαπνισμό κ.α., με συνέπεια την ανομοιόμορφη κατανομή της φωσφίνης στο προϊόν ή/και την χαμηλή θνησιμότητα των πληθυσμών-στόχων, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονταν υψηλότερες δόσεις φωσφίνης, αυξάνοντας την πίεση για ανάπτυξη ανθεκτικότητας. Όλες οι παραπάνω παράμετροι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο πλαίσιο του σχεδιασμού μιας στρατηγικής διαχείρισης της ανθεκτικότητας, καθ' όσον το είδος αυτό, πέραν των δημητριακών, είναι σημαντικός εχθρός και σε άλλα αποθηκευμένα τρόφιμα υψηλής αξίας, όπως τα αποξηραμένα φρούτα.

#### *Tribolium* spp. και *Latheticus oryzae*

Ενώ μελέτες της δεκαετίας μεταξύ 1980-1990 αναφέρουν ότι μόλις ένας στους επτά πληθυσμούς *T. castaneum* σε αποθηκευμένο σιτάρι στην Oklahoma (ΗΠΑ) βρέθηκε ανθεκτικός στην φωσφίνη, πρόσφατη μελέτη αναφέρει ότι τουλάχιστον οι μισοί από τους 25 πληθυσμούς που συλλέχθηκαν από την Florida, το Texas και την California βρέθηκαν ανθεκτικοί (Cato et al. 2017). Ο Zettler (1991) αναφέρει ότι το 18% των ατόμων από 17 πληθυσμούς *T. confusum* και το 46% των ατόμων από 28 πληθυσμούς *T. castaneum* που συλλέχθηκαν από διάφορα μέρη των ΗΠΑ ήταν ανθεκτικοί στην φωσφίνη. Ο ίδιος ερευνητής αναφέρει επίσης ότι οι πληθυσμοί *T. castaneum* ήταν πιο ανθεκτικοί από το συγγενικό τους είδος. Άλλη έρευνα αναφέρει ότι 48% των συλλεχθέντων πληθυσμών από διάφορες περιοχές της Βόρειας Αμερικής ήταν ανθεκτικοί (Afful et al., 2017), ενώ οι Aulicky et al. (2019) μελετώντας την υπάρχουσα κατάσταση ανθεκτικότητας στη φωσφίνη σε 8 πληθυσμούς έπειτα από δειγματοληψίες σε αποθήκες σιτηρών της Τσεχίας, ανέφεραν την ύπαρξη 87,5% ανθεκτικών πληθυσμών με διαφορετικούς βαθμούς ανθεκτικότητας. Στην Αυστραλία, οι Attia και Greening (1981) αναφέρουν ότι οι 11 από τους 90 πληθυσμούς *T. castaneum* και οι 2 από τους 7 πληθυσμούς *T. confusum* βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη κατά την περίοδο από το 1968 έως το 1980, ενώ ο Emery (1993) ανέφερε ότι κανένας από τους συλλεχθέντες πληθυσμούς του *T. confusum* και μόνο το 17.1% των πληθυσμών του *T. castaneum* ήταν ανθεκτικό στην φωσφίνη κατά την περίοδο 1991-1992.



Πιο πρόσφατες μελέτες των Nayak et al. (2017) αναφέρουν μια ανησυχητική αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης «ισχυρής» ανθεκτικότητας του *T. castaneum* κατά την περίοδο από το 2009 έως το 2013. Όλοι οι πληθυσμοί *T. castaneum* που συλλέχθηκαν από τους Wakil et al. (2021) από διάφορες περιοχές του Πακιστάν, βρέθηκαν ανθεκτικοί στην φωσφίνη, με διαφορετικά όμως επίπεδα ανθεκτικότητας. Ανθεκτικοί πληθυσμοί και των δυο ειδών την Ιταλία έχουν αναφερθεί από τους Savoldelli και Süß (2008). Αναφορές για ανθεκτικούς πληθυσμούς *Latheticus oryzae* Waterhouse δεν υπάρχουν μέχρι στιγμής, δεδομένου ότι το είδος είτε δεν βρίσκεται συχνά σε αποθηκευμένα προϊόντα είτε λανθασμένα συγχέεται με τα συγγενικά και παρόμοια μορφολογικά είδη του γένους *Tribolium*.

#### *Plodia interpunctella* και *Ephestia elutella*

Σε δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης και επεξεργασίας αμυγδάλων στην California από τους Gautam et al. (2016) βρέθηκε ότι τα ποσοστά ανθεκτικότητας στην φωσφίνη στα αυγά του εντόμου *Plodia interpunctella* (Hübner) κυμαίνονταν από 4 έως 20%, ενώ οι αντίστοιχες προνύμφες θεωρήθηκαν ευαίσθητες στο εντομοκτόνο, σύμφωνα με την ίδια έρευνα. Οι Zettler et al. (1989) είχαν ήδη αναφέρει ποσοστά ανθεκτικότητας από 2–24% σε προνύμφες *P. interpunctella* που συλλέχθηκαν από εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσιτικών το 1989, στις ΗΠΑ. Μεταγενέστερες μελέτες στη Βόρεια Αμερική τόνισαν την αύξηση στην συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών πληθυσμών *P. interpunctella*. Παρόλο που δεν υπάρχουν πολλές αναφορές για ανθεκτικούς πληθυσμούς του είδους σήμερα, τόσο το *P. interpunctella* όσο και άλλα λεπιδόπτερα-εχθροί των αποθηκευμένων προϊόντων, όπως τα *Ephestia elutella* (Hübner), *E. kuehniella* Zeller και *E. cautella* (Walker) είχαν αναφερθεί ως ανθεκτικοί στο σχετικά παραπλήσιο με την φωσφίνη, υποκαπνιστικό εντομοκτόνο methyl bromide, δηλ. το βρωμιούχο μεθύλιο (Jemâa and Limam, 2013), γεγονός που υποδηλώνει σαφώς την ενδεχόμενη δυνατότητα των ειδών αυτών στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας και στην φωσφίνη.



## 2. Ανθεκτικότητα στα εντομοκτόνα επαφής

Μετά την εισαγωγή των συνθετικών οργανικών εντομοκτόνων τη δεκαετία του 1940, όπως το DDT, οι πρώτες αναφορές για κρούσματα ανθεκτικότητας στο DDT επιβεβαιώθηκε στις οικιακές μύγες ήδη από το 1947. Στη συνέχεια, με την εισαγωγή νέων δραστικών ουσιών, όπως οι δραστικές που ανήκαν στα κυκλοδιένια, οργανοφωσφορικά, καρβαμιδικά, φορμαμιδίνες, πυρεθροειδή, *Bacillus thuringiensis*, σπινουσίνες και νεονικοτινοειδή, εμφανίστηκαν και περιπτώσεις ανάπτυξης ανθεκτικότητας περίπου 2 έως 20 χρόνια μετά την εισαγωγή τους εναντίον των σημαντικότερων ειδών εντόμων αποθηκών. Ως αποτέλεσμα των συνεχών και αλόγιστων εφαρμογών των εντομοκτόνων με την πάροδο του χρόνου, τα έντομα ανέπτυξαν ανθεκτικότητα, καθιστώντας την καταπολέμησή τους όλο και πιο δύσκολη. Μέχρι και σήμερα, ο βαθμός ανθεκτικότητας αλλά και η συχνότητα των ατόμων που είναι ανθεκτικά στα εντομοκτόνα μέσα σε έναν δεδομένο πληθυσμό αυξάνονται ακόμη περισσότερο και τα προβλήματα καταπολέμησης συνεχίζουν να επιδεινώνονται, λόγω των κληρονομήσιμων χαρακτηριστικών ανθεκτικότητας και της εντατικής και επαναλαμβανόμενης εφαρμογής των ίδιων δραστικών ουσιών (Champ and Dyte 1976). Αρκετές αναφορές υπάρχουν στην βιβλιογραφία σχετικά με ανθεκτικούς πληθυσμούς σημαντικών εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων στα εντομοκτόνα επαφής, όπως αναφέρονται παρακάτω.

### *Rhyzopertha dominica*

Αρκετές είναι οι αναφορές ανθεκτικότητας του είδους σε διάφορες περιοχές του πλανήτη και για διάφορες δραστικές ουσίες. Για παράδειγμα, οι Brun και Attia (1983) αναφέρουν ανθεκτικούς πληθυσμούς του είδους στις δραστικές malathion και fenitrothion, έπειτα από δειγματοληψία σε διάφορες αποθήκες και μύλους στην Νέα Καληδονία (Γαλλική αποικία στον Ειρηνικό). Αντίστοιχες έρευνες υποστηρίζουν την ύπαρξη ανθεκτικότητας τόσο σε αυτές όσο και σε άλλες δραστικές που ανήκουν στα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα όπως οι pirimiphos-methyl και chlorpyrifos-methyl (Majeed et al., 2015).

Ο Champ (1979) αναφέρει ανθεκτικό πληθυσμό στην δραστική bioresmethrin στην Αυστραλία, δραστική ουσία που συγκαταλέγεται στην κατηγορία των πυρεθρινοειδών. Οι



Lorini και Galley (1999), ανέφεραν διαφορετικά ποσοστά ανθεκτικότητας μεταξύ δέκα πληθυσμών *R. dominica* που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της Βραζιλίας στην δραστική deltamethrin, με δύο από αυτούς τους πληθυσμούς να παρουσιάζουν «ισχυρή» ανθεκτικότητα στην δραστική, ενώ μόνο ένας φάνηκε να είναι ευαίσθητος. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν πρόσφατα και οι Ortega et al. (2021), όπου ανέφεραν ανθεκτικότητα στην ίδια δραστική σε πληθυσμούς από διάφορες περιοχές της Κολομβίας. Αντίστοιχες έρευνες πραγματοποιήθηκαν και από τους DGLISH και Nayak (2018) και από τους Majeed et al. (2015), όπου αναφέρουν ανθεκτικούς πληθυσμούς σε Αυστραλία και αλλού.

Οι Chen και Chen (2013) πραγματοποίησαν μελέτη για την ευαισθησία πληθυσμών του *R. dominica* που συλλέχθηκαν σε αποθήκες ρυζιού από όλη την Ταϊβάν στις δραστικές deltamethrin και spinosad. Από τις εν λόγω βιοδοκιμές, φάνηκε ότι ο πιο ανεκτικός πληθυσμός *R. dominica* που συλλέχτηκε ήταν 63,8 φορές πιο δύσκολο να καταπολεμηθεί με deltamethrin από τον λιγότερο ανεκτικό πληθυσμό, υποδηλώνοντας την ύπαρξη ανθεκτικότητας. Αντιθέτως, δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στην ευαισθησία στο spinosad μεταξύ και των 16 πληθυσμών που συλλέχθηκαν για τον ίδιο σκοπό. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι η δυσκολία καταπολέμησης του *R. dominica* με εφαρμογή του deltamethrin στα κεντρικά, νότια και ανατολικά της χώρας υποδηλώνει ότι η χρήση νέων εντομοκτόνων είναι απαραίτητη για τον έλεγχο αυτού του είδους, ενώ το spinosad, που βρέθηκε να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στους ίδιους πληθυσμούς, θα μπορούσε να είναι μια πιθανή εναλλακτική.

#### *Acanthoscelides obtectus*

Κατά γενικό κανόνα, δεν υπάρχουν αναφορές για ανθεκτικούς πληθυσμούς του *A. obtectus* μέχρι σήμερα. Για παράδειγμα, οι Jumbo et al. (2015) ανέφεραν ότι όλοι οι συλλεχθέντες πληθυσμοί του είδους από διάφορες περιοχές της Βραζιλίας βρέθηκαν ευαίσθητοι σε τέσσερις δραστικές επαφής από διαφορετικές κατηγορίες εντομοκτόνων, τις deltamethrin (πυρεθρινοειδή), thiametoxam (νεονικοτινοειδή), spinosad (σπινοςίνες) and indoxacarb (οξαδιαζίνες). Από την άλλη πλευρά ωστόσο, ο Evans (1985) αναφέρει ανθεκτικό πληθυσμό *C. maculatus* στις δραστικές malathion και lindane στην Ουγκάντα από το 1985, στοιχεία





που υποδηλώνουν ότι ανθεκτικοί πληθυσμοί *A. obtectus* μπορεί να υπάρχουν σε αποθήκες αλλά δεν έχουν αναφερθεί έως σήμερα.

#### *Cryptolestes ferrugineus*

Μελέτη σε 38 πληθυσμούς του είδους που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές του Καναδά και των ΗΠΑ κατά την περίοδο από το 1982-1984 ανέφερε ότι κανένας δεν εμφανίστηκε ως ανθεκτικός στο malathion (White και Loschiavo, 1985). Από την άλλη πλευρά, άλλη έρευνα που διεξήχθη σε 60 αποθήκες σιτηρών στο Darling Downs του Queensland (Αυστραλία) κατά την περίοδο 1977-78, αναφέρθηκε ότι ενώ κάποιοι από τους πληθυσμούς *C. ferrugineus* ήταν ευαίσθητοι στη δραστική fenitrothion, οι ίδιοι ήταν ανθεκτικοί στο malathion (Sinclair και Bengston, 1990). Σε πρόσφατες έρευνες από τους Madhumathi et al. (2000) και από τους Chakraborty και Madhumathi (2020), οι περισσότεροι των πληθυσμών που συλλέχθηκαν από διάφορες αποθήκες στην περιοχή Andhra Pradesh της Ινδίας αναφέρθηκαν ως ανθεκτικοί στο malathion, αλλά και στις δραστικές deltamethrin και dichlorvos, με τους συγγραφείς να αναφέρουν ότι οι συγκεκριμένοι πληθυσμοί δεν μπορούσαν να καταπολεμηθούν με εφαρμογές των δυο εντομοκτόνων. Έρευνες για την ανίχνευση ανθεκτικότητας σε πληθυσμούς *C. ferrugineus* από αποθήκες και καταστήματα σιτηρών στο Ηνωμένο Βασίλειο κατά την περίοδο 1987-89, βρέθηκαν ανθεκτικοί πληθυσμοί στα οργανοφωσφορικά malathion, fenitrothion και etrimfos (Prickett et al. 1990).

#### *Sitophilus* spp.

Οι πρώτες αναφορές για ανθεκτικούς πληθυσμούς του γένους *Sitophilus* υπάρχουν ήδη από την δεκαετία του 1950 και έπειτα, σε παγκόσμια κλίμακα. Ενδεικτικά, ανθεκτικοί πληθυσμοί *S. oryzae* στα εντομοκτόνα DDT, lindane, dieldrin, deltamethrin, malathion, chlorpyrifos-methyl και carbaryl έχουν βρεθεί στην Αυστραλία, στην Κολομβία, στο Περού, στην Αγγλία, την Μοζαμβίκη, στο Ισραήλ, στην Ινδία, στο Νεπάλ και αλλού (Champ and Cribb 1965, FAO Survey 1972-73, Navarro et al. 1981, Binns, 1983). Αντίστοιχα, ανθεκτικοί πληθυσμοί του *S. zeamais* στα DDT, lindane, malathion, bromophos, phoxim,



bendiocarb και carbaryl έχουν αναφερθεί στην Βραζιλία, στις Φιλιππίνες, στην Γουατεμάλα, στην Παπούα Νέα Γουινέα, στην Κίνα και στην Αυστραλία (Mello, 1972, Morallo-Rejesus 1972, FAO Survey 1972-73, Wang and Ku 1982). Τέλος, για το *S. granarius* αναφορές για ανθεκτικότητα στα DDT, lindane, dieldrin, bioresmethrin, deltamethrin, malathion και diazinon έχουν γίνει στον Καναδά, στην Βραζιλία, στην Αργεντινή, στην Χιλή, στην Αγγλία, στην Ελλάδα, στην Νότια Αφρική, στην Αυστραλία και αλλού (Kumar and Morrison 1965, FAO Survey 1972-73, Holborn 1957).

Ο Evans (1985) αναφέρει έναν ανθεκτικό πληθυσμό του *S. zeamais* στην δραστική malathion στην Ουγκάντα από το 1985. Ωστόσο με βάση την ίδια μελέτη, άλλες δραστικές που ανήκουν στην κατηγορία των οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων φάνηκε να είναι αποτελεσματικές εναντίον του ίδιου πληθυσμού, υποδηλώνοντας ότι η ανθεκτικότητα αναφέρεται μόνο στην συγκεκριμένη δραστική ουσία. Η πρώτη αναφορά «ισχυρής» ανθεκτικότητας του *S. zeamais* στις δραστικές lindane και malathion στο Μεξικό έγινε από τον Perez-Mendoza, το 1999. Στην ίδια έρευνα, αναφέρθηκε ότι οι πληθυσμοί που συλλέχθηκαν από τις αποθήκες έδειξαν χαμηλά έως μέτρια επίπεδα ανθεκτικότητας στο DDT, μέτρια έως υψηλά επίπεδα αντοχής στη lindane, χαμηλά έως υψηλά επίπεδα αντοχής στο malathion και χαμηλά επίπεδα ανθεκτικότητας στις δραστικές pirimiphos-methyl, deltamethrin και permethrin.

#### *Oryzaephilus surinamensis*

Αναφορές για ανθεκτικούς πληθυσμούς τόσο του *O. surinamensis* αλλά και του συγγενικού του είδους *Oryzaephilus mercator* (Fauvel) έχουν γίνει για τις δραστικές εντομοκτόνες ουσίες DDT, lindane, bioresmethrin, malathion, bromophos, carbaryl και dioxacarb στην Αυστραλία, στις ΗΠΑ, στην Βραζιλία, στην Αγγλία, στην Κύπρο, στην Τουρκία, στο Ιράν, στο Ισραήλ, στην Ινδία, στην Κίνα, στην Ιαπωνία, στην Καραϊβική, στην Σαρδηνία, στην Σενεγάλη, στην Κένυα, στην Μοζαμβίκη, στην Μποτσουάνα, στην Τζαμάικα και αλλού (FAO Survey 1972-73, Dyte et al. 1975, Heather and Wilson 1983).

Σε έρευνες για την ανίχνευση ανθεκτικότητας σε διάφορα οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα σε πληθυσμούς *O. surinamensis* από αποθήκες και καταστήματα σιτηρών στο Ηνωμένο



Βασίλειο κατά την περίοδο 1987-89, βρέθηκε ανθεκτικότητα στις δραστικές malathion, fenitrothion, pirimiphos-methyl, chlorpyrifos-methyl, etrimfos και methacrifos (Prickett et al. 1990). Οι Brun και Attia (1983) αναφέρουν ανθεκτικούς πληθυσμούς του είδους στις δραστικές malathion, fenitrothion και lindane, έπειτα από δειγματοληψία σε διάφορες αποθήκες και μύλους στην Νέα Καληδονία. Το 1993, οι Collins et al. αναφέρουν υψηλά ποσοστά «ισχυρής» ανθεκτικότητας στην δραστική fenitrothion από όλους τους πληθυσμούς *O. surinamensis* που συλλέχθηκαν από αποθήκες και από περισσότερο από τους μισούς πληθυσμούς που συλλέχθηκαν από φάρμες στο Queensland της Αυστραλίας. Παράλληλα, η ίδια έρευνα αναφέρει ανθεκτικότητα και στο chlorpyrifos-methyl, από πληθυσμούς που συλλέχθηκαν από την ίδια περιοχή, με τους συγγραφείς να αναφέρουν ότι τα ποσοστά ήταν τόσο υψηλά που ήταν ικανά να οδηγήσουν σε αποτυχημένες απεντομώσεις στις εγκαταστάσεις αυτές.

#### *Tribolium* spp.

Πολλές είναι οι αναφορές ανθεκτικότητας σε διάφορες δραστικές ουσίες από όλο τον κόσμο για τα *T. castaneum* και *T. confusum*. Ενδεικτικά, ανθεκτικοί πληθυσμοί των δύο ειδών στα DDT, lindane, dieldrin, aldrin, bioallethrin, malathion, benoxafos, arprocarb, methoprene, piperonyl butoxide, tributyltinacetate και diflubenzuron έχουν βρεθεί στην Αυστραλία, στην Ινδία, στην Νιγηρία, στις ΗΠΑ, στον Καναδά, στην Αγγλία, στην Μαλαισία, στην Σενεγάλη και σε διάφορες άλλες περιοχές (Kumar and Morrison 1965, Parkin and Bright 1965, Vincent and Lindgren 1967, Champ and Campbell-Brown 1970, Speirs et al. 1971, Bhatia et al. 1971, FAO Survey 1972-73, Lloyd et al. 1975, Carter et al. 1975, Lloyd et al. 1975, Dyte 1976, Amos et al. 1977, Lloyd and Ruczkowski 1980, Hoppe 1981, Attia 1984).

Οι Brun και Attia (1983) αναφέρουν ανθεκτικούς πληθυσμούς του είδους στις δραστικές lindane και malathion, έπειτα από δειγματοληψία σε διάφορες αποθήκες και μύλους στην Νέα Καληδονία. Ο Evans (1985) αναφέρει ανθεκτικό πληθυσμό *T. castaneum* στην δραστική malathion στην Ουγκάντα από το 1985. Ωστόσο με βάση την ίδια μελέτη, άλλες δραστικές που ανήκουν στην κατηγορία των οργανοφωσφορικών εντομοκτόνων φάνηκε να είναι αποτελεσματικές εναντίον του ίδιου πληθυσμού, υποδηλώνοντας ότι η ανθεκτικότητα αναφέρεται μόνο στην συγκεκριμένη δραστική ουσία. Ανθεκτικοί πληθυσμοί του *T.*



*castaneum* στο malathion αναφέρθηκαν και στην Ταϊβάν από τους Caliboso et al. (1986), ενώ το 87% των δειγμάτων εντόμων του ίδιου είδους που συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της Ινδονησίας αναφέρθηκε ως ανθεκτικό στην ίδια δραστική από τους Osman και Morallo-Rejesus (1981). Ανθεκτικοί πληθυσμοί *T. castaneum* στη δραστική pirimiphos-methyl αλλά ευαίσθητοί στη cypermethrin αναφέρθηκαν πολύ πρόσφατα και στην Αίγυπτο από τους Attia et al. (2020), έπειτα από δειγματοληψίες σε διάφορες αποθήκες σιτηρών στην περιοχή της Αλεξάνδρειας την περίοδο μεταξύ Ιουνίου-Αυγούστου 2017. Όπως και στην περίπτωση της φωσφίνης, δεν υπάρχουν δεδομένα για ανθεκτικούς πληθυσμούς *Latheticus oryzae* προς το παρόν.

#### *Plodia interpunctella* και *Ephestia elutella*

Μελέτες ανθεκτικότητας στα εντομοκτόνα σε πληθυσμούς *P. interpunctella* στις ΗΠΑ πραγματοποιήθηκαν από τους Champ και Dyte (1976), οι οποίοι προέβλεψαν ότι μια συστηματική αναζήτηση θα αποκάλυπτε την ύπαρξη ανθεκτικότητας σε αυτό το είδος και σε άλλες περιοχές. Περαιτέρω μελέτες αναφέρθηκαν στην υψηλή πιθανότητα ανάπτυξης ανθεκτικότητας σε άγριους πληθυσμούς και της *Ephestia cautella* (συγγενικό είδος με την *E. elutella*). Στις αρχές του 1974 ξεκίνησαν έρευνες για τον έλεγχο της ευαισθησίας των ειδών *P. interpunctella*, *E. cautella* και *E. kuehniella* στο malathion, με συνέπεια μέχρι και τον Ιανουάριο του 1975 να έχουν αναφερθεί πολλοί ανθεκτικοί πληθυσμοί. Οι προνύμφες τελευταίου σταδίου από όλα τα είδη βρέθηκαν να είναι ανθεκτικές σε διάφορα οργανοχλωριωμένα και οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα (Attia 1976, Attia 1977). Επόμενες έρευνες από τους Attia et al. (1979) ανέφεραν ότι στα περισσότερα δείγματα που συλλέχθηκαν στη Νέα Νότια Ουαλία, το 1974- 1977, ανιχνεύθηκε ανθεκτικότητα στο DDT και στη dieldrin. Από την ίδια έρευνα προέκυψε ότι η ανθεκτικότητα στο malathion ήταν ευρέως διαδεδομένη στους πληθυσμούς *P. interpunctella* και *E. cautella*, ενώ η ανθεκτικότητα στην δραστική fenitrothion σε αυτά τα είδη ήταν σε μικρότερη κλίμακα. Παράλληλα, ανθεκτικότητα στο malathion διαγνώστηκε και στους πληθυσμούς *E. kuehniella* (Attia et al. 1979). Ανθεκτικοί πληθυσμοί *Plodia interpunctella* στα DDT, στο malathion αλλά και σε διάφορα πυρεθρινοειδή εντομοκτόνα αναφέρθηκαν και σε άλλες περιοχές της Αυστραλίας, καθώς και στην Κένυα, στην Νιγηρία, στην Αργεντινή και στην



Νότια Αφρική (La Hue 1969, Attia 1977, 1981, Zettler et al. 1973, Armstrong and Soderstrom 1975, Attia et al. 1979, Beeman et al. 1982, Cogan 1982).



### 3. Βιβλιογραφία

Agrafioti P., Athanassiou C.G., Nayak M.K. (2019). Detection of phosphine resistance in major stored-product insects in Greece and evaluation of a field resistance test kit. *Journal of Stored Product Research*, 82: 40–47.

Agrafioti P., Athanassiou C., Sotiroudas V. (2018). Lessons learned for phosphine distribution and efficacy by using wireless phosphine sensors. In *Proceedings of the 12th international Working Conference on Stored Product Protection, Berlin, Germany, 7–11 October 2018*.

Afful E., Elliott B., Nayak M.K., Phillips T.W. (2018). Phosphine resistance in north american field populations of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Economic Entomology*, 111: 463–469.

Ahmed S., Ahsan Khan M., Ahmad N. (2002). Determination of susceptibility level of phosphine in various strains of Dhora (*Callosobruchus maculatus* F.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 1560–8530/2002/04–3–329–331.

Amos T.G., Williams P., Semple R.L. (1977). Susceptibility of malathion-resistant strains of *Tribolium castaneum* and *T. confusum* to the insect growth regulators methoprene and hydroprene. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 22: 289–293.

Athanassiou C.G., Papagregoriou A.S., Buchelos C.T. (2004). Insecticidal and residual effect of three pyrethroids against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored wheat. *Journal of Stored Product Research*, 40: 289–297.

Athanassiou C.G., Rumbos C.I., Sakka M., Sotiroudas V. (2016). Insecticidal efficacy of phosphine fumigation at low pressure against major stored-product insect species in a commercial dried fig processing facility. *Crop Protection*, 90: 177–185.

Attia F., Greening H. (1981). Survey of resistance to phosphine in coleopterous pests of grain and stored products in New South Wales. *General and Applied Entomology: The Journal of the Entomological Society of New South Wales*, 13: 93–97.  
<https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.230139958425759>



Attia F.I. (1977). Insecticide resistance in *Plodia interpunctella* (HUBner) (Lepidoptera: Pyralidae) in New South Wales, Australia. *Journal of the Australian Entomological Society*, 16: 149-152.

Attia F. (1981). Insecticide resistance in pyralid moths of grain and stored products. *General and Applied Entomology*, 13, 3-8.

Attia F., Shipp E., Shanahan G.J. (1979). Survey of insecticide resistance in *Plodia interpunctella* (HUBner), *Ephestia cautella* (Walker) and *E. kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) in New South Wales. *Journal of the Australian Entomological Society*, 18: 67-70.

Attia M.A., Wahba T.F, Shaarawy N, Moustafa F.I, Guedes R.N.C, Dewar Y. (2020) Stored grain pest prevalence and insecticide resistance in Egyptian populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) and the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Stored Products Research*, 87: 101611.

Aulicky R., Stejskal V., Frydova B. (2019) Field validation of phosphine efficacy on the first recorded resistant strains of *Sitophilus granarius* and *Tribolium castaneum* from the Czech Republic. *Journal of Stored Products Research*, 81: 107-113.

Baliota G.V., Lampiri E., Batzogianni E.N., Athanassiou C.G. (2022). Insecticidal effect of four insecticides for the control of different populations of three stored-product beetle species. *Insects*, 13: 325. <https://doi.org/10.3390/insects13040325>

Bhatia S.K., Yadav T.D., Mookhetjee P.B. (1971). Malathion resistance in *T. castaneum* in India. *Journal of Stored Products Research*, 7: 227-230.

Beeman R.W., Speirs W.E., Schmidt B.A. (1982). Malathion resistance in Indian meal moths (Lepidoptera: Pyralidae) infesting stored corn and wheat in the North-Central United States. *Journal of Economic Entomology*, 75: 950-954

Binns T.J. (1983). Evaluation of insecticides against a malathion-resistant and a susceptible strain of the rice weevil, *Sitophilus oryzae*. *Supplement to Annals of Applied Biology*, 102: 30-31.



Bond E.J. (1984). Resistance of stored product insects to fumigants. Proceedings of the 3rd International Working Conference on Stored-Product Entomology. Manhattan, Kansas, U.S.A., 303-307.

Brun L.O., Attia F.I. (1983). Resistance to lindane, malathion and fenitrothion in coleopterous pests of stored products in New Caledonia. Proceedings of the Hawaiian Entomological Society, 24: 211-215.

Carter S.W., Chadwick P.R., Wickham J.C. (1975). Comparative observations on the activity of pyrethroids against some susceptible and resistant stored product beetles. Journal of Stored Products Research, 11: 135-142.

Cato A.J., Elliott B., Nayak M.K., Phillips T.W. (2017). Geographic variation in phosphine resistance among North American populations of the red flour beetle. Journal of Economic Entomology, 110: 1359–1365.

Caliboso F.M., Sayaboc P.D., Amoranto M.R. (1986). Pest problems and the use of pesticides in grain storage in the Philippines. Pesticides and humid tropical grain storage systems: proceedings of an international seminar, Manila, Philippines, 27-30 May 1985. ACIAR Proceedings pp. 17-29.

Chakraborty D., Madhumathi T. (2020). Present scenario of insecticide resistance in Rusty Grain Beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) to Malathion and Deltamethrin in Andhra Pradesh, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 9: 4180-4188.

Champ B.R., Dyte C.E. (1976). Report of the FAO Global survey of pesticide susceptibility of stored grain pests. Food and Agriculture Organisation, Rome.

Chen C., Chen M. (2013). Susceptibility of field populations of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.), to deltamethrin and spinosad on paddy rice in Taiwan. Journal of Stored Products Research, 55: 124-127.

Chrustek A., Hołynska-Iwan I., Dziembowska I., Bogusiewicz J., Wróblewski M., Cwynar A., Olszewska-Słonina D. (2018). Current research on the safety of pyrethroids used as insecticides. Medicina, 54, 61.





Cogan P.M. (1982). A method for the rapid detection of malathion resistance in *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) with further records of resistance. *Journal of Stored Products Research*, 18: 121-124.

Collins P.J., Lambkin T.M., Bridgeman B.W., Pulvirenti C. (1993) Resistance to Grain-Protectant Insecticides in Coleopterous Pests of Stored Cereals in Queensland, Australia. *Journal of Economical Entomology*, 86: 239-245.

Collins P.J. (1998). Resistance to grain protectants and fumigants insect pests of stored products in Australia, pp. 55-57. In H. J. Banks, E. J. Wright, and K.A. Damcevski (eds.), *Stored Grain in Australia, Proceedings of the Australian Post-harvest Technical Conference, Canberra, 26-29 May 1998*. CSIRO Entomology, Canberra, Australia

Collins P.J., Daghli G.J., Pavic H., Kopitke R.A. (2005). Response of mixed-age cultures of phosphine-resistant and susceptible strains of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, to phosphine at a range of concentration and exposure periods. *Journal of Stored Product Research*, 41: 373-385.

Collins P.J., Nayak M.K., Kopitke R. (2000). Residual efficacy of four organophosphate insecticides on concrete and galvanized steel against three liposcelid psocid species (Psocoptera: Liposcelidae) infesting stored products. *Journal of Economical Entomology*, 93, 1357-1363.

Daghli G.J., Nayak M.K. (2018). Prevalence of resistance to deltamethrin in *Rhyzopertha dominica* (F.) in eastern Australia. *Journal of Stored Products Research*, 78: 45-49.

Dusfour I., Zorrilla P., Guidez A., Issaly J., Girod R., Guillaumot L., Robello C., Strode C. (2015). Deltamethrin resistance mechanisms in *Aedes aegypti* populations from three French overseas territories worldwide. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 9: 0004226.

Dyte C.E., Forster R., Aggarwal S. (1975). The rust-red flour beetle; Resistance to juvenile hormone mimics. *Pest Infestation Control Laboratory Report, 1971-73*, 78, 79.

Dyte C.E. (1976). In: Champ, B.R., and Dyte, C.E. 1976, Report of the FAO Global Survey of Pesticide Susceptibility of Stored Grain Pests. FAO Plant Production and Protection Series, No. 5. Rome, FAO. 207.



Emery R.N., Nayak M.K., Holloway J.C. (2011). Lessons learned from phosphine resistance monitoring in Australia. *Stewart Postharvest*, 7: 1–8.

Emery R.N. (1993). A Western Australian farm survey for phosphine-resistant grain beetles. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Working Conference on Stored-product Protection*.

El-Lakwah F.A., Khattab M.M., Rady G.H., Halawa Z.A. (1995). Selection of the cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) for resistance to phosphine, carbon dioxide and their mixture in the laboratory and biological observations on the resistant strains. *Annual Agriculture Science*, 33: 843–63.

Evans N.J. (1985). The effectiveness of various insecticides on some resistant beetle pests of stored products from Uganda. *Journal of Stored Products Research*, 21: 105-109, [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(85\)90030-X](https://doi.org/10.1016/0022-474X(85)90030-X).

FAO Survey, 1972-73. In: Champ, B.R., and Dyte, C.E. 1976. Report of the FAO Global Survey of Pesticide Susceptibility of Stored Grain Pests. *FAO Plant Production and Protection Series*, No. 5. Rome, FAO.

Fantke P, Friedrich R, Jolliet O. (2012). Health impact and damage cost assessment of pesticides in Europe. *Environmental Int*, 49:9–17

Gautam S.G., Opit G.P., Konemann C., Shakya K., Hosoda E. (2020). Phosphine resistance in saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* in the United States. *Journal of Stored Product Research*, 89: 101690.

Gautam S.G., Opit G.P., Hosoda E. (2016). Phosphine resistance in adult and immature life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) populations in California, *Journal of Economic Entomology*, 109: 2525–2533. <https://doi.org/10.1093/jee/tow221>

Gengembre M. (1783). Mémoire sur un nouveau gas obtenu, par l'action des substances alkalines, sur le phosphore de Kunckel. *Mém. Math. Phys.* 10, 651–58.

Gourgouta M., Rumbos C.I., Athanassiou C.G. (2019). Residual toxicity of a commercial cypermethrin formulation on grains against four major storage beetles. *Journal of Stored Product Research*, 83: 103–109.



Guedes R.N.C., Lima J.O.G., Santos J.P., Cruz C.D. (1995). Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Product Research*, 31, 145–150.

Hagstrum D.W., Subramanyam B. (2006). *Fundamentals of Stored-Product Entomology*; AACC International: St. Paul, MN, USA, pp. 1–323. 21.

Heather N.W., Wilson D., (1983). Resistance to fenitrothion in *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) in Queensland, *Journal of the Australian Entomological Society*, 22, 210.

Holborn J.M. (1957). The susceptibility to insecticide of laboratory cultures of an insect species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 8: 182-188.

Hoppe T. (1981). Testing of methoprene in resistant strains of *Tribolium castaneum* (Herbst) (CoL, Tenebrionidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 91, 241-251.

Hole B.D., Bell C.H., Mills K.A., Goodship G. (1976). The toxicity of phosphine to all developmental stages of thirteen species of stored product beetles. *Journal of Stored Product Research*, 12: 235-244.

Huang F., Subramanyam B. (2005). Management of five stored-product insects in wheat with pirimiphos-methyl and pirimiphos-methyl plus synergized pyrethrins. *Pest Management Science*, 61, 356–362.

Jagadeesan R, Fotheringham A, Ebert P.R., Schlipalius D.I. (2013). Rapid genome wide mapping of phosphine resistance loci by a simple regional averaging analysis in the red flour beetle, *Tribolium castaneum*. *BMC Genomics*, 14: 650.

Jemâa J.M.B., Limam E.E. (2013) Fumigation resistance in two moth pests infesting stored dates in Tunisia. *Tunisia-Japan Symposium on Science, Society and Technology (TJASSST 2013)*, November 15-18, 2013. Hammamet, Tunisia, pp. 70-73.

Jumbo L., Haddi K., Silva S., Oliveira E. (2015). Potential use of four different insecticides to control *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae) in Brazil.



Kaur R., Nayak M. K. (2015). Developing effective fumigation protocols to manage strongly phosphine-resistant *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae). *Pest Management Science*, 71: 1297–1302.

Kljajic P., Peric I. (2007). Effectiveness of wheat-applied contact insecticides against *Sitophilus granarius* (L.) originating from different populations. *Journal of Stored Product Research*, 43, 523–529.

Kocak E., Yilmaz A., Alpkent Y.N., Bilginturan S. (2018) Phosphine resistance of rusty grain beetle *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) populations in Turkey. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXI, Issue 1, ISSN 2285-5785, 286-290.

Koçak E., Yılmaz A, Alpkent Y.N, Ertürk S. 2018. Phosphine resistance to some coleopteran pests in stored grains across Turkey. *Integrated Protection of Stored Products IOBC-WPRS Bulletin* Vol. 130, pp. 303-310

Konemann C.E., Opit P., Gautam S.G., Bajracharya N. S., Shakya K. (2015). Levels of phosphine resistance in rusty grain beetles, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae), from stored wheat in Oklahoma, pp. 461–467. In *Proceedings of the 11th International Working Conference on Stored-Product Protection*, 24–28 November, Chiang Mai, Thailand. DOI: 10.14455/DOA.res.2014.75.

Konemann C.E., Hubhachen Z., Opit G. P., Gautam S., Bajracharya N.S. (2017) Phosphine Resistance in *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) Collected From Grain Storage Facilities in Oklahoma, USA, *Journal of Economic Entomology*, 110, 1377–1383.

Kumar V., Morrison E.O. (1965). Recording the susceptibility levels of current stored product pest populations to current insecticides. *Proceedings of the 12th International Congress of Entomology*, 1964, London, 656, 657.

Lagisz M., Wolff K., Port G. (2010). Time matters: Delayed toxicity of pirimiphos-methyl on *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) and its effects on efficacy estimation of residual treatments. *Journal of Stored Product Research*, 46, 161–165.



Limoe M., Davari B., Moosa-Kazemi S.H. (2012). Toxicity of pyrethroid and organophosphorous insecticides against two field collected strains of the german cockroach *Blattella germanica* (Blattaria: Blattellidae). *Journal of Arthropod Diseases*, 6: 112–118.

Lorini I., Collins P.J., Daglish, G.J., Nayak M.K., Pavic H. (2007). Detection and characterization of strong resistance to phosphine in Brazilian *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Management Science*, 63: 358–364.

Lorini I., Galley D.J. (1999). Deltamethrin resistance in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae), a pest of stored grain in Brazil. *Journal of Stored Products Research*, 35: 37-45.

Lloyd C.J., Rowlands D.G., Ruczkowski G. (1975). Incidence of resistance in the United Kingdom. The rust-red flour beetle. Resistance to synthetic pyrethroids. *Pest Infestation Control Laboratory Report*, 1971-73,81,82.

Lloyd C.J., Ruczkowski G.E. (1980). The cross-resistance to pyrethrins and eight synthetic pyrethroids of an organophosphorus-resistant strain of the rust-red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst). *Pesticide Science*, 11: 331-340.

Madhumathi T., Subbaratnam G.V., Murthy M.L.N., Jayaraj S. (2000). Insecticide resistance in *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera : Cucujidae) in Andhra Pradesh. *Pest Management and Economic Zoology*, 8: 5-10.

Majeed M.Z., Mehmood T., Javed M., Sellami F., Riaz M.A., Afzal M. (2015) Biology and management of stored products' insect pest *Rhyzopertha Dominica* (Fab.)(Coleoptera: Bostrychidae) *Int. J. Biosci.*, 7, 78-93

Melander, A.L. (1914). Can insects become resistant to sprays? *Journal of Economic Entomology*, 7, 167–173.

Mello E.J.R. (1972). Constatacao de resistencia ao DDT e lidane em *Sitophilus oryzae* (L.) em milho , armazenado, na localidade de Capinopolis, Minas Gerais. Report Instituto Biologico de Sao Paulo, Brazil.



Mills K.A. (1983). Resistance to the fumigant hydrogen phosphide in some stored product species associated with repeated inadequate treatments. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Entomol.* 4: 98-101.

Morallo-Rejesus B. (1972). Survey of Philippine populations of rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) for resistance to insecticides. 3rd Annual Intensified Corn Production Conference, University of the Philippines College of Agriculture, Philippines.

Nayak M.K., Darglish, G.J., Phillips T.W., Ebert P.R. (2020). Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective. *Annual Review of Entomology*, 65, 333–350.

Nayak M.K., Darglish G.J., Phillips T.W. (2015). Managing resistance to chemical treatments in stored products pests. *Stewart Postharvest Review*, 1, 3.

Nayak M.K., Collins P.J., Holloway J.K., Emery R.N., Pavic H., Bartlett J. (2013). Strong resistance to phosphine in the rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae): Its characterization, a rapid assay for diagnosis and its distribution in Australia. *Pest Management Science*, 69, 48–53

Navarro S., Shaaya E., Carmi Y., Kashanchi Y. (1981). Resistance to malathion of stored-product insects in Israel. Progress Report for the Year 1979/80 of the Stored Products Division, Ministry of Agriculture, Bet Dagan. Israel, p. xv.

Nguyen T.T., Collins P.J., Ebert P.R. (2015). Inheritance and characterization of strong resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* (L.). *PLoS One*, 10, 0124335

Opit G.P., Phillips T.W., Aikins M.J., Hasan M.M. (2012). Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. *Journal of Economic Entomology*, 105: 1107–1114.

Opit G.P., Thoms E., Phillips T.W., Payton M.E. (2016). Effectiveness of sulfuryl fluoride fumigation for the control of phosphine-resistant grain insects infesting stored wheat. *Journal of Economic Entomology*, 109: 930–941.

Ortega D.S., Bacca T., Silva A.P.N., Canal N.A., Haddi K. (2021) Control failure and insecticides resistance in populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae)



from Colombia. *Journal of Stored Products Research*, 92: 101802, <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101802>.

Osman N., Morallo-Rejesus B. (1981). Evaluation of resistance to malathion and pirimiphos-methyl in strains of *Tribolium castaneum* (Herbst) collected in Indonesia. *Pertanika* 4, 3034.

Parasian F., Trisyono A., Martono E., (2018). Resistance of *Ahasverus advena* and *Cryptolestes ferrugineus* to phosphine on imported cocoa beans from Cameroon, Ivory Coast, and Dominican Republic. *Journal of Perlindungan Tanaman Indonesia* 22: 2. <https://doi.org/10.22146/jpti.25769>

Parkin E.A., Bright P.E. (1965). Increased resistance of stored product insects of insecticides. Cross-resistance of malathion-resistant flour beetles. *Pest Infestation Research*, 1964, 34.

Perez-Mendoza J. (1999) Survey of insecticide resistance in Mexican populations of maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (coleoptera: curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 35, 107-115.

Phillips T.W., Thoms E.M., Demark J., Walse D.S. (2012). Fumigation. In *Stored Product Protection*; Hahstrum, D.W., Phillips, T.W., Cuperus, G., Eds.; Kansas State University: Manhattan, KS, USA, Chapter 14.

Pimentel M.A.G., Faroni L.R.A., Batista M.D., deSilva F.H. (2008). Resistance of stored-product insects to phosphine. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 43: 1671-1676.

Pimentel M.A.G., Guedes R.N.C. (2010). Spread of phosphine among Brazilian populations of three species of stored products insects. *Neotropical Entomology*, 39, 101–107.

Price L.A., Mills K.A. (1988). The toxicity of phosphine to the immature stages of resistant and susceptible strains of some common stored-product beetles and implications for their control. *Journal of Stored Product Research*, 24: 51–59.

Prickett A.J., Muggleton J., Llewellyn J.A. (1990) Insecticide resistance in populations of *Oryzaephilus surinamensis* and *Cryptolestes ferrugineus* from grain stores in England and Wales. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases*, 3: 1189-1194.



Rajendran S., Narasimhan K.S. (1994). Phosphine resistance in the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) and overcoming control failures during fumigation of stored tobacco. *Pest Management Science*, 40, 207–210.

Rajendran S., Narasimhan K.S. (1994). The current status of phosphine fumigations in India, pp. 148–152. In E. Highley, E. J. Wright, H. J. Banks, and B. R. Champ (eds.), *Stored Products Protection, Proceeding of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection*, 17-23 April 1994, Canberra. CAB, Wallingford, UK.

Ren Y.L., O'Brien I.G., Whittle G.P. (1994). Studies on the effect of carbon dioxide in insect treatment with phosphine, pp. 173–177. In E. Highley, E. J. Wright, H. J. Banks and B. R. Champ (eds.), *Stored Products Protection, Proceeding of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection*, 17-23 April 1994. Canberra, CAB, Wallingford, UK.

Rumbos C.I., Dutton A.C., Athanassiou C.G. (2013). Comparison of two pirimiphos-methyl formulations against major stored-product insect species. *Journal of Stored Product Research*, 55, 106–115.

Sartori M.R., Pacheco I., Vilar R.M.G. (1990). Phosphine resistance in stored-grain insects in Brazil, pp. 1041–1050. In: Fleurrat-Lessard F., Ducom P. (eds.), *Proceedings of the 5th International Working Conference on Stored-Product Protection*, September 9–14, 1990, Bordeaux, France. Imprimerie du Médoc, Bordeaux, France, 1991.

Savoldelli S., Süss L. (2008). Preliminary investigations about tolerance to phosphine in *Tribolium* strains (Coleoptera; Tenebrionidae) in Italy. *Integrated Protection of Stored Products IOBC/wprs Bulletin*, 40: 313-317.

Schlipalius D.I., Cheng Q., Collins P., Nguyen T., Reilly P., Ebert P.R. (2008). Gene interactions constrain the course of evolution of phosphine resistance in the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*. *Heredity*, 100: 506-516

Schlipalius D.I., Cheng Q., Reilly P.E.B., Collins P.J., Ebert P.R. (2002). Genetic linkage analysis of the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* identifies two loci that confer high-level resistance to the fumigant phosphine. *Genetics*, 161: 773-782.





Sinclair E.R., Bengston M. (1980) The frequency of *Cryptolestes* spp. in grain in south-east Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 20: 234 – 239.

Subramanyam B., Hagstrum D.W. (1996). Resistance Measurement and Management In: Subramanyam, B.; Hagstrum, D.W. *Integrated Management of Insects in Stored Products*, New York: Marcel Dekker, 331-397.

Song X., Wang P., Zhang H. (2011). Phosphine resistance in *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae) from different geographical populations in China. *African Journal of Biotechnology*, 10: 16367-16373

Thoms E.M., Phillips T., (2004). Fumigation. In *Handbook of Pest Control*, ed. Shedges, pp. 1164–216. Mallis, OH: GIE Media. 9th ed.

Tilman D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proc Nat Acad Science*, 96:5995–6000

Tingiş A, Işıkber A.A, Sağlam O, Bozkurt H, Doğanay I.S. (2018). Screening of phosphine resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) (Rice Weevil) populations in Turkey. 12<sup>th</sup> International Working Conference on Stored Product Protection (IWCSPP) in Berlin, Germany, October 7-11, 2018.

Vincent L.E., Lindgren D.L. (1967). Susceptibility of laboratory and field collected cultures of the confused flour beetle and red flour beetle to malathion and pyrethrins. *Journal of Economic Entomology*, 60: 1763-1764.

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>

Wang S.C, Ku T.Y. (1982). Status of maize weevil resistance to insecticides in Taiwan. *Plant Protection Bulletin, Taiwan*, 24, 59-68.

White N.D.G., Loschiavo S.R. (1985). Testing for malathion resistance in field-collected populations of *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and factors affecting reliability of the tests. *Journal of Economic Entomology*, 78: 511–515. <https://doi.org/10.1093/jee/78.3.511>



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.

Zettler L.J. (1991). Pesticide Resistance in *Tribolium castaneum* and *T. confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) from flour mills in the United States, *Journal of Economic Entomology*, 84: 763–767.

Zeng L. (1996). The advance of phosphine resistance in stored grain insects (in Chinese with English abstract). *Natural Enemies of Insects* (supplement), 18: 37-41.

Zettler J.L., Halliday W.R., Arthur F.H. (1989). Phosphine resistance in insects infesting stored peanuts in the Southeastern United States. *Journal of Economic Entomology*, 82: 1508–1511.