



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΦΥΤΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΤΟΜΩΝ ΑΠΟΘΗΚΩΝ ΣΕ ΟΠΤΙΚΑ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΑ ΣΕ
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ**



Μπαλιώτα Β. Γεωργία

Νέα Ιωνία, 2020

**Ανταπόκριση Εντόμων Αποθηκών Σε Οπτικά Ερεθίσματα Σε Συνάρτηση
Με Βιολογικές Παραμέτρους**

Μπαλιώτα Β. Γεωργία

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αθανασίου Γ. Χρήστος

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Παπαδόπουλος Νικόλαος

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καρκάνης Ανέστης

Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Copyright © ΜΠΑΛΙΩΤΑ ΓΕΩΡΓΙΑ, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό.

Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Αθανασίου Γ. Χρήστου. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με τον συγκεκριμένο κλάδο, την πολύτιμη βοήθειά του για να έρθει εις πέρας το πείραμα της παρούσας μελέτης, καθώς και για την εμπιστοσύνη του στους χώρους του εργαστηρίου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Παπαδόπουλο Νικόλαο και κ. Καρκάνη Ανέστη, για την συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και για το χρόνο που διέθεσαν για την διόρθωση και για τις παρατηρήσεις της διατριβής μου.

Στις ευχαριστίες μου θα ήταν παράληψη να μην συμπεριλάβω και την υποψήφια διδάκτορα Σακκά Μαρία καθώς και τον διδάκτορα Cohnstaedt Lee, όπου οι πληροφορίες τους, η βοήθειά τους και η συμβολή τους στην διεξαγωγή της εργασίας ήταν ανεκτίμητη.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες στην οικογένειά μου για την στήριξη και την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, αξιολογήθηκε η ανταπόκριση των *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) και *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), σε οπτικά ερεθίσματα. Ταυτόχρονα, αξιολογήθηκε η επίδραση άλλων παραγόντων στην επιλογή της εκάστοτε φωτεινής πηγής όπως το φύλο του εντόμου, η ύπαρξη του ενός ή και των δυο φύλων στο ίδιο χώρο, η αναπαραγωγική κατάσταση του εκάστοτε ατόμου (συζευγμένα ή μη άτομα) και η ύπαρξη ή μη τροφής στον χώρο. Καθότι είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στη φωσφίνη μπορεί να σχετίζεται με διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς, τα οποία μπορούν να επιφέρουν σημαντικές διαφορές στην κινητικότητα του εντόμου, χρησιμοποιήθηκαν δυο πληθυσμοί για το κάθε είδος (ανθεκτικός και ευαίσθητος στην φωσφίνη) στις εργαστηριακές βιοδοκιμές.

Τέσσερα LED φωτάκια (EPIGAP Optronic GmbH Koepenicker str., Berlin, Germany) χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της ανταπόκρισης των εντόμων στα οπτικά ερεθίσματα. Πιο συγκεκριμένα, LED φωτάκι με μήκος κύματος 400 νανόμετρων (UV), LED με μήκος κύματος 460 νανόμετρων (Μπλε), LED με μήκος κύματος 505 νανόμετρων (Πράσινο) και LED με μήκος κύματος 660 νανόμετρων (Κόκκινο), τοποθετήθηκαν σε πλαστικά δοχεία, τα οποία ενσωματώθηκαν σε κατασκευή από διάφανο ακρυλικό πλαστικό (αρένα). Η αρένα τοποθετήθηκε σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, με σταθερή θερμοκρασία 25 °C και 55 % Σχετική Υγρασία (ΣΥ), σε συνθήκες σκότους. Η προτίμηση των εντόμων καταγραφόταν 24 ώρες μετά την τοποθέτησή τους στην αρένα.

Με γνώμονα τα αποτελέσματα της παρούσας ερευνητικής μελέτης, το UV LED θεωρήθηκε ως το φως με την μεγαλύτερη προσέλκυση ατόμων του *L. serricorne*, ανεξαρτήτως φύλου, ανθεκτικότητας ή ύπαρξης τροφής στην αρένα. Μεγάλη επίδραση φαίνεται να έχει η παρουσία τροφής στην προσέλκυση του ανθεκτικού πληθυσμού του *T. castaneum* από τις διαφορετικές φωτεινές πηγές. Ειδικότερα, τα περισσότερα άτομα βρέθηκαν κοντά στο UV και Red LED, με ποσοστά που ανήλθαν στο 36 και 24 %, αντίστοιχα, με απουσία τροφής, ενώ

μόνο το 20 και 15 % βρέθηκε κοντά στα ίδια LED όταν στην αρένα υπήρχε αλεύρι. Αντιθέτως, ο ευαίσθητος πληθυσμός του είδους, βρέθηκε σε μεγαλύτερο ποσοστό κοντά στο Μπλε LED και στο κέντρο της αρένας (27 % και στις δυο περιπτώσεις). Γενικά, η ανταπόκριση του *L. serricornis* ήταν πιο ισχυρή σε σχέση με το *T. castaneum*, ανεξάρτητα από τα χρώματα που αξιολογήθηκαν.

Συμπερασματικά, η παρούσα ερευνητική εργασία υποδεικνύει ότι παράγοντες όπως το μήκος κύματος φωτός, το είδος, το φύλο και η αναπαραγωγική κατάσταση του εντόμου, η ύπαρξη ανθεκτικών στην φωσφίνη ατόμων και η παρουσία τροφής στον περιβάλλοντα χώρο, είναι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τον φωτοτροπισμό των εντόμων αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων. Η εύρεση και η αξιολόγηση τέτοιων παραγόντων μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω για τη σχεδίαση αποτελεσματικότερων παγίδων που βασίζονται στον θετικό φωτοτροπισμό, τόσο για την καταπολέμηση όσο και για την ορθότερη εκτίμηση του πληθυσμού ενός εντόμου στον χώρο και το προϊόν.

ABSTRACT

Laboratory studies were conducted to evaluate the behavior of the cigarette beetle, *Lasioderma serricornis* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) and the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), towards specific light stimuli. At the same time, the influence of other factors, such as the insect sex, the simultaneous presence of both sexes, the occurrence of mated or unmated adults, the presence or absence of food and the resistance to the fumigant phosphine, was also evaluated. As it is known that the development of phosphine resistance may be related to different patterns of behavior, which can cause significant differences in insect mobility, two populations of each species (susceptible and resistant to phosphine) were used in laboratory bioassays.

Four LED lights (EPIGAP Optronic GmbH Koepenicker str., Berlin, Germany) were used to evaluate the response of insects to the visual cues provided by the light. More specifically, LED lights with a wavelength of 400 nanometers (UV), 460 nanometers (Blue), 505 nanometers (Green) and of 660 nanometers (Red), were placed in plastic containers, which were incorporated in a structure made of transparent acrylic plastic (arena). The arena was placed in a chamber under controlled conditions, at a temperature of 25 °C and 55 % relative humidity (RH), in continuous darkness. The preference of the adults was recorded 24 h after their release to the arena.

Based on the results, UV LED was considered as the most favorable intensity for attracting the majority of the adults of *L. serricornis*, regardless of sex, resistance to phosphine or food inside the arena. The presence of food seems to have a great effect on attracting the resistant population of *T. castaneum*. In particular, the majority of adults, were found near the UV and Red LED, with rates of 36 and 24% respectively in the absence of food, while only 20 and 15% were found near the same LED, when there was flour in the arena. On the contrary, the susceptible population of the species was found in a larger percentage near the Blue LED and in the center of the arena (27% in both cases).

In conclusion, the present study suggests that factors such as light wavelength, species, sex and reproductive status of the insect, the presence of phosphine-resistant individuals and food, are factors that can alter the phototactic behavior of the tested species here, at the adult stage. Finding and evaluating such factors is of great importance for designing more effective traps based on positive phototaxis, both for the control of the species, or for a better estimation of insect populations in storage and processing facilities, based on trap captures.

Εγώ, η Μπαλιώτα Β. Γεωργία, είμαι ο συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής. Αυτή η μεταπτυχιακή διατριβή, αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή ή μεταπτυχιακή διατριβή ή ως μέρος διδακτορικής διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής, δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης, έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, έχουν τηρηθεί από την κα. Μπαλιώτα Β. Γεωργία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Φωτοτροπισμός και Έντομα	1
1.1.1. Ποιος ο σκοπός του φωτοτροπισμού στην φύση.....	1
1.1.2. Πως τα έντομα αντιλαμβάνονται το φως.....	3
1.2. Κύριοι εχθροί αποθηκευμένων προϊόντων.....	8
1.2.1. Έντομο αποθηκών	8
1.2.2. Κυριότερα είδη εντόμων αποθηκών	9
1.3. Αντιμετώπιση εντόμων αποθηκών	19
1.3.1. Η αναγκαιότητα της απεντόμωσης στις αποθήκες σήμερα.....	19
1.3.2. Πρακτικές απεντόμωσης	20
1.3.3. Εφαρμογή τροπισμών σε παγίδες ως μέθοδος απεντόμωσης	22
1.3.4. Καπνογόνα ως κύρια μέθοδος απεντόμωσης στις αποθήκες.....	25
1.3.5. Ανθεκτικότητα στην φωσφίνη	26
1.4. Χρήση φωτεινών παγίδων ως μέθοδος καταπολέμησης	27
1.5. Σκοπός της παρούσας μελέτης.....	29
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	31
2.1. Είδη εντόμων	31
2.2. Κατασκευή αρένας.....	33
2.3. Αξιολόγηση της επιλογής	36
2.4. Στατιστική ανάλυση.....	37
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	38
3.1. <i>Lasioderma serricorne</i>	38
3.2. <i>Tribolium castaneum</i>	48
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	59
Ξένη βιβλιογραφία.....	59

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Φωτοτροπισμός και Έντομα

1.1.1. Ποιος ο σκοπός του φωτοτροπισμού στην φύση

Η έλξη των εντόμων προς το φως (θετικός φωτοτροπισμός) είναι ένα πολύ γνωστό φαινόμενο, το οποίο είχε ήδη αναφερθεί από την εισαγωγή του φωτισμού σε εξωτερικούς χώρους κατοικημένων περιοχών (Claypole, 1885). Με την έννοια 'φωτοτροπισμός', ορίζουμε τον προσανατολισμό και στη συνέχεια την ανακλαστική μετατόπιση ('θετική' όταν υπάρχει έλξη ή 'αρνητική' όταν υπάρχει απώθηση) των εντόμων υπό την επίδραση δεδομένου φωτεινού ερεθίσματος. Σήμερα, εκτενής έρευνα έχει πραγματοποιηθεί σχετικά με τις επιπτώσεις που έχει ο τεχνητός εξωτερικός φωτισμός στα οικοσυστήματα, αφού είναι πλέον γνωστό ότι τα πολυπληθή φώτα των κατοικημένων περιοχών (φωτορύπανση) έχουν ισχυρό αντίκτυπο στα έντομα (Rich and Longcore, 2006). Παρόλα αυτά, ο ακριβής μηχανισμός αντίδρασης των εντόμων στα φωτεινά ερεθίσματα του περιβάλλοντος δεν έχει αποσαφηνιστεί εξ ολοκλήρου. Μελέτες που επικεντρώθηκαν στην αναζήτηση παραγόντων που καθορίζουν την ελκυστικότητα μιας φωτεινής πηγής από τα έντομα, ανέδειξαν ότι βιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του εντόμου (φύλο, είδος και γένος) και το φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει φως, μπορούν να έχουν καταλυτικό ρόλο. Ταυτόχρονα, διαφορετικές βιολογικές συνήθειες ή ανάγκες (εύρεση τροφής ή συντρόφου) μπορεί να ωθούν τα έντομα να αντιδρούν διαφορετικά στα φωτεινά ερεθίσματα του περιβάλλοντος.

Τα ημερόβια έντομα που εξ ορισμού επηρεάζονται λιγότερο από το φως, πετούν προς φωτιζόμενες περιοχές, κυρίως όταν διαταράσσονται (Lewontin, 1959). Μια τέτοια συμπεριφορά μπορεί να είναι πιθανή επειδή το έντομο εκλαμβάνει αυτές τις περιοχές ως ανοιχτούς χώρους, κατάλληλους για πτήση και άρα ευκολότερη αποφυγή του αρπακτικού (Barghini and de Medeiros, 2012). Τουναντίον, για τα νυκτόβια έντομα, η έλξη προς το φως φαίνεται να προκύπτει από λανθασμένη αντίληψη του χώρου (Verheijen, 1958; Mazokhin-Porshnyakov, 1969; Nowinszky, 2004). Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της νύχτας, τα έντομα προσανατολίζονται χρησιμοποιώντας τις ουράνιες φωτεινές

πηγές. Διατηρώντας μια σταθερή γωνία σε μια τέτοια πηγή, το έντομο μπορεί να πετάξει σε ευθεία διαδρομή. Εάν η φωτεινή πηγή τυχαίνει να είναι επίγεια, η διατήρηση μιας σταθερής γωνίας θα έχει ως αποτέλεσμα μια ισοδύναμη σπειροειδή διαδρομή προς την πηγή φωτός. Επειδή η επίγεια φωτεινή ακτινοβολία αντιτίθεται στις φωτεινές από τον ουρανό πηγές, λανθασμένα θεωρείται από το έντομο ως ουράνια πηγή φωτός ή ανοιχτός χώρος (Moller, 2002). Πράγματι, όλοι έχουμε παρατηρήσει έντομα να πετάνε συνεχώς και σταθερά σε ομόκεντρους κύκλους γύρω από μια λάμπα, πιθανότερα λόγω της λανθασμένης αυτής αντιστοίχισης από το έντομο.

Από την άλλη πλευρά, οι διατροφικές συνήθειες των εντόμων επηρεάζονται από φυσικές ή τεχνητές πηγές φωτός. Σύμφωνα με τον van Langevelde *et al.* (2017), παρατηρήθηκε μια μείωση του χρόνου κάλυψης των διατροφικών αναγκών κατά 58-82% από τέσσερα διαφορετικά γένη λεπιδοπτέρων από τρεις οικογένειες (Noctuidae, Geometridae και Eriboidae), όταν αυτά εκτέθηκαν σε τεχνητό φως, σε σύγκριση με αυτά που ζούσαν σε πλήρες σκοτάδι. Μια εξήγηση για την συμπεριφορά αυτή αποδίδεται στο χρώμα και τις χρωματικές αντιθέσεις που χρησιμοποιούνται από τα έντομα για να διαχωρίσουν τον ξενιστή από το γύρω περιβάλλον του. Μια μεταβολή αυτών μπορεί να 'τυφλώσει' το έντομο. Το τεχνητό φως τη νύχτα, θεωρείται επίσης ότι επηρεάζει την συμπεριφορά των ημερόβιων ειδών αυξάνοντας τη φωτόφαση και επομένως αυξάνοντας δυνητικά την δραστηριότητα και τον μεταβολισμό αυτών. Αυτή η πιθανή επίδραση έχει ελαχίστως μελετηθεί στα έντομα έως σήμερα. Ωστόσο, ένα άλλο αρθρόποδο, η αράχνη *Platycryptus undatus* (De Geer) (Araneae: Salticidae) έχει αναφερθεί ότι εκμεταλλεύεται το τεχνητό φως για να κυνηγήσει έντομα και κατά τη διάρκεια της νύχτας (Frank, 2009).

Η εύρεση και η επιλογή συντρόφου απαιτεί την χρήση συνδυασμού σημάτων ή ενδείξεων που μπορεί να αφορούν και φωτεινά ερεθίσματα για την προσέλκυση ή την ανίχνευση του αντίθετου φύλου. Εμβληματικά παραδείγματα τέτοιων εντόμων αποτελούν οι πυγολαμπίδες (Coleoptera: Lampyridae), όπου με χρήση χημικού φωτός (βιοφωτισμός) κατά τη διάρκεια του λυκόφωτος, το αρσενικό άτομο θα φωτίσει την κοιλιά του σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, και το θηλυκό θα ανταποκριθεί με διαφορετικού μήκους κύματος φωτεινό ερέθισμα. Ο βιοφωτισμός χρησιμοποιείται από τα έντομα για την κάλυψη και

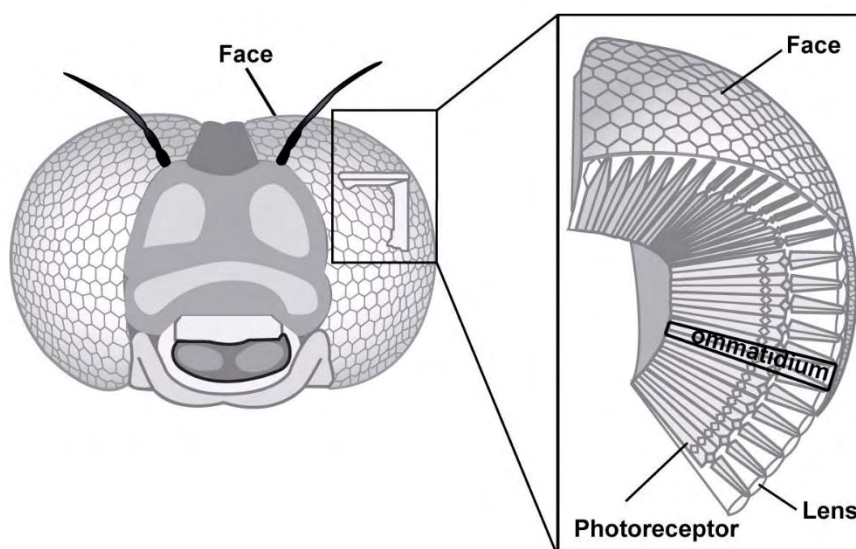
άλλων αναγκών, όπως η προσέλκυση εντόμων ως τροφή ή για αποτροπή αρπακτικών.

Τέλος, διαφορετικά μήκη κύματος φωτός μπορεί να αποτελέσουν την αιτία για την εκδήλωση συγκεκριμένης συμπεριφοράς από το ίδιο άτομο ενός πληθυσμού, όπως στην περίπτωση της πεταλούδας του γένους *Pieris* (Lepidoptera: Pieridae). Όπως αναφέρεται από τους Kolb και Scherer (1982), και Goldsmith (1994), η συμπεριφορά της εν λόγω πεταλούδας είναι απόρροια του διαφορετικού φάσματος του φωτός που δέχεται από το περιβάλλον.

1.1.2. Πως τα έντομα αντιλαμβάνονται το φως

Η μελέτη της αντίληψης των διαφορετικών φασμάτων φωτός από τα έντομα είναι πολύπλοκη και πολύπλευρη. Τα έντομα απαντώνται σχεδόν σε κάθε ενδιαίτημα του πλανήτη, με αποτέλεσμα την διαφορετική βιολογία και συμπεριφορά μεταξύ των ειδών. Για παράδειγμα, είδη εντόμων δραστηριοποιούνται την νύχτα ενώ άλλα κολυμπούν σε λιμνάζοντα νερά, άλλα εποικίζουν πυκνές ζούγκλες, ερήμους ή σπηλιές, είναι φυτοφάγα ή αρπακτικά κ.α. Οι διαφορετικοί οικοτόποι παρουσιάζουν και διαφορές στην ένταση φωτός και στη φασματική σύνθεσή τους, όπως επίσης και στα χρώματα και σχέδια που παρουσιάζει η εκάστοτε χλωρίδα και πανίδα της περιοχής. Είναι λοιπόν προφανές πως η εξέλιξη, ώθησε τα έντομα να προσαρμόσουν την οπτική τους αντίληψη ανάλογα με το ενδιαίτημα και τα χαρακτηριστικά του. Απόρροια της προσαρμοστικότητας αυτής είναι και η ποικιλόμορφη ανάπτυξη των υποδοχέων φωτός (photoreceptors) με τέτοιο τρόπο, που επιδέχεται ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες εξελικτικής προσαρμογής. Ως υποδοχέας φωτός ορίζεται το αισθητήριο όργανο, που ανταποκρίνεται στο φως που πέφτει πάνω του. Τα έντομα διαθέτουν τέτοια όργανα, τους λεγόμενους σύνθετους ή μωσαϊκούς οφθαλμούς, οι οποίοι απαρτίζονται από όμοια και επαναλαμβανόμενα ομματίδια (ommatidium) (Εικ. 1). Το κάθε ομματίδιο δε βλέπει το μέρος του περιβάλλοντος που βρίσκεται μπροστά του όπως το μάτι ενός ανθρώπου, αλλά μόνο την ποσότητα του φωτός σε αυτό το μέρος, αντιλαμβάνεται δηλαδή, ένα μόνο σημείο ως πιο σκούρο ή ως πιο ανοιχτό. Το είδωλο που αντιλαμβάνεται οπτικά για το περιβάλλον, αποτελείται από λιγότερα

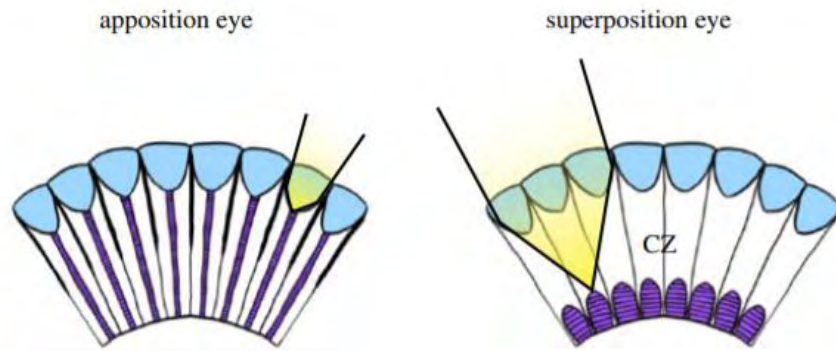
ή περισσότερα σκούρα σημεία, που το κάθε σημείο αντιστοιχεί στην εικόνα από ένα ομμάτιδιο.



Εικ. 1: Σύνθεση ενός σύνθετου οφθαλμού εντόμου

(Πηγή: <https://passion-entomologie.fr/vision-in-insects-part-1-anatomy-and-structure-of-compound-eyes/>)

Στα έντομα απαντώνται δύο τύποι σύνθετων οφθαλμών. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι οφθαλμοί παράθεσης (apposition). Τα ομμάτιδια λειτουργούν ανεξάρτητα, δηλαδή το κάθε ομμάτιδιο βλέπει το περιβάλλον με ένα τρόπο ανεξάρτητο από τα άλλα (Εικ. 2, αριστερά). Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι οφθαλμοί υπέρθεσης (superposition), όπου τα ομμάτιδια συνεργάζονται (Εικ. 2, δεξιά). Ο διαφορετικός τρόπος ανταπόκρισης και συνεργασίας των ομμάτιδιων στο φως, αποτελεί και την ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στους οφθαλμούς παράθεσης και υπέρθεσης. Κατά γενικό κανόνα, ο πρώτος τύπος προσφέρει καλύτερη οπτική εικόνα σε περιβάλλοντα με περίσσιο φως και συνεπώς, η πλειοψηφία των ημερόβιων εντόμων τα διαθέτει. Εν αντιθέσει, οι οφθαλμοί υπέρθεσης παρουσιάζουν μεγαλύτερη φωτοευαισθησία και άρα είναι κατάλληλοι για νυκτόβια έντομα. Καθότι αρκετές μελέτες έχουν εκπονηθεί για την κατανόηση της λειτουργίας των δυο αυτών τύπων οφθαλμών, αναφορές ειδών εντόμων με οφθαλμούς παράθεσης και ταυτόχρονα ικανότητας να κινούνται την νύκτα, απαιτούν περαιτέρω μελέτη της νυκτερινής όρασης στα έντομα (Honkanen *et al.*, 2017).



Εικ. 2: Οφθαλμός παράθεσης (apposition) (αριστερά) και υπέρθεσης (superposition) (δεξιά).

(Πηγή: Honkanen, A., Immonen, E-V., Salmela, I., Heimonen, K. and Weckstrom, M. (2017). Insect photoreceptor adaptations to night vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372, 20160077.)

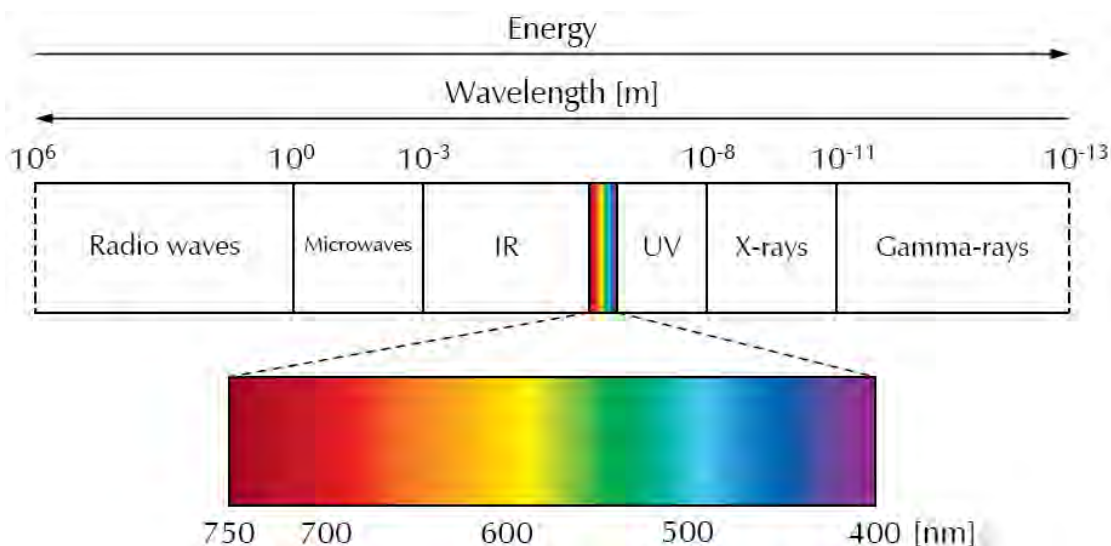
Και οι δυο προαναφερθέντες τύποι οφθαλμών, έχουν την ικανότητα να διακρίνουν χρώματα. Η αντίληψη του χρώματος, αποτέλεσμα της απορρόφησης του φωτός από ειδικές χρωστικές (φωτοχρωστικές) που βρίσκονται στα ομμάτια, μπορεί να θεωρηθεί ως η συγκεκριμένη αίσθηση που παράγεται από διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός. Συνεπώς, η ικανότητα των εντόμων να διακρίνουν στο φως τα διαφορετικά μήκη κύματος, απαιτεί την παρουσία φωτοχρωστικών, με μέγιστη ευαισθησία σε συγκεκριμένο μήκος κύματος (Charman, 1998). Το εύρος των χρωμάτων που κάθε έντομο διακρίνει παρουσιάζει μια μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ των ειδών εντόμων και εξαρτάται από την φυσιολογία του ομματιδίου (Εικ. 3) (Bernard & Remington, 1991; Peitsch et al., 1992; Kelber et al., 2003).



Εικ. 3: Άνθος όπως το βλέπει ο άνθρωπος (αριστερά) και η μέλισσα (δεξιά).

(Πηγή: <https://eurekagargi.wordpress.com/2015/09/28/the-world-we-cannot-see-amishagoyal/>)

Δεδομένα από διάφορες έρευνες με διαφορετικές μεθόδους πειραματισμού ωστόσο, έχουν αναδείξει κάποια κοινά μήκη κύματος φωτός που μπορούν όλα τα έντομα να αντιληφθούν. Πιο συγκεκριμένα, σε όλα τα εξετασθέντα είδη εντόμων μέχρι σήμερα βρέθηκαν, ή θεωρείται ότι υπάρχουν, ομματαίδια που αντιλαμβάνονται την υπεριώδη (UV) ακτινοβολία (~ 350 νανόμετρα). Επιπλέον, στα περισσότερα είδη βρέθηκε ότι και τα μήκη κύματος περί τα 440 (Μπλε) και 530 (Πράσινο) νανόμετρα (nm) μπορούν επίσης να γίνουν αντιληπτά (Εικ. 4) (Briscoe and Chittka, 2001). Οι Briscoe και Chittka (2001) υποστηρίζουν ότι η ύπαρξη των κοινών αυτών φασμάτων, οφείλεται στον κοινό πρόγονο όλων των πτερυγωτών εντόμων, ο οποίος κατά την Δεβόνια περίοδο (419 – 358 εκ. χρόνια πριν), ανέπτυξε ομματαίδια που αντιλαμβάνονταν τα ανωτέρω μήκη κύματος και τα κληροδότησε στις επόμενες γενεές έως και σήμερα. Μήκη κύματος μεγαλύτερα των 565 νανόμετρων (Κόκκινο) μπορούν να γίνουν επίσης αντιληπτά από κάποια είδη της τάξης των υμενόπτερων, των λεπιδοπτέρων, των κολεοπτέρων και των οδοντόγναθων. Το μεγαλύτερο μήκος κύματος που είναι γνωστό έως σήμερα ότι μπορεί να γίνει αντιληπτό ορίζεται στα 630 νανόμετρα από έντομα του γένους *Amphicoma* (Coleoptera: Glaphyridae) (Briscoe and Chittka, 2001).



Εικ. 4:Ορατό φάσμα φωτός

(Πηγή: <http://light.physics.auth.gr/images/enc/spectrum1.jpg>)

Διάφορες έρευνες, συγκρίνοντας την ελκυστικότητα φωτεινών πηγών με διαφορετικά μήκη κύματος σε νυκτόβια είδη εντόμων, επιβεβαιώνουν ότι το φως μικρού μήκους κύματος είναι γενικά πιο ελκυστικό από το φως μεγάλου μήκους κύματος (van Langevelde et al., 2011; Somers-Yeates et al., 2013; Longcore et al., 2015). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των Cowan και Gries (2009) όπου αναφέρουν ότι το χαμηλότερο (UV) μήκος κύματος (405 νανόμετρα) προτιμήθηκε περισσότερο από το λεπιδόπτερο *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) σε σύγκριση με τα 435, 450, ή 470 νανόμετρα, που εμφανίζονται ως Μπλε φως. Παρόλα αυτά, δεν μπορούμε ακόμα να προβλέψουμε την πτήση εντόμων προς το φως με βάση τη φασματοφωτομετρία αυτού (van Grunsven et al., 2014). Πράγματι, σε αναζήτηση του προτιμότερου μήκους κύματος φωτός για το *P. interpunctella*, ο Stremel (1959), έδειξε ότι το εν λόγω είδος προσελκύεται τόσο από το UV (365 νανόμετρα) όσο και το Πράσινο (580 νανόμετρα) φως. Μετέπειτα, ο Soderstrom (1970), αναφέρει ότι παγίδες με πηγή πράσινου φωτός είχαν περισσότερες συλλήψεις του εντόμου σε σύγκριση με παγίδες που διέθεταν UV φωτισμό. Πιο πρόσφατα, οι Cowan και Gries (2009) αναφέρουν ότι το Μπλε φως (400–475 νανόμετρα) ήταν πιο ελκυστικό από το Πράσινο (475–600 νανόμετρα), το Πορτοκαλί (575– 700 νανόμετρα) ή το Κόκκινο (590–800 νανόμετρα). Αν και η θεωρία γύρω από τα συγκεκριμένα μήκη κύματος του φωτός φαίνεται να ισχύει κατά γενικό κανόνα, άλλοι παράγοντες λαμβάνουν επίσης χώρα γύρω από την ελκυστικότητά του.

1.2. Κύριοι εχθροί αποθηκευμένων προϊόντων

1.2.1. Έντομο αποθηκών

‘Έντομο αποθηκών’ θεωρείται κάθε είδος εντόμου που προσβάλλει και ζημιώνει άμεσα ένα προϊόν και μπορεί να αναπτυχθεί και να αναπαραχθεί σε μια αποθήκη ή χώρο που φιλοξενεί επί αρκετό χρονικό διάστημα γεωργικά προϊόντα ή τρόφιμα (Μπουχέλος, 2005). Κοινό χαρακτηριστικό των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων είναι η ευρεία γεωγραφική τους εξάπλωση, στην οποία συνέβαλε κατά κύριο λόγο ο άνθρωπος. Έτσι, ακόμα και αν κάποια από αυτά έχουν χάσει την ικανότητα πτήσης, μέσω του διεθνούς εμπορίου μπορούν να βρεθούν σε όλα τα μέρη του πλανήτη μεταφερόμενα μαζί με το προϊόν, π.χ. σε αμπάρια πλοίων, βαγόνια τρένων, αεροπλάνα κ.α. Κατά την μεταφορά, οι συνθήκες μέσα στον αποθηκευτικό χώρο δεν αλλάζουν και σε συνδυασμό με την ύπαρξη τροφής, δημιουργείται ένα άριστο περιβάλλον που εξασφαλίζει την επιβίωση των εντόμων αυτών. Η διαδικασία αποθήκευσης και η μεταφορά των προϊόντων από τις αποθήκες στους διάφορους χώρους επεξεργασίας αυτών (συσκευαστήρια, εργοστάσια κ.α.) προσφέρουν στα έντομα μια σειρά καταφυγίων και συνθηκών στις οποίες μπορούν να επιζήσουν για πολλά χρόνια. Πέρα από τον ανθρώπινο παράγοντα, που δημιουργεί πολλές φορές άριστες συνθήκες για την επιβίωση και την εξάπλωση των εντόμων αποθηκών, σημαντικό ρόλο παίζει και το μορφολογικό τους σχήμα και μέγεθος, καθώς και η δυνατότητά τους να βαδίζουν και να πετούν ακόμα και δεκάδες χιλιόμετρα. Γενικά, το μήκος σώματος των ακμαίων ποικίλει από 1 έως και 12 mm, ωστόσο τα περισσότερα δεν ξεπερνούν τα 5 mm. Κάποια από αυτά, όπως τα είδη του γένους *Oryzaephilus* (Coleoptera: Silvanidae) φέρουν στενό και πεπλατυσμένο σώμα, γεγονός που τους επιτρέπει να χρησιμοποιούν στενές σχισμές ή ρωγμές που μπορεί να υπάρχουν στο εσωτερικό της αποθήκης και έτσι να προστατεύονται από φυσικούς εχθρούς και εντομοκτόνα που εφαρμόζονται για την καταπολέμησή τους. Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να καταλάβουμε γιατί τα έντομα αποθηκευμένων προϊόντων θεωρούνται τόσο επιτυχημένοι και διαδεδομένοι εχθροί και είναι σε θέση να ξεκινήσουν σοβαρές προσβολές στα φιλοξενούμενα σε αποθήκες προϊόντα και σε άλλους χώρους επεξεργασίας τροφίμων.

1.2.2. Κυριότερα είδη εντόμων αποθηκών

Τα έντομα που χαρακτηρίζονται ως κυριότεροι εχθροί των αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων ανήκουν στην πλειοψηφία τους στην τάξη των κολεοπτέρων. Πρόκειται για την πολυπληθέστερη τάξη εντόμων, με μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση καθώς μπορούν να απαντηθούν στους περισσότερους οικότοπους. Κάποια είναι πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα έντομα, τρεφόμενα απευθείας από το αποθηκευμένο προϊόν, άλλα είναι ξυλοφάγα ή θηρευτές άλλων εντόμων, ενώ μερικά μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη μυκήτων στο προϊόν. Παρακάτω, θα αναφερθούν κάποια σημαντικά είδη κολεοπτέρων, με έμφαση σε αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

Lasioderma serricorne (F.) (Coleoptera: Anobiidae)

Το ακμαίο έντομο έχει μήκος σώματος περί τα 2 - 3mm. Χαρακτηριστικό γνώρισμά του είναι το ωοειδές σε κάτοψη σχήμα του, ενώ το πρόσθιο μέρος του σώματός του (κεφαλή και πρόνωτο) είναι κυρτό και φαίνεται να σχηματίζει σχεδόν ορθή γωνία με το υπόλοιπο τμήμα. Τα έλυτρά του είναι λεία, χωρίς γραμμώσεις, καλυπτόμενα από λεπτό, ξανθό χνούδι, με χρώμα ερυθροκαστανό ή υποκαστανό. Οι κεραίες είναι πριονωτές. Η προνύμφη έχει μήκος μέχρι και 4mm, έχει λευκό-υποκίτρινο χρωματισμό, είναι κοντόχοντρη, κυρτή με καστανή κεφαλή και τρία ζευγάρια πόδια. Επιπλέον, φέρει σε όλο της το σώμα ωχρόλευκες λεπτές τρίχες (Eddé, 2019).

Το είδος αυτό κατάγεται από την νότια Αμερική. Απαντάται κυρίως στις τροπικές περιοχές, ωστόσο μπορεί να βρεθεί σε όλα τα μέρη του κόσμου και ιδιαίτερα σε περιοχές όπου ξηραίνεται καπνός υπό μορφή φύλλων, πούρων, τσιγάρων κ.α. Δεδομένου ότι το ακμαίο άτομο φιλοξενεί συμβιωτικούς ζυμομύκητες, οι οποίοι εκκρίνουν βιταμίνη Β και εναποτίθενται στα αυγά, για να καταναλωθούν από τις προνύμφες κατά την διάρκεια της εκκόλαψης, του επιτρέπουν να τραφεί και να επιβιώσει με πολλά άλλα προϊόντα κακής διατροφικής ποιότητας. Έτσι, παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα τροφικών προτιμήσεων, όπως κακάο, σοκολάτα, μπαχαρικά, ζυμαρικά, αρωματικά φυτά, έντομα και φυτά σε συλλογές, ξηρές σπώρες, ελαιώδεις σπόρους και πλακούντες, χαρούπια, όσπρια, αυτοφυή φυτά στην ύπαιθρο καθώς και

βιβλιοδεσίες, πεπιεσμένα χαρτιά, φάρμακα και χάρπια κ.α. (Σταμόπουλος, 1995).

Διαχειμάζει ως προνύμφη μέσα στο προϊόν. Η διάρκεια του κύκλου ζωής του κυμαίνεται από 40 έως 90 ημέρες, ενώ ο αριθμός των γενεών (συνήθως 3 - 5) εξαρτάται κυρίως από τις επικρατούσες στον χώρο θερμοκρασίες καθώς και από το είδος της τροφής του (σε τεχνητή εκτροφή σε σιτάρι επιτεύχθηκε ο συντομότερος βιολογικός κύκλος διάρκειας 26 ημερών σε θερμοκρασία 30 °C και υγρασία 70%). Το θηλυκό γεννά 45 με 120 αυγά πάνω στο προϊόν, με τον κύριο όγκο αυγών να εναποτίθεται τις πρώτες 10 ημέρες από την έξοδο των ακμαίων. Οι προνύμφες εκκολάπτονται σε 7 ημέρες, μπορούν να διεισδύσουν από τις πιο λεπτές σχισμές της συσκευασίας και να προσβάλλουν το προϊόν. Έπειτα από 6 - 10 εβδομάδες και αφού εκδυθούν 4 - 6 φορές, σκάβουν ένα προστατευτικό κελί στον καπνό ή υφαίνουν ένα κουκούλι από κομμάτια τροφών και εκεί νυμφώνονται. Γίνονται ακμαία μετά από 1 - 3 εβδομάδες. Η ευαισθησία των αυγών του εντόμου σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι συνάρτηση του χρόνου παραμονής σε αυτές. Το ακμαίο παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή στο ψύχος, ωστόσο θανατώνεται με έκθεση του στους 50 °C για 24 ώρες ή στους 60 °C για λίγα λεπτά (Σταμόπουλος, 2008).



Εικ. 5: Ακμαίο *L. serricornis*

(Πηγή: <https://www.degeschamerica.com/portfolio/insects/>)

Acanthoscelides obtectus (Say) (Coleoptera: Bruchidae)

Τα ακμαία αυτού του είδους έχουν μήκος σώματος 3 - 4mm. Έχουν ωοειδές σχήμα σώματος με κωνικό προθώρακα, ο χρωματισμός τους είναι γκριζος-καφέ με διάφορες σκοτεινόχρωμες κηλίδες, ενώ το σώμα τους καλύπτεται από λεπτό φαιό χνούδι. Τα έλυτρα αφήνουν ακάλυπτο το τελευταίο κοιλιακό τμήμα και οι κεραίες είναι πριονωτές. Η προνύμφη έχει μήκος περίπου 3 mm, είναι

σαρκώδης και κυρτή με μικρή κίτρινη κεφαλή, έχει υπόλευκο χρωματισμό, ενώ ως προνύμφη 1ου σταδίου φέρει τρίχες που τις αποβάλλει στην συνέχεια (Σταμόπουλος, 1995).

Προέρχεται από την κεντρική Αμερική, εξαπλώθηκε όμως σε όλο τον κόσμο με τις μεταφορές σιτηρών και οσπρίων. Προσβάλλει κυρίως τα φασόλια όλων των ποικιλιών αλλά και σόγια και σε ελάχιστες περιπτώσεις, ρεβίθια, ενώ είναι σε θέση να αποφεύγει σπόρους οι οποίοι είναι καλυμμένοι με εντομοκτόνα. Η προσβολή ξεκινά από τον αγρό, όπου τα ήδη συζευγμένα θηλυκά εναποθέτουν τα λευκά αυγά τους (40 - 50 ωά) αποκλειστικά στους κίτρινους λοβούς των φασολιών. Οι νεαρές προνύμφες ορύσσουν οπή εισόδου στον σπόρο και στην συνέχεια δημιουργούν το κελί νύμφωσης μέσα στον σπόρο. Μόλις ολοκληρωθεί η νύμφωση, τα ακμαία εξέρχονται από τον σπόρο, τρυπούν τον λωβό και προσβάλλουν άλλες πιο όψιμες καλλιέργειες, αν οι λοβοί παραμένουν ακόμα στον αγρό, ενώ αν οι σπόροι έχουν συγκομιστεί, τότε το έντομο θα συνεχίσει την προσβολή στο αποθηκευμένο προϊόν. Γενικά, θεωρείται ότι έχει 3-4 γενεές τον χρόνο, με τον βιολογικό του κύκλο σε άριστες συνθήκες (θερμοκρασία 28 °C και σχετική υγρασία 75%), να διαρκεί περίπου έναν μήνα (Σταμόπουλος, 2005).

Rhyzopertha dominica (F.) (Coleoptera: Bostrychidae)

Το ακμαίο έχει μήκος σώματος 2,5 - 3 mm, το σώμα του είναι επίμηκες και κυλινδρικό, καστανοκόκκινου χρωματισμού. Η κεφαλή καλύπτεται από τον προθώρακα και δεν είναι ορατή από την πάνω πλευρά του σώματος. Ο θώρακας φέρει πυκνά χιτινώδη εξογκώματα, ενώ στα έλυτρα υπάρχουν διακριτές κατά μήκος γραμμές από μικρές κοιλότητες. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του εντόμου οι κεραίες με ρότταλο από 3 αραιά τοποθετημένα άρθρα. Η προνύμφη έχει κυρτό, παχύ σώμα που φέρει μια διόγκωση μπροστά και είναι καλυμμένο με ακίδες, υπόλευκου χρωματισμού με κεφαλή και πόδια καστανά. Το σώμα της σε πλήρη ανάπτυξη δεν υπερβαίνει τα 6 mm. Τα ακμαία και οι προνύμφες φέρουν ισχυρά στοματικά μόρια (Σταμόπουλος, 2005).

Κατάγεται από την νότια Αμερική, εξαπλώθηκε παγκοσμίως κατά την περίοδο του Α΄ Παγκοσμίου πολέμου και σήμερα θεωρείται έντομο θερμών χωρών, ωστόσο μπορεί να επιβιώσει και σε εύκρατα κλίματα σε θερμαινόμενα κτήρια. Διαχειμάζει σε όλα τα στάδια του βιολογικού του κύκλου μέσα στην αποθήκη και ολοκληρώνει 4 έως 6 επάλληλες γενεές το έτος σε θερμοκρασίες 25 - 28 °C. Ο ταχύτερος ρυθμός ανάπτυξης εμφανίζεται στους 34 °C, με σχετική υγρασία 14%, όπου σε αυτές τις συνθήκες το αυγό εκκολάπτεται σε 5 ημέρες, οι προνύμφες ολοκληρώνουν την ανάπτυξή τους σε 16 ημέρες και η νύμφωση ολοκληρώνεται σε 3 ημέρες (Edde, 2012). Πολλές προνύμφες προσβάλλουν έναν σπόρο όπου και νυμφώνονται μέσα σε αυτόν. Το ακμαίο θηλυκό εναποθέτει καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του 200 - 500 αυγά, ενώ κάθε φορά τοποθετεί έως και 30 αυγά κατά ομάδες ή μεμονωμένα (Edde, 2012). Πολλαπλασιάζεται με σχετικά αργό ρυθμό και η εμφάνιση μεγάλων πληθυσμών ευνοείται εάν οι σπόροι στους οποίους τρέφεται μένουν χωρίς να μετατοπιστούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Προσβάλλει κυρίως κριθάρι, σιτάρι, σιτάλευρα, ρύζι και προϊόντα αυτού, καλαμπόκι, ελαιούχους πλακούντες κ.α. Τόσο τα ακμαία όσο και οι προνύμφες προκαλούν τόσο ποιοτικές, όσο και ποσοτικές απώλειες στα αποθηκευμένα προϊόντα. Εκτός από την προσβολή σε αποθηκευμένα προϊόντα, το είδος αυτό έχει την ικανότητα να διατρύπεί με ευκολία διάφορες συσκευασίες, όπως το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο (Σταμόπουλος, 2005).

Sitophilus granarius (L.) (Coleoptera: Curculionidae)

Sitophilus oryzae (L.) (Coleoptera: Curculionidae)

Γενικά, είναι η οικογένεια Curculionidae περιλαμβάνει τα πιο επιβλαβή έντομα δημητριακών στις αποθήκες (Sinha, 1984). Διακρίνονται από την κεφαλή τους, που προεκτείνεται μπροστά από τους οφθαλμούς και σχηματίζεται ένα καλά διαμορφωμένο ρύγχος. Τα *S. granarius* και *S. oryzae* θεωρούνται από τα πιο κοινά και επικίνδυνα που συναντάμε στις αποθήκες σιτηρών στην χώρα μας.

Το ακμαίο *S. granarius* έχει μήκος σώματος 3 - 5 mm και χρώμα σκούρο κάστανο έως μαύρο. Το ρύγχος του έχει μήκος ίσο με τα 2/3 του πρόνωτου και το πρόνωτο έχει μήκος περίπου όσο και τα έλυτρα. Στα έλυτρα φέρει

αυλακώσεις με κοίλα στίγματα, ενώ χαρακτηριστικό του εντόμου αυτού είναι η απώλεια μεμβρανοειδών πτερυγών και άρα η ανικανότητα πτήσης. Η προνύμφη έχει μήκος 3 - 4 mm, είναι κοντόχοντρη με κιτρινωπό χρωματισμό (Σταμόπουλος, 1995). Θεωρείται κοσμοπολίτικο είδος και απαντάται τόσο στα εύκρατα όσο και στα ψυχρά κλίματα. Στα υποτροπικά κλίματα είναι σχεδόν αδύνατη η ανάπτυξή του. Έχει 4 - 5 γενεές τον χρόνο και διαχειμάζει ως προνύμφη μέσα στους αποθηκευμένους σπόρους ή ως ακμαίο στους σωρούς σπόρων ή σε διάφορα σημεία της αποθήκης. Την άνοιξη, με βέλτιστη θερμοκρασία περίπου 25 °C αρχίζει η εναπόθεση των αυγών, όπου τα θηλυκά τοποθετούν από ένα σε κάθε σπόρο, με τον συνολικό αριθμό των αυγών να φτάνει και τα 400 ανά θηλυκό. Η προνύμφη ολοκληρώνει την ανάπτυξή της, νυμφώνεται και γίνεται ακμαίο, τρεφόμενη με το εσωτερικό του σπόρου (Haines, 1991). Το ακμαίο μπορεί να επιβιώσει έως και έναν χρόνο σε θερμοκρασία 25 °C. Ο βιολογικός κύκλος του μπορεί να ολοκληρωθεί σε 38 - 40 ημέρες στους 22 με 25 °C, ωστόσο μέσα στις αποθήκες μπορεί να διαρκέσει και 7 εβδομάδες. Η ανάπτυξή του σταματά κάτω από τους 12 °C, αλλά έχει μεγάλη αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες και το ακμαίο μπορεί να αντέξει έως και 2 μήνες σε -5 °C (Σταμόπουλος, 1995).

Το *S. oryzae* είναι μορφολογικά παρόμοιο με το *S. granarius* (Haines, 1991). Έχει μήκος σώματος 2,5 - 4,5 mm και χρώμα καστανό – καστανό σκούρο. Χαρακτηριστική διαφορά με το συγγενικό του είδος είναι ότι στα έλυτρά του φέρει 4 ανοιχτόχρωμες κηλίδες (πορτοκαλί ή κίτρινες), δυο σε κάθε έλυτρο, όπως επίσης και το ότι έχει ανεπτυγμένες τις μεμβρανοειδείς πτέρυγες και μπορεί να πετά. Προτιμά τις υποτροπικές και τροπικές περιοχές και επηρεάζεται σημαντικά από την θερμοκρασία, με την βέλτιστη για την ανάπτυξη και την ωοτοκία να κυμαίνεται στους 30 °C (Birch, 1944). Όλα τα στάδια θανατώνονται σε περίπου μια εβδομάδα σε 0 °C. Σε θερμά κλίματα μπορεί να ξεπεράσει και τις 4 γενεές το έτος. Φτάνει στην αποθήκη πετώντας από τον αγρό, όπου το θηλυκό μπορεί να εναποθέσει πάνω από 500 αυγά κατά την διάρκεια την ζωής του. Η προνύμφη αναπτύσσεται στον σπόρο, το οποίο και κατατρώνει, ενηλικιώνεται και πετά προσβάλλοντας και το προϊόν στον αγρό. Η διάρκεια ζωής του ακμαίου δεν ξεπερνά τους 8 μήνες. Μπορεί να επιβιώσει

χωρίς τροφή για 6 - 32 ημέρες αναλόγως τη θερμοκρασία (Σταμόπουλος, 1995).

Τόσο τα ακμαία όσο και οι προνύμφες των δυο ειδών προσβάλλουν σπόρους σιτηρών και συμπαγή αμυλούχα προϊόντα. Επίσης μπορούν να τραφούν με μπιζέλια, φασόλια, λούπινα, αραχίδες και αμύγδαλα αλλά πεθαίνουν σύντομα. Προτιμούν ξηρούς σπόρους παλαιών σοδειών. Πυκνοί πληθυσμοί του γένους σε σημεία των σωρών των σπόρων όπου η υγρασία είναι υψηλή σε συνδυασμό με την έντονη μεταβολική δραστηριότητα που παρατηρείται εκεί, προκαλεί «άναμα» των σπόρων που ευνοεί την ανάπτυξη μυκήτων στους ήδη προσβεβλημένους σπόρους, δημιουργώντας συμπαγή συσσωματώματα του προϊόντος και ποσοτική και ποιοτική υποβάθμισή του (Σταμόπουλος, 2005).

Trogoderma granarium Everts (Coleoptera: Dermestidae)

Τα Dermestidae ανήκουν είδη τα οποία προσβάλλουν δέρματα, τάπητες, μάλλινα αλλά και πίνακες ζωγραφικής, εντομολογικές συλλογές κ.ά. Η προσβολή γίνεται αποκλειστικά από τις προνύμφες. Εκτός όμως από αυτά ανήκουν και είδη τα οποία είναι φυτοφάγα, τρέφονται δηλαδή με αποθηκευμένες ύλες φυτικής προέλευσης, όπως τα είδη του γένους *Trogoderma* (FAO, 2016). Για παράδειγμα, το *T. granarium*, τρέφεται αποκλειστικά με φυτικές ύλες με ιδιαίτερη προτίμηση στους ελαιούχους πλακούντες, τους σπόρους σιτηρών και τα προϊόντα αυτών. Προσβάλλει τον σπόρο τρώγοντας τον από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του. Εκτός των ζημιών στο αποθηκευμένο προϊόν, είναι ικανό να προκαλέσει εμμέσως σοβαρά αλλεργικά φαινόμενα από την κατάποση ή την είσοδο στο αναπνευστικό σύστημα των τριχών του σωματικού περιβλήματος των προνυμφών. Σε πολλές χώρες έχει ανακηρυχθεί ως έντομο-καραντίνας (FAO, 2016).

Το σώμα του ακμαίου έχει σχήμα ωοειδές και το μήκος του κυμαίνεται περί τα 2 - 3 mm. Είναι ανοικτού καστανού χρώματος και φέρει κόκκινο-καφέ κηλίδες στα έλυτρα. Η προνύμφη έχει μήκος 3 - 6 mm, έχει ανοικτό καστανό χρωματισμό με τις μεσοαρθρικές μεμβράνες υποκίτρινες. Το σώμα της προνύμφης καλύπτεται από μακριές και λεπτές κιτρινωπές τρίχες, οι οποίες

εκφύονται κάθετα στο σώμα της, ενώ στο πίσω μέρος του σώματος οι τρίχες σχηματίζουν αραιό θύσανο (Σταμόπουλος, 1995). Είναι ένα από τα πλέον επιζήμια έντομα αποθηκών στις θερμές χώρες (Howe, 1958). Η δραστηριοποίηση του εντόμου είναι εφικτή σε θερμοκρασίες μεταξύ 21 - 40 °C, με άριστη εκείνη των 35 °C. Αντιθέτως, στις ψυχρές περιοχές οι προσβολές του περιορίζονται σημαντικά. Η υγρασία δεν το επηρεάζει σημαντικά, αντιθέτως μπορεί να αποβεί σοβαρός ανταγωνιστής άλλων ειδών σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής σχετικής υγρασίας. Τα ακμαία δεν τρέφονται και την ζημιά προκαλεί εξ' ολοκλήρου η προνύμφη. Ο πολλαπλασιασμός του εντόμου γίνεται στην μάζα του σωρού του προϊόντος, με την προσβολή να μην είναι ορατή. Οι προνύμφες δεν διαχειμάζουν στο προϊόν, αλλά μεταναστεύουν σε σχισμές ή άλλες κρύπτες της αποθήκης και μπορούν να παραμείνουν χωρίς να νυμφωθούν έως και 8 έτη. Η νύμφωση πραγματοποιείται μόνο όταν οι συνθήκες γίνουν ευνοϊκές, δηλαδή ξηροθερμικές (Σταμόπουλος, 1995).

Oryzaephilus surinamensis (L.) (Coleoptera: Silvanidae)

Το ακμαίο έχει λεπτό, πεπλατυσμένο και ευκίνητο σώμα, μήκους 3 mm. Στο πάνω μέρος του θώρακα υπάρχουν δυο κατά μήκος αυλακώσεις, ενώ στα πλάγια αυτού υπάρχουν από 6 οδοντοειδείς προεξοχές σε κάθε πλευρά του. Έχει ανοιχτό ή σκούρο καστανό χρωματισμό και κεραίες. Η προνύμφη είναι νηματοειδής, πεπλατυσμένη, 4mm μήκους (Σταμόπουλος, 1995).

Είναι κοσμοπολίτικο είδος, αναπτύσσει μεγάλους πληθυσμούς σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 - 37,5 °C με άριστη εκείνη των 30 - 35 °C και σχετική υγρασία 70 - 90%, ωστόσο μπορεί να επιβιώσει και σε σχετικά ψυχρές περιοχές όπως η Αγγλία (Howe, 1956). Στις άριστες συνθήκες περιβάλλοντος ο βιολογικός του κύκλος διαρκεί 20 ημέρες περίπου. Τα ακμαία θηλυκά δημιουργούν μια μικρή οπή στον σπόρο, γεννούν τα αυγά και στη συνέχεια την σφραγίζουν με τις εκκρίσεις τους. Εναποθέτουν 6 - 10 αυγά την ημέρα, διατηρώντας το ποσοστό αυτό καθ' όλη την διάρκεια του μήνα, μέχρις ότου εναποθέσουν συνολικά 200 - 375 αυγά. Οι προνύμφες μετά την εκκόλαψη ορύσσουν στοές στο εσωτερικό του σπόρου όπου και τον κατατρώνε, με αποτέλεσμα να είναι υπεύθυνες για την μεγαλύτερη καταστροφή. Η νύμφωση

γίνεται στο εσωτερικό του σπόρου και το ακμαίο εξέρχεται από αυτόν τρώγοντας το εσωτερικό του. Έχει 2 - 3 επάλληλες γενεές, ενώ σε ευνοϊκές συνθήκες (θερμές αποθήκες) ο αριθμός των γενεών αυξάνεται σε 6 - 8. Τα ακμαία είναι μακρόβια (2 με 3 έτη), τρέφονται κυρίως από ήδη προσβεβλημένους σπόρους (δευτερεύον έντομο) και είναι ικανά να ζήσουν χωρίς τροφή για 6 - 32 ημέρες ανάλογα με τη θερμοκρασία. Προσβάλλει κυρίως αμυλούχα τρόφιμα όπως σιτηρά και τα προϊόντα αυτών (ζυμαρικά, ψωμί, μπισκότα κ.α.) αλλά μπορεί να παρατηρηθεί και σε σταφίδες, ξηρά όσπρια, κακάο, καφέ, αποξηραμένα φυτά, ελαιούχους σπόρους, όπως επίσης και σε κύβους ζυμών και σοκολάτα σε σπίτια (Σταμόπουλος, 2005).

Tribolium confusum Jacquelin du val (Coleoptera: Tenebrionidae)

Tribolium castaneum (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)

Στην οικογένεια Tenebrionidae ανήκουν περισσότερα από 10.000 είδη, από τα οποία τα 100 θεωρούνται εχθροί των αποθηκευμένων προϊόντων. Τα είδη *T. castaneum* και *T. confusum* αποτελούν τα πιο κοινά έντομα αποθηκών της οικογένειας αυτής παγκοσμίως.

Το ακμαίο *T. confusum* έχει μακρόστενο και πεπλατυσμένο σώμα μήκους 4 - 4,5 mm με γυαλιστερό ερυθροκάστανο χρώμα. Η προνύμφη έχει μήκος 5 mm και είναι ολιγόποδη. Διαχειμάζει ως ακμαίο μέσα στα προσβεβλημένα προϊόντα ή σε προφυλαγμένα σημεία της αποθήκης. Σε αντίθεση με το *T. castaneum*, δεν μπορεί να πετάξει (Bousquet, 1990). Τα ακμαία θηλυκά, τα οποία μπορούν να ζήσουν έως και 3 έτη σε άριστες συνθήκες (25 - 30 °C), εναποθέτουν από 400 έως και 800 ωά πάνω στα προϊόντα. Τα αυγά εκκολάπτονται όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από 15 - 40 °C. Η προνύμφη θα χρειαστεί 1 - 3 μήνες για να ολοκληρώσει την ανάπτυξή της, ανάλογα με την ποιότητα και ποσότητα της τροφής, την υγρασία και την θερμοκρασία. Συνήθως έχει 5 γενεές το έτος.



Εικ. 6: Ακμαίο *T. confusum*

(Πηγή: <http://www.agrologica.es/informacion-plaga/falso-gorgojo-harina-tribolium-confusum/>)

Το *T. castaneum* μοιάζει πολύ στην εξωτερική μορφολογία με το συγγενικό του *T. confusum*. Το μορφολογικό χαρακτηριστικό που τα διαφοροποιεί έγκειται στο ότι τα άρθρα της κεραίας του πρώτου σχηματίζουν ρόπαλο ενώ του δεύτερου πλαταίνουν βαθμιαία. Το ακμαίο έχει μήκος σώματος 3 - 4 mm και η προνύμφη είναι κιτρινωπή με ελαφρώς καστανό κεφάλι. Τα θηλυκά εναποθέτουν τα μικρά κυλινδρικά λευκά αυγά τους πάνω στον σπόρο, τα οποία σε ιδανική θερμοκρασία των 32,5 °C μπορεί να φτάσουν και τα ένδεκα την ημέρα, ενώ καθ' όλη την διάρκεια ζωής το ακμαίο εναποθέτει έως και 1000 αυγά (Haines, 1990; Kumar et al., 2018). Οι προνύμφες μένουν στον σπόρο μέχρι την νύμφωση. Το ακμαίο μπορεί να ζήσει έως και ένα έτος ή περισσότερο. Οι θερμοκρασίες για την κανονική ανάπτυξη του εντόμου πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 20 - 40 °C. Τα ακμαία μπορούν να τρέφονται με μια μεγάλη ποικιλία τροφών και λόγω της μεγάλης προσαρμοστικότητας που εμφανίζουν μπορούν να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν σε διάφορες συνθήκες.



Εικ. 7: Ακμαίο *T. castaneum*

(Πηγή: <http://www.coleoptera.org.uk/species-gallery/nojs/4346>)

Και τα δύο είδη προσβάλλουν το καλαμπόκι, το σιτάρι, το αλεύρι και άλλα τρόφιμα. Εργαστηριακές παρατηρήσεις έδειξαν ότι αναπτύσσονται καλύτερα και ταχύτερα σε σπασμένους παρά σε ολόκληρους σπόρους, όπου η παρουσία του περισπερμίου φαίνεται να αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την είσοδό του στο εσωτερικό του σπόρου (Σταμόπουλος, 2008). Τα ακμαία και οι προνύμφες τρέφονται με όλα τα είδη αποθηκευμένων σπόρων (σιτηρά, όσπρια), με αλεύρι σιταριού και κεχριού, σιμιγδάλι, ζωοτροφές, ξηρά λαχανικά, σοκολάτα, γλυκοπατάτα, μαύρο πιπέρι, φαρμακευτικά προϊόντα κ.α. Μπορούν περιστασιακά να προκαλέσουν αξιόλογες ζημιές (ανάλογες της σχετικής υγρασίας του προϊόντος) και μπορούν να απαντηθούν σχεδόν σε κάθε εγκατάσταση που περιέχει προσβεβλημένα δημητριακά ή προϊόντα δημητριακών, ειδικά σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα. Η μόλυνση από αυτά τα σκαθάρια οδηγεί σε μια απωθητική μυρωδιά, λόγω της έκκρισης βενζοκινονών από τους κοιλιακούς τους αδένες, ενώ παράλληλα είναι γνωστό ότι παράγουν και τοξικές κινόνες που μολύνουν το αλεύρι και τα παράγωγα αυτού (Σταμόπουλος, 2005). Αναπτύσσουν ταχύτατα σημαντικούς πληθυσμούς ενώ είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά σε πολλές κατηγορίες εντομοκτόνων με διάφορους τρόπους δράσης. Χαρακτηρίζονται ως δευτερεύοντα έντομα (Walter, 1990)

1.3. Αντιμετώπιση εντόμων αποθηκών

1.3.1. Η αναγκαιότητα της απεντόμωσης στις αποθήκες σήμερα

Είναι γεγονός, ότι *‘ενώ σε μια καλλιέργεια είναι δυνατόν να αντισταθμιστεί, μόνη της ή με κατάλληλες επεμβάσεις του ανθρώπου, η ζημιά από δεδομένη προσβολή, οι απώλειες που προκαλούνται κατά την αποθήκευση του συγκομισμένου και πολλές φορές έτοιμου για κατανάλωση προϊόντος, είναι κυριολεκτικά ανεπανόρθωτες’* (Μπουχέλος, 2005). Οι εντομολογικής φύσεως απώλειες μπορούν να αφορούν τόσο ποσοτικές (μείωση του βάρους και του όγκου των προϊόντων λόγω βρώσης αυτών), όσο και ποιοτικές (απώλειες στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του σπόρου, μείωση της βλαστικής του ικανότητας, ανάπτυξη και εξάπλωση μυκήτων, ύπαρξη υπολειμμάτων εντόμων, ανάπτυξη δυσάρεστων οσμών ή αλλοίωση της γεύσης του προϊόντος).

Για να διασφαλισθεί η κατάλληλη αποθήκευση υπάρχουν 3 μέθοδοι διαχείρισης, όπως σχολιάζονται παρακάτω:

Πρόληψη: εννοώντας τα μέτρα τα οποία πρέπει να ληφθούν ώστε να εμποδιστεί η είσοδος των εντόμων στον χώρο και στο προϊόν. Ο κατάλληλος σχεδιασμός των αποθηκών ή των βιομηχανιών παραγωγής τροφίμων και η σωστή χωροταξική μελέτη, ώστε να πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για σωστή και υγιεινή παραγωγή και αποθήκευση τροφίμων αφορούν τις σημαντικότερες παρεμβάσεις που μπορούν να γίνουν σε αυτό το πεδίο.

Παρακολούθηση: ορίζεται ως ο οπτικός έλεγχος του αποθηκευμένου προϊόντος και των εγκαταστάσεων, ο έλεγχος συνθηκών της αποθήκευσης, η δειγματοληψία και η χρήση εντομοπαγίδων έτσι ώστε να επιτύχουμε την έγκαιρη διαπίστωση ύπαρξης εντομολογικής προσβολής σε χώρους επεξεργασίας και αποθήκευσης των προϊόντων. Η έγκαιρη διαπίστωση και μέτρηση της προσβολής μπορεί να γίνει με δειγματοληπτικές μεθόδους (μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του συντηρούμενου προϊόντος), με προσδιορισμό του CO₂ ή του ουρικού οξέος, με εμφάνιση του σπόρου σε διάφορα διαλύματα, χρήση εντομοπαγίδας – σόντας κ.α. Έτσι, θα είμαστε σε θέση να καταπολεμήσουμε τον «εισβολέα» από την αρχή, πριν προλάβει να

εγκατασταθεί και να αναπτύξει μεγάλους πληθυσμούς, κάτι που θα δυσχέρανε την μετέπειτα αντιμετώπισή του.

Καταπολέμηση: είναι ο με την παρέμβαση του ανθρώπου περιορισμός του πληθυσμού των βλαβερών εντόμων και σπανιότερα η εξόντωση του πληθυσμού ενός εντόμου, ή ο περιορισμός των ζημιών που προκαλεί (Τζανακάκης, 1980). Διαφέρει από τον φυσικό περιορισμό του πληθυσμού ως προς την παρέμβαση του ανθρώπου. Συνεπώς για την καταπολέμηση των πληθυσμών αυτών θα πρέπει να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα. Για την αποτελεσματική εφαρμογή των μέτρων αυτών, θα πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε το μέγεθος της προσβολής (είδος εντόμου, μέγεθος πληθυσμού, εστίες προσβολής) καθώς και τις συνθήκες που επικρατούν εντός και εκτός της αποθήκης και έπειτα, με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, να επιλέξουμε τις μεθόδους και τα μέσα καταπολέμησης.

1.3.2. Πρακτικές απεντόμωσης

Δεδομένου ότι η κύρια λειτουργία της αποθήκευσης εποχιακών καλλιεργειών όπως τα σιτηρά και τα όσπρια στην οικονομία, είναι να εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της προσφοράς στην αγορά από την μια εποχή στην άλλη με την αποθήκευση προϊόντων όταν αυτά βρίσκονται σε πλεόνασμα (δηλαδή την εποχή που συγκομίζονται) και με την διάθεσή τους πάλι στην αγορά με σταθερό ρυθμό για όλο τον υπόλοιπο χρόνο. Για να είναι η αποθήκευση κερδοφόρα, οι άνθρωποι που αποθηκεύουν θα πρέπει να λάβουν ένα χρηματικό ποσό που προστίθεται στην τελική τιμή του προϊόντος και περιλαμβάνει εκτός των άλλων και τον έλεγχο των εντόμων. Έτσι η ύπαρξη εντόμων στα αποθηκευμένα προϊόντα, αυξάνει το κόστος του ελέγχου λόγω της απεντόμωσης που θα χρειαστεί να εφαρμοστεί και άρα την τελική τιμή του προϊόντος που θα διατεθεί στην αγορά. Στις περιπτώσεις όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν χημικά σκευάσματα για την καταπολέμηση των εντόμων αποθηκών, το κόστος αυξάνει περαιτέρω. Ταυτόχρονα, η ανησυχία τόσο για την περιβαλλοντική μόλυνση που προκαλείται από τα χημικά εντομοκτόνα όσο και για τους ενδεχόμενους κινδύνους κατανάλωσης προϊόντων που φέρουν υπολείμματα αυτών

επιβεβαιώνει μια παγκόσμια τάση προς τις περιβαλλοντικές αξίες και την βιολογική γεωργία.

Η μηχανική καταπολέμηση (μηχανική απομάκρυνση, μηχανικά φράγματα, ξήρανση, κενό, Entoleter) περιλαμβάνει διάφορα φυσικά μέσα άμεσης νέκρωσης και μείωσης του πληθυσμού, μερικά από τα οποία ανήκουν στα πιο παλαιά και πρωτόγονα που έχει χρησιμοποιήσει ο άνθρωπος (Τζανακάκης, 1980). Ορισμένα από αυτά εφαρμόζονται και σήμερα, κυρίως από παραγωγούς και εμπόρους, ωστόσο μόνο σε σχετικά λίγες περιπτώσεις προκαλούν μεγάλη θνησιμότητα των εντόμων και είναι συνήθως δαπανηρά. Βιολογικές μέθοδοι καταπολέμησης με χρήση ζωντανών οργανισμών όπως εντομοφάγα έντομα, εντομοπαθογόνα βακτήρια, ιοί και στειρωμένα ή γενετικά ελαττωματικά άτομα του επιζήμιου είδους δεν δύναται να εφαρμοστούν στις αποθήκες, λόγω του ότι θα προκαλέσουν επιπρόσθετη μόλυνση του προϊόντος με έντομα ή άλλους οργανισμούς τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την καταπολέμηση των ήδη υπαρχόντων επιβλαβών εντόμων.

Από την άλλη πλευρά, οι φυσικές μέθοδοι απεντόμωσης (χρήση υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών, ελεγχόμενες ατμόσφαιρες, αφυδάτωση, τροπισμοί) χαίρουν μεγάλης εφαρμογής στις αποθήκες. Η χρήση χαμηλών αλλά κυρίως υψηλών θερμοκρασιών είναι από τις κατεξοχήν μεθόδους απεντόμωσης που συνίστανται να εφαρμόζονται σε έναν αποθηκευτικό χώρο, είτε πριν είτε κατά την αποθήκευση του προϊόντος (Banks and Fields, 1995). Με γνώμονα ότι τα περισσότερα έντομα αποθηκών και ακάρεα απαιτούν ένα ορισμένο εύρος θερμοκρασιών για την ανάπτυξη και αναπαραγωγή τους, υψηλότερες θερμοκρασίες επιφέρουν την θανάτωση αυτών, εξαιτίας του ότι οι κυτταρικές τους μεμβράνες λιώνουν, καταστρέφονται ορισμένα ένζυμα, αλλάζει η ισορροπία άλατος στο σώμα και μετουσιώνονται οι πρωτεΐνες. Μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής αφορούν κυρίως στην καταπόνηση των κτηρίων στις απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας καθώς και στην αλλοίωση των προϊόντων που μπορεί να είναι αποθηκευμένα σε αυτές. Η απεντόμωση με χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να αποτελέσει λύση στα προβλήματα αυτά, ωστόσο είναι αρκετά δαπανηρή, ιδίως σε περιοχές με υψηλό ετήσιο μέσο όρο θερμοκρασιών (Fields, 2001). Με παραπλήσιο σκεπτικό εφαρμόζονται και οι ελεγχόμενες ατμόσφαιρες, καθώς αποσκοπούν στην δημιουργία δυσμενών συνθηκών

επιβίωσης των εντόμων, μυκήτων, βακτηρίων και ζυμών, είτε προσθέτοντας CO₂ ή N₂ ή αφαιρώντας O₂, όταν το προϊόν βρίσκεται σε κλειστούς και καλά μονωμένους χώρους όπως σιλό, αποθήκες κ.ά. Θεωρείται επιτυχημένη μέθοδος απεντόμωσης που εκτός της μεγάλης θνησιμότητας των εντόμων και των μυκήτων, δεν αφήνει ανεπιθύμητα υπολείμματα και δεν επηρεάζει δυσμενώς το προϊόν, ωστόσο και εδώ το κόστος εφαρμογής είναι μεγάλο, λόγω της ανάγκης ύπαρξης ειδικών εγκαταστάσεων για την εφαρμογή της (Navarro, 2012).

Η επίταση του αποθηκευμένου σπόρου με γη διατόμων είναι ακόμα μια μέθοδος φυσικής απεντόμωσης καθώς το εν λόγω πυριτικό ορυκτό, είναι πιθανώς ένα από τα ασφαλέστερα και πιο αποτελεσματικά φυσικά εντομοκτόνα. Πρόκειται για σκόνη που αποτελείται από απολιθωμένα διάτομα, το ακανόνιστο σχήμα των οποίων 'ξύνει' και καταστρέφει το προστατευτικό κηρώδες επίστρωμα της εξωτερικής επιφάνειας του εξωσκελετού του εντόμου που κινείται πάνω σε αυτό, με αποτέλεσμα το έντομο να πεθάνει από αφυδάτωση (Ebeling, 1971). Ανάλογα με το προϊόν και το είδος του εντόμου απαιτούνται διαφορετικές δόσεις εφαρμογής για ικανοποιητικά αποτελέσματα και μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους απεντόμωσης, όπως υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, φωσφίνη κ.ά. Πλεονεκτεί σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους λόγω της μη τοξικότητας που παρουσιάζει στα θηλαστικά και της σταθερότητάς της, ωστόσο διάφοροι παράγοντες μπορούν να επιδράσουν στην αποτελεσματικότητα αυτού του εντομοκτόνου (είδος εντόμου, είδος του σπόρου, θερμοκρασία και σχετική υγρασία του χώρου, ειδικό βάρος σπόρου κ.α.) (Korunic, 1998).

1.3.3. Εφαρμογή τροπισμών σε παγίδες ως μέθοδος απεντόμωσης

Με βάση τις μεθόδους τροπισμού που χρησιμοποιούν τα έντομα, έχουν αναπτυχθεί παγίδες που στοχεύουν τόσο στην ανάδειξη της παρουσίας εντόμων στον χώρο και την εκτίμηση της διακύμανσης του πληθυσμού τους, όσο και για καταπολέμηση αυτών (Burkholder, 1981). Ειδικότερα, η κατασκευή παγίδων με μορφή τεχνικών καταφυγίων που τοποθετούνται σε ορισμένα σημεία των αποθηκών, συλλέγονται κατά διαστήματα και καταστρέφονται μαζί

με τα έντομα που έχουν στο μεταξύ καταφύγει σε αυτές, βασίζεται στον (θετικό) 'στερεοτροπισμό', δηλαδή στην τάση που έχουν πολλά είδη εντόμων να τοποθετούν το σώμα τους σε επαφή με συμπαγείς επιφάνειες. Παράλληλα, η ικανότητα των εντόμων να αντιλαμβάνονται από μεγάλες αποστάσεις χαρακτηριστικές οσμές από τις οποίες ελκύονται ή απωθούνται, ορίζεται ως 'χημειοτροπισμός'. Απωθητικές ουσίες διαθέτουν και ορισμένα εντομοκτόνα που χρησιμοποιούνται για επίπαση ή ανάμιξη με προϊόντα. Οι περισσότερο χρησιμοποιημένες ουσίες για την προσέλκυση των εντόμων είναι οι φερομόνες, οι οποίες ελευθερώνονται από έντομα ή άλλα ζώα στην επιφάνεια του σώματός τους ή στο περιβάλλον, επιδρώντας στην συμπεριφορά ή την φυσιολογία σε άτομα του ίδιου είδους. (Cross et al., 1976; Williams et al., 1981; Suzuki and Mori, 1983). Αρκετές από αυτές έχουν βρεθεί, αναπαραχθεί συνθετικά και έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την καταπολέμηση εντόμων αποθηκών (Jones, 1998). Στην Ελλάδα, δοκιμάστηκαν φερομόνες για είδη της οικογένειας Pyralidae, το *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) και το *L. serricornis*, όπου εκτός από την επισήμανση της παρουσίας τους και τον προσδιορισμό και την παρακολούθηση της πυκνότητας του πληθυσμού των παραπάνω εντόμων, επιτεύχθηκε μια σημαντική μείωση του πληθυσμού αρρένων ατόμων με μαζική παγίδευση (έως και 93%), οπότε και μειώθηκε η αναγκαιότητα εφαρμογής πολλών επεμβάσεων με εντομοκτόνα (Μπουχέλος, 2005). Οι τύποι των παγίδων με φερομόνη κατηγοριοποιούνται κυρίως με βάση το εάν ο προσορισμός τους αφορά την παρακολούθηση ή την καταπολέμηση των εντόμων αποθηκών, καθώς και το εάν τα έντομα αυτά βαδίζουν ή πετούν. Έτσι για τα ιπτάμενα έντομα, λαμβάνοντας υπόψη την οπτική προτίμηση που δείχνουν για συγκεκριμένα σχήματα (π.χ. το είδος *P. interpunctella* προτιμά στενές κάθετες ορθογώνιες επιφάνειες), χρησιμοποιούνται παγίδες όπως η "Lasiotrap" από χαρτόνι ή οι παγίδες Στουτγάρδης (σχήματος δέλτα, τύπου τέντας, πτερυγοειδείς). Για τα βαδίζοντα έντομα (κολεόπτερα, προνύμφες), αναγνωρίζοντας την ιδιότητα που έχουν να κρύβονται σε ρωγμές ή σχισμές τοίχων και κατασκευών στις αποθήκες, χρησιμοποιούνται παγίδες όπως το κυματοειδές χαρτόνι, εμποτισμένο με φερομόνη για την προσέλκυση των εντόμων σε συνδυασμό με εντομοκτόνο για την θανάτωση αυτών ή κολλητική ταινία για την ακινητοποίησή τους. Στην ίδια κατηγορία υπάγεται και η απομίμηση της δειγματοληπτικής σόντας, η οποία βυθίζεται σε διάφορα μέρη

μέσα στην μάζα του προϊόντος, τα έντομα περνούν από τις οπές στο εσωτερικό της παγίδας και πέφτουν στο κατώτερο τμήμα της μέσα από ένα πλαστικό χωνάκι όπου και συλλέγονται (Μπουχέλος, 2005).

Τέλος, η χρήση φωτεινών παγίδων βασίζεται στον θετικό φωτοτροπισμό των εντόμων. Οι εν λόγω παγίδες έχουν αναγνωρισθεί ως ένα σημαντικό μέσο τόσο για την πρόληψη εισόδου ή εγκατάστασης εντόμων σε μια μονάδα, όσο και για την καταπολέμηση αυτών σε βιομηχανίες τροφίμων ή φαρμακευτικών προϊόντων, καταστημάτων τροφίμων (κρεοπωλεία, ζαχαροπλαστεία), εστιατορίων, ξενοδοχείων και νοσοκομείων. Θα πρέπει ωστόσο να αναφερθεί ότι ορισμένα είδη εντόμων, όπως τα *O. surinamensis*, *S. granarius* και *T. confusum*, παρουσιάζουν αρνητικό φωτοτροπισμό και άρα δεν μπορούν να ελεγχθούν με τέτοιου είδους παγίδες (Σταμόπουλος, 2005). Οι περισσότερες από τις εν λόγω παγίδες που χρησιμοποιούν λαμπτήρες φθορισμού ευρέος φάσματος, είναι ογκώδεις, απαιτούν την συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και καταναλώνουν πολύ ενέργεια, χαρακτηριστικά που αποτρέπουν την ευρεία χρήση τους (Εικ. 8). Μια λύση στο πρόβλημα αποτελούν οι δίοδοι εκπομπής φωτός (light-emitting diodes - LED). Τα πλεονεκτήματα της χρήσης LED στις παγίδες ως φωτεινή πηγή, είναι πολλά. Χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια και έτσι μπορούν να λειτουργήσουν ασύρματα (με μπαταρία), έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, είναι ελαφρύτερες και μικρότερες και η κατασκευή τους τους επιτρέπει την παραγωγή στενών φασματικών ζωνών φωτός. Έτσι, η προσθήκη LED χρωμάτων σε παγίδες σχεδιασμένες για την προσέλκυση εντόμων μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, να αυξήσει τη διάρκεια ζωής και να μειώσει το κόστος λειτουργίας αυτών (Cohnstaedt *et al.*, 2008).



Εικόνα 8: Τύπος ηλεκτρικής φωτεινής παγίδας

(Πηγή: http://el.nsns.biz/sredstva-ot-nasekomyx_elektricheskie-unichtozhiteli-nasekomyx.html)

1.3.4. Καπνογόνα ως κύρια μέθοδος απεντόμωσης στις αποθήκες

Η χρήση χημικών σκευασμάτων μετά την συλλογή και αποθήκευση των γεωργικών προϊόντων είναι περιορισμένη και μόνο λίγα εντομοκτόνα έχουν έγκριση. Αντιθέτως, δραστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για υποκαπνισμό όπως η φωσφίνη, βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή, επειδή δρουν υπό μορφή αερίου και άρα για να είναι αποτελεσματικές θα πρέπει να εφαρμόζονται σε κλειστούς χώρους, όπως θερμοκήπια, αποθήκες, συσκευαστήρια κ.α. Επιπρόσθετα, παρουσιάζουν μεγάλη αποτελεσματικότητα εναντίον όλων των σταδίων ανάπτυξης του εντόμου ενώ αφήνουν στα τρόφιμα ελάχιστη συνήθως ποσότητα υπολειμμάτων (Σταμόπουλος, 2005).

Φωσφίνη (phosphine, PH₃): Πρόκειται για ανόργανη φωσφορούχο ένωση με πολλαπλή δράση στις κυτταρικές και φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού-στόχου. Είναι ισχυρότατο δηλητήριο, μη εκλεκτικό εντομοκτόνο και τρωκτικοκτόνο, αποτελεσματικό για απεντομώσεις σπόρων σιτηρών, οσπρίων, σταφίδας, καπνού, ξηρών σύκων, και άλλων αποθηκευμένων προϊόντων, καθώς και για μυοκτονίες. Δρα σε όλα τα έντομα αποθηκών, σε όλα τα στάδια ανάπτυξής τους, ακόμα και στα ωά. Πρόκειται για ένα αέριο υψηλής τοξικότητας (LD₅₀ = 50 mg/kg) στα ανώτερα ζώα, πουλιά, ψάρια και μέλισσες, με χαρακτηριστική οσμή και μεγάλη αναφλεξιμότητα (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2008). Ο κίνδυνος ανάφλεξης εξαλείφθηκε πλήρως με την παρασκευή εμπορικών σκευασμάτων που περιέχουν μίγμα φωσφορούχου αργιλίου (aluminium phosphide, AlP), φωσφορούχου μαγνησίου (magnesium phosphide, Mg₃P₂) ή φωσφορούχου ψευδαργύρου (zinc phosphide, Zn₃P₂) με καρβαμιδική αμμωνία, τα οποία με την επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας διασπώνται προς φωσφίνη, ενώ η καρβαμιδική αμμωνία προς διοξείδιο του άνθρακα και αμμωνία που παρεμποδίζουν της ανάφλεξη της φωσφίνης. Εφαρμόζεται σε κενούς κλειστούς χώρους, αποθήκες, σιλό, μέσα μεταφοράς, υλικά συσκευασίας κ.α. Η απεντόμωση γίνεται με την τοποθέτηση των σκευασμάτων που παράγουν φωσφίνη εντός της μάζας των γεωργικών προϊόντων από εξειδικευμένο προσωπικό με ειδικές συσκευές. Η έκλυση φωσφίνης αρχίζει μια περίπου ώρα μετά την εφαρμογή του σκευάσματος και ολοκληρώνεται σε 1 - 3 ημέρες αναλόγως της θερμοκρασίας και υγρασίας. Έτσι, δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος για το προσωπικό, εκτός αν εισέλθουν στον

χώρο απεντόμωσης χωρίς να έχει αεριστεί καλά ο χώρος πριν την πάροδο του προβλεπόμενου χρόνου (2-3 ημέρες). Ως προς τον μηχανισμό δράσης φαίνεται ότι εκτός της γενικής ασφυξιογόνου δράσης παρουσιάζει και εξειδικευμένη δράση στο σύμπλοκο της κυτοχρωμικής οξειδάσης του κυτοχρωμικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρονίων στα μιτοχόνδρια (Ζιώγας και Μαρκόγλου, 2012).

1.3.5. Ανθεκτικότητα στην φωσφίνη

Οι πρώτες αναφορές για την ανάπτυξη ανθεκτικότητας από τα έντομα εμφανίστηκαν περίπου το 1949, ωστόσο σήμερα, ως αποτέλεσμα της χημικής αυτής κατάχρησης, 595 είδη από τα πιο σημαντικά έντομα που προκαλούν τις μεγαλύτερες ζημιές έχουν παρουσιάσει ανθεκτικότητα σε έναν ή περισσότερους τύπους χημικών, μεγάλο ποσοστό των οποίων χρησιμοποιούνται σε αναπτυσσόμενες χώρες (Pimentel et al., 2010; Opit et al., 2012; Kliot and Ghanim, 2012; Agrafioti et al., 2019)

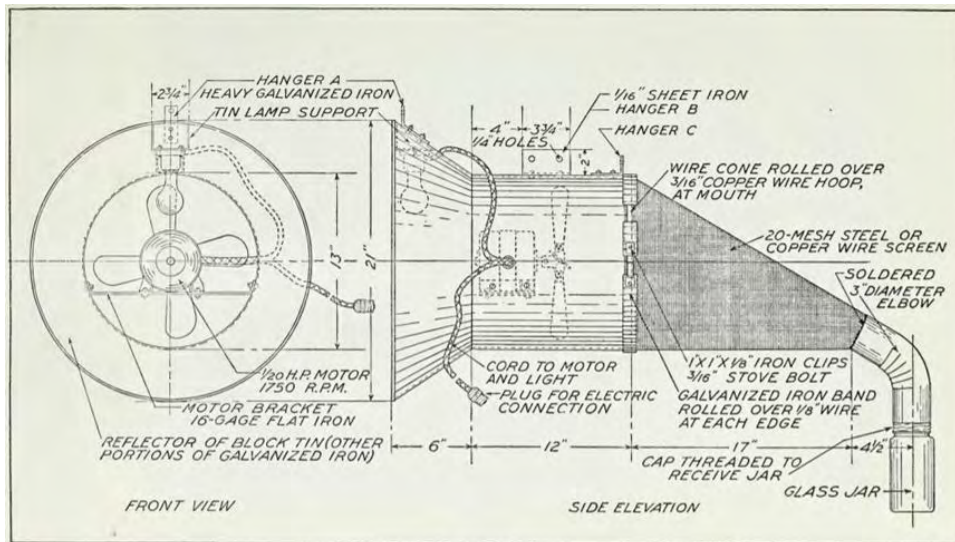
Ως ανθεκτικότητα, ορίζεται η ανάπτυξη της ικανότητας μιας φυλής οργανισμού να αντέχει σε δόσεις ενός δηλητηρίου, οι οποίες είναι θανατηφόρες για την πλειονότητα των ατόμων ενός φυσικού πληθυσμού του ίδιου είδους (Ζιώγας και Μαρκόγλου, 2012). Η φυλή αυτή αναπτύχθηκε όταν εκτέθηκε επί μεγάλο χρονικό διάστημα σε έναν συγκεκριμένο τύπο εντομοκτόνου, αφήνοντας μόνο τα ανθεκτικά άτομα του πληθυσμού αυτού να αναπαραχθούν. Οι κυριότεροι μηχανισμοί ανάπτυξής της, οφείλονται στην αυξημένη ταχύτητα μεταβολισμού, αποτοξίνωσης και απέκκρισης και στην μειωμένη ή μη ευαισθησία του στόχου, λόγω αλλαγών του στόχου, ήτοι του σημείου δράσης των εντομοκτόνων (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2008). Η ανθεκτικότητα των εντόμων αποθηκών έχει μεγάλη πρακτική και οικονομική σημασία. Τα προβλήματα που μπορεί να επιφέρει αφορούν στην αύξηση του κόστους καταπολέμησης (χρειάζονται πιο συχνές επεμβάσεις με πιο ακριβά εναλλακτικά εντομοκτόνα), ανάγκη εναλλαγής της καλλιέργειας με άλλη λιγότερο αποδοτική, επιβάρυνση της τιμής των νεο-εισαχθέντων στην αγορά εντομοκτόνων λόγω της συνεχόμενης έρευνας για ανακάλυψη ή σύνθεση νέων δραστικών ουσιών και εν τέλει αύξηση

του κόστους της γεωργικής παραγωγής λόγω ανθεκτικότητας που τελικά το επιβαρύνεται ο καταναλωτής.

Εκτός των οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων, η ανθεκτικότητα είναι μια από τις πιο ενδιαφέρουσες περιπτώσεις εξελικτικής προσαρμογής στις περιβαλλοντικές αλλαγές, ειδικά αν λάβουμε υπόψη ότι έχει συμβεί σχετικά γρήγορα από την άποψη του εξελικτικού χρόνου (Roush and Tabashnik, 1990). Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη του εθισμού στα εντομοκτόνα είναι οι γενετικοί, οι βιολογικοί ή βιοτικοί και οι παράγοντες εφαρμογής. Η ανθεκτικότητα στη φωσφίνη οδηγεί σε μια ποικιλία βιολογικών και φυσιολογικών αλλαγών που μπορεί να έχουν σημαντικές επιδράσεις στα έντομα (Jagadeesan et al., 2012; Dagnish et al., 2015). Δεδομένου ότι σε ανθεκτικούς πληθυσμούς ειδών παρατηρούνται μεταβολές στο γονιδίωμά τους, είναι επόμενο να εκφράζονται και διαφορετικά χαρακτηριστικά στην βιολογία τους, όπως ο αριθμός των γενεών κατ' έτος και των σταδίων του βιολογικού κύκλου που υφίστανται την επιλογή, ο αριθμός απογόνων ανά γενεά, η μονογαμικότητα ή πολυγαμικότητα και η παρθενογένεση (που εμποδίζει την ομοζυγωτία και συνεπώς την μεγάλη ανθεκτικότητα). Ταυτόχρονα, χαρακτηριστικά στην συμπεριφορά ενός ατόμου είναι δυνατόν να επηρεαστούν (κινητικότητα, μετανάστευση, μονοφαγία ή πολυφαγία κ.α. (Pimentel et al., 2007).

1.4. Χρήση φωτεινών παγίδων ως μέθοδος καταπολέμησης

Η αναποτελεσματικότητα των καπνιστικών εντομοκτόνων να καταπολεμήσουν τον σημαντικότερο και πιο καταστροφικό εχθρό των αποθηκευμένων προϊόντων καπνού, το *L. serricornis*, οδήγησε στην σχεδίαση και εγκατάσταση φωτεινών παγίδων (Εικ. 9) σε αποθήκες ήδη από το 1932. Σκοπός των παγίδων αυτών ήταν η έλκυση και μαζική παγίδευση ατόμων του είδους, συμβάλλοντας στην μείωση του πληθυσμού μέσα την αποθήκη (Reed, 1935).



Εικ. 9: Σχέδιο φωτεινής παγίδας που χρησιμοποιήθηκε σε αποθήκες καπνού στην Βιρτζίνια των Ηνωμένων Πολιτειών, το 1932.

(Πηγή: Reed, W. D. (1935). Trapping experiments for the control of the cigarette beetle. Circular No. 356, United States Department of Agriculture Washington, D. C.)

Από τότε έως και σήμερα, παγίδες που βασίζονται στον θετικό φωτοτροπισμό των εντόμων, έχουν αναγνωριστεί ως ένα σημαντικό μέσο τόσο για την πρόληψη εισόδου ή εγκατάστασης εντόμων σε έναν χώρο, όσο και για την αντιμετώπιση αυτών με μαζική παγίδευση και θανάτωση. Επί του παρόντος χρησιμοποιούνται κυρίως για την σύλληψη δίπτερων και νυκτόβιων κυρίως εντόμων. Μπορεί η θεωρία πίσω από την συγκεκριμένη μέθοδο παγίδευσης να μην έχει αλλάξει (Claypole, 1885; Reed, 1935; Soderstrom, 1970; Miyatake et al., 2016), μεγάλες βελτιώσεις ωστόσο μπορούν να επιτευχθούν στην κατασκευή των παγίδων με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Οι λαμπτήρες φθορισμού ευρέος φάσματος που χρησιμοποιούνται ως τώρα, προσδίδουν στις παγίδες χαρακτηριστικά που αποτρέπουν την ευρεία χρήση τους. Η αλλαγή αυτών με LED, μπορεί να εισάγει μια νέα γενιά παγίδων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα καθότι, έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας, απαιτούν λιγότερη ενέργεια, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, είναι ελαφρύτερες και μικρότερες και η κατασκευή των LED επιτρέπει την παραγωγή στενών φασματικών ζωνών φωτός (Cohnstaedt et al., 2008).

Παρόλο που τα πλεονεκτήματα της αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού από LED, αναφέρονται ως επί το πλείστον στο κόστος λειτουργίας των παγίδων, το σημαντικότερο έγκειται στην ικανότητα των τελευταίων να

παράγουν συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός. Δεδομένα από διάφορες έρευνες με διαφορετικές μεθόδους πειραματισμού, έχουν οριοθετήσει το εύρος του μήκους κύματος του φωτός που μπορεί το κάθε είδος ή γένος εντόμου αποθηκευμένων προϊόντων να αναγνωρίσει και να ανταποκριθεί. Ενδεικτικά, η εργασία των Park και Lee (2017), αντιστοιχεί συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός, παραγόμενα από λαμπτήρες LED, σε είδη εντόμων που αποτελούν σημαντικούς εχθρούς τόσο των καλλιεργειών όσο και των αποθηκευμένων προϊόντων (Πίνακας 1).

Pests	Wavelength (color)	Luminous intensity (lx)	Time (h)	Number of adults (mean \pm SEM)			Attraction rate (%) ^a	References
				Light side	No choice	Dark side		
<i>Lasioderma serricorne</i>	625 \pm 10 nm (red)	100	1.5	9.3 \pm 3.4	11.9 \pm 4.0	8.8 \pm 0.9	31.0	[24]
	BLB (control)	–	1.5	8.7 \pm 1.3	7.6 \pm 2.2	13.7 \pm 0.9	29.0	
<i>Sitophilus oryzae</i>	470 \pm 10 nm (blue)	25	48	25.3 \pm 0.7	2.8 \pm 0.5	1.9 \pm 0.4	84.3	[44]
	BLB (control)	–	48	17.0 \pm 0.9	7.2 \pm 0.6	5.8 \pm 0.4	56.7	
<i>Sitophilus zeamais</i>	625 \pm 10 nm (red)	25	48	18.0 \pm 1.0	7.3 \pm 1.3	4.7 \pm 1.3	59.8	[45]
	BLB (control)	–	48	8.2 \pm 2.0	12.3 \pm 2.8	9.5 \pm 0.9	27.3	
<i>Sitotroga cerealella</i>	470 \pm 10 nm (blue)	60	0.6	18.3 \pm 0.6	8.1 \pm 1.5	3.6 \pm 0.6	61.0	[17]
	BLB (control)	–	0.6	17.4 \pm 2.1	2.2 \pm 1.7	10.4 \pm 0.6	58.0	
<i>Plodia interpunctella</i>	520 \pm 5 nm (green)	60	0.5	22.0 \pm 0.5	2.1 \pm 1.1	5.86 \pm 1.4	52.2	[12]
	BLB (control)	–	0.5	8.7 \pm 2.1	6.0 \pm 1.5	15.32 \pm 1.8	28.9	
<i>Tribolium castaneum</i>	625 \pm 10 nm (red)	30	48	29.4 \pm 1.6	0.6 \pm 0.5	0.0 \pm 0.1	97.8	[49]
	BLB (control)	–	48	8.4 \pm 1.5	0.2 \pm 0.1	21.8 \pm 2.6	28.0	
<i>Tyrophagus putrescentiae</i>	625 \pm 10 nm (red)	40	2	5.4 \pm 2.7	41.7 \pm 1.7	2.9 \pm 1.6	18.0	[47]
	BLB (control)	–	2	2.2 \pm 1.3	44.5 \pm 1.7	3.3 \pm 2.0	7.3	

^a Attraction rate (%) is the average percentage of pests attracted under optimal conditions

Πίνακας 1: Φωτοτροπισμός των εντόμων αποθηκευμένων προϊόντων σε διαφορετικά μήκη κύματος φωτός, παραγόμενα από λαμπτήρες LED.

(Πηγή: Park, J. and Lee, H. (2017). Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored product insects to light-emitting diodes (LEDs). *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 60, 137–144).

1.5. Σκοπός της παρούσας μελέτης

Καθότι, τα διάφορα είδη αντιλαμβάνονται και διαφορετικά μήκη κύματος φωτός, η εύρεση και η αντιστοίχιση των ελκυστικότερων από αυτά, αποτελεί και από τους βασικότερους πυλώνες για την σχεδίαση αποτελεσματικών παγίδων. Στο πλαίσιο αυτό, κύριος σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η αξιολόγηση της ανταπόκρισης δυο ειδών εντόμων αποθηκών, του *L. serricorne* και του *T.*

castaneum, σε διαφορετικού μήκους κύματος οπτικά ερεθίσματα, με χρήση LED. Τα είδη αυτά συγκαταλέγονται στους σημαντικότερους εχθρούς ευρείας γκάμας αποθηκευμένων προϊόντων παγκοσμίως. Παρόμοια με άλλα έντομα, τα *L. serricornis* και *T. castaneum* είναι γνωστό ότι προσελκύνονται από συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός (Kirkpatrick et al., 1970; Miyatake and Omae, 2014). Πιο συγκεκριμένα, προηγούμενες μελέτες έχουν αναδείξει το UV και Μπλε μήκος κύματος φωτός ως τα ελκυστικότερα για τα ακμαία *L. serricornis*, ενώ το Κόκκινο ως το ελκυστικότερο για το *T. castaneum*. Ταυτόχρονα, είναι γνωστό ότι ανταποκρίνονται και σε άλλα μήκη κύματος, όπως το Πράσινο, το Κίτρινο και το Λευκό φως (Kirkpatrick et al., 1970; Soderstrom, 1970; Katsuki et al., 2013; Jackowska et al., 2007). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στη φωσφίνη μπορεί να σχετίζεται με διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς, τα οποία μπορούν να επιφέρουν σημαντικές διαφορές στην κινητικότητα του εντόμου. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν δυο πληθυσμοί των ειδών (ανθεκτικός και ευαίσθητος στην φωσφίνη). Ταυτόχρονα, αξιολογήθηκε και η επίδραση άλλων παραγόντων στην επιλογή της εκάστοτε φωτεινής πηγής όπως το φύλο του εντόμου, η ύπαρξη του ενός ή και των δυο φύλων στο ίδιο χώρο, η αναπαραγωγική κατάσταση του εκάστοτε ατόμου (συζευγμένα ή μη άτομα) και η ύπαρξη ή απουσία τροφής στον χώρο. Έτσι, απώτερος σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η επισήμανση διαφορών σε οπτικά ερεθίσματα των εντόμων αυτών, σε σχέση τόσο με την ανθεκτικότητα στη φωσφίνη όσο και με άλλους παράγοντες (π.χ. το φύλο), σε μια προσπάθεια δημιουργίας συσκευών παγίδευσης που βασίζονται σε LED.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Είδη εντόμων

Τα είδη που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα *Lasioderma serricorne* και *Tribolium castaneum*, τα οποία παρουσιάστηκαν εκτενώς στην εισαγωγή. Για κάθε ένα από τα εν λόγω είδη, δυο διαφορετικοί πληθυσμοί χρησιμοποιήθηκαν στις βιοδοκιμές, ένας ανθεκτικός και ένας ευαίσθητος στην φωσφίνη. Ο ανθεκτικός πληθυσμός του *L. serricorne*, προέρχεται από την Μαλαισία ενώ ο ευαίσθητος από την Γερμανία. Αντίστοιχα, οι δυο πληθυσμοί του *T. castaneum* προέρχονται από την Αυστραλία. Τα συγκεκριμένα έντομα εκτρέφονται εδώ και 3 χρόνια στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας (ΕΕΓΖ) του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για τις εκτροφές των πληθυσμών του *L. serricorne*, χρησιμοποιήθηκε μίγμα αλευριού από καλαμπόκι με ξηρή μαγιά, σε αναλογία 18:1. Για τις εκτροφές των πληθυσμών του *T. castaneum* χρησιμοποιήθηκε αλεύρι ολικής άλεσης. Οι εκτροφές των ειδών έλαβαν χώρα σε θερμοκρασία 25 °C και σχετική υγρασία (ΣΥ) 55%, σε συνεχή σκότος, σε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών.

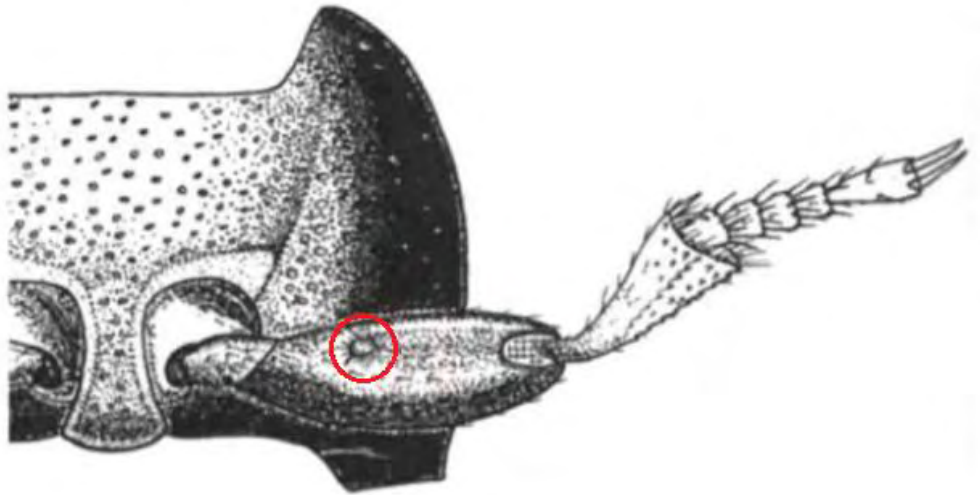
Διαφορετικές μέθοδοι διαχωρισμού χρησιμοποιήθηκαν, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε πρωτοκόλλου. Για την συλλογή συζευγμένων ακμαίων και των δυο ειδών, σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, χρησιμοποιήθηκε κόσκινο με διάμετρο σπών περί το 1 μm. Με το κοσκίνισμα, επετεύχθη ο διαχωρισμός των ακμαίων από το υπόστρωμα εκτροφής (αλεύρι) και τα υπόλοιπα στάδια του εκάστοτε εντόμου (κυρίως προνύμφες και νύμφες). Τα ακμαία έπειτα χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή του πειράματος. Για τον διαχωρισμό αρσενικών και θηλυκών ατόμων, χρησιμοποιήθηκε διαφορετική μέθοδος ανά είδος. Όσον αφορά το *L. serricorne*, κελιά νύμφωσης του εντόμου συλλέχθηκαν από τις εκτροφές με κόσκινο 2 μm και εν συνεχεία, με πολύ προσεκτικές κινήσεις, εξήχθη η νύμφη. Με γνώμονα την μελέτη του Halstead (1963), οι νύμφες διαχωρίστηκαν ανά φύλο με βάση εξωτερικά χαρακτηριστικά (η διαφορετική ανατομία του τελευταίου κοιλιακού τμήματος της νύμφης αποτελεί το χαρακτηριστικό γνώρισμα του φύλου του ατόμου) (Εικ. 10), τα διαχωρισμένα άτομα εισάχθηκαν ανά φύλο σε πλαστικά τρυβλία με αλεύρι

καλαμποκιού και μεταφέρθηκαν σε θάλαμο με θερμοκρασία 30 °C και ΣΥ 55%, σε συνεχές σκότος. Τα τρυβλία ελέγχονταν σε καθημερινή βάση και τα ακμαία που εξέρχονταν χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των βιοδοκιμών. Για το *T. castaneum*, ακμαία συλλέχθηκαν από τις εκτροφές με κόσκινο 1 μm και εισήχθησαν σε πλαστικό τρυβλίο. Έπειτα, το τρυβλίο τοποθετήθηκε σε χαμηλή θερμοκρασία (-20 °C) για 1 λεπτό, με σκοπό την ολιγόλεπτη ακινητοποίηση των ατόμων, χωρίς ωστόσο να θανατωθούν. Με γνώμονα την μελέτη του Hinton (1942), τα ακινητοποιημένα ακμαία διαχωρίστηκαν με βάση εξωτερικά χαρακτηριστικά στο πρώτο ζεύγος ποδιών (ύπαρξη στίγματος στον μηρό του ποδιού, αποτελεί το χαρακτηριστικό γνώρισμα του αρσενικού ακμαίου, απουσία αυτού δηλώνει ότι το εξετασθέν ακμαίο είναι θηλυκό) (Εικ. 11). Τα συλλεχθέντα αρσενικά και θηλυκά άτομα διαχωρίστηκαν και τοποθετήθηκαν ανά φύλο σε τρυβλία μαζί με 1 γρ. αλευριού ολικής άλεσης, και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε θάλαμο με 25 °C και 55% ΣΥ με σκοπό την χρήση τους στις βιοδοκιμές.



Εικ. 10: Τελευταία κοιλιακά τμήματα νυμφών του *L. serricorne*, με εμφανή την διαφορετική ανατομία που χαρακτηρίζουν το φύλο του ατόμου. Αριστερά αρσενική και δεξιά θηλυκή προνύμφη.

(Πηγή: Ryan, L. (1999). Biology. In *Post-harvest Tobacco Infestation Control*. Ryan, L. Eds. Springer, Dordrecht, pp. 5-24.)

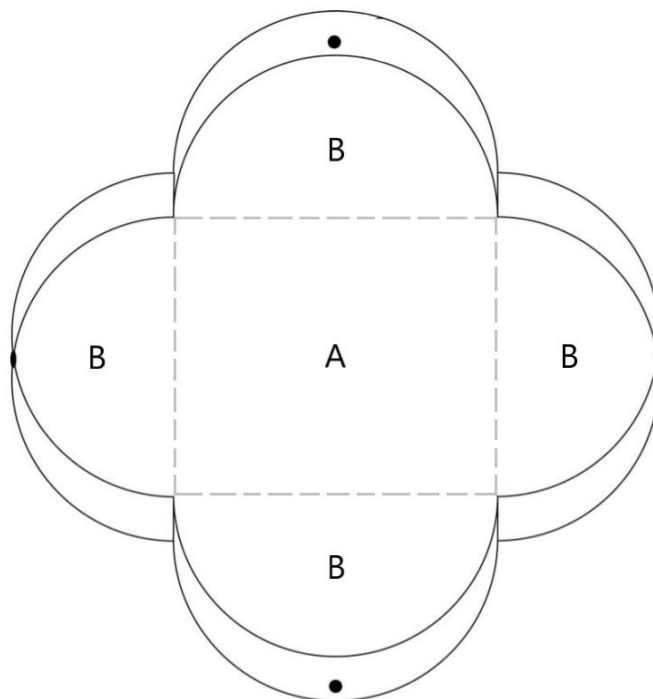


Εικ. 11: Δεξί πόδι από το πρώτο ζεύγος ποδιών στο πρόνωτο, αρσενικού ακμαίου *T. castaneum*. Η ύπαρξη του στίγματος στο μηρό του ποδιού αποτελεί το χαρακτηριστικό γνώρισμα του αρσενικού.

(Πηγή: Hinton, H.E. (1942). Secondary sexual characters of *Tribolium*. *Nature* 149, 500-501)

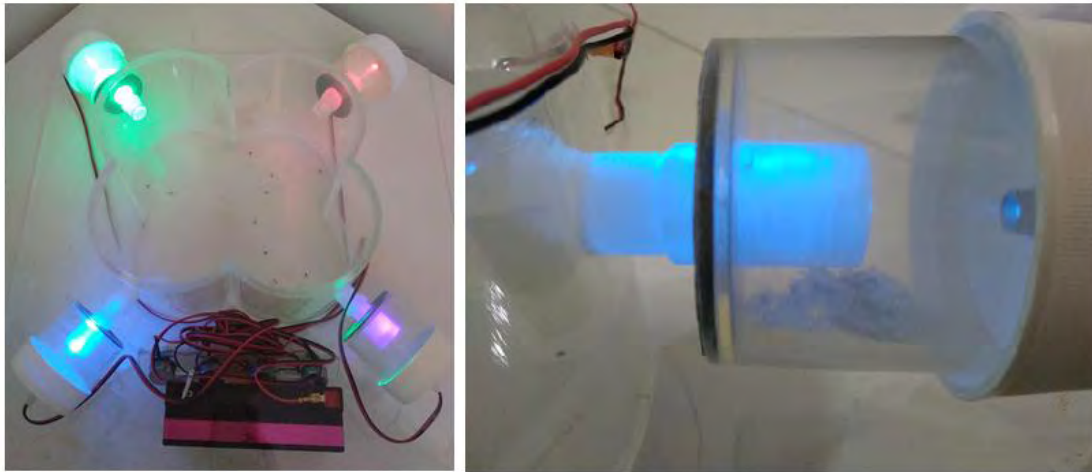
2.2. Κατασκευή αρένας

Για την διεξαγωγή των βιοδοκιμών χρησιμοποιήθηκε κατασκευή από διάφανο ακρυλικό πλαστικό. Λωρίδες από το εν λόγω υλικό (μήκος: 24 εκ., πλάτος: 14.5 εκ.) κόπηκαν και λυγίστηκαν σε ημικύκλια, τα οποία ενώθηκαν στις άκρες μεταξύ τους (Εικ. 12). Στην μέση της κάθε λωρίδας (μαύρη κουκίδα στην Εικ. 12), ανοίχθηκε οπή και τοποθετήθηκε πλαστικός σωλήνας (διάμετρος: 1.6 εκ.) που καταλήγει σε διαφανές πλαστικό δοχείο (διάμετρος: 6.6 εκ.) με βιδωτό καπάκι. Στο καπάκι του εκάστοτε δοχείου ανοίχθηκε οπή (διάμετρος: 0.6 εκ.) για την τοποθέτηση του LED (Εικ. 13).



Εικ. 12: Κατασκευή αρένας

Πάνω και κάτω από την ακρυλική κατασκευή, τοποθετήθηκαν τετράγωνες πλάκες (51*51 εκ.) από το ίδιο υλικό, για την αποφυγή εξόδου των εντόμων. Επίσης, fluon (polytetrafluoroethylene, Northern Products, Rhode Island, USA) τοποθετήθηκε καθ' όλο το μήκος των λωρίδων από την κάτω πλευρά, για την αποφυγή των εντόμων να βαδίσουν προς τον σωλήνα. Η όλη κατασκευή καλυπτόταν κατά την διάρκεια των βιοδοκιμών με χάρτινο κουτί, σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών του ΕΕΓΖ, για την επίτευξη συνθηκών πλήρους σκότους. Τέσσερα LED φωτάκια (EPIGAP Optronic GmbH Koepenicker Str., Berlin, Germany) χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της ανταπόκρισης των εντόμων στα οπτικά ερεθίσματα. Πιο συγκεκριμένα, LED φωτάκι με μήκος κύματος 400 νανόμετρων, που αντιστοιχεί σε UV φως, LED με μήκος κύματος 460 νανόμετρων (Μπλε), LED με μήκος κύματος 505 νανόμετρων (Πράσινο) και LED με μήκος κύματος 660 νανόμετρων (Κόκκινο), τοποθετήθηκαν αντίστοιχα στις υποδοχές της αρένας. Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των LED, τα φωτάκια συνδέονταν με καλώδιο σε μπαταρία (CP Century Power, Valve Regulated Lead-Acid Battery TS12-6, 6 V, Carole Park, Queensland, Australia).



Εικ. 13: Αρένα με ενσωματωμένα τα LED (αριστερά), δοχείο με τροφή (αλεύρι) (δεξιά).

(Πηγή: Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας)

Η αρένα τοποθετήθηκε σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών του ΕΕΓΖ, με σταθερή θερμοκρασία 25 °C και 55 % ΣΥ, σε συνθήκες σκότους. Για την αξιολόγηση τόσο της ανταπόκρισης των εντόμων στα συγκεκριμένα αυτά μήκη κύματος όσο και για άλλους παράγοντες που παίζουν ρόλο στην επιλογή, ακολουθήθηκαν έξι διαφορετικά πρωτόκολλα (Π1-6):

Π1: Είσοδος 20 συζευγμένων ακμαίων από το εκάστοτε είδος ανά επανάληψη, σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με απουσία τροφής στην αρένα.

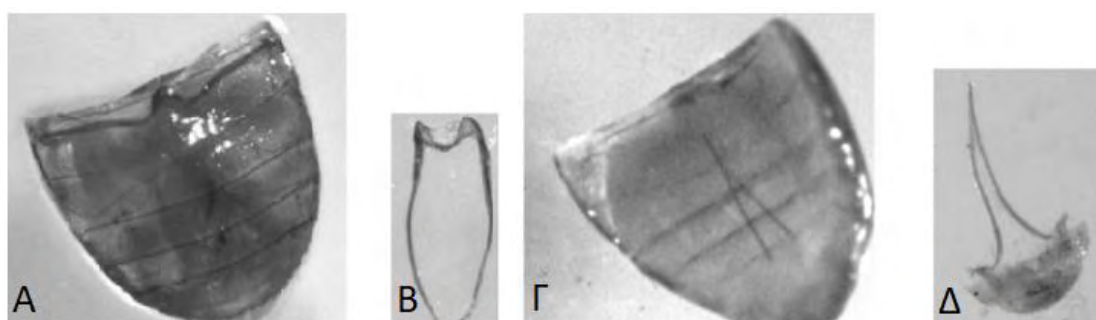
Π2: Είσοδος 20 αρσενικών από το εκάστοτε είδος ανά επανάληψη, με απουσία τροφής στην αρένα.

Π3: Είσοδος 20 θηλυκών από το εκάστοτε είδος ανά επανάληψη, με απουσία τροφής στην αρένα.

Π4-6: Επανάληψη των παραπάνω πρωτοκόλλων αλλά με εισαγωγή τροφής που αφορά 0,5 γρ. λευκού αλευριού σε κάθε ένα από τα τέσσερα δοχεία στην αρένα.

Στα πρωτόκολλα όπου έγινε χρήση εντόμων σε τυχαία αναλογία, τα έντομα έπειτα από το πέρας της κάθε επανάληψης, συλλέχθηκαν και αναγνωρίστηκε το φύλο τους με βάση την εργασία των Παπαδοπουλου και Buchelos (2002β) για το *L. serricornis* (η ύπαρξη αποδέματος (arodeme) σε ν-σχήμα υποδηλώνει ότι το εξετασθέν άτομο είναι θηλυκό, ενώ απόδεμα σε υ-σχήμα, ότι το άτομο είναι

αρσενικό) (Εικ. 14) και του Hinton (1942) για το *T. castaneum* (αναφορά ανωτέρω) (Εικ. 11). Για τα συζευγμένα ακμαία με τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών πραγματοποιήθηκαν 8 επαναλήψεις (8 επαναλήψεις * 20 άτομα = 160 άτομα/πληθυσμός), ενώ για τα αρσενικά ή θηλυκά ακμαία, πραγματοποιήθηκαν 6 επαναλήψεις (6 επαναλήψεις * 20 άτομα = 120 άτομα/φύλο), ανεξαρτήτως είδους εντόμου ή παρουσίας τροφής στην αρένα. Για τα πρωτόκολλα όπου τα ακμαία διαχωρίστηκαν ανά φύλο πριν την είσοδό τους στην αρένα, μόνο ο ευαίσθητος πληθυσμός του *T. castaneum* αξιολογήθηκε.



Εικ. 14: Κοιλιακά τμήματα αρσενικού (Α) όπου το απόδεμα έχει υ-σχήμα (Β) και θηλυκού (Β), με το απόδεμα να έχει ν-σχήμα, ακμαίου *L. serricornis*.

(Πηγή: Papadopoulou, S.C. and Buchelos, C.T. (2002β). Identification of female adult *Lasioderma serricornis* (F.) by simple external observation of the abdomen. *Journal of Stored Products Research* 38, 315–318)

2.3. Αξιολόγηση της επιλογής

Για κάθε επανάληψη των βιοδοκιμών, τα ακμαία τοποθετούνταν στο κέντρο της αρένας, καλυπτόμενα από πλαστικό (διαφανές) τρυβλίο. Η αρένα καλυπτόταν με το χάρτινο κουτί και αφηνόταν για 5 λεπτά, με σκοπό τον προσανατολισμό των εντόμων στο καινούριο περιβάλλον. Έπειτα, το τρυβλίο αφαιρούνταν, η αρένα καλυπτόταν με το πλαστικό ακρυλικό (πάνω πλευρά) και έπειτα με το χάρτινο κουτί και τα έντομα ήταν σε θέση να κινούνταν ελεύθερα μέσα την αρένα. Με το πέρας 24 ωρών, η αρένα ανοιγόταν και μετρήσεις λαμβάνονταν με βάση την θέση των εντόμων στην αρένα. Συνολικά, τα έντομα μπορούσαν να βρεθούν σε εννιά (νοητές) περιοχές μέσα στην κατασκευή, περιοχές που αξιολογούνταν ως διαφορετικές μετρήσεις. Ειδικότερα, μέσα σε κάθε ημικύκλιο με όριο την νοητή γραμμή μεταξύ των δύο άκρων αυτού, ορίστηκε ως η

εξωτερική περιοχή που το έντομο έχει επιλέξει, ως αποτέλεσμα της ύπαρξης του LED που βρίσκεται στο δοχείο (Εικ. 12: Περιοχή Β). Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται ως εξωτερική, καθώς το έντομο δεν ήταν σε θέση να εντοπίσει και να κινηθεί στην φωτεινή πηγή, δηλαδή να βρεθεί μέσα στο δοχείο. Εν αντιθέσει, η ύπαρξη των εντόμων μέσα στο δοχείο, θεωρήθηκε ως διαφορετική μέτρηση, καθώς το έντομο ήταν σε θέση να αντιληφθεί και να κινηθεί με ακρίβεια προς την φωτεινή πηγή (πετώντας ως την οπή και διασχίζοντας τον σωλήνα, με τελικό προορισμό το δοχείο και το LED φωτάκι). Τέλος, όσα έντομα βρέθηκαν στην μέση της αρένας, δηλαδή στο αρχικό σημείο που τοποθετήθηκαν, θεωρήθηκαν ως άτομα που δεν ανταποκρίθηκαν στα φωτεινά ερεθίσματα των LED (Εικ. 12: Περιοχή Α). Για να διασφαλιστεί ότι τα LED φωτάκια ήταν ο παράγοντας κίνησης των ακμαίων στην αντίστοιχη περιοχή, η θέση των LED άλλαζε με το πέρας της κάθε επανάληψης. Έτσι, οι συνδυασμοί των LED που βρίσκονταν αντικριστά καθώς και η θέση τους στον χώρο τόσο της αρένας όσο και του δωματίου, διέφερε σε κάθε επανάληψη.

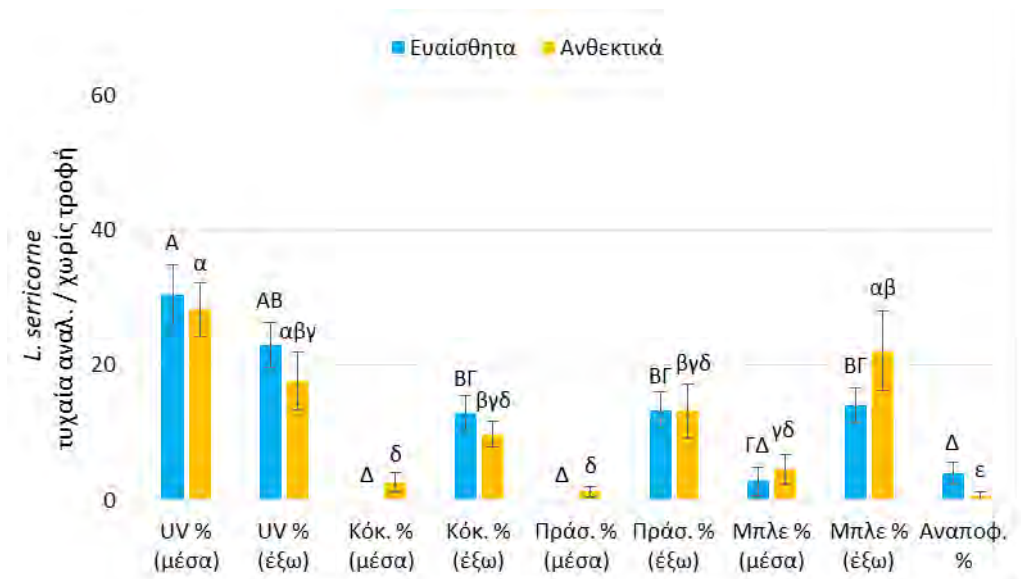
2.4. Στατιστική ανάλυση

Σε όλα τα πρωτόκολλα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης JMP® Software, version 7.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, 2007). Αναλύθηκαν τα ποσοστά των ατόμων που βρέθηκαν μεταξύ των νοητά οριοθετημένων περιοχών της αρένας, με το πέρας των 24 ωρών για κάθε πληθυσμό (ευαίσθητο ή ανθεκτικό) με Ανάλυση της Διασποράς (one-way ANOVA). Παράλληλα, αναλύθηκαν τα ποσοστά των ατόμων μεταξύ της ίδιας περιοχής με t-test, με σκοπό την εύρεση στατιστικών διαφορών. Οι μέσοι του κάθε πληθυσμού αναλύθηκαν και διαχωρίστηκαν με την επιλογή της περιοχής ως κύριο παράγοντα με το Tukey-Kramer HSD test σε 0.05. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε ξεχωριστά και για τα ποσοστά των αρσενικών ή θηλυκών ατόμων που βρέθηκαν στις εκάστοτε περιοχές.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. *Lasioderma serricorne*

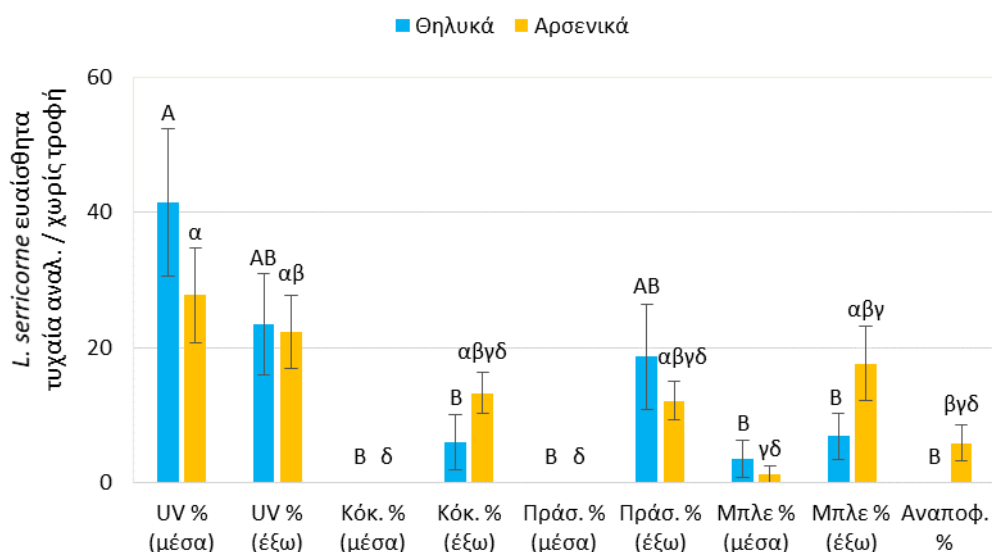
Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η επιλογή των ατόμων του ευαίσθητου και ανθεκτικού στην φωσφίνη πληθυσμού του *L. serricorne*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με απουσία τροφής στην αρένα. Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η αρένα είχε χωριστεί σε νοητές περιοχές, η κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχούσε και σε διαφορετική επιλογή. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από το Διάγραμμα 1, υπήρξαν στατιστικές διαφορές μεταξύ των LED και στους δυο πληθυσμούς, αλλά όχι μεταξύ των πληθυσμών στις εκάστοτε περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, το UV LED ήταν το ελκυστικότερο και για τους δυο πληθυσμούς, καθότι τα ποσοστά των ατόμων που βρέθηκαν είτε μέσα στο δοχείο είτε στην αντίστοιχη εξωτερική περιοχή ήταν τα υψηλότερα από όλες τις άλλες επιλογές (53% για τον ευαίσθητο και 46% για τον ανθεκτικό). Για τον ευαίσθητο, οι εξωτερικές περιοχές με το Κόκκινο, το Πράσινο και το Μπλε LED φαίνεται να ελκύουν εξίσου ένα μικρότερο ποσοστό ατόμων (περίπου 13%), ενώ μόνο μέσα σε δοχείο με το Μπλε LED βρέθηκαν άτομα (3%). Εν αντιθέσει, το 22% του ανθεκτικού πληθυσμού προτίμησε τις εξωτερικές περιοχές με το Μπλε LED, με τις αντίστοιχες περιοχές του UV (17%), του Πράσινου (13%) και του Κόκκινου (9%) LED να ακολουθούν, ενώ σε όλα τα δοχεία ανεξαρτήτως LED, βρέθηκαν άτομα σε μικρότερα ποσοστά.



Διάγραμμα 1: Ποσοστό (%) των ατόμων των δύο πληθυσμών (ευαίσθητα/ανθεκτικά στην φωσφίνη) του *L. serricorne*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για τον κάθε πληθυσμό: $df = 8,63$. Για τον ευαίσθητο πληθυσμό: $F = 16.6$, $p < 0.01$. Για τον ανθεκτικό πληθυσμό: $F = 9.1$, $p < 0.01$)

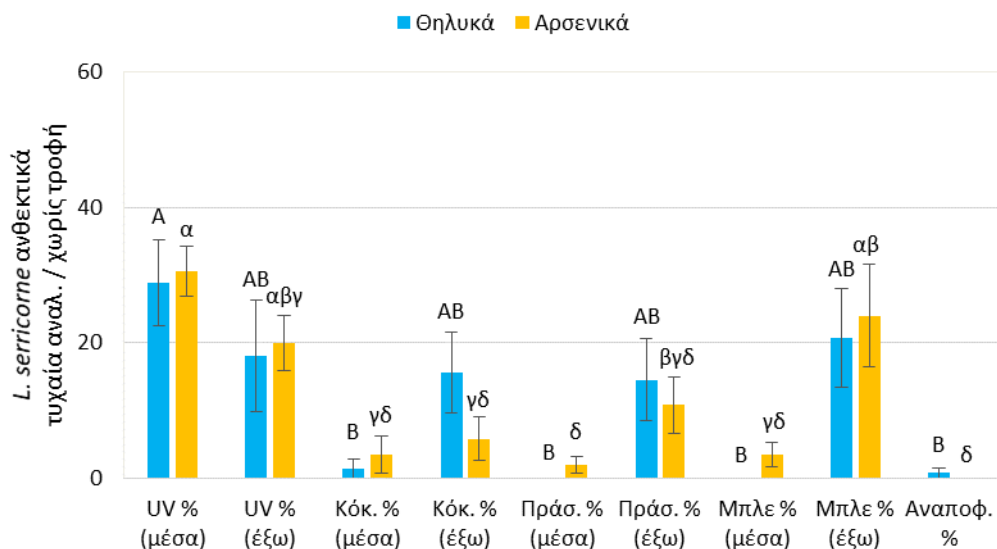
Όπως έχουμε αναφέρει και στο προηγούμενο κεφάλαιο, στα πρωτόκολλα με χρήση εντόμων σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, έπειτα από το πέρας των 24 ωρών και αφού καταγράφηκε η περιοχή στην οποία βρέθηκε το κάθε ακμαίο, τα 20 άτομα συλλέχθηκαν και διαχωρίστηκαν ανά φύλο. Έτσι, η κάθε στήλη του Διαγράμματος 1, εμπερικλείει δυο ποσοστά, τα οποία αντιστοιχούν στα αρσενικά και θηλυκά άτομα που επέλεξαν το συγκεκριμένο LED. Έτσι, στα επόμενα Διαγράμματα (2 και 3), παρουσιάζονται τα ποσοστά των αρσενικών και θηλυκών ατόμων των δυο πληθυσμών. Έτσι, ενώ το ποσοστό των ατόμων στο Διάγραμμα 1 αντιστοιχεί σε 160 άτομα από κάθε πληθυσμό (8 επαναλήψεις * 20 άτομα = 160 άτομα/πληθυσμό), το ποσοστό των θηλυκών στο Διάγραμμα 2, αντιστοιχεί σε 53 άτομα, ενώ το ποσοστό των αρσενικών σε 107 άτομα. Και εδώ υπήρξαν στατιστικές διαφορές όσον αφορά την επιλογή του εκάστοτε LED από τα δυο φύλα του εντόμου, αλλά όχι μεταξύ των φύλων στην κάθε περιοχή. Μεγάλο ποσοστό των θηλυκών φαίνεται να ελκύεται από το UV LED (66%), αφού πάνω από το 40% βρέθηκε στο δοχείο, ενώ το 24% βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή αυτού. Η ελκυστικότητα των υπόλοιπων LED που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσίασε διαφορές ανάλογα το φύλο του ατόμου. Το 19% των θηλυκών βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή του Πράσινου LED ενώ το αντίστοιχο ποσοστό των αρσενικών στην εξωτερική περιοχή του Μπλε.

Διπλάσιο ποσοστό αρσενικών βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή του Κόκκινου LED σε σύγκριση με αυτό των θηλυκών στην ίδια περιοχή.



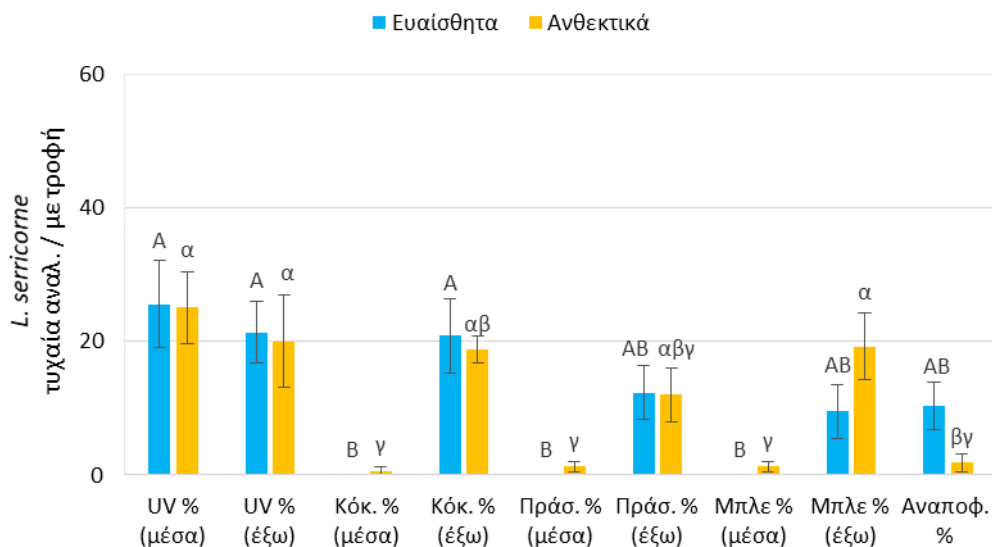
Διάγραμμα 2: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη σε τυχαία αναλογία, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 8,63$. Για τα θηλυκά: $F = 6.6$, $p < 0.01$. Για τα αρσενικά: $F = 6.8$, $p < 0.01$)

Αντίστοιχα με το Διάγραμμα 2, το ποσοστό των θηλυκών στο Διάγραμμα 3, αντιστοιχεί σε 65 άτομα, ενώ το ποσοστό των αρσενικών σε 90 άτομα. Τα 5 άτομα που υπολείπονται για την συμπλήρωση των 160 δεν έχουν εισαχθεί σε κανένα από τα Διαγράμματα 1 και 3, καθώς η αναγνώριση του φύλου δεν ήταν εφικτή. Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 3, τα μεγαλύτερα ποσοστά τόσο των θηλυκών (47%) όσο και των αρσενικών (51%) παρατηρήθηκαν μέσα ή κοντά στο UV LED. Ταυτόχρονα, το 21 και 24% των θηλυκών και αρσενικών βρέθηκαν στην εξωτερική περιοχή του Μπλε LED. Η εξωτερική περιοχή του Κόκκινου LED, φαίνεται να ελκύει περισσότερο τα θηλυκά (16%) από ότι τα αρσενικά (6%). Εν αντιθέσει, όσα άτομα βρέθηκαν μέσα στα δοχεία, ανήκουν στην πλειοψηφία τους σε αρσενικά, ειδικά στα Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε LED. Στατιστικές διαφορές βρέθηκαν μεταξύ των LED για κάθε πληθυσμό, ενώ καμία στατιστική διαφορά δεν βρέθηκε μεταξύ των φύλων σε κάθε περιοχή.



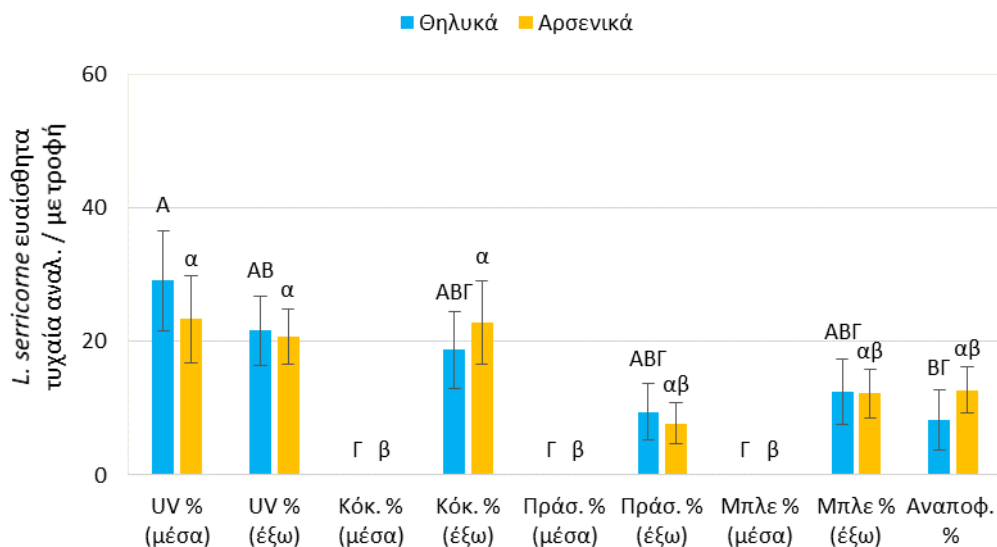
Διάγραμμα 3: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ανθεκτικού πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη σε τυχαία αναλογία, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 8,63$. Για τα θηλυκά: $F = 4.4, p < 0.01$. Για τον ανθεκτικό πληθυσμό: $F = 8.7, p < 0.01$)

Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η επιλογή των ατόμων του ευαίσθητου και ανθεκτικού στην φωσφίνη, *L. serricornis*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών (mix), με παρουσία τροφής (0,5 γρ. αλευριού) στην αρένα. Για τις περισσότερες των περιπτώσεων, τα ποσοστά των δυο πληθυσμών δεν διαφέρουν. Όπως και παραπάνω, σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στατιστικά, στην προτίμηση των ατόμων του εκάστοτε πληθυσμού σε κάθε LED. Το UV LED ήταν αυτό με το μεγαλύτερο ποσοστό και των δυο πληθυσμών, συγκεντρώνοντας συνολικά το 47% του ευαίσθητου και το 45% του ανθεκτικού. Τόσο στην εξωτερική πλευρά του UV όσο και του Κόκκινου LED, βρέθηκε το ¼ του συνόλου των ακμαίων, ανεξαρτήτως πληθυσμού. Κανένα ακμαίο από τον ευαίσθητο πληθυσμό δεν βρέθηκε στα δοχεία των LED, πλην αυτού με το UV. Αντιθέτως, ένα ποσοστό ανθεκτικού πληθυσμού βρέθηκε στα υπόλοιπα δοχεία με τα LED, ποσοστό όμως που δεν ξεπερνά σε καμία των περιπτώσεων το 5%.



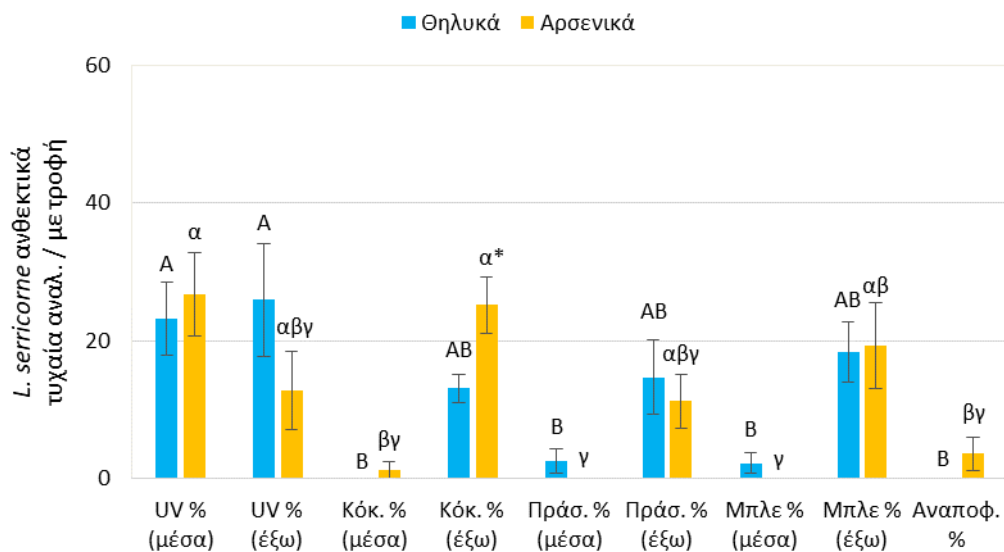
Διάγραμμα 4: Ποσοστό (%) των ατόμων των δύο πληθυσμών (ευαίσθητα/ανθεκτικά στην φωσφίνη) του *L. serricorne*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για τον κάθε πληθυσμό: $df = 8,63$. Για τον ευαίσθητο πληθυσμό: $F = 6.2$, $p < 0.01$. Για τον ανθεκτικό πληθυσμό: $F = 7.1$, $p < 0.01$)

Στο Διάγραμμα 5, παρουσιάζονται τα ποσοστά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού, όταν το σύνολο αυτών εισάχθηκε σε τυχαία αναλογία στην αρένα. Όπως και παραπάνω, το ποσοστό των θηλυκών αντιστοιχεί σε 94 και των αρσενικών σε 66 άτομα. Καμία από τις επιλογές δεν φαίνεται να παρουσιάζει στατιστικά μεγάλες διακυμάνσεις όσον αφορά το φύλο, παρόλο που η επιλογή των LED διέφερε σημαντικά. Ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό θηλυκών (29%) εισήλθε στο δοχείο με το UV LED σε σχέση με αυτό των αρσενικών (23%). Ταυτόχρονα, περισσότερα θηλυκά βρέθηκαν στις εξωτερικές περιοχές του UV και Πράσινου LED, ενώ περισσότερα αρσενικά στις εξωτερικές περιοχές των Κόκκινου και Μπλε LED. Τέλος, περισσότερα ήταν τα αναποφάσιστα αρσενικά από τα θηλυκά που βρέθηκαν στο μέσο της αρένας.



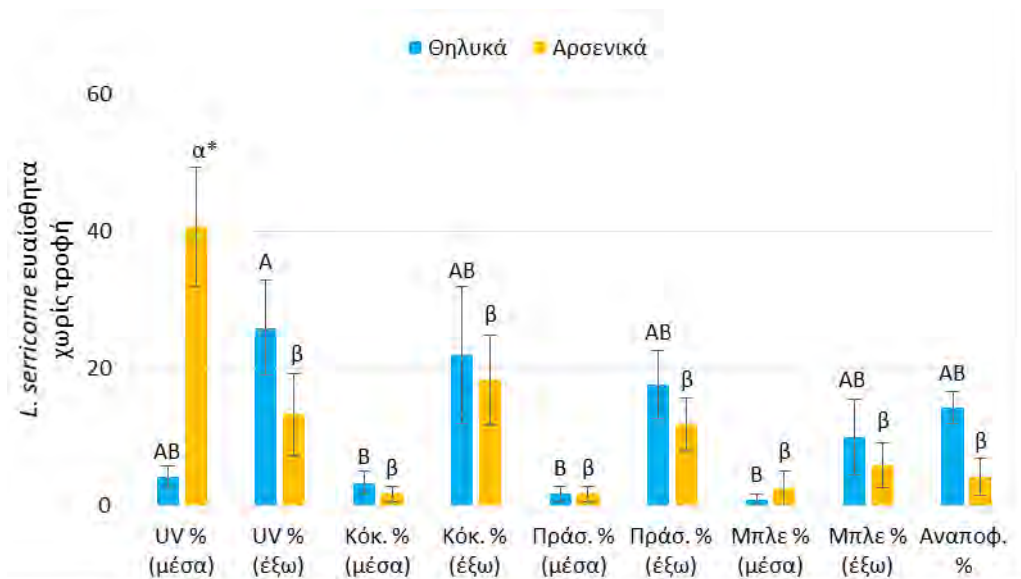
Διάγραμμα 5: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη σε τυχαία αναλογία, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 8,63$. Για τα θηλυκά: $F = 5.4$, $p < 0.01$. Για τα αρσενικά: $F = 6.4$, $p < 0.01$)

Μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρουσιάζονται μεταξύ των φύλων στον ανθεκτικό πληθυσμό (Διάγραμμα 6). Στο δοχείο του UV LED βρέθηκαν περισσότερα αρσενικά άτομα (27%) παρά θηλυκά (23%), ενώ το αντίστροφο συνέβη στην εξωτερική περιοχή (26% θηλυκά και 13% αρσενικά). Στατιστικά μεγαλύτερο ποσοστό αρσενικών σε σχέση με τα θηλυκά βρέθηκε και στην εξωτερική περιοχή του Κόκκινου LED (t -test: $t = 2.66$, $df = 10,25$, $p = 0.02$), ενώ μόνο αρσενικά θεωρήθηκαν ως αναποφάσιστα. Στα δοχεία με Πράσινο και Μπλε LED βρέθηκαν μόνο θηλυκά σε μικρά ωστόσο ποσοστά (3 και 2% αντίστοιχα), ενώ μόνο αρσενικά μέσα στο δοχείο του Κόκκινου LED (1%).



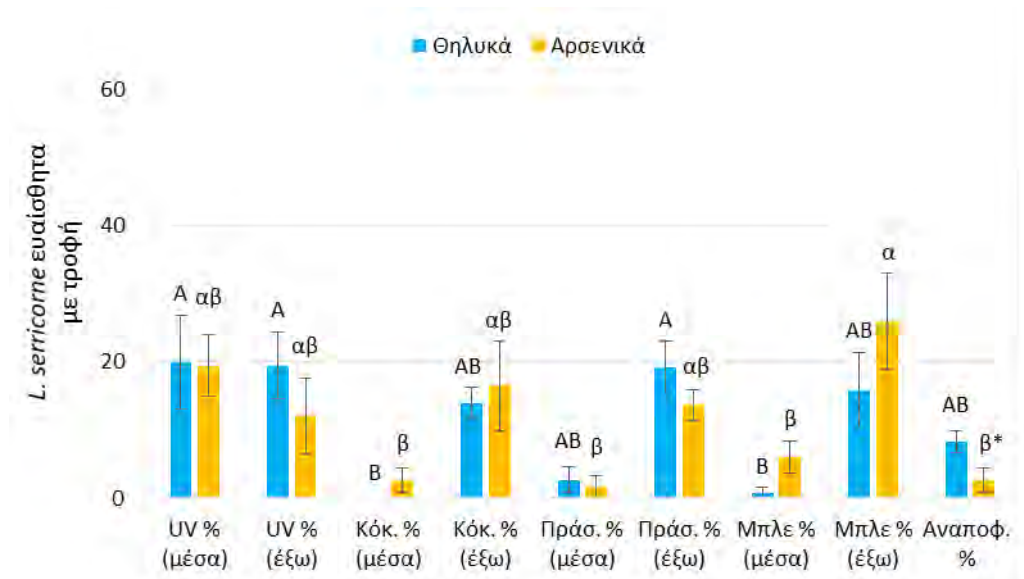
Διάγραμμα 6: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ανθεκτικού πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη σε τυχαία αναλογία, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 6,83$. Για τα θηλυκά: $F = 6.2$, $p < 0.01$. Για τα αρσενικά: $F = 6.9$, $p < 0.01$)

Στα επόμενα Διαγράμματα 7, 8, 9 και 10, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ανταπόκρισης ακμαίων από τον ευαίσθητο και ανθεκτικό πληθυσμό του *L. serricornis*, τα οποία είχαν διαχωριστεί από το στάδιο της νύμφης σε αρσενικά και θηλυκά. Στατιστικές διαφορές μεταξύ των δυο φύλων σε κάθε επιλογή LED, βρέθηκαν μόνο στο UV LED (t -test: $t = 4.10$, $df = 5,30$, $p < 0.01$). Πιο συγκεκριμένα, περισσότερα αρσενικά (40%) βρέθηκαν στο δοχείο με το UV LED, με το αντίστοιχο ποσοστό των θηλυκών να μην ξεπερνά το 5%, ενώ στατιστικώς περισσότερα θηλυκά (14%) δεν μετακινήθηκαν από την περιοχή όπου αρχικά τοποθετήθηκαν, σε σχέση με τα αρσενικά. Παράλληλα, σε όλες τις άλλες περιοχές δεν υπήρξαν στατιστικές διαφορές μεταξύ των φύλων, ανεξαρτήτως LED. Πιο συγκεκριμένα, το 26% αυτών βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή του UV LED, με τις εξωτερικές περιοχές του Κόκκινου (22%) και Πράσινου (17%) LED να ακολουθούν. Ένα μικρό ποσοστό τόσο θηλυκών όσο και αρσενικών ατόμων βρέθηκε στα δοχεία με τα Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε LED, ποσοστό που δεν ξεπέρασε το 3,5% σε καμία των περιπτώσεων. Περισσότερα αρσενικά βρέθηκαν στην εξωτερική περιοχή του Κόκκινου LED (18%) σε σύγκριση με αυτή του UV LED (13%).



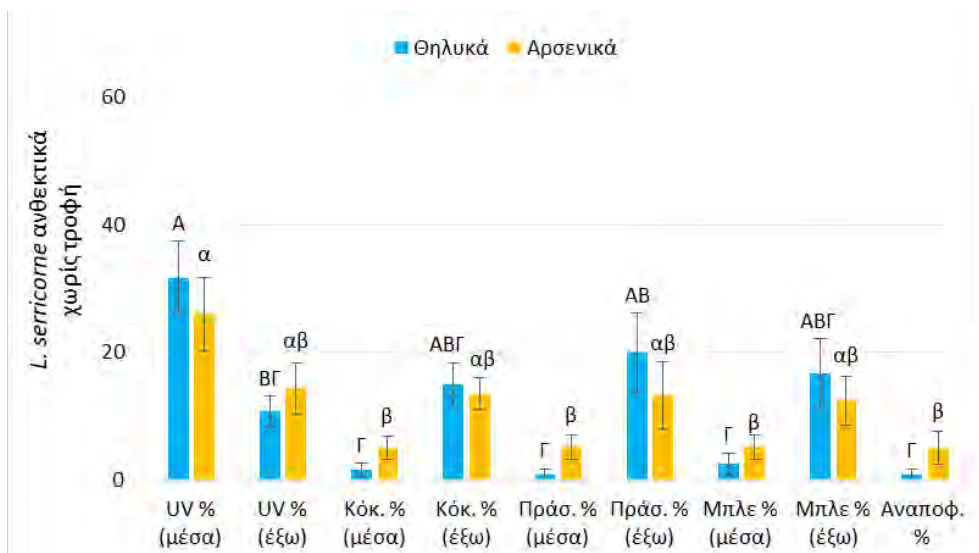
Διάγραμμα 7: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη ανά φύλο, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 8,45$. Για τα θηλυκά: $F = 3.6$, $p < 0.01$. Για τα αρσενικά: $F = 7.2$, $p < 0.01$)

Σε αντίθεση με το Διάγραμμα 7, διαφορετική εικόνα παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 8, τόσο μεταξύ των φύλων όσο και μεταξύ της προτίμησης των LED από τον ευαίσθητο πληθυσμό, όταν στα δοχεία υπάρχει τροφή (αλεύρι). Το μεγαλύτερο ποσοστό παρατηρήθηκε στην εξωτερική περιοχή του Μπλε LED όπου βρέθηκε το 26% των αρσενικών, με αντίστοιχο ποσοστό το 15% των θηλυκών στην ίδια περιοχή. Ίδια ποσοστά παρουσιάζουν τα δυο φύλα στο δοχείο με το UV LED (20%), ενώ περισσότερα αρσενικά βρέθηκαν στο δοχείο με το Μπλε LED (6%) και περισσότερα θηλυκά στο δοχείο με το Πράσινο LED (2,6%) σε σύγκριση με το αντίθετο φύλο. Μόνο αρσενικά βρέθηκαν στο δοχείο με το Κόκκινο LED (2,66%). Μόνο στην περίπτωση των αναποφάσιστων ατόμων υπήρξαν στατιστικές διαφορές μεταξύ των φύλων (t-test: $t = -2.38$, $df = 9,88$, $p = 0.03$)



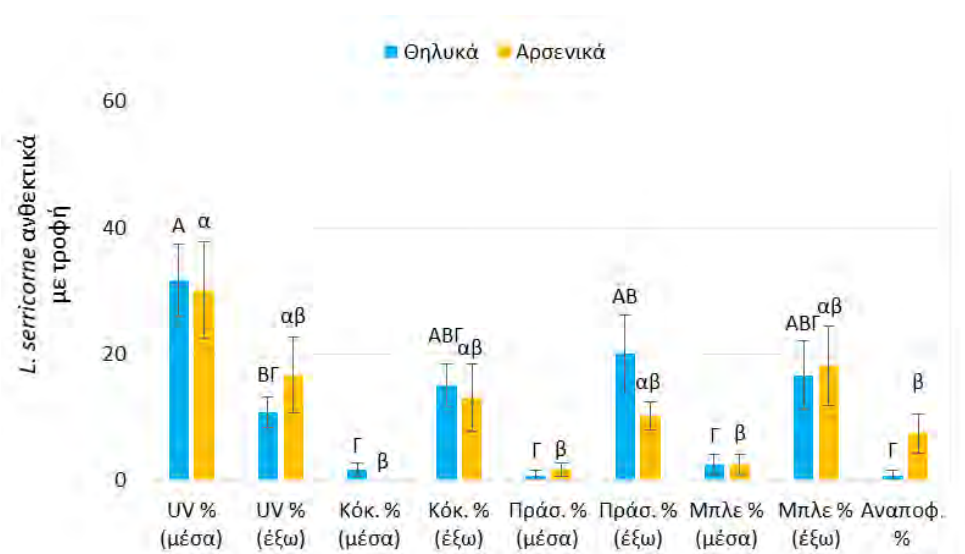
Διάγραμμα 8: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη ανά φύλο, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 8,45$. Για τα θηλυκά: $F = 4.8$, $p < 0.01$. Για τα αρσενικά: $F = 3.9$, $p < 0.01$)

Όσον αφορά τον ανθεκτικό πληθυσμό του *L. serricornis*, τόσο τα θηλυκά όσο και τα αρσενικά έδειξαν μεγάλη προτίμηση στο UV LED, καθότι τα μεγαλύτερα ποσοστά και των δυο φύλων (31 και 26% αντίστοιχα) εμφανίζονται στο δοχείο με το εν λόγω φως. Για τα θηλυκά, το 1/4 των ατόμων βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή του Πράσινου LED, ενώ περίπου το 15% στην αντίστοιχη περιοχή των Μπλε και Κόκκινου LED. Αντιθέτως, τουλάχιστον διπλάσιο ποσοστό αρσενικών σε σχέση με το αντίθετο φύλο, βρέθηκε στα δοχεία με τα Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε LED (5% έκαστος) καθώς και στο κέντρο της αρένας. Καμία στατιστική διαφορά δεν βρέθηκε μεταξύ των φύλων, στις εκάστοτε περιοχές επιλογής.



Διάγραμμα 9: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ανθεκτικού πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη ανά φύλο, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 8,45$. Για τα θηλυκά: $F = 8.4$, $p < 0.01$. Για τα αρσενικά: $F = 3.8$, $p < 0.01$)

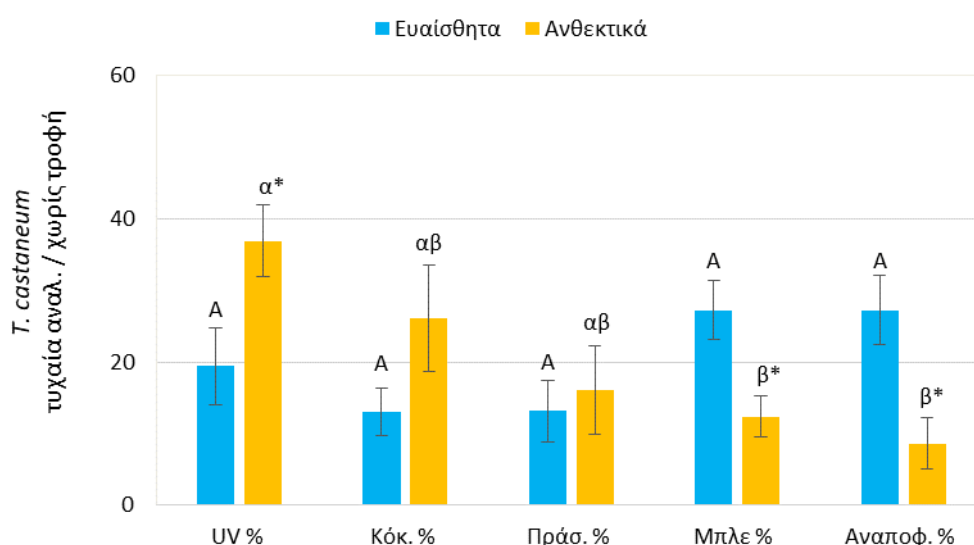
Η παρουσία τροφής στην αρένα φαίνεται να επηρέασε τα θηλυκά στην αντίδρασή τους στα LED, και ειδικότερα στο UV LED, καθώς το ποσοστό αυτών μειώθηκε μέσα στο δοχείο αλλά αυξήθηκε στην εξωτερική περιοχή του UV (Διάγραμμα 10). Λιγότερα αρσενικά βρέθηκαν επίσης μέσα στα δοχεία των Κόκκινου, Πράσινου και Μπλε LED σε σύγκριση με αυτά του Διαγράμματος 9. Ίδιο ποσοστό θηλυκών και αρσενικών ωστόσο, βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή των Πράσινου και Μπλε LED (10%). Καμία στατιστική διαφορά δεν βρέθηκε μεταξύ των φύλων στις εκάστοτε περιοχές.



Διάγραμμα 10: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ανθεκτικού πληθυσμού του *L. serricornis*, που εισήχθη ανά φύλο, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 8,45$. Για τα θηλυκά: $F = 8.4$, $p < 0.01$. Για τα αρσενικά: $F = 4.6$, $p < 0.01$)

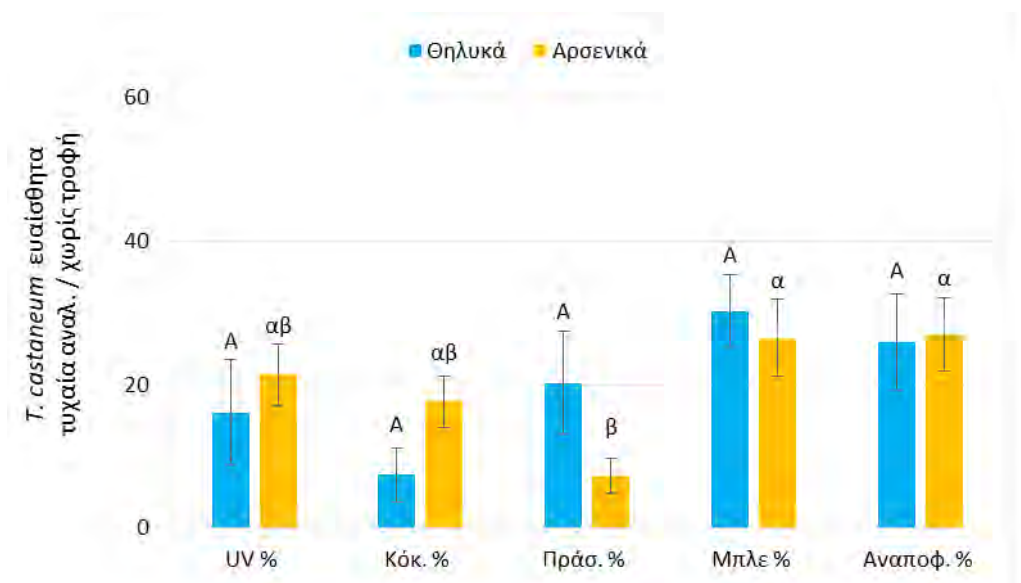
3.2. *Tribolium castaneum*

Στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζεται η επιλογή των ατόμων του ευαίσθητου και ανθεκτικού στην φωσφίνη, *T. castaneum*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με απουσία τροφής στην αρένα. Σε αντίθεση με το *L. serricornis*, σε καμία από τις επαναλήψεις δεν βρέθηκε άτομο *T. castaneum* που να είχε εισέλθει σε δοχείο. Για τον λόγο αυτό, στα διαγράμματα που ακολουθούν, το ποσοστό των ατόμων που βρέθηκαν στις εξωτερικές περιοχές και στο κέντρο της αρένας παρουσιάζονται. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 11, ο ευαίσθητος πληθυσμός δεν παρουσίασε στατιστικές διαφορές μεταξύ των LED, σε αντίθεση με τον ανθεκτικό. Σε γενικές γραμμές, ο ευαίσθητος παρουσίασε μεγαλύτερη προτίμηση στο Μπλε σε σύγκριση με τα υπόλοιπα LED, ενώ το ίδιο ποσοστό ατόμων βρέθηκε και στο κέντρο της αρένας (27%). Τα λιγότερα άτομα επέλεξαν τα Κόκκινο και Πράσινο LED (13%). Αντιθέτως, ο ανθεκτικός πληθυσμός βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή του UV LED με ποσοστό 37%, επιλέγοντας λιγότερο τα Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε LED, κατά φθίνουσα σειρά. Συγκρίνοντας τους δυο πληθυσμούς μεταξύ τους σε κάθε περιοχή, στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στο UV (t-test: $t = -2.39$, $df = 13,95$, $p = 0.03$) και Μπλε (t-test: $t = 2.94$, $df = 12,34$, $p = 0.01$) LED, και μεταξύ των αναποφάσιστων ατόμων (t-test: $t = 3.05$, $df = 13,01$, $p < 0.01$).



Διάγραμμα 11: Ποσοστό (%) των ατόμων των δύο πληθυσμών (ευαίσθητα/ανθεκτικά στην φωσφίνη) του *T. castaneum*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για τον κάθε πληθυσμό: $df = 4,35$. Για τον ευαίσθητο πληθυσμό: $F = 2.5$, $p = 0.05$. Για τον ανθεκτικό πληθυσμό: $F = 4.6$, $p < 0.01$)

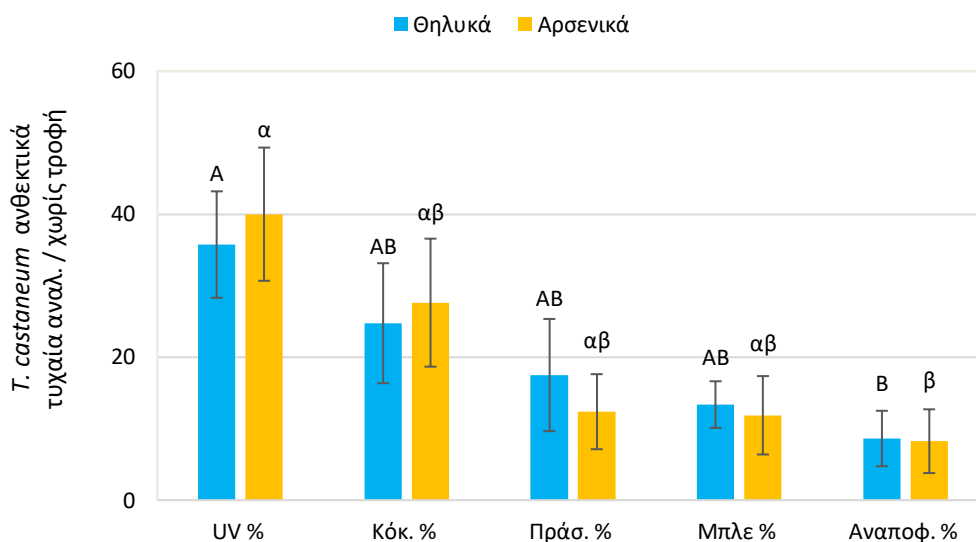
Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, στα πρωτόκολλα με χρήση εντόμων σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, έπειτα από το πέρας των 24 ωρών και αφού καταγράφηκε η επιλογή του κάθε ατόμου στην αρένα, τα 20 άτομα συλλέχθηκαν και διαχωρίστηκαν ανά φύλο. Έτσι, η κάθε στήλη του Διαγράμματος 11 εμπερικλείει δυο ποσοστά, τα οποία αντιστοιχούν στα αρσενικά και θηλυκά άτομα που επέλεξαν το συγκεκριμένο LED. Έτσι, στο Διάγραμμα 12, παρουσιάζονται τα ποσοστά των 73 θηλυκών και 87 αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού. Στατιστικά σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μόνο στην προτίμηση των αρσενικών ατόμων στα LED, ενώ τα ποσοστά μεταξύ των δυο φύλων σε κάθε LED δεν εμφάνισαν στατιστικές διαφορές. Περισσότερα θηλυκά (20%) βρέθηκαν στην εξωτερική περιοχή του Πράσινου LED, ενώ περισσότερα αρσενικά βρέθηκαν στα UV και Κόκκινου LED (21 και 17% αντίστοιχα). Πολύ μικρές διαφορές παρουσίασαν τα ποσοστά των δυο φύλων στην περιοχή του Μπλε LED (27 και 26% για θηλυκά και αρσενικά αντίστοιχα) και στο κέντρο της αρένας (26 και 27% για θηλυκά και αρσενικά αντίστοιχα).



Διάγραμμα 12: Ποσοστό (%) θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *T. castaneum*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 4,35$. Για τα θηλυκά: $F = 2.0$, $p = 0.10$. Για τα αρσενικά: $F = 3.5$, $p = 0.01$)

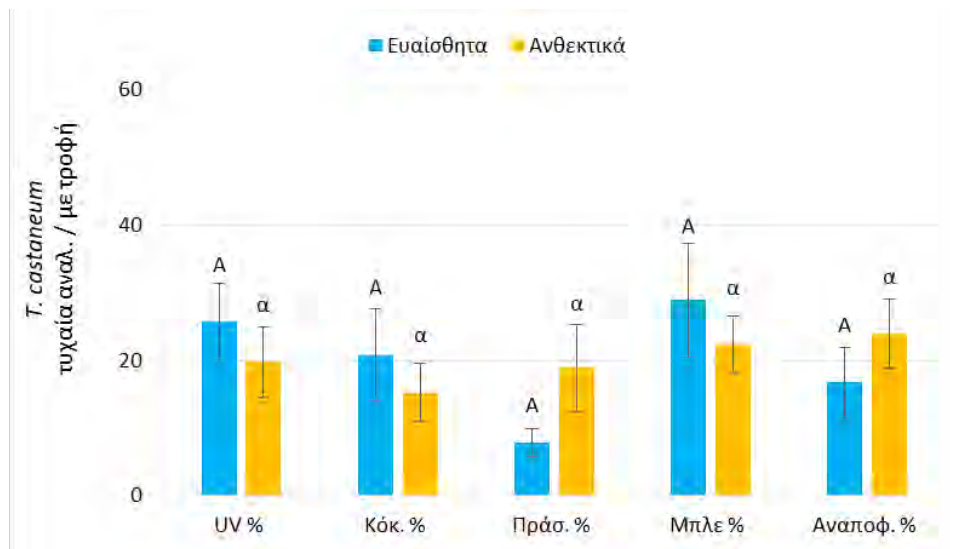
Διαφορετική εικόνα παρουσιάζεται στον ανθεκτικό πληθυσμό του είδους (Διάγραμμα 13), καθώς σε αντίθεση με τον ευαίσθητο (Διάγραμμα 12), και τα δυο φύλα έδειξαν να προσελκύονται σε μεγάλο ποσοστό από το UV LED (36 και 40% για θηλυκά και αρσενικά αντίστοιχα). Ακολουθούν με σταδιακά

μικρότερα ποσοστά τα Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε και UV LED, με τα μικρότερα ποσοστά να παρουσιάζονται εν τέλει στο κέντρο της αρένας. Γενικά δεν βρέθηκαν στατιστικές διαφορές μεταξύ των φύλων στην ίδια περιοχή, ενώ μόνο τα αρσενικά παρουσίασαν στατιστικές διαφορές στην προτίμησή τους στα LED. Το ποσοστό των θηλυκών αντιστοιχεί σε 105 άτομα, ενώ των αρσενικών σε 50.



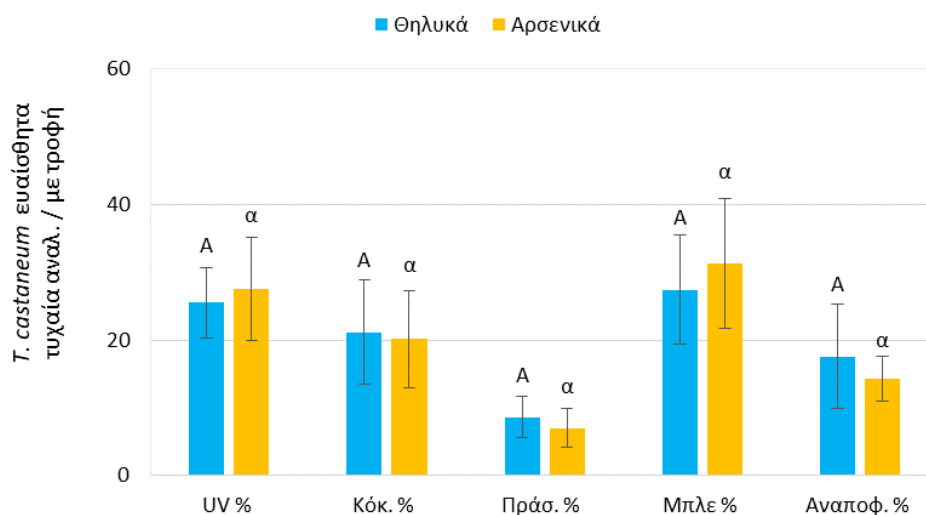
Διάγραμμα 13: Ποσοστό (%) θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ανθεκτικού πληθυσμού του *T. castaneum*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 4,35$. Για τα θηλυκά: $F = 2.6$, $p = 0.05$. Για τα αρσενικά: $F = 3.6$, $p = 0.01$)

Στο Διάγραμμα 14 παρουσιάζεται η επιλογή των ατόμων του ευαίσθητου και ανθεκτικού *T. castaneum* στην φωσφίνη, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με παρουσία τροφής (0,5 γρ. αλευριού) στην αρένα. Σε καμία των περιπτώσεων (είτε μεταξύ των LED από τον κάθε πληθυσμό, είτε μεταξύ των πληθυσμών σε κάθε LED) δεν βρέθηκαν στατιστικές διαφορές. Περισσότερα άτομα του ευαίσθητου πληθυσμού βρέθηκαν στο Μπλε (29%), UV (26%) και Κόκκινο (21%) LED σε σύγκριση με αυτά του ανθεκτικού (22, 20 και 15%, αντίστοιχα). Αντιστρόφως, μεγαλύτερο ποσοστό ανθεκτικών ατόμων βρέθηκε στην εξωτερική περιοχή του Πράσινου LED (19%), καθώς επίσης και στο κέντρο της αρένας (23%). Σε αντίθεση με το *L. serricornis*, το *T. castaneum* παρουσίασε μεγάλα ποσοστά στο no choice, άτομα δηλαδή που δεν μετακινήθηκαν από την αρχική θέση στην οποία τοποθετήθηκαν μέσα στην αρένα.



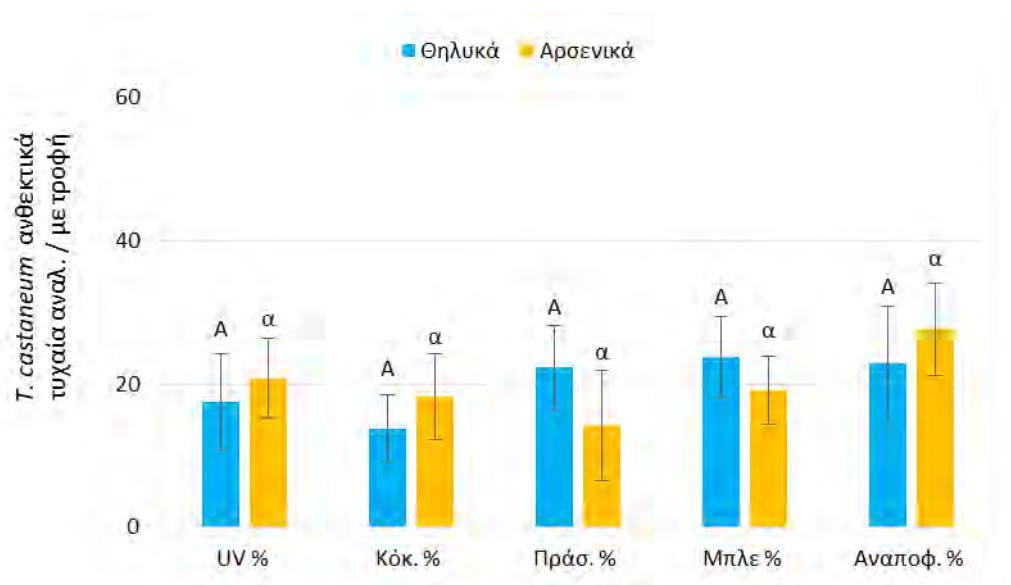
Διάγραμμα 14: Ποσοστό (%) των ατόμων των δύο πληθυσμών (ευαίσθητα/ανθεκτικά στην φωσφίνη) του *T. castaneum*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία αρσενικών/θηλυκών, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για τον κάθε πληθυσμό: $df = 4,35$. Για τον ευαίσθητο πληθυσμό: $F = 1.8$, $p = 0.13$. Για τον ανθεκτικό πληθυσμό: $F = 0.4$, $p = 0.78$)

Το ποσοστό των θηλυκών (73 άτομα) και αρσενικών (87 άτομα) του ευαίσθητου πληθυσμού, έπειτα από την αξιολόγηση της αντίδρασής τους στα LED, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 15. Τα δυο φύλα, δεν βρέθηκε να έχουν στατιστικά μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους όσον αφορά την επιλογή τους στα LED, αλλά ούτε και μεταξύ των LED από το κάθε φύλλο. Και στις δυο περιπτώσεις, το Μπλε LED προτιμήθηκε περισσότερο, με τα UV και Κόκκινο να ακολουθούν. Λιγότερο ελκυστικό φάνηκε να είναι το Πράσινο LED.



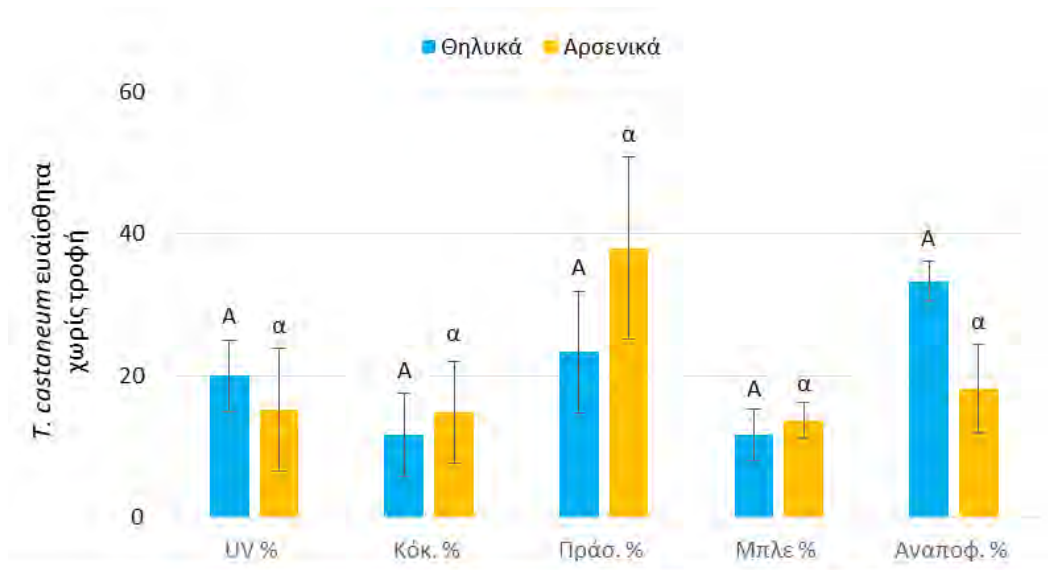
Διάγραμμα 15: Ποσοστό (%) θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *T. castaneum*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 4,35$. Για τα θηλυκά: $F = 1.2$, $p = 0.30$. Για τα αρσενικά: $F = 2.1$, $p = 0.08$)

Για τον ανθεκτικό πληθυσμό, το ποσοστό τόσο των θηλυκών όσο και των αρσενικών αντιστοιχεί σε 78 άτομα. Η αναγνώριση του φύλου σε 4 άτομα ήταν αδύνατη, οπότε και δεν εντάχθηκαν σε κανένα από τα Διαγράμματα 14 και 16. Μικρές, αλλά όχι στατιστικά σημαντικές διαφορές εμφανίζονται τόσο μεταξύ των φύλων όσο και μεταξύ των LED. Μεγάλα ωστόσο εμφανίζονται τα ποσοστά των ατόμων και των δυο φύλων που βρέθηκαν στο κέντρο της αρένας.



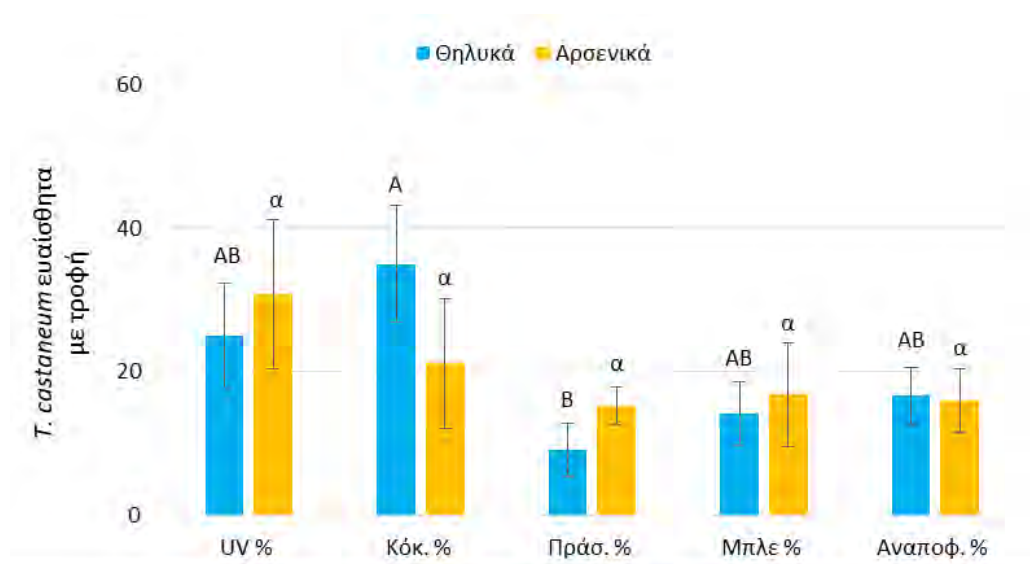
Διάγραμμα 16: Ποσοστό (%) θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ανθεκτικού πληθυσμού του *T. castaneum*, που εισήχθησαν σε τυχαία αναλογία, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 4,35$. Για τα θηλυκά: $F = 0.4$, $p = 0.76$. Για τα αρσενικά: $F = 0.6$, $p = 0.64$)

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, για τα πρωτόκολλα όπου το φύλο των ατόμων αναγνωρίστηκε και διαχωρίστηκε πριν την είσοδο αυτών στην αρένα, μόνο ο ευαίσθητος πληθυσμός του *T. castaneum* αξιολογήθηκε. Συνεπώς, στα ακόλουθα Διαγράμματα 17 και 18, παρουσιάζονται τα ποσοστά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων με απουσία ή παρουσία τροφής στην αρένα, αντίστοιχα. Από το Διάγραμμα 17, παρατηρούμε διαφορές, χωρίς να είναι στατιστικά σημαντικές, στην προτίμηση των εκάστοτε LED ανάλογα το φύλο του ατόμου. Τα περισσότερα των θηλυκών (33%) παρέμειναν ακινητοποιημένα στο κέντρο της αρένας, ενώ λιγότερα άτομα επέλεξαν τα Πράσινο (23%), UV (20%), Κόκκινο (12%) και Μπλε (12%) LED. Αντιθέτως, το μεγαλύτερο ποσοστό των αρσενικών βρέθηκε στο Πράσινο (38%), με τις υπόλοιπες επιλογές να κυμαίνονται από 14-18%. Παρόλα αυτά, στατιστικές διαφορές δεν βρέθηκαν μεταξύ των φύλων σε κάθε LED.



Διάγραμμα 17: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *T. castaneum*, που εισήχθη ανά φύλο, με απουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 4,25$. Για τα θηλυκά: $F = 2.6$, $p = 0.05$. Για τα αρσενικά: $F = 1.5$, $p = 0.21$)

Τέλος, στο Διάγραμμα 18, παρουσιάζονται τα ποσοστά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων όταν αυτά εισάχθηκαν στην αρένα με παρουσία τροφής. Σε αντίθεση με το Διάγραμμα 17, το μέγιστο των δυο φύλων βρέθηκε στο UV και στο Κόκκινο LED (27 και 28% θηλυκά και 30 και 21% αρσενικά, αντίστοιχα). Στατιστικές διαφορές ωστόσο βρέθηκαν μόνο μεταξύ των LED στα θηλυκά άτομα.



Διάγραμμα 18: Ποσοστό (%) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *T. castaneum*, που εισήχθη ανά φύλο, με παρουσία τροφής στην αρένα. (Για το κάθε φύλο: $df = 4,25$. Για τα θηλυκά: $F = 3.0$, $p = 0.03$. Για τα αρσενικά: $F = 0.7$, $p = 0.55$)

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι πρώτες αναφορές για την συχνή εύρεση ατόμων του *L. serricorne*, κοντά στα παράθυρα εργοστασίων και αποθηκών τροφίμων (Ustinov, 1932), αποτέλεσαν τις πρωταρχικές ενδείξεις θετικού φωτοτροπισμού του είδους. Σήμερα, αρκετές μελέτες έχουν αποδείξει την προσέλκυση του εντόμου λόγω φωτοτροπισμού κυρίως προς το UV φως (Kirkpatrick et al., 1970; Soderstrom, 1970; Tsuji, 2007). Ειδικότερα, η μελέτη των Katsuki *et al.* (2013), αναφέρει ότι τα ακμαία του είδους ελκύονται περισσότερο από το UV (375 νανόμετρα) και το Μπλε (470 νανόμετρα) μήκος κύματος φωτός σε σύγκριση με άλλα (465, 505, 520, 560, 590 και 640 νανόμετρα). Επόμενη έρευνα, συγκρίνοντας τα 377 (UV) και 448 (Μπλε) νανόμετρα, διαπίστωσε σημαντικά περισσότερα ακμαία να ελκύονται από το πρώτο παρά από το δεύτερο μήκος κύματος φωτός (Hironaka *et al.*, 2017). Τέλος, οι έρευνες των Papadopoulou και Buchelos (2002α) και του Miyatake *et al.* (2016), έπειτα από την αξιολόγηση της αντίδρασης του εντόμου σε παγίδες με UV φως σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης καπνού (Papadopoulou and Buchelos, 2002α) και αλευριού από σόγια (Miyatake *et al.*, 2016), συνιστούν την χρήση φωτεινών παγίδων με UV LED ως μέθοδο αντιμετώπισης του εντόμου σε αποθήκες.

Τα περισσότερα έντομα διαθέτουν φωτοχρωστικές με μέγιστη φασματική απορρόφηση μεταξύ των 350 και 550 νανόμετρων (Briscoe and Chittka, 2001). Εξαίρεση στον κανόνα αποτελεί ωστόσο το *T. castaneum*, όπου δεν έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται μήκη κύματος από τα 400 έως τα 500 νανόμετρα, ως αποτέλεσμα της έλλειψης που παρουσιάζει στην φωτοχρωστική B-opsin, που αντιδρά στο φάσμα αυτό (Jackowska *et al.*, 2007). Συνεπώς, η χρήση των παγίδων για την παγίδευση του *L. serricorne* κρίνονται αναποτελεσματικές για το συγκεκριμένο είδος. Ο Stermer (1959), σε αναζήτηση απαντήσεων, ανέφερε ότι το πράσινο φως ήταν πιο ελκυστικό για το είδος, χωρίς ωστόσο να συμπεριλάβει και μήκη μικρότερα των 400 νανόμετρων. Έτσι, η έρευνα των Duehl *et al.* (2011), εξετάζοντας ένα ευρύτερο φάσμα φωτός (360, 380, 390, 410, 555, 587 και 655 νανόμετρα), αναφέρουν τα 390 νανόμετρα ως τα πιο ελκυστικά από τα εξετασθέντα. Αντιθέτως, οι Park και Lee (2017), αναφέρουν ότι με το πέρασ 48 ωρών, πέτυχαν την προσέλκυση του 97,8% των ατόμων του είδους, όταν χρησιμοποίησαν φωτεινή πηγή LED με μήκος κύματος περί τα 625

± 10 νανόμετρα. Παρόλα αυτά, δεν μπορούμε ακόμη να προβλέψουμε με ακρίβεια, την πτήση των εντόμων προς το φως με βάση μόνο τη φασματοφωτομετρία αυτού (van Grunsven *et al.*, 2014).

Η ικανότητα πτήσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξάπλωση και εγκατάσταση των εντόμων στους χώρους με αποθηκευμένα προϊόντα. Συνεπώς, παράγοντες που την επηρεάζουν πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψη κατά το σχεδιασμό των στρατηγικών παρακολούθησης και αντιμετώπισης των επιβλαβών εντόμων (Cox *et al.*, 2007). Εξωτερικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι συνήθως αυτοί που καθορίζουν τη δραστηριότητα πτήσης και περιλαμβάνουν το φως και την θερμοκρασία, ενώ παράγοντες όπως η ηλικία, το φύλο και οι διατροφικές ή αναπαραγωγικές ανάγκες του εκάστοτε εντόμου μπορούν δευτερευόντως να επηρεάσουν την ικανότητα πτήσης. Οι Fardisi και Mason (2013), διαπίστωσαν ότι η πιθανότητα πτήσης των ακμαίων του *L. serricornis* εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται, καθώς και από βιολογικούς παράγοντες όπως το φύλο του ατόμου, η ηλικία του και το αν αυτό έχει συζευχθεί. Στα πειράματά τους, σύγκριναν ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, με ελάχιστη αυτή των 17,5 °C και μέγιστη αυτή των 37,5 °C, χρησιμοποιώντας αρσενικά και θηλυκά άτομα, διαφορετικής ηλικίας και κατάστασης ζευγαρώματος. Με βάση τα αποτελέσματά τους, θεωρείται ότι τα αρσενικά άτομα, ανεξαρτήτως της κατάστασής τους, ήταν σε θέση να πετάξουν σε θερμοκρασίες άνω των 22,5 °C. Αντιθέτως, η ίδια έρευνα ανέφερε ότι μόνο νεαρά θηλυκά, ανεξαρτήτως αν έχουν συζευχθεί ή όχι, παρατηρήθηκε να πετούν σε θερμοκρασίες άνω των 25 °C, ενώ θηλυκά μεγαλύτερης ηλικίας που είχαν συζευχθεί, ξεκινούσαν την πτήση σε θερμοκρασίες άνω των 27,5 °C. Παράλληλα, η ίδια έρευνα αναφέρει ότι τα 'παρθένα' αρσενικά νεαρής ηλικίας ή τα 'παρθένα' θηλυκά μεγαλύτερης ηλικίας είχαν το υψηλότερο ποσοστό έναρξης πτήσης μεταξύ όλων των εξετασθέντων κατηγοριών και συνεπώς, τη μεγαλύτερη πιθανότητα παγίδευσής τους. Οι Amos και Waterhouse (1967), ανέφεραν ότι ο θετικός φωτοτροπισμός του *T. castaneum* επηρεάζεται από παράγοντες όπως το φύλο του ατόμου, το πόσο αφυδατωμένο μπορεί να είναι, καθώς και από την σχετική υγρασία του χώρου. Οι Arbogast και Flaherty (1973), έπειτα από πειραματισμό, παρατήρησαν ότι τόσο τα αρσενικά όσο και

τα θηλυκά άτομα του είδους, παρουσίασαν αρνητικό φωτοτροπισμό, την 2 και 3^η ημέρα της ενήλικης ζωής τους. Αντιθέτως, τα ίδια άτομα έπειτα και την 5^η ημέρα της ζωής τους, εμφάνισαν θετικό φωτοτροπισμό, που εξαρτιόταν τώρα από το αν τα άτομα βρίσκονταν σε ομάδες και των δυο φύλων ή είχαν διαχωριστεί. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, οι συγγραφείς αποδίδουν την διαφορετική ανταπόκριση του είδους στα φωτεινά ερεθίσματα, στα στάδια ανάπτυξης του αναπαραγωγικού του συστήματος τις πρώτες μέρες της ενήλικης ζωής του. Πράγματι, στην παρούσα μελέτη, περισσότερα συζευγμένα θηλυκά του ευαίσθητου πληθυσμού του *L. serricornis*, βρέθηκαν στο δοχείο με το UV LED, σε σχέση με τα αντίστοιχα 'παρθένα' άτομα που βρέθηκαν στο ίδιο σημείο, σε αρένα με απουσία τροφής. Ταυτόχρονα, διαφορετικά ποσοστά παρατηρήθηκαν μεταξύ των αρσενικών ατόμων του ευαίσθητου πληθυσμού του *T. castaneum*, όταν αυτά βρισκόντουσαν μόνα τους ή με το αντίθετο φύλο στην αρένα.

Η ανθεκτικότητα στη φωσφίνη επέφερε μεταβολές στο γονιδίωμα των εντόμων, με φυσικό επόμενο την έκφραση διαφορετικών χαρακτηριστικών στην βιολογία τους (αριθμός γενεών το έτος, αριθμός απογόνων ανά γενεά, μονογαμικότητα ή πολυγαμικότητα κ.α.). Ταυτόχρονα, χαρακτηριστικά στην συμπεριφορά ενός ατόμου είναι δυνατόν να επηρεαστούν (κινητικότητα, μετανάστευση, μονοφαγία ή πολυφαγία κ.α.). Για παράδειγμα, οι Malekrouf *et al.* (2016), σε μελέτη σχετικά με την συμπεριφορά πτήσης και κίνησης του *T. castaneum* σε περιβάλλον χωρίς φωσφίνη, διαπίστωσαν ότι οι ανθεκτικοί πληθυσμοί του είδους πετούν λιγότερο, περπατούν πιο αργά και εντοπίζουν την τροφή λιγότερο επιτυχώς έναντι των ευαίσθητων πληθυσμών. Οι Saxena και Bhatia (1980), διαπίστωσαν ότι τα ανθεκτικά στη φωσφίνη θηλυκά *T. castaneum*, εναπόθεσαν λιγότερα ωά σε σύγκριση με τα ευαίσθητα στην φωσφίνη. Οι Pimentel *et al.* (2007), έδειξαν ότι οι ανθεκτικοί πληθυσμοί του *T. castaneum* έχουν χαμηλότερα ποσοστά αναπνοής και αναπαραγωγής από τους ευαίσθητους πληθυσμούς. Επιπλέον, οι Sousa *et al.* (2009), διαπίστωσαν ότι οι ανθεκτικοί στη φωσφίνη πληθυσμοί *T. castaneum*, *R. dominica* και *O. surinamensis* είχαν χαμηλότερους ρυθμούς αύξησης και ανάπτυξης του πληθυσμού από τους ευαίσθητους πληθυσμούς. Τέλος, οι Sakka *et al.* (2020), ανέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην κινητικότητα μεταξύ ανθεκτικών

και ευαίσθητων πληθυσμών στην φωσφίνη των ειδών *T. castaneum* και *R. dominica*, αποδίδοντας την διαφοροποίηση αυτή στην παρουσία ανθεκτικότητας.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, αξιολογήθηκε η ανταπόκριση των *L. serricornis* και *T. castaneum*, σε οπτικά ερεθίσματα. Για τον σκοπό αυτό, τέσσερις λαμπτήρες LED με μήκη κύματος περί τα 400, 460, 505 και 660 νανόμετρα, τοποθετήθηκαν σε ακρυλική κατασκευή και αξιολογήθηκε η ελκυστικότητά τους από ακμαία των δυο ειδών. Ταυτόχρονα, αξιολογήθηκε η επίδραση άλλων παραγόντων στην επιλογή της εκάστοτε φωτεινής πηγής όπως το φύλο του εντόμου, η ύπαρξη του ενός ή και των δυο φύλων στο ίδιο χώρο, η αναπαραγωγική κατάσταση του εκάστοτε ατόμου (συζευγμένα ή μη άτομα) και η ύπαρξη ή μη τροφής στον χώρο. Καθότι είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη ανθεκτικότητας στη φωσφίνη μπορεί να σχετίζεται με διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς, τα οποία μπορούν να επιφέρουν σημαντικές διαφορές στην κινητικότητα του εντόμου, χρησιμοποιήθηκαν δυο πληθυσμοί των ειδών (ανθεκτικός και ευαίσθητος στην φωσφίνη) στις εργαστηριακές βιοδοκιμές.

Με γνώμονα τα αποτελέσματα της παρούσας ερευνητικής μελέτης, το UV LED θεωρήθηκε ως το φως με την μεγαλύτερη προσέλκυση ατόμων του *L. serricornis*, ανεξαρτήτως φύλου, ανθεκτικότητας ή ύπαρξης τροφής στην αρένα. Αναφορικά με τις υπόλοιπες επιλογές, τα ποσοστά διαφέρουν. Σε αρένα με απουσία τροφής, πάνω από το 20% του ανθεκτικού πληθυσμού βρέθηκε κοντά στο Μπλε LED, σε αντίθεση με τον ευαίσθητο, όπου λιγότερα άτομα βρέθηκαν σε ισόποσα ποσοστά (13%) στο Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε LED. Όταν οι ίδιοι πληθυσμοί εισάχθηκαν σε αρένα με τροφή, τα ποσοστά των ατόμων κοντά στο Κόκκινο LED αυξήθηκαν, με τις υπόλοιπες επιλογές να μην παρουσιάζουν κάποια σημαντική μεταβολή. Μεγάλη επίδραση φαίνεται να έχει η παρουσία τροφής στην προσέλκυση του ανθεκτικού πληθυσμού του *T. castaneum*. Ειδικότερα, τα περισσότερα άτομα βρέθηκαν κοντά στο UV και Κόκκινο LED, σε αρένα με απουσία τροφής, ενώ λιγότερα άτομα βρέθηκαν κοντά στα ίδια LED όταν στην αρένα υπήρχε αλεύρι. Αντιθέτως, ο ευαίσθητος πληθυσμός του είδους, βρέθηκε σε μεγαλύτερο ποσοστό κοντά στο Μπλε LED και στο κέντρο της αρένας (27% και στις δυο περιπτώσεις), ενώ δεν φάνηκε να επηρεάζεται

σημαντικά από την ύπαρξη τροφής, αν και τα ποσοστά των ατόμων που βρέθηκαν κοντά στο UV και Κόκκινο LED ήταν ελαφρώς αυξημένα, με την παρουσία τροφής.

Τα αποτελέσματα της παρούσας ερευνητικής εργασίας μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι παράγοντες όπως το μήκος κύματος φωτός, το είδος, το φύλο και η αναπαραγωγική κατάσταση του εντόμου, η ύπαρξη ανθεκτικότητας στην φωσφίνη και η παρουσία τροφής στον περιβάλλοντα χώρο είναι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τον φωτοτροπισμό του ατόμου. Παγίδες που βασίζονται στον θετικό φωτοτροπισμό, έχουν αναγνωριστεί ως ένα σημαντικό μέσο τόσο για την πρόληψη όσο και για την καταπολέμηση εντόμων-εχθρών αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων. Συνεπώς, η εύρεση και η αξιολόγηση τέτοιων παραγόντων αποτελεί και από τους βασικότερους πυλώνες για την σχεδίαση αποτελεσματικότερων παγίδων, τόσο για την καταπολέμηση όσο και για την ορθότερη εκτίμηση του πληθυσμού ενός εντόμου στον χώρο, με βάση τις συλλήψεις σε αυτές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Μπουχέλος, Κ. (2005). *Έντομα αποθηκευμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων*. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Αθήνα.

Παπαδοπούλου- Μουρκίδου, Ε. (2008). *Γεωργικά φάρμακα, χημεία, φαρμακολογία, τοξικολογία, οικολογία και συμπεριφορά και τύχη στο περιβάλλον*. Εκδόσεις Μέθεξις.

Σταμόπουλος, Δ. (1995). *Έντομα αποθηκών, μεγάλων καλλιεργειών και λαχανικών*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Σταμόπουλος, Κ.Δ. (2005). *Εχθροί αποθηκευμένων προϊόντων μουσείων και κατοικιών*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

Ζιώγας, Β. και Μαρκόγλου, Α. (2012). Γεωργική φαρμακολογία, βιοχημεία, φυσιολογία, μηχανισμοί δράσης και χρήσεις των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, 2^η έκδοση. Εκδόσεις ΑγροΤύπος, Αθήνα.

Ξένη βιβλιογραφία

Agrafioti, P., Athanassiou, C.G. and 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.

Amos, T.G. and Waterhouse, F.L. (1967). Effect of desiccation on the light reactions of *Carpophilus dimidiatus* and *Tribolium castaneum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 10, 329-336.

Arbogast, R.T. and Flaherty, B.R. (1973). Light responses of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera, Tenebrionidae): Variation with age and sex. *Journal of Stored Product Research* 9, 31-35.

- Banks, J. and Fields, P. (1995). Physical methods for insect control in stored grain ecosystems. In *Stored-grain Ecosystems*. D.S. Jayas, N.D.G. White, and W.E. Muir Eds. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, pp. 353–410.
- Barghini, A. and de Medeiros, B.A.S. (2012). UV radiation as an attractor for insects. *Leukos* 9, 47–56.
- Bernard, G.D. and Remington, C.L. (1991). Color vision in *Lycaena* butterflies: spectral tuning of receptor arrays in relation to behavioral ecology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 88, 2783–2787.
- Birch, L.C. (1944). Two strains of *Calandra oryzae* L. (Coleoptera). *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science* 22, 271-275.
- Bousquet, Y. (1990). Beetles associated with stored products in Canada: an identification guide. *Research Branch Agriculture Canada*, Publication 1837, Ottawa, Ontario.
- Burkholder, W.E. (1981). Biomonitoring for stored-product insects. In *Management of Insect Pests with Semiochemicals*. E.R. Mitchell Eds. Springer, Boston, MA.
- Chapman, G.F. (1998). *The Insects*. Cambridge University Press.
- Claypole, E. (1885). Entomology by the electric lamp. *The Canadian Entomologist* 17, 117–119.
- Cohnstaedt, L., Gillen, J. and Munstermann, L.E. (2008) Light-emitting diode technology improves insect trapping. *Journal of the American Mosquito Control Association* 24, 331–334.
- Cowan, T. and Gries, G. (2009). Ultraviolet and violet light: attractive orientation cues for the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 131, 148- 158.
- Cox, P.D., Wakefield, M.E. and Jacob, T.A. (2007). The effects of temperature on flight initiation in a range of moths, beetles and parasitoids associated with stored products. *Journal of Stored Product Research* 43, 111-117.

Cross, J.H., Byler, B.C., Cassidy, R.F.Jr., Silverstein, R.M., Greenblatt, R.E., Burkholder, W.E., Levinson, A.R. and Levinson, H.Z. (1976). Porapak-Q collection of pheromone components and isolation of (Z)- and (E)-1-methyl-8-hex- adecenal potent sex attractant components, from females of 4 species of *Trogoderma* (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Chemical Ecology* 2, 457-468.

Daglish, G.J., Nayak, M.N., Hervoika, P. and Smith, L.W. (2015). Prevalence and potential fitness cost of weak phosphine resistance in *Tribolium castaneum* (Herbst) in eastern Australia. *Journal of Stored Product Research* 61, 54-58.

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

Edde, P.A. (2012). A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research* 48, 1-18.

Edde, P.A. (2019). Biology, ecology, and control of *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae): A review. *Journal of Economic Entomology* 112, 1011–1031.

Fardisi, M. and Mason, L.J. (2013). Influence of temperature, gender, age, and mating status on cigarette beetle (*Lasioderma serricorne* (F.)) (Coleoptera: Anobiidae) flight initiation. *Journal of Stored Products Research* 52, 93-99.

FAO (2016). DP 3: *Trogoderma granarium* Everts. In *Diagnostic Protocols for Regulated Pests*. Rome, IPPC, FAO.

Fields, P.G. (2001). Control of insects in post-harvest: low temperature. In *Physical Control Methods in Plant Protection*. C. Vincent, B. Panneton, F. Fleurat-Lessard Eds. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 95-107.

Goldsmith, T.H. (1994). Ultraviolet receptors and color vision: Evolutionary implications and the dissonance paradigm. *Vision Research* 30, 1479 – 1487. Haines, C.P. (1991). Insects and arachnids of tropical stored products: their biology and identification (a training manual). *NRI* 2, 245-246.

Hinton, H.E. (1942). Secondary sexual characters of *Tribolium*. *NATURE* 149, 500-501.

Hironaka, M., Kamura, T., Osada, M., Sasaki, R., Shinoda, K., Hariyama, T. and Miyatake, T. (2017). Adults of *Lasioderma serricorne* and *Stegobium paniceum* (Anobiidae: Coleoptera) are attracted to ultraviolet (UV) over blue light LEDs. *Journal of Economic Entomology* 1–5.

Honkanen, A., Immonen, E-V., Salmela, I., Heimonen, K. and Weckstrom, M. (2017). Insect photoreceptor adaptations to night vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372, 20160077.

Howe R. (1958). A theoretical evaluation of the potential range and importance of *Trogoderma granarium* Events in north America (Col. Dermestidae). *Proceedings of the 10th International Congress of Entomology, Canada* 4, 23-28.

Howe, R.W. (1956). The biology of the two common storage species of *Oryzaephilus* (Coleoptera: Cucujidae). *Annual Applied Biology* 44, 341-355.

Jackowska, M, Bao, R., Liu, Z., McDonald, E.C., Cook, T.A and Friedrich, M. (2007). Genomic and gene regulatory signatures of cryptozoic adaptation: Loss of blue sensitive photoreceptors through expansion of long wavelength-opsin expression in the red flour beetle *Tribolium castaneum*. *Frontiers in Zoology* 4, 24.

Jagadeesan, R., Collins, P.J., Darglish, G.J., Ebert, P.R. and Schlipalius, D.I. (2012). Phosphine resistance in the rust red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae): inheritance, gene interactions and fitness costs. *PloS One* 7, 31582.

JMP®, Version 7.0 SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2019.

Jones, O.T. (1998). Mass trapping. In *Insect Pheromones and their Use in Pest Management*. P.E. Howse, I.D.R. Stevens and O.T. Jones Eds. Springer Netherlands, 280-299.

- Katsuki, M., Arikawa, K., Wakakuwa, M., Omae, Y., Okada, K., Sasaki, R., Shinoda, K. and Miyatake, T. (2013). Which wavelength does cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae), prefer? -electrophysiological and behavioral studies using light-emitting diodes (LEDs). *Applied Entomology and Zoology* 48, 547–551.
- Kelber, A., Balkenius, A. and Warrant, E.J. (2003). Colour vision in diurnal and nocturnal hawkmoths. *Integrative and Comparative Biology* 43, 571–579.
- Kenneth, F.D. (2009). Exploitation of artificial light at night by a diurnal jumping spider. *Peckhamia* 78.1.
- Kirkpatrick, R.L., Yancey, D.L. and Marzke, F.O. (1970). Effectiveness of green and ultraviolet light in attracting stored-product insects to traps. *Journal of Economic Entomology* 63, 1853–1855.
- Kumar, H., Panigrahi, M., Chhotaray, S., et al. (2018). Red flour beetle (*Tribolium castaneum*): from population genetics to functional genomics. *Vet World* 11, 1043-1046.
- Kliot, A. and Ghanim, M. (2012). Fitness cost associated with insecticide resistance. *Pest Management Sciences* 68, 1431-1437.
- Kolb, G. and Scherer, C. (1982). Experiments on wavelength specific behavior of *Pieris brassicae* L. during drumming and egg laying. *Journal of Comparative Physiology A* 149, 325–332.
- Korunić, Z. (1998). Review: Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Product Research* 34, 87-97.
- Lewontin, R. (1959). On the anomalous response of *Drosophila pseudoobscura* to light. *Am Nat.* 93, 321–328.
- Longcore, T., Aldern, H.L., Eggers, J.F., Flores, S., Franco, L., Hirshfield Yamanishi, E. and Barroso, A.M. (2015). Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 370, 20140125

- Malekpour, R., Rafter, M.A., Daghli, G.J. and Walter, G.H. (2016). Influence of phosphine resistance genes on flight propensity and resource location in *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae): the landscape for selection. *Biological Journal of the Linnean Society* 119, 348–358.
- Mazokhin-Purshnyakof, G. (1969). *Insect vision*. Plenum Press New York.
- Miyatake, T. and Omae, Y. (2014). Cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) is attracted more to reflected than direct ultraviolet (UV) LED light. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* 58, 133–135.
- Miyatake, T., Yokoi, T., Fuchikawa, T., Korehisa, N., Kamura, K., Nanba, K., Ryouji, S., Kamioka, N., Hironaka, M., Osada, M., Hariyama, T., Sasaki, R. and Shinoda, K. (2016). Monitoring and detecting the cigarette beetle (Coleoptera: Anobiidae) using ultraviolet (LED) direct and reflected lights and/or pheromone traps in a laboratory and a storehouse. *Journal of Economic Entomology* 1–10.
- Moller, R. (2002). Insects could exploit UV-green contrast for landmark navigation. *Journal of Theoretical Biology* 214, 619–31.
- Navarro, S. (2012). The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. *Journal of Pest Sciences* 85, 301–322.
- Nowinszky, L. (2004). Nocturnal illumination and night flying insects. *Applied Ecology and Environmental Research* 2, 17-52.
- Opit, G.P., Phillips, T.W., Aikins, M.J. and Hasan, M.M., (2012). Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. *Journal of Economic Entomology* 105, 1107-1114.
- Papadopoulou, S.C. and Buchelos, C.T. (2002α). Comparison of trapping efficacy for *Lasioderma serricorne* (F.) adults with electric, pheromone, food attractant and control-adhesive traps. *Journal of Stored Products Research* 38, 375–383.

- Papadopoulou, S.C. and Buchelos, C.T. (2002 β). Identification of female adult *Lasioderma serricorne* (F.) by simple external observation of the abdomen. *Journal of Stored Products Research* 38, 315–318.
- Park, J.H. and Lee, H.S. (2017). Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored product insects to light-emitting diodes (LEDs). *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 60, 137–144.
- Peitsch, D., Fietz A., Hertel H., Souza, J., Ventura, D.F. and Menzel, R. (1992). The spectral input systems of hymenopteran insects and their receptor-based colour vision. *Journal of Comparative Physiology A* 170, 23-40.
- Pimentel, M.A.G., Faroni, L.R.D.A., da Silva, F.H., Batista, M.D. and Guedes, R.N.C. (2010). Spread of phosphine resistance among Brazilian populations of three species of stored product insects. *Neotropical Entomology* 39, 101-107.
- Pimentel, M.A.G., Faroni, L.R.D.A, Tótola, M.R. and Guedes, R.N.C. (2007). Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. *Pest Management Science*, 63, 876-881.
- Reed, W.D. (1935). *Trapping experiments for the control of the cigarette beetle*. Circular No. 356 United States, Department of Agriculture Washington D. C.
- Rich, C. and Longcore, T. (2006). *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press Washington D.C.
- Roush, S.D. and Tabashnik, B.E. (1990). *Pesticide resistance in arthropods*. Chapman and Hall, New York and London.
- Ryan, L. (1999). Biology. In *Post-harvest Tobacco Infestation Control*. L. Ryan Eds. Springer Netherlands, pp. 5-24.
- Sakka, M.K., Romano, D., Stefanini, C., Canale, A., Benelli, G. and Athanassiou, C.G. (2020). Mobility parameters of *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* populations with different susceptibility to phosphine. *Journal of Stored Products Research* 87, 101593.

Saxena, J.D. and Bhatia, S.K. (1980). Reduction in fecundity of *Tribolium castaneum* (Herbst) due to fumigation and phosphine resistance. *Indian Journal of Entomology* 42, 796-798.

Sinha, R. (1984). Effects of weevil (Coleoptera: Curculionidae) infestation on abiotic and biotic quality of stored products wheat. *Journal of Economic Entomology* 77, 1483-1488.

Soderstrom, E.L. (1970). Effectiveness of green electroluminescent lamps for attracting stored-product insects. *Journal of Economic Entomology* 63, 726–731.

Soderstrom, E.L. (1970). Phototactic response of stored-product insects to various intensities of ultra-violet light. *Journal of Stored Product Research* 6, 275–277.

Somers-Yeates, R., Hodgson, D., McGregor, P.K., Spalding, A., and Constant, R.H. (2013). Shedding light on moths: Shorter wavelengths attract noctuids more than geometrids. *Biology Letters* 9, 20130376.

Sousa, A.H., Faroni, L.R.D'A., Pimentel, M.A.G., Guedes, R.N.C. (2009). Developmental and population growth rates of phosphine-resistant and -susceptible populations of stored-product insect pests. *Journal of Stored Products Research* 45, 241-246.

Stremer, R.A. (1959). Spectral response of certain stored-product insects to electromagnetic radiation. *Journal of Economic Entomology* 52, 888–892.

Suzuki, T. and Mori, K. (1983). (4R, 8R)-(-)-4,8_Dimethyldecanal: the natural aggregation pheromone of the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Applied Entomology and Zoology* 18, 134-136.

van Grunsven, R.H.A., Donners, M., Boekee, K., Tichelaar, I., Geffen, K.G., Groenendijk, D., Berendse, F., and Veenendaal, E.M. (2014). Spectral composition of light sources and insect phototaxis, with an evaluation of existing spectral response models. *Journal of Insect Conservation* 18, 225–231.

van Langevelde, F., Ettema, J.A., Donners, M., Wallis de Vries, M.F., and Groenendijk, D. (2011). Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation* 144, 2274–2281.

van Langevelde, F., van Grunsven, R.H.A., Veenendaal, E.M. and Fijen, T.P.M. (2017). Artificial night lighting inhibits feeding in moths. *Biology Letters* 13, 20160874.

Verheijen, F.J. (1958). The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. *Archives Néerlandaises de Zoologie* 13, 1-107.

Walter, V.E. (1990). Stored product pests. In *Handbook of Pest Control Story*. Franzak & Foster Co., Cleveland, OH.

Williams, H.J., Silverstein, R.M., Burkholder, W.E. and Khorramshahi, A. (1981). Dominicalure 1 and 2: components of aggregation pheromone from male lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Economic Entomology* 14, 759-780.