



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακή Εργασία

«Επίδραση της έντασης του φωτός στη δραστηριότητα των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου»



Αθανάσιος Δ. Παρισάκης

Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Παπαδόπουλος

Βόλος 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

«Επίδραση της έντασης του φωτός στη δραστηριότητα των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου»

"Effect of light intensity on the activity of adult Mediterranean fruit flies"

Αθανάσιος Δ. Παρισάκης

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Επιβλέπων:

Νικόλαος Παπαδόπουλος, Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εντομολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

Μέλη:

Χρήστος Αθανασίου, Καθηγητής Εντομολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

Κωνσταντίνος Ζάρπας, Μέλος ΕΔΙΠ (Εντομολογία), Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

Βεβαιώνω ότι εγώ ο Αθανάσιος Δ. Παρισάκης, είμαι ο συγγραφέας της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

Πρόλογος - Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2024-2025, στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η ερευνητική διαδικασία και οι πληροφορίες που παρέχονται, επικεντρώνονται στην επίδραση των διαφορετικών εντάσεων φωτός στην ημερήσια δραστηριότητα της μύγας της Μεσογείου.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρα Νικόλαο Θ. Παπαδόπουλο, για την επιλογή της θεματολογίας, την καθοδήγηση και την βοήθειά του κατά την διάρκεια των πειραμάτων και της συγγραφής της παρούσας εργασίας. Η υποστήριξη του ήταν ανεκτίμητη τόσο για την πραγμάτωση αυτής της εργασίας, όσο και για την πορεία μου εν γένει.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου Δρα Χρήστο Αθανασίου και Δρα Κωνσταντίνο Ζάρπα για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Επίσης, ευχαριστώ όλη την ομάδα του Εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Π. Θ., ιδιαίτερα τον Διδάκτορα Εντομολογίας κ. Κωνσταντίνο Ζάρπα και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Αντώνη Παπαδόπουλο για τις πολύτιμες συμβουλές, καθ' όλη την εκτέλεση των πειραμάτων και τη συγγραφή του κειμένου. Ευχαριστώ ακόμη όλους τους δασκάλους - καθηγητές των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων, αλλά και τους συμμαθητές και συμφοιτητές μου.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου Δημήτρη και Γιώτα, τον αδερφό μου Παναγιώτη και τους φίλους μου, για τη βοήθεια, την υποστήριξη και την κατανόηση που μου προσέφεραν, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Αφιερώνω την προσπάθεια μου στην μνήμη του θείου μου Δημήτρη.

Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων	VI
Κατάλογος διαγραμμάτων.....	VIII
1. Περίληψη	IX
Summary.....	XI
2. Εισαγωγή.....	1
2.1. Γενικά χαρακτηριστικά της μύγας της Μεσογείου	1
2.2. Καταγωγή - γεωγραφική εξάπλωση.....	1
2.3. Μορφολογικά χαρακτηριστικά του εντόμου.....	3
2.4. Βιολογία του εντόμου	5
2.5. Επίδραση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων στην συμπεριφορά του εντόμου.....	8
2.6. Επίδραση εντάσεως φωτός στα έντομα.....	11
2.7. Σκοπός.....	12
3. Υλικά και Μέθοδοι.....	13
3.1. Συνθήκες εργαστηρίου	13
3.2. Πληθυσμός εντόμων και μέθοδος εκτροφής.....	14
3.3. Όργανα και υλικά.....	18
3.3.1. Διατήρηση των εντόμων σε κλουβιά πριν από την έκθεση τους στις διαφορετικές εντάσεις φωτός	18
3.3.2. Ένταση φωτός με ειδικά προσαρμοσμένα LED panels	19
3.3.3. Η καταγραφή της ημερήσιας δραστηριότητας ενηλίκων στο σύστημα LAM25 (Trikinetics)	21
3.4. Πειραματική διαδικασία.....	24
3.5. Στατιστική ανάλυση.....	25
4. Αποτελέσματα.....	25
4.1. Καταγραφή δραστηριότητας των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου με το σύστημα LAM25system, Trikinetics.....	25
4.1.1. Μέση ημερήσια δραστηριότητα.....	25
4.1.2. Μέση δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας	27
4.1.3. Μέση δραστηριότητα ανά 24ωρο	28
4.2. Καταγραφή της μέσης ωοπαραγωγής στις διαφορετικές ηλικιακές κλάσεις και εντάσεις φωτός.....	32
5. Συζήτηση.....	33
6. Συμπεράσματα.....	36
7. Βιβλιογραφία	37

Κατάλογος εικόνων

Φωτογραφία εξωφύλλου: Ενήλικο αρσενικό της Μύγας της Μεσογείου στο σύστημα LAM (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 1: Ενήλικο θηλυκό της μύγας της Μεσογείου, πάνω σε εσπερίδιο νεραντζιάς, έναν από τους κύριους ξενιστές του εντόμου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 2: Γεωγραφική εξάπλωση της μύγας της Μεσογείου για το έτος 2025. Οι κίτρινες τελείες συμβολίζουν τους εγκατεστημένους πληθυσμούς, ενώ οι μωβ τις περιοχές με παροδικές εμφανίσεις (EPPO 2025-03-02), <https://gd.eppo.int/taxon/CERTCA>

Εικόνα 3: Ενήλικο θηλυκό της μύγας της Μεσογείου, με ευδιάκριτο τον ωοθέτη στο οπίσθιο τμήμα της κοιλιάς (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 4: Ομάδα 10 αυγών της μύγας της Μεσογείου πάνω σε μαύρο ύφασμα (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 5: Προνύμφες της μύγας της Μεσογείου, στο εσωτερικό εσπεριδίου νεραντζιάς (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 6: Ομάδα 10 νυμφών της μύγας της Μεσογείου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 7: Τα 4 στάδια του ολομετάβολου εντόμου *Ceratitis capitata*, από αριστερά προς τα δεξιά: αυγό, προνύμφη (3^{ης} ηλικίας), νύμφη, ενήλικο (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 8: Ενήλικο αρσενικό της μύγας της Μεσογείου, κατά την έκλυση φερομόνης (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Αλληλουχία εικόνων 9: Τα στάδια της σύζευξης της μύγας της Μεσογείου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 9.1: Δόνηση πτερύγων, διασκορπισμός φερομόνης (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 9.2.1, 9.2.2, 9.2.3: Εύρυθμη, έντονη και συνεχόμενη ταλάντωση των πτερύγων (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 9.3: Απόπειρα σύζευξης από το αρσενικό (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 9.4: Επιτυχημένη σύζευξη (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 10: Ενήλικο θηλυκό με εμφανή τον ωοθέτη (αριστερά) και προνύμφη εντόμου που εξέρχεται από τον φλοιό εσπεριδίου νεραντζιού (δεξιά) (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 11: Εγκαταστάσεις του εντομοδοματίου, στο οποίο απεικονίζονται τα ξύλινα κλουβιά εκτροφής των εντόμων (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 11: Τεχνητό υπόστρωμα προνυμφών με βάση τη σκόνη καρότου, κατά το στάδιο εξόδου των προνυμφών και τη νύμφωση αυτών (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 13: Ξύλινο κλουβί, διαστάσεων 30 x 30 x 30 cm, στο εσωτερικό του οποίου διαφαίνονται η τροφή ενηλίκων, η πηγή νερού και έντομα τόσο ανήλικων, όσο και ενηλίκων σταδίων (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 14: Τροφή ενηλίκων με βάση την υδρολυμένη πρωτεΐνη, πάνω σε πλαστικό τρυβλίο petri (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 15: Ημισφαιρικό ομοίωμα καρπού (dome), κόκκινου χρώματος, το οποίο φέρει 50 οπές (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 16: Εσωτερικό ημισφαιρικού ομοιώματος καρπού (dome) με εμφανή τα πολυάριθμα ωά και τον χυμό πορτοκαλιού (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 17: Τροφή προνυμφικού σταδίου με εμφανή την τοποθέτηση των ωών (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 18: Κλουβάκια δημογραφίας των 400 ml, όπου στο κάθε ένα από τα 368 τοποθετήθηκαν 3 άτομα του ίδιου φύλου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 19: Τα 3 επίπεδα των μεταχειρίσεων, από πάνω προς τα κάτω: περιβάλλον χαμηλής - μεσαίας - υψηλής έντασης (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 20: Η μεταχείριση της χαμηλής έντασης με μέσο όρο τα 700 lux (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 21: Η μεταχείριση της μεσαίας έντασης με μέσο όρο τα 5000 lux (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 22: Η μεταχείριση της υψηλής έντασης με μέσο όρο τα 16000 lux (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 23: Το εσωτερικό μιας θέσης του συστήματος LAM, με εμφανείς τις 3 συστοιχίες και τους 27 συνολικούς ανιχνευτές κίνησης (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 24: Το ειδικά διαμορφωμένο εξάρτημα στο οποίο εισέρχεται το έντομο ατομικά και τοποθετείτε στο σύστημα LAM (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 25: Εξαρτήματα του συστήματος LAM. Από αριστερά προς τα δεξιά: καπάκι με προσαρμοσμένη οργαντίνα - γυάλινος κυλινδρικός σωλήνας - πώμα τροφής από βινύλιο (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Εικόνα 26: Ειδική ξύλινη κατασκευή, η οποία φέρει μαύρο ύφασμα στο οποίο εναποτίθενται τα ωά (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Μέση δραστηριότητα κατά τη διάρκεια του διαστήματος της ημέρας, των αρσενικών (αριστερά) και των θηλυκών (δεξιά) ενηλίκων ανά ηλικιακή κλάση (3-7, 17-21, 44-48 ημερών), υπό τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός (χαμηλή, μεσαία, υψηλή). Οι τιμές απεικονίζονται μέσω boxplots, στα οποία διαφαίνεται η επίδραση τόσο της ηλικίας, όσο και της έντασης φωτός στη δραστηριότητα.

Διάγραμμα 2: Μέση δραστηριότητα τη νύχτα των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου ανά ηλικιακή κλάση (3-7, 17-21, 44-48 ημερών), υπό τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός (χαμηλή, μεσαία, υψηλή). Οι τιμές απεικονίζονται μέσω boxplots, στα οποία διαφαίνεται η επίδραση τόσο της ηλικίας, όσο και της έντασης φωτός στη δραστηριότητα.

Διάγραμμα 3: Μέση δραστηριότητα (σε αριθμό καταγεγραμμένων κινήσεων) ανά 24ωρο, των αρσενικών (αριστερά) και των θηλυκών (δεξιά) ενηλίκων, σε τρεις ηλικιακές κλάσεις (3-7, 17-21 και 44-48 ημερών), σε περιβάλλον τριών διαφορετικών εντάσεων φωτός (χαμηλή, μεσαία, υψηλή). Οι τιμές, καθώς και το εύρος τυπικού σφάλματος απεικονίζονται μέσω boxplots, στα οποία απεικονίζεται η επίδραση τόσο της ηλικίας, όσο και της έντασης φωτός στη δραστηριότητα.

Διάγραμμα 4: Διάγραμμα απεικόνισης του συνολικού αριθμού κινήσεων ανά ηλικιακή κλάση και ένταση φωτός για τα αρσενικά (αριστερά) και θηλυκά (δεξιά) άτομα.

Διάγραμμα 5: Απεικόνιση των 20 ατόμων με την μεγαλύτερη (πάνω) και των 20 ατόμων με τη μικρότερη κινητικότητα (κάτω). Με κίτρινο χρώμα συμβολίζεται η μικρή, με πορτοκαλί η μεσαία και με κόκκινο η μεγάλη ένταση παραγόμενου φωτός.

Διάγραμμα 6: Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης ωοπαραγωγής κατά τις διαφορετικές ηλικιακές κλάσεις και εντάσεις φωτός.

1. Περίληψη

Η μύγα της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* αποτελώντας έναν από τους πλέον επιβλαβείς φυτικούς εχθρούς, επιφέρει εκτεταμένες ζημιές στην παγκόσμια παραγωγή φρούτων. Η επιτακτική ανάγκη για την καταπολέμηση του συγκεκριμένου εντόμου, οδήγησε στην ενδελεχή μελέτη του και τη δημιουργία εκτεταμένης σχετικής βιβλιογραφίας. Ενώ παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η φωτοπερίοδος έχουν μελετηθεί επαρκώς, η επίδραση της έντασης του φωτός έχει διερευνηθεί συγκριτικά λιγότερο. Κατά την παρούσα εργασία, ο πειραματικός σχεδιασμός και η έρευνα επικεντρώθηκε στην μελέτη της δραστηριότητας και της ωοπαραγωγής ενηλίκων του *C. capitata* σε ελεγχόμενες συνθήκες εντάσεως του φωτός. Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις οι οποίες επιλέχθηκαν συμπεριλάμβαναν 3 διαβαθμισμένα επίπεδα εντάσεως (χαμηλή, μεσαία και υψηλή), ενώ εξετάστηκε η αλληλεπίδραση αυτών με την ηλικία και το φύλο των εντόμων.

Τα πειράματα διενεργήθηκαν στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τον Μάιο του 2024. Το κύριο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το LAM (Locomotor Activity Monitor, Trikinetics), ένα σύστημα το οποίο καθιστά δυνατή την καταγραφή της δραστηριότητας με μεγάλη ακρίβεια και σε πραγματικό χρόνο. Οι καταγραφές συμπεριλάμβαναν 3 ηλικιακές κλάσεις ενηλίκων (3-7, 17-21 και 44-48 ημερών), σε ρυθμιζόμενες εντάσεις φωτός τόσο για τα θηλυκά όσο και για τα αρσενικά έντομα.

Τα ευρήματα, τα οποία προέκυψαν, έδειξαν σημαντική επίδραση της εντάσεως του φωτός στην ημερήσια και την 24ωρη δραστηριότητα, καθώς και στην ωοπαραγωγή των θηλυκών. Η κινητικότητα ήταν αυξημένη σε περιβάλλον μεσαίας και υψηλής έντασης φωτός. Ειδικότερα στα έντομα της μέσης ηλικίας (17-21 ημερών) παρουσιάστηκαν οι σπουδαιότερες διακυμάνσεις, ανεξαρτήτως συνθηκών και φύλου. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι οι κινήσεις των γηραιότερων εντόμων ήταν οι λιγότερες. Όσον αφορά την δραστηριότητα κατά τη σκοτόφαση, παρατηρήθηκε αυξημένη κινητικότητα, στα άτομα τα οποία προηγουμένως είχαν εκτεθεί σε υψηλότερη ένταση φωτός. Επιπροσθέτως, η μέση ωοπαραγωγή των θηλυκών ήταν μηδενική στα θηλυκά μικρής ηλικίας, ανεξαρτήτως της έντασης του φωτός και μεγαλύτερη στα θηλυκά μέσης και μεγάλης ηλικίας τόσο στην μεσαία, όσο και στην υψηλή ένταση φωτός.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία συμβάλει στην κατανόηση της συμπεριφοράς της μύγας της Μεσογείου υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός και στοχεύει στη δημιουργία περαιτέρω δεδομένων και υποθέσεων. Τέτοιες μελέτες, καλούνται να βελτιστοποιήσουν τις στρατηγικές ολοκληρωμένης διαχείρισης, τα συστήματα λήψης αποφάσεων για την αντιμετώπιση επιβλαβών εντόμων με γνώμονα τις βιολογικές μεθόδους, ενώ ενισχύουν καίριες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση τεχνητού φωτισμού σε εκτροφές και θερμοκηπιακές καλλιέργειες με στόχο τις εκάστοτε επιθυμητές επιδράσεις που επιδιώκουμε να

επιφέρουμε στο έντομο. Τέλος, τονίζεται η προτροπή για περαιτέρω μελέτες για διερεύνηση του ρόλου της έντασης φωτός στη φυσιολογία και συμπεριφορά του *C. capitata*.

Summary

The Mediterranean fruit fly, *Ceratits capitata* is one of the most crucial agricultural pests, causing extensive damage to global fruit production. The urgent need to control this insect has led to in-depth research and the development of extensive literature on this topic. While factors such as temperature, relative humidity and photoperiod have been thoroughly studied, the effect of light intensity has received comparatively less attention. This thesis focused on the study of the activity and fecundity of adult *C. capitata* under controlled light intensity conditions. The experimental design included three different levels of light intensity (low, medium and high), while the interactions of these levels with insect's age and sex were also examined.

The experiments were conducted at the Laboratory of Entomology and Agricultural Zoology of the University of Thessaly in May 2024. The main system used was the LAM (Locomotor Activity Monitor, Trikinetics), which allows high-precision, real-time monitoring of the insect activity. Observations included three age classes of adults (3–7, 17–21 and 44–48 days old), across different light intensities both for females and males.

The findings revealed significant effects of light intensity on both diurnal and 24-hour activity, as well as on female oviposition. Activity was notably higher under medium and high light intensities, with the most pronounced differences observed in the 17-21-day-old group, regardless of sex. Older individuals exhibited the lowest activity levels. Regarding activity during the scotophase, increased locomotion was observed in individuals that had previously been exposed to higher light intensity. Additionally, the average female oviposition was at zero level for the young females regardless of light intensity and higher for mid-aged and older females both in medium and high light intensities.

This thesis contributes to the understanding of *C. capitata* behavior under different light intensities and to provide new insights and hypotheses. Such studies are essential for optimizing integrated pest management (IPM) strategies, improving decision-making systems for environmentally friendly pest control methods and updating the use of artificial lighting in rearing or greenhouse farming to induce desirable behavioral responses. Lastly, further research is encouraged to explore the physiological and behavioral responses of *C. capitata* to light intensity.

2. Εισαγωγή

2.1. Γενικά χαρακτηριστικά της μύγας της Μεσογείου

Η μύγα της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Wiedemann), αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό γεωργικό εχθρό, με τεράστιο οικονομικό αντίκτυπο στην παγκόσμια παραγωγή φρέσκων φρούτων. Κάτι τέτοιο ενισχύεται από την ικανότητα του εντόμου να προσβάλλει 300 και πλέον είδη φυτών-ξενιστών. Ανήκει στην οικογένεια Tephritidae της τάξης των Διπτέρων. Η οικογένεια Tephritidae αριθμεί πάνω από 5.500 είδη, ενώ το γένος *Ceratitis* περιλαμβάνει περισσότερα από 90 διαφορετικά είδη (Health et al., 2020). Η μύγα της Μεσογείου προέρχεται από την υποσαχάρια Αφρική και πλέον έχει επεκτείνει την παρουσία της σε πολλές περιοχές του κόσμου. Η προσαρμοστικότητα και η επιβίωση της σε ένα μεγάλο εύρος κλιματολογικών συνθηκών, αποτελεί ένα εκ των πιο καίριων γνωρισμάτων του είδους (Robinson, 1989; Papadopoulos et al., 2001).

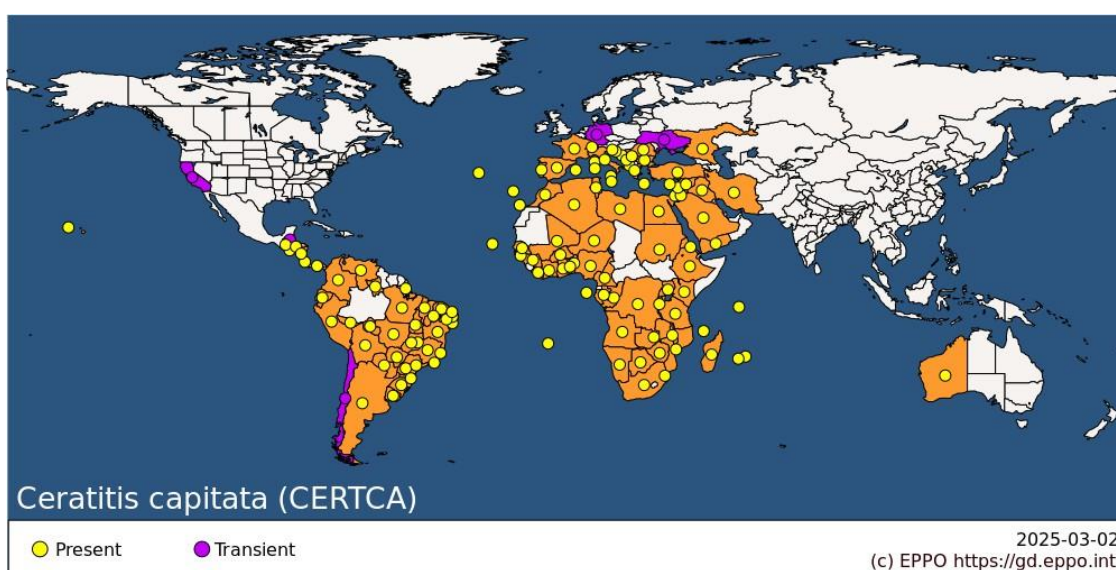


Εικόνα 1: Ενήλικο θηλυκό της μύγας της Μεσογείου, πάνω σε εσπερίδιο νεραντζιάς, έναν από τους κύριους ξενιστές του εντόμου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισιάκης).

2.2. Καταγωγή - γεωγραφική εξάπλωση

Η μύγα της Μεσογείου, που όπως προαναφέρθηκε αποτελεί ιθαγενές είδος της υποσαχάριας Αφρικής, έχει εξαπλωθεί παγκοσμίως, πρωταρχικά στην Ευρώπη και ύστερα στις υπόλοιπες ηπείρους, λόγω των αυξημένων δραστηριοτήτων εμπορίου και μεταφορών. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες εισβολές εντόμων εκτός Αφρικής, έχουν ως βασικό τους αίτιο την συνεχώς αυξανόμενη ανθρώπινη μετακίνηση και τις διεθνείς εμπορικές συναλλαγές προσβεβλημένων καρπών. Η παρουσία της έχει πλέον καταγραφεί σε περιοχές μεταξύ 45° βόρειου και 45° νότιου γεωγραφικού πλάτους, ιδίως στην Νότια και Κεντρική Αμερική, τη Νότια Ευρώπη, τη Δυτική Αυστραλία, τη Μέση Ανατολή και σε ορισμένα νησιά του Ατλαντικού, του Ειρηνικού και του Ινδικού ωκεανού (Gasperi et al., 2002) και η παρουσία της έχει καταγραφεί τόσο σε τροπικές όσο και σε εύκρατες περιοχές πέντε διαφορετικών ηπείρων (De Meyer et al., 2002). Αυτή η ευρεία εξάπλωση εκτείνεται μέχρι και τις νότιες ΗΠΑ, το Μεξικό, τη Χιλή, νότια τμήματα της Ρωσίας και

την Ουκρανία (Szyniszewska & Tatem, 2014). Επίσης, στην Ευρώπη απαντάται στη νότια Γαλλία (Cayol and Causse, 1993) και τη βόρεια Ιταλία (Rigamonti, 2004a; Zanoni, 2017), όπου και έχουν καταγραφεί εγκατεστημένοι πληθυσμοί, ενώ ως το βορειότερο όριο εξάπλωσης της θεωρείται η Σλοβενία (γεωγραφικό πλάτος < 46°). Στις πιο ψυχρές περιοχές της βόρειας Ιταλίας έχει επίσης αποδειχθεί πως η διαχείμαση μπορεί να επιτευχθεί και σε ανθρώπινες εγκαταστάσεις (π.χ. υπόγεια κατοικιών κ.α.) (Rigamonti, 2004b). Η γεωγραφική επέκταση του είδους *C. capitata* μπορεί επίσης να καλύπτει περιοχές με υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη λόγω της ολοένα κι εντονότερης κλιματικής αλλαγής (Sciarretta et al., 2018). Για παράδειγμα, συνεχείς ανιχνεύσεις και προσβολές σε όψιμους ξενιστές έχουν παρατηρηθεί στην Αυστρία (Egartner et al., 2019). Επιπρόσθετα, αρκετές πρόσφατες ανιχνεύσεις έχουν καταγραφεί στη Γερμανία και άλλες χώρες της κεντρικής Ευρώπης (König et al., 2022) (**Εικόνα 2**). Η διαθεσιμότητα και το πλήθος των ξενιστών σε αυτές τις περιοχές, το κλίμα και η εμπορία - διακίνηση προσβεβλημένων καρπών καθορίζει άμεσα το μέγεθος και το ρυθμό της εξάπλωσης (Papadopoulos, 2008a) (**Εικόνα 1**). Επιπλέον, έχει εκτιμηθεί και προβλεφθεί ότι το 2030 η μύγα της Μεσογείου θα αποικίσει την ενδοχώρα της Γαλλίας, της νότιας Γερμανίας, της Ελβετίας, της Αυστρίας και της Ουγγαρίας. Ενδεχομένως να εγκατασταθεί στη βόρεια Γαλλία, την κεντρική Γερμανία, την Πολωνία και άλλες χώρες της κεντρικής Ευρώπης μέχρι το 2050 (Gilioli et al., 2022). Γενικότερα, στις πιο ψυχρές κι εύκρατες περιοχές, διαχειμάζει κυρίως στο στάδιο της προνύμφης εντός προσβεβλημένων καρπών, παρατείνοντας τη διάρκεια ανάπτυξής της από τα τέλη του φθινοπώρου μέχρι την άνοιξη. Έτσι, ένα μικρό ποσοστό εντόμων καταφέρνει να επιβιώσει στις χειμερινές συνθήκες και αναγεννά ολόκληρο τον πληθυσμό την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού (Papadopoulos et al., 1996a). Στην Ελλάδα, οι πρώτες αναφορές ύπαρξης του εντόμου έγιναν σε καλλιέργειες εσπεριδοειδών το 1915 στην Αττική (Tzimos, 1961), ενώ πλέον το έντομο συναντάται σε όλη την έκταση της χώρας - από την Βόρεια Ελλάδα μέχρι και την Κρήτη - όπου υπάρχουν ξενιστές στους οποίους μπορεί να αναπτυχθεί (Παπαδόπουλος, 1999a).



Εικόνα 2: Γεωγραφική εξάπλωση της μύγας της Μεσογείου για το έτος 2025. Οι κίτρινες τελείες συμβολίζουν τους εγκατεστημένους πληθυσμούς, ενώ οι μωβ τις περιοχές με παροδικές εμφανίσεις (EPPO 2025-03-02), <https://gd.eppo.int/taxon/CERTCA>

2.3. Μορφολογικά χαρακτηριστικά του εντόμου

Κατά το στάδιο του ενηλίκου, το μήκος του εντόμου ποικίλει από 4 έως 6 mm, ενώ το πλάτος αυτού από 1,2 έως 2 mm. Ο χρωματισμός του σώματος είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικός, με τις καστανές και κίτρινες αποχρώσεις να κυριαρχούν. Συγκεκριμένα, το κεφάλι έχει χρώμα κίτρινο, με πιο σκούρους τόνους στο σημείο των κεραιών και με μαύρες τρίχες μεταξύ των σύνθετων οφθαλμών, οι οποίοι έχουν λαμπερό μωβ χρώμα (Τζανακάκης & Κατσόγιαννος, 2003a). Ο θώρακας στο νωτιαίο τμήμα του είναι μαύρος με κηλίδες ανοιχτού χρώματος, ενώ στην κοιλιακή επιφάνεια του έχει κίτρινο χρώμα. Οι πτέρυγες έχουν μήκος 4,4 mm, ενώ είναι καλυμμένες από λευκές, κίτρινες, καστανές και μαύρες κηλίδες. Η κοιλιά έχει χρώμα πορτοκαλί και φέρει δύο εγκάρσιες καστανές ζώνες, πάνω στις οποίες βρίσκεται πληθώρα μαύρων μικρών στιγμάτων. Τα πόδια του εντόμου, είναι κιτρινέρυθρα και φέρουν σκληρές τρίχες στο σημείο των κνημών (CABI, 2024).

Ο διμορφισμός φύλου επικεντρώνεται κυρίως στην παρουσία στα αρσενικά άτομα, δύο έμμισχων, κερατοειδών αποφύσεων (“orbital blisters”) μαύρου χρώματος (White & Elson-Harris, 1992), οι οποίες εντοπίζονται στο μπροστινό τμήμα της κεφαλής. Τα θηλυκά απεναντίας, διαθέτουν στο τελευταίο τμήμα της κοιλιάς τους, έναν ωοθήτη μήκους 0,9-1,3 mm (όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία, **Εικόνα 3**).



Εικόνα 3: Ενήλικο θηλυκό της μύγας της Μεσογείου, με ευδιάκριτο τον ωοθήτη στο οπίσθιο τμήμα της κοιλιάς (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Το αυγά του είδους είναι λεία, λευκού χρώματος με ελλειπτικό και στενόμακρο σχήμα, με συνολικό μήκος 0,9-1,1 mm και διάμετρο 0,2 mm (**Εικόνα 4**) και εναποτίθενται στον ξενιστή διαμέσου του ωοθήτη του ενήλικου θηλυκού (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003b).



Εικόνα 4: Ομάδα 10 αυγών της μύγας της Μεσογείου πάνω σε μαύρο ύφασμα (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Οι προνύμφες είναι άποδες, ακέφαλες με αποχρώσεις λευκού χρώματος. Είναι κυλινδρικές με χαρακτηριστικά στοματικά μόρια μαύρου χρώματος στο πρόσθιο τμήμα τους (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003c). Η προνύμφη διέρχεται από 3 προνυμφικές ηλικίες. Οι διαστάσεις της ποικίλουν, αυτή της 1^{ης} ηλικίας είναι 0,17-2,2 mm, της 2^{ης} 2,3-5 mm και της 3^{ης} 6-10 mm (Papadopoulos, 2008b).



Εικόνα 5: Προνύμφες της μύγας της Μεσογείου, στο εσωτερικό εσπεριδίου νεραντζιάς (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Όταν ολοκληρωθεί η ανάπτυξη των προνυμφών, αυτές εγκαταλείπουν τον καρπό, πέφτουν στο έδαφος και το έντομο εισέρχεται στο νυμφικό στάδιο. Το σχήμα των νυμφών είναι ελλειψοειδές και βαρελόμορφο. Το μέγεθος τους κυμαίνεται στα 4-4,5 mm περίπου με διάμετρο 2-2,5 mm (Τζανακάκης & Κατσόγιαννος, 2003d). Ο τελικός χρωματισμός τους προκύπτει σε μεγάλο βαθμό από το είδος του ξενιστή. Συνήθως, η περιοχή η οποία

λαμβάνει χώρα η νύμφωση βρίσκεται στο έδαφος πέριξ και κάτω από το φυτό ξενιστή (Papadopoulos et al., 2004).



Εικόνα 6: Ομάδα 10 νυμφών της μύγας της Μεσογείου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Μετά το πέρας και του νυμφικού σταδίου, ακολουθεί η έξοδος του ενήλικου. Ανακεφαλαιώνοντας, τα τέσσερα (4) στάδια τα οποία παρουσιάζονται κατά την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου, φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 7**).



Εικόνα 7: Τα 4 στάδια του ολομετάβολου εντόμου *Ceratitidis capitata*, από αριστερά προς τα δεξιά: αυγό, προνύμφη (3^{ης} ηλικίας), νύμφη, ενήλικο (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

2.4. Βιολογία του εντόμου

Ως ένα πολυκυκλικό είδος, η μύγα της Μεσογείου παρουσιάζει πολλές γενεές κατά τη διάρκεια του έτους. Το πλήθος αυτών των γενεών στη χώρα μας, είναι από 3 έως 7, ενώ αυτό καθορίζεται άμεσα από το

γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, τη διαθεσιμότητα των ξενιστών και τις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες που επικρατούν (με σημαντικότερο παράγοντα εξ' αυτών τη θερμοκρασία) (Διαμαντίδης, 2009). Το έντομο δεν διαπαύει και η διαχείμαση του γίνεται κυρίως στο στάδιο της προνύμφης, στο εσωτερικό προσβεβλημένων καρπών (Papadopoulos et al., 1996b; Παπαδόπουλος, 1999b). Επιπρόσθετα, και συγκεκριμένα στις νοτιότερες περιοχές, το έντομο έχει τη δυνατότητα να παραμένει δραστήριο -ως ενήλικο- καθ' όλο το έτος. (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003ε).

Η διατροφή του ενηλίκου στηρίζεται σε υγρές ουσίες, πλούσιες σε σάκχαρα και άζωτο. Παραδείγματα τέτοιων πηγών στη φύση αποτελούν τα μελιτώδη απεκκρίματα κοκκοειδών, το νέκταρ, τα περιττώματα πουλιών και ζώων, καθώς και άλλες ουσίες τις οποίες το έντομο μπορεί να διασπάσει, ρευστοποιήσει και προσλάβει (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003f).

Η αναπαραγωγική ωριμότητα επέρχεται σε διάστημα 6-8 ημερών για τα θηλυκά (Μαυρομάτης, 2008) και τεσσάρων περίπου ημερών για τα αρσενικά, μετά την πάροδο του νυμφικού σταδίου. Τα ενήλικα πλέον αρσενικά, με την έκλυση φερομόνης, επιτυγχάνουν την προσέλκυση των θηλυκών με αποτέλεσμα τη σύζευξη (Papadopoulos et al., 1998) (**Εικόνα 8**).

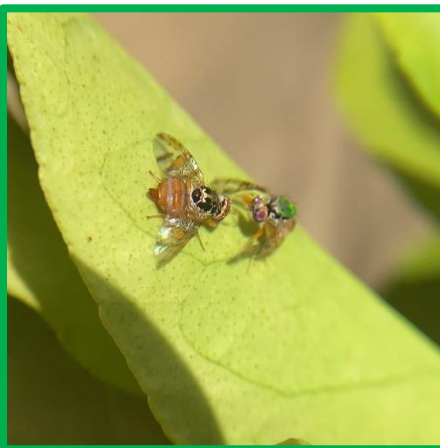


Εικόνα 8: Ενήλικο αρσενικό της μύγας της Μεσογείου, κατά την έκλυση φερομόνης (Φωτ. Αθανάσιος Παρισιάκης).

Η διαδικασία της σύζευξης παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον. Στο αρχικό στάδιο διαδραματίζεται η συνεχής δόνηση των πτερύγων (διασκορπισμός φερομόνης) (Αλληλουχία εικόνων 9, **Εικόνα 9.1**). Στη συνέχεια ακολουθεί η εύρυθμη, έντονη και συνεχόμενη ταλάντωση των πτερύγων (Αλληλουχία εικόνων 9, **Εικόνες 9.2.1-9.2.2-9.2.3**). Η προσπάθεια καταλήγει στην απόπειρα σύζευξης από το αρσενικό, με την τοποθέτηση του σώματος σε αντίθετο προσανατολισμό από αυτό του θηλυκού (Αλληλουχία εικόνων 9, **Εικόνα 9.3**). Τέλος, με κίνηση του σώματος του πάνω στην πλάτη του θηλυκού και συγκεκριμένα με περιστροφή 180 μοιρών, επέρχεται η σύζευξη (Briceno et al., 1998) (Αλληλουχία εικόνων 9, **Εικόνα 9.4**).



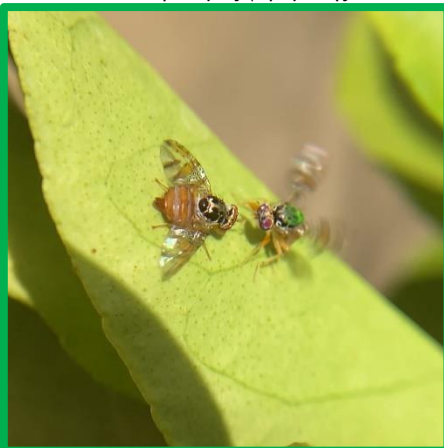
Εικόνα 9.1: Δόνηση πτερύγων, διασκορπισμός φερομόνης



Εικόνα 9.2.1: Εύρυθμη, έντονη και συνεχόμενη ταλάντωση των πτερύγων



Εικόνα 9.2.2: Εύρυθμη, έντονη και συνεχόμενη ταλάντωση των πτερύγων



Εικόνα 9.2.3: Εύρυθμη, έντονη και συνεχόμενη ταλάντωση των πτερύγων



Εικόνα 9.3: Απόπειρα σύζευξης από το αρσενικό



Εικόνα 9.4: Επιτυχημένη σύζευξη

Αλληλουχία εικόνων 9: Τα στάδια της σύζευξης της μύγας της Μεσογείου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Τα αναπαραγωγικά ώριμα θηλυκά εισάγουν διαμέσου του ωοθέτη τους, ομάδες 1-9 αυγών στο εσωτερικό του καρπού (Papadopoulos, 2008c). Ταυτόχρονα, εναποτίθεται η εξειδικευμένης λειτουργίας φερομόνη, η οποία σκοπεύει στην παρεμπόδιση ωοτοκίας του ίδιου καρπού από τα επόμενα θηλυκά του είδους (Prokory et al., 1978). Το κάθε έντομο έχει τη δυνατότητα εναπόθεσης 250-1000 αυγών (Papadopoulos, 2008d). Οι προνύμφες που εκκολάπτονται, αφού τραφούν με την εσωτερική σάρκα του μεσοκαρπίου και ολοκληρώσουν την ανάπτυξη τους, εξέρχονται με στόχο να νυμφωθούν εν τέλει στο έδαφος. Η νύμφωση πραγματοποιείται στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα, βάθους μόλις μερικών εκατοστών (Jackson et al., 1998). Ο βιολογικός κύκλος του εντόμου, ολοκληρώνεται σε διάστημα μόλις 25 ημερών στους 24-25°C (Dionysopoulou et al., 2020), σε περιβάλλον σχετικής υγρασίας αέρα 60-70% (Shoukry and Hafez, 1979).



Εικόνα 10: Ενήλικο θηλυκό (αριστερά) και προνύμφη εντόμου που ξεπροβάλλει από τον φλοιό εσπεριδίου νεραντζιού (δεξιά) (Φωτ. Αθανάσιος Παρισιάκης).

2.5. Επίδραση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων στην συμπεριφορά του εντόμου

Η συμπεριφορά του εντόμου, επηρεάζεται καθοριστικά από έναν συνδυασμό αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων και μάλιστα την αλληλεπίδραση αυτών. Το γεγονός αυτό, διαμορφώνει την υψίστης σημασίας ανάγκη για την αποτελεσματική καταπολέμηση του. Τόσο η γενική συμπεριφορά της μύγας της Μεσογείου, όσο και η κινητικότητα αυτής, επηρεάζεται άμεσα από μια πληθώρα παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτοπερίοδος, η ένταση του φωτός, η ηλικία, το φύλο και ο ξενιστής.

Η θερμοκρασία και η υγρασία συγκαταλέγονται στους σημαντικότερους αβιοτικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του *Ceratitis capitata* και συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των ποικιλόθερμων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των εντόμων, κυρίως επιδρώντας σε φυσιολογικές λειτουργίες όπως είναι η δράση των ενζύμων (Trudgill et al., 2005). Σε εργαστηριακές συνθήκες, έχει μελετηθεί ότι θερμοκρασίες της τάξεως των 24-25°C προάγουν την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθώς και τα υψηλότερα ποσοστά ωοπαραγωγής, σε σύγκριση με χαμηλότερες ή υψηλότερες θερμοκρασίες (Vargas et al., 1997; Κόκκωνα, 2021), ενώ έχει αναφερθεί από τους Grout and Stolz (2014) ότι η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης (T_{opt}) είναι οι 28,5°C, με κατώτερο όριο (T_{min}) τους 9,6°C και ανώτατο (T_{max}) τους 33°C. Ακόμη, έχει αποδειχθεί ότι η έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες επιβραδύνει την ανάπτυξη των ανηλικών σταδίων (και αντιστρόφως) (Ricalde et al., 2012; Duyck and Quilici, 2002) και μπορεί να προκαλέσει προσωρινή καταστολή των ενηλίκων (chill coma), με την ικανότητα ανάνηψης να εξαρτάται από τη διάρκεια και την ένταση της ψύξης, την γενεά των εντόμων, καθώς και την γεωγραφική προέλευση αυτών (Moraiti et al., 2022). Επιπρόσθετα, η σχετική υγρασία σε συνδυασμό με την θερμοκρασία καθορίζει τον ρυθμό μεταβολισμού και την ημερήσια δραστηριότητα των εντόμων (Carey et al., 2008), συγκεκριμένα η υγρασία έχει παρατηρηθεί πως επηρεάζει σημαντικά την επιβίωση των ανηλικών της μύγας της Μεσογείου, όπου

υψηλότερα ποσοστά αυτής ευνοούν την επιβίωση, ενώ υγρασία μικρότερη του 30% την μειώνει δραματικά (Duyck et al., 2006).

Η φωτοπερίοδος ρυθμίζει επίσης την κινητική συμπεριφορά και αποτελεί έναν εξίσου σημαντικό αβιοτικό παράγοντα που καθορίζει την εξέλιξη των ειδών (μέσω της καθημερινής εναλλαγής περιόδων φωτός/σκότους) και είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη βιοκλιματική προσαρμογή των έμβιων οργανισμών (Dolezel, 2015). Ως φωτοπερίοδος θα μπορούσε να οριστεί ο περιβαλλοντικός ρυθμός που καθορίζει τις επαναλαμβανόμενες εναλλαγές φωτός/σκότους, οι οποίες εναλλαγές με τη σειρά τους επιδρούν στη βιολογία διαφόρων ειδών (ιδιαίτερα ευκαρυωτικών οργανισμών). Τα συγκεκριμένα είδη συλλέγουν περιβαλλοντικές πληροφορίες μέσω ερεθισμάτων που λαμβάνουν από τον κύκλο του φωτός σε καθημερινή βάση, καθώς και το μήκος της ημέρας το οποίο παρουσιάζει μεταβολές ανάλογα με την εποχή του χρόνου και το γεωγραφικό πλάτος (Beck, 2012). Η φωτοπερίοδος μεταβάλλεται εντός του έτους λόγω της περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο (γωνία άξονα 23.5°). Η δυνατότητα των εντόμων να αντιδρούν στις εναλλαγές φωτός/σκότους κατά την διάρκεια της ημέρας, οφείλεται στο κικκάδιο τους ρολόι. Ο όρος «κικκάδιο» προέρχεται από τη λατινική φράση "circa diem", που σημαίνει «περίπου μια μέρα». Το «κικκάδιο ρολόι» αποτελεί βιολογική «συσκευή» με περιοδικότητα 24ώρου και λειτουργεί αδιάκοπα, ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Dolezel, 2015). Με τη βοήθεια αυτού του ρολογιού τα έμβια όντα μπορούν να αντιληφθούν τόσο τους ημερήσιους κύκλους φωτός/σκότους, όσο και τη διάρκεια αυτών των κύκλων, η οποία καθορίζεται από την κλίση της γης ως προς τον ήλιο (Panda et al., 2002).

Επιπλέον, η ένταση του φωτός διαμέσου των εναλλαγών της κατά τη διάρκεια του 24ώρου, καθώς και την διαφοροποίηση αυτής ανάλογα με την τοποθεσία, καθορίζει άμεσα συμπεριφορικές επιδράσεις σε όλο το ζωικό βασίλειο. Μελέτες συναφείς με τις επιδράσεις της έντασης του φωτός στη συμπεριφορά των εντόμων παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον μιας κι έχουν μελετηθεί λιγότερο συγκριτικά με τη φωτοπερίοδο και πρόκειται να αναλυθούν εκτενέστερα στην επόμενη ενότητα (Ενότητα 2.6). Η ένταση του φωτός και η παραγόμενη ενέργεια, η οποία προσπίπτει σε μια επιφάνεια, επηρεάζει βασικές λειτουργίες των οργανισμών.

Στους βιοτικούς παράγοντες επίδρασης της συμπεριφοράς συγκαταλέγονται επίσης οι ξενιστές και η διατροφή. Συγκεκριμένα για τη μύγα της Μεσογείου, το είδος του ξενιστή μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την επιβίωση του προνυμφικού σταδίου ενώ οι ξενιστές που ευνοούν την ανάπτυξη των ανηλικών σταδίων συμβάλλουν ταυτόχρονα και στην αύξηση του ποσοστού ενηλικίωσης τους (Carey, 1984). Η πρόσβαση των εντόμων σε πλούσιες πηγές αμινοξέων έχει βρεθεί πως αυξάνει την συχνότητα της ωοτοκίας (Kouloussis et al., 2017). Γενικά, δύο από τους βασικότερους παράγοντες καθορισμού της επιβίωσης, της διάρκειας ανάπτυξης και άλλα βιολογικά χαρακτηριστικά των προνυμφών και νυμφών της μύγας της Μεσογείου είναι η περιεκτικότητα καθώς και το είδος των θρεπτικών συστατικών, με τα λιπίδια, τις φυτικές ίνες και τους υδατάνθρακες να αποτελούν τα κύρια συστατικά που επιδρούν στην ανάπτυξη των ενηλικών (Hafsi et al., 2016), ενώ διάφορες έρευνες έχουν καταδείξει τη σημασία της περιεκτικότητας της τροφής του

εντόμου σε πρωτεΐνη σε ότι αφορά στην επιβίωση και την αναπαραγωγή του (Papanastasiou et al., 2019; Davies et al., 2005). Σε παλαιότερες έρευνες, αποδείχθηκε πως το ποσοστό επιβίωσης των προνυμφών αυξάνεται όταν αυτές τρέφονται με το εσωτερικό μέρος του καρπού πορτοκαλιού (pulp) το οποίο περιέχει και τις μεγαλύτερες ποσότητες υδατανθράκων συγκριτικά με όλα τα άλλα τμήματα του καρπού. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης και η δυνατότητα των προνυμφών να μετακινούνται προς το εσωτερικό του καρπού για να βελτιστοποιήσουν την ποιότητα της διατροφής τους (Fernandes-Da Silva and Zucoloto, 1993). Ακόμη, τα ποσοστά επιβίωσης και η διάρκεια ανάπτυξης των ανηλίκων σταδίων δύναται να διαφέρουν ακόμα και μεταξύ φυτών-ξενιστών της ίδιας οικογένειας (Papadopoulos et al., 2002a). Για παράδειγμα, η ανάπτυξη της μύγας της Μεσογείου σε 3 ποικιλίες μήλων (Golden Delicious, Red Delicious και Granny Smith) δεν είχε τα ίδια ποσοστά επιτυχίας αναφορικά με το ποσοστό επιβίωσης και τη διάρκεια ανάπτυξης, μιας και βρέθηκε ότι η διάρκεια του προνυμφικού σταδίου ήταν μεγαλύτερη και τα ποσοστά θνησιμότητας υψηλότερα στις ποικιλίες Granny Smith και Red Delicious, σε σύγκριση με την ποικιλία Golden Delicious. Παρομοίως στις νύμφες, η διάρκεια ανάπτυξης των νυμφών δε διέφερε στις τρεις ποικιλίες, όμως η επιβίωση ήταν χαμηλότερη στις Granny Smith και Red Delicious συγκριτικά με την Golden Delicious. Βάσει των αποτελεσμάτων αυτής της εργασίας φάνηκε πως η σκληρότητα του καρπού δεν ευνοεί την ανάπτυξη της μύγας της Μεσογείου (Papadopoulos et al., 2002b).

Ως γήρας ορίζεται η σταδιακή μείωση της φυσιολογικής ακεραιότητας και των λειτουργιών, σε συνδυασμό με την αυξημένη πιθανότητα θανάτου καθώς και τη μειωμένη πιθανότητα αναπαραγωγής ενός οργανισμού (Carey and Molleman, 2010; He and Japser, 2014). Οι αλλαγές στη συμπεριφορά ως συνάρτηση της ηλικίας οδηγούν σε προοδευτική επιδείνωση πολλών αντιδράσεων, συμπεριλαμβανομένης της κινητικής δραστηριότητας (Iliadi and Boulianne, 2010). Η συμπεριφορά των οργανισμών συνδέεται άμεσα με την κίνηση. Αυτή καθορίζει την ικανότητα του ατόμου να μπορεί να ανταποκριθεί στα ερεθίσματα του περιβάλλοντος, καθώς και στις καθημερινές ζωτικές του ανάγκες, [π.χ. επιβίωση και η αναπαραγωγή, που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά αρμοστικότητας (fitness traits) και την ηλικία του] (Martin, 2003). Η δραστηριότητα των μυών των φρούτων και άλλες εξειδικευμένες συμπεριφορές όπως το σεξουαλικό κάλεσμα, η ύπτια συμπεριφορά και η σίτιση δύναται να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ζωής των ατόμων. Ορισμένες από αυτές τις συμπεριφορές φαίνεται να εκδηλώνουν μοτίβα που σχετίζονται με την ηλικία. Ως εκ τούτου, οι μύγες των φρούτων αποτελούν οργανισμούς ικανούς να χρησιμοποιηθούν στον ερευνητικό τομέα τόσο στην επιστήμη της δημογραφίας και της γηριατρικής όσο της συμπεριφοράς (Markowska and Breckler, 1999; Carey et al., 2006). Αλλαγές στη συμπεριφορά και την κινητική δραστηριότητα σε σχέση με την ηλικία έχουν περιγραφεί σε είδη του γένους *Drosophila* καθώς και στη μύγα της Μεσογείου, παρέχοντας πληροφορίες για την κατανόηση της διαδικασίας της γήρανσης (Carey et al., 2006).

Αναφορικά με την επίδραση της ηλικίας στη δραστηριότητα της μύγας της Μεσογείου, έχει αναφερθεί πως ο μεγαλύτερος αριθμός κινήσεων που κατέγραψε το σύστημα καταγραφής δραστηριότητας LAM (το οποίο

χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία) παρατηρήθηκε κατά τις πρώτες 20 ημέρες ζωής των ενηλίκων, ενώ η δραστηριότητα μειώθηκε κατά πολύ καθώς αυξανόταν η ηλικία των εντόμων (Ροδοβίτης, 2021). Ένα παρόμοιο μοτίβο μειωμένης δραστηριότητας έχει αναφερθεί και σε παλαιότερη έρευνα (Παπαναστασίου, 2014). Τα 3 επιλεγμένα διαστήματα ηλικιακών κλάσεων που ορίστηκαν στον πειραματικό σχεδιασμό της παρούσας εργασίας, είναι 3-7 ημερών, αντιπροσωπεύοντας τα νεαρά ενήλικα μετά την έξοδο από το νυμφικό στάδιο, 17-21 ημερών με πλέον αναπαραγωγικά ώριμα άτομα και τέλος 44-48 ημερών, ως ηλικιωμένα ενήλικα (Müller et al., 2001; Ankeny and Leonelli, 2011). Καλύπτοντας έτσι τα συγκεκριμένα εύρη, διατυπώθηκε μία ολοκληρωμένη προσέγγιση στη συσχέτιση καταγεγραμμένης κινητικότητας με την ηλικία.

2.6. Επίδραση εντάσεως φωτός στα έντομα

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.5, η ένταση του φωτός αποτελεί έναν καίριας σημασίας παράγοντα επίδρασης σε όλα τα έμβια όντα, κατά συνέπεια και στα έντομα. Το είδος εντόμου στο οποίο διερευνάται η επίδραση της έντασης αυτής είναι κατά την παρούσα μελέτη, η μύγα της Μεσογείου. Η ένταση του φωτός ορίζεται ως η φωτεινή ροή που προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια διά το εμβαδόν αυτής. Η συνηθέστερη μονάδα μέτρησης της είναι τα lux (<https://en.wikipedia.org/wiki/Lux>). Για να κατανοήσουμε το συγκεκριμένο μηχανισμό επίδρασης, θα πρέπει να αναφερθούμε λίγο παραπάνω στον κιρκάδιο ρυθμό, ο οποίος όπως προαναφέρθηκε ρυθμίζει την συμπεριφορά στα άτομα ολόκληρου του ζωικού βασιλείου και αποτελείται από δύο διαστήματα ημέρας και νύχτας. Παραδείγματα του συνόλου των λειτουργιών, οι οποίες έχουν συσχετισθεί με τον ρυθμό αυτό, αποτελούν η ανάπαυση, η αναζήτηση τροφής, η μετανάστευση και η αναπαραγωγή. Παρότι οι κιρκάδιοι ρυθμοί είναι ενδογενείς, αυτοί προσαρμόζονται από τις συνθήκες του τοπικού περιβάλλοντος, καθώς και από ένα πλήθος εξωγενών παραγόντων (Benhamou 2014), όπως είναι το φως της ημέρας. Ο βασικός στόχος της εξατομικευμένης συμπεριφοράς είναι η βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων τροφικών πόρων και η μείωση του κινδύνου θήρευσης. Γενικότερα αυτές οι προσαρμογές κατέχουν σημαντικότατο ρόλο στην πορεία της ζωής του ατόμου (Owen, 2008).

Στο πλαίσιο της τόσο σημαντικής επίδρασης του φωτός, η διερεύνηση των διαφοροποιήσεων της συμπεριφοράς, όσον αφορά την παραμετροποίηση των επιπέδων εντάσεως παρουσιάζει ιδιαίτερα σπουδαίο αντικείμενο διερεύνησης. Η ένταση του παραγόμενου φωτός σε μία πλήρως ηλιόλουστη ημέρα μπορεί να φτάσει τα 140000 lux, ενώ η αντίστοιχη κατά την πανσέληνο δεν ξεπερνά πολλές φορές τα 2 lux (Weaver, 2011). Με στόχο να προσδιοριστούν τα προαναφερθέντα δεδομένα για την Ελλάδα (συγκεκριμένα στον νομό Μαγνησίας), η μέση ημερήσια ένταση φωτός για τον Μάιο του 2025 διαμορφώνεται στα 120000 lux κατά τις μεσημεριανές ώρες (μετεωρολογικός σταθμός SenseCAP S2120, δεδομένα Μαΐου 2025), σε συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας κι απουσίας νεφώσεων. Η μείωση της εντάσεως του φωτός, συνηθέστερα κατά τη δύση του ηλίου, αποτελεί ένα σημαντικό ερέθισμα ενεργοποίησης λειτουργιών σχετικά με τη σύζευξη, σε κάποια είδη εντόμων. Τέτοιου είδους ημερήσιες μεταβολές, αν και μπορούν να περιγραφούν ως ραγδαίες,

παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη επαναληψιμότητα, καθορίζοντας πληθώρα συμπεριφορών και λειτουργιών σε μικροοργανισμούς, ασπόνδυλα και σπονδυλωτά (Russart & Nelson, 2018). Ακόμη και από βασική έρευνα, που διενεργήθηκε επτά δεκαετίες πριν, διαφαίνεται στα κολεόπτερα του γένους *Tribolium*, η εξατομίκευση της συμπεριφοράς με γνώμονα την ένταση φωτός, με τα έντομα να προτιμούν σκοτεινά περιβάλλοντα, όπως αποθήκες (Park & Frank, 1948). Ακόμη, σε μελέτες οι οποίες έγιναν από τους (Wang et al., 2013), για το ημίπτερο *Orius sauteri* (Anthocoridae), βρέθηκε ότι η συνολική διάρκεια ανάπτυξης του εντόμου μειώνεται με την αύξηση της εντάσεως του φωτός. Όσον αφορά τις επιδράσεις στην αναπαραγωγική συμπεριφορά, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα λεπιδόπτερα της οικογένειας Tortricidae, στα οποία έχει διαπιστωθεί μειωμένη δραστηριότητα συζεύξεων σε περιβάλλον αυξημένης έντασης φωτός, ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα αυτής, της τάξεως των 500 lux (Li et al, 2019). Επιπροσθέτως, η ένταση του φωτός επιδρά και στην κινητική συμπεριφορά των εντόμων. Σύμφωνα με τους Arredondo et al. (2018), η διαφορετική ένταση φωτός αμέσως μετά την έξοδο των ενηλίκων, επηρεάζει άμεσα την κατανάλωση τροφής και την επιβίωση, ενώ ο Ren et al., (2023) κατέδειξαν ότι η υψηλή ένταση φωτός (>10000 lux) αναστέλλει τη σεξουαλική συμπεριφορά στο είδος *Bactrocera dorsalis* της οικογένειας των Tephritidae, αποτρέποντας μάλιστα σε μεγάλο βαθμό τις συζεύξεις. Πανομοιότυπη έρευνα επικεντρωμένη στις επιδράσεις της εντάσεως του φωτός στα Tephritidae, συγκεκριμένα για το είδος του *B. carambolae*, κατέδειξε ότι η ένταση των 2000 lux ευνοεί την ωοπαραγωγή σε σύγκριση με χαμηλότερες ή υψηλότερες τιμές εντάσεως (Dewi, 2021). Επιπλέον, όσον αφορά στον τρόπο επίδρασης των φερομονών και τη συσχέτιση αυτών με την ένταση φωτός, πειραματική μελέτη που έγινε σε έντομα *Bactrocera dorsalis*, της οικογένειας των Tephritidae, στην οποία ανήκει και η μύγα της Μεσογείου, έδειξε ότι η δράση της πυραζίνης TMP (2,3,5-trimethylpyrazine) - εκτός από την εμπλοκή της στη σύζευξη- αλληλεπιδρά με αβιοτικούς παράγοντες. Πιο αναλυτικά, διαπιστώθηκε η αδυναμία δράσης της, στο περιβάλλον υψηλής εντάσεως φωτός των 10000 lux (Ren et al., 2023).

2.7. Σκοπός

Η ένταση του φωτός αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες που επιδρούν σημαντικά στην κινητική και αναπαραγωγική συμπεριφορά των ζωντανών οργανισμών και κατ' επέκταση διαφορετικών ειδών εντόμων. Έρευνες σε έντομα διαφορετικών τάξεων (Lepidoptera, Hemiptera, Diptera, Coleoptera κ.α.) δείχνουν την υψηλής σημασίας συσχέτιση της έντασης του παραγόμενου φωτός με την δραστηριότητα, τον ρυθμό ανάπτυξης, την ωοπαραγωγική ικανότητα και την επιβίωση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν αποτελέσματα για είδη της οικογένειας των Tephritidae -στην οποία ανήκει και το έντομο το οποίο μελετάται κατά την παρούσα εργασία, *Ceratitis capitata*-. Όπως διαπιστώνεται στο *B. dorsalis* και το *B. carambolae*, υπήρξαν εμφανείς διαφοροποιήσεις στη σεξουαλική συμπεριφορά και τη γονιμότητα υπό διαφορετικές συνθήκες φωτός (Arredondo et al., 2018 & Ren et al., 2023). Στην περίπτωση της μύγας της Μεσογείου (*C. capitata*), παρόλο που το συγκεκριμένο είδος παρουσιάζει εξαιρετικά πολυποίκιλο ερευνητικό υπόβαθρο

και ενδιαφέρον, δεν έχει μελετηθεί η επίδραση της έντασης του φωτός στη συμπεριφορά της συγκριτικά με άλλους αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες. Ως επακόλουθο, παρατηρείται ένα σημαντικό ερευνητικό κενό στο συγκεκριμένο αντικείμενο, το οποίο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών εντάσεων φωτός (τρεις εντάσεις διαφορετικής διαβάθμισης) στην ημερήσια, νυχτερινή και συνολική (σε διάστημα 24 ωρών) δραστηριότητα αρσενικών και θηλυκών ατόμων του *C. capitata*. Επιπλέον, εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η συσχέτιση αυτών των εντάσεων με τρεις ηλικιακές κλάσεις, κρατώντας σταθερές τις υπόλοιπες εργαστηριακές συνθήκες. Μέσω της μελέτης αυτής, επιδιώκεται η συμβολή στην αποσαφήνιση του ρόλου της έντασης του φωτός, στην συμπεριφορά και στις κινητικές λειτουργίες της μύγας της Μεσογείου. Παράλληλα, η προσέγγιση επικεντρώνεται στην υιοθέτηση των ιδανικών φυσικών ή τεχνητών συνθηκών φωτός, που θα στοχεύουν τόσο στην βελτιστοποίηση όσο και στην παρεμπόδιση της ευζωίας του εντόμου (πχ. μαζική εκτροφή και ολοκληρωμένη διαχείριση πληθυσμών αντίστοιχα).

3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1. Συνθήκες εργαστηρίου

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένα δωμάτια ελεγχόμενων συνθηκών (εντομοδωμάτια) (**Εικόνα 11**) στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Στους χώρους αυτούς επικρατούσαν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος σταθερές συνθήκες, με θερμοκρασία $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $60 \pm 5 \%$ και φωτοπερίοδο 14 ώρες φως και 10 ώρες σκοτάδι (14:10 Φ:Σ). Η ένταση του φωτός στα εντομοδωμάτια ήταν σταθερή και μετρήθηκε στα 800-1000 lux.



Εικόνα 11: Εγκαταστάσεις του εντομοδωματίου, στο οποίο απεικονίζονται τα ξύλινα κλουβιά εκτροφής των εντόμων (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

3.2. Πληθυσμός εντόμων και μέθοδος εκτροφής

Για τη διεκπεραίωση της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε πληθυσμός εντόμων της μύγας της Μεσογείου από τα Κάτω Λεχώνια Βόλου. Αρχικά, συλλέχτηκαν από την περιοχή προσβεβλημένοι καρποί, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε ειδικά τροποποιημένα πλαστικά δοχεία που περιείχαν αποστειρωμένη άμμο προκειμένου να συλλεχθούν οι νύμφες, έπειτα από την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των προνυμφών εντός των καρπών. Στη συνέχεια, ο άγριος πληθυσμός που προέκυψε εκτράφηκε σε συνθήκες εργαστηρίου και τεχνητό υπόστρωμα εκτροφής για 3 γενεές (**Εικόνα 12**).



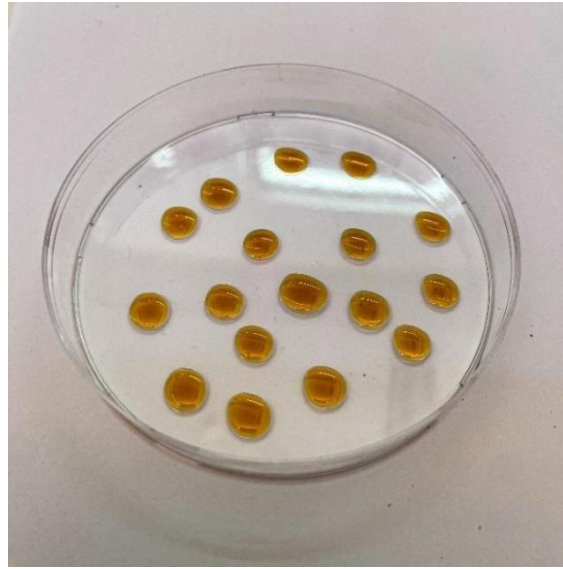
Εικόνα 12: Τεχνητό υπόστρωμα προνυμφών με βάση τη σκόνη καρότου, κατά το στάδιο εξόδου των προνυμφών και τη νύμφωση αυτών (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Η εκτροφή των εντόμων αποτελούταν από διαφορετικά στάδια, αυστηρά καθορισμένα ως προς τις συνθήκες και το χρόνο. Μετά από την έξοδο των άγριων ενηλίκων της πρώτης γενιάς (F1), τα έντομα διατηρήθηκαν σε ξύλινα κλουβιά διαστάσεων 30 x 30 x 30 cm, με τρεις πλευρές καλυμμένες με σίτα μικρής διατομής (**Εικόνα 13**).



Εικόνα 13: Ξύλινο κλουβί, διαστάσεων 30 x 30 x 30 cm, στο εσωτερικό του οποίου διαφαίνονται η τροφή ενηλίκων, η πηγή νερού και έντομα τόσο ανήλικων, όσο και ενηλίκων σταδίων (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Η τροφή των ενηλίκων αποτελούταν από μείγμα νερού, υδρολυμένης πρωτεΐνης και κρυσταλλικής ζάχαρης, σε αναλογία (5:1:4), το οποίο αναδεύεται και ομογενοποιείται πριν τη χορήγηση του (**Εικόνα 14**). Έπειτα, μεταφερόταν υπό μορφή σταγόνων σε πλαστικό τρυβλίο Petri. Η ωτοκία των εντόμων πραγματοποιούνταν σε ειδικά τροποποιημένο ημισφαιρικό ομοίωμα καρπού (dome), κόκκινου χρώματος, το οποίο έφερε 50 οπές, οι οποίες επέτρεπαν την εναπόθεση αυγών μέσω του ωθέτη των θηλυκών. Στο κάτω μέρος του ημισφαιρίου περιεχόταν ένα μικρό πλαστικό τρυβλίο γεμισμένο με νερό, για τη διασφάλιση της υγρασίας και ένα πώμα με χυμό πορτοκαλιού, ως οσμηρό ερέθισμα για την επαγωγή της ωτοκίας (**Εικόνα 15, 16**).



Εικόνα 14: Τροφή ενηλίκων με βάση την υδρολυμένη πρωτεΐνη, πάνω σε πλαστικό τρυβλίο petri (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).



Εικόνα 15: Ημισφαιρικό ομοίωμα καρπού (dome), κόκκινου χρώματος, το οποίο φέρει 50 οπές (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).



Εικόνα 16: Εσωτερικό ημισφαιρικού ομοιώματος καρπού (dome) με εμφανή τα πολυάριθμα
ωά και τον χυμό πορτοκαλιού (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri τοποθετήθηκε τροφή προνυμφών με βάση τη σκόνη καρότου. Με χρήση ειδικού αποστειρωμένου πινέλου μεταφερόταν στην επιφάνεια του μείγματος της τροφής 150 περίπου αυγά, από το dome, σχηματίζοντας μία ευθεία γραμμή (**Εικόνα 17**). Η τροφή αποτελούταν από καρότο (σε μορφή σκόνης), μαγιά μπύρας, νιπαγίνη (Methyl p-hydroxybenzoate), βενζοϊκό νάτριο ($\text{NaC}_7\text{H}_5\text{O}_2$) και νερό (Κυρίτσης, 2016).



Εικόνα 17: Τροφή προνυμφικού σταδίου με εμφανή την τοποθέτηση των ωών (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

. Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω συστατικών παρουσιάζονται αναλυτικά στονακόλουθο πίνακα (**Πίνακας 1**).

Πίνακας 1: Συστατικά τροφής προνυμφών

Συστατικά	Ποσότητα συστατικών ανά kg τροφής
Καρότο (σε μορφή σκόνης)	150 g
Μαγιά μπύρας	70 g
Νιπαγίνη (Methyl p-hydroxybenzoate)	4 g

Βενζοϊκό νάτριο ($\text{NaC}_7\text{H}_5\text{O}_2$)	2.5 g
Νερό	765.5 ml

Αρχικά τα κλειστά τρυβλία τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό πλαστικής σακούλας, κατά την διάρκεια ανάπτυξης των προνυμφών. Λίγο πριν την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των προνυμφών, τα τρυβλία τοποθετήθηκαν ανοικτά πλέον σε πλαστική λεκάνη, η οποία περιείχε μια στρώση πάχους 2 cm αποστειρωμένης άμμου (**Εικόνα 12**). Ακολούθησε η συλλογή των νυμφών -οι οποίες παραλήφθηκαν έπειτα από κοσκίνισμα της άμμου- και η τοποθέτησή τους σε πλαστικό τρυβλίο Petri με οπές αερισμού. Πριν από την έξοδο των ενηλίκων, το συγκεκριμένο τρυβλίο τοποθετήθηκε στο εσωτερικό ενός νέου ξύλινου κλουβιού που περιείχε τροφή ενηλίκων και νερό. Οι αναμενόμενες ημέρες ολοκλήρωσης των σταδίων από το αυγό στο ενήλικο έντομο υπολογίζονται σε 16-20 ημέρες, ανάλογα τον πληθυσμό και τη γενεά των εντόμων.

3.3. Όργανα και υλικά

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν:

- Κλουβάκια δημογραφίας ενηλίκων (368 σε αριθμό, 184 για κάθε επανάληψη)
- Σπογγώδες πανί (Wettex)
- Πώματα από φελλό
- Μαλακό πινέλο μικρής διατομής
- Πλαστικοί δίσκοι τοποθέτησης των κλουβιών δημογραφίας
- Βαμβάκι
- Λαβίδα
- Τρυβλία Petri
- Πάνελ με ταινίες LED διαφορετικής ισχύος και εντάσεως CUBALUX, Cool White, CCT = 6000-6500 K, CRI = 80 (λεπτομέρειες των διαφορετικών εντάσεων φωτός αναφέρονται στην ενότητα **3.3.2**)
- Aspirator (αναρροφητήρας μεταφοράς εντόμων)
- Σύστημα καταγραφής κινητικότητας LAM25system (Locomotor Activity Monitor), Trikinetics
- Γυάλινοι κυλινδρικοί σωλήνες
- Πώματα από βινύλιο
- Πλαστικά πώματα οργαντίνας
- Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

3.3.1. Διατήρηση των εντόμων σε κλουβιά πριν από την έκθεση τους στις διαφορετικές εντάσεις φωτός

Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν 1104 ενήλικα έντομα μύγας της Μεσογείου, 552 για κάθε μία από τις δύο επαναλήψεις και ίσος αριθμός αρσενικών και θηλυκών. Τα έντομα αυτά διατηρήθηκαν σε 368 κλουβάκια δημογραφίας (400 ml), στο καθένα από τα οποία τοποθετήθηκαν τρία άτομα

του ίδιου φύλου. Στην περίμετρο του, το κάθε κλουβάκι, έφερε κομμένο άνοιγμα με οργαντίνα μικρής διατομής, ενώ στο στόμιο του τοποθετήθηκε καπάκι πλαστικού τρυβλίου Petri διαμέτρου 9 cm, το οποίο έφερε μια οπή στην οποία τοποθετούνταν σπογγώδες πανί (Wettex), για την εξασφάλιση του νερού και την πρόσβαση σε αυτό από τα έντομα. Η κατασκευή αυτή τοποθετούνταν στη βάση ενός τρυβλίου που περιείχε νερό και έτσι γινόταν η συνεχής διαβροχή του Wettex. Στην άνω επιφάνεια του κλουβιού, υπήρχε κυκλικό άνοιγμα διαμέτρου 1,5 cm, αποτελώντας το σημείο τοποθέτησης του εντόμου με τη χρήση αναρροφητήρα (aspirator). Η πρόσβαση στην τροφή ενηλίκων διασφαλιζόταν με επάλειψη, μικρής ποσότητας αυτής, στην οργαντίνα. Τα έντομα διατηρήθηκαν στα παραπάνω κλουβιά έως την προγραμματισμένη ημερομηνία τοποθέτησης τους στο σύστημα LAM25system (Trikinetics) (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Κλουβάκια δημογραφίας των 400ml, όπου στο κάθε ένα από τα 368 τοποθετήθηκαν 3 άτομα του ίδιου φύλου (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

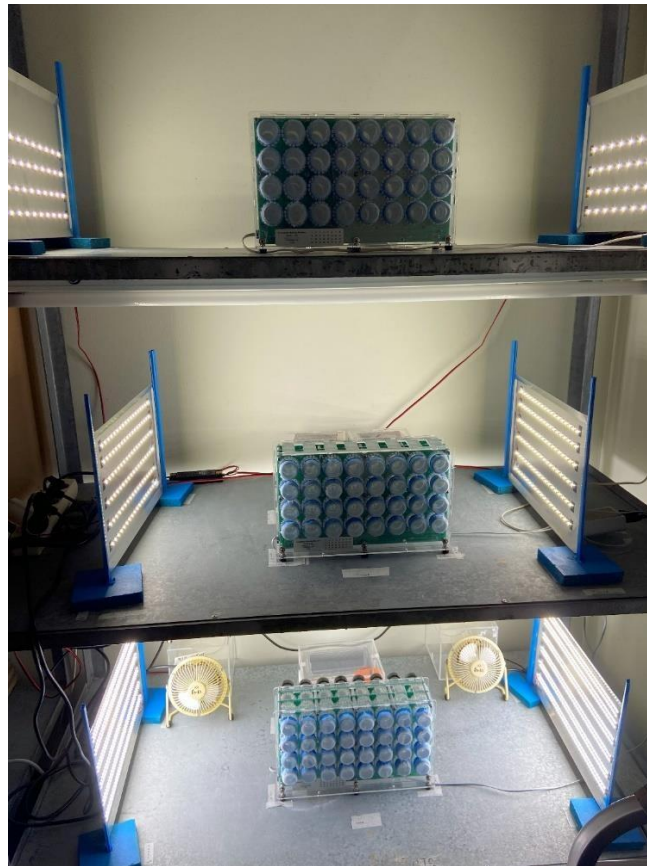
3.3.2. Ένταση φωτός με ειδικά προσαρμοσμένα LED panels

Κατασκευάστηκαν 3 ζεύγη panels, τα οποία έφεραν τις ταινίες LED. Κάθε ζεύγος τοποθετήθηκε δεξιά και αριστερά από κάθε μια από τις 3 συστοιχίες του συστήματος LAM. Μέσω του ακριβή καθορισμού των αποστάσεων, διασφαλίστηκε η επιθυμητή ένταση και η σταθερή θερμοκρασία σε όλες τις μεταχειρίσεις.

Οι τελικές εντάσεις διαμορφώθηκαν ως εξής:

Χαμηλή = 700 ± 400 lux, **Μεσαία** = 5000 ± 1000 lux και **Υψηλή** = 16000 ± 1200 lux

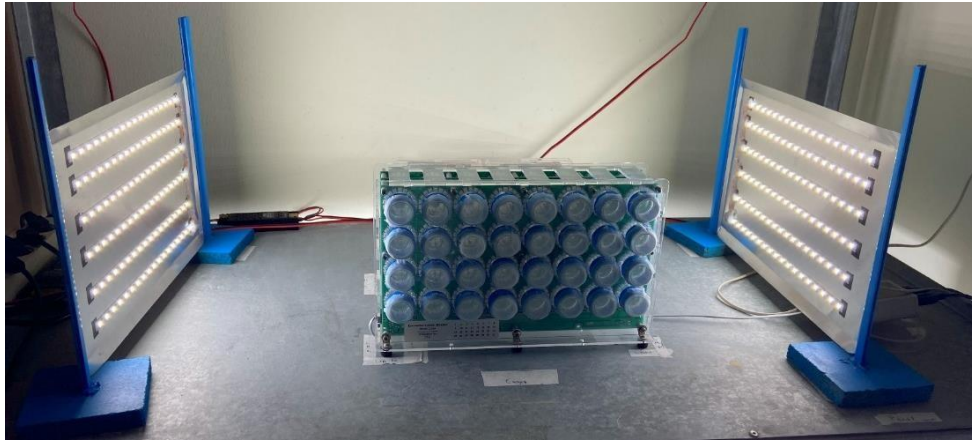
Στις 4 φωτογραφίες που ακολουθούν παρουσιάζονται και οι 3 συστοιχίες, καθώς και η ακριβής τοποθέτηση του συστήματος καταγραφής LAM στην κάθε περίπτωση (Εικόνα 19, 20, 21, 22).



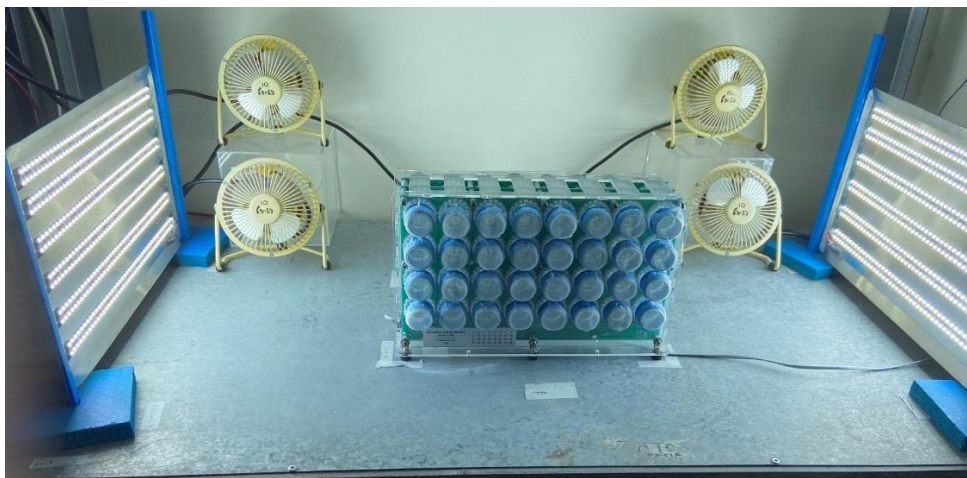
Εικόνα 19: Τα 3 επίπεδα των μεταχειρίσεων, από πάνω προς τα κάτω: περιβάλλον χαμηλής - μεσαίας - υψηλής έντασης (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).



Εικόνα 20: Η μεταχείριση της χαμηλής έντασης με μέσο όρο τα 700 lux (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).



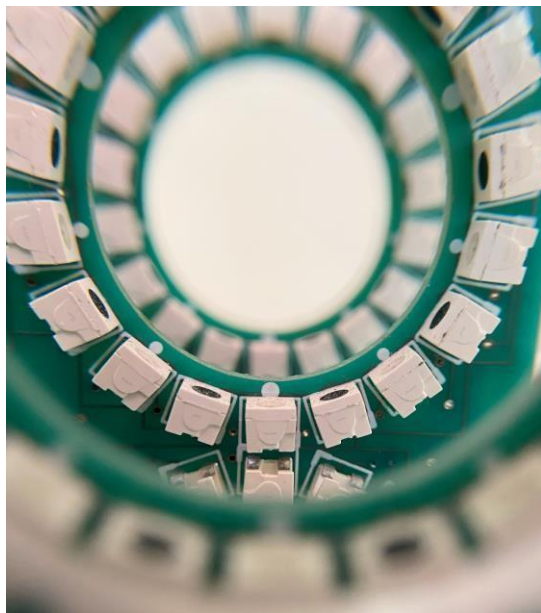
Εικόνα 21: Η μεταχείριση της μεσαίας έντασης με μέσο όρο τα 5000 lux (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).



Εικόνα 22: Η μεταχείριση της υψηλής έντασης με μέσο όρο τα 16000 lux (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

3.3.3. Η καταγραφή της ημερήσιας δραστηριότητας ενθλίκων στο σύστημα LAM25 (Trikinetics)

Το LAM25system (TRIKINETICS INC, WALTHAM, MA 02451 USA) αποτελεί σύστημα καταγραφής της ημερήσιας δραστηριότητας εντόμων, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους οργανισμούς. Το συγκεκριμένο όργανο αποτελείται από τρεις συστοιχίες κυκλικών δακτυλίων (monitors), οι οποίες μέσω 9 ανιχνευτών κίνησης σε κάθε μία από τις 32 θέσεις και συστοιχίες, αποδίδουν τα δεδομένα δραστηριότητας των εντόμων (**Εικόνα 23**). Οι 32 θέσεις αυτές φέρουν εσωτερικά τους γυάλινους σωλήνες που φιλοξενούν τα έντομα τις πειραματικής διαδικασίας (**Εικόνα 24**). Ως καταγεγραμμένη κίνηση, μετράται η διακοπή της υπέρυθρης ακτίνας του ανιχνευτή από το σώμα του εντόμου.



Εικόνα 23: Το εσωτερικό μιας θέσης του συστήματος LAM, με εμφανείς τις 3 συστοιχίες και τους 27 συνολικούς ανιχνευτές κίνησης (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Ο γυάλινος κυλινδρικός σωλήνας που περιείχε το έντομο, παρέμενε κλειστός καθ' όλη τη διάρκεια της καταγραφής. Από τη μία του πλευρά έφερε καπάκι με προσαρμοσμένη οργαντίνα μικρής διατομής, η οποία επέτρεπε τόσο τον αερισμό, όσο και την εναπόθεση και μέτρηση των αυγών. Από την άλλη του οπή έφερε πώμα βινυλίου, στο οποίο τοποθετούνταν 3 ml τροφής σε μορφή γέλης. Η τροφή περιείχε άγαρ, κρυσταλλική ζάχαρη, υδρολυμένη πρωτεΐνη, νιπαγίνη και νερό σε αναλογία 0,2:4:1:0,1:20 (τροποποίηση από Chang et al., 2001).

Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω συστατικών παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα, **Πίνακας 2**.

Πίνακας 2: Συστατικά της τροφής των ενηλίκων στο σύστημα LAM

Συστατικά	Ποσότητα συστατικών ανά kg τροφής
Άγαρ (σε μορφή σκόνης)	7,9 g
Κρυσταλλική ζάχαρη	158,4 g
Υδρολυμένη πρωτεΐνη	39,5 g
Νιπαγίνη (Methyl p-hydroxybenzoate)	4 g
Νερό	790,4 g

Τα εξαρτήματα τα οποία αναφέρονται παραπάνω απεικονίζονται με λεπτομέρεια διαμέσου της ακόλουθης εικόνας (**Εικόνα 25**).



Εικόνα 24: Το ειδικά διαμορφωμένο εξάρτημα στο οποίο εισέρχεται το έντομο ατομικά και τοποθετείτε στο σύστημα LAM (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).



Εικόνα 25: Εξαρτήματα του συστήματος LAM. Από αριστερά προς τα δεξιά: καπάκι με προσαρμοσμένη οργαντίνα - γυάλινος κυλινδρικός σωλήνας - πόμα τροφής από βινύλιο (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

Η σύνδεση του LAM25system και η αποθήκευση των δεδομένων επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος καταγραφής μετρήσεων PSIU9 (Trikinetics), το οποίο στη συνέχεια συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι συνδεσμολογία σε όλες τις περιπτώσεις είναι ενσύρματη. Οι ανιχνευτές κίνησης λειτουργούν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος από την ενεργοποίησή τους, μέσω του λογισμικού DAMsystem3Software Data Collection (Trikinetics) (**Εικόνα 25**). Η χρονική διάρκεια και το διάστημα καταγραφής των μετρήσεων είναι πλήρως παραμετροποιήσιμα, διαμέσου του λογισμικού. Για το συγκεκριμένο πείραμα, η καταμέτρηση των κινήσεων ρυθμίστηκε έτσι ώστε να πραγματοποιείται κάθε 1 λεπτό, για όλη τη διάρκεια έκθεσης των εντόμων στις διαφορετικές εντάσεις φωτός.

Επιπρόσθετα, αξιολογήθηκε η ωοπαραγωγή των εντόμων σε περιβάλλον διαφορετικών εντάσεων φωτός, σε κάθε μία από τις 3 ηλικιακές κλάσεις. Για αυτόν το σκοπό, χρησιμοποιήθηκαν ειδικές ξύλινες κατασκευές, οι οποίες έφεραν μαύρο ύφασμα και τοποθετήθηκαν πλησίον των συστοιχιών του συστήματος LAM (**Εικόνα 26**). Συγκεκριμένα από την πλευρά των κυλίνδρων που έφεραν πόματα οργαντίνας. Έτσι, τα εναποτιθέμενα, διαμέσου της οργαντίνας, αυγά παραλαμβάνονταν από τις αριθμημένες θέσεις στο μαύρο ύφασμα και καταγραφόταν ο αριθμός τους. Η αρίθμηση γινόταν σε ημερήσια βάση, για κάθε θηλυκό έντομο ατομικά.



Εικόνα 26: Ειδική ξύλινη κατασκευή, η οποία φέρει μαύρο ύφασμα στο οποίο εναποτίθενται τα ωά (Φωτ. Αθανάσιος Παρισάκης).

3.4. Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε εννέα μεταχειρίσεις, και επαναλήφθηκε 2 φορές έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο απαιτούμενος αριθμός θηλυκών και αρσενικών στην κάθε μεταχείριση. Οι μεταχειρίσεις αυτές αφορούσαν τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός (χαμηλή = 700 ± 400 lux, μεσαία = 5000 ± 1000 lux και υψηλή = 16000 ± 1200 lux), καθώς και τρεις ηλικιακές κλάσεις εντόμων (3-7 ημερών, 17-21 ημερών και 44-48 ημερών).

Ενήλικα της μύγας της Μεσογείου, τόσο αρσενικά, όσο και θηλυκά συλλέχθηκαν από τα ξύλινα κλουβιά εκτροφής και μεταφέρθηκαν με τον αναρροφητήρα μεταφοράς εντόμων (aspirator), σε ειδικά διαμορφωμένα κλουβάκια δημογραφίας, όπως περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο **3.3.1..**

Τα έντομα διατηρήθηκαν στα συγκεκριμένα κλουβάκια, έως την προκαθορισμένη ηλικία κατά την οποία θα πραγματοποιούνταν η τοποθέτηση τους στο σύστημα καταγραφής ημερήσιας δραστηριότητας LAM. Η τοποθέτηση αυτή γινόταν ένα εικοσιτετράωρο πριν την καταγραφή δεδομένων, ώστε να επιτευχθεί εγκλιματισμός των εντόμων στο περιβάλλον των γυάλινων σωλήνων. Η παροχή θρεπτικών συστατικών και νερού διασφαλιζόταν για όλη τη διάρκεια παραμονής τους από ειδικά διαμορφωμένη τροφή σε μορφή gel, τοποθετημένη στο πώμα βινυλίου και ο αερισμός από καπάκι οργάντινας, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο **3.3.3.**

Η κάθε μεταχείριση, περιλάμβανε 32 έντομα, 16 αρσενικά και 16 θηλυκά, όσες ακριβώς και οι θέσεις τις οποίες μπορεί να καταγράψει κάθε μία από τις 3 συστοιχίες του συστήματος LAM. Η τοποθέτηση των δύο φύλων στις θέσεις του συστήματος έγινε εναλλάξ, με τα αρσενικά να καταλαμβάνουν την πρώτη θέση κάθε συστοιχίας. Η συχνότητα καταμέτρησης του αριθμού των κινήσεων (το διάστημα μεσολάβησης από

τη μία μέτρηση στην επόμενη) καθορίστηκε στο ένα λεπτό και η διάρκεια παραμονής των εντόμων εντός του LAM ορίστηκε στα 5 εικοσιτετράωρα, για κάθε μία από τις 18 μεταχειρίσεις (οι 18 αυτές μεταχειρίσεις προκύπτουν από τις 3 εντάσεις φωτός, τις 3 ηλικιακές κλάσεις και τα 2 φύλα). Διενεργήθηκαν 2 επαναλήψεις για την κάθε μεταχείριση, στην κάθε μία επανάληψη συμμετείχαν 288 έντομα, διαμορφώνοντας τον συνολικό αριθμό των εντόμων στα 576.

Ο πειραματισμός χωρίστηκε σε 3 τμήματα, όσες και οι ηλικιακές κλάσεις. Σε κάθε ένα από αυτά τα τμήματα, αξιολογήθηκε η κινητικότητα των εντόμων σε 3 διαφορετικά περιβάλλοντα εντάσεως φωτός (βλ. 3.3.2). Κατά την πενήμερη παραμονή των εντόμων σε όλες τις ηλικιακές κλάσεις και εντάσεις φωτός, μετρήθηκε η ωοπαραγωγή των θηλυκών όπου καταγράφηκε σε ατομικό επίπεδο ο αριθμός των αυγών.

3.5. Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το λογιστικό πακέτο SPSS 26.0 (SPSS, Chicago, IL., USA). Οι επιδράσεις των τριών εντάσεων φωτός, των τριών ηλικιακών κλάσεων και του φύλου στην 24ωρη, στην ημερήσια και στην νυχτερινή δραστηριότητα των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου αξιολογήθηκαν με τη μέθοδο των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (GLM) με κανονική κατανομή (Linear) με λογαριθμική συνάρτηση (log link function). Στην περίπτωση της 24ωρης δραστηριότητας, λόγω της σημαντικής επίδρασης της τριπλής αλληλεπίδρασης της έντασης, της ηλικίας και του φύλου, πραγματοποιήθηκε εκ νέου ανάλυση με την ίδια μέθοδο ξεχωριστά για τα θηλυκά και ξεχωριστά για τα αρσενικά προκειμένου να αξιολογηθεί η σημαντικότητα της διπλής αλληλεπίδρασης της έντασης του φωτός και της ηλικιακής κλάσης εντός του κάθε φύλου. Αντιθέτως, για την ημερήσια και για τη νυχτερινή δραστηριότητα, από τη στιγμή που η τριπλή αλληλεπίδραση δεν ήταν σημαντική, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με αφαίρεση των μη σημαντικών παραγόντων από το μοντέλο (Minimal Adequate Model).

4. Αποτελέσματα

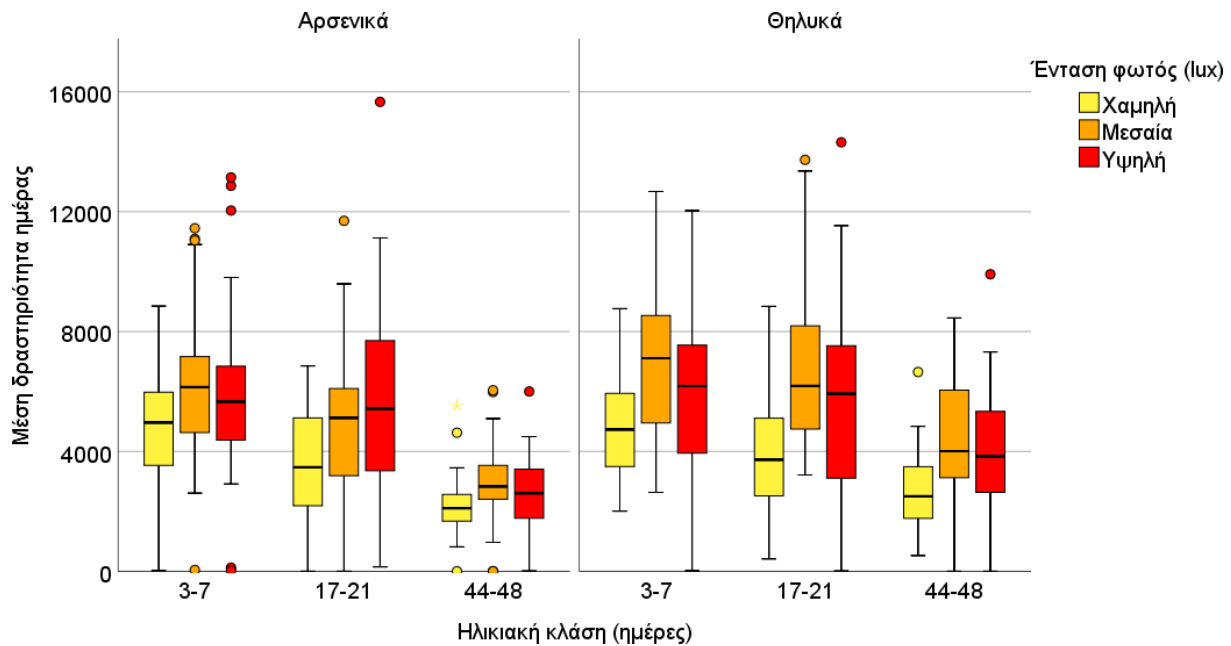
4.1. Καταγραφή δραστηριότητας των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου με το σύστημα LAM25system, Trikinetics

4.1.1. Μέση ημερήσια δραστηριότητα

Η μέση ημερήσια δραστηριότητα των αρσενικών και θηλυκών σε σχέση με την ένταση του φωτός και την ηλικιακή κλάση παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 1**. Η στατιστική ανάλυση κατέδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της έντασης του φωτός, της ηλικιακής κλάσης και του φύλου ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός}} = 43,835$, $df = 2$, $p < 0,001$; $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση}} = 105,343$, $df = 2$, $p < 0,001$; $\chi^2_{\text{φύλο}} = 6,101$, $df = 1$, $p < 0,05$) στην ημερήσια δραστηριότητα των ενηλίκων. Παράλληλα, σημαντική ήταν η διπλή αλληλεπίδραση της έντασης του φωτός με το φύλο ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*φύλο}} = 6,348$, $df = 2$, $p < 0,05$), ενώ οι αλληλεπιδράσεις της έντασης του φωτός με

την ηλικιακή κλάση καθώς και της ηλικιακής κλάσης με το φύλο δεν είχαν σημαντική επίδραση στη μέση ημερήσια δραστηριότητα ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση}} = 5,062, df = 4, p > 0,05$ και $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση*φύλο}} = 4,236, df = 2, p > 0,05$). Τέλος, ούτε η τριπλή αλληλεπίδραση της έντασης του φωτός με την ηλικιακή κλάση και με το φύλο επηρέασε σημαντικά την ημερήσια δραστηριότητα των ενθλιμικών εντόμων ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση*φύλο}} = 6,996, df = 4, p > 0,05$).

Λόγω του ότι η παραπάνω τριπλή αλληλεπίδραση δεν ήταν σημαντική, πραγματοποιήσαμε ανάλυση όπου απομακρύνουμε τους παράγοντες που δεν ήταν στατιστικά σημαντικοί από το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε (Minimal Adequate Model). Η νέα ανάλυση έδειξε παρομοίως ότι οι μεμονωμένοι παράγοντες ήταν σημαντικοί, ομοίως και η αλληλεπίδραση της έντασης του φωτός με το φύλο ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός}} = 42,629, df = 2, p < 0,001$; $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση}} = 102,445, df = 2, p < 0,001$; $\chi^2_{\text{φύλο}} = 5,934, df = 1, p < 0,05$). Τόσο στα αρσενικά όσο και στα θηλυκά παρατηρούμε ότι η δραστηριότητα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και η μεγαλύτερη ηλικιακή κλάση έχει πολύ πιο περιορισμένο αριθμό κινήσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ιδιαίτερα στην ηλικιακή κλάση 44-48 ημερών, η μέση δραστηριότητα του 24ώρου, δεν υπερβαίνει τις 4.000 κινήσεις, ενώ για τα έντομα των 2 άλλων κλάσεων (3-7 και 17-21 ημερών) η δραστηριότητα είναι αρκετά πιο αυξημένη (**Διάγραμμα 1**). Αναφορικά με την ένταση φωτός, τα χαμηλότερα επίπεδα δραστηριότητας διαπιστώθηκαν στις περιπτώσεις όπου τα έντομα εκτέθηκαν στην χαμηλή ένταση φωτός συγκριτικά με τη μεσαία και την υψηλή ανεξάρτητα από την ηλικία τους. Στην περίπτωση των εντόμων της μεγαλύτερης ηλικιακής κλάσης όπου η κινητικότητα μειώθηκε αισθητά, η μεσαία και η μεγάλη ένταση φαίνεται ότι τα «ώθησε» στο να κινηθούν περισσότερο σε αντίθεση με εκείνα που παρέμειναν σε μικρή ένταση φωτός.



Διάγραμμα 1: Μέση δραστηριότητα κατά τη διάρκεια του διαστήματος της ημέρας, των αρσενικών (αριστερά) και των θηλυκών (δεξιά) ενηλίκων ανά ηλικιακή κλάση (3-7, 17-21, 44-48 ημερών), υπό τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός (χαμηλή, μεσαία, υψηλή). Οι τιμές απεικονίζονται μέσω boxplots, στα οποία διαφαίνεται η επίδραση τόσο της ηλικίας, όσο και της έντασης φωτός στη δραστηριότητα.

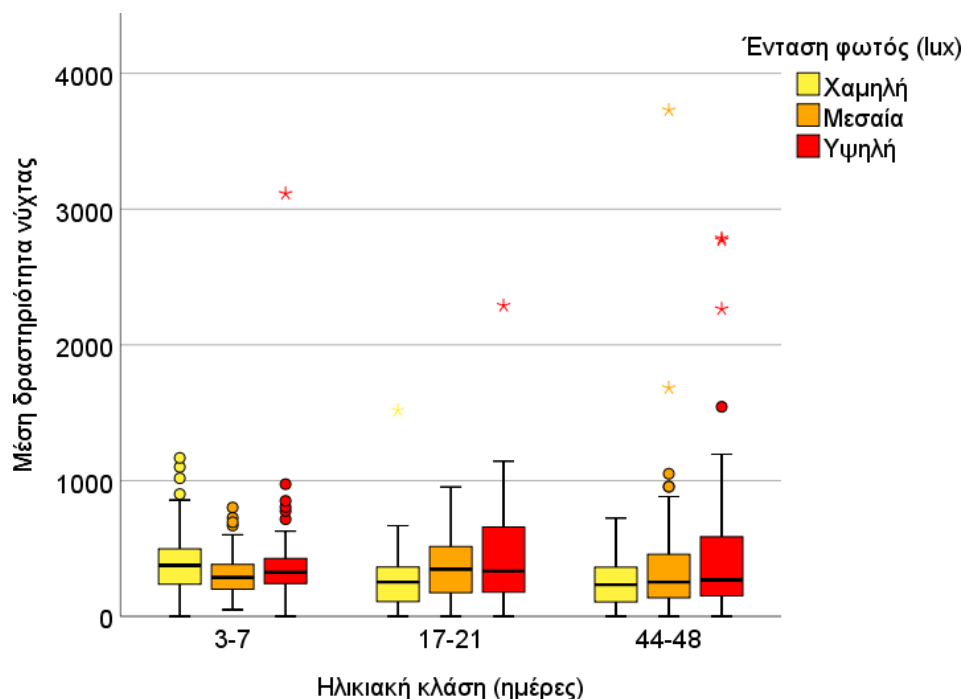
4.1.2. Μέση δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας

Η μέση νυχτερινή δραστηριότητα των αρσενικών και θηλυκών σε σχέση με την ένταση του φωτός και την ηλικιακή κλάση παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 2**. Η στατιστική ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση μόνο της έντασης του φωτός ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός}} = 8,905$, $df = 2$, $p < 0,05$) καθώς και της αλληλεπίδρασης του με την ηλικιακή κλάση ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση}} = 10,132$, $df = 2$, $p < 0,05$), ενώ όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες δεν ήταν σημαντικοί στη νυχτερινή δραστηριότητα ($\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση}} = 3,784$, $df = 2$, $p > 0,05$; $\chi^2_{\text{φύλο}} = 0,151$, $df = 1$, $p > 0,05$, $\chi^2_{\text{ένταση φωτός*φύλο}} = 3,955$, $df = 2$, $p > 0,05$, $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση*φύλο}} = 3,386$, $df = 2$, $p > 0,05$ και $\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση*φύλο}} = 7,649$, $df = 4$, $p > 0,05$).

Λόγω του ότι η παραπάνω τριπλή αλληλεπίδραση δεν ήταν σημαντική, πραγματοποιήσαμε ανάλυση όπου απομακρύναμε τους παράγοντες που δεν ήταν στατιστικά σημαντικοί από το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε (Minimal Adequate Model). Η νέα ανάλυση έδειξε παρομοίως ότι η ένταση του φωτός ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός}} = 8,677$, $df = 2$, $p < 0,05$) καθώς και η αλληλεπίδραση της με την ηλικιακή κλάση ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση}} = 9,872$, $df = 2$, $p < 0,05$) επέδρασαν στατιστικά σημαντικά στη νυχτερινή δραστηριότητα των εντόμων ενώ η ηλικιακή κλάση και το φύλο όχι ($\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση}} = 3,687$, $df = 2$, $p > 0,05$; $\chi^2_{\text{φύλο}} = 0,148$, $df = 1$, $p > 0,05$).

= 1, $p > 0,05$). Λόγω λοιπόν της μη σημαντικής επίδρασης του φύλου, επιλέχθηκε να γίνει συνένωση των δεδομένων των δύο φύλλων όπως παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 2**.

Όπως φαίνεται, η έκθεση των εντόμων στην υψηλή ένταση φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας ευνοεί την εντονότερη δραστηριότητα σε συνθήκες σκότους, και ειδικά για τα θηλυκά μεγάλης ηλικίας. Συγκριτικά με τη δραστηριότητα της ημέρας, η νυχτερινή είναι εμφανώς μειωμένη, κάτι που ήταν αναμενόμενο.



Διάγραμμα 2: Μέση δραστηριότητα τη νύχτα των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου ανά ηλικιακή κλάση (3-7, 17-21, 44-48 ημερών), υπό τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτός (χαμηλή, μεσαία, υψηλή). Οι τιμές απεικονίζονται μέσω boxplots, στα οποία διαφαίνεται η επίδραση τόσο της ηλικίας, όσο και της έντασης φωτός στη δραστηριότητα.

4.1.3. Μέση δραστηριότητα ανά 24ωρο

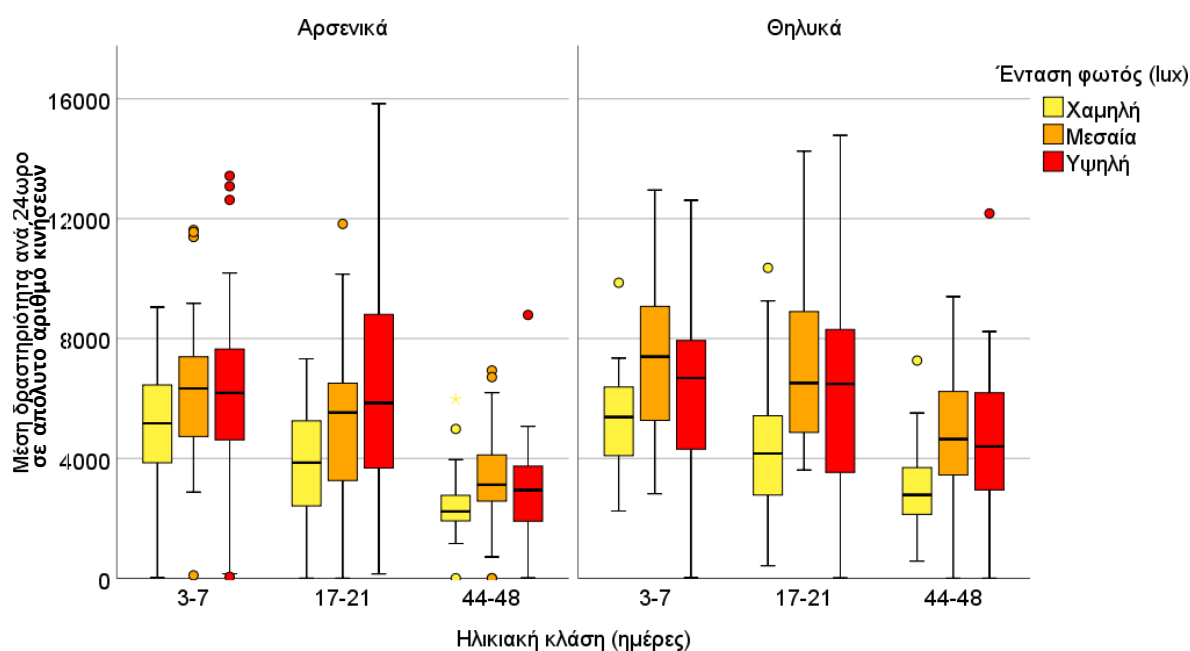
Η μέση δραστηριότητα των αρσενικών και θηλυκών ανά 24ωρο σε σχέση με την ένταση του φωτός και την ηλικιακή κλάση παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 3**. Η στατιστική ανάλυση της μέσης δραστηριότητας ανά 24ωρο των ενηλίκων πραγματοποιήθηκε με το γραμμικό μοντέλο (GLM), κάνοντας χρήση πλήρους παραγοντικού σχεδιασμού, στο οποίο περιλαμβάνονταν και οι 3 παράγοντες που εξετάστηκαν (ένταση φωτός, ηλικιακή κλάση, φύλο), καθώς και όλες οι δυνατές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους (ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση, ένταση φωτός*φύλο, ηλικιακή κλάση*φύλο, ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση*φύλο). Η συγκεκριμένη ανάλυση κατέδειξε στατιστικά σημαντική επίδραση της έντασης του φωτός και της ηλικιακής κλάσης ενώ το φύλο δεν επέδρασε σημαντικά ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός}} = 31,923$, $df = 2$, $p < 0,001$; $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση}} = 64,328$, $df = 2$, $p < 0,001$; $\chi^2_{\text{φύλο}} = 2,932$, $df = 1$, $p > 0,05$). Παράλληλα, σημαντική ήταν η διπλή αλληλεπίδραση της έντασης του φωτός με το φύλο ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*φύλο}} = 6,153$, $df = 2$, $p < 0,05$) ενώ οι αλληλεπιδράσεις της έντασης του φωτός με την ηλικιακή κλάση καθώς και της ηλικιακής κλάσης με το φύλο δεν είχαν σημαντική επίδραση στη μέση δραστηριότητα ανά 24ωρο ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση}} = 7,835$, $df = 4$, $p > 0,05$ και $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση*φύλο}} = 3,795$, df

= 2, $p > 0,05$). Τέλος, η τριπλή αλληλεπίδραση της έντασης του φωτός με την ηλικιακή κλάση και με το φύλο επηρέασε σημαντικά την 24ωρη δραστηριότητα των ενηλίκων εντόμων ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση*φύλο}} = 9,692$, $df = 4$, $p < 0,05$).

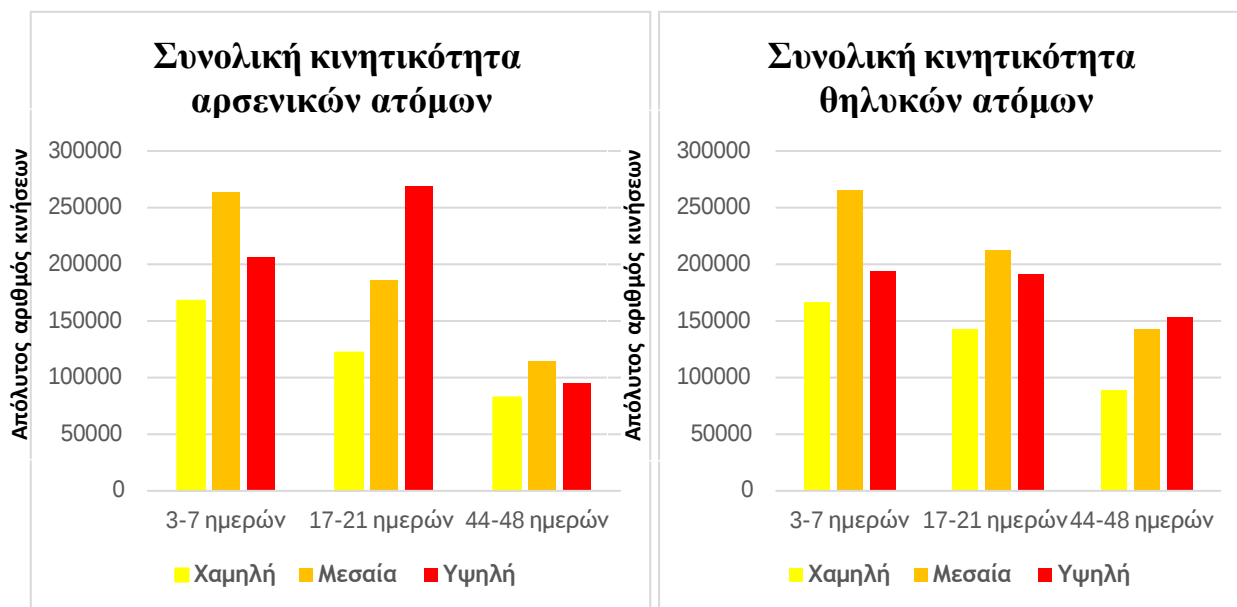
Λόγω του ότι η παραπάνω τριπλή αλληλεπίδραση ήταν σημαντική, χωρίσαμε τα δεδομένα με βάση το φύλο και πραγματοποιήσαμε δυο ξεχωριστές αναλύσεις (μία για τα θηλυκά και μία για τα αρσενικά) προκειμένου να ελέγξουμε τη σημαντικότητα των προς εξέταση παραγόντων. Για τα αρσενικά, τόσο η ένταση του φωτός και η ηλικιακή κλάση όσο και η αλληλεπίδραση αυτών ήταν σημαντικοί παράγοντες στην 24ωρη δραστηριότητα τους ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός}} = 12,482$, $df = 2$, $p < 0,01$; $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση}} = 34,109$, $df = 2$, $p < 0,001$ και $\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση}} = 10,839$, $df = 4$, $p < 0,05$ αντίστοιχα). Παρομοίως για τα θηλυκά, η ένταση και η ηλικιακή κλάση επέδρασαν σημαντικά, όμως αντιθέτως η αλληλεπίδραση των δυο αυτών παραγόντων δεν ήταν σημαντική ($\chi^2_{\text{ένταση φωτός}} = 36,512$, $df = 2$, $p < 0,001$; $\chi^2_{\text{ηλικιακή κλάση}} = 33,935$, $df = 2$, $p < 0,001$ και $\chi^2_{\text{ένταση φωτός*ηλικιακή κλάση}} = 3,232$, $df = 4$, $p > 0,05$ αντίστοιχα).

Τα αρσενικά παρουσιάζουν μειωμένη δραστηριότητα με την πάροδο της ηλικίας. Ιδιαίτερα στην ηλικιακή κλάση 44–48 ημερών, η μέση δραστηριότητα του 24ώρου, δεν υπερβαίνει τις 4000 κινήσεις, ενώ για τα έντομα των 2 άλλων κλάσεων (3-7 και 17-21 ημερών) η δραστηριότητα είναι εμφανώς αυξημένη. Σχετικά με την ένταση φωτός, διαπιστώθηκαν χαμηλότερα επίπεδα δραστηριότητας όταν τα έντομα εκτέθηκαν σε φως χαμηλής έντασης, συγκριτικά με τη μεσαία και την υψηλή, ανεξαρτήτως της ηλικίας τους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση των εντόμων της μεγαλύτερης ηλικιακής κλάσης όπου παρόλο που η κινητικότητα μειώθηκε δραματικά η μεσαία και η μεγάλη ένταση φωτός φαίνεται ότι συνδέεται με μεγαλύτερη κινητικότητα σε σχέση με εκείνα που τοποθετήθηκαν σε συνθήκες μικρής έντασης φωτός. Στα θηλυκά, φαίνεται πως δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ της μικρής και της μεσαίας ηλικιακής κλάσης τουλάχιστον στη μεσαία και υψηλή ένταση, ενώ αντιθέτως στη μικρή ένταση φωτός η δραστηριότητα φαίνεται να μειώνεται αισθητά καθώς τα έντομα μεγαλώνουν ηλικιακά. Παρομοίως, το **Διάγραμμα 4**, παρουσιάζει αθροιστικά το σύνολο των κινήσεων για τα αρσενικά και θηλυκά άτομα. Αξιοσημείωτο σημείο αποτελεί η ευρεία διαφορά κινήσεων μεταξύ των αρσενικών της ηλικιακής κλάσης 17-21 ημερών. Αυτό το αποτέλεσμα, φανερώνει την ισχυρή επίδραση της εντάσεως φωτός στην δραστηριότητα. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην κόκκινη κεντρική στήλη (υψηλή ένταση φωτός), ξεπερνούνται οι 25000 κινήσεις. Περιγραφικά, στο **Διάγραμμα 5**, αναπαρίστανται ατομικά τα 20 έντομα με τον μεγαλύτερο αριθμό κινήσεων και τα 20 άτομα με τον μικρότερο αριθμό κινήσεων. Τα πρώτα 5 άτομα με την μεγαλύτερη κινητικότητα, βρίσκονται σε περιβάλλον υψηλής έντασης φωτός. Μάλιστα 12 από τα 20 έντομα της λίστας παραβρίσκονται σε υψηλή ένταση, ενώ τα υπόλοιπα 8 στη μεσαία ένταση. Ακόμη, όλα τα έντομα ανήκουν στις ηλικιακές κλάσεις των 3-7 και 21-27 ημερών. Το κόκκινο χρώμα αναπαριστά την υψηλή ένταση και το πορτοκαλί τη μεσαία. Το σύστημα κατέγραψε 15842 κινήσεις για το αρσενικό ηλικιακής κλάσης 17-21 ημερών, αναδεικνύοντας το ως αυτό με την υψηλότερη δραστηριότητα. Αντιστοίχως, τα άτομα που παρουσίασαν την μικρότερη κινητικότητα ανήκουν πλέον κυρίως στην μεγάλη

ηλικιακή κλάση των 44-48 ημερών καθώς και την χαμηλή ένταση φωτός. Το άτομο με την μικρότερη καταγεγραμμένη δραστηριότητα έκανε μόλις 9 κινήσεις και ήταν θηλυκό.

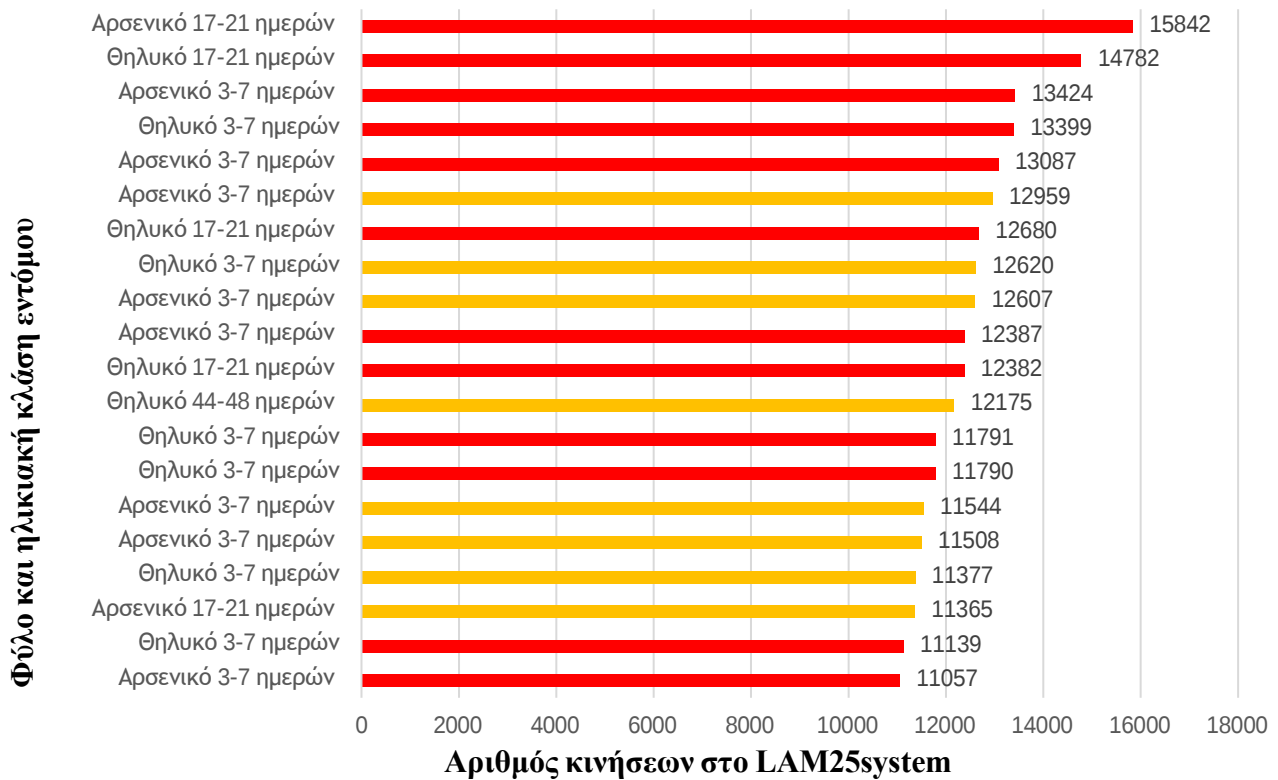


Διάγραμμα 3: Μέση δραστηριότητα (σε αριθμό καταγεγραμμένων κινήσεων) ανά 24ωρο, των αρσενικών (αριστερά) και των θηλυκών (δεξιά) ενηλίκων, σε τρεις ηλικιακές κλάσεις (3-7, 17-21 και 44-48 ημερών), σε περιβάλλον τριών διαφορετικών εντάσεων φωτός (χαμηλή, μεσαία, υψηλή). Οι τιμές, καθώς και το εύρος τυπικού σφάλματος απεικονίζονται μέσω boxplots, στα οποία απεικονίζεται η επίδραση τόσο της ηλικίας, όσο και της έντασης φωτός στη δραστηριότητα.

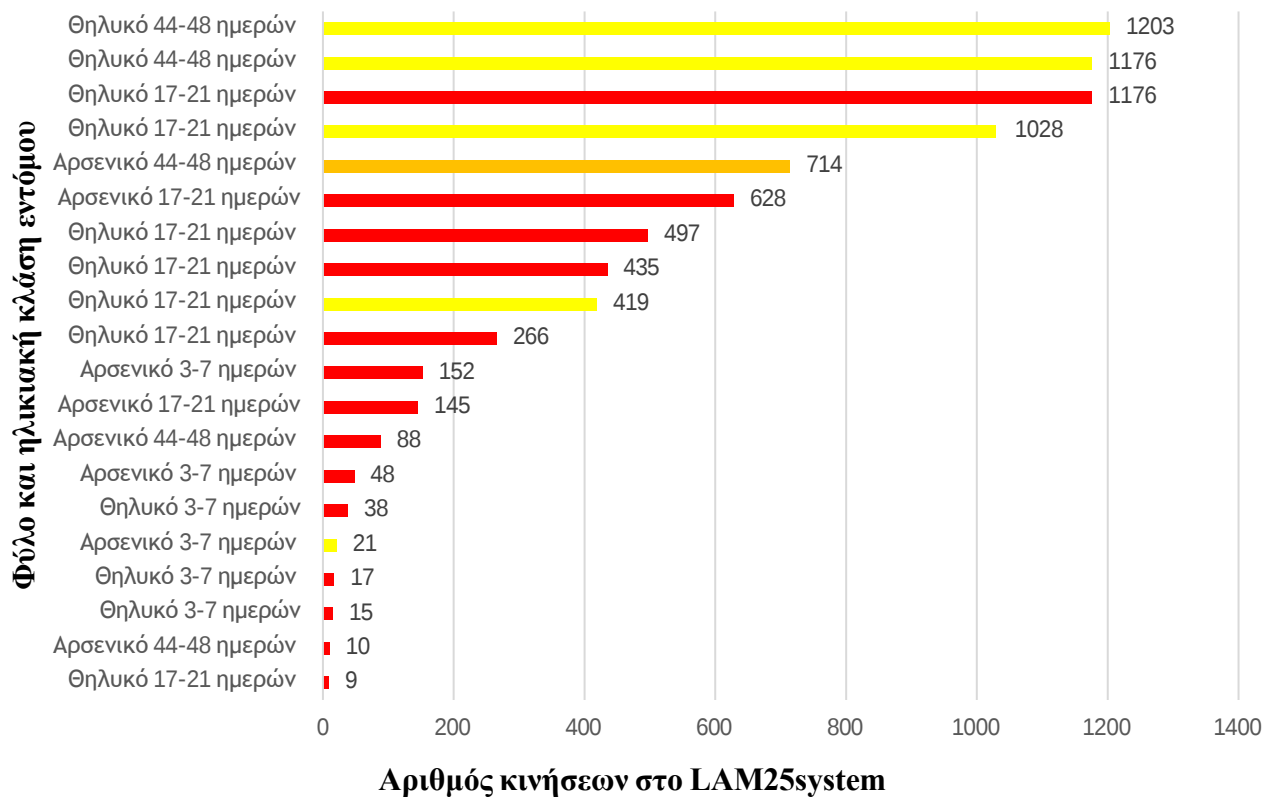


Διάγραμμα 4: Διάγραμμα απεικόνισης του συνολικού αριθμού κινήσεων ανά ηλικιακή κλάση και ένταση φωτός για τα αρσενικά (αριστερά) και θηλυκά (δεξιά) άτομα.

Διάγραμμα 20 εντόμων με την μεγαλύτερη κινητικότητα



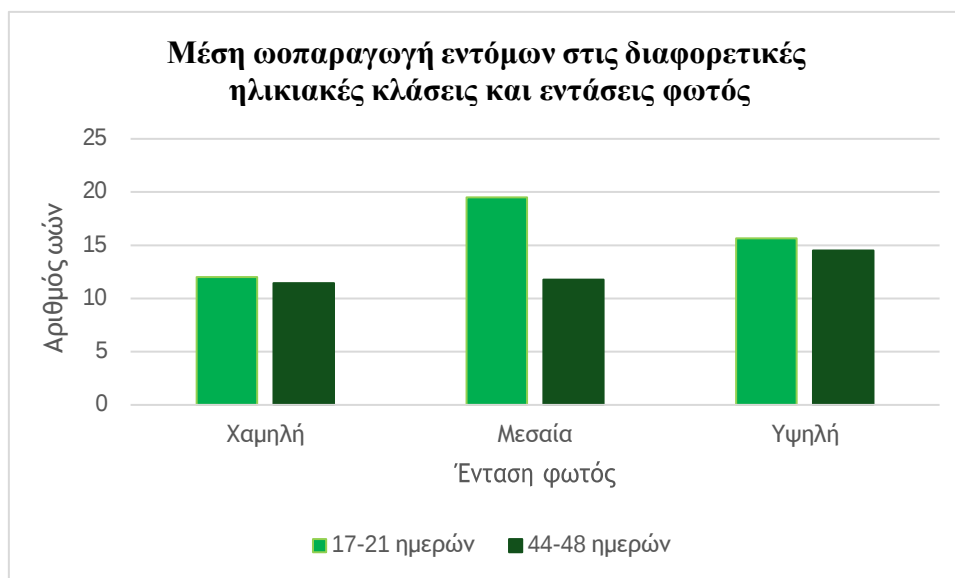
Διάγραμμα 20 εντόμων με την μικρότερη κινητικότητα



Διάγραμμα 5: Απεικόνιση των 20 ατόμων με την μεγαλύτερη (επάνω) και των 20 ατόμων με τη μικρότερη κινητικότητα (κάτω). Με κίτρινο χρώμα συμβολίζεται η μικρή, με πορτοκαλί η μεσαία και με κόκκινο η μεγάλη ένταση παραγόμενου φωτός.

4.2. Καταγραφή της μέσης ωοπαραγωγής στις διαφορετικές ηλικιακές κλάσεις και εντάσεις φωτός

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα (**Διάγραμμα 6**) παρουσιάζεται η μέση ωοπαραγωγή των θηλυκών στις ηλικιακές κλάσεις των 17-21 ημερών και 44-48 ημερών, κατά το πενήνήμερο διάστημα παραμονής στο σύστημα LAM. Τα άτομα των επαναλήψεων στην κλάση των 3-7 ημερών δεν συμπεριλαμβάνονται στην απεικόνιση καθώς παρουσιάζουν μηδενικές μετρήσεις. Όπως διαφαίνεται στο διάγραμμα, τα έντομα μέσης ηλικίας εμφάνισαν αυξημένη ωοπαραγωγή, ειδικότερα σε περιβάλλον μεσαίας έντασης φωτός, με μέση ωοπαραγωγή τα 20 αυγά. Κατά τις ίδιες ακριβώς συνθήκες έντασης, παρατηρούμε ότι τα αντίστοιχα θηλυκά μεγάλης ηλικίας ωοτόκισαν κατά μέσο όρο μόλις 12 αυγά. Στην αριθμητική σύγκριση των αυγών ανάμεσα στη χαμηλή και υψηλή ένταση, παρατηρείται αύξηση της ποσότητας αυτών σε περιβάλλον έντονης φωτεινότητας.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης ωοπαραγωγής κατά τις διαφορετικές ηλικιακές κλάσεις και εντάσεις φωτός.

5. Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας ανέδειξαν τη σημαντική επίδραση της εντάσεως του φωτός, καθώς και της ηλικίας στην ημερήσια δραστηριότητα των ενηλίκων του *Ceratitis capitata*. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναλύεται στην ενότητα 4.1.1., τόσο τα αρσενικά όσο και τα θηλυκά έντομα δραστηριοποιούνται εμφανώς λιγότερο με την πάροδο της ηλικίας, με την ελάχιστη δραστηριότητα να παρατηρείται στην προχωρημένη ηλικία. Συγκεκριμένα, τα άτομα της τρίτης ηλικιακής κλάσης (44-48 ημερών) παρουσιάζουν κινητικότητα που δεν υπερβαίνει τις 4000 κινήσεις ανά 24ωρο, σαφέστατα μειωμένη συγκριτικά με τις 2 νεαρότερες κλάσεις (3-7 και 17-21 ημερών). Σε έρευνα που πραγματοποίησαν οι Rodovitis et al. (2022), διαπιστώθηκε επίσης η σταδιακή ελάττωση συνολικής δραστηριότητας μετά τις 20 ημέρες ζωής (Rodovitis et al., 2022). Η διακύμανση η οποία παρατηρείται στη δραστηριότητα σχετικά με την ένταση του φωτός, καταδεικνύει ότι ανεξαρτήτως της ηλικίας η δραστηριότητα ήταν χαμηλότερη στην περίπτωση της χαμηλής έντασης φωτός. Όσον αφορά όμως, τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των δυο φύλων, δεν παρατηρήθηκε

στατιστικά σημαντική διαφορά στην παρούσα εργασία, κάτι το οποίο αντιτίθεται στην προαναφερόμενη εργασία (Rodovitis et al., 2022), όπου τα αρσενικά κατέγραψαν λιγότερες κινήσεις ως αποτέλεσμα της στασιμότητάς τους κατά την διενέργεια σεξουαλικών καλεσμάτων.

Σε άλλη έρευνα όπου μελετήθηκε η επίδραση της έντασης του φωτός στην κατανάλωση τροφής της μύγας της Μεσογείου, διαπιστώθηκε ότι τα αρσενικά όπου παρέμειναν σε συνεχές σκοτάδι για τρεις ημέρες (μηδενική ένταση φωτός) κατανάλωσαν λιγότερη τροφή από εκείνα που παρέμειναν σε συνθήκες έντασης φωτός των 250, 500 και 1000 lux (Arredondo et al., 2018). Ωστόσο, σε αντίθεση με την παρούσα εργασία, τα επίπεδα έντασης που εφαρμόστηκαν στην άλλη εργασία είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα χωρίς μεγάλη διαφορά μεταξύ των εντάσεων συγκριτικά με τη δική μας περίπτωση. Επίσης, δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφορά ανάμεσα στις διαφορετικές εντάσεις φωτός, κάτι που πιθανό να επιβεβαιώνει τον παραπάνω ισχυρισμό, κι ενδεχομένως να έπρεπε να χρησιμοποιηθούν υψηλότερα επίπεδα έντασης ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση του φωτός στο ρυθμό κατανάλωσης τροφής. Στην ίδια έρευνα, φάνηκε επιπλέον η επίδραση της ηλικίας των εντόμων στην πρόσληψη τροφής, όπου διαπιστώθηκε μικρότερη κατανάλωση στα γηραιότερα έντομα συγκριτικά με τα νεότερα (Arredondo et al., 2018). Κάνοντας τον παραλληλισμό με τη δική μας περίπτωση, τα αποτελέσματά μας συμφωνούν από τη στιγμή που κι εμείς παρατηρήσαμε μειωμένη κινητικότητα στα γηραιότερα έντομα.

Σε άλλη πιο πρόσφατη έρευνα που διενεργήθηκε σε ένα συγγενικό είδος της μύγας της Μεσογείου, το *B. dorsalis* διαπιστώθηκε ότι πολύ υψηλή ένταση φωτός της τάξης των >10000 lux συνδέεται με χαμηλή σεξουαλική συμπεριφορά και αποτροπή σε μεγάλο βαθμό της πραγματοποίησης της σύζευξης (Ren et al., 2023). Σε αντίθεση με εκείνη την εργασία, στη δική μας περίπτωση φάνηκε αρκετά υψηλή η δραστηριότητα των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου στην υψηλή ένταση φωτός σε αντίθεση με τη χαμηλή, ωστόσο στο εν λόγω πείραμα δεν πραγματοποιήθηκε καταγραφή του σεξουαλικού καλέσματος στις διαφορετικές συνθήκες παρά μόνο η συχνότητα της κίνησης των εντόμων. Συνεπώς, μελλοντικά πειράματα θα μπορούσαν

να δώσουν απαντήσεις στο ερώτημα σχετικά με την επίδραση της έντασης του φωτός στο σεξουαλικό κάλεσμα του *Ceratitis capitata*. Στην ίδια έρευνα, διαπιστώθηκε και η αδυναμία δράσης της φερομόνης TMP (2,3,5- trimethylpyrazine) όταν τα έντομα παρέμεναν στην υψηλή ένταση των 10000 lux (Ren et al., 2023).

Η επίδραση της έντασης του φωτός μελετήθηκε και στην αναπαραγωγική συμπεριφορά μιας άλλης τάξης εντόμων, τα Lepidoptera και συγκεκριμένα στο είδος *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) όπου φάνηκε πως κάποιες συμπεριφορές των αρσενικών (που σχετίζονται με τη σύζευξη) μειώθηκαν καθώς αυξανόταν η ένταση του φωτός (Li et al., 2019). Βέβαια και σε αυτήν την περίπτωση και σε αντίθεση με τη δική μας, τα επίπεδα έντασης που εξετάστηκαν ήταν πολύ χαμηλά (50, 100, 200, 300, 400, 500 lux). Βάσει αυτού, δε δύναται να πραγματοποιηθεί περαιτέρω σύγκριση μεταξύ των δυο εργασιών. Ωστόσο, και μόνο το γεγονός ότι κάποιες πτυχές της συμπεριφοράς των εντόμων επηρεάζονται από τόσο μικρές αλλαγές στην ένταση του φωτός και σε τόσο χαμηλά επίπεδα έντασης, καταδεικνύει τη μεγάλη σημασία της έντασης του φωτός καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής των εντόμων. Αναφορικά με τη δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας, αυτή παρουσιάστηκε μειωμένη σε όλα τα ηλικιακά επίπεδα. Παρόλα αυτά, ενισχύθηκε όταν τα έντομα εκτέθηκαν σε εντονότερο ημερήσιο φως, και ιδιαίτερα στα έντομα μεσαίας και μεγάλης ηλικίας (**Διάγραμμα 2**). Συνεπώς, η περαιτέρω διερεύνηση της υπόθεσης, ότι η ένταση φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας επιδρά στη νυχτερινή κινητικότητα των εντόμων, κάτι το οποίο δεν έχει αναφερθεί ξανά σε παλαιότερες έρευνες, είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα.

Κατά την αθροιστική αποτύπωση του συνόλου των κινήσεων, τόσο για τα αρσενικά όσο και για τα θηλυκά έντομα, η χαμηλή ένταση φωτός έχει αρνητική επίδραση. Αντίθετα η μέγιστη δραστηριότητα καταγράφεται στην ηλικία 17-21 ημερών με υψηλή ένταση φωτός (270000 κινήσεις, **Διάγραμμα 4**). Το εύρημα αυτό, συνάδει με τα αντίστοιχα ευρήματα της Balampékou et al., το 2024 όπου παρατηρήθηκε επίσης κορύφωση της δραστηριότητας στα άτομα μέσης ηλικίας για τον δάκο της ελιάς (*Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae). Η διακύμανση στον απόλυτο αριθμό κινήσεων των εντόμων είναι ιδιαίτερα υψηλή, με το εύρος να ποικίλει από τις μόλις 9 κινήσεις, στις 15842. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι το πιο κινητικό έντομο εκτελούσε κάθε 4 λεπτά όσες κινήσεις έκανε το λιγότερο δραστήριο έντομο, καθ' όλη την πενθήμερη διάρκεια παραμονής του στο σύστημα καταγραφής LAM. Εντός της ίδιας μεταχείρισης κατά την πειραματική διαδικασία, παρουσιάζεται ομαλότητα στις διακυμάνσεις. Όπως αναλύεται στην έρευνα των Berman et al., το 2014, το *Drosophila melanogaster* εκτελεί κατά το ήμισυ του χρόνου στερεοτυπικές κινήσεις, μάλιστα με τη χρήση ψηφιακής κάμερας καταγράφηκαν 100 ξεχωριστές τέτοιες κινητικές συμπεριφορές. Προς περαιτέρω διερεύνηση λοιπόν, τίθεται η αποτύπωση αυτών των κινήσεων για τη μύγα της Μεσογείου (ακόμα και σε επίπεδο τριών αξόνων: x, y και z) ως συνάρτηση της έντασης του φωτός.

Όπως διαφαίνεται και στο **Διάγραμμα 6**, η μέση ωοπαραγωγή των θηλυκών αυξάνεται στα έντομα που εκτίθενται σε εντονότερες εντάσεις φωτός. Με την μεγαλύτερη διαφοροποίηση να εντοπίζεται μεταξύ

των ατόμων ηλικίας 17-21 ημερών και 44-48 ημερών, κατά την μεσαία ένταση φωτός. Παρομοίως, τα ευρήματα των Kokkari et al. το 2017, κατά τα οποία οι υψηλότερες εντάσεις φωτός ευνόησαν την ωοπαραγωγή, στο συγγενικό Tephritidae του δάκου της ελιάς, μπορούν να νοηματοδοτήσουν τα παραπάνω ευρήματα εναπόθεσης ωών της παρούσας εργασίας. Επιπρόσθετα, αντίστοιχη μελέτη σχετικά με την επίδραση της εντάσεως του φωτός στην ωοπαραγωγή ενός άλλου συγγενικού είδους (*Bactrocera carambolae*), φάνηκε ότι η ένταση των 2000 lux ευνοεί την ωοπαραγωγή σε σύγκριση με χαμηλότερες ή υψηλότερες τιμές εντάσεως όπως τα 100 και τα 3000 lux (Dewi, 2021). Όπως φαίνεται και στην περίπτωση μας, τα έντομα που παρέμειναν στις συνθήκες χαμηλής έντασης, παρήγαγαν τον χαμηλότερο αριθμό αυγών.

Τα ευρήματα της εργασίας θεμελιώνουν ποικίλα ερωτήματα προς περαιτέρω έρευνα και αποσαφήνιση. Ειδικότερα, η συσχέτιση μεταξύ εντάσεως φωτός και κιρκάδιων ρυθμών της μύγας των φρούτων θα πρέπει να βρίσκεται στο επίκεντρο. Διαμέσου της χρήσης συστημάτων παρακολούθησης με υψηλή ανάλυση, της τεχνητής νοημοσύνης αλλά και στατιστικών μοντέλων θα προσφερθούν πολύτιμα δεδομένα για τα κινητικά μοτίβα του εντόμου. Η άρτια γνώση της βέλτιστης δραστηριότητας αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό κατά την λήψη αποφάσεων σχετικά με την μαζική παγίδευση και τις μεθόδους απελευθέρωσης στειρών αρσενικών (SIT). Η αντιπαραβολή των παραπάνω με την ένταση του φωτός, αλλά και την ηλικία, καλείται να βελτιστοποιήσει την αποδοτικότητα τέτοιων μεθόδων. Παράλληλα, στον κλάδο της μαζικής εκτροφής των εντόμων, τέτοιες εμπειριστατωμένες γνώσεις έχουν την δυνατότητα να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας. Όπως προσεγγίζεται η αξιοποίηση της γνώσης σχετικά με την επίδραση των διαφορετικών εντάσεων φωτός στις μεθόδους καταπολέμησης του *B. dorsalis*, από τους Ren et al. (2023) τα δεδομένα μειωμένης κινητικότητας κατά την πολύ υψηλή ένταση και την παντελή έλλειψη φωτός (σκοτάδι) αντίστοιχα, καθώς και η εκτίμηση του ιδανικού φωτός που επάγει την ομαλή ανάπτυξη της καλλιέργειας και επιφέρει τον μικρότερο ποσοστό συζεύξεων, μπορούν να λειτουργήσουν ως μέσο δημιουργίας ενός φιλόξενου περιβάλλοντος. Ενδεχομένως σε επίπεδο μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας, θα μπορούσε η εναλλαγή υψηλής έντασης φωτός - σκότους να γίνει ραγδαία, μην επιτρέποντας έτσι στους εντομολογικούς εχθρούς να ευεργετηθούν από τις διακυμάνσεις του παραγόμενου φυσικού φωτός.

Παρόλο που το σύστημα LAM παρείχε πολύτιμης αξίας δεδομένα υψηλής ακρίβειας, η καταγραφή του επικεντρώνεται στην ποσότητα των κινήσεων. Ως αποτέλεσμα, δεν δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού της κατεύθυνσης και του τύπου της κίνησης. Έτσι, η παράλληλη χρήση συστημάτων καταγραφής βίντεο θα μπορούσε να δώσει τη λύση στο παραπάνω ζήτημα.

Τα επίπεδα αυξημένης δραστηριότητας κατά την μέση ηλικία (17-21 ημερών), είναι πιθανότατα αποτέλεσμα της βιολογικής ακμής που επέρχεται στα άτομα κατά το συγκεκριμένο διάστημα. Ενώ αντίθετα η μειωμένη κινητικότητα στα γηραιότερα άτομα συνάδει με την επερχόμενη φθορά των αισθητήριων και κινητικών συστημάτων του οργανισμού (Grotewiel et al., 2005). Γενικά, το γήρας συνδέεται άμεσα με τη σταδιακή μείωση τόσο της αναπαραγωγής όσο και της δραστηριότητας, και η έκφραση της δραστηριότητας

αποτελεί δείκτη του λειτουργικής κατάστασης του κάθε ατόμου (Bochicchio et al., 2017). Συγκεκριμένα, το γήρας επιφέρει μια προοδευτική επιδείνωση στην ικανότητα διατήρησης της ομοιόστασης, του μεταβολισμού και άλλων φυσιολογικών λειτουργιών σε υψηλά επίπεδα (Torosier et al., 2007). Συνεπώς, όπως επιβεβαιώθηκε και από την εργασία μας, ενδεχομένως κάποια βασικά οργανικά συστήματα του εντόμου να αποτυγχάνουν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά στις μεγάλες ηλικίες (Grotewiel et al., 2005). Ωστόσο η αποτελεσματικότητα αυτή των βασικών λειτουργιών, ενδεχομένως να μπορεί να τροποποιηθεί είτε ελαφρώς είτε σημαντικά, εκθέτοντας τα γηραιά έντομα σε διαφορετικές συνθήκες έντασης φωτός, κάτι που βεβαίως απαιτεί περισσότερη ερευνητική εμβάθυνση.

6. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία ανέδειξε τον καθοριστικό ρόλο της έντασης του φωτός στην κινητική και αναπαραγωγική συμπεριφορά των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου. Τόσο οι πειραματικές μετρήσεις, όσο και η στατιστική επεξεργασία της πληθώρας των δεδομένων από τις κινήσεις οι οποίες καταγράφονται μπορούν να αξιοποιηθούν στην ευρύτερη διαχείριση του είδους. Πρωταρχικά, επιβεβαιώθηκε η αρχική υπόθεση ότι η ένταση του φωτός αποτελεί σημαντικότερο στοιχείο καθορισμού της συμπεριφοράς του εντόμου. Συγκεντρώνοντας τα ευρήματα, η κινητικότητα των αρσενικών και των θηλυκών αυξάνεται υπό την μεσαία και την υψηλή ένταση φωτός, ενώ υπήρξε καταγραφή μιας αντιληπτής μείωσης της δραστηριότητας σε συνθήκες χαμηλής έντασης. Η συγκεκριμένη διαφοροποίηση διαπιστώθηκε και στα δύο φύλα καθώς και στις 3 ηλικιακές κλάσεις. Θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε εξαιτίας της συγκεκριμένης διαπίστωσης, ότι η ένταση διαμορφώνει ουσιαστικά την συμπεριφορά του εντόμου. Η ηλικία διαδραμάτισε έναν επιπλέον παράγοντα καθοριστικής σημασίας. Το σύστημα LAM αποδείχθηκε ένα εξαιρετικά αξιόπιστο εργαλείο ποσοτικοποίησης της καταγραφόμενης κινητικότητας. Προτείνεται η επανάληψη της χρήσης του σε παρεμφερείς πειραματικούς σχεδιασμούς στο μέλλον. Ωστόσο, η έλλειψη ποιοτικής διατύπωσης των κινήσεων, δημιουργεί την ανάγκη για υποστήριξη του συστήματος με την καταγραφή βίντεο, με στόχο την αποτύπωση και ανάλυση της κατεύθυνσης και των αλληλουχιών της δραστηριότητας.

Ολοκληρώνοντας τις διατυπώσεις της παρούσας εργασίας, κρίνεται σημαντική η περαιτέρω μελέτη και μελλοντική έρευνα των μηχανισμών οι οποίοι επιδρούν στην αντίληψη του φωτός από την μύγα της Μεσογείου. Μια ενδεχόμενη νέα πειραματική προσέγγιση θα πρέπει να ενισχυθεί με μεγαλύτερη χρονική διάρκεια μετρήσεων, καθώς και μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης για ανάλυση των δεδομένων και την ορθότερη-λεπτομερέστερη αποτύπωση αυτών.

7. Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Διαμαντίδης, Α., (2009). Μελέτη της βιοοικολογίας και της συμπεριφοράς διαφορετικών πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

Κόκκωνα, Η. (2021). Η επίδραση της θερμοκρασίας στα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού της μύγας της Μεσογείου που προέρχεται από τη Θεσσαλονίκη και αναπτύχθηκε στα μήλα (Πτυχιακή εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.

Κυρίτσης, Γ. Α., (2016). Επίδραση ενδο-συμβιωτικών μικροοργανισμών στη συμπεριφορά και βιολογία της μύγας της Μεσογείου (Diptera: Tephritidae) [Doctoral dissertation, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας]. <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/44769>

Μαυρομάτης Αθανάσιος (2008). Επιζήμια έντομα ροδακινιάς, βερικοκιάς, δαμασκηνιάς. Δυνατότητες ολοκληρωμένης αντιμετώπισης. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Κρήτης.

Παπαδόπουλος Ν.Θ., (1999). Μελέτη της Βιολογίας και Οικολογίας της μύγας της Μεσογείου *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) στη βόρεια Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Παπαναστασίου, Σ. (2014). Επίδραση της ηλικίας και άλλων παραγόντων στη συμπεριφορά της μύγας της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος

Ροδοβίτης, Β., (2021). Μελέτη της ημερήσιας δραστηριότητας ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) σε σχέση με την ηλικία και το διατροφικό περιβάλλον, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τζανακάκης, Μ.Ε. & Κατσόγιαννος, Β.Ι., (2003). Έντομα καρποφόρων δέντρων και αμπέλου. ΑγροΤύπος, Αθήνα.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Ankeny RA, Leonelli S. What's so special about model organisms?. *Stud Hist Philos Sci.* 2011; 42(2):313–23.

Arredondo, J., Ruiz, L., & Díaz-Fleischer, F. (2018). *Light conditions after emergence affect food consumption and survival of Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae) sterile males.* *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1502–1508.

Balampekou, E.I.; Koveos, D.S.; Koutsos, T.M.; Menexes, G.C.; Kapranas, A.; Carey, J.R.; Kouloussis, N.A. Locomotor Activity of Adult Olive Fruit Flies Recorded under Conditions of Food or Water Deprivation. *Agronomy* **2024**, *14*, 1051. <https://doi.org/10.3390/agronomy14051051>

Beck, S. D. (2012). *Insect Photoperiodism* (2nd ed.). Academic Press. ISBN 9780120847816.

Benhamou S. 2014. Of scales and stationarity in animal movements. *Ecology letters*, 17, 261–272.

Berman, G. J., Choi, D. M., Bialek, W., & Shaevitz, J. W. (2014). Mapping the stereotyped behaviour of freely moving fruit flies. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(99), 20140672. <https://doi.org/10.1098/rsif.2014.0672>

Bochicchio PA, Pérez MM, Quesada-Allué LA, Rabossi A. Poor geotaxis correlated with haematoporphyrin-induced peroxidation of brain lipids as a predictor of medfly longevity reduction. *Entomol Exp Appl.* 2017;

Briceño, R. D., & Eberhard, W. G. (1998). Medfly courtship duration: A sexually selected reaction norm changed by crowding. *Ethology Ecology & Evolution*, 10(4), 369–382. <https://doi.org/10.1080/08927014.1998.9522850>

Carey JR, Molleman F. Reproductive aging in tephritid fruit flies. *Ann N Y Acad Sci*. 2010; 1204: 139–148. pmid:20738284

Carey JR, Papadopoulos N, Kouloussis N, Katsoyannos B, Müller HG, Wang JL, et al. Age-specific and lifetime behavior patterns in *Drosophila melanogaster* and the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Exp Gerontol*. 2006; 41(1):93–7. pmid:16297586

Carey, J. R. (1984). Host-specific demographic studies of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*. *Ecological Entomology*, 9(3), 261–270.

Carey, J. R. (2008). Applied demography for biologists: With special emphasis on insects. Oxford University Press.

Cayol, J.P. and Causse, R. (1993), Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* Wiedemann (Dipt., Trypetidae) back in Southern France. *Journal of Applied Entomology*, 116: 94–100. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1993.tb01172.x>

Davies, L. R., Simpson, S. J., & Raubenheimer, D. (2005). Effects of nutrition on survival and reproduction in insects: A life-history approach. *Functional Ecology*, 19(6), 938–946. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.00952.x>

De Meyer M., Copeland R.S., Wharton R.A., McPherson B.A., and Barnes B.N., 2002. On the geographic origin of the Medfly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Proceedings of 6th International Fruit Fly Symposium 6–10 May 2002, Stellenbosch, South Africa* pp. 45–53

Dewi, B. P. (2021). Effect of light intensity and duration of light on the fecundity and development of the fruit fly *Bactrocera carambolae* (Diptera: Tephritidae). *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 15(4), 106–111.

Dionysopoulou, N.K., Papanastasiou, S.A., Kyritsis, G.A. and Papadopoulos, N.T., 2020. Effect of host fruit, temperature and Wolbachia infection on survival and development of *Ceratitis capitata* immature stages. *PloS one*, 15(3), p.e0229727.

Dolezel D. Photoperiodic time measurement in insects. *Curr Opin Insect Sci*. 2015 Feb;7:98–103. doi: 10.1016/j.cois.2014.12.002. Epub 2014 Dec 9. PMID: 32846694.

Duyck, P. F., & Quilici, S. (2002). Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research*, 92(6), 461–469. <https://doi.org/10.1079/ber2002188>

Duyck, P. F., & Quilici, S. (2002). Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research*, 92(6), 461–469. <https://doi.org/10.1079/ber2002188>

Egartner B., Bieri M., and Patocchi N., 2019. Monitoring and control of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) in southern Switzerland. *Bulletin of Insectology*, 72(1), 131–139.

Fernandes-da-Silva, P. G., & Zucoloto, F. S. (1993). The influence of host nutritive value on the performance and food selection in *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Journal of Insect Physiology*, 39(10), 883–887.

[https://doi.org/10.1016/0022-1910\(93\)90121-7](https://doi.org/10.1016/0022-1910(93)90121-7)

Gasperi, G., Bonizzoni, M., Gomulski, L. M., Murelli, V., Torti, C., Malacrida, A. R., & Guglielmino, C. R. (2002). Genetic Differentiation, Gene Flow and the Origin of Infestations of the Medfly, *Ceratitis Capitata*. *Genetica*, 116(1), 125–135. <https://doi.org/10.1023/A:1020971911612>

Gilioli, G., Sperandio, G., Colturato, M. *et al.* Non-linear physiological responses to climate change: the case of *Ceratitis capitata* distribution and abundance in Europe. *Biol Invasions* 24, 261–279 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02639-9>

Grotewiel MS, Martin I, Bhandari P, Cook-Wiens E. Functional senescence in *Drosophila melanogaster*. *Ageing Res Rev.* 2005; 4(3):372–97. pmid:16024299

Hafsi, A., Facon, B., Ravigné, V., Chiroleu, F., Quilici, S., & Duyck, P. F. (2016). Host plant range of a fruit fly community (Diptera: Tephritidae): does fruit composition influence larval performance? *BMC Ecology*, 16(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12898-016-0094-8>

He Y, Jasper H. Studying aging in *Drosophila*. *Methods.* 2014; 68(1):129–133. pmid:24751824

Health (PLH), E. P. on P., Bragard, C., Dehnen-Schmutz, K., Di Serio, F., Gonthier, P., Jacques, M.-A., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Reignault, P. L., Thulke, H.-H., Van der Werf, W., Vicent Civera, A., Yuen, J., Zappalà, L., ... MacLeod, A. (2020). Pest categorisation of non-EU Tephritidae. *EFSA Journal*, 18(1), e05931. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5931>

Iliadi KG, Boulianne GL. Age-related behavioral changes in *Drosophila*. *Ann N Y Acad Sci.* 2010; 1197: 9-18. pmid:20536827

Jackson, C.G., Long, J.P. and Klungness, L.M., 1998. Depth of pupation in four species of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in sand with and without moisture. *Journal of Economic Entomology*, 91(1), pp.138-142.

Kokkari, A. I., Pliakou, O. D., Floros, G. D., Kouloussis, N. A., & Koveos, D. S. (2017). Effect of fruit volatiles and light intensity on the reproduction of *Bactrocera (Dacus) oleae*. *Journal of Applied Entomology*, 141(10), 841–847. <https://doi.org/10.1111/jen.12389>

König, S., Steinmüller, S. & Baufeld, P. Origin and potential for overwintering of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) captured in an official survey in Germany. *J Plant Dis Prot* 129, 1201–1215 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00605-8>

Kouloussis NA, Damos PT, Ioannou CS, Tsitsoulas C, Papadopoulos NT, Nestel D, Koveos DS. Age Related Assessment of Sugar and Protein Intake of *Ceratitis capitata* in *ad libitum* Conditions and Modeling Its Relation to Reproduction. *Front Physiol.* 2017 May 8;8:271. doi: 10.3389/fphys.2017.00271. PMID: 28533753; PMCID: PMC5420582.

Li X, Jia X, Xiang H, Diao H, Yan Y, Wang Y, Ma R. The Effect of Photoperiods and Light Intensity on Mating Behavior and Reproduction of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ Entomol.* 2019 Sep 30;48(5):1035-1041. doi: 10.1093/ee/nvz066. PMID: 31348494.

Martin JR. Locomotor activity: A complex behavioural trait to unravel. *Behav Processes.* 2003; 145–60. pmid:14556949

Mediterranean fruit fly—Ceratitis capitata (Wiedemann). (n.d.). Retrieved March 1, 2025, from https://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/mediterranean_fruit_fly.htm

Moraiti CA, Verykouki E, Papadopoulos NT. Chill coma recovery of *Ceratitis capitata* adults across the

Northern Hemisphere. Sci Rep. 2022 Oct 20;12(1):17555. doi: 10.1038/s41598-022-21340-y. PMID: 36266456; PMCID: PMC9585097.

Müller HG, Carey JR, Wu D, Liedo P, Vaupel JW. Reproductive potential predicts longevity of female Mediterranean fruitflies. Proc R Soc B Biol Sci. 2001; 268(1466):445–50. pmid:11296855

Owen S N. 2008. Effects of temporal variability in resources on foraging behaviour. In: Resource Ecology. Prins & Langevelde (Springer Dordrecht), Dutch. pp. 159–181.

Panda, S., Poirier, G. G., & Kay, S. A. (2002). *tef* defines a role for poly(ADP-ribosyl)ation in establishing period length of the *Arabidopsis* circadian oscillator. *Developmental Cell*, 3(1), 51–61. [https://doi.org/10.1016/S1534-5807\(02\)00200-9](https://doi.org/10.1016/S1534-5807(02)00200-9)

Papadopoulos N.T. (2004). Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). In Encyclopedia of Entomology, Kluwer Academic Press, (ed J. Caminera), Vol2: 1367-1370.

Papadopoulos N.T., Katsoyannos B.I., Kouloussis N.A., Economopoulos A.P., Carrey J.R. (1998). Effect of adult age, food, and time of day on sexual calling incidence of wild and mass-reared *Ceratitis capitata* males. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 89: 175-182.

Papadopoulos, N. T., Carey, J. R., Katsoyannos, B. I., & Kouloussis, N. A. (1996). Overwintering of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in northern Greece. *Annals of the Entomological Society of America*, 89(4), 526-534.

Papadopoulos, N. T., Katsoyannos, B. I., Carey, J. R., & Kouloussis, N. A. (2001). Seasonal and Annual Occurrence of the Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in Northern Greece. *Annals of the Entomological Society of America*, 94(1), 41–50. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2001\)094\[0041:SAAOOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2001)094[0041:SAAOOT]2.0.CO;2)

Papadopoulos, N. T., Katsoyannos, B. I., Carey, J. R., & Kouloussis, N. A. (2001). Seasonal and annual occurrence of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Northern Greece. *Annals of the Entomological Society of America*, Volume 94, Issue 1, 1 January 2001, Pages 41–50, [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2001\)094\[0041:SAAOOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2001)094[0041:SAAOOT]2.0.CO;2)

Papadopoulos, N.T. (2008). Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). In: Capinera, J.L. (eds) Encyclopedia of Entomology. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6_1774

Papadopoulos, N.T., Katsoyannos, B.I., Kouloussis, N.A., Carey, J.R., Muller, H.G. & Zhang, Y. (2004). High sexual signalling rates of young individuals predict extended life span in male Mediterranean fruit flies. *Oecologia*, 138: 127-134.

Papadopoulos, Nikos T. Development of *Ceratitis Capitata* (Diptera: Tephritidae) in three apple varieties in the laboratory. Proceedings of 6th International Fruit Fly Symposium 6–10 May 2002, Stellenbosch, South Africa pp. 19–22

Papanastasiou, S. A., Carey, J. R., & Papadopoulos, N. T. (2019). Effects of early-life protein starvation on longevity and sexual performance of male medfly (*Ceratitis capitata*). *PLOS ONE*, 14(7), e0219518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219518>

Park, T., & Frank, M. B. (1948). The fecundity and development of the flour beetles *Tribolium confusum* and *Tribolium castaneum* at three constant temperatures. *Ecology*, 29(3), 368–374. JSTOR

Prokopy R.J., Ziegler J.R. and Wong T.T., (1978). Deterrence of repeated oviposition by fruit-marking pheromone in *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Chemical Ecology*, 4(1), 55-63.

- Ren, C., Zhang, J., Yuan, J.-X., Wu, Y.-Q.-Q., Yan, S.-C., Liu, W., & Wang, G.-R. (2023). Light intensity regulates the sexual behaviors of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* under laboratory conditions. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(9), 2772–2782.
- Ricalde, M.P., Nava, D.E., Loeck, A.E. and Donatti, M.G., 2012. Temperature-dependent development and survival of Brazilian populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, from tropical, subtropical and temperate regions. *Journal of Insect Science*, 12(1), p.33.
- Rigamonti I., 2004. Contributions to the knowledge of *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera, Tephritidae) in Northern Italy II. Overwintering in Lombardy. *Boll. Zool. agr. Bachic.* Ser. II, 36 (1): 89-100.
- Robinson, A. S. editor. (1989). *Fruit flies their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, The Netherlands Elsevier. World Crop Pests, Nature
- Rodovitis, V. G., Papanastasiou, S. A., Bataka, E. P., Nakas, C. T., Koulousis, N. A., Carey, J. R., & Papadopoulos, N. T. (2022). Electronic recording of lifetime locomotory activity patterns of adult medflies. *PLOS ONE*, 17(7), e0269940. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269940>
- Russart K L G, Nelson R J. 2018. Artificial light at night alters behavior in laboratory and wild animals. *Journal of Experimental Zoology (Part A: Ecological and Integrative Physiology)*, 329, 401–408.
- Sciarretta, A., Tabilio, M. R., Lampazzi, E., Ceccaroli, C., Colacci, M., & Trematerra, P. (2018). Analysis of the Mediterranean fruit fly [*Ceratitis capitata* (Wiedemann)] spatio-temporal distribution in relation to sex and female mating status for precision IPM. *PLOS ONE*, 13(4), e0195097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195097>
- Shoukry, A. and Hafez, M., 1979. Studies on the biology of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*. *Entomologia Experimentalis et applicata*, 26(1), pp.33-39.
- Szyniszewska, A. M., & Tatem, A. J. (2014). Global Assessment of Seasonal Potential Distribution of Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *PLOS ONE*, 9(11), e111582. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111582>
- Toroser D, Orr WC, Sohal RS. Carbonylation of mitochondrial proteins in *Drosophila melanogaster* during aging. *Biochem Biophys Res Commun*. 2007; 363(2):418–24. pmid:17884014
- Trudgill, D., Honek, A. D. L. I., Li, D., & van Straalen, N. M. (2005). Thermal time—concepts and utility. *Annals of applied biology*, 146(1), 1-14.
- Tzimos, K. (1961). The Mediterranean fruit fly *By* (*Ceratitis capitata*) in northern Greece. *Agrotikos Tachidromos* 172.
- Vargas, R. I., Walsh, W. A., Kanehisa, D., Jang, E. B., & Armstrong, J. W. (1997). Demography of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Annals of the Entomological Society of America*, 90(2), 162-168.
- Wang, S., Tan, X. L., Michaud, J. P., Zhang, F., & Guo, X. (2013). Light intensity and wavelength influence development, reproduction and locomotor activity in the predatory flower bug *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae). Retrieved from <http://krex.ksu.edu>
- Weaver R E. 2011. Effects of simulated moonlight on activity in the desert nightsnake (*Hypsiglena chlorophaea*). *Northwest Science*, 85, 497–500.
- White, I.M., and Elson-Harris, M.M. (1992). *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics*. CAB, Oxon, UK.

Zanoni, S. (2017). *Study of the bio-ethology of Ceratitis capitata Wied. in Trentino and development of sustainable strategies for population control* [Doctoral dissertation, Università degli Studi di Trento]. FEM OpenPub. <https://openpub.fmach.it/handle/10449/55442>

Ηλεκτρονικές πηγές

"Ceratitis capitata (Mediterranean Fruit Fly) Datasheet." CABI Invasive Species Compendium, 2024, www.cabi.org/isc/datasheet/12367. Accessed 30 Apr. 2025.

<https://gd.eppo.int/taxon/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Lux>