



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΚΙΑΣ, ΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΣΥΖΕΥΞΗΣ ΣΤΗΝ ΠΤΗΣΗ
ΤΩΝ ΕΝΗΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΜΥΓΑΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ**

ΝΙΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Βόλος, 2024

«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΚΙΑΣ, ΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΣΥΖΕΥΞΗΣ ΣΤΗΝ ΠΤΗΣΗ ΤΩΝ
ΕΝΗΛΙΚΩΝ ΤΗΣ ΜΥΓΑΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ»

«EFFECT OF AGE, FOOD AND MATING ON THE FLIGHT PERFORMANCE
OF THE ADULTS OF THE MEDITERANEAN FRUIT FLY»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων: Παπαδόπουλος Νικόλαος (Καθηγητής Εφαρμοσμένης
Εντομολογίας στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).

Μέλος: Αθανασίου Χρήστος (Καθηγητής Εντομολογίας στο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας).

Μέλος: Νάκας Χρήστος (Καθηγητής Βιομετρίας στο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας).

«Βεβαιώνω ότι εγώ, ο Αντώνιος Νικόπουλος, είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΦΓΠΑΠ»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε κατά τα έτη 2022-2023 στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για την επιτυχή πραγματοποίηση της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν οι χώροι και ο εξοπλισμός του εργαστηρίου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Νικόλαο Θ. Παπαδόπουλο, καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας, για την ουσιαστική συμβολή του στην διεκπεραίωση της πειραματικής διαδικασίας, καθώς και για τις διορθώσεις του σε όλο το κείμενο της διατριβής.

Ευχαριστίες, επίσης, οφείλω στους καθηγητές του ΤΓΦΠΑΠ, Χρήστο Αθανασίου και Χρήστο Νάκα, για τις πολύ χρήσιμες διορθώσεις του στο τελικό κείμενο της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υποψήφια Δρα Ελευθερία-Μαρία Μπαλή, για την άριστη συνεργασία και βοήθεια, στη κατανόηση και το σχεδιασμό των πειραματικών διαδικασιών, για την βοήθεια στην λήψη και επεξεργασία των αποτελεσμάτων αλλά και τις διορθώσεις της στο κείμενο της διατριβής. Ευχαριστώ ακόμη την Δρα Ευμορφία Μπατάκα, μαθηματικό, για τη βοήθεια της στο σχηματισμό και επεξεργασία του κώδικα για το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και για τη συμβολή της σε τεχνικά θέματα που προέκυψαν.

Περιεχόμενα

Περίληψη	VII
Summary	IX
1. Εισαγωγή	11
1.1 Η μύγα της Μεσογείου	11
1.1.1 Ταξινομική θέση	11
1.1.2 Γενικά χαρακτηριστικά της μύγας της Μεσογείου	11
1.1.3 Βιολογικός κύκλος	12
1.1.4 Μορφολογικά χαρακτηριστικά του εντόμου	13
1.1.5 Γεωγραφική κατανομή, εξάπλωση, εισβολή	14
1.2 Μετακίνηση των εντόμων.....	16
1.2.1 Διασπορά των εντόμων.....	16
1.2.2 Μετανάστευση των εντόμων.....	17
1.2.3 Ασήμαντες (trivial) μετακινήσεις εντόμων	18
1.3 Ικανότητα πτήσης των εντόμων.....	18
1.4 Σκοπός της διατριβής	20
2. Υλικά και Μέθοδοι	22
2.1 Συνθήκες εργαστηρίου.....	22
2.2 Εκτροφή εντόμων	22
2.3 Συσκευές καταγραφής πτήσης.....	24
2.4 Μεταχείριση εντόμων	26
2.5 Πειραματική διαδικασία	28
2.6 Στατιστική ανάλυση.....	32
3. Αποτελέσματα	34
3.1 Πείραμα 1: Επίδραση του φύλου και της ηλικίας στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων του μύγας της Μεσογείου.....	34

3.2 Πείραμα 2: Επίδραση του φύλου και της τροφής στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων του μύγας της Μεσογείου.....	39
3.3 Πείραμα 3: Επίδραση του φύλου και της κατάστασης σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων του μύγας της Μεσογείου	46
4. Συζήτηση.....	52
5. Συμπεράσματα.....	55
6. Βιβλιογραφία	56

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή έγινε με στόχο τη μελέτη της επίδρασης της ηλικίας, της τροφής και της πραγματοποίησης ή μη σύζευξης, στην ικανότητα πτήσης των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae). Όλα τα ενήλικα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από τον πληθυσμό του Βόλου και είχαν εκτραφεί για συγκεκριμένο αριθμό γενεών στο εργαστήριο ενώ τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε σταθερές συνθήκες εργαστηρίου. Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση συσκευών καταγραφής πτήσης (flight mills) και τα χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν ήταν η απόσταση που κάλυψαν τα ενήλικα, η ταχύτητα που ανέπτυξαν, η συνολική διάρκεια πτήσης αλλά και ο αριθμός των πτήσεων που επιχείρησαν.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο Πείραμα, εξετάστηκε η επίδραση της ηλικίας θηλυκών και αρσενικών εντόμων στα χαρακτηριστικά της πτήσης. Οι ηλικίες που εξετάστηκαν ήταν μίας (1), πέντε (5), δέκα (10), είκοσι (20) και σαράντα (40) ημερών. Τα ενήλικα τοποθετούνταν σε ατομικά κλουβιά έχοντας πρόσβαση σε πλήρη τροφή ενηλίκων (ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία 4:1:5) και νερό και παρέμεναν στις συγκεκριμένες συνθήκες ώσπου να φτάσουν στην επιθυμητή ηλικία και να τοποθετηθούν στις συσκευές καταγραφής πτήσης. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει, ότι ο παράγοντας ηλικία είχε σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων. Ειδικότερα, η αύξηση της ηλικίας επέδρασε θετικά στα χαρακτηριστικά της πτήσης, ενώ οι ακραίες ηλικίες είχαν αρνητική επίδραση στην ικανότητα πτήσης. Παράλληλα, το βάρος φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την πτήση των ενηλίκων, με τα βαρύτερα έντομα να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις, να έχουν υψηλότερη μέση και μέγιστη ταχύτητα και μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης.

Στο δεύτερο Πείραμα, μελετήθηκε η επίδραση της τροφής θηλυκών και αρσενικών εντόμων στα χαρακτηριστικά της πτήσης. Συνοπτικά, τα ενήλικα τοποθετήθηκαν σε ατομικά κλουβιά και είχαν πρόσβαση σε πλήρη τροφή ενηλίκων (ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία 4:1:5) και νερό ή μόνο σε διάλυμα ζάχαρης σε νερό (σε αναλογία 1:3) και νερό. Χρησιμοποιήθηκαν δύο ηλικιακές ομάδες ενηλίκων, πέντε (5) και δέκα (10)

ημερών, που παρέμεναν σε σταθερές συνθήκες ώσπου να φτάσουν στην επιθυμητή ηλικία και να τοποθετηθούν στις συσκευές καταγραφής πτήσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η πρωτεΐνη είχε θετική επίδραση στην απόσταση και τη διάρκεια πτήσης ενώ τα ενήλικα που τράφηκαν με ζάχαρη ανέπτυξαν μεγαλύτερες ταχύτητες. Παρόλα αυτά τα θηλυκά που τράφηκαν σε ζάχαρη κάλυψαν σημαντικά μεγαλύτερες αποστάσεις και πέταξαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα θηλυκά που τράφηκαν σε πρωτεΐνη.

Στο τρίτο Πείραμα εξετάστηκε η επίδραση της σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου. Πιο συγκεκριμένα, τα ενήλικα διακρίθηκαν σε τρεις κατηγορίες, συζευγμένα, μη συζευγμένα και παρθένα. Για το σκοπό αυτό τα ενήλικα παρέμειναν σε ατομικά κλουβιά με πρόσβαση σε πλήρη τροφή ενηλίκων και νερό για δεκαπέντε (15) ημέρες και έπειτα τοποθετούνταν κατά ζεύγη, με βάση τον φυλετικό τους διαχωρισμό, σε καινούργια ατομικά κλουβιά για τρεις (3) ώρες ώστε να παρατηρηθεί αν πραγματοποιήθηκε σύζευξη ή όχι. Μετά το πέρας των τριών ωρών τα ενήλικα επέστρεφαν στα αρχικά τους ατομικά κλουβιά και την επόμενη μέρα τοποθετούνταν στις συσκευές καταγραφής πτήσης. Σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων, φάνηκε ότι η κατάσταση της σύζευξης δεν επέδρασε σε κανένα από τα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων.

Σε όλα τα Πειράματα τα θηλυκά έντομα είχαν αυξημένο βάρος σε σχέση με τα αρσενικά.

Λέξεις κλειδιά: *Ceratitis capitata*, συσκευές καταγραφής πτήσης, ικανότητα πτήσης, διασπορά, διάρκεια πτήσης

Summary

The aim of the present thesis was to study the effect of age, food and mating on the flight ability adults of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera Tephritidae) adults. All the tested adults came from the population of Volos and were reared for a certain number of generations in the laboratory. The experiments were held under stable laboratory conditions. All the experiments were conducted by using flight mill devices and the characteristics examined were the distance covered by the adults, the speed they developed, the total flight duration and the number of flights they attempted.

More specifically, in the first experiment, the effect of age of female and male insects on flight characteristics was examined. The tested ages were one (1), five (5), ten (10), twenty (20) and forty (40) days old. Adults were placed in individual cages with access to adult food (sugar, hydrolyzed yeast and water in a ratio of 4:1:5) and water and remained in these conditions until they reached the desired age whether they were placed in the flight mills. The analysis of the results shows that age had a significant effect on the flight characteristics of adults. Specifically, age increasing had a positive effect on flight characteristics, while extreme ages had a negative effect on flight ability. In parallel, weight appeared to have a significant effect on adult flight, while the heavier insects covered longer distances, reached higher average and maximum speeds and the duration of their flights was longer.

In the second experiment, the effect of food on flight characteristics of female and male adults, was studied. Briefly, adults were placed in individual cages with access to adult food (sugar, hydrolyzed yeast and water in a ratio of 4:1:5) and water or with a solution of sugar in water (in a ratio of 1:3) and water. Adults of two different age groups, five (5) and ten (10) days old, were used. The adults remained under stable conditions until they reached the desired age and got placed in the flight mills. According to the results, protein had a positive effect on distance and flight duration while adults fed with sugar developed

higher speeds. However, sugar-fed females covered significantly longer distances and flew for longer periods of time than protein-fed females.

The third experiment examined the effect of mating on the flight characteristics of adult Mediterranean fruit flies. More specifically, adults were divided into three categories, mated, unmated and virgin. For this purpose, the adults were kept into individual cages with access to adult food and water for fifteen (15) days and then they were placed in pairs, based on their racial segregation, in new individual cages for three (3) hours to observe whether mating occurred or not. At the end of the three hours, the insects were returned to their original individual cages and placed in the flight mills the next day. According to the analysis of the results, it appeared that the state of mating did not affect any of the flight characteristics of the adults.

In all experiments, female insects had increased weight compared to males.

Key words: *Ceratitidis capitata*, flight mills, flight ability, dispersion, flight duration

1. Εισαγωγή

1.1 Η μύγα της Μεσογείου

1.1.1 Ταξινομική θέση

Βασίλειο: Animalia

Συνομοταξία: Arthropoda

Κλάση: Insecta

Τάξη: Diptera

Οικογένεια: Tephritidae

Γένος: *Ceratitis*

Είδος: *Ceratitis capitata*

1.1.2 Γενικά χαρακτηριστικά της μύγας της Μεσογείου

Η μύγα της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) είναι ένα δίπτερο, ολομετάβολο έντομο, μέλος της οικογένειας Tephritidae και του αθροίσματος Ceratidini. Στην οικογένεια Tephritidae ανήκουν περισσότερα από 5500 είδη, εκ των οποίων τα 250, αποτελούν σημαντικούς εχθρούς για τον αγροτικό κόσμο (White and Elson-Harris, 1992; EFSA PLH Panel et al., 2020). Πιο συγκεκριμένα, το γένος *Ceratitis* αριθμεί πάνω από 90 είδη με κύρια προέλευση την τροπική Αφρική (De Meyer and Copeland, 2001). Η μύγα της Μεσογείου, θεωρείται ως ένας από τους σημαντικότερους εχθρούς της παγκόσμιας παραγωγής φρούτων, καθώς αναφέρεται σαν ένα εξαιρετικά πολυφάγο και κοσμοπολίτικο είδος (Papadopoulos et al., 1998; Τζανακάκης και Κατσόγιαννος 2003, Διαμαντίδης 2009). Προσβάλλει περισσότερα από 350 είδη ξενιστών (Liquido et al., 1991; Papadopoulos et al., 2001) και ενώ προέρχεται από την υποσαχάρια Αφρική, λόγω του παγκόσμιου εμπορίου, της ελεύθερης μετακίνησης των ανθρώπων και των βιολογικών της χαρακτηριστικών, έχει εξαπλωθεί και εγκατασταθεί επιτυχώς σε πολλές τροπικές, υποτροπικές και

εύκρατες περιοχές του πλανήτη (Malacrida et al., 2007; Papadopoulos et al. 2013).

Στην Ελλάδα, το έντομο αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 1915 σε οπωρώνες εσπεριδοειδών της Αττικής και της Αίγινας και με το πέρασμα των χρόνων εξαπλώθηκε στην Ηπειρωτική Ελλάδα (1937) και σε ορισμένα νησιά (1965) (Fimiani, 1989 και πηγές που αναφέρει; Παπαδόπουλος et al., 2012). Σήμερα, συναντάται σε όλα τα μήκη και πλάτη της χώρας προκαλώντας πολύ σοβαρές ζημιές σε καλλιέργειες εσπεριδοειδών, μηλοειδών, πυρηνόκαρπων, σύκων, καθώς και άλλων φρούτων (Papadopoulos et al., 1998; Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003; Διαμαντίδης, 2009).

1.1.3 Βιολογικός κύκλος

Η μύγα της Μεσογείου είναι ένα πολυκυκλικό έντομο του οποίου ο αριθμός των γενεών επηρεάζεται από την περιοχή στην οποία βρίσκεται, την διαθεσιμότητα των ξενιστών και τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (Fletcher, 1989; Διαμαντίδης, 2009). Στη χώρα μας, το έντομο συμπληρώνει 3-7 αλληλεπικαλυπτόμενες γενεές ανά έτος (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003), ενώ στις θερμότερες-νοτιότερες περιοχές της Μεσογείου μπορεί να παραμένει δραστήριο καθ' όλη την διάρκεια του έτους και να ολοκληρώσει περισσότερες γενεές (Papadopoulos, 2008). Σε βορειότερες περιοχές, όπου επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, το έντομο για να επιβιώσει διαχειμάζει με την μορφή νύμφης στο έδαφος είτε ως προνύμφη στους προσβεβλημένους καρπούς (Papadopoulos et al., 1996; Papadopoulos et al., 2001).

Τα ενήλικα έντομα κάνουν την εμφάνιση τους την περίοδο της άνοιξης, καταναλώνοντας πρωτεϊνούχες και ζαχαρούχες ουσίες, με σκοπό την σεξουαλική τους ωρίμανση και τη δημιουργία ενεργειακών αποθεμάτων. Η διάρκεια του βιολογικού κύκλου είναι περίπου 25 ημέρες, όταν οι επικρατούσες θερμοκρασίες και σχετική υγρασία κυμαίνονται σε 24-25 °C και 60-70% αντίστοιχα. Το θηλυκό ωοτοκεί σε ώριμους ή ημιώριμους καρπούς 1-10 αυγά ανάλογα με την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η εναπόθεση των αυγών στο εσωτερικό του ξενιστή, γίνεται μέσω του ωοθέτη, αναπαραγωγικού οργάνου

των θηλυκών εντόμων, που διατρυπά το περικάρπιο ή το μεσοκάρπιο, δημιουργώντας ένα νύγμα διαμέτρου 1mm (Papadopoulos et al., 2001). Μετά την εκκόλαψη των αυγών, οι προνύμφες τρέφονται με την σάρκα του καρπού με αποτέλεσμα την υποβάθμισή του αλλά και την προσβολή του από δευτερεύοντα παθογόνα. Οι προνύμφες καθώς ολοκληρώνουν την ανάπτυξη τους εγκαταλείπουν τον καρπό και ακολουθεί η νύμφωσή τους στο έδαφος, σε βάθος περίπου 5 cm (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003).

1.1.4 Μορφολογικά χαρακτηριστικά του εντόμου

Αυγό:

Το αυγό της μύγας της Μεσογείου είναι λείο με επίμηκες και ελλειπτικό σχήμα ενώ έχει λευκό χρωματισμό. Το μήκος του και η διάμετρος του κυμαίνονται από 0,9 έως 1,1 mm και από 0,2 έως 0,3 mm αντίστοιχα (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003).

Προνύμφη:

Η προνύμφη του εντόμου είναι ακέφαλη, άποδη, υπόλευκου χρώματος και σχηματίζει μία σχετική στένωση στο πρόσθιο τμήμα της, όπου βρίσκουμε τα στοματικά μόρια. Το οπίσθιο τμήμα είναι κυλινδρικού σχήματος και χαρακτηρίζεται από την παρουσία των εδρικών αναπνευστικών στιγμάτων (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003).

Νύμφη:

Η νύμφη του εντόμου έχει σχήμα ελλειψοειδές, βαρελόμορφο με το μήκος και τη διάμετρο της κυμαίνονται από 4 έως 4,5 mm και από 2 έως 2,5 mm αντίστοιχα. Το χρώμα της ποικίλει από υπόλευκο έως σκούρο καστανό, ανάλογα με τον ξενιστή στον οποίον έχουν αναπτυχθεί οι προνύμφες (Papadopoulos et al., 2004).

Ενήλικο:

Στο στάδιο του ενηλίκου, το έντομο έχει μήκος και πλάτος που ποικίλει από 4-6 mm και από 1,2-2 mm, αντίστοιχα (White and Elson-Harris, 1992).

Σύμφωνα με τους Τζανακάκη και Κατσόγιαννο (2003) ο θώρακας είναι μαύρου χρώματος με ανοιχτόχρωμες κηλίδες ενώ η κοιλιά του έχει κιτρινωπή απόχρωση. Οι πτέρυγες είναι κατά βάση διαφανείς και φέρουν εγκάρσιες μαύρες, καστανές και κίτρινες ζώνες και κηλίδες. Η κεφαλή είναι κίτρινη και πιο σκοτεινή στο τμήμα μεταξύ των κεραίων, με μικρές μαύρες τρίχες ανάμεσα στους πορφυρού-μωβ χρώματος σύνθετους οφθαλμούς. Το αρσενικό ενήλικο έντομο φέρει δύο χαρακτηριστικά έμμισχα εξαρτήματα ροπαλοειδούς σχηματισμού. Φυσιογνωμικό γνώρισμα του θηλυκού ενήλικου εντόμου αποτελεί ο ωοθέτης, που προεκβάλλει από το πίσω μέρος της κοιλίας με μήκος 1,2 mm (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003).

1.1.5 Γεωγραφική κατανομή, εξάπλωση, εισβολή

Η μύγα της Μεσογείου είναι ένα ιδιαίτερα κοσμοπολίτικο είδος το οποίο ξεκίνησε από την Υποσαχάρια Κεντρική-Ανατολική Αφρική και εξαπλώθηκε σε πιο εύκρατες και τροπικές ζώνες όπως είναι οι: Κεντρική-Νότια και Βόρεια Αμερική, Ευρώπη, Μέση Ανατολή, Αυστραλία, Ανατολική Ασία (Malacrida et al. 2007, Papadopoulos et al. 2013). Τα πρώτα στοιχεία εξάπλωσης του εντόμου, φαίνεται να προέρχονται από την Μεσόγειο, και πιο συγκεκριμένα από την Ισπανία, όπου το 1842 καταγράφεται για πρώτη φορά ενώ το 1898 εμφανίζεται στην Πορτογαλία. Η διαδρομή που ακολουθήθηκε για την εισβολή και εγκατάσταση του εντόμου στη λεκάνη της Μεσογείου, πιθανότατα να είναι είτε μέσω της κοιλάδας του Νείλου είτε μέσω της Ισπανίας ξεκινώντας από την βορειοδυτική ακτή της Αφρικής και το Γιβραλτάρ (Papadopoulos et al., 2004). Καθοριστικό ρόλο στην εξάπλωση της μύγας της Μεσογείου φαίνεται να είχε το εμπόριο νωπών φρούτων και η μετακίνηση των ανθρώπων. Συνεπώς, η εξάπλωση του εντόμου δεν παρέμεινε εξολοκλήρου εντός των συνόρων της Ευρώπης και σήμερα ενδημεί σε ολόκληρη την κεντρική και νότια Αμερική, μη συμπεριλαμβανομένου του Μεξικού, από το οποίο έχει εξαλειφθεί έπειτα από εντατικές ενέργειες (White and Elson-Harris, 1992). Όσον αφορά τη βόρεια Αμερική, το έντομο έχει εγκατασταθεί επιτυχώς στη Χαβάη ενώ έχουν σημειωθεί εισβολές σε ορισμένες περιοχές της ηπειρωτικής χώρας, με την πρώτη

καταγραφή να αναφέρεται στην κεντρική Φλόριντα το 1926 (Hagen et al., 1981). Η πολιτεία όμως που παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον μελέτης είναι εκείνη της Καλιφόρνιας, καθώς τις τελευταίες δεκαετίες έχει γίνει αναφορά για έναν πρωτοφανή αριθμό αρκετών ειδών της οικογένειας Tephritidae, συμπεριλαμβανομένης και της μύγας της Μεσογείου. Ενδεικτικά, μόνο στη συγκεκριμένη περιοχή έχουν συλληφθεί χιλιάδες μύγες της συγκεκριμένης οικογενείας, αρκετές φορές παραπάνω απ' ότι σε όλες τις υπόλοιπες ηπειρωτικές πολιτείες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής μαζί. Για το λόγο αυτό οι αρμόδιες αρχές, λαμβάνοντας υπόψιν το ιδανικό κλίμα της περιοχής για εγκατάσταση πληθυσμών αλλά και τα βιολογικά χαρακτηριστικά των μυγών των φρούτων, επενδύουν σημαντικά σε μέτρα που στοχεύουν στον περιορισμό της εγκατάστασης ή/και την εξάλειψη των ειδών αυτών από την περιοχή. Σήμερα, υπάρχουν αναφορές για εγκατεστημένους πληθυσμούς της μύγας της Μεσογείου όπως και για άλλα είδη της οικογένειας Tephritidae, στην πολιτεία της Καλιφόρνιας (Papadopoulos et al., 2013). Πληθυσμοί της μύγας της Μεσογείου φαίνεται να έχουν εγκατασταθεί και στην άλλη πλευρά του παγκόσμιου χάρτη, με αναφορές να επιβεβαιώνουν τον εποικισμό της στην δυτική Αυστραλία καθώς και σε διάφορα νησιά του Ειρηνικού και Ινδικού Ωκεανού (White and Elson-Harris, 1992).

Εξαιτίας του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, η δυναμική του αποικισμού του εντόμου και τα όρια της γεωγραφικής του εξάπλωσης συνεχώς μεταβάλλονται. Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο συχνά αναφέρονται συλλήψεις της μύγας της Μεσογείου σε βορειότερες περιοχές της Ευρώπης (Egarter et al., 2019; EPPO, online). Γενικά φαίνεται να υπάρχει η τάση τα όρια εξάπλωσης του εντόμου να κατευθύνονται προς τους πόλους σε γεωγραφικό πλάτος, και σε ψηλότερο υψόμετρο (Parmesan, 1996; Hill et al., 1999; Altermatt, 2010). Σήμερα σαν βορειότερα όρια εξάπλωσης του εντόμου στην Ευρώπη, θεωρούνται η Κροατία και η Αυστρία, δύο περιοχές στις οποίες δεν συναντάμε τις ιδανικές κλιματικές συνθήκες για την ανάπτυξη πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου (Szyniszewska and Tatem, 2014; Egarter et al., 2020; Bjeliš et al., 2022). Ωστόσο έχουν υπάρξει αναφορές για την παρουσία του εντόμου και σε άλλες χώρες της Ευρώπης και συγκεκριμένα στη Γερμανία, Βόρεια Ιταλία, Γαλλία, Ισπανία, Ολλανδία και Ουγγαρία, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το έντομο

ενδημεί σε τόσο μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, αλλά η εμφάνιση του οφείλεται ίσως στην μεταφορά προσβεβλημένων καρπών που αποτελούσαν τον ξενιστή του εντόμου (Papadopoulos et al., 2004).

Σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του μοντέλου CLIMEX με σκοπό την κατανόηση των κλιματικών απαιτήσεων για την εξάπλωση και εγκατάσταση του εντόμου, περιγράφηκε τόσο η ευρωπαϊκή γεωγραφική κατανομή του καθώς και η εξάπλωση του στην Αργεντινή. Από τις έρευνες προκύπτει ότι περιοριστικό παράγοντα εποίκισμού του πληθυσμού σε νέα περιβάλλοντα δεν αποτελούν μόνο οι θανατηφόρες ελάχιστες θερμοκρασίες αλλά και οι χαμηλές μέγιστες θερμοκρασίες. Καθώς και αυτές παρεμποδίζουν την μύγα της Μεσογείου να αποικίσει σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, λόγω στέρξης της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας που χρειάζεται για την ανάπτυξη της (Vera et al., 2002).

1.2 Μετακίνηση των εντόμων

Τα έντομα, όπως όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί διαθέτουν την ικανότητα να μετακινούνται με σκοπό να επιτελέσουν κάποιες βασικές λειτουργίες για την επιβίωσή τους. Τέτοιες λειτουργίες είναι η αναζήτηση τροφής, καταφυγίου, ξενιστή κ.α. Σύμφωνα με τον Aluja (1993) η μετακίνηση των εντόμων χωρίζεται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- i) διασπορά,
- ii) μετανάστευση και
- iii) «ασήμαντες» μετακινήσεις.

1.2.1 Διασπορά των εντόμων

Με τον όρο διασπορά, ορίζεται η κίνηση ενός πληθυσμού εντόμων από το μέρος της εκκόλαψής τους, που οδηγεί σε αύξηση της μέσης απόστασης ανάμεσα στα άτομα του (Andrewartha and Birch, 1954; Southwood 1962). Τα

έντομα στην περίπτωση αυτή εγκαταλείπουν την περιοχή εκκόλαψης τους με σκοπό την αναζήτηση νέων εδαφών και κατοικιών προσπαθώντας να βελτιώσουν τις συνθήκες επιβίωσης τους σε έναν καλύτερο βióτοπο. Η διασπορά είναι συνήθως μια μετακίνηση χωρίς επιστροφή και άγνωστο προορισμό.

Οι λόγοι που οδηγούν τα έντομα σε αυτή την «απόφαση» (συμπεριφορά) είναι πολυπαραγοντικοί. Ο ανταγωνισμός και η αποφυγή της ενδογαμίας είναι μερικοί από τους κυριότερους λόγους που ωθούν το έντομο να αποικίσει σε νέα ενδιαιτήματα. Τα γονιμοποιημένα θηλυκά έντομα είναι οι ισχυρότεροι διασκορπιστές για τον αποικισμό, καθώς το ζευγάρι πριν από την διασπορά εξαλείφει την ανάγκη εύρεσης νέου συντρόφου στο νέο βióτοπο (Breed and Moore, 2016).

1.2.2 Μετανάστευση των εντόμων

Με τον όρο μετανάστευση ορίζεται η επίμονη και ευθυγραμμισμένη κίνηση που πραγματοποιείται από τις κινητικές προσπάθειες του ίδιου του εντόμου ή από την ενεργό του επιβίβαση σε κάποιο “όχημα” (Kennedy, 1986). Στις περισσότερες περιπτώσεις η μετανάστευση είναι μία μετακίνηση των πληθυσμών των εντόμων μεταξύ εποχιακά κατάλληλων ενδιαιτημάτων. Ωστόσο μετανάστευση μπορεί να συμβαίνει και μεταξύ δύο οποιωνδήποτε ενδιαιτημάτων, αλλά και σε χρόνο συντομότερο του ετήσιου κύκλου (Dingle, 1996; Dingle and Drake, 2007; Fitzsimons et al., 2004). Στη μετανάστευση, συμπεριλαμβάνεται ο παράγοντας επιστροφή στο προηγούμενο ενδιαιτήμα, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά την πλευρά των απογόνων αν όχι και των ίδιων των μεταναστών. Η μεταναστευτική συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από την γνώση του εντόμου για την διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει (Åkesson and Hedenström, 2007). Ορισμένα είδη, μάλιστα, όπως η πεταλούδα μονάρχης (*Danaus plexippus*), βασίζονται αποκλειστικά σε κληρονομικές-γενετικές πληροφορίες, που τους επιτρέπουν να βρουν τον επόμενο βióτοπο χωρίς κάποια καθοδήγηση από έμπειρα ενήλικα άτομα (Breed and Moore, 2016).

1.2.3 Ασήμαντες (trivial) μετακινήσεις εντόμων

Οι μετακινήσεις που δεν είναι μεταναστευτικές και περιλαμβάνουν δραστηριότητες εντός του ενδιαιτήματος, όπως η αναζήτηση τροφής, η σύζευξη, η ωοτοκία (Danthanarayana, 1986) χαρακτηρίζονται ως «appetitive» από τον Provost (1952), «vegetative» από τον Kennedy (1961) ή ως «trivial» από τον Southwood (1962). Αυτές οι μετακινήσεις χαρακτηρίζονται από την κάλυψη μικρών αποστάσεων και εξαρτώνται από τις φυσιολογικές και βιολογικές λειτουργίες των εντόμων που σχετίζονται με τη διατροφή, την αναπαραγωγή και την προφύλαξη τους από εχθρούς. Η συμπεριφορά αυτή ορίζεται ως επαναλαμβανόμενη κινητική δραστηριότητα που διακόπτεται εύκολα μόλις το έντομο συναντήσει αυτό που αναζητά (Kennedy, 1986).

1.3 Ικανότητα πτήσης των εντόμων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η μετακίνηση των εντόμων είναι άμεσα συνδεδεμένη με την επιβίωση τους. Η κίνηση, μπορεί να είναι ακούσια και να εξαρτάται από την ενεργό επιβίβαση του εντόμου σε κάποιο «όχημα» και την μεταφορά του σε άλλο μέρος. Αυτού του είδους η μεταφορά γίνεται συνήθως εξαιτίας του εμπορίου, μέσω της μεταφοράς προσβεβλημένων αγαθών. Η κίνηση όμως, μπορεί να είναι και εκούσια και να εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από το ίδιο το έντομο. Η εκούσια κίνηση των εντόμων πραγματοποιείται μέσω των οργάνων πτήσης (πτέρυγες) τα οποία τους δίνουν την δυνατότητα να μετακινηθούν σε μεγάλες αποστάσεις και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση ώστε να καλύψουν απαραίτητες ανάγκες για την επιβίωσή τους. Η ικανότητα πτήσης ποικίλει ανάμεσα στα άτομα του ίδιου πληθυσμού, καθώς επηρεάζεται τόσο από αβιοτικούς όσο και από βιοτικούς παράγοντες. Στους αβιοτικούς παράγοντες συγκαταλέγονται για παράδειγμα οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες ενώ στους βιοτικούς, συγκαταλέγονται παράγοντες που αφορούν το κάθε έντομο ξεχωριστά όπως για παράδειγμα η ηλικία και η διατροφή του.

Ο προσδιορισμός της ικανότητας πτήσης των εντόμων εργαστηριακά, μπορεί να γίνει με τη χρήση ειδικών συσκευών καταγραφής πτήσης (flight mills)

όπου γίνεται ποσοτική καταγραφή των χαρακτηριστικών της (απόσταση, διάρκεια και ταχύτητα) (Attisano et al., 2015). Μέσω αυτών των πειραμάτων μπορούν να ληφθούν συμπεράσματα για το πώς πολλαπλές πειραματικές μεταχειρίσεις μπορούν να επηρεάσουν δυνητικά την πτήση των εντόμων χρησιμοποιώντας παραμέτρους που δεν είναι εύκολο να καταγραφούν στο φυσικό τους περιβάλλον, έχοντας όμως σαν περιορισμό ότι δεν αντιπροσωπεύουν τις φυσικές συνθήκες πτήσης (Minter et al., 2018; Naranjo 2019). Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση τέτοιων συσκευών, έχουν δείξει αυξημένη κινητικότητα σε ορισμένα είδη εντόμων σε συνθήκες λιμοκτονίας με επακόλουθη μείωση λόγω θνησιμότητας, έλλειψης αποθεμάτων ενέργειας ή άλλων χρόνιων καταπονήσεων (Else, 1974; Fadamiro and Wyatt, 1995; Perez-Mendoza et al., 2011; Scharf, 2016). Η περιεκτικότητα του σώματος των εντόμων του είδους *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Curculionidae) σε λιπίδια φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης τους, καθώς η μείωση τους, είχε ως αποτέλεσμα τη δυσκολία πραγματοποίησης πτήσεων. Επίσης, το σωματικό βάρος και η ηλικία επέδρασαν σημαντικά καθώς τα άτομα με αυξημένο βάρος πραγματοποίησαν πτήσεις μεγαλύτερης διάρκειας και απόστασης, σε σχέση με εκείνα που ήταν μικρότερα σε μέγεθος, ενώ η αύξηση της ηλικίας είχε αρνητική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης (Evenden et al., 2014). Οι Chen et al. (2010, 2011) έδειξαν ότι το φύλο δεν έχει κάποια σημαντική επίδραση στην ικανότητα πτήσης εντόμων του ίδιου γένους με μοναδική επισήμανση το γεγονός ότι τα θηλυκά μπορεί να είναι πιο ικανά να έχουν μία πιο συνεχή πτήση. Επίσης η επίδραση των συνθηκών φωτισμού φαίνεται να είναι σημαντική καθώς η ικανότητα πτήσης των εντόμων αυξάνεται σε συνθήκες επαρκούς φωτισμού (Chen et al., 2010). Σε έρευνα των Aita et al. (2021) για την επίδραση της έλλειψης τροφής, της ηλικίας και της κατάστασης σύζευξης στην ικανότητα πτήσης εντόμων του είδους *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) φάνηκε πως κανένας από τους προς εξέταση παράγοντες δεν είχε σημαντική επίδραση στην απόσταση που καλύφθηκε από τα έντομα αλλά ούτε και στη συνολική διάρκεια πτήσης.

Έρευνες, με τη χρήση συσκευών καταγραφής πτήσης, έχουν πραγματοποιηθεί και για έντομα της οικογένειας Tephritidae όπως για

παράδειγμα το *Anastrepha ludens* (Chambers and O'Connell, 1969), *Bactrocera cucurbitae* (Nakamori and Simizu, 1983; Ferdousi et al., 2021), *B. dorsalis* (Chen et al., 2015; Makumbe et al., 2020) και *B. oleae* (Wang et al., 2009). Ωστόσο λίγες δουλειές έχουν γίνει για τη μύγα της Μεσογείου, σε σχέση πάντα και με άλλα έντομα της οικογένειας (Sharp et al., 1975; Sharp and Chambers, 1976; Zermeno, 2005 όπως αναφέρεται στους Roitberg et al., 2009; Leopold et al., 2010; Malod et al., 2023). Η ηλικία, το φύλο, το βάρος, η στέρηση τροφής, η ακτινοβολήση με ακτίνες «γ», η δομή των μυών και ο εγκλιματισμός σε διαφορετικές θερμοκρασίες είναι μερικές από τις παραμέτρους που έχουν εξεταστεί για την επίδρασή τους στα χαρακτηριστικά της πτήσης (Sharp and Chambers, 1976; Wang et al., 2009; Chen et al., 2015; Makumbe et al., 2020; Malod et al., 2023). Το βάρος φαίνεται να είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες πρόβλεψης πτήσης καθώς το αυξημένο βάρος έχει θετική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης όπως η ταχύτητα που ανέπτυξαν τα έντομα, η απόσταση που καλύφθηκε αλλά και η διάρκεια πτήσης των εντόμων (Makumbe et al., 2020; Malod et al., 2023). Η αύξηση της ηλικίας έχει θετική επίδραση στην ικανότητα πτήσης των ενηλίκων του είδους *B. dorsalis* (Makumbe et al., 2020) ενώ η στέρηση τροφής αυξάνει τη θνησιμότητα και μειώνει την ικανότητα πτήσης των ενηλίκων του είδους *B. oleae* (Wang et al., 2009). Η ακτινοβολήση φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά της πτήσης του *B. oleae*, ενώ τα θηλυκά παρουσιάζουν καλύτερη ικανότητα πτήσης από τα αρσενικά (Remund et al., 1976). Οι Malod et al. (2023) έδειξαν ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες εγκλιματισμού έχουν αρνητική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων των ειδών *B. dorsalis*, *B. zonata* και *C. capitata* καθώς τα έντομα που είχαν εγκλιματιστεί στους 20 °C σταμάτησαν περισσότερες φορές, κάλυψαν μικρότερες αποστάσεις και πέταξαν για μικρότερο χρονικό διάστημα.

1.4 Σκοπός της διατριβής

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μύγα της Μεσογείου είναι ένα σημαντικό έντομο εισβολέας που έχει καταφέρει να αυξήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τα όρια

της εξάπλωσής του και να εγκατασταθεί επιτυχώς σε νέα περιβάλλοντα. Αυτή του η ικανότητα για διασπορά, είναι αποτέλεσμα δράσης αβιοτικών (επικρατούσες καιρικές συνθήκες) και βιοτικών παραγόντων (ηλικία, βάρος και συνθήκες ανάπτυξης).

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ήταν η μελέτη της επίδρασης της ηλικίας, της διαφορετικής τροφής και της επιτυχούς ή μη σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου, με την χρήση συσκευών καταγραφής πτήσης (flight mills). Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η επίδραση (α) πέντε διαφορετικών ηλικιών ενήλικων εντόμων (1,5,10,20,40 ημερών), (β) δύο διαφορετικών ειδών τροφής (ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία 4:1:5 ή μόνο διάλυμα ζάχαρης σε νερό σε αναλογία 1:3) και δύο ηλικιακών ομάδων, 5 και 10 ημερών, και (γ) της επιτυχίας της σύζευξης, στα χαρακτηριστικά της πτήσης των εντόμων. Τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα μπορούσαν να αποτελέσουν χρήσιμα στοιχεία για την δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης διασποράς του εντόμου, και εγκατάστασής του σε περιβάλλοντα όπου δεν προϋπάρχει. Η ποσοτικοποίηση των επιδράσεων της ηλικίας, της διαφορετικής τροφής και της σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενήλικων εντόμων του είδους *C. capitata* αποτέλεσαν τους κύριους στόχους της παρούσας έρευνας.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Οι πειραματικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας από το Μάρτιο του 2022 ως τον Δεκέμβριο του 2022. Μελετήθηκε η επίδραση της ηλικίας, της διαφορετικής τροφής και της σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου.

2.1 Συνθήκες εργαστηρίου

Τα πειράματα έγιναν κάτω από ελεγχόμενες σταθερές συνθήκες Εργαστηρίου: θερμοκρασία $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $65 \pm 5\%$ και φωτοπερίοδος 14:10 (Φ:Σ), με τη φωτόφαση να διαρκεί από τις 7:00 έως τις 21:00. Για την προσαρμογή αλλά και σταθεροποίηση των άνωθεν συνθηκών που αφορούν στη θερμοκρασία και σχετική υγρασία, ανεξαρτήτως των εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών, χρησιμοποιήθηκε η κλιματική μονάδα STULZ Comp Trol 1001 (Diamar Ltd.). Για τον φωτισμό του χώρου διεξαγωγής των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν λάμπες φθορίου αλλά και το φως που εισέρχονταν από τα τέσσερα παράθυρα στην οροφή του εργαστηρίου. Η ρύθμιση της κατάλληλης φωτοπεριόδου στους χώρους διεξαγωγής των πειραμάτων, πραγματοποιούνταν με όργανα-χρονόμετρα προσαρμοσμένα στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος των λαμπτήρων.

2.2 Εκτροφή εντόμων

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν ημιάγρια έντομα της μύγας της Μεσογείου από τον πληθυσμό Λεχώνια Μαγνησίας, τα οποία είχαν εκτραφεί στις συνθήκες του εργαστηρίου για συγκεκριμένο αριθμό γενεών. Συγκεκριμένα, προσβεβλημένα πορτοκάλια, μανταρίνια και μήλα συλλέχθηκαν από την περιοχή των Λεχωνίων Μαγνησίας κατά τους μήνες

Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 2021 και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας που επικρατούσαν οι προαναφερθείσες σταθερές συνθήκες. Οι καρποί τοποθετήθηκαν σε αποστειρωμένη άμμο και κοσκινίζονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα) για τη συλλογή των νυμφών. Οι νύμφες παρέμειναν στις ίδιες συνθήκες μέχρι την εμφάνιση των ενηλίκων. Μετά την έξοδο τους από το νυμφικό περίβλημα, τα ενήλικα τοποθετήθηκαν σε ξύλινα κλουβιά διαστάσεων 30X30X30 cm όπου είχαν πρόσβαση σε τροφή ενηλίκων [ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία (4:1:5)] και νερό (Εικόνα 2.1). Στα κλουβιά τοποθετούνταν τεχνικά υποστρώματα ωοτοκίας (dome) (Εικόνα 2.2) ώστε να ωοτοκήσουν τα αναπαραγωγικά ώριμα θηλυκά. Το τεχνητό αυτό υπόστρωμα ωοτοκίας αποτελείται από ένα κόκκινο, πλαστικό, κοίλο ημισφαίριο διαμέτρου 5cm και πάχους 1,5cm το οποίο έφερε 40 – 50 ομοιογενώς κατανεμημένες οπές, διαμέτρου 1mm. Έπειτα, τα αβγά παραλαμβάνονταν από την εσωτερική κοιλότητα του dome με τη βοήθεια ενός μαλακού πινέλου και τοποθετούνταν σε τεχνητή τροφή (Boller, 1985). Το προνυμφικό στάδιο των εντόμων διαρκούσε περίπου επτά (7) ημέρες, έπειτα, τα έντομα νυμφώνονταν σε στρώμα αποστειρωμένης άμμου. Με τη ολοκλήρωση του σταδίου της νύμφωσης πραγματοποιούνταν κοσκίνισμα της άμμου και συλλογή των νυμφών σε τρυβλίο Petri διαμέτρου 9cm ενώ. Μετά την έξοδο τους από το νυμφικό περίβλημα, τα ενήλικα τοποθετήθηκαν στα ξύλινα κλουβιά, ώστε να συνεχιστεί η εκτροφή (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Ξύλινα κλουβιά εκτροφών με τροφή ενηλίκων και νερό

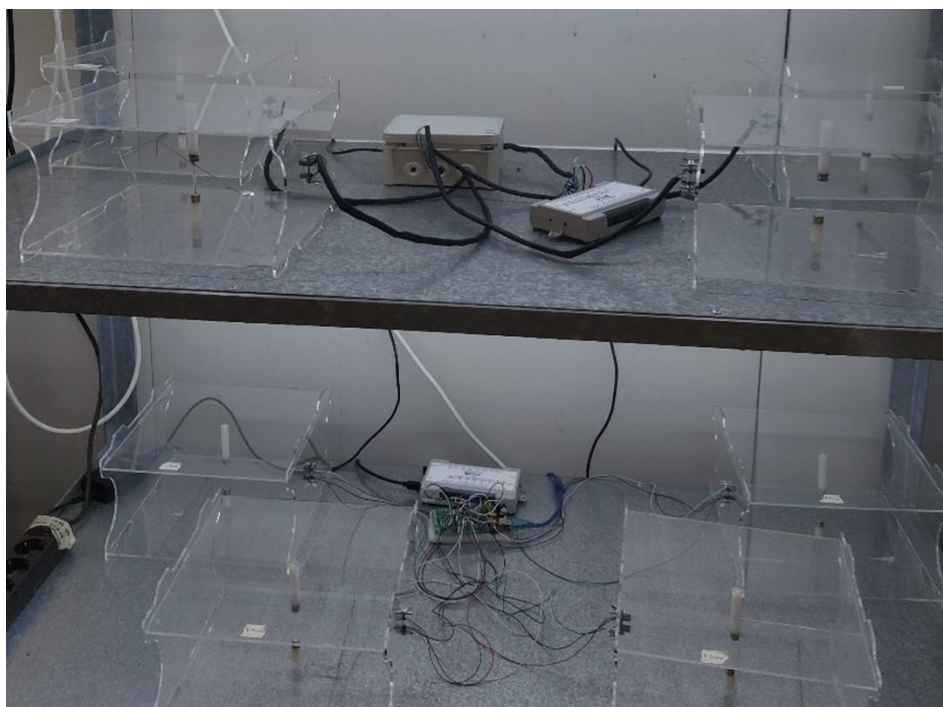


Εικόνα 2.2: Τεχνητό υπόστρωμα ωοτοκίας (dome)

2.3 Συσκευές καταγραφής πτήσης

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν οκτώ όμοιες συσκευές καταγραφής πτήσης (flight mills) (Εικόνα 2.3), οι οποίες κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο

σύμφωνα με δημοσιευμένο πρωτόκολλο (Attisano et al., 2015). Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκε διαφανές ακρυλικό πλαστικό (plexiglass) σε σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, με τις δύο “μεγάλες” κάθετες πλευρές του να απουσιάζουν, ώστε να επιτρέπεται η μεταχείριση των εντόμων. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε επέτρεπε τον ομοιόμορφο φωτισμό των εντόμων σε όλες τις συσκευές καταγραφής. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο, κάθε flight mill έφερε εσωτερικά, στο κέντρο του έναν πλαστικό σωλήνα 5cm x 1cm στην πάνω πλευρά και έναν πλαστικό σωλήνα 2cm x 1cm στην κάτω πλευρά. Αυτοί οι πλαστικοί σωλήνες ήταν ευθυγραμμισμένοι μεταξύ τους και στο ελεύθερο άκρο τους έφεραν δύο μαγνήτες νεοδυμίου (N42) 10mm x 4mm. Στο κενό που σχηματιζόταν ανάμεσα στους μαγνήτες τοποθετούταν ένας βραχίονας ο οποίος λόγω του πεδίου, ήταν ευθυγραμμισμένος με τους σωλήνες και είχε τη δυνατότητα να περιστρέφεται. Ο βραχίονας ήταν κατασκευασμένος από έναν μη μαγνητικό υποδερμικό χαληβδοσωλήνα 19 gauge (1.0mm) στο κέντρο του οποίου ήταν κολλημένο, ένα ειδικά διαμορφωμένο tip πιπέτας (20 μ l), από τις δύο άκρες του οποίου προεξείχε μια εντομολογική καρφίτσα (#1). Στη μία κάθετη πλευρά κάθε συσκευή καταγραφής πτήσης ήταν τοποθετημένος ένας αισθητήρας IR, ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με ένα σύστημα καταγραφής δεδομένων (Data Acquisition) μέσω ενός βασικού ηλεκτρονικού κυκλώματος. Το σύστημα καταγραφής συνδεόταν μέσω καλωδίου USB σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο προηγουμένως είχε εγκατασταθεί το λογισμικό WinDAQ. Τα δεδομένα εξάγονταν από το συγκεκριμένο λογισμικό με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python (Python 3.8.10). Τα χαρακτηριστικά πτήσης που καταγράφονταν για κάθε έντομο ήταν, η μέση και μέγιστη ταχύτητα πτήσης, η συνολική διάρκεια πτήσης, η απόσταση που διάνυε κάθε έντομο και ο αριθμός των πτήσεων που επιχείρησε κάθε έντομο σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα καταγραφής.

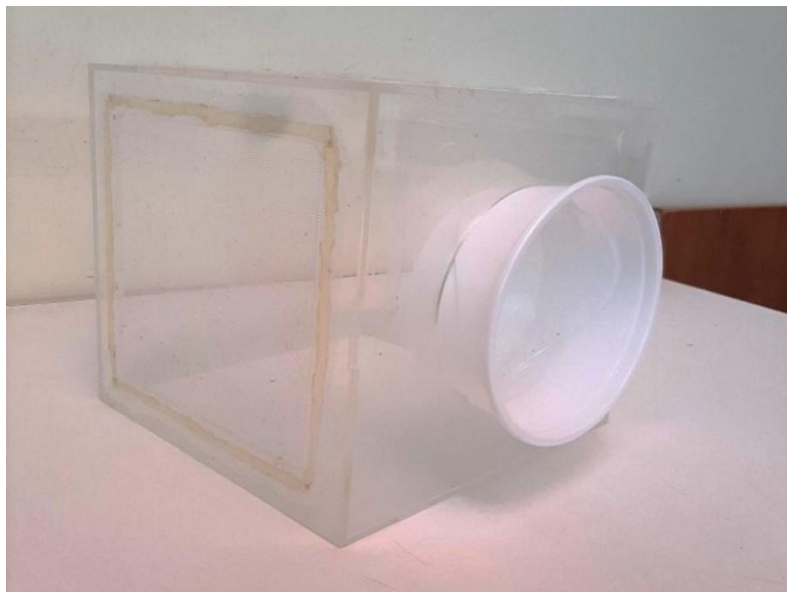


Εικόνα 2.3: Συσκευές καταγραφής πτήσης (flight mills)

2.4 Μεταχείριση εντόμων

Τα έντομα τα οποία χρησιμοποιούνταν για τα πειράματα, πριν την έξοδο τους από το νυμφικό περίβλημα, τοποθετούνταν με ανοιχτό το τρυβλίο σε κλουβί ενηλίκων plexiglass 20x20x20cm (Εικόνα 2.4) για την προσωρινή διατήρηση τους έτσι ώστε να μπορέσουν να αποφευχθούν παράγοντες καταπόνησης όπως ο συνωστισμός και να επιτευχθεί η διαλογή αρσενικών και θηλυκών και η μεταφορά των εντόμων σε ατομικά κλουβιά βάση του φυλετικού τους διαχωρισμού. Οι τρεις πλευρές του κλουβιού έφεραν οργαντίνα ώστε να εξασφαλίζεται ο κατάλληλος αερισμός των εντόμων ενώ στην τέταρτη πλευρά υπήρχε μία οπή εισόδου και εξόδου που έκλεινε με πλαστικό γιαουρτόκουτο ίσης διαμέτρου με την οπή. Τα έντομα μετά την έξοδο τους από το νυμφικό περίβλημα, διαχωρίζονταν με βάση το φύλο και με την βοήθεια ενός αναρροφητήρα εντόμων (aspirator) (Εικόνα 2.5) τοποθετούνταν σε ατομικά κλουβιά (Εικόνα 2.6) και παρέμεναν εκεί έως ότου χρησιμοποιηθούν για τα πειράματα. Τα ατομικά κλουβιά ήταν κατασκευασμένα από διαφανή πλαστικά ποτήρια χωρητικότητας 400 ml, προσαρμοσμένα σε τρυβλία Petri διαμέτρου 9 cm. Στα ποτήρια, είχε δημιουργηθεί οπή 5x5 cm την οποία κάλυπτε μια λεπτή

οργαντίνα που εξασφάλιζε τον κατάλληλο αερισμό. Στο τρυβλίο που ήταν προσαρμοσμένο στη βάση του πλαστικού ποτηριού είχε τοποθετηθεί, μέσω μιας μικρής οπής στη μέση του τρυβλίου, ένα μικρό φυτίλι σπογγοπετσίτας από το οποίο γίνονταν η παροχή νερού στο έντομο. Τα έντομα είχαν πρόσβαση σε τροφή (ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία 4:1:5 ή μόνο διάλυμα ζάχαρης σε νερό σε αναλογία 1:3), η οποία τοποθετούνταν στην οργαντίνα και στα τοιχώματα του κλουβιού. Όταν τα έντομα έφταναν στην επιθυμητή ηλικία, ακολουθούνταν συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία ώστε να προκύψουν τα αποτελέσματα.



Εικόνα 2.4: Κλουβί διατήρησης ενηλίκων (plexiglass)



Εικόνα 2.5: Συσκευή αναρρόφησης εντόμων (aspirator)



Εικόνα 2.6: Ατομικά κλουβιά ενηλίκων

2.5 Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν παραπλήσια για το σύνολο των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν. Την ημέρα διεξαγωγής του κάθε πειράματος, τα ενήλικα έντομα τοποθετούνταν σε προζυγισμένους σωλήνες μικροφυγόκεντρου χωρητικότητας 1,5 ml και επαναζυγίζονταν ώστε να προκύψει το βάρος του κάθε εντόμου. Στη συνέχεια οι σωλήνες που έφεραν τα έντομα, τοποθετούνταν σε τριμμένο πάγο (Εικόνα 2.7) για διάστημα μικρότερο των δύο λεπτών με σκοπό να αναισθητοποιηθούν τα ενήλικα. Τα αναισθητοποιημένα έντομα τοποθετούνταν σε κομμάτι απορροφητικού χαρτιού ενώ μικρή δόση θερμής κόλλας σιλικόνης εφαρμοζόταν σε εντομολογική καρφίτσα (#1) (Εικόνα 2.8) η οποία τοποθετούνταν κάθετα στο θώρακα του κάθε ενήλικου (Εικόνα 2.9). Πριν τα έντομα τοποθετηθούν στο ένα άκρο του βραχίονα κάθε συσκευής καταγραφής πτήσης, αφήνονταν να ανακάμψουν για χρονικό διάστημα πέντε έως δέκα λεπτών. Στο άλλο άκρο του βραχίονα τοποθετούνταν μια εντομολογική καρφίτσα (#1) και ένα μικρό κομμάτι αλουμινόχαρτου (ανάλογο του βάρους του κάθε εντόμου) που μεγιστοποιούσε το ερέθισμα του αισθητήρα IR αλλά λειτουργούσε και ως αντίβαρο. Μεταξύ των πειραματικών διαδικασιών γινόταν κυκλική εναλλαγή των ενηλίκων έτσι ώστε

να γίνεται ομοιόμορφη κατανομή των διαφορετικών μεταχειρίσεων στις διαφορετικές συσκευές καταγραφής πτήσης. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε σταθερή θερμοκρασία 25 °C, ενώ η διάρκεια της κάθε δοκιμής ήταν 2 ώρες. Στο τέλος κάθε πειραματικής διαδικασίας, τα έντομα τοποθετούνταν ξανά στον αντίστοιχο σωλήνα μικροφυγοκέντρωσης των 1,5 ml και καταψύχονταν στους -80 °C.



Εικόνα 2.7: Σωλήνες που φέρουν έντομα μέσα στον τριμμένο πάγο



Εικόνα 2.8: Απορροφητικό χαρτί στο οποίο θα τοποθετηθεί το αναισθητοποιημένο έντομο



Εικόνα 2.9: Έντομο κολλημένο με θερμή κόλλα σιλικόνης

Πείραμα 1: Επίδραση της ηλικίας στην πτήση των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου

Στο πρώτο πείραμα (#1) μελετήθηκε η επίδραση της ηλικίας ενήλικων της μύγας της Μεσογείου στα διαφορετικά χαρακτηριστικά της πτήσης. Για το συγκεκριμένο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν ημιάγρια έντομα, που είχαν εκτραφεί για τέσσερις με πέντε γενιές στο εργαστήριο (F₄-F₅). Οι ηλικίες που εξετάστηκαν ήταν, μίας (1), πέντε (5), δέκα (10), είκοσι (20) και σαράντα (40) ημερών. Τα έντομα αφού τοποθετούνταν στα ατομικά κλουβιά είχαν πρόσβαση σε πλήρη τροφή ενηλίκων (ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία 4:1:5) και νερό, ενώ παρέμεναν στις συγκεκριμένες συνθήκες ώσπου να φτάσουν στην επιθυμητή ηλικία και να τοποθετηθούν στις συσκευές καταγραφής πτήσης.

Πείραμα 2: Επίδραση της τροφής στην πτήση των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου

Σε αυτή την πειραματική ενότητα μελετήθηκε η επίδραση δύο διαφορετικών τροφών και δύο ηλικιών στα χαρακτηριστικά της πτήσης ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου. Χρησιμοποιήθηκαν ημιάγρια έντομα, που είχαν εκτραφεί για τέσσερις με πέντε γενιές στο εργαστήριο (F₄-F₅). Οι ηλικίες που εξετάστηκαν ήταν, πέντε (5) και δέκα (10) ημερών. Τα έντομα αφού τοποθετούνταν στα ατομικά κλουβιά είχαν πρόσβαση σε πλήρη τροφή ενηλίκων (ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία 4:1:5) και νερό ή μόνο σε διάλυμα ζάχαρης σε νερό (σε αναλογία 1:3) και νερό. Τα ενήλικα παρέμεναν στις συγκεκριμένες συνθήκες ώσπου να φτάσουν στην επιθυμητή ηλικία και να τοποθετηθούν στις συσκευές καταγραφής πτήσης.

Πείραμα 3: Επίδραση της σύζευξης στην πτήση των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου

Μελετήθηκε η επίδραση της σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν ημιάγρια έντομα τα οποία είχαν εκτραφεί στους χώρους του εργαστηρίου για εννιά γενιές (F_9). Τα ενήλικα χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες, συζευγμένα, ασύζευκτα και παρθένα. Για τον σκοπό αυτό, τα έντομα παρέμεναν στα ατομικά κλουβιά όπου τους παρέχόταν πλήρης τροφή ενηλίκων και νερού μέχρι να ωριμάσουν αναπαραγωγικά (15 μέρες). Για να προκύψουν τα συζευγμένα και ασύζευκτα άτομα, την 15^η ημέρα της ενήλικης ζωής τα ενήλικα με την βοήθεια αναρροφητήρα εντόμων τοποθετούνταν σε ατομικά κλουβιά σε ζεύγη (αρσενικό-θηλυκό) όπου παρέμεναν για 3 ώρες με συνεχή παρακολούθηση ώστε να παρατηρηθεί αν πραγματοποιήθηκε ή όχι σύζευξη. Μετά το πέρας των τριών ωρών, τα έντομα επιστρέφονταν στα αρχικά ατομικά κλουβιά τους. Για τα παρθένα έντομα, την 15^η μέρα γινόταν η μεταφορά τους σε καινούργια ατομικά κλουβιά σε ζεύγη του ίδιου φύλου όπου και παρέμειναν για 3 ώρες. Έτσι εξασφαλιζόταν η διατήρηση των παρθένων ατόμων αλλά και υπήρχε και ο παράγοντας του συνωστισμού όπως υπήρχε και στα συζευγμένα-ασύζευκτα έντομα. Μετά το πέρας των τριών ωρών, τα έντομα επιστρέφονταν στα αρχικά ατομικά κλουβιά τους. Την επόμενη (16^η) μέρα, τα ενήλικα από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις τοποθετούνταν στις συσκευές καταγραφής πτήσης.

2.6 Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα από όλα τα επιμέρους πειράματα σχετικά με το βάρος και τα χαρακτηριστικά της πτήσης αναλύθηκαν με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης ενώ για των αριθμό των πτήσεων που επιχειρήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα με την κατανομή Poisson, χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS 29.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.).

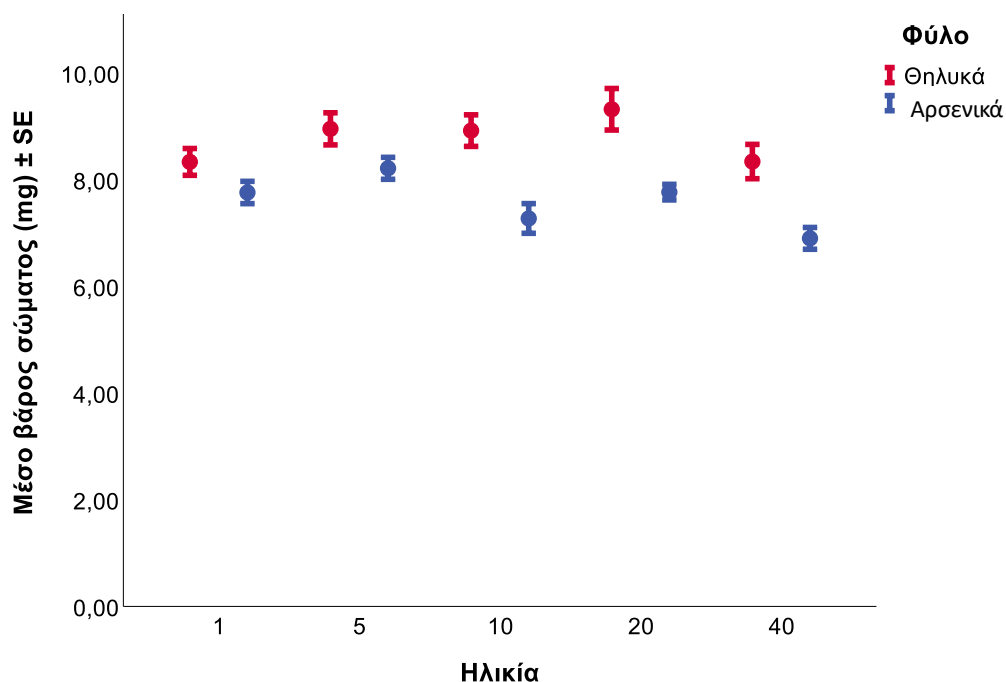
Στο πρώτο πείραμα εξετάστηκαν η ηλικία, το φύλο, το βάρος και οι αλληλεπιδράσεις τους. Στο δεύτερο πείραμα εξετάστηκαν η τροφή, το φύλο, το βάρος και οι αλληλεπιδράσεις τους και στο τρίτο πείραμα εξετάστηκε η κατάσταση σύζευξης, το φύλο, το βάρος και οι αλληλεπιδράσεις τους. Οι αλληλεπιδράσεις που δεν ήταν σημαντικές αφαιρέθηκαν από τα μοντέλα. Σε περίπτωση σημαντικότητας κάποιου παράγοντα πραγματοποιήθηκε *post hoc*

σύγκριση σε ζεύγη εφαρμόζοντας το κριτήριο LSD (Least Significant Difference).

3. Αποτελέσματα

3.1 Πείραμα 1: Επίδραση του φύλου και της ηλικίας στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων του μύγας της Μεσογείου

Στο Διάγραμμα 3.1 δίνεται το μέσο βάρος των θηλυκών και αρσενικών ενηλίκων στις 5 διαφορετικές ηλικίες (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Τόσο το φύλο όσο και η ηλικία επηρέασαν σημαντικά το βάρος των ενηλίκων (Πίνακας 1), με τα θηλυκά να είναι βαρύτερα από τα αρσενικά. Τα ενήλικα των 40 ημερών ήταν ελαφρύτερα από τα έντομα των άλλων ηλικιών ενώ τα έντομα ηλικίας 5 και 20 ημερών ήταν σημαντικά βαρύτερα.



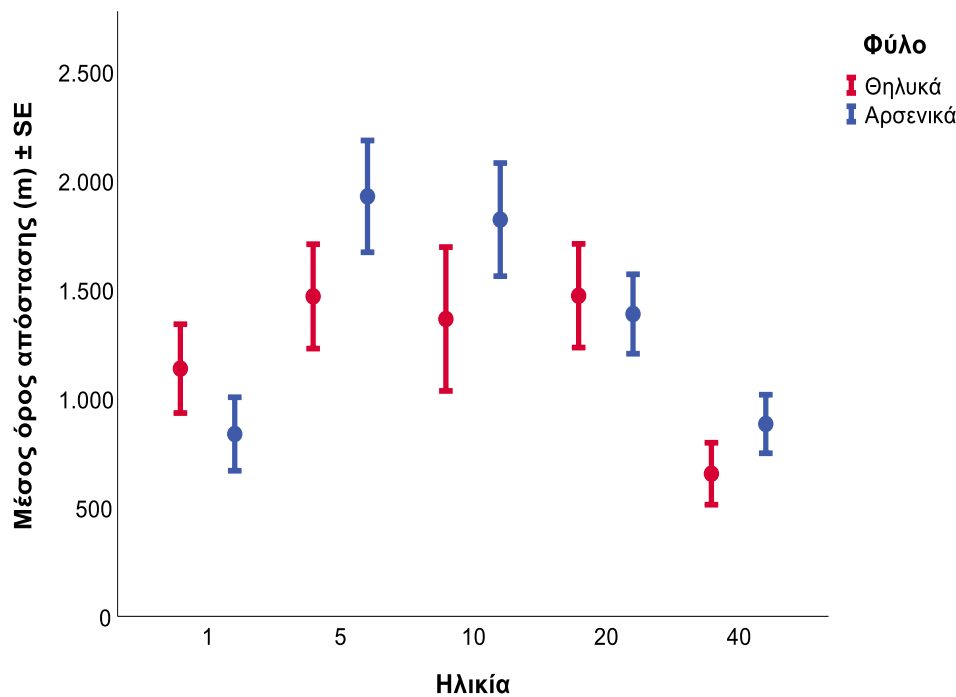
Διάγραμμα 3.1: Μέσος όρος του βάρους των θηλυκών και αρσενικών ενηλίκων από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει 15 άτομα και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Πίνακας 1: Επίδραση της ηλικίας, του φύλου και του βάρους στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου

		Wald Chi-Square	df	p-Value
Βάρος	Φύλο	50.064	1	<0,001
	Ηλικία	17.883	4	0.001

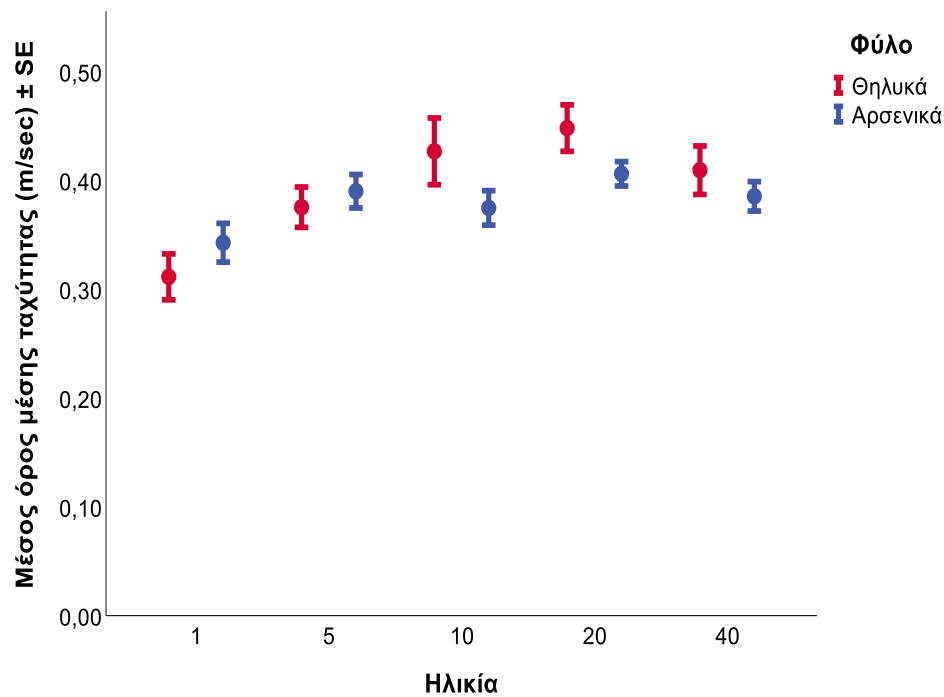
Απόσταση				
Φύλο	4.327	1	0.038	
Ηλικία	20.241	4	<0,001	
Βάρος	4.967	1	0.026	
Μέση ταχύτητα				
Φύλο	0.220	1	0.639	
Ηλικία	29.803	4	<0,001	
Βάρος	9.268	1	0.002	
Μέγιστη ταχύτητα				
Φύλο	4.000	1	0.045	
Ηλικία	11.293	4	0.023	
Βάρος	9.523	1	0.002	
Διάρκεια πτήσης				
Φύλο	6.450	1	0.011	
Ηλικία	19.975	4	0.001	
Βάρος	6.582	1	0.010	
Φύλο*Ηλικία	11.531	4	0.021	
Αριθμός πτήσεων				
Φύλο	19.327	1	<0,001	
Ηλικία	16.506	4	0.002	
Βάρος	0.295	1	0.587	
Φύλο*Ηλικία	92.998	4	<0,001	
Ηλικία*Βάρος	17.982	4	0.001	

Στο Διάγραμμα 3.2 δίνεται ο μέσος όρος της απόστασης που καλύφθηκε από θηλυκά και αρσενικά ενήλικα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Το φύλο, η ηλικία αλλά και το βάρος επέδρασαν σημαντικά στην απόσταση που καλύφθηκε από τα έντομα (Πίνακας 1). Τα βαρύτερα έντομα καλύψαν μεγαλύτερη απόσταση ανεξάρτητα από το φύλο ενώ τα θηλυκά κάλυψαν μικρότερη απόσταση από τα αρσενικά. Όσον αφορά την ηλικία, τα έντομα ηλικίας μίας και 40 ημερών κάλυψαν μικρότερες αποστάσεις ενώ τα έντομα των 5 ημερών κάλυψαν τις μεγαλύτερες αποστάσεις.

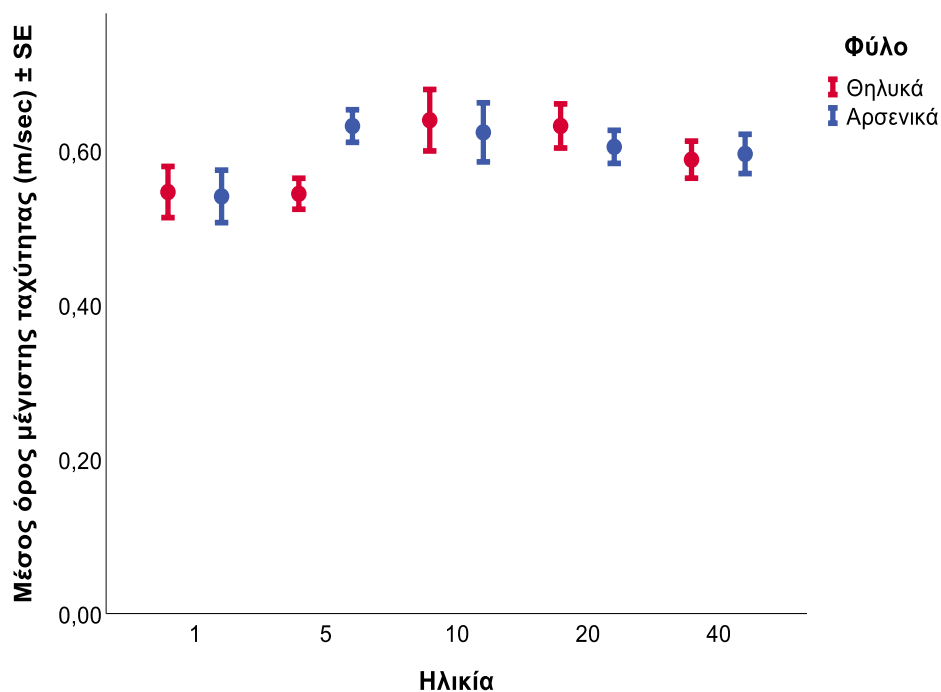


Διάγραμμα 3.2: Μέσος όρος της απόστασης που καλύφθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στο Διάγραμμα 3.3 δίνεται η μέση ταχύτητα που ανέπτυξαν τα ενήλικα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Η ηλικία και το βάρος φαίνεται να έχουν σημαντική επίδραση στη μέση ταχύτητα που ανέπτυξαν τα έντομα (Πίνακας 1), με τα βαρύτερα έντομα να αναπτύσσουν μεγαλύτερη ταχύτητα. Η ταχύτητα αυξήθηκε με την αύξηση της ηλικίας ενώ μεγαλύτερη μέση ταχύτητα ανέπτυξαν τα έντομα ηλικίας 20 ημερών. Παράλληλα στο Διάγραμμα 3.4 δίνεται η μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξαν τα ενήλικα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 05, 10, 20 και 40 ημερών). Όλοι οι παράγοντες που εξετάστηκαν επηρέασαν σημαντικά τη μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξαν τα ενήλικα (Πίνακας 1). Τα βαρύτερα έντομα ανέπτυξαν υψηλότερη μέγιστη ταχύτητα ανεξάρτητα από το φύλο και την ηλικία τους, ωστόσο τα θηλυκά ανέπτυξαν μικρότερη ταχύτητα από τα αρσενικά. Τα ενήλικα των μικρότερων ηλικιών ανέπτυξαν μικρότερη μέγιστη ταχύτητα από αυτά των μεγαλύτερων ηλικιών.

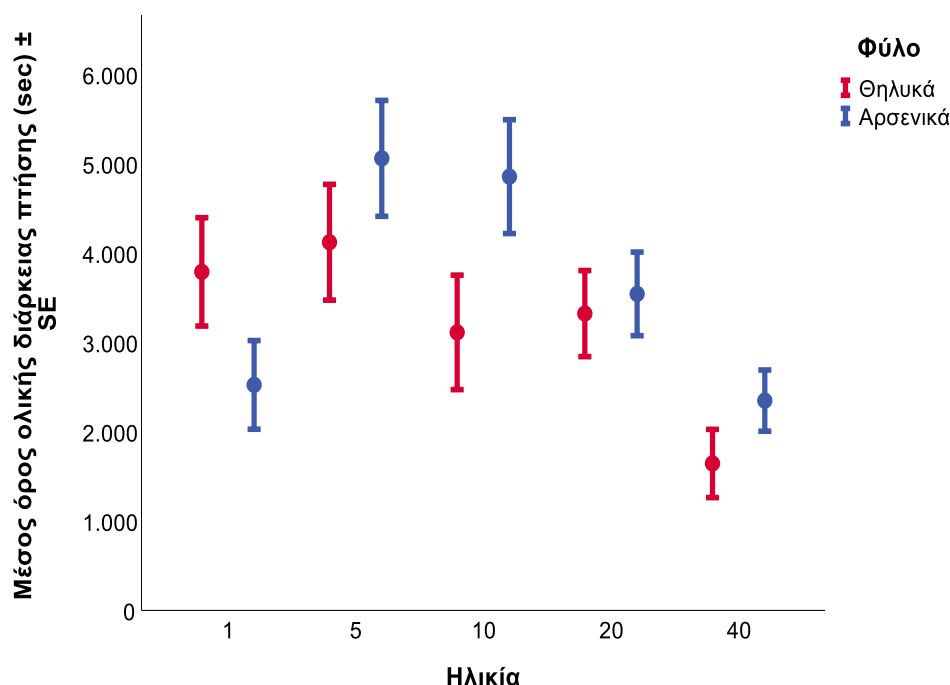


Διάγραμμα 3.3: Μέσος όρος της μέσης ταχύτητας που αναπτύχθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου



Διάγραμμα 3.4: Μέσος όρος μέγιστης ταχύτητας που αναπτύχθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

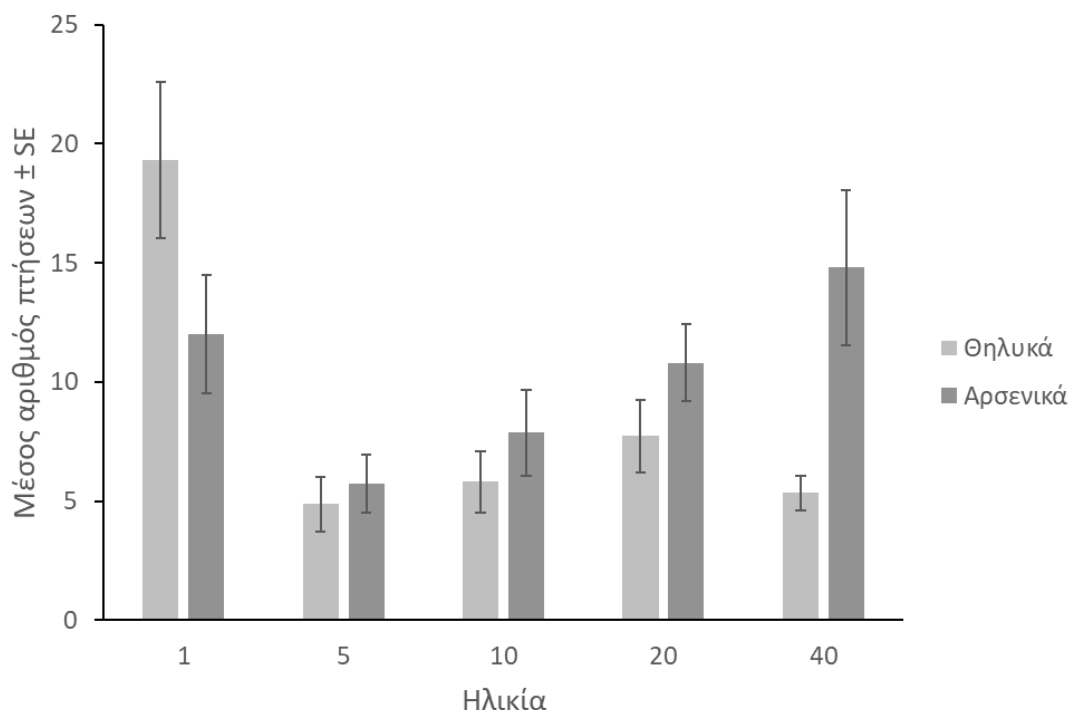
Στο Διάγραμμα 3.5 δίνεται η συνολική διάρκεια πτήσης των εντόμων από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Όλοι οι παράγοντες που εξετάστηκαν αλλά και από την αλληλεπίδραση του φύλου και της ηλικίας επέδρασαν σημαντικά στη διάρκεια πτήσης των ενηλίκων (Πίνακας 1). Τα βαρύτερα έντομα πέταξαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ανεξάρτητα από το φύλο και την ηλικία, ενώ τα θηλυκά είχαν μικρότερη διάρκεια πτήσης. Τα έντομα ηλικίας μίας και 40 ημερών πέταξαν για μικρότερο χρονικό διάστημα ενώ η μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης αναφέρθηκε στα έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών.



Διάγραμμα 3.5: Μέσος όρος ολικής διάρκειας πτήσης των θηλυκών και αρσενικών εντόμων από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στο Διάγραμμα 3.6 δίνεται ο μέσος αριθμός πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα ενήλικα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών). Ο αριθμός των πτήσεων επηρεάστηκε από την ηλικία, το φύλο, τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση αλλά και από την αλληλεπίδραση της ηλικίας με το βάρος (Πίνακας 1). Τα θηλυκά άτομα επιχειρήσαν μικρότερο

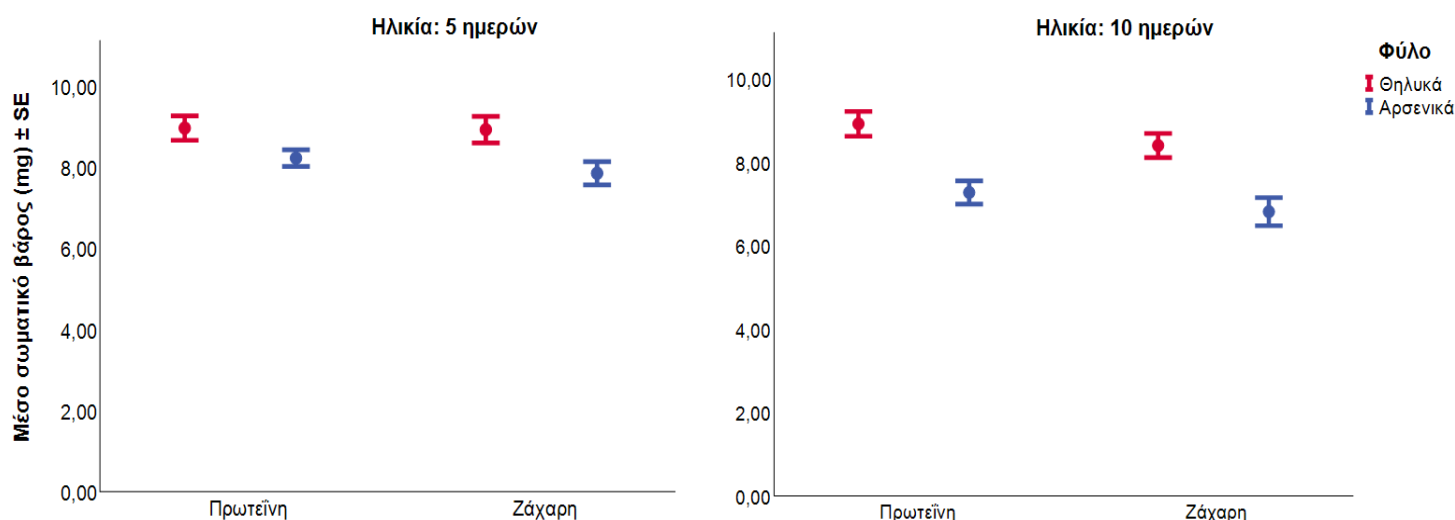
αριθμό πτήσεων από τα αρσενικά ενώ τα ενήλικα των μιας και 40 ημερών επιχείρησαν σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό πτήσεων.



Διάγραμμα 3.6: Μέσος αριθμός πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα θηλυκά και αρσενικά έντομα από τις πέντε διαφορετικές ηλικίες που εξετάστηκαν (1, 5, 10, 20 και 40 ημερών).

3.2 Πείραμα 2: Επίδραση του φύλου και της τροφής στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων του μύγας της Μεσογείου

Στο Διάγραμμα 3.7 δίνεται το μέσο βάρος των θηλυκών και αρσενικών εντόμων ηλικίας 5 και 10 ημερών που τράφηκαν σε δύο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Τόσο στα ενήλικα των 5 ημερών όσο και σε εκείνα των 10 ημερών το φύλο ήταν ο καθοριστικός παράγοντας που επηρέασε το βάρος των ενηλίκων (Πίνακας 2 και 3), με τα θηλυκά να είναι πάντα βαρύτερα από τα αρσενικά. Ακόμη τα έντομα ηλικίας 5 ημερών είχαν αυξημένο βάρος σε σχέση με εκείνα των 10 ημερών ανεξάρτητα από την τροφή στην οποία είχαν πρόσβαση.



Διάγραμμα 3.7: Μέσος όρος του βάρους των θηλυκών και αρσενικών εντόμων ηλικίας 5 και 10 ημερών που τράφηκαν σε δυο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει 15 άτομα και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Πίνακας 2: Επίδραση του φύλου, της τροφής και του βάρους στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων ηλικίας 5 ημερών της μύγας της Μεσογείου

	Wald Chi-Square	df	p-Value
Βάρος			
Φύλο	10.927	1	0.001
Τροφή	0.568	1	0.451
Απόσταση			
Φύλο	0.013	1	0.909
Τροφή	0.223	1	0.637
Βάρος	0.25	1	0.617
Φύλο*Τροφή	3.535	1	0.060
Μέση ταχύτητα			
Φύλο	1.024	1	0.311
Τροφή	5.48	1	0.019
Βάρος	0.388	1	0.533
Φύλο*Τροφή	4.383	1	0.036
Μέγιστη ταχύτητα			
Φύλο	3.505	1	0.061
Τροφή	2.163	1	0.141
Βάρος	0.637	1	0.425
Φύλο*Τροφή	5.713	1	0.017
Φύλο*Βάρος	2.984	1	0.084
Διάρκεια πτήσης			
Φύλο	0	1	1
Τροφή	0.242	1	0.623
Βάρος	0.067	1	0.796
Φύλο*Τροφή	1.896	1	0.169

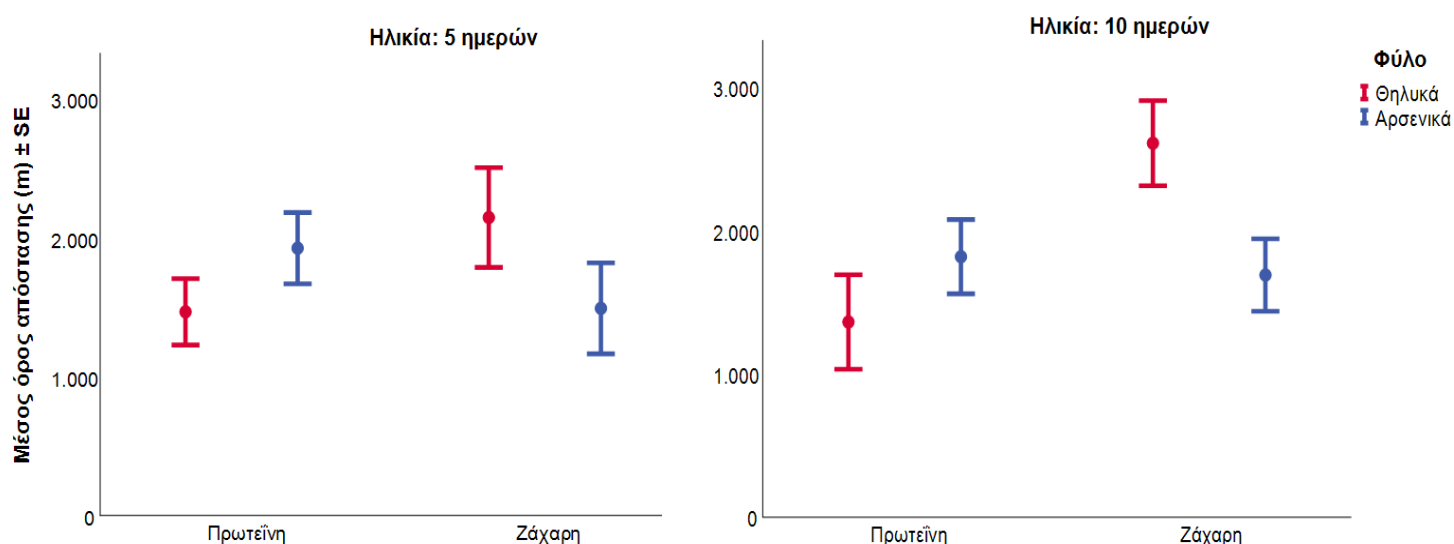
Αριθμός πτήσεων			
Φύλο	0.095	1	0.757
Τροφή	2.889	1	0.089
Βάρος	0.714	1	0.398

Πίνακας 3: Επίδραση του φύλου, της τροφής και του βάρους στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων ηλικίας 10 ημερών της μύγας της Μεσογείου

	Wald Chi-Square	df	p-Value
Βάρος			
Φύλο	30.868	1	<0,001
Τροφή	2.836	1	0.092
Απόσταση			
Φύλο	0.32	1	0.571
Τροφή	6.354	1	0.012
Βάρος	4.788	1	0.029
Φύλο*Τροφή	6.829	1	0.009
Μέση ταχύτητα			
Φύλο	0.84	1	0.359
Τροφή	4.123	1	0.042
Βάρος	5.631	1	0.018
Φύλο*Τροφή	0.202	1	0.653
Μέγιστη ταχύτητα			
Φύλο	10.636	1	0.001
Τροφή	0.225	1	0.636
Βάρος	8.9	1	0.003
Φύλο*Τροφή	0.536	1	0.464
Φύλο*Βάρος	11.242	1	0.001
Διάρκεια πτήσης			
Φύλο	2.008	1	0.156
Τροφή	4.768	1	0.029
Βάρος	4.095	1	0.043
Φύλο*Τροφή	8	1	<0,001
Αριθμός πτήσεων			
Φύλο	1.524	1	0.217
Τροφή	3.198	1	0.074
Βάρος	0.15	1	0.699

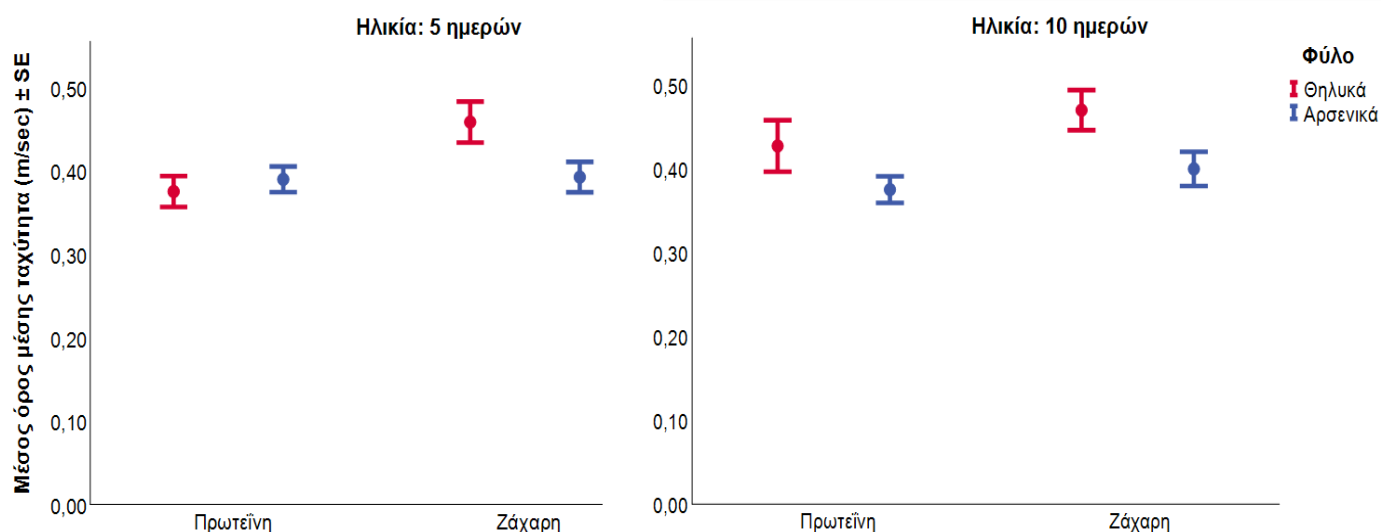
Στο Διάγραμμα 3.8 δίνεται η μέση απόσταση που κάλυψαν τα ενήλικα ηλικίας 5 και 10 ημερών που τράφηκαν σε δύο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Στα ενήλικα των 5 ημερών φαίνεται πως κανένας από τους παράγοντες που εξετάστηκαν δεν επέδρασε σημαντικά στην απόσταση που καλύφθηκε από τα ενήλικα. Αντίθετα, τα ενήλικα των 10 ημερών η τροφή, το βάρος αλλά και η αλληλεπίδραση του φύλου με την τροφή,

επέδρασαν σημαντικά στην απόσταση που κάλυψαν τα ενήλικα (Πίνακας 3). Τα ενήλικα που είχαν πρόσβαση σε πρωτεΐνη κάλυψαν μεγαλύτερες αποστάσεις όπως και εκείνα που ήταν βαρύτερα, ανεξάρτητα από το φύλο τους. Ακόμη, τα θηλυκά που τράφηκαν με ζάχαρη κάλυψαν σημαντικά μεγαλύτερη απόσταση από τα θηλυκά που τράφηκαν με πρωτεΐνη.



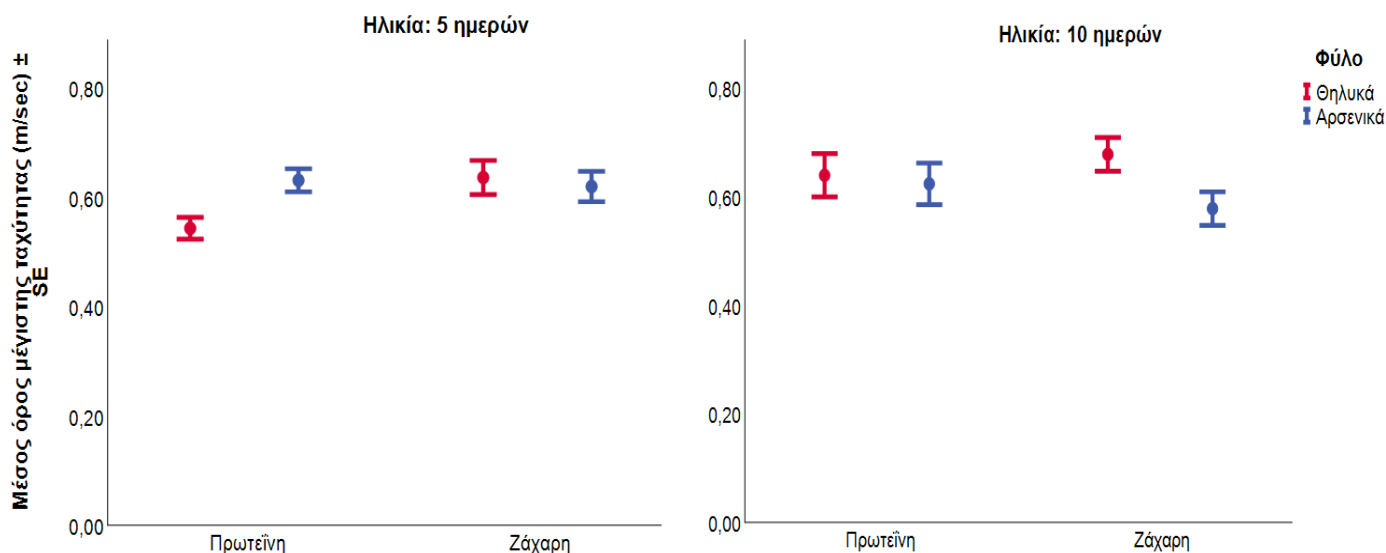
Διάγραμμα 3.8: Μέσος όρος της απόστασης που καλύφθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών που διατράφηκαν σε δυο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει 15 άτομα και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου.

Στο Διάγραμμα 3.9 δίνεται η μέση ταχύτητα που ανέπτυξαν τα έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών που τράφηκαν σε δύο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Στα έντομα ηλικίας 5 ημερών, η τροφή και η αλληλεπίδραση φύλου τροφής επέδρασαν σημαντικά στη μέση ταχύτητα που ανέπτυξαν τα ενήλικα (Πίνακας 2). Τα έντομα που τράφηκαν με ζάχαρη ανέπτυξαν σημαντικά μεγαλύτερη μέση ταχύτητα, ενώ τα θηλυκά που τράφηκαν με ζάχαρη ανέπτυξαν σημαντικά μεγαλύτερη μέση ταχύτητα από όλα τα υπόλοιπα. Στα ενήλικα 10 ημερών, η τροφή και το βάρος ήταν οι σημαντικότεροι παράγοντες πρόβλεψης για τη μέση ταχύτητα που ανέπτυξαν τα έντομα (Πίνακας 3) με τα ενήλικα που τράφηκαν με ζάχαρη να αναπτύσσουν μεγαλύτερη μέση ταχύτητα, όπως και τα έντομα με μεγαλύτερο βάρος, ανεξάρτητα από το φύλο τους.



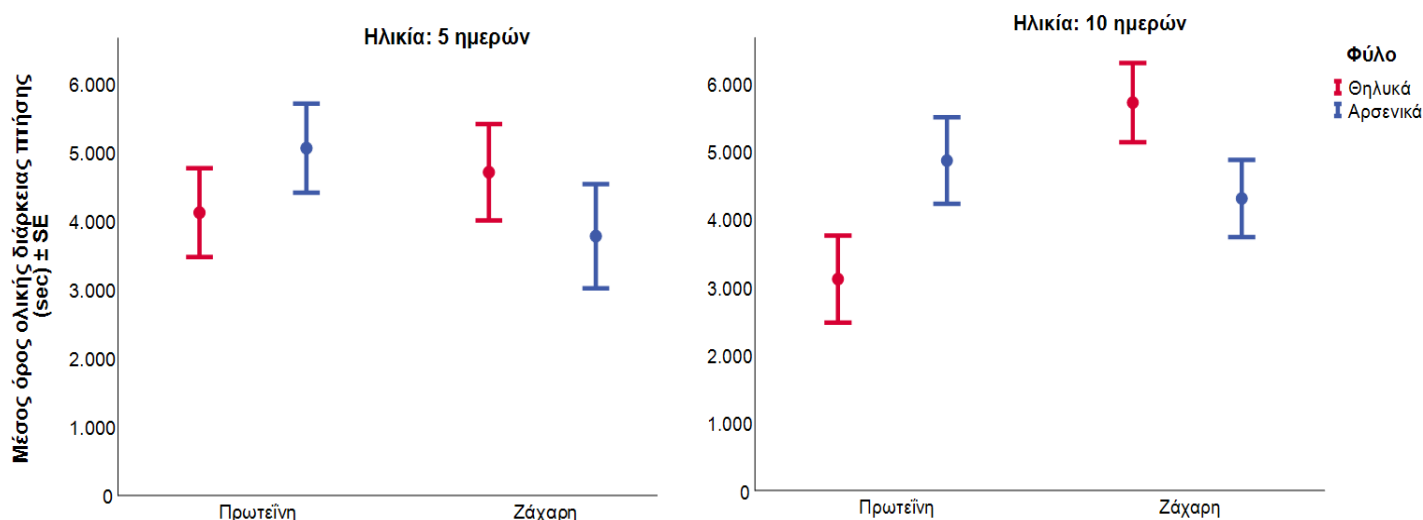
Διάγραμμα 3.9: Μέσος όρος της μέσης ταχύτητας που αναπτύχθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών που διατράφηκαν σε δυο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει 15 άτομα και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στο Διάγραμμα 3.10 δίνεται η μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξαν τα έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών που τράφηκαν σε δύο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Στα έντομα ηλικίας 5 ημερών, μόνο η αλληλεπίδραση φύλου τροφής επέδρασε σημαντικά στη μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξαν τα ενήλικα (Πίνακας 2). Τα θηλυκά έντομα που τράφηκαν με πρωτεΐνη ανέπτυξαν σημαντικά μικρότερη μέγιστη ταχύτητα σε σχέση με τα υπόλοιπα έντομα. Στα ενήλικα 10 ημερών, το φύλο, το βάρος και η μεταξύ τους αλληλεπίδραση, επέδρασαν σημαντικά στη μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξαν τα έντομα (Πίνακας 3) με τα θηλυκά να αναπτύσσουν μεγαλύτερη μέγιστη ταχύτητα. Επίσης η αύξηση του βάρους των ενηλίκων είχε θετική επίδραση στη μέγιστη ταχύτητα.



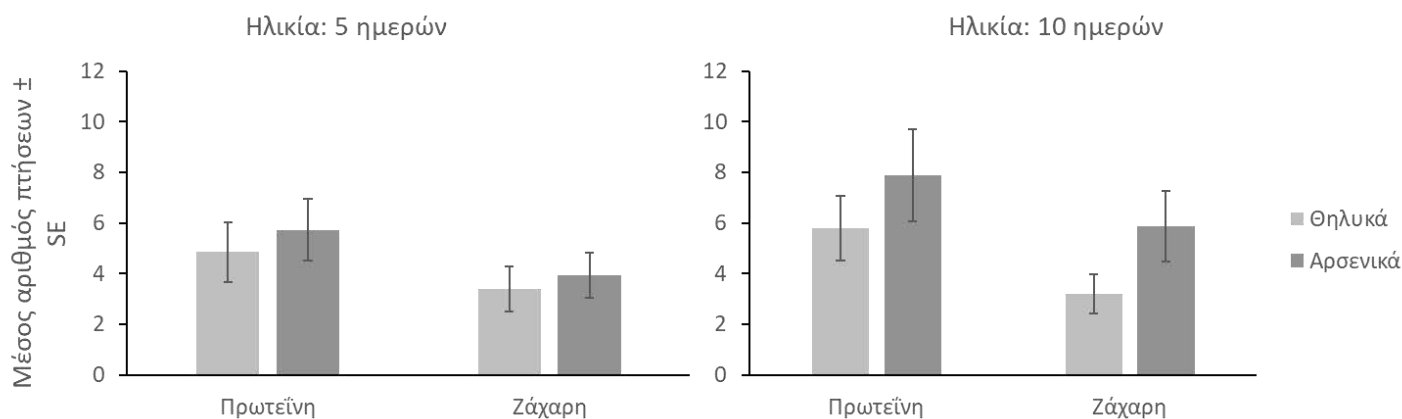
Διάγραμμα 3.10: Μέσος όρος μέγιστης ταχύτητας που αναπτύχθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών που διατράφηκαν σε δυο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει 15 άτομα και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στο Διάγραμμα 3.11 δίνεται η συνολική διάρκεια πτήσης των εντόμων ηλικίας 5 και 10 ημερών που τράφηκαν σε δύο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Στα ενήλικα των 5 ημερών φαίνεται πως κανένας από τους παράγοντες που εξετάστηκαν δεν επέδρασε σημαντικά στη συνολική διάρκεια πτήσης των ενηλίκων (Πίνακας 2). Αντίθετα, στα ενήλικα των 10 ημερών η τροφή, το βάρος αλλά και η αλληλεπίδραση του φύλου με την τροφή, επέδρασαν σημαντικά στη συνολική διάρκεια πτήσης τους (Πίνακας 3). Από την ανάλυση προέκυψε ότι τα ενήλικα που είχαν πρόσβαση σε πρωτεΐνη πέταξαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με αυτά που είχαν πρόσβαση σε ζάχαρη ενώ τα θηλυκά που τράφηκαν σε ζάχαρη είχαν μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης από τα θηλυκά που τράφηκαν με πρωτεΐνη. Ακόμη, τα βαρύτερα έντομα είχαν πτήσεις μεγαλύτερης διάρκειας.



Διάγραμμα 3.11: Μέσος όρος ολικής διάρκειας πτήσης των θηλυκών και αρσενικών εντόμων ηλικίας 5 και 10 ημερών που διατράφηκαν σε δυο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει 15 άτομα και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

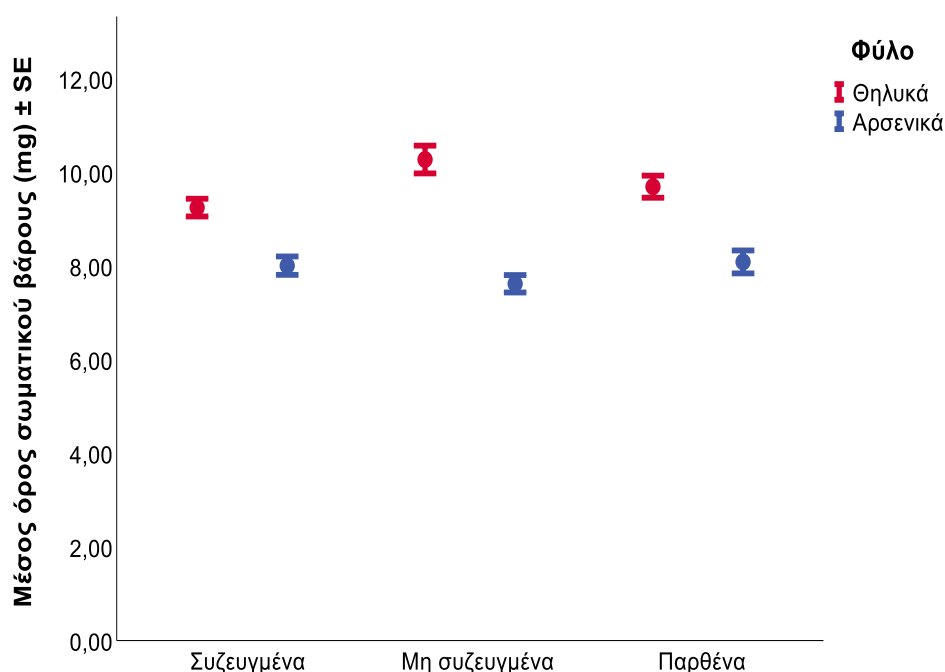
Στο Διάγραμμα 3.12 δίνεται ο μέσος αριθμός των πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών που τράφηκαν σε δύο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης). Τόσο στα ενήλικα των 5 ημερών όσο και σε εκείνα των 10 ημερών, φαίνεται πως κανένας από τους παράγοντες που εξετάστηκαν δεν επέδρασε σημαντικά στον αριθμό των πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα ενήλικα (Πίνακας 2 και 3).



Διάγραμμα 3.12: Μέσος αριθμός πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα θηλυκά και αρσενικά έντομα ηλικίας 5 και 10 ημερών που διατράφηκαν σε δυο διαφορετικές τροφές (ζάχαρη ή μίγμα ζάχαρης-πρωτεΐνης)

3.3 Πείραμα 3: Επίδραση του φύλου και της κατάστασης σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων του μύγας της Μεσογείου

Στο Διάγραμμα 3.13 δίνεται ο μέσος όρος του βάρους των ενήλικων εντόμων από τις διαφορετικές καταστάσεις σύζευξης (συζευγμένα, μη συζευγμένα και παρθένα). Τόσο το φύλο όσο και η αλληλεπίδραση φύλου και κατάστασης σύζευξης επηρέασαν σημαντικά το βάρος των ενηλίκων (Πίνακας 4), με τα θηλυκά να είναι βαρύτερα από τα αρσενικά και τα μη συζευγμένα θηλυκά να είναι σημαντικά βαρύτερα από τα έντομα των άλλων μεταχειρίσεων.



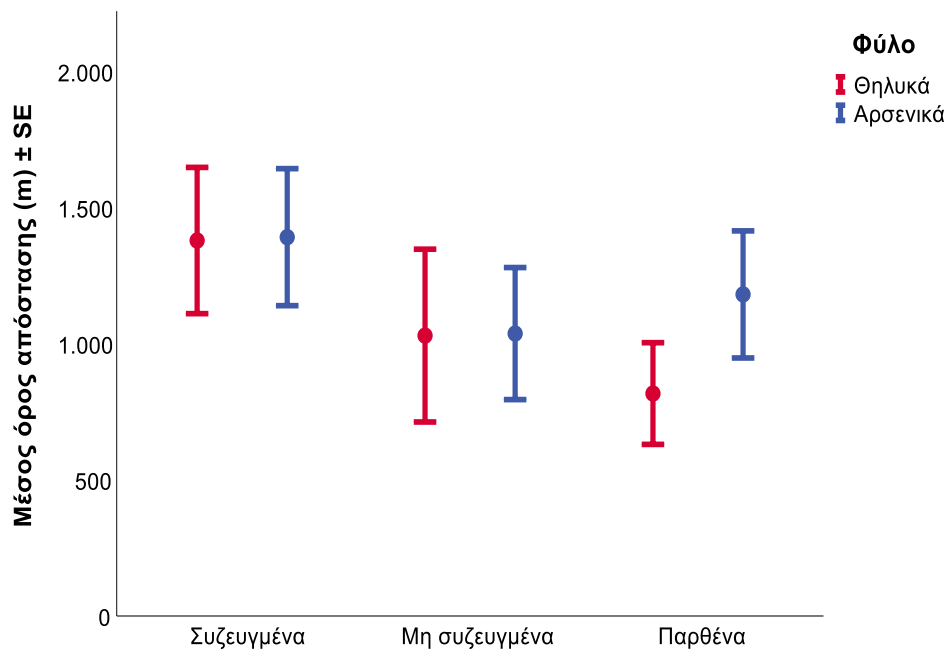
Διάγραμμα 3.13: Μέσος όρος του βάρους των θηλυκών και αρσενικών ενηλίκων ανάλογα με το αν συζεύχθηκαν επιτυχώς ή όχι ή αν ήταν παρθένα. Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει 15 άτομα και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Πίνακας 4: Επίδραση του φύλου και της κατάστασης σύζευξης στα χαρακτηριστικά της πτήσης των ενηλίκων του μύγας της Μεσογείου

	Wald Chi-Square	df	p-Value
Βάρος			
Φύλο	10.348	1.000	<0,001
Κατάσταση σύζευξης	2.398	2.000	0.302
Φύλο*Κατάσταση σύζευξης	11.059	2.000	0.004

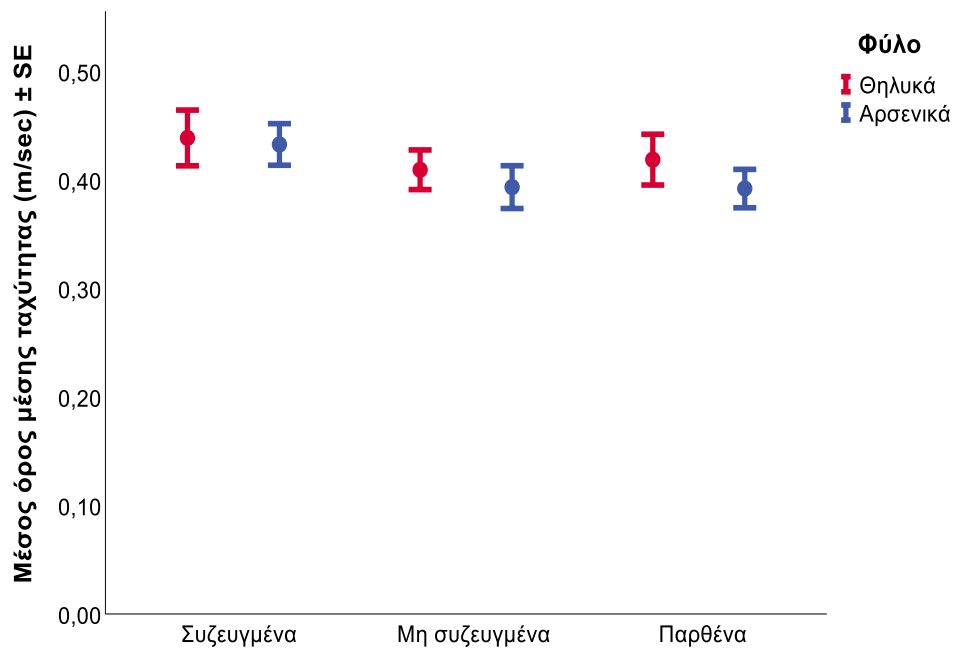
Απόσταση			
Φύλο	3.190	1.000	0.074
Κατάσταση σύζευξης	4.128	2.000	0.127
Βάρος	3.488	1.000	0.062
Μέση ταχύτητα			
Φύλο	0.729	1.000	0.393
Κατάσταση σύζευξης	3.257	2.000	0.196
Βάρος	0.052	1.000	0.820
Μέγιστη ταχύτητα			
Φύλο	0.000	1.000	0.986
Κατάσταση σύζευξης	0.340	2.000	0.844
Βάρος	0.016	1.000	0.900
Διάρκεια πτήσης			
Φύλο	2.956	1.000	0.086
Κατάσταση σύζευξης	1.715	2.000	0.424
Βάρος	2.349	1.000	0.125
Αριθμός πτήσεων			
Φύλο	0.673	1.000	0.412
Κατάσταση σύζευξης	5.263	2.000	0.072
Βάρος	1.028	1.000	0.311

Στο Διάγραμμα 3.14 δίνεται η απόσταση που κάλυψαν τα ενήλικα από τις διαφορετικές καταστάσεις σύζευξης (συζευγμένα, μη συζευγμένα και παρθένα). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι κανένας από τους παράγοντες που εξετάστηκαν δεν επέδρασε σημαντικά στην απόσταση που κάλυψαν τα ενήλικα (Πίνακας 4).

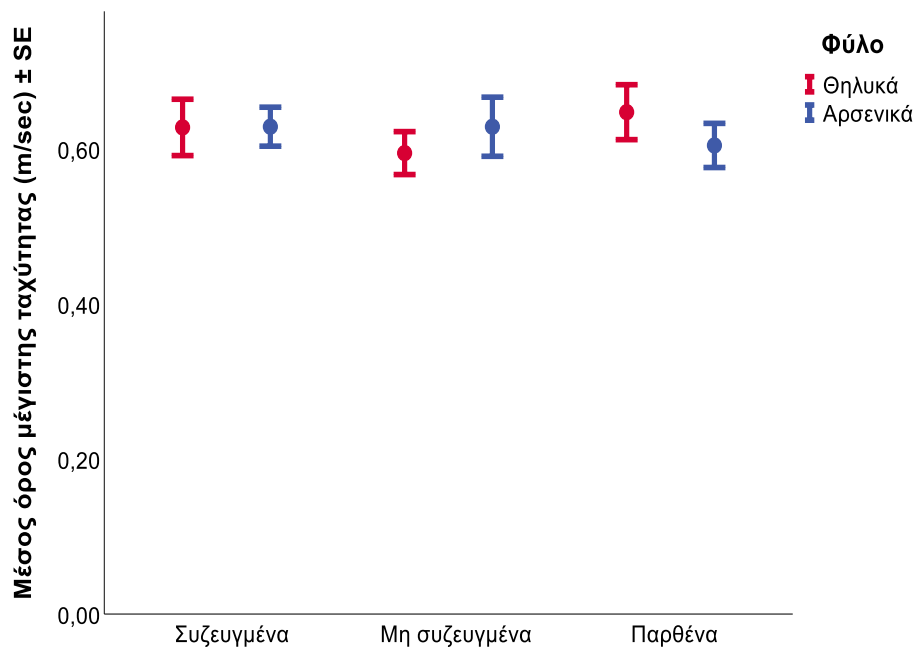


Διάγραμμα 3.14: Μέσος όρος της απόστασης που καλύφθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα ανάλογα με το αν συζεύχθηκαν ή όχι ή αν ήταν παρθένα. Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στα Διαγράμματα 3.15 και 3.16 δίνεται η μέση και μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξαν τα ενήλικα αντίστοιχα από τις διαφορετικές καταστάσεις σύζευξης (συζευγμένα, μη συζευγμένα και παρθένα). Κανένας από τους παράγοντες που εξετάστηκαν δεν επέδρασε σημαντικά στη μέση και μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξαν τα ενήλικα (Πίνακας 4).

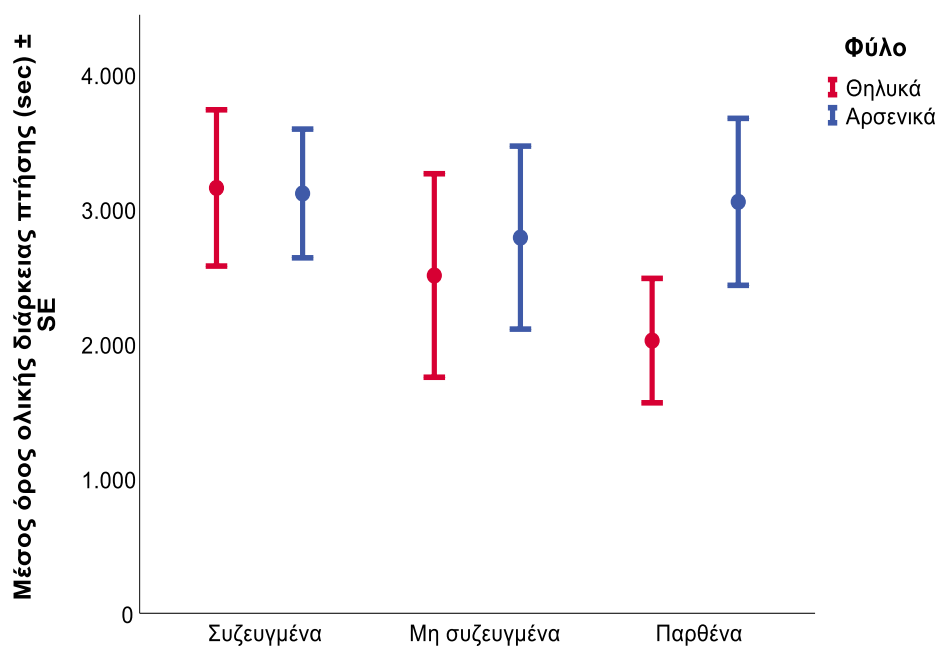


Διάγραμμα 3.15: Μέσος όρος της μέσης ταχύτητας που αναπτύχθηκε από θηλυκά και αρσενικά ανάλογα με το αν συζεύχθηκαν ή όχι ή αν ήταν παρθένα. Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου



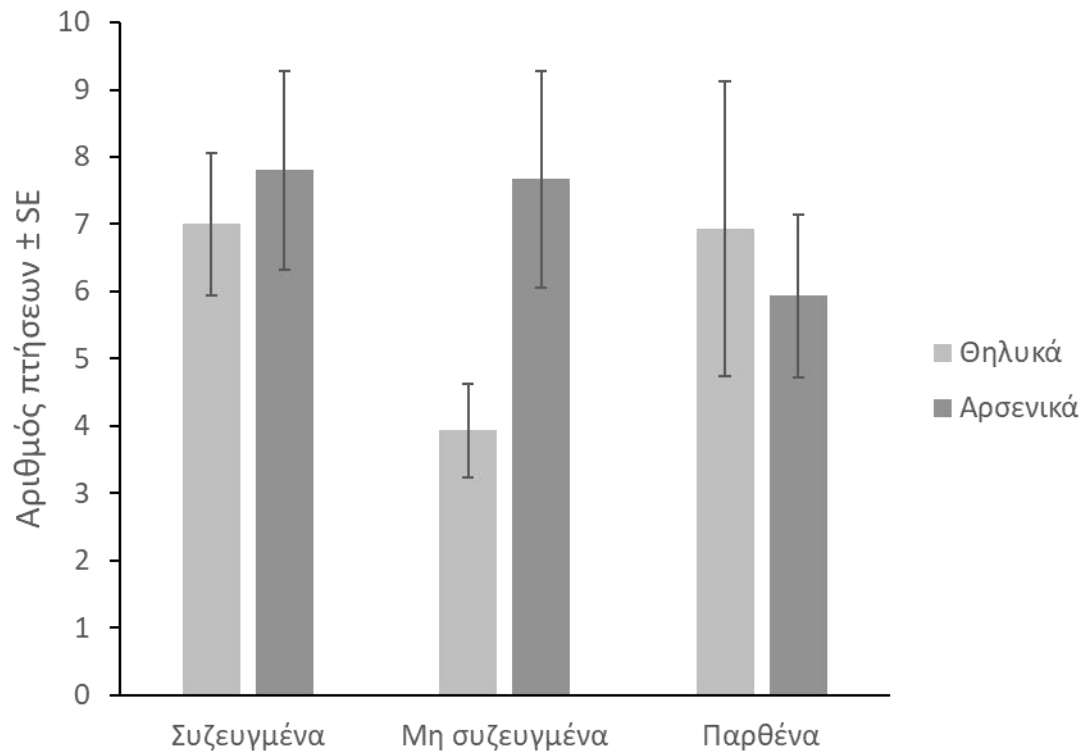
Διάγραμμα 3.16: Μέσος όρος μέγιστης ταχύτητας που αναπτύχθηκε από θηλυκά και αρσενικά έντομα ανάλογα με το αν συζεύχθηκαν επιτυχώς ή όχι ή αν ήταν παρθένα. Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στα Διαγράμματα 3.17 δίνεται η συνολική διάρκεια πτήσης των ενηλίκων από τις διαφορετικές καταστάσεις σύζευξης (συζευγμένα, μη συζευγμένα και παρθένα). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι κανένας από τους παράγοντες που εξετάστηκαν δεν επέδρασε σημαντικά στη συνολική διάρκεια πτήσης των ενηλίκων (Πίνακας 4).



Διάγραμμα 3.17: Μέσος όρος ολικής διάρκειας πτήσης των θηλυκών και αρσενικών εντόμων ανάλογα με το αν συζεύχθηκαν ή όχι ή αν ήταν παρθένα. Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τα 15 άτομα που δοκιμάστηκαν και οι γραμμές σφάλματος αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου

Στα Διαγράμματα 3.18 δίνεται ο μέσος αριθμός πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα ενήλικα από τις διαφορετικές καταστάσεις σύζευξης (συζευγμένα, μη συζευγμένα και παρθένα). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι κανένας από τους παράγοντες που εξετάστηκαν δεν επέδρασε σημαντικά στον αριθμό των πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα ενήλικα (Πίνακας 4).



Διάγραμμα 3.6: Μέσος αριθμός πτήσεων που επιχειρήθηκαν από τα θηλυκά και αρσενικά έντομα από τις τρεις διαφορετικές καταστάσεις σύζευξης που εξετάστηκαν (συζευγμένα, μη συζευγμένα και παρθένα)

4. Συζήτηση

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής διατριβής, προκύπτει ότι σύμφωνα με το Πείραμα 1 και οι τρεις παράγοντες που εξετάστηκαν (βάρος, φύλο, ηλικία), επηρέασαν τα χαρακτηριστικά πτήσης της μύγας της Μεσογείου. Αναλυτικότερα, τα βαρύτερα έντομα κάλυψαν μεγαλύτερες αποστάσεις αναπτύσσοντας υψηλότερη μέση και μέγιστη ταχύτητα και πετώντας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ωστόσο τα θηλυκά κάλυψαν μικρότερες αποστάσεις, ανέπτυξαν μικρότερη ταχύτητα και πέταξαν για μικρότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα αρσενικά. Επίσης, τα θηλυκά επιχείρησαν μικρότερο αριθμό πτήσεων. Σε γενικές γραμμές η αύξηση της ηλικίας είχε θετική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης ενώ στα έντομα μιας και σαράντα ημερών καταγράφηκαν οι μικρότερες αποστάσεις και η μικρότερη διάρκεια πτήσης. Σύμφωνα με το Πείραμα 2, τόσο η τροφή όσο και το βάρος φάνηκε να έχουν σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης. Και σε αυτή την περίπτωση η αύξηση του βάρους επέδρασε θετικά στην ικανότητα πτήσης των ενηλίκων, κυρίως στα έντομα ηλικίας 10 ημερών. Όσον αφορά την τροφή, τα έντομα που τράφηκαν με πρωτεΐνη κάλυψαν μεγαλύτερη απόσταση και πέταξαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ενώ αυτά που τράφηκαν με ζάχαρη ανέπτυξαν μεγαλύτερες ταχύτητες. Παρόλα αυτά τα θηλυκά που τράφηκαν σε ζάχαρη κάλυψαν σημαντικά μεγαλύτερες αποστάσεις και πέταξαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα θηλυκά που τράφηκαν σε πρωτεΐνη. Σύμφωνα με το Πείραμα 3, κανένας από τους προς εξέταση παράγοντες δεν είχε σημαντική επίδραση στην ικανότητα πτήσης των ενηλίκων. Σε όλα τα πειράματα, το φύλο είχε σημαντική επίδραση στο βάρος των ενηλίκων με τα θηλυκά να είναι βαρύτερα από τα αρσενικά έντομα.

Το βάρος αποτέλεσε πολύ σημαντικό παράγοντα πρόβλεψης της ικανότητας πτήσης των εντόμων καθώς προέκυψε, ότι είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την απόσταση, τη μέση και μέγιστη ταχύτητα και τη διάρκεια πτήσης. Τα αποτελέσματά μας συμφωνούν με αυτά των Malod et al. (2023) όπου μελετήθηκε η ικανότητα πτήσης της μύγας της Μεσογείου και δύο ειδών του γένους *Bactrocera* (*Bactrocera dorsalis* και *B. zonata*) που είχαν πρώτα υποστεί θερμικό εγκλιματισμό. Σε έρευνα των Makumbe et al. (2020), που

εξετάστηκε η επίδραση ορισμένων παραγόντων στα χαρακτηριστικά της πτήσης του εντόμου *B. dorsalis*, σε διαφορετικές θερμοκρασίες, φάνηκε ότι το βάρος είχε σημαντική επίδραση στην απόσταση που κάλυψαν τα έντομα ενώ δεν επέδρασε στη μέση και μέγιστη ταχύτητα αλλά ούτε και στη διάρκεια πτήσης.

Η ηλικία όπως αναφέρθηκε είχε σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της πτήσης. Τα έντομα μικρότερης και μεγαλύτερης ηλικίας φάνηκε να έχουν χαμηλότερη ικανότητα πτήσης. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Sharp and Chambers (1976), όπου μελετήθηκε η επίδραση της ακτινοβολίας «γ», στην ικανότητα πτήσης των εντόμων *B. dorsalis* και *C. capitata*, έδειξε ότι τα έντομα που δεν είχαν υποστεί κάποια μεταχείριση με ακτινοβολία και ήταν 5 ημερών πέταξαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από έντομα που ηλικίας 10 ημερών, χωρίς όμως να παρουσιάζεται κάποια σημαντική διαφορά. Άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Chen et al. (2015) και μελετήθηκε η ικανότητα πτήσης των θηλυκών ενηλίκων εντόμων του *B. dorsalis* σε flight mills και η υπερδομή των μύων τους, έδειξε την σημαντική επίδραση της ηλικίας στα χαρακτηριστικά της πτήσης του εντόμου καθώς μελετήθηκαν οι ηλικίες 5, 10, 15, 20, 25 ημερών, με αυτή των 15 να εμφανίζει σημαντικά καλύτερες επιδόσεις. Επίσης, μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Makumbe et al. (2020) στο έντομο *B. dorsalis* σε ηλικίες 3, 10, 21 ημερών έδειξαν την επίδραση της ηλικίας στην απόσταση, με τα μεγαλύτερης ηλικίας έντομα να καλύπτουν και μεγαλύτερες αποστάσεις, και στην μέγιστη ταχύτητα μόνο των θηλυκών, με εκείνα της ηλικίας 21 ημερών να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες επιδόσεις.

Η τροφή, όπως παρουσιάζεται από την ανάλυση, φαίνεται να είχε σημαντική επίδραση σε αρκετά από τα χαρακτηριστικά της πτήσης όπως η μέση ταχύτητα, η απόσταση και η διάρκεια πτήσης και κυρίως στις μεγαλύτερες ηλικίες. Σημαντική μάλιστα διαφορά, προκύπτει στα θηλυκά ενήλικα έντομα, ηλικίας 10 ημερών που τράφηκαν μόνο με ζάχαρη, είχαν τις καλύτερες αποδόσεις στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός, ότι τα άτομα των 10 ημερών που είναι πλέον αναπαραγωγικά ώριμα, οπότε δυνητικά θα κάλυπταν μεγαλύτερες αποστάσεις με σκοπό την αναζήτηση πρωτεΐνης έτσι ώστε να εκκολάψουν γόνιμα αυγά (Papanastasiou et al., 2019). Σε έρευνα των Remund et al. (1976) που πραγματοποιήθηκε με

το έντομο *B. oleae*, και του (Zermeño, 2005 όπως αναφέρεται στους Roitberg et al., 2009) με τα έντομα *C. capitata* και *Rhagoletis completa*, τα συμπεράσματα μας συμφωνούν καθώς η τροφή παρουσιάζει σημαντικό παράγοντα επίδρασης των χαρακτηριστικών της πτήσης των εντόμων, ωστόσο φάνηκε ότι τα έντομα που στην διατροφή τους υπήρξε απουσία υδατανθράκων (ζάχαρη), οι αποστάσεις της πτήσης ήταν μικρότερες από εκείνων που είχαν διαστραφεί με υδατάνθρακες. Επίσης, οι Remund et al. (1976) παρατήρησαν ότι η ικανότητα πτήσης είναι στενά συνδεδεμένη με την αναπαραγωγική ωριμότητα, καθώς τα πειράματα του πραγματοποιήθηκαν σε έντομα ηλικίας 14 ημερών, γεγονός που συμφωνεί με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής. Σε έρευνα των Wang et al. (2009), τα αποτελέσματα τους, επίσης έδειξαν την σημαντικότητα της τροφής στην πτήση του *B. oleae*, καθώς η στέρηση της τροφής και νερού οδήγησε σε αυξημένο αριθμό θνησιμότητας των εντόμων, και όσα επέζησαν είχαν μειωμένη ικανότητα πτήσης.

Η κατάσταση σύζευξης, όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα του τρίτου πειράματος δεν επέδρασε σημαντικά σε κανένα από τα χαρακτηριστικά της πτήσης της μύγας της Μεσογείου. Τα συμπεράσματα μας συμφωνούν με το πείραμα των Aita et al., (2021), όπου μελέτησαν την επίδραση της κατάστασης ζευγαρώματος στα χαρακτηριστικά της πτήσης του ημίπτερου *Halyomorpha halys* και δεν φάνηκε ούτε σε αυτή την περίπτωση κάποια σημαντική διαφορά. Συμφωνία των παραπάνω αποτελεσμάτων φαίνεται να υπάρχει και σε άλλη έρευνα των Lu et al., (2009) που δεν βρήκαν σημαντικές επιδράσεις της κατάστασης σύζευξης στις επιδόσεις της πτήσης των τριών εξεταζόμενων ειδών του γένους *Adelphocoris*.

5. Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, εξαιτίας της ευρείας εξάπλωσης των γεωγραφικών ορίων της μύγας της Μεσογείου και εγκατάστασής της σε νέα περιβάλλοντα, η παραγωγή στοιχείων για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης διασποράς του εντόμου, αποτέλεσε και τον βασικό στόχο μελέτης της πτήσης του.

Ειδικότερα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής διατριβής, ο παράγοντας ηλικία φαίνεται να επηρεάσει σημαντικά την πτήση των ενήλικων εντόμων, με την αύξηση της να επιδράει θετικά στα χαρακτηριστικά της πτήσης. Το αντίθετο, όμως φάνηκε να συμβαίνει στις ακραίες ηλικιακές τιμές. Το βάρος αποτέλεσε έναν από τους κυριότερους παράγοντες πρόβλεψης της πτήσης, με τα βαρύτερα ενήλικα να παρουσιάζουν τις υψηλότερες επιδόσεις. Σημαντική ήταν επίσης η επίδραση της τροφής, τα ενήλικα που είχαν πρόσβαση σε πρωτεΐνη κάλυψαν μεγαλύτερες αποστάσεις και πραγματοποίησαν πτήσεις μεγαλύτερης διάρκειας σε σχέση με εκείνα που τράφηκαν μόνο με ζάχαρη. Ωστόσο τα ενήλικα που είχαν πρόσβαση μόνο σε ζάχαρη, ανέπτυξαν υψηλότερες ταχύτητες πτήσης από αυτά που τράφηκαν με πλήρη τροφή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασαν τα ενήλικα θηλυκά που είχαν πρόσβαση μόνο σε ζάχαρη, καθώς κάλυψαν σημαντικά μεγαλύτερες αποστάσεις και πραγματοποίησαν πτήσεις μεγαλύτερης διάρκειας σε σχέση με τα θηλυκά που τράφηκαν με πρωτεΐνη. Τέλος, η κατάσταση σύζευξης δεν φάνηκε να επιδρά σημαντικά σε κανένα από τα χαρακτηριστικά της πτήσης.

Εν κατακλείδι, με βάση την ευρεία εξάπλωση της μύγας της Μεσογείου σε συνδυασμό με το μεγάλο εύρος ξενιστών που μπορεί να προσβάλει, κρίνεται πολύ σημαντική η περαιτέρω μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της πτήσης του εντόμου, για την καλύτερη κατανόηση των εισβολών και τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης διασποράς σε νέα περιβάλλοντα.

6. Βιβλιογραφία

- Aita, R. C., Kees, A. M., Aukema, B. H., Hutchison, W. D., & Koch, R. L. (2021). Effects of Starvation, Age, and mating status on flight capacity of laboratory-reared brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae). *Environmental entomology*, 50(3), 532-540.
- Åkesson, S., & Hedenström, A. (2007). How migrants get there: migratory performance and orientation. *Bioscience* 57(2), 123–133.
- Altermatt, F. (2010). Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1685), 1281-1287.
- Aluja, M. (1993). The study of movement in Tephritid flies: review of concepts and recent advances. *Fruit Flies: Biology and Management*, 105-113.
- Andrewartha, H. G., & Birch, L. C. (1954). *The Distribution and Abundance of Animals*. Univ. of Chicago Press, Chicago, USA. 782 p.
- Attisano, A., Murphy, J. T., Vickers, A., & Moore, P. J. (2015). A simple flight mill for the study of tethered flight in insects. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (106), e53377.
- Bjeliš, M., Tavra, I., Strikić, F., Stojić, M., & Nestel, D. (2022). Invasion of *Ceratitis capitata* W. (Diptera, Tephritidae) from coastal to inland areas of Dalmatia region of Croatia: e-traps as an improved detection tool. IOBC Meeting Integrated Control in Citrus Fruit Crops. *IOBC Bulletin-manuscript accepted for publication*.
- Boller, E. (1985). *Rhagoletis cerasi* and *Ceratitis capitata*. Handb. Insect Rearing, 2, 135–144.
- Breed, M., & Moore, J. (2016). Movement: Search, Navigation, Migration, and Dispersal. In *Animal Behavior*, Elsevier. 253-292.
- Chambers, D. L., & O'Connell, T. B. (1969). A flight mill for studies with the Mexican fruit fly. *Annals of the Entomological Society of America*, 62(4), 917-920.

- Chen, H., Li Z., Bu, S., & Tian, Z. (2011). Flight of the Chinese white pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) in relation to sex, body weight and energy reserve. *Bull. Entomol. Res.* 101: 53-62.
- Chen, H., Li, Z., & Tang, M. (2010). Laboratory evaluation of flight activity of *Dendroctonus armandi* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *The Canadian Entomologist*, 142(4), 378-387.
- Chen, M., Chen, P., Ye, H., Yuan, R., Wang, X., & Xu, J. (2015). Flight capacity of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) adult females based on flight mill studies and flight muscle ultrastructure. *Journal of Insect Science*, 15(1), 141.
- Danthanarayana, W. (1986). Introductory chapter. In: *Insect Flight: Dispersal and Migration* (W. Danthanarayana, ed.) pp. 1-10. Springer, Berlin, Germany.
- De Meyer, M. & Copeland, R. S. (2001). Taxonomic notes on the Afrotropical subgenera *Ceratitis* (Acroteromma) bezzii and C. (Hoplolophomyia) bezzii (Diptera: Tephritidae). *Cimbebasia* 17: 77–84.
- Dingle, H. (1996). *Migration: The Biology of Life on the Move*. Oxford University Press, New York, NY.
- Dingle, H., & Drake, V. A. (2007). What is migration? *Bioscience* 57, 113–121.
- EFSA PLH Panel (EFSA Panel on Plant Health), 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., Zappala, L., Bali, E. M., Papadopoulos, N., Papanastassiou, S., Czwieniczek, E., & MacLeod, A. (2020). Pest categorisation of non-EU Tephritidae. *EFSA Journal* 2020;18(1):5931, 62 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.5931>
- Egartner, A., Lethmayer, C., Gottsberger, R. A., & Blümel, S. (2019) Recent records of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Tephritidae, Diptera), in Austria. Pheromones and other Semiochemicals in integrated production and integrated protection of fruit crops IOBC-WPRS Bulletin 146, 143-152.
- Egartner, A., Lethmayer, C., Gottsberger, R. A., & Blümel, S. (2020). Recent records of *Ceratitis* sp. and *Bactrocera* spp. (Tephritidae, Diptera) in

- Austria. 4th International TEAM meeting, Book of Abstracts: 90. La Grande Motte, France.
- Elsey, K. D. (1974). *Jalysus spinosus*: Effect of age, starvation, host plant, and photoperiod on flight activity. *Environ. Entomol.* 3: 653–655.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), online. EPPO Global Database. Available online. <https://gd.eppo.int> [Accessed: 20 December 2023].
- Evenden, M. L., Whitehouse, C. M., & Sykes, J. (2014). Factors influencing flight capacity of the mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Environmental entomology*, 43(1), 187-196.
- Fadamiro, H. Y., & Wyatt, T. D. (1995). Flight initiation by *Prostephanus truncatus* in relation to time of day, temperature, relative humidity and starvation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 75(3), 273-277.
- Ferdousi, F., Sultana, S., Akter, T., Roy, P., & Begum, S. (2021). Flight muscle and flight activity of melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae). *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, 30(2), 179-185.
- Fimiani, P. (1989). Mediterranean region. *Fruit Flies: Their Biology, Natural Enemies and Control* (ed. by A. S. Robinson and G. Hooper), Vol3A, pp. 3950. Elsevier, The Netherlands.
- Fitzsimons, J.M., Parham, J.E., & Nishimoto, R.T. (2004). Similarities in behavioral ecology among amphidromous and catadromous fishes on the oceanic islands of Hawai'i and Guam. *Environ. Biol. Fishes* 65, 123–129.
- Fletcher, B. S. (1989). Life history strategies of Tephritidae fruit flies, Vol. A: *Fruit Flies: Their Biology, Natural Enemies and Control* (ed. by AS Robinson & G Hooper) Elsevier, Amsterdam, pp. 195-208.
- Hagen, K. S., Allen, W. W., & Tassan, R. L. (1981). Mediterranean fruit fly: the worst may be yet to come. *California Agriculture*, 35: 5-7.
- Hill, J. K., Thomas, C. D., & Huntley, B. (1999). Climate and habitat availability determine 20th century changes in a butterfly's range margin. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1425), 1197-1206.

- Kennedy, J.S. (1961). A turning point in the study of insect migration. *Nature* 189: 785-791.
- Kennedy, J.S. (1986). Migration, behavioral and ecological. In: *Migration: Mechanisms and Adaptive Significance* (MA. Rankin, ed.). pp. 5-26. Contributions in Marine Science 27 (Suppl.).
- Leopold, R. A., Rajamohan, A., Shelly, T. E., & Handler, A. M. (2010). Quality testing of three species of tephritid fruit flies after embryo cryopreservation. *Annals of the Entomological Society of America*, 103(2), 264-272.
- Liquido, N. J., Shinoda, L. A. & Cunningham, R. T. (1991). Host plants of the Mediterranean fruit fly (Diptera, Tephritidae) an annotated world review, Vol. 83: Miscellaneous Publications 77. *Entomological Society of America* (ed., Lanham, MD) pp. 1863-1878.
- Lu, Y. H., Wu, K. M., Wyckhuys, K. A. G., & Guo, Y. Y. (2009). Comparative flight performance of three important pest *Adelphocoris* species of Bt cotton in China. *Bulletin of entomological research*, 99(6), 543-550.
- Makumbe, L. D., Moropa, T. P., Manrakhan, A., & Weldon, C. W. (2020). Effect of sex, age and morphological traits on tethered flight of *Bactrocera dorsalis* (Hendel)(Diptera: Tephritidae) at different temperatures. *Physiological Entomology*, 45(2-3), 110-119.
- Malacrida, A. R., Gomulski, L. M., Bonizzoni, M., Bertin, S., Gasperi, G. & Guglielmino, C. R. (2007). Globalization and fruit fly invasion and expansion: the medfly paradigm. *Genetica* 131: 1-9. doi: 10.1007/s10709-006-9117-2.
- Malod, K., Bali, E. M. D., Gledel, C., Moquet, L., Bierman, A., Bataka, E., ... & Terblanche, J. S. (2023). Tethered-flight performance of thermally-acclimated pest fruit flies (Diptera: Tephritidae) suggests that heat waves may promote the spread of *Bactrocera* species. *Pest Management Science*.
- Minter, M., Pearson, A., Lim, K. S., Wilson, K., Chapman, J. W., & Jones. C. M. (2018). The tethered flight technique as a tool for studying life-history strategies associated with migration in insects. *Ecol. Entomol.* 43: 397–411.

- Nakamori, H., & Simizu, K. (1983). Comparison of flight ability between wild and mass-reared melon fly, *Dacus cucurbitae* Coquillett (Diptera: Tephritidae), using a flight mill. *Applied Entomology and Zoology*, 18(3), 371-381.
- Naranjo, S. E. (2019). Assessing insect flight behavior in the laboratory: A primer on flight mill methodology and what can be learned. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 112: 182–199.
- Papadopoulos, N. T. (2008). Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). In: *Capinera J ed. Encyclopedia of entomology: Encyclopedia of Entomology*. (2008). 2 nd Edition. 2318-2322.
- 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: 41-50.
- 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., 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, N. T., Plant, R. E., & Carey, J. R. (2013). From trickle to flood: the large-scale, cryptic invasion of California by tropical fruit flies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280.doi:10.1098/rspb.2013.1466.
- 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, 526-534.
- Papanastasiou, S. A., Carey, J. R., & Papadopoulos, N. T. (2019). Effects of early-life protein starvation on longevity and sexual performance of male medfly. *PloS one*, 14(7), e0219518.
- Parmesan, C. (1996). Climate and species' range. *Nature*, 382(6594), 765-766.

- Perez-Mendoza, J., Campbell, J. F., & Throne, J. E. (2011). Influence of age, mating status, sex, quantity of food, and long-term food deprivation on red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) flight initiation. *Journal of economic entomology*, 104(6), 2078-2086.
- Provost, M. W. (1952). The Dispersal of *Aedes taeniorhynchus*. 1. Preliminary Studies. *Mosquito News*, 12(3), 174-90.
- Remund, U., Boller, E. F., Economopoulos, A. P., & Tsitsipis, J. A. (1976). Flight performance of *Dacus oleae* reared on olives and artificial diet. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 82(1-4), 330-339.
- Roitberg, B. D., Lauzon, C. R., Opp, S. B., & Papaj, D. R. (2009). Functional and behavioural ecology of tree-fruit pests: the four Fs of fruit flies (Diptera: Tephritidae). In *Biorational tree-fruit pest management* (pp. 56-84). Wallingford UK: CABI.
- Scharf, I. (2016). The multifaceted effects of starvation on arthropod behaviour. *Animal Behaviour*, 119, 37-48.
- Sharp, J. L., & Chambers, D. L. (1976). Gamma irradiation effect on the flight mill performance of *Dacus dorsalis* and *Ceratitis capitata*. Vol. XXII, No. 1. 335-344.
- Sharp, J. L., Chambers, D. L., & Haramoto, F. H. (1975). Flight mill and stroboscopic studies of Oriental fruit flies and melon flies, including observations of Mediterranean fruit flies. Vol. XXII, No. 1. 137-144.
- Southwood, T. R. E. (1962). Migration of terrestrial arthropods in relation to habitat. *Bio!. Reviews* 37: 171-214
- 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.
- Vera, M. T., Rodriguez, R., Segura, D. F., Cladera, J. L., & Sutherst, R. W. (2002). Potential Geographical Distribution of the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), with Emphasis on Argentina and Australia. *Environ Entomol* 31: 1009–1022
- Wang, X. G., Johnson, M. W., Daane, K. M., & Opp, S. (2009). Combined effects of heat stress and food supply on flight performance of olive fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 102(4), 727-734.

- White, I. M., & Elson-Harris, M. M. (1992). Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. C.A.B. International, Wallingford, UK.
- Διαμαντίδης, Α. Δ. (2009). Μελέτη της βιοοικολογίας και της συμπεριφοράς διαφορετικών πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae), Vol. 10: Σχολή Γεωπονικών Επιστημών – Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος (Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Νέα Ιωνία Μαγνησίας) p. 214.
- Παπαδόπουλος, Ν.Θ., Σταυρίδης, Δ. Γ., Ζάρπας, Κ. Δ. και Διαμαντίδης, Α. Δ. (2012). Η μύγα της Μεσογείου στην Ελλάδα: υφιστάμενη κατάσταση και σχεδιασμός της αντιμετώπισής της. *Γεωργία-Κτηνοτροφία*. 7, 38-46.
- Τζανακάκης, Μ. Ε. και Κατσόγιαννος Β. Ι., 2003. Έντομα Καρποφόρων Δέντρων και Αμπέλου. Αγρότυπος. Αθήνα.