

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ

**Επίδραση (σταθερών και μεταβαλλόμενων) θερμοκρασιακών
μεταχειρίσεων στην δημογραφία διαφορετικών πληθυσμών της μύγας
της Μεσογείου *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)**



Σταυράκης Πάυλος

Επιβλέπων Καθηγητής

Παπαδόπουλος Νικόλαος

Βόλος, 2024

Επίδραση (σταθερών και μεταβαλλόμενων) θερμοκρασιακών
μεταχειρίσεων στην δημογραφία διαφορετικών πληθυσμών της μύγας
της Μεσογείου *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae)

Σταυράκης Παύλος

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Επιβλέπων:

Ν. Παπαδόπουλος, Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εντομολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (ΠΘ),
Βόλος

Μέλη:

Χ. Αθανασίου, Καθηγητής Εντομολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (ΠΘ), Βόλος

Χ. Νάκας, Καθηγητής Βιομετρίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (ΠΘ), Βόλος

Βεβαιώνω ότι εγώ, ο Παύλος Σταυράκης, είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

Περίληψη

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά τριών διαφορετικών πληθυσμών, της μύγας της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Wiedeman) (Diptera: Tephritidae), σε σταθερές (6, 15, 20 και 25°C) και μεταβαλλόμενες (6:15, 6:20 και 6:25°C για 3:1 ημέρες αντίστοιχα) θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν πληθυσμοί από τη Κρήτη (Χανιά), το Βόλο (Λεχώνια) και το Dubrovnik (Κροατία). Στις σταθερές θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις τα έντομα παρέμειναν εκεί για όλη την διάρκεια του πειράματος ενώ στις μεταβαλλόμενες παραμέναν για 72 ώρες (3 ημέρες) στην χαμηλή θερμοκρασία (6°C) και 24 ώρες (1 ημέρα) στις υψηλότερες (15, 20 και 25°C). Η σχετική υγρασία και φωτοπερίοδος όλων των θαλάμων και του εντομοδωματίου ήταν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (σχετική υγρασία 65 ± 5 % και φωτοπερίοδος 14:10 Φ:Σ). Καθημερινά από την ημέρα της εξόδου των ενηλίκων έως και το θάνατο τους καταγραφόταν για κάθε κλουβί η θνησιμότητα, η ωοπαραγωγή και το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών. Τα αποτελέσματα της διατριβής έδειξαν πως: α) η θερμοκρασία, η αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας με τον πληθυσμό και η αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας με το φύλλο επηρέασαν σημαντικά τη διάρκεια ζωής των ενηλίκων, β) η θερμοκρασία και ο πληθυσμός επηρέασαν σημαντικά την ωοπαραγωγή των θηλυκών των διαφορετικών πληθυσμών ενώ η αλληλεπίδραση του πληθυσμού με την θερμοκρασία δεν την επηρέασαν και γ) η θερμοκρασία επηρέασε σημαντικά το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών ενώ ο πληθυσμός και η αλληλεπίδραση του πληθυσμού με την θερμοκρασία δεν το επηρέασαν. Το κλίμα διαβίωσης των εντόμων επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και τελικά την επιβίωση τους. Κλιματικές αλλαγές, με σημαντικότερη την αύξηση της θερμοκρασίας, έχουν καταγραφεί τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα να έχουν οδηγήσει στην εξάπλωση εντομολογικών εχθρών σε νέες κλιματικές ζώνες. Με γνώμονα την μελλοντική εξέλιξη και εξάπλωση των ήδη υπαρχόντων πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου είναι αναγκαίο να εξεταστούν και να καταγραφούν τα βιολογικά χαρακτηριστικά τους σε νέες θερμοκρασιακές συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: διάρκεια ζωής, ηλικία, ωοπαραγωγή, εκκόλαψη αυγών, σταθερές θερμοκρασίες, μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες, διαφορετικοί πληθυσμοί.

Summary

In the current thesis, the demographic traits of three different populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedeman) (Diptera: Tephritidae), at constant (6, 15, 20 and 25°C) and fluctuating (6:5, 6:20 and 6:25°C) temperature regimes were tested. For the experiments, we used populations from Crete (Chania), Volos (Lechonia) and Dubrovnik (Croatia). In constant temperature regimes, the insects were kept until the end of the experiment, whereas in fluctuating ones, they were kept for 72 hours (3 days) at the lower temperature (6°C) and 24 hours (1 day) at the higher temperatures (15, 20 and 25°C) depending on the treatment. The experiments were conducted under constant laboratory conditions (RH 65 ± 5 %, photoperiod 14:10 L:D). Adult lifespan, female fecundity and egg hatch percentage were recorded daily for each cage, from adult emergence day until their death. The results of the thesis demonstrated that: a) Temperature and the interactions of temperature by population and sex significantly affected the adult lifespan of the different populations, b) temperature and population significantly affected female fecundity of the different populations whereas the interaction of population by temperature did not significantly affect it, and c) temperature significantly affected the egg hatch rate, whereas population and its interaction by temperature had no significant effect. The climate of insect's habitat directly affects their development, reproduction and ultimately their survival. Climatic changes, with the most significant the increase in temperature, have been recorded in recent years, resulting in the spread of serious pests in new climatic zones. In view of the future development and spread of the already existing populations of the Mediterranean fruit fly, it is necessary to examine and record their biological characteristics in new temperature regimes.

Key words: medfly, *Ceratitis capitata*, lifespan, age, fecundity, egg hatching, constant temperatures, fluctuating temperatures, divergent populations.

Περιεχόμενα

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	4
Summary.....	5
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	8
1.1. Γενικά για την μύγα της Μεσογείου.....	8
1.2. Συστηματική ταξινόμηση.....	9
1.3. Καταγωγή και γεωγραφική εξάπλωση.....	14
1.4. Οικονομική σημασία	16
1.5. Βιολογία της μύγας της Μεσογείου.....	18
1.6. Βιολογικά χαρακτηριστικά της μύγας της Μεσογείου.....	20
1.7. Σκοπός της παρούσας διατριβής	23
Κεφάλαιο 2. Υλικά και Μέθοδοι	24
2.1. Συνθήκες εργαστηρίου	24
2.2. Πληθυσμοί που χρησιμοποιήθηκαν και μέθοδος εκτροφής της μύγας της Μεσογείου.....	24
2.3. Πληθυσμιακή διαδικασία και δημογραφία των ενηλίκων.....	26
2.4. Στατιστική ανάλυση	29
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα	29
3.1. Επίδραση του πληθυσμού, της θερμοκρασίας και του φύλου στην διάρκεια ζωής των ενηλίκων.....	29

3.2. Επίδραση του πληθυσμού και της θερμοκρασίας στην ωοπαράγωγή των θηλυκών.....	33
3.3. Επίδραση του πληθυσμού και της θερμοκρασίας στο ποσοστό εκκόλαψης των αυγών.....	34
Κεφάλαιο 4. Συζήτηση.....	35
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	40
Βιβλιογραφία.....	41

Εισαγωγή

1.1 Γενικά για τη μύγα της Μεσογείου

Η μύγα της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824), είναι ένα εξαιρετικά πολυφάγο έντομο της τάξης των διπτέρων (Diptera) (Εικόνα 1.1). Ανήκει στην οικογένεια Tephritidae και συγκαταλέγεται στις μύγες των φρούτων (true fruit flies) μαζί με άλλα σημαντικά έντομα-εχθρούς των γενών *Bactrocera* spp, *Anastrepha* spp και *Dacus* spp (Papadopoulos, 2014). Τα περισσότερα από αυτά τα γένη είναι πολυκυκλικά και πολυφάγα, καθώς μπορούν να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο πολλές φορές μέσα στην ίδια καλλιεργητική περίοδο και να προσβάλλουν τόσο τα φρούτα όσο και τα λαχανικά. Ωστόσο, υπάρχουν συγκεκριμένα είδη τα οποία είναι μονοφάγα, όπως ο δάκος της ελιάς (*Bactrocera oleae*), ο οποίος περιορίζεται σε καλλιεργήσιμες ή άγριες ελίες (Daane and Johnson, 2010). Η μύγα της Μεσογείου έχει μεγάλο αριθμό ξενιστών, άνω των 350, εκ των οποίων οι κυριότεροι είναι τα καρποφόρα δέντρα (Bragard et al., 2020; Papadopoulos et al., 2001). Η μύγα της Μεσογείου προέρχεται από την υποσαχάρια Αφρική και συγκεκριμένα από την Κένυα, από όπου μεταγενέστερα μετανάστευσε στην λεκάνη της Μεσογείου και στον υπόλοιπο κόσμο (Gasperi et al., 2002). Η εξάπλωση της συνεχίζεται μέχρι και σήμερα σε σημεία όπου δεν έχουν παρουσιαστεί προσβολές, με αποτέλεσμα περιοχές όπως η Νέα Ζηλανδία και η ανατολική Αυστραλία να θεωρούνται περιοχές υψηλού κινδύνου για πιθανές μελλοντικές εισβολές του εντόμου (Dominiak and Taylor, 2022). Οι συνέπειες στην παγκόσμια παραγωγή φρούτων λόγω της προσβολής από το έντομο είναι ιδιαίτερα δυσμενείς με αποτέλεσμα να έχουν δημιουργηθεί πρωτόκολλα αντιμετώπισης, περιορισμού και πρόληψης των προσβολών (Papadopoulos et al., 2001).



Εικόνα 1.1: Ενήλικο θηλυκό (πάνω) και αρσενικό (κάτω) της μύγας της Μεσογείου (Φωτογραφία του συγγραφέα στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας).

1.2 Συστηματική ταξινόμηση

Kingdom	Animalia
Phylum	Arthropoda
Subphylum	Hexapoda
Class	Insecta
Infraclass	Neoptera
Subclass	Pterygota
Order	Diptera
Suborder	Brachycera
Infraorder	Acalyptratae
Superfamily	Tephritoidea
Family	Tephritidae
Subfamily	Dacinae
Tribe	Ceratitidini
Genus	<i>Ceratitis</i>
Species	<i>capitata</i>

Τα Δίπτερα είναι ολομετάβολα ενδοπτερυγωτά έντομα και συγκαταλέγονται στις πολυπληθέστερες τάξεις εντόμων με μεγάλο αριθμό διαφορετικών ειδών. Ενδεικτικά, μόνο τα Κολεόπτερα, τα Λεπιδόπτερα και τα Υμενόπτερα παρουσιάζουν μεγαλύτερο αριθμό διαφορετικών ειδών (Τζανακακής και Κατσόγιαννος 2003). Τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία διαφοροποιούν την τάξη αυτή από τις υπόλοιπες είναι ότι (α) έχουν ένα ζευγάρι μεμβρανωδών πτερύγων, (β) οι πίσω πτέρυγες έχουν διαμορφωθεί σε μικρούς αλτήρες, και (γ) παρουσιάζουν στοματικά μόρια διαφόρων τύπων (κυρίως σπογγίζοντος και νύσσοντος μυζητικού τύπου στοματικά μόρια) (NC State Agriculture and life sciences, ηλεκτρονική πηγή). Επίσης, φέρουν μεγάλη κεφαλή με σύνθετους και απλούς οφθαλμούς και διαφόρων τύπων κεραίες π.χ. νηματοειδείς, κομβολογιοειδείς, σμηριγγοειδείς κ.α. (Τζανακάκης και Κωβαίος, 2018). Ο μεσοθώρακας τους είναι διογκωμένος, ενώ ο προθώρακας και ο μεταθώρακας αρκετά μικρότεροι (Britton, Australian Museum 2018, ηλεκτρονική πηγή). Στα Brachycera, όπου κατατάσσεται και η μύγα της Μεσογείου, οι προνύμφες είναι άποδες ευκέφαλες και οι νύμφες συνεσφιγμένες. Σε αυτήν την υπόταξη, η κεφαλή του ενηλίκου διαχωρίζεται από το θώρακα και είναι υπόγναθος ενώ συναντάμε κεραίες που έχουν κάτω από πέντε άρθρα. Οι σύνθετοι οφθαλμοί, που αποτελούνται από χιλιάδες ομματοίδια, καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος της κεφαλής και σε ειδικές περιπτώσεις, ο χώρος ανάμεσα τους είναι αρκετά περιορισμένος (Τζανακάκης και Κωβαίος, 2018). Σε πειραματικές εργασίες οι οποίες εστίασαν στη μορφολογία των σύνθετων οφθαλμών τριών ειδών του γένους *Bactrocera*, διαπιστώθηκαν διαφορές μεταξύ των ειδών, ως προς το μέγεθος, το σχήμα, το χρώμα, τον αριθμό των ομματοιδίων και την επιφάνεια τους. Τέτοιες διαφορές είναι πιθανό να εξυπηρετούν διαφορετικές λειτουργίες στο κάθε είδος, με κυριότερη την λειτουργία της ευαισθησίας στο πεδίο όρασης τους (Xue et al., 2015). Τα είδη της οικογένειας των Tephritidae παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες στην μορφολογία των κεραίων ως προς τον αριθμό των αρθρών, των τύπων των αρθρωτών αισθητηρίων τριχών (sensilla) και των αισθητηρίων οργάνων, ωστόσο από είδος σε είδος παρατηρείται διαφορά στο μέγεθος τους. Επίσης, διαφορά στο μέγεθος κεραίων έχει παρατηρηθεί στη σύγκριση μεταξύ κεραίων θηλυκών με αρσενικών του ίδιου είδους, λόγω του μεγαλύτερου αριθμού άρθρων που έχουν τα θηλυκά (Dickens et al., 1988). Όσον αφορά το μέγεθος διαφορετικών μελών του σώματος έχει παρατηρηθεί και εκεί σεξουαλικός διμορφισμός, ο οποίος γίνεται ευκολότερα αντιληπτός κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και σε διαφορετικά σημεία του σώματος για το κάθε είδος. Μελέτες σε πληθυσμό *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae), έδειξαν πως το μέγεθος των θηλυκών είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το μέγεθος

των αρσενικών (Siomava et al., 2016). Σε πληθυσμό *C. capitata* δεν παρατηρήθηκαν αισθητές διαφορές στο μήκος του θώρακα και των πτερυγών ωστόσο, κάτω από διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες τα θηλυκά παρουσιάζουν μεγαλύτερο μέγεθος από τα αρσενικά (Siomava et al., 2016). Επικρατέστερο αίτιο θεωρείται η μορφή μικτού σεξουαλικού διμορφισμού που παρουσιάζει η μύγα της Μεσογείου, με αποτέλεσμα και τα δύο φύλα να έχουν παρόμοιο μέγεθος, ενώ μόνο συγκεκριμένα σημεία του σώματος τους εμφανίζονται μεγαλύτερα είτε στα θηλυκά είτε στα αρσενικά (Siomava et al., 2016). Η ίδια έρευνα τονίζει πως οι διαφορές αυτές γίνονται σημαντικές όταν γίνεται μελέτη και σύγκριση τους μεταξύ διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Ένα ιδιόμορφο χαρακτηριστικό το οποίο έχει αναφερθεί σε είδη της οικογένειας των Tephritidae, σε αντίθεση με τα περισσότερα Δίπτερα, είναι ο μειωμένου μήκους υποφάρυγγας τους, υποδηλώνοντας ότι τα στοματικά μόρια τους δεν έχουν σχεδιαστεί για την παραγωγή σιέλου προς απευθείας επαφή στην επιφάνεια της τροφής τους (Coronado-Gonzales et al., 2008).

Ως ωοτόκο ολομετάβολο έντομο, η μύγα της Μεσογείου παρουσιάζει και τα τέσσερα στάδια (αυγό, προνύμφη, νύμφη, ενήλικο) στον βιολογικό της κύκλο (Τζανακάκης και Κωβαίος, 2018).

Αυγό

Το αυγό είναι πολύ μικρό, διαστάσεων από 0,9-1,1 x 0,2 mm με λείο λευκό χρώμα και ελαφρά κυρτό σχήμα (Εικόνα 1.2) (Thomas et al., 2004; Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003).



Εικόνα 1.2: Αυγά της μύγας Μεσογείου σε dome (Φωτογραφία του συγγραφέα στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας).

Προνύμφη

Η προνύμφη είναι υπόλευκη, ακέφαλη, πιο στενή στο πρόσθιο μέρος του σώματος, σχεδόν κυλινδρική στο οπίσθιο και παρουσιάζει στοματικά άγκιστρα (Εικόνα 1.3). Επίσης έχει δύο οπίσθια αναπνευστικά στίγματα, στην άκρη της κοιλιάς, τα οποία αποτελούνται από τρία στενόμακρα ανοίγματα το καθένα και το τελικό της μέγεθος μπορεί να είναι από 7 έως 9 mm (Thomas et al., 2004; Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003).



Εικόνα 1.3: Προνύμφη της μύγας Μεσογείου σε τροφικό υπόστρωμα (Φωτογραφία του συγγραφέα στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας).

Νύμφη

Η νύμφη είναι κυλινδρική, διαστάσεων 4 έως 4,3 mm και ανοιχτοκαστανού ως σκοτεινοκαστανού χρώματος (Εικόνα 1.4) (Thomas et al., 2004; Τζανακάκης και Κωβαίος 2018).



Εικόνα 1.4: Νύμφη της μύγας Μεσογείου σε τρυβλίο petri (Φωτογραφία του συγγραφέα στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας).

Ενήλικο

Το ενήλικο έχει μήκος 4-6 mm, πλάτος 1,2-2 mm και χαρακτηριστικό καστανοκίτρινο χρώμα (Εικόνα 1.1). Παρουσιάζει μαύρες, καστανές και κίτρινες κηλίδες στο θώρακα και στις πτέρυγες οι οποίες δημιουργούν την αίσθηση μοτίβου. Η κεφαλή είναι κίτρινη με πιο σκοτεινές επιφάνειες στην βάση των καστανέρυθρων κεραιών της. Επίσης, διαθέτει λαμπερούς σύνθετους οφθαλμούς. Ο θώρακας είναι μαύρος με ανοιχτόχρωμες κηλίδες και οι πτέρυγες μήκους 4,5 mm είναι διαφανείς με εγκάρσιες μαύρες, καστανές και κίτρινες επιφάνειες που δημιουργούν την

αίσθηση γραμμών (Εικόνα 1.5). Τα πόδια έχουν ερυθροκαστανή όψη και οι οπίσθιες κνήμες φέρουν σκληρές κίτρινες τρίχες (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003). Τα αρσενικά παρουσιάζουν δύο κερατοειδείς αποφύσεις με σταχτί χρώμα και τα θηλυκά χαρακτηρίζονται από ελαφρά διογκωμένη κοιλιακή χώρα, από την άκρη της οποίας εκφύεται ο κιτρινοερυθρός έως και καστανός ωοθέτης μήκους 0,9-1,3 mm (Papadopoulos, 2008). Τα δύο αυτά γνωρίσματα των δύο φύλων είναι σημαντικά στην ταξινόμηση και στο χαρακτηρισμό της μύγας Μεσογείου από άλλα είδη (Thomas et al., 2004).



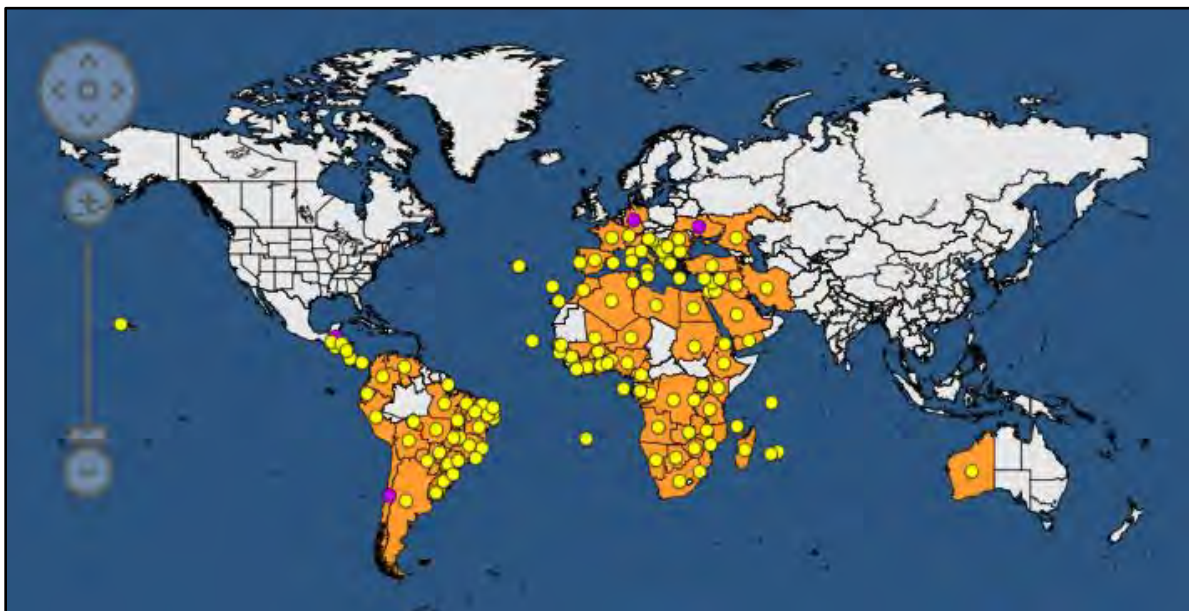
Εικόνα 1.5: Θώρακας ενήλικου αρσενικού της μύγας Μεσογείου (Φωτογραφία του συγγραφέα στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας).

1.3 Καταγωγή και γεωγραφική εξάπλωση

Οργανισμοί οι οποίοι μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα, να αναπαραχθούν με επιτυχία, να εξαπλωθούν και να προκαλέσουν οικονομικές ή περιβαλλοντικές ζημιές σε νέες περιοχές, διαφορετικές από τις περιοχές προέλευσης τους, χαρακτηρίζονται ως εισβολείς (Hoddle, Center for Invasive Species Research, University of California, ηλεκτρονική πηγή). Η μύγα της Μεσογείου θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα έντομα εισβολείς της οικογένειας των Tephritidae καθώς έχει τη δυνατότητα να ξεπερνά κλιματικά, γεωγραφικά, βιολογικά και

νομοθετικά εμπόδια δημιουργώντας κατάλληλες συνθήκες για επιτυχημένες εισβολές σε νέες περιοχές (Harmon et al., 2009; Papadopoulos, 2014). Τα στάδια μια εισβολής είναι τέσσερα και έχουν την εξής συγκεκριμένη σειρά: α) η εισαγωγή του πληθυσμού σε μια νέα περιοχή, β) η εγκατάσταση του σε αυτήν την περιοχή, γ) ο εγκλιματισμός του στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες, δ) η εξάπλωση του στην νέα περιοχή (Liebhold and Tobin, 2008; Carey, 2010; Papadopoulos, 2014).

Έρευνες οι οποίες εστίασαν στην ανάλυση της γενετικής ποικιλομορφίας διαφορετικών πληθυσμών της μύγας Μεσογείου έδειξαν πως οι πληθυσμοί της Αφρικής και συγκεκριμένα της Κένυας παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο πολυμορφισμό, επιβεβαιώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις βιβλιογραφικές αναφορές που τόνιζαν την υποσαχάρια Αφρική και συγκεκριμένα την Κένυα ως χώρα προέλευσης της (Gasperi et al., 2002; Diamantidis et al., 2008; Papadopoulos 2014). Από την Νοτιοανατολική Αφρική, θεωρείται ότι το *C. capitata* εξαπλώθηκε αρχικά στην Βορειοδυτική Αφρική και στην συνέχεια στην Ιβηρική χερσόνησο και στην ευρύτερη λεκάνη της Μεσογείου (Deschepper et al., 2021). Ο Deschepper και οι συνεργάτες του, σε αναλύσεις γενετικής σε πληθυσμούς της μύγας Μεσογείου της Νότιας και της Κεντρικής Αμερικής βρήκαν μια σύνδεση μεταξύ τους, υποδεικνύοντας σημαντική γονιδιακή ροή μεταξύ των δύο αυτών περιοχών. Ωστόσο, οι ίδιοι τονίζουν πως πληθυσμός από την Βραζιλία παρουσιάζει σύνδεση με πληθυσμούς της Ανατολικής Ευρώπης επιβεβαιώνοντας την θεωρία για εισβολή πληθυσμών, από την Ευρώπη και την Αφρική, στην Λατινική Αμερική λόγω της αυξημένης ανθρώπινης κινητικότητας και των εμπορικών συναλλαγών (Papadopoulos, 2014). Επίσης η μύγα της Μεσογείου έχει εντοπιστεί και αναφερθεί σε βιβλιογραφικές αναφορές στην Δυτική Αυστραλία (1895), στην Χαβάη (1895) και στην Καλιφόρνια (1975) (Carey, 2010; Papadopoulos, 2014; Deschepper et al., 2021). Πιθανότερο σενάριο καταγωγής των πληθυσμών της Αυστραλίας είναι η Μεσόγειος ενώ για την Καλιφόρνια και την Χαβάη η Κεντρική και η Νότια Αμερική (Deschepper et al., 2021). Πλέον η μύγα της Μεσογείου έχει εγκατασταθεί και σε βορειότερες περιοχές της λεκάνης της Μεσογείου, της Βόρειας Αμερικής και της Κεντρικής Ευρώπης με όλο και συχνότερες αναφορές στον εντοπισμό πληθυσμών της. Ενδεικτικά έχουν εντοπιστεί επανειλημμένα πληθυσμοί στην Αυστρία, σε περιοχές κοντά στην Βιέννη, στην Ρουμανία, σε περιοχές κοντά στο Βουκουρέστι, και στη Γερμανία, σε περιοχές κοντά στην Φρανκφούρτη (Papadopoulos, 2014; König et al., 2022). Επί του παρόντος, η Σλοβενία θεωρείται ως το βορειότερο όριο εξάπλωσης της μύγας της Μεσογείου στην Ευρώπη (Žežlina et al., 2019).



Εικόνα 1.5: Παγκόσμιος χάρτης εξάπλωσης της μύγας της Μεσογείου (*Ceratitidis capitata*), Τα κίτρινα σημεία υποδηλώνουν περιοχές στις οποίες έχει εγκατασταθεί και τα μωβ σημεία περιοχές που εμφανίζεται παροδικά (από eppo: “<https://gd.eppo.int/taxon/CERTCA/distribution>”).

1.4 Οικονομική σημασία

Η μύγα της Μεσογείου θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα έντομα-εχθρούς φρούτων και προκαλεί αποδεδειγμένα σημαντικές ζημιές σε καλλιέργειες μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος (Papadopoulos, 2014). Είναι εξαιρετικά πολυφάγο έντομο και προσβάλλει ημώριμους, σχεδόν ώριμους και ώριμους καρπούς πολλών διαφορετικών καρποφόρων δέντρων, θάμνων, ή ποωδών φυτών. Στην Ελλάδα θεωρείται σημαντικός εχθρός των γιγαρτόκαρπων, των πυρηνόκαρπων και των εσπεριδοειδών (Τζανακακής και Κατσόγιαννος, 2003).

Οι ξενιστές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση του *C. capitata* καθώς παρουσιάζουν διαφορετική ικανότητα υποστήριξης του βιολογικού κύκλου του εντόμου. Μέσα σε προσβεβλημένους καρπούς διαφορετικών ξενιστών έχουν παρατηρηθεί αυγά, προνύμφες ή νύμφες της μύγας της Μεσογείου, ωστόσο δεν μπορούν όλοι οι ξενιστές να υποστηρίξουν, ακόμα και σε ιδανικές συνθήκες, την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου της (Dominiak and Taylor-Hukins, 2022). Ο συνολικός καταγεγραμμένος αριθμός των καλλιεργούμενων ξενιστών ξεπερνά

τους 350, οι οποίοι ανήκουν σε 70 διαφορετικές οικογένειες φυτών παγκοσμίως (Lopes et al., 2023). Το 40% των ξενιστών ανήκει στις εξής πέντε οικογένειες: α) Myrtaceae, β) Rosaceae, γ) Rutaceae, δ) Sapotaceae, ε) Solanaceae. Ωστόσο, η μύγα της Μεσογείου αναπτύσσεται και προσβάλλει και καρπούς τροπικών, υποτροπικών και εύκρατων καρποφόρων δέντρων. Στα τροπικά και υποτροπικά κλίματα είναι σοβαρός εχθρός του καφέ (*Coffea arabica*), του μάνγκο (*Manifera Indica*), του αβοκάντο (*Persea americana*), της παπάγιας (*Carica papaya*), της γουάβας (*Psidium guajava*), της καραμπόλας (*Averrhoa carambola*), της πορτοκαλιάς (*Citrus sinensis*), της νερατζιάς (*Citrus aurantium*), της συκιάς (*Ficus carica*), της φραγκοσυκιάς (*Opuntia vulgaris*) κ.α., ενώ στα εύκρατα κλίματα της ροδακινιάς (*Prunus persicae*), της βερικοκιάς (*Prunus americana*), της μηλιάς (*Malus domestica*) και της αχλαδιάς (*Pyrus communis*) (Papadopoulos, 2008).

Σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η σειρά με την οποία η μύγα της Μεσογείου επιλέγει τους ξενιστές της σε μια καλλιεργητική περίοδο. Για παράδειγμα, έρευνες οι οποίες εστίασαν στην παροδική κι ετήσια εμφάνιση της στην Βόρεια Ελλάδα έδειξαν πως τα βερίκοκα, τα οποία ωριμάζουν νωρίς στην Ελλάδα, είναι σημαντικά για την ανάπτυξη του πληθυσμού και αποτελούν τον πρώτο κύριο ξενιστή για την νέα καλλιεργητική περίοδο (Papadopoulos et al., 2001). Επίσης, η ίδια έρευνα παρουσιάζει και τη σημασία της καλλιέργειας της μηλιάς, η οποία παρόλο που δε θεωρείται ιδιαίτερα ευνοϊκή για την ανάπτυξη των προνυμφών προσβάλλεται από την μύγα της Μεσογείου, στο τέλος του Φθινοπώρου, και συμβάλλει στην επιτυχημένη διαχείμαση του εντόμου (Papadopoulos et al., 2001).

Οι ζημιές που προκαλούνται στις καλλιέργειες από την μύγα Μεσογείου είναι αποτέλεσμα τριών παραγόντων που αλληλοσυνδέονται και παρατηρούνται σε ημιώριμους και ώριμους καρπούς. Ειδικότερα, όταν τα ενήλικα θηλυκά δημιουργούν οπή ωοτοκίας ή "νύγμα" κατά την εναπόθεση των αυγών σχηματίζουν ένα μαύρο ή σχεδόν μαύρο σκοτεινοκαστανό στίγμα το οποίο περιβάλλεται από μια χλωρωτική κηλίδα μικρής διαμέτρου. Η κηλίδα είναι ορατή στα εσπεριδοειδή στους ημιώριμους και σχεδόν ώριμους καρπούς, που δεν έχουν αποκτήσει το τελικό πορτοκαλί ή κίτρινο χρώμα τους (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003). Η εκκόλαψη των προνυμφών πραγματοποιείται εντός των προσβεβλημένων καρπών. Η διάρκεια του προνυμφικού σταδίου κυμαίνεται από 7 έως και 12 ημέρες ανάλογα την καλλιέργεια (Krainacker et al., 1987). Έρευνες, οι οποίες εστίασαν στην ανάλυση της ανάπτυξης ανηλίκων σταδίων, έδειξαν πως

ποικιλίες νερατζιών και γλυκών πορτοκαλιών είναι καταλληλότερες από ποικιλίες λεμονιών για την ανάπτυξη τους (Papachristos et al., 2008). Μετά την ωοτοκία οι περισσότεροι προσβεβλημένοι καρποί είτε θα πέσουν στο έδαφος είτε θα χάσουν την εμπορική τους αξία (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003). Επίσης, είναι σημαντικό να τονιστεί πως οι καρποί δέχονται και δευτερογενώς μετασυλλεκτικές προσβολές από μικροοργανισμούς και μύκητες, οι οποίοι καταφέρνουν να εισέλθουν στο εσωτερικό του αποδιοργανωμένου ιστού. Από την στιγμή που θα καταφέρουν να εισέλθουν στον καρπό συντελούν στην γρήγορη σήψη του καρπού και δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για ωοτοκία άλλων ειδών, π.χ. *Drosophila* spp., *Carpophilus* spp., τα οποία με την σειρά τους θα επιταχύνουν την σήψη του καρπού (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003).

1.5 Βιολογία της μύγας της Μεσογείου

Η μύγα της Μεσογείου χαρακτηρίζεται ως πολυκυκλικό και πολυφάγο έντομο, καθώς μπορεί να ολοκληρώσει πολλές γενεές εντός μίας καλλιεργητικής περιόδου και να προσβάλλει πολλούς διαφορετικούς ξενιστές. Ο τελικός αριθμός γενεών δεν είναι κάθε έτος σταθερός, καθώς εξαρτάται από κάποιες σημαντικές παραμέτρους όπως: α) τη γεωγραφική περιοχή, β) τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή, με κυριότερες τη θερμοκρασία και την υγρασία και γ) τη διαθεσιμότητα των ξενιστών σε αυτήν την περιοχή (Fletcher, 1987; Diamantidis et al., 2009). Στην Ελλάδα συνήθως συμπληρώνει 3-7 γενεές ανά έτος, ενώ σε περιοχές με θερμό κλίμα έχει παρατηρηθεί να παρουσιάζει ακόμα περισσότερες. Το έντομο διαχειμάζει είτε ως προνύμφη μέσα σε προσβεβλημένους καρπούς, οι οποίοι έχουν παραμείνει στο δέντρο ή έχουν πέσει στο έδαφος, είτε ως νύμφη μέσα στο έδαφος. Επίσης, σε περιοχές της Νότιας Ελλάδας, όπως είναι η Κρήτη, έχει παρατηρηθεί να διαχειμάζει και ως ενήλικο (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003). Πληθυσμοί της μύγας της Μεσογείου έχουν καταγραφεί και σε περιοχές με ψυχρότερα κλίματα, στις οποίες διαχειμάζουν και ως ενήλικα σε καταφύγια ανθρώπινης προέλευσης όπως είναι για παράδειγμα η Βόρεια Ιταλία (Rigamonti et al., 2004).

Η πρώτη εμφάνιση των ενηλίκων πραγματοποιείται την άνοιξη. Αφού τραφούν για ένα διάστημα 3-4 ημερών, με υγρές σακχαρούχες και αζωτούχες ουσίες, όπως είναι το νέκταρ και τα μελιτώδη απεκκρίματα κοκκοειδών, πραγματοποιούνται οι συζεύξεις μεταξύ θηλυκών και αρσενικών (Τζανακάκης και Κατσόγιαννος, 2003; Papadopoulos, 2008). Στην συνέχεια, θηλυκά

ηλικίας 7-10 ημερών, εναποθέτουν από 1 έως και 9 αυγά στον καρπό δημιουργώντας την χαρακτηριστική οπή εισόδου (Papadopoulos, 2008). Οι προνύμφες οι οποίες εκκολάπτονται μετά από 2 με 4 ημέρες, τρέφονται με τη εσωτερική επιφάνεια του καρπού και αφού ολοκληρώσουν την ανάπτυξη τους σε 6-10 ημέρες, εγκαταλείπουν τον καρπό δημιουργώντας την οπή εξόδου. Στη συνέχεια νυμφώνονται σε μικρό βάθος στο έδαφος όπου παραμένουν για 9 με 11 ημέρες (Christenson and Foote, 1960; Papadopoulos 2008). Ο βιολογικός κύκλος του εντόμου ολοκληρώνεται σε διάστημα περίπου 25 ημερών ή και λιγότερο σε θερμοκρασία 25°C και σχετική υγρασία 60-70%, ενώ σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 15°C έως και 30°C με σχετική υγρασία 60-70% το διάστημα που ολοκληρώνεται ο βιολογικός κύκλος παρατηρήθηκε να είναι σε 64 και 16 ημέρες αντίστοιχα (Duyck and Quilici, 2002). Η διάρκεια ανάπτυξης του αυγού, της προνύμφης και της νύμφης μέχρι και την ενηλικίωση του εντόμου, επηρεάζονται από τις συνθήκες που τους δημιουργεί ο ξενιστής τους και από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Diamantidis et al., 2009).

Η ποσότητα και η ποιότητα τροφής, που καταναλώνεται από τις προνύμφες διαφορετικών σταδίων, εντός του καρπού που τις φιλοξενεί, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μετέπειτα ανάπτυξη, τη διάρκεια ζωής και την αναπαραγωγή του ενηλικίου της μύγας της Μεσογείου (Costa et al., 2011). Η ίδια ερευνητική ομάδα παρατήρησε την πιθανότητα προτίμησης από τα θηλυκά στην επιλογή του ξενιστή κατά την εναπόθεση των αυγών, με κύριο στόχο την ευνοϊκή ολοκλήρωση της εκκόλαψης τους στους καταλληλότερους καρπούς για την ανάπτυξη των ανήλικων σταδίων. Σε εξωτικούς καρπούς, όπως της γουάβας (*Psidium guajava*) και του *Annona muricata*, που θεωρούνται ιδανικοί για την ανάπτυξη των ανήλικων σταδίων, παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ωοτοκίες των θηλυκών. Ωστόσο, το περιβάλλον του ξενιστή, εκτός από την ανάπτυξη τους, φαίνεται να επηρεάζει και τη χρονική διάρκεια των ανήλικων σταδίων (Costa et al., 2011). Συγκεκριμένα, σε εσπεριδοειδή όπως τα λεμόνια, χρειάζονται από 14 έως και 26 ημέρες για να ολοκληρωθεί το προνυμφικό στάδιο, ενώ σε πράσινα ροδάκινα χρειάζονται από 10 έως και 15 ημέρες (Thomas et al., 2004). Επίσης, τα αποτελέσματα μιας άλλης έρευνας έδειξαν ότι η διάρκεια του προνυμφικού σταδίου αυξάνεται όταν οι ξενιστές είναι μήλα σε αντίθεση με όταν είναι σε νεράντζια (Dionysopoulou et al., 2020).

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη της μύγας της Μεσογείου. Ως ολομετάβολο έντομο, φαίνεται ότι στο στάδιο του αυγού εμφανίζει υψηλότερη

αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με άλλα αναπτυξιακά στάδια, χαρακτηριστικό γνωστό για την οικογένεια των Tephritidae (Duyck and Quilici, 2002; Bayoumy et al., 2019, Papadopoulos et al., 2023). Οι χαμηλές θερμοκρασίες παρατείνουν την ανάπτυξη όλων των ανήλικων σταδίων, όμως παρατηρήθηκε πως οι θερμοκρασίες κάτω των 15°C είναι επιζήμιες για την επιβίωση των προνυμφών (Ricalde et al., 2012). Το κατώτερο όριο της θερμοκρασίας για την ανάπτυξη, για την αναπαραγωγή και την εναπόθεση αυγών από τα θηλυκά της μύγας της Μεσογείου δεν έχει προσδιοριστεί απόλυτα, καθώς τα αποτελέσματα των πειραμάτων σε διαφορετικούς πληθυσμούς, από όλο τον κόσμο, δείχνουν να διαφέρουν (Duyck and Quilici, 2002). Φαίνεται ότι η διαδικασία εναπόθεσης των αυγών από τα θηλυκά καθυστερεί αισθητά όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 16°C, εκτός εάν παραμείνουν εκτεθειμένα στον ήλιο για μερικές ώρες (Duyck and Quilici, 2002; Thomas et al., 2004). Όταν οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 24,5°C έως και 26,1°C, το στάδιο νύμφωσης διαρκεί από 6 έως 13 ημέρες ενώ αν κυμαίνονται από 20,5°C έως 21,7°C αυξάνεται η διάρκεια του σταδίου νύμφωσης μέχρι και τις 19 ημέρες (Thomas et al., 2004). Γενικά, η ανάπτυξη της μύγας της Μεσογείου ευνοείται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 20°C έως και 30°C, ενώ όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 30°C σταματάει σταδιακά η ανάπτυξη της. Στους 35°C παρατηρείται ανασχεση της ανάπτυξη και μη συνέχιση του βιολογικού κύκλου του εντόμου (Ricalde et al., 2012).

1.6 Βιολογικά χαρακτηριστικά διαφορετικών πληθυσμών της μύγας Μεσογείου

Πληθυσμοί της μύγας Μεσογείου, από διάφορα σημεία στον κόσμο, παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι σημαντικά για την επιβίωση και εξάπλωση τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Diamantidis et al., 2011). Συγκεντρωτικά, ο Diamantidis και οι συνεργάτες του κατατάσσουν τα χαρακτηριστικά αυτά στις εξής κατηγορίες: α) στα βιολογικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν επηρεάσει την ανήλικη και την ενήλικη ζωή του εντόμου, β) στα χαρακτηριστικά τα οποία έχουν επηρεάσει τη σεξουαλική επικοινωνία μεταξύ τους (σεξουαλικό κάλεσμα των αρσενικών) και γ) στα χαρακτηριστικά τα οποία έχουν επηρεάσει την επιβίωση και η προσαρμογή τους σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Εκτενή πειράματα σε πληθυσμούς από διαφορετικές περιοχές του κόσμου έδειξαν πως υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη διάρκεια ζωής των ενήλικων και των ανήλικων σταδίων (Diamantidis et al., 2009; Diamantidis et al., 2011). Τα θηλυκά, παρόλο που στην σύγκριση με τα

αρσενικά είχαν μικρότερη διάρκεια ζωής, παρουσίασαν διαφορετική διάρκεια ζωής από περιοχή σε περιοχή. Ειδικότερα, θηλυκά από την Κένυα, την Χαβάη και την Γουατεμάλα ζούσαν μικρότερο διάστημα από ότι θηλυκά από την Ελλάδα, την Πορτογαλία και τη Βραζιλία. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει λόγω κάποιων συνθηκών, που παρουσιάζουν οι περιοχές αυτές, οι οποίες έχουν οδηγήσει το έντομο μέσω της φυσικής επιλογής να προσαρμοστεί ανάλογα (Diamantidis et al., 2009). Για παράδειγμα, στην Κένυα οι φυσικοί εχθροί, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η διαθεσιμότητα των ξενιστών έχουν οδηγήσει το πληθυσμό να ολοκληρώνει συντομότερα το βιολογικό του κύκλο, να έχει υψηλότερα ποσοστά ωοτοκίας και θνησιμότητας (Diamantidis et al., 2009; Diamantidis et al., 2011). Στη διάρκεια των ανήλικων σταδίων μεταξύ των διαφορετικών πληθυσμών φαίνεται να υπάρχει σημαντική διαφορά κατά το προνυμφικό στάδιο, με το πληθυσμό από την Κένυα να ενηλικιώνεται νωρίτερα από τους άλλους (Diamantidis et al., 2011). Επίσης, πληθυσμοί της μύγας της Μεσογείου φαίνεται να λειτουργούν διαφορετικά κατά την διαδικασία σύζευξης τους και συγκεκριμένα κατά την επικοινωνία μέσω των σεξουαλικών ελκυστικών φερομονών. Η ηλικία αναπαραγωγικής ωρίμανσης του αρσενικού και η ικανότητα προσέλκυσης των θηλυκών διαφέρουν από πληθυσμό σε πληθυσμό και σχετίζονται άμεσα με την τροφή του αρσενικού και τη φωτοπερίοδο (Diamantidis et al., 2008).

Επιπλέον, η προέλευση του πληθυσμού φαίνεται να επηρεάζει την αντοχή του στο ψύχος. Έρευνες υπό συνθήκες αυξημένης καταπόνησης ψύχους, έδειξαν πως τόσο τα ενήλικα (Papadogiorgou et al., 2023) όσο και τα ανήλικα (Papadopoulos et al., 2023) από πληθυσμούς ψυχρών κλιμάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στο ψύχος σε σχέση με τα αντίστοιχα από πληθυσμούς θερμών περιοχών. Επίσης, διαφορετικοί πληθυσμοί από την ευρύτερη λεκάνη της Μεσογείου φαίνεται να παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους ως προς την αντοχή τους στο ψύχος. Συγκεκριμένα, προνύμφες και νύμφες πληθυσμών από την Κροατία (Dubrovnik) και την Ελλάδα (Βόλος και Κρήτη) έδειξαν να παρουσιάζουν αντοχή στο ψύχος, ανάλογη με την γεωγραφική τους θέση, με αποτέλεσμα οι πληθυσμοί της Κρήτης (νοτιότερος πληθυσμός) και του Βόλου (ενδιάμεσος πληθυσμός) να είναι λιγότερο ανθεκτικοί στο ψύχος από τον βορειότερο πληθυσμό από το Dubrovnik (Papadopoulos et al., 2023). Ωστόσο, στο στάδιο του αυγού, ο βορειότερος πληθυσμός (Dubrovnik) ήταν αυτός που παρουσίασε τη χαμηλότερη αντοχή στο ψύχος (Papadopoulos et al., 2023). Πειράματα σε οχτώ διαφορετικούς πληθυσμούς της Νότιας Αφρικής, έδειξαν πως η αντοχή στην υγρασιακή καταπόνηση, στην ασιτία και στη θερμική καταπόνηση διαφέρει από πληθυσμό σε πληθυσμό (Weldon et al., 2018). Αντίθετα, πληθυσμοί εύκρατων,

υποτροπικών και τροπικών περιοχών της Βραζιλίας δείχνουν να μη διαφέρουν στις θερμικές τους απαιτήσεις και να αναπτύσσονται με όμοιους ρυθμούς όταν βρίσκονται σε ιδανικές θερμοκρασίες (Ricalde et al., 2012). Παρόλα αυτά, έχει αποδειχθεί πως ανεξάρτητα από το γεωγραφικό πλάτος από το οποίο προέρχεται ο εκάστοτε πληθυσμός, η αντοχή του στο ψύχος μπορεί να επηρεαστεί σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό από τις μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν εκεί (Moraiti et al., 2022).

Η σύγκριση και η καταγραφή των χαρακτηριστικών μεταξύ άγριων και εργαστηριακών πληθυσμών, στις ίδιες συνθήκες, έδειξε πως υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Ειδικότερα, οι εργαστηριακοί πληθυσμοί φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερη διάρκεια ζωής, μεγαλύτερο ρυθμό αναπαραγωγής και μεγαλύτερη πληθυσμιακή αύξηση από ότι οι άγριοι πληθυσμοί (Vargas and Carey, 1989). Αποτελέσματα από έρευνα που συνέκρινε τη συμπεριφορά άγριων και εργαστηριακών πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου έδειξε πως οι άγριοι πληθυσμοί μπορούν να προσαρμοστούν με μεγαλύτερη επιτυχία σε διαφορετικούς ξενιστές και διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες απ' ότι οι αντίστοιχοι εργαστηριακοί πληθυσμοί (Dionysopoulou et al., 2020). Οι εργαστηριακοί πληθυσμοί ολοκληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο κάτω από ιδανικές συνθήκες (θερμοκρασία, διαθεσιμότητα φαγητού και νερού, απουσία εχθρών) οι οποίες οδηγούν τον πληθυσμό σε μειωμένη έκφραση γονιδίων, που σχετίζονται με την καταπόνηση, κάνοντας τους αυτόματα λιγότερο ανθεκτικούς (Dionysopoulou et al., 2020). Έρευνες οι οποίες εστίασαν στην συμπεριφορά και αρμοστικότητα που δημιουργούν οι τεχνητές και οι φυσικές δίαιτες σε άγριους και εργαστηριακούς πληθυσμούς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως οι άγριοι προτιμούν και επιλέγουν την φυσική διαίτα ενώ οι εργαστηριακοί δεν δείχνουν να έχουν κάποια προτίμηση (Bravo and Zucoloto, 1997). Οι Bravo και Zucoloto, συμπληρώνουν πως τόσο τα θηλυκά όσο και τα ανήλικα στάδια, συγκεκριμένα το προνυμφικό στάδιο, του άγριου πληθυσμού επέλεξαν αποκλειστικά την παπάγια (φυσική διαίτα) για την εναπόθεση των αυγών και για την τροφή τους αντίστοιχα. Θεωρείται πιθανό τα φρούτα να λειτουργούν με μηχανικά και χημικά ερεθίσματα ελκύοντας τα θηλυκά για την εναπόθεση των αυγών (Economopoulos, 1992; από Bravo and Zucoloto, 1997). Αυτά τα ερεθίσματα φαίνεται να μην γίνονται αντιληπτά στον ίδιο βαθμό από τον εργαστηριακό πληθυσμό. Επικρατέστερο αίτιο θεωρείται η μεγάλη μείωση της γενετικής παραλλακτικότητας που έχει δεχθεί ο εργαστηριακός πληθυσμός λόγω των ιδανικών συνθηκών διαβίωσης (Bravo and Zucoloto, 1997; Chapman et al., 1998; Diamantidis et al., 2008).

1.7 Σκοπός της παρούσας διατριβής

Εδώ και δεκαετίες, η μύγα της Μεσογείου χρησιμοποιείται ως οργανισμός μοντέλο σε δημογραφικές έρευνες με σκοπό την κατανόηση της βιολογίας και της συμπεριφοράς διαφορετικών πληθυσμών του εντόμου, σε φυσικά και τεχνητά περιβάλλοντα. Σημαντικοί παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν την ανάπτυξη και την εξέλιξη των πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου είναι: α) η γεωγραφική περιοχή προέλευσης του πληθυσμού, β) οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή και γ) η διαθεσιμότητα των ξενιστών σε αυτήν την περιοχή (Fletcher, 1989; Diamantidis et al., 2009). Επιστήμονες έχουν μελετήσει εκτενώς πληθυσμούς της μύγας της Μεσογείου, από διαφορετικά σημεία του κόσμου, σε διαφορετικές δίαιτες και διαφορετικές κλιματικές συνθήκες (Vargas and Carey, 1989; Economopoulos, 1992; Bravo and Zucoloto, 1997; Chapman et al., 1998; Papadopoulos, 2008; Diamantidis et al., 2008; Diamantidis et al., 2009; Diamantidis et al., 2011; Ricalde et al., 2012; Weldon et al., 2018; Dionysopoulou et al., 2020; Papadopoulos et al., 2023). Η θερμοκρασία, υπό την οποία αναπτύσσεται το κάθε στάδιο του εντόμου, είναι γνωστό πως επιδράει στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανήλικων και ενήλικων ατόμων της μύγας της Μεσογείου. Βιβλιογραφικές αναφορές κάνουν λόγο για εμφάνιση πληθυσμών σε περιοχές με ψυχρότερα κλίματα, στις οποίες διαχειμάζουν και ως ενήλικα όπως είναι για παράδειγμα η Βόρεια Ιταλία (Rigamonti et al., 2004). Αυτές οι διαπιστώσεις μας γεννούν τα ακόλουθα ερωτήματα: α) πως αυτοί οι πληθυσμοί καταφέρνουν να ανταπεξέλθουν στις χαμηλότερες θερμοκρασίες; β) πως μπορεί να επηρεαστεί η εξάπλωση της μύγας της Μεσογείου σε βορειότερες, πιο ψυχρές περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου και γ) ποιος μπορεί να είναι ο ρόλος της κλιματικής αλλαγής και συγκεκριμένα οι έντονες αυξομειώσεις των θερμοκρασιών στην ανταπόκριση των πληθυσμών από διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Δημογραφικά πειράματα, τα οποία έχουν εστιάσει στην επίδραση της θερμοκρασίας στην μύγα της Μεσογείου, έχουν εξετάσει κυρίως τις σταθερές θερμοκρασίες. Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται το έντομο όταν είναι εκτεθειμένο σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες δεν έχει μελετηθεί εκτενώς με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν αρκετά στοιχεία και να απαιτούνται περαιτέρω έρευνες.

Στην παρούσα διατριβή, με γνώμονα τη μελλοντική εξέλιξη και εξάπλωση που δείχνει να έχει η μύγα της Μεσογείου στις βορειότερες περιοχές της εύκρατης ζώνης, εξετάστηκε η επίδραση της θερμοκρασίας σε διάφορα βιολογικά χαρακτηριστικά του εντόμου. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η επίδραση σταθερών και μεταβαλλόμενων θερμοκρασιών (θερμόκυκλων) στα δημογραφικά

χαρακτηριστικά (διάρκεια ζωής, ωοπαραγωγή, εκκολαψιμότητα αυγών) των ενηλίκων (θηλυκών και αρσενικών) τριών διαφορετικών πληθυσμών της μύγας της Μεσογείου που προέρχονταν από διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη προκειμένου να διαπιστωθούν πιθανές ομοιότητες ή διαφορές στην ανταπόκριση τους στις διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Συνθήκες εργαστηρίου

Η παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας από τον Οκτώβριο του 2022 έως το Μάιο του 2023. Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικά διαμορφωμένο δωμάτιο ελεγχόμενων συνθηκών (εντομοδωμάτιο) και τρεις θάλαμοι στους οποίους επικρατούσαν διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας. Οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας οι οποίες παραμείναν σταθερές όλη την διάρκεια του πειράματος, ρυθμίζονταν στο εντομοδωμάτιο με κλιματικές μονάδες τύπου STULZ CompTrol 1001 (Diamar Ltd.) και από υγραντήρα τύπου Rohson R-9507, ενώ στους θαλάμους μέσω των συστημάτων ρύθμισης που έχει κάθε θάλαμος. Συγκεκριμένα, κάθε θάλαμος είχε μια σταθερή θερμοκρασία ($6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $15 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ και $20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$) αντίστοιχα, σχετική υγρασία $65 \pm 5 \%$ και φωτοπερίοδο 14:10 Φ:Σ όπου η φωτόφαση διαρκούσε από τις 07:00 το πρωί έως και 20:00 το απόγευμα. Το εντομοδωμάτιο είχε σταθερή θερμοκρασία $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $65 \pm 5 \%$ και φωτοπερίοδο 14:10 Φ:Σ αντίστοιχη με αυτή των θαλάμων. Η παροχή του φωτός και η ρύθμιση της φωτοπεριόδου πραγματοποιούνταν με λαμπτήρες φθορίου και χρονοδιακόπτες προσαρμοσμένους στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος των θαλάμων και του εντομοδωματίου.

2.2 Πληθυσμοί που χρησιμοποιήθηκαν και μέθοδος εκτροφής της μύγας της Μεσογείου

Οι πληθυσμοί της μύγας Μεσογείου που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή του πειράματος προήλθαν από τρεις διαφορετικές περιοχές με διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος. Δύο από την Ελλάδα, συγκεκριμένα από την Κρήτη (Χανιά) και το Βόλο (Λεχώνια) οι οποίοι

εκτράφηκαν για δώδεκα και για οχτώ γενιές στο εργαστήριο αντίστοιχα (F₁₂, F₈), και ένας από το Dubrovnik της Κροατίας ο οποίος εκτράφηκε για έντεκα γενιές στο εργαστήριο (F₁₁).

Η εκτροφή πραγματοποιήθηκε στις 21/10/2022, στο δωμάτιο εκτροφών του εργαστηρίου (25 ± 1 °C, σχετική υγρασία 65 ± 5 % και φωτοπερίοδο 14:10 Φ:Σ). Ειδικότερα, για κάθε πληθυσμό τοποθετήθηκε ένα τεχνητό υπόστρωμα ωοτοκίας (dome) για 24 ώρες σε ένα ξύλινο κλουβί εκτροφής (30cm x 30cm x 30cm) του εκάστοτε πληθυσμού. Στην κάτω επιφάνεια του dome τοποθετήθηκε σε ένα πλαστικό τρυβλίο φυσικός χυμός πορτοκαλιού και νερό για τη διέγερση της ωοτοκίας των θηλυκών. Το τεχνητό υπόστρωμα (dome), κόκκινο, κοίλο πλαστικό ημισφαίριο διαμέτρου 5 cm το οποίο έφερε περίπου 40-50 ομοιόμορφα κατανεμημένες οπές μικρής διαμέτρου (1mm) (Papanastasiou et al., 2019, Dionysopoulou et al., 2020). Στις 22/9, τα αυγά που είχαν ωοτοκηθεί από τα θηλυκά της εκτροφής συλλέχθηκαν με την χρήση ενός λεπτού μαλακού πινέλου και τοποθετήθηκαν σε ομάδες των 100-150 στην επιφάνεια δίσκων βαμβακιού οι οποίοι είχαν εμβαπτιστεί σε τεχνητή τροφή ανηλίκων. Η σύσταση της τεχνητής τροφής ήταν η εξής: 100 gr κρυσταλλικής ζάχαρης (σακχαρόζη), 100 gr μαγιά μύρας, 50 gr σογιάλευρου, 8 gr κιτρικού οξέος, 2 gr μίγματος αλάτων, 1.5 gr προπιονικού νατρίου και 500 ml νερού (Boller, 1985, Papanastasiou et al., 2019). Στη συνέχεια, οι δίσκοι βάμβακος τοποθετήθηκαν σε σκοτεινό μέρος του εντομοδωματίου για 3-4 ημέρες. Την 4η ημέρα, με την εμφάνιση των πρώτων προνυμφών, οι δίσκοι βάμβακος τοποθετήθηκαν σε πλαστικές λεκάνες με άμμο αποστειρωμένη στους 150°C για 6 ώρες. Στη 1/10 παρατηρήθηκαν οι πρώτες νύμφες και η διαδικασία της νύμφωσης ολοκληρώθηκε μετά από 3-4 ημέρες. Όταν ολοκληρώθηκε η νύμφωση, η άμμος κοσκινίστηκε και οι νύμφες συλλέχθηκαν σε πλαστικά τρυβλία. Η έξοδος των ενήλικων πραγματοποιήθηκε στις 8/10/2022 και ακολούθησε, με την χρήση αναρροφητήρα, ο διαχωρισμός τους στα τελικά πειραματικά κλουβιά που κατασκευάστηκαν από Plexiglass (19cm x 14cm x 9cm) (Εικόνα 2.2.1) Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε συνολικά δύο φορές ώστε να συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός θηλυκών κι αρσενικών. Η δεύτερη έξοδος ενηλίκων πραγματοποιήθηκε στις 3/11/2022.



Εικόνα 2.2.1 Κλουβιά Plexiglass (19cm x 14cm x 9cm) δημογραφίας ενηλίκων λίγο πριν την εισαγωγή τους στους διαφορετικούς θερμοκύκλους.

2.3 Δημογραφία ενηλίκων

Σε κάθε κλουβί Plexiglass διαστάσεων 19cm x 14cm x 9cm τοποθετήθηκαν συνολικά 30 ενήλικα, 15 αρσενικά και 15 θηλυκά. Τα κλουβιά έφεραν ανοίγματα σε όλες τις πλευρές εκτός της βάσης, ένα συρτάρι για τοποθέτηση της τροφής, οπή για την τοποθέτηση του υποστρώματος ωοτοκίας (dome) κι ένα συρτάρι κάτω από το dome για την τοποθέτηση διαβρεγμένου σπόγγου ανθοδετικής ο οποίος αποσκοπούσε στη διατήρηση της υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα στην περιοχή του dome ώστε να προσομοιωθούν καλύτερα τα χαρακτηριστικά του καρπού και να διευκολυνθεί έτσι η ωοτοκία των θηλυκών. Στα ανοίγματα τοποθετήθηκαν σίτες, στο συρτάρι τροφής η τροφή των ενηλίκων (ζάχαρη, υδρολυμένη μαγιά και νερό σε αναλογία 4:1:5) με σταγόνες σε ελεύθερη διάταξη για ευκολότερη προσέγγιση από τα ενήλικα (Εικόνα 2.3.1) και στην οπή τοποθετήθηκε υπόστρωμα ωοτοκίας (dome). Επίσης για την εξασφάλιση του νερού, στην γωνία κάθε κλουβιού με την χρήση λεπτού σύρματος προσδέθηκαν πλαστικά φιαλίδια με νερό και σπογγώδες φιτίλι (Εικόνα 2.3.2). Η ανανέωση της τροφής και του νερού γινόταν σε εβδομαδιαία βάση.



Εικόνα 2.3.1 Τροφή ενηλίκων



Εικόνα 2.3.2 Σπογγώδες φυτόλι νερού

Τα ενήλικα (15 αρσενικά και 15 θηλυκά/μεταχείριση και κλωβό) παρέμειναν για 24 ώρες σε εντομοδομάτιο με θερμοκρασία $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $65 \pm 5 \%$ και φωτοπερίοδο 14:10 Φ:Σ. Μετά το πέρας των 24 ωρών ακολούθησε η τοποθέτηση των κλουβιών στο εντομοδομάτιο και στους κλιβάνους. Σε κάθε κλίβανο με διαφορετικές θερμοκρασίες (6, 15 και 20°C) και στο εντομοδομάτιο (25°C) τοποθετήθηκαν 18 κλουβιά, 6 για κάθε πληθυσμό, τα οποία παρέμειναν σταθερά στον ίδιο κλίβανο/εντομοδομάτιο καθόλη την διάρκεια του πειράματος (Εικόνα 2.3.3). Συγκεκριμένα για τους θερμοκύκλους, 18 κλουβιά ακολούθησαν μια συνεχόμενη εναλλαγή στην οποία παραμέναν για 72 ώρες (3 ημέρες) στους 6°C και μετά για 24 ώρες (1 ημέρα) στους 15°C ($6:15^{\circ}\text{C}$). Αντίστοιχα 18 κλουβιά ακολούθησαν το ίδιο σύστημα εναλλαγής στους 20°C ($6:20^{\circ}\text{C}$) και 18 κλουβιά στους 25°C ($6:25^{\circ}\text{C}$). Ο συνολικός αριθμός των κλουβιών που παρέμειναν σε σταθερές και σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες ήταν 72 και 54 αντίστοιχα (126 κλουβιά συνολικά). Ο συνολικός αριθμός όλων των εντόμων που μελετήθηκαν ήταν 1890 θηλυκά και 1890 αρσενικά.



Εικόνα 2.3.3 Θάλαμοι με σταθερή θερμοκρασία 6, 15 και 20°C.

Καθημερινά από την ημέρα της εξόδου των ενηλίκων έως και το θάνατο τους καταγραφόταν για κάθε κλουβί η θνησιμότητα, η ωοπαραγωγή και το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών. Η καταγραφή της ωοπαραγωγής πραγματοποιούνταν με την χρήση ενός λεπτού πινέλου, με το οποίο γινόταν η συλλογή των αυγών από το dome, και η τοποθέτησή τους σε μικρό τρυβλίο petri επενδυμένο με σκουρόχρωμη φόδρα όπου και καταμετρούνταν. Κάθε τρυβλίο petri αντιστοιχούσε σε ένα κλουβί της κάθε μεταχείρισης. Ιδιαίτερη προσοχή δινόταν στο συρτάρι με το σφουγγάρι κάτω από το dome λόγω της πτώσης μερικών αυγών σε αυτό. Ωστόσο, χάρη στο σκούρο πράσινο χρώμα και στη λεία επιφάνεια του σπόγγου τα αυγά μπορούσαν να απομακρυνθούν και να καταμετρηθούν με μεγάλη ευκολία. Έπειτα τα τρυβλία διατηρούνταν στους 25°C για μερικές ημέρες και τυλίγονταν με parafilm προκειμένου να εξασφαλιστεί η απαραίτητη υγρασία για την επιβίωση τους. Στην συνέχεια καταμετρούνταν οι προνύμφες που εκκολάφθηκαν από το κάθε τρυβλίο (έλεγχος των αυγών που «έσκασαν») και υπολογιζόταν το ποσοστό επιβίωσης των αυγών. Η εκκόλαψη των αυγών καταγραφόταν με την χρήση στερεοσκοπίου (Zeiss Discovery. V12 και Leica MZ12) (Εικόνα 2.3.4).



Εικόνα 2.3.4 Στερεοσκόπιο στο χώρο του εργαστηρίου.

2.4 Στατιστική ανάλυση

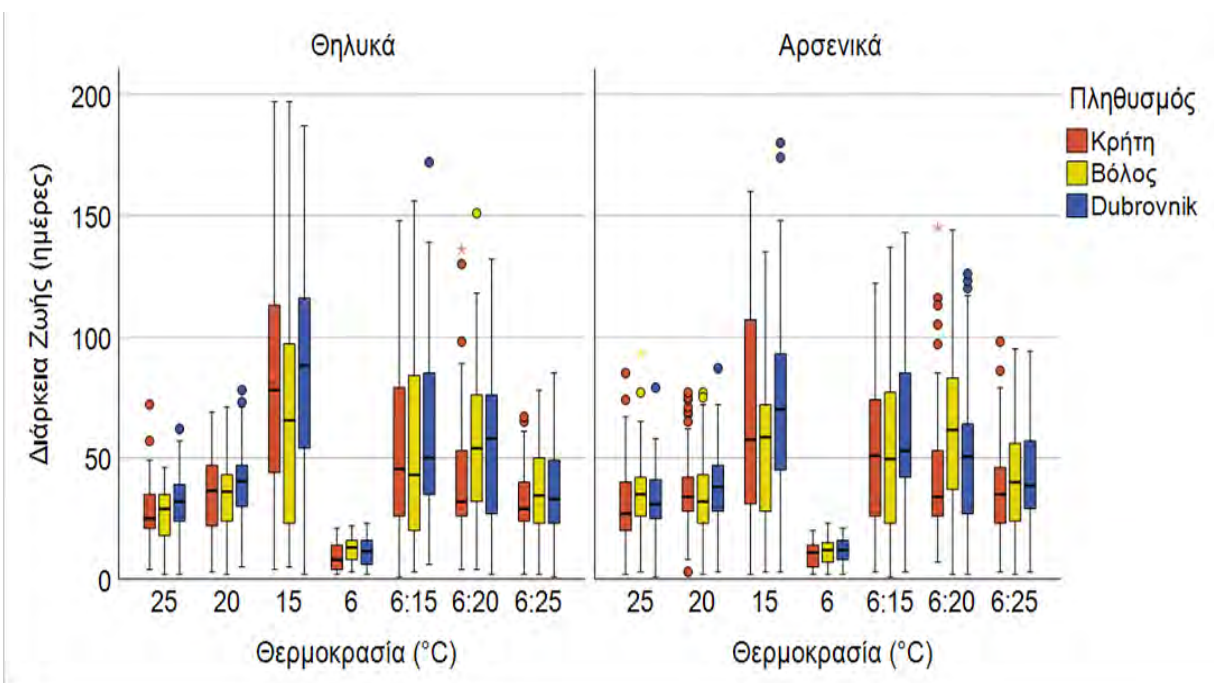
Η επεξεργασία και στατική ανάλυση των δεδομένων της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε με το λογιστικό πακέτο SPSS 26.0 (SPSS, Chicago, Il., USA). Οι επιδράσεις του πληθυσμού, της θερμοκρασίας και του φύλου στη διάρκεια ζωής των ενηλίκων ελέγχθηκαν με το μοντέλο αναλογικών κινδύνων (Cox proportional hazards model). Οι επιδράσεις του πληθυσμού και της θερμοκρασίας στη μέση ωοπαραγωγή των θηλυκών προσδιορίστηκαν με ανάλυση παραλλακτικότητας (Univariate ANOVA). Παρομοίως, οι επιδράσεις του πληθυσμού και της θερμοκρασίας στην εκκόλαψη των αυγών που ωοτοκήθηκαν από τα θηλυκά ελέγχθηκαν με ανάλυση παραλλακτικότητας (Univariate ANOVA).

3. Αποτελέσματα

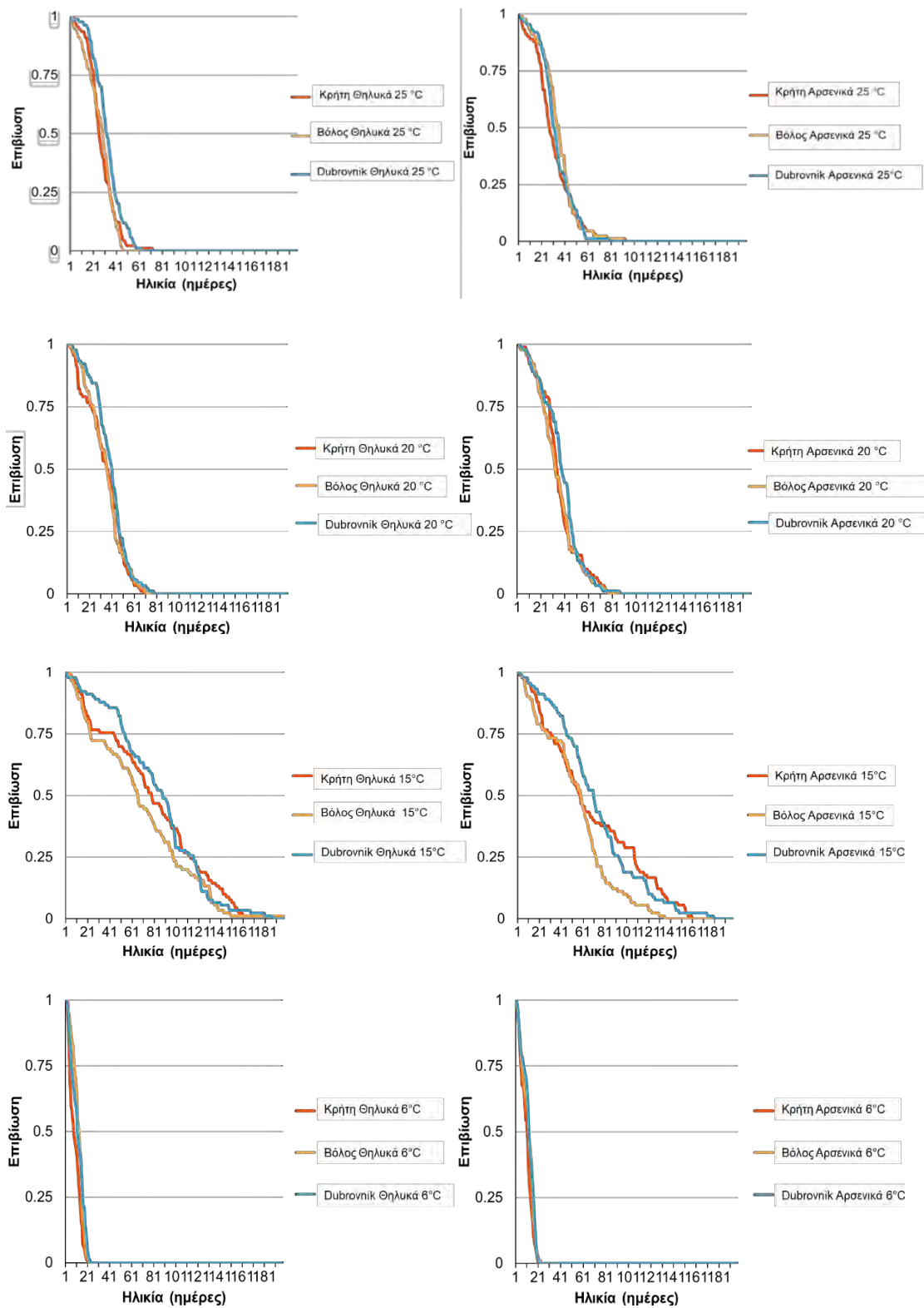
3.1 Επίδραση του πληθυσμού, της θερμοκρασίας και του φύλου στη διάρκεια ζωής των ενηλίκων

Η διάρκεια ζωής των ενηλίκων (θηλυκών και αρσενικών) των διαφορετικών πληθυσμών υπό την επίδραση των διαφορετικών θερμοκρασιακών μεταχειρίσεων παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως η θερμοκρασία επηρέασε τη διάρκεια ζωής των

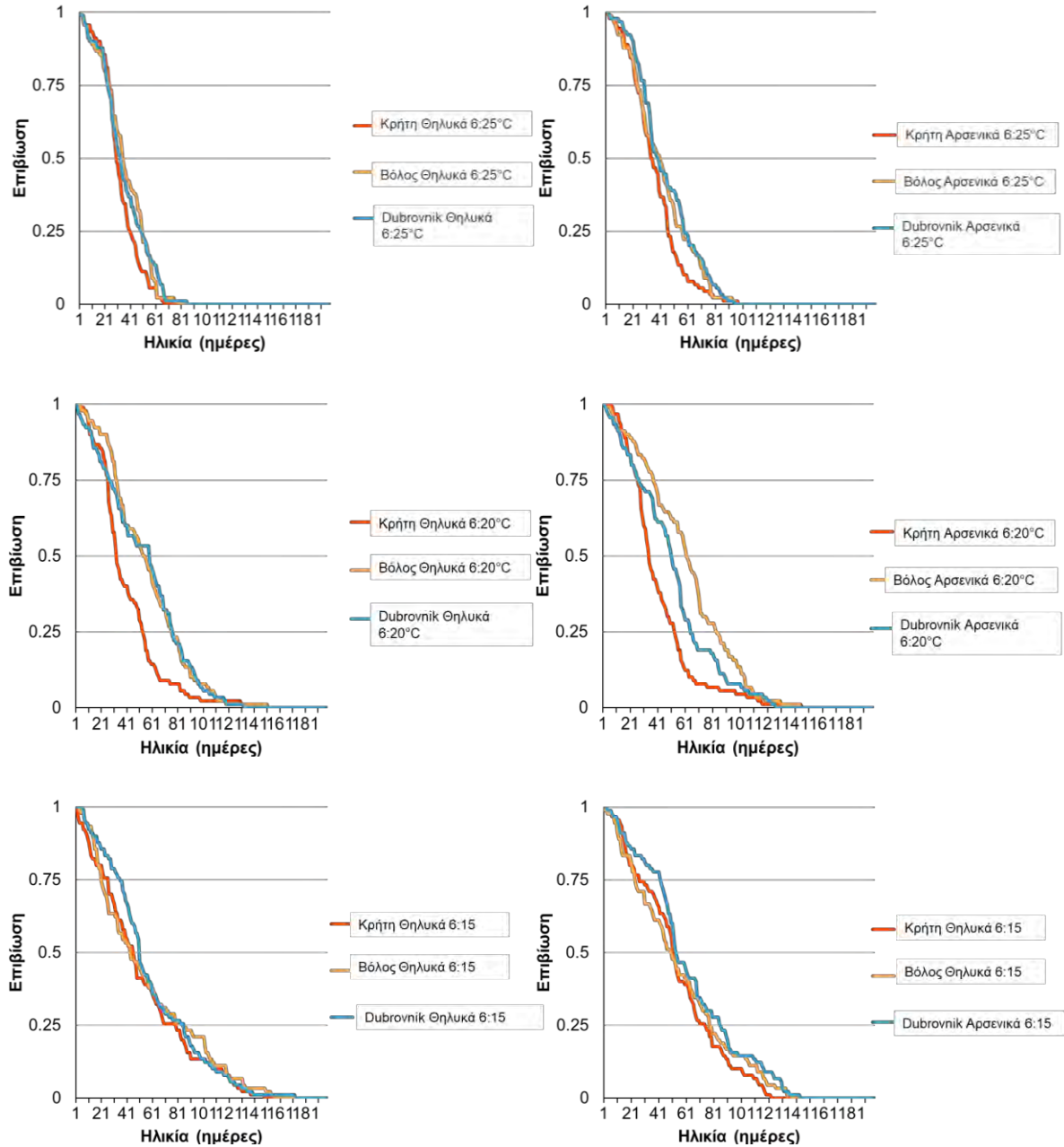
ενήλικων (Wald test $t_{\text{θερμοκρασία}} = 871.035$, $df = 6$, $p < 0.001$) ενώ ο πληθυσμός και το φύλο δεν είχαν σημαντική επίδραση (Wald test $t_{\text{πληθυσμός}} = 3.930$, $df = 2$, $p > 0.05$, Wald test $t_{\text{φύλο}} = 0.078$, $df = 1$, $p > 0.05$). Σημαντική επίδραση στην διάρκεια ζωής των ενήλικων είχαν και οι αλληλεπιδράσεις του πληθυσμού με τη θερμοκρασία (Wald test $t_{\text{πληθυσμός*θερμοκρασία}} = 52.079$, $df = 12$, $p < 0.001$) και του φύλου με τη θερμοκρασία (Wald test $t_{\text{φύλο*θερμοκρασία}} = 35.381$, $df = 6$, $p < 0.001$). Στους 15°C παρατηρείται σημαντική αύξηση της διάρκειας ζωής των θηλυκών και των αρσενικών συγκριτικά με τις υπόλοιπες σταθερές θερμοκρασίες (6, 20 και 25°C). Επίσης, παρατηρήθηκε ότι στους 6°C η μέση διάρκεια ζωής δεν ξεπέρασε τις 15 ημέρες ενώ η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής ήταν οι 23 ημέρες. Τα ενήλικα τα οποία τοποθετήθηκαν σε θερμόκυκλους (6:15, 6:20, 6:25°C για 3:1 ημέρες) φαίνεται πως ευνοήθηκαν από τη δυνατότητα που τους δινόταν να παραμένουν για 1 ημέρα σε υψηλότερες θερμοκρασίες έχοντας ως αποτέλεσμα να μπορούν να ανακάμψουν και συνεπώς να αυξηθεί σημαντικά η διάρκεια ζωής τους σε σχέση με εκείνα που παρέμειναν συνεχώς στους 6°C.



Διάγραμμα 1: Διάρκεια ζωής των θηλυκών (αριστερή στήλη) και αρσενικών (δεξιά στήλη) των τριών πληθυσμών από την Κρήτη, το Βόλο και το Dubrovnik που παρέμειναν στις σταθερές και μεταβαλλόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες.



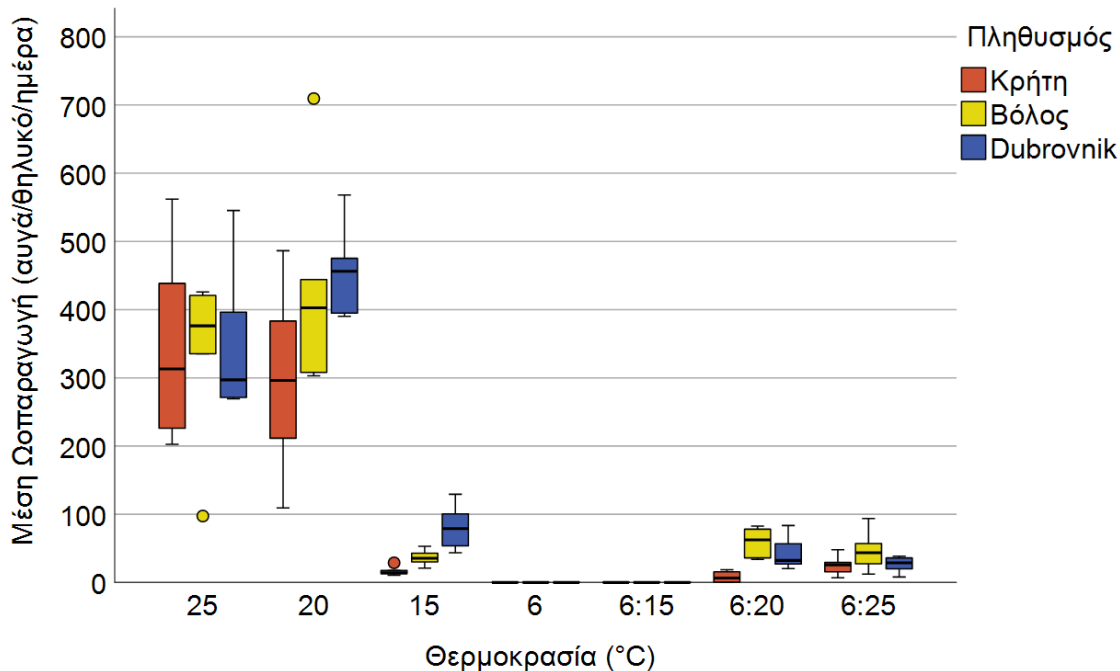
Διάγραμμα 2: Καμπύλες επιβίωσης των θηλυκών και αρσενικών των διαφορετικών πληθυσμών που παρέμειναν σε σταθερές θερμοκρασίες (25°C, 20°C, 15°C και 6°C).



Διάγραμμα 3: Καμπύλες επιβίωσης των θηλυκών και αρσενικών των διαφορετικών πληθυσμών που παρέμειναν σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες (6:25°C, 6:20°C και 6:15°C).

3.2 Επίδραση του πληθυσμού και της θερμοκρασίας στην ωοπαραγωγή των θηλυκών

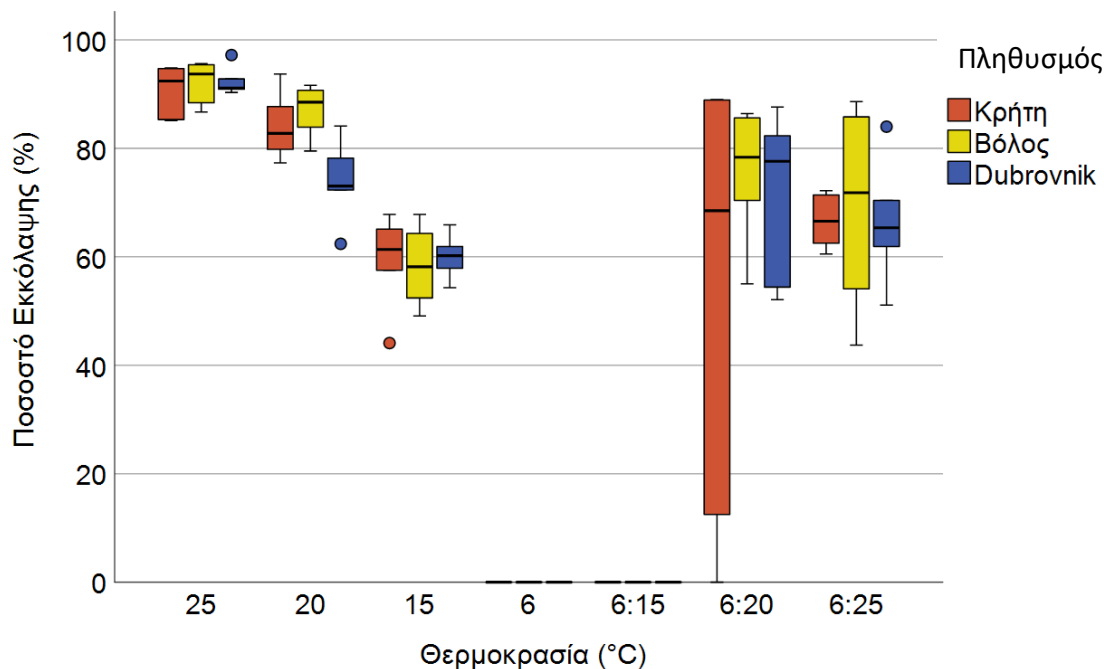
Η μέση ωοπαραγωγή των θηλυκών των διαφορετικών πληθυσμών υπό την επίδραση των διαφορετικών θερμοκρασιακών μεταχειρίσεων παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως η θερμοκρασία και ο πληθυσμός επηρέασαν την ωοπαραγωγή των θηλυκών ($F_{\text{θερμοκρασία}} = 117.8$, $df = 6$, $p < 0.001$, $F_{\text{πληθυσμός}} = 3.85$, $df = 2$, $p < 0.05$) ενώ η αλληλεπίδραση του πληθυσμού με τη θερμοκρασία δεν επηρέασαν σημαντικά την ωοπαραγωγή ($F_{\text{πληθυσμού*θερμοκρασία}} = 1.43$, $df = 12$, $p > 0.05$). Τα θηλυκά που παρέμειναν σε υψηλότερες σταθερές θερμοκρασίες (20 και 25°C) παρήγαγαν πολύ μεγαλύτερο αριθμό αυγών από αυτά που παρέμειναν στις χαμηλότερες (15°C). Στους 6°C, τα θηλυκά δεν παρήγαγαν κανένα αυγό, φαινόμενο που παρατηρήθηκε και στον θερμόκυκλο 6:15°C. Ωστόσο, με τη δυνατότητα που είχαν τα θηλυκά των θερμόκυκλων (6:20, 6:25°C) να παραμείνουν και να ανακάμψουν για 1 ημέρα στους 20°C και 25°C επιτεύχθηκε επαγωγή της ωοτοκίας. Παρόλο που δεν υπήρξε ένα συγκεκριμένο μοτίβο στην ωοπαραγωγή των διαφορετικών πληθυσμών που παρέμειναν στις διαφορετικές θερμοκρασίες, στις περισσότερες περιπτώσεις ο πληθυσμός της Κρήτης παρουσίασε τη χαμηλότερη ωοπαραγωγή.



Διάγραμμα 4: Μέση ωοπαραγωγή των θηλυκών των τριών πληθυσμών από την Κρήτη, το Βόλο και το Dubrovnik που παρέμειναν σε σταθερές και μεταβαλλόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες.

3.3 Επίδραση του πληθυσμού και της θερμοκρασίας στο ποσοστό εκκόλαψης των αυγών

Το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών που προήλθαν από τα θηλυκά των διαφορετικών πληθυσμών τα οποία ωοτοκήσαν στις διαφορετικές θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3. Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως η θερμοκρασία επηρέασε το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών ($F_{\text{θερμοκρασία}} = 194.529$, $df = 6$, $p < 0.001$). Ωστόσο, ο πληθυσμός και η αλληλεπίδραση του πληθυσμού με τη θερμοκρασία δεν είχαν σημαντική επίδραση ($F_{\text{πληθυσμός}} = 1.269$, $df = 2$, $p > 0.05$, $F_{\text{πληθυσμός*θερμοκρασία}} = 1.173$, $df = 12$, $p > 0.05$). Τα αυγά που ωοτοκήθηκαν από τα θηλυκά που παρέμειναν στις χαμηλότερες θερμοκρασίες (15°C) παρουσίασαν αυξημένη θνησιμότητα συγκριτικά με αυτά που ωοτοκήθηκαν στις υψηλότερες σταθερές θερμοκρασίες (20 και 25°C). Τα αυγά που ωοτοκήθηκαν από τα θηλυκά που παρέμειναν στους θερμόκυκλους (6:20, 6:25°C) παρουσίασαν χαμηλότερο ποσοστό εκκόλαψης συγκριτικά με αυτά που ωοτοκήθηκαν στη σταθερή θερμοκρασία των 20°C και υψηλότερο ποσοστό εκκόλαψης από αυτά που ωοτοκήθηκαν στη σταθερή θερμοκρασία των 15°C.



Διάγραμμα 5: Ποσοστό εκκόλαψης των αυγών που προήλθαν από θηλυκά διαφορετικών πληθυσμών τα οποία παρέμειναν σε σταθερές και μεταβαλλόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες.

4. Συζήτηση

Μελέτες δημογραφίας στη μύγα της Μεσογείου έχουν εστιάσει κυρίως σε σταθερές και όχι σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες (Chown and Nicolson, 2004; Colinet et al., 2015; Colinet et al., 2018). Η συγκεκριμένη διατριβή εξέτασε την ανταπόκριση των ενήλικων τριών διαφορετικών πληθυσμών σε τέσσερις σταθερές θερμοκρασίες (6, 15, 20 και 25°C) και σε τρεις μεταβαλλόμενες (6:15, 6:20 και 6:25°C για 3:1 ημέρες). Τα αποτελέσματα της διατριβής έδειξαν πως: α) η θερμοκρασία, η αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας με τον πληθυσμό και η αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας με το φύλλο επηρέασαν σημαντικά τη διάρκεια ζωής των ενηλίκων, β) η θερμοκρασία και ο πληθυσμός επηρέασαν σημαντικά την ωοπαραγωγή των θηλυκών των διαφορετικών πληθυσμών ενώ η αλληλεπίδραση του πληθυσμού με την θερμοκρασία δεν την επηρέασαν και γ) η θερμοκρασία επηρέασε σημαντικά το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών ενώ ο πληθυσμός και η αλληλεπίδραση του πληθυσμού με την θερμοκρασία δεν το επηρέασαν.

Στους 6°C παρατηρήθηκε μειωμένη μέση διάρκεια ζωής των θηλυκών και αρσενικών η οποία δεν ξεπέρασε τις 15 ημέρες. Αντίθετα, στους 15°C παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της μέσης διάρκειας ζωής των θηλυκών και αρσενικών, συγκριτικά με τις υπόλοιπες σταθερές θερμοκρασίες, η οποία κυμαινόταν από τις 66 έως τις 91 ημέρες για τα θηλυκά και από τις 59 έως τις 71 ημέρες για τα αρσενικά. Στους 20°C και στους 25°C η μέση διάρκεια ζωής των θηλυκών και αρσενικών κυμαινόταν από τις 33 ημέρες έως τις 41 ημέρες και από τις 27 ημέρες έως τις 33 ημέρες αντίστοιχα. Οι 190 ημέρες (περίπου 6 μήνες) ήταν η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής θηλυκού και παρατηρήθηκε στους 15°C ενώ 181 ημέρες (περίπου 6 μήνες) ήταν η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής αρσενικού και παρατηρήθηκε και αυτή στους 15°C. Στις σταθερές θερμοκρασίες των 20°C και των 25°C τα αρσενικά φάνηκε να υπερτερούν σε μακροβιότητα σε σχέση με τα θηλυκά και στους τρεις διαφορετικούς πληθυσμούς επιβεβαιώνοντας προηγούμενες μελέτες πάνω σε διαφορετικούς πληθυσμούς της μύγας της Μεσογείου (Carey et al., 1995; Diamantidis et al., 2009). Ωστόσο, στους 15°C τα θηλυκά φάνηκε να είναι μακροβιότερα από τα αρσενικά. Στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες των 6:20°C και 6:25°C, τα αρσενικά ήταν μακροβιότερα από τα θηλυκά και στους τρεις διαφορετικούς πληθυσμούς. Ενώ στην μεταβαλλόμενη θερμοκρασία των 6:15°C παρατηρήσαμε τα θηλυκά να υπερτερούν σε μακροβιότητα έναντι των αρσενικών, όπως παρατηρήθηκε και για την σταθερή των 15°C. Είναι ιδιαίτερα πιθανό να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της αιτίας που τα ενήλικα θηλυκά παρουσιάζουν μακροβιότητα έναντι των ενήλικων

αρσενικών τόσο στην σταθερή θερμοκρασία 15°C όσο και στην μεταβαλλόμενη θερμοκρασία 6:15°C, καθώς στις χαμηλές θερμοκρασίες οι λειτουργίες των εντομών, και συγκεκριμένα των Tephritidae, όπως είναι για παράδειγμα η εναπόθεση αυγών από τα θηλυκά αναστέλλονται ή μειώνονται δραματικά (Duyck and Quilici, 2002; Thomas et al., 2004). Φυσιολογικά χαρακτηριστικά των θηλυκών σε συνδυασμό με το μειωμένο αναπαραγωγικό κόστος που έχουν σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως είναι οι 15°C, είναι πιθανό να επιδρούν στη μακροβιότητα τους. Η αναπαραγωγική επιτυχία των θηλυκών εξαρτάται άμεσα με τον αριθμό των αυγών που ωοτοκούν στους καρπούς των φυτών ξενιστών κατά τη διάρκεια της ζωής τους (Διαμαντίδης, 2009 και πηγές που αναφέρει). Ο Διαμαντίδης (2009), καταλήγει πως σε χαμηλές θερμοκρασίες εύκρατων κλιμάτων είναι πιθανό να λειτουργεί μια πίεση φυσικής επιλογής στα θηλυκά, καθώς υπάρχει μειωμένη ποσότητα καρπών από τους ξενιστές με αποτέλεσμα να αναγκάζονται να ζήσουν περισσότερο διάστημα ώστε να ωοτοκήσουν σε κατάλληλα υποστρώματα. Επίσης, οι Carey και Liedo (1995), αναφέρουν πως οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν άμεσα την θνησιμότητα, άρα ταυτόχρονα και την μακροβιότητα των ενήλικων θηλυκών και αρσενικών χωρίζονται σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες: α) στις διαφορές που παρουσιάζονται ανάμεσα σε σωματικά και γενετικά χαρακτηριστικά των θηλυκών και αρσενικών, β) στις διαφορές που οφείλονται στην αναπαραγωγική βιολογία του κάθε φύλου καθώς και γ) στην «ηθολογική προδιάθεση» (Carey and Liedo, 1995; Διαμαντίδης, 2009 και πηγές που αναφέρει). Τα δύο φύλα δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στην επιβίωση τους στους 6°C.

Βιβλιογραφικές αναφορές τονίζουν πως ο τρόπος που οι εναλλασσόμενες θερμοκρασίες επιδρούν στα έντομα, συγκεκριμένα αυξάνοντας ή μειώνοντας την διάρκεια ζωής του εξαρτάται από το είδος του εντόμου και τον τρόπο που πραγματοποιείται αυτή η μεταβολή (Colinet et al., 2015 και πηγές που αναφέρει). Για παράδειγμα πειράματα στο *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες, μεταξύ των 6°C και τους 20°C έδειξαν πως μειώνεται η διάρκεια ζωής του (Lalouette et al., 2011). Στην παρούσα διατριβή με τις συγκεκριμένες θερμοκρασιακές μεταβολές που ορίσαμε, η μύγα της Μεσογείου φάνηκε να προσαρμόστηκε και να κατάφερε να αυξήσει την διάρκεια ζωής της. Συνδυάζοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα μας με προηγούμενες μελέτες πιθανολογούμε πως αυτό το φαινόμενο μπορεί να οφείλεται στο ότι μικρές θερμικές παρεμβολές, έστω και λίγο λεπτών, σε έντομα που εκτίθενται κατά κύριο λόγο σε χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την επιβίωση τους (Yocum et al., 2012; Colinet et al., 2014). Πειράματα που εστίασαν στην ανταπόκριση

διαφορετικών μυγών των φρούτων, όπως π.χ. της *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) και του *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες των 5:20°C και 5, 8, 11:20°C αντίστοιχα, έδειξαν αύξηση στην επιβίωση των ενηλικών συμφωνώντας με τη δική μας μελέτη για τη μύγα της Μεσογείου (Takano, 2014; Colinet et al., 2015; Colinet et al., 2016). Στη δική μας περίπτωση όπου τα ενήλικα παραμέναν για 24 ώρες σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από αυτήν που βρίσκονταν για 72 ώρες (6°C) είναι πιθανό να δημιουργούσαν μια επίκτητη αντοχή στο ψύχος και να επανέρχονταν γρηγορότερα στις φυσιολογικές τους λειτουργίες (Colinet et al., 2015). Ωστόσο, τα αίτια στα οποία οφείλονται οι διαφορές στην επιβίωση στις διαφορετικές εναλλασσόμενες θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήσαμε είναι πιθανότητα πολυπαραγοντικά διότι είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία καθορίζει σημαντικές φυσιολογικές λειτουργίες των εντόμων όπως είναι η επιβίωση, η αρμοστικότητα και η συμπεριφορά (Hochachka and Somero, 2002; Colinet et al., 2018). Τα ενήλικα που μεταφέρονταν από τους 6°C στους 20°C και στους 25°C αντίστοιχα, έδειξαν να ανακάμπτουν και να επανέρχονται στις φυσιολογικές τους λειτουργίες καθώς παρατηρήθηκαν οπτικά: α) σεξουαλικά καλέσματα από τα θηλυκά, β) συζεύξεις μεταξύ των θηλυκών και αρσενικών και γ) αύξηση της ωοτοκίας των θηλυκών. Οι διεργασίες αυτές είναι πιθανό να είχαν μεγαλύτερο κόστος ενέργειας με άμεσο αποτέλεσμα την μείωση, τελικά, της διάρκειας ζωής τους. Ωστόσο, η παρατήρηση των σεξουαλικών καλεσμάτων και συζεύξεων δεν αποτελούσε μέρος του σκοπού αυτού του πειράματος, συνεπώς δεν ήταν συστηματική και άρα απαιτείται περαιτέρω έρευνα πριν καταλήξουμε σε οποιαδήποτε σχετικά συμπεράσματα. Επίσης, άλλες έρευνες αναφέρουν ότι «η αυξημένη συχνότητα έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες μειώνει το συνολικό διάστημα επιβίωσης» (Nedved et al., 1998; Jing et al., 2005; Yocum et al., 2012; Colinet et al., 2015). Τα ενήλικα που μεταφέρονταν από τους 6°C στους 15°C δεν έδειξαν να ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο καθώς δεν παρατηρήθηκε καμία από τις προαναφερθείσες οπτικές παρατηρήσεις. Πιθανό αίτιο μπορεί να αποτελεί το γεγονός πως η συνεχής έκθεση τους σε χαμηλές θερμοκρασίες επηρέασε άμεσα την κινητικότητα τους καθώς οι απώλειες ιόντων επιβάρυναν το μυϊκό και νευρικό τους σύστημα (Kelty et al., 1996; Colinet and Hance, 2009; Košťál et al., 2006; Colinet et al., 2018). Η αύξηση, όμως, στην επιβίωση τους αποδεικνύει πως μια μέρα με υψηλότερη φυσιολογική θερμοκρασία αρκεί ώστε να επανέλθουν και να ζήσουν περισσότερο. Ο τρόπος που οι μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες επιδρούν στα θηλυκά, και συγκεκριμένα στο αναπαραγωγικό κόστος έχει τονιστεί αρκετά τα τελευταία χρόνια (Colinet et al., 2018). Ωστόσο,

ο τρόπος που οι μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες επιδρούν αναπαραγωγικά στα αρσενικά δεν έχει ακόμη μελετηθεί απόλυτα και χρήζει περαιτέρω έρευνας (Colinet et al., 2016). Τέλος, οι τρεις διαφορετικοί πληθυσμοί της Κρήτης, του Βόλου και του Dubrovnik δεν παρουσίασαν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ τους σε σχέση με την θερμοκρασία, ωστόσο φαίνεται πως οι πληθυσμοί από τον Βόλο και το Dubrovnik να παρουσιάζουν μια μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Η μέση ωοπαραγωγή των θηλυκών επηρεάστηκε σημαντικά από τη θερμοκρασιακή μεταχείριση που δέχθηκαν καθώς και από τον πληθυσμό. Στις υψηλές σταθερές θερμοκρασίες των 20°C και των 25°C η ωοπαραγωγή των θηλυκών ήταν αυξημένη επιβεβαιώνοντας πως βρίσκονται κοντά στις ιδανικές θερμοκρασίες για ωοπαραγωγή. Στους 15°C παρατηρήσαμε μειωμένη ωοπαραγωγή από τα θηλυκά σε σχέση με τις άλλες δυο σταθερές συμφωνώντας και σε αυτήν την περίπτωση με προηγούμενες μελέτες, που τονίζουν ότι η ωοπαραγωγή περιορίζεται και στην συνέχεια αναστέλλεται σε θερμοκρασίες κάτω από τους 16°C (Duyck and Quilici, 2002; Thomas et al., 2004). Στους 6°C, τα θηλυκά δεν παρήγαγαν κανένα αυγό, φαινόμενο που παρατηρήθηκε και στον θερμοκύκλο 6°C:15°C. Ωστόσο, με τη δυνατότητα που είχαν τα θηλυκά και αρσενικά των θερμοκυκλών (6:20 και 6:25C°) να παραμείνουν και να ανακάμψουν για 1 ημέρα στους 20°C και 25°C επιτεύχθηκε επαγωγή της ωοτοκίας. Βιβλιογραφικές αναφορές τονίζουν πως όταν οι εναλλασσόμενες θερμοκρασίες βρίσκονται εντός των βέλτιστων θερμικών ζωνών οδηγούν σε σχετική αύξηση της παραγωγής αυγών ενώ αν βρίσκονται μεταξύ ακραίων θερμικών ζωνών, όπως είναι για παράδειγμα στην περίπτωση μας οι 6°C, η παραγωγή αυγών μειώνεται (Carroll et al., 1993; Marshall and Sinclair, 2010; Colinet et al., 2015). Επικρατέστερη αιτία, θεωρείται η αύξηση του ενεργειακού κόστους που χρειάζεται να σπαταλήσουν ώστε να επανέλθουν στις φυσιολογικές τους λειτουργίες και να ξεπεράσουν την καταπόνηση που δέχονται (Colinet et al., 2018). Επίσης, ο Colinet και οι συνεργάτες του (2018), τονίζουν πως η ενέργεια η οποία (σε φυσιολογικές συνθήκες) θα προοριζόταν να κατανεμηθεί στην αναπαραγωγή έχει ως αποτέλεσμα να κατανέμεται στη διαδικασία ανάκαμψης τους μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την αναπαραγωγική τους ικανότητα. Πειράματα σε μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες στα είδη *Bactrocera latifrons*, *Drosophila melanogaster* και *C. capitata* επιβεβαίωσαν τη μειωμένη αναπαραγωγική ικανότητα συμφωνώντας με τη δική μας μελέτη (Marshall and Sinclair, 2010; Basson et al., 2012; Takano, 2014; Colinet et al., 2018). Γενικότερα ακραίες έντονες υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, που μπορούν να χαρακτηριστούν και ως στρεσογόνες, επηρεάζουν σημαντικά την ανάπτυξη των

αυγών, την επιτυχία των συζεύξεων και τελικά την ωοπαραγωγή των θηλυκών ωστόσο δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια πως επιδρούν οι μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες και για αυτό θεωρείται ένα σημαντικό αντικείμενο μελλοντικής έρευνας (Rinehart et al., 2000; Colinet and Hance, 2009; Colinet et al., 2015).

Το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών που προήλθαν από τα θηλυκά των διαφορετικών πληθυσμών επηρεάστηκε σημαντικά μόνο από τη θερμοκρασία. Το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών ήταν χαμηλότερο στη σταθερή θερμοκρασία των 15°C. Στις υπόλοιπες σταθερές θερμοκρασίες (20 και 25°C) το ποσοστό εκκόλαψης κυμαινόταν σε υψηλές τιμές άνω του 80%. Στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες (6:20 και 6:25°C) το ποσοστό εκκόλαψης είχε μεγάλο εύρος. Με τον ίδιο τρόπο που είναι πιθανό οι στρεσογόνες θερμοκρασίες να επηρεάζουν την ωοπαραγωγή των θηλυκών, που προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι πιθανό να επηρεάζεται και η ανάπτυξη των αυγών (Gruntenko et al., 2003; Colinet et al., 2015). Ο χρόνος των ανήλικων σταδίων της μύγας της Μεσογείου επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και του ξενιστή τους (Diamantidis et al., 2009). Γενικά, η εκκόλαψη των προνυμφών πραγματοποιείται σε διάστημα 2 έως 4 ημερών σε ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες (Christenson and Foote, 1960; Papadopoulos 2008). Ωστόσο, στις δικές μας θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε ότι τα αυγά που προέρχονταν από θηλυκά που βρίσκονταν στους 15°C και στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες χρειάζονταν περισσότερες ημέρες ώστε να εκκολαφθούν, παρόλο που μετά την συλλογή τους παραμέναν στην ίδια σταθερή θερμοκρασία των 25°C. Αυτό αποτελεί μια οπτική παρατήρηση που χρίζει περαιτέρω έρευνα καθώς είναι πιθανό οι χαμηλές θερμοκρασίες να επηρεάζουν εμμέσως τη διάρκεια των ανήλικων σταδίων τα οποία προέρχονται από θηλυκά που έχουν καταπονηθεί σε αυτές.

Ο κατάλληλος σχεδιασμός πειραμάτων με στόχο την προσομοίωση των συνθηκών του περιβάλλοντος, ώστε να υπάρξει εκτενέστερη μελέτη και κατανόηση των βιολογικών χαρακτηριστικών της μύγας της Μεσογείου είναι απαραίτητος. Η θερμοκρασία στο φυσικό περιβάλλον είναι ελάχιστες φορές σταθερή καθώς την χαρακτηρίζουν συνεχείς διακυμάνσεις από ημέρα σε νύχτα και από εποχή σε εποχή (Helmunth et al., 2010). Ο τρόπος που πραγματοποιείται η αλλαγή θερμοκρασίας (απότομα ή σταδιακά) στο εργαστήριο είναι ιδιαίτερα σημαντικός και έχει έμμεση επίδραση στην φυσιολογία του εντόμου (Boardman et al., 2013; Colinet et al., 2016; Colinet et al., 2018). Για παράδειγμα απότομες μεταβολές από θερμές θερμοκρασίες σε

ψυχρότερες μπορούν να αυξήσουν την υγρασία μέχρι και 100%, δημιουργώντας υδρατμούς οι οποίοι στην συνέχεια γνωρίζουμε ότι επηρεάζουν την φυσιολογία του εντόμου (Boardman et al., 2013; Colinet et al., 2016; Colinet et al., 2018). Επίσης, είναι σημαντικό να τονίσουμε πως σε πειράματα με μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες τα έντομα τρέφονται κατά την διάρκεια των θερμικών θερμοκρασιακών παρεμβολών και όχι κατά την διάρκεια των ψυχρών, με αποτέλεσμα να παρατηρείται ασιτία στις ψυχρές θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις (Košťál et al., 2016; Colinet et al., 2016; Colinet et al., 2018). Στη δική μας μελέτη, η καταγραφή δεδομένων έγινε σε άγριους πληθυσμούς που αναπτύχθηκαν πρώτα για μερικές γενεές στο εργαστήριο. Γενικά, οι εργαστηριακοί πληθυσμοί χαρακτηρίζονται από πρώιμη αναπαραγωγική ικανότητα και υψηλότερη ωοπαραγωγή ενώ οι άγριοι φαίνεται να υπερτερούν στην μακροβιότητα, στην ικανότητα πτήσης και στην προσέλκυση από καρπούς ξενιστών (Vargas and Carey, 1989; Sollai et al., 2020). Μελέτες σε πληθυσμό του *Bactrocera olea* (Diptera: Tephritidae) αναφέρουν, ότι πληθυσμοί πολυετών εκτροφών παρουσιάζουν σημαντικές γενετικές διαφοροποιήσεις με τους άγριους πληθυσμούς και τονίζουν ότι συγκεκριμένα μετά από την F₈ γενιά αυτές οι διαφοροποιήσεις είναι ακόμα πιο έντονες (Zygouridis et al., 2014). Στη δική μας μελέτη οι γενεές των πληθυσμών του *C. capitata* ήταν F₈, F₁₀ και F₁₁ με αποτέλεσμα να είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν παρόμοια πειράματα και σε πληθυσμούς με μικρότερο αριθμό γενεάς ώστε να βγάλουμε ακόμα πιο σαφή συμπεράσματα.

5. Συμπεράσματα

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη ζωή των εντόμων είναι σημαντική διότι ανήκουν στους οργανισμούς που η ανάπτυξη τους, η αναπαραγωγή τους και τελικά η ίδια η επιβίωση τους επηρεάζεται άμεσα από το κλίμα στο οποίο ζουν (Sangle et al., 2015). Η συνολική θερμοκρασία του πλανήτη αυξάνεται, με αποτέλεσμα να αλλοιώνονται τα μέχρι σήμερα γνωστά τοπικά κλίματα. Περιοχές που θεωρούνταν είτε ψυχρές είτε θερμές τείνουν να αλλάξουν ολόένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα να γίνονται αναφορές και καταγραφές εντομολογικών εχθρών σε νέες κλιματικές ζώνες (Porter, et al., 1991; Bale, et al., 2002). Πως θα ανταποκριθεί η μύγα της Μεσογείου στην κλιματική αλλαγή; Ως εξαιρετικά πολυφάγος και σημαντικός εντομολογικός εχθρός πολλών καλλιεργειών με την ικανότητα να προσαρμόζεται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες είναι απαραίτητο να γίνει αντικείμενο περαιτέρω μελέτης για την

επιστημονική κοινότητα. Πειραματικά δεδομένα, από τις μέχρι σήμερα γνώστες βιβλιογραφίες, έχουν εστιάσει κυρίως στην μελέτη της μύγας Μεσογείου σε σταθερές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα οι μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες να είναι ένα κομμάτι που χρίζει περαιτέρω έρευνα προκειμένου να καταγραφούν πληροφορίες και παρατηρήσεις οι οποίες θα είναι χρήσιμες στην καλύτερη κατανόηση της βιολογίας του εντόμου.

Βιβλιογραφία

Bale, J., Masters, G., and Hodkinson, I., 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *J. Global Change Biol.*, 8: 1-1.

Basson, C. H., Nyamukondiwa, C., and Terblanche, J. S., 2012. Fitness costs of rapid cold-hardening in *Ceratitis capitata*. *Evolution* 66, 296-304.

Bayoumy, M.H., Michaud, J. P., Badr, F.A.A., and Ghanim, N.M., 2019. Validation of degree-day models for predicting the emergence of two fruit flies (Diptera: Tephritidae) in northeast Egypt. *Insect Science*, 28(1), pp. 153–164. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12750>.

Boardman L, Sørensen JG, Terblanche JS. 2013. Physiological responses to fluctuating thermal and hydration regimes in the chill susceptible insect, *Thaumatotibia leucotreta*. *J. Insect Physiol.* 59:781–94.

Boller, E.F., 1985. *Rhagoletis cerasi* and *Ceratitis capitata*. Vol. 2: Handbook of Insect Rearing (ed. by P. Sing & R.F. Moore) Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, pp. 135-144.

Bravo, I.S.J., and Zucoloto F.S., 1998. Performance and feeding behavior of *Ceratitis capitata*: comparison of a wild population and a laboratory population. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 87: 67–72.

Carey, J.R., 2010. The Mediterranean fruit fly. Invasion of California deepens: response to an alternative explanation for recurring outbreaks. *American Entomologist*, 56(3), pp. 158–163. <https://doi.org/10.1093/ae/56.3.158>.

Carey, J.R., and Liedo, P., 1995. Sex mortality differentials and selective survival in large medfly cohorts - implications for human sex mortality differentials. *Gerontologist*, 35, 588-596.

Carroll A.L., and Quiring D.T., 1993. Interactions between size and temperature influence fecundity and longevity of a tortricid moth, *Zeiraphera canadensis*. *Oecologia* 93:233–41.

Chown, S. L., and Nicolson, S. W., 2004. Insect physiological ecology: Mechanisms and patterns. Oxford, UK: Oxford University Press.

Christenson L. D., and Foote, R.H., 1960. Biology of fruit flies. *Annu. Rev. Entomol.* 1960. 5:171-192.

Colinet H., and Hance T., 2009. Male reproductive potential of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiinae) exposed to constant or fluctuating thermal regimes. *Environ. Entomol.* 38:242–49.

Colinet, H., Sinclair, B.J., Vernon, P., and Renault, D., 2015. Insects in Fluctuating Thermal Environments. *Annu. Rev. Entomol.* 2015. 60:123–40.

Colinet, H., Renault, D., Javal, M., Berková, P., Šimek, P. and Košťál, V., 2016. Uncovering the benefits of fluctuating thermal regimes on cold tolerance of drosophila flies by combined metabolomic and lipidomic approach. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Biol. Lipids* 1861, 1736-1745.

Colinet, H., Rinehart, J.P., Yocum, G.D., and Greenlee K.J., 2018. Mechanisms underpinning the beneficial effects of fluctuating thermal regimes in insect cold tolerance. *Journal of Experimental Biology*, 221(14), p. jeb164806.

Coronado-Gonzalez, P.A., Vijayasegaran, S., and Robinson, A.S., 2008. Functional morphology of the mouthparts of the adult Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Journal of Insect Science*, 8(73), pp. 1–11. <https://doi.org/10.1673/031.008.7301>.

Costa, A.M., Amorim, F.O., Anjos-Duarte, C.S., and Joachim-Bravo, I.S., 2011. Influence of different tropical fruits on biological and behavioral aspects of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera, Tephritidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(3), pp. 355–360. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262011005000039>.

Deschepper, P., Todd, T.N., Virgilio. M., De Meyer, M., Barr, N.B., and Ruiz-Arce, R., 2021. Looking at the big picture: worldwide population structure and range expansion of the

cosmopolitan pest *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). Biological Invasions, 23(11), pp. 3529–3543. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02595-4>.

Diamantidis, A.D., Carey, J.R., and Papadopoulos, N.T., 2008. Life- history evolution of an invasive tephritid, J. Appl. Entomol. 132: 698-699.

Diamantidis, A.D., Papadopoulos, N.T., Nakas, C.T., Wu, S., Müller, H.G., and Carey, J.R., 2009. Life history evolution in a globally-invading tephritid: patterns of survival and reproduction in medflies from six world regions. Biol. J. Linn. Soc. 97, 106–117.

Diamantidis, A.D., Ioannou, C.S., Nakas, C.T., Carey, J.R., and Papadopoulos N.T., 2019. Differential response to larval crowding of a long and a short-lived medfly biotype. Journal of Evolutionary Biology. doi: 10.1111/JEB.13569.

Dickens, J. C., Hart, W. G., Light, D. M., and Jang, E. B., 1988. Tephritid olfaction: morphology of the antennae of four tropical species of economic importance (Diptera: Tephritidae). Annals of the Entomological Society of America, 81(2), pp. 325–331. <https://doi.org/10.1093/aesa/81.2.325>.

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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229727>.

Dominiak, B.C., and Taylor-Hukins, R., 2022. Priority host plants for *Ceratitis capitata*, mediterranean fruit fly, based on the host reproduction number for surveillance, trade and eradication programs. International Journal of Tropical Insect Science, 42(6), pp. 3721–3727. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00894-4>.

Duyck, P. F., and 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), pp. 461–469. <https://doi.org/10.1079/BER2002188>.

Economopoulos, A.P., 1992. Adaptation of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) to artificial rearing. Journal of Economical Entomology 85: 753–758.

Fletcher, B. S., 1987. The biology of dacine fruit flies. Ann. Rev. Entomol. 32:115-44.

Gasperi, G., Bonizzoni, M., Gomulski, L.M., Murelli, V., Torti, C., Malacrida, A.R., and Guglielmino C.R., 2002. Genetic differentiation, gene flow and the origin of infestations of the medfly, *Ceratitis capitata*. *Genetica* 116: 125–135.

Gruntenko, N.E., Bownes, M., Terashima, J., Sukhanova, M.Z., Raushenbach I.Y., 2003. Heat stress affects oogenesis differently in wild-type *Drosophila virilis* and a mutant with altered juvenile hormone and 20-hydroxyecdysone levels. *Insect Mol. Biol.* 12:393–404.

Harmon, J.P., Moran, N.A. and Ives, A.R., 2009. Species response to environmental change: impacts of food web interactions and evolution. *Science*, 323(5919), pp.1347-1350.

Helmuth, B., Broitman, B.R., Yamane, L., Gilman, S.E., Mach, K., Mislan, K.A.S., and Denny, M.W., 2010. Organismal climatology: analyzing environmental variability at scales relevant to physiological stress. *J. Exp. Biol.* 213:995–1003.

Hochachka, P.W., and Somero, G., 2002. Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. Oxford, New York: Oxford University Press.

Kelty, J. D., Killian, K. A., and Lee, R. E., 1996. Cold shock and rapid cold-hardening of pharate adult flesh flies (*Sarcophaga crassipalpis*): effects on behaviour and neuromuscular function following eclosion. *Physiol. Entomol.* 21,283-288.

König, S., Steinmöller, S., and Baufeld, P., 2022. Origin and potential for overwintering of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) captured in an official survey in Germany. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 129(5), pp. 1201–1215. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00605-8>.

Košťál, V., Yanagimoto, M., and Bastl, J., 2006. Chilling-injury and disturbance of ion homeostasis in the coxal muscle of the tropical cockroach (*Nauphoeta cinerea*). *Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol.* 143, 171-179.

Košťál, V., Korbelová, J., Štětina, T., Poupardin, R., Colinet, H., Zahradníčková, H., Opekarová, I., Moos, M., and Šimek, P., 2016. Physiological basis for low-temperature survival and storage of quiescent larvae of the fruit fly *Drosophila melanogaster*. *Sci. Rep.* 6, 32346.

Krainacker, D.A., Carey, J.R., and Vargas, R.I. 1987. Effect of larval host on life history traits of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Oecologia*. 73: 583-590.

Lalouette, L., Williams, C.M., Hervant, F., Sinclair, B.J., and Renault, D., 2011. Metabolic rate and oxidative stress in insects exposed to low temperature thermal fluctuations. *Comp. Biochem. Physiol. A* 158: 229–34.

Liebhold, A.M. and Tobin, P.C., 2008. Population ecology of insect invasions and their management. *Annu. Rev. Entomol.*, 53, pp.387-408.

Lopes, D., Andrade, E., Egartner, A., Beitia, F., Rot, M., Chireceanu, C., Balmés, V., Loomans, A., Konefal, T., Radonjić, S., 2023. FRUIT FLY RISK MANAGE: A Euphresco project for *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) risk management applied in some European countries. *EPPO Bulletin*, 53(2), pp. 354–371. <https://doi.org/10.1111/epp.12922>.

Marshall K.E., and Sinclair B.J., 2010. Repeated stress exposure results in a survival-reproduction trade-off in *Drosophila melanogaster*. *Proc. R. Soc. Lond. Sci. B* 277: 963–69.

Moraiti, C.A., Verykoui, E. and Papadopoulos, N.T., 2022. Chill coma recovery of *Ceratitis capitata* adults across the Northern Hemisphere. *Scientific Reports*, 12(1), p.17555.

Nedved, O., Lavy, D., and Verhoef, H.A., 1998. Modelling the time–temperature relationship in cold injury and effect of high-temperature interruptions on survival in a chill-sensitive collembolan. *Funct. Ecol.* 12: 816–24

Papachristos, D.P., Papadopoulos, N.T., and Nanos, G.D., 2008. Survival and development of immature stages of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in citrus fruit. *Journal of economic entomology*. 101: 866–872.

Papadogiorgou, G.D., Moraiti, C.A., Nestel, D., Terblanche, J.S., Verykoui, E., Papadopoulos, N.T., 2023. Acute cold stress and supercooling capacity of Mediterranean fruit fly populations across the Northern Hemisphere (Middle East and Europe). *Journal of Insect Physiology*, 147, p. 104519. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2023.104519>.

Papadopoulos, A.G., Koskinioti, P., Zarpas, K.D., and Papadopoulos, N.T., 2023. Differential Cold Tolerance on Immature Stages of Geographically Divergent *Ceratitis capitata* Populations. *Biology*, 12(11), 1379.

Papadopoulos, N.T., 2008. Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Encyclopedia of Entomology*, 3, 2318-2322.

Papadopoulos, N.T., Katsoyannos, B.I., Carey, J.R., and 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., 2014. T. Shelly et al. (eds.), Trapping and the detection, control, and regulation of tephritid fruit flies, Chapter 7. DOI 10.1007/978-94-017-9193-9_7.

Papanastasiou, S.A., Carey, J.R. and Papadopoulos, N.T., 2019. Effects of early-life protein starvation on longevity and sexual performance of male medfly. *PloS one*, 14(7), p.e0219518.

Porter, J. H., Parry, M.L., and Carter, T.R., 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agril and Forest Meteorol*, 57: 221-240.

Ricalde, M.P., Nava, D.E., Loeck, A.E., 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(33):1-11.

Rigamonti, I.E., 2004. Contributions to the knowledge of *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera, Tephritidae) in Northern Italy: I. Observations on the biology. *Boll Zool Agrar Bachic* 36:89–100.

Sangle P.M., Satpute S.B., Khan F.S., and Rode N.S., 2015. Impact of climate change on insects. *Trends in Biosciences* 8(14), Print: ISSN 0974-8, 3579-3582.

Sollai, G., Solari, P., and Crnjar, R., 2020. Differences in the olfactory sensitivity of *Ceratitis capitata* to headspace of some host plants in relation to sex, mating condition and population. *Diversity*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/D12050207>.

Siomava, N., Wimmer, E.A., and Posnien, N., 2016. Size relationships of different body parts in the three dipteran species *Drosophila melanogaster*, *Ceratitis capitata* and *Musca domestica*. *Development Genes and Evolution*, 226(3), pp. 245–256. <https://doi.org/10.1007/s00427-016-0543-6>.

Takano, S.I., 2014. Survival of *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) adults under constant and fluctuating low temperatures. *Appl. Entomol. Zool.* 49, 411-419.

Thomas, M.C., Heppner, J.B., Woodruff, R.E., Weems, H.V., Steck, G.J. and Fasulo T.R., 2004. Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae)

featured creatures from the Entomology and Nematology Department. EDIS, 2004(8). <https://doi.org/10.32473/edis-in371-2001>.

Vargas, R.I., and Carey, J.R., 1989. Comparison of demographic parameters for wild and laboratory-reared Mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 82: 55-59.

Weldon, C.W., Nyamukondiwa, C., Karsten, M., Chown, S.L., and Terblanche, J.S., 2018. Geographic variation and plasticity in climate stress resistance among southern African populations of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Scientific Reports*, 8(1), p. 9849. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28259-3>.

Xue, H., Zheng, L., and Wu, W., 2015. Morphometry of compound eyes of three *Bactrocera* (Diptera: Tephritidae) species. *Florida Entomologist*, 98(2), pp. 807–809. <https://doi.org/10.1653/024.098.0266>.

Yocum, G.D., Rinehart, J.P., Kemp, W.P., 2012. Duration and frequency of a high temperature pulse affect survival of emergence-ready *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae) during low-temperature incubation. *J. Econ. Entomol.* 105:14–19.

Žežlina, J.; Rot, M.; Trdan, S. Monitoring of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* [Wiedemann]) in Primorska region in the period of 2016–2018. In *Proceedings of the Zbornik Predavanj in Referatov, 14 Slovensko Posvetovanje O Varstvu Rastlin Z Mednarodno Udeležbo*, Maribor, Slovenia, 5–6 March 2019; pp. 142–148.

Zygouridis, N.E., Argov, Y., Nemny-Lavy, E., Augustinos, A.A., Nestel, D., and Mathiopoulos, K.D., 2014. Genetic changes during laboratory domestication of an olive fly SIT strain. *Journal of Applied Entomology*, Volume 138, Issue 6: 393-473.

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

Παπαδόπουλος, Α., 2019. Διερεύνηση των σχέσεων της παραλλακτικότητας στην ανάπτυξη των ανηλικών σταδίων της μύγας της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* (Diptera:

Tephritidae) με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενηλίκων. Μεταπτυχιακή 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. Βόλος.

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

Τζανακάκης και Κωβαίος, 2018. Εντομολογία (2η έκδοση του ομότιτλου βιβλίου του Μ. Ε. Τζανακάκη του 1995). University Studio Press, Αθήνα.

Britton, Australian Museum 2018. Flies and mosquitoes: Order Diptera. <https://australian.museum/learn/animals/insects/flies-and-mosquitoes-order-diptera/>. Ανακτήθηκε: 28/8/2023.

EPPO.2023. *Ceratitis capitata* (CERTCA) <https://gd.eppo.int/taxon/CERTCA/distribution>. Ανακτήθηκε: 29/8/2023.

Hoddle, Center for Invasive Species Research, University of California, Riverside. <https://cistr.ucr.edu/resources/invasive-species-faqs#how-do-invasive-species-establ>. Ανακτήθηκε: 29/8/2023.

NC State Agriculture and Life Sciences. Diptera <https://genent.cals.ncsu.edu/insect-identification/order-diptera/>. Ανακτήθηκε: 28/8/2023.