

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Επίδραση της θερμοκρασίας στα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού της μύγας της Μεσογείου που προήλθε από την Κροατία και αναπτύχθηκε σε νεράντζια»



ΟΝ/ΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΙΔΗΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΔΡ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ, 2021

**«Επίδραση της θερμοκρασίας στα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού της μύγας της Μεσογείου που προήλθε από την Κροατία και αναπτύχθηκε σε νεράντζια»
“The effect of temperature on the demographic characteristics of the Mediterranean fruit fly population originated from Croatia and growing in bitter oranges”**

Συγγραφή/Επιμέλεια: Χριστοδουλίδης Χριστόδουλος

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

- 1. Παπαδόπουλος Νικόλαος, Δρ. Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εντομολογίας, Π.Θ.**
- 2. Αθανασίου Χρίστος Δρ. Καθηγητής Εντομολογίας Π.Θ**
- 3. Βέλλιος Ευάγγελος Δρ. Επίκουρος Καθηγητής Φυτοπαθολογία Π.Θ**

Βεβαιώνω ότι εγώ , ο Χριστοδουλίδης Χριστόδουλος , είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με των Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής διατριβής, θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά πρώτα απ' όλους τον επιβλέποντα καθηγητή του εργαστηρίου Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κύριο Νικόλαο Παπαδόπουλο για την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση και τις ευχαριστίες μου στην κ. Γεωργία Παπαδογιώργου, υποψήφια διδάκτορα, για τις πολύτιμες γνώσεις της που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος αλλά και για τη σημαντική βοήθεια της κατά την επεξεργασία και συγγραφή της πτυχιακής διατριβής.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου, για την κατανόηση και την συνέχει στήριξη που μου προσέφεραν μέχρι την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στα δημογραφικά χαρακτηριστικά της μύγας της Μεσογείου, *Ceratitis capitata* σε συνθήκες εργαστηρίου. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση τεσσάρων διαφορετικών θερμοκρασιακών μεταχειρίσεων σε πληθυσμό της μύγας της Μεσογείου που προήλθε από την Κροατία.

Το πείραμα εκπονήθηκε στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα ανήλικα αναπτύχθηκαν σε νεράντζια σε πέντε μεταχειρίσεις ύστερα από εμφυτεύσεις αυγών στον κάθε καρπό ξεχωριστά. Οι θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις ήταν 25°C, 20°C, 15°C, Θερμόκυκλος 1 (παραμονή για 2 ημέρες σε 20°C και για 2 ημέρες σε 7°C) και Θερμόκυκλος 2 (παραμονή για 2 ημέρες σε 20°C και για 6 ημέρες σε 7°C). Μετά τη νύμφωσή τους, τα έντομα μεταφέρονται σε ειδικά πλαστικά κλουβιά σε ζευγάρια και παρέμεναν στους 25°C όπου καταγράφονταν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά αυτών (επιβίωση και ωοπαραγωγή).

Τα αποτελέσματα έδειξαν άμεση συσχέτιση με τη θερμοκρασία τόσο των ποσοστών επιβίωσης και της διάρκειας ανάπτυξης των ανήλικων σταδίων της μύγας της Μεσογείου όσο και των δημογραφικών χαρακτηριστικών αυτών. Συγκεκριμένα, όσο χαμηλότερη ήταν η θερμοκρασία διατήρησης των ανήλικων σταδίων τόσο μικρότερο ήταν το ποσοστό νύμφωσης και τόσο μεγαλύτερος ήταν και ο χρόνος που απαιτούνταν για την έξοδο των ενηλίκων. Τη μεγαλύτερη διάρκεια ανάπτυξης από το αυγό έως και το ενήλικο την είχαν οι θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις των 15°C και του θερμόκυκλου 1, ενώ από τον θερμόκυκλο δύο δεν προέκυψε καμία νύμφη. Τέλος, όσον αφορά τα δημογραφικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν οι συγκρίσεις γίναν μεταξύ

των θερμοκρασιακών μεταχειρίσεων 25°C και 20°C και όπως φάνηκε δεν υπήρχε επίδραση της θερμοκρασίας διατήρησης των ανήλικων σταδίων τόσο στην επιβίωση, την αναπαραγωγή και τις περιόδους ωοτοκίας των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου.

Summary – Abstract

In the present study, we tested the effect of temperature on the demographic characteristics of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* in laboratory conditions. For this purpose, medfly population originated from Croatia was used to examine a) the developmental responses of the immature stages to constant and fluctuating temperature regimes and b) the effects on survival and reproduction of the emerging adults.

The experiment was conducted in the laboratory of Entomology and Agricultural Zoology at the University of Thessaly. The immature stages were developed in bitter oranges in five temperature treatments: 25°C, 20°C, 15°C Thermocycle 1 (remain for 2 days at 20°C and for 2 days in 7°C) and Thermocycle 2 (remain for 2 days at 20°C and for 6 days at 7°C). Soon after concluding the immature development, adults were transferred to transparent plastic cages in pairs and were kept at 25°C.

The results of the current study, showed that rearing temperature was a significant predictor of egg to adult survival. In particular, the lower the rearing temperature of immatures stages-was, the lowest the nymphing rate and the longest the developmental period until adult emergence. Especially, the longest developmental period from egg to adult, had 15°C and Thermocycle 1 and no nymphs emerged from Thermocycle 2. Finally, in terms of demographic characteristics examined, comparisons were conducted between temperature treatments of 25°C and 20°C and the results showed that there was no effect of the temperature regime during immature stages on the lifespan, fecundity and reproductive periods of adults.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	IV
Περίληψη	V
Περιεχόμενα	VIII
Κεφάλαιο 1 ^ο Εισαγωγή	10
1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση και την ανάπτυξη των ανήλικων σταδίων των εντόμων	10
1.1.1 Αβιοτικοί παράγοντες	10
1.1.2 Βιοτικοί παράγοντες	13
1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενήλικων εντόμων	13
1.2.1 Αβιοτικοί παράγοντες	14
1.2.2 Βιοτικοί παράγοντες	15
Κεφάλαιο 2 ^ο Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	16
2.1 Η μύγα της Μεσογείου (<i>Ceratitis capitata</i>)	16
2.1.1 Γενικά στοιχεία	16
2.1.2 Μορφολογία	16
2.2.3 Ξενιστές	18
2.2.4 Διασπορά	19
2.2.5 Βιολογικός κύκλος	20
2.2.6 Αντιμετώπιση	22
2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και στα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενηλίκων της οικογένειας Terphritidae	24
2.3 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και στα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενηλίκων του είδους <i>Ceratitis capitata</i>	26
2.4 Σκοπός της πτυχιακής μελέτης	28
Κεφάλαιο 3 ^ο : Υλικά και Μέθοδοι	29
3.1 Συνθήκες εργαστηρίου και έντομα που χρησιμοποιήθηκαν	29
3.1.1 Συνθήκες εργαστηρίου	29
3.1.2 Προέλευση εντόμων	29

3.1.3 Εκτροφή εντόμων	30
3.2 Πειραματική διαδικασία.....	31
3.2.1 Ξενιστής νεραντζιά	31
3.2.2 Μεθοδολογία.....	31
3.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	35
Κεφάλαιο 4 ^ο Αποτελέσματα	36
4.1 Ανάπτυξη και επιβίωση ανηλίκων σταδίων	36
4.2 Επίδραση στα ενήλικα άτομα.....	44
Κεφάλαιο 5 ^ο Συζήτηση.....	50
5.1 Επίδραση στα ανήλικα άτομα	50
5.2 Επίδραση στα ενήλικα άτομα.....	52
Κεφάλαιο 6 ^ο Συμπεράσματα	53
Βιβλιογραφία	54
Ελληνόγλωσση	54
Ξενόγλωσση	54

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή

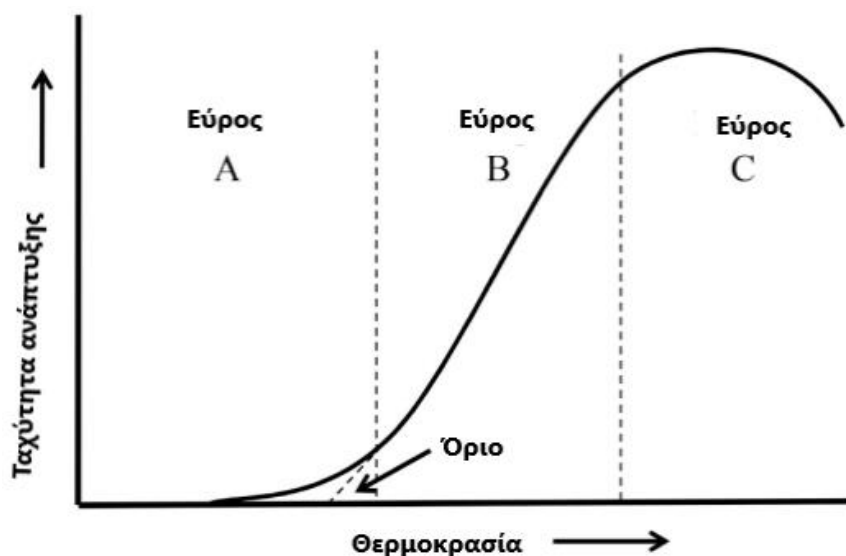
1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση και την ανάπτυξη των ανήλικων σταδίων των εντόμων

Ως ανάπτυξη νοείται η αύξηση της μάζας και του μεγέθους ενός οργανισμού. Επίσης, κατά την ανάπτυξη τα έντομα μπορεί να μην αυξάνονται σε μέγεθος, αλλά να αλλάζουν αναπτυξιακό στάδιο (π.χ. από προνύμφη σε νύμφη) (Τζανακάκης, 1995). Η ανάπτυξη, η ταχύτητα ανάπτυξης, καθώς και η επιβίωση των εντόμων επηρεάζεται από ένα πλήθος αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων. Στους αβιοτικούς παράγοντες συγκαταλέγονται η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η φωτοπερίοδος και η διαθεσιμότητα τροφής (Διονυσοπούλου κ.α., 2019). Στους βιοτικούς παράγοντες ανήκουν το είδος του ξενιστή και οι φυσικοί εχθροί (αρπακτικά, παράσιτα, παρασιτοειδή και παθογόνοι οργανισμοί) (Τζανακάκης, 1995).

1.1.1 Αβιοτικοί παράγοντες

Τα έντομα είναι ποικιλόθερμοι οργανισμοί, που σημαίνει ότι η θερμοκρασία του σώματός τους ποικίλει λιγότερο ή περισσότερο ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Agnello et al. 1993). Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά και τον ρυθμό ανάπτυξης των εντόμων. Οι Campbell et al. (1974) απεικόνισαν με την μορφή σχεδιαγράμματος τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας ανάπτυξης των εντόμων και της θερμοκρασίας (Εικόνα 1). Όπως φαίνεται στο σχήμα, υπάρχουν τρία θερμοκρασιακά εύρη (εύρος Α, Β και Γ). Στο εύρος Β, η ταχύτητα ανάπτυξης αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στο εύρος Α, όπου

είναι οι χαμηλότερες θερμοκρασιακές τιμές τα έντομα μπορούν να επιβιώσουν μεν, αλλά δεν αναπτύσσονται. Στο εύρος Γ, η ταχύτητα ανάπτυξης μειώνεται γρήγορα και μη γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Υπάρχει δηλαδή, ένα κατώτερο και ένα ανώτερο θερμοκρασιακό όριο, εντός του οποίου τα έντομα αναπτύσσονται και η ταχύτητα της ανάπτυξης τους αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 1. Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της ταχύτητας ανάπτυξης των εντόμων. Μετάφραση από πηγή: <https://doi.org/10.2307/2402197>.

Η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται το έντομο, επηρεάζει την φυσιολογία, την ανάπτυξη και την διάρκεια ζωής του (Andrewartha, 1961; Gullan and Cranston, 1994). Η μεγάλη αναλογία της επιφάνειας του σώματος τους ως προς τον όγκο τους, οδηγεί σε απώλεια υγρασίας από το σώμα τους. Γι' αυτό η υγρασία αποτελεί έναν βασικό παράγοντα για την ανάπτυξη και επιβίωση των εντόμων. Σε χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας η ανάπτυξη των εντόμων επιβραδύνεται (Σταμόπουλος 1995). Αντίστοιχα, σε υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας ή

σε κορεσμένο αέρα, τα έντομα μπορεί να πνιγούν ή να προσβληθούν πιο εύκολα από παθογόνους μύκητες (Speight et al. 1999).

Η ανάπτυξη των εντόμων δεν είναι συνεχόμενη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Μέσω μηχανισμών όπως η διάπαυση, τα έντομα αποφεύγουν κάποιες περιόδους αντίξοων συνθηκών σταματώντας την ανάπτυξη ή την αναπαραγωγή τους, και παραμένουν σε κατάσταση αδράνειας (Lee 1956). Με αυτόν τον τρόπο τα φυτοφάγα έντομα συγχρονίζουν το βιολογικό τους κύκλο, με τη διαθεσιμότητα του ξενιστή τους (διαθεσιμότητα σε τροφή). Τα περισσότερα έντομα αναπτύσσονται σε περιόδους με μακρά φωτοπερίοδο. Ωστόσο, ορισμένα παρουσιάζουν αντίθετο μοντέλο ανάπτυξης και χαρακτηρίζονται ως βραχείας φωτοπερίοδου, αναπτύσσονται κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο, ενώ τους θερινούς μήνες εισέρχονται σε διάπαυση (Lee 1956). Η αντίδραση των εντόμων στη φωτοπερίοδο εξαρτάται κυρίως από την αναλογία (σε ώρες) του σκοταδιού και του φωτός, παρά από την ένταση του φωτός. Ωστόσο, υπάρχει ένα κρίσιμο όριο έντασης φωτός κάτω από το οποίο τα έντομα σταματούν να αναπτύσσονται (Lee 1956). Σε πολλές περιπτώσεις η θερμοκρασία ανεξάρτητα από την φωτοπερίοδο, αποτελεί το κύριο ερέθισμα στην πρόκληση της διάπαυσης (Beck 1983). Σε περιπτώσεις που η τροφή δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, η θερμοκρασία είναι ο αβιοτικός παράγοντας με την μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη και επιβίωση των ανηλικών σταδίων των εντόμων (Sharpe and DeMichele 1977).

Η διαθεσιμότητα της τροφής επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και την επιβίωση όλων των σταδίων των εντόμων. Η χαμηλή διαθεσιμότητα ή κακής ποιότητας τροφή, συνήθως έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των προνυμφών και την επιβίωση τους (Wheeler 1996, Gullan and Cranston 1994). Γενικά, είναι πολύ δύσκολο να διαχωρίσουμε την επίδραση της διαθεσιμότητας τροφής στα έντομα από τους υπόλοιπους περιοριστικούς παράγοντες.

1.1.2 Βιοτικοί παράγοντες

Πέραν των αβιοτικών παραγόντων, στην ανάπτυξη και την επιβίωση των ανήλικων σταδίων των εντόμων επιδρούν σημαντικά και βιοτικοί παράγοντες. Το είδος του ξενιστή, φαίνεται να έχει επίδραση στην ανάπτυξη των εντόμων, ενώ οι φυσικοί εχθροί στην επιβίωση τους. Σε ερευνητική μελέτη των Διονυσοπούλου και συνεργάτες (2020), προσδιορίστηκε το ποσοστό επιβίωσης και ανάπτυξης των ανηλικών σταδίων της μύγας της Μεσογείου (*Ceratitis capitata*) σε δύο διαφορετικούς ξενιστές (μήλα και νεραντζιά). Το είδος του ξενιστή επηρέασε τα ποσοστά νύμφωσης και τη διάρκεια ανάπτυξης των προνυμφών. Στους φυσικούς εχθρούς των εντόμων συγκαταλέγονται όλοι οι οργανισμοί που τρέφονται ή αναπτύσσονται σε βάρος αυτών. Αυτοί μπορεί να είναι αρπακτικά, παράσιτα, παρασιτοειδή ή παθογόνοι οργανισμοί. Αυτή η κατηγορία των βιοτικών παραγόντων επηρεάζει σημαντικά την επιβίωση των εντόμων, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται στην βιολογική αντιμετώπιση των εντόμων.

1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενήλικων εντόμων

Σύμφωνα με τους Hauser and Duncan (1959), ως δημογραφία ορίζεται «η επιστήμη που μελετά το μέγεθος, την εδαφική κατανομή, την σύνθεση του πληθυσμού και των αλλαγών σε αυτό και τα συστατικά αυτών των αλλαγών».

Σύμφωνα με έναν μετέπειτα ορισμό η δημογραφία ορίζεται ως «Οι διαδικασίες γέννησης, θανάτου, μετανάστευσης εντός και εκτός του πληθυσμού, που καθορίζουν το μέγεθος, τις διακυμάνσεις και την ηλικιακή δομή των πληθυσμών. Καθώς και την μελέτη αυτών των διαδικασιών αλλά και των επιπτώσεών τους (Calow 1998). Περιλαμβάνει δηλαδή, τη μελέτη του

μεγέθους και της πυκνότητας των πληθυσμών, της ανάπτυξης και της μείωσής τους, καθώς και των κινήσεων και της διασποράς τους. Για να είναι μετρήσιμα τα παραπάνω μεγέθη, η δημογραφία των εντόμων εστιάζει στον προσδιορισμό χαρακτηριστικών, όπως ο αριθμός των ατόμων και οι ηλικίες τους, ο χρόνος αναπαραγωγής, η ωοπαραγωγή και η γονιμότητα των θηλυκών, η θνησιμότητα και η μακροβιότητα των ατόμων (Ferro 1987).

Τα παραπάνω δημογραφικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται από μια σειρά αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων. Στους αβιοτικούς παράγοντες ανήκουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, κ.α.) και η διαθεσιμότητα τροφής. Στους βιοτικούς παράγοντες ανήκουν οι ξενιστές, η φυτική βιοποικιλότητα, η πληθυσμιακή πυκνότητα, τα ενδαιτήματα και οι φυσικοί εχθροί (Hamby and Becher 2016).

1.2.1 Αβιοτικοί παράγοντες

Οι αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των εντόμων είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η διαθεσιμότητα τροφής. Στις περιβαλλοντικές συνθήκες ανήκουν η θερμοκρασία, η υγρασία, η φωτοπερίοδος, ο άνεμος, οι βροχοπτώσεις, το τοπογραφικό ανάγλυφο, ο τύπος του εδάφους (Ferro 1987, Savoroulou-Soultani et al., 2012).

Τα περισσότερα έντομα είναι ποικιλόθερμα, δηλαδή δεν διαθέτουν μηχανισμό για την ρύθμιση της θερμοκρασίας τους και η θερμοκρασία του σώματος τους εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε πολλαπλούς κλιματικούς παράγοντες, η θερμοκρασία μπορεί να επεκτείνει ή να μειώσει τη διάρκεια ζωής των εντόμων (Régnière et al., 2012).

Γενικά υπάρχει ένα θερμοκρασιακό εύρος μέσα στο οποίο ευνοούνται οι φυσιολογικές διαδικασίες και η επιβίωση των εντόμων. Ακραίες θερμοκρασιακές τιμές άνω των 40-50 °C ή και

60 °C και κάτω του μηδενός επηρεάζουν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των εντόμων. Σύμφωνα με ερευνητικές μελέτες η θερμοκρασία έχει επίδραση στην γονιμότητα και η ωοπαραγωγή των θηλυκών καθώς και μετανάστευση εντός και εκτός του πληθυσμού. Η υγρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει τη θνησιμότητα και την επιβίωση των εντόμων, άμεσα προκαλώντας ασφυξία και έμμεσα αυξάνοντας τις προσβολές από εχθρούς. Κάποια έντομα προτιμούν μέσα ποσοστά σχετικής υγρασίας ενώ κάποια άλλα όπως οι τερμίτες προτιμούν υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας 90-95%. Τέλος το τοπογραφικό ανάγλυφο (βουνά, λίμνες, θάλασσα) λειτουργεί ως φυσικά σύνορα, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των πληθυσμών των εντόμων (Ferro, 1987; Price et al., 2012; Savoroulou-Soultani et al., 2012; Khaliq et al., 2014).

1.2.2 Βιοτικοί παράγοντες

Η πληθυσμιακή πυκνότητα και ο ενδοειδικός και διάδικός ανταγωνισμός είναι δύο βιοτικοί παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνουν καθοριστικά χαρακτηριστικά της ζωής των εντόμων. Σε ορισμένες περιπτώσεις ασκεί θετική επιρροή και σε ορισμένες άλλες αρνητική. Συνήθως, η πυκνότητα του πληθυσμού μειώνεται λόγω ανταγωνισμού ως προς την τροφή, το χώρο και τον αριθμό των ατόμων αλλά και την διάρκεια ζωής. Ωστόσο σε ορισμένες οικογένειες εντόμων, όπως είναι η Apidae των μελισσών η αύξηση της πυκνότητας του ενδοειδικού πληθυσμού αυξάνει την ωοπαραγωγή της βασίλισσας, όμως σε υπερβολικό πληθυσμό μπορεί να μειωθεί η απόδοση τους. (Khaliq et al 2014; Hamby et al., 2016).

Κεφάλαιο 2^ο Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 Η μύγα της Μεσογείου (*Ceratitis capitata*)

2.1.1 Γενικά στοιχεία

Η επιστημονική ονομασία της μύγας της Μεσογείου είναι *Ceratitis capitata*. Ανήκει στην οικογένεια των Δίπτερων και στο άθροισμα Ceratidini. Στο γένος *Ceratitis* περιλαμβάνονται πάνω από 90 είδη εντόμων, των οποίων η καταγωγή είναι από τροπικές περιοχές της Αφρικανικής Ηπείρου (De Meyer, 2000). Το *C. capitata* είναι από τα πιο γνωστά είδη του γένους *Ceratitis*, το οποίο εμφανίζει ευρεία γεωγραφική εξάπλωση, σε τροπικές και εύκρατες περιοχές. Είναι ένα πολυφάγο είδος, το οποίο προσβάλλει τους καρπούς των εσπεριδοειδών και πολλών άλλων καλλιεργειών προκαλώντας σημαντικές απώλειες (Liquidó et al., 1991; Papadopoulos et al., 2001). Ανάλογα με την περιοχή, τις κλιματικές συνθήκες και τη διαθεσιμότητα των ξενιστών παρουσιάζει διαφορετικό αριθμό γενεών ανά έτος κάτι που το καθιστά πολυκυκλικό είδος, αυξάνοντας τον αριθμό των γενεών επομένως και των προσβολών μέσα στο έτος.

2.1.2 Μορφολογία

Τα ενήλικα της μύγας της Μεσογείου έχουν μήκος σώματος 4-6 mm και πλάτος 1,2 – 2 mm. Στον θώρακα, την κοιλιά και τις πτέρυγες τους, έχουν χαρακτηριστικές κηλίδες κίτρινου, καφέ, μαύρου και άσπρου χρώματος. Η κεφαλή έχει υπόλευκο-κιτρινωπό χρώμα και οι κεραίες χρώμα ερυθροκάστανό με λίγες μαύρες τρίχες στο μέσο τους. Οι οφθαλμοί είναι σύνθετοι, με ιριδίζον κοκκινωπό-μωβ χρώμα. Οι πτέρυγες έχουν μήκος περίπου 4,5 mm και είναι διαφανείς με κίτρινες, καστανέρυθρες και μαύρες κηλίδες. Το νωτιαίο τμήμα του θώρακα είναι μαύρο γυαλιστερό με χαρακτηριστικές λευκές ρίγες, ενώ το κοιλιακό τμήμα έχει κιτρινωπές ρίγες. Τα πόδια τους έχουν

κίτρινο-κόκκινο χρώμα με κίτρινες, σκληρές τρίχες στο οπίσθιο τμήμα της κνήμης (Papadopoulos, 2004).

Τα ανήλικα στάδια (προνύμφη και νύμφη) και τα αυγά έχουν τα παρακάτω μορφολογικά χαρακτηριστικά. Οι προνύμφες είναι άποδες, ακέφαλες με μακρύ κυλινδρικό σώμα ελαφρώς πλατύτερο στο οπίσθιο μέρος. Το χρώμα τους είναι υπόλευκο, ενώ το μέγεθος ποικίλει, αναλόγως με την προνυμφική ηλικία του εντόμου. Διακρίνονται τρεις προνυμφικές ηλικίες. Οι προνύμφες της πρώτης ηλικίας έχουν μήκος 0,17 – 2,2 mm, της δεύτερης 2,3 – 5 mm και της τρίτης 6 – 10 mm (Papadopoulos, 2004). Η μύγα της Μεσογείου υφίσταται μεταμόρφωση, συγκεκριμένα εκκολάπτεται η σκωληκόμορφη προνύμφη από το αυγό και μετά από 3 εκδύσεις νυμφώνεται. Οι νύμφες έχουν ελλειψοειδές, κυλινδρικό σχήμα. Το μήκος τους είναι 4,5 mm περίπου και η διάμετρος τους ποικίλλει μεταξύ 2 – 2,5 mm. Το χρώμα τους ποικίλει από υπόλευκο έως καστανό σκούρο, ανάλογα με το είδος του ξενιστή-φυτού όπου αναπτύσσεται. Τέλος, τα αυγά έχουν ελλειψοειδές σχήμα και γυαλιστερό λευκό χρώμα. Το μήκος τους κυμαίνεται μεταξύ 0,9– 1,1 mm και η διάμετρος 0,2 – 0,3 mm (Papadopoulos, 2004).



Εικόνα 2. Ενήλικο άτομο της μύγας της Μεσογείου (*Ceratitis capitata*)



Εικόνα 3. Προνύμφη της μύγας της Μεσογείου (*Ceratitits capitata*).

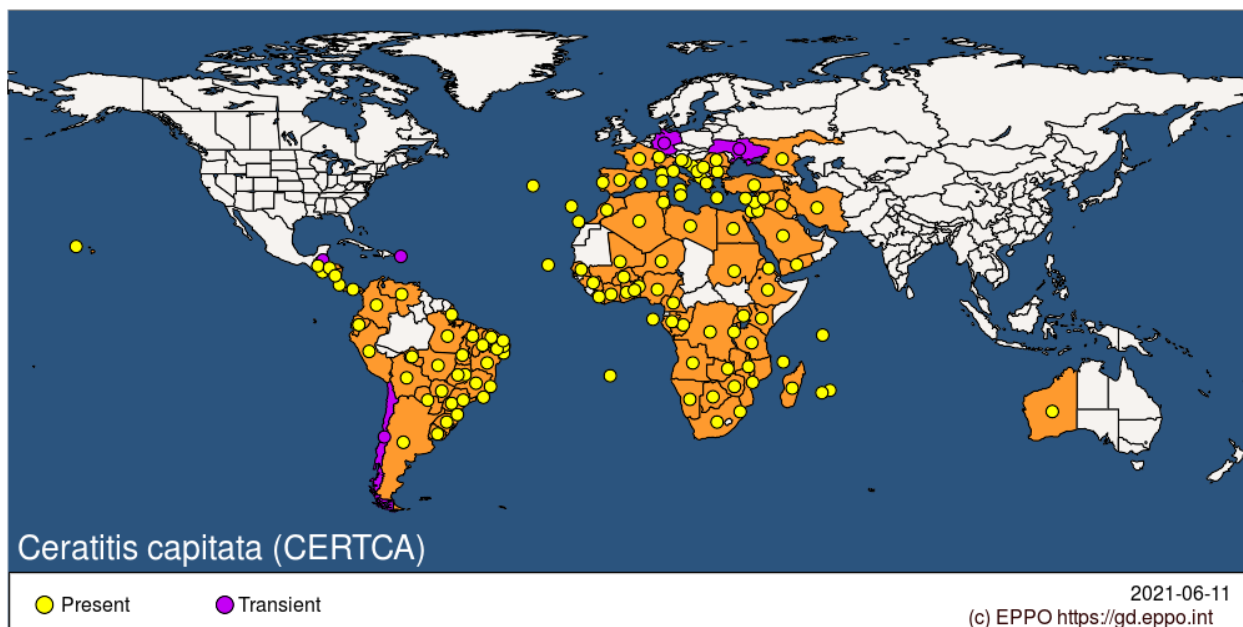
2.2.3 Ξενιστές

Το είδος *C.capitata* θεωρείται πολυφάγο, καθώς προσβάλλει 67 οικογένειες φυτών, με το μεγαλύτερο ποσοστό των προσβολών να παρουσιάζεται στα είδη των οικογενειών Rosaceae, Rutaceae, Sapotaceae, Solanaceae και Myrtaceae (Liquidó et al. 1991). Προσβάλλει τους ημιώριμους έως και ώριμους καρπούς δένδρων, θάμνων και ποωδών φυτών, σε τροπικά, υποτροπικά και εύκρατα κλίματα (Papadopoulos, 2004). Στις χώρες της Μεσογείου, όπως και στην Ελλάδα, οι κυριότεροι ξενιστές του εντόμου είναι τα εσπεριδοειδή, τα πυρηνόκαρπα, τα γιγαρτόκαρπα και άλλα είδη φρούτων (Papadopoulos et al., 2001). Η παρουσία και εγκατάσταση της μύγας της Μεσογείου σε μια περιοχή επιφέρει μεγάλη οικονομική απώλεια, πρώτον λόγω της ζημιάς που προκαλεί στους καρπούς και δεύτερον λόγω του κόστους της παρακολούθησης και της αντιμετώπισης του. Η παρακολούθηση και η αντιμετώπιση του πληθυσμού είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς σε πολλές χώρες το *C.capitata* θεωρείται έντομο καραντίνας, επηρεάζοντας έτσι το παγκόσμιο εμπόριο των φρούτων (Gonzalez and Troncoso, 2007; Guillen and Sanchez, 2007; Reyes et al., 2007).

2.2.4 Γεωγραφική Διασπορά

Η μύγα της Μεσογείου θεωρείται κοσμοπολίτικο είδος, καθώς οι πληθυσμοί της συναντώνται σε πολλές τροπικές, υποτροπικές και εύκρατες περιοχές (Bonizzoni et al., 2001). Σύμφωνα με ερευνητικές μελέτες, η καταγωγή του είδους φαίνεται να είναι από Υποσαχάριες περιοχές της Αφρικής (Kourti, 2002; Kourti et al., 1992; Malacrida et al., 1998). Η διασπορά του είδους πιθανολογείται ότι ξεκίνησε από την Ισπανία το 1842 (Robinson & Hooper, 1989), έπειτα εμφανίστηκε στην Πορτογαλία το 1898 (Fimiani, 1989) και από εκεί στις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου (Papadopoulos, 1998). Η διασπορά του είδους στη δυτική Αυστραλία θεωρείται γεγονός δευτερογενούς εποικισμού, ενώ στις περιοχές της Αμερικανικής Ηπείρου, η διασπορά έγινε μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και του εμπορίου φρέσκων φρούτων. Σε όλες οι χώρες της νότιας και κεντρικής Αμερικής, η μύγα της Μεσογείου έχει εγκατασταθεί προκαλώντας σημαντικές ζημιές, εξαίρεση αποτελεί το Μεξικό όπου εξαλείφθηκε, έπειτα από συντονισμένες προσπάθειες (White & Elson- Harris, 1992). Στη βόρεια Αμερική και συγκεκριμένα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έχει εντοπιστεί το είδος, κατά καιρούς σε διάφορες περιοχές. Στην πολιτεία της Καλιφόρνιας, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την εξάλειψη του είδους, όμως χωρίς αποτέλεσμα. Η καταγραφή του εντόμου σε χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης (Γερμανία, Αυστρία, Ουγγαρία, Ολλανδία) πιθανόν να οφείλεται στο εμπόριο προσβεβλημένων καρπών από άλλες χώρες, καθώς το έντομο δεν ενδημεί σε τόσο μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (Papadopoulos, 2004).

Στην Ελλάδα υπάρχουν αναφορές για την εμφάνιση της μύγας της Μεσογείου σε όλη σχεδόν τη χώρα. Οι περισσότερες καταγραφές προσβολών από το *C.capitata* έχουν γίνει στις κεντρικές και νότιες περιοχές της χώρας, όπου καλλιεργούνται εσπεριδοειδή. Ωστόσο, υπάρχουν αναφορές για την εμφάνιση της σε νησιά και στη βόρεια Ελλάδα (Papadopoulos, 2004).



Εικόνα 4. Παγκόσμιος χάρτης της γεωγραφικής διασποράς της μύγας της Μεσογείου. Ανακτήθηκε στις 11/06/2021 από: <https://gd.eppo.int/taxon/CERTCA/distribution>

2.2.5 Βιολογικός κύκλος

Η μύγα της Μεσογείου θεωρείται πολυκυκλικό είδος, διότι συμπληρώνει πολλές γενεές ανά έτος. Ο αριθμός των γενεών που θα συμπληρωθούν σε ένα έτος, εξαρτάται από την γεωγραφική περιοχή, τις κλιματικές συνθήκες (με σημαντικότερο την θερμοκρασία) και τη διαθεσιμότητα των ξενιστών (Fletcher, 1989).

Στην Ελλάδα το έντομο ολοκληρώνει συνήθως 3 – 7 γενεές ανά έτος, οι οποίες αλληλεπικαλύπτονται (Τζανακάκης & Κατσόγιαννος 1998). Σε περιοχές με πιο θερμό κλίμα (τροπικές και υποτροπικές), εμφανίζει περισσότερες γενεές ανά έτος. Όταν η θερμοκρασία είναι 24 – 25°C και η σχετική υγρασία 60-70%, ο βιολογικός του κύκλος ολοκληρώνετε εντός 25 ημερών.

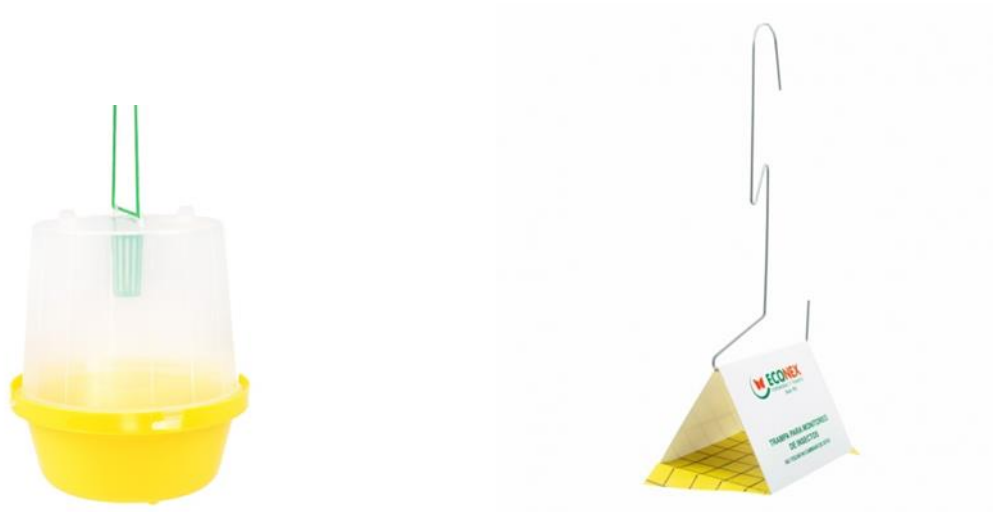
Κατά τους χειμερινούς μήνες τα ανήλικα στάδια του εντόμου διαχειμάζουν, είτε στο έδαφος ή στους προσβεβλημένους καρπούς. Τα νυμφικά στάδια είναι αυτά που διαχειμάζουν στο έδαφος, ενώ οι προνύμφες διαχειμάζουν εντός των προσβεβλημένων καρπών που βρίσκονται είτε πάνω στα δένδρα ή έχουν πέσει στο έδαφος (Papadopoulos et al., 1996, Papadopoulos et al., 2001). Στην Κρήτη έχει παρατηρηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις ότι η μύγα της Μεσογείου διαχειμάζει και ως ενήλικο (Mavrikakis et al., 2000). Την άνοιξη εμφανίζονται τα ενήλικα τα οποία αρχίζουν να τρέφονται, με σακχαρούχες και αζωτούχες ενώσεις (π.χ., νέκταρ και μελιτώδης εκκρίσεις κοκκοειδών), για να ωριμάσουν αναπαραγωγικά (Christenson & Foote, 1960). Ένα θηλυκό άτομο, εναποθέτει συνήθως 1 – 6 αυγά ανά καρπό, αριθμός ο οποίος μπορεί να αυξηθεί σε 10 αυγά/καρπό όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες των 15°C. Τα θηλυκά εναποθέτουν τα αυγά στο περικάρπιο ή το μεσοκάρπιο των ώριμων ή ημιώριμων καρπών, μέσω νύγματος διαμέτρου 1mm που δημιουργούν (Papadopoulos et al., 2001). Για να εξασφαλίσουν τροφή για τους απογόνους τους και να μην υπάρξει ανταγωνισμός ως προς την τροφή, αμέσως μετά την εναπόθεση των αυγών, τα θηλυκά αποθέτουν μια φερομόνη η οποία αποτρέπει άλλα θηλυκά να φωτοκήσουν στον ίδιο καρπό (Prokopy et al., 1978). Οι εκκολαπτόμενες προνύμφες, αρχίζουν να τρέφονται με το εσωτερικό του καρπού (κυρίως με το μεσοκάρπιο), προκαλώντας άμεσες και έμμεσες ζημιές στον καρπό. Οι άμεσες ζημιές προκαλούνται με την καθαυτή διατροφή των προνυμφών και οι έμμεσες με την ανάπτυξη στα προσβεβλημένα τμήματα δευτερογενώς μυκήτων και βακτηρίων. Όταν ολοκληρωθεί η ανάπτυξη τους, εξέρχονται από τους καρπούς και νυμφώνονται σε μικρό βάθος (<5 cm) μέσα στο έδαφος (Τζανακάκης & Κατσόγιαννος, 1998). Οι πρώτες προσβολές από την μύγα της Μεσογείου παρατηρούνται τέλη Ιουνίου και Ιουλίου σε πρώιμες ποικιλίες πορτοκαλιάς και νεραντζιάς. Ωστόσο, σε καρπούς που ωριμάζουν Αύγουστο – Οκτώβριο, παρατηρούνται υψηλότεροι πληθυσμοί και σημαντικότερες προσβολές.

2.2.6 Αντιμετώπιση

Για την αντιμετώπιση της μύγας της Μεσογείου έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μέθοδοι. Αυτές περιλαμβάνουν μέτρα πρόληψης αλλά και αντιμετώπισης των πληθυσμών αυτών.

Ο φυτοϋγειονομικός έλεγχος είναι μέτρο πρόληψης, που εφαρμόζεται για την αποτροπή εισόδου του είδους σε μια περιοχή ή χώρα. Γενικά, μέσω του διεθνούς εμπορίου αυξάνεται ο κίνδυνος εισαγωγής νέων παθογόνων με καταστροφικές συνέπειες, σε μία χώρα. Με τον φυτοϋγειονομικό έλεγχο, ελέγχονται τα εισαγόμενα, παραγόμενα και διακινούμενα φυτά, φυτικά προϊόντα και λοιπά προϊόντα, με στόχο τη μείωση του κινδύνου εισαγωγής αλλά και διάδοσης επιβλαβών οργανισμών σε μία περιοχή ή χώρα. Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται στα σημεία εισόδου και εξόδου των προϊόντων από μία χώρα σε μία άλλη.

Στα μέτρα αντιμετώπισης περιλαμβάνονται οι φυσικές μέθοδοι, η βιολογική αντιμετώπιση, η μαζική παγίδευση, οι χημικές μέθοδοι, οι δολωματικοί ψεκασμοί και η εξαπόλυση στερημένων ατόμων. Στη μαζική παγίδευση χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο τροφικές και φερομονικές παγίδες τύπου McPhail και Jackson, αντίστοιχα (Εικόνα 4). Ως τροφικό ελκυστικό στις παγίδες τύπου McPhail χρησιμοποιούνται ουσίες όπως το οξικό αμμώνιο, η πουτρεσκίνη και η τριμεθυλαμίνη, ενώ στις παγίδες τύπου Jackson χρησιμοποιείται η παραφερομόνη trimedlure που προσελκύει σχεδόν αποκλειστικά τα αρσενικά άτομα του είδους (Katsoyannos et al., 1999a; Katsoyannos et al., 1999b; Papadopoulos, 2004).



Εικόνα 4. Αριστερά: Παγίδα τύπου McPhail.

<https://www.biobestgroup.com/en/biobest/products/monitoring-and-scouting-4464/pheromone-traps-4494/mcphail-trap-4641/>. Δεξιά: Παγίδα τύπου Jackson. <https://www.e-econex.net/en/insect-traps/econex-jackson-trap-505.html>

Η μέθοδος εξαπόλυσης στερημένων εντόμων (SIT) γίνεται με σκοπό τη σύζευξη των στερημένων αρσενικών με τα θηλυκά του άγριου πληθυσμού και την εναπόθεση άγονων αυγών. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία σε πολλές χώρες. Η βιολογική καταπολέμηση της μύγας της Μεσογείου γίνεται μεταξύ άλλων με την εκτροφή και εξαπόλυση παρασιτοειδών. Η μέθοδος αυτή σε συνδυασμό με την μέθοδο εξαπόλυσης στερημένων εντόμων, δίνει πολύ υψηλά ποσοστά επιτυχίας στην αντιμετώπιση του ενήλικου (Vreysen et al., 2007). Τα είδη που χρησιμοποιούνται για τον παρασιτισμό της μύγας της Μεσογείου είναι υμενόπτερα της οικογένειας Braconidae, όπως το *Diachasmimorpha longicaudata*. Επιπλέον, το παρασιτικό υμενόπτερο *Aganaspis daci* (Eucoilidae), παρουσίασε υψηλά επίπεδα παρασιτισμού (65%) των νυμφών της μύγας της Μεσογείου σε πληθυσμούς που συλλέχθηκαν στην Χίο (Papadopoulos & Katsoyannos, 2003). Στα καλλιεργητικά μέτρα, ανήκουν η συλλογή και καταστροφή των

προσβεβλημένων καρπών πριν τη συγκομιδή, καθώς και η καταστροφή των μη καλλιεργούμενων άγριων ξενιστών του εντόμου. Επιπλέον, μετασυλλεκτικά χρειάζεται να γίνεται απεντόμωση των φρούτων με χρήση χαμηλών και υψηλών θερμοκρασιών και ακτινοβολίας τύπου γ (Mitchell & Saul, 1990).

2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και στα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενηλίκων της οικογένειας Tephritidae

Ερευνητικές μελέτες έχουν δείξει ότι η θερμοκρασία επηρεάζει διάφορα βιολογικά χαρακτηριστικά των εντόμων όπως την αναλογία φύλου, τη διάρκεια ζωής των ενηλίκων, την επιβίωση, την ωοτοκία και τη γονιμότητα (Yang et al. 1994; Zhang et al., 2008). Ως αποτέλεσμα, η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τον αποικισμό, την κατανομή, την αφθονία, τη συμπεριφορά, την διάρκεια ζωής και άλλα δημογραφικά χαρακτηριστικά (Papadopoulos et al. 2002; Hoffmann et al. 2003). Τα είδη της οικογένειας Tephritidae μπορούν να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, παρουσιάζοντας ανοχή στα ακραίες θερμοκρασιακές τιμές αυτού του εύρους. Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ειδών της οικογένειας αυτής, έχουν μελετηθεί τόσο σε σταθερές όσο και σε κυμαινόμενες θερμοκρασίες

Η θερμοκρασία φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των εντόμων της οικογένειας Tephritidae. Το *Bactrocera zonata* (οικογένεια: Tephritidae), γνωστό και ως μύγα των ροδάκινων, αποτελεί σημαντικό εχθρό των φρούτων στην Αίγυπτο. Σε έρευνα του Mahmoud (2016) μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και την επιβίωση του είδους *B. zonata* σε τέσσερις διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες: 15, 20, 25 και 30 °C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο χρόνος που απαιτούνταν για

την ανάπτυξη μειωνόταν, με την αύξηση της θερμοκρασίας από 15°C σε 30 °C. Ο χρόνος εκκόλαψης των αυγών μειώθηκε σημαντικά στο εύρος των 15-25 °C αλλά όχι μεταξύ 25-30 °C. Γενικά, το υψηλότερο ποσοστό αναπαραγωγής του *B. zonata* ήταν 87% στους 25 °C, το οποίο θεωρήθηκε η βέλτιστη και ευνοϊκότερη θερμοκρασία.

Σε μια άλλη ερευνητική εργασία μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη των *Zeugodacus cucurbitae* και *Dacus ciliatus*. Μελετήθηκε η ανάπτυξη τους σε τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες (15, 20, 25 και 30 °C). Στους 30 °C και 15 °C, ο χρόνος επώασης των αυγών ήταν μεγαλύτερος από ότι στους 20°C και 25 °C και για τα δύο είδη, (Vayssieres et al., 2008). Όσον αφορά τον ρυθμό ανάπτυξης των ανηλικών σταδίων βρέθηκε ότι είχε γραμμική συσχέτιση με την θερμοκρασία. Καθώς, αυξανόταν η θερμοκρασία μέσα στο εύρος 15-30 °C, αυξανόταν και η ταχύτητα ανάπτυξης των ανηλικών σταδίων και για τα δύο είδη που μελετήθηκαν. Τα είδη *B. cucurbitae* και *D. ciliatus* μελετήθηκαν και από τους Messenger & Flitters (1958) και καταγράφηκε η ανάπτυξη τους σε ένα θερμοκρασιακό εύρος τιμών από 11°C μέχρι 37 °C. Σε αυτή την εργασία βρέθηκε ότι η ανάπτυξη των εντόμων αυτών περιοριζόταν σε θερμοκρασίες κάτω των 11,4 °C και άνω των 36,4 °C.

Ένα ακόμη είδος της οικογένειας Terphritidae, στο οποίο μελετήθηκε η επίδραση των ακραίων θερμοκρασιακών τιμών στην ανάπτυξη και την επιβίωση, είναι η Ασιατική μύγα των φρούτων *Bactrocera dorsalis* (Motswagole et al., 2019). Τα κρίσιμα θερμικά μέγιστα (CTmax) για τη δραστηριότητα για τα ενήλικα και τις προνύμφες ήταν 46,16 °C και 45,23 °C, αντίστοιχα. Ενώ, τα κρίσιμα θερμικά ελάχιστα (CTmin) για τη δραστηριότητα για τα ενήλικα και τις προνύμφες ήταν 9,1 °C και 7,3 °C, αντίστοιχα. Εν κατακλείδι, οι δοκιμασίες χαμηλότερης και ανώτερης θανατηφόρου θερμοκρασίας (LLT) και (ULT) αντίστοιχα, έδειξαν μείωση της επιβίωσης σε όλα

τα στάδια ανάπτυξης καθώς η διάρκεια των δύο ακραίων θερμοκρασιών αυξήθηκαν (Motswagole et al., 2019).

Τέλος, σε εργασία των Duyck & Quilici (2007), μελετήθηκε η επιβίωση και η ανάπτυξη του τριών ειδών της οικογένειας Tephritidae, των *C. capitata*, το *C. rosa* και το *C. catoirii* σε πέντε σταθερές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 15 έως 35 °C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διάρκεια των ανήλικων σταδίων αυξανόταν με την μείωση της θερμοκρασίας και στα τρία είδη.

2.3 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και στα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενηλίκων του είδους *Ceratitis capitata*

Το *C. capitata* είναι ένα είδος με ευρεία γεωγραφική εξάπλωση, εντός της οποίας παρατηρείται μεγάλη ποικιλία περιβαλλοντικών συνθηκών. Ανάμεσα σε αυτά τα οικοσυστήματα υπάρχουν διαφορές σε αβιοτικούς (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, κ.α.) ή βιοτικούς παράγοντες (κατανομή ξενιστών και φυσικών εχθρών). Η θερμοκρασία θεωρείται ως ένας από τους βασικούς παράγοντες, με επίδραση τόσο στην ανάπτυξη όσο και στα δημογραφικά χαρακτηριστικά του είδους. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ποικίλλει χρονικά και χωρικά, με αποτέλεσμα συνήθως τα έντομα να εκτίθενται σε κάποια μορφή θερμικού στρες για μεγάλο μέρος του βιολογικού κύκλου τους (Feder et al., 2000).

Σε ερευνητική εργασία των Navarro-Campos et al. (2011), μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στο μέγεθος του σώματος των ενηλίκων του *C. capitata*. Κατά την πειραματική μελέτη εφαρμόστηκαν διαφορετικές θερμοκρασίες στα ανήλικα στάδια του είδους. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των προνυμφών επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος των πτέρυγων των ενηλίκων του *C. capitata*. Οι πτέρυγες ήταν

μεγαλύτερες στην χαμηλότερη θερμοκρασία που εφαρμόστηκε στους 14 °C και το μέγεθός τους μειωνόταν προοδευτικά καθώς η θερμοκρασία αυξανόταν, φτάνοντας στο ελάχιστο μέγεθος στους 26 °C. Ωστόσο, στους 30 °C παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση στο μέγεθος των πτερύγων συγκριτικά με αυτήν στους 26 °C. Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και στις μετρήσεις που αφορούσαν το συνολικό μέγεθος σώματος.

Σε άλλη εργασία οι Nyamukondiwa & Terblanche (2009), μελετήσαν την αντοχή των διάφορων αναπτυξιακών σταδίων του *C. capitata* σε διάφορες ακραίες θερμοκρασίες. Οι συγκρίσεις της θερμικής ανοχής του *C. capitata* έδειξαν ότι έχει κατώτερο θερμοκρασιακό εύρος ανάπτυξης και επιβίωσης CT_{min} 5,4 °C και υψηλότερο CT_{max} 43 °C.

Επιπλέον, η θερμοκρασία φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη και την εκκόλαψη των προνυμφών από τα αυγά. Όταν η θερμοκρασία εκτροφής των προνυμφών του *C.c* μειώθηκε από 30 °C, στους 25 °C και στους 20 °C, κατά την ενηλικίωσή τους, η εκκόλαψη των νέων προνυμφών σε σχέση με τα αυγά αυξήθηκε από 15% σε 25% και σε 30%, ενώ το μέσο βάρος τους μειώθηκε (Hooper, 1978).

Τέλος, σε ερευνητική εργασία των Dionysoroulou et al. (2020), η θερμοκρασία επηρέασε την ανάπτυξη των ανήλικων σταδίων του είδους. Καθώς από τις τρεις θερμοκρασίες που μελετήθηκαν (15°C, 25°C και 30°C), στην χαμηλότερη θερμοκρασία απαιτούνταν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα για την ανάπτυξη των ανήλικων σταδίων. Ενώ, καθώς η θερμοκρασία αυξανόταν, τα ενήλικα του είδους ολοκλήρωναν σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα τα αναπτυξιακά στάδια.

2.4 Σκοπός της πτυχιακής μελέτης

Στην παρούσα πτυχιακή διατριβή μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας (σταθερές θερμοκρασίες και θερμοκύκλοι) στην ανάπτυξη των ανηλικών σταδίων (αυγό, προνύμφη, νύμφη) της μύγας της Μεσογείου. Αναλυτικότερα, μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στην επιβίωση και την ανάπτυξη των ανηλικών σταδίων καθώς και στα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ενηλίκων της μύγας της Μεσογείου που προέρχεται από πληθυσμό της Κροατίας και αναπτύχθηκε σε νερατζιά.

Κεφάλαιο 3^ο : Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Συνθήκες εργαστηρίου και έντομα που χρησιμοποιήθηκαν

3.1.1 Συνθήκες εργαστηρίου

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στη σχολή Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας. Η έναρξη αυτού πραγματοποιήθηκε το Φεβρουάριο του 2020. Τα ανήλικα στάδια αναπτυχθήκαν σε εντομοδομάτιο στο οποίο διατηρούνταν θερμοκρασίες $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $65\% \pm 5\%$ και φωτοπερίοδος 14 ώρες φως και 10 ώρες σκοτάδι. Ο φωτισμός προερχόταν από λάμπες φθορισμού και ξεκινούσε στις 07:00, ενώ σταματούσε στις 20:00. Το εντομοδομάτιο 2 χρησιμοποιήθηκε για όλα τα στάδια των ενηλίκων, για κάποια ανήλικα και για τις δημογραφίες και είχε θερμοκρασίες $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $65 \pm 5\%$ και φωτοπερίοδο 14 ώρες φως και 10 ώρες σκοτάδι. Ο φωτισμός ξεκινούσε στις 07:00 και σταματούσε στις 20:00. Ακόμη, χρησιμοποιήθηκαν θάλαμοι ανάπτυξης για τα ανήλικα, στον οποίο διατηρούνταν θερμοκρασίες $15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ και $7 \pm 2^{\circ}\text{C}$ σχετική υγρασία $65\% \pm 5\%$.

3.1.2 Προέλευση εντόμων

Ο πληθυσμός της μύγας της Μεσογείου που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος προήλθε από νύμφες που συλλέχθηκαν στην περιοχή Zaton της Κροατίας. Ο πληθυσμός των αυγών αναπτύχθηκε σε τεχνητό υπόστρωμα για 3 γενιές στο εργαστήριο και έπειτα τα αυγά της 3ης γενιάς χρησιμοποιήθηκαν για εμφύτευση στους καρπούς εντός 24ωρων. Το συνολικό ποσοστό των αυγών που εμφυτεύτηκαν ήταν 1000. Τα ενήλικα που εκκολάφθηκαν αποτελούν την γενιά F4.

3.1.3 Εκτροφή εντόμων

Η εκτροφή των εντόμων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Εντομολογίας του Πανεπιστήμιου Θεσσαλίας σε ειδικό δωμάτιο με συνθήκες ελεγχόμενες και σταθερή θερμοκρασία, σχετική υγρασία και φωτισμό. Τα κλουβιά που έγινε η εκτροφή των εντόμων ήταν ξύλινα, με διαστάσεις $0.3 \times 0.3 \times 0.3 \text{ m}^3$ και οι τρεις πλευρές είχαν σίτα για τον αερισμό (Εικόνα 5). Η τροφή που χρησιμοποιήθηκε ήταν υδρολυμένη πρωτεΐνη, ζάχαρη και νερό σε αναλογίες 1:4:5 και χορηγούνταν αρχικά με μορφή παχύρευστου υγρού και μετά το πέρας λίγων ωρών στερεοποιούνταν πλήρως πάνω σε τρυβλία petri των 9cm διαμέτρου. Επίσης, στο εσωτερικό του κλουβιού υπήρχε ένα δοχείο με νερό που στην άκρη του προεξείχε ένα μικρό τμήμα από σπογγώδη πετσέτα, μέσω των οποίων ήταν εφικτή η πρόσβαση των εντόμων στο νερό. Η φωτοκία γινόταν σε ένα κόκκινο πλαστικό ημισφαίριο με μικρά ανοίγματα, όπου εναπόθεταν τα αυγά τους τα ενήλικα θηλυκά. Τα αυγά μαζεύονταν από την άλλη πλευρά του ημισφαιρίου με μαλακό πινέλο ζωγραφικής και τοποθετούνταν σε τρυβλίο που περιείχε βάμβακι για ανάπτυξη προνυμφών. Στη συνέχεια τα τρυβλία τοποθετούνταν σε αποστειρωμένη άμμο στην οποία εξέρχονταν οι προνύμφες για την νύμφωση τους. Οι νύμφες συχνά συλλέγονταν και τοποθετούνταν σε τρυβλίο μέχρι να ενηλικιωθούν.



Εικόνα 5. Ξύλινο Κουτί εκτροφής πληθυσμού ενήλικων της μύγας της Μεσογείου.

3.2 Πειραματική διαδικασία

3.2.1 Ξενιστής νεραντζιά

Τα νεράντζια συλλέχθηκαν τον Ιανουάριο, από τη Θεσσαλονίκη, το χρονικό διάστημα που είχαν το επιθυμητό χρώμα, μέγεθος και ποιοτική σύσταση για την κατάλληλη ανάπτυξη των προνυμφών. Οι καρποί που επιλέχθηκαν, στη συνέχεια, εξετάστηκαν για πιθανές προσβολές από άλλα έντομα ή παθογόνα (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Νεράντζι (*Citrus aurantium*)

3.2.2 Μεθοδολογία

Αρχικά έγινε εμφύτευση των αυγών στα νεράντζια. Τα αυγά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 24h τα οποία είχαν εναποτεθεί στα τεχνικά υποστρώματα φωτοκίας. Σε κάθε καρπό έγιναν δυο οπές με τη βοήθεια βελόνας διαμέτρου 1mm. Σε κάθε μία από τις δύο οπές μεταφέρθηκαν 5 αυγά με τη βοήθεια πινέλου ζωγραφικής. Έπειτα οι οπές καλύφθηκαν με διαφανή ταινία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε μια οπή στην ταινία έχοντας ως στόχο τον καλύτερο αερισμό. Η διαδικασία συνολικά πραγματοποιήθηκε 20 φορές για την κάθε μεταχείριση (20 καρποί θερμοκρασίας)



Εικόνα 7. Εμφύτευση αυγών στον καρπό

Ο κάθε καρπός τοποθετήθηκε μέσα σε πλαστικά δοχεία (γιαουρτόκουτα) των οποίων ο πυθμένας είχε καλυφθεί με άμμο για να υποβοηθάται η διαδικασία της νύμφωσης (Εικόνα 8). Έπειτα, τα δοχεία καλύφθηκαν με οργαντίνα και σταθεροποιήθηκε με ένα λάστιχο ώστε να αποφευχθούν οι δευτερογενείς προσβολές των καρπών και να μην μπορεί κάποιο έντομο να προσβάλει τους καρπούς. Σε όλα τα δοχεία τοποθετήθηκε ετικέτα στην οποία αναγραφόταν ο αριθμός του καρπού, η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται και η προέλευση του πληθυσμού και η ημερομηνία εμφύτευσης. Τα δοχεία με τους καρπούς ομαδοποιήθηκαν ανά 20 και διαχωρίστηκαν σε 5 διαφορετικές μεταχειρίσεις. Οι μεταχειρίσεις αυτές περιλάμβαναν:

1. 20 καρπούς στο εντομοδωμάτιο 1 σε θερμοκρασία 20°C,
2. 20 καρπούς στο εντομοδωμάτιο 2 σε θερμοκρασία 25°C,
3. 20 καρπούς στον θάλαμο ανάπτυξης σε θερμοκρασία 15°C,
4. 20 καρπούς σε θεرمόκυκλο 1 κατά τον οποίο παρέμεναν 2 ημέρες στο εντομοδωμάτιο 1 σε θερμοκρασία 20°C και μεταφέρονταν ανά 2 ημέρες στο ψυγείο σε θερμοκρασία 7°C,

5. 20 καρπούς σε θερμοκύκλο 2 κατά τον οποίο παρέμεναν 2 ημέρες στο εντομοδωμάτιο 1 σε θερμοκρασία 20°C και μεταφέρονταν ανά 6 ημέρες στο ψυγείο σε θερμοκρασία 7°C.



Εικόνα 8. Καρπός μεταχείρισης

Οι προνύμφες κατά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης τους εξέρχονταν από τους καρπούς και έπεφταν στον πυθμένα του δοχείου όπου νυμφώνονταν. Ο αριθμός των νυμφών καταγράφονταν καθημερινά σε κάθε επανάληψη της κάθε μεταχείρισης. Οι νύμφες συλλέγονταν προσεκτικά με ειδική λαβίδα και τοποθετούνταν ατομικά σε τρυβλία petri, στα οποία συμπλήρωναν σε μια ετικέτα ο αριθμός του καρπού, η ημερομηνία νύμφωσης και η αντίστοιχη θερμοκρασία στην οποία συλλέχθηκαν (Εικόνα 9). Σε εκείνες τις θερμοκρασίες που συλλέχθηκαν έπειτα ομαδοποιούνταν σε πλαστικά δοχεία (γιαουρτόκουτα) και παρέμεναν μέχρι την έξοδο του ενήλικου εντόμου. Κάθε ημέρα λαμβάνονταν παρατηρήσεις που αφορούσαν τον αριθμό των εντόμων που από νύμφες εξελίχθηκαν σε ενήλικα, καθώς και το φύλο τους.



Εικόνα 9. Νύμφες σε τρυβλία petri

Μετά την έξοδο των ενήλικων από κάθε θερμοκρασία τοποθετούνταν σε ατομικά πλαστικά κλουβάκια ένα θηλυκό και ένα αρσενικό (Εικόνα 10). Τα ζεύγη είχαν απεριόριστη πρόσβαση σε νερό και τροφή ενήλικων 1:4:5 (πρωτεΐνη: ζάχαρη : υδρολυμένη μαγιά). Η φωτοκία γινόταν σε τεχνητό υπόστρωμα φωτοκίας (dome). Σε κάθε κλουβάκι τοποθετήθηκε το καρτελάκι από κάθε ενήλικο με τα ακριβή στοιχεία του. Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά (επιβίωση και ωοπαραγωγή) μελετήθηκαν σε θερμοκρασία 25 ± 2 °C. Καθημερινά λαμβάνονταν μετρήσεις του αριθμού των αυγών των θηλυκών, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιούνταν διαδικασίες συμπλήρωσης νερού και τροφής στα ζεύγη των ενήλικων. Ακόμη, καταγραφόταν το ποσοστό θνησιμότητας του πληθυσμού των εντόμων.



Εικόνα 10 . Ατομικό κλουβί διατήρησης ενήλικων

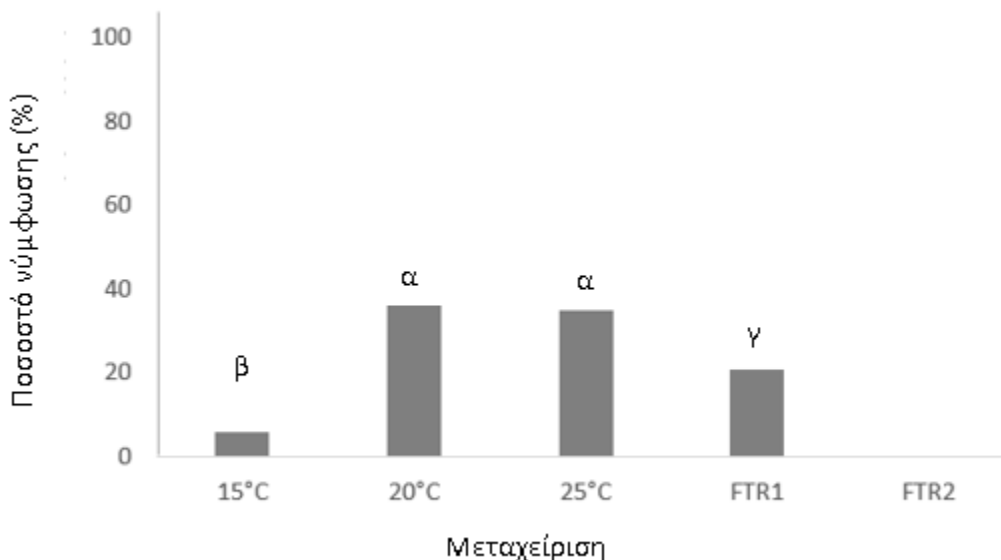
3.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Τα στοιχεία αναλύθηκαν με παραμετρικές και μη παραμετρικές μεθόδους, καθώς επίσης και με δημογραφικές προηγμένες τεχνικές. Συγκεκριμένα, Η ανάλυση των στοιχείων πραγματοποιήθηκε με το λογαριθμικό πακέτο SPSS 26.0 (SPSS, Chicago, IL., USA). Η επίδραση των διαφορετικών θερμοκρασιών διατήρησης των καρπών στην ανάπτυξη ανήλικων και ενήλικων σταδίων της μύγας της Μεσογείου ελέγχθηκε με Binary logistic regression. Επιπλέον, για τα δημογραφικά χαρακτηριστικά που αφορούν τόσο την επιβίωση των ενήλικων όσο και την ωοπαραγωγή των θηλυκών χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα Cox regression analysis και general linear models. Τέλος, ο Kaplan – Meyer, εκτιμητής της συνάρτησης επιβίωσης χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση των περιόδων προ-ωοτοκίας, ωοτοκίας και μετά την ωοτοκία, καθώς και για τη διάρκεια ζωής των ενήλικων και των περιόδων ανάπτυξης των ανήλικων σταδίων.

Κεφάλαιο 4^ο Αποτελέσματα

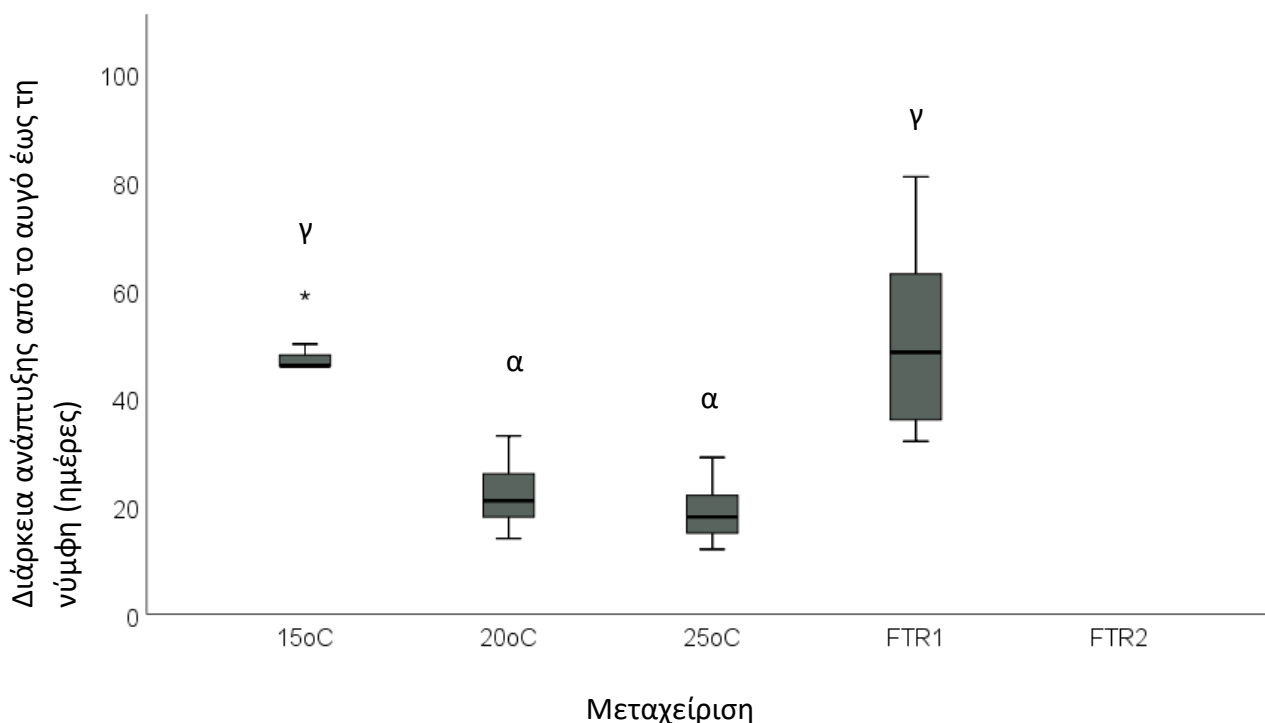
4.1 Ανάπτυξη και επιβίωση ανηλίκων σταδίων

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 1, η θερμοκρασία διατήρησης των καρπών επιδρά σημαντικά στο ποσοστό νύμφωσης (Wald test $t=50.041$, $df= 4$, $P<0,001$). Στους καρπούς που είχαν διατηρηθεί σε θερμοκρασίες 20°C και 25°C, το ποσοστό νύμφωσης ήταν υψηλότερο και διέφερε στατιστικώς σημαντικά ($P<0,05$) από τα ποσοστά νύμφωσης που προέκυψαν από καρπούς που είχαν διατηρηθεί στους 15 °C (όπου παρατηρήθηκαν τα χαμηλότερα ποσοστά νύμφωσης) και στον πρώτο θερμοκύκλο (20°C:7°C για 2:2 ημέρες). Επιπλέον, οι θερμοκρασίες 20°C και 25°C, δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές ως προς το ποσοστό νύμφωσης ($P>0,05$). Τέλος, από το θερμοκύκλο δύο δεν προέκυψε καμία νύμφη.



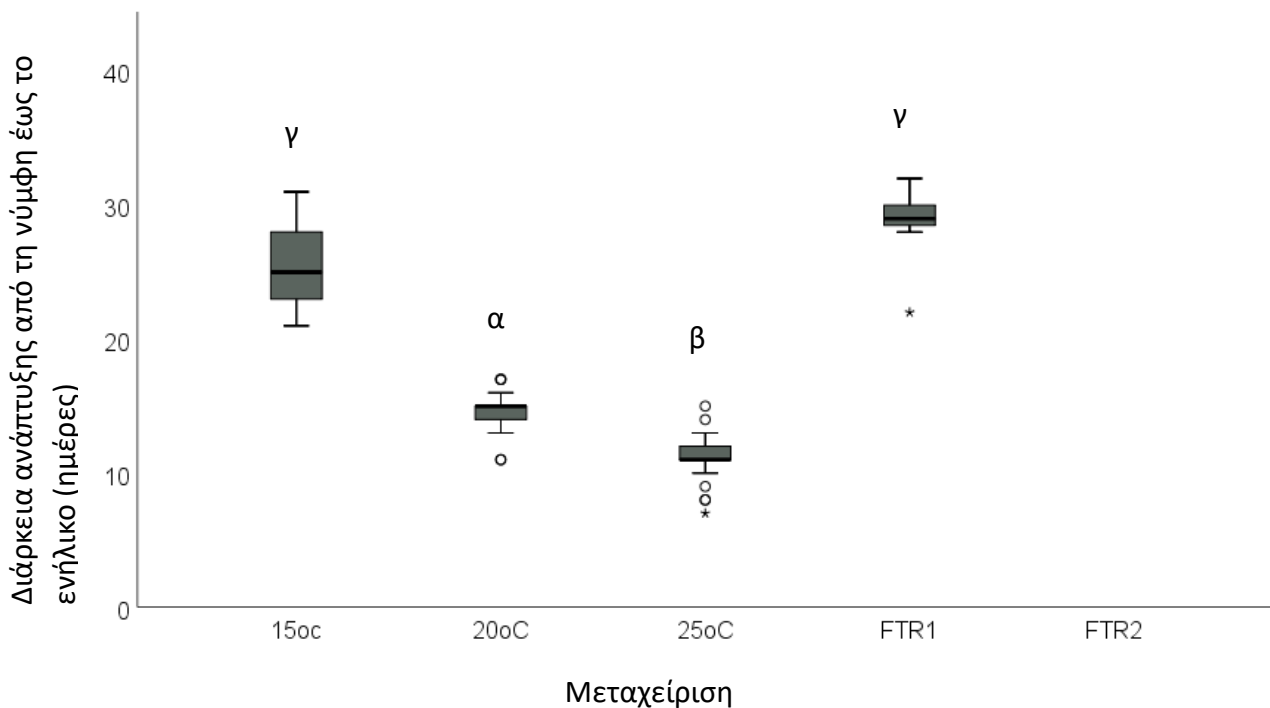
Διάγραμμα 1: Επίδραση της θερμοκρασίας μεταχείρισης στο ποσοστό νύμφωσης. Στήλες που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός της κάθε δοκιμής δε διαφέρουν σημαντικά ($P>0,05$).

Η διάρκεια ανάπτυξης των ανηλίκων από το αυγό έως τη νύμφη, όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 2, επηρεάζεται σημαντικά από τις διαφορετικές θερμοκρασίες (Wald test $t=11,123$, $df=4$, $P<0,05$). Οι προνύμφες που εκκολάφθηκαν από αυγά που είχαν εμφυτευθεί σε καρπούς και διατηρούνταν στους 15°C και στον θερμοκύκλο FTR1 ($20^{\circ}\text{C}:7^{\circ}\text{C}$, 2:2) χρειάστηκαν περισσότερες ημέρες για να φτάσουν στο στάδιο της νύμφης. ($P<0,05$). Οι θερμοκρασίες 20°C και 25°C ήταν ευνοϊκότερες για την ανάπτυξη από το στάδιο του αυγού μέχρι τη νύμφη, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Την μικρότερη χρονική διάρκεια χρειάστηκαν οι προνύμφες που εκκολάφθηκαν από αυγά που ήταν σε καρπούς που είχαν διατηρηθεί στους 25°C και τους 20°C . Επιπλέον δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στη διάρκεια ανάπτυξης από το αυγό έως τη νύμφη μεταξύ των 15°C και FTR1 ($20^{\circ}\text{C}:7^{\circ}\text{C}$, 2:2) ($P>0,05$).



Διάγραμμα 2: Επίδραση της θερμοκρασίας μεταχείρισης στη διάρκεια ανάπτυξης από το αυγό έως τη νύμφη. Στήλες που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός της κάθε δοκιμής δε διαφέρουν σημαντικά ($P>0,05$).

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3, η διάρκεια ανάπτυξης των ανηλίκων από το στάδιο της νύμφης μέχρι την ενηλικίωση επηρεάστηκε από τις διαφορετικές θερμοκρασίες. Η επίδραση της θερμοκρασίας στη διάρκεια ανάπτυξης από τη νύμφη έως το ενήλικο, μεταξύ νυμφών που διατηρήθηκαν στους 20°C, 25°C, 15°C, FTR1 (20°C : 7°C, 2:2) και FTR2 (20°C : 7°C, 2:6), αντίστοιχα, έδειξε ότι στους 15°C και στον θερμοκύκλο FTR1 (20°C:7°C, 2:2) χρειάστηκαν σημαντικά περισσότερες ημέρες για την έξοδο ενηλίκων από τις νύμφες ($P < 0,05$). Οι θερμοκρασίες 20°C και 25°C ήταν ευνοϊκότερες για την ανάπτυξη από το στάδιο της νύμφης μέχρι την ενηλικίωση. Την μικρότερη χρονική διάρκεια χρειάστηκαν οι νύμφες που είχαν διατηρηθεί στους 25°C. Οι μεταχειρίσεις διέφεραν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικά (Wald test $t = 149,864$ $df = 4$ $P < 0,001$), εκτός των 15°C και FTR1 (20°C:7°C, 2:2), όπου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.



Διάγραμμα 3: Επίδραση της θερμοκρασίας μεταχείρισης στη διάρκεια ανάπτυξης από τη νύμφη έως το ενήλικο. Στήλες που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός της κάθε δοκιμής δε διαφέρουν σημαντικά ($P>0,05$).

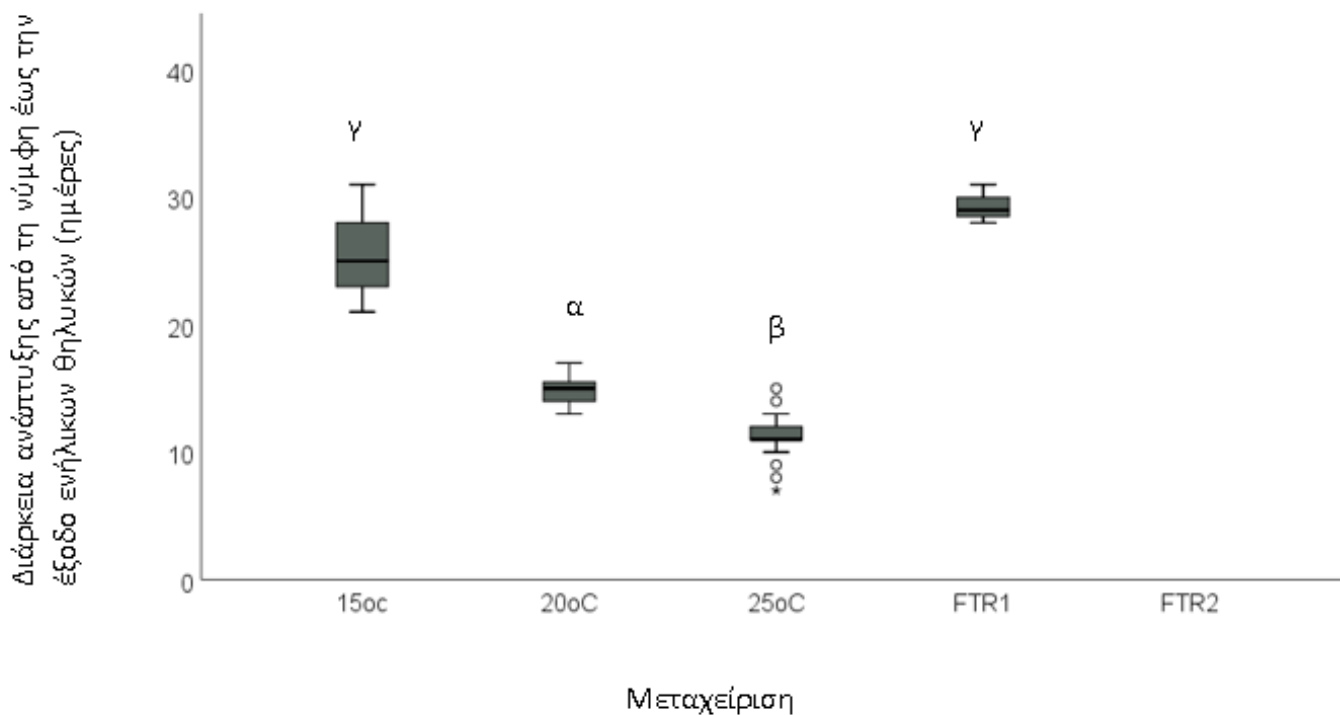
Από την σύγκριση των μέσων όρων της ανάπτυξης από το αυγό έως την νύμφη (εκφρασμένο σε ημέρες) και της ανάπτυξης από το στάδιο της νύμφης μέχρι την ενηλικίωση (εκφρασμένο σε ημέρες) για κάθε θερμοκρασιακή μεταχείριση προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα. Η διάρκεια ανάπτυξης των ανηλίκων τόσο από το στάδιο του αυγού μέχρι την νύμφη νύμφωσης (Wald test $t = 50,041$ $df=4$ $P<0,001$), όσο και αυτού της νύμφης μέχρι την ενηλικίωση (σε ημέρες) (Wald test $t = 149,864$ $df = 4$ $P <0,001$) επηρεάστηκε σημαντικά από τις διαφορετικές θερμοκρασίες. Τα ανήλικα που προήλθαν από αυγά που είχαν εμφυτευτεί σε καρπούς που είχαν διατηρηθεί στους 25°C , χρειάστηκαν κατά μέσο όρο 18,9 ημέρες, για να ολοκληρώσουν το στάδιο ανάπτυξης από το αυγό μέχρι την νύμφη. Στους 20°C ολοκλήρωσαν το παραπάνω αναπτυξιακό στάδιο σε 22,1 ημέρες κατά μέσο όρο. Με την πτώση της θερμοκρασίας από τους 20°C στους 15°C , ο μέσος όρος της ανάπτυξης από το αυγό μέχρι την νύμφη σχεδόν διπλασιάστηκε. Στους 15°C οι ημέρες που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση του σταδίου αυτού ήταν κατά μέσο όρο 47,8. Τέλος, στον θερμοκύκλο FTR1 ($20^{\circ}\text{C}:7^{\circ}\text{C}$, 2:2), χρειάστηκαν οι περισσότερες ημέρες για την ανάπτυξη των ανηλίκων από τα αυγό μέχρι την νύμφη. Στη συγκεκριμένη θερμοκρασιακή μεταχείριση χρειάστηκαν κατά μέσο όρο 50,7 ημέρες για την ανάπτυξη (σχεδόν 2 μισή φορές περισσότερο από αυτό των 25°C). Στο δεύτερο θερμοκύκλο FTR2 ($20^{\circ}\text{C} : 7^{\circ}\text{C}$, 2:6) δεν είχαμε κανένα αναπτυξιακό στάδιο. Αντίστοιχη εικόνα παρουσίασε και η ανάπτυξη από την νύμφη μέχρι το ενήλικο. Η βέλτιστη θερμοκρασία ήταν οι 25°C και ακολούθησαν οι 20°C , 15°C και ο θερμοκύκλος FTR1 ($20^{\circ}\text{C}:7^{\circ}\text{C}$, 2:2). Αναλυτικότερα, στους 25°C η διάρκεια ανάπτυξης από την νύμφη μέχρι το ενήλικο ήταν κατά μέσο όρο 11,04 ημέρες, στους 20°C χρειάστηκαν 14,08 ημέρες,

στους 15°C ήταν 25,7 ημέρες και στον θερμοκύκλο FTR1 (20°C:7°C, 2:2) χρειάστηκαν 26,7 ημέρες (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Σύγκριση των μέσων όρων της ανάπτυξης από το αυγό έως την νύμφη, τη νύμφη έως το ενήλικο και το αυγό έως το ενήλικο εκφρασμένο σε ημέρες στις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Μεσοί οροί που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουνε στατιστικά σημαντικά (P>0,05)

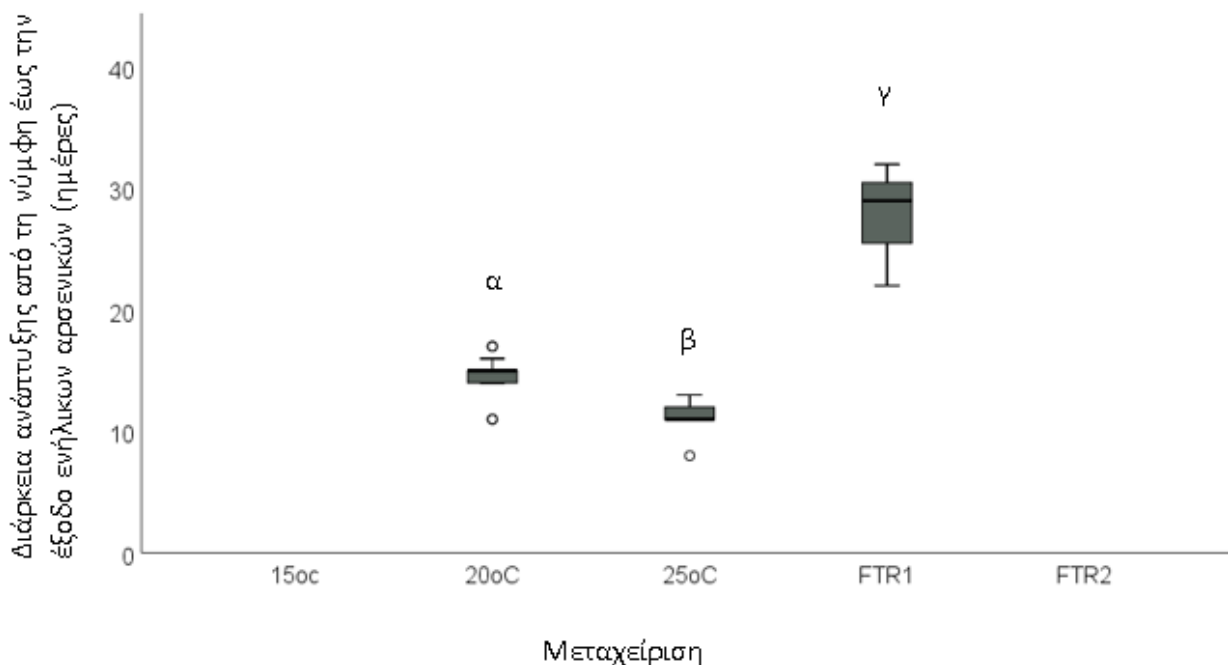
Μεταχείριση	Μέση διάρκεια ανάπτυξης (ημέρες ± SE)		
	Αυγό έως νύμφη	Νύμφη έως ενήλικο	Αυγό έως ενήλικο
25°C	18,9 ± 0,6 β (n= 63)	11,04 ± 0,3 β (n= 51)	29,94 ± 0,9 β (n= 63)
20°C	22,1 ± 0,6 α (n= 72)	14,08 ± 0,3 α (n= 43)	36,18 ± 0,9 α (n= 72)
15°C	47,8 ± 1,1 γ (n= 12)	25,7 ± 2,9 γ (n= 3)	73,5 ± 4 γ (n= 12)
FTR1	50,7 ± 2,1 γ (n= 42)	26,7 ± 1,6 γ (n=7)	77,4 ± 3,7 γ (n=42)
FTR2	0	0	0

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4, τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν στα θηλυκά άτομα του είδους και αφορούσαν τη διάρκεια ανάπτυξης από το στάδιο της νύμφης μέχρι την ενηλικίωση, προέκυψε ότι η θερμοκρασία είχε σημαντική επίδραση στην διάρκεια ανάπτυξης (Wald test $t=94,643$, $d=4$, $P<0,001$). Συγκεκριμένα, στους 25°C χρειάστηκαν οι λιγότερες ημέρες για την ολοκλήρωση της ανάπτυξης και ακολούθησαν οι 20°C, οι 15°C και ο θερμοκυκλος FTR1 (20°C:7°C, 2:2). Από την στατιστική ανάλυση, φάνηκε ότι η διάρκεια ανάπτυξης από το στάδιο της νύμφης έως και την έξοδο ενήλικων θηλυκών δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ της θερμοκρασίας των 15°C και του θερμοκύκλου FTR1 (20°C:7°C, 2:2) ($P>0,05$).



Διάγραμμα 4: Επίδραση της θερμοκρασίας των μεταχειρίσεων στη διάρκεια ανάπτυξης από το στάδιο της νύμφης έως την έξοδο των ενήλικων θηλυκών εκφρασμένη σε ημέρες. Στήλες που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός της κάθε δοκιμής δε διαφέρουν σημαντικά ($P>0,05$).

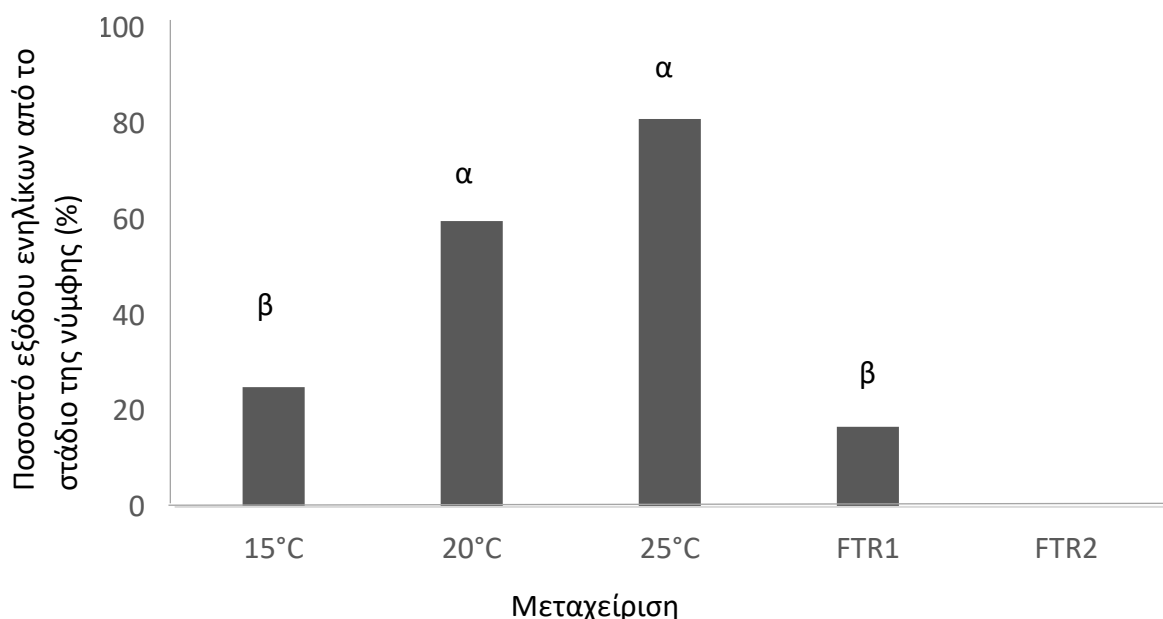
Στο Διάγραμμα 5, παρουσιάζεται η διάρκεια ανάπτυξης από το στάδιο της νύμφης έως και την έξοδο των ενήλικων αρσενικών. Όπως προκύπτει, η θερμοκρασία είχε σημαντική επίδραση στην διάρκεια ανάπτυξης (Wald test $t= 51,662$, $df=2$, $P<0,001$). Συγκεκριμένα, στους 25°C χρειάστηκαν οι λιγότερες ημέρες για την ολοκλήρωση της ανάπτυξης και ακολούθησαν οι 20°C και ο θερμοκύκλος FTR1 (20°C:7°C, 2:2). Από την στατιστική ανάλυση, φάνηκε ότι μεταξύ όλων θερμοκρασιακών μεταχειρίσεων υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Τέλος, δεν προέκυψε κανένα ενήλικο αρσενικό από νύμφες που είχαν διατηρηθεί στους 15°C και το θερμοκύκλο FTR2 (20°C:7°C, 2:6).



Διάγραμμα 5: Επίδραση της θερμοκρασίας των μεταχειρίσεων στη διάρκεια ανάπτυξης από το στάδιο της νύμφης έως την έξοδο των ενήλικων αρσενικών εκφρασμένη σε ημέρες. Στήλες που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός της κάθε δοκιμής δε διαφέρουν σημαντικά ($P>0,05$).

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 6, η θερμοκρασία διατήρησης των νυμφών επηρέασε σημαντικά το ποσοστό εξόδου των ενηλίκων (Wald test $t=32,111$, $df=3$, $P<0,001$). Σύμφωνα με τις μετρήσεις

προέκυψε ότι στους 25°C υπήρχε το μεγαλύτερο ποσοστό εξόδου ενήλικων ατόμων από το στάδιο της νύμφης, και ακολούθησαν με χαμηλότερο ποσοστό οι 20°C χωρίς όμως να διαφέρουν σημαντικά με τους 25°C. Το μικρότερο ποσοστό νύμφωσης παρουσιάστηκε στους 15°C και το θερμοκύκλο FTR1 (20°C:5°C, 2:2) που ήταν σημαντικά χαμηλότερο και στις δύο περιπτώσεις τόσο από τους 20°C όσο και από τους 25°C ($P < 0,05$).



Διάγραμμα 6: Επίδραση της θερμοκρασίας κατά την εξόδου ενήλικων από το στάδιο της νύμφης. Στήλες που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός της κάθε δοκιμής δε διαφέρουν σημαντικά ($P > 0,05$). Στήλες που δεν ακολουθούνται από γράμμα δεν είχαν ικανοποιητικό αριθμό επαναλήψεων.

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί φαίνεται το συνολικό ποσοστό νύμφωσης και ενηλικίωσης από το στάδιο της νύμφης για κάθε θερμοκρασιακή μεταχείριση. Στους 25°C το συνολικό ποσοστό νύμφωσης ήταν 35% και το συνολικό ποσοστό ενηλικίωσης ήταν 81%. Στους 20°C το συνολικό ποσοστό νύμφωσης ήταν 36% και το συνολικό ποσοστό ενηλικίωσης ήταν 59,7%. Στους 15°C το συνολικό ποσοστό νύμφωσης ήταν μόλις 6% (το χαμηλότερο εκ των μεταχειρίσεων, όμως με το

μικρότερο αριθμό δειγμάτων $n=12$) και το συνολικό ποσοστό ενηλικίωσης ήταν 25%. Τέλος, στον θεرمόκυκλο FTR1 (20°C:7°C, 2:2) το συνολικό ποσοστό νύμφωσης ήταν 21% και το συνολικό ποσοστό ενηλικίωσης ήταν 16,7% (Πίνακας 2).

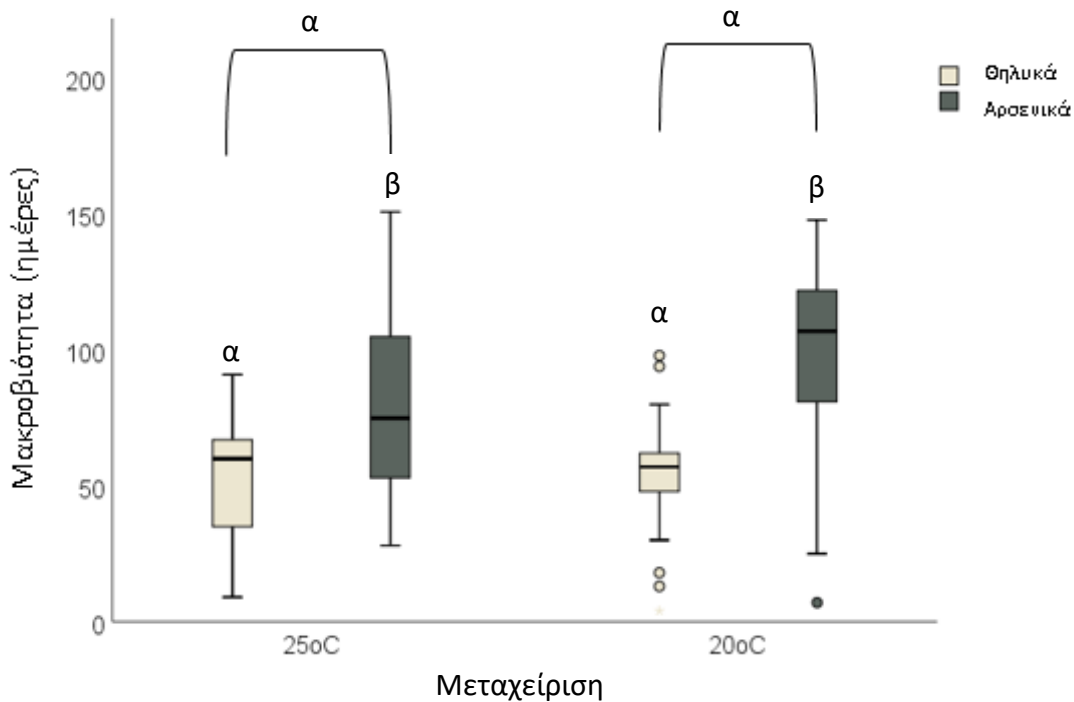
Πίνακας 2: Συνολικό ποσοστού νύμφωσης και ενηλικίωσης στις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Ποσοστά που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P>0,05$)

Μεταχείριση	Συνολικό ποσοστό νύμφωσης (%)	Συνολικό ποσοστό ενηλικίωσης από το στάδιο της νύμφης
25°C	35 (n=63) α	81 (n=51) α
20°C	36 (n=72) α	59,7 (n=43) α
15°C	6 (n=12) β	25 (n=3) β
FTR1	21 (n=42) β	16,7 (n=7) β
FTR2	0	0

4.2 Επίδραση στα ενήλικα άτομα

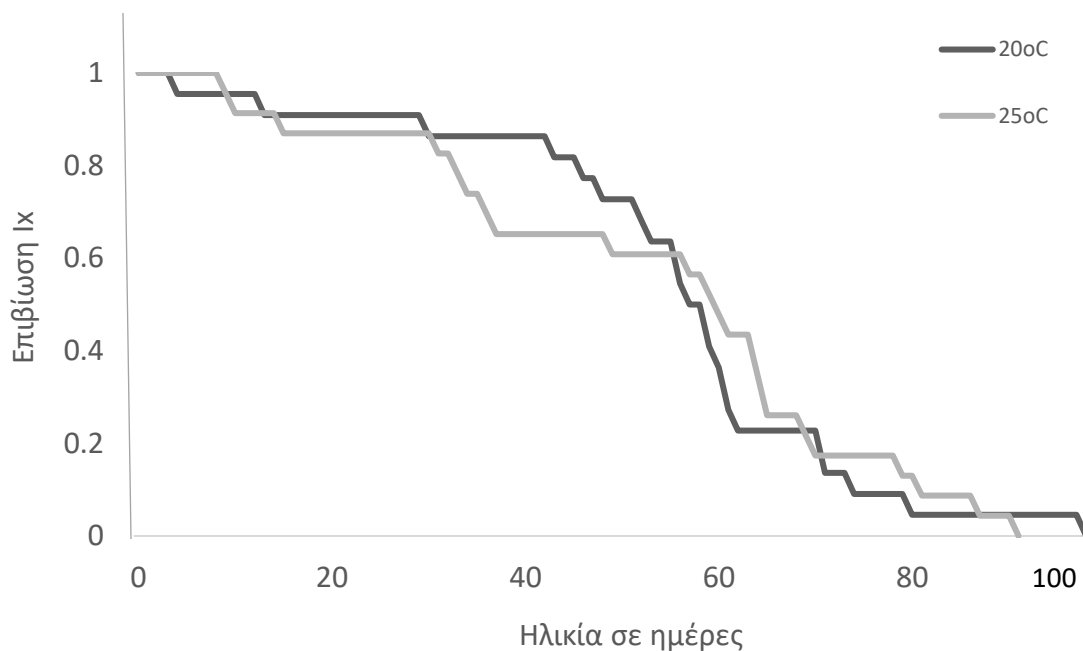
Οι θερμοκρασίες 15°C και ο θεرمόκυκλος FTR1 (20°C:7°C, 2:2) λόγω μικρού αριθμού επαναλήψεων δεν αναφέρονται γιατί δεν ήταν ορθό να συγκριθούν. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7, η θερμοκρασία διατήρησης των ανήλικων σταδίων επιδρά στην επιβίωση των ενήλικων θηλυκών και αρσενικών. Αν και μεταξύ των δύο θερμοκρασιακών μεταχειρίσεων (25°C και 20°C) δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές διαφορές (Wald test $t=0,703$, $df=1$, $P>0,05$) ως

προς την μακροβιότητα, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη μακροβιότητα που σχετίζονται με το φύλο, καθότι τα αρσενικά έζησαν περισσότερο απ'ότι τα θηλυκά και στις δύο θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις (Wald test $t = 29,775$, $df=1$, $P < 0,01$).



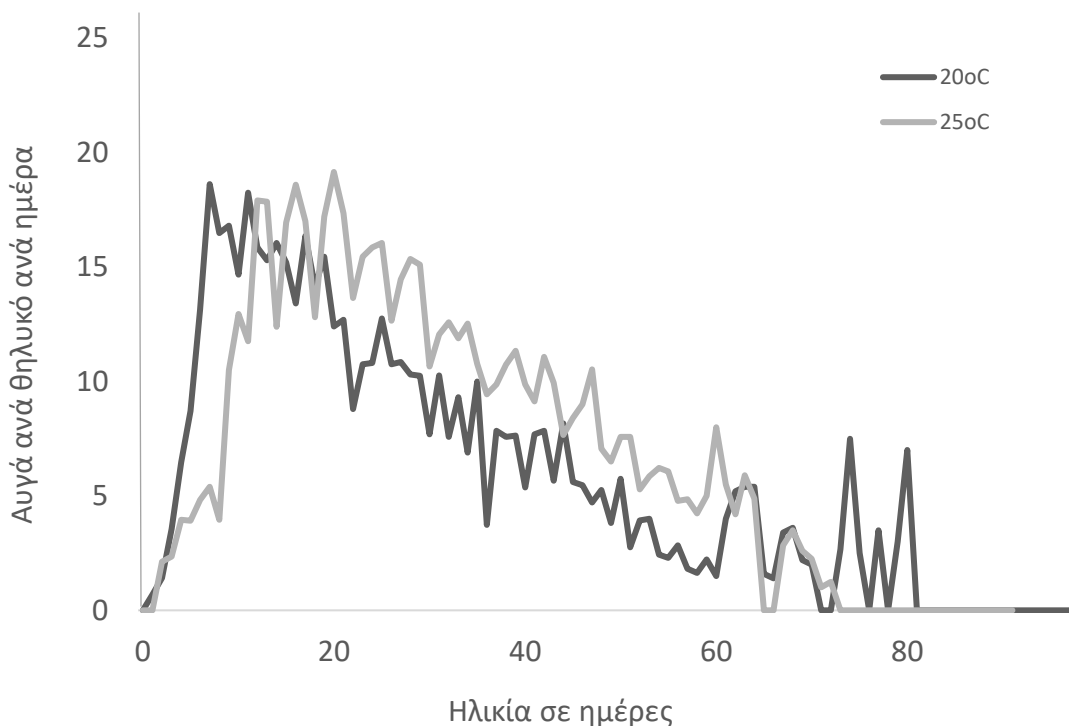
Διάγραμμα 7: Επίδραση της θερμοκρασίας διατήρησης των ανήλικων σταδίων στην επιβίωση των ενήλικων θηλυκών και αρσενικών αντίστοιχα.. Στήλες που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα εντός της κάθε δοκιμής δε διαφέρουν σημαντικά ($P > 0,05$).

Σύμφωνα με της καμπύλες επιβίωσης που προέκυψαν για τα θηλυκά άτομα του είδους, φαίνεται να επιμηκύνθηκε κατά πολύ λίγο η επιβίωση στα θηλυκά, τα οποία κατά το ανήλικο στάδιο ανάπτυξης διατηρήθηκαν στους 20°C, συγκριτικά με αυτά που είχαν διατηρηθεί στους 25°C (Διάγραμμα 8). Ωστόσο αυτή η διαφορά δεν είναι σημαντική διότι οι τιμές της τυπικής απόκλισης των μέσων όρων αλληλεπικαλύπτονται, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 8: Καμπύλες επιβίωσης των θηλυκών που κατά το ανήλικο τους στάδιο ανάπτυξης διατηρήθηκαν στους 20°C, και των θηλυκών που κατά το ανήλικο στάδιο ανάπτυξής τους διατηρήθηκαν στους 25°C.

Ο μέσος αριθμός των αυγών σε σχέση με την ηλικία των θηλυκών δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των θηλυκών που κατά το ανήλικο τους στάδιο ανάπτυξης διατηρήθηκαν στους 25°C και στους 20°C (Wald test $t=0,427$, $df=1$, $P>0,005$). Επιπλέον, τόσο στα θηλυκά που κατά το ανήλικο στάδιο είχαν διατηρηθεί στους 20°C όσο και στα θηλυκά που κατά το ανήλικο τους στάδιο είχαν διατηρηθεί στους 25°C παρατηρήθηκε ότι το μέγιστο της ωοπαραγωγής (αυγά ανά θηλυκό) σημειώθηκε περίπου στην 20η μέρα της συνολικής επιβίωσης.

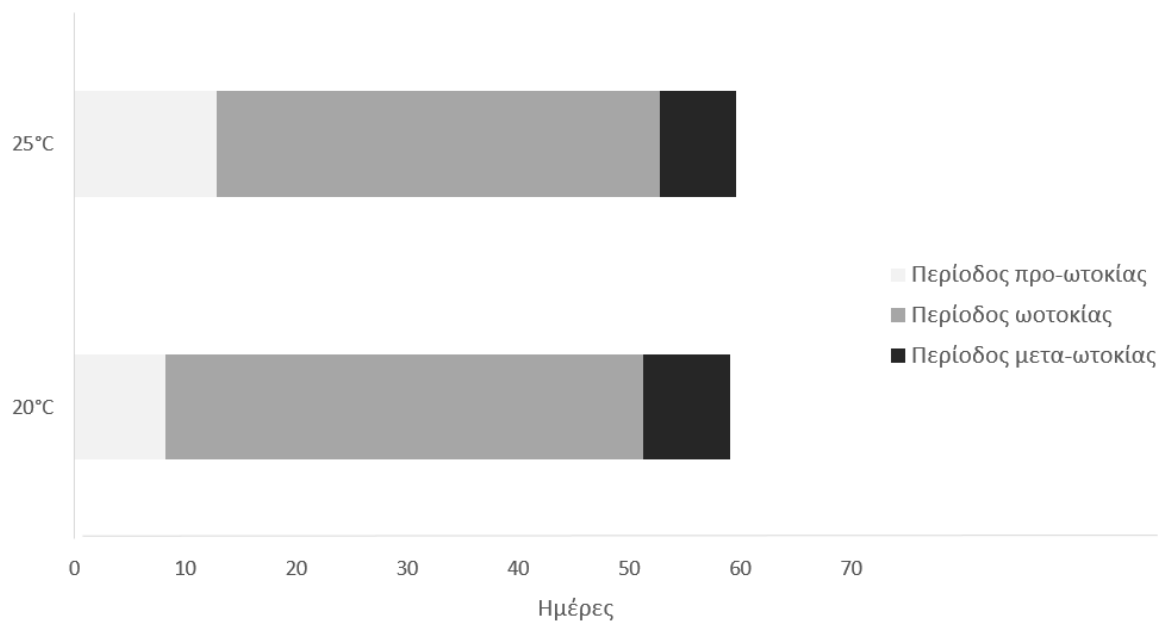


Διάγραμμα 9: Πορεία ωοπαραγωγής σε σχέση με την ηλικία για τα θηλυκά που αναπτύχθηκαν ως ανήλικα στους 25°C και στους 20°C αντίστοιχα που κατά το ανήλικό τους στάδιο ανάπτυξης διατηρήθηκαν στους 20°C, και των θηλυκών που κατά το ανήλικό στάδιο ανάπτυξης τους διατηρήθηκαν στους 25°C.

Πίνακας 3: Επίδραση της θερμοκρασίας κατά την ανάπτυξη των ανήλικων στη μακροβιότητα και στη ωοπαραγωγή των ενήλικων που παρέμεναν στους 25°C και στους 20°C αντίστοιχα. Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά. ($P > 0,05$)

Μεταχείριση	Μακροβιότητα (ημέρες \pm SE)	Συνολική ωοπαραγωγή (ωά/ενήλικο θηλυκό)
25°C	67,59 \pm 5,01 α	500,52 \pm 63,68 α
20°C	74,34 \pm 5,36 α	494,64 \pm 45,02 α

Από το σύνολο των μετρήσεων που αφορούσαν την διάρκεια των περιόδων προ-ωοτοκίας, ωοτοκίας και μετά-ωοτοκίας, βρέθηκε ότι η περίοδος της προ-ωοτοκίας δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών (Wald test $t=3,03$, $df=1$, $P>0,05$). Επιπλέον, τόσο η διάρκεια των περιόδων της ωοτοκίας (Wald test $t=0,862$, $df=1$, $P>0,05$) και της μετά-ωοτοκίας (Wald test $t=0,678$, $df=1$, $P>0,05$) δεν φάνηκε να επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις (Διάγραμμα 10 & Πίνακας 4).



Διάγραμμα 10: Επίδραση της θερμοκρασίας διατήρησης των ανήλικων στην περίοδο προ-ωοτοκίας, ωοτοκίας, μετα-ωοτοκίας σε σχέση με τις ημέρες.

Πίνακας 4: Μέσος όρος περιόδων προ-ωτοκίας, ωτοκίας και μετά-ωτοκίας στους 20°C και 25°C. Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουνε στατιστικώς σημαντικά ($P>0,05$).

Μεταχείριση	Αναπαραγωγική περίοδος (ημέρες \pm SE)		
	Περίοδος προ-ωτοκίας	Περίοδος ωτοκίας	Περίοδος μετά-ωτοκίας
25°C (n= 46)	12,8 \pm 2,44 α	39,90 \pm 3,99 α	6,90 \pm 2,46 α
20°C (n= 44)	8,16 \pm 1,66 α	43,05 \pm 1,74 α	7,89 \pm 2,16 α

Κεφάλαιο 5^ο Συζήτηση

5.1 Επίδραση στα ανήλικα άτομα

Οι διάφορες θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις φάνηκε να επιδρούν στην ανάπτυξη των ανηλικών ατόμων του είδους *C. capitata*. Τα ανήλικα που είχαν τοποθετηθεί σε καρπούς που είχαν διατηρηθεί σε θερμοκρασίες 20°C και 25°C, είχαν υψηλότερα ποσοστά νύμφωσης. Στην θερμοκρασιακή μεταχείριση των 15 °C παρατηρήθηκαν τα χαμηλότερα ποσοστά νύμφωσης και τα δεύτερα χαμηλότερα ποσοστά νύμφωσης παρατηρήθηκαν στον πρώτο θερμοκύκλο (20°C:7°C για 2:2 ημέρες). Εκτός των ποσοστών νύμφωσης, οι διαφορετικές θερμοκρασιακές μεταχειρίσεις φαίνεται να επηρέασαν και τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης των ανηλικών, από το στάδιο του αυγού μέχρι την νύμφωση αλλά και από το στάδιο της νύμφης μέχρι την ενηλικίωση. Αναλυτικότερα, στις υψηλότερες θερμοκρασίες 20°C και 25°C, τα αναπτυξιακά στάδια ολοκληρώνονταν πιο γρήγορα, ενώ με την μείωση της θερμοκρασίας στους 15°C και στον Θερμοκύκλο FTR1 (20°C:7°C, 2:2) χρειάστηκαν περισσότερες ημέρες για την ολοκλήρωση των αναπτυξιακών σταδίων. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και στην ερευνητική μελέτη των Dionysoroulou et al. (2020), η θερμοκρασία φάνηκε να επηρεάζει την ανάπτυξη των ανηλικών σταδίων, όπου από τις θερμοκρασίες που μελετήθηκαν (15°C, 25°C και 30°C), στους 15°C απαιτούνταν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα για την ολοκλήρωση των ανηλικών σταδίων. Ενώ, με την αύξηση της θερμοκρασίας τα αναπτυξιακά στάδια των ανηλικών ολοκληρώνονταν σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έρχονται τα αποτελέσματα των Hooper (1978), τα οποία έδειξαν ότι η θερμοκρασία φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη και την εκκόλαψη των προνυμφών από τα αυγά. Όταν η θερμοκρασία εκτροφής των προνυμφών του *C. capitata* μειώνεται από 30°C, στους 25 °C και στους 20 °C, η εκκόλαψη των νέων προνυμφών σε σχέση με τα αυγά αυξήθηκε από 15% σε 25% και σε 30%,

Επίσης, στον θερμοκύκλο FTR1 (20°C:7°C, 2:2), χρειάστηκαν οι περισσότερες ημέρες για την ολοκλήρωση των αναπτυξιακών σταδίων των ανηλίκων, το οποίο ενδέχεται να οφείλεται στην χαμηλή θερμοκρασία των 7°C που εφαρμόζονταν κατ' εναλλαγή με τους 20°C. Σύμφωνα με τους Nyamukondiwa & Terblanche (2009), το κατώτερο θερμοκρασιακό εύρος ανάπτυξης και επιβίωσης για το *C. capitata* είναι οι 5,4 °C. Οι 5°C, αν και εφαρμόζονταν κατ' εναλλαγή με την ευνοϊκή θερμοκρασία των 20°C, είναι το κατώτερο θερμοκρασιακό εύρος και πιθανόν να επηρέασε αρνητικά τον ρυθμό ανάπτυξης. Μελετώντας ξεχωριστά για κάθε φύλο (θηλυκά, αρσενικά) την επίδραση της θερμοκρασίας στον ρυθμό ανάπτυξης βρέθηκε ότι στους 25°C τα θηλυκά χρειάστηκαν τις λιγότερες ημέρες για την ολοκλήρωση των σταδίων ανάπτυξης και ακολούθησαν οι 20°C, οι 15°C και ο θερμοκύκλος FTR1 (20°C:7°C, 2:2). Από τις μετρήσεις που έγιναν στα αρσενικά άτομα του είδους, προέκυψαν αντίστοιχα αποτελέσματα για τη σχέση των θερμοκρασιών και του ρυθμού ανάπτυξης (εκτός από την έλλειψη επαρκών δεδομένων για τους 15°C). Επιπλέον, το ποσοστό εξόδου ενηλίκων από το στάδιο της νύμφης ήταν μεγαλύτερο στους 25°C, ακολούθησαν με χαμηλότερο ποσοστό οι 20°C και με μεγάλη διαφορά οι 15°C και ο θερμοκύκλος FTR1 (20°C:7°C, 2:2). Σύμφωνα με τους Vayssieres et al. (2008), ο ρυθμός ανάπτυξης των ανηλίκων σταδίων έχει γραμμική συσχέτιση με την θερμοκρασία. Οι Vayssieres et al. (2008), συμπέραναν ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο εύρος 15-30 °C, αυξάνεται και η ταχύτητα ανάπτυξης των ανηλίκων σταδίων του γένους *Tephritidae*.

5.2 Επίδραση στα ενήλικα άτομα

Στα ενήλικα άτομα, η θερμοκρασία διατήρησης κατά το ανήλικο στάδιο φάνηκε να έχει επίδραση στην επιβίωση των θηλυκών και αρσενικών. Μεταξύ των δύο θερμοκρασιακών μεταχειρίσεων (25°C και 20°C) που εφαρμόστηκαν, δεν υπήρξαν διαφορές ως προς την μακροβιότητα, ωστόσο παρατηρήθηκαν διαφορές οι οποίες σχετίζονταν με το φύλο, καθώς τα αρσενικά έζησαν περισσότερο συγκριτικά με τα θηλυκά λόγω του κόστους αναπαραγωγής. Επίσης, η διάρκεια ζωής τους σε κατάσταση αιχμαλωσίας και επάρκειας τροφής κυμαίνεται μεταξύ 30-65 ημέρες, εύρος μέσα στο οποίο κυμάνθηκε και η διάρκεια ζωής των εξεταζόμενων ατόμων.

Η μέση ωοπαραγωγή ήταν αυξημένη στα θηλυκά που κατά το ανήλικο τους στάδιο ανάπτυξης διατηρήθηκαν στους 25°C, ωστόσο τα θηλυκά που κατά το ανήλικο στάδιο ανάπτυξής τους διατηρήθηκαν στους 20°C, εμφάνισαν μεγαλύτερη διάρκεια ωοπαραγωγής.. Στους 20°C παρουσιάστηκε ο μεγαλύτερος μέσος όρος μακροβιότητας, ενώ στους 25°C η συνολική ωοπαραγωγή ήταν μεγαλύτερη. Η θερμοκρασία επηρέασε επίσης την διάρκεια των περιόδων προ-ωοτοκίας, ωοτοκίας και μετά-ωοτοκίας, καθώς βρέθηκε ότι η περίοδος της προ-ωοτοκίας διήρκησε περισσότερο στη θερμοκρασιακή μεταχείριση των 25°C.

Κεφάλαιο 6^ο Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής διατριβής, φαίνεται ότι η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση τόσο στα ανήλικα όσο και στα ενήλικα άτομα του είδους *Ceratitis capitata*. Οι θερμοκρασίες των 20°C και 25°C φάνηκε να έχουν θετική επίδραση στην ανάπτυξη και στα δημογραφικά χαρακτηριστικά, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες των 15 °C και η εναλλαγή θερμοκρασιών που εφαρμόστηκε στον θερμοκύκλο FTR1 (20°C:7°C, 2:2) φάνηκε να επιδρά αρνητικά. Καθώς, τα ανήλικα στάδια ολοκλήρωναν πιο σύντομα τα αναπτυξιακά στάδια στις θερμοκρασίες 20°C και 25°C, ενώ στους 15 °C και στον θερμοκύκλο FTR1 (20°C:7°C, 2:2) χρειαζόταν περισσότερο χρόνο για την ολοκλήρωση των αναπτυξιακών σταδίων. Επιπλέον, το ποσοστό εξόδου ενηλίκων από το στάδιο της νύμφης, το οποίο ήταν μεγαλύτερο στους 25°C, ακολούθησαν με χαμηλότερο ποσοστό οι 20°C και με μεγάλη διαφορά οι 15°C και ο θερμοκύκλος FTR1 (20°C:7°C, 2:2).

Βάση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας και της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας μπορούμε να συμπεράνουμε την σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και την δημογραφία της μύγας της Μεσογείου. Οι παραπάνω πληροφορίες είναι χρήσιμες τόσο για την

περαιτέρω κατανόηση της βιολογίας του είδους αλλά και για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του. Η εφαρμογή χαμηλών θερμοκρασιών μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του είδους, ωστόσο χρειάζεται να γίνουν επιπλέον πειράματα επ' αυτού και να βρεθεί ο κατάλληλος τρόπος να εφαρμοστούν τα αποτελέσματα στην πράξη.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

1. Σταμόπουλος Δ., 1995. Έντομα αποθηκών, μεγάλων καλλιεργειών και λαχανικών. Εκδόσεις Ζήτη.
2. Τζανακάκης Μ.Ε., 1995. Εντομολογία. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση

3. Agnello A.M., Kain D.P. and Spangler S.M., 1993. Fruit pest events and phonological development according to accumulated heat units. New York's Food and Life Sciences Bulletin. Number 142.
4. Andrewartha H.G., 1961. Introduction to the study of animal populations. Methuen & Co Ltd. London.
5. Beck S.D., 1983. Insect thermoperiodism. Annual. Reviews of Entomology. 28: 91-108.
6. Bonizzoni M., Zheng L., Guglielmino C.R., Haymer D.S., Gasperi G., Gomulski L.M. and Malacrida A.R., 2001. Microsatellite analysis of medfly bioinfestations in California. Molecular Ecology, 10: 2515-2524.
7. Calow P., 1998. Handbook of environmental risk assessment and management. Blackwell Science 600 Pages

8. Campbell A., Frazer B.D., Gilbert N., Gutierrez A.P., and Mackauer M., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology* 11: 431-438.
9. Christenson L.D. and Foote R.H., 1960. Biology of fruit flies. *Annual Review of Entomology* 5:171- 192.
10. De Meyer M., 2000. Phylogeny of the genus *Ceratitis* (Dacinae: Ceratitidini). In *Fruit flies (Tephritidae): Phylogeny and evolution of behavior* (eds M. Aluja & A.L. Norrbom), pp. 409-428. CRC Press, Boca Raton, Florida.
11. Dionysopoulou N.K., Papanastasiou S.A., Kyritsis G.A., 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). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229727>.
12. Ferro D.N., 1987. Insect pest outbreaks in agroecosystems. In: Barbosa P, Schultz JC (eds) *Insect outbreaks*. Academic Press Inc, San Diego, pp 195–212.
13. Fimiani P., 1989. Mediterranean region. In *Fruit flies: their biology, natural enemies and control* (eds A.S. Robinson & G. Hooper), Vol. 3A, pp. 39-50. Elsevier, Amsterdam.
14. Feder M.E., Roberts S.P., Bordelon A.C., 2000. Molecular thermal telemetry of freeranging adult *Drosophila melanogaster*. *Oecologia* 123, 460–465.
15. Gibbs A.G., Perkins M.C., Markow T.A., 2003. No place to hide: microclimates of Sonoran Desert *Drosophila*. *Journal of Thermal Biology* 28, 353–362.
16. Gonzalez J., and Troncoso P., 2007. The Fruit Fly Exclusion Programme in Chile. In: Vreysen M.J.B., Robinson A.S., Hendrichs J. (eds) *Area-Wide Control of Insect Pests*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6059-5_59
17. Gullan P.J., and Cranston P.S., 1994. *Insects: An Outline of Entomology*. Chapman & Hall. p 169-174.
18. Guillen D. and Sanchez R., 2007. Expansion of the national fruit fly control programme in Argentina. In *Area-Wide Control of Insect Pests. From research to field implementation* (eds

M.J.B. Vreysen, A.S. Robinson & J. Hendrichs), pp. 653-660. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

19. Hamby K.A. and Becher P.G., 2016. Current knowledge of interactions between *Drosophila suzukii* and microbes, and their potential utility for pest management. *J Pest Sci.*

20. Hauser, P.M., and Duncan, O.D. (1959). *The Study of Population: An Inventory and Appraisal*. The University of Chicago Press, Chicago [Presenting a classic and systematic introduction of the primary fields of population studies.

21. James K.E., Dorman J.B., Berg C.A., 2002. Mosaic analyses reveal the function of *Drosophila Ras* in embryonic dorsoventral patterning and dorsal follicle cell morphogenesis. *Development* 129(9): 2209--2222.

22. Katsoyannos B.I., Heath R.R., Papadopoulos N.T., Epsky N.D. and Hendrichs J., 1999a. Field evaluation of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) female selective attractants for use in monitoring programs. *Journal of Economic Entomology*, 92, 583-589.

23. Katsoyannos B.I., Papadopoulos N.T., Heath R.R., Hendrichs J. and Kouloussis N.A., 1999b. Evaluation of synthetic food-based attractants for female Mediterranean fruit flies (Dipt., Tephritidae) in McPhail type traps. *Journal of Applied Entomology*, 123, 607-612.

24. Khaliq I, Hof C, Prinzing R, Böhning-Gaese K, Pfenninger M., 2014. Global variation in thermal tolerances and vulnerability of endotherms to climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. doi: 10.1098/rspb.2014.1097. Article 20141097.

25. Kourti A., 2002. Estimates of heterozygosity and patterns of geographic differentiation in natural populations of the medfly (*Ceratitis capitata*). *Hereditas*, 137, 173-179.

26. Kourti A., Loukas M. and Sourdis J., 1992. Dispersion pattern of the medfly from its geographical centre of origin and genetic relationships of the medfly with two close relatives. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, 63, 63-69.

27. Lee A.D., 1956. The physiology and biochemistry of diapause. *Annu. Rev. Entomol.* 1:1-16.

28. Liquido N.J., Shinoda L.A. and Cunningham R.T., 1991. Host plants of the Mediterranean fruit fly (Diptera, Tephritidae) an annotated world review. In *Miscellaneous Publications 77*. Entomological Society of America, Vol. 83, pp.1863-1878, Lanham, MD.
29. Malacrida AR, Guglielmino CR, Gasperi G, Baruffi L, and Milani R, 1992. Spatial and temporal differentiation in colonizing populations of *Ceratitis capitata*. *Heredity* 69:101–111.
30. Mavrikakis P.G., Economopoulos A.P. and Carey J.R., 2000. Continuous winter reproduction and growth of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Heraklion, Crete, southern Greece. *Environmental Entomology*, 29, 1180-1187.
31. Messenger P.S. and Flitters N.E., 1958. Effects of constant temperature environments on the egg stage of three species of Hawaiian fruit flies. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 51: 109-119.
32. Mitchell W.C. and Saul S.H., 1990. Current control methods for the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, and their application in the USA. *Review of Agricultural Entomology*, 78, 923-940.
33. Motswagole R., Gotcha N. and Nyamukondiwa C., 2019. Thermal Biology and Seasonal Population Abundance of *Bactrocera dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae): Implications on Pest Management. *Int J Insect Sci.* 2019; Vol 11. Doi: 1179543319863417.
34. Navarro-Campos C., Martínez-Ferrer M.T., Campos J.M., Fibla J.M., Alcaide J., BARGUES L., Marzal C., Garcia-Marí F., 2011. The influence of host fruit and temperature on the body size of adult *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) under laboratory and field conditions. *Environmental entomology*, 40(4):931-8. doi: 10.1603/EN10302.
35. Nyamukondiwa C. and Terblanche J.S., 2009. Thermal tolerance in adult Mediterranean and Natal fruit flies (*Ceratitis capitata* and *Ceratitis rosa*): Effects of age, gender and feeding status. *Journal of Thermal Biology* 34: 406–414.
36. Papadopoulos N.T., Carey J.R., Katsoyannos B.I. and 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
37. Papadopoulos N., 1998. Study on the biology and ecology of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Northern Greece, Aristotle University, Thessaloniki.

38. 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.
39. Papadopoulos N.T. and Katsoyannos B.I., 2003. Field parasitism of *Ceratitis capitata* larvae by *Aganaspis daci* in Chios, Greece. *BioControl*, 48, 191-195.
40. Papadopoulos N.T., 2004. Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). In *Encyclopedia of Entomology* (ed J. Caminera), Vol. 2, pp. 1367-1370. Kluwer Academic Press.
41. Price P.W., Denno R.F., Eubanks M.D., Finke D.L., Kaplan I., 2012. Demography, population growth and life tables. Part IV - Population ecology. Publisher: Cambridge University Press, pp 351-372. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511975387.014>
42. Prokopy R.J., Ziegler J.R. and Wong T.T.Y., 1978. Deterrence of repeated oviposition by fruit marking pheromone in *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Journal of Chemical Ecology*, 4, 55-63.
43. Régnière J., Powell J., Bentz B. and Nealis V., 2012. Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: Experimental design, data analysis and modelling. *Journal of Insect Physiology*. 58(5):634-647.
44. Reyes J., Carro X., Hernandez J., Mendez W., Campo C., Esquivel H., Salgado E. and Enkerlin W., 2007. A multi-institutional approach to create fruit fly-low Prevalence and fly-free areas in Central America. In *Area-Wide Control of Insect Pests. From research to field implementation* (eds M.J.B. Vreysen, A.S. Robinson & J. Hendrichs), pp. 627-640. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
45. Robinson A.S. and Hooper G., 1989. *Fruit Flies their Biology, Natural Enemies and Control* Elsevier, Amsterdam.
46. Savopoulou-Soultani M., Papadopoulos N.T., Milonas P. and Moyal P., 2012. Abiotic Factors and Insect Abundance. *Hindawi Publishing Corporation Psyche*. Article ID 167420, 2 pages. doi:10.1155/2012/167420.
47. Sharpe P.J.H., and DeMichele D.V., 1977. Reaction Kinetics of poikilotherm development. *J. Theor. Biol.* 64: 649-670.

48. Speight R.M., Hunter D.M. and Watt D.A., 1999. Ecology of Insects: Concepts and Applications. Blackwell Science. P 26-30.
49. VAYSSIE` J. F., CAREL Y., COUBES M. AND DUYCK P.F., 2008. Development of Immature Stages and Comparative Demography of Two Cucurbit-Attacking Fruit Flies in Reunion Island: *Bactrocera cucurbitae* and *Dacus ciliatus* (Diptera Tephritidae). Environ. Entomol. 37(2): 307-314.
50. Vreysen M.J.B., Robinson A.S. and Hendrichs J., 2007. Area-Wide Control of Insect Pests Springer, Doedrecht, The Netherlands.
51. Wheeler D., 1996. The role of nourishment in oogenesis. Annu. Rev. Entomol. 41: 407-431.
52. White I.M. and Elson-Harris M.M., 1992. Fruit Flies of Economic Significance. Their Identification and Bionomics C.A.B. INTERNATIONAL: WALLINGFORD, ENGLAND, UK.
53. Yank, Y., J. R. Carrey, and R. V. Dowell. 1994. Temperature influences on the development and demography of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in China. Environ. Entomol. 23: 971-974.
54. Zheng Y., Wildonger J., Ye B., Zhang Y., Kita A., Younger S.H., Zimmerman S., Jan L.Y., Jan Y.N., 2008. Dynein is required for polarized dendritic transport and uniform microtubule orientation in axons. Nat. Cell Biol. 10(10): 1172-1180.