



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Προνυμφική ανάπτυξη του *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) σε φυτά τομάτας που έχουν αποικιστεί ενδοφυτικά από εγχώρια είδη εντομοπαθογόνων μυκήτων

Ευάγγελος Α. Γιαννουλάκης

Επιβλέπων Καθηγητής:

Διονύσιος Περδίκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2021**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΖΩΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΝΤΟΜΟΛΟΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Προνομφική ανάπτυξη του *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) σε φυτά τομάτας που έχουν αποικιστεί ενδοφυτικά από εγχώρια είδη εντομοπαθογόνων μυκήτων

“Larval development of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato plants that have been colonized endophytically by species of entomopathogenic fungi”

Ευάγγελος Α. Γιαννουλάκης

Εξεταστική επιτροπή:

Διονύσιος Περδίκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Γεώργιος Παπαδούλης, Καθηγητής ΓΠΑ

Επαμεινώνδας Παπλωματάς, Καθηγητής ΓΠΑ

Προνυμφική ανάπτυξη του *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) σε φυτά τομάτας που έχουν αποικιστεί ενδοφυτικά από εγχώρια είδη εντομοπαθογόνων μυκήτων

ΠΜΣ Ολοκληρωμένα Συστήματα Φυτοπροστασίας & Διαχείρισης του Περιβάλλοντος
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας & Εντομολογίας

Περίληψη

Το έντομο *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) αποτελεί παγκοσμίως τον πιο σημαντικό εχθρό της καλλιέργειας τομάτας. Η αντιμετώπισή του είναι δύσκολη λόγω της προστασίας των προνυμφών στις στοές που δημιουργούν, της εμφάνισης ανθεκτικότητας σε δραστικές ουσίες αλλά και λόγω των πολλών γενεών του. Αρκετοί εντομοπαθογόνοι μύκητες έχουν αναφερθεί ως ενδόφυτα σε διάφορα φυτικά είδη παρέχοντάς τους προστασία από ασθένειες και εχθρούς. Στην παρούσα μελέτη, εξετάστηκε η ενδοφυτικότητα των εντομοπαθογόνων μυκήτων *Beauveria bassiana* Balsamo (Vuillemin) (Hypocreales: Cordycipitaceae), *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) που απομονώθηκαν από εδάφη της Κρήτης αλλά και τα *B. bassiana* και *Metarhizium brunneum* (Petch) (Hypocreales: Clavicipitaceae) από τα εδάφη της Αχαΐας και οι επιδράσεις τους επί των προνυμφών και νυμφών του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας.

Για την πειραματική διαδικασία παρασκευάστηκε εναιώρημα κονιδίων (10^8 κονίδια/ml) για κάθε μύκητα ξεχωριστά. Έπειτα έγινε η εφαρμογή του εναιωρήματος σε φυτά τομάτας μέσω ριζοποτίσματος. Μετά από 14 ημέρες από την εφαρμογή καταγράφηκε η απόσταση που διένυσε η προνύμφη 1^{ης} ηλικίας *T. absoluta* από το ωό μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της, η διάρκεια ανάπτυξής της όπως και το βάρος της νύμφης σε σύγκριση με εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* και εντομοκτόνο.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι απομονώσεις των εντομοπαθογόνων μυκήτων *M. anisopliae* και *B. bassiana* της Κρήτης, μείωσαν σημαντικά την απόσταση αλλά και το βάρος της νύμφης σε σχέση με την επέμβαση με το εντομοκτόνο ή το απιονισμένο νερό. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις απομονώσεις του νομού Αχαΐας και στον μάρτυρα. Οι διαφορές αυτές δείχνουν ότι οι απομονώσεις μυκήτων της Κρήτης έχουν σημαντική ενδοφυτική επίδραση στο *T. absoluta* και θα πρέπει η δράση τους να διερευνηθεί σε επόμενα πειράματα στο εργαστήριο και στον αγρό.

Επιστημονική περιοχή: Γεωργική εντομολογία

Λέξεις κλειδιά: *Tuta absoluta*, εντομοπαθογόνοι μύκητες, ενδόφυτα, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*

Development of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae in tomato plants that have been endophytically colonized by species of entomopathogenic fungi

MSc Integrated Plant Protection & Environmental Management Systems
Department of Crop Science
Laboratory of Agricultural Zoology & Entomology

Abstract

The tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) is a serious pest of tomato crops worldwide. Its control is difficult due to the protection of its larvae in the galleries they create, its fast resistance development to many active ingredients but also due to its voltinism. Many entomopathogenic fungi have been reported as endophytes for various plants providing them protection against plant pathogens and pests. In this study, the endophyticity of *Beauveria bassiana* Balsamo (Vuillemin) (Hypocreales: Cordycipitaceae), *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) from soils of Crete and *B. bassiana* and *Metarhizium brunneum* (Petch) (Hypocreales: Clavicipitaceae) from soils of Achaia was examined against larvae and nymphs of *T. absoluta* in tomato plants.

A conidial suspension (10^8 conidia/ml) for each fungus was prepared. Then tomato plants were drip irrigated with the suspension. After 14 dpi (days post irrigation), the distance covered by 1st instar larvae of *T. absoluta* from the egg to the opening point of its gallery was recorded, its developmental duration as well as the weight of the nymph (pupa) were assessed in comparison with a commercial formulation of *B. bassiana* and an insecticide.

The results showed that the isolations of Crete gave significant differences in both on the distance of larvae and the weight of the *T. absoluta* nymph. *M. anisopliae* and *B. bassiana* significantly reduced the distance of larvae and the weight of the nymph compared to the insecticide or sterilized water. No significant differences were observed in the isolates of Achaia and control. These differences indicate that the fungal isolates of Crete have a significant endophytic effect on *T. absoluta* and their action should be investigated in future experiments both in the laboratory and in the field.

Scientific area: Agricultural entomology

Key words: *Tuta absoluta*, entomopathogenic fungi, endophytes, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στους ελαιώνες μου στην Μεσσαρά Ηρακλείου Κρήτης καθώς και στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής μου διατριβής υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Διονύσιου Περδίκη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Διονύσιο Περδίκη για την άψογη συνεργασία που είχαμε και για την καθοδήγησή και συμπαράστασή του καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής μου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής, τον Καθηγητή Γεώργιο Παπαδούλη και τον Καθηγητή Επαμεινώνδα Παπλωματά τόσο για την συμμετοχή τους στην επιτροπή όσο και για τις υποδείξεις τους. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Σπυρίδων Μαντζούκα και κ. Ιωάννη Λαγογιάννη για την πολύτιμη συμβολή τους διότι χωρίς αυτούς θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Ευχαριστώ τους γονείς μου για την αμέριστη στήριξη και συμπαράσταση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου καθώς και τους φίλους μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Ιωάννη Μουλιανιτάκη για τις συμβουλές του και για την συνεργασία που είχαμε καθώς και την υποψήφια Διδάκτωρ του Εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας Σοφία Δερβίσογλου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης αυτής της διατριβής.

«Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και ιασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της»

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	3
Abstract	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Η τομάτα (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	8
1.1.1 Ολοκληρωμένη αντιμετώπιση	12
1.2 Το έντομο <i>Tuta absoluta</i> (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)	14
1.2.1 Μορφολογία <i>Tuta absoluta</i>	16
1.2.2 Φυτά ξενιστές	17
1.2.3 Βιολογικός κύκλος	19
1.2.4 Συμπτώματα και ζημιές που προκαλούνται από το <i>Tuta absoluta</i>	21
1.2.5 Αντιμετώπιση του <i>Tuta absoluta</i>	23
1.2.5.1 Προληπτικά μέτρα	23
1.2.5.2 Χρήση ανθεκτικών ποικιλιών.....	23
1.2.5.3 Παρακολούθηση πληθυσμού με την χρήση σεξουαλικών φερομονών.....	25
1.2.5.4 Μαζική παγίδευση.....	26
1.2.5.5 Παρεμπόδιση σύζευξης	27
1.2.5.6 Χημική αντιμετώπιση.....	28
1.2.5.7 Βιολογική αντιμετώπιση του <i>T. absoluta</i>	29
1.3 Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες (ΕΠΜ)	32
1.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	32
1.3.2 Μηχανισμός δράσης.....	35
1.3.2.1 Μόλυνση-Βιολογικός κύκλος	35
1.3.3.2 Κονίδια - Προσκόλληση – Βλάστηση – Διείσδυση.....	36
1.3.3.3 Αναγνώριση του ξενιστή-Πορεία μόλυνσης.....	38
1.4 Ο μύκητας <i>Beauveria bassiana</i>	40

1.5 Ο μύκητας <i>Metarhizium anisopliae</i>	43
1.6 Εμπορικά μικροβιακά σκευάσματα με βάση μύκητες	44
1.7 Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες ως ενδόφυτα	47
1.8 Παγίδευση εντομοπαθογόνων μυκήτων.....	51
1.9 Σκοπός του πειράματος	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Υλικά και μέθοδοι.....	54
2.1. Φυτά τομάτας.....	54
2.2 Η εκτροφή του <i>Tuta absoluta</i>	55
2.3 Δειγματοληψία- Παγίδευση εντομοπαθογόνων μυκήτων.....	56
2.4 Πειραματική διαδικασία	59
2.5 Στατιστική επεξεργασία δεδομένων	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Αποτελέσματα	66
3.1 Εντομοπαθογόνοι μύκητες του νομού Αχαΐας.....	66
3.1.1 Απόσταση μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς.....	66
3.1.2 Διάρκεια ανάπτυξης	67
3.1.3 Βάρος νύμφης.....	68
3.2 Εντομοπαθογόνοι μύκητες Κρήτης	69
3.2.1 Απόσταση μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς.....	69
3.2.2 Διάρκεια ανάπτυξης	73
3.2.3 Βάρος νύμφης.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συζήτηση-Συμπεράσματα	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Βιβλιογραφία.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.)

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.) αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες λαχανοκομικές καλλιέργειες. Καταναλώνεται ως νωπή και αποτελεί σημαντική πηγή εισοδήματος για τους παραγωγούς. Το 1754 κατατάχθηκε από τον Miller στο είδος *Lycopersicon esculentum* ενώ το 1990 και το 2006 από τους Chil, Petata και Spooner αντίστοιχα απέκτησε το όνομα *Solanum lycopersicum* L. (Diez & Nuez, 2008; Cishesa, 2016; Mukwa et al., 2020). Φυτεύεται είτε υπαίθρια είτε στο θερμοκήπιο. Η καλλιέργειά της εκτείνεται από τροπικές περιοχές μέχρι πριν τον αρκτικό κύκλο. Είναι ποώδες, ετήσιο, διετές και σπάνια πολυετές φυτό και ανήκει στην οικογένεια Solanaceae. Είναι πλούσιο σε βιταμίνη Α και C και περιέχει αντιοξειδωτικές ουσίες όπως καροτενοειδή, λυκοπένιο, λουτεΐνη, φυτένιο, φυτοφλουένιο, β-καροτένιο, γ-καροτένιο, ζ-καροτένιο, νευροσπορένιο αλλά και ανόργανα άλατα όπως K και Mg. Ανήκει στα θερμοαπαιτητικά φυτά δηλαδή σε εύκρατο κλίμα φυτεύεται στην υπαίθρο μόνο σε θερμές εποχές και στο θερμοκήπιο σε χειμερινούς μήνες (Ολύμπιος, 2001; Σάββας, 2016).

Κατάγεται από την Νότια Αμερική και συγκεκριμένα από τις Άνδεις. Εκεί καλλιεργούνταν από τους Αζτέκους και τους Ίνκας την περίοδο 6.000 - 7.000 π.Χ. Εκτός από το είδος που καλλιεργείται σήμερα (*Solanum lycopersicum* L.) το οποίο κατάγεται από την περιοχή Vera Cruz-Puebla του Μεξικού, στις Άνδεις απαντώνται και άλλα είδη του γένους *Solanum* που είναι γνωστά ως αγριοτομάτες. Στην Ευρώπη η τομάτα εισήχθη από τον Κολόμβο το 1498 ενώ στην Ελλάδα το 1818 και επεκτάθηκε τον 20^ο αιώνα (Αγγίδης, 1996; Ντόγρας, 2003; Diez & Nuez, 2008; Σάββας, 2016). Μετά τον πρώτο Παγκόσμιο πόλεμο ξεκίνησε η βιομηχανική της επεξεργασία στα Δωδεκάνησα και την Νότια Ελλάδα (Αγγίδης, 1996).

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η παγκόσμια παραγωγή τομάτας το 2019 έφτασε τα 180 εκατομμύρια τόνους. Η Ασία έχει την μεγαλύτερη παραγωγή

φτάνοντας το 61,4% της συνολικής παραγωγής. Ακολουθούν η Βόρεια και Νότια Αμερική (13,9%), η Ευρώπη (12,7%), η Αφρική (11,8%) και η Ωκεανία (0,2%). Η Κίνα αποτελεί την κύρια χώρα παραγωγής τομάτας και ακολουθούν οι ΗΠΑ, η Τουρκία, η Ινδία και Ιταλία. Στην Ελλάδα το έτος 2019 παρατηρήθηκε μείωση στην παραγωγή τομάτας σε ποσοστό 3,2% καθώς το 2019 παρήχθησαν 808.670 τόνοι τομάτας σε σύγκριση με το 2018 όπου η παραγωγή ήταν 835.940 τόνοι. Όμοια κατάσταση παρατηρείται και στην καλλιεργούμενη έκταση η οποία μειώθηκε κατά 6,3% το 2019 (FAOSTAT, 2021). Τέλος, το 2019 η παραγωγή τομάτας θερμοκηπίου ήταν 235.598 τόνοι ενώ της υπαίθριας τομάτας για επιτραπέζια χρήση ήταν 162.934 τόνους (ΕΛΣΤΑΤ, 2021).

Η καλλιέργεια της τομάτας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως η χαμηλή γονιμότητα εδάφους, αβιοτική καταπόνηση, διακυμάνσεις τιμών, ποιότητα σπόρων, εχθρούς και ασθένειες (Mukwa et al., 2020). Η τομάτα προσβάλλεται από ιολογικές ασθένειες όπως ο ιός του μωσαικού της τομάτας (ToMV), της αγγουριάς (CMV) και του καπνού (TMV), ο κηλιδωτός μαρασμός της τομάτας (TSWV), ο ιός Y (PVY) και X της πατάτας (PVX), ο ιός του μωσαϊκού του πέπινου (PMV), μολυσματική χλώρωση (TICV) και χλώρωση της τομάτας (ToCV), συστροφή και κιτρίνισμα φύλλων τομάτας (TYLCV και TYLCSV), βακτηριακές όπως η βακτηριακή στιγμάτωση (*Pseudomonas syringae*) και κηλίδωση (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*), βακτηριακό έλκος (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*), βακτηριακή μάρανση (*Ralstonia solanacearum*), νέκρωση ή σήψη εντεριώνης (*Pectobacterium carotovorum*, *P. Atrosepticum*, *Pseudomonas viridiflava*, *P. fluorescens*, *P. corrugata*, *P. cichorii*) και μυκητολογικές όπως σκληρωτινίαση (*Sclerotinia sclerotiorum*), φουζάριο (*Fusarium* spp.), αλτερναρίωση (*Alternaria solani*), ωίδιο (*Leveillula taurica*, *Oidium* spp.), περονόσπορος (*Phytophthora infestans*), βοτρυτής (*Botrytis cinerea*), κλαδοσπορίωση (*Cladosporium fulvum*), αδροφουζαρίωση (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*), πύθιο (*Pythium* spp.), φελλώδης σηψιρριζία (*Pyrenochaeta lycopersici*), σεπτορίωση (*Septoria lycopersici*), βερτισιλλίωση (*Verticillium dahliae*) και διδύμελλα (*Didymella* sp.) (ΥΠΑΑΤ, 2019).

Στους εντομολογικούς εχθρούς που προσβάλλουν την τομάτα ζημιώνοντας σημαντικά την παραγωγή είναι οι αφίδες, οι θρίπες, οι αλευρώδεις, οι

φυλλορύκτες, προνύμφες λεπιδοπτέρων αλλά και ακάρεα (Mukwa et al., 2020). Η αντιμετώπισή τους βασίζεται κυρίως στην χρήση εντομοκτόνων. Όμως η εκτεταμένη και μη ορθή χρήση τους έχει οδηγήσει στην εμφάνιση ανθεκτικότητας (Gisi & leadbeater, 2010). Στην Ελλάδα έχουν παρατηρηθεί υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας σε πληθυσμούς *Bemisia tabaci* στα νεοκοτινοειδή και στις πυρεθρίνες (Roditakis et al., 2009) αλλά και σε πληθυσμούς *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) στα οργανοφωσφορικά, νεοκοτινοειδή και πυρεθρίνες (Gorman et al., 2002; Karatolos et al., 2010; Pappas et al., 2013; Ovcarenko et al., 2014). Επιπλέον ο *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) (θρίπας της Καλιφόρνια) παρουσιάζει ανθεκτικότητα στα καρβαμιδικά εντομοκτόνα, πυρεθρινοειδή, νεοκοτινοειδή και αβερμεκτίνες (Foster et al., 2010; IRAC, 2020) σε αντίθεση με τον *Thrips tabaci* (Lindeman) (Thysanoptera: Thripidae) (κοινός θρίπας) και το *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (πράσινο σκουλήκι) που παρουσιάζουν στα οργανοφωσφορικά και πυρεθρίνες (Foster et al., 2010; Nazemi et al., 2016; IRAC, 2018). Από τις αφίδες, το *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) (πράσινη αφίδα της ροδακινιάς) και *Aphis gossypii* (Glover) (Hemiptera: Aphididae) (αφίδα του βαμβακιού) εμφανίζουν ανθεκτικότητα σε ορισμένες κατηγορίες εντομοκτόνων όπως καρβαμιδικά, οργανοφωσφορικά, νεοκοτινοειδή και πυρεθρίνες (IRAC, 2018, 2019). Επίσης έχει βρεθεί ότι το *Lyriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) είναι ανθεκτικό στις τριαζίνες, αβερμεκτίνες και σπινουσύνες (Ferguson, 2004). Επιπλέον, το *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) φαίνεται ότι έχει υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας στα διαμίδια (Lai & Su, 2011; Zuo et al., 2019; Huang et al., 2021). Τέλος, η ανθεκτικότητα του *Tetranychus urticae* (Koch) (Acarina: Tetranychidae) (τετράνυχος) στην Ελλάδα περιορίζεται στα οργανοφωσφορικά και στις πυρεθρίνες (Tsagkarakou et al., 1996, 2002, 2009a; Khajehali et al., 2010).

Πίνακας 1: Κυριότεροι εχθροί της καλλιέργειας τομάτας (Πηγή: ΥΠΑΑΤ, 2019).

Αφίδες			
Κοινό όνομα	Επιστημονικό όνομα	Τάξη	Οικογένεια
Πράσινη αφίδα της ροδακινιάς	<i>Myzus persicae</i>	Hemiptera	Aphididae
Αφίδα του βαμβακιού	<i>Aphis gossypii</i>		
Αφίδα της πατάτας	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>		
Αφίδα πατάτας θερμοκηπίου	<i>Aulacorthum solani</i>		
Θρίπες			
Θρίπας της Καλιφόρνιας	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Thysanoptera	Thripidae
Κοινός θρίπας	<i>Thrips tabaci</i>		
Αλευρώδεις			
Αλευρώδης του καπνού	<i>Bemisia tabaci</i>	Hemiptera	Aleyrodidae
Κοινός αλευρώδης	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Hemiptera	Aleyrodidae
Φυλλορόκτες			
Λιριόμυζα	<i>Lyriomyza trifolii</i>	Diptera	Agromyzidae
	<i>L. bryoniae</i>		
	<i>L. huidobrensis</i>		
Φυλλορόκτης της τομάτας	<i>Tuta absoluta</i>	Lepidoptera	Gelechiidae
Προνύμφες λεπιδοπτέρων			
Πράσινο σκουλήκι	<i>Helicoverpa armigera</i>	Lepidoptera	Noctuidae
Αγρότιδες	<i>Agrotis ipsilon</i>	Lepidoptera	Noctuidae
	<i>A. segetum</i>	Lepidoptera	Noctuidae
Σποντόπτερα	<i>Spodoptera exigua</i>	Lepidoptera	Noctuidae
Πυραλίδα	<i>Ostrinia nubilalis</i>	Lepidoptera	Crambidae
Ακάρεια			
Κοινός τετράνυχος	<i>Tetranychus urticae</i>	Acarina	Tetranychidae
Άκαρι αργύρωσης	<i>Aculops lycopersici</i>	Acarina	Eriophyiidae

1.1.1 Ολοκληρωμένη αντιμετώπιση

Η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση σύμφωνα με τους Smith & Reynolds, (1966) είναι ένα σύστημα αντιμετώπισης εχθρών κάτω από ορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος και δυναμικής πληθυσμού του εχθρού, όπου αξιοποιούνται όλες οι τεχνικές έτσι ώστε να διατηρείται ο εχθρός σε επίπεδο που να μην προκαλεί οικονομική ζημιά στην καλλιέργεια (Λυκουρέσης, 1995). Είναι μια μέθοδος αντιμετώπισης που βασίζεται κυρίως σε φυσικούς εχθρούς και μέσα τα οποία δεν επηρεάζουν τους πληθυσμούς αυτών ή τους επηρεάζουν σε μικρό βαθμό. Στην κατηγορία των φυσικών εχθρών υπάγονται τα αρπακτικά και τα παρασιτοειδή, οι εντομοπαθογόνοι νηματώδεις καθώς και παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως μύκητες, βακτήρια και ιοί (Flint & van den Bosch, 1981; Λυκουρέσης, 1995; Pickett & Bugg, 1998; Μαντζούκας, 2013). Σκοπός ενός τέτοιου προγράμματος είναι η επίτευξη του καλύτερου δυνατού οικονομικού αποτελέσματος σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος και η προστασία της παραγωγής και του αγροοικοσυστήματος (Λυκουρέσης, 1995).

Στην ολοκληρωμένη αντιμετώπιση επιτρέπεται η χρήση εντομοκτόνων με την προϋπόθεση ότι τα έντομα εχθροί παρακολουθούνται συστηματικά και διαπιστωθεί ότι η δράση των φυσικών εχθρών δεν επαρκεί για την αντιμετώπιση. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όλες οι οικολογικές και συμβατές μέθοδοι και μέσα αντιμετώπισης. Η αντιμετώπιση ενός εχθρού μπορεί να επιτευχθεί με ψεκάσμο ή εισαγωγή και εξαπόλυση φυσικών εχθρών (Λυκουρέσης, 1995).

Για την εφαρμογή ενός προγράμματος ολοκληρωμένης αντιμετώπισης είναι απαραίτητη η κατανόηση του αγροοικοσυστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των κύριων εχθρών της καλλιέργειας καθώς και των φυσικών εχθρών. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την βιοοικολογία των εντόμων εχθρών αλλά και των φυσικών εχθρών και τις σχέσεις αυτών με τα έντομα εχθρούς καθώς και τους παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητά τους (Λυκουρέσης, 1995; Pickett & Bugg 1998; Μαντζούκας, 2013). Επιπλέον πρέπει να είναι γνωστές οι απαιτήσεις μιας καλλιέργειας καθώς η λίπανση και η άρδευση έχουν αυξητικές τάσεις στα έντομα εχθρούς όταν δεν εφαρμόζονται σωστά. Το κλίμα αποτελεί

αναπόσπαστο παράγοντα για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση. Απαιτείται συστηματική παρακολούθηση της καλλιέργειας διότι οι υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες επιδρούν στους πληθυσμούς των φυσικών εχθρών και των κύριων εχθρών της καλλιέργειας. Τέλος είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την σημασία της καλλιέργειας. Οι ανθεκτικές ποικιλίες επηρεάζουν σημαντικά βιολογικές παραμέτρους των εντόμων όπως αναπαραγωγή, διάρκεια ανάπτυξης, επιβίωση κ.α. (Λυκουρέσης, 1995).

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σε ένα πρόγραμμα ολοκληρωμένης καταπολέμησης αφορούν καλλιεργητικές πρακτικές, βιοτεχνικές και γενετικές μεθόδους. Οι καλλιεργητικές πρακτικές αναφέρονται στην αφαίρεση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, στην άροση και στη κοπή κατά λωρίδες όπου μειώνουν τον πληθυσμό των εχθρών των καλλιεργειών. Για την ενίσχυση της δράσης των φυσικών εχθρών προτείνεται η χρήση φυτών ενδιαιτημάτων. Σε περίπτωση συγκαλλιέργειας απαιτείται έγκαιρη αφαίρεση των φυτών συγκαλλιέργειας προκειμένου να μετακινηθούν τα ωφέλιμα έντομα στην κύρια καλλιέργεια όταν γίνουν ακμαία (Λυκουρέσης, 1995). Ιδιαίτερη σημασία έχουν και οι χειρισμοί που πραγματοποιούνται σε γειτονικούς αγρούς. Όταν εφαρμόζονται οι προαναφερθείσες ενέργειες ο πληθυσμός του εντόμου εχθρού μειώνεται σημαντικά (Λυκουρέσης, 1995).

Οι βιοτεχνολογικές μέθοδοι αναφέρονται στην χρήση παγίδων που αξιοποιούν χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των εντόμων. Στο εμπόριο κυκλοφορούν αρκετοί τύποι παγίδων με οπτικά, τροφικά και οσφρητικά ερεθίσματα. Αντίθετα οι γενετικές μέθοδοι σκοπεύουν στην μείωση του αναπαραγωγικού δυναμικού του εχθρού. Επιτυγχάνεται με μαζική εκτροφή και στείρωση των εντόμων εχθρών και ακολουθεί η εξαπόλυσή και σύζευξή τους με εκείνα του άγριου τύπου πληθυσμού έτσι ώστε να μην δώσουν απογόνους. Τέλος, η βιολογική αντιμετώπιση αναφέρεται στην εξαπόλυση και διατήρηση ιθαγενών φυσικών εχθρών με σκοπό την εγκατάστασή τους στην καλλιέργεια και την αύξηση των ήδη υπάρχοντων ωφέλιμων εντόμων (Κωβαίος & Μπρούφας, 2001).

Τα μοντέλα πρόγνωσης των πληθυσμών των εντόμων εχθρών και ο καθορισμός του ορίου οικονομικής ζημιάς αποτελούν εργαλεία λήψης απόφασης

για επέμβαση στην καλλιέργεια. Η χρήση εντομοκτόνων στην ολοκληρωμένη αντιμετώπιση γίνεται μόνο όταν οι πληθυσμοί των εντόμων εχθρών υπερβούν το οικονομικό όριο και η δράση των φυσικών εχθρών δεν επιφέρει την μείωσή τους. Ιδιαίτερη σημασία όμως έχουν οι αρνητικές επιπτώσεις των εντομοκτόνων στους φυσικούς εχθρούς καθώς και η τυχόν ανάπτυξη ανθεκτικότητας του εντόμου εχθρού. Γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται εκλεκτικά εντομοκτόνα. Στην περίπτωση των μυκητοκτόνων αλλά και των ζιζανιοκτόνων επίσης θα πρέπει να εξετάζεται η επίδρασή τους στα ωφέλιμα έντομα (Λυκουρέσης, 1995).

1.2 Το έντομο *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)

Το *T. absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) είναι ένα ολιγοφάγο έντομο και αποτελεί σοβαρό εχθρό της καλλιέργειας της τομάτας (Desneux et al., 2010; Guedes & Picanco, 2012) καθώς εάν δεν αντιμετωπιστεί άμεσα μπορεί να προκαλέσει ζημιές που φτάνουν το 80 - 100% παραγωγής (Desneux et al., 2011; Biondi et al., 2018). Το έντομο καταγράφηκε για πρώτη φορά στο Περού το 1917 από τον Meyrick ο οποίος αρχικά το κατέγραψε ως *Phthorimaea absoluta*. Αργότερα του δόθηκαν τα ονόματα *Gnorimoschema absoluta* και *Scrobipalpula absoluta*. Ο Ronolny το 1994 του έδωσε το τελικό όνομα *T. absoluta* (Barrientos et al., 1998; Desneux et al., 2010). Η διασπορά του ξεκίνησε στις αρχές του 2000 (Campos et al., 2017). Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2004 το έντομο προστέθηκε στην λίστα A1 εχθρών (εχθροί που δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα) από τον Ευρωπαϊκό και Μεσογειακό Οργανισμό Φυτουγείας (EPPO) ενώ το 2009 προστέθηκε στην A2 λίστα εχθρών (έντομα καραντίνας) (Desneux et al., 2010; Roditakis et al., 2010; Desneux et al., 2011). Στην Ευρώπη εντοπίστηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 2006 στην Ανατολική Ισπανία και συγκεκριμένα βόρεια της πόλης Castellon και έκτοτε επεκτάθηκε ταχύτατα στις χώρες της Μεσογείου, στη Μέση Ανατολή, στην Αφρική και στην Ασία (Desneux et al., 2010; Desneux et al., 2011; Santana et al., 2019). Στην Ελλάδα σημειώθηκε για πρώτη φορά το 2009 στην Κρήτη και συγκεκριμένα στο Τυμπάκι Ηράκλειου Κρήτης σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες με φυτά μελιτζάνας (Roditakis et al., 2015). Επίσης το 2009 εκτός από την Ελλάδα το έντομο εντοπίστηκε στην Αλβανία, τη Βουλγαρία, την Κύπρο, τη Γερμανία, τη Μάλτα, την Πορτογαλία,

την Ελβετία και το Ηνωμένο Βασίλειο (Desneux et al., 2010; EPPO 2010). Στην Ινδία καταγράφηκε για πρώτη φορά το 2014 (Sridhar et al., 2014). Αντίθετα στην Αφρική το 2008 οι χώρες στις οποίες αναφέρθηκε η παρουσία του εντόμου ήταν η Τυνησία, το Μαρόκο και η Αλγερία (Abbes et al., 2012; Ouardi et al., 2012). Το 2016 σημειώθηκε στην κοιλάδα του Νεπάλ (NARC, 2016), στα βόρεια του Μπαγκλαντές (Hossain et al., 2016) και στην Κίνα. Η ταχύτερη εξάπλωση του εντόμου στην λεκάνη της Μεσογείου αποτελεί σημαντικό στοιχείο. Η ταχύτητα εξάπλωσής του είναι 4000 km/5 έτη που σημαίνει ότι ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να επηρεάσει την εξάπλωση του εντόμου μέσω του διεθνούς εμπορίου. Επίσης το έντομο εξαπλώνεται μέσω πτήσεως αλλά και μέσω του ανέμου (Desneux et al., 2011). Πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι το *T. absoluta* είχε προσβάλλει το 60% των καλλιεργειών τομάτας παγκοσμίως, και το εύρος εξάπλωσής του αυξήθηκε κατά 800 km/έτος (Campos et al., 2017).

Η τομάτα αποτελεί τον πιο σημαντικό και ιδανικό ξενιστή για το έντομο διότι έχει υψηλή διατροφική αξία (Pereyra & Sanchez, 2006). Στην λεκάνη της Μεσογείου το έντομο ευνοείται στην εγκατάσταση και στην αναπαραγωγή του διότι η τομάτα αποτελεί βασική καλλιέργεια. Επιπλέον το περιβάλλον της Μεσογείου ευνοεί το έντομο μέσω των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν. Αξιοσημείωτο στοιχείο αποτελούν οι μελέτες των κλιματικών συνθηκών μιας νέας περιοχής σε σχέση με μια περιοχή όπου έχει εγκατασταθεί το έντομο με στόχο την αξιολόγηση της εγκατάστασής του σε μια νέα περιοχή. Σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές δεν εγκαθίσταται εύκολα και γι' αυτό δεν προτιμά υψηλά γεωγραφικά πλάτη (Potting, 2009; Desneux et al., 2011).



Εικόνα 1: Ενήλικο *T. absoluta* (Πηγή: <https://www.novagreen.gr/tuta-absoluta->).

1.2.1 Μορφολογία *Tuta absoluta*

Το *T. absoluta* ανήκει στα ολομετάβολα έντομα δηλαδή υφίστανται πλήρη μεταμόρφωση κατά την διάρκεια του βιολογικού κύκλου του. Ο βιολογικός κύκλος του εντόμου αποτελείται από τέσσερα στάδια ανάπτυξης, το ωό, την προνύμφη, την νύμφη και το ενήλικο. Το ωό έχει μικρό μέγεθος της τάξης των 0,22-0,36mm κυλινδρικού σχήματος και κρεμώδους χρώματος και εκκολάπτεται εντός 3 με 7 ημερών (EPPO, 2005). Το ανεπτυγμένο έμβρυο παρατηρείται σε ωά άνω των 2 - 3 ημερών (Vargas, 1970).

Οι προνύμφες είναι ευκέφαλες πολύποδες και διέρχονται από 4 προνυμφικές ηλικίες (L1, L2, L3, L4) (Desneux et al., 2010). Οι προνύμφες πρώτης (L1) και δεύτερης (L2) ηλικίας είναι υπόλευκου ή κιτρινωπού χρώματος μήκους 0,8-0,9 mm με μαύρη κεφαλή και φέρει μαύρο πρόνωτο. Οι τρίτης (L3) και τέταρτης (L4) ηλικίας προνύμφες έχουν μήκος 7,5 mm και χρώμα που ποικίλει από σκούρο πράσινο έως ρόδινο- πορτοκαλί. Συνήθως αποκτούν πρασινωπό χρωματισμό και στο κέντρο τους υπάρχει μια ευδιάκριτη ρόδινη ζώνη. Στην τρίτη (L3) και τέταρτη (L4) ηλικία οι προνύμφες αποκτούν δύο μαύρες ταινίες στο πρόνωτο που αποτελεί χαρακτηριστικό διαχωρισμού τους από τις προνύμφες της φθοριμαίας. Οι προνύμφες πριν νυμφωθούν αποκτούν ημιδιαφανές, λευκό κρεμώδες έως κιτρινωπό χρώμα (EPPO, 2005; EPPO, 2006).

Η νύμφη αρχικά έχει πράσινο έως χρυσό-καστανό χρώμα και με την πάροδο του χρόνου γίνεται καστανό. Έχει κυλινδρικό σχήμα (Desneux et al., 2011) και μήκος περίπου 7 έως 11 mm (EPPO, 2005). Η διάρκεια της νύμφωσης μέχρι την εμφάνιση του ενηλικού είναι 9 με 11 ημέρες. Πραγματοποιείται σε προστατευμένες θέσεις στο έδαφος, στους βλαστούς, στους καρπούς και σπάνια εντός των φύλλων (Torres et al., 2001). Η νύμφη όταν μεταμορφώνεται στο έδαφος, υφαίνει βομβύκιο από νήματα αφού απαλλαγεί από τα υπολείμματα τροφής (Vercher et al., 2010).

Τα ενήλικα άτομα έχουν μήκος 7 - 10 mm. Τα αρσενικά άτομα έχουν μήκος 7 mm και τα θηλυκά 10 mm και φέρουν νηματοειδείς κεραίες και τεφρόγκριζες πτέρυγες που έχουν άνοιγμα 7 - 10 mm. Έχουν χρυσό-καφέ χρώμα και οι πρόσθιες πτέρυγες είναι καλυμμένες με καφέ σκούρες κηλίδες. Το μήκος των κεραιών είναι το μισό από το μήκος του σώματος του ακμαίου και είναι δίχρωμες (EPPO, 2005).



Εικόνα 2: Νύμφη (Pupa) *T. absoluta* (Πηγή: <https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB/photos>).

1.2.2 Φυτά ξενιστές

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.) αποτελεί τον κύριο ξενιστή του εντόμου. Ωστόσο φαίνεται ότι προσβάλλει και άλλα είδη και γένη της οικογένειας Solanaceae. Δευτερογενείς ξενιστές του εντόμου αποτελούν η μελιτζάνα (*Solanum*

melongena L.), η πατάτα (*Solanum tuberosum* L.), η πιπεριά (*Capsicum annuum*), το πέπινο (*Solanum muricatum* L.), η φυσαλίδα (*Physalis peruviana*) και ο καπνός (*Nicotiana tabacum* L.). Προσβάλλει και ζιζάνια οικογένειας Solanaceae όπως ο στύφνος (*Solanum nigrum* L.). Επιπλέον ξενιστές του εντόμου είναι η αγριοντοματιά (*Lycopersicon hirsutum* L.), και ο αγριοκαπνός (*Nicotiana glauca*) (Garcia & Espul 1982; EPPO, 2005; Urbaneja et al., 2007; Tropea Garzia, 2009; Desneux et al., 2010; Ludmilla et al., 2017).

Στην πατάτα προσβάλλει μόνο τα εναέρια μέρη του φυτού παρόλο που έχουν αναφερθεί προσβολές και στους κονδύλους (Pereyra & Sanchez, 2006; Desneux et al., 2010; Ludmilla et al., 2017). Επίσης προσβάλλει το κοινό φασόλι (*Phaseolus vulgaris* L.) και την περιπλοκάδα (*Convolvulus arvensis* L.) (EPPO, 2009; Cherif & Verheggen, 2019). Η προτίμηση του εντόμου και σε άλλα φυτά ξενιστές κυρίως της οικογένειας Solanaceae (Desneux et al., 2010) ευνοεί την εξάπλωσή του (Barrientos et al., 1998; Pereyra & Sanchez 2006).



Εικόνα 3: Ωά του *T. absoluta* (Πηγή: <https://bioprotecta.gr/>).

1.2.3 Βιολογικός κύκλος

Τα ωά εναποτίθενται από το θηλυκό είτε μεμονωμένα, είτε κατά ομάδες κυρίως στο κορυφαίο και μεσαίο τμήμα του φυτού, κυρίως στα φύλλα χωρίς να έχει προτίμηση μεταξύ της άνω και κάτω επιφάνειάς τους. Το θηλυκό ωοτοκεί ακόμα και στους βλαστούς, στα άνθη και στον κάλυκα των ανώριμων καρπών. Στη συνέχεια εκκολάπτεται η προνύμφη κατά κανόνα τις πρωινές ώρες. Σε ερευνητική εργασία βρέθηκε ότι ο χρόνος εκκόλαψης σε θερμοκρασία 10 °C και 30 °C ήταν $24,4 \pm 0,3$ και $2,5 \pm 0,1$ ημέρες αντίστοιχα. Μετά την εκκόλαψη οι νεοεκκολαφθείσες προνύμφες περιπλανώνται για 5 - 40 λεπτά περίπου, εισχωρούν στο φυτικό ιστό και δημιουργούν στοές. Οι προνύμφες πρώτης (L1) και δεύτερης (L2) ηλικίας τρέφονται εντός των στοών στο μεσόφυλλο ενώ στην τρίτη (L3) και τέταρτη (L4) ηλικία εγκαταλείπουν τις στοές προκειμένου να βρουν καινούργιες θέσεις διατροφής δημιουργώντας νέες στοές. Σε περίπτωση διαθεσιμότητας της τροφής δεν παρατηρείται διάπαυση του εντόμου. Σε θερμοκρασία 10 °C και 30 °C η μέση ανάπτυξη των προνυμφών έχει βρεθεί ότι είναι $56,4 \pm 1,1$ και $10,4 \pm 0,2$ ημέρες αντίστοιχα. Το έντομο νυμφώνεται κυρίως στο έδαφος αλλά και στα φύλλα ενώ η νύμφωση γίνεται σπάνια σε προφυλαγμένες θέσεις κάτω από τα φύλλα και στους καρπούς. Η διάρκεια νύμφωσης στους 20 °C και 30 °C είναι 10,2 και 5,4 ημέρες αντίστοιχα. Τα ενήλικα είναι νυκτόβια και την ημέρα κρύβονται στα κάτω φύλλα, σε ρωγμές εδάφους και σε σκιερές θέσεις (Vargas, 1970; Fernandez & Montagne, 1990; Uchoa-Fernandes et al., 1995; Tropea Garzia, 2009; Viggiani, 2009; Krechemer & Foerster, 2015).

Το *T. absoluta* έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται εύκολα σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Μελέτες έχουν δείξει ότι η μέση διάρκεια του βιολογικού κύκλου έχει υπολογιστεί ότι είναι 76,3 ημέρες στους 14 °C, 31,8 ημέρες στους 19,7 °C και 23,8 ημέρες στους 27,1 °C. Το κατώτατο όριο θερμοκρασίας για την ανάπτυξη ωών, προνυμφών και νυμφών υπολογίζεται στους $6,9 \pm 0,5$, $7,6 \pm 0,1$ και $9,2 \pm 1$ °C αντίστοιχα (Tropea Garzia et al., 2012).

Στη λεκάνη της Μεσογείου και στην νότια Αμερική έχουν καταγραφεί 10 - 12 γενεές ανά έτος. Αντίθετα στην Ιταλία έχουν αναφερθεί 9 γενεές και στην Ισπανία

μπορεί να ολοκληρώσει μέχρι και 13 γενεές ανά έτος. Σε μεσογειακό κλίμα εντοπίζονται ενήλικα όλο το χρόνο (Sannino & Espinosa, 2010; Vercher et al., 2010; Ludmilla et al., 2017).



Εικόνα 4: Βιολογικός κύκλος του *T. absoluta* (Πηγή: <https://agravia.gr/tuta-absolute-fylloryktis-tis-tomatas/>).

Αναπαραγωγή

Το θηλυκό άτομο συζεύγνεται με το αρσενικό 20 - 22 ώρες μετά την πρώτη εμφάνισή τους. Η σύζευξη διαρκεί περίπου 4 έως 5 ώρες. Τα θηλυκά ζουν 10 - 15 ημέρες ενώ τα αρσενικά 6 - 7 ημέρες (Estay, 2000; Desneux et al., 2010). Μεγάλος αριθμός ωών παρατηρείται σε διάστημα 7 ημερών από την πρώτη σύζευξη. Το θηλυκό έχει την δυνατότητα να εναποθέσει έως και το 76% των ωών του από τις απογευματινές έως τις πρωινές ώρες. Ένα θηλυκό έχει την δυνατότητα να εναποθέσει έως 260 ωά στους 30 °C καθ'όλη τη διάρκεια της ζωή του (Uchoa-Fernandes et al., 1995; Martins et al., 2016).

1.2.4 Συμπτώματα και ζημιές που προκαλούνται από το *Tuta absoluta*

Οι προνύμφες αφού εκκολαφθούν εισέρχονται στον φυτικό ιστό των φύλλων, των μίσχων και των καρπών δημιουργώντας ακανόνιστες στοές κατά την διατροφή τους (Vargas, 1970; Arablaza, 1992). Στα αρχικά στάδια είναι δύσκολο να διακριθεί η προσβολή καθώς οι στοές είναι όμοιες με εκείνες της λιριόμυζας (*Lyriomyza* spp.). Αντίθετα σε προχωρημένο στάδιο η προσβολή διακρίνεται εύκολα διότι οι στοές είναι μεγαλύτερες από εκείνες των *Lyriomyza* spp. και οι προνύμφες του *T. absoluta* αφήνουν τα περιττώματά τους στην άκρη των στοών ενώ των *Lyriomyza* spp. τα αφήνουν στο κέντρο αυτών (EPPO, 2005). Η προσβολή εντοπίζεται στα κορυφαία φύλλα με αποτέλεσμα να μειώνεται η φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού. Σε νεαρά φυτάρια οι προνύμφες καταστρέφουν και το κορυφαίο μερίστωμα προκαλώντας την αναστολή ανάπτυξής τους (Desneux et al., 2010; Tropea Garzia, 2012; Kaud, 2014; Galdino et al., 2015).

Στον καρπό οι προνύμφες εισχωρούν από τον κάλυκα και δημιουργούν στοές οι οποίες στα αρχικά στάδια προσβολής δεν είναι ευδιάκριτες. Σε αρχικό στάδιο η προσβολή χαρακτηρίζεται από μικρές σκουρόχρωμες οπές και έπειτα παρατηρούνται ακανόνιστες στοές. Αντιθέτως η προσβολή σε προχωρημένο στάδιο είναι ορατή διότι οι στοές είναι ευδιάκριτες και εξωτερικά του καρπού παρατηρούνται τα περιττώματα των προνυμφών. Επίσης η προσβολή εντοπίζεται και στην επιφάνεια του καρπού (EPPO, 2005). Οι καρποί μπορούν να προσβληθούν σε πρώιμο στάδιο όπου παρατηρείται καρπόπτωση αλλά και στο στάδιο της ωρίμανσης. Επιπλέον στον ίδιο καρπό μπορούν να τραφούν παραπάνω από μία προνύμφες. Εμπορικά οι προσβεβλημένοι καρποί υποβαθμίζονται ποιοτικά και οι οπές που σχηματίζονται από το *T. absoluta* αποτελούν πηγή εισόδου μυκήτων προκαλώντας σήψη στους καρπούς (Arablaza, 1992; Desneux et al., 2010; Tropea Garzia et al., 2012).

Για την καλλιέργεια της τομάτας το *T. absoluta* αποτελεί σημαντική απειλή σε σχέση με άλλα φυτά της οικογένειας Solanaceae (Biondi et al., 2018). Έχει άμεσες οικονομικές επιπτώσεις που απορρέουν από το κόστος διαχείρισης σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος παραγωγής της τομάτας. Μια επιπλέον οικονομική ζημιά είναι

η μείωση της εμπορικής αξίας των παραγόμενων προϊόντων. Σε πολλές χώρες καθίσταται δύσκολη η διαχείριση του *T. absoluta*. Στις Κάτω Χώρες η οικονομική ζημιά βάσει των απωλειών των καλλιεργειών υπολογίζεται στα 5 και 25 εκατομμύρια ευρώ ετησίως (Potting et al., 2013). Στην Λατινική Αμερική έχουν καταγραφεί απώλειες της τάξεως του 100% της συνολικής παραγωγής (Atalor et al., 2019). Επίσης στο Ιράν οι απώλειες σε καλλιέργειες τομάτας άγγιξαν το 100% και η οικονομική καταστροφή εκτιμήθηκε στα 35 εκατομμύρια δολάρια (Han et al., 2019). Στη Νότια Αμερική η εισαγωγή του εντόμου σε χώρες που συνορεύουν με την χώρα προέλευσής του επέφερε αύξηση της χρήσης εντομοκτόνων σε καλλιέργειες τομάτας (Guedes & Picanco, 2012; Gontijo et al., 2013). Η αυξανόμενη χρήση εντομοκτόνων οφείλεται στην ανθεκτικότητα που παρουσιάζουν οι πληθυσμοί του *T. absoluta* (Campos et al., 2014; Roditakis et al., 2015).

Στις χώρες που έχει εισβάλλει το έντομο το κόστος παραγωγής της τομάτας είναι αυξημένο εξαιτίας της ανάγκης για φυτοπροστασία για το *T. absoluta* τόσο στην καλλιέργεια όσο και μετά την συγκομιδή (Sannino & Espinosa, 2010; USDA, 2011). Η συνεχής χρήση των εντομοκτόνων επιφέρει μείωση των πληθυσμών των φυσικών εχθρών και είναι σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή συστημάτων ολοκληρωμένης αντιμετώπισης εχθρών της καλλιέργειας της τομάτας (Arnó & Gabbara, 2011; Krechme & Foerster, 2019).



Εικόνα 5: Προσβολή από *T. absoluta* σε φύλλο και καρπό τομάτας και προσβολή από *Lyriomyza* spp. σε φύλλο τομάτας (Πηγή: <https://plantpro.gr/post/735>, <http://www.gaiapedia.gr/>).

1.2.5 Αντιμετώπιση του *Tuta absoluta*

1.2.5.1 Προληπτικά μέτρα

Ένα σημαντικό προληπτικό μέτρο είναι η έγκαιρη διάγνωση της προσβολής δηλαδή η ανίχνευση των ωών και των νεαρών προνυμφών. Παράλληλα πρέπει να πραγματοποιείται σχολαστικός και συνεχής έλεγχος του πολλαπλασιαστικού υλικού καθώς και των χώρων αποθήκευσης αγροτικών προϊόντων. Επιπλέον πρέπει να πραγματοποιείται καθημερινός έλεγχος στο θερμοκήπιο για τυχόν προσβολές και να γίνεται αφαίρεση και καταστροφή των προσβεβλημένων τμημάτων του φυτού. Ακόμα ένα μέτρο πρόληψης είναι η απομάκρυνση υπολειμμάτων από την προηγούμενη καλλιέργεια. Απαιτείται προσοχή διότι τα υπολείμματα αποτελούν εναλλακτικές πηγές μόλυνσης για το έντομο. Επιβεβλημένη θεωρείται η τοποθέτηση εντομοστεγούς διχτύου στα παράθυρα των θερμοκηπίων έτσι ώστε να παρεμποδίζεται η είσοδος ενηλίκων. Η χρήση προθαλάμων αποτελούμενων από διπλές πόρτες δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Απαραίτητη θα πρέπει θεωρείται η χρήση υγιών σποροφύτων συνοδευόμενων πάντα από φυτοϋγειονομικό διαβατήριο (Biondi et al., 2018). Επίσης τα στελέχη των φυτών θα πρέπει να κάμπτονται προς το έδαφος με σκοπό τον εύκολο έλεγχο για τυχόν προσβολές και αποτελεσματική κάλυψη κατά τους ψεκασμούς. Τέλος συνιστάται η αποφυγή φύτευσης όψιμης τομάτας κοντά σε ήδη υπάρχουσα καλλιέργεια (Δ.Α.Ο.Κ Δράμας, 2020).

1.2.5.2 Χρήση ανθεκτικών ποικιλιών

Η εύρεση ανθεκτικών ποικιλιών εναντίον ενός εντόμου εχθρού αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την αντιμετώπισή του και για την εφαρμογή προγραμμάτων ολοκληρωμένης αντιμετώπισης (Panda & Khush, 1995). Η χρήση τους επιφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Από οικονομικής πλευράς, για την αντιμετώπιση ενός εντόμου - εχθρού ο παραγωγός επιβαρύνεται οικονομικά μόνο από την αγορά του σπόρου (Λυκουρέσης, 1995). Επιπλέον μειώνουν σημαντικά το κόστος και την

εφαρμογή εντομοκτόνων που αντίστοιχα οδηγεί στη μείωση των υπολειμμάτων των φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον και στα τρόφιμα (Λυκουρέσης, 1995; Azadi et al., 2018). Είναι υπεύθυνες για την μείωση μετάδοσης ιώσεων από έντομα φορείς και μπορούν να συνδυαστούν με μεθόδους βιολογικής καταπολέμησης για αποτελεσματικότερη μείωση των εντόμων εχθρών. Αυτό συμβαίνει διότι στις ανθεκτικές ποικιλίες επηρεάζεται η φυσιολογική κατάσταση του εντόμου. Όσον αφορά τους φυσικούς εχθρούς μελέτες έχουν δείξει ότι οι ανθεκτικές ποικιλίες βελτιώνουν την δράση τους πάνω σε ορισμένα έντομα όπως το *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) που αποτελεί σοβαρό εχθρό της καλλιέργειας του ρυζιού (Smith, 1989; Λυκουρέσης, 1995).

Ωστόσο η χρήση ανθεκτικών ποικιλιών περιλαμβάνει και κάποια μειονεκτήματα. Οι ανθεκτικές ποικιλίες ως προς κάποιο έντομο χρειάζονται μεγάλο διάστημα ανάπτυξης που υπολογίζεται γύρω στα 3 με 5 χρόνια. Ειδικότερα όταν αναπτύσσεται μια ποικιλία που προορίζεται να είναι ανθεκτική για μεγάλο αριθμό εντόμων - εχθρών η διαδικασία παραγωγής της μπορεί να διαρκέσει παραπάνω από 10 χρόνια. Εξαιτίας της καλλιέργειας φυτών σε περιοχές με διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος επιβάλλεται η παραγωγή ποικιλιών για αυτές τις περιοχές, κάτι το οποίο χρειάζεται χρόνο και κόστος. Επιπλέον ένα φυτό μπορεί να εμφανίζει αντοχή πάνω σε ένα έντομο εχθρό αλλά να είναι ευαίσθητο σε άλλα έντομα (Λυκουρέσης, 1995). Τέλος η πίεση επιλογής που δέχεται το έντομο εχθρός από την συνεχή έκθεσή του στις ανθεκτικές ποικιλίες έχει ως αποτέλεσμα την ανοχή του εντόμου πάνω στην ανθεκτική ποικιλία (Smith, 1989; Λυκουρέσης, 1995).

Η άμυνα των ανθεκτικών ποικιλιών για την αντιμετώπιση των εντόμων σχετίζεται με μορφολογικά, και βιοχημικά χαρακτηριστικά. Στα μορφολογικά χαρακτηριστικά ανήκουν τα τριχώματα, το χρώμα του φυτού και η σκληρότητα των ιστών. Τα τριχώματα αναπτύσσονται από κύτταρα της δερμίδας και παράγονται από τα περισσότερα είδη φυτών και συμβάλλουν στην αντοχή των φυτών κατά των φυτοφάγων εντόμων εμποδίζοντας την διατροφή τους και των εναπόθεση ωών (Dalín et al., 2008; War et al., 2012). Στα βιοχημικά χαρακτηριστικά ανήκουν οι αμυντικές, απωθητικές, και παρεμποδιστικές ουσίες που παράγονται από τα ανθεκτικά φυτά (Λυκουρέσης, 1995).

Τα επίπεδα ανθεκτικότητας ορισμένων ποικιλιών τομάτας στο *T. absoluta* έχουν μελετηθεί (Oliveira et al., 2009; Proffit et al., 2011; Gharekhani & Salek-Ebrahimi, 2014a; Ghaderi et al., 2017). Ερευνητική μελέτη έδειξε ότι οι ποικιλίες τομάτας διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους στην ευαισθησία τους στο *T. absoluta*, και η αντοχή τους συνδέεται με την πυκνότητα των τριχών, την ποικιλομορφία και τις συγκεντρώσεις των δευτερογενών μεταβολιτών του ξενιστή. Τα φυτά τομάτας διαθέτουν αδενώδεις τρίχες που παράγουν πτητικές και μη πτητικές δευτερογενείς φυτικές ουσίες όπως αλκυλοσάκχαρα, τερπένια, φαινυλοπροπανοειδή, φλαβονοειδή και φαινολικές ενώσεις (Kant et al., 2004; Oliveira et al., 2009; Proffit et al., 2011; De Oliveira et al., 2012; Sohrabi et al., 2016; Ghaderi et al., 2017). Γενικά, η έρευνα έχει εστιάσει στην αλληλεπίδραση των δευτερογενών μεταβολιτών που παράγουν τα φυτά με τα έντομα και συγκεκριμένα στην παραγωγή αλκυλοσακχάρων. Αυτό αποτελεί μια μελλοντική και ελπιδοφόρα μέθοδος αντιμετώπισης του *T. absoluta* (Biondi et al., 2018).

1.2.5.3 Παρακολούθηση πληθυσμού με την χρήση σεξουαλικών φερομονών

Οι σεξουαλικές φερομόνες είναι ουσίες που παράγονται από έναν οργανισμό και γίνονται δέκτες από έναν άλλο οργανισμό του ίδιου είδους με σκοπό την προσέλκυση ενός ατόμου ίδιου είδους αλλά διαφορετικού φύλου. Είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα σημειοχημικά στη διαχείριση επιβλαβών εντόμων (Witzgall et al., 2010; Cocco et al., 2013). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την παρακολούθηση του πληθυσμού και την έγκαιρη ανίχνευση επιβλαβών εντόμων (Mashaly et al., 2012). Αυτή η μέθοδος αντιμετώπισης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στη Νότια Αμερική, την Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική για τη διαχείριση του *T. absoluta* σε θερμοκήπια και υπαίθριες καλλιέργειες (Illakwahhi et al., 2017; Machekano et al., 2018).

Η παρακολούθηση του πληθυσμού επιτυγχάνεται με την χρήση παγίδων τύπου <<δέλτα>> που περιέχουν φερομόνη φύλου όπου τοποθετούνται δύο εβδομάδες πριν την φύτευση σε ύψος 0,8 - 1,2 m από το έδαφος για τον έγκαιρο

εντοπισμό ενήλικων ατόμων μέσα στην καλλιέργεια (IRAC, 2017). Με βάση τον αριθμό των αρσενικών που υπάρχουν στις παγίδες εκτιμάται η αύξηση ή μείωση των προνυμφών και η παραγωγή της καλλιέργειας (Monserat, 2008). Στο θερμοκήπιο προτείνεται η τοποθέτηση 4 - 5 παγίδων ανά εκτάριο κοντά στην είσοδο ενώ σε υπαίθρια καλλιέργεια 2 - 3 παγίδες ανά εκτάριο (Al-Zaidi, 2009).

Ο έλεγχος του *T. absoluta* μέσω φερομονών αποτελεί ένα επιπλέον μέτρο σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους αντιμετώπισης. Πειραματική μελέτη που διεξήχθη στην Αίγυπτο έδειξε ότι ο συνδυασμός φερομόνης φύλου, εντομοκτόνων και βιοεντομοκτόνων είναι αποτελεσματικός έναντι των προνυμφών *T. absoluta* (El-aassar et al., 2015). Σε γενικές γραμμές οι φερομόνες αντιπροσωπεύουν μια αποτελεσματική και βιώσιμη λύση στη διαχείριση εχθρών (Tarusikirwa et al., 2020).

1.2.5.4 Μαζική παγίδευση

Η μέθοδος αναφέρεται στην τοποθέτηση αρχικά 10 παγίδων φερομόνης/στρέμμα και στη συνέχεια 30 - 40 παγίδων σε διάφορες θέσεις σε ύψος 40 cm για την προσέλκυση αρσενικών εντόμων. Η παγίδα μπορεί να είναι μια απλή παγίδα που περιέχει νερό και φερομόνη. Αυτή η μέθοδος είναι αποτελεσματική στα θερμοκήπια, ειδικά εάν χρησιμοποιούνται εντομοστεγή δίχτυα και προθάλαμοι (Gonzalez-Moreno et al., 2019). Επιπλέον τα δοχεία με νερό και φερομόνη φύλου επιφέρουν σταθερή προσέλκυση και παγίδευση μεγάλου αριθμού εντόμων καθώς η χρήση 48 δοχείων ανά εκτάριο έδωσε μεγαλύτερη μείωση προσβολής σε φύλλα σε σχέση με συμβατικά εντομοκτόνα σε τομάτες στην Αργεντινή (Carde et al., 2007; Lobos et al., 2013; Eттаib et al., 2016). Η μαζική παγίδευση σε συνδυασμό με το εντομοπαθογόνο βακτήριο *Bacillus thuringiensis* (Berliner) δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην μείωση του πληθυσμού του εντόμου (Cherif et al., 2018). Επίσης η παγίδα σε μορφή ρολού διπλής όψεως εμποτισμένη με φερομόνη αργής αποδέσμευσης μειώνει αποτελεσματικά τον πληθυσμό (Hassan et al., 2010). Οι μαύρες παγίδες φαίνεται ότι δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην προσέλκυση αρσενικών ατόμων του εντόμου (Polat, 2019). Τέλος η χρήση παγίδων με φως και φερομόνη ή κολλητική επιφάνεια μειώνουν αποτελεσματικά την προσβολή

(Gonzalez-Moreno et al., 2019). Η εγκατάσταση των φωτοπαγίδων θα πρέπει να γίνεται σε κεντρικά σημεία του θερμοκηπίου.



Εικόνα 6: Φωτεινή και κολλητική παγίδα μαζικής παγίδευσης (Πηγή: <https://www.ecotrap.eu/tuta-absoluta/>).

1.2.5.5 Παρεμπόδιση σύζευξης

Η διακοπή της σύζευξης μεταξύ των δύο φύλων προσφέρει χρήσιμα εργαλεία για τον έλεγχο του *T. absoluta* μειώνοντας την χρήση χημικών εντομοκτόνων (Cocco et al., 2012). Με βάση τη συνθετική φερομόνη φύλου προκαλείται σύγχυση στα αρσενικά άτομα. Έτσι τα αρσενικά ενήλικα *T. absoluta* δεν μπορούν να εντοπίσουν τα θηλυκά και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση του πληθυσμού και εν τέλει της προσβολής. Μπορεί να προσφέρει πλήρη έλεγχο του πληθυσμού κατά τους πρώτους τέσσερις μήνες της καλλιέργειας. Η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με άλλες μεθόδους για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, εφαρμόζεται στο ξεκίνημα της καλλιέργειας και οδηγεί στην μείωση του ποσοστού προσβολής σε μεγάλο βαθμό (Vacas et al., 2011; Cocco et al., 2013). Πειράματα σε επίπεδο περιορισμού πτήσεων των εντόμων έδειξαν ικανοποιητική μείωση με μια αρχική δόση φερομόνης 30 g / ha, ενώ τα επίπεδα προσβολής δεν διέφεραν σημαντικά από αυτά που είχαν εφαρμοστεί εντομοκτόνα (Vacas et al., 2011).

1.2.5.6 Χημική αντιμετώπιση

Η οικονομική ζημιά αναφέρεται στον αριθμό των στοών και προνυμφών όπου είναι 4 - 5 προνύμφες ανά φυτό (Cocco et al., 2015; Ghaderi et al., 2019). Η χρήση εντομοκτόνων θα πρέπει να πραγματοποιείται όταν υπάρχουν περισσότερα από δύο φύλλα με ζωντανές προνύμφες ανά 20 φυτά ανά 7 ημέρες (IRAC, 2017).

Τα εντομοκτόνα έχουν ηγετικό ρόλο στην αντιμετώπιση του εντόμου. Τα τελευταία χρόνια η εκτεταμένη χρήση τους έχει προκαλέσει ανθεκτικότητα στους πληθυσμούς του εντόμου σε δραστικές ουσίες όπως διαμίδια, σπινωσίνες, αβερμεκτίνες καθώς και σε οργανοφωσφορικά και πυρεθρίνες (Siqueira et al., 2001; Campos et al., 2014; Roditakis et al., 2015; Guedes et al., 2019). Επιπλέον είναι επιτακτική η ανάγκη εφαρμογής προγραμμάτων ολοκληρωμένης αντιμετώπισης του εντόμου (Roditakis et al., 2017).

Για την αντιμετώπιση του εντόμου έχουν εφαρμοστεί ορυκτά όπως ο ζεόλιθος και ο καολίνης δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η έκθεση των ωών σε ζεόλιθο φαίνεται να επηρεάζει τη διαδικασία ανάπτυξης αποδυναμώνοντας τις προνύμφες πρώτης ηλικίας και αυξάνοντας τη θνησιμότητα τους στο 60% (De Smedt et al., 2016). Η χρήση καολίνη απωθεί τα θηλυκά άτομα δημιουργώντας ένα προστατευτικό επίστρωμα πάνω στην φυτική επιφάνεια (Boari et al., 2016).

Οι εγκεκριμένες δραστικές ουσίες είναι (E,Z)-3,8-Tetradecadien-1-yl acetate, (E,Z,Z)-3,8,11-Tetradecatrien-1-yl acetate, Abamectin (aka avermectin), Acibenzolar-s-methyl, Azadirachtin, *B. thuringiensis* subsp. *Aizawai* strain ABTS-1857, *B. thuringiensis* subsp. *Aizawai* strain GC-91, *B. thuringiensis* subsp. *Kurstaki* strain ABTS 351, *B. thuringiensis* subsp. *Kurstaki* strain EG 2348, *B. thuringiensis* subsp. *Kurstaki* strain PB 54, *B. thuringiensis* subsp. *Kurstaki* strain SA 11, *B. thuringiensis* subsp. *Kurstaki* strain SA12, Chlorantraniliprole, Cyantraniliprole, Emamectin, Fatty acid potassium salt, Indoxacarb, Metaflumizone, Pyrethrins, Spinetoram, Spinosad (ΥΠΑΑΤ, Νοέμβριος 2021).

1.2.5.7 Βιολογική αντιμετώπιση του *T. absoluta*

Στη βιολογική αντιμετώπιση του *T. absoluta* γίνεται χρήση αρπακτικών, παρασιτοειδών και εντομοπαθογόνων μικροοργανισμών.

Αρπακτικά

Τα ενήλικα και οι νύμφες των εντόμων *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Hemiptera: Miridae) και *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) τρέφονται με ωά και προνύμφες του *T. absoluta*. Έχουν υψηλή ικανότητα θήρευσης απέναντι στα ωά και στις προνύμφες πρώτης ηλικίας (L1) (Molla et al., 2014; Δερβίσογλου κ.α., 2019). Τα ενήλικα άτομα των εντόμων αυτών μπορούν να καταναλώσουν περισσότερα από 100 ωά ημερησίως και παράλληλα μπορούν να καταναλώσουν σε μικρό βαθμό προνύμφες πρώτης (L1) ηλικίας (Arnó et al., 2009; Urbaneja et al., 2009). Είναι ιθαγενή τόσο στη χώρα μας καθώς και στις χώρες της Μεσογείου και εκτρέφονται μαζικά και εξαπολύονται στο θερμοκήπιο για την αντιμετώπιση όχι μόνο του *T. absoluta* αλλά και άλλων εντόμων όπως αλευρώδεις, θρίπες, αφίδες, λεπιδόπτερα και ακάρεα (Perdikis & Lykouressis, 2002; Perdikis & Lykouressis, 2004; Nannini et al., 2012). Οι νύμφες αλευρώδη έχει βρεθεί ότι προτιμώνται σε μεγάλο βαθμό από το *M. pygmaeus* (Jaworski et al., 2013; De Backer et al., 2014). Η εξαπόλυση των παραπάνω αρπακτικών σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις σε συνδυασμό με την εφαρμογή προγράμματος ολοκληρωμένης καταπολέμησης μειώνει τις προσβολές στα φύλλα κατά 80% και 95% στους καρπούς (Arno et al., 2010; De Backer et al., 2014). Επίσης έχουν αναπτυχθεί προγράμματα βιολογικού ελέγχου που βασίζονται στην διατήρηση παρασιτοειδών και αρπακτικών που αποικίζουν την αυτοφυή βλάστηση (Ingegno et al., 2011; Biondi et al., 2012; De Backer et al., 2014; Perdikis et al., 2015; Naselli et al., 2017). Σε προγράμματα ολοκληρωμένης αντιμετώπισης προτείνεται η χρήση βιολογικών εντομοκτόνων βασισμένων στο *B. thurigiensis* αλλά και εκλεκτικών εντομοκτόνων σε συνδυασμό με την εξαπόλυση των παραπάνω αρπακτικών (Urbaneja et al., 2012; De Backer et al., 2014). Ο συνδυασμός του *B. thurigiensis* με *M. pygmaeus* και *N. tenuis* δεν μειώνει τους πληθυσμούς των εν λόγω αρπακτικών (Molla et al., 2011). Επιπλέον σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί αποδεικνύεται ότι ο συνδυασμός

του *B. thurigiensis* με τα εν λόγω αρπακτικά επιδρά σε μεγάλο βαθμό στον έλεγχο του *T. absoluta* τόσο σε υπαίθριες όσο και σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες τομάτας (Gonzalez-Cabrera et al., 2011; Molla et al., 2011; Urbaneja et al., 2012; Perdakis et al., 2015). Τέλος η χρήση της δραστικής ουσίας spinosad δεν προκαλεί θνησιμότητα στα ενήλικα άτομα των παραπάνω αρπακτικών (Arnó et al., 2011; De Backer et al., 2014).

Παρασιτοειδή

Το ωοπαρασιτοειδές *Trichogramma achaeae* (Nagaraja & Nagarkatti) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) είναι αποτελεσματικό στον έλεγχο του *T. absoluta* τόσο σε εργαστηριακές όσο και σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις καθώς παρασιτεί τα ωά του εντόμου (Desneux et al., 2010; Urbaneja et al., 2012). Στο θερμοκήπιο γίνονται εξαπολύσεις 50 ενηλίκων/m² με επίπεδο προσβολής τέσσερα ενήλικα *T. absoluta* ανά φυτό τομάτας (Cabello et al., 2012). Σε εμπορική κλίμακα ήταν το πρώτο παρασιτοειδές που χρησιμοποιήθηκε για την αντιμετώπιση του εντόμου (Urbaneja et al., 2012). Ευδοκimei σε υψηλές θερμοκρασίες διότι έχει την δυνατότητα προσαρμογής σε αυτές σε σχέση με τις χαμηλές θερμοκρασίες (Cabello et al., 2010; Urbaneja et al., 2012). Βέβαια όταν το ωοπαρασιτοειδές αυτό εγκατασταθεί με επιτυχία σε καινούργιες περιοχές μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ανταγωνισμού με άλλα είδη *Trichogramma* και να παρασιτεί έντομα μη στόχους (Babendreier et al., 2005; Cabello et al., 2008; Urbaneja et al., 2012). Το *T. cacoeciae* (Marchal) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) μπορεί να προκαλέσει ποσοστό παρασιτισμού στα ωά του *T. absoluta* της τάξεως του 54,7% (Cherif et al., 2013). Στη Μεσόγειο εκτός από τα ωοπαρασιτοειδή υπάρχουν και τα παρασιτοειδή προνυμφών που ανήκουν στις οικογένειες Eulophidae, Braconidae, Ichneumonidae. Το *Necremnus artynes* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) είναι εκτοπαρασιτοειδές και παρασιτεί προνύμφες δεύτερης (L2) και τρίτης (L3) ηλικίας *T. absoluta* (Molla et al., 2008; Gabbara et al., 2010; Urbaneja et al., 2012; Zappala et al., 2013). Η διάρκεια ανάπτυξης του υπολογίζεται στις 16 ημέρες σε θερμοκρασία 25 °C (Gabarra & Arno, 2010; Molla et al., 2011; Urbaneja et al., 2012). Επιπλέον το *Neochrysocharis formosa* (Westwood) (Hymenoptera: Eulophidae) παρασιτεί προνύμφες μόνο πρώτης (L1) ηλικίας του *T. absoluta* και η ανάπτυξή του στους 25

°C διαρκεί από 14 έως 16 ημέρες (Lara et al., 2010; Urbaneja et al., 2012). Αντίθετα το *Bracon nigricans* (Szépligeti) (Hymenoptera: Braconidae) παρασιτεί προνύμφες τέταρτης (L4) ηλικίας (Zappala et al., 2013). Ως βιολογική παράμετρος αντιμετώπισης του *T. absoluta* όπως και το ενδοπαρασιτοειδές *Agathis fuscipennis* (Zetterstedt) (Hymenoptera: Braconidae) βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο (Zappala et al., 2011; Urbaneja et al., 2012). Τα παρασιτοειδή μπορούν να συνδυαστούν με τα αρπακτικά έντομα *M. pygmaeus*, *N. tenuis* αλλά και με το εντομοπαθογόνο βακτήριο *B. thurigiensis* δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα (Cabello et al., 2009; Calvo et al., 2012; Urbaneja et al., 2012; Chailleux et al., 2013).

Εντομοπαθογόνοι μικροοργανισμοί

Τα μικροβιακά εντομοκτόνα είναι σκευάσματα που έχουν ως δραστικό στοιχείο έναν μικροοργανισμό (π.χ βακτήριο, μύκητας, ιό, πρωτόζωο). Έχουν δοκιμαστεί διάφορα μικροβιακά εντομοκτόνα και έχουν βρεθεί αποτελεσματικά έναντι του *T. absoluta* (Abd El-Ghany et al., 2016; Gonzalez-Moreno et al., 2019). Το εντομοπαθογόνο βακτήριο *B. thurigiensis* χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο του *T. absoluta*. Το βακτήριο αυτό μπορεί να μολύνει τις προνύμφες όλων των ηλικιών του εντόμου όπως και οι εντομοπαθογόνοι μύκητες με πολύ καλά αποτελέσματα εναντίον των προνυμφών πρώτης (L1) ηλικίας (Giustolin et al., 2001b; Gonzalez-Cabrera et al., 2011; Moussa et al., 2018). Η αποτελεσματικότητα μεταξύ των διαφόρων σκευασμάτων που περιέχουν το εν λόγω βακτήριο οφείλεται στην αναλογία τοξινών, στον πρωτεϊνικό χαρακτήρα καθώς και στις βοηθητικές ουσίες (Askew et al., 2001; Hernandez et al., 2003). Ο συνδυασμός του *B. thurigiensis* με τον εντομοπαθογόνο μύκητα *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Hydrocreales: Clavicipitaceae) με συγκέντρωση 10^8 κονίδια/ml μπορεί να προκαλέσει 100% και 95% θνησιμότητα σε προνύμφες δεύτερης (L2) και τέταρτης (L4) ηλικίας αντίστοιχα σε σχέση με την εφαρμογή του καθενός μεμονωμένα (Mantzoukas et al., 2019). Εκτός από το *B. thurigiensis* εξίσου αποτελεσματικοί έναντι των προνυμφών του *T. absoluta* έχουν βρεθεί και οι εντομοπαθογόνοι νηματώδεις (Abd El-Ghany et al., 2016; Gonzalez-Moreno et al., 2019). Ερευνητική μελέτη έδειξε ότι οι εντομοπαθογόνοι νηματώδεις *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) (Nematoda: Heterorhabditidae), *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Nematoda: Steinernematidae) και

Steinernema carrocapsae (Weiser) (Nematoda: Steinernematidae) προκαλούν θνησιμότητα σε προνύμφες πρώτης (L1) ηλικίας σε ποσοστό 78,6%, 85,7%, 100% αντίστοιχα (Morton et al., 2010; Garcia et al., 2011). Σε παρόμοια ερευνητική εργασία απεδείχθη ότι οι εντομοπαθογόνοι νηματώδεις *S. feltiae* και *S. carrocapsae* προκαλούν 100% θνησιμότητα 6 ημέρες μετά την εφαρμογή τους πάνω στο φυτό (Jacobson & Martin, 2011). Τα μικροβιακά εντομοκτόνα δρουν πιο αργά σε σύγκριση με τα χημικά εντομοκτόνα (Gonzalez-Moreno et al., 2019). Επειδή το *T. absoluta* έχει αλληλεπικαλυπτόμενες γενεές, απαιτούνται πολλαπλοί ψεκασμοί ανά εφαρμογή. Επιπλέον τα μικροβιακά εντομοκτόνα, επηρεάζονται από δυσμενείς συνθήκες με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η αποτελεσματικότητά τους (Moussa et al., 2018). Μερικοί αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των εντομοπαθογόνων μικροοργανισμών είναι η υψηλή σχετική υγρασία ή η θερμοκρασία. Ο Batta (2003) σε μια μελέτη που περιελάμβανε το *M. anisopliae*, έδειξε ότι μετά από 5 μήνες η βιωσιμότητα των σποριών του μύκητα μειώθηκε κατά 50% (Gonzalez-Moreno et al., 2019).

1.3 Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες (ΕΠΜ)

1.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Το βασίλειο των μυκήτων αποτελείται σχεδόν από 1,5 εκατομμύρια είδη μυκήτων όπου τα 110.000 έχουν αναγνωριστεί και μελετηθεί. Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες (ΕΠΜ) αποτελούν μια ξεχωριστή ομάδα μυκήτων που προσβάλλουν έντομα. Πάνω από 700 είδη εντομοπαθογόνων μυκήτων από 90 γένη έχουν απομονωθεί από όλες τις τάξεις. Αποτελούν μέρος των οικοσυστημάτων και παίζουν σημαντικό ρόλο στους πληθυσμούς των εντόμων (Vega et al., 2009; Μαντζούκας κ.α., 2018). Ταξινομικά κατατάσσονται στους ασκομύκητες, στην τάξη Hygrocreales με πιο σημαντικά γένη των *Beauveria*, *Metarhizium* αλλά και *Isaria* (Posada et al., 2007; Tefera & Vidal, 2009; Aboot et al., 2010; Gurulingappa et al., 2011; Μαντζούκας, 2013).

Οι πρώτες μελέτες με εντομοπαθογόνους μύκητες ξεκίνησαν από τον Ρώσο μικροβιολόγο, Elie Metchnikoff, το 1888 με το είδος *M. anisopliae*. Παρόλο που τα πρώτα αποτελέσματα δεν ήταν αξιόπιστα οι μελέτες του Metchnikoff άνοιξαν το δρόμο σε επιστήμονες από την Ευρώπη και τις ΗΠΑ για επιπλέον έρευνα των εντομοπαθογόνων μυκήτων κυρίως των γενών *Beauveria* και *Metarhizium* (Lord, 2005; Vega et al., 2009; Maina et al., 2017; Μαντζούκας κ.α., 2018).

Η εκτεταμένη χρήση χημικών εντομοκτόνων έδωσε την δυνατότητα ανάπτυξης και χρήσης των εντομοπαθογόνων μυκήτων και άλλων παραγόντων βιολογικής αντιμετώπισης (Peshin et al., 2009; Μαντζούκας κ.α., 2018). Η εκτεταμένη χρήση των εντομοκτόνων επιβάρυνε το περιβάλλον, τους οργανισμούς μη-στόχους, οδήγησε στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας των εντόμων σε ένα μεγάλο εύρος δραστικών ουσιών αλλά και την παρουσία υπολειμμάτων στο τελικό προϊόν (Flint & Van den Bosch, 2012; Μαντζούκας κ.α., 2018). Για τους παραπάνω λόγους η εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό και κρίνεται αναγκαία η χρήση ολοένα και περισσότερων βιολογικών παραγόντων (Maina et al., 2017; Μαντζούκας κ.α., 2018).

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης εντομοπαθογόνων μυκήτων στη γεωργία είναι ποικίλα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα: 1. Είναι ελάχιστα τοξικοί σε οργανισμούς μη στόχους και συντελούν στην διατήρηση της βιοποικιλότητας των οικοσυστημάτων. 2. Έχουν στενό πεδίο δράσης έναντι ορισμένων ομάδων εντόμων όπως λεπιδοπτέρων (προνύμφες), ημιπτέρων (αφίδες και είδη της οικογένειας Cicadidae και Coccidae), υμενοπτέρων όπως τα Vespoidea, κολεοπτέρων (είδη της οικογένειας Scarabaeidae) και διπτέρων (είδη του γένους *Hylemyia*) και κουνουπιών (Posada et al., 2007; Tefera & Vidal, 2009; Aboot et al., 2010; Gurulingappa et al., 2011; Μαντζούκας, 2013). 3. Τα υπολείμματά τους δεν επιδρούν στο περιβάλλον. 4. Δεν παρουσιάζουν εύκολα ανθεκτικότητα από τα έντομα αν και αυτό δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς. 5. Εύκολη εφαρμογή για τον χρήστη καθώς εφαρμόζονται με ψεκάσμο και συνδυάζονται με εντομοκτόνα. 6. Όταν βρεθούν σε ευνοϊκές συνθήκες διατηρούνται και εξαπλώνονται μόνοι τους. 7. Μειώνουν την χρήση εντομοκτόνων (Μαντζούκας κ.α., 2018).

Τα μειονεκτήματα που έχουν οι εντομοπαθογόνοι μύκητες είναι εξίσου σημαντικά. Βασικό μειονέκτημα αποτελεί η αποτελεσματικότητά τους που συνδέεται με τις συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν. Επιπλέον έχουν μικρό χρονικό διάστημα αποθήκευσης και το κόστος παραγωγής τους για την διάθεση στο εμπόριο είναι υψηλό. Επίσης σε περίπτωση απουσίας του εντόμου ξενιστή δεν δύναται να εφαρμοστούν προληπτικά. Τέλος δρουν αργά και θέλουν προσεκτική εφαρμογή (Μαντζούκας κ.α., 2018).

Για την αποτελεσματικότητα των μυκήτων ακόμα και σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες αναπτύσσονται νέες τεχνικές τυποποίησης που τους προσδίδουν ανθεκτικότητα σε χαμηλές υγρασίες, υψηλές ξηρασίες και στην ηλιακή ακτινοβολία η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητάς τους. Για υψηλή αποτελεσματικότητα η σχετική υγρασία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 85 - 90% (Zimmermann, 2007; Kaiser et al., 2018; Μαντζούκας κ.α., 2018). Οι μύκητες σε μορφή ελαιώδους εναιωρήματος επιβιώνουν σε ξηροθερμικές συνθήκες και διασπείρονται αποτελεσματικά στην λιπόφοβη επιφάνεια του εντόμου. Η ηλιακή ακτινοβολία μειώνει την βλάστηση των κονιδίων και συνεπώς επιδρά στην ανάπτυξη των μυκήτων. Επομένως η χρήση βοηθητικών ουσιών όπως έλαια, πηλός και χουμικό οξύ τους καθιστούν αποτελεσματικούς ακόμα και στην έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Επιπρόσθετα οι βοηθητικές ουσίες αυξάνουν την διάρκεια ζωής των εντομοπαθογόνων μυκήτων καθώς καθιστούν τα κονίδια αδρανή με σκοπό την βλάστησή τους όταν έρθουν σε επαφή με το έντομο (Kaiser et al., 2018; Μαντζούκας κ.α., 2018).

Σε γενικές γραμμές η χρήση μυκοεντομοκτόνων προχωρά με αργά βήματα καθώς δεν προτιμώνται σε μεγάλο βαθμό από τους παραγωγούς σε σύγκριση με τα χημικά εντομοκτόνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση βιολογικών παραγόντων για την αντιμετώπιση εντόμων εχθρών αυξήθηκε κατά 10% όπου τα μυκοεντομοκτόνα αποτελούν το 27%. Αυτό σημαίνει ότι η χρήση εντομοπαθογόνων μυκήτων σε προγράμματα ολοκληρωμένης καταπολέμησης θα αυξηθεί δραματικά στο μέλλον. Τέλος χρειάζεται περισσότερη έρευνα σχετικά με την αποτελεσματικότητά τους σε μη ευνοϊκές συνθήκες, την διάρκεια ζωής τους, τον τρόπο εφαρμογής τους, την

λοιμογόνο δύναμη και το πεδίο δράσης τους (Kabaluk et al., 2010; Mishra et al., 2015; Μαντζούκας κ.α., 2018).

1.3.2 Μηχανισμός δράσης

1.3.2.1 Μόλυνση-Βιολογικός κύκλος

Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες μολύνουν τα έντομα μέσω της επαφής και διείσδυσης των σπορίων στην δερμίδα του εντόμου. Τα σπόρια διαδίδονται μέσω του αέρα ή της βροχής (Μαντζούκας, 2013; Bilgo et al., 2018; Litwin, et al., 2020). Η είσοδος των εντομοπαθογόνων μυκήτων σε ένα έντομο εξαρτάται από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες οι οποίοι επιτρέπουν ή όχι την διείσδυση στην δερμίδα του ξενιστή. Ο βιολογικός κύκλος των εντομοπαθογόνων μυκήτων εναρμονίζεται με εκείνον του ξενιστή όπως και με τις συνθήκες περιβάλλοντος (Shahid et al., 2012; Μαντζούκας, 2013).

Η μόλυνση μπορεί να αποτραπεί εξαιτίας χαμηλής υγρασίας, μη αξιοποίησης των θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται στην δερμίδα του εντόμου αλλά και στην αδυναμία αναγνώρισης του ξενιστή (Μαντζούκας, 2013). Τα συμπτώματα από την μόλυνση αφορούν αλλαγές στην συμπεριφορά του ξενιστή. Συγκεκριμένα παρατηρούνται αλλαγές στην μετακίνηση, την διατροφή και την ωτοκία. Η μείωση της διατροφής του ξενιστή αποτελεί την πιο άμεση αλλαγή συμπεριφοράς και αποτελεί έννοια που δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Στη συνέχεια ακολουθεί η νωθρότητα και διαταραχές την διάρκεια της ωτοκίας. Ο ξενιστής πεθαίνει ύστερα από 3 έως 7 ημέρες λόγω ασιτίας, καταστροφής των ιστών και παραγωγής τοξινών από τους μύκητες (Hussain et al., 2009; Shahid et al., 2012; Μαντζούκας, 2013).

Ο βιολογικός κύκλος των εντομοπαθογόνων μυκήτων περιλαμβάνει τα εξής στάδια: α) προσκόλληση του κονιδίου στο δερμάτιο του ξενιστή, β) σχηματισμός βλαστικού σωλήνα, γ) διάτρηση δερματίου, δ) παραγωγή ενζύμων προς διευκόλυνση της διαδικασίας εισβολής, ε) βλαστική ανάπτυξη στο εσωτερικό του ξενιστή, στ) αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών της δερμίδας και εγκατάσταση,

η) παραγωγή τοξινών και μολυσματικών παραγόντων για την καταστολή της άμυνας του ξενιστή και θ) παραγωγή εξωτερικών κονιδιοφόρων μετά το θάνατο του ξενιστή (Hajek et al., 2007; Xiong et al., 2012; Μαντζούκας, 2013; Donzelli & Krasnoff, 2016; Mascarin & Jaronski, 2016, Fan et al., 2017; Litwin et al., 2020).

Τέλος η ικανότητα μόλυνσης του στελέχους του μύκητα καθώς και η ανθεκτικότητα του εντόμου έναντι στον μύκητα επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της μόλυνσης. Οι μηχανισμοί άμυνας των εντόμων δεν σχετίζονται με αυτούς των θηλαστικών δηλαδή με εξειδικευμένα αντισώματα. Διαθέτουν μηχανισμούς όπως ο εξωσκελετός που αποτελεί εμπόδιο εισόδου για τους μικροοργανισμούς, η φαγοκύτωση, η παραγωγή αντιβακτηριακών πρωτεϊνών και η παραγωγή παρεμποδιστών πρωτεάσης (Shahid et al., 2012; Panayidou et al., 2013; Μαντζούκας, 2013).

1.3.3.2 Κονίδια - Προσκόλληση – Βλάστηση – Διείσδυση

Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες σε σχέση με τους ιούς και τα βακτήρια έχουν μοναδικό τρόπο δράσης στα έντομα-στόχους διότι εισέρχονται μέσω της δερμίδας και δεν χρειάζεται να καταποθούν (Hajek et al., 2007; Μαντζούκας, 2013; Litwin et al., 2020). Η δερμίδα προέρχεται από στιβάδες όπως η εφυμενίδα, εξωδερμίδα, ενδοδερμίδα και υποδερμίδα (Xiong et al., 2012; Μαντζούκας, 2013).

Σχηματίζεται από πρωτεΐνες, χιτίνη και λιπαρά οξέα και η χημική σύσταση μεταξύ των στιβάδων είναι διαφορετική (Juarez & Calderon, 2006; Pedrini et al., 2006; Μαντζούκας, 2013). Η εξωτερική στιβάδα απαρτίζεται από λιπίδια, αμινοξέα και γλυκοσαμίνες, είναι ανθεκτική στην ενζυμική αποικοδόμηση και αποτελεί μηχανισμό άμυνας του εντόμου έναντι στους μύκητες αποτρέποντας την είσοδο των ενζύμων αποικοδόμησης του μύκητα στην δερμίδα. Επίσης η ενδοδερμίδα του εντόμου περιέχει μυκοστατικές ενώσεις όπως λιπαρά οξέα, φαινολικές ενώσεις και εφυμενιδικά λιπίδια που αποτρέπουν την ανάπτυξη των υφών. Η παραγωγή ενζύμων από τον μύκητα που αναστέλλουν τις μυκοστατικές ενώσεις της ενδοδερμίδας επιδρά στην εκβλάστηση των υφών. Ο βλαστικός σωλήνας παράγεται

από τα κονίδια του μύκητα και βοηθάει στην εγκατάσταση του παθογόνου στον ξενιστή. Τα κονίδια είναι υδρόφοβα και μεταφέρονται μέσω του αέρα ή από παρασιτισμένες προνύμφες. Για την δημιουργία του βλαστικού σωλήνα τα θρεπτικά συστατικά και η απαραίτητη υγρασία αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία κατά την διαδικασία της εκβλάστησης. Η εξωτερική στιβάδα της δερμίδας του εντόμου μόλις έρθει σε επαφή με το κυτταρικό τοίχωμα του μύκητα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Ακολούθως, ο μύκητας αντιδρά στα φυσικοχημικά ερεθίσματα του εντόμου και τα σενάρια που αναπτύσσονται είναι τα ακόλουθα: 1. Καλή ή φτωχή προσκόλληση και εκβλάστηση, 2. αργή ή γρήγορη εκβλάστηση, 3. δημιουργία βλαστικού σωλήνα και σχηματισμός απρεσσορίου (appressorium) (Juarez & Calderon, 2006; Pedrini et al., 2006; Lu et al., 2008; Μαντζούκας, 2013).

Τα απρεσσόρια είναι σχηματισμοί που αγκριστρώνουν τα σπόρια του μύκητα πάνω στο φυτικό κύτταρο. Προκύπτουν από την διαφοροποίηση του βλαστικού σωλήνα σε κύτταρο διάτρησης της δερμίδας. Παράγουν λυτικά ένζυμα που αποσυνθέτουν το δερμάτιο του εντόμου. Ουσιαστικά τα απρεσσόρια προκύπτουν από την προσκόλληση των κονιδίων σε υδρόφοβες, σκληρές και ελλιπής σε θρεπτικά συστατικά επιφάνειες. Η μορφολογία τους επηρεάζεται από το είδος και το στέλεχος του μύκητα αλλά και από τα χαρακτηριστικά της δερμίδας (Μαντζούκας, 2013; Skinner et al., 2014; Lacey et al., 2015; Litwin et al., 2020). Επιπλέον παράγουν βλέννα που επιδρά στην προσκόλληση των κονιδίων του μύκητα κατά την διείσδυση (Μαντζούκας, 2013). Παράγονται από αρκετά στελέχη εντομοπαθογόνων μυκήτων όπως του *M. robertsii* αλλά για τα στελέχη του *B. bassiana* δεν ισχύει αυτό (Xiong et al., 2012; Μαντζούκας, 2013).

Η βλάστηση των σπορίων προϋποθέτει την ύπαρξη πηγών άνθρακα και αζώτου και λαμβάνει χώρα στην δερμίδα του εντόμου. Το άζωτο βοηθάει την περαιτέρω ανάπτυξη του μύκητα (Μαντζούκας, 2013; Skinner et al., 2014; Litwin et al., 2020). Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης και βλάστησης των σπορίων κυμαίνεται μεταξύ 20 °C και 30 °C. Μπορούν να βλαστήσουν και σε θερμοκρασίες εκτός των 20 °C και 30 °C όπου αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα μεταξύ των στελεχών των εντομοπαθογόνων μυκήτων (Skinner et al., 2014; Litwin et al., 2020).

Όταν τα κονίδια βλαστάνουν παράγονται είτε δευτερογενή κονίδια είτε περισσότεροι βλαστικοί σωλήνες. Οι βλαστικοί σωλήνες διαπερνούν την δερμίδα του ξενιστή και διεισδύουν είτε απευθείας στο δερμάτιο είτε αναπτύσσονται περιφερειακά στην επιφάνεια του δερματίου. Η εισχώρηση του εντομοπαθογόνου μύκητα στο έντομο πραγματοποιείται από την κοιλιά και τον θώρακα. Η βλάστηση των κονιδίων λαμβάνει χώρα μετά από 6 έως 18 ώρες. Εκείνα που βλαστάνουν μετά από 24 ώρες είναι δευτερογενή ή τριτογενή κονίδια (Xiong et al., 2012; Μαντζούκας, 2013).

Οι βλαστικές υφές που διεισδύουν στην δερμίδα δεν έχουν απρεσσόρια αλλά παράγουν ένα βλενώδες στρώμα στην δερμίδα του ξενιστή και στην διεισδυτική βλαστική υφή (Μαντζούκας, 2013). Αφού οι βλαστικές υφές διαπεράσουν την δερμίδα αλλοιώνουν τις στιβάδες της. Η ενζυματική ιστόλυση γίνεται αντιληπτή με την παρουσία μιας ημιδιαφανούς ζώνης μεταξύ βλαστικού σωλήνα και επιδερμίδιου. Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες παράγουν ένζυμα όπως πρωτεάσες, λιπάσες, χιτίνες. Οι πρωτεάσες επιδρούν σημαντικά στην διαδικασία της διείσδυσης. Οι πιο σημαντικές πρωτεάσες αποτελούν η τριψίνη, χυμοτριψίνη, ελαστάση, κολλαγενάση και χυμοελαστάση (Μαντζούκας, 2013).

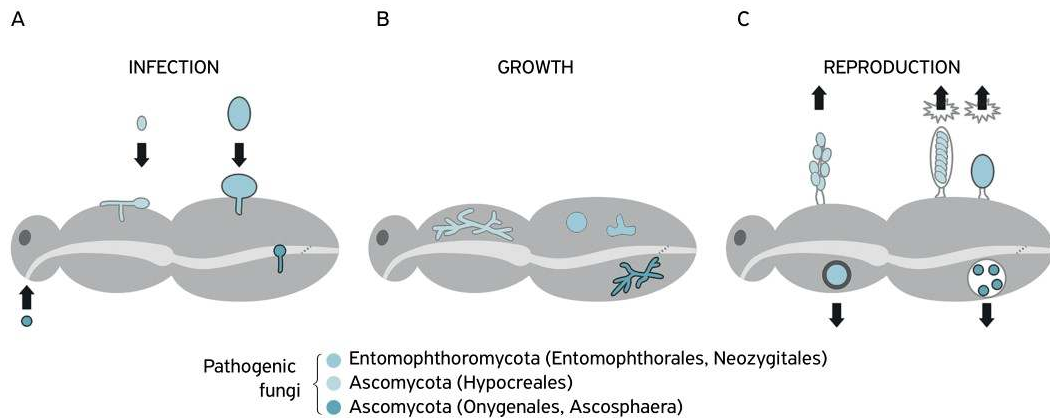
Μέσα στην κοιλότητα του εντόμου ο μύκητας πολλαπλασιάζεται με βλαστοσπόρια και τμήματα υφών. Ο μύκητας με την είσοδό του στον ξενιστή καταστρέφει τα εσωτερικά του όργανα αλλοιώνοντας το σώμα του. Το σώμα του εντόμου από μαλακό γίνεται σκληρό λόγω της απορρόφησης υγρών από τον μύκητα. Σε ιδανικές συνθήκες η διείσδυση του στο έντομο λαμβάνει χώρα εντός 24 και 48 ωρών (Μαντζούκας, 2013; Skinner et al., 2014; Litwin et al., 2020).

1.3.3.3 Αναγνώριση του ξενιστή-Πορεία μόλυνσης

Ο μηχανισμός αναγνώρισης όπου ένας εντομοπαθογόνος μύκητας αναγνωρίζει τον ξενιστή του δεν είναι σαφείς. Οι φυτοπαθογόνοι μύκητες παράγουν ειδικά μόρια (Elicitors) που εντοπίζονται από γονίδια άμυνας του ξενιστή και συνακόλουθα προάγουν την παραγωγή ειδικών προιόντων όπου επάγουν την

παραγωγή ενζύμων (φυτοαλεξίνες, χιτινάσες) από τον παθογόνο μύκητα (Thakur & Sohal, 2013; Μαντζούκας, 2013). Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες έχουν παρόμοιο μηχανισμό αναγνώρισης έχοντας ποικίλους μηχανισμούς που κάμπτουν την αντίσταση των ξενιστών τους. Οφείλονται στα ένζυμα που παράγουν οι εντομοπαθογόνοι μύκητες για να αλλοιώσουν την δομική ακεραιότητα του εντόμου καθώς και στην παραγωγή τοξινών για την αποτροπή παραγωγής ενζύμων των εντόμων (Xiong et al., 2012; Μαντζούκας, 2013).

Το σύστημα αναγνώρισης του ξενιστή των εντομοπαθογόνων μυκήτων αποτελείται από G πρωτεΐνες, υποδοχείς, κινάσες και δευτερογενή μηνυματοφόρα μόρια που εκτός από την αναγνώριση του ξενιστή προάγουν την παραγωγή αποικοδομητικών ενζύμων (Μαντζούκας, 2013). Ο ρόλος αυτών των ενζύμων είναι να ενεργοποιούν σηματοδοτικά μόρια και να καταστέλλουν τις μυκοστατικές ενώσεις (Hajek et al., 2007; Μαντζούκας, 2013). Όλα τα παραπάνω διαμορφώνουν την συμβατότητα μεταξύ μύκητα ξενιστή όπως και την ταχύτητα διείσδυσης στην αιμολέμφο και το θάνατο του εντόμου. Με την διείσδυση του μύκητα στην αιμολέμφο αναπτύσσει μυκηλιακές υφές όπου είναι λεπτότοιχες ή πολυκυτταρικές. Ορισμένοι εντομοπαθογόνοι μύκητες έχουν την ικανότητα να παράγουν βλαστοσπόρια που εισέρχονται στην αιμολέμφο και να παράγουν δευτερογενείς υφές που εντοπίζονται στους ιστούς του ξενιστή. Ο μύκητας για να καταστείλει το ανοσοποιητικό σύστημα του ξενιστή παράγει δευτερογενείς μεταβολίτες όπως τα κυκλοδεψιπεπτίδια, κυκλοσπορίνες και δεστρουξίνες και προκαλούν παράλυση και διαταραχή του ανοσοποιητικού συστήματος (Xiong et al., 2012; Μαντζούκας, 2013; Donzelli & Krasnoff, 2016; Litwin et al., 2020). Τα συμπτώματα από την λοίμωξη εντοπίζονται στον πεπτικό σωλήνα, στους μαλπιγγειανούς σωλήνες, στο λιπόσωμα και στου μυϊκούς ιστούς της προνύμφης (Xiong et al., 2012). Ο κύκλος ανάπτυξης του μύκητα ολοκληρώνεται με την παραγωγή κονιδιοφόρων που βρίσκονται σε εξασθενημένα σημεία των ξενιστών (Μαντζούκας, 2013).



Εικόνα 7: Απεικόνιση της προσβολής από εντομοπαθογόνους μύκητες στον ξενιστή A) Μόλυνση με απευθείας διάτρηση της δερμίδας (Entomophthorales) και με παραγωγή απρεσσορίων (Hypocreales) B) Ανάπτυξη υφής C) Αναπαραγωγή μύκητα (Πηγή: Esparza Mora et al., 2017).

1.4 Ο μύκητας *Beauveria bassiana*

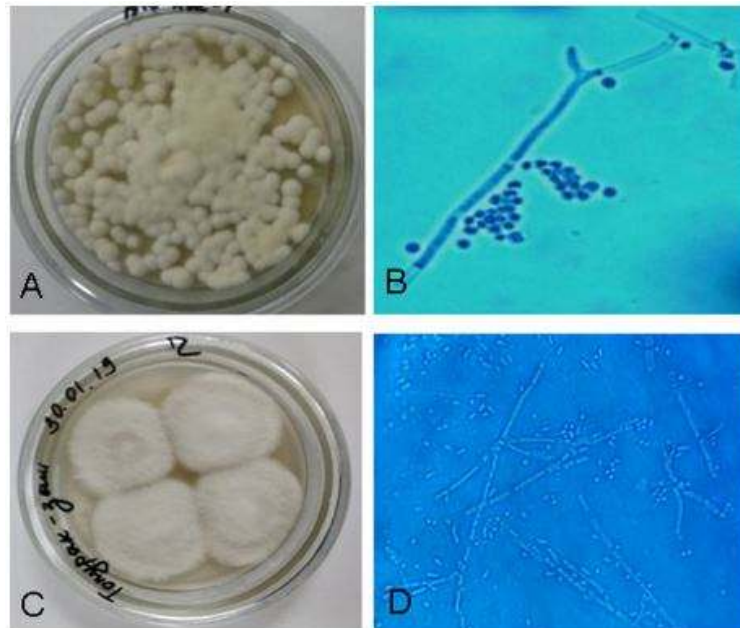
Ο μύκητας *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Moniliales: Cordycipitaceae) είναι ένας εντομοπαθογόνος μύκητας που τα στελέχη του έχουν μεγάλο εύρος δράσης εναντίον αρθρόποδων και εντόμων κυρίως αφίδων, θριπών, αλευρωδών, κολεοπτέρων, δίπτερων και ημίπτερων (Liu & Bauer, 2006; Amora et al., 2009; Μαντζούκας, 2013; Mascarin & Jaronski, 2016; Guadalupe Ávila-Hernández et al., 2020). Είναι ατελής και απλοειδής μύκητας και έχει την ικανότητα να παράγει βιοενεργούς μεταβολίτες που αναστέλλουν την ανάπτυξη αρκετών παθογόνων μυκήτων (Narayananamy, 2013; Guadalupe Ávila-Hernández et al., 2020). Βρίσκεται στο έδαφος και έχει την δυνατότητα να αποικίζει ενδοφυτικά τα φυτά (Uma Devi et al., 2008; Guadalupe Ávila-Hernández et al., 2020). Το όνομα του προήλθε από τον Ιταλό εντομολόγο Agostino Bass το 1835 ως αίτιο για την άσπρη εξάνθηση του *Bombyx mori* (Linnaeus) (Lepidoptera: Bombycidae) (Robertson et al., 2007; Zimmermann, 2007; Μαντζούκας, 2013). Ταξινομικά πρωτοχαρακτηρίστηκε από τον Balsamo-Crivelli ο οποίος του έδωσε το όνομα *Botrytis bassiana* (Amora et al., 2009; Μαντζούκας, 2013).

Ανήκει στους δευτερομύκητες και προσβάλλει πάνω από 700 είδη εντόμων (Landecker, 1996). Τα στελέχη του γένους *Beauveria* έχουν ελικοειδή συσσωματώματα σφαιρικών κονιδιοφόρων. Τα κονίδια είναι σφαιρικά, ελλειψοειδή και νεφροειδή με μέγεθος 1,7 μm έως 5,5 μm και είναι μονοκύτταρα και υδρόφοβα (Rehner & Buckley, 2005, Robertson et al., 2007; Lu et al., 2008; Μαντζούκας, 2013). Ο μύκητας έρχεται σε επαφή με την δερμίδα του εντόμου μέσω των κονιδίων τα οποία όταν βλαστήσουν την διατρύπουν και πολλαπλασιάζεται εντός του σώματος του εντόμου (Lu et al., 2008; Μαντζούκας, 2013). Ο πολλαπλασιασμός των κονιδίων προϋποθέτει ιδανικές συνθήκες υγρασίας, θερμοκρασίας, ΡΗ και θρεπτικών συστατικών (πηγές άνθρακα και αζώτου) και η μόλυνση ολοκληρώνεται εντός 24 έως 48 ωρών (Μαντζούκας, 2013; Muñiz-Paredes et al., 2017; Guadalupe Ávila-Hernández et al., 2020). Μετά την μόλυνση η διάρκεια ζωής του εντόμου κυμαίνεται από 3 έως 5 ημέρες (Μαντζούκας, 2013). Επιπλέον έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται στις διαφορετικές συνθήκες του περιβάλλοντος λόγω της γενετικής του μεταβλητότητας (Guadalupe Ávila-Hernández et al., 2020).

Τα στελέχη του *B. bassiana* διεισδύουν στην δερμίδα μέσω της δημιουργίας βλαστικού σωλήνα όπου δεν παράγει απρεσσόρια και αναπτύσσεται στην αιμολέμφο. Τα βλαστοσπόρια παρατηρούνται 48 ώρες μετά την μόλυνση. Καθώς ο μύκητας εισχωρεί στην εξωδερμίδα του εντόμου εκκρίνει πρωτεάση, χιτινάση, λιπάση και αμυλάση που συμβάλλουν στην τροποποίηση της δομικής της ακεραιότητας και αναστέλλοντας τα ένζυμα της αιμολέμφου επιταχύνοντας το θάνατο του εντόμου. Ο θάνατος του εντόμου προκαλείται από την αποικοδόμηση των θρεπτικών συστατικών της αιμολέμφου, αφυδάτωση και έκκριση τοξινών (Tian et al., 2008; Uma Devi et al., 2008; Borges et al., 2010; Μαντζούκας, 2013; Mascarín & Jaronski, 2016; Daza et al., 2019; Litwin et al., 2020).

Ο *B. bassiana* παράγει τοξίνες όπως μποβερισίνη, μποβερολίδη (Beauverolide), μπασιονολίδη (Bassionolide) καθώς αναπτύσσεται εντός της κοιλότητας του εντόμου όπως και αντιβακτηριδιακές ουσίες για την καταστολή σαπροφυτικών βακτηρίων. Επιπλέον έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται στις διαφορετικές συνθήκες του περιβάλλοντος λόγω της γενετικής του μεταβλητότητας (Isaka et al., 2005; Rehner & Buckley, 2005; Μαντζούκας, 2013; Guadalupe Ávila-

Hernández et al., 2020). Η ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης κυμαίνεται από 20 °C έως 30 °C (Κοντοδήμας & Γκότση, 2009; Μαντζούκας, 2013). Τα σπόρια βλαστάνουν στους 15 °C με 35 °C και μπορούν να διατηρήσουν την βλαστικότητα τους για 12 μήνες σε θερμοκρασία 8 °C (Robertson et al., 2007; Μαντζούκας, 2013). Τέλος δεν προκαλεί φυτοτοξικότητα σε πτηνά και ψάρια (Μαντζούκας, 2013).



Εικόνα 8: A), C) Αποικίες του μύκητα *B. bassiana*, B) Υφές D) Κονίδια (Πηγή: Doolotkeldieva et al., 2019).



Εικόνα 9: Προνύμφη δεύτερης ηλικίας (L2) του *T. absoluta* που έχει παρασιτιστεί από τον μύκητα *B. bassiana* (Πηγή: Γιαννουλάκης).

1.5 Ο μύκητας *Metarhizium anisopliae*

Ο *M. anisopliae* είναι ένας εντομοπαθογόνος μύκητας ο οποίος απαντάται σε ολόκληρο τον κόσμο. Απαντάται στο έδαφος, απομονώνεται από αυτό, αποικίζει την ριζόσφαιρα του φυτού και προσβάλλει διάφορα είδη εντόμων (St. Leger et al., 2011; Clifton et al., 2018). Παλαιότερα ήταν γνωστός ως *Entomophthora anisopliae* και πήρε το όνομά του από τον I.I Mechnikov ο οποίος το 1879 τον απομόνωσε από το σκαθάρι *Anisoplia austriaca* (Herbst) (Coleoptera: Rutelidae). Έπειτα τον δοκίμασε στο κολεόπτερο *Cleonus punctiventris* (Germ.) (Coleoptera: Curculionidae) όπου το πρότεινε ως εργαλείο βιολογικής αντιμετώπισης διαφόρων εχθρών (McCoy et al., 1988). Η ασθένεια που προκαλούν τα στελέχη του γένους *Metarhizium* ονομάζεται green muscardine λόγω των πράσινων κονιδίων που αναπτύσσονται στα νεκρά άτομα (Μαντζούκας, 2013).

Ανήκει στην τάξη Sordariomycetes και έχει αναφερθεί ότι προσβάλλει πάνω από 200 είδη εντόμων (Liu & Baeur, 2006; Kabaluk & Ericsson, 2007; Robertson et al., 2007; Μαντζούκας, 2013). Παρόλο που έχει υψηλά ποσοστά θνησιμότητας στα έντομα δεν επιφέρει κινδύνους για τα θηλαστικά παρά μόνο στα ευαίσθητα άτομα όπου μπορεί να προκαλέσει μόνο αλλεργικές αντιδράσεις. Το μυκήλιο δεν είναι δραστικό σε αντίθεση με τα βλαστοσπόρια και τα κονίδια που μολύνουν το έντομο (Μαντζούκας, 2013).

Ο μύκητας εισχωρεί από τους πόρους του τραχειακού συστήματος και μετά το πέρας 18 ωρών εισβάλλει στο εσωτερικό του ξενιστή με την μορφή απρεσορίων όπου παράγουν κονίδια. Τα κονίδια έχουν σχήμα μακρών διακλαδιζόμενων υφών και σχηματίζουν νηματοειδή κελιά (Wang & Leger, 2006). Όταν αναπτύσσεται στο εσωτερικό του εντόμου εμφανίζονται μυκήλια τα οποία καταστρέφουν τα όργανά του (Wang & Leger, 2006; Robertson et al., 2007). Ο μύκητας τρέφεται με λιπίδια της δερμίδας του εντόμου. Έχει την ικανότητα να απελευθερώνει σπόρια κάτω υπό χαμηλές συνθήκες υγρασίας (<50%). Παράγει δεστρουξίνες που ανήκουν στους δευτερογενείς μεταβολίτες και είναι τοξικές για τα έντομα και αποτελούν νέας γενιάς εντομοκτόνα. Εκτός από τις δεστρουξίνες παράγει και πρωτεϊνολυτικά ένζυμα που συμβάλλουν στην παθογένεση (Μαντζούκας, 2013). Έχει αναφερθεί ότι

η δεστρουξίνη E αποτελεί μια από τις τοξικότερες ενώσεις σε ένα μεγάλο εύρος εντόμων (Μαντζούκας, 2013; Arroyo-Manzanares et al., 2017; Litwin et al., 2020). Ο θάνατος του εντόμου από τον μύκητα μπορεί να αναγνωριστεί εύκολα καθώς αρχικά σχηματίζονται μυκητιακές υφές που είναι λευκές και στη συνέχεια γίνονται πράσινες. Ωστόσο, ανάλογα με το είδος και το στέλεχος του είδους *Metarhizium* τα σπόρια μπορεί να έχουν χρώμα, λευκό, κίτρινο, καφέ και πράσινο (Bruck, 2005). Ο ξενιστής επιβιώνει 5 με 15 ημέρες μετά την μόλυνση (Μαντζούκας, 2013).

Ορισμένα έντομα είναι ανθεκτικά στην προσβολή παράγοντας νέο κέλυφος πρώτου τα κονίδια διαπεράσουν την δερμίδα ενώ άλλα παράγουν αντιμυκητιακές τοξίνες που καταστέλλουν την βλάστηση των σπορίων όπως το *Schistocerca gregaria* (Forskål) (Orthoptera: Acrididae) (Μαντζούκας, 2013).



Εικόνα 10: Α) Υφές του μύκητα *M. anisopliae* Β) Αποικία του μύκητα *M. anisopliae* (Πηγή: Goble, 2009).

1.6 Εμπορικά μικροβιακά σκευάσματα με βάση μύκητες

Σήμερα έχουν ανακαλυφθεί γύρω στα 171 εμπορικά σκευάσματα όπου βασίζονται σε 12 είδη εντομοπαθογόνων μυκήτων (Roy et al., 2009; Hu et al., 2016; Μαντζούκας κ.α., 2018). Κατά κύριο λόγο αποτελούνται από τους μύκητες *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *Isaria fumosorosea* (Wize) (Brown & Smith) (Hypocreales: Clavicipitaceae) και *Beauveria brongniartii* (Saccardo) Petch (Hypocreales: Clavicipitaceae) σε ποσοστό 33,9%, 33,9%, 5,8%, 4,1% αντίστοιχα. Συνήθως

κυκλοφορούν ως βρέξιμη σκόνη ή ελαιώδη εναιωρήματα (Faria & Wraight, 2007; Μαντζούκας κ.α., 2018). Στην Ευρωπαϊκή ένωση 8 στελέχη εντομοπαθόνων μυκήτων έχουν άδεια κυκλοφορίας ενώ αρκετά βρίσκονται σε διαδικασία αδειοδότησης (EU Pesticides database, 2021). Στην Ελλάδα κυκλοφορούν 4 εμπορικά σκευάσματα (ΥΠΑΑΤ, 2021).

Πιο συγκεκριμένα κυκλοφορούν σκευάσματα του *B. bassiana* όπως το Botanigard 10,7 SC, το Naturalis OD, SC και το Ostrinil για αντιμετώπιση αφίδων, αλευρωδών, θριπών, με υψηλή αποτελεσματικότητα ακόμα και έναντι φοινοκοειδών εντόμων όπως το *Rhynchophorus ferrugineus* (A.G.Olivier) (Coleoptera: Dryophthoridae) (Μαντζούκας, 2013; ΥΠΑΑΤ, 2021). Επιπλέον στην Ελλάδα για το στέλεχος του *I. fumosorosea* διατίθεται στο εμπόριο το σκεύασμα Preferal για την αντιμετώπιση του *T. vaporariorum* και *B. tabaci* στην τομάτα, στο αγγούρι, στην πιπεριά, στην μελιτζάνα και στο πεπόνι (ΥΠΑΑΤ, 2021).

Στο εξωτερικό κυκλοφορούν και άλλα εμπορικά στελέχη όπως του *B. brongniartii* έναντι κολεοπτέρων Scarabeidae (Bischoff et al., 2009). Τέλος εμπορικά σκευάσματα με βάση τον μύκητα *Verticillium lecanii* (Zimmerman) (Hydrocreales: Cordycipitaceae) όπως το Mycotal και το Vertalec έχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα έναντι αλευρωδών, θριπών, αφίδων και κοκκοειδών (Diaz et al., 2009).

Πίνακας 2: Στελέχη εντομοπαθογόνων μυκήτων με άδεια κυκλοφορίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Πηγή : EU Pesticides database).

*Άδεια κυκλοφορίας και στην Ελλάδα.

Εντομοπαθογόνος μύκητας		Διάρκεια έγκρισης	
Είδος	Στέλεχος	Έναρξη	Λήξη
<i>Beauveria bassiana</i>	strain 147*	6.6.2017	6.6.2027
	strain ATCC 74040*	1.5.2009	30.4.2022
	strain GHA*	1.5.2009	30.4.2022
	strain NPP111B005	7.6.2017	7.6.2027
<i>Isaria fumosorosea</i> (<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>)	<i>Aporka</i> strain 97*	1.1.2016 1.10.2013	31.12.2030 31.12.2024
<i>Verticillium lecanii</i>	strain Ve6	1.3.2021	29.2.2036
<i>Metarhizium brunneum</i> (<i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>anisopliae</i>)	strain BIPESCO 5/F52	1.5.2009	30.4.2022

Πίνακας 3: Εμπορικά ονόματα σκευασμάτων με στελέχη εντομοπαθογόνων μυκήτων με άδεια κυκλοφορίας στην Ελλάδα (Πηγή: Βάση Δεδομένων SYSPEST, ΥΠΑΑΤ, 2021).

* Μορφή σκευάσματος: SC=Συμπυκνωμένο αιώρημα, OD=Ελαιώδες εναιώρημα, WG= Έναιωρηματοποιήσιμοι κόκκοι, MG= Μικροκοκκώδες.

Εμπορικό όνομα	Μορφή σκευάσματος*	Εντομοπαθογόνος μύκητας, Στέλεχος	Παρασκευαστής, Χώρα
Naturalis	SC OD	<i>Beauveria bassiana</i> , Strain ATCC 74040	CBC (Europe) SRL OD Ιταλία
Botanigard 10,7	SC	<i>Beauveria bassiana</i> , Strain GHA	Laverlam Int. Corp., ΗΠΑ
Ostrinil	MG	<i>Beauveria bassiana</i> strain 147	Natural Plant Protection (N.P.P.) Noguères, Γαλλία
PREFERAL	WG	<i>Isaria fumosorosea</i> var. <i>Aporka</i> strain 97	Certis U.S.A. L.L.C Η.Π.Α.



Εικόνα 11: Εμπορικό σκεύασμα με βάση τον εντομοπαθογόνο μύκητα *I. fumosorosea* var. *Αρογκα* strain 97 (Πηγή: <https://farmachem.gr/>).



Εικόνα 12: Εμπορικό σκεύασμα με βάση τον εντομοπαθογόνο μύκητα *B. bassiana* strain GHA (Πηγή: Γιαννουλάκης).

1.7 Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες ως ενδόφυτα

Ορισμένοι εντομοπαθογόνοι μύκητες έχουν χαρακτηριστεί ως φυσικά ενδόφυτα εν αντιθέσει με άλλους που έχουν εισαχθεί στο φυτό με διάφορες μεθόδους. Οι ερευνητικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί είχαν σκοπό την ενδοφυτική εφαρμογή του μύκητα στο φυτό και να εξεταστεί η δράση του ως παράγοντας βιοελέγχου των εντόμων εχθρών (Vega et al., 2008; Shahid et al., 2012; Mantzoukas & Grammatikopoulos, 2020). Λόγω των πολλαπλών ρόλων που έχουν, η χρήση τους προσφέρει αρκετές λύσεις στην γεωργία, για παράδειγμα ως βιοδιεγέρτες και μέσο αντιμετώπισης όχι μόνο εντόμων εχθρών αλλά και φυτικών

ασθενειών (Kabaluk & Ericsson, 2007; Sasan & Bidochka, 2012; Jaber & Enkerli, 2017).

Πολλά χρόνια έρευνας αποδεικνύουν ότι σχεδόν όλα τα φυτικά είδη σε φυσικά οικοσυστήματα συμβιώνουν με ενδοφυτικούς μύκητες και μυκόρριζα (Μαντζούκας, 2013). Αυτό μπορεί έχει αντίκτυπο στην οικολογία, την ανάπτυξη και την εξέλιξη των φυτών κάνοντας φανερές τις συνέπειες της συμβίωσης αυτής στην διαμόρφωση των οικοσυστημάτων και στην ποικιλότητα των οργανισμών που συνδέονται με αυτά όπως βακτηρίων νηματωδών και εντόμων (Brundrett, 2006; Μαντζούκας, 2013). Εδώ και αρκετά χρόνια τα φυτά συμβιώνουν με ενδοφυτικούς μύκητες και μυκόρριζα και αυτό ίσως συνέβη από την στιγμή που τα φυτά αποίκισαν την ξηρά παίζοντας έτσι σπουδαίο ρόλο στην εξέλιξή τους (Krings et al., 2007; Μαντζούκας, 2013).

Τα φυτά που έχουν αποικιστεί από ένα ενδοφυτικό μύκητα παρέχουν τον απαραίτητο άνθρακα που χρειάζεται ο μύκητας για να αναπτυχθεί και ως αντάλλαγμα ο μύκητας εφοδιάζει το φυτό με άζωτο και το προστατεύει από μυκητολογικές ασθένειες, έντομα και νηματώδεις ενώ παράλληλα αποικίζουν την ριζόσφαιρα (Wicklow et al., 2005; Bruck, 2010; Pava-Ripoll et al., 2011; Waweru et al., 2014; Jaber, 2015). Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες ως ενδόφυτα προστατεύουν το φυτό ξενιστή από έντομα εχθρούς είτε μειώνοντας την κατανάλωση τροφής των προνυμφών είτε λειτουργώντας ως εντομοαπωθητικά (Cory & Ericsson, 2010; Jaber & Ownley, 2018). Η προστασία από μυκητολογικές ασθένειες επιτυγχάνεται είτε αλληλεπιδρώντας με το φυτοπαθογόνο μύκητα παράγοντας δευτερογενείς μεταβολίτες είτε επάγωντας τον μηχανισμό συστημικής αντίστασης των φυτών (ISR). Με την επαγωγή του μηχανισμού το φυτό παράγει φυτοαλεξίνες οι οποίες έχουν αντιμυκητιακές, αντιβακτηριακές και αντικές ιδιότητες (Ownley et al., 2010; Khan et al., 2012; Pieterse et al., 2014). Επιπλέον, με την παροχή αζώτου στο φυτό επιδρούν στην ανάπτυξή του και παράλληλα βελτιώνουν την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων κυρίως σιδήρου από το έδαφος συμβάλλοντας επίσης στην προστασία από φυτικές ασθένειες (Garcia et al., 2011; Sasan & Bidochka, 2012; Liao et al., 2014; Lopez & Sword, 2015; Rios-Moreno et al., 2016; Jaber & Enkerli, 2017). Ο *M. anisopliae* προάγει την ανάπτυξη του φυτού και αναστέλλει την ανάπτυξη

φυτοπαθογόνων μυκήτων όπως *F. oxysporum*, *B. cinerea*, και *A. solani* (García et al., 2011). Οι Kabaluk & Ericsson (2007) ανέφεραν ότι ο παραπάνω μύκητας αύξησε το φρέσκο βάρος του καλαμποκιού όταν οι σπόροι εμβαπτίστηκαν με κονίδια του εν λόγω μύκητα πριν την φύτευση (Vega et al., 2009).

Σε αντίθεση με τα μυκόρριζα όπου αποικίζουν τις ρίζες των φυτών και αναπτύσσονται στη ριζόσφαιρα, οι ενδοφυτικοί μύκητες αναπτύσσονται αποκλειστικά στους φυτικούς ιστούς και απλώνονται στις ρίζες, στα φύλλα, στους βλαστούς και στα στελέχη παράγοντας σπόρια επάνω στο φυτό (Jaber & Enkerli, 2017; Vega, 2018). Επίσης διεγείρουν το ριζικό σύστημα μέσω της έκκρισης φαινολικών ενώσεων στη ριζόσφαιρα και βοηθούν στην καλύτερη απορρόφηση θρεπτικών συστατικών από το έδαφος (Μαντζούκας, 2013).

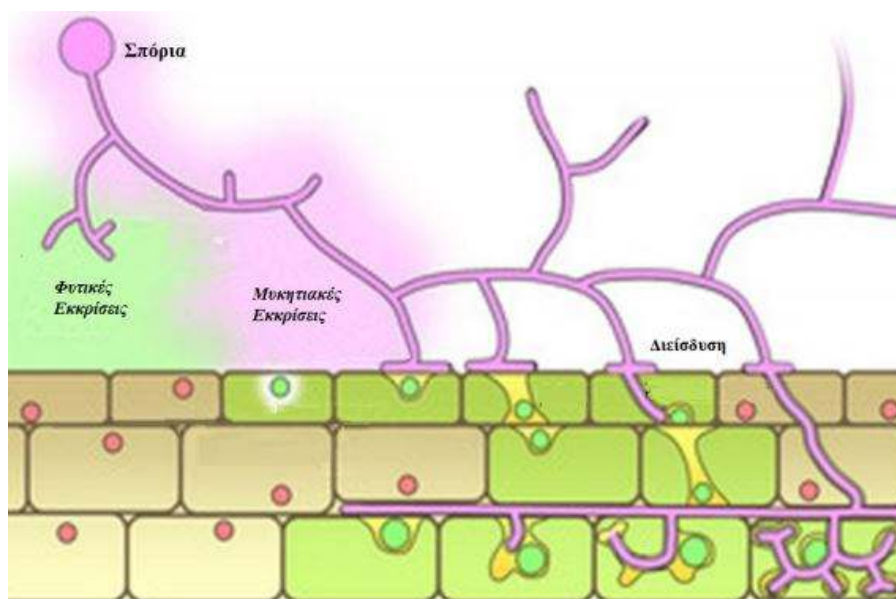
Ως ενδόφυτα έχουν αναφερθεί αρκετοί εντομοπαθογόνοι μύκητες όπως ο *B. bassiana*, ο *Isaria* spp. και ο *M. anisopliae* σε διάφορα φυτικά είδη όπως ο αραβόσιτος (*Zea mays* L.) (Arnold & Lewis, 2005; Kabaluk & Ericsson, 2007; Rondot & Reineke, 2018), μπανάνα (*Musa* sp.) (Akello et al., 2007; Rondot & Reineke, 2018), καφεόδεντρο (*Coffea* sp.) (Posada et al., 2007; Vega et al., 2008), κριθάρι (*Hordeum vulgare*) (Larran et al., 2002a), φασολιά (*Phaseolus vulgaris*) (Larran et al., 2002b; Rondot & Reineke, 2018), τοματιά (Garcia et al., 2011; Rondot & Reineke, 2018), κακάο (*Theobroma cacao*) (Posada & Vega, 2006; Rondot & Reineke, 2018), φοίνικας (*Phoenix* sp.) (Vidal et al., 2006; Rondot & Reineke, 2018), πεύκο (*Pinus halepensis*) (Ganley & Newcombe, 2005; Reay et al., 2010; Rondot & Reineke, 2018), πατατιά (*Solanum tuberosum*) και βαμβάκι (*Gossypium hirsutum*) (Rondot & Reineke, 2018), σακχαροκάλαμο (*Saccharum officinarum*) (Fuller – Schaefer et al., 2005), παπαρούνα (*Papaver somniferum*) (Quesada-Moraga et al., 2006; Rondot & Reineke, 2018), κόρχορος (*Corchorus olitorius*) (Rondot & Reineke, 2018), κασσάβα (*Manihot esculenta*) (Greenfield et al., 2016; Rondot & Reineke, 2018), γλυκό σοργό (*Sorghum bicolor*) (Tefera & Vidal, 2009; Mantzoukas & Grammatikopoulos, 2020), αμπέλι (*Vitis venifera*), καπνός (*Nicotiana tabacum* L.), κοινό κολοκύθι (*Cucurbita pepo* L.) (Rondot & Reineke, 2018), ελαιοκράμβη (*Brassica napus*) (Batta, 2013; Rondot & Reineke, 2018) και τελικώς σε ρύζι (*Oryza* sp.) (Larran et al., 2002a; Tian et al., 2004).

Επιπλέον έχει αναφερθεί η παρουσία του εντομοπαθογόνου μύκητα *Paecilomyces* sp. σε φυτά μπανάνας και στο ρύζι (Cao et al., 2002; Tian et al., 2004).

Η αξιολόγηση της ενδοφυτικότητας των εντομοπαθογόνων μυκήτων έναντι των εντόμων εχθρών δεν θα πρέπει να βασίζεται μόνο στην θνησιμότητα αλλά και στην κατανάλωση τροφής των προνυμφών (Cory & Ericsson, 2010; Jaber & Ownley, 2018). Σε φυτά σοργού η ενδοφυτική εφαρμογή των μυκήτων *B. bassiana*, *M. anisopliae* και *I. fumosorosea* είχαν εντομοαπωθητική δράση έναντι των εντόμων *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Crambidae) και *Sesamia nonagrioides* (Lefebvre) (Lepidoptera: Noctuidae) χωρίς να επηρεαστεί η ανάπτυξη των φυτών (Reddy et al., 2009; Mantzoukas et al., 2015). Επίσης σε φυτά σοργού οι *B. bassiana* και *M. anisopliae* σε συγκέντρωση 10^8 κονίδια/ml μείωσαν την κατανάλωση τροφής των προνυμφών του *S. nonagrioides* κατά 50% σε σχέση με τον μάρτυρα. Ο *I. fumosorosea* σε συγκέντρωση 10^8 κονίδια/ml είχε την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα μειώνοντας την κατανάλωση τροφής κατά 60%. Το βάρος των προνυμφών μεταξύ των μυκήτων στην υψηλότερη συγκέντρωση δεν διέφερε σημαντικά. Αντίθετα σε συγκέντρωση 10^6 και 10^7 κονίδια/ml οι *B. bassiana* και *M. anisopliae* μείωσαν το βάρος κατά 34% από τον μάρτυρα και ο *I. fumosorosea* κατά 46% (Mantzoukas & Grammatikopoulos, 2020).

Οι Powell et al. (2009) ανέφεραν ότι σε φυτά τομάτας ο *B. bassiana* προκάλεσε παρασιτισμό σε προνύμφες τρίτης (L3) ηλικίας του εντόμου *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) ενώ τρέφονταν στο φύλλωμα. Αντίστοιχα σε φυτά βαμβακιού που είχαν αποικιστεί ενδοφυτικά από τον παραπάνω μύκητα το εν λόγω έντομο επιβίωσε $14 \pm 1,3$ ημέρες ενώ στον μάρτυρα $20 \pm 2,5$ ημέρες (Powell et al., 2009; Castillo Lopez & Sword, 2015). Σε άλλη μελέτη αποδείχθηκε ότι ο ενδοφυτικός αποικισμός του *B. bassiana* σε φύλλα σόγιας μείωσε την κατανάλωση τροφής του *Helicoverpa gelotopoeon* (Dyar) (Lepidoptera: Noctuidae) και επηρέασε την ανάπτυξη του (Russo et al., 2018; Vianna et al., 2018). Στην παπαρούνα η ενδοφυτικότητά του εν λόγω μύκητα μείωσε τον αριθμό των προνυμφών του *Iraella luteipes* (Thomson) (Hymenoptera: Cynipidae) σε ποσοστό 73% χωρίς να παρατηρηθεί μύκωση και αύξησε το ύψος του φυτού (Quesada-Moraga et al., 2009; Vidal & Jaber, 2015). Τέλος οι Akello & Sikora (2012) εμβάπτισαν σπόρους

φασολιού σε κονίδια *B. bassiana* και *M. anisopliae* και παρατήρησαν ότι στα φυτά που είχαν εγκατασταθεί οι παραπάνω μύκητες ο πληθυσμός των αφίδων *A. fabae* και *Acyrtosiphon pisum* (M.Harris) (Hemiptera: Aphididae) μειώθηκε (Vidal & Jaber, 2015).



Εικόνα 13: Είσοδος ενδοφυτικού μύκητα στο φυτό (Πηγή: Μαντζούκας, 2013).

1.8 Παγίδευση εντομοπαθογόνων μυκήτων

Ο εντοπισμός εντομοπαθογόνων μυκήτων εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τα καλλιεργούμενα φυτά (Mantzoukas et al., 2020) αλλά και από τις γεωργικές πρακτικές (Quesada-Moraga et al., 2007; Tkaczuk, 2008; Jabbour & Barbercheck, 2009; Oliveira et al., 2013; Mantzoukas et al., 2020). Το έδαφος προσφέρει ευνοϊκές συνθήκες για τους μύκητες καθώς τους προστατεύει από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά και από άλλους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την αφθονία τους (Mantzoukas et al., 2020). Εξαιτίας της ευαισθησίας τους στις περιβαλλοντικές αλλαγές, ο αποικισμός του εδάφους από εντομοπαθογόνους μύκητες μπορούν να αποτελέσουν δείκτες της κατάστασής του (Meiyling & Eilenberg, 2006; Mantzoukas et al., 2020).

Η διαδικασία της παγίδευσης μπορεί να επιτευχθεί μέσω εντόμων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως δόλωμα παγίδευσης εντομοπαθογόνων μυκήτων. Έτσι, η παγίδευση πληθυσμών εντομοπαθογόνων μυκήτων πραγματοποιείται μέσω της τεχνικής παγίδευσής τους με έντομα. Η συγκεκριμένη τεχνική παγίδευσης αναπτύχθηκε αρχικά για την απομόνωση εντομοπαθογόνων νηματωδών (Meyling et al., 2011; Mantzoukas et al., 2020). Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και για την απομόνωση των εντομοπαθογόνων μυκήτων. Ως δόλωμα χρησιμοποιείται η προνύμφη του λεπιδοπτέρου *Galleria mellonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Pyralidae) (Galleria Bait Method), και του κολεοπτέρου *Tenebrio molitor* (Linnaeus) (Coleoptera: Tenebrionidae). Αρκετές μελέτες έχουν αξιολογήσει την χρήση διάφορων εντόμων-παγίδων από διαφορετικές τάξεις. Η παγίδευση με το λεπιδόπτερο *G. mellonella* φαίνεται ότι αποτελεί την πιο ευαίσθητη τεχνική από κάθε άλλο έντομο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δόλωμα, και είναι χρήσιμη για την ανίχνευση και την αναγνώριση ενός μεγάλου εύρους εντομοπαθογόνων μυκήτων (Meyling & Eilenberg, 2006; Mantzoukas et al., 2020). Βέβαια σε ερευνητικές μελέτες που χρησιμοποιείται ως δόλωμα μόνο το *G. mellonella* έχει αποδειχθεί ότι απομονώνεται μεγάλος αριθμός εντομοπαθογόνων μυκήτων αλλά είναι χαμηλή η ποικιλομορφία μεταξύ των ειδών στο δείγμα εδάφους (Mantzoukas et al., 2020). Οι Klingen et al. (2002) ανέφεραν ότι η απομόνωση του εντομοπαθογόνου μύκητα *Tolyrocladium cylindrosporium* (W.Gams) (Hydrocales: Ophiocordycipitaceae) πραγματοποιήθηκε πιο εύκολα από την προνύμφη του *Delia floralis* (Fallén) (Diptera: Anthomyiidae) σε σύγκριση με το *G. mellonella*. Εκτός από το *G. mellonella*, στην τεχνική της παγίδευσης χρησιμοποιούνται και άλλα έντομα όπως το *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae), *T. molitor*, *Diabrotica virgifera* (LeConte) (Coleoptera: Chrysomelidae) (Pilz et al., 2006; Oreste et al., 2012; Alali et al., 2019).

Έχει αναφερθεί ότι οι μύκητες *M. anisopliae* και *I. fumosorosea* ήταν τα κύρια είδη εντομοπαθογόνων μυκήτων που απομονώθηκαν από εδάφη στην Πολωνία χρησιμοποιώντας ως δόλωμα προνύμφη *G. mellonella* (Mietkiewski et al., 1998; Tkaczuk, 2008; Tkaczuk et al., 2012). Αντίθετα, στελέχη του *B. bassiana* βρέθηκαν ως κύριες απομονώσεις σε εδάφη αρκετών χωρών όπως η Κίνα, η Ισπανία, η Δανία, η

Ιταλία, η Αλβανία, το Μεξικό και η Κορέα χρησιμοποιώντας και πάλι ως δόλωμα προνύμφη *G. mellonella* (Tarasco & Polisenio, 2005; Quesada-Moraga et al., 2007; Sun & Liu, 2008; Sánchez-Peña et al., 2010; Shin et al., 2013; Mantzoukas et al., 2020). Συνακόλουθα στην νότια Ιταλία μέσω της δολωματικής προνύμφης *G. mellonella* δεν απομονώθηκαν στελέχη των ειδών *M. anisopliae* και *Pureocillium lilacinum* (Thom) (Luangsaard, Houbraeken, Hywel-Jones & Samson) (Hydrocreales: Ophiocordycipitaceae). Αντιθέτως απομονώθηκαν στελέχη του *B. bassiana*, που σημαίνει ότι ευνοούνται από το έδαφος και ειδικότερα από τις κλιματικές συνθήκες (Mantzoukas et al., 2020). Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε εδάφη ελαιώνων μεταξύ τεσσάρων περιοχών της δυτικής Ελλάδας απεδείχθη ότι ο μύκητας *M. anisopliae* ήταν ο κύριος μύκητας που απομονώθηκε σε ποσοστό 33,8% σε σύγκριση με τον *B. bassiana* που ήταν 25,4%. Ως δόλωμα χρησιμοποιήθηκαν προνύμφες των εντόμων *P. interpunctella*, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrychidae), *Tribolium confusum* (Jacquelin du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Trogoderma granarium* (Everts) (Coleoptera: Dermestidae), *E. kuehniella* και *T. molitor* (Mantzoukas et al., 2020).

1.9 Σκοπός του πειράματος

Η καλλιέργεια της τομάτας έχει τεράστια οικονομική σημασία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω εξαιτίας των προβλημάτων ανθεκτικότητας που παρουσιάζει το *T. absoluta* καθίσταται δύσκολη η διαχείρησή του. Γι' αυτό οι εντομοπαθογόνοι μύκητες αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο αντιμετώπισης του εντόμου και είναι αποτελεσματικοί και σε άλλα έντομα όπως το *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (Lagogiannis et al., 2020) όταν εφαρμόζονται με απευθείας ψεκασμό πάνω στην προνύμφη αρκεί να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Τα τελευταία έτη η έρευνα στην εφαρμογή των εντομοπαθογόνων μυκήτων εστιάζει στη δυνατότητα της εφαρμογής τους ως ενδόφυτα λόγω των πλεονεκτημάτων τους όπως η μείωση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων, αύξηση του ύψους του φυτού, καταπολέμηση ζωικών εχθρών, δυνατότητα προληπτικής εφαρμογής. Επιπλέον, δεν προκαλούν τοξικότητα στο φυτό.

Συγκεκριμένα έχει μελετηθεί η επίδραση των εντομοπαθογόνων μυκήτων ως ενδόφυτα στις προνύμφες του *T. absoluta* όταν εφαρμόζονται διαφυλλικά και με εμβάπτιση των ριζών σε εναιώρημα μύκητα (Allegrucci et al., 2017) αλλά και στην επιβίωση της νύμφης του *T. absoluta* στο έδαφος με ριζοπότισμα (Erasmus et al., 2021). Πρόσφατα μελετήθηκε και η εμβάπτιση φύλλων τομάτας σε εναιώρημα μύκητα όπου τοποθετήθηκαν σε αυτά προνύμφες *T. absoluta* δεύτερης (L2) και τρίτης (L3) ηλικίας (Silva et al., 2020). Ωστόσο δεν έχει μελετηθεί εκτενώς η ενδοφυτική δράση εντομοπαθογόνων μυκήτων που εφαρμόζονται με ριζοπότισμα και η επίδρασή τους στις προνύμφες του *T. absoluta*, όταν αυτές τρέφονται σε φυτά τομάτας. Επίσης, σκοπός της μελέτης είναι να εξεταστεί η επίδραση πληθυσμών εντομοπαθογόνων μυκήτων που απομονώθηκαν από εδάφη της Αχαΐας και της Κρήτης στο *T. absoluta*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Φυτά τομάτας

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας ποικιλίας <<ΕΛΠΙΔΑ F1>> από τον Αγροτικό Οίκο Σπύρου. Η σπορά των φυτών γινόταν σε πλαστικούς δίσκους σποράς διαστάσεων 40 cm X 40 cm. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε αποτελούνταν από μείγμα περλίτη - τύρφης αναλογίας 1 : 5. Στη συνέχεια τα φυτάρια στο στάδιο των 2 - 3 πραγματικών φύλλων μεταφυτεύονταν σε ατομικές γλάστρες διαμέτρου 12 cm και ύψους 10 cm. Η ανάπτυξη των φυτών πραγματοποιήθηκε σε φυσικές συνθήκες φωτισμού στο θερμοκήπιο του εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας, σε ρυθμιζόμενες συνθήκες θερμοκρασίας 25 ± 3 °C και σχετικής υγρασίας 65 ± 10 % σε εντομολογικούς κλωβούς διαστάσεων 100 cm X 80 cm X 70 cm. Οι εντομολογικοί κλωβοί είχαν ξύλινο σκελετό. Επιπλέον ήταν τοποθετημένοι σε μεταλλικούς πάγκους ύψους 80 cm. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με θερμοκουρτίνες. Τα φυτά αρδεύονταν καθημερινά και ελέγχονταν για τυχόν μυκητολογικές και εντομολογικές προσβολές. Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος δεν έγινε καμία εφαρμογή

φυτοπροστατευτικού προϊόντος. Για την εκτροφή του *T. absoluta* χρησιμοποιήθηκαν φυτά τα οποία είχαν αναπτύξει το 5^ο πραγματικό φύλλο. Τα φυτά που χρησιμοποιούνταν στις πειραματικές διαδικασίες διατηρούνταν σε θερμοκρασία 25 ± 1 °C, σχετική υγρασία 65 ± 5 % και φωτοπερίοδο 16 Φ: 8 Σ.



Εικόνα 14: Σπορείο για την προβλάστηση φυτών τομάτας.

2.2 Η εκτροφή του *Tuta absoluta*

Η εκτροφή του *T. absoluta* πραγματοποιήθηκε στο εντομοτροφείο του εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας σε κλωβό διαστάσεων 36 X 60 cm με φυτά τομάτας. Οι συνθήκες εκτροφής ήταν θερμοκρασία 25 ± 1 °C, σχετική υγρασία 65 ± 5 % και φωτοπερίοδος 16 Φ: 8 Σ. Τα φυτά και τα τοιχώματα του κλωβού ελέγχονταν καθημερινά για τυχόν ύπαρξη φυσικών εχθρών του *T. absoluta* ή προσβολής των φυτών από άλλα έντομα ή ασθένειες.



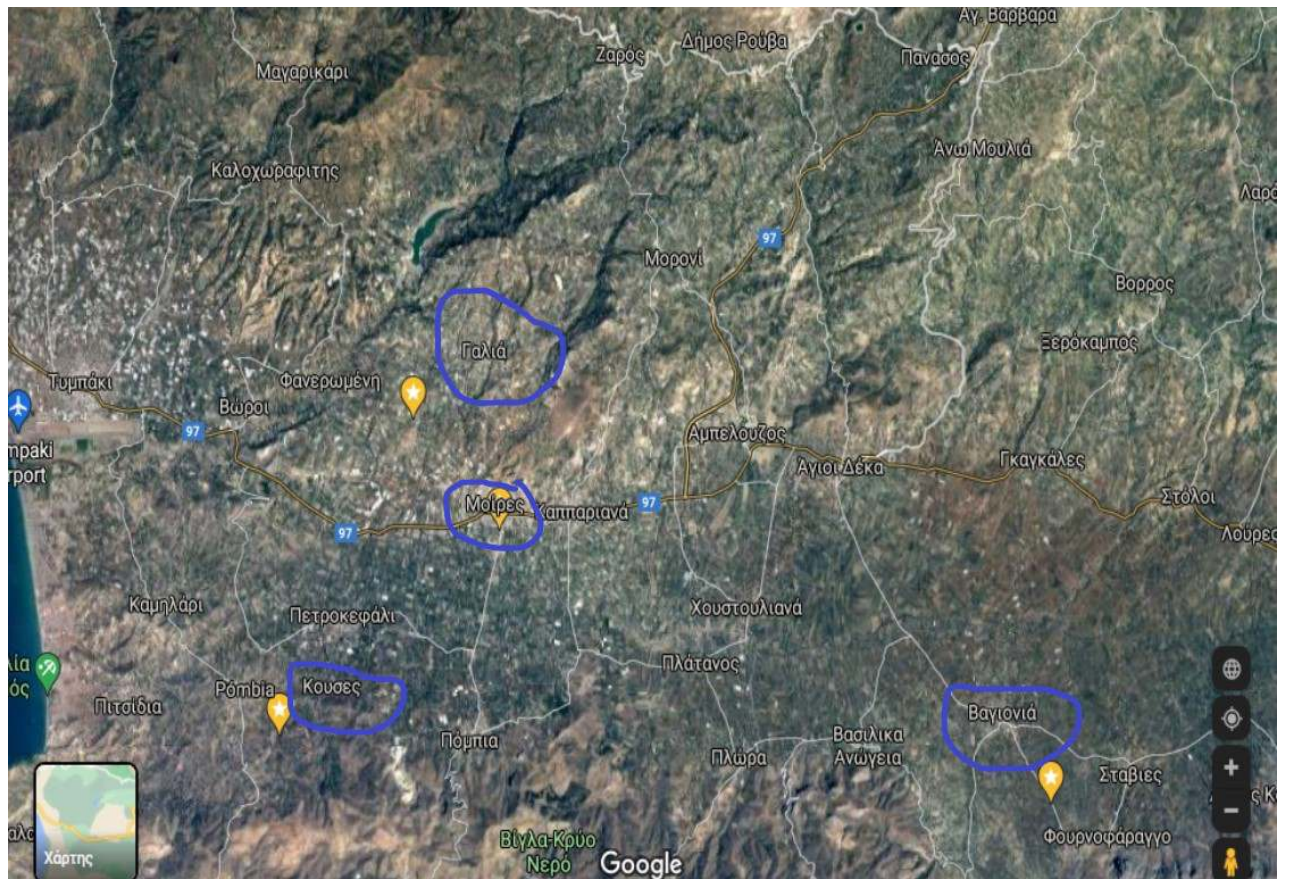
Εικόνα 15: Κλωβός εκτροφής *T. absoluta*.

2.3 Δειγματοληψία- Παγίδευση εντομοπαθογόνων μυκήτων

Οι δειγματοληψίες εδάφους για τη συλλογή των εντομοπαθογόνων μυκήτων πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσαράς Ηρακλείου Κρήτης και συγκεκριμένα από τις περιοχές: Κουσές ($24^{\circ}49'06.9''\text{A}$, $35^{\circ}00'37.7''\text{B}$), Γαλιά ($24^{\circ}51'08.2''\text{A}$, $35^{\circ}03'59.1''\text{B}$), Λούκια ($25^{\circ}00'46.0''\text{A}$, $34^{\circ}59'54.4''\text{B}$) και Μοίρες ($24^{\circ}52'25.9''\text{A}$, $35^{\circ}02'49.1''\text{B}$). Σε έναν βιολογικό ελαιώνα ανά περιοχή συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους στις 17 Μαρτίου 2020. Σε οκτώ τυχαίες θέσεις του ελαιώνα και σε απόσταση περίπου 1 m από τον κορμό του πλησιέστερου δένδρου, συλλεγόταν χώμα ποσότητας 300 gr από την επιφάνεια του εδάφους και μέχρι βάθους 10 cm. Στη συνέχεια το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε χωριστά σε πλαστική σακούλα και αποθηκεύτηκε στους 4°C μέχρι να μεταφερθεί στο εργαστήριο για επεξεργασία. Τα σημεία της δειγματοληψίας καταγράφηκαν μέσω της εφαρμογής κινητού τηλεφώνου Map Coordinates (βλέπε εικόνα 16).

Η παγίδευση, η απομόνωση και η ταυτοποίηση των εντομοπαθογόνων μυκήτων από τα δείγματα εδάφους πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Mantzoukas et al. (2020) στο εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας και Ανοσολογίας του τμήματος Φαρμακευτικής του Πανεπιστημίου Πατρών. Η παγίδευση των μυκήτων έγινε με τη μέθοδο της χρήσης προνυμφών ή ακμαίων των εντόμων *P. interpunctella*, *R. dominica*, *T. confusum*, *T. granarium*, *T. molitor* και *E. kuehniella* ως δόλωμα. Η διαδικασία ξεκίνησε με την τοποθέτηση του χώματος σε τρυβλία Petri μαζί με προνύμφες ή ακμαία των παραπάνω εντόμων. Στη συνέχεια τα τρυβλία αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες σκότους σε θερμοκρασία 25 ± 1 °C για 14 ημέρες. Με το πέρας των 14 ημερών οι νεκρές προνύμφες ή τα νεκρά ακμαία αποστειρώθηκαν με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) 1% και τοποθετούνταν σε τρυβλία με διηθητικό χαρτί που ήταν εμποτισμένο με νερό. Τέλος τα τρυβλία τοποθετήθηκαν σε σκοτεινό μέρος σε θερμοκρασία 25 ± 1 °C και ελέγχονταν καθημερινά για βλάστηση εντομοπαθογόνων μυκήτων.

Η απομόνωση πραγματοποιήθηκε με καλλιέργεια των κονιδίων των μυκήτων σε υπόστρωμα SDA (Sabouraud Dextrose Agar) που είχαν βλαστήσει επάνω στα προσβεβλημένα ακμαία ή προνύμφες. Τα τρυβλία με τα κονίδια των μυκήτων τοποθετήθηκαν σε θαλάμους σε θερμοκρασία 25 ± 1 °C έως ότου αναπτυχθούν οι μύκητες. Για την αποφυγή επιμολύνσεων οι μύκητες που είχαν αναπτυχθεί απομονώνονταν εκ νέου. Η ταυτοποίηση των εντομοπαθογόνων μυκήτων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (PCR).



Εικόνα 16: Περιοχές δειγματοληψίας δειγμάτων εδάφους.



Εικόνα 17: Βιολογικός ελαιώνας συλλογής δειγμάτων εδάφους (Περιοχή Γαλιά Ηρακλείου Κρήτης).



Εικόνα 18: Συλλογή χώματος από βιολογικό ελαιώνα και τοποθέτησή του σε πλαστική σακούλα (Περιοχή Κουσές Ηρακλείου Κρήτης).

2.4 Πειραματική διαδικασία

Οι μύκητες που απομονώθηκαν από τα δείγματα εδάφους και χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία ήταν *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti*. Η δράση τους συγκρίθηκε με το εμπορικό σκεύασμα Botaniguard 10,7SC με την μορφή συμπυκνωμένου εναιωρήματος *B. bassiana* strain GHA 10,735% και με εγγυημένη σύνθεση: *B. bassiana* strain GHA: 10,735% β/ο και με βοηθητικές ουσίες 83,79% β/β. Το σκεύασμα διατίθεται στο εμπόριο από την εταιρεία ΕΥΘΥΜΙΑΔΗΣ Α.Ε και είχε απομονωθεί στο Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας και Ανοσολογίας του πανεπιστημίου Πατρών. Ως μάρτυρες χρησιμοποιήθηκαν απιονισμένο νερό, και το εντομοκτόνο σκεύασμα Minecto alpha 0/1,25 SC (Syngenta Hellas AEBE) με δραστικές ουσίες cyantraniliprole και acibenzolar-S-methyl, με εγγυημένη σύνθεση 10% β/ο cyantraniliprole 1,25% β/ο acibenzolar-S-methyl και βοηθητικές ουσίες 89,1% β/β.

Επιπλέον μελετήθηκε η επίδραση *M. brunneum* var. *Achaia* και *B. bassiana* var. *Achaia* που είχαν απομονωθεί από δείγματα εδάφους εντός του αστικού ιστού και συγκεκριμένα από το δασύλλιο της Πάτρας. Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό.

Η συγκέντρωση όλων των εναιωρημάτων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 1×10^8 κονίδια/ml. Η πειραματική διαδικασία ξεκίνησε με την προσθήκη 20 ml εναιωρήματος από κάθε μύκητα σε ποτήρι ζέσεως που κατόπιν αναδεύονταν επαρκώς για 10 λεπτά. Στη συνέχεια γινόταν ριζοπότισμα με 3 ml εναιωρήματος ανά φυτό που είχε 8 φύλλα και ύψος περίπου 30 cm. Πριν την εφαρμογή των μυκήτων τα φυτά αρδεύονταν και οι επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν βραδινές ώρες. Μετά την εφαρμογή, η επιφάνεια του εδάφους της κάθε γλάστρας καλυπτόταν προσεκτικά με λεπτό φύλλο αλουμινίου προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής υγρασία για την εγκατάσταση των μυκήτων. Έπειτα τα φυτά μεταφέρθηκαν στο εντομοτροφείο του Εργαστηρίου Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας σε κλωβούς διαστάσεων 116 X 94 X 60 cm σε σταθερές συνθήκες με θερμοκρασία 25 ± 1 °C και σχετική υγρασία $65 \pm 5\%$. Το φύλλο αλουμινίου παρέμενε στις γλάστρες για 2 ημέρες. Τα φυτά αρδεύονταν τουλάχιστον 2 φορές την εβδομάδα προκειμένου να εξασφαλίζονται οι απαραίτητες συνθήκες υψηλής υγρασίας.

Μετά από 14 ημέρες επιλέγονταν τυχαία ένα φυτό από κάθε επέμβαση και αποστέλλονταν στο Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας και Ανοσολογίας του τμήματος Φαρμακευτικής του πανεπιστημίου Πατρών με σκοπό να υπολογιστεί το ποσοστό αποικισμού των μυκήτων που εφαρμόστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, ο εντοπισμός των εντομοπαθογόνων μυκήτων πραγματοποιήθηκε σε υπόστρωμα SDA (Μαντζούκας 2013). Από το κάθε φυτό τεμαχίστηκε ξεχωριστά το κάθε ένα από τα 8 φύλλα του, σε τμήματα 1 cm X 0,5 cm. Έπειτα αποστειρώθηκαν για ένα λεπτό με διάλυμα αιθανόλης 96%, με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) 6% για πέντε λεπτά και ξανά για 30 δευτερόλεπτα σε διάλυμα αιθανόλης 96%. Εν συνεχεία, τα φύλλα τοποθετήθηκαν με μεταλλικό γάντζο σε υπόστρωμα SDA. Εκεί αναπτύχθηκαν σε συνθήκες σκότους σε θερμοκρασία 25 °C ± 1 και 90% υγρασία και παρακολουθούνταν τακτικά για επτά ημέρες. Μετά από 7 ημέρες προσδιορίστηκε η

βλάστηση των μυκήτων στα φύλλα με την βοήθεια μικροσκοπίου (40X). Ο αποικισμός εκτιμήθηκε διαιρώντας των αριθμό των φύλλων που εμφάνισαν μύκητα προς τον συνολικό αριθμό φύλλων.

Την 15^η ημέρα από την εφαρμογή του εναιωρήματος, ωά πέμπτης ημέρας από τα οποία πολύ σύντομα θα εκκολαπτόταν η προνύμφη του *T. absoluta*, τοποθετούνταν επάνω στα φυτά της κάθε μεταχείρισης ώστε να γίνει καταμέτρηση της απόστασης που θα διένυε η νεοεκκολαφθείσα προνύμφη από το ωό μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της. Για να συλλεχθούν τα ωά πέμπτης ημέρας γινόταν εισαγωγή καθαρών φυτών τομάτας στο κλωβό εκτροφής του *T. absoluta* προκειμένου να συλλεχθούν ωά πρώτης ημέρας τα οποία κατόπιν τοποθετούνταν σε φυλλάριο τομάτας μέσα σε τρυβλίο. Για την συλλογή των ωών χρησιμοποιήθηκε λεπτό πινέλο. Τοποθετούνταν από 1 ωό στο 3^ο και στο 5^ο φύλλο του κάθε φυτού. Χρησιμοποιήθηκαν 10 φυτά ανά επέμβαση.

Μετά τη μέτρηση της απόστασης, το κάθε φύλλο με προνύμφη καλυπτόταν με λεπτό υφασμάτινο κλωβό (βλέπε εικόνα 27). Η ανάπτυξη της προνύμφης καταγραφόταν σε καθημερινή βάση. Οι νύμφες αφαιρούνταν προσεκτικά και ζυγίζονταν ατομικά σε ηλεκτρονική ζυγαριά (ACS 80-4, KERN & Sohn GmbH). Το πείραμα επαναλήφθηκε 3 φορές για τα στελέχη μυκήτων της Κρήτης, ενώ για τα στελέχη των μυκήτων της Αχαΐας 1 φορά.



Εικόνα 19: Εναιωρήματα μυκήτων που απομονώθηκαν από εδάφη στην Αχαΐα. Α) Εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana*, Β) *B. bassiana* var. *Achaia*, C) *M. brunneum* var. *Achaia*.



Εικόνα 20: Εναιωρήματα μυκήτων που απομονώθηκαν από εδάφη στην Κρήτη. Α) *M. anisopliae* var. *Kriti* Β) *B. bassiana* var. *Kriti*



Εικόνα 21: Φυτά τομάτας που ριζοποτίστηκαν με *M. brunneum* var. *Achaia* και *B. bassiana* var. *Achaia* και επικαλύφθηκαν με λεπτό φύλλο αλουμινίου.



Εικόνα 22: Φυτά τομάτας που έχουν αποικιστεί με *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti*.



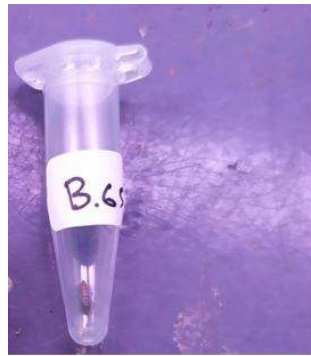
Εικόνα 23: Στοά προνύμφης *T. absoluta* σε φυτό τομάτας που έχει αποικιστεί με *B. bassiana* var. *Kriti*.



Εικόνα 24: Στοά προνύμφης *T. absoluta* σε φυτό τομάτας που έχει αποικιστεί με *M. anisopliae* var. *Kriti*.



Εικόνα 25: Συλλογή και τοποθέτηση ωών *T. absoluta* με πινέλο σε τρυβλίο με φύλλο τομάτας για διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας.



Εικόνα 26: Φιαλίδιο συλλογής νυμφών *T. absoluta*.



Εικόνα 27: Λεπτός υφασμάτινος κλωβός.

2.5 Στατιστική επεξεργασία δεδομένων

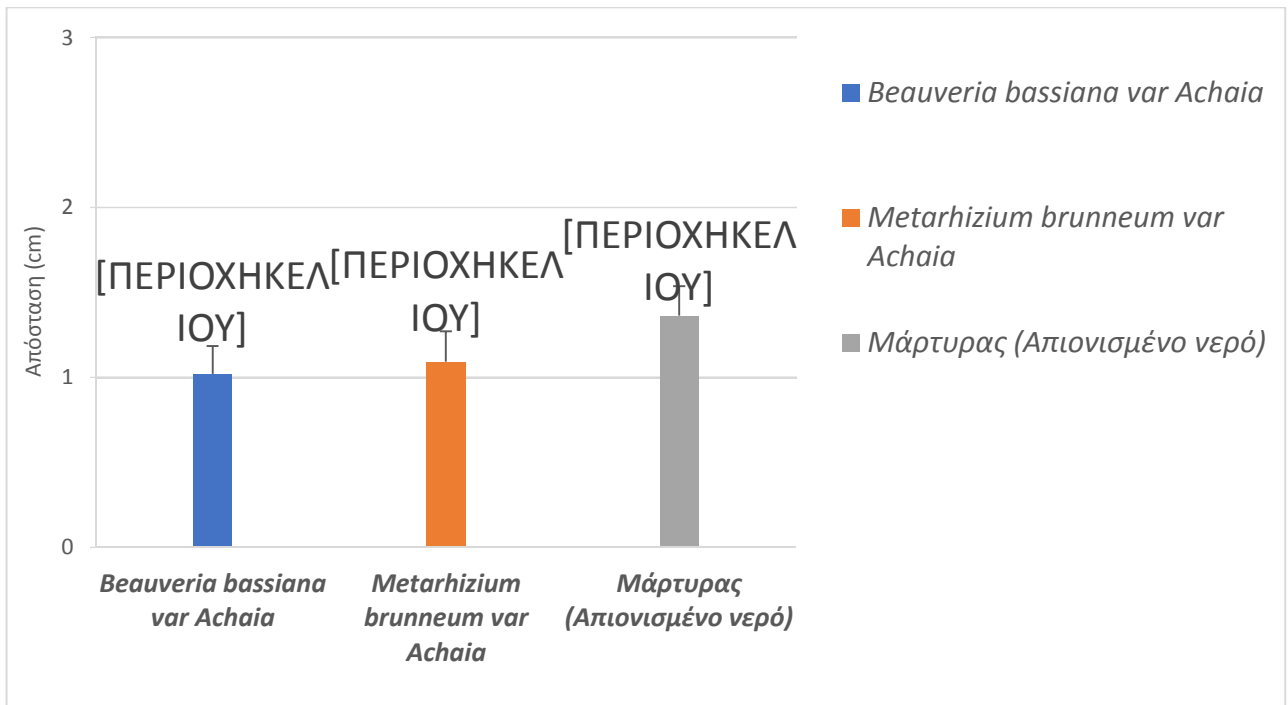
Τα δεδομένα που αφορούσαν την απόσταση που διένυσε η προνύμφη από το ωό μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της, την διάρκεια ανάπτυξης της προνύμφης και το βάρος της νύμφης αναλύθηκαν με την μέθοδο της ανάλυσης διασποράς (ANOVA) με παράγοντα την επέμβαση. Οι αναλύσεις των δεδομένων έγιναν με την χρήση του στατιστικού πακέτου JMP (SAS Institute, 2012) ενώ οι συγκρίσεις των μέσων έγιναν με την δοκιμασία των Tukey – Kramer.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Αποτελέσματα

3.1 Εντομοπαθογόνοι μύκητες του νομού Αχαΐας

3.1.1 Απόσταση μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς

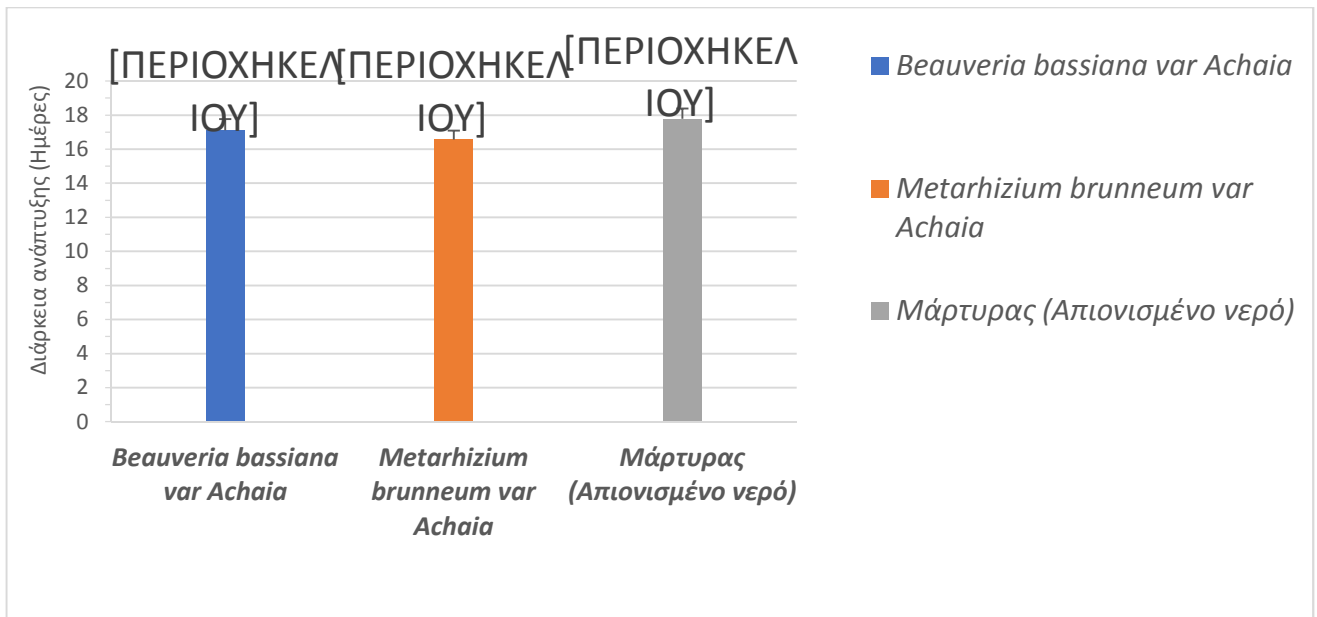
Το ποσοστό αποικισμού από τους μύκητες *B. bassiana* var. *Achaia* και *M. brunneum* var. *Achaia* ήταν 75% από τον καθένα. Στο ιστόγραμμα 1 φαίνεται ότι η απόσταση που διένυσε η νεοεκκολαφθείσα προνύμφη από το ωό μέχρι να δημιουργήσει στοά στον μάρτυρα ήταν $1,36 \pm 0,2$ cm. Στους μύκητες *B. bassiana* var. *Achaia* και *M. brunneum* var. *Achaia* ήταν $1,02 \pm 0,2$ cm και $1,09 \pm 0,2$ cm αντίστοιχα. Βρέθηκε ότι ανάμεσα στις επεμβάσεις δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά ($F= 1,10$, $df = 2,39$, $P= 0,343$).



Ιστόγραμμα 1: Απόσταση (μ.ο ± τ.σ) που διένυσε η προνύμφη από το σημείο εκκόλαψής της μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της, σε φύλλα φυτών που είχαν δεχθεί επεμβάσεις εντομοπαθογόνων μυκήτων του νομού Αχαΐας. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

3.1.2 Διάρκεια ανάπτυξης

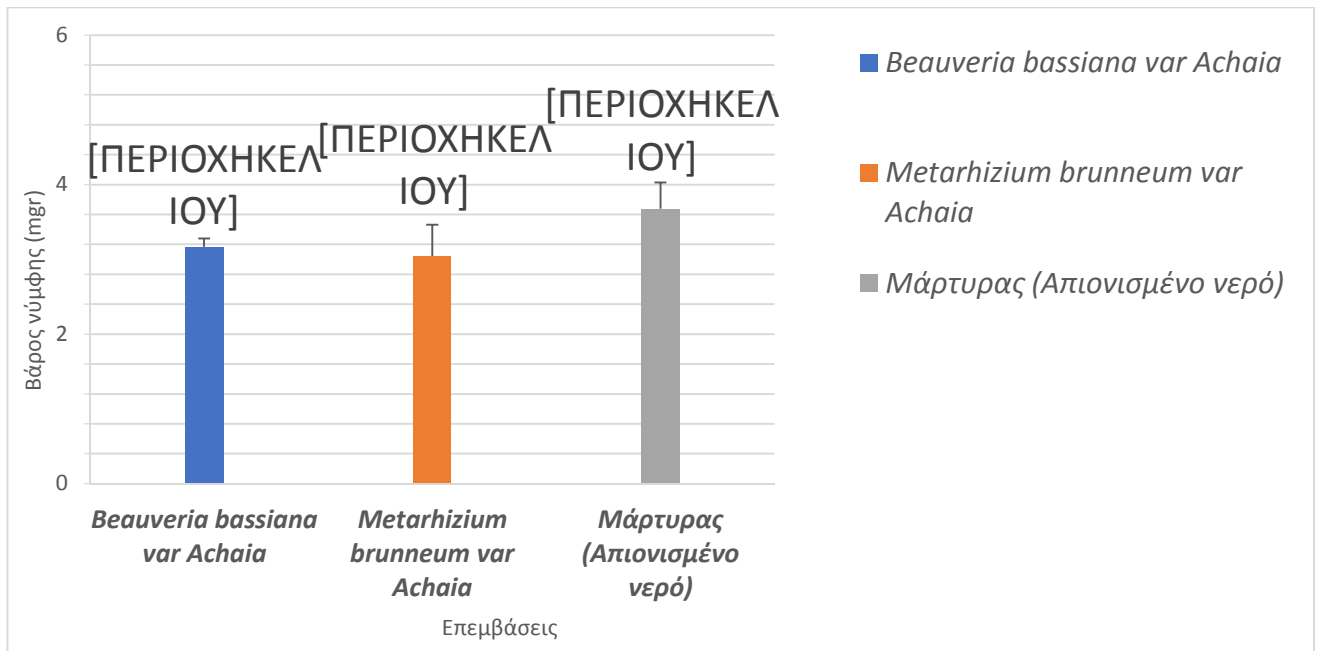
Σύμφωνα με το ιστόγραμμα 2 η διάρκεια ανάπτυξης της προνύμφης του *T. absoluta* στην επέμβαση με *B. bassiana* var. *Achaia* ήταν $17,7 \pm 0,6$ ημέρες και με *M. brunneum* var. *Achaia* $16,6 \pm 0,7$ ημέρες. Στον μάρτυρα η διάρκεια ανάπτυξης υπολογίστηκε στις $17,1 \pm 0,6$ ημέρες. Μεταξύ των επεμβάσεων και του μάρτυρα δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($F= 0,91$, $df= 2,22$, $P= 0,415$).



Ιστόγραμμα 2: Διάρκεια ανάπτυξης (μ.ο ± τ.σ) των προνυμφών του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων του νομού Αχαΐας. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

3.1.3 Βάρος νύμφης

Στο ιστόγραμμα 3 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το βάρος της νύμφης σε φυτά τομάτας που αποικίστηκαν ενδοφυτικά με *B. bassiana var. Achaia* και *M. brunneum var. Achaia* ήταν $3,2 \pm 0,1$ και $3 \pm 0,4$ mgr αντίστοιχα. Στον μάρτυρα, το βάρος βρέθηκε ότι ήταν $3,6 \pm 0,3$ mgr. Οι επεμβάσεις δεν επηρέασαν σημαντικά το βάρος της νύμφης ($F= 1,12$, $df= 2,22$, $P= 0,345$).



Ιστόγραμμα 3: Βάρος νύμφης ($\mu.o \pm \tau.o$) του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων του νομού Αχαΐας. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

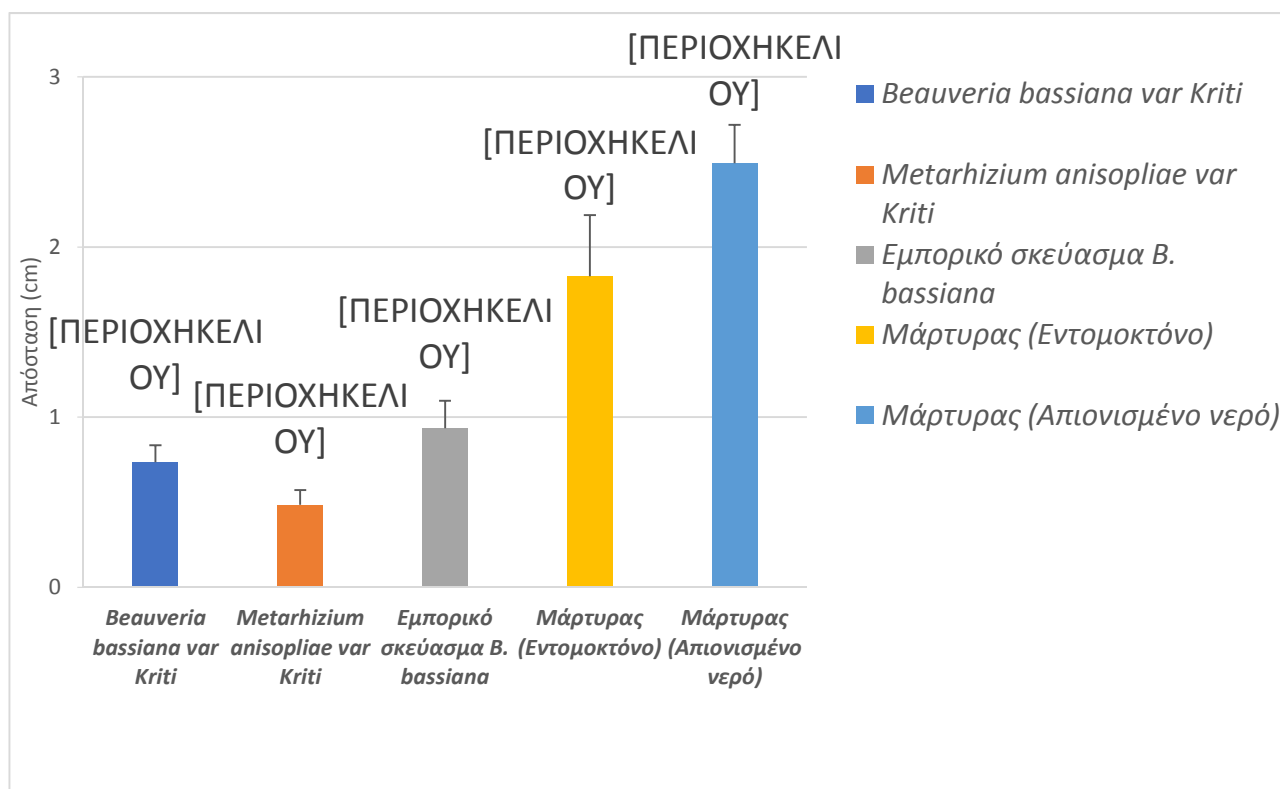
3.2 Εντομοπαθογόνοι μύκητες Κρήτης

3.2.1 Απόσταση μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς

1^η επανάληψη

Το ποσοστό αποικισμού για τους μύκητες *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* και *B. bassiana* strain *GHA* 10,735% ήταν 85%, 82% και 80%, αντίστοιχα. Η απόσταση της προνύμφης από το ωό μέχρι να δημιουργήσει στοά σε φυτά τομάτας που έχουν αποικιστεί με *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* αλλά και με εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* αντίστοιχα ήταν $0,73 \pm 0,09$, $0,48 \pm 0,08$ cm και $0,93 \pm 0,2$ cm αντίστοιχα. Μετά την επέμβαση με το εντομοκτόνο η προνύμφη χρειάστηκε να διανύσει απόσταση $1,8 \pm 0,4$ cm ενώ με το απιονισμένο νερό η απόσταση ήταν $2,5 \pm 0,2$ cm. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει στατιστική διαφορά ανάμεσα στις επεμβάσεις ($F= 15,75$, $df= 4,65$, $P< 0,001$). Συγκεκριμένα τα *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* και το εμπορικό

σκεύασμα *B. bassiana* διαφέρουν σημαντικά από τις επεμβάσεις με το εντομοκτόνο και το απιονισμένο νερό, με την μικρότερη απόσταση της προνύμφης να καταγράφεται στο *M. anisopliae* var. *Kriti*. Μεταξύ των επεμβάσεων με τους μύκητες δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές.

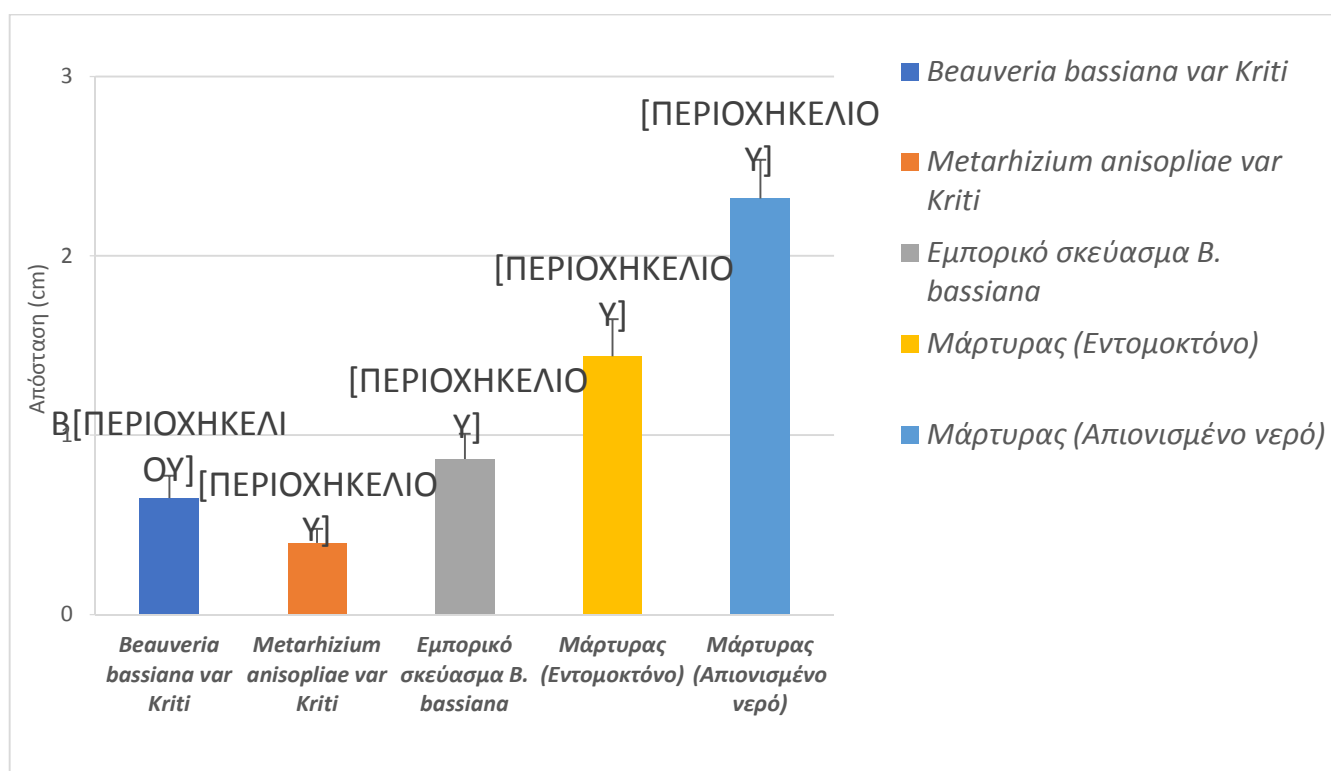


Ιστόγραμμα 4: Απόσταση (μ.ο ± τ.σ) που διένυσε η προνύμφη του *Tuta absoluta* από το σημείο εκκόλαψής της μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της, σε φύλλα φυτών που είχαν δεχθεί επεμβάσεις εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης, εμπορικού σκευάσματος *B. bassiana*, εντομοκτόνου και απιονισμένου νερού. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

2^η επανάληψη

Το ποσοστό αποικισμού για τους μύκητες *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* και *B. bassiana* strain *GHA* 10,735% ήταν 85%, 82% και 80%, αντίστοιχα. Στο ιστόγραμμα 5 στις επεμβάσεις με εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* και με *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* βρέθηκε ότι η απόσταση ήταν $0,86 \pm 0,1$, $0,65 \pm 0,1$ cm και $0,4 \pm 0,08$ cm αντίστοιχα. Στο απιονισμένο νερό ήταν $2,32 \pm 0,2$ cm και στο εντομοκτόνο $1,44 \pm 0,2$ cm. Βρέθηκε ότι οι αποστάσεις που

διένυσε η προνύμφη *T. absoluta* στους δύο μύκητες έχουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις ($F= 22,50$, $df= 4,41$, $P< 0,001$). Η προνύμφη διανύει την μικρότερη απόσταση από το ωό σε φύλλα τομάτας που έχουν αποικιστεί με *M. anisopliae* var. *Kriti* και *B. bassiana* var. *Kriti* με το πρώτο να διαφέρει σημαντικά με το εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* και το μάρτυρα (εντομοκτόνο). Η απόσταση ήταν σημαντικά αυξημένη στο μάρτυρα (απιονισμένο νερό). Μεταξύ του *B. bassiana* var. *Kriti* και του εμπορικού σκεύασματος *B. bassiana* δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές.

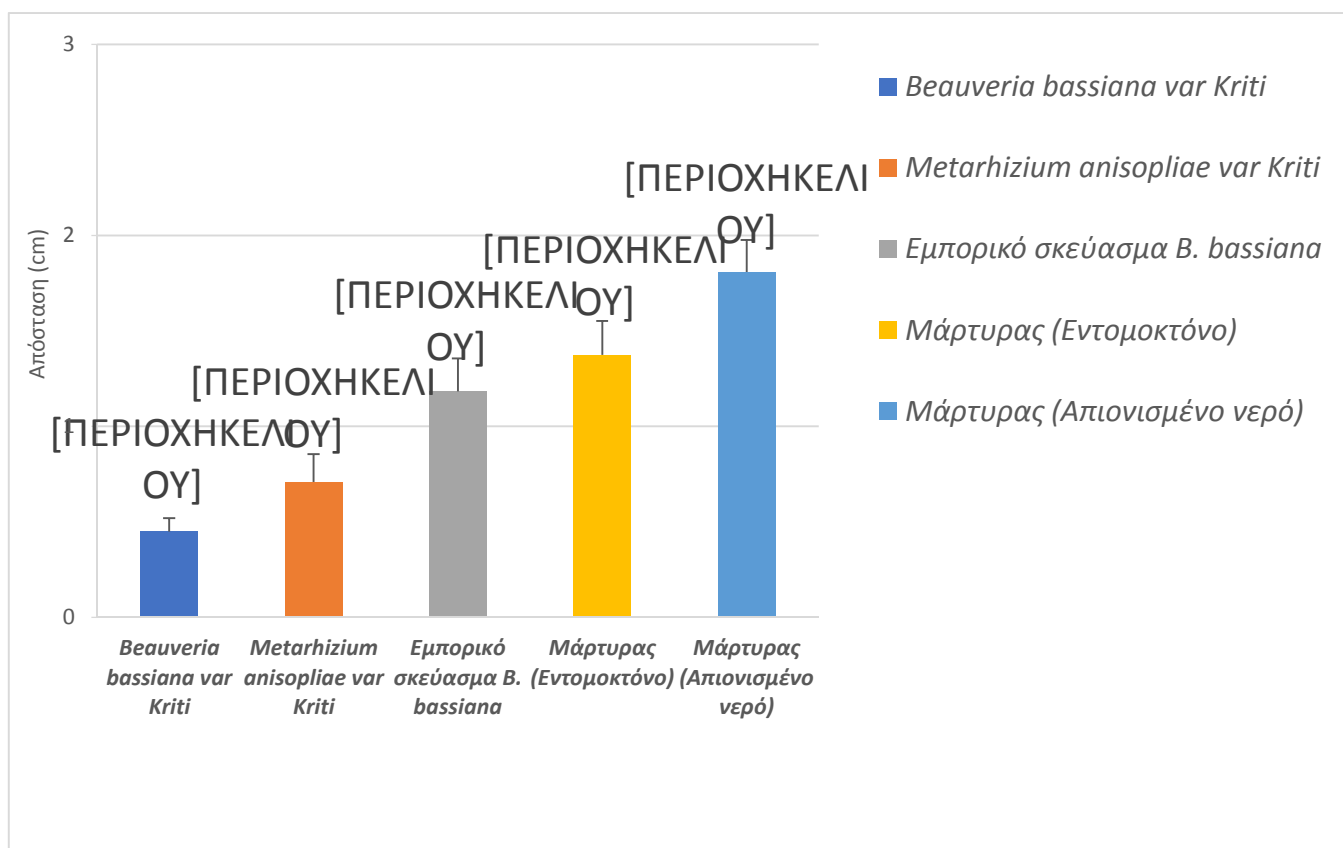


Ιστόγραμμα 5: Απόσταση (μ.ο ± τ.σ) που διένυσε η προνύμφη του *Tuta absoluta* από το σημείο εκκόλαψής της μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της, σε φύλλα φυτών που είχαν δεχθεί επεμβάσεις εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης, εμπορικού σκευάσματος *B. bassiana*, εντομοκτόνου και απιονισμένου νερού. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

3^η επανάληψη

Το ποσοστό αποικισμού για τους μύκητες *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* και *B. bassiana* strain *GHA 10,735%* ήταν > 80%, αντίστοιχα. Η απόσταση της προνύμφης από το ωό μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς σε φυτά

τομάτας που έχουν αποικιστεί με *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* βρέθηκε ότι ήταν $0,45 \pm 0,07$ cm και $0,71 \pm 0,1$ cm αντίστοιχα. Στο εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* ήταν $1,18 \pm 0,2$ cm ενώ στο απιονισμένο νερό και στο εντομοκτόνο ήταν $1,80 \pm 0,2$ cm και $1,37 \pm 0,2$ cm αντίστοιχα. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει στατιστική διαφορά ανάμεσα στις επεμβάσεις ($F= 12,57$, $df= 4,55$, $P < 0,001$). Το *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Αντίθετα διαφέρουν από όλες τις επεμβάσεις. Το εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* δεν διαφέρει σημαντικά από την επέμβαση με εντομοκτόνο. Αντίθετα ο μάρτυρας (απιονισμένο νερό) διαφέρει σημαντικά από όλες τις επεμβάσεις, καθώς η προνύμφη διένυσε την μεγαλύτερη απόσταση.

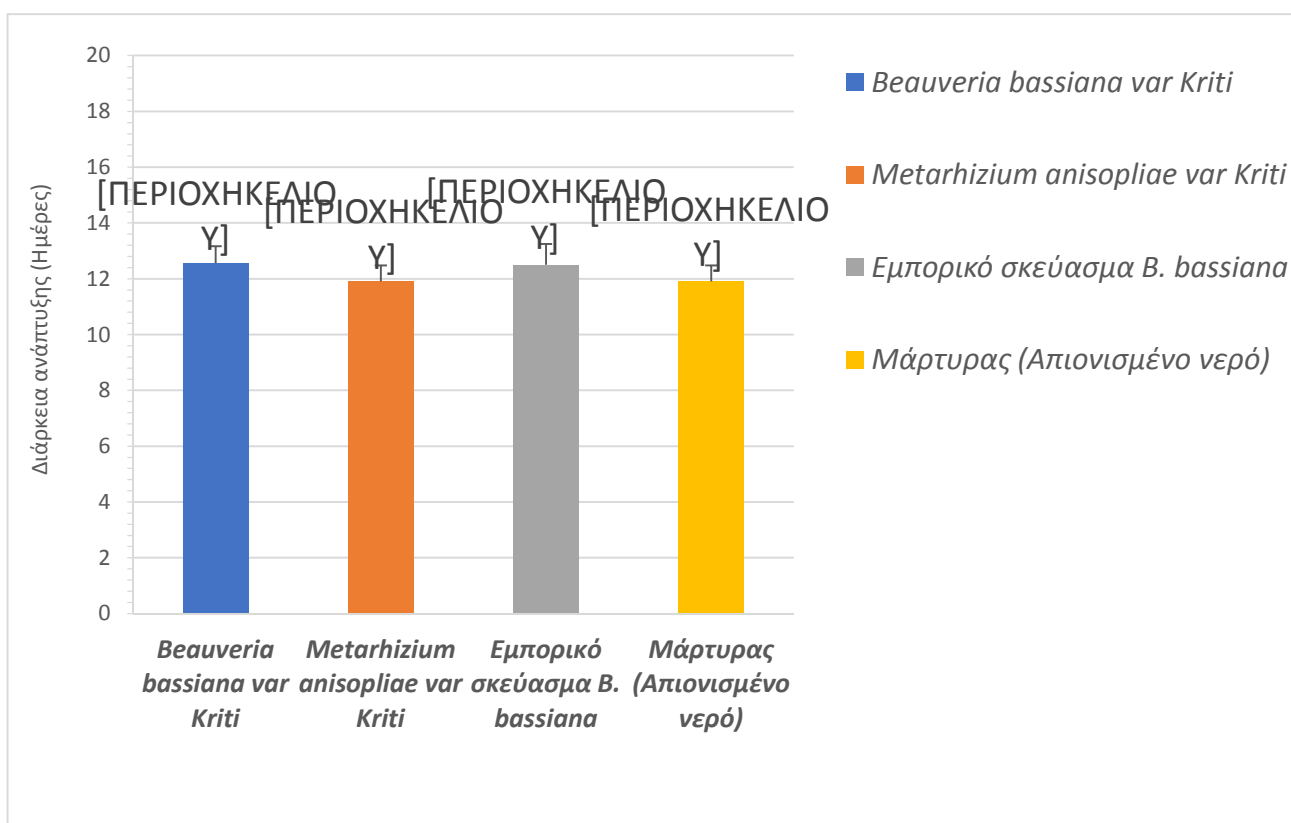


Ιστόγραμμα 6: Απόσταση (μ.ο ± τ.σ) που διένυσε η προνύμφη του *Tuta absoluta* από το σημείο εκκόλαψής της μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της, σε φύλλα φυτών που είχαν δεχθεί επεμβάσεις εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης, εμπορικού σκευάσματος *B. bassiana* εντομοκτόνου και απιονισμένου νερού. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

3.2.2 Διάρκεια ανάπτυξης

1^η επανάληψη

Στο ιστόγραμμα 7 η διάρκεια ανάπτυξης της προνύμφης του *T. absoluta* στην επέμβαση με *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* ήταν $12,8 \pm 0,2$ και $13,4 \pm 0,3$ ημέρες αντίστοιχα. Στο εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* η διάρκεια ανάπτυξης υπολογίστηκε στις $12,8 \pm 0,2$ ημέρες ενώ στην επέμβαση με απιονισμένο νερό ήταν $12,3 \pm 0,3$ ημέρες. Μεταξύ των επεμβάσεων και του μάρτυρα δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($F= 1,91$, $df= 3,48$, $P= 0,1408$).

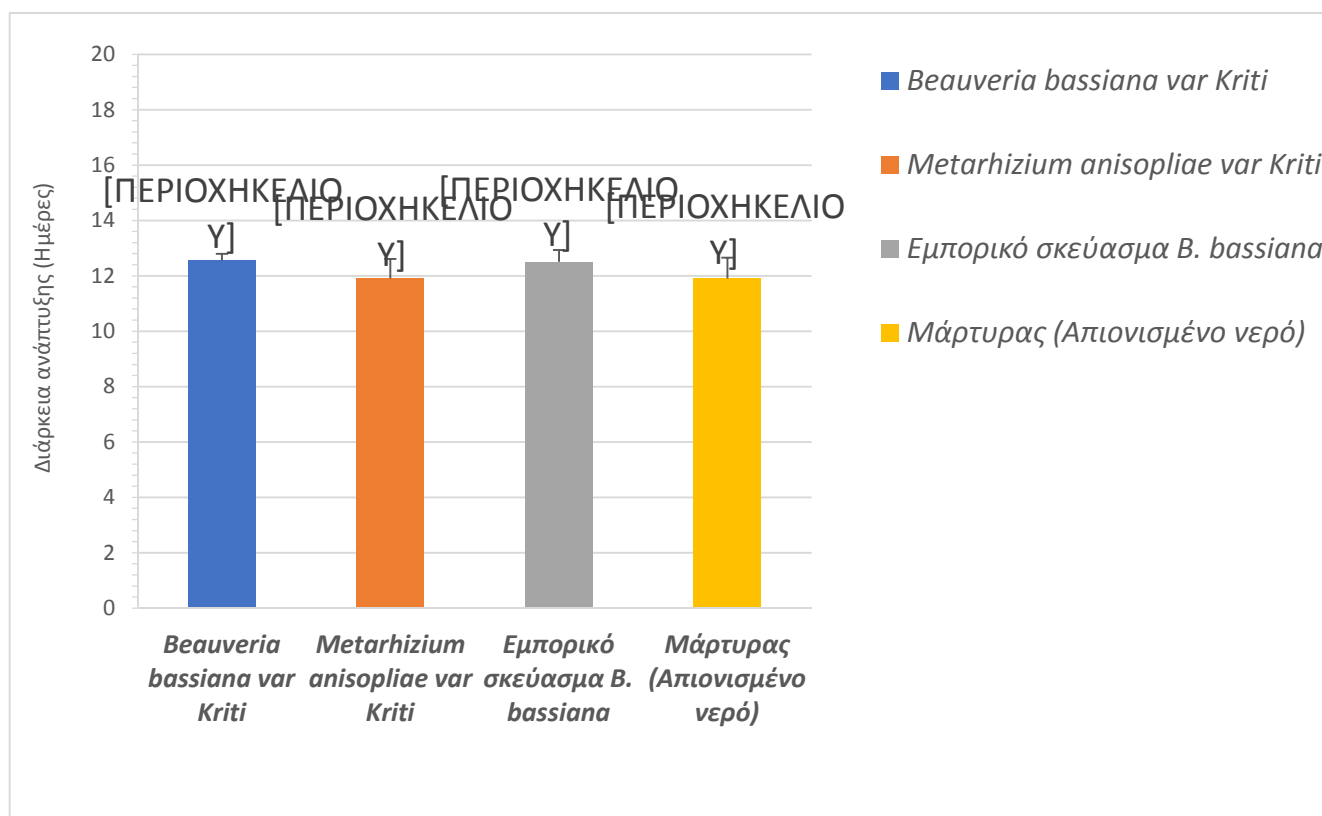


Ιστόγραμμα 7: Διάρκεια ανάπτυξης ($\mu.o \pm \tau.σ$) των προνυμφών του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

2^η επανάληψη

Η διάρκεια ανάπτυξης της προνύμφης του *T. absoluta* στην επέμβαση με *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* ήταν $12,5 \pm 0,2$ και $11,9 \pm 0,7$ ημέρες

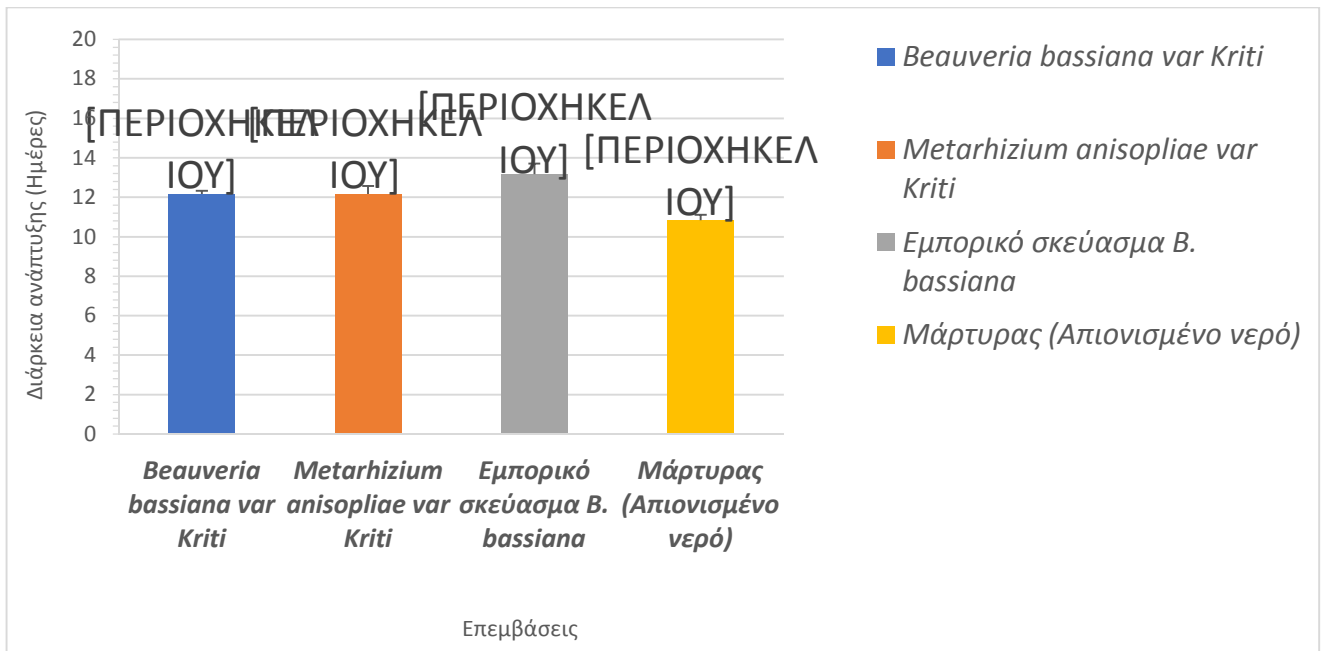
αντίστοιχα. Συνακόλουθα στις επεμβάσεις με εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* και με απιονισμένο νερό η διάρκεια ανάπτυξης βρέθηκε ότι ήταν $12,5 \pm 0,4$ και $11,9 \pm 0,7$ ημέρες αντίστοιχα. Μεταξύ των μυκήτων και του μάρτυρα δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($F= 0,34$, $df= 3,31$, $P= 0,798$).



Ιστόγραμμα 8: Διάρκεια ανάπτυξης ($\mu.o \pm \tau.σ$) των προνυμφών του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

3^η επανάληψη

Σύμφωνα με το ιστόγραμμα 9 η διάρκεια ανάπτυξης της προνύμφης του *T. absoluta* στην επέμβαση με *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* ήταν $12,2 \pm 0,1$ και $12,2 \pm 0,4$ ημέρες αντίστοιχα. Στο εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* η διάρκεια ανάπτυξης ήταν $13,2 \pm 0,5$ ημέρες ενώ στο απιονισμένο νερό ήταν $10,8 \pm 0,2$ ημέρες. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι μεταξύ των μυκητων δεν υπάρχει στατιστική διαφορά. Η επέμβαση με απιονισμένο νερό διαφέρει σημαντικά από τους μύκητες ($F= 271,5$ $df= 3,55$, $P<0,001$).

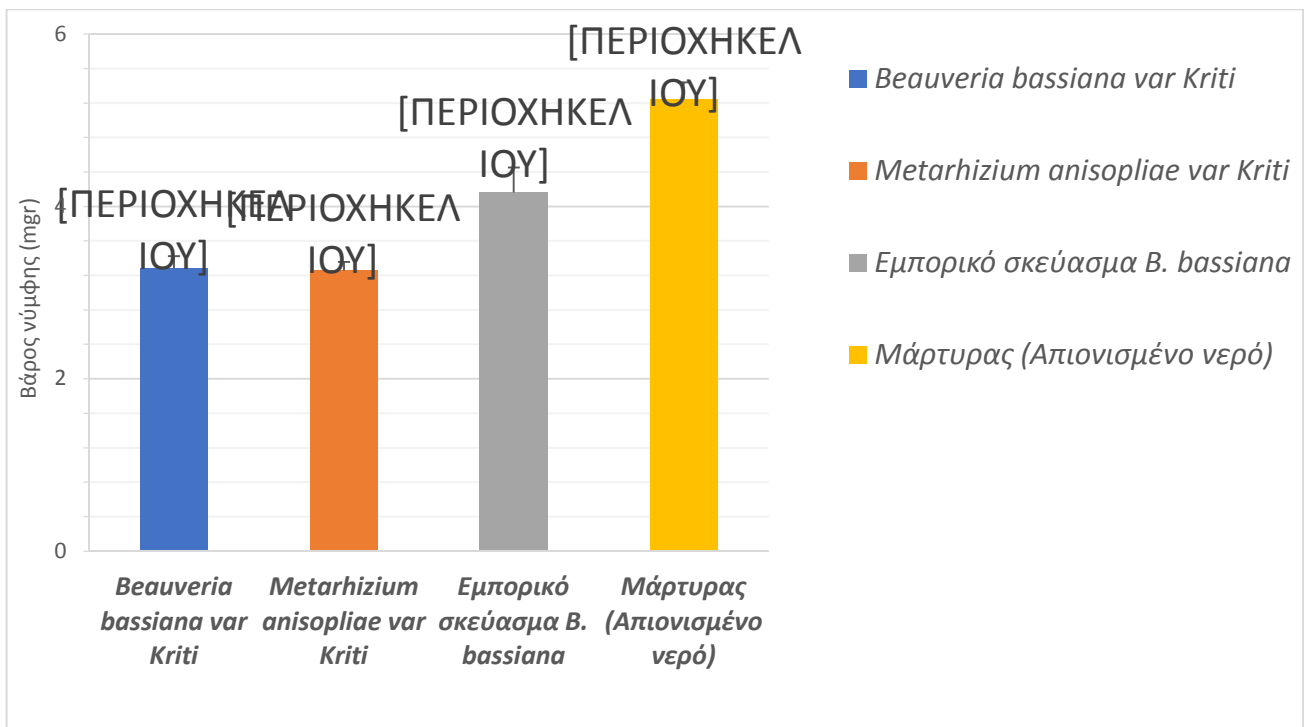


Ιστόγραμμα 9: Διάρκεια ανάπτυξης (μ.ο ± τ.σ) των προνυμφών του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης. Στήλες που ακολουθούνται από ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά.

3.2.3 Βάρος νύμφης

1^η επανάληψη

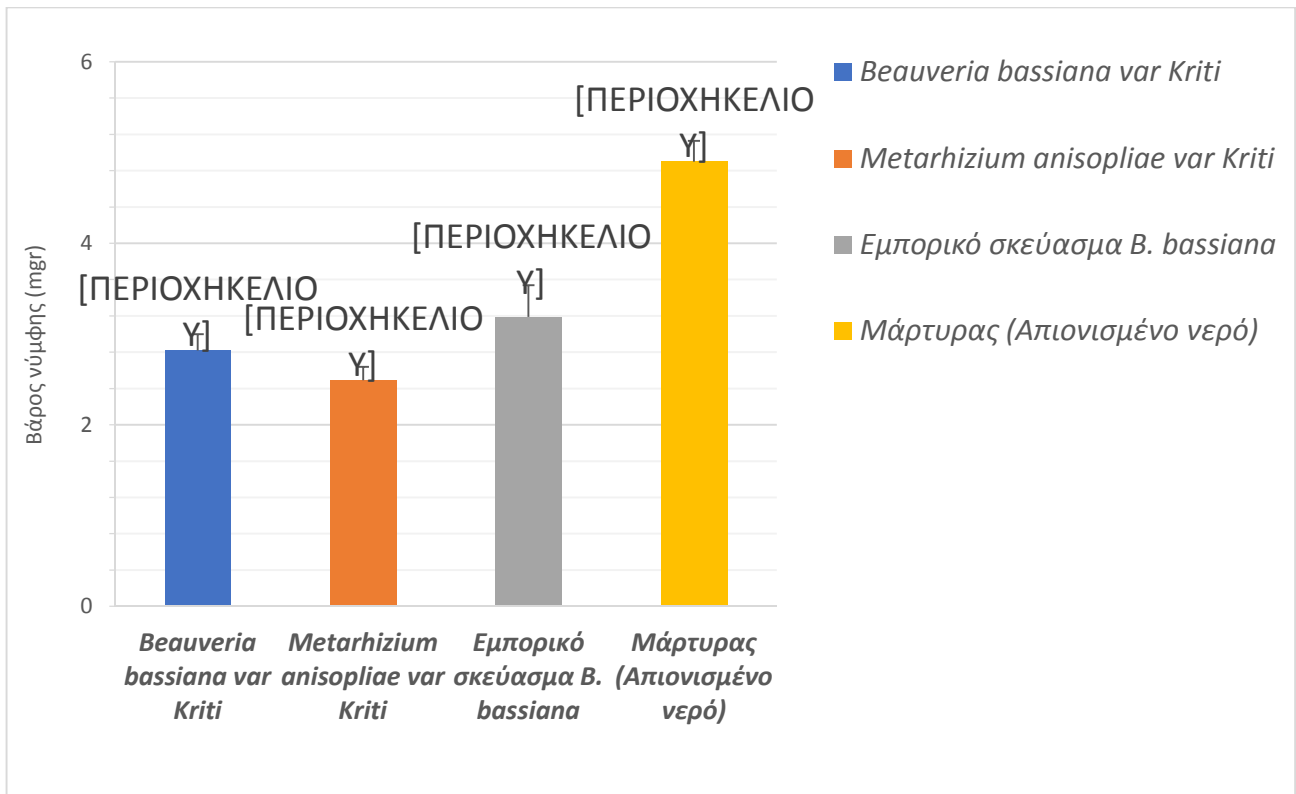
Στην επέμβαση με *B. bassiana* var *kriti* το βάρος της νύμφης ήταν $3,3 \pm 0,1$ mgr και στο *M. anisopliae* var. *Kriti* $3,2 \pm 0,1$ mgr. Στο εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* η νύμφη ζύγιζε $4,2 \pm 0,3$ mgr ενώ στην επέμβαση με απιονισμένο νερό $5,2 \pm 0,2$ mgr. Παρατηρείται ότι ανάμεσα στις επεμβάσεις υπάρχει στατιστική διαφορά ($F= 20,51$, $df= 3,44$ $P < 0,001$). Οι μύκητες *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ωστόσο το βάρος της νύμφης ήταν σημαντικά μικρότερο σε σχέση με το εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* και την επέμβαση με απιονισμένο νερό.



Ιστόγραμμα 10: Βάρος νύμφης ($\mu.o \pm \tau.σ$) του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης. Στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά.

2^η επανάληψη

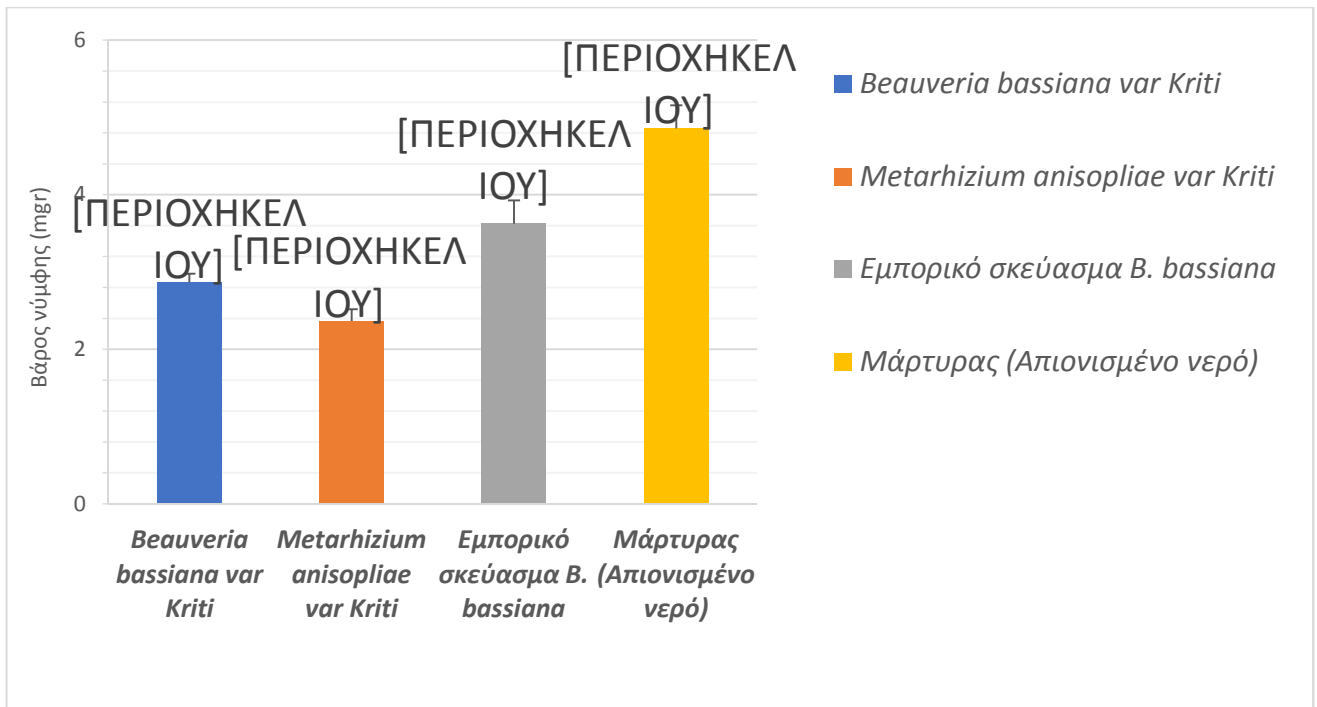
Το βάρος της νύμφης στο απιονισμένο νερό ήταν $4,9 \pm 0,2$ mgr ενώ στο εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* και στα εγχώρια είδη *M. anisopliae* var. *Kriti* και *B. bassiana* var. *Kriti* το βάρος ήταν $2,8 \pm 0,3$ mgr, $2,5 \pm 0,1$ mgr και $3,2 \pm 0,2$ mgr αντίστοιχα. Η ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά ανάμεσα στις επεμβάσεις ($F= 27,27$, $df= 3,31$, $P< 0,001$). Ανάμεσα στους μύκητες δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ τους. Αντίθετα διαφέρουν σημαντικά από την επέμβαση με απιονισμένο νερό όπου παρατηρήθηκε σημαντικά μεγαλύτερο βάρος νύμφης.



Ιστόγραμμα 11: Βάρος νύμφης ($\mu.o \pm \tau.σ$) του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης. Στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά.

3^η επανάληψη

Στα φυτά τομάτας που είχαν αποικιστεί με *B. bassiana* var. *Kriti* το βάρος της νύμφης ήταν $2,9 \pm 0,1$ mgr και σε εκείνα με *M. anisopliae* var. *Kriti* ήταν $2,4 \pm 0,1$ mgr. Στην επέμβαση με απιονισμένο νερό η νύμφη ζύγιζε $4,8 \pm 0,3$ mgr ενώ στο εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* το βάρος της νύμφης υπολογίστηκε στα $3,6 \pm 0,3$ mgr. Βρέθηκε ότι ανάμεσα στις επεμβάσεις υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά ($F= 22,13$, $df= 3,44$, $P < 0,001$). Το βάρος της νύμφης μεταξύ των μυκήτων *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* δεν διέφερε σημαντικά, ενώ ήταν σημαντικά αυξημένο με το εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* και το απιονισμένο νερό. Το εμπορικό σκεύασμα *B. bassiana* διαφέρει σημαντικά από την επέμβαση με απιονισμένο νερό καθώς στην τελευταία καταγράφηκε το μεγαλύτερο βάρος νύμφης.



Ιστόγραμμα 12 : Βάρος νύμφης ($\mu.o \pm \tau.σ$) του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας μετά την εφαρμογή εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης. Στήλες που ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συζήτηση-Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι απομονώσεις εντομοπαθογόνων μυκήτων της Κρήτης μειώνουν σημαντικά το βάρος της νύμφης του *T. absoluta* σε φυτά τομάτας που έχουν αποικιστεί με αυτά σε σχέση με τους μάρτυρες. Επιπλέον στα φυτά αυτά η απόσταση που διανύει η προνύμφη πρώτης (L1) ηλικίας από το ωό όταν εκκολαφθεί μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς στο φύλλο είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με τα φυτά μάρτυρες. Η διάρκεια ανάπτυξης της προνύμφης σε νύμφη δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την ενδοφυτικότητα των εντομοπαθογόνων μυκήτων καθώς δεν διαφέρουν σημαντικά από τους μάρτυρες. Αντίστοιχη μελέτη δεν έχει πραγματοποιηθεί για το *T. absoluta*. Ωστόσο, οι Allegrucci et al. (2017) εφάρμοσαν τον μύκητα *B. bassiana* LPSC 1067 σε φυτά τομάτας (3 ml ανά φυτό) με την μέθοδο της εμβάπτισης των ριζών (root dipping) εκτιμώντας την θνησιμότητα των προνυμφών του *T. absoluta*, όπου ήταν 9,5% ενώ στο μάρτυρα δεν παρατήρησαν θνησιμότητα. Στην παρούσα μελέτη δεν βρέθηκε

θνησιμότητα προνυμφών. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στην διαφορετική μέθοδο εφαρμογής τους (Mantzoukas & Elioroulos, 2020). Στην περίπτωση του *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) έχει βρεθεί ότι σε φυτά τομάτας όπου οι ρίζες τους είχαν εμβαπτιστεί (root dipping) σε εναιώρημα *M. anisopliae* σε συγκέντρωση 1×10^8 κονίδια/ml μειώθηκε σημαντικά το βάρος των προνυμφών δεύτερης (L2) ηλικίας του, 14 ημέρες μετά την επέμβαση (Mwamburi, 2021).

Στην παρούσα μελέτη καταγράφηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα ενδοφυτικού αποικισμού των εγχώριων ειδών *B. bassiana* var. *Achaia* και *M. brunneum* var. *Achaia* αλλά και εγχώριων ειδών *B. bassiana* var. *Kriti* και *M. anisopliae* var. *Kriti* όπως και εμπορικού σκευάσματος μύκητα *B. bassiana* σε φυτά τομάτας. Το εμπορικό σκευάσμα *B. bassiana* strain *GHA* που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα επίσης έχει αναφερθεί ως ενδόφυτο στο αμπέλι (Jaber & Ownley, 2018; Tall & Meyling, 2018). Ωστόσο, τα στελέχη της Αχαΐας δεν επηρέασαν το βάρος της νύμφης, την απόσταση της προνύμφης πρώτης (L1) ηλικίας από το ωό αλλά και την διάρκεια ανάπτυξής της. Μελέτη έχει δείξει ότι σε φυτά πιπεριάς στα οποία είχαν εφαρμοστεί διαφυλλικά (foliar method) οι μύκητες *B. bassiana* και *M. anisopliae* της Αχαΐας είχαν αποικίσει τα φύλλα και παρατηρήθηκε ότι μετά από 21 ημέρες από την επέμβαση, ο πληθυσμός της αφίδας *M. persicae* μειώθηκε σημαντικά και παρατηρήθηκε μύκωση (Mantzoukas & Lagogiannis, 2019).

Στην μελέτη αυτή τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι οι μύκητες Αχαΐας και Κρήτης που εφαρμόστηκαν με ριζοπότισμα εγκαταστάθηκαν επιτυχώς στα φυτά τομάτας 14 ημέρες μετά την επέμβαση. Αντιθέτως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Allegrucci et al. (2017) όταν χρησιμοποίησαν την ίδια μέθοδο εφαρμογής των μυκήτων (ριζοπότισμα), μετά από 14 ημέρες δεν έγινε επιτυχής εγκατάσταση στα φυτά τομάτας. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο στέλεχος του μύκητα, στην ηλικία του φυτού, στην συγκέντρωση των εναιωρημάτων καθώς και στις συνθήκες ανάπτυξης του φυτού - ξενιστή (Parsa et al., 2013; Qayyum et al., 2015; Afandhi et al., 2019). Ωστόσο μπορεί να οφείλεται και στον ανταγωνισμό του μύκητα με τους σαπροφυτικούς μύκητες του εδάφους (Tefera & Vidal, 2009). Οι απομονώσεις *B. bassiana* var. *Achaia* και *M. anisopliae* var. *Achaia* με διαφυλλική εφαρμογή (foliar

method) φαίνεται ότι μετά από 14 ημέρες εφαρμογής αποικίζουν αποτελεσματικά τα φυτά πιπεριάς (Mantzoukas & Lagogiannis, 2019). Επιπλέον, το στέλεχος *B. bassiana* H2S32 var. *Achaia* με την μέθοδο του ριζοποτίσματος αποικίζει αποτελεσματικά το αμπέλι (Mantzoukas et al., 2021).

Οι μύκητες που έχουν αναφερθεί ως ενδόφυτα μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη του φυτού έτσι ώστε το φυτό-ξενιστής να είναι λιγότερο ευαίσθητο σε εντομολογικές προσβολές (McKinnon et al., 2017). Σε φυτά καφεόδενδρου οι εντομοπαθογόνοι μύκητες έχουν θετική επίδραση στην ανάπτυξή τους (Posada & Vega, 2006). Στην τομάτα και στο βαμβάκι έχει βρεθεί ότι ο μύκητας *B. bassiana* αυξάνει σημαντικά το ύψος των φυτών (Griffin et al., 2005; Ownley et al., 2008). Επιπλέον, αύξηση ύψους μετά από ενδοφυτική εφαρμογή *B. bassiana* και *M. anisopliae* έχει παρατηρηθεί και σε φυτά *Manihot esculenta* (Greenfield et al., 2016). Ανάμεσα σε δύο διαφορετικά στελέχη *B. bassiana*, σε φυτά τομάτας έχει αποδειχθεί ότι το ένα στέλεχος αύξησε το ύψος των φυτών σε αντίθεση με το άλλο που ταυτοχρόνως επιβράδυνε και την ανάπτυξη των φυτών (Qayyum et al., 2015). Σύμφωνα με τους Mantzoukas & Lagogiannis (2019) οι μύκητες *B. bassiana* και *M. anisopliae* δεν επιδρούν στην αύξηση του ύψους και στην ανάπτυξη των φυτών πιπεριάς.

Η μείωση του βάρους της νύμφης του *T. absoluta* καθώς και της απόστασης της προνύμφης από το ωό ίσως να οφείλεται στην παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών που παράγονται από τα ενδόφυτα (Vega et al., 2009; Jaber & Vidal, 2010; Mantzoukas et al., 2015). Συγκεκριμένα η ποιότητα του φυτού ξενιστή διαμορφώνεται μέσω θρεπτικών συστατικών και άλλων ενώσεων οι οποίες μέσω των δευτερογενών μεταβολιτών μετατρέπονται σε πολύπλοκες ενώσεις αλλοιώνοντας την γεύση και την ποιότητα της τροφής του εντόμου πάνω στο φυτό (Kuldau & Bacon, 2008). Επιπλέον τα ενδόφυτα μεταβάλλουν τη χημική σύσταση του φυτού ξενιστή τροποποιώντας π.χ. την σύνθεση της φυτοστερόλης (Lopez et al., 2014). Βέβαια, οι δευτερογενείς μεταβολίτες δεν αποτελούν απαραίτητα λόγο για την μείωση του βάρους της νύμφης και της απόστασης της προνύμφης πρώτης (L1) ηλικίας. Δεν έχει γίνει σαφής ο μηχανισμός με τον οποίο οι μύκητες ως ενδόφυτα προσδίδουν προστασία στο φυτό από εντομολογικούς εχθρούς (Mantzoukas &

Lagogiannis, 2019). Επίσης έχει αναφερθεί και η περίπτωση μη επίδρασης των εντομοπαθογόνων μυκήτων στα έντομα. Αυτό οφείλεται στη συνθετότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ εντομοπαθογόνου μύκητα, εντόμου και φυτού - ξενιστή (Powell et al., 2009; Akello & Sikora, 2012; Clifton et al., 2018; Jensen et al., 2019). Η μη επίδραση των απομονώσεων της Αχαΐας στο βάρος της νύμφης, στην απόσταση της προνύμφης πρώτης (L1) ηλικίας από το ωό καθώς και στην διάρκεια ανάπτυξης αυτής ενισχύει την παραπάνω θέση. Χρειάζεται περισσότερη έρευνα σχετικά με τον μηχανισμό με τον οποίο οι απομονώσεις της Κρήτης επηρεάζουν την απόσταση της προνύμφης πρώτης (L1) ηλικίας από το ωό και το βάρος της νύμφης του *T. absoluta*.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από αυτή την μελέτη είναι ότι οι απομονώσεις εντομοπαθογόνων μυκήτων Αχαΐας και Κρήτης αποικίζουν ενδοφυτικά τα φυτά τομάτας. Επιπλέον, οι εντομοπαθογόνοι μύκητες της Κρήτης επιδρούν στο *T. absoluta* μειώνοντας το βάρος της νύμφης και την απόσταση που διανύει η προνύμφη πρώτης (L1) ηλικίας από το ωό μέχρι τη στοά της. Η αποτελεσματικότητα αυτή πιθανών να οφείλεται και στην περιοχή προέλευσής τους. Περαιτέρω μελέτη θα πρέπει να πραγματοποιηθεί για την διερεύνηση των επιδράσεων στη διάρκεια ζωής των ενήλικων *T. absoluta* και στην αναπαραγωγή τους καθώς και αν τα φυτά που έχουν αποικιστεί με εντομοπαθογόνους μύκητες λειτουργούν απωθητικά στο *T. absoluta*. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να διερευνηθεί η διάρκεια ανάπτυξης του *T. absoluta* από νύμφη σε ενήλικο. Γενικά, η εφαρμογή των εντομοπαθογόνων μυκήτων ως ενδόφυτα στις καλλιέργειες αποτελεί ένα νέο πεδίο έρευνας με ενθαρρυντικά αποτελέσματα και για αυτό απαιτούνται περισσότερες μελέτες στο εργαστήριο αλλά και σε συνθήκες πεδίου όσον αφορά την ενδοφυτική δράση των εντομοπαθογόνων μυκήτων σε φυτά τομάτας.

Συμπεράσματα

1. Ενδοφυτικός αποικισμός των απομονώσεων *B. bassiana* var. *Achaia*, *M. brunneum* var. *Achaia*, *B. bassiana* var. *Kriti*, *M. anisopliae* var. *Kriti* και

- εμπορικού σκευάσματος *B. bassiana* strain *GHA* σε φυτά τομάτας που εφαρμόστηκαν με ριζοπότισμα.
2. Η προνύμφη πρώτης (L1) ηλικίας του *T. absoluta* από το ωό μέχρι το σημείο διάνοιξης της στοάς της διανύει σημαντικά μικρότερη απόσταση σε φυτά τομάτας που είχαν αποικιστεί με εντομοπαθογόνους μύκητες που απομονώθηκαν από εδάφη της Κρήτης.
 3. Οι απομονώσεις της Κρήτης μειώνουν σημαντικά το βάρος της νύμφης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Abbes, K., Harbi, A., Chermiti, B. (2012). The tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) in Tunisia: Current status and management strategies. EPPO Bulletin: 42, 226-233.
- Abd El-Ghany, N.M., Abdel-Razek, A.S., Ebadah, I.M.A., Mahmoud, Y.A., (2016). Evaluation of some microbial agents, natural and chemical compounds for controlling tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Journal of Plant Protection Research: 56(4), 372–379.
- About, F., Bajwa, G. A., Ibrahim, Y. B., Sajap, A. S. (2010). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* against the Tiger Moth *Atteva sciodoxa* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Journal of Entomology: 7(1), 19-32.
- Afandhi, A., Widjayanti, T., Emi, A.A.L., Tarno, H., Afyanti, M., Handoko, R.N.S. (2019). Endophytic fungi *Beauveria bassiana* Balsamo accelerates growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Chemical and Biological Technologies in Agriculture: 6, 11.
- Aigbedion-Atalor, P.O., Hill, P.M., Zalucki, M.P., Obala, F., E Idriss, G., Midingoyi, S.K., Chidege, M., Ekesi, S., Mohamed, S. A. (2019). The South America tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), spreads its wings in Eastern Africa: distribution and socioeconomic impacts. Journal of Economic Entomology: 112, 2797–2807.
- Akello, J. T., Dubois, T., Gold, C. S., Coyne, D., Nakavuma, J., Paparu, P. (2007). *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin as an endophyte in tissue culture banana (*Musa* spp.). Journal of Invertebrate Pathology: 96, 34–42.
- Akello, J., Dubois, T., Coyne, D., Kyamanywa, S. (2008). Effect of endophytic *Beauveria bassiana* on populations of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*, and their damage in tissue-cultured banana plants. Entomologia Experimentalis et Applicata: 129, 157–165.

- Akello, J., & Sikora, R. (2012). Systemic acropetal influence of endophyte seed treatment on *Acyrtosiphon pisum* and *Aphis fabae* offspring development and reproductive fitness. *Biological Control*: 61, 215–221.
- Alali, S., Mereghetti, V., Faoro, F., Bocchi, S., Al Ahmed, F., Montagna, M. (2019). Thermotolerant isolates of *Beauveria bassiana* as potential control agent of insect pest in subtropical climates. *PLoS One*: 14(2), e0211457.
- Allegrucci, N., Velazquez, M.S., Russo, M.L., Perez, E., Scorsetti, A.C. (2017). Endophytic colonisation of tomato by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*: the use of different inoculation techniques and their effects on the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) *Journal of Plant Protection Research*: 57(4), 331–337.
- Al-Zaidi S. (2009). Recommendations for the detection and monitoring of *Tuta absoluta*. *Russell IPM agriculture* (16/8/12).
- Amora, S. S. A., Bevilacqua, C. M. L., Carneiro Feijó, F. M., Silva, M. A., Pereira, R. H. M. A., Silva, S. C., Alves, N. D., Freire, F. A. M., Oliveira, D. M. (2009). Evaluation of the fungus *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes), a potential biological control agent of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae). *Biological Control* 50: 329–335
- Apablaza J. (1992). La polilla del tomate y su manejo. *Tattersal* 79: 12–13.
- Arno, J., Sorribas, R., Prat, M., Matas, M., Pozo, C. Rodriguez, D. (2009). *Tuta absoluta*, a new pest in IPM tomatoes in the northeast of Spain. *Integrated Control in Protected Crops: Mediterranean Climate*, 49, 203–208.
- Arno, J., & Gabarra, R. (2010). Controlling *Tuta absoluta*, a new invasive pest in Europe. *Training in integrated pest management: No. 5. ENDURE Network*.
- Arnó, J., & Gabarra, R. (2011). Side effects of selected insecticides on the *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) predators *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae). *Journal of Pest Science*: 84(4), 513–520.
- Arnold, A. E., & Lewis, L. C. (2005). Ecology and evolution of fungal endophytes, and their roles against insects. In: Vega, F.E., Blackwell, M. (Eds.), *Insect-Fungal Associations: Ecology and Evolution*, Oxford University Press, New York, 74–96.
- Arroyo-Manzanares, N., Di Mavungu, J. D., Garrido-Jurado, I., Arce, L., Vanhaecke, L., Quesada-Moraga, E., De Saeger, S. (2017). Analytical strategy for determination of known and unknown destruxins using hybrid quadrupole-Orbitrap high-resolution mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*: 409, 3347–3357.
- Askew, R.R., Blasco-Zumeta, J., Pujade-Villar, J. (2001). Chalcidoidea and Mymarommatoidea (Hymenoptera) of a *Juniperus thurifera* L. Forest of Los Monegros Region, Zaragoza. *Monografias Sociedad Entomológica Aragonesa*: 4, 26.
- Babendreier, D., Bigler, F., Kuhlmann, U. (2005). Methods used to assess non-target effects of invertebrate biological control agents of arthropod pests. *BioControl*: 50, 821–870.
- Barrientos, Z.R., Apablaza, H.J., Norero, A.s., Estay P.P. (1998). Threshold temperature and thermal constant for the development of the South American tomato moth, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Ciencia e Investigación Agraria*: 25, 133–137.

- Batta, Y.A. (2003). Production and testing of novel formulations of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Metschinkoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Crop Protection*: 22(2), 415-422.
- Batta, Y.A. (2013). Efficacy of endophytic and applied *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorokin (Ascomycota: Hypocreales) against larvae of *Plutella xylostella* L. (Yponomeutidae: Lepidoptera) infesting *Brassica napus* plants. *Crop Protection*: 44, 128-134.
- Bilgo, E., Lovett, B., St. Leger, R.J., Sanon A., Dabiré R. K., Diabaté A. (2018). Native entomopathogenic *Metarhizium* spp. from Burkina Faso and their virulence against the malaria vector *Anopheles coluzzii* and non-target insects. *Parasites Vectors*: 11, 209.
- Biondi, A., Mommaerts, V., Smagghe, G., Vinuela, E., Zappala, L., Desneux, N. (2012). The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. *Pest Management of Science*: 68, 1523-1536.
- Biondi, A., Guedes, R.N.C., Wan Fang, H., Desneux, N. (2018). Ecology, Worldwide Spread, and Management of the Invasive South American Tomato Pinworm, *Tuta absoluta*: Past, Present, and Future. *Annual Review of Entomology*: 63, 239-258.
- Bischoff, J.F., Rehner, S.A., Humber, R.A. (2009). A multilocus phylogeny of the *Metarhizium anisopliae* lineage. *Mycologia*: 101, 512-530.
- Boari, F., Donadio, A., Pace, B., Schiattone, M. I., Cantone V. (2016). Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management*: 167, 29-37.
- Borges, D., Díaz, A. O., San Juan, A. N., Gómez, E. (2010). Metabolitos secundarios producidos por hongos entomopatógenos. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*: 44(3), 49-55.
- Bruck, D.J. (2005). Ecology of *Metarhizium anisopliae* in soilless potting media and the rhizosphere: implications for pest management. *Biological Control*: 32, 155-163.
- Bruck, D.J. (2010). Fungal entomopathogens in the rhizosphere. *Biocontrol*: 55, 103-112.
- Brundrett, M. C. (2006). Understanding the roles of multifunctional mycorrhizal and endophytic fungi. *Microbial root endophytes*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 281-293.
- Cabello, T., Jacas, J.A., Urbaneja, A. (2008). Noctuidos y otros lepidópteros, in *Control Biológico de Plagas Agrícolas*: 279-306.
- Cabello, T., Gallego, J.R., Vila, E., Soler, A., del Pino, M., Carnero, A., Hernandez-Suarez, E.M., Polaszek A. (2009). Biological control of the South American tomato pinworm, *Tuta absoluta* (Lep.: Gelechiidae), with releases of *Trichogramma achaeae* (Hym.: Trichogrammatidae) in tomato greenhouses of Spain. *IOBC/WPRS Bull*: 49, 225-230.
- Cabello, T., Kabiri, F., Vila, E. (2010). *Trichogramma achaeae*: an excellent biocontrol agent against *Tuta absoluta*. *Sting Newsletter on Biological Control*: 33, 5-6.
- Cabello, T., Gallego, J.R., Fernandez, F.J., Gamez, M., Vila, E., Del Pino, M., Hernandez E. (2012). Biological control strategies for the South American tomato moth (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomatoes. *Journal of Economic Entomology*: 105, 2085-2096.

- Calvo, F. J., Lorente, M. J., Stansly, P. A., Belda, J. E. (2012). Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisa tabaci* in greenhouse tomato. *Entomologia Experimentalis et Applicata*: 143(2), 111-119.
- Campos, M. R., Rodrigues, A.R. S., Silva, W. M., Silva, T. B. M., Silva, V. R. F., Guedes, R. N. C., Siqueira, H.A.A. (2014). Spinosad and the tomato borer *Tuta absoluta*: a bioinsecticide, an invasive pest threat, and high insecticide resistance. *PLoS One*: 9(8), e103235.
- Campos, M.R., Biondi, A., Adiga, A., Guedes, R.N.C. Desneux, N. (2017). From the western palaeartic region to beyond: *Tuta absoluta*, 10 years after invading Europe. *Journal of Pest Science*: 90(3), 787–796.
- Campolo, O., Cheri A., Ricupero, M., Siscaro, G., Lebdi, K.G., Russo, A., Cucci, L.M., Di Pietro, P., Satriano, C., Desneux, N., Biondi, A., Zappalà, L., Palmeri V. (2017). Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, *Tuta absoluta*: chemical properties and biological activity. *Scientific Reports*: 7, 13036.
- Cao, L.X., You, J.L., Zhou, S.N. (2002). Endophytic fungi from *Musa acuminata* leaves and roots in South China. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*: 18, 169-171.
- Carde, R. T. (2007). Using pheromones to disrupt mating of moth pests. In: *Perspectives in ecological theory and integrated pest management*. Ed. By Kogan M, Jepson P. - Cambridge University Press: Cambridge, 122–169.
- Castillo-Lopez, D., Sword, G.A. (2015). The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control*: 89, 53–60.
- Chailleux, A., A. Biondi, P., Han, E. T., Desneux, N., (2013). Suitability of the pest–plant system *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) – Tomato for *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitoids and insights for biological control. *Journal of Economic Entomology*: 106, 2310-2321.
- Cherif, A. & Kaouthar, L. G. (2013). *Trichogramma cacoeciae* as a biological control agent of the tomato pinworm *Tuta absoluta* in Northeastern Tunisia. *ENTOMOLOGIA HELLENICA*: 22, 35-42.
- Cherif, A., Harbaoui, K., Zappalà, L., Grissa-Lebdi, K. (2018). Efficacy of mass trapping and insecticides to control *Tuta absoluta* in Tunisia. *Journal of Plant Diseases and Protection*: 125, 51–61.
- Cherif, A. & Verheggen, F. (2019). A review of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) host plants and their impact on management strategies. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*: 23(4), 270-278.
- Cishesa, H. (2016). Production de la tomate, contraintes et opportunités en territoire de Walungu, Sud Kivu à L’Est de la RDCongo. *International Journal of Innovation and Scientific research*: 23(1), 15–27.
- Clifton, E.H., Jaronski, S.T., Coates, B.S., Hodgson, E.W., Gassmann, A.J. (2018). Effects of endophytic entomopathogenic fungi on soybean aphid and identification of *Metarhizium* isolates from agricultural fields. *PLoS ONE*: 13(3), e0194815.

- Cocco, A., Deliperi, S. & Delrio, G. (2012). Control of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique. *Journal of Applied Entomology*: 137(2), 16-28
- Cocco, A., Deliperi, S., Delrio, G. (2012). Potential of mass trapping for *Tuta absoluta* management in greenhouse tomato crops using light and pheromone traps. *Integrated Control in Protected Crops, Mediterranean Climate IOBC-WPRS Bulletin*: 80, 319-324.
- Cocco, A., Deliperi, S., Delrio, G. (2013). Control of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique. *Journal of Applied Entomology*: 137, 16–28.
- Cocco, A., Serra, G., Lentini, A., Deliperi, A., Delrio, G. (2015). Spatial distribution and sequential sampling for *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops. *Pest Management of Science*: 71, 1311-1323.
- Cory, J. S., & Ericsson J. D. (2010). Fungal entomopathogens in a tritrophic context. *BioControl*: 55, 75-88.
- Dalin, P., Ågren, J., Björkman, C., Huttunen, P., Kärkkäinen, K. (2008). Leaf trichome formation and plant resistance to herbivory. Induced plant resistance to herbivory: Springer, Dordrecht, 89-105.
- Daza, F. F. F., Roman, G. R., Rodriguez, M. V., Vargas, I. A. G., Heano, H. G., Cereda, M.P., Mulet, R. A. C. (2019). Spores of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma lignorum* as a bioinsecticide for the control of *Atta cephalotes*. *Biological Research*: 52, 51.
- De Smedt, C., Van Damme, V., De Clercq, P., Spanoghe, P. (2016). Insecticide Effect of Zeolites on the Tomato Leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Insects*: 7, 72.
- De Oliveira, C.M., de Andrade, V.C., Jr. Maluf, W.R., Neiva, I.P., Maciel, G.M. (2012). Resistance of tomato strains to the moth *Tuta absoluta* imparted by allelochemicals and trichome density. *Ciência e Agrotecnologia*: 36(1), 45–52.
- De Backer, L., Caparros Megido, R., Haubruge, E., Verheggen, F. (2014). *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) as an efficient predator of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) in Europe. A review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*: 18(4), 536–543.
- Desneux, N., Wajnberg, E., Burgio, G., Arpaia, S., Wyckhuys Kris, A.G., Narvaez-Vasquez, C.A., Gonzalez-Cabrera, J., Tabone, E., Frandon, J., Pizzol, J., Poncet, C., Urbaneja A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion, and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*: 83, 197–215.
- Desneux, N., Luna, M.G., Guillemaud, T., Urbaneja, A. (2011). The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science*: 84(4), 403-408.
- Diaz, B. M., Oggerin, M., Lopez Lastra, C. C., Rubio, V., Fereres, A. (2009). Characterization and virulence of *Lecanicillium lecanii* against different aphid species. *BioControl*: 54, 825–835.
- Diez, M.J., & Nuez, F. (2008). Tomato In: *Vegetables II: Handbook of Plant Breeding*: Springer, New York, 249-323.

- Donzelli, B.G.G., & Krasnoff, S.B. (2016). Molecular genetics of secondary chemistry in *Metarhizium* Fungi. *Advances in genetics*: 94, 365–436.
- Doolotkeldieva, T., Bobusheva, S., Kulmanbetova, A., Zholdosbekova, S., Kyzy, A.A. (2019). Characterization of *Beauveria bassiana* isolates from Kyrgyzstan. *Journal of Invertebrate Pathology*: 167, 107243.
- El-aassar, M.R., Soliman, M.H.A., Elaal, A.A.A. (2015). Efficiency of sex pheromone traps and some bio and chemical insecticides against tomato borer larvae, *Tuta absoluta* (Meyrick) and estimate the damages of leaves and fruit tomato plant. *Annals of Agricultural Sciences*: 60(1), 153-156.
- EPPO (2005). Data sheets on quarantine pests: *Tuta absoluta*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*: 35, 434–435.
- EPPO (2006). Data sheets on quarantine pests. *Tuta absoluta*. *EPPO Bulletin*: 35, 434–435.
- EPPO (2009). EPPO Reporting service—Pest & Diseases. No 8, Paris, 2009-08-01
- EPPO (2010). EPPO Reporting service—Pest & Diseases. No 1, Paris, 2010-01-01
- Erasmus, R., van den Berg, J., du Plessis, H. (2021). Susceptibility of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Pupae to Soil Applied Entomopathogenic Fungal Biopesticides. *Insects*: 12(6), 515.
- Esparza Mora, M.A., Conteiro Castilho, A.M., Fraga, M.E. (2017). Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Arquivos do Instituto Biológico*: 84, 1-10.
- Estay, P. (2000). Polilla del Tomate *Tuta absoluta* (Meyrick). Retrieved from [URL:http://alerce.inia.cl/docs/Informativos/Informativo09.pdf](http://alerce.inia.cl/docs/Informativos/Informativo09.pdf).
- Ettaib, R., Sadok, B.M., Ali, B.B., Faouzi, A., Jean, V.F., Rudy, C.M. (2016). Effectiveness of pheromone traps against *Tuta Absoluta*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*: 4(6), 841-844.
- European Commission (2021). EU Pesticides Database, Active substances. Retrieved from <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/?event=search.as>
- Fan, Y., Liu, X., Keyhani, N.O., Tang, G., Pei, Y., Zhang, W., Tong, S. (2017). Regulatory cascade and biological activity of *Beauveria bassiana* oosporein that limits bacterial growth after host death. *PNAS*: 114(9), E1578–E1586.
- FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2021 | 27 July 2021. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Faria, M.R., & Wraight, S.P. (2007). Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control*: 43, 237-256.
- Ferguson, J.S. (2004). Development and stability of insecticide resistance in the leafminer *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) to cyromazine, abamectin, and Spinosad. *Journal of Economic Entomology*: 97(1), 112-119.
- Fernandez S.A., & Montagne. (1990). Biología del minador del tomate, *Scrobipalpula absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Boletín de Entomología Venezolana*: 5, 89–99.
- Flint, M.L., & Van den Bosch, R. (1981). *Introduction to Integrated Pest Management*. Plenum Press, New York.
- Flint M. L., & Van den Bosch, R. (2012). *Introduction to integrated pest management*. Springer Science & Business Media.

- Flonc, B., Barbercheck, M., Ahmad I. (2021). Observations on the Relationships between Endophytic *Metarhizium robertsii*, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), and Maize. *Pathogens*: 10, 713.
- Foster, S.P., Gorman, K., Denholm, I. (2010). English field samples of *Thrips tabaci* show strong and ubiquitous resistance to deltamethrin. *Pest Management Science*: 66, 861–864.
- Fuller-Schaefer, C., Jung, K., Jaronski, S. (2005). Colonization of sugar beet roots by entomopathogenic fungi. *Proceedings of the 38th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology*: Anchorage, Alaska, 49.
- Gabarra, R., & Arno, J. (2010). Resultados de las experiencias de control biológico de la polilla del tomate en cultivo de invernadero y aire libre en Cataluña. *Phytoma Espana*: 217, 65–68.
- Galdino, T.V.S., Picanco, M.C., Ferreira, D.O., Silva G.A.R., De Souza T.C., Silva G.A. (2015). Is the performance of a specialist herbivore affected by female choices and the adaptability of the offspring? *PLoS ONE*: 10, e0143389.
- Ganley, R. J., Newcombe, G. (2005). Fungal endophytes in seeds and needles of *Pinus monticola*. *Mycological Research*: 1(10), 318–327.
- García, M.F., & Espul, J.C. (1982). Bioecología de la polilla del tomate (*Scrobipalpula absoluta*) en Mendoza, Republica Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*: 18, 135–146.
- García, C., González, M., Bautista, M. (2011). Pathogenicity of native entomopathogenic fungal isolates against *Spodoptera frugiperda* and *Epilachna varivestis*. *Revista Colombiana de Entomología*: 37, 217–222.
- Gharekhani, G. H., & Salek-Ebrahimi, H. (2014a). Evaluating the damage of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) on some cultivars of tomato under greenhouse condition. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*: 47(4), 429–436.
- Ghaderi, S., Fathipour Y., Asgari, S. (2017). Susceptibility of Seven Selected Tomato Cultivars to *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): Implications for Its Management. *Journal of Economic Entomology*: 110(2), 421–429.
- Ghaderi, A., Fathipour, Y., Asgari, S., Reddy V.P.G. (2019). Economic injury level and crop loss assessment for *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on different tomato cultivars. *Journal of Pest Science*: 143(5), 493–507.
- Gisi, U., & Leadbeater A. (2010). The challenge of chemical control as part of integrated pest management. *Journal of Plant Pathology*: 92(4), S4.11–S4.15.
- Giustolin T.A., Vendramim, J.D., Alves, S.B., Vieira, S.A. (2001b). Susceptibility of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) reared on two species of *Lycopersicon* to *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. *Journal of Applied Entomology*: 125, 551–556.
- Goble, T.A. (2009). Investigation of entomopathogenic fungi for control of false codling moth, *Thaumatotibia leucotreta*, Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* and Natal fruit fly, *C. rosa* in South African Citrus. MASTER OF SCIENCE OF RHODES UNIVERSITY.
- Gontijo, P.C., Picanco M.C., Pereira, E.J.G., Martins, J.C., Chediak, M., Guedes, R.N.C. (2013). Spatial and temporal variation in the control failure likelihood of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta*. *Annals of Applied Biology*: 162, 50–59.

- Gonzalez-Cabrera, J., Molla, O., Monton, H., Urbaneja, A. (2011). Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) for controlling the tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Biocontrol*: 56, 71–80.
- Gonzalez-Moreno, P., Rwomushana, I., Beale, T., Chipabika, G., Day, R., Lamontagne-Godwin, J., Makale, F., Pratt, C., Tambo, J. (2019). Tomato leafminer (*Tuta absoluta*): impacts and coping strategies for Africa. CABI Working Paper: 12, 56.
- Gorman, K., Hewitt, F., Denholm, I., Devine, G.J. (2002). New developments in insecticide resistance in the glasshouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) and the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in the UK, *Pest Management Science*: 58, 123-130.
- Greenfield, M., Gómez-Jiménez, M.I., Ortiz, V., Vega, F.E., Kramer, M., Parsa, S., (2016). *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. *Biological Control*: 95, 40–48.
- Griffin, M.R., Ownley, B.H., Klingeman, W.E., Pereira, R.M. (2005). Biocontrol of Rhizoctonia damping-off of cotton with endophytic *Beauveria bassiana*. *Phytopathology*: 95, S36.
- Guadalupe Ávila-Hernández, J., Carrillo-Inungaray, M. L., De la Cruz-Quiroz, R., Wong-Paz, J. E., Muñiz-Márquez, D.B., Parra, R., Aguilar, C.N., Aguilar-Zárte, P. (2020). *Beauveria bassiana* secondary metabolites: a review inside their production systems, biosynthesis, and bioactivities. *Mexican Journal of Biotechnology*: 5(4), 1-33.
- Guedes, R.N.C., & Picanc_o M.C. (2012). The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: pest status, management and insecticide resistance. *EPPO Bull*: 42, 211–21.
- Guedes, R. N. C., Roditakis, E., Campos, M.R., Haddi, K., Bielza, P., Siqueira, H.A.A., Tsagkarakou, A., Vontas, J., Nauen R. (2019). Insecticide resistance in the tomato pinworm *Tuta absoluta*: patterns, spread, mechanisms, management and outlook. *Journal of Pest Science*: 92, 1329-1342.
- Gurulingappa, P., McGee, P. A., Sword, G. (2011). Endophytic *Lecanicillium lecanii* and *Beauveria bassiana* reduce the survival and fecundity of *Aphis gossypii* following contact with conidia and secondary metabolites. *Crop Protection*: 30, 349-353.
- Hajek, A. E., McManus, M. L., Delalibera, Jr. I. (2007). A review of introductions of pathogens and nematodes for classical biological control of insects and mites. *Biological Control*: 41, 1-13.
- Han, P., Bayram, Y., Shaltiel-Harpaz, L., Sohrabi, F., Anitha, S., Esenali, U. T., Jalilov, A., Ali, A., Shashank, P. R., Ismoilov, K., Lu Z., Wang Su, Z., Gui F., Wan Fang H., Biondi, A., Desneux, N. (2019). *Tuta absoluta* continues to disperse in Asia: damage, ongoing management and future challenges. *Journal of Pest Science*: 92(4), 1317-1327.
- Hernández, C. S., Martínez, C., Porcar, M., Caballero, P., Ferré J. (2003). Correlation between serovars of *Bacillus thuringiensis* and type I β -exotoxin production. *Journal of invertebrate pathology*: 82(1), 57-62.
- Hossain, M.S., Mian, M.Y., Muniappan, R. (2016). First record of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) from Bangladesh. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*: 32, 101–105.

- Hu, Q., Li, F., Zhang, Y. (2016). Risks of mycotoxins from mycoinsecticides to humans. *BioMed Research International*: 2, 1-13.
- Huang, J.M., Zhao, Y.X., Sun, H., Ni, H., Liu, C., Wang, X., Gao, C.F., Wu, S.F., (2021). Monitoring and mechanisms of insecticide resistance in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), with special reference to diamides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*: 174, 104831.
- Hussain, A., Tian, M., He, Y., Ahmed S. (2009). Entomopathogenic fungi disturbed the larval growth and feeding performance of *Ocinara varians* (Lepidoptera: Bombycidae) larvae. *Insect Science*: 16, 511–517.
- Illakwahhi, D.T. & Srivastava, B.B.L. (2017). Control and management of tomato leafminer—*Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). A Review. *IOSR Journal of Applied Chemistry*: 10, 14–22.
- Ingegno, B.L., Pansa, M.G., Tavella, L. (2011). Plant preference in the zoophytophagous generalist predator *Macrolophus pygmaeus* (Heteroptera: Miridae). *Biological Control*: 58, 174–181.
- IRAC Tuta IRM Task Team (2017) (v6). Best Management Practices to Control *Tuta absoluta* and Recommendations to Manage Insect Resistance.
- IRAC (2018) (v10). Major mechanisms of insecticide resistance in green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer
- IRAC IRM Guideline (2019). Resistance management guideline for controlling R81T target site resistant *Myzus persicae* populations
- IRAC (2020) (v6). Mechanisms of Insecticide Resistance in Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande)
- Isaka, M., Kittakoop, P., Kirtikara, K., Hywel-Jones, N. L., Thebtaranonth, Y. (2005). Bioactive substances from insect pathogenic fungi. *Accounts of Chemical Research* : 38, 813-823.
- Jaber, L.R. (2015). Grapevine leaf tissue colonization by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* s.l. and its effect against downy mildew. *Biocontrol*: 60, 103–112.
- Jaber, L.R., & Enkerli, J. (2017). Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? *Biocontrol Science and Technology*: 27, 28–41.
- Jaber, L.R., & Ownley, B.H. (2018). Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biological Control*: 116, 36-45.
- Jaber, L.R., & Vidal, S. (2010). Fungal endophyte negative effects on herbivory are enhanced on intact plants and maintained in a subsequent generation. *Ecological Entomology*: 35, 25–36.
- Jaber, L.R., Vidal, S. (2012). Fungal endophyte negative effects on herbivory are enhanced on intact plants and maintained in a subsequent generation. *Ecological Entomology*: 35, 25–36.
- Jabbour, R., & Barbercheck, M.E. (2009). Soil management effects on entomopathogenic fungi during the transition to organic agriculture in a feed grain rotation. *Biological Control*: 51, 435–443.
- Jacobson, R.J. & Martin, G. A. (2011). Potential role for entomopathogenic nematodes within IPM of *Tuta absoluta* (Meyrick) on organic crops. *IOBC/WPRS Bulletin*: 68, 71-74.

- Jaworski, C.C., Bompard, A., Genies, L., Desneux, E.A., Desneux, N. (2013). Preference and prey switching in a generalist predator attacking local and invasive alien pests. *PLoS ONE*: 8(12), e82231.
- Jensen, R.E., Enkegaard, A., Steenberg, T. (2019). Increased fecundity of *Aphis fabae* on *Vicia faba* plants following seed or leaf inoculation with the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *PLoS ONE*: 14, e0223616.
- Juárez, M. P., & Calderón Fernandez, G. (2006). Cuticular hydrocarbons of triatomins. *Comparative Biochemistry and Physiology*: 47(3), 711-730.
- Kabaluk, J. T., & Ericsson, J. D. (2007). Environmental and behavioral constraints on the infection of wireworms by *Metarhizium anisopliae*. *Environmental Entomology*: 36, 1415-1420.
- Kabaluk, J. T., Svircev, A. M., Goettel, M. S., Woo, S. G. (2010). The use and regulation of microbial pesticides in representative jurisdictions worldwide. *International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants (IOBC)*: 99.
- Kaiser, D., Bacher, S., Mène-Saffrané, L., Grabenweger, G. (2018). Efficiency of natural substances to protect *Beauveria bassiana* conidia from UV radiation. *Pest management science*: 75(2), 556-563.
- Kannadan, S., & Rudgers, J.A. (2008). Endophyte symbiosis benefits a rare grass under low water availability. *Functional Ecology*: 22, 706–713.
- Kant, M.R., Ament, K., Sabelis, M.W., Harin, M.A., Schuurink, R.C. (2004). Differential timing of spider mite-induced direct and indirect defences in tomato plants. *Plant Physiology*: 135(1), 483–495.
- Kaoud ,H.A. (2014). Alternative methods for the control of *Tuta absoluta*. *Global journal of multidisciplinary and applied sciences*: 2(2), 41-46.
- Karatolos, N., Denholm, I., Williamson, M., Nauen, R., Gorman K. (2010). Incidence and characterisation of resistance to neonicotinoid insecticides and pymetrozine in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*: 66, 1304–1307.
- Khajehali, J., Van Leeuwen, T., Grispu, M., Morou, E., Alout, H., Weill, M., Tirry, L., Vontas, J., Tsagkarakou, A. (2010). Acetylcholinesterase point mutations in European strains of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) resistant to organophosphates. *Pest Management Science*: 66, 220-228.
- Khan, S., Guo, L., Maimaiti, Y., Mijit, M., Qiu, D. (2012). Entomopathogenic fungi as microbial biocontrol agent. *Molecular Plant Breeding*: 3(7), 63-79.
- Krechemer, F.S., & Foerster, L.A. (2015). *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): Thermal requirements and effect of temperature on development, survival, reproduction and longevity. *European Journal of Entomology*: 112(4), 658-663.
- Krechemer, F.S. & Foerster, L.A. (2020). Influence of biotic and abiotic factors on the population fluctuation of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in an organic tomato farming. *International Journal of Tropical Insect Science*: 40, 199–208.
- Krings, M., Taylor, T.N., Hass, H., Kerp, H., Dotzler, N., Hermsen, E.J. (2007). Fungal endophytes in a 400-million-yr-old land plant: infection pathways, spatial distribution, and host responses. *New Phytologist*: 174, 648–657.
- Kuldau, G., & Bacon C. (2008). Clavicipitaceous endophytes: Their ability to enhance resistance of grasses to multiple stresses. *Biological Control*: 46, 57–71.

- Lacey, L.A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D.I., Frutos, R., Brownbridge, M., Goettel, M.S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*: 132, 1–41.
- Lagogiannis I., Ntoukas A., Zampara I., Mantzoukas S. (2020). Effect of Entomopathogenic Fungi on the Survival of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Applied Microbiology Theory & Technology*: 1(2) 59.
- Lai, T., & Su, J. (2011). Assessment of resistance risk in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole. *Pest Management Science* 67(11), 1468-72.
- Landecker E.M. (1996). *Fundamentals of the fungi*. Publisher : Benjamin Cummings, 4th edition.
- Lara, L., Aguilar, R., Salvador, E., Tellez, M.M. (2010). Estudios de control biologico de la polilla del tomate *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera; Gelechiidae) en cultivos hortícolas de invernadero del Sureste Espanol. *Phytoma Espana*: 221, 39.
- Larran, S., Perello, A., Simon, M.R., Moreno, V. (2002a). Isolation and analysis of endophytic microorganisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. *World Journal of Microbiology and Biotech*: 18, 683–686.
- Larran, S., Rollan, C., Bruno Angeles, H., Alippi, H.E., Urrutia, M.I. (2002b). Endophytic fungi in healthy soybean leaves. *Investigacion Agraria. Produccion y Proteccion de Vegetales*: 17, 173–177.
- Liao, X., O'Brien, T.R., Fang, W., Leger, R.J.S. (2014). The plant beneficial effects of *Metarhizium* species correlate with their association with roots. *Applied Microbiology and Biotechnology*: 98, 7089–7096.
- Litwin, A., Nowak, M., Rozalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*: 19, 23-42.
- Liu, H., & Bauer L. (2006). Susceptibility of *Agilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) to *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Economic Entomology*: 99, 1096-1103.
- Lobos, E., Occhionero, M., Werenitzky, D., Fernandez, J., Gonzalez L.M., Rodriguez, C., Calvo, C., Lopez G., Oehlschlager A.C. (2013). Optimization of a trap for *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera Gelechiidae) and trials to determine the effectiveness of mass trapping. *Neotropical Entomology*: 42, 448–57.
- Lopez, C.D., Zhu-Salzman, K., Ek-Ramos, J.M., Sword, G.A. (2014). The Entomopathogenic Fungal Endophytes *Purpureocillium lilacinum* (Formerly *Paecilomyces lilacinus*) and *Beauveria bassiana* Negatively Affect Cotton Aphid Reproduction under Both Greenhouse and Field Conditions. *PLoS ONE*: 9, e103891.
- Lopez, D.C., & Sword, G.A. (2015). The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control*: 89, 53–60.
- Lord, J. C. (2005). From Metchnikoff to Monsanto and beyond: the path of microbial control. *Journal of invertebrate pathology*: 89(1), 19-29.
- Lu, D., Pava-Ripoll, M., Li, Z.Z., Wang, C., (2008). Insecticidal evaluation of *Beauveria bassiana* engineered to express a scorpion neurotoxin and a cuticle degrading protease. *Applied Microbiology and Biotechnology*: 81, 515-522.

- Ludmilla, I., Cynthia, D., Mounira, El K., Rasha, D., Nour, E., Said I. (2017). Environmentally Sustainable Production of *Metrhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* for Control of *Tuta absoluta*. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering: 2(1), 1-12.
- Luna, M., Sanchez, N.E., Pereyra, P.C. (2007). Parasitism of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) by *Pseudapanteles dignus* (Hymenoptera: Braconidae) under laboratory conditions. Environmental Entomology: 36, 887-893.
- Luna, M.G., Wada, V.I., Sanchez, N.E. (2010). Biology of *Dineulophus phtorimaeae* (Hymenoptera: Eulophidae) and field interaction with *Pseudapanteles dignus* (Hymenoptera: Braconidae), larval parasitoids of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato. Annals of the Entomological Society of America: 103, 936-942.
- Machekano, H., Mutamiswa, R., Nyamukondiwa, C. (2018). Evidence of rapid spread and establishment of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in semi-arid Botswana. Agriculture & Food Security: 7(48).
- Maina, U. M., Galadima, I. B., Gambo, F. M., Zakaria, D. (2017). A review on the use of entomopathogenic fungi in the management of insect pests of field crops. Journal of Entomology and Zoology Studies: 6(1), 27-32.
- Mantzoukas, S., Chondrogiannis, C.H., Grammatikopoulos, G. (2015). Effects of three endophytic entomopathogens on sweet sorghum and on the larvae of the stalk borer *Sesamia nonagrioides*. An in planta tritrophic study under natural environmental conditions. Entomologia Experimentalis et Applicata: 154(1), 78-87.
- Mantzoukas, S., & Lagogiannis I. (2019), Endophytic Colonization of Pepper (*Capsicum annum*) Controls Aphids (*Myzus persicae* Sulzer). Applied Sciences: 9, 2239.
- Mantzoukas S., Denaxa N.K., Lagogiannis I. (2019). Efficacy of *Metarhizium anisopliae* and *Bacillus thuringiensis* against tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Current Agriculture Research Journal: 7(1), 37-45.
- Mantzoukas, S., Pettas, I., Lagogiannis, I. (2020). Stored product pests as models for trapping entomopathogenic fungi from olive tree orchards in Western Greece. Journal of Stored Products Research: 87, 101584.
- Mantzoukas, S., & Eliopoulos P. (2020). Endophytic Entomopathogenic Fungi: A Valuable Biological Control Tool against Plant Pests. Applied Sciences: 10, 360.
- Mantzoukas, S., & Grammatikopoulos, G. (2020). The effect of three entomopathogenic endophytes of the sweet sorghum on the growth and feeding performance of its pest, *Sesamia nonagrioides* larvae, and their efficacy under field conditions. Crop Protection: 127, 104952.
- Mantzoukas, S., Lagogiannis, I., Mpousia, D., Ntoukas, A., Karmakolia, K., Eliopoulos, P.A., Poulas, K. (2021). *Beauveria bassiana* Endophytic Strain as Plant Growth Promoter: The Case of the Grape Vine *Vitis vinifera*. Journal of Fungi: 7(2), 142.
- Martins, J., Picanco, M.C., Bacci, L., Guedes, R.N.C., Santana, Jr. P.A., Ferreira, O., Chediak, M. (2016). Life table determination of thermal requirements of the tomato borer *Tuta absoluta*. Journal of pest Science: 89(4), 897-908.

- Mascarin, G.M., & Jaronski, S.T. (2016). The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*: 32(11), 177.
- Mashaly, A., Ali, M., Al-Khalifa, M. (2012). Trail Pheromones in Pest Control. In *New Perspectives in Plant Protection IntechOpen*: London, UK.
- McCoy, C. W., Samson, R. A., Boucias, D. G. (1988). Entomogenous fungi. In: Ignoffo CM (ed) *CRC Handbook of Natural Pesticides vol V. Microbial insecticides: part A. Entomogenous protozoa and fungi*, CRC Press, Boca Raton, FL, 151–236.
- McKinnon, A.C., Saari, S., Moran-Diez, M.E., Meyling, N.V., Raad, M., Glare, T.R. (2017). *Beauveria bassiana* as an endophyte: A critical review on associated methodology and biocontrol potential. *BioControl*: 62, 1–17.
- Mercado-Blanco, J., & Lugtenberg, B. (2014). Biotechnological applications of bacterial endophytes. *Current Biotechnology*: 3, 60–75.
- Meyling, N.V., & Eilenberg, J. (2006). Occurrence and distribution of soil borne entomopathogenic fungi within a single organic agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*: 113, 336–341.
- Meyling, (2007). Methods for isolation of entomopathogenic fungi from the soil environment.
- Meyling, N.V., Thorup-Kristensen, K., Eilenberg, J. (2011). Below-and aboveground abundance and distribution of fungal entomopathogens in experimental conventional and organic cropping systems. *Biological Control*: 59, 180–186.
- Mishra, J., Tewari, S., Singh, S., Arora, N. K. (2015). Biopesticides: where we stand?. In *Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets*: 37-75.
- Molla, O., Gonzalez-Cabrera, J., Urbaneja A. (2011). The combined use of *Bacillus thuringiensis* and *Nesidiocoris tenuis* against the tomato borer *Tuta absoluta*. *Biocontrol*: 56, 883–891.
- Molla, O., Biondi, A., Alonso, Valiente M., Urbaneja, A. (2014). A comparative life history study of two mirid bugs preying on *Tuta absoluta* and *Ephestia kuehniella* eggs on tomato crops: implications for biological control. *BioControl*: 59, 175-183.
- Monserrat, D.A. (2008). The South American tomato pinworm (*Tuta absoluta*) in the Murcia Region: bases for its control. *Consejería de Agricultura y Agua, Region de Murcia* (in Spanish).
- Morton, A., Batalla-Carrera, L., Garcia-del-Pino, F. (2010). Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions. *BioControl*: 55, 523–530.
- Moussa, A.E., Abd El-Ghany, N.M., Abdel-Razek, A.S. (2018). Efficacy of bio-rational insecticides against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomatoes. *Bioscience Research*: 15(1), 28–40.
- Mukwa, L.F.T., Mukend, J., Adakate, F.G., Bugem, D.M., Kalonji-Mbuy, A., Ghimire, S. (2020). First report of the South American tomato pinworm *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and its damage in the Democratic Republic of Congo. *BioInvasions Records*: 10(1), 33–44.
- Muñiz-Paredes, F., Miranda-Hernández, F., Loera, O. (2017). Production of conidia by entomopathogenic fungi: from inoculants to final quality tests. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*: 33, 5.

- Mwamburi, L.A. (2021). Endophytic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, confer control of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in two tomato varieties. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*: 31(7).
- NARC (2016). The First record of *Tuta absoluta* (Meyrick 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Nepal. Nepal Agricultural Research Council (NARC), Kathmandu
- Narayananamy, P. (2013). Characteristics of biological control agents. *Biological Management of Diseases of Crops*, (Hokkanen. H. M. T., ed). Springer. Dordrecht, Países Bajos.
- Naselli, M., Biondi, A., Tropea-Garzia, G., Desneux, N., Russo, A., Siscaro, G., Zappala L. (2017). Insights into food webs associated with the South American tomato pinworm. *Pest Management of Science*: 73, 1352-1357.
- Nazemi, A., Khajehali, J., Van Leeuwen, T. (2016). Incidence and characterization of resistance to pyrethroid and organophosphorus insecticides in *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) in onion fields in Isfahan, Iran. *Pesticide Biochemistry and Physiology*: 129, 28–35.
- Nannini, M., Atzori, F., Murgia, G., Pisci, R., Sanna, F. (2012). Use of predatory mirids for control of the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) in Sardinian greenhouse tomatoes. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*: 42(2).
- Oliveira, F. A., Da Silva, D. J. H., Leite, G. L. D., Jham, G. N., Picanço, M. (2009). Resistance of 57 greenhouse-grown accessions of *Lycopersicon esculentum* and three cultivars to *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Scientia Horticulturae*: 119(2), 182-187.
- Oliveira, I., Pereira, J.A., E., Lino-Neto, T., Bento, A., Baptista, P. (2013). Effect of soil tillage on natural occurrence of fungal entomopathogens associated to *Prays oleae* Bern (Lepidoptera, Plutellidae). *Scientia Horticulturae*: 159, 190–196.
- Oreste, M., Bubici, G., Polisenio, M., Triggiani, O., Tarasco, E. (2012). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. And *Metarhizium anisopliae* (metschn.) Sorokin against *Galleria mellonella* L. And *Tenebrio molitor* L. In laboratory assays. *REDIA*: 95, 43–48.
- Ouardi, K., Chouibani, M., Rahel, M.A., El Akel, M. (2012). Stratégie Nationale de lutte contre la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* Meyrick. *EPPO Bulletin*: 42, 281–290.
- Ovcarenko, I., Lindstrom, L., Saikkonen, K., Vanninen, I. (2014). Variation in mortality among populations is higher for pymetrozine than for imidacloprid and spiromesifen in *Trialeurodes vaporariorum* in greenhouses in Finland, *Pest Management Science*: 70, 1524-1530.
- Ownley, B.H., Griffin, M.R., Klingeman, W.E., Gwinn, K.D., Moulton, J.K., Pereira, R.M. (2008). *Beauveria bassiana*: Endophytic colonization and plant disease control. *Journal of Invertebrate Pathology*: 98, 267–270.
- Ownley, B. H., Gwinn, K. D., Vega, F. E. (2010). Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: ecology and evolution. *BioControl*: 55(1): 113- 128.
- Panayidou, S., Ioannidou, E., Apidianakis, Y. (2013). Human pathogenic bacteria, fungi, and viruses in *Drosophila*. *Virulence*: 5(2), 253-269.
- Panda, N. & Khush, G. A. (1995). Host plant resistance to insects. CAB International, Wallingford, UK.

- Pappas, M. L., Migkou, F., Broufas, G.D. (2013). Incidence of resistance to neonicotinoid insecticides in greenhouse populations of the whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) from Greece. *Applied Entomology and Zoology*: 48(373), 378.
- Parsa, S., Ortiz, V., Vega, F.E. (2013). Establishing fungal entomopathogens as endophytes: towards endophytic biological control. *Journal of Visualized Experiments*: 74, e50360.
- Pava-Ripoll, M., Angelini, C., Fang, W., Wang, S., Posada, F.J., St Leger, R. (2011). The rhizosphere competent entomopathogen *Metarhizium anisopliae* expresses a specific subset of genes in plant root exudate. *Microbiology*: 157, 47–55.
- Pedrini, N., Crespo, R., Juanez, M.P. (2006). Biochemistry of insect epicuticle degradation by entomopathogenic fungi. *Comparative Biochemistry and physiology, Part C, Toxicology & Pharmacology*: 146(1-2), 124-137.
- Perdikis, D.Ch. & Lykouressis, D.P. (2002). Life table and biological characteristics of *Macrolophus pygmaeus* when feeding on *Myzus persicae* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*: 102, 261–272.
- Perdikis, D. Ch., & Lykouressis D. P. (2004). *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae) Population Parameters and Biological Characteristics When Feeding on Eggplant and Tomato without Prey. *Journal of Economic Entomology*: 97(4), 1291-1298.
- Perdikis, D., Arvati, K.A., Paraskevopoulos, A., Grigoriou, A. (2015). Pre-plant release enhanced the earlier establishment of *Nesidiocoris tenuis* in open field tomato. *Entomologia Hellenica*: 24, 11–21.
- Pereyra, P.C. & Sanchez, N.E. (2006). Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology*: 35(5), 671-676.
- Peshin, R., Dhawan, A. K. (Eds.). (2009). *Integrated Pest Management: Volume 2: Dissemination and Impact (Vol. 2)*. Springer Science & Business Media.
- Pickett, C. H., & Bugg, R. L. (1998). *Enhancing Biological Control: Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests*. University of California Press, Berkeley.
- Pieterse, C.M.J., Zamioudis, C., Berendsen, R.L., Weller, D.M., Van Wees, S.C.M., Bakker, P.A.H.M. (2014). Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. *Annual Review of Phytopathology*: 52, 347-375.
- Pilz, C., Wegensteiner, R., Keller, S. (2006). Natural occurrence of insect pathogenic fungi and insect parasitic nematodes in *Diabrotica virgifera* populations. *Biocontrol*: 53, 353–359.
- Polat, B. (2019). Efficacy of mass trapping of tomato leafminer (*Tuta absoluta*) with different types and colors of traps in open field tomato. *Applied Ecology and Environmental Research*: 17(6), 15721-15730.
- Posada, F., & Vega, F. E. (2006). Inoculation and colonization of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Mycoscience*: 47, 284–289.
- Posada, F., Aime, M.C., Peterson, S.W., Rehner, S.A., Vega, F.E. (2007). Inoculation of coffee plants with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Mycological Research*: 111, 749–758.

- Potting, R. (2009). Pest risk analysis, *Tuta absoluta*, tomato leaf miner moth. Plant protection service of the Netherlands. Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation, 24.
- Potting, R.P.J., Van Der Gaag, D.J., Loomans, A., Van der Straten, M., Anderson, H., Macleod, A., Castrillón, J.M.G., Cambra G.V. (2013). *Tuta absoluta*, Tomato leaf miner moth or South American tomato moth. Utrecht, The Netherlands: Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, Plant Protection Service of the Netherlands.
- Pourtaghi, E., Talaei-Hassanloui, R., Nasibi, F., Fotouhifar, K.B. (2020). Endophytic colonization of tomato by *Beauveria bassiana* for control of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Acta Biologica*: 149–160.
- Powell, W.A., Klingeman, W.E., Ownley, B.H., Gwinn, K. (2009). Evidence of Endophytic *Beauveria bassiana* in seed-treated tomato plants acting as a systemic Entomopathogen to Larval *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomological Science*: 44(4), 391–396.
- Proffit, M., Birgersson, G., Bengtsson, M., Reis, R., Witzgall, P., Lima, E. (2011). Attraction and oviposition of *Tuta absoluta* females in response to tomato leaf volatiles. *Journal of Chemical Ecology*: 37(6), 565-574.
- Qayyum, M.A., Wakil, W., Arif, M.J., Sahi, S.T., Dunlap, C.A. (2015). Infestation of *Helicoverpa armigera* by endophytic *Beauveria bassiana* colonizing tomato plants. *Biological Control*: 90, 200–207.
- Quesada-Moraga, E., Landa, B. B., Munoz-Ledesma, J., Jimenez-Diaz, R. M., Santiago-Alvarez C. (2006). Endophytic colonization of opium poppy, *Papaver somniferum*, by an entomopathogenic *Beauveria bassiana* strain. *Mycopath.* 161: 323–329.
- Quesada-Moraga, E., Navas- Cortes, J.A., Maranhao, A.A., Ortiz-Urquiza, A., Santiago-Alvarez, C. (2007). Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological Research*: 111, 947–966.
- Quesada-Moraga, E., Muñoz-Ledesma, F.J., Santiago-Álvarez, C. (2009). Systemic protection of *Papaver somniferum* L. against *Iraella luteipes* (Hymenoptera: Cynipidae) by an endophytic strain of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Environmental Entomology*: 38, 723–730.
- Reddy, N.P., Ali Khan, A.P., Devi, U.M., Sharna, H.C., Reineke, A. (2009). Treatment of millet crop plant (*Sorghum bicolor*) with the entomopathogenic fungus (*Beauveria bassiana*) to combat infestation by the stem borer, *Chilo partellus* Swinhoe (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*: 12, 221–226.
- Reay, S.D., Brownbridge, M., Gicquel, B., Cummings, N.J., Nelson, T.L. (2010). Isolation and characterization of endophytic *Beauveria* spp. (Ascomycota: Hypocreales) from *Pinus radiata* in New Zealand forests. *Biological Conservation*: 54, 52–60.
- Rehner, S. A., & Buckley, E. P. (2005). A *Beauveria* phylogeny inferred from nuclear ITS and EF1-a sequences: evidence for cryptic diversification and links to *Cordyceps* teleomorphs. *Mycologia*: 97, 84–98.

- Rios-Moreno, A., Garrido-Jurado, I., Resquin-Romero, G., Arroyo-Manzanares, N., Arce, L., Quesada-Moraga, E. (2016). Destruxin A production by *Metarhizium brunneum* strains during transient endophytic colonisation of *Solanum tuberosum*. *Biocontrol Science and Technology*: 26, 1574–1585.
- Robertson, J. L., Preisler, H.K., Russel, M.R., Savin, N.E. (2007). *Pesticide bioassays with arthropods*, second edition, CRC, Boca Raton, 196.
- Roditakis, E., Grispou, M., Morou, E., Kristoffersen, J.B., Roditakis, N., Nauen, R., Vontas, J., Tsagkarakou A. (2009). Current status of insecticide resistance in Q biotype *Bemisia tabaci* populations from Crete. *Pest Management Science*: 65, 313-322.
- Roditakis, E., Papachristos D., Roditakis, N. E. (2010). Current status of the tomato leafminer *Tuta absoluta* in Greece. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*: 40, 163–166.
- Roditakis, E., Vasakis, E., Grispou, M., Stavrakaki, M., Nauen, R., Gravouil, M., Bassi, A. (2015). First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. *Journal of Pest Science*: 88(1), 9–16.
- Roditakis, E., Vasakis, E., Garcia-Vidal, L., Martinez-Aguirre, M.D.R., Rison, J., L., Haxaire Lutun, M. O., Nauen, R., Tsagkarakou, A., Bielza P. (2017). A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *Tuta absoluta* in the European/Asian region. *Journal of Pest Science*: 91, 421-435.
- Roy, H. E., Brodie, E. L., Chandler, D., Goettel, M. S., Pell, J. K., Wajnberg, E., Vega, F. E. (2009). Deep space and hidden depths: understanding the evolution and ecology of fungal entomopathogens. In *The Ecology of Fungal Entomopathogens*, Springer, Dordrecht, 1-6.
- Russo, M.L., Scorsetti, A.C., Vianna, M.F., Allegrucci, N., Ferreri, N.A., Cabello, M.N., Pelizza, S.A. (2018). Effects of endophytic *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) on biological, reproductive parameters and food preference of the soybean pest *Helicoverpa gelotopoeon*. *Journal of King Saud University Science*: 31, 1077–1082.
- Russo, M.L., Pelizza, S.A., Vianna, M.F., Allegrucci, N., Cabello, M.N., Toledo, A.V., Mourellos, C., Scorsetti, A.C. (2019). Effect of endophytic entomopathogenic fungi on soybean *Glycine max* (L.) Merr. growth and yield. *Journal of King Saud University Science*: 31(4), 728-736.
- Sánchez-Peña, S.R., Lara, J., Medina, R.F. (2010). Occurrence of entomopathogenic fungi from agricultural and natural ecosystems in Saltillo, Mexico, and their virulence towards thrips and whiteflies. *Journal of Insect Science*: 11, 1–10.
- Sannino, L., & Espinosa, B. (2010). *Tuta absoluta*, guide to knowledge and recent acquisitions for a suitable control. *L'Informatore Agrario*: 46(1), 1–113.
- Santana, P.A. Jr., Kumar, L., Da Silva, R.S., Picanço, M.C. (2019). Global geographic distribution of *Tuta absoluta* as affected by climate change. *Journal of Pest Science*: 92, 1373-1385.
- Sasan, R.K., & Bidochka, M.J. (2012). The Insect-Pathogenic Fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) Is Also an Endophyte That Stimulates Plant Root Development. *American Journal of Botany*: 99, 101-107.
- Shaw, K. E., Davidson, G., Clark, S. J., Ball, B. V., Pell, J. K., Chandler, D., Sunderland, K. D. (2002). Laboratory bioassays to assess the pathogenicity of mitosporic fungi

- to *Varroa destructor* (Acari: Mesostigmata), an ectoparasitic mite of the honeybee, *Apis mellifera*. *Biological Control*: 24, 266–276.
- Shahid, A. A., Rao, Q. A., Baskhsh, A., Husnain, T. (2012). Entomopathogenic fungi as biological controllers: new insights into their virulence and pathogenicity. *Archives of Biological Sciences*: 64(1), 21-42.
- Shin, T.Y., Lee, W.W., Ko, S.H., Choi, J.B., Bae, S.M., Choi, J.Y., Lee, K.S., Je, Y.H., Jin, B.R., Woo, S.D. (2013). Distribution and characterisation of entomopathogenic fungi from Korean soils. *Biocontrol Science and Technology*: 23, 288–304.
- Silva, A.C.L., Silva, G.A., Nogueira – Abib, P.H., Teixeira - Carolino, A., Samuels, R.I. (2020). Endophytic colonization of tomato plants by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for controlling the South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *CABI Agriculture and Bioscience*: 1, 3.
- Siqueira, H. A. A., Guedes, R. N. C., Fragoso, D.D.B., Magalhaes, L. C. (2001). Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Pest Management*: 47(4), 247-251.
- Skinner, M., Parker, B.L., Kim, J.S. (2014). Role of entomopathogenic fungi. In: Abrol DP (ed) *Integrated pest management*. Academic Press, Cambridge, 169–191.
- Smith, C.M. (1989). *Plant Resistance to Insects. A Fundamental Approach*. John Wiley & Sons, New York.
- Sohrabi, F., Nooryazdan, H. R., Gharati, B., Saeidi, Z. (2016). Evaluation of ten tomato cultivars for resistance against tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under field infestation conditions. *Entomologia Generalis*: 36(2), 163-175.
- Sridhar, V., Chakravarthy, A., Asokan, R., Vinesh, L., Rebijith, D., Vennila, S. (2014). New record of the invasive South American tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*: 20, 148–154.
- St leger, R.T., Wang, C., Fang, W. (2011). New perspectives on insect pathogens. *Fungal Biology Reviews*: 25(2), 84-88.
- Steenberg, T. (1995). *Natural Occurrence of Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. With Focus on Infectivity to Sitona Species and Other Insects in Lucerne* Ph.D. Thesis. The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark.
- Sun, B.D., & Liu, X.Z. (2008). Occurrence and diversity of insect-associated fungi in natural soils in China. *Applied Soil Ecology*: 39, 100–108.
- Tall, S., & Meyling, N.V. (2018). Probiotics for Plants? Growth Promotion by the Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* Depends on Nutrient Availability. *Microbial Ecology*: 76, 1002–1008.
- Tarasco, E., & Polisenio, M. (2005). Preliminary survey on the occurrence of entomopathogenic nematodes and fungi in Albanian soils. *IOBC/WPRS*: 28(3), 165- 168.
- Tarusikirwa, V.L., Machekano, H., Mutamiswa, R., Chidawanyika, F., Nyamukondiwa, C. (2020). *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) on the “Offensive” in Africa: Prospects for Integrated Management Initiatives. *Insects*: 11(11), 764.
- Tefera, T., & Vidal, S. (2009) Effect of inoculation method and plant growth medium on endophytic colonization of sorghum by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *BioControl*: 54, 663–669.

- Thakur, M., & Sohal, B.S. (2013). Role of Elicitors in Inducing Resistance in Plants against Pathogen Infection: A Review. *International Scholarly Research Notices: Article ID 762412*.
- Tian, X. L., Cao, L. X., Tan, H. M., Zeng, Q. G., Jia, Y. Y., Han, W. Q., Zhou, S. N. (2004). Study on the communities of endophytic fungi and endophytic actinomycetes from rice and their antipathogenic activities in vitro. *World Journal of Microbiology and Biotechnology: 20*, 303–309.
- Tian, Z. L., Ruan, C. C., Li, Q. Y., Tan, Y. F., Sun, G. Z. (2008). Advances in studies on the pathogenic mechanism of *Beauveria bassiana* to insects. *Journal of Anhui Agricultural Sciences: 36(36)*, 16000–16002.
- Tkaczuk, C. (2008). Występowanie i Potencjał Infekcyjny Grzybów Owadobójczych W Glebach Agroce-Noza i Środowisk Seminaturalnych W Krajobrazie Rolniczym. (Occurrence and Infective Potential of Entomopathogenic Fungi in the Soils of Agroecosystems and Semi-natural Habitats in Agricultural Landscape). *Rozprawa Wydawnictwo Akademii Podlaskiej Naukowa: 94*, 160.
- Tkaczuk, C., Krzyczkowski, T., Głuszcak, B., Król, A. (2012). Wpływ wybranych środków ochrony roślin na wzrost kolonii i kiełkowanie zarodników owadobójczego grzyba *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *Progress in Plant Protection/Postęp w Ochronie Roślin: 52(4)*, 969–974.
- Torres, J.B., Faria, C.A., Evangelista, W.S., Pratisoli D. (2001). Within-plant distribution of the leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *International Journal of Pest Management: 47*, 173-178.
- Tropea Garzia, G. (2009) *Physalis peruviana* L. (Solanaceae), a host plant of *Tuta absoluta* in Italy. *IOBC/WPRS Bulletin: 49*, 231–232.
- Tropea Garzia, G., Siscaro, G., Zappala, L. (2012). *Tuta absoluta*, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution, and damage. *EPPO Bulletin: 42(2)*, 205–210.
- Tsagkarakou, A., Navajas, M., Lagnel, J., Gutierrez, J., Pasteur, N. (1996). Genetic variability in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) from Greece: insecticide resistance and isozymes. *Journal of Economic Entomology: 89*, 1354-1358.
- Tsagkarakou, A., Pasteur, N., Cuany, A., Chevillon, C., Navajas, M. (2002). Mechanisms of resistance to organophosphates in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) from Greece. *Insect Biochemistry and Molecular Biology: 32*, 417-424.
- Tsagkarakou, A., Van Leeuwen T., Khajehali, J., Ilias, A., Grispou, M., Williamson, M.S., Tirry, L., Vontas, J. (2009a). Identification of pyrethroid resistance mutations in the para sodium channel of the two spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Insect Biochemistry and Molecular Biology: 18*, 583-593.
- Uchoa-Fernandez, M.A. & Vilela, E.F. (1995). Field trapping of the tomato worm *Scrobipalpula absoluta* (Meyrick) (Lep., Gelechiidae). *Annals of the Entomological Society: 23*, 271-277.
- Uma Devi, K., Padmavathi, J., Uma Maheswara, R. C., Khan, A. A. P., Mohan, M. C. (2008). A study of host specificity in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Hypocreales, Clavicipitaceae). *Biocontrol Science and Technology: 18(10)*, 975-989.

- Urbaneja, A., Vercher, R., Navarro, V., Garcia Mari, F., Porcuna, J.L. (2007). La polilla del tomate, *Tuta absoluta*. Phytoma España: 194, 16–23.
- Urbaneja, A., Monton, H., Molla, O. (2009). Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. Journal of Applied Entomology: 133, 292–296.
- Urbaneja, A., González-Cabrera, J., Arnó J., Gabarra R. (2012). Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin. Pest Management Science: 68(9), 1215-1222.
- USDA (2011) New Pest Response Guidelines: Tomato Leafminer (*Tuta absoluta*). Retrieved from http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/emergency/downloads/Tuta-absoluta.pdf
- Vacas, S., Alfaro, C., Primo, J., Navarro-Llopis V. (2011). Studies on the development of a mating disruption system to control the tomato leafminer, *Tuta absoluta* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae). Pest Management Science: 67(11), 1473-1480.
- Vargas, H.C. (1970). Observaciones sobre la biología y enemigos naturales de la polilla del tomate, *Gnorimoschema absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Idesia: 1, 75–110.
- Vega, F. E., Posada, F., Aime, M. C., Pava-Ripoll, M., Infante, F., Rehner, S.A. (2008). Entomopathogenic fungal endophytes. Biological Control: 46, 72-82.
- Vega, F.E., Mark, S., Goettel, M.S., Blackwell, M., Chandler, D., Jackson, M.A., Keller, S., Koike, M., Maniana, N.K., Monzon, A., Ownley, B.H., Pell J.K., Rangel, D.E.N., Roy, H.E. (2009). Fungal entomopathogens: new insights in their ecology. Fungal Ecology: 2, 149–159.
- Vega, F.E. (2018). The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: a review. Mycologia: 110, 4–30.
- Vercher, R., Calabuig, A., Felipe, C. (2010). Ecology, sampling and economic threshold of *Tuta absoluta* (Meyrick). Phytoma Espana: 217, 23–26.
- Vianna, F., Pelizza, S., Russo, L., Allegrucci, N., Scorsetti, A. (2018). Endophytic *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) alters *Helicoverpa gelotopoeon*'s (D.) (Lepidoptera: Noctuidae) life cycle and reproductive parameters. Journal of Plant Protection Research: 58(4), 321–327.
- Vidal, S., Lopez-Llorca, L. V., Jansson, H. B., Salinas, J. (2006). Endophytic colonization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaves by entomopathogenic fungi. Micron: 37(7), 624– 632.
- Vidal, S., & Jaber, L.R. (2015). Entomopathogenic fungi as endophytes: plantendophyte herbivore interactions and prospects for use in biological control. Current Science: 109, 46- 54.
- Viggiani, G., Filella, F., Delrio, G., Ramassini, W., Foxi, C. (2009). *Tuta absoluta*, nuovo lepidottero segnalato anche in Italia. L'Informatore Agrario: 65(2), 66-68.
- Wagner, B. L., Lewis, L. C. (2000). Colonization of corn, *Zea mays*, by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. Applied and Environmental Microbiology: 66, 3468–3473.
- Wagner, B.L., Lewis, L.C. (2000). Colonization of corn, *Zea mays*, by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. Applied and Environmental Microbiology: 66(8), 3468–3473.

- Wang, C., St. Leger, R. J. (2006). A collagenous protective coat enables *Metarhizium anisopliae* to evade insect immune responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*: 103, 6647-6652.
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior*: 7 (10), 1306-1320.
- Waweru, B., Turoop, L., Kahangi, E., Daniel, C., Dubois, T. (2014). Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes provide field control of nematodes, improving yield of banana (*Musa* sp.). *Biological Control*: 74, 82-88.
- Wicklów, D. T., Roth, S., Deyrup, S.T., Gloer, J.B. (2005). A protective endophyte of maize: *Acremonium zeae* antibiotics inhibitory to *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides*. *Mycological Research*: 109(5), 610-618.
- Witzgall, P., Kirsch, P., Cork, A. (2010). Sex Pheromones and Their Impact on Pest Management. *Journal of Chemical Ecology*: 36, 80–100.
- Xiong, Qi., Xie, Y., Zhua, Y., Xuea, J., Lib, J., Fanb, R. (2012). Morphological and ultrastructural characterization of *Carposina sasakii* larvae (Lepidoptera: Carposinidae) infected by *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales: Clavicipitaceae). *Micron*: 44, 303–311.
- Zappala, L., Siscaro, G., Biondi, A., Molla, O., Gonzalez Cabrera, J., Urbaneja, A. (2011). Efficacy of sulphur on *Tuta absoluta* and its side effects on the predator *Nesidiocoris tenuis*. *Journal of Applied Entomology*: 1036(6), 401–409.
- Zappala, L., Biondi, A., Alma, A., Al-Jboory, I. J., Arnó, J. (2013). Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle-East, and their potential use in pest control strategies. *Journal of Pest Science*: 86, 635–647.
- Zimmermann, G. (1986). The Galleria bait method for detection of entomopathogenic fungi in soil. *Journal of Applied Entomology*: 102, 213–215.
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*, *B. brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*: 17(6), 553-596.
- Zu, Y.Y., Ma, H.H., Lu, W.J., Wang, X.L., Wu, S.W., Nauen, R., Wu, Y.D., Yang, Y.H. (2019). Identification of the ryanodine receptor mutation I4743M and its contribution to diamide insecticide resistance in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Science*: 27, 791–800

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αγγίδης, Α.Δ. (1996). Τομάτα υπαίθρια, επιτραπέζια, βιομηχανική - Καλλιέργεια, αξιοποίηση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Δερβίσογλου, Σ. Α., Περδίκη, Δ. Χ., Φαντινού, Α. Α. (2019). Μελέτη της θηρευτικής ικανότητας του *Macrolophus pygmaeus* (Rambur), του *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) και του συνδυασμού τους, σε φυτά τομάτας με διαφορετική κατανομή και πυκνότητα ωών του *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). 18ο Πανελλήνιο Εντομολογικό Συνέδριο, Κομοτηνή, 15-18 Οκτωβρίου.
- [Δ.Α.Ο.Κ. ΔΡΑΜΑΣ] Δ/νση Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής Π.Ε. Δράμας., (2020). Τμήμα Ποιοτικού και Φυτοϋγειονομικού Ελέγχου, *Tuta Absoluta* Οδηγίες Αντιμετώπισης. Ανάκτηση από

<https://planthealthdrama.files.wordpress.com/2021/05/tuta-absoluta-ceb5cf85ceb1ceb9cf83ceb8ceb7cf83ceafceb1-cf83ceb5-cf86cf80.-ce94ce91ce9fce9a-ce94cf81ceaccebcceb1cf82-11-05-2021.pdf>.

- [ΕΛΣΤΑΤ] Ελληνική στατιστική αρχή. (2021). Διεύθυνση Στατιστικών Γεωργίας, Κτηνοτροφίας, Αλιείας και Περιβάλλοντος, Τμήμα Στατιστικών Γεωργίας, Κτηνοτροφίας και Αλιείας, Εκτάσεις και Παραγωγή, 2019. Ανάκτηση από <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/->
- Κοντοδήμας, Δ. Χ., Γκότση, Τ. (2009). Μελέτη της μη γραμμικής σχέσης θερμοκρασίας – ανάπτυξης, των εντομοπαθογόνων μυκήτων *Beauveria bassiana*, *Raecilomyces fumosoroseus* και *Metarhizium anisopliae*. 13ο Πανελληνίο Εντομολογικό Συνέδριο, Αλέξανδρουπολη 3-6 Νοεμβρίου: 284.
- Κωβαίος, Δ.Σ., Μπρούφας, Γ.Δ. (2001). Παρασιτοκτόνα και ωφέλιμοι οργανισμοί, Αξιολόγηση της τοξικότητας ορισμένων εντομοκτόνων σε ένα άρπαγα που απαντάται σε ροδακινιές στην Ελλάδα. Γεωργία-Κτηνοτροφία: 6, 22-25.
- Λυκουρέσης, Π.Δ. (1995). Ολοκληρωμένη αντιμετώπιση εντόμων-εχθρών καλλιεργειών. (Πανεπιστημιακές παραδόσεις) Γ.Π.Α.
- Μαντζούκας, Σ.Δ. (2013). Βιολογικός έλεγχος του λεπιδοπτερου *Sesamia nonagrioides* L. Σε καλλιέργεια γλυκού σόργου (*Sorghum bicolor* L.). Εργαστηριακή μελέτη της εντομοπαθογόνου δράσης τριών μυκήτων της τάξης Hygrocreales καθώς και μελέτη της ενδοφυτικής και εντομοπαθογόνου συμπεριφοράς τους σε συνθήκες πεδίου. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Νατσιόπουλος, Δ., Μαντζούκας, Σ.Δ., Ηλιόπουλος, Π.Α. (2018). Εντομοπαθογόνοι μύκητες ως μέσο της ολοκληρωμένης αντιμετώπισης εντόμων-εχθρών των καλλιεργειών. Σημερινή κατάσταση, προβλήματα και προοπτικές. Γεωργία – Κτηνοτροφία: 12.
- Ντόγρας, Κ. (2003). Ειδική Λαχανοκομία Ι. Έκδοση Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ολύμπιος, Χ.Μ. (2001). Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Σάββας, Δ. (2016) Γενική Λαχανοκομία. Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα, 706.
- [ΥΠΑΑΤ] Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (2019). Δ/ση Προστασίας Φυτικής Παραγωγής, Οδηγίες ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας στην καλλιέργεια της τομάτας θερμοκηπίου. Ανάκτηση από http://www.minagric.gr/images/stories/docs/agrotis/Georgika_Farmaka/olokl_fitoprostasia/TomataThermo_Mar2019.pdf
- [ΥΠΑΑΤ] Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων., (2021) Δ/ση Προστασίας Φυτικής Παραγωγής, Κατάλογοι Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων και Βιοκτόνων, κατά καλλιέργεια και έντομο (εχθρό). Ανάκτηση από (http://www.minagric.gr/syspest/SYSPEST_ENEMY_dron.apsx)