



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΤΟΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Βιολογική και χημική αντιμετώπιση του μύκητα *Alternaria dauci* σε δύο
διαφορετικής ανθεκτικότητας ποικιλίες καρότου

Χαρίκλεια Κ. Καβρουματζή

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημήτριος Τσιτσιγιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ

2021

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΤΟΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Βιολογική και χημική αντιμετώπιση του μύκητα *Alternaria dauci* σε δύο διαφορετικής
ανθεκτικότητας ποικιλίες καρότου

“Biological and chemical control of *Alternaria dauci* in two carrot cultivars with a
different degree of resistance”

Χαρίκλεια Κ. Καβρουματζή

Εξεταστική Επιτροπή:

Δημήτριος Τσιτσιγιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)
Επαμεινώνδας Παπλωματάς, Καθηγητής ΓΠΑ
Σωτήριος Τζάμος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Βιολογική και χημική αντιμετώπιση του μύκητα *Alternaria dauci* σε δύο διαφορετικής ανθεκτικότητας ποικιλίες καρότου

*ΠΜΣ Ολοκληρωμένα Συστήματα Φυτοπροστασίας και Διαχείρισης του Περιβάλλοντος
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μία από τις σημαντικότερες οικονομικά ασθένειες στην καλλιέργεια του καρότου είναι η αλτερναρίωση των φύλλων. Προκαλείται από το φυτοπαθογόνο μύκητα *Alternaria dauci*, ο οποίος καταστρέφει το φύλλωμα των φυτών, μειώνοντας έτσι τη φωτοσυνθετική τους ικανότητα και καθιστώντας παράλληλα αδύνατη τη μηχανική συγκομιδή. Η αντιμετώπισή της ασθένειας έγκειται στο συνδυασμό της εφαρμογής συνθετικών Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων (ΦΠΠ) με τη χρήση μερικώς ανθεκτικών ποικιλιών. Η μείωση των συνθετικών ΦΠΠ θα μπορούσε να ενισχυθεί και με τη χρήση βιολογικών ΦΠΠ με σκοπό τη δημιουργία σχημάτων ολοκληρωμένης αντιμετώπισης. Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκαν συνολικά 10 εμπορικά βιολογικά ΦΠΠ και βιοδιεγέρτες (Vacciplant[®], Serenade Aso[®], Romeo[®], Mevalone[®], Fytosave[®], Kendal[®], Trianum[®], LBG01F34[®], Sonata[®], Bion[®]), ως προς την ικανότητά τους να καταστέλνουν τα συμπτώματα της ασθένειας σε δύο διαφορετικής ανθεκτικότητας ποικιλίες καρότου υπό θερμοκηπιακές συνθήκες. Αξιολογήθηκαν, επίσης, 6 εμπορικά συνθετικά ΦΠΠ (Dagonis[®], Signum[®], Ortiva[®], Score[®], Reflect[®], Luna Sensation[®]) καθώς και δύο σκευάσματα που αποτελούν συνδυασμό συνθετικών μυκητοκτόνων με βιοδιεγέρτες (Bion MX[®] και Helioterpen[®] Soufre). Παρατηρήθηκε ότι όλα τα συνθετικά σκευάσματα και τα περισσότερα βιολογικά ήταν αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση του μύκητα. Από τα βιολογικά ΦΠΠ/ βιοδιεγέρτες, τα LBG01F34[®], Sonata[®], Mevalone[®], Trianum[®], Serenade Aso[®], Helioterpen[®] Soufre, Fytosave[®], Kendal[®] αποδείχθηκαν αποτελεσματικά ακόμη και σε συνθήκες υψηλής πίεσης μολύσματος. Τέλος, φαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα των ΦΠΠ που χρησιμοποιήθηκαν σχετίζεται με την ανθεκτικότητα της ποικιλίας, καθώς μεγαλύτερη προστασία παρατηρήθηκε στον πιο ευαίσθητο γονότυπο.

Επιστημονική περιοχή: αντιμετώπιση ασθενειών

Λέξεις κλειδιά: *Daucus carota*, *Alternaria dauci*, βιολογική αντιμετώπιση, χημική αντιμετώπιση, θερμοκηπιακές δοκιμές, ανθεκτικότητα

Biological and chemical control of *Alternaria dauci* in two carrot cultivars with a different degree of resistance

*MSc Plant protection and Environment
Faculty of Crop Science
Laboratory of Phytopathology*

ABSTRACT

Alternaria leaf blight (ALB) of carrot, caused by the fungus *Alternaria dauci*, is a foliar disease and a major constraint to carrot production worldwide (Farrar et al., 2004). Management of ALB is based on the combination of synthetic Plant Protection Products (PPPs) with the use of partially resistant varieties and disease prediction systems in order to make the applications of PPPs more targeted. However, the reduction of synthetic PPPs could be enhanced by both the use of biological PPPs and the design of effective integrated management schemes. Research on this subject has examined some possible means of biological treatment, the most important of which concern biological control agents or stimulants of plant defense mechanisms. In this direction, a total of 10 biological PPPs and biostimulants (Vacciplant[®], Serenade Aso[®], Romeo[®], Mevalone[®], Fytosave[®], Kendal[®], Trianum[®], LBG01F34[®], Sonata[®], Bion[®]) were evaluated for their ability to suppress symptoms of the disease in two varieties of different resistance in greenhouse experiments. There were also evaluated 6 commercial synthetic PPPs (Dagonis[®], Signum[®], Ortiva[®], Score[®], Reflect[®], Luna Sensation[®]), as well as two formulations that combine synthetic fungicides with biostimulants (Bion MX[®] and Helioterpen[®] Soufre). It was observed that all synthetic PPPs and most of the biological ones were effective in suppressing the disease. LBG01F34[®], Sonata[®], Mevalone[®], Trianum[®], Serenade Aso[®], Helioterpen[®] Soufre, Fytosave[®], Kendal[®], among the biological PPPs/ biostimulants, seems to be efficient even at high disease pressure. Finally, it appears that efficiency is depending on the genotype, as greater protection was observed with the susceptible genotype.

Scientific area: Crop protection

Keywords: *Alternaria* leaf blight, carrot, biological disease control, chemical control, greenhouse assays, plant resistance

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από το Φεβρουάριο του 2019 έως και τον Απρίλιο του 2020, υπό την επίβλεψη της Αναπληρωτή Καθηγητή Δημήτριου Τσιτσιγιάννη. Εκπονήθηκε στο πλαίσιο της φοίτησής μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ολοκληρωμένα Συστήματα Φυτοπροστασίας και Περιβάλλοντος», του τμήματος Επιστήμης Φυτικής παραγωγής.

Οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν καθ' οποιονδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωσή της. Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κο Δημήτρη Τσιτσιγιάννη, για τα ερεθίσματα που προκάλεσε με τις διαλέξεις και τις ερευνητικές αναφορές του. Η καθοδήγηση του και η εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και η απλόχερη αρωγή του καθ' όλη τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας ήταν καθοριστικές για την επιτυχή ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα επίσης, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Αναπληρωτή Καθηγητή Σωτήριο Τζάμο και τον Καθηγητή Επαμεινώνδα Παπλωματά για την προθυμία τους να συμμετέχουν στην αξιολόγηση της προσπάθειάς μου και για τον χρόνο που διέθεσαν στη μελέτη της διατριβής μου.

Επιπλέον, ευχαριστίες οφείλω στην υποψήφια διδάκτορα Μαρία Ηλιάδη για τις συμβουλές που μου παρείχε στα διάφορα πειραματικά στάδια, κυρίως όμως για την άριστη συνεργασία μας. Δε θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες προς την υποψήφια διδάκτορα Ειρήνη Πουλάκη, τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Μαρία Βαρβέρη και την απόφοιτο πλέον Δήμητρα Ακριβοπούλου, για την απλόχερη βοήθειά τους και την άψογη συνεργασία μας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας για την αλληλεγγύη και τις συμβουλές τους όλο το διάστημα αυτό.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, για την αμέριστη στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια σπουδών μου.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Το καρότο (<i>Daucus carota</i> L.).....	2
1.1.1. Καταγωγή – Ιστορικό	2
1.1.2. Χρήσεις.....	4
1.1.3. Θρεπτική αξία και οφέλη καρότου	6
1.1.4 Βοτανικά χαρακτηριστικά	7
1.1.5. Απαιτήσεις σε κλίμα και έδαφος	8
1.2. Εχθροί και ασθένειες της καλλιέργειας του καρότου	10
1.2.1. Σημαντικές εντομολογικές προσβολές και εχθροί του καρότου	11
1.2.2. Σημαντικές ασθένειες του καρότου	14
1.3. Περιγραφή της ασθένειας: Αλτερναρίωση των φύλλων του καρότου Παθογόνο αίτιο: <i>Alternaria dauci</i>	22
1.3.1. Οικονομική σημασία της ασθένειας	22
1.3.2. Ιστορική αναδρομή και ταξινόμηση.....	23
1.3.3. Αίτιο – Συνθήκες ανάπτυξης	25
1.3.4. Συμπτωματολογία.....	27
1.3.5. Αντιμετώπιση: Εφαρμοσμένες μέθοδοι – νέες τάσεις.....	28
1.4 Ο Αμυντικός Μηχανισμός των φυτών	32
1.4.1 Γενικά στοιχεία.....	32
1.4.2 Βασικό ανοσοποιητικό σύστημα	33
1.5. Σκοπός της Εργασίας	39
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	40
2.1. Πειράματα Θερμοκηπίου	41
2.1.1 Μικροβιολογικό Υλικό.....	41
2.2. Τεχνητά θρεπτικά υποστρώματα ανάπτυξης μικροοργανισμών	42
2.3. Παραγωγή φυτικού υλικού	44
2.4.1. Εφαρμογή Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων.....	46

2.4.2.	Διαδικασία παρασκευής του μολύσματος	57
2.4.3.	Τεχνητή μόλυνσης φυταρίων καρότου	58
2.4.4.	Καταγραφή Συμπτωμάτων	58
2.6.	Διαδικασία απομόνωσης <i>Alternaria dauci</i> από τα προσβεβλημένα φυτά 60	
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	62
3.1.	Π1: Πρώτο πείραμα παθογένειας σε καρότα θερμοκηπίου	63
3.1.1.	Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ και βιοδιεγερτών στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ	63
3.1.2.	Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ.....	68
3.2.	Π2: Δεύτερο πείραμα παθογένειας σε καρότα θερμοκηπίου	73
3.2.1.	Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ και βιοδιεγερτών στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ	73
3.2.2.	Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ.....	79
4.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το καρότο (*Daucus carota* L.)

1.1.1. Καταγωγή – Ιστορικό

Το καρότο (*Daucus carota* subsp. *sativus*) είναι το πιο ευρέως καλλιεργούμενο μέλος της οικογένειας των Σκιαδανθών (*Apiaceae* ή παλαιότερης *Umbelliferae*). Αυτή η ποικιλόμορφη και πολύπλοκη οικογένεια φυτών περιλαμβάνει πολλά άλλα λαχανικά, όπως παστινάκη, μάραθο, μαϊντανό, σέλινο, και πολλά βότανα και μπαχαρικά (Rubatzky *et al.*, 1999). Όπως και άλλα φυτά αυτής της οικογένειας, οι σπόροι καρότου είναι αρωματικοί και κατά συνέπεια έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά νωρίς ως μπαχαρικό ή φυτικό φάρμακο και όχι για τη ρίζα τους, όπως συμβαίνει σήμερα. Στην πραγματικότητα, ο σπόρος καρότου βρέθηκε σε πρώιμους χώρους ανθρώπινης κατοίκησης από 3.000 έως 5.000 χρόνια πριν, στην Ελβετία και τη Γερμανία (Laufer, 1919; Neuweiler, 1931).

Το γένος *Daucus*, στο οποίο και ανήκει το καρότο, περιλαμβάνει περίπου 20 είδη που είναι διάσπαρτα παγκοσμίως, η πλειονότητα των οποίων εμφανίζεται γύρω από τη Μεσόγειο (Saenz Lain, 1981). Σε αντίθεση με άλλα μέλη του γένους, το καρότο, *Daucus carota* L., προέρχεται από την Κεντρική Ασία. Πρόσφατα, η εφαρμογή προηγμένων μεθόδων μοριακής βιολογίας και βιοπληροφορικών εργαλείων επισήμανε ότι η Κεντρική Ασία ήταν το πρωταρχικό κέντρο εξημέρωσης καρότων (Iorizzo *et al.*, 2013), το οποίο είναι σύμφωνο με αρχεία σε ιστορικά έγγραφα που αναφέρουν ότι η Κεντρική Ασία και η Μικρά Ασία ήταν οι πρώτες περιοχές καλλιέργειας καρότου. Αν και το άγριο καρότο είχε εξαπλωθεί πολύ μακρύτερα από αυτήν την περιοχή, η καλλιέργεια του ως ρίζα γίνεται μόνο περίπου 1.100 χρόνια στο κέντρο της ποικιλομορφίας του, το Αφγανιστάν. Η εξάπλωση του καλλιεργήσιμου καρότου προς τα δυτικά είναι σχετικά καλά τεκμηριωμένη. Καταγράφεται στην Περσία τον 9^ο αιώνα, στη Μέση Ανατολή και στη Βόρεια Αφρική τον 10^ο αιώνα, στην Ισπανία τον 11^ο αιώνα και στη Βόρεια Ευρώπη τον 13^ο αιώνα (Banga, 1957a, b, 1963; Brandenburg, 1981). Η Τουρκία θεωρείται ένα δευτερεύον κέντρο ποικιλομορφίας για το καρότο με μακρά ιστορία διαφορετικών τύπων καρότων και χρήσεων ακόμη και σήμερα.

Το είδος *Daucus carota*, συμπεριλαμβανομένων των άγριων και ήμερων μορφών, έχει μεγάλη φαινοτυπική και μοριακή παραλλακτικότητα (Small, 1978; Heywood, 1983; Vivek & Simon, 1998) (Εικόνα 1.1). Η διαδικασία αξιολόγησης και ενσωμάτωσης της φυσικής εμφάνισης αλληλομορφικής παραλλακτικότητας, πιθανότατα ξεκίνησε με την εξημέρωση των καρότων (Laufer, 1919). Η πρώιμη επιλογή πιθανώς επικεντρώνεται σε μεγάλες, ομοιόμορφες ρίζες αποθήκευσης και μειωμένη τάση για την πρόωρη ανθοφορία. Η ευρεία διακύμανση των εξημερωμένων καρότων υποδηλώνει ότι έχει ενδεχομένως λάβει μέρος εκτενής εισροή βλαστικού πλάσματος (germplasm) άγριου καρότου σε ήμερες μορφές. Ο δυτικός τύπος καλλιεργήσιμου καρότου θεωρείται ότι προέρχονται από προγενέστερες μορφές του φυτού που περιέχουν ανθοκυανίνη και βρέθηκαν στο Αφγανιστάν. Μετά την «εξημέρωση» και τη διάδοση σε ολόκληρη την Ευρασία, η επόμενη γνωστή σημαντική αλλαγή στα καρότα ήταν η αλλαγή του χρώματος γογγυλρίζας από κίτρινο και μωβ σε πορτοκαλί στα τέλη του 16^{ου} και στις αρχές του 17^{ου} αιώνα και σύντομα προτιμήθηκαν τόσο στην ανατολική όσο και στη δυτική περιοχή παραγωγής (Banga 1957a, b, 1963; Rubatzky *et al.*, 1999). Οι πηγές βλαστικού πλάσματος που συμβάλλουν στην αλλαγή χρώματος κατά την εξημέρωση του καρότου είναι άγνωστες, μιας και οι ρίζες άγριου καρότου είναι λευκές ή πολύ ωχροκίτρινες. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι έχει χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο φυτό στη φυσιολογία φυτών και στη βιοτεχνολογία (Banga, 1984; Rubatzky *et al.*, 1999), καθώς το μέγεθος του γονιδιώματος του είναι σχετικά μικρό (Bennett and Leitch, 1995), η διακύμανση των μοριακών γενετικών δεικτών είναι αρκετά εκτεταμένη και τόσο ο γενετικός μετασχηματισμός όσο και η αναπαραγωγή του επιτυγχάνεται εύκολα.



Εικόνα 1.1. Φαινοτυπική παραλλακτικότητα σε γογγυλρίζες.

[<https://www.ars.usda.gov/midwest-area/madison-wi/vegetable-crops-research/docs/ifafs/>]

Σήμερα, η Κίνα είναι μακράν ο κύριος παραγωγός παγκοσμίως. Για το έτος 2019, μάλιστα, παρήγαγε 21,4 εκατομμύρια τόνους καρότων και γογγύλων. Ακολουθούν το Ουζμπεκιστάν, οι ΗΠΑ και η Ρωσική Ομοσπονδία, με τεράστια διαφορά στην παραγωγή. Στην Ελλάδα, το ίδιο έτος, η συνολική παραγωγή καρότων και γογγύλων ήταν περίπου 22,3 χιλιάδες τόνοι (FAO, 2019). Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής γίνεται σε ψυχρές ή εύκρατες περιοχές και λίγη προσπάθεια έχει αφιερωθεί στην ανάπτυξη ποικιλιών για τροπικές και υποτροπικές περιοχές (Bradeen & Simon, 2007). Ωστόσο, ορισμένες ποικιλίες μπορούν να καλλιεργηθούν σε όλα τα υψόμετρα στις τροπικές περιοχές (Göhl, 1982).

1.1.2. Χρήσεις

Τα καρότα διατίθενται εποχιακά σε περιοχές που παράγουν καρότα για ανθρώπινη κατανάλωση (Goby *et al.*, 2008). Σε εύκρατα κλίματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αγορά ως νωπό προϊόν το χειμώνα. Λόγω του βάρους και του όγκου των καρότων, η μεταφορά τους είναι δαπανηρή και οι απώλειες κατά το χειρισμό και την αποθήκευση επιβαρύνουν με επιπλέον κόστος (Morel d'Arleux, 1990). Το καρότο καλλιεργείται κυρίως για τη γογγυλóriζά του. Αυτή καταναλώνεται νωπή, μαγειρεμένη ή χρησιμοποιείται για την παραγωγή κονσερβοποιημένων, κατεψυγμένων ή αφυδατωμένων προϊόντων. Το φύλλωμα, επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατροφή των ζώων.

Επειδή, όπως αναφέρθηκε, το καρότο είναι ευπαθές και εποχιακό, δεν είναι δυνατόν να διατίθεται εύκολα όλο το χρόνο στη αγορά των νωπών λαχανικών. Η αφυδάτωση του καρότου κατά τη διάρκεια της κύριας καλλιεργητικής περιόδου είναι μια από τις σημαντικές εναλλακτικές λύσεις συντήρησης για την περαιτέρω ανάπτυξη προϊόντων προστιθέμενης αξίας που διατίθενται στην αγορά καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η επεξεργασία καρότων σε προϊόντα, όπως κονσέρβες τεμαχισμένου καρότου, χυμός, συμπύκνωμα, τουρσί, και κέικ είναι μερικές από τις μεθόδους για να καταστεί αυτό το λαχανικό διαθέσιμο όλο το χρόνο.

Ο πολτός καρότου (carrot pomace), περιέχει περίπου 50% των καροτενοειδών και σημαντικών ινών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κερδοφόρα για την ανάπτυξη

προϊόντων προστιθέμενης αξίας. Επιπλέον, η προσθήκη του σε τρόφιμα όπως ψωμί, κέικ και μπισκότα με αποξηραμένο πολτό καρότου είναι άλλες εναλλακτικές λύσεις για τη μείωση της τιμής των κύριων προϊόντων, όπως ο χυμός και το συμπύκνωμα με αποτέλεσμα το άμεσο όφελος για τους καταναλωτές. Για την εκμετάλλευση των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων και των διαιτητικών ινών του καρότου, υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης προϊόντων με βέλτιστο περιεχόμενο φυτοχημικών (phytochemicals) χωρίς να αλλοιώνεται η γεύση. Επομένως, φαίνεται ότι η επιτυχημένη ανάπτυξη των προϊόντων από φρέσκα, ημιτελή και αφυδατωμένα καρότα ενδέχεται να ανταποκρίνεται στη σύγχρονη τάση των καταναλωτών. Ταυτόχρονα, αυτό θα οδηγήσει στην παροχή θρεπτικών προϊόντων σε λογικές τιμές στους καταναλωτές, αλλά και στην αποτελεσματική χρήση των υπολειμμάτων καρότου, που διαφορετικά δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα (Sharma *et al.*, 2012).

Τα καρότα χρησιμοποιούνται ευρέως ως τρόφιμα και παράγονται αξιοσημείωτες ποσότητες υποπροϊόντων καρότου, όπως φλούδες και απορριμμένα καρότα. Στη Γαλλία, για παράδειγμα, περισσότερα από τα μισά καρότα που παράγονται για κονσερβοποίηση απορρίπτονται. Είναι προϊόντα πλούσια σε ζάχαρη, καθιστώντας τα πολύ εύγευστα και παραδοσιακά, έχουν χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματική τροφή για άλογα. Επίσης καταναλώνονται εύκολα από μηρυκαστικά. Η χρήση καρότων με διαβάθμιση και πλεόνασμα στη διατροφή των ζώων μπορεί να μειώσει το περιβαλλοντικό κόστος που σχετίζεται με τη διάθεσή τους (Goby & Gidenne, 2008). Οι Muller *et al.* (1984) ανέφεραν πολλά παραδείγματα σε αγρόκτημα όπου τα καρότα χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία στο σιτηρέσιο γαλακτοπαραγωγικών αγελάδων. Άλλη μελέτη μάλιστα διαπίστωσε ότι η χορήγηση επτά κιλών καρότου ημερησίως σε αγελάδες γαλακτοπαραγωγής οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης καροτενίου στο αίμα καθώς και σε 30% υψηλότερη συγκέντρωση α-τοκοφερόλης και έντονο κίτρινο χρώμα βουτύρου με αποτέλεσμα βελτιωμένη υγεία της αγελάδας και ποιότητα του προϊόντος (Antone *et al.*, 2015).

Σχετικά πρόσφατα, υπήρξε αυξημένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη χρωστικών τροφίμων από φυσικές πηγές ως εναλλακτικές των συνθετικών λόγω τόσο της νομοθεσίας όσο και του ενδιαφέροντος των καταναλωτών (He & Giusti, 2010). Οι ανθοκυανίνες είναι οι σημαντικότερες φυτικές χρωστικές, ορατές στο ανθρώπινο μάτι, ενώ προσδίδουν ταυτόχρονα αυξανόμενη θρεπτική αξία στα τρόφιμα, λόγω των ευεργετικών για την υγεία ιδιοτήτων τους. Τα είδη λαχανικών που περιέχουν υψηλά

επίπεδα ακυλιωμένων ανθοκυανινών, όπως τα μωβ καρότα (Kammerer *et al.*, 2004) και λάχανο (Charron *et al.*, 2007), είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα για το σκοπό αυτό. Πρόκειται για ουσίες που ανήκουν στη διαδεδομένη κατηγορία φαινολικών ενώσεων, που ονομάζονται συλλογικά φλαβονοειδή. Είναι γλυκοζίτες πολυϋδροξυ και πολυμεθοξυ παράγωγα των 2-φαινυλοβενζοπυριλίου ή αλάτων φλοβυλίου (Kong *et al.*, 2003). Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα χρωματικών τόνων, που κυμαίνονται από πορτοκαλί έως κόκκινο, μωβ και μπλε, ανάλογα με τη μοριακή δομή και το pH (Walkowiak-Tomczak & Czapski, 2007).

1.1.3. Θρεπτική αξία και οφέλη καρότου

Τα φρούτα και τα λαχανικά παρέχουν ένα σύνθετο μείγμα θρεπτικών και μη θρεπτικών συστατικών, όπως τα φυτοχημικά, που συνεργάζονται για την προστασία από ασθένειες (Krebs-Smith & Kantor, 2001). Διαφορετικά χρώματα φρούτων και λαχανικών οφείλονται σε χρωστικές φυτοχημικές ουσίες που καταπολεμούν τις ασθένειες.

Το καρότο είναι μια σημαντική πηγή φυτοθρεπτικών συστατικών συμπεριλαμβανομένων των φαινολικών (Babic *et al.*, 1993), πολυακετυλενίων (Hansen *et al.*, 2003; Kidmose *et al.*, 2004) και καροτενοειδών (Block, 1994). Είναι πλούσιο σε β-καροτένιο, ασκορβικό οξύ και τοκοφερόλη και ταξινομείται ως βιταμινούχος τροφή

(Hashimoto & Nagayama, 2004). *In vitro* μελέτες έδειξαν ότι τα φυτοθρεπτικά συστατικά όπως τα καροτενοειδή και τα φαινολικά μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο μαζί με τις βιταμίνες στην προστασία των βιολογικών συστημάτων από τις επιπτώσεις του οξειδωτικού στρες (Kalt, 2005). Λόγω του ευρέως φάσματος διαφορετικών ενώσεων που υπάρχουν, τα καρότα θεωρούνται ως λειτουργικά τρόφιμα με σημαντικές ιδιότητες που προάγουν την υγεία (Hager & Howard 2006).

Η κατανάλωση καρότου και των προϊόντων της έχει αυξηθεί σταθερά λόγω της αναγνώρισής τους ως σημαντικής πηγής φυσικών αντιοξειδωτικών, με αντικαρκινική δράση ειδικά του β-καροτενίου που είναι και πρόδρομος χημική ένωση της βιταμίνης A (Dreosti, 1993; Kotecha *et al.*, 1998; Speizer *et al.*, 1999). Το καλλιεργήσιμο καρότο είναι μια πλούσια πηγή β-καροτενίου, ινών και πολλών βασικών μικροθρεπτικών και λειτουργικών συστατικών. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων καροτενοειδών και δη του β-καροτενίου στις ρίζες του καρότου, προσδίδει ιδιότητες αντικαρκινικές, που δρουν ενάντια στις ελεύθερες ρίζες, και ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα.

Principle	Nutrient Value	Percentage of RDA
Energy	41 Kcal	2%
Carbohydrates	9.58 g	7%
Protein	0.93 g	1.50%
Total Fat	0.24 g	1%
Cholesterol	0 mg	0%
Dietary Fiber	2.8 g	7%
Vitamins		
Folates	19 µg	5%
Niacin	0.983 mg	6%
Pantothenic acid	0.273 mg	5.50%
Pyridoxine	0.138 mg	10%
Riboflavin	0.058 mg	4%
Thiamin	0.066 mg	6%
Vitamin A	16706 IU	557%
Vitamin C	5.9 mg	10%
Vitamin K	13.2 µg	11%
Electrolytes		
Sodium	69 mg	4.50%
Potassium	320 mg	6.50%
Minerals		
Calcium	33 mg	3%
Copper	0.045 mg	5%
Iron	0.30 mg	4%
Magnesium	12 mg	3%
Manganese	0.143 mg	6%
Phosphorus	35 mg	5%
Selenium	0.1 µg	<1%
Zinc	0.24 mg	2%
Phyto-nutrients		
Carotene-α	3427 µg	—
Carotene-β	8285 µg	—
Crypto-xanthin-β	0 µg	—
Lutein-zeaxanthin	256 µg	—

Εικόνα 1.2. Θρεπτική αξία νωπών καρότων ανά 100 g. [Πηγή: [FoodData Central \(usda.gov\)](https://www.usda.gov/fooddata)]

1.1.4 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το φυτό του καρότου είναι δικοτυλήδονο, ποώδες και καλλιεργείται κυρίως για τη διογκωμένη κεντρική του ρίζα (γογγυλόριζα). Ο καλλιεργούμενος τύπος του είναι διετές φυτό, σε αντίθεση με τον άγριο τύπο από τον οποίο πιστεύεται ότι προήλθε και είναι ετήσιο. Κατά τον πρώτο χρόνο το καρότο αναπτύσσεται βλαστητικά, αναπτύσσει δηλαδή φύλλα και γογγυλόριζα. Ωστόσο, υπάρχει περίπτωση να παράξει κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου και ανθικά στελέχη. Το γεγονός αυτό είναι ανεπιθύμητο όταν το καρότο καλλιεργείται για την παραγωγή γογγυλόριζας, καθώς αυτή ξυλοποιείται και είναι ακατάλληλη για κατανάλωση. Τα φύλλα αναπτύσσονται υπό μορφή ροζέτας, σε συμπίεμένο στέλεχος και διαθέτουν μακρύ μίσχο και έλασμα πτεροσχιδές. Η

γογγυλόριζα σχηματίζεται κατά τον πρώτο χρόνο είναι σαρκώδης και βρώσιμη. Το σχήμα, το μήκος και το χρώμα της ποικίλουν (Rubatzky *et al.*, 1999; Ολύμπιος, 2015).

Κατά το δεύτερο χρόνο, σχηματίζεται ανθικό στέλεχος από το μέσο της κορυφής της γογγυλόριζας, όταν το καρότο έχει περάσει το στάδιο της νεανικότητας και έχει υποστεί παρατεταμένης διάρκειας χαμηλές θερμοκρασίες. Έχει ύψος 1-1,50 μέτρα, διακλαδίζεται και στις διακλαδώσεις εμφανίζονται οι ταξιανθίες που ονομάζονται σκιάδια. Η άνθησή γίνεται με χρονική διαβάθμιση. Τα άνθη είναι μικρά, λευκά ή ρόδινα. Είναι κατά πλειοψηφία ερμαφρόδιτα, μπορεί όμως να γίνει και σταυροεπικονίαση με μέλισσες καθώς παρουσιάζουν και το φαινόμενο της πρωτανδρίας. Ο σπόρος είναι πολύ μικρός και είναι αχάινιο με δύο μεριστοκάρπια. Ένα γραμμάτιο σπόρων μπορεί να περιέχει περίπου 1500 σπέρματα (Ολύμπιος, 2015).

1.1.5. Απαιτήσεις σε κλίμα και έδαφος

Το καρότο είναι φυτό ψυχρής εποχής και αναπτύσσεται καλύτερα σε μέσες θερμοκρασίες από 16 - 18 °C. Σε θερμοκρασίες κάτω των 16 °C το χρώμα της γογγυλόριζας θα είναι φτωχό όπως και όταν έχει φωτοπερίοδο μικρότερη από 7 ώρες. Η φωτοπερίοδος δεν επηρεάζει το χρώμα της γογγυλόριζας όταν κυμαίνεται μεταξύ 9 και 14 ωρών. Σε θερμοκρασίες άνω των 28 °C καθώς και μεταξύ 4 - 10 °C περιορίζεται η ανάπτυξη των φύλλων και του ριζώματος. Καλλιεργείται σε πολλές περιοχές της γης όπως σε Σουηδία, Φιλανδία, Αλάσκα και σε άλλες περιοχές με λιγότερες από 60 μέρες χωρίς παγετό το χρόνο. Όπως επίσης καλλιεργείται και σε υψόμετρο 1.000 - 3.000 μέτρα στην Κόστα Ρίκα ή σε βουνά της Γουατεμάλας.

Για την εμπορική παραγωγή, τα καρότα σπέρνονται απευθείας στον αγρό και καλλιεργούνται ως ετήσια καλλιέργεια. Οι σπόροι είναι μικροί σε σύγκριση με άλλους σπόρους λαχανικών και η έκπτυξή τους είναι σχετικά αργή. Σε βέλτιστες θερμοκρασίες, 15 - 20°C, η βλάστηση συνήθως ολοκληρώνεται σε 7 έως 12 ημέρες. Ο σπόρος σπέρνεται σε βάθος 3 - 10 χιλιοστών, με πυκνότητα σποράς 500.000 έως 3.000.000 σπόρων ανά εκτάριο (10 στρέμματα). Οι ρίζες συνήθως επιτυγχάνουν εμπορεύσιμο μέγεθος εντός 70 με 120 ημερών, αλλά κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου ορισμένες καλλιέργειες μπορεί να απαιτήσουν περισσότερες από 150 ημέρες ανάπτυξης. Ο

κόνδυλος μπορεί να επιτύχει μέγιστο μήκος σε μόλις 25 έως 30 ημέρες μετά την έκπτυξη και τελικά να φτάσει σε βάθος 1 μέτρο. Παρόλο που τα καρότα συνήθως καλλιεργούνται σε αμμώδη εδάφη, ανέχονται ένα ευρύ φάσμα τύπων εδάφους εφόσον το ανώτερο μέτρο του εδάφους είναι ομοιόμορφο και απαλλαγμένο από εμπόδια στην ανάπτυξη των ριζών (Rubatzky *et al.*, 1999).

Η σύγχρονη παραγωγή καρότου χρησιμοποιεί αυτοκινούμενους μηχανικούς θεριστές πολλαπλών στροφών, οι οποίοι κόβουν και ανυψώνουν τα καρότα από τις κορυφές τους, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ζωνών (Εικόνα 1.3). Ακολουθεί η αφαίρεση του φυλλώματος, το οποίο απορρίπτεται, ενώ οι ρίζες μεταφέρονται και συλλέγονται σε μεγάλα δοχεία ή βαγόνια. Συνεπώς, το ισχυρό και υγιές φύλλωμα είναι σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του τύπου μηχανικής συγκομιδής. Άλλοι τύποι μηχανών συγκομιδής πρώτα καταρρίπτουν ή κόβουν το φύλλωμα. Οι ρίζες στη συνέχεια σκάβονται και ανυψώνονται κατά τρόπο παρόμοιο με τη συγκομιδή και το χειρισμό των πατατών. Για δέσμες καρότων με προσκολλημένα φύλλα, μια λεπίδα κάτω από την επιφάνεια τραβιέται οριζόντια για να υποσκάπτει τις ρίζες για εύκολη ανύψωση με το χέρι από το έδαφος. Στη συνέχεια, ένας συγκεκριμένος αριθμός ή βάρος ομοιόμορφων καρότων με άθικτο φύλλωμα συνδέεται ως δέσμη (Rubatzky *et al.*, 1999; Rubatzky, 2002).



Εικόνα 1.3. Μηχανικός θεριστής πολλαπλών στροφών, που κόβει και τραβάει τα καρότα από τις κορυφές τους, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ζωνών
[<https://www.dewulfgroup.com/en/product/harvesting/top-lifting-harvesters/trailed/gkiis>]

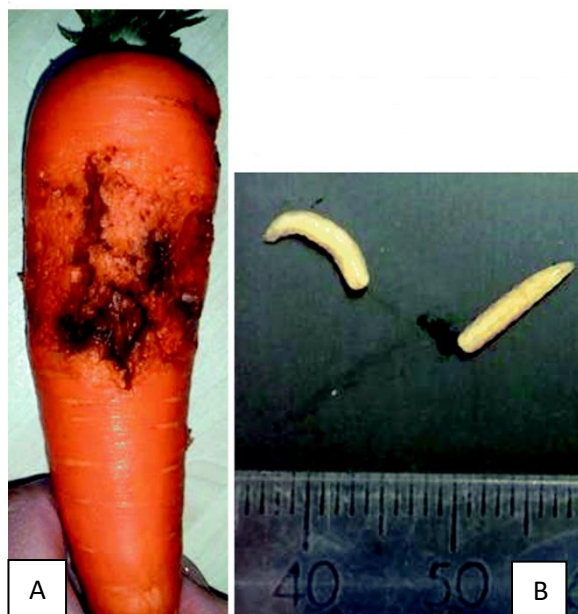
1.2. Εχθροί και ασθένειες της καλλιέργειας του καρότου

Η παραγωγή καρότου (*Daucus carota* ssp. *sativus*) μπορεί να επηρεαστεί από ένα ευρύ φάσμα εχθρών και παθογόνων. Τουλάχιστον πέντε ασθένειες του καρότου προκαλούνται από βακτηριακά παθογόνα, 36 από παθογόνα μυκήτων και οωμυκητών, δύο από φυτοπλάσματα και 13 από ιούς. Επιπλέον, επτά γένη νηματωδών και δύο γένη παρασιτικών φυτών επηρεάζουν το καρότο (du Toit, *et al.*, 2019).

1.2.1. Σημαντικές εντομολογικές προσβολές και εχθροί του καρότου

Μύγα του καρότου

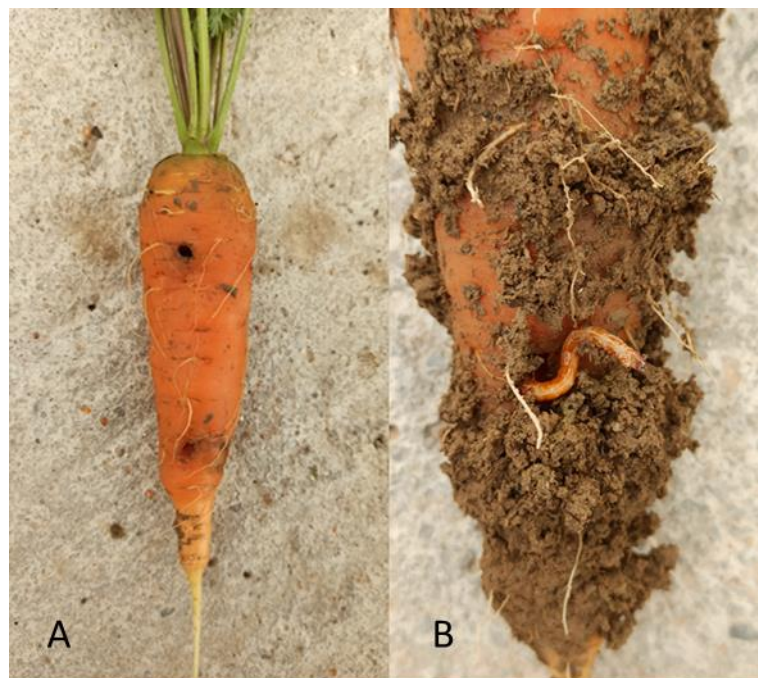
Οι προνύμφες του εντόμου, *Psila rosae*, που προτιμούν να τρέφονται με τις ρίζες των σκιαδανθών και αποτελούν σοβαρό εχθρό για την καλλιέργεια του καρότου (Hardman *et al.*, 1990). Τα τέλεια άτομα τοποθετούν τα ωά στην επάνω επιφάνεια των γογγυλорίζων. Οι προνύμφες του 1^{ου} σταδίου ανάπτυξης τρέφονται με τα ακραία μεριστώματα. Η ζημιά από την 1^η γενιά είναι πιο συχνά στην κορυφή της ρίζας. Ως αποτέλεσμα τα φυτά παραμένουν καχεκτικά και νάνα, κιτρινίζουν. Τα φυτά νεαρής ηλικίας καταλήγουν μάλιστα στην ξήρανση. Μεγαλύτερη είναι όμως η υποβάθμιση που προκαλείται από την τροφική δραστηριότητα των προνυμφών 2^{ου} και 3^{ου} σταδίου, καθώς αλλοιώσεις μπορεί να παρατηρηθούν σε ολόκληρη τη ρίζα (Jones, 1979). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.4, οι προνύμφες δημιουργούν στοές στην κεντρική ρίζα χρώματος σκουριάς (Carinera, 2001), ενώ παράλληλα οι πληγές που προκαλούν αποτελούν πηγή εισόδου για δευτερεύοντες παθογόνους μικροοργανισμούς που ολοκληρώνουν την προσβολή προκαλώντας συμπτώματα σήψης. Οι απώλειες καλλιεργειών οφείλονται κυρίως στη μείωση της εμπορεύσιμης απόδοσης παρά στη συγκομιδή. Έχουν βρεθεί έως και 20 προνύμφες σε ένα μόνο καρότο, αν και μία μόνο στοά καθιστά ολόκληρο το καρότο μη εμπορεύσιμο (Burn, 1984; Muehleisen *et al.*, 2003).



Εικόνα 1.4. (A) Ζημιά σε ρίζα καρότου από προνύμφες του *Psila rosae* και οι (B) προνύμφες της μύγας (Anita Sequeira, Greenway Farms, Νότια Αφρική) [Genetics and Genomics of Carrot Biotic Stress / SpringerLink]

Σιδηροσκώληκες

Τα κολεόπτερα του γένους *Agriotes* είναι ένας σοβαρός εχθρός πολλών καλλιεργειών όπως η πατάτα, το καλαμπόκι, το σιτάρι, η βρώμη, το κριθάρι και το καρότο (Parker & Howard, 2001; Vernon & van Herk, 2013). Οι προνύμφες τους αρχικά τρέφονται με τους σπόρους στο έδαφος με αποτέλεσμα την αδυναμία βλάστησης αυτών (Furlan, 1989, 1990). Όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο των σποροφύτων αυτές προκαλούν βλάβες στο λαιμό του καρότου κοντά στο έδαφος και στις ρίζες. Καθώς αναπτύσσονται τα φυτά οι προνύμφες εισέρχονται στο εσωτερικό των γογγυλόμενων, υποβαθμίζοντας τη ποιότητα του προϊόντος (Εικόνα 1.5). Οι προσβεβλημένοι ιστοί μαυρίζουν, ενώ αποτελούν ταυτόχρονα και πηγές εισόδου δευτερογενών μολύνσεων από άλλους παθογόνους μικροοργανισμούς (μύκητες, βακτήρια) (Vernon *et al.*, 2001). Τα ενήλικα τρέφονται με φύλλα και νεαρούς βλαστούς μειώνοντας την φωτοσυνθετική επιφάνεια του φυτού. Σταδιακά τα φυτά εμφανίζουν συμπτώματα έλλειψης νερού κι αναστέλλεται η ανάπτυξή τους. Σε προχωρημένη προσβολή παρατηρείται αποκοπή και πτώση του φυλλώματος καθώς το ριζικό σύστημα έχει καταστραφεί πλήρως. Ως αποτέλεσμα τα φυτά μαραίνονται και να ξηραίνονται υποβαθμίζοντας την παραγωγή τόσο ποιοτικά όσο και την ποσοτικά.



Εικόνα 1.5. (Α) Οπές στοών που προκαλεί η προνύμφη του σιδηροσκώληκα και δεξιά (Β) η προνύμφη που τρέφεται από τη γογγυλότητα

Κρεμμυδοφάγος

Πρόκειται για ένα εδαφόβιο έντομο, το *Gryllotalpa gryllotalpa*, που τρέφεται με τις ρίζες των φυτών με αποτέλεσμα αυτά να μαραίνονται. Συχνά αποτελεί πρόβλημα για κονδυλόριζα και σαρκόριζα φυτά στα οποία και προκαλεί διαβρώσεις. Όπως αναφέρθηκε και για το *Agriotes spp.* οι προβολές του αποτελούν είσοδο για δευτερογενείς μολύνσεις από μικροοργανισμούς.

Πράσινο σκουλήκι

Το πράσινο σκουλήκι (*Helicoverpa armigera*) είναι ένα πολυφάγο έντομο, του οποίου οι προνύμφες έχουν εντοπιστεί σε περισσότερα από 180 είδη καλλιεργούμενων και άγριων φυτών, με υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό και υψηλή ικανότητα διασποράς και επιβίωσης (Tay *et al.*, 2013; Cunningham *et al.*, 2014). Οι προνύμφες τρέφονται με το έλασμα προκαλώντας αλλοιώσεις στα φύλλα, τους μίσχους και τα στελέχη μέχρι την πλήρη καταστροφή των φυτών. Οι προσβεβλημένοι ιστοί αποτελούν πηγές εισόδου για παθογόνους μικροοργανισμούς, μύκητες, βακτήρια, προκαλώντας σήψη των φυτικών ιστών και υποβαθμίζοντας ακόμη περισσότερο την παραγωγή.

Κομβονηματώδεις

Οι κομβονηματώδεις (*Meloidogyne spp.*) είναι σημαντικοί εχθροί σε πολλές περιοχές παραγωγής καρότων προκαλώντας άμεση οικονομική απώλεια της καλλιέργειας, λόγω των εξογκωμάτων και της διχάλωσης του καρότου, καθιστώντας ένα προσβεβλημένο καρότο μη εμπορεύσιμο (Roberts, 1987). Στις πιο θερμές περιοχές τα *Meloidogyne incognita* και *M. javanica* είναι τα πιο συχνά απαντούμενα είδη στις προσβολές καρότου. Όταν ένας νηματώδης διεισδύει αρχικά σε ένα φυτικό κύτταρο με το στίλετο του, εγχέει εκκριτικές πρωτεΐνες που διεγείρουν αλλαγές μέσα στα φυτικά κύτταρα με αποτέλεσμα την παραγωγή γιγαντιαίων κυττάρων που δρουν ως δεξαμενές θρεπτικών για τους νηματώδεις που ζουν ως ενδοπαράσιτα (Mitkowski & Abawi, 2003). Τα ριζικά κύτταρα που γειτνιάζουν με τα γιγαντιαία κύτταρα επίσης μεγεθύνονται και διαιρούνται γρήγορα, πιθανώς ως αποτέλεσμα της διάχυσης του ρυθμιστή ανάπτυξης των φυτών, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ακανόνιστων, πεπλατυσμένων φυματίων με τη μορφή κόμβων ή εξογκωμάτων ακόμη και «τριχών» (πλάγιες ρίζες) που δημιουργούνται από την παραγωγή υπερτροφικών κυττάρων του φλοιού των ριζών (Khan *et al.*, 2018) (Εικόνα 1.6). Λόγω καταστροφής του ριζικού συστήματος τα φυτά

δεν απορροφούν τις απαραίτητες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα να παρατηρείται μειωμένη ανάπτυξη των φυτών, μάρανση, χλώρωση ή και ξήρανση των φύλλων και συνεπώς μειωμένη παραγωγή.



Εικόνα 1.6. (Α) Συμπτώματα στις ρίζες καρότων που έχουν προβληθεί από κομβοηματώδεις, *Meloidogyne incognita* και (Β) σύγκριση των αντιδράσεων μιας ανθεκτικής ποικιλίας (αριστερά), έναντι μιας πολύ ευαίσθητης (δεξιά) (Lindsey du Toit, Washington State University)

1.2.2. Σημαντικές ασθένειες του καρότου

Αλτερναρίωση των φύλλων του καρότου

Η ασθένεια προκαλείται κυρίως από τον παθογόνο μύκητα *Alternaria dauci*. Τα νεαρά φυτά που προέρχονται από μολυσμένο σπόρο ξηραίνονται και πεθαίνουν. Στα μεγαλύτερης ηλικίας φυτά, στα παλαιότερα φύλλα, αρχικά εμφανίζονται μικρές, ακανόνιστες, καφέ κηλίδες που αργότερα γίνονται νεκρωτικές, μεγαλώνουν και συνενώνονται, καλύπτοντας μεγάλο μέρος του ελάσματος των φύλλων (Εικόνα 1.7 Α). Οι προσβεβλημένοι ιστοί κιτρινίζουν και ξηραίνονται, ενώ σε έντονη προσβολή μπορεί να καταστραφεί ολόκληρη η φυλλική επιφάνεια, με αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας αλλά και της ποσότητας της παραγωγής. Παρόμοια συμπτώματα μπορεί να εμφανιστούν στους μίσχους και τις ανθοταξίες. Πιο αναλυτικά η ασθένεια περιγράφεται στις ενότητες 1.3.3 και 1.3.4.

Κερκοσπορίωση των φύλλων του καρότου

Η κερκοσπορίωση είναι μία από τις πιο σημαντικές ασθένειες του φυλλώματος του καρότου. Παρουσιάζεται οπουδήποτε καλλιεργείται το καρότο και οφείλεται στο μύκητα *Cercospora carotae*. Στον Καναδά, μάλιστα, συχνά είναι περισσότερο σημαντική ασθένεια από την αλτερναρίωση των φύλλων. Το αρχικό μόλυσμα προέρχεται από προηγούμενες καλλιέργειες που έχουν παραμείνει στον αγρό μετά τη μηχανικής συγκομιδής τους. Τα πρώτα συμπτώματα είναι μικρές καφέ κυκλικές κηλίδες με χλωρωτικό άλω (Εικόνα 1.7 Γ). Στους μίσχους οι αλλοιώσεις είναι επιμήκεις με μαύρα κέντρα και καφέ περίγραμμα, ενώ ο μύκητας *Alternaria dauci* προκαλεί καφέ και ακανόνιστου σχήματος νεκρώσεις (Bourgeois *et al.*, 1998; Carisse & Kushalappa 1990; Gugino *et al.*, 2007; Milosavljević *et al.*, 2014; Raid, 2002). Το βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας για μόλυνση είναι 20-28 °C με βραχείες περιόδους υγρασίας σε φύλλα (<6 ώρες) ακολουθούμενη από υψηλή σχετική υγρασία επαρκή για να οδηγήσει σε μόλυνση (Carisse & Kushalappa, 1992). Σε συνθήκες υψηλής υγρασίας στην κάτω επιφάνεια των φύλλων, στην περιοχή των κηλίδων αναπτύσσεται γκρι εξάνθιση που αποτελείται από μυκήλιο και σπόρια του μύκητα. Είναι δύσκολο να διακριθούν οι κηλίδες και οι αλλοιώσεις που προκαλούν οι δύο ασθένειες, οι οποίες μπορεί να εμφανιστούν ταυτόχρονα. Συχνά όμως η κερκοσπορίωση προσβάλλει νεότερα και ταχέως αναπτυσσόμενα φυτά, ενώ η αλτερναρίωση έπεται της προσβολής της κερκόσπορας και προσβάλλει συνηθέστερα μεγαλύτερης ηλικίας φυτικούς ιστούς. Καθώς η ασθένεια εξελίσσεται ολόκληρο το φύλλο καρουλιάζει και συρρικνώνεται, ενώ γίνονται καφέ. Όπως συμβαίνει και με τον μύκητα *A.dauci*, ούτε και η *C. carotae* εισβάλλει από τις ρίζες του καρότου. Οι βλάβες στα φύλλα προκαλούν δυσκολίες συγκομιδής κατά την «άρση της κορυφής», ιδίως όταν οι προσβολές εμφανίζονται νωρίς στην καλλιεργητική εποχή. Εάν δεν καταπολεμηθεί επαρκώς η ασθένεια, οι απώλειες στην παραγωγή μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Βακτηριακή κηλίδωση του καρότου

Όπως τονίστηκε από τους Pfleger *et al.* (1974), η βακτηριακή κηλίδωση των φύλλων προκαλείται από το παθογόνο *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae*, ένα αερόβιο, αρνητικό κατά Gram, ραβδοειδές βακτήριο που κινείται με ένα μόνο πολικό μαστίγιο. Προσβάλλει τις καλλιέργειες του καρότου, αλλά σύμφωνα με τις διαθέσιμες αναφορές προσβάλλει αρκετά είδη κηπευτικών της οικογένειας των Σκιαδανθών (Poplawsky *et al.*,

2004). Αυτή η ασθένεια μπορεί να διακριθεί από τις κηλίδες που προκαλούνται από τους *A. dauci* και *C. carotae* με βάση μόνο τα συμπτώματα του φυλλώματος. Για την πρόκληση και την ανάπτυξη της ασθένειας απαραίτητη είναι η παρουσία νερού, είτε από τις συχνές βροχοπτώσεις ή/και άρδευση με καταιονισμό, καθώς επίσης από τα υψηλά ποσοστά υγρασίας και δροσιάς (Gilbertson, 2002). Αρχικά εμφανίζονται στα φύλλα μικρές, κυκλικές κίτρινες κηλίδες που εξελικτικά μετατρέπονται σε ακανόνιστες ή και επιμήκεις με χρώμα φαιό και χλωρωτική άλω. Περιφερειακά στα φύλλα οι κηλίδες έχουν σχήμα ημισφαιρικό ή “V”, ενώ προοδευτικά τα φύλλα πιθανόν να εμφανίσουν περιφερειακή συστροφή του ελάσματος (Εικόνα 1.7 Β). Σε σοβαρές προσβολές οι βακτηριακές μολύνσεις και νεκρώσεις των φύλλων συνοδεύονται μερικές φορές από την παραγωγή κολλώδους βακτηριακής εξίδρωσης, ιδιαίτερα στους μίσχους, ταξιανθίες και σχηματιζόμενους σπόρους (du Toit *et al.*, 2005). Τα προσβεβλημένα φυτά παραμένουν καχεκτικά και νάνα. Ωστόσο, το παθογόνο μπορεί να παραμείνει σε αρκετά υψηλούς πληθυσμούς στο φύλλωμα καρότου χωρίς τα φυτά να εμφανίζουν συμπτώματα βακτηριακής μόλυνσης. Γενικά, τα συμπτώματα της ασθένειας αρχίζουν να αναπτύσσονται μόνο όταν οι επιφυτικοί πληθυσμοί του βακτηρίου φτάνουν τις 10^5 έως 10^6 CFUs ανά γραμμάριο φύλλου καρότου (Gilbertson, 2002). Κατά συνέπεια, τα φυτά χωρίς συμπτώματα συχνά δεν ανιχνεύονται εγκαίρως, και όταν αυτό συμβεί είναι πολύ αργά για αποτελεσματική αντιμετώπιση (du Toit *et al.*, 2005).



Εικόνα 1.7. Συμπτώματα που προκαλούν στα φύλλα τα παθογόνα: (Α) *Alternaria dauci*, (Β) *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae* και (Γ) *Cercospora carotae* (Lindsey du Toit, Washington State University)

Σήψη του καρότου

Οι σήψεις του καρότου συναντώνται παγκοσμίως (Kora *et al.*, 2003; Rubatzky *et al.*, 1999) και προκαλούνται από παθογόνα με ευρεία σειρά ξενιστών, άνω των 500 ειδών, συμπεριλαμβανομένων των ζιζανίων. Αποτελεί σημαντική ασθένεια τόσο στην παραγωγή όσο και κατά την αποθήκευσή της, ενώ το παθογόνο αίτιο μπορεί να επιβιώσει έως και 10 χρόνια στο έδαφος. Τρία είδη ασκομύκητα αναφέρονται ως τα παθογόνα αίτια: *Sclerotinia sclerotiorum*, *S. minor* και *S. subarctica* (Leyronas *et al.*, 2018). Τα συμπτώματα στο φύλλωμα εμφανίζονται αρχικά ως μικρές, υδατώδεις, μαλακές κηλίδες στο λαιμό και στη ρίζα των φυτών. Οι μολύνσεις επεκτείνονται γρήγορα σε ολόκληρο το φύλλο, το μίσχο και τη ροζέτα με μολυσμένους ιστούς που σύντομα καλύπτονται από άφθονο βαμβακώδες, λευκό μυκήλιο (Kora *et al.*, 2003) (Εικόνα 1.8 Α). Στους ιστούς αυτούς αργότερα σχηματίζονται τα σκληρώτια (όργανα διαχείμασης του παθογόνου αιτίου), ενσωματωμένα στο μυκήλιο. Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης η ασθένεια μπορεί να συγχυστεί με την σήψη που προκαλείται από τον μύκητα *Rhizoctonia carotae*, ο οποίος, όμως, δεν αναπτύσσει λευκές βαμβακώδεις υφές. Ενώ στο στάδιο της μαλακής σήψης μπορεί να συγχυστεί με τις βακτηριακές μαλακές σήψεις οι οποίες συνοδεύονται συνήθως από βλενώδες βακτηριακό έκκριμα. Το παθογόνο συχνά προσβάλλει τις γογγυλόμενες μετασυλλεκτικές καλύπτωντάς τις με λευκό μυκήλιο (Εικόνα 1.8 Β).



Εικόνα 1.8. (Α) Σήψεις σε φύλλα καρότου που προκάλεσαν μύκητες *Sclerotinia* και (Β) μετασυλλεκτική προσβολή καρότων από *Sclerotinia* spp. (Kora *et al.*, 2003).

Ωίδιο

Το ωίδιο απαντάται όπου καλλιεργούνται είδη σκιαδανθών. Ο τύπος *Oidium* είναι ο πιο κοινός από τα δύο γένη των ωιδίων που προσβάλλουν αυτές τις καλλιέργειες. Εκτός από το καρότο και το σέλινο, ο μύκητας προσβάλλει επίσης τον άνηθο, το κύμινο, τον κόλιανδρο, τον μάραθο, τον μαϊντανό και την παστινάκη. Πρόκειται για το παθογόνο *Erysiphe heraclei* DC (Spencer, 1978) Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ασθένεια αναφέρθηκε για πρώτη φορά σε καλλιέργειες καρότου στην Καλιφόρνια και στο Τέξας το 1975 (Abercrombie & Finch, 1976). Έκτοτε παρουσιάστηκε σε καλλιέργεια καρότου και σε άλλες πολιτείες, καθώς επίσης στο σέλινο και στο μαϊντανό στην Καλιφόρνια. Αναλόγως της καλλιέργειας, της σοβαρότητας (έντασης) της ασθένειας και του σταδίου ανάπτυξης της καλλιέργειας κατά την έναρξη εκδήλωσης της ασθένειας, μπορούν να προκύψει σημαντική μείωση των αποδόσεων. Η ασθένεια είναι ιδιαίτερα σημαντική στα μεσογειακά κλίματα. Τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στα παλαιότερα φύλλα ως κίτρινες κηλίδες που καλύπτονται από λευκή εξάνθιση αποτελούμενη από το μυκήλιο και τα σπόρια του παθογόνου. Προοδευτικά η ασθένεια επεκτείνεται σε όλο το υπέργειο μέρος του φυτού (Aegerter, 2002). Τα προσβεβλημένα φύλλα συστρέφονται, παραμορφώνονται και τελικά καταρρέουν (Watson, 2015) (Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9 Έντονη προσβολή καρότου από *Erysiphe heraclei* (Lindsey du Toit, Washington State University)

Το ωίδιο που οφείλεται στο γένος *Oidiopsis* είναι γενικά περιορισμένο στην Εγγύς Ανατολή, την Αρμενία, την Ινδία, το Καζακστάν και άλλες χώρες της κεντρικής Ασίας, το Πακιστάν και τις μεσογειακές περιοχές της Ευρώπης και της Αφρικής. Μεταξύ των ξενιστών του παθογόνου αυτού είναι ο άνηθος, το καρότο, το κύμινο, το σέλινο, ο κόλιανδρος και ο μαϊντανός. Πρόκειται για τα είδη *Leveillula lanuginosa* (Fuckel) Golovin και *Leveillula taurica* (Lev.) Arn που εμφανίζεται σποραδικά, δεν θεωρούνται τόσο επιθετικά όσο το *E. heraclei* και έχουν ελάχιστη οικονομική σημασία (Palti, 1975; Davis & Raid, 2002). Στην περίπτωση προσβολής από τα *L. lanuginosa* και *L. taurica*,

στην πάνω επιφάνεια των φύλλων εμφανίζονται γωνιώδεις, κίτρινες-χλωρωτικές κηλίδες, ενώ στην κάτω επιφάνεια στην περιοχή των κηλίδων αναπτύσσεται το μυκήλιο και οι καρποφορίες του παθογόνου. Σε έντονη προσβολή τα προσβεβλημένα φυτά μαραίνονται και τελικά ξηραίνονται (Aegerter, 2002). Οι νεκρώσεις μπορεί να εμφανιστούν γωνιώδεις επειδή οι φλέβες των φύλλων περιορίζουν την επέκταση των μολύνσεων. Καθώς η ασθένεια εξελίσσεται, η σποριοποίηση του μύκητα μπορεί να αναπτυχθεί στην άνω επιφάνεια των φύλλων και οι χλωρωτικές περιοχές γίνονται νεκρωτικές. Η ανάπτυξη των λευκών μυκηλίων δεν είναι τόσο εμφανής όσο αυτή που προκαλείται από το *E. heraclei*.

Μαλακή σήψη

Η μαλακή σήψη αποτελεί μια κοινή ασθένεια σε όλες τις περιοχές καλλιέργειας των φυτών της οικογένειας Umbelifereae αλλά και γενικότερα των λαχανοκομικών. Η μαλακή σήψη του πυρήνα του καρότου προκαλείται από τα πηκτινολυτικά βακτήρια *E. carotovora* subsp. *carotovora* και *Pseudomonas marginalis*. Η οικονομική ζημία που προκαλείται μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη και εξαρτάται από την αξία του προϊόντος κατά το στάδιο προσβολής αλλά την ένταση της προσβολής. Μπορεί να εμφανιστεί σε υπαίθρια καλλιέργεια στον αγρό ή κατά την αποθήκευση και μεταφορά του προϊόντος. Η προσβολή γίνεται μέσω πληγών και τραυματισμένων ιστών και σχετίζεται με μολυσμένο νερό άρδευσης ή πλύσης ή με ακατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς των τελικών προϊόντων. Η μαλακή σήψη εμφανίζεται σποραδικά στον αγρό και συχνά εκδηλώνεται μόνο κοντά στο έδαφος ή κοντά στους σωλήνες άρδευσης. Μπορεί να αποτελέσει σοβαρή ασθένεια για την καλλιέργεια όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και μακρές περίοδοι κορεσμού της εδαφικής υγρασίας. Στις ρίζες του φυτού αρχικά παρατηρούνται καστανές υδατώδεις κηλίδες που αυξάνουν σε διάμετρο και προχωρούν στο εσωτερικό της ρίζας. Οι προσβεβλημένοι ιστοί αποκτούν ένα καστανό χρώμα και μετατρέπονται γρήγορα σε μια μαλακή υγρή μάζα που προοδευτικά επεκτείνεται σε όλη τη γογγυλόριζα ακόμη και στους μίσχους. Στα προσβεβλημένα καρότα δημιουργούνται κοιλότητες λόγω της υποχώρησης των μαλακών σήψεων και αποκτούν γκρι ως σκούρο καφέ χρώμα (Εικόνα 1.10). Ένα διάστημα 3-5 ημερών είναι αρκετό ώστε η μαλακή σήψη να επεκταθεί σε όλους τους ιστούς, ενώ δημιουργεί το κατάλληλο περιβάλλον για δευτερογενείς μολύνσεις.



Εικόνα 1.10. Καρότα μολυσμένα από *Erwinia spp.*
[Gerald Holmes, Strawberry Center, Cal Poly San Luis Obispo, Bugwood.org]

Ποικιλογλωρωτικός νανισμός του καρότου - *Carrot motley dwarf disease*

Ο ποικιλογλωρωτικός νανισμός του καρότου προκαλείται με μεικτή μόλυνση από τους ιούς *Carrot mottle virus* (CMoV) και *Carrot red leaf virus* (CRLV). Είναι πιθανώς η πιο σημαντική και επίμονη ιογενής ασθένεια του καρότου, η οποία παρατηρείται όπου καλλιεργείται το καρότο σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες (Waterhouse, 1985; Watson & Sarjeant 1964). Εντοπίστηκε για πρώτη φορά στην Αυστραλία το 1948 και πλέον εμφανίζεται στις περισσότερες περιοχές παραγωγής καρότων στον κόσμο όπου το κλίμα είναι σχετικά δροσερό (Koike *et al.*, 2002). Παρόλο που οι δύο ιοί δύναται να μολύνουν ο καθένας ξεχωριστά, τα φυτά καρότου ο ποικιλογλωρωτικός νανισμός προκαλείται μόνο με τη μεικτή μόλυνση με CRLV και CMoV. Αμφότεροι οι ιοί μεταδίδονται από φυτό σε φυτό με την αφίδα του καρότου, *Cavariella aegopodii*, που μεταδίδει τους ιούς με έμμοно, μη πολλαπλασιαστικό τρόπο. Προκαλεί ενδιαφέρον το γεγονός ότι, όταν υπάρχει στα φυτά μόνο ο CRLV, ο ιός μπορεί να μεταδοθεί αποτελεσματικά από το έντομο-φορέα του, αλλά δεν μπορεί να μεταδοθεί με μηχανικό τρόπο (με επαφή, μολυσμένο φυτικό χυμό). Εντούτοις, όταν τα φυτά είναι μολυσμένα αποκλειστικά με τον CMoV, ο ιός μπορεί να μεταδοθεί μηχανικά αλλά όχι μέσω των αφίδων (Koike *et al.*, 2002; Waterhouse & Murrant, 1983). Ένα τρίτο RNA, ταυτοποιήθηκε σε καρότα με συμπτώματα του ιού στην Καλιφόρνια (Watson *et al.*, 1998). Αυτό το μικρό RNA που

σχετίζεται με τον CRLV (CRLVaRNA CRLV - associated RNA), μεταδίδεται από την αφίδα του καρότου με CRLV και CMoV, αν και δεν είναι γνωστό εάν αυτό το RNA επηρεάζει την έκφραση των συμπτωμάτων. Οι ιοί έχουν ένα σχετικά στενό εύρος ξενιστών εντός της οικογένειας αφίδων *Apiaceae*. Ως αποτέλεσμα, οι παλαιότερες καλλιέργειες καρότων ή αυτές που έχουν μολυνθεί νωρίς μέσα στην καλλιεργητική περίοδο είναι οι πιο κοινές πηγές μολύσματος (Howell & Mink, 1977; Watson & Falk, 1994). Οι απώλειες λόγω του ποικιλοχλωρωτικού νανισμού του καρότου μπορεί να είναι σοβαρές εάν εμφανιστεί προσβολή στις αρχές της καλλιεργητικής περιόδου σεζόν και τα καρότα μεγαλώνουν όταν οι συνθήκες είναι σχετικά δροσερές (15 - 20 °C) με ταυτόχρονες συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Τα φυτά παρουσιάζουν νανισμό και μειωμένη παραγωγή, τα φύλλα συστρέφονται, αρχικά κιτρινίζουν και στη συνέχεια παίρνουν ένα κόκκινο χρώμα (Εικόνα 1.10). Το ριζικό σύστημα δεν αναπτύσσεται σωστά και τα φυτά μπορεί να πεθάνουν. Τα μεγαλύτερης ηλικίας φυτά παρουσιάζουν πιο ήπια συμπτώματα, ενώ σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 24 °C δεν εμφανίζονται συμπτώματα. Συχνά τα συμπτώματα συγχέονται με αυτά που προκαλούνται από έλλειψη θρεπτικών στοιχείων.



Εικόνα 1.11. Συμπτώματα των CMoV και CRLV με εύρος συμπτωμάτων ανά ποικιλία
[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03389-7_18]

Ζημιές από συνεκτικό έδαφος

Συνήθως το καρότο καλλιεργείται σε αμμώδη ή αφράτα εδάφη, τουλάχιστον όσον αφορά το έδαφος βάθους μέχρι κι ένα μέτρο (όσο δηλαδή μπορεί να αναπτυχθεί και η γογγυλόριζα). Εδάφη ανομοιομορφα, αρκετά συνεκτικά, και μη επαρκώς αεριζόμενα μπορούν να προκαλέσουν παραμόρφωση ή και διχάλωση των ριζών του καρότου όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.12 (Παναγόπουλος, 1995).



Εικόνα 1.12. Ανώμαλη ανάπτυξη ρίζας καρότου σε συνεκτικό έδαφος

1.3. Περιγραφή της ασθένειας: Αλτερναρίωση των φύλλων του καρότου

Παθογόνο αίτιο: *Alternaria dauci*

1.3.1. Οικονομική σημασία της ασθένειας

Ο νεκροτροφικός μύκητας *Alternaria dauci*, είναι το παθογόνο αίτιο της αλτερναρίωσης του καρότου (*Daucus carota*), μία από τις πιο καταστρεπτικές ασθένειες φυλλώματος στις περιοχές παραγωγής καρότων παγκοσμίως (Farrar *et al.*, 2004). Έχουν αναφερθεί σημαντικές μειώσεις στην απόδοση καρότου (40-99%) σε περιοχές που παρατηρείται μεγάλη ένταση της ασθένειας, τόσο εξαιτίας της μειωμένης φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων όσο και της υφιστάμενης αδυναμίας στη μηχανική συγκομιδή των καρότων, λόγω του νεκρωτικού φυλλώματος (Vintal *et al.*, 1999, Ben-Noon *et al.*, 2001).

1.3.2. Ιστορική αναδρομή και ταξινόμηση

1.3.2.1. Γένος *Alternaria*

Το αναμορφικό γένος των μυκήτων *Alternaria* ανήκει στην οικογένεια Pleosporaceae (Phylum: Ascomycota, Subdivision: Pezizomycotina, Class: Dothidiomycetes, Order: Pleosporales and Family: *Pleosporaceae*). Η πρώτη περιγραφή του γένους πραγματοποιήθηκε το 1816 από τον Nees von Esenbeck και αφορούσε το είδος *A. tenuis*, συνώνυμο του διεθνώς αναγνωρισμένου είδους *A. alternata* (Lawrence *et al.*, 2013). Το γένος χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό πολυκυτταρικών κονιδίων, σκούρου χρώματος και σχήματος αποιοειδούς ή ροπαλοειδούς είτε μεμονωμένα είτε σε βραχείες ή μακρύτερες αλυσίδες και διαθέτει εγκάρσια, διαμήκη καθώς και λοξά διαφράγματα (septa) και έχουν μακρύτερα ή κοντά ρύγχη (10-20% των κονιδίων είναι δυνατόν να μην έχουν καθόλου ρύγχος). Τα σπόρια αυτών των μυκήτων είναι δικτυοσπόρια και εμφανίζονται συνήθως στην ατμόσφαιρα και επίσης στο έδαφος. Οι τέλειες μορφές είναι γνωστές σε πολύ λίγα είδη και τοποθετούνται στο γένος *Pleospora* των Loculoascomycetes (υποδιαίρεση: Ascomycotina).

Η ταξινόμηση των μυκήτων *Alternaria* είναι το θέμα συχνών επιστημονικών συζητήσεων και η σύνθεσή του βρίσκεται υπό συνεχή ανασκόπηση. Προς το παρόν, αυτό το γένος έχει περισσότερα από 380 είδη που διακρίνονται σε δύο ομάδες (είδη με μικρά και είδη με μεγάλα σπόρια) (Kirk *et al.*, 2008; Nikoo *et al.*, 2012). Αυτές οι ομάδες, με τη σειρά τους, χωρίζονται σε διάφορες ενότητες σύμφωνα με μορφολογικές και μοριακές φυλογενετικές προσεγγίσεις (Lawrence *et al.*, 2016; Woudenberg *et al.*, 2015; Gannibal, 2018).

Η οικολογική και πρακτική σημασία των μυκήτων *Alternaria* είναι πολύ σημαντική. Πολλά είδη είναι σαπροτροφικά, μπορούν να αποικίσουν μια ποικιλία οργανικών υποστρωμάτων και μαζί με άλλους μικροοργανισμούς συμμετέχουν στην αποσύνθεση φυτικών υπολειμμάτων και τη μετατροπή της οργανικής ύλης σε ανόργανη έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ νέου από τους φυτικούς οργανισμούς. Ωστόσο, οι περισσότεροι εκπρόσωποι του γένους *Alternaria* (*A. brassicae*, *A. brassicicola*, *A. solani*, *A. porri*, κ.λπ.) είναι υπεύθυνοι για ασθένειες των φυτών και ορισμένοι από αυτούς είναι αρκετά σοβαροί εχθροί για μεγάλο εύρος ξενιστών, όπως

σιτηρά, ελαιούχα και καλλωπιστικά φυτά, κηπευτικά, εσπεριδοειδή και μήλοειδή. Ο αριθμός των ξενιστών ξεπερνά τις 4.000, με αποτέλεσμα ο μύκητας *Alternaria* spp. να καταλαμβάνει τη δέκατη θέση των μυκήτων ως προς το συνολικό αριθμό των φυτών που μπορεί να μολύνει (Lawrence *et al.*, 2013). Κατά κανόνα, οι μύκητες αυτού του γένους μπορούν να προσβάλλουν τα φύλλα, αποικίζουν επίσης τους σπόρους και τους καρπούς και τα συμπτώματα της ασθένειας εμφανίζονται ως κηλίδες και σήψεις (Thomma, 2003). Ορισμένα είδη του γένους έχουν χαρακτηριστεί ενδοφυτικοί μικροοργανισμοί, ενώ κάποια είδη παράγουν δευτερογενείς μεταβολίτες με φυτοτοξική δράση (Bannon, 1988; Shabana *et al.*, 1995; Cook *et al.*, 2009; Duke *et al.*, 2019; Dalinova *et al.*, 2020). Υπάρχουν, εντούτοις, και είδη που προκαλούν σοβαρές μετασυλλεκτικές ασθένειες, όπως είναι η εσωτερική σήψη των μήλων που συναντάται σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας (Woudenberg *et al.*, 2013). Η συγκεκριμένη ασθένεια ευθύνεται στο σύμπλεγμα των μυκήτων *Fusarium* spp., *Ulocladium* spp., *Coniothyrium* spp., *Pezicula* spp., *Mucor* spp. και *Alternaria* spp., με τον τελευταίο να κυριαρχεί (Ntasiou *et al.*, 2015).

1.3.2.2. Ταξινόμηση

Η αναγνώριση ειδών στο γένος *Alternaria* βασίστηκε παραδοσιακά σε μορφολογικούς χαρακτήρες κονιδίων και συσχετισμούς με φυτά ξενιστές (Neergaard 1945; Joly, 1964; Ellis, 1971, 1976; Simmons, 2007). Παρόλο που υπάρχουν περισσότερα από 1100 ονόματα στη βιβλιογραφία, έχουν γίνει αποδεκτές μόνο περίπου 280 μορφολογίες (Simmons, 2007). Οι πρώτες περιγραφές των ειδών-ομάδων *A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. cheiranthi* και *A. brassicicola* έγιναν από τον Simmons το 1995 και ήταν βασισμένες στη μορφολογία της καρποφορίας και των σπορίων. Πιο πρόσφατες μοριακές μελέτες αποκάλυψαν ότι το σύμπλεγμα (cluster) ειδών *Alternaria* σε διάφορους κλάδους (clades) ειδών, που τώρα αναφέρονται ως ομάδες (section) (Lawrence *et al.*, 2013, Woudenberg *et al.*, 2013), δεν συσχετίζεται πάντα με τα είδη-ομάδες που ταυτοποιήθηκαν με βάση τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά. Επί του παρόντος, αναγνωρίζονται 27 sections *Alternaria* με βάση μοριακές και φυλογενετικές αναλύσεις (Lawrence *et al.*, 2013, 2016; Woudenberg *et al.*, 2013, 2014). Μέχρι στιγμής, είδη μέσα στο section *Alternaria* έχουν περιγραφεί ως επί το πλείστον με βάση τη μορφολογία ή / και βάση ειδίκευσης ως προς τον ξενιστή. Ωστόσο, η μοριακή

διακύμανση μεταξύ τους είναι ελάχιστη. Οι τυπικές γονιδιακές περιοχές που χρησιμοποιήθηκαν για την διάκριση των ειδών *Alternaria* δεν ήταν ικανές να οριοθετήσουν τα είδη μέσα στο section της *Alternaria* (Peever *et al.*, 2004; Andrew *et al.*, 2009). Έχουν δοκιμαστεί και προταθεί πολλαπλές μοριακές μέθοδοι για τη διάκριση των ειδών *Alternaria* με μικρά σπόρια, συμπεριλαμβανομένου του τυχαία ενισχυμένου πολυμορφικού DNA (Random Amplified Polymorphic DNA) (Roberts *et al.*, 2000), του πολυμορφισμού μήκους θραυσμάτων (Amplified Fragment Length Polymorphism) (Somma *et al.*, 2011), του selective subtractive hybridisation (Roberts *et al.*, 2012) και της αλληλούχησης συγκεκριμένων γονιδιωματικών περιοχών (Sequence Characterised Amplified Genomic Regions) (Stewart *et al.*, 2013). Ωστόσο, καμία από αυτές τις μεθόδους δεν διακρίνει επιτυχώς όλα τα είδη (morphospecies) που περιγράφονται στο section *Alternaria*.

1.3.3. Αίτιο – Συνθήκες ανάπτυξης

Η ασθένεια περιγράφηκε για πρώτη φορά στη Γερμανία το 1855 από τον Kuhn, όταν αναφέρθηκε ότι προκαλεί σποραδικές απώλειες φυτών σε αρκετές χώρες της βόρειας Ευρώπης. Εκείνη την εποχή, το αίτιο ταυτοποιήθηκε ως *Sporidesmium exitiosum* Kühn var. *dauci* Kühn και τα επόμενα 90 χρόνια η ασθένεια δεν επηρέασε σημαντικά την παραγωγή καρότου στην Ευρώπη (Neergaard, 1945). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ασθένεια αναφέρθηκε για πρώτη φορά στη Λουιζιάνα το 1890 και το παθογόνο αίτιο αναγνωρίστηκε ως *Macrosporium carotae* από τους Ellis & Langlois. Σήμερα το παθογόνο αίτιο αναφέρεται ως *Alternaria dauci* (Kühn) Groves & Skolko 1944, ενώ υπάρχουν αρκετά συνώνυμα στη βιβλιογραφία που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά περιόδους (συν. *Sporidesmium exitiosum* Kühn var. *dauci* Kühn 1955, *Macrosporium dauci* (Kühn) Rostrup 1888, *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc. var. *dauci* (Kühn) Bolle 1924, *Alternaria porri* (Ellis) Ciferri f. sp. *dauci* (Kühn) Neergaard 1945) (Rotem, 1994; Simmons, 1995).

Η αλτερναρίωση των φύλλων του καρότου εμφανίζεται όταν τα καρότα καλλιεργούνται κατά τη διάρκεια μέτριων θερμοκρασιών και τα φύλλα εκτίθενται σε παρατεταμένες περιόδους υγρασίας λόγω βροχόπτωσης, δροσιάς ή άρδευσης με εκτοξευτήρες (μπεκ). Η κύρια πηγή διάδοσης στον αγρό είναι οι μολυσμένοι σπόροι. Ο

μύκητας μπορεί επίσης να επιβιώσει στα υπολείμματα της καλλιέργειας και σε φυτά εθελοντές (φυτά που αναπτύσσονται από προηγούμενη καλλιέργεια) μεταξύ των εποχών σποράς.

Η αναπαραγωγή γίνεται μέσω κονιδίων που παράγονται σε αφθονία σε όρθια κονιδιοφόρο. Σε καλλιέργεια, οι υφές είναι υποϋαλώδεις έως ελαιώδεις καφέ και έχουν εγκάρσια χωρίσματα (septa). Ο κονιδιοφόρος είναι ελαιώδης καφέ, ευθύς και εύκαμπτος με ένα μόνο τερματικό ή ένα έως δύο κονιδιογενή σημεία. Τα κονίδια συνήθως παράγονται μεμονωμένα, αλλά περιστασιακά παράγεται μία ισχυρή δευτερεύουσα τερματική κονιδιοφόρος που φέρει ένα δευτερεύον σπόριο. Τα κονίδια είναι μεσαίου έως σκούρου ελαιώδους καφέ χρώματος, μακριά και ελλειψοειδή έως ροπαλοειδή, $60-100 \times 15-25 \mu\text{m}$ (σώμα σπορίων), με 7 έως 11 transepta και 1 έως 3 longisepta σε λιγότερα από τα μισά των εγκάρσιων τμημάτων (Εικόνα 1.11).



Εικόνα 1.13. Κονίδια του μύκητα *Alternaria dauci* σε μεγέθυνση 40X

Τα ώριμα κόνιδα είναι ροπαλοειδή με ένα νηματοειδές ράμφος στην άκρη $80 - 250 \times 5 \mu\text{m}$ και συρρικνώνεται απότομα σε περίπου $2 \mu\text{m}$, περιστασιακά με ένα μόνο πλευρικό κλάδο μήκους έως $100 \mu\text{m}$ (Groves & Skolko, 1944; Neergaard, 1945; David, 1988; Simmons, 1995). Η σεξουαλική αναπαραγωγή του *A. dauci* δεν είναι γνωστό ότι συμβαίνει. Ο μύκητας αυτός είναι μέλος της ομάδας ειδών *porri* των μυκήτων

Alternaria, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ένα μεγάλο σώμα κονιδίου και την παρουσία ενός μακρού, στενά κωνικού έως ράμφοειδούς νηματοειδούς ράμφους (Pryor & Gilbertson, 2002; Simmons, 1995). Σε αυτήν την ομάδα ειδών *Alternaria* περιλαμβάνεται ένας μεγάλος αριθμός άλλων παθογόνων που εμφανίζονται σε συγκεκριμένους ξενιστές, όπως *A. carthami* στον ηλίανθο, *A. cucumerina* σε κολοκυνθοειδή, *A. porri* στο κρεμμύδι, *A. sesami* στο *Sesamum spp.*, *A. solani* σε τομάτες και πατάτες.

1.3.4. Συμπτωματολογία

Τα συμπτώματα που προκαλεί ο μύκητας *A. dauci* μπορεί να συγχέονται με αυτά άλλων παθογόνων όπως εκείνα των *Cercospora carotae* και *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae* (Gaube et al., 2004). Τα νεαρά φυτάρια που προέρχονται από μολυσμένο σπόρο ξεραίνονται και νεκρώνονται. Σε μεγαλύτερης ηλικίας φυτά εμφανίζονται αρχικά μικρές, ακανόνιστες, καφέ κηλίδες με χλωρωτική άλω στα παλαιότερα φύλλα. Όσο προχωράει η ασθένεια, οι



Εικόνα 1.14. Συμπτώματα του μύκητα *A. dauci* σε φύλλα και μίσχους

κηλίδες γίνονται νεκρωτικές, μεγαλώνουν και συνενώνονται, καλύπτοντας μεγάλο μέρος του ελάσματος των φύλλων. Οι προσβεβλημένοι ιστοί κιτρινίζουν και ξεραίνονται, ενώ σε έντονη προσβολή μπορεί να καταστραφεί ολόκληρη η φυλλική επιφάνεια (Εικόνα 1.14). Παρόμοια συμπτώματα μπορεί να εμφανιστούν στους μίσχους και τις ανθοταξίες και τους αναπτυσσόμενους σπόρους. (Farrar et al., 2004). Σπόρια του μύκητα *Alternaria dauci* καθώς και του *A. radicina* επιβιώνουν ως σπόρια στην επιφάνεια του σπόρου (Pryor et al., 2002; Farrar et al., 2004) Ο μύκητας *A. dauci* αναφέρθηκε ότι περιορίζεται στο εξωτερικό περίβλημα του σπόρου και στους ιστούς των αποξηραμένων περικάρπιων και δε διεισδύει στο στρώμα σπόρου και στο ενδοσπέρμιο (Strandberg, 1983). Σπόροι

που είναι μέτρια ή έντονα προσβεβλημένοι από τον μύκητα, δεν καταφέρνουν να βλαστήσουν. Σε άλλες περιπτώσεις, τα υποκοτύλια των φυταρίων που αναπτύσσονται από μολυσμένους σπόρους προσβάλλονται στο ύψος της γραμμής του εδάφους ή λίγο πιο κάτω από αυτήν, με αποτέλεσμα τη μεταφυτρωτική τους σήψη μέσα στα 2-3 εβδομάδες από την έκπτυξη του φυταρίου (Pryor *et al.*, 2002, Farrar *et al.*, 2004). Υπό συμβατικές συνθήκες καλλιέργειας, η τρέχουσα πρακτική στις περισσότερες χώρες της ΕΕ είναι η χρήση χημικά επεξεργασμένων σπόρων με thiram για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* και *A. radicina*.

1.3.5. Αντιμετώπιση: Εφαρμοσμένες μέθοδοι – νέες τάσεις

1.3.5.1. Καλλιεργητικά Μέτρα

Για τη διαχείριση της ασθένειας οι παραγωγοί πρέπει να χρησιμοποιούν σπόρους απαλλαγμένους από το παθογόνο. Οι σπόροι μπορεί να είτε επικαλυμμένοι με μυκητοκτόνα, είτε μπορούν να εμβαπτιστούν σε ζεστό νερό (50 °C για 20 λεπτά) για να μειωθεί το αρχικό μόλυσμα, εάν αυτό υπάρχει. Σε περιπτώσεις αγρών που είχαν παρουσιάσει σημαντικά προβλήματα λόγω της αλτερναρίωσης των φύλλων του καρότου συνιστάται εναλλαγή καλλιεργειών κάθε 2 με 3 τρία χρόνια (όσο χρειάζεται για να γίνει πλήρης αποσύνθεση των προσβεβλημένων ιστών). Πολλή σημαντική είναι, επίσης, η χρήση των ανθεκτικών ποικιλιών. Οι παραπάνω καλλιεργητικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε βιολογικές καλλιέργειες.

1.3.5.2. Χημική Καταπολέμηση

Για την αντιμετώπιση της ασθένειας χρησιμοποιούνται συνθετικά προστατευτικά μυκητοκτόνα που ανήκουν στις κατηγορίες των καρβαμιδικών (π.χ. mancozeb, maneb, metiram) μυκητοκτόνα κασσίτερου (π.χ. brestan) και χαλκούχα μυκητοκτόνα (π.χ. υδροξείδιο χαλκού, οξυχλωριούχος χαλκός, οξείδιο του χαλκού), μυκητοκτόνα της ομάδας dicarboximides (iprodione, procymidone), καθώς και άλλα μυκητοκτόνα, όπως τα anilinopyrimidine (pyrimethanil), carboxamides (boscalid; oxapyroxad), και oxazolidinedione (famoxadone), chlorothalonil και propineb. Αρκετά διασυστηματικά μυκητοκτόνα καταγράφονται επίσης για χρήση κατά του *A. dauci* στο καρότο. Τα

περισσότερα ανήκουν στην ομάδα των τριαζολών (π.χ. tebuconazole, difenoconazole, tetraconazole, metconazole, bromuconazole και flutriafol). Πρόσφατα, μάλιστα, στη διαχείριση της ασθένειας εισήχθησαν μυκητοκτόνα της ομάδας των στρομπιλουρινών (π.χ. azoxystrobin, pyraclostrobin, trioxystrobin και trifloxystrobin). Με βάση το ΥΠΑΑΤ στη χώρα μας υπάρχουν 8 δραστικές ουσίες εγκεκριμένες για την αλτερναρίωση των φύλλων καρότου που οφείλεται στο παθογόνο *Alternaria dauci*. Αυτές είναι οι εξής: azoxystrobin, boscalid (πρώην nicobifen), difenoconazole, fluxapyroxad, isopyrazam, mancozeb, pyraclostrobin και pyrimethanil. Οι δραστικές αυτές βρίσκονται μόνες ή και σε συνδυασμό, σε συνολικά 69 εγκεκριμένα σκευάσματα για την υπαίθρια καλλιέργεια του καρότου.

Μελέτες έχουν δείξει την αποτελεσματικότητα των μυκητοκτόνων difenoconazole, azoxystrobin, chlorothalonil και pyraclostrobin κατά του μύκητα *A. dauci* στα καρότα (Farrar *et al.*, 2004; Dorman *et al.*, 2009; Maringoni *et al.*, 2012). Συνιστάται η εναλλαγή των μυκητοκτόνων διαφορετικών χημικών ομάδων και τρόπων δράσης με σκοπό τη μείωση του κινδύνου ανάπτυξης ανθεκτικών παθογόνων πληθυσμών. Επομένως, δεν είναι πάντα δυνατό να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα των μεμονωμένων μυκητοκτόνων και να ποσοτικοποιηθεί η σχετική συμβολή τους στη συνολική καταστολή της ασθένειας (Ben-Noon *et al.*, 2001). Σε άλλες ασθένειες που προκαλούνται από τους μύκητες του γένους *Alternaria*, όπως η αλτερναρίωση της πατάτας (που προκαλείται από τον μύκητα *A. solani*) και η αλτερναρίωση του βάμβακος (που προκαλείται από τον *A. macrospora*), έχει αποδειχθεί ότι τα διασυστηματικά μυκητοκτόνα ήταν πιο αποτελεσματικά από τα προστατευτικά μυκητοκτόνα στην καταστολή της ασθένειας (Shtienberg & Dreishpoun, 1991; Shtienberg *et al.*, 1993).

1.3.5.3. Βιολογική Αντιμετώπιση

Το βιολογικά ΦΠΠ είναι μια ομάδα εργαλείων προστασίας των καλλιεργειών που μπορεί να αντικαταστήσει ή να υποστηρίξει τα συνθετικά ΦΠΠ και είναι ιδανικά για προγράμματα ολοκληρωμένης αντιμετώπισης. Ορίζονται ως ένας παράγοντας μαζικής παραγωγής, που παράγεται από έναν ζωντανό μικροοργανισμό ή ένα φυσικό προϊόν και πωλείται για την αντιμετώπιση των ασθενειών και εχθρών των φυτών (Chandler *et al.*, 2011). Εμπίπτουν σε τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με τη δραστική

ουσία: (α) μικροοργανισμοί (microorganisms), όπως βακτήρια, μύκητες, ωομύκητες, ιούς και πρωτόζωα που χρησιμοποιούνται για τον βιολογικό έλεγχο εντόμων, φυτοπαθογόνων και ζιζανίων, (β) μακροοργανισμοί (macroorganisms), όπως παρασιτοειδή, αρπακτικά και νηματώδεις, (γ) βιοχημικά (biochemicals), που είναι δευτερεύοντες μεταβολίτες που παράγονται από φυτά που αποτρέπουν τα φυτοφάγα ζώα να τρέφονται από αυτά και (δ) σημειοχημικά (semiochemicals), που είναι χημικά σήματα που παράγονται από έναν οργανισμό και προκαλεί αλλαγή συμπεριφοράς σε ένα άτομο του ίδιου ή ενός διαφορετικού είδους. Τα παραπάνω παρουσιάζουν επιθυμητές ιδιότητες, όπως την εκλεκτικότητα τους, τη μειωμένη ή και μηδενική παραγωγή τοξικών υπολειμμάτων και το χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης σε σύγκριση με τα συνθετικά ΦΠΠ (Hajek, 2004), καθιστώντας τα κατάλληλα για σχήματα ολοκληρωμένης αντιμετώπισης.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν με τον υπάρχοντα εξοπλισμό ψεκασμού των παραγωγών. Αντίστοιχα τα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνουν βραδύτερο ρυθμό αντιμετώπισης ασθενειών ή επιβλαβών οργανισμών σε σύγκριση με συνθετικά, μικρότερη εμμονή στο περιβάλλον και μεγαλύτερη ευαισθησία σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Επειδή τα περισσότερα βιολογικά ΦΠΠ δεν είναι τόσο αποτελεσματικά όσο τα χημικά, δεν είναι κατάλληλα για χρήση ως αυτόνομες θεραπείες. Ωστόσο, η εκλεκτικότητα και η ασφάλειά τους συνηγορούν στο συμπέρασμα ότι μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά σε σταδιακές βελτιώσεις στην αντιμετώπιση ασθενειών και εχθρών (Lacey & Shapiro-Ilan, 2008). Η ανάπτυξη των βιολογικών ΦΠΠ, όμως, παρεμποδίζεται από το γεγονός ότι είναι εξειδικευμένα προϊόντα της αγοράς και με χαμηλό δυναμικό κέρδους. Εντούτοις, υπάρχουν ήδη περισσότερα από 1.400 βιολογικά ΦΠΠ που πωλούνται παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας μόλις το 2,5% της συνολικής αγοράς ΦΠΠ. Η Markets and MarketsTM (2020), εκτιμά ότι ο τομέας των βιολογικών ΦΠΠ θα έχει σύνθετο ρυθμό ετήσιας ανάπτυξης (Compound Annual Growth Rate - CAGR) 14,7% με το παγκόσμιο μερίδιο αγοράς, από εκτιμώμενη αξία 4,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2020 να φτάνει τα 8,5 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2025. Η αγορά των βιολογικών ΦΠΠ στην Ευρώπη, μάλιστα, προβλέπεται να είναι αυτή με τον υψηλότερο CAGR κατά την περίοδο πρόβλεψης. Η αγορά θα μπορούσε να αυξηθεί περισσότερο εάν οι πολιτικές και οι νομοθετικές υπηρεσίες απαιτήσουν τα βιολογικά ΦΠΠ να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μείωση της υπέρμετρης εξάρτησης στα συνθετικά ΦΠΠ. Για παράδειγμα, η ουσιαστική τροποποίηση της οδηγίας 91/414 που συνόδευε την οδηγία 2009/128/EK

παρέχει ένα ειδικό καθεστώς σε μη χημικές και εναλλακτικές φυσικές λύσεις έναντι των συνθετικών και απαιτεί να τους δοθεί προτεραιότητα όπου είναι δυνατόν.

1.3.5.4. Τρέχουσες πρακτικές αντιμετώπισης

Η κατάλληλη διαχείριση των ασθενειών των φυτών αποτελεί προϋπόθεση για σταθερή και κερδοφόρα παραγωγή τροφίμων και φυτικών ινών. Υπάρχουν πολλά και ποικίλα μέσα αντιμετώπισης της ασθένειας, συμπεριλαμβανομένων χημικών και βιολογικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων, καλλιεργητικών μέτρων και γενετικά ανθεκτικών και ανεκτικών ποικιλιών. Στην πλειοψηφία των περιοχών παραγωγής καρότων, οι καλλιεργητές βασίζονται συχνά σε ένα μόνο μέτρο αντιμετώπισης και κυρίως στη χρήση χημικών μέσων. Σκοπός τους είναι η αποφυγή της καταστροφής της φωτοσυνθετικής επιφάνειας από την ασθένεια αυτή, ώστε να επιτύχουν ικανοποιητικά χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος αλλά και αποτελεσματική μηχανική συγκομιδή (Ben-Noon *et al.*, 2003; Bounds *et al.*, 2007). Ωστόσο, υπό υψηλή πίεση ασθένειας, κανένα από τα παραπάνω μέτρα δεν είναι απολύτως ικανοποιητικό για τη διαχείριση της (Farrar *et al.*, 2004). Οι Ben-Noon *et al.* (2003) απέδειξαν πειραματικά ότι η κοινή δράση δύο μεθόδων ελέγχου (π.χ. χημική αντιμετώπιση και ανθεκτικότητα ξενιστή) μείωσε την ένταση της ασθένειας μέσω πρόσθετων ή συνεργιστικών αποτελεσμάτων. Μεγάλο ενδιαφέρον για τους παραγωγούς παρουσιάζει η επιλογή ποικιλιών με υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας που διαρκεί στο χρόνο (durable resistance). Για να βελτιωθούν οι μέθοδοι επιλογής τέτοιων ποικιλιών καρότου, είναι απαραίτητη η ακριβής γνώση των μηχανισμών αλληλεπίδρασης φυτού-παθογόνου.

Η εφαρμογή δύο ή περισσότερων εκ των παραπάνω μεθόδων συχνά αποδεικνύεται αποτελεσματική στρατηγική για διάφορους λόγους. Αφενός, μπορεί να επιτευχθεί η καταστολή της ασθένειας σε περιπτώσεις όπου η αποκλειστική χρήση μίας μεθόδου δεν κρίνεται αποτελεσματική. Για παράδειγμα, η εφαρμογή μυκητοκτόνων σε ευαίσθητες ποικιλίες ρεβιθιών δεν ήταν επαρκής για την αντιμετώπιση του *Didymella rabiei*, που προκαλεί την ασκοχύτωση στο ρεβίθι. Αντίθετα, ο συνδυασμός της χημικής αντιμετώπισης και η επιλογή ανθεκτικών ποικιλιών παρατηρήθηκε ότι ήταν επιτυχής για τη διαχείριση της ασθένειας και επέτρεψε την ικανοποιητική παραγωγή (Shtienberg *et al.*, 2000). Αφετέρου, η ταυτόχρονη εφαρμογή περισσότερων του ενός τρόπων

αντιμετώπισης μπορεί να επιτρέψει τη χρήση δυνητικά επιβλαβών για το περιβάλλον μεθόδων όπως χημικά μυκητοκτόνα ή υποκαπνιστικά ελαχιστοποιώντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις αρνητικές του επιπτώσεις στο περιβάλλον, είτε μειώνοντας τους ρυθμούς τους είτε μειώνοντας τον αριθμό των εφαρμογών τους. Αντίστοιχα ο συνδυασμός ανθεκτικών ποικιλιών, της ανθεκτικότητας που σχετίζεται με το στάδιο / ηλικία του ξενιστή και της χημικής αντιμετώπισης κατά της αλτερναρίωσης της πατάτας (που προκαλείται από το παθογόνο *Alternaria solani*), επέτρεψε τη μείωση του αριθμού των εφαρμογών με μυκητοκτόνα χωρίς να επηρεαστεί το επίπεδο καταστολής της ασθένειας (Shtienberg *et al.*, 1995). Η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση μπορεί, επίσης, να αυξήσει την πραγματική διάρκεια ζωής ενός συγκεκριμένου μέτρου, για παράδειγμα, μειώνοντας την πιθανότητα ανάπτυξης ανθεκτικών πληθυσμών ενός παθογόνου στα μυκητοκτόνα ή την ανάπτυξη παθογόνων πληθυσμών ικανών να προκαλέσουν ασθένεια σε ανθεκτικές ποικιλίες. Εν τέλει, η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση μπορεί να μειώσει την ασυνέπεια της αποτελεσματικότητας και την έλλειψη επαναληψιμότητας που ενδεχομένως προκύπτουν σε περιπτώσεις καταπολέμησης με μεμονωμένα μέτρα αντιμετώπισης (Ben-Noon *et al.*, 2003).

1.4 Ο Αμυντικός Μηχανισμός των φυτών

1.4.1 Γενικά στοιχεία

Τα διάφορα φυτικά είδη έρχονται σε επαφή με έναν μεγάλο αριθμό παθογόνων (μύκητες, βακτήρια, ιοί, μυκοπλάσματα κ.ά.). Πολλές φορές, τα φυτά μολύνονται από περισσότερα του ενός παθογόνα με μικρότερης ή μεγαλύτερης έκτασης προβλημάτων, αλλά αρκετά φυτά καταφέρνουν να επιβιώσουν, να αναπτυχθούν και να δώσουν ικανοποιητική παραγωγή (Agrios, 2005). Παρόλα αυτά, η ασθένεια στη φύση, είναι εξαίρεση αυτής της αλληλεπίδρασης και όχι κανόνας, καθώς η παράλληλη εξέλιξη φυτών και παθογόνων οδήγησε σε μια ατέρμονη σπείρα στο χρόνο. Ένας οργανισμός για να προκαλέσει ασθένεια σε ένα συγκεκριμένο ξενιστή πρέπει, μεταξύ άλλων, να είναι

ικανός να υπερνικήσει τους μηχανισμούς άμυνάς του. Από την άλλη πλευρά, μέσω του μηχανισμού που προαναφέρθηκε, όταν το φυτό αποκτήσει έναν νέο μηχανισμό άμυνας, καινούριο ως προς το παθογόνο, τότε το τελευταίο προσπαθεί να αποκτήσει έναν νέο μηχανισμό ώστε να επανακτήσει την παθογόνο ικανότητά του. Αυτοί οι δυναμικοί μηχανισμοί αναγνώρισης έχουν συντελέσει στη δημιουργία εξειδικευμένων μηχανισμών αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο σύστημα ξενιστής-παθογόνο (Agrios, 2005).

Η άμυνα των φυτών ενάντια στα παθογόνα αποτελείται από έναν συνδυασμό:

- Δομικών χαρακτηριστικών (κηροί, τριχίδια κ.ά.)
- Επαγόμενων βιοχημικών αντιδράσεων

Ο συνδυασμός αυτός εμφανίζει μεγάλη πολυπλοκότητα και εξαιρετική εξειδίκευση ανάλογα με το σύστημα ξενιστή-παθογόνου. Ακόμα όμως και στο ίδιο σύστημα, ο συνδυασμός μεταβάλλεται ανάλογα με την ηλικία του φυτού, το είδος του φυτικού οργάνου, τη θρεπτική κατάσταση του φυτού καθώς και τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες (Agrios, 2005).

Το σύνολο των δομικών χαρακτηριστικών που ήδη αναφέρθηκαν αποτελούν το παθητικό αμυντικό σύστημα του φυτού. Επιπλέον, τα φυτά διαθέτουν έναν εγγενή μηχανισμό άμυνας που διαφοροποιείται βιοχημικά:

- στο βασικό ανοσοποιητικό σύστημα (basal innate immune system)
- στο ανοσοποιητικό σύστημα γονιδίων ανθεκτικότητας (resistance (R) – gene-mediated innate immune system)
- στην επαγόμενη και επίκτητη διασυστηματική αντοχή (Systemic Acquired Resistance και Induced Systemic Resistance) (Agrios, 2005)

1.4.2 Βασικό ανοσοποιητικό σύστημα

Γενικά τα φυτά είναι ανθεκτικά σε ορισμένα παθογόνα επειδή:

α) ανήκουν σε ταξινομικές ομάδες που βρίσκονται έξω από το εύρος ξενιστών του παθογόνου (ανθεκτικότητα του μη ξενιστή ή non-host resistance). Έχουν, δηλαδή, στην κατοχή τους γονίδια που προσδίδουν ανθεκτικότητα (R genes) και δρουν ενάντια

γονιδίων μολυσματικότητας (Avr genes) του παθογόνου (Agrios, 2005). Οι όροι «μη ξενιστής φυτό» (non-host plant) και «μη ξενιστής παθογόνο» (non-host pathogen), αναφέρονται στο γεγονός ότι τα παθογόνα έχουν περιορισμένο εύρος φυτών στα οποία μπορούν να προκαλέσουν ασθένεια. Η ανθεκτικότητα του μη-ξενιστή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και μεγάλης διάρκειας, οπότε συχνά θεωρείται ότι οι μηχανισμοί της μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη δημιουργία ανθεκτικών ποικιλιών (Thordal-Christensen, 2003). Σε αυτό τον τύπο ανθεκτικότητας, το φυτό είναι ανθεκτικό σε όλες τις φυλές ενός παθογόνου.

β) παρουσιάζουν μια βασική ή γενικευμένη αντοχή (basal resistance). Ο όρος αυτός έχει υιοθετηθεί για να αναφερθεί σε δύο διαφορετικές πτυχές της αλληλεπίδρασης φυτών παθογόνου. Η πρώτη αναφέρεται στην ήδη υπάρχουσα άμυνα που αποτρέπει την είσοδο του παθογόνου ή παρέχει ένα φυσικό εμπόδιο. Τέτοιοι μηχανισμοί αναφέρονται κυρίως σε καταστάσεις πριν την μόλυνση. Η συντριπτική πλειοψηφία των δυνητικών παθογόνων που έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του φυτού διατηρούνται επιφυτικά, με τα περισσότερα μικρόβια να μην μπορούν να διαπεράσουν το εξωτερικό επιδερμικό τοίχωμα. Η άλλη πλευρά του όρου αυτού αναφέρεται σε μη-ειδικούς μηχανισμούς άμυνας που επάγονται μετά από την αντίληψη διεγερτών γενικής φύσεως οι οποίοι καλούνται PAMPs (Pathogen Associated Molecular Patterns). Όσον αφορά στους ωομύκητες τέτοιοι είναι οι γλυκάνες, τρανσγλουταμινάσες, διάφορες πρωτεάσες, για τους μύκητες η εργοστερόλη, χιτίνη, ξυλανάση, για τα βακτήρια πρωτεΐνες του μαστιγίου (φλατζελίνη), λιποσακχαρίτες, πρωτεΐνες καταπόνησης ψύχους (cold-shock), πεπτιδογλυκάνες, ενώ για τους ιούς δεν έχουν βρεθεί PAMPs. Τα PAMPs (α) είναι μόρια καλά συντηρημένα, (β) εντοπίζονται στους φυτικούς οργανισμούς και (γ) συνήθως παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην επιβίωση των μικροοργανισμών (Nürnberg and Lipka, 2005).

Η βασική ανθεκτικότητα, γνωστή και ως PAMP-triggered immunity (PTI) θεωρείται ως η πρώτη ενεργή αντίδραση του φυτού ενάντια σε προσβολή παθογόνων. Ενεργοποιείται 10-30 λεπτά μετά την επαφή του φυτού με το παθογόνο, με τη βοήθεια συντηρημένων μικροβιακών προτύπων, από πρωτεΐνες-υποδοχείς προσαρμοσμένους στην επιφάνεια του φυτικού κυττάρου, ενώ η επαγωγή της σχετίζεται με την εναπόθεση λακτόζης. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης του παθογόνου. Παρόλο που οι μοριακοί μηχανισμοί που εμπλέκονται στην PTI δεν είναι διευκρινισμένοι, ο κατάλογος με τα μικροβιακά πρωτεϊνικά μοτίβα που έχουν βρεθεί να

την ενεργοποιούν, συνεχώς αυξάνεται. Τα PAMPs εκπληρώνουν μία ζωτικής σημασίας λειτουργία για τη διαβίωση του μικροοργανισμού, είναι άκρως συντηρημένες δομικά περιοχές του γονιδιώματος σε ένα μεγάλο αριθμό παθογόνων, και δεν ανιχνεύονται στον ξενιστή υπό φυσιολογικές συνθήκες (Nürnberger *et al.*, 2004).

Η μερική ή ποσοτική ανθεκτικότητα (Quantitative Disease Resistance - QDR) των φυτών σε ασθένειες και εχθρούς έχει μελετηθεί εντατικά μεταξύ των καλλιεργειών. Η προοπτική ανάπτυξης μιας βιώσιμης μεθόδου αντιμετώπισης αποσκοπεί στην αναγνώριση των γενετικών παραγόντων που καθορίζουν την ανθεκτικότητα αυτή (γνωστή ως Quantitative Resistance Loci ή QRLs) σε πολλές ασθένειες και εχθρούς των φυτών. Ωστόσο, υπάρχουν πολύ λιγότερα δεδομένα που αφορούν τους μηχανισμούς που εμπλέκονται στη μερική ανθεκτικότητα των παθογόνων με αποτέλεσμα αυτοί οι μηχανισμοί να μην είναι σαφώς κατανοητοί.

Μια σύγκριση των κυριότερων τύπων ανοσοαπόκρισης των φυτών (PTI έναντι του Effector Triggered Immunity ή ETI) υποδηλώνει ότι μοριακοί μηχανισμοί αλληλεπιδράσεων φυτού-παθογόνου που συνδέονται με PTI (βασική ανθεκτικότητα) και ETI (κατακόρυφη ανθεκτικότητα) μοιράζονται κοινά δίκτυα σηματοδότησης. Ομοίως, είναι πολύ πιθανό ότι το PTI και το ETI μοιράζονται κοινούς μηχανισμούς με το QDR. Έχοντας κατά νου αυτήν τη δυνατότητα, οι Kushalappa & Gunnaiah (2013) καθόρισαν την ποσοτική ανθεκτικότητα ως την ικανότητα ενός φυτού να παράγει μεταβολίτες και πρωτεΐνες που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα για να μετριάσουν τη δράση παραγόντων παθογένειας (ένζυμα, τοξίνες). Η γενετική βάση της ανθεκτικότητας στα φυτά περιπλέκεται από την ύπαρξη παθογόνων με διαφορετικό τρόπο πρόσληψης θρεπτικών από το φυτό-ξενιστή, π.χ. έχουν περιγραφεί νεκροτροφικοί, ημι-βιοτροφικοί και βιοτροφικοί μύκητες. Πρόσφατα, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην κατανόηση της απόκρισης του ξενιστή στα νεκροτροφικά παθογόνα, συμπεριλαμβανομένων των ειδών *Alternaria* (Lai & Mengiste, 2013). Οι διεργασίες ανοσοποίησης των φυτών εξηγούνται καλύτερα μέσω της ταυτοποίησης των μολυσματικών παραγόντων των νεκροτροφικών μυκήτων και των κυτταρικών στόχων ξενιστή τους.

Οι Poland *et al.* (2009) προτείνουν για πρώτη φορά ταξινόμηση των πιθανών μηχανισμών που βασίζονται στο QDR. Διακρίθηκαν έξι κατηγορίες πιθανών μηχανισμών QDR που διέπουν τα παρατηρούμενα QRL: (i) Τα QRL θα μπορούσαν να

συνδεθούν με γονίδια που ρυθμίζουν μορφολογικά και αναπτυξιακά χαρακτηριστικά, (ii) μεταλλάξεις ή αλληλικές αλλαγές στα γονίδια που εμπλέκονται στη βασική άμυνα θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στο QDR, π.χ. ο υποδοχέας χιτίνης κινάση 1 στο παθοσύστημα *Arabidopsis thaliana* - *Alternaria brassicicola* (Miya *et al.*, 2007) (iii) αλληλικές μορφές γονιδίων που εμπλέκονται στη ρύθμιση των μονοπατιών σηματοδότησης, όπως ο παράγοντας μεταγραφής WRKY33 στην *Arabidopsis thaliana* (Zheng *et al.*, 2006), μπορεί να αντιστοιχεί σε QRL που θα μπορούσαν να διαμορφώσουν επίπεδα αντοχής έναντι νεκροτροφικών ή βιοτροφικών παθογόνων, (iv) Τα QRL θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν αδύναμες μορφές κυρίαρχων γονιδίων ανθεκτικότητας R (R-genes), (v) γενετικοί τόποι ή γονίδια που προσδίδουν QDR θα μπορούσαν να είναι συστατικά του «χημικού πολέμου» μεταξύ του ξενιστή του φυτού και του παθογόνου του, ή (vi) τα QRLs μπορεί να αντιπροσωπεύουν νέες κατηγορίες γονιδίων, που δεν περιγράφηκαν προηγουμένως ως αμυντικά γονίδια που υποστηρίζουν μηχανισμούς ανθεκτικότητας. Ως παράδειγμα, σε αυτήν την τελευταία κατηγορία: η απώλεια της λειτουργίας της πλούσιας σε προλίνη πρωτεΐνης Pi21 η οποία είναι υπεύθυνη για το non-race specific QDR του ρυζιού στον ημιβιοτροφικό μύκητα *Magnaporthe grisea* (Fukuoka *et al.*, 2009).

Από την ανασκόπηση των Poland *et al.* (2009), πρόσφατες εξελίξεις στον προσδιορισμό των μηχανισμών που διέπουν το QDR έχουν αναφερθεί σε μελέτες που περιλαμβάνουν καλλιεργούμενα μονοκοτυλήδωνα φυτά υψηλής οικονομικής σημασίας. Σε αυτές τις μελέτες, περιγράφηκαν συγκεκριμένα γονίδια που παρέχουν μερική ανθεκτικότητα σε παθογόνα βακτήρια ή μύκητες: η πρωτεΐνη WKS1 της κινάσης σίτου έναντι του παθογόνου, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (Fu *et al.*, 2009), η πρωτεΐνη σιρίνης / θρεονίνης πρωτεΐνης σιταριού Stpk-v έναντι του παθογόνου *Blumeria graminis* sp. *tritici* (Cao *et al.*, 2011), και ο υποτιθέμενος υποδοχέας της κυτταροπλασματικής κινάσης BSR1 του ρυζιού προς το *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* και του *M. grisea* (Dubouzet *et al.*, 2011). Στο γονιδίωμα του κριθαριού, τα σημεία του non-race specific disease resistance έναντι του *Blumeria graminis* ταυτοποιήθηκαν με υποψήφια γονίδια που κωδικοποιούν συστατικά της ανθεκτικότητας που προκαλείται από PAMP, όπως πρωτεϊνικές κινάσες υποδοχέων, παράγοντες μεταφοράς κυστιδίων και εκκρινόμενες υπεροξειδάσες κατηγορίας III (Schweizer & Stein, 2011).

Οι τοξίνες που παράγονται από νεκροτροφικά παθογόνα, όπως τα είδη *Alternaria*, έχουν αναγνωριστεί ως σημαντικές ενώσεις υπεύθυνες για την ασθένεια των φυτών,

μέσω του κυτταρικού θανάτου του ξενιστή (Thomma, 2003). Η ικανότητα του φυτικού ξενιστή να αντιστέκεται στις παθογόνες τοξίνες μέσω διαφορετικών τρόπων, συμπεριλαμβανομένης της αποτοξίνωσης και της μεταβολικής παράκαμψης, έχει περιγραφεί εκτενώς σε δύο παθοσυστήματα (*Cochliobolus carbonum* - αραβόσιτος (Johal & Briggs, 1992)· *Alternaria alternata* f.sp. *lycopercisi* - tomato (Spassieva *et al.*, 2002)). Σε αυτά τα δύο παραδείγματα, περιγράφονται μηχανισμοί ανθεκτικότητας έναντι της τοξίνης σε σχέση με τους μηχανισμούς μερικής ανθεκτικότητας. Ένα άλλο παράδειγμα αντοχής στην τοξίνη αναφέρθηκε στη μελέτη των Walz *et al.* (2008) χρησιμοποιώντας διαγονιδιακές σειρές τομάτας. Η εισαγωγή ενός γονιδίου οξαλικής οξειδάσης σιταριού στην τομάτα μείωσε τα συμπτώματα της ασθένειας σε φυτά που μολύνθηκαν από *Botrytis cinerea* ή *Sclerotinia sclerotiorum*, δύο νεκροτροφικούς μύκητες που παράγουν οξαλικό οξύ, μια τοξίνη που θεωρείται καθοριστικός παράγοντας της παθογένειας. Ακολούθως, βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ μερικής ανθεκτικότητας και ανθεκτικότητας στην τοξίνη σε δύο άλλες αλληλεπιδράσεις φυτικών - νεκροτροφικών μυκήτων: *Allium sativum* - *Stemphylium solani* και *Hevea brasiliensis* - *Corynespora cassiicola* (Zheng *et al.*, 2010). Φαίνεται ότι η ανακάλυψη μερικών μηχανισμών αντοχής που βασίζονται σε QRL και συνδέεται με μια παθογόνο τοξίνη δεν έχει δημοσιευτεί μέχρι στιγμής. Αυτή η τελευταία υπόθεση εξετάζεται με βάση το παθοσύστημα καρότο-*Alternaria dauci* (Lecomte *et al.*, 2014).

Τα στελέχη *Alternaria dauci* έχουν αναφερθεί ότι παράγουν πολυάριθμες τοξίνες, συμπεριλαμβανομένης της ζινιόλης (Barash *et al.*, 1981), του μονομεθυλαιθέρα της αλτερναριόλης (Montemurro & Visconti, 1992) και αρκετών ειδικών μη χαρακτηριστικών δευτερογενών μεταβολιτών (Andersen *et al.*, 2008). Μεταξύ αυτών των τοξινών, ορισμένες έχουν μελετηθεί πιο ιδιαίτερα και καλά τεκμηριωθεί. Ο μονομεθυλαιθέρας της αλτερναριόλης είναι μια σημαντική μυκοτοξίνη με κυτταροτοξικές, γονοτοξικές και τερατογόνες επιδράσεις στα θηλαστικά (Bensassi *et al.*, 2011). Η ζινιόλη περιγράφηκε για πρώτη φορά ως τοξίνη που δεν είναι ειδική για τον ξενιστή και πιστεύεται ότι εμπλέκεται στο *Alternaria* sp. παθογένεια στα φυτά. Πιο πρόσφατη εργασία έρχεται σε αντίθεση με αυτήν την ιδέα όσον αφορά τους *A. tagetica* (Qui *et al.*, 2010) και *A. dauci* (Lecomte *et al.*, 2014). Η αλδαουλακτόνη μπορεί να θεωρηθεί ως ένας κρίσιμος τοξικός προσδιοριστής της παθογένειας στο *A. dauci*-D. αλληλεπίδραση καρότας. Θα απαιτηθούν περαιτέρω μελέτες: (i) για να προσδιοριστεί εάν η τοξική επίδραση της αλδαουλακτόνης είναι ειδική για τον ξενιστή ή όχι, και (ii)

για να επισημανθούν οι παθογόνοι καθοριστικοί παράγοντες στο *A. dauci* χρησιμοποιώντας γονιδιωματικές και μεταγραφικές προσεγγίσεις.

1.5. Σκοπός της Εργασίας

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η δυνατότητα αντιμετώπισης του μύκητα *Alternaria dauci* με διάφορα συνθετικά ή βιολογικά σκευάσματα σε πειράματα παθογένειας που έγιναν σε δύο διαφορετικής ανθεκτικότητας ποικιλίες καρότου.

Αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητα εμπορικών βιολογικών ΦΠΠ κατά του μύκητα *A. dauci* σε φυτά καρότου υπό θερμοκηπιακές συνθήκες. Οι κατηγορίες βιολογικών ΦΠΠ, περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο φυσικό μικροβίωμα του φυτού, φυτικά εκχυλίσματα, βιοδιεγέρτες και επαγωγείς άμυνας. Ενώ τα συνθετικά ΦΠΠ που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στις ομάδες των στρομπιλουρών, τριαζολών, καρβαμιδικών, pyridinyl ethylbenzimidides και των ortho-substituted phenyl amides (OPAs). Πραγματοποιήθηκε καταγραφή της εξέλιξης των συμπτωμάτων στο σύστημα αλληλεπίδρασης φυτά καρότου – *A. dauci*, σε δύο διαφορετικής ανθεκτικότητας ποικιλίες καρότου στις οποίες και εφαρμόστηκε ξεχωριστά κάθε σκεύασμα στις μέγιστες προτεινόμενες δόσεις.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογήσει διάφορα σκευάσματα ως προς την αποτελεσματικότητά τους, τόσο σε μια ευαίσθητη ποικιλία καρότου (cv. Dordogne), όσο και σε μια μερικώς ανθεκτική (cv. Concerto) ως προς το μύκητα *A. dauci*. Βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής, σε επόμενη έρευνα θα μπορούσαν να συνδυαστούν επιτυχώς τα βιολογικά και συνθετικά ΦΠΠ, σε προγράμματα διαχείρισης της ασθένειας. Με τον τρόπο αυτό θα ήταν δυνατό να μειωθεί η χρήση των συνθετικών ΦΠΠ και αντίστοιχα ο κίνδυνος ανάπτυξης ανθεκτικότητας με το συνδυασμό άνω του ενός τρόπων δράσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Πειράματα Θερμοκηπίου

Διεξήχθησαν δύο πειράματα παθογένειας σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια καρότου. Στο πρώτο πείραμα έγινε ένας ψεκασμός των ΦΠΠ και μία τεχνητή μόλυνση με το μύκητα *A. dauci*. Ενώ, στο δεύτερο πείραμα έγιναν 3 ψεκασμοί των ΦΠΠ και τρεις τεχνητές μολύνσεις με *A. dauci* (Πίνακας 1.2).

Πίνακας 2.1. Σημαντικά στάδια των δύο πειραμάτων θερμοκηπίου που διεξήχθησαν.

Πειράματα θερμοκηπίου	Φύτευση	Ψεκασμός ΦΠΠ	Τεχνητή μόλυνση με <i>A. dauci</i>	Καταγραφή Συμπτωμάτων
Π1	23 - 24/04/2019	24/7/2019	26/7/2019	06/08/2019 - 10/09/2020
Π2	30/10/2020	18/12/2019 25/01/2020 17/02/2020	20/12/2019 27/01/2020 12/02/2020	31/1/2020 - 03/04/2020

2.1.1 Μικροβιολογικό Υλικό

Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος P2 του μύκητα *Alternaria dauci* για *in planta* αξιολόγηση φυτοπροστατευτικών προϊόντων σε φυτά καρότου. Τα κονίδια του μύκητα διατηρούνταν σε υδατικό διάλυμα 25% γλυκερόλης στην βαθιά κατάψυξη (-80 °C) του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

2.2. Τεχνητά θρεπτικά υποστρώματα ανάπτυξης μικροοργανισμών

Για την ανάπτυξη του μύκητα *in vitro* παρασκευάστηκαν τεχνητά θρεπτικά υποστρώματα PDA (Potato Dextrose Agar) και V8 agar, τα οποία και αποστειρώθηκαν σε κλίβανο στους 121 °C υπό πίεση 1 atm για 20 λεπτά.

PDA (Potato Dextrose Agar)

Εκχύλισμα πατάτας	200 gr/L
Δεξτρόζη	20 gr/L
Άγαρ	20 gr/L

Για την προετοιμασία του εκχυλίσματος πατάτας, 200 gr τεμαχισμένης πατάτας βράζουν σε 1 L απιονισμένου νερού για 30 λεπτά. Έπειτα, φιλτράρεται μέσω cheesecloth κι έτσι προκύπτει το εκχύλισμα πατάτας. Στο εκχύλισμα γίνεται ανάμειξη 20 γραμμαρίων δεξτρόζης και άγαρ σε θερμαινόμενο αναδευτήρα ώστε να επιτευχθεί η διάλυσή τους. Σε περίπτωση μη συμπλήρωση του όγκου γίνεται προσθήκη απιονισμένου νερού μέχρι να συμπληρωθεί ο όγκος του 1 L. Τέλος, το θρεπτικό υλικό αποστειρώνεται σε κλίβανο στους 121°C υπό πίεση 1 atm για 20 λεπτά και διανέμεται σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri, υπό ασηπτικές συνθήκες.

V8 agar

Χυμός V8	200 mL/L
Άγαρ	15 gr/L
Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO ₃)	3 gr/L

Για την προετοιμασία του V8 θρεπτικού υποστρώματος αναμιγνύονται 200 ml εμπορικού χυμού V8 που συντηρείται σε θερμοκρασία 4°C με 15 gr άγαρ και με 3 gr

ανθρακικού ασβεστίου στην ποσότητα απιονισμένου νερού που απαιτείται ώστε να συμπληρωθεί ο όγκος του 1 λίτρου. Στη συνέχεια το υπόστρωμα αποστειρώνεται σε κλίβανο στους 121 °C υπό πίεση 1atm για 20 λεπτά και διανέμεται σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri, υπό ασηπτικές συνθήκες.

Dichloran rose Bengal chloramphenicol agar (DRBC)

Πεπτόνη	5 gr/L
Δεξτρόζη	10 gr/L
Dipotassium hydrogen phosphate (K_2HPO_4)	1 gr/L
Magnesium sulphate ($MgSO_4, 7H_2O$)	0,5 gr/L
Agar	15 gr/L
Rose Bengal	0,025 gr/L
Dichloran	0,002 gr/L
Chloramphenicol	0,1 gr/L

Τα dichloran και chloramphenicol προστίθενται μετά την αποστείρωση του θρεπτικού υποστρώματος (στους 121°C για 20 λεπτά) και σε θερμοκρασία 45-50 °C.

Η χρήση του αντιμυκητιακού παράγοντα, dichloran, περιορίζει την εξάπλωση γρήγορα αναπτυσσόμενων μυκήτων (πχ. *Mucor*, *Rhizopus* κ.ά). Το Rose bengal βοηθά επίσης στη μείωση των μεγεθών της αποικίας και είναι εκλεκτικό έναντι των βακτηρίων. Επιπρόσθετη επιλεκτικότητα έναντι της βακτηριακής ανάπτυξης επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση του θερμοσταθερού αντιβιοτικού chloramphenicol. Η γλυκόζη ενσωματώνεται ως ζυμώσιμη πηγή υδατανθράκων, με ενζυματική πέψη ζωικών και φυτικών ιστών που παρέχει τις απαραίτητες βιταμίνες, μέταλλα, αμινοξέα, άζωτο και άνθρακα.

2.3. Παραγωγή φυτικού υλικού

Ποικιλία Dordogne

Πρόκειται για ένα μεσοπρώιμο υβρίδιο του τύπου Nantes που είναι ιδανικό για την αγορά προσυσκευασμένων κηπευτικών το καλοκαίρι, το φθινόπωρο και τις αρχές του χειμώνα (Εικόνα 2.1). Παράγει ένα πολύ ομοιόμορφο, λεπτό και κυλινδρικό καρότο μήκους έως 24 εκ. με αμβλύ, στρογγυλεμένο άκρο. Έχει λεία σάρκα χρώματος πορτοκαλί όπως και το εσωτερικό



Εικόνα 2.1. Καρότα ποικιλίας Dordogne

του, ενώ ο πυρήνας είναι μικρού μεγέθους. Η περίοδος μηχανικής συγκομιδής του μπορεί να επεκταθεί ώστε να ταιριάζει με τις καιρικές συνθήκες ή τις τάσεις των τιμών της αγοράς. Αυτή η ποικιλία είναι αρκετά ευαίσθητη στο *Alternaria dauci*.

Ποικιλία Concerto

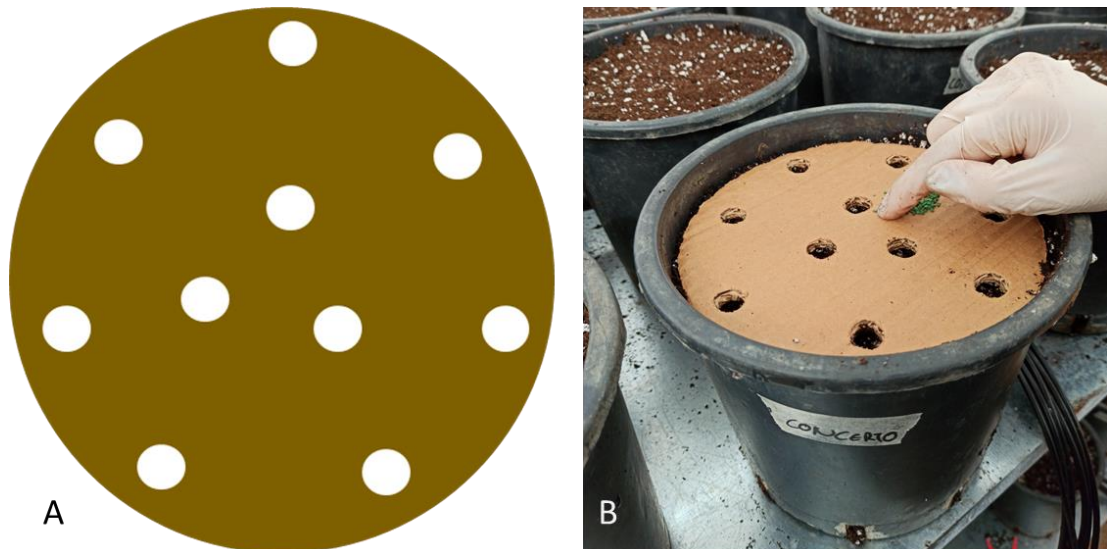
Είναι μια κλασική ποικιλία με καλή προσαρμοστικότητα και ομοιόμορφο σχήμα που μπορεί να καλλιεργηθεί σε οποιονδήποτε τύπο εδάφους και παρουσιάζει εξαιρετική

αγρονομική πλαστικότητα (Εικόνα 2.2). Έχει καλώς ανεπτυγμένα, όρθια και απαλά στερεωμένα έντονα πράσινα φύλλα. Οι γογγυλόριζες του είναι κυλινδρικές και με καλή διάμετρο. Η ομοιομορφία τους ξεχωρίζει σε σχέση με άλλες ποικιλίες με διασταυρούμενη επικονίαση και έχει ως αποτέλεσμα υψηλό ποσοστό ανώτερης ποιότητας τόσο σε χρώμα όσο και σε γεύση. Συνιστάται για σπορά από τον Αύγουστο έως τον Ιανουάριο, ενώ είναι αρκετά ανθεκτικό στον μύκητα *Alternaria dauci*.



Εικόνα 2.2. Καρότα ποικιλίας Concerto

Κατά τη πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν σπόροι καρότου (*Daucus carota*) και η επιλογή των ποικιλιών έγινε με βάση την ανθεκτικότητα που εμφανίζουν έναντι της ασθένειας. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιλέχθηκε η ποικιλία Dordogne που είναι πολύ ευπαθής στην ασθένεια και η ποικιλία Concerto που είναι μερικώς ανθεκτική. Οι σπόροι φυτεύτηκαν σε φυτοδοχεία 5 λίτρων σε βάθος περίπου ενός εκατοστού και τοποθετήθηκαν σε θερμοκήπιο. Για κάθε ποικιλία φυτεύτηκαν 10 σπόροι ανά φυτοδοχείο όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.3 (Α και Β), με 3 φυτοδοχεία ανά επέμβαση. Μετά από 30 ημέρες τα φυτά αραιώθηκαν σε 7 για κάθε γλάστρα. Οι συνθήκες του θερμοκηπίου διατηρούνταν σταθερές με τη βοήθεια δύο κλιματιστικών με μέση θερμοκρασία ημέρας 20 - 25 °C και νύχτας 18 - 21 °C και φωτοπερίοδο 16 ώρες ημέρα και 8 νύχτα. Από τη στιγμή της φύτευσης μέχρι και 48 ώρες πριν τον ψεκασμό με τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα το πότισμα γινόταν με στάγδην άρδευση με νερό βρύσης για 5 λεπτά κάθε 3 ημέρες, ενώ δεν εφαρμόστηκε κάποια λίπανση.



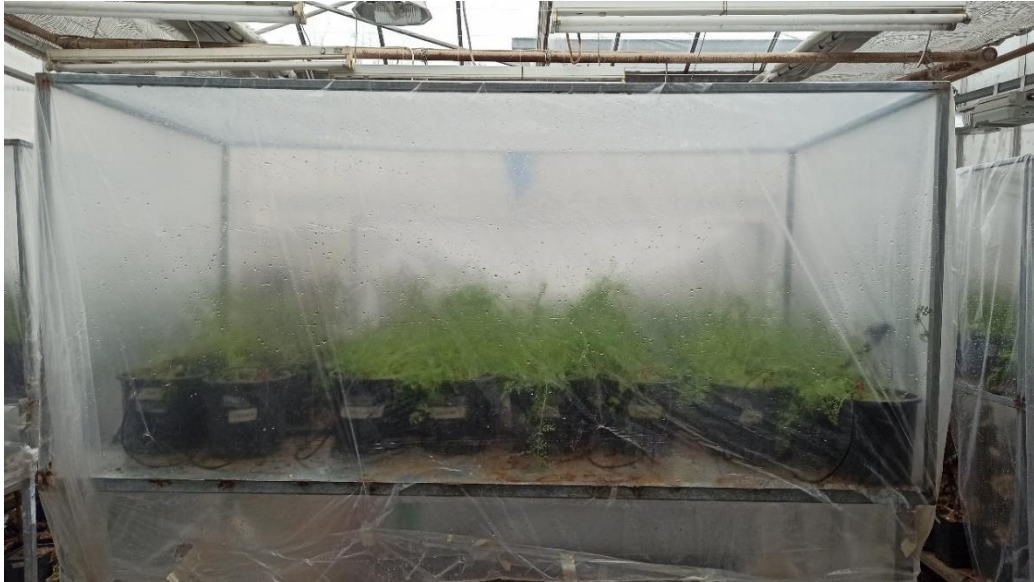
Εικόνα 2.3. (Α): Απεικόνιση του μοντέλου φύτευσης σε γλάστρα. Οι λευκοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις φύτευσης των 10 σπόρων. (Β): Φύτευση στο θερμοκήπιο της ποικιλίας Concerto

2.4.1. Εφαρμογή Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων

Εφαρμογή των βιολογικών και συνθετικών ΦΠΠ

Τα φυτά καρότου ψεκάστηκαν στο στάδιο των 6-8 φύλλων, χρησιμοποιώντας ψεκαστήρα προπιέσεως χειρός. Στο **πρώτο πείραμα** θερμοκηπίου, εφαρμόστηκε ένας ψεκασμός σε όλες τις εφαρμογές καθ 'όλη τη διάρκεια του πειραματισμού, ενώ στο **δεύτερο πείραμα** έγιναν τρεις ψεκασμοί για κάθε ΦΠΠ. Ισχύει και για τα δύο πειράματα ότι μία εφαρμογή αντιστοιχεί σε ένα ΦΠΠ ή ένα μάρτυρας. Για κάθε ΦΠΠ, χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη πιστοποιημένη δόση για κάθε εφαρμογή. Τα φυτά ψεκάστηκαν μέχρι απορροής, με περίπου 25 ml να αναλογούν σε κάθε επανάληψη της εφαρμογής (γλάστρα). Ο κατάλογος των βιολογικών ΦΠΠ αλλά και των συνθετικών μυκητοκτόνων α) Bion MX® (συνδυασμός του διασυστηματικού συνθετικού μυκητοκτόνου metalaxyl και του acibenzolar-S-methyl-, βιοδιεγερτικού του Bion®) και β) Signum® (boscalid + pyraclostrobin), το οποίο και χρησιμοποιήθηκε ως εφαρμογή αναφοράς, αναγράφονται στον Πίνακα 2.2 μαζί με την εφαρμοζόμενη δόση για κάθε

προϊόν. Στον Πίνακα 2.3 δίνονται οι αντίστοιχες πληροφορίες για τα χημικά ΦΠΠ, ενώ για το θετικό και αρνητικό μάρτυρα χρησιμοποιήθηκε νερό. Πριν την εφαρμογή των ΦΠΠ τα φυτά απομονώθηκαν με τη χρήση πλαστικού φιλμ (Εικόνα 2.4). Η προετοιμασία εναιωρημάτων ή διαλυμάτων βιολογικών ΦΠΠ πραγματοποιήθηκε σε απαγωγό και χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός ασφαλείας κατά τον ψεκασμό στο θερμοκηπίου (μάσκα φίλτρου + διπλά γάντια νιτρίλιου + μίας χρήσης φόρμες).



Εικόνα 2.4. Κάλυψη φυτών με πλαστικό φιλμ για τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας κατά τη μόλυνση

Περιγραφή των βιολογικών ΦΠΠ και βιοδιεγερτών που χρησιμοποιήθηκαν:

Serenade Aso®

Το αναφερθέν σκεύασμα είναι ευρέως φάσματος ΦΠΠ που προστατεύει το φυτό από ασθένειες εμποδίζοντας την προσκόλληση και τη διείσδυση παθογόνων στο φύλλωμα, όπου έχει εφαρμοστεί. Ο δραστικός παράγοντάς που περιέχει είναι το *Bacillus amyloliquefaciens* QST 713 (πρώην στέλεχος *B. subtilis* QST 713), ο οποίος δρα ανταγωνιστικά με τα παθογόνα, εμποδίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ανάπτυξη τους. Επιπλέον, αυτό το συγκεκριμένο στέλεχος παράγει κυρίως λιποπεπτίδια που δρουν συνεργικά μεταξύ τους, διαπερνούν τις κυτταρικές μεμβράνες παθογόνων και καταστρέφουν τους μικροβιακούς σωλήνες και το μυκήλιο. Με αυτόν τον τρόπο, σταματούν την εξάπλωση της νόσου. Επιπλέον, προκαλεί τη διασυστηματική αντοχή των φυτών (αυξημένη δραστηριότητα υπεροξειδάσης) έναντι μυκητιασικών και βακτηριακών λοιμώξεων. Έχει ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της καλλιέργειας σε ανοιχτό χωράφι και υπό συνθήκες

θερμοκηπίου. Το σκεύασμα μπορεί να εφαρμοστεί ως αυτόνομο προϊόν, αλλά για βέλτιστη διαχείριση αποτελεσματικότητας και χρησιμοποιείται καλύτερα σε προγράμματα IPM για την υποστήριξη συμβατικών μυκητοκτόνων.

Sonata®

Προσφέρει μυκητοκτόνο προστασία σε καλλιέργειες φρούτων όπως ρόδι, σταφύλι και τομάτα, καθώς και καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, η σόγια και το σιτάρι έναντι των περονόσπορων και των σκωριάσεων. Ο δραστικός παράγοντάς του, *Bacillus pumilus* QST 2808, παράγει μια αντιμυκητιακή ένωση αμινο-σακχάρου που αναστέλλει τον μεταβολισμό των κυττάρων. Δημιουργεί επίσης μια ζώνη αναστολής στις επιφάνειες των φυτών, αποτρέποντας την εμφάνιση παθογόνων στο φυτό. Το εν λόγω προϊόν μπορεί εύκολα να αναμειχθεί με άλλα προϊόντα στο ψεκαστικό δοχείο. Συμπληρώνει συμβατικά προγράμματα αντιμετώπισης ασθενειών, όπως προγράμματα διαχείρισης ανθεκτικότητας.

Trianum-P®

Το Trianum-P είναι ένα βιολογικό μυκητοκτόνο (*Trichoderma harzianum* στέλεχος T22) και χρησιμοποιείται για τη μείωση της μετάδοσης στο έδαφος παθογόνων όπως *Pythium spp.*, *Rhizoctonia spp.*, *Fusarium spp.* και *Sclerotinia spp.* Επιπλέον, περιέχει ιδιότητες που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών, ειδικά όταν πρόκειται για την ανάπτυξη ριζών και εναέριων μερών του φυτού. Αυξάνει την ανθεκτικότητα των φυτών από το στρες που προκαλείται από ασθένειες, μη ικανοποιητική θρέψη και άρδευση ή δυσχερείς κλιματολογικές συνθήκες. Λειτουργεί επίσης βάσει των ακόλουθων μηχανισμών: ανταγωνισμός για χώρο, ανταγωνισμός για θρεπτικά συστατικά, παρασιτισμός παθογόνων, επαγωγή ISR και διευκόλυνση της απορρόφησης σταθερών και μη σταθερών θρεπτικών συστατικών.

Mevalone®

Το Mevalone® είναι ένα μυκητοκτόνο επαφής με δραστικές ουσίες επίσης ευγενόλη, γερανιόλη, θυμόλη. Έχει προληπτική και θεραπευτική δράση για την αντιμετώπιση του ωιδίου σε αμπέλι, ακτινίδιο, ρόδι, μελιτζάνα και πράσινο κρεμμύδι. Οι δραστικές του ουσίες ανήκουν στην ομάδα των τερπενίων, που είναι οργανικές ενώσεις που προέρχονται από τη σύντηξη μονάδων ισοπρενίου (πολυμερή ισοπρενίου) και εμφανίζουν έντονη μυκητοκτόνο δράση. Αυτά τα δραστικά συστατικά επηρεάζουν τη βλάστηση των σπορίων των μυκήτων, τη διείσδυση των μυκηλιακών βλαστικών σωλήνων στα φυτικά κύτταρα και την ανάπτυξη των υφών. Έχουν άμεση δράση επίσης κυτταρικές μεμβράνες του μύκητα, επίσης μεμβράνες των οργανιδίων του κυττάρου καθώς και στα κυτταρικά τοιχώματα. Ο κύριος τρόπος δράσης σχετίζεται με την καταστροφή των κυτταρικών μεμβρανών, ως αποτέλεσμα επίσης ικανότητας των δραστικών συστατικών να διαλύουν τα λιπίδια, γεγονός που οδηγεί στη διαρροή κυτταρικών ουσιών και τελικά στον κυτταρικό θάνατο. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα τερπένια συσσωρεύονται στην κυτταρική μεμβράνη προκαλώντας απώλεια συνοχής μεμβράνης, με μεταβολές στη σύνθεση λιπαρών οξέων και φωσφολιπιδίων. Λόγω αυτών των επιδράσεων επίσης κυτταρικές μεμβράνες, πιστεύεται ότι επηρεάζονται διεργασίες που περιλαμβάνουν σχηματισμό ATP και ενεργή μεταφορά μορίων κατά μήκος των μεμβρανών, οδηγώντας σε μεταβολισμό κυτταρικής ενέργειας. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί διαταραχή επίσης μιτοχονδριακής δομής και οι επιδράσεις επίσης μιτοχονδριακές μεμβράνες έχει αποδειχθεί ότι προκαλούν αλλαγές στο pH και επίσης βαθμίδες ηλεκτρικού δυναμικού. Έχει, επίσης, παρατηρηθεί ότι τα τερπένια προκαλούν αλλαγές στην υφή του κυτταρικού τοιχώματος μέσω επιδράσεων στη δραστηριότητα των ενζύμων που είναι υπεύθυνα για τη σύνθεση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Τέλος, υπάρχουν ενδείξεις ότι επηρεάζεται επίσης το γενετικό υλικό (DNA).

Romeo®

Το σκεύασμα αυτό έχει ως δραστικά παράγοντα το μύκητα *Saccharomyces cerevisiae* LAS117. Πρόκειται για επαγωγέα της διασυστηματικής αντοχής των φυτών. Διεγείρει σημαντικά την παραγωγή του H₂O₂ (οξειδωτικός μεταβολισμός) και των φαινολικών ενώσεων (stilbens). Επίσης, μειώνει την μυκηλιακή ανάπτυξη και τη σποριοποίηση των μυκήτων και έχει ένα ευρύ φάσμα δράσης κατά των μυκητολογικών

ασθενειών όπως τον περονόσπορο, το ωίδιο, το βοτρύτη, τη φυτόφθορα στα αγγούρια, η ντομάτα, το μαρούλι και άλλες καλλιέργειες.

Vacciplant®

Το Vacciplant® (δ.ο.: laminarin) είναι ένας διεγέρτης άμυνας που χρησιμοποιεί δραστικές βιολογικές ενώσεις για να επάγει τους μηχανισμούς φυσικής άμυνας των καλλιεργειών, ώστε να ενισχύσει την αντοχή στις ασθένειες αλλά και την απόδοση. Διεγείρει μηχανισμούς δράσης τόσο της SAR (συστηματική επίκτητη ανθεκτικότητα) όσο και της ISR (επαγόμενη συστηματική ανθεκτικότητα) προκειμένου να ενεργοποιήσει τα μονοπάτια σαλικυλικού και ιασμονικού οξέος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ περιτροπής ως μέρος ενός προγράμματος διαχείρισης ανθεκτικότητας. Λειτουργεί με την ενίσχυση της άμυνας του φυτού στο βακτηριακό κάψιμο, το ωίδιο, το βοτρύτη, το φουζικλάδιο, τον περονόσπορο και το βακτηριακό έλκος του ακτινιδίου.

Fytosave®

Το Fytosave® είναι διεγέρτης φυσικών μηχανισμών άμυνας φυτών με έναν νέο τρόπο δράσης που αντιμετωπίζει βασικές ασθένειες στο αμπέλι, τα Σολανώδη (Solanaceae) και τα Κολοκυνθοειδή (Cucurbits). Παρέχει καλή προστασία από το ωίδιο. Περιορίζει τον κίνδυνο αντοχής σε μυκητοκτόνα. Η δραστική ουσία του είναι κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και πρόκειται περί ενός συμπλέγματος ολιγοσακχαριτών φυσικής προέλευσης που λαμβάνεται από χιτίνη (χιτοολιγοσακχαρίτες ή "COS") και πηκτίνη (ολιγογαλακτουρονίδια ή "OGAs"), τα οποία έτσι σχηματίζουν σύμπλοκο COS-OGA. Όντας 100% φυσικό δεν έχει ταξινομηθεί η (οικο)τοξικότητα του καθώς και τα ανώτατα επιτρεπτά όρια υπολειμμάτων του (MRL, PHI ή καθυστέρηση επανεισόδου). Καθιστάται επομένως κατάλληλο για ολοκληρωμένη διαχείριση επιβλαβών οργανισμών (IPM) (van Aubel *et al.*, 2014).

LBG-01F34®

Το LBG-01F34® είναι ένα διασυστηματικό ΦΠΠ με δραστική ουσία το φωσφονικό κάλιο. Αναστέλλει τη διαδικασία σποριοποίησης του *Plasmopara viticola* παρεμβαίνοντας στη βιοσύνθεση των κυτταρικών τοιχωμάτων και διεγείρει τους φυσικούς μηχανισμούς άμυνας των φυτών. Προάγει τη σύνθεση και συσσώρευση των φυτοαλεξινών στα φυτά, οι οποίες επάγουν τους φυσικούς μηχανισμούς άμυνας των φυτών (SAR). Προστατεύει αποτελεσματικά τα φύλλα αμπέλου και τους βότρες από το *P. viticola*, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποτρέψει την ανάπτυξη ανθεκτικότητας στο ωίδιο.

Kendal®

Το Kendal® είναι ένα διαφυλλικό συμπλήρωμα θρεπτικών συστατικών (με υδατοδιαλυτό κάλιο και άζωτο και άζωτο ουρίας) που βελτιστοποιεί τη φυσική άμυνα των φυτών με στοχευμένη θρέψη. Βελτιώνει την ικανότητα των φυτών να μεγιστοποιούν τη χρήση θρεπτικών ουσιών, αυξάνει το μεταβολισμό τους και την ανάπτυξη των ριζών. Ταυτόχρονα βοηθά στην ομοιομορφία της ανάπτυξης, την ποιότητα και το χρώμα των φυτών και ενισχύει το φυτό συνολικά, διεγείροντας τους μηχανισμούς άμυνας τους. Σε γενικές γραμμές, προστατεύει το φυτό από το στρες και βελτιώνει τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες των κυττάρων του φυτού. Έχει αποδειχθεί ότι αντιμετωπίζει το περονόσπορο των κολοκυθίων και του μαρουλιού.

Helioterpen® Soufre

Το Helioterpen® Soufre είναι υγρό θείο με τερπένια πεύκου ως βοηθητικές ουσίες. Είναι μυκητοκτόνο επαφής και ακαρεοκτόνο, θεωρείται προϊόν βιολογικής αντιμετώπισης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιολογική γεωργία. Προστατεύει τις καλλιέργειες αγρού από την σεπτορίωση του σίτου και του ωιδίου σε δημητριακά, τεύτλα, αμπέλι, καθώς και φρούτα, λαχανικά και καλλωπιστικά φυτά. Στην στοιχειακή (πρωταρχική) του μορφή, το θείο διαπερνά τη μεμβράνη των κυττάρων του μύκητα, φτάνοντας στο πρωτόπλασμα και μεταβάλλοντας τις ζωτικές διαδικασίες του κυττάρου. Η χρήση αυτού του υγρού θείου, μέσω της δράσης πολλαπλών θέσεων, αντιμετωπίζει τα

τρέχοντα ζητήματα διαχείρισης κινδύνων ανάπτυξης ανθεκτικότητας σε δραστικές ουσίες.

Bion®

Είναι μια εκλεκτική, μη παρασιτοκτόνος συστηματική συνθετική ένωση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μυκητιακών, βακτηριακών και ιογενών φυτικών ασθενειών. Έχει ως δραστικές ουσίες το acibenzolar-S-methyl (BTH). Είναι διασυστηματικό μυκητοκτόνο κατά του περονόσπορου στον καπνό. Η δραστική του, acibenzolar-S-methyl (ομάδα βενζοθειαδιαζολίου), είναι διεγέρτης των μηχανισμών άμυνας των φυτών και προσλαμβάνεται γρήγορα από όλα τα μέρη του φυτού αλλά και από τις ρίζες και ο μεταβολίτης του μετακινείται ακροπέταλα και βασιπέταλα σε όλα τα φυτικά μέρη. Πρόκειται για αναπτυγμένο ανάλογο του σαλικυλικού οξέος που προκαλεί συστηματική αντοχή στα φυτά έναντι ευρέως φάσματος παθογόνων (Friedrich *et al.*, 1996; Lawton *et al.*, 1996).

Πίνακας 2.2. Λίστα και δοσολογίες των βιολογικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων (ΦΠΠ) και βιοδιεγερτών που εφαρμόστηκαν στο θερμοκήπιο

ΦΠΠ	Δραστική Ουσία	Δόσολογία	Εταιρεία/ Προμηθευτής
Seranade Aso [®]	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> QST 713.	10 ml/L	BAYER HELLAS
Sonata [®]	<i>Bacillus pumilus</i> QST 2808	10 ml/L	BAYER HELLAS
Trianium-P [®]	<i>Trichoderma harzianum</i> strain T22	3 gr/10L	KOPPERT B.V. HELLAS
Mevalone [®]	Αιθέρια έλαια: ευγενιόλη, γερανιόλη, θυμόλη	4 ml/L	EDEN RESEARCH PLC
Romeo [®]	cerevisane [®] - <i>Saccharomyces cerevisiae</i> LAS 117	2,5 gr/L	BASF
Vacciplant [®]	Laminarin από καφέ άλγη	2 ml/L	LABORATOIRES GOEMAR SAS
FytoSave [®]	chito-oligosaccharides	3,3 ml/L	ELTON
LBG 01F34 [®]	Potassium phosphonates	4 ml/L	LUXEMBOURG INDUSTRIES Ltd
Kendal [®]	Soluble Potash, Urea Nitrogen, Other Water Soluble Nitrogen	3 ml/L	VALAGRO
Helioterpen Soufre [®]	Θείο + co-Formulants βασισμένα σε παράγωγα τερπενίων από πεύκο	3 ml/L	ACTION PIN
Bion [®]	Acibenzolar-S-methyl	0,3 gr/L	SYNGENTA

Περιγραφή των Συνθετικών ΦΠΠ που χρησιμοποιήθηκαν**Dagonis[®]**

Το Dagonis είναι ένα μυκητοκτόνο με διελασματική κίνηση και προληπτική και θεραπευτική δράση μεγάλης διάρκειας, η οποία προκύπτει από τον συνδυασμό των δύο δραστικών ουσιών, του fluxapyroxad και του difenoconazole. Το fluxapyroxad είναι ένα μυκητοκτόνο με διελασματική κίνηση και προληπτική και θεραπευτική δράση ευρέως φάσματος και μεγάλης διάρκειας που ανήκει στη χημική ομάδα των παρεμποδιστών της αφυδρογονάσης του ηλεκτρικού οξέος (SDHI), κωδικός FRAC C2. Ο τρόπος δράσης

του fluxapyrooxad σε μοριακό επίπεδο είναι η παρεμπόδιση του ενζύμου αφυδρογονάση του ηλεκτρικού οξέος (SDH), γνωστή και ως σύμπλεγμα II στην μιτοχονδριακή αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων. Το difenoconazole είναι ένα μυκητοκτόνο με διελασματική κίνηση και προληπτική και θεραπευτική δράση ευρέως φάσματος και μεγάλης διάρκειας που ανήκει στη χημική ομάδα των τριαζολών, κωδικός FRAC G1. Ο κύριος βιοχημικός τρόπος δράσης του είναι η παρεμπόδιση της διαδικασίας βιοσύνθεσης της στερόλης των μυκήτων, οπότε σταματά η ανάπτυξη των μυκήτων λόγω παρεμπόδισης της βιοσύνθεσης των στερολών στις κυτταρικές τους μεμβράνες για να προστατέψει τις καλλιέργειες από ωίδιο, αλτερνάρια, *Mycosphaerella* και άλλες δευτερογενείς ασθένειες. Στην Ελλάδα είναι εγκεκριμένο για την καλλιέργεια του καρότου και μάλιστα για την αντιμετώπιση του ωιδίου, και των *A. dauci* και *A. radicina*.

Signum®

Μυκητοκτόνο με προληπτική και κατά περίπτωση θεραπευτική δράση που παρεμποδίζει την βλάστηση των σπορίων, την ανάπτυξη του μυκηλίου και τη σποριογένεση. Το pyraclostrobin παρεμποδίζει την κυτταρική αναπνοή στη θέση Qo του συμπλόκου III της αναπνευστικής αλυσίδας και εμφανίζει αποπλαστική και διελασματική κίνηση, ενώ το boscalid παρεμποδίζει την κυτταρική αναπνοή αλλά σε διαφορετική θέση δράσης (σύμπλοκο II) και εμφανίζει διασυστηματική κίνηση. Στη χώρα μας είναι εγκεκριμένο για την αντιμετώπιση του ωιδίου σε αγγούρι, κολοκύθι, πεπόνι, καρπούζι, τομάτα, μελιτζάνα, κολοκύθα και την αλτερνάρια και το ωίδιο στο καρότο.

Ortiva®

Το ORTIVA 25 SC είναι διασυστηματικό μυκητοκτόνο με προστατευτική και θεραπευτική δράση κατά διαφόρων μυκητολογικών ασθενειών. Το azoxystrobin είναι μυκητοκτόνο, που ανήκει στην ομάδα των στρομπιλουρινών, είναι προστατευτικό με μερική διελασματική δράση και παρεμποδίζει τη βλάστηση των σπορίων, την ανάπτυξη

του μυκηλίου και την παραγωγή των σπορίων, ελέγχοντας ένα μεγάλο εύρος μυκήτων. Στο βιοχημικό επίπεδο η δράση του είναι στο σύμπλοκο III της αναπνευστικής αλυσίδας.

Score®

Το Score® είναι διασυστηματικό μυκητοκτόνο με δραστική ουσία του difenoconazole, που ανήκει στη χημική ομάδα των τριαζολών. Πρόκειται για 2^{ης} γενιάς τριαζόλη με πολύ υψηλό δείκτη αποτελεσματικότητας που δρα παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη του μυκηλίου και μειώνει τη ζωτικότητα των κονιδίων. Εισέρχεται γρήγορα στους ιστούς, έχοντας διελασματική και τοπικά διασυστηματική δράση. Έχει προστατευτική και θεραπευτική δράση ενάντια στα παθογόνα που βρίσκονται πάνω ή κοντά στη φυλλική επιφάνεια. Μπορεί να δράσει και σε χαμηλές θερμοκρασίες (5°C).

Reflect®

Το Reflect® είναι μυκητοκτόνο ωιδιοκτόνο με προστατευτική και θεραπευτική δράση. Περιέχει το δραστικό συστατικό isopyrazam (παρεμποδιστής αφυδρογονάσης του ηλεκτρικού οξέος (SDHI) έχει προστατευτική δράση και δεσμεύεται στην κηρώδη στοιβάδα. Στη χώρα μας είναι εγκεκριμένο για την αντιμετώπιση του ωιδίου σε αγγούρι, κολοκύθι, πεπόνι, καρπούζι, τομάτα, μελιτζάνα, κολοκύθα και την αλτερνάρια και το ωίδιο στο καρότο.

Luna Sensation®

Είναι με μείγμα της νέας δραστικής ουσίας fluopyram και του trifloxystrobin. Πρόκειται για διασυστηματικό μυκητοκτόνο με προστατευτική και θεραπευτική δράση και εφαρμόζεται σε ευρύ φάσμα καλλιεργειών. Το fluopyram δρα στην επιφάνεια των φυτικών ιστών και ταυτόχρονα παρουσιάζει διεσδυτική δράση, διελασματική κίνηση καθώς και ακροπέταλη κίνηση μέσω των αγγείων του ξύλου. Σε βιοχημικό επίπεδο παρεμποδίζει τη μιτοχονδριακή αναπνοή εμποδίζοντας τη μεταφορά των ηλεκτρονίων

στην αναπνευστική αλυσίδα του Succinate DeHydrogenase (σύμπλοκο II – παρεμποδιστής SDH). Το fluopyram δρα παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη της ασθένειας σε πολλά στάδια από τη βλάστηση και την ανάπτυξη των σπορίων, την ανάπτυξη του μυκηλίου μέχρι και τη σποριογένεση. Το trifloxystrobin είναι συνθετικό παράγωγο των φυσικών στρομπιλουρινών με διελασματική δράση. Εμφανίζει κυρίως προληπτική αλλά και θεραπευτική δράση. Σε βιοχημικό επίπεδο δρα παρεμποδίζοντας τη μιτοχονδριακή αναπνοή των μυκήτων στη θέση Qo του συμπλόκου III του κυτοχρώματος bc 1 (Ομάδα Qols, υποομάδα oximinoacetates).

Bion MX®

Το δραστικό συστατικό acibenzolar-S-methyl (ομάδα βενζοθειαδιαζολικά), είναι διασυστηματικός ενεργοποιητής των μηχανισμών άμυνας του φυτού (SAR), προσλαμβάνεται γρήγορα από όλα τα μέρη του φυτού αλλά και από τις ρίζες και με το μεταβολίτη του μετακινείται άκρο- και βασιπεταλικά σε όλα τα φυτικά μέρη. Το metalaxyl-M (ομάδα φαινυλαμιδίων) απορροφάται ταχέως από το φύλλωμα και κινείται μέσα στο φυτό με ανοδική ακροπεταλική κίνηση.

Πίνακας 2.3. Λίστα και δοσολογίες των χημικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων (ΦΠΠ) που εφαρμόστηκαν στο θερμοκήπιο

ΦΠΠ	Δραστική Ουσία	Δόσολογία	Εταιρεία/ Προμηθευτής
Dagonis®	fluxapyroxad + difenoconazole	1 ml/L	BASF HELLAS
Signum®	boscalid + pyraclostrobin	0,75 g/L	BASF HELLAS
Ortiva®	Azoxystrobin	1 ml/L	SYNGENTA HELLAS
Score®	difenoconazole	0,5 ml/L	SYNGENTA HELLAS
Reflect®	Isopyrazam	1 ml/L	SYNGENTA HELLAS
Luna Sensation®	fluopyram + trifloxystrobin	1 ml/L	BAYER HELLAS
Bion MX®	Acibenzolar-S-methyl και Metalaxyl M	0,3 gr/L	SYNGENTA HELLAS

2.4.2. Διαδικασία παρασκευής του μολύσματος

Η μόλυνση έλαβε χώρα 48 ώρες μετά την εφαρμογή των ΦΠΠ. Ένα εικοσιτετράωρο πριν τη μόλυνση τα φυτά καλύφθηκαν με πλαστικό φιλμ. Για την εξασφάλιση ιδανικών συνθηκών για την βλάστηση των κονιδίων της αλτερνάριας το εσωτερικό του πλαστικού κάθε μικροθάλαμου που δημιουργήθηκε ψεκάστηκε με νερό με σκοπό την αύξηση του ποσοστού υγρασίας. Ταυτόχρονα, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου ρυθμίστηκε στους 23°C (+/-2).

Το μόλυσμα του *A. dauci* προετοιμάστηκε όπως περιγράφεται από τους Pawelec *et al.*, το 2006. Πιο αναλυτικά, ο μύκητας ενεργοποιήθηκε σε τρυβλία με θρεπτικό υπόστρωμα PDA από stock που υπάρχει στους -80°C του εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Επτά ημέρες αργότερα, από τα τρυβλία αυτά εμβολιάστηκαν τρυβλία Petri διαμέτρου 9 εκατοστών με θρεπτικό υπόστρωμα V8 agar. Αυτά επώαστηκαν σε θερμοκρασία 20±2°C για 10-15 ημέρες. Για την προετοιμασία του εναιωρήματος των κονιδίων στις παραπάνω καλλιέργειες προστέθηκε αποστειρωμένο

νερό και με γυαλινο spreader αποσπάστηκαν τα κονίδια από τα τρυβλία. Το εναιώρημα κονιδίων του μύκητα αποτελούμενο από νερό και Tween 20 (0,05%) πέρασε από 2 στρώματα cheesecloth. Με τη χρήση αιματοκυτταρόμετρου υπολογίστηκε και προσαρμόστηκε η συγκέντρωση ώστε να είναι $4-5 \times 10^3$ κονίδια/mL.

2.4.3. Τεχνητή μόλυνσης φυταρίων καρότου

Η τεχνητή μόλυνση των φυτών καρότου με το μύκητα *A. dauci* έγινε με ψεκασμό των φύλλων. Τα φυτά μολύνθηκαν στο στάδιο των 6-8 φύλλων με τη χρήση ψεκαστήρα μηχανικής πίεσης. Οι αρνητικοί μάρτυρες ψεκάστηκαν με νερό (Εικόνα 2.5). Τα πλαστικά κάλυψης διατηρήθηκαν έως και 2 μέρες μετά τη μόλυνση.



Εικόνα 2.5. Τεχνητή μόλυνση φυτών καρότου με *Alternaria dauci*, με ψεκασμό φύλλων

2.4.4. Καταγραφή Συμπτωμάτων

Όσον αφορά το πρώτο πείραμα παθογένειας, τα συμπτώματα εμφανίστηκαν την 11^η ημέρα μετά τη μόλυνση και τότε ξεκίνησε η καταγραφή τους. Η διαδικασία διήρκεσε 35 ημέρες, και είχε συχνότητα 7 μέρες. Αντίστοιχα, στο δεύτερο πείραμα, τα συμπτώματα εμφανίστηκαν 28 ημέρες μετά τη μόλυνση και η καταγραφή τους έγινε σε

διάστημα 77 ημερών. Ο δείκτης ασθενείας αξιολογήθηκε, και στις δύο περιπτώσεις, χρησιμοποιώντας μια οπτική κλίμακα συμπτωμάτων που προκαλούνται από τον μύκητα *A. dauci* σε φύλλα καρότου όπως περιγράφεται στον Πίνακα 3 παρακάτω. Ο μέσος όρος και το τυπικό σφάλμα της του δείκτη σοβαρότητας της ασθένειας για όλες τις επαναλήψεις ανά ποικιλία υπολογίστηκαν ξεχωριστά για κάθε ημερομηνία καταγραφής συμπτωμάτων. Η αξιολόγηση της ασθένειας μέσα στο χρόνο σχεδιάστηκε για τη δημιουργία καμπύλης προόδου της ασθένειας και ακολούθως τον υπολογισμό του εμβαδού ασθενείας (Area Under The Disease Progress Curve - AUDPC) με τη μέθοδο τραπεζοειδούς ολοκλήρωσης (Campbell and Madden, 1990).

Πίνακας 2.3. Οπτική κλίμακα συμπτωμάτων που προκαλούνται από τον μύκητα *Alternaria dauci* σε φύλλα καρότου

Τιμή	Συμπτώματα
0	Ασυμπτωματικά φυτά
1	Μερικές αρκετά σπάνιες κηλίδες
2	Πολύ ασθενή συμπτώματα στα γηρεότερα φύλλα
3	Ασθενή συμπτώματα στα γηραιότερα φύλλα
4	Μέτρια συμπτώματα στα γηραιότερα φύλλα και ασθενή συμπτώματα στα νεότερα
5	Σοβαρά συμπτώματα στα γηραιότερα φύλλα και ασθενή συμπτώματα στα νεότερα
6	Σοβαρά συμπτώματα στα γηραιότερα φύλλα και μέτρια συμπτώματα στα νεότερα
7	Πλήρης ξήρανση των γηραιότερων φύλλων και σοβαρά συμπτώματα στα νεαρότερα
8	Πλήρης ξήρανση των γηραιότερων φύλλων και πολύ σοβαρά συμπτώματα στα νεαρότερα
9	Πλήρης ξήρανση γηραιότερων και νεότερων φύλλων

Στο δεύτερο πείραμα παθογένειας, μετρήθηκε και το βάρος των καρότων για όλες τις εφαρμογές μετά το πέρας της πειραματικής διαδικασίας. Όλα τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας μελέτης αναλύθηκαν με το Statgraphics Plus. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορούσε τους μέσους όρους των τριών επαναλήψεων με 7 φυτά η κάθε μία για κάθε επέμβαση. Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για τον προσδιορισμό των επιδράσεων των επαναλήψεων, των εφαρμογών

και της αλληλεπίδρασής τους στη σοβαρότητα και της έντασης της ασθένειας πειράματα του θερμοκηπίου. Όταν επετεύχθη μια σημαντική δοκιμασία F (F-test) για τις εφαρμογές ($P \leq 0,05$), οι μέσοι όροι διαχωρίστηκαν με τη μέθοδο της πραγματικής σημαντικής διαφοράς Tukey (Tukey's honestly significant difference - HSD).

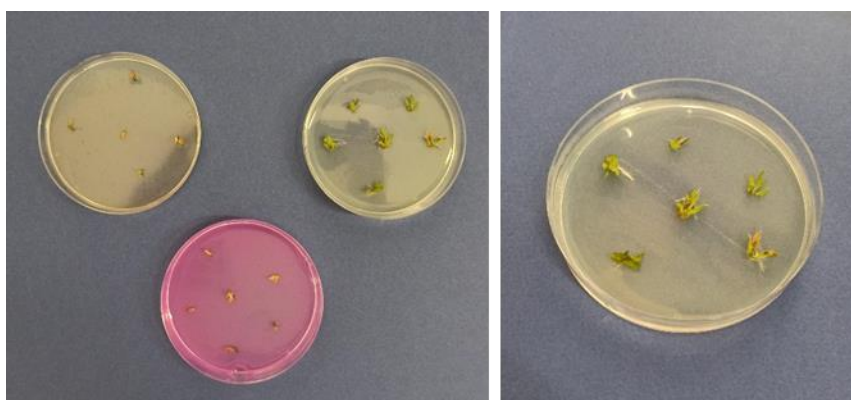
2.6. Διαδικασία απομόνωσης *Alternaria dauci* από τα προσβεβλημένα φυτά

Στο πέρας των πειραμάτων, έγινε δειγματοληπτική επιλογή 2 φύλλων ανά επέμβαση προσβεβλημένων φυτών τα οποία και έφεραν τη χαρακτηριστικά συμπτώματα της ασθένειας. Αρχικά τα ασθενή φύλλα πλύθηκαν σε τρεχούμενο νερό βρύσης. Η ακόλουθη διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε ασηπτικές συνθήκες του Laminar-air-flow Cabinet (Εικόνα 2.6). Τα φύλλα απολυμάνθηκαν επιφανειακά με βύθιση σε διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου 10% (NaClO) για 3 λεπτά, ξεπλύθηκαν με αποστειρωμένο νερό, έτσι ώστε να μην υπάρχει ίχνος υποχλωριώδους νατρίου και βυθίστηκαν ξανά σε διάλυμα αιθανόλης 70% για 1 λεπτό. Τέλος, ξεπλύθηκαν για άλλη μια φορά με αποστειρωμένο νερό για να αποφευχθούν τυχόν υπολείμματα των παραπάνω διαλυμάτων στον ιστό των φύλλων.

Τα τμήματα των φύλλων με κηλίδες των στέγνωσαν σε διηθητικό χαρτί και με αιχμηρό αποστειρωμένο νυστέρι κόπηκαν σε μικρά τμήματα των κηλίδων (5 mm), διατηρώντας το όριο των ασθενών με τους υγιείς ιστούς ανέπαφο. Πέντε έως έξι τέτοια τμήματα τοποθετήθηκαν σε τρυβλία Petri διαμέτρου 9 mm με υποστρώματα PDA (Potato Dextrose Agar), PDA με στρεπτομυκίνη και Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar (DRBC) (Εικόνα 2.7). Τα τρυβλία αυτά επωάστηκαν σε θερμοκρασία 20 ± 2 °C για 7 ημέρες και στη συνέχεια παρατηρήθηκαν μικροσκοπικά οι απομονώσεις.



Εικόνα 2.6. Α: Πλύσιμο των φύλλων καρότου σε τρεχούμενο νερό. Β: Απομόνωση του μύκητα *Alternaria dauci* από φύλλα συμπτωματικών φυτών καρότου



Εικόνα 2.7. Τμήματα ασθενών φύλλων καρότου σε θρεπτικά υλικά (PDA και DRBC) για την απομόνωση του μύκητα *Alternaria dauci*

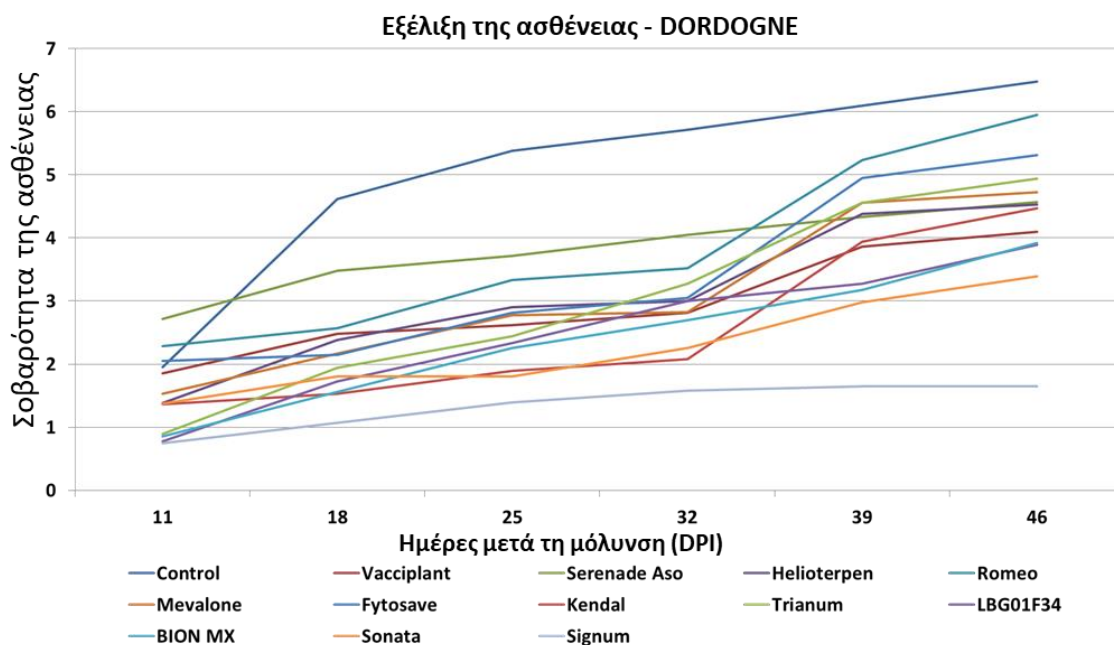
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Π1: Πρώτο πείραμα παθογένειας σε καρότα θερμοκηπίου

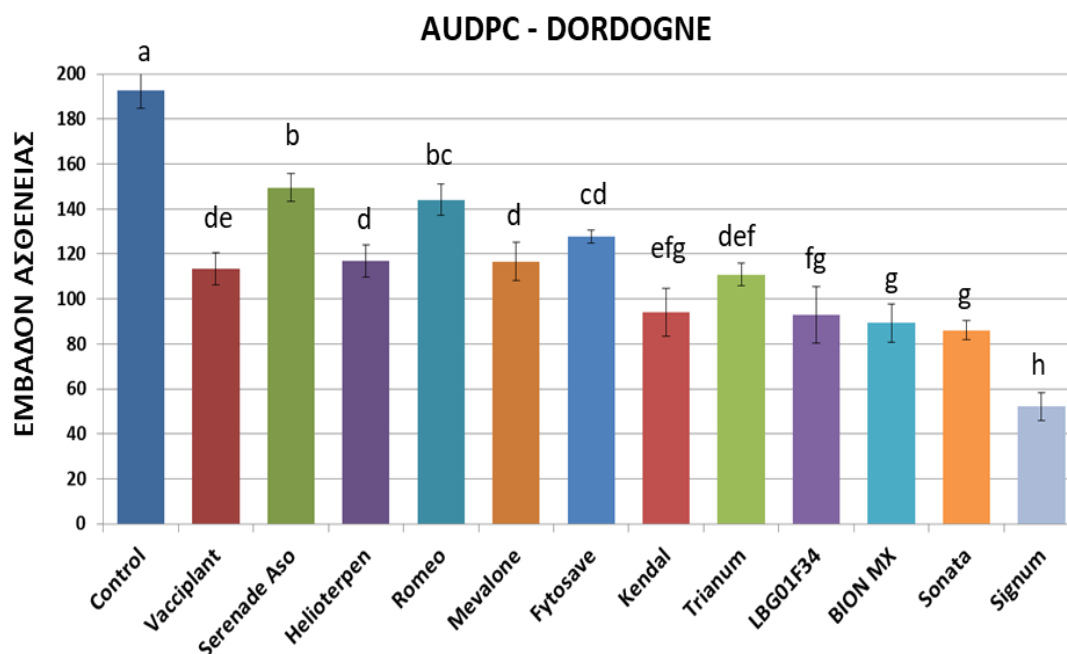
3.1.1. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ και βιοδιεγερτών στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ

Για την αντιμετώπιση του μύκητα *A. dauci* σε φυτά καρότου αξιολογήθηκαν εννέα εμπορικά βιολογικά ΦΠΠ (Vacciplant[®], Serenade Aso[®], Romeo[®], Mevalone[®], Fytosave[®], Kendal[®], Trianum[®], LBG01F34[®], Sonata[®]) και δύο σκευάσματα που αποτελούν συνδυασμό συνθετικών μυκητοκτόνων με βιοδιεγέρτες (Bion MX[®] και Helioterpen[®] Soufre). Όλα τα ΦΠΠ εφαρμόστηκαν μία φορά, 48 ώρες πριν την τεχνητή μόλυνση με κονίδια του μύκητα *A. dauci*. Για τον προσδιορισμό της σοβαρότητας της ασθένειας στα ασθενή φύλλα χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα από το 0 έως το 9, όπως περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Η καμπύλη εξέλιξης της ασθένειας καθώς και η AUDPC υπολογίστηκαν με βάση τη σοβαρότητα της ασθένειας.

Όλα τα βιολογικά ΦΠΠ που αξιολογήθηκαν αντιμετώπισαν επιτυχώς την αλτερναρίωση των φύλλων του καρότου και στις δύο ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν. Στην ποικιλία Dordogne τα πιο αποτελεσματικά στη μείωση των συμπτωμάτων της *A. dauci* ήταν τα Sonata[®], LBG01F34[®] και Kendal[®], ενώ ακολουθούν τα Trianum[®], Vacciplant[®], Mevalone[®], Helioterpen[®] Soufre, Fytosave[®], Romeo[®] και Serenade Aso[®]. Σύμφωνα με την καμπύλη εξέλιξης της ασθένειας και την AUDPC, το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με τον θετικό μάρτυρα ήταν περί το 55% για το Sonata[®], 52% για το LBG01F34[®], 51% για το Kendal[®], 43% για το Trianum[®], 42% για το Vacciplant[®], 40% για το Mevalone[®], 39% για το Helioterpen[®] Soufre, 34% για το Fytosave[®], 25% για το Romeo[®] και 23% για το Serenade Aso[®], ενώ το μυκητοκτόνο Signum[®] μείωσε την ασθένεια κατά 73% και το Bion MX[®] κατά 54% (Γραφήματα 3.1 και 3.2).

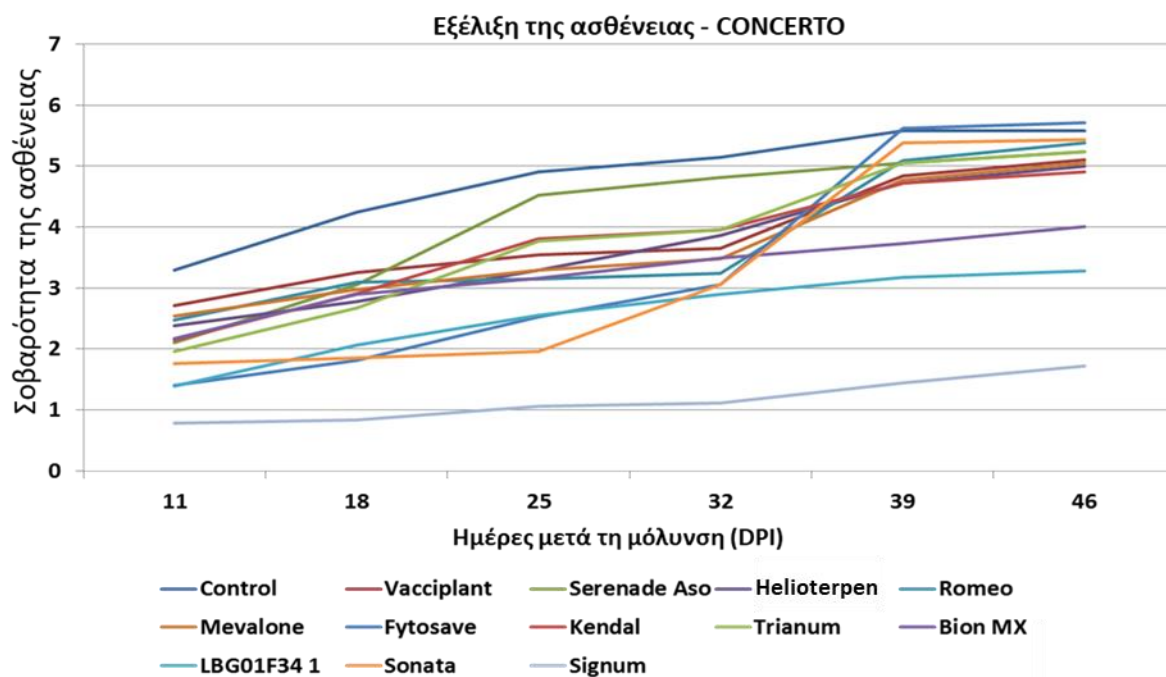


Γράφημα 3.1. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Dordogne, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (1^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).

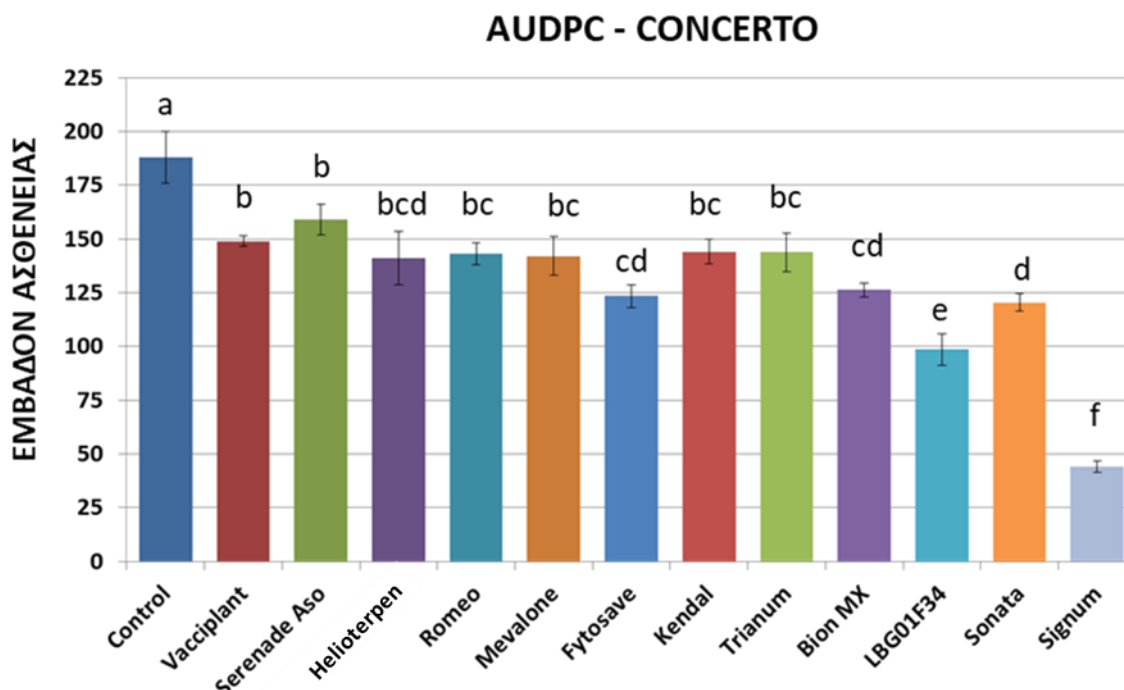


Γράφημα 3.2. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Dordogne, σε συνθήκες θερμοκηπίου (1^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

Στην ποικιλία Concerto τα πιο αποτελεσματικά ήταν τα LBG01F34[®], Sonata[®] και Fytosave[®], ενώ ακολουθούν τα Trianum[®], Romeo[®], Mevalone[®], Helioterpen[®] Soufre, Kendal[®], Vacciplant[®] και Serenade Aso[®]. Βάση της καμπύλης προόδου και της AUDPC το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με τον θετικό μάρτυρα ήταν περί το 48% για το LBG01F34[®], 36% για το Sonata[®], 34% για το Fytosave[®], 24% για το Trianum[®], 23% για το Kendal[®], 25% για το Helioterpen[®] Soufre, 24% για το Mevalone[®], 24% για το Romeo[®], 21% για το Vacciplant[®] and 15% για Serenade-Aso[®], όταν το μυκητοκτόνο Signum[®] μείωσε την ασθένεια κατά 77% και το Bion MX[®] κατά 33% (Γραφήματα 3.3 και 3.4).



Γράφημα 3.3. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Concerto, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (1^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).



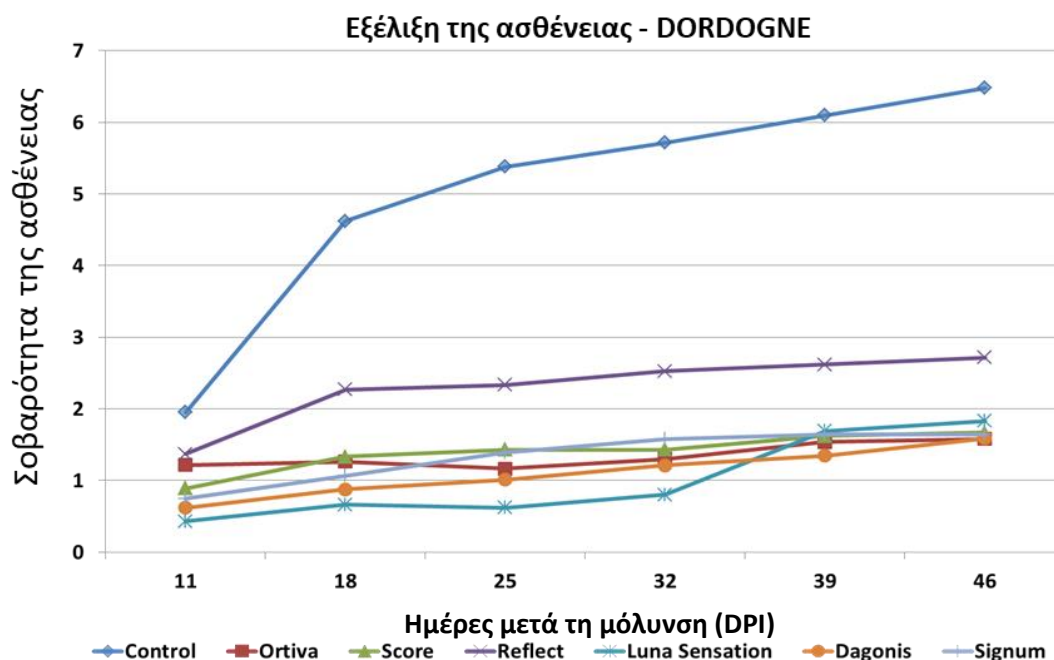
Γράφημα 3.4. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Concerto, σε συνθήκες θερμοκηπίου (1^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιδεικνύουν την κατασταλτική δράση όλων των προαναφερθέντων βιολογικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της αλτερναρίωσης των φύλλων για περίοδο 48 ημερών μετά την εφαρμογή τους σε καρότα υπό συνθήκες θερμοκηπίου. Τα Γραφήματα 3.1 και 3.3 δείχνουν ότι τα περισσότερα βιολογικών ΦΠΠ ήταν πολύ αποτελεσματικά έναντι του *A. dauci* με μία δόση απλής εφαρμογής τις πρώτες 32 ημέρες μετά τη μόλυνση. Ο μέσος δείκτης ασθένειας, 46 ημέρες μετά τη μόλυνση, ήταν 6,5 για τα φυτά του θετικού μάρτυρα, ενώ για την εφαρμογή του Sonata[®] ήταν 3,4 και του LBG01F34[®] 3,9. Στα προγράμματα επιλογής αναπαραγωγής καρότων για ανθεκτικότητα έναντι του *A. dauci*, μια ποικιλία με δείκτη ασθένειας 6,5 και υψηλότερη θεωρείται αρκετά ευαίσθητη στην αλτερναρίωση των φύλλων, ενώ μια ποικιλία με 3,4 θεωρείται εξαιρετικά ανθεκτική (Pawelec *et al.*, 2006).

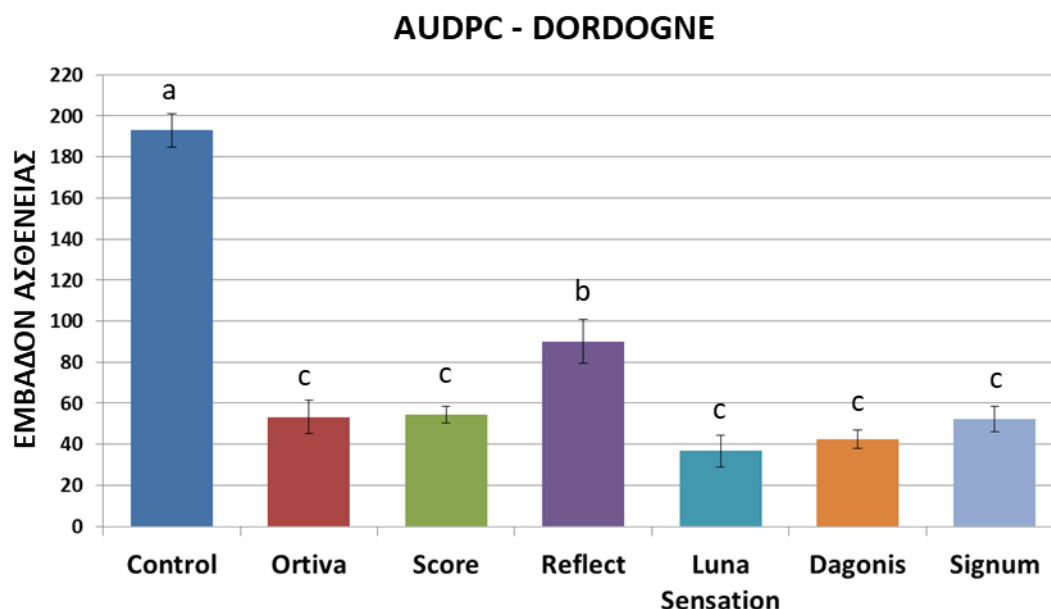
3.1.2. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ

Για την αντιμετώπιση του μύκητα *A. dauci* σε φυτά καρότου αξιολογήθηκαν έξι εμπορικά συνθετικά μυκητοκτόνα Dagonis[®], Signum[®], Ortiva[®], Score[®], Reflect[®], Luna Sensation[®]. Όλα εφαρμόστηκαν μία φορά 48 ώρες πριν την τεχνητή μόλυνση με κονίδια του μύκητα *A. dauci*. Για τον προσδιορισμό της σοβαρότητας της ασθένειας στα ασθενή φύλλα χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα από το 0 έως το 9, όπως περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Η καμπύλη εξέλιξης της ασθένειας καθώς και η AUDPC υπολογίστηκαν με βάση τη σοβαρότητα της ασθένειας.

Όλα τα ΦΠΠ που δοκιμάστηκαν ήταν ικανά να αντιμετωπίσουν επιτυχώς την αλτερναρίωση των φύλλων σε φυτά καρότου. Για την ποικιλία Dordogne, μεταξύ των εφαρμογών το Luna Sensation[®] έδειξε τη μεγαλύτερη αριθμητική μείωση στα συμπτώματα της *A. dauci*. Ακολουθούν τα Dagonis[®], Signum[®], Ortiva[®], Score[®] and Reflect[®] συγκριτικά με τα ασθενή φυτά. Βάσει της καμπύλης προόδου της ασθένειας και της AUDPC, το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με τον θετικό μάρτυρα ήταν περί το 81% για το Luna Sensation[®], 78% για το Dagonis[®], 73% για το Signum[®], 72% για το Ortiva[®], 72% για το Score[®] και 53% για το Reflect[®] (Γραφήματα 3.5 και 3.6).

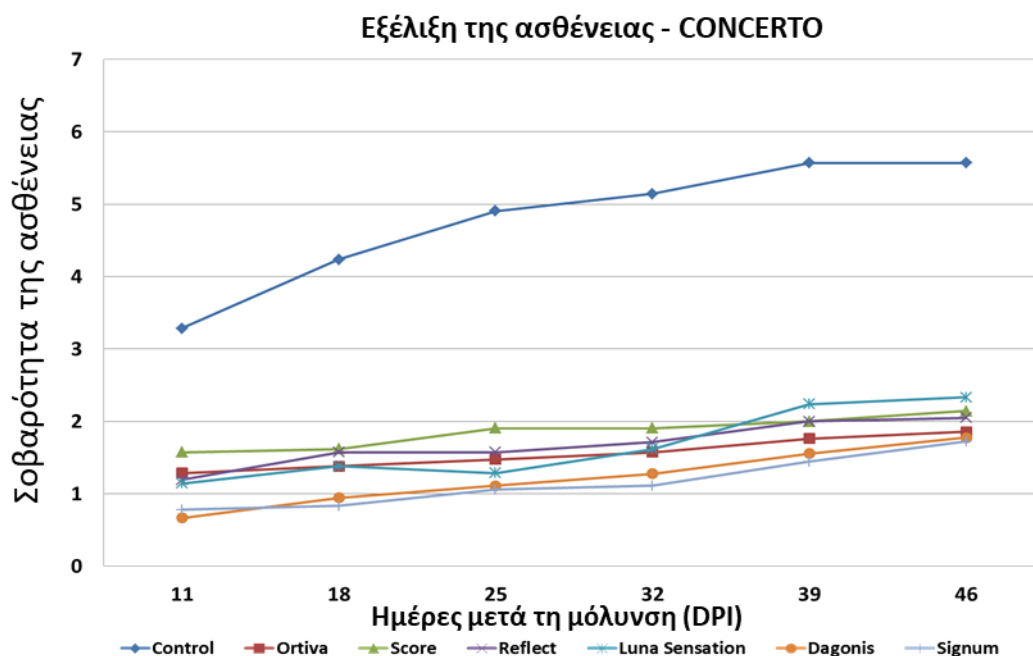


Γράφημα 3.5. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Dordogne, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (1^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).

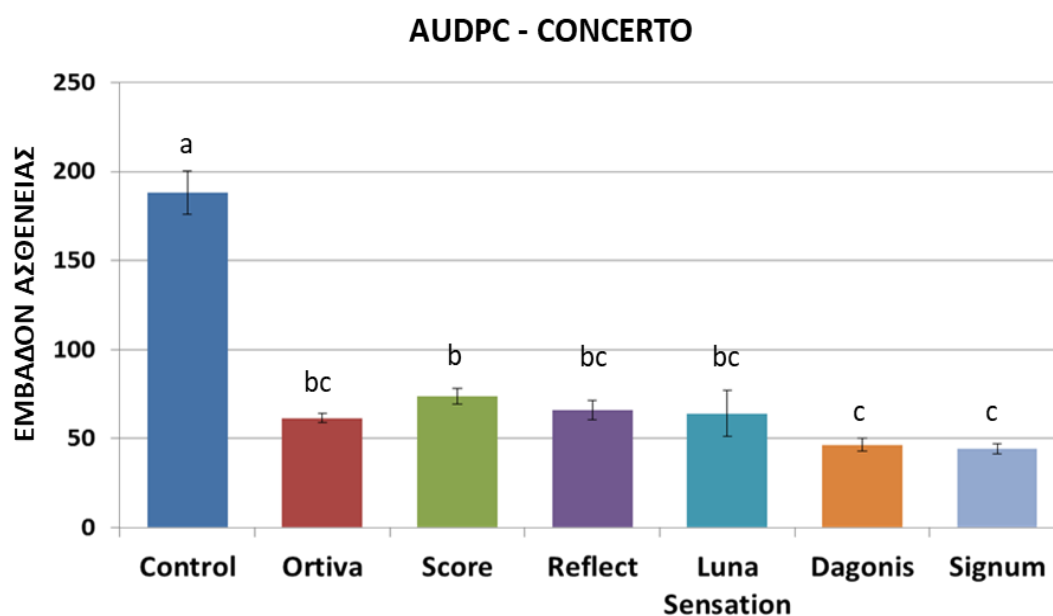


Γράφημα 3.6. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Dordogne, σε συνθήκες θερμοκηπίου (1^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

Για την ποικιλία Concerto, τα Signum[®] και Dagonis[®] έδειξαν τη μεγαλύτερη αριθμητική μείωση στα συμπτώματα που προκαλεί ο μύκητας *A. dauci*, ενώ ακολουθούν τα Ortiva[®], Luna Sensation[®], Reflect[®] και Score[®]. Βάσει της καμπύλης εξέλιξης της ασθένειας, το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με το θετικό μάρτυρα ήταν περίπου 77% για το Signum[®], 75% για το Dagonis[®], 67% για το Ortiva[®], 66% για το Luna Sensation[®], 6 5% για το Reflect[®] και 61% για το Score[®] (Γραφήματα 3.7 και 3.8).



Γράφημα 3.7. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Concerto, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (1^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).



Γράφημα 3.8. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Concerto, σε συνθήκες θερμοκηπίου (1^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιδεικνύουν την κατασταλτική δράση όλων των συνθετικών ΦΠΠ για την αντιμετώπιση του μύκητα *A. dauci* για περίοδο 48 ημερών μετά την εφαρμογή τους σε καρότα υπό συνθήκες θερμοκηπίου. Όπως παρατηρήθηκε και στα βλιολογικά ΦΠΠ/ βιοδιεγέρτες, έτσι και στα Γραφήματα 3.5 και 3.7 φαίνεται ότι και τα συνθετικά ΦΠΠ ήταν περισσότερο αποτελεσματικά έναντι του *A. dauci* με μία δόση απλής εφαρμογής, τις πρώτες 32 ημέρες μετά τη μόλυνση. Ο μέσος δείκτης ασθένειας, 46 ημέρες μετά τη μόλυνση, ήταν 6,5 για τα φυτά του θετικού μάρτυρα, ενώ για όλες τις εφαρμογές των συνθετικών ΦΠΠ ήταν κάτω από 3.

3.2. Π2: Δεύτερο πείραμα παθογένειας σε καρότα θερμοκηπίου

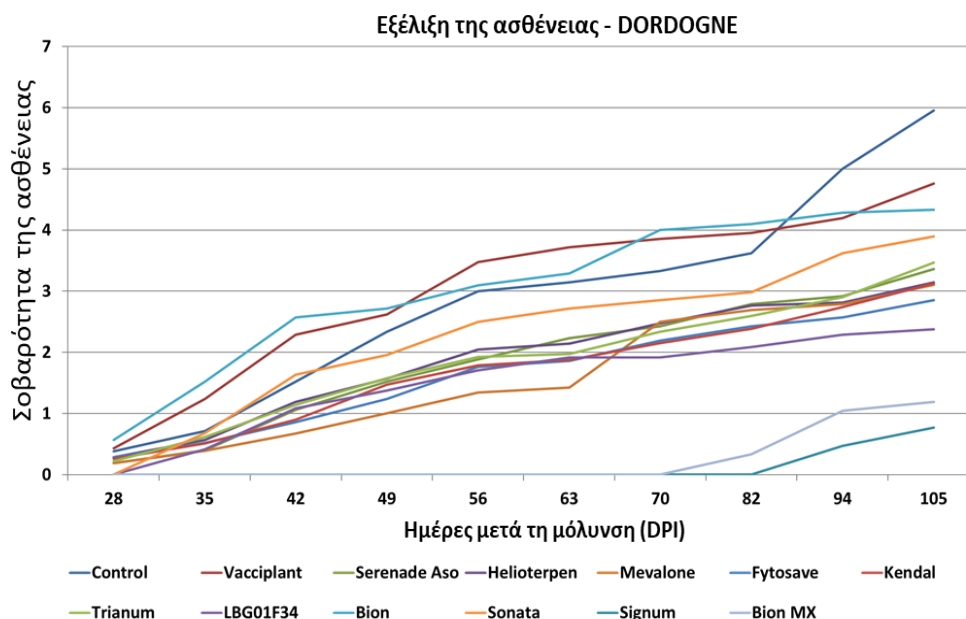
3.2.1. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ και βιοδιεγερτών στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ

Στο πρώτο πείραμα παθογένειας πραγματοποιήθηκε μόνο μία εφαρμογή για κάθε ΦΠΠ. Για ορισμένα ΦΠΠ, η προστασία παρατηρήθηκε ότι διαρκεί λίγες μέρες από τον ψεκασμό, αν και αντιμετώπισαν επιτυχώς την ασθένεια. Στο εν προκειμένω πείραμα παθογένειας λοιπόν, η εφαρμογή των ΦΠΠ και αντίστοιχα της τεχνητής μόλυνσης πραγματοποιήθηκε 3 φορές. Δε χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα Romeo[®], ενώ χρησιμοποιήθηκαν δύο επιπλέον βιολογικά ΦΠΠ, το Fytosave[®] και Bion[®]. Επιπλέον, στο πέρας του πειράματος, ζυγίστηκαν οι γογγυλόμενες όλων των εφαρμογών.

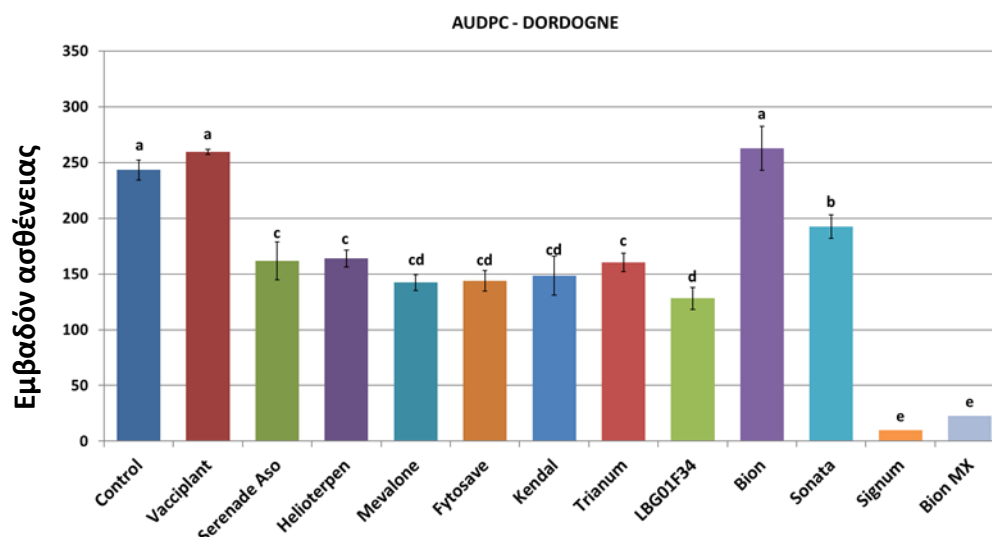
Για την αντιμετώπιση του μύκητα *A. dauci* σε φυτά καρότου αξιολογήθηκαν εννέα εμπορικά βιολογικά ΦΠΠ (Vacciplant[®], Serenade Aso[®], LBG01F34[®], Mevalone[®], Fytosave[®], Kendal[®], Trianum[®], Bion[®], Sonata[®]) και δύο σκευάσματα που αποτελούν συνδυασμό συνθετικών μυκητοκτόνων με βιοδιεγέρτες (Bion MX[®] και Helioterpen[®] Soufre). Όλα τα ΦΠΠ εφαρμόστηκαν τρεις φορές, 48 ώρες πριν τις τεχνητές μολύνσεις με κονίδια του μύκητα *A. dauci*. Για τον προσδιορισμό της σοβαρότητας της ασθένειας στα ασθενή φύλλα χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα από το 0 έως το 9 (Πίνακας 2.3), όπως περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Η καμπύλη εξέλιξης της ασθένειας καθώς και η AUDPC υπολογίστηκαν με βάση τη σοβαρότητα της ασθένειας.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.1 σε όλες τις εφαρμογές της ποικιλίας Dordogne υπήρξε εκδήλωση της ασθένειας. Τα πιο αποτελεσματικά σκευάσματα στη μείωση των συμπτωμάτων της *A. dauci* ήταν τα LBG01F34[®], Mevalone[®], Fytosave[®] και Kendal[®], ενώ ακολουθούν τα Trianum[®], Serenade Aso[®], Helioterpen[®] Soufre και Sonata[®]. Σύμφωνα με την καμπύλη εξέλιξης της ασθένειας και την AUDPC, το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με τον θετικό μάρτυρα ήταν περί το 47% για το LBG01F34[®], 42% για το Mevalone[®], 41% για το Fytosave[®], 39% για το Kendal[®], 34% για το Trianum[®], 33% για το Helioterpen[®] Soufre και 21% για το Sonata[®], ενώ το μυκητοκτόνο Signum[®] μείωσε την ασθένεια κατά 96% και το Bion MX[®] κατά 88%. Τα Vacciplant[®]

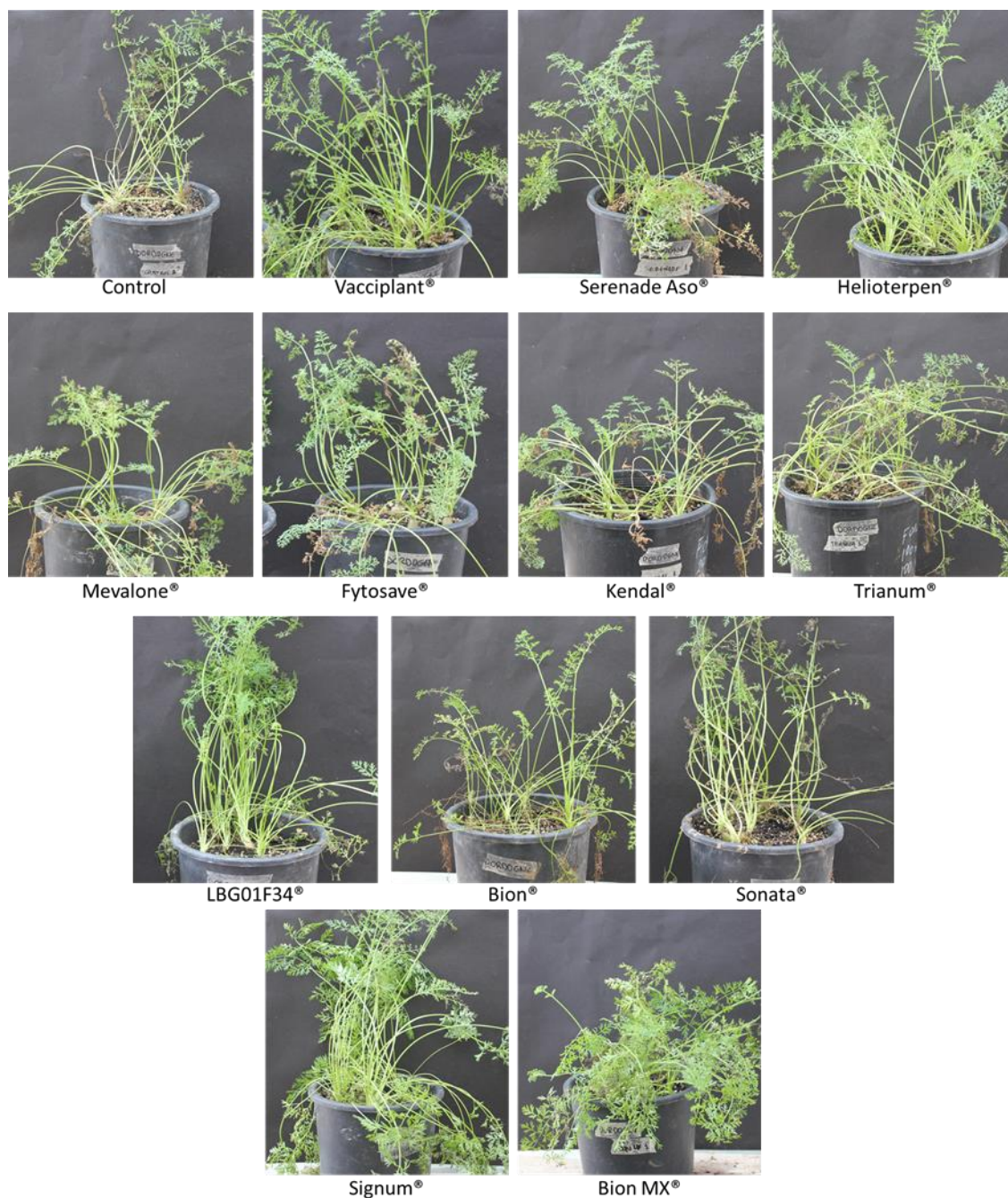
και Bion® δεν μείωσαν το ποσοστό της ασθένειας. (Γράφημα 3.9 και 3.10). Τέλος, καμία από τις εφαρμογές δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερο βάρος γογγυλίζας σε σχέση με τον θετικό μάρτυρα (Γράφημα 3.11).



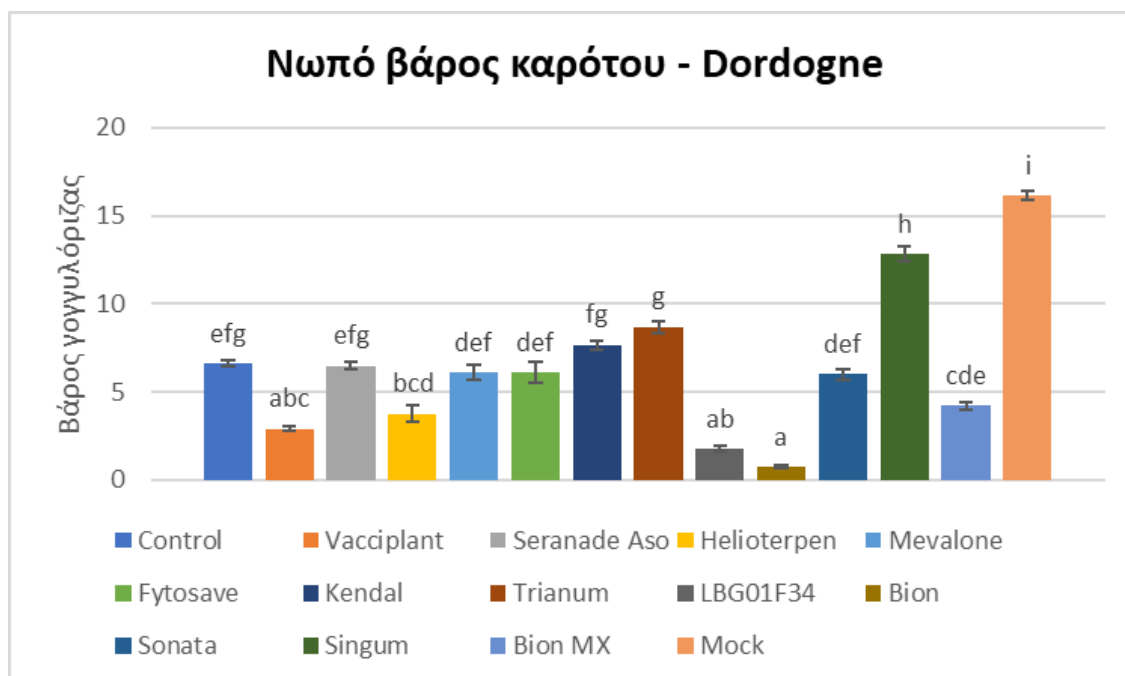
Γράφημα 3.9. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Dordogne, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (2^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).



Γράφημα 3.10. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Dordogne, σε συνθήκες θερμοκηπίου (2^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

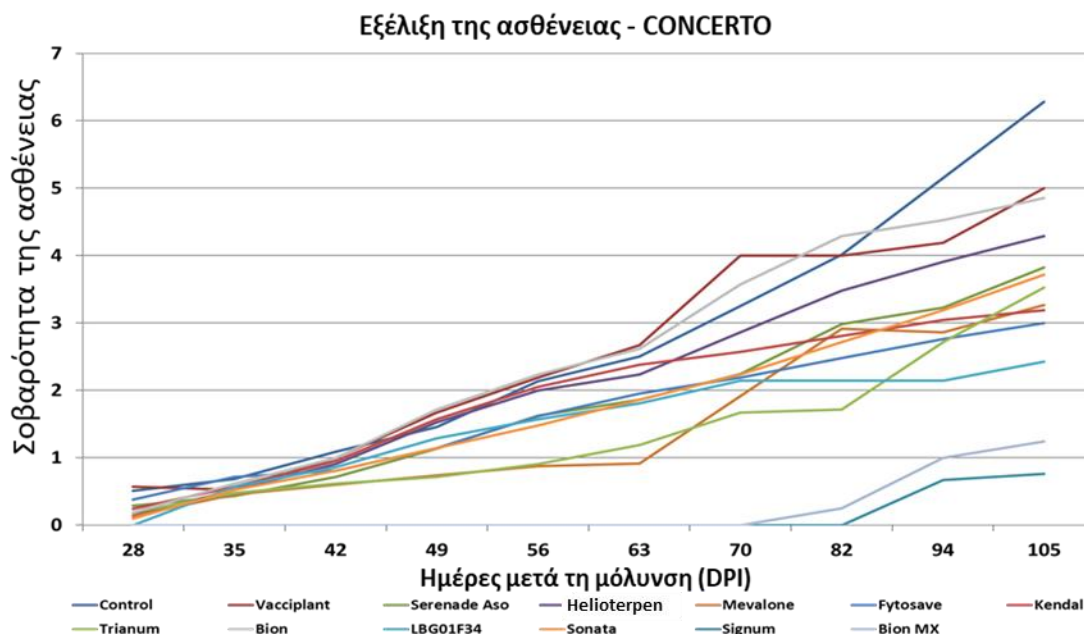


Εικόνα 3.1. Συμπτώματα στις εφαρμογές των βιολογικών ΦΠΠ/ βιοδιεγερτών σε φυτά ποικιλίας Dordogne στις 105 dpi (2^ο πείραμα). Οι εφαρμογές των Signum® και Bion MX® ανήκουν στα συνθετικά ΦΠΠ αλλά εμφανίζονται ως μάρτυρες στο συγκεκριμένο πείραμα.

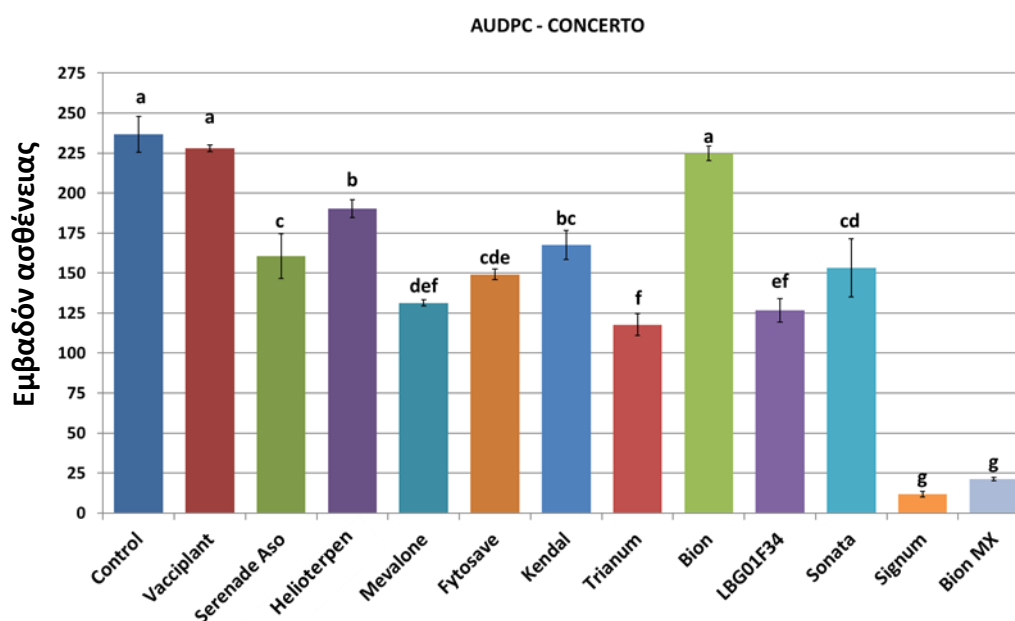


Γράφημα 3.11. Συγκριτική απεικόνιση του μέσου όρου του νωπού βάρους καρότου ανά εφαρμογή βιολογικών ΦΠΠ και βιοδιεγερτών στην ποικιλία Dordogne (2^ο πείραμα). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

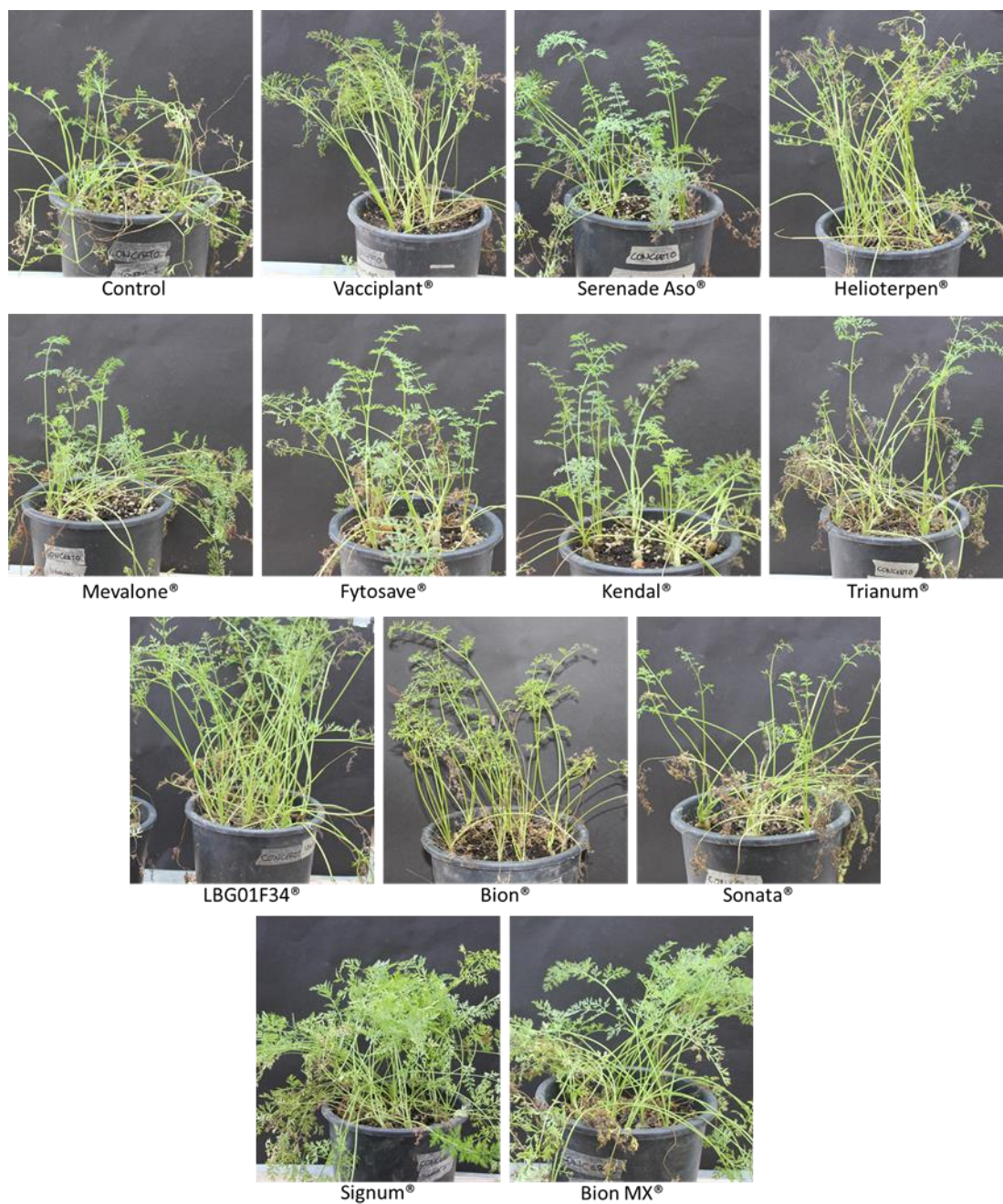
Στην ποικιλία Concerto τα πιο αποτελεσματικά ήταν τα Trianum[®], LBG01F34[®] και Mevalone[®], ενώ ακολουθούν τα Fytosave[®], Sonata[®], Serenade Aso[®], Kendal[®], Helioterpen[®] Soufre, Bion[®] και Vacciplant[®]. Βάση της καμπύλης προόδου και της AUDPC το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με τον θετικό μάρτυρα ήταν περί το 50% για το Trianum[®], 46% για το LBG01F34[®], 45% για το Mevalone[®], 37% για το Fytosave[®], 35% για το Sonata[®], 32% για το Serenade Aso[®], 29% για το Kendal[®], 20% για το Helioterpen[®] Soufre, 5% για το Bion[®] and 4% για Vacciplant[®], όταν το μυκητοκτόνο Signum[®] μείωσε την ασθένεια κατά 95% και το Bion MX[®] κατά 91% (Γραφήματα 3.11 και 3.12). Τέλος, απ' όλες τις εφαρμογές το Trianum[®] εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά στο βάρος του καρότου (Γράφημα 3.13).



Γράφημα 3.12. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Concerto, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (2^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).

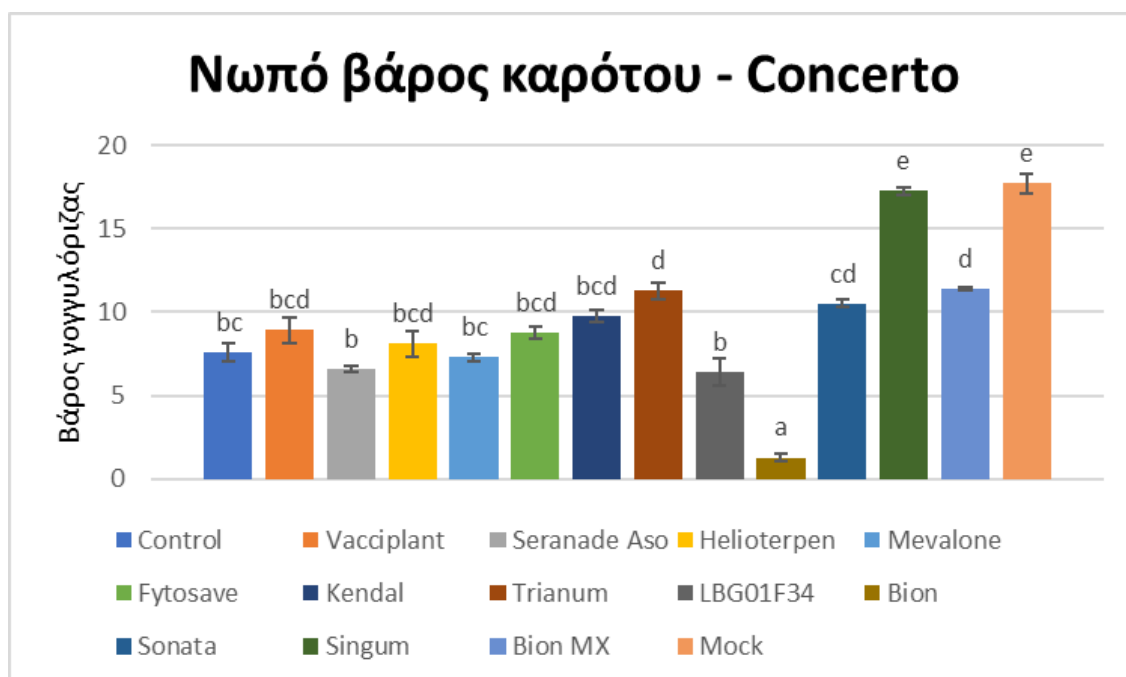


Γράφημα 3.13. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Concerto, σε συνθήκες θερμοκηπίου (2^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.



Εικόνα 3.2. Συμπτώματα στις εφαρμογές των βιολογικών ΦΠΠ και των βιοδιεγερτών σε φυτά ποικιλίας Concerto ύστερα από τεχνητή μόλυνση με τον μύκητα *Alternaria dauci* στις 105 dpi (2^ο πείραμα). Οι

εφαρμογές των Signum και Bion MX ανήκουν στα συνθετικά ΦΠΠ αλλά εμφανίζονται ως μάρτυρες στην προκειμένη.

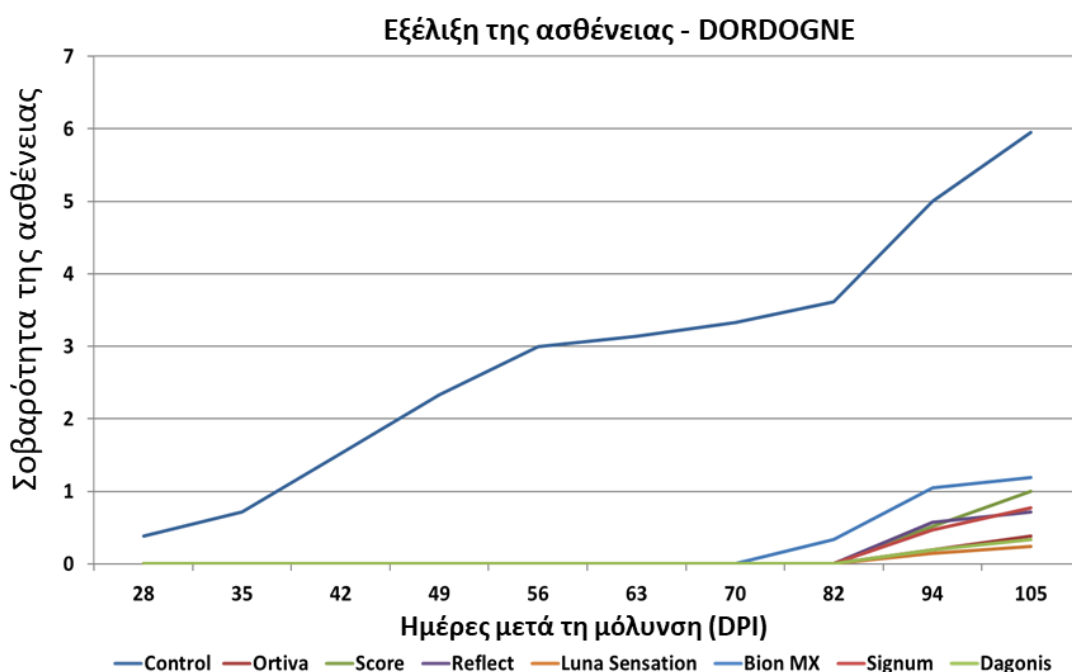


Γράφημα 3.14. Συγκριτική απεικόνιση του μέσου όρου του νωπού βάρους καρότου ανά εφαρμογή βιολογικών ΦΠΠ/ βιοδιεγερτών στην ποικιλία Concerto (2^ο πείραμα). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

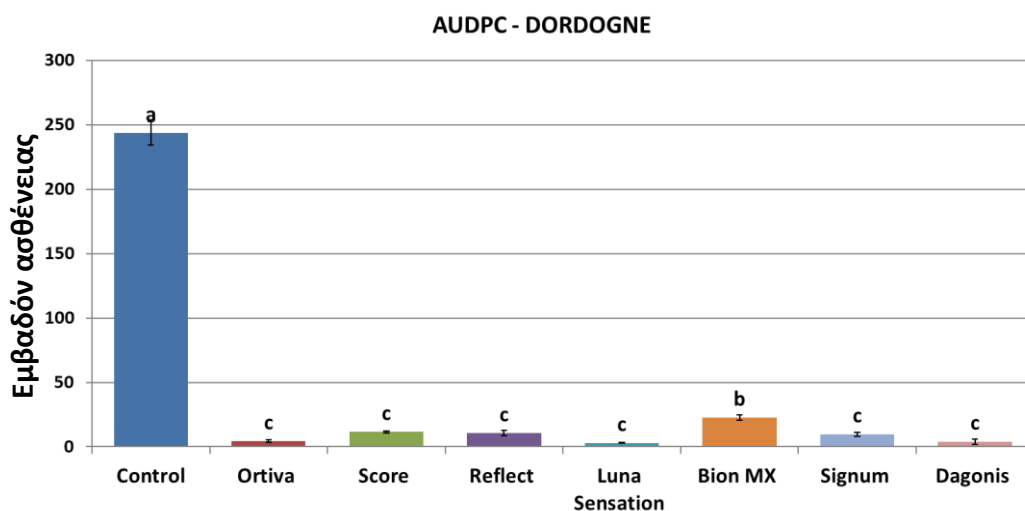
3.2.2. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ στην αντιμετώπιση της αλτερναρίωσης των φύλλων καρότου σε θερμοκήπιο του ΓΠΑ

Για την αντιμετώπιση του μύκητα *A. dauci* σε φυτά καρότου αξιολογήθηκαν επτά εμπορικά συνθετικά μυκητοκτόνα Dagonis[®], Signum[®], Ortiva[®], Score[®], Reflect[®], Luna Sensation[®] και Bion MX[®]. Όλα εφαρμόστηκαν τρεις φορές όπως αναφέρεται και στον Πίνακα 2.1, κάθε φορά 48 ώρες πριν την τεχνητή μόλυνση με κονίδια του μύκητα *A. dauci*. Για τον προσδιορισμό της σοβαρότητας της ασθένειας στα ασθενή φύλλα χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα από το 0 έως το 9, όπως περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Η καμπύλη εξέλιξης της ασθένειας καθώς και η AUDPC υπολογίστηκαν με βάση τη σοβαρότητα της ασθένειας.

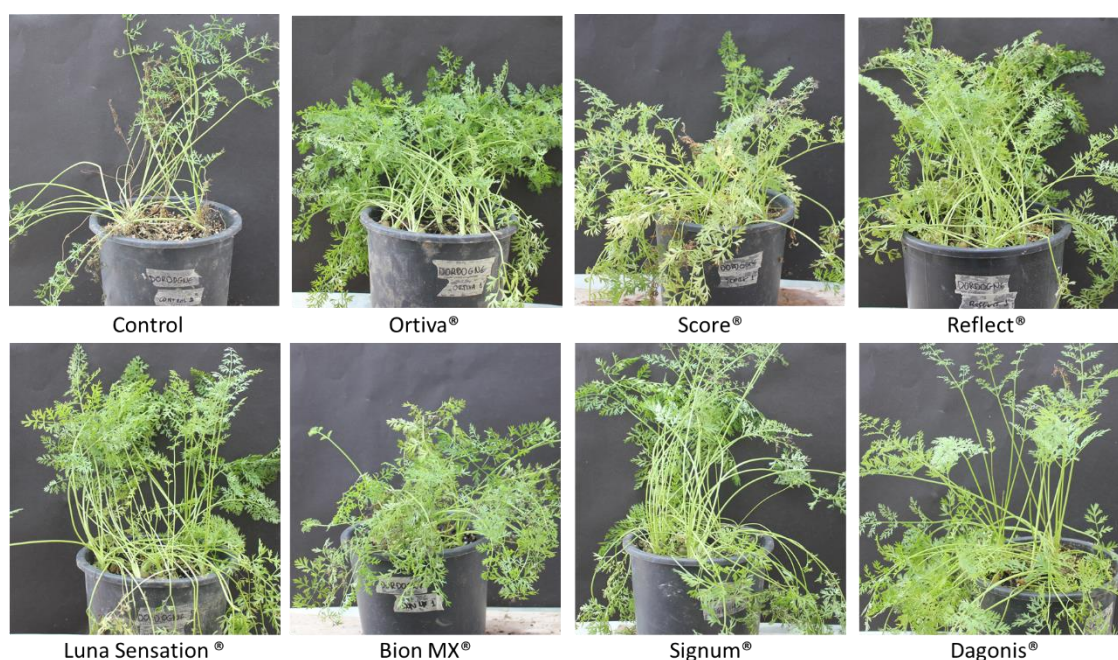
Όλα τα ΦΠΠ που δοκιμάστηκαν ήταν ικανά να αντιμετωπίσουν επιτυχώς την αλτερναρίωση των φύλλων σε φυτά καρότου. Για την ποικιλία Dordogne τα ΦΠΠ έδειξαν παρόμοια αριθμητική μείωση στα συμπτώματα της *A. dauci*. Βάσει της καμπύλης προόδου της ασθένειας και της AUDPC, το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με τον θετικό μάρτυρα ήταν περίπου 99% για το Luna Sensation®, 98% για το Dagonis®, 98% για το Ortiva®, 96% για το Signum®, 96% για το Reflect®, 95% για το Score® και 91% για το Bion MX. (Γραφήματα 3.15 και 3.16). Επίσης, τα Ortiva®, Score®, Reflect®, Luna Sensation® έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά με τον θετικό μάρτυρα στο βάρος της γογγυλότητας (Γράφημα 3.17).



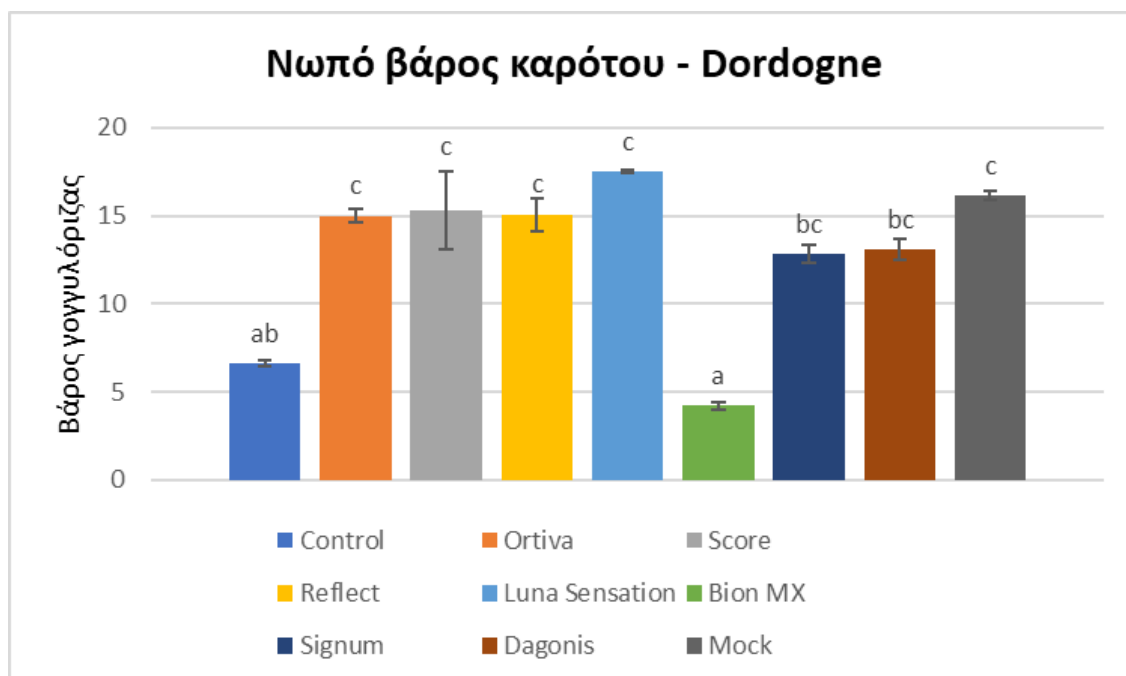
Γράφημα 3.15. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Dordogne, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (2^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).



Γράφημα 3.16. Αξιολόγηση των βιολογικών ΦΠΠ/ βιοδιεγερτών για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Dordogne, σε συνθήκες θερμοκηπίου (2^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

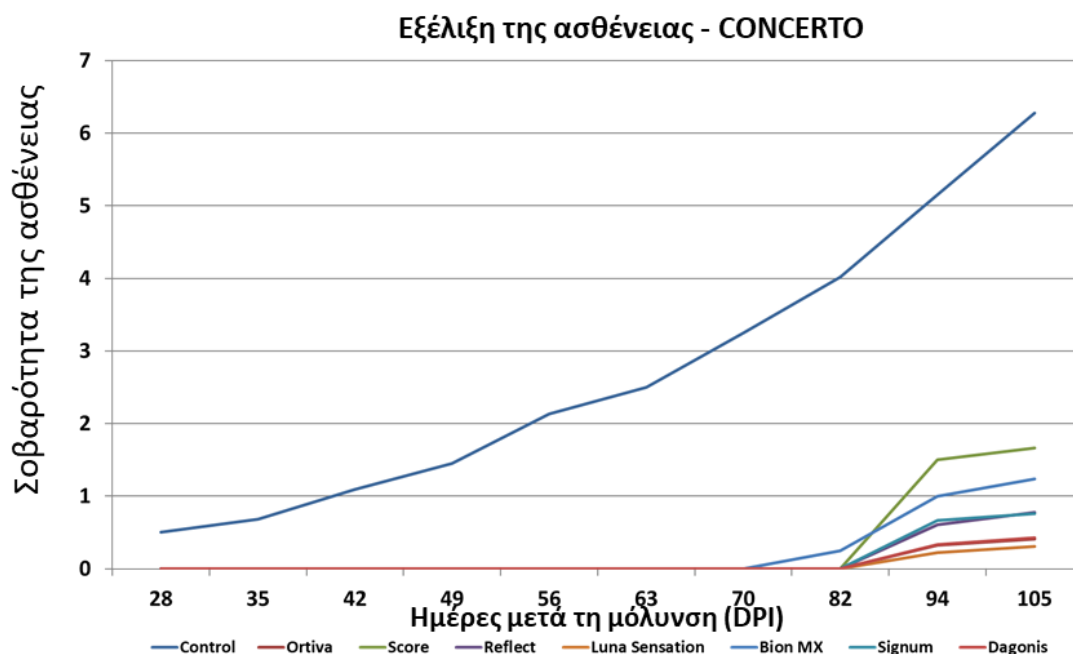


Εικόνα 3.3. Συμπτώματα στις εφαρμογές των συνθετικών ΦΠΠ σε φυτά ποικιλίας Dordogne ύστερα από τεχνητή μόλυνση με τον μύκητα *Alternaria dauci* στις 105 dpi (2^ο πείραμα).

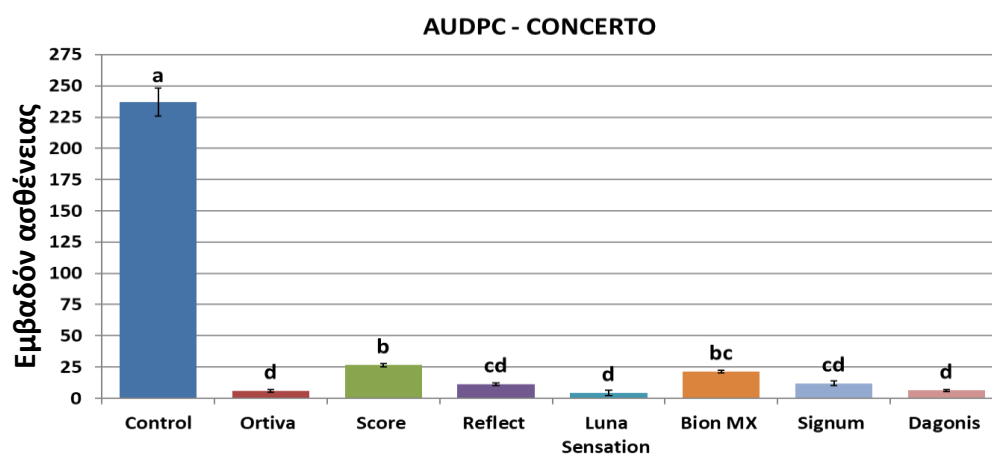


Γράφημα 3.17. Συγκριτική απεικόνιση του μέσου όρου του νωπού βάρους καρότου ανά εφαρμογή συνθετικών ΦΠΠ στην ποικιλία Dordogne (2^ο πείραμα). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

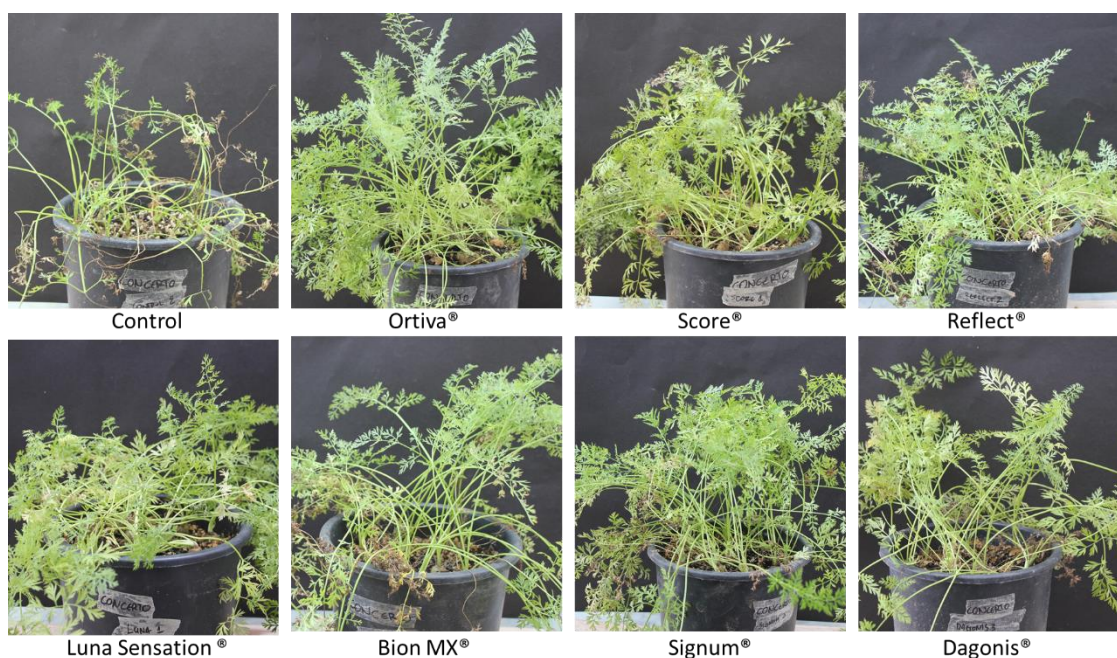
Για την ποικιλία Concerto, τα ΦΠΠ Luna Sensation[®], Ortiva[®] και Dagonis[®] έδειξαν τη μεγαλύτερη αριθμητική μείωση στα συμπτώματα που προκαλεί ο μύκητας *A. dauci*, ενώ ακολουθούν τα Reflect[®], Signum[®], Bion MX[®] και Score[®]. Βάσει της καμπύλης εξέλιξης της ασθένειας, το ποσοστό μείωσης της ασθένειας συγκριτικά με το θετικό μάρτυρα ήταν περίπου 98% για το Luna Sensation[®], 97% για το Ortiva[®], 97% για το Dagonis[®], 95% για το Reflect[®], 95% για το Signum[®], 91% για το Bion MX[®] και 89% για το Score[®] (Γραφήματα 3.18 και 3.19). Τέλος, το βάρος της γογγυλός σε όλες τις εφαρμογές των συνθετικών είναι μεγαλύτερο από αυτό του θετικού μάρτυρα με στατιστικά σημαντική διαφορά (Γράφημα 3.20).



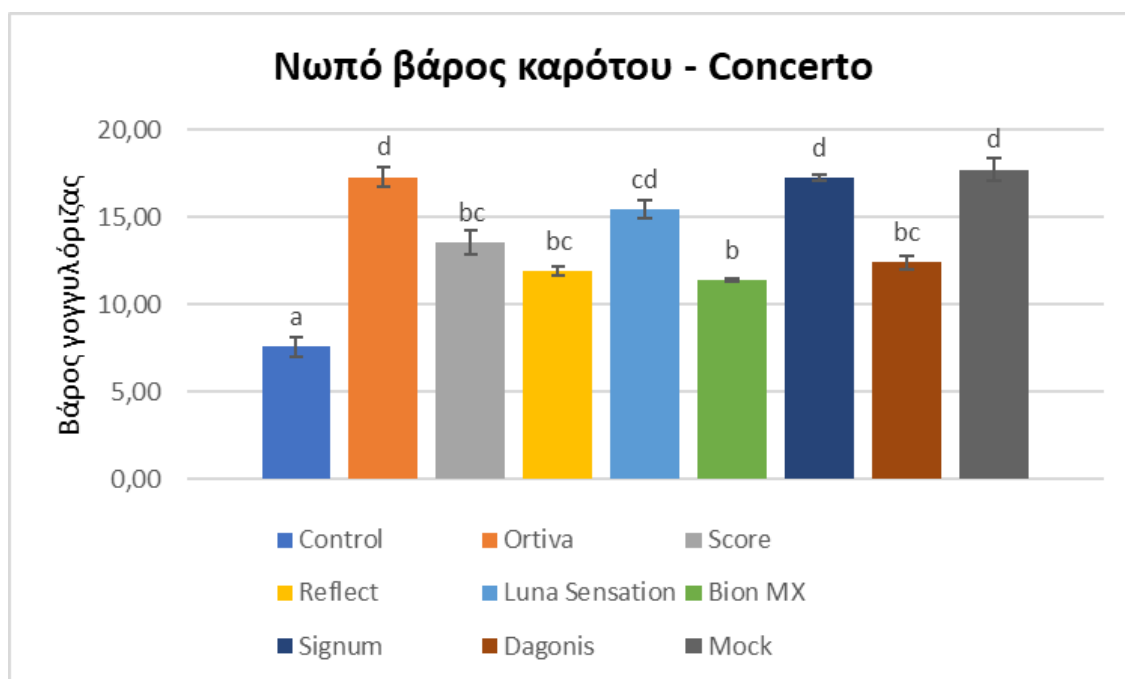
Γράφημα 3.18. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ για τον έλεγχο της *Alternaria dauci* σε καρότα ποικιλίας Concerto, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες (2^ο πείραμα). Στο γράφημα φαίνεται η καμπύλη προόδου της ασθένειας για κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιώντας την κλίμακα σοβαρότητας ασθένειας από 0 έως 9 για τη βαθμολόγηση της ασθενούς περιοχής των φύλλων. Τα χρονικά σημεία για κάθε εφαρμογή αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (τρεις επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή).



Γράφημα 3.19. Αξιολόγηση των συνθετικών ΦΠΠ για τον αντιμετώπιση της *Alternaria dauci* σε καρότο ποικιλίας Concerto, σε συνθήκες θερμοκηπίου (2^ο πείραμα). Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως η σχετική περιοχή κάτω από την καμπύλη προόδου της ασθένειας (AUDPC). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.



Εικόνα 2.4. Συμπτώματα στις εφαρμογές των συνθετικών ΦΠΠ σε φυτά ποικιλίας Dordogne ύστερα από τεχνητή μόλυνση με τον μύκητα *Alternaria dauci* στις 105 dpi (2^ο πείραμα).



Γράφημα 3.20. Συγκριτική απεικόνιση του μέσου όρου του νωπού βάρους καρότου ανά εφαρμογή συνθετικών ΦΠΠ στην ποικιλία Concerto (2^ο πείραμα). Οι στήλες αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 21 φυτών καρότου (3 επαναλήψεις με 7 φυτά ανά επανάληψη και εφαρμογή) και οι κάθετες ράβδοι δείχνουν τα τυπικά σφάλματα. Οι στήλες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλών εύρους του Tukey σε $P < 0,05$.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αλτερναρίωση των φύλλων του καρότου, η οποία προκαλείται από το φυτοπαθογόνο μύκητα *Alternaria dauci*, είναι ασθένεια του φυλλώματος και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες οικονομικά ασθένειες στην καλλιέργεια καρότου (Farrar *et al.*, 2004). Η διαχείριση της βασίζεται στο συνδυασμό της εφαρμογής συνθετικών ΦΠΠ με τη χρήση μερικώς ανθεκτικών ποικιλιών και μοντέλων πρόβλεψης της ασθένειας προκειμένου οι εφαρμογές των ΦΠΠ να γίνουν πιο στοχευμένα. Η μείωση, ωστόσο, των συνθετικών ΦΠΠ θα μπορούσε να ενισχυθεί με τη χρήση βιολογικών ΦΠΠ και με το σχεδιασμό αποτελεσματικών σχημάτων ολοκληρωμένης αντιμετώπισης. Έρευνες πάνω στο αντικείμενο αυτό έχουν εξετάσει κάποια πιθανά μέσα βιολογικής αντιμετώπισης, τα σημαντικότερα από τα οποία αφορούν μικροβιακά σκευάσματα ή διεγέρτες των μηχανισμών άμυνας των φυτών. Στην ίδια κατεύθυνση κινήθηκε και η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά βιολογικά και συνθετικά ΦΠΠ κατά του μύκητα *A. dauci* σε φυτά καρότου διαφορετικής ανθεκτικότητας, υπό θερμοκηπιακές συνθήκες. Οι κατηγορίες των βιολογικών ΦΠΠ, περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο φυσικό μικροβίωμα του φυτού (βακτήρια, μύκητες, ενδοφυτικοί μικροοργανισμοί), φυτικά εκχυλίσματα, βιοδιεγέρτες και επαγωγείς άμυνας. Αντίστοιχα τα συνθετικά ΦΠΠ που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στις ομάδες των στρομπιλουρινών, τριαζολών, καρβαμιδικών, pyridinyl ethylbenzimidides και των ortho-substituted phenyl amides (OPAs).

Όσον αφορά τα χημικά ΦΠΠ, όλα αποδείχθηκαν πολύ αποτελεσματικά και για τους δύο γονότυπους και στο πρώτο πείραμα που εφαρμόστηκαν μία φορά, αλλά και στο δεύτερο όπου υπήρχε και η υψηλή πίεση του μολύσματος. Όταν εφαρμόστηκαν μία φορά, καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν τα Signum[®] και Dagonis[®] για την μερικώς ανθεκτική ποικιλία (cv. Concerto) και τα Luna Sensation[®], Dagonis[®], Signum[®], Score[®] και Ortiva[®] για την ευαίσθητη ποικιλία (cv. Dordogne). Στο δεύτερο πείραμα παθογένειας πιο αποτελεσματικά για την μερικώς ανθεκτική ποικιλία (cv. Concerto) ήταν τα Luna Sensation[®], Ortiva[®] και Dagonis[®], ενώ για την ευαίσθητη πιο αποτελεσματικά ήταν Luna Sensation[®], Dagonis[®], Ortiva[®], Signum[®], Reflect[®] και Score[®].

Πιο συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία το difenoconazole ως η πιο αποτελεσματική δραστική ουσία έναντι στον παθογόνο μύκητα *A. dauci* (Ben-Noon *et al.*, 2001; Vulsteke *et al.*, 1996). Η δραστική αυτή βρίσκεται σε δύο από τα συνθετικά

σκευάσματα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή, στο Score[®] και στο Dagonis[®]. Αμφότερα τα σκευάσματά αυτά, έδειξαν καλή αποτελεσματικότητα έναντι του παθογόνου, με το Dagonis[®] να παρουσιάζει καλύτερη συνέπεια της αποτελεσματικότητας αυτής, εφόσον ήταν σταθερά ανάμεσα στα πιο αποτελεσματικά για τις δύο ποικιλίες και στα δύο πειραματικά. Το γεγονός αυτό, ενδεχομένως, οφείλεται και στη δεύτερη δραστική ουσία που διαθέτει το Dagonis, που είναι το fluxapyroxad. Η προαναφερθείσα δραστική ουσία δρα απευθείας στη βλάστηση των κονιδίων και την μυκηλιακή ανάπτυξη. Εξάλλου, συνιστάται η ταυτόχρονη δράση σε δύο μεταβολικά στάδια της ίδιας φυσιολογικής διαδικασίας προκειμένου να μειωθεί η πιθανότητα ανάπτυξης ανθεκτικότητας (Töfoli *et al.*, 2016).

Αρκετά αποτελεσματικά αποδείχθηκαν και τα σκευάσματα που περιέχουν στρομπιλουρίνες είτε σαν μοναδική δραστική ουσία είτε σε συνδυασμό με κάποια άλλη. Αυτά είναι τα Luna Sensation[®], Signum[®] και Ortiva[®]. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι παρεμποδιστές Qo και κάποιες από τις στρομπιλουρίνες είναι κατηγορίες δραστικών ουσιών με ανθεκτικότητα από διάφορους μύκητες (Malandrakis *et al.*, 2006; Kirk *et al.*, 2012). Για το λόγο αυτό, προτιμάται να χρησιμοποιούνται μείγματα δραστικών, όπως το Luna Sensation[®] (fluopyram και trifloxystrobin) και το Signum[®] (pyraclostrobin και boscalid). Το Luna Sensation[®] έχει βρεθεί σε πρόσφατη έρευνα αποτελεσματικό ενάντια στο παθογόνο *Alternaria porri* στο κρεμμύδι, παθογόνο που ανήκει και στην ίδια ομάδα με το μύκητα *A. dauci* (Ravikumar *et al.*, 2020).

Όσον αφορά τα βιολογικά ΦΠΠ και τους βιοδεγέρτες, αξίζει να σημειωθεί, ότι όλα κατάφεραν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά την ασθένεια όταν εφαρμόστηκαν μία και μοναδική φορά, με τα LBG01F34[®] και Sonata[®] να έχουν τα καλύτερα αποτελέσματα και για τις δύο ποικιλίες. Σε αποτελεσματικότητα ακολούθησαν τα Kendal[®] και Fytosave[®] για την ευαίσθητη και την μερικώς ανθεκτική ποικιλία αντίστοιχα. Ωστόσο, δεν αποδείχθηκαν όλα αποτελεσματικά όταν εφαρμόστηκαν τρεις φορές με ταυτόχρονη όμως υψηλή πίεση μόλυσματος. Στο δεύτερο πείραμα παθογένειας τα LBG01F34[®], Mevalone[®] και Fytosave[®] αποδείχθηκαν αποτελεσματικά και για τις 2 ποικιλίες με το Trianum[®] να είναι το πιο αποτελεσματικό για τη μερικώς ανθεκτική ποικιλία (cv. Concerto).

Το LBG01F34[®] παρουσίασε εξαιρετικά αποτελέσματα στην αντιμετώπιση των συμπτωμάτων, στις δύο ποικιλίες και στα δύο πειραματικά. Πρόκειται για σκεύασμα

φωσφορικού καλίου που δρα με δύο τρόπους, διαταράσσει το μεταβολισμό των φωσφορικών ενώσεων στους μύκητες (Stehmann & Grant, 2000) και προάγει τη σύνθεση και συσσώρευση των φυτοαλεξινών στα φυτά, οι οποίες επάγουν τους φυσικούς μηχανισμούς άμυνας των φυτών (SAR). Παλαιότερες έρευνες έχουν δείξει αποτελεσματικότητα των φωσφορικών σε φυτοπαθογόνα των γενών *Phytophthora* και *Pythium* (Niere *et al.*, 1994; Sanders *et al.*, 1983).

Πολύ καλά αποτελέσματα έδειξε, επίσης, το Fytosave® το οποίο και σε υψηλή πίεση μολύσματος παρείχε καλή προστασία τόσο στην ευαίσθητη όσο και στην μερικώς ανθεκτική ποικιλία. Η δραστική ουσία του συγκεκριμένου σκευάσματος είναι το COS-OGA, ένας νέος σχετικά διεγέρτης άμυνας των φυτών που συνδυάζει τα ολιγομερή χιτοσάνης (COS) και τα ολιγογαλακτουρονίδια που προέρχονται από την πηκτίνη (OGA) (Cabrera *et al.*, 2010). Στη βιβλιογραφία αναφέρεται αποτελεσματικό έναντι του *Phytophthora infestans*, παθογόνο αίτιο του περονόσπορου στην πατάτα (Clinckemillie *et al.*, 2016). Έχει αξιολογηθεί υπό εμπορικές συνθήκες θερμοκηπίου έναντι του *Sphaerotheca fuliginea* στα αγγούρια και στον αγρό έναντι του *Uncinula necator* στα αμπέλια. Αποδείχθηκε αποτελεσματικό στην προστασία των αγγουριών έναντι της *S. fuliginea* (προστασία 72-85% σε σύγκριση με το θετικό μάρτυρα ως προς τη σοβαρότητα της ασθένειας) και στα αμπέλια κατά του ωιδίου (από 96% κατά την πρώτη αξιολόγηση έως 76% στο τέλος του πειράματος) (van Aubel *et al.*, 2014).

Το Kendal® ήταν ανάμεσα στα πιο αποτελεσματικά βιολογικά ΦΠΠ και στα δύο πειράματα παθογένειας για την ευαίσθητη ποικιλία (cv. Dordogne). Κατηγοριοποιείται ως βιολογικό λίπασμα (bio-fertilizer) και είναι βιοδιεγερτικό, που περιέχει φυτικά εκχυλίσματα, των οποίων η κύρια σύνθεση είναι οι ολιγοσακχαρίτες και η γλουταθειόνη. Τα μόρια του δρουν ως διεγέρτες και σχετίζονται με τη επαγωγή της αμυντικής απόκρισης στο φυτό (Guevara *et al.*, 2010). Λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιότητες αυτών των μορίων, είναι πιθανό αυτό το φαινόμενο να εμφανιστεί στα φυτά καρότου. Το Kendal έχει δείξει, επίσης, θετικά αποτελέσματα στην αντιμετώπιση του περονόσπορου στο βασιλικό (Gilardi *et al.*, 2011).

Τέλος, ανάμεσα στα πιο αποτελεσματικά βιολογικά ΦΠΠ ήταν δύο μικροβιακά σκευάσματα το Sonata® και το Trianum®, με τα *Bacillus pumilus* (QST 2808) και *Trichoderma harzianum* αντίστοιχα ως δραστικούς παράγοντες. Το στέλεχος *B. pumilus* QST 2808 αποτρέπει τη βλάστηση των σπορίων των μυκήτων στα φυτά σχηματίζοντας

ένα φυσικό φράγμα μεταξύ των σπορίων και της επιφάνειας των φύλλων. Εν συνεχεία, ο βάκιλλος αποικίζει τα σπόρια μύκητα. Υπάρχουν ενδείξεις ότι το στέλεχος *B. pumilus* QST 2808 μπορεί επίσης να επάγει την επίκτητη διασυστηματική ανοχή (SAR) στα φυτά, με αποτέλεσμα αυτά να γίνουν πιο ανθεκτικά σε ένα εύρος παθογόνων. Dorighello *et al.* (2015) παρατήρησαν ότι το στέλεχος *B. pumilus* (QST2808) παρεμποδίζει πλήρως τη βλάστηση των ουρεδοσπορίων του μύκητα *Phakopsora pachyrhizi* σε φυτά σόγιας και μείωσε σημαντικά τη σοβαρότητα της ασθένειας που προκαλεί.

Όσον αφορά το σκεύασμα Trianum[®], σε πρόσφατη μελέτη, οι Patkowska *et al.* (2020) απέδειξαν ότι η εφαρμογή *Trichoderma harzianum* T-22, στην καλλιέργεια καρότου βελτίωσε σημαντικά την ανάπτυξη και την ευρωστία των φυτών. Το σκεύασμα ήταν ικανό να προστατεύσει τη βλάστηση των σπόρων αλλά και τα φυτά από μολύνσεις εδαφογενών παθογόνων μυκήτων. Η επίδρασή του μάλιστα ήταν αντίστοιχη της χημικής ουσίας thiram. Επιπλέον, φαίνεται να μείωσε τον πληθυσμό των παθογόνων μυκήτων που αποικίζουν τις ρίζες των καρότων, ενώ αύξησε τον πληθυσμό των ανταγωνιστικών μυκήτων. Το Trianum[®] είχε θετική επίδραση στην ανταγωνιστική δράση διαφόρων σαπροτροφικών παθογόνων μυκήτων που μελετήθηκαν (*Alternaria dauci*, *Alternaria radicina*, *Rhizoctonia solani* και *Sclerotinia sclerotiorum*) και οι Patkowska *et al.* (2020) πρότειναν το συγκεκριμένο σκεύασμα ως βιοδιεγερτικό στην καλλιέργεια καρότων. Στην παρούσα μελέτη, το Trianum[®] ήταν το μοναδικό σκεύασμα μεταξύ των βιολογιών ΦΠΠ και των βιοδιεγερτών που έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά στο βάρος της γογγυλόριζας στην μερικώς ανθεκτική ποικιλία (cv. Concerto), κάτι που θα μπορούσε να συσχετιστεί με τους τρόπους δράσεις που περιγράφηκαν.

Αξίζει, επίσης, να αναφερθεί ότι βάσει του πρώτου πειράματος προσδιορίστηκε ότι η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από τον γονότυπο. Μεγαλύτερη προστασία επιτεύχθηκε στην ευαίσθητη ποικιλία (cv. Dordogne). Σε ορισμένες περιπτώσεις, η επίδραση της προστασίας από βιολογικά ΦΠΠ παρατηρήθηκε επίσης στη μερικώς ανθεκτική ποικιλία (cv. Concerto), σε μικρότερο βέβαια βαθμό. Το γεγονός δεν προκαλεί έκπληξη καθώς ο δείκτης ασθενείας για την ανθεκτική ποικιλία ήταν ήδη αρκετά χαμηλός. Η μέτρηση του βάρους των γογγυλόριζων δείχνει ότι οι εφαρμογές των συνθετικών ΦΠΠ είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά με το θετικό μάρτυρα αλλά και με τις εφαρμογές των βιολογικών ΦΠΠ και των βιοδιεγερτών. Επιπλέον, στα δύο πειράματα παθογένειας δεν υπήρξε απόλυτη ταύτιση ως προς τα αποτελέσματα. Αυτό

δεν ήταν απρόσμενο, αφενός επειδή αυτά διέφεραν αρχικά ως προς την πίεση του μολύσματος και αφετέρου ως προς την εποχή διεξαγωγής τους. Και τα δύο διεξήχθησαν υπό θερμοκηπιακές συνθήκες, το πρώτο την άνοιξη - καλοκαίρι του 2019 και το δεύτερο το φθινόπωρο - χειμώνα του 2019 - 2020. Αν και οι συνθήκες θερμοκηπίου θεωρούνται ελεγχόμενες, τους χειμερινούς μήνες οι θερμοκρασίες ήταν αισθητά χαμηλότερες από αυτές που μπορούν να επιτευχθούν το καλοκαίρι, καθώς επίσης και η φωτοπερίοδος είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς μήνες. Συμπληρωματικά με τα ανωτέρω, είναι καλά τεκμηριωμένο ότι η δράση των ΦΠΠ και ιδιαίτερα των βιολογικών παραγόντων επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία και υγρασία του περιβάλλοντος, η τεχνική εφαρμογής τους, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δραστικών συστατικών και τα χαρακτηριστικά των εκάστοτε ποικιλιών των φυτών (Bickers *et al.*, 1999).

Ωστόσο, για περαιτέρω αναλύσεις, τα ΦΠΠ θα πρέπει να αξιολογηθούν σε περισσότερες διαφορετικές ποικιλίες, προκειμένου να ελεγχθούν πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών και των ποικιλιών. Για το σκοπό αυτό, θα μπορούσαν να αξιολογηθούν εμπορικές ποικιλίες με διαφορετικά επίπεδα ανθεκτικότητας. Ως αντικείμενο μελλοντικών ερευνών θα μελετηθεί η ένταξη των αποτελεσματικών βιολογικών και συνθετικών ΦΠΠ της παρούσας μελέτης, σε σχήματα ολοκληρωμένης αντιμετώπισης σε εμπορικές ποικιλίες με διαφορετικά επίπεδα ανθεκτικότητας σε πειραματικό αγρό. Για την επιτυχή επιλογή σχημάτων ολοκληρωμένης αντιμετώπισης για την αλτερναρίωση των φύλλων του καρότου, βοηθητική θα ήταν η χρήση κάποιου μοντέλου πρόβλεψης της ασθένειας για τον ακριβή προσδιορισμό του χρόνου των εφαρμογών, καθώς και η χρήση ψεκαστικών ακριβείας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abercrombie, K. & Finch, H. C. (1976). Powdery mildew of carrot in California. *Plant Disease Reporter*, 60(9), 780-781
- Aegerter, B. J. (2002). Powdery mildew. In R. M. Davis & R. N. Raid (Eds.), *Compendium of umbelliferous crop diseases* (pp. 23-24). St. Paul (MN), USA: APS Press.
- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed., pp. 237-242, 315-316). USA: Elsevier Academic Press.
- Andrew, M., Peever, T. L. & Pryor, B. M. (2009). An expanded multilocus phylogeny does not resolve morphological species within the small-spored. *Alternaria* species complex. *Mycologia*, 101(1), 95-109.
- Antone, U., Zagorska, J., Sterna, V., Jemeljanovs, A., Berzins, A., & Ikauniece, D. (2015). Effects of dairy cow diet supplementation with carrots on milk composition, concentration of cow blood serum carotenes, and butter oil fat-soluble antioxidative substances. *Agronomy Research*, 13(5), 879-891.
- Babic I., Amiot M. J., Nguyen-The C., & Aubert S. (1993). Changes in phenolic content in fresh, ready-to-use and shredded carrots during storage. *Journal of Food Science*, 58(2), 351-356.
- Bailey, A. S., Bertaglia, M., Fraser, I. M., Sharma, A., Douarin, E. (2009). Integrated pest management portfolios in UK arable farming: results of a farmer survey. *Pest Management Science*, 65(9), 1030-1039.
- Banga, O. (1957a) Origin of the European cultivated carrot. *Euphytica* 6(1), 54-63.
- Banga, O. (1957b) The development of the original European carrot material. *Euphytica* 6(1), 64-76.
- Banga, O. (1963a). Main Types of the Western Carotene Carrot and Their Origin. Zwolle, NL: W. E. J. Tjeenk Willink.
- Banga, O. (1984). Carrot. In N. W. Simmonds (Ed.), *Evolution of Crop Plants* (3rd ed., pp. 291-293). London, UK: Longman.
- Bannon, J. S. (1988). CASST™ Herbicide (*Alternaria cassiae*): A Case History of a Mycoherbicide. *American Journal of Alternative Agriculture*, 3(2-3), 73-76.
- Bennett, M. D. & Leitch, I. J. (1995). Nuclear DNA Amounts in Angiosperms. *Annals of Botany*, 76(2), 113-176.
- Ben-Noon, E., Shtienberg, D., Shlevin, E., & Dinoor, A. (2003). Joint action of disease control measures: a case study of alternaria leaf blight of carrot. *Phytopathology*, 93(10), 1320-1328.
- Ben-Noon, E., Shtienberg, D., Shlevin, E., Vintal, H., & Dinoor, A. (2001). Optimization of chemical suppression of *Alternaria dauci*, the causal agent of Alternaria leaf blight in carrots. *Plant Disease*, 85(11), 1149-1156.

- Bickers, U., Oerke, E. C., & Dehne, H. D. (1999). Influence of formulation and application on the biological availability and efficacy of systemic fungicides. In H. Lyr, P. E. Russell, H. W. Hehne & H. D. Sisler (Eds.), *Modern Fungicides and Antifungal Compounds II*. (pp. 131-136). Andover, UK: Intercept Ltd.
- Block G. (1994). Nutrient sources of provitamin A carotenoids in the American diet. *American journal of epidemiology*, 139(3), 290–293.
- Bounds, R. S., Podolsky, R. H., & Hausbeck, M. K. (2007). Integrating Disease Thresholds with TOM-CAST for Carrot Foliar Blight Management. *Plant Disease*, 91(7), 798-804.
- Bourgeois, G., Brodeur, C., Kushalappa, A. (1998). Effet de la brûlure cercosporéenne, causée par le *Cercospora carotae*, sur le développement, la croissance et le rendement de la carotte. *Phytoprotection* 79(1), 9-19.
- Bradeen, J. M., & Simon, P. W. (2007). Carrot. In C. Kole (Ed.), *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants* (Vol. 5: Vegetables, Chapter 4, pp. 161-181). Berlin, DE: Springer.
- Brandenburg, W. A. (1981). Possible relationships between wild and cultivated carrots (*Daucus carota* L.) in the Netherlands. *Die Kulturpflanze*, 29, 369-375.
- Burn, A. (1984). Life tables for the carrot fly, *Psila rosae*. *Journal of Applied Ecology*, 21(3), 891-902.
- Cabrera, J. C., Boland, A., Cambier, P., Frettinger, P., & Van Cutsem, P. (2010). Chitosan oligosaccharides modulate the supramolecular conformation and the biological activity of oligogalacturonides in Arabidopsis. *Glycobiology*, 20(6), 775-786.
- Cao, A., Xing, L., Wang, X., Yang, X., Wang, W., Sun, Y., Qian, C., Ni, J., Chen, Y., Liu, D., Wang, X., & Chen, P. (2011). Serine/threonine kinase gene Stpk-V, a key member of powdery mildew resistance gene Pm21, confers powdery mildew resistance in wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 108(19), 7727-7732.
- Capinera, J. L. (2001). Order Diptera-Flies and maggots. In J. L. Capinera (Ed.), *Handbook of vegetable pests* (pp. 197-242). San Diego, USA: Academic Press.
- Carisse, O., & Kushalappa, A. C. (1992). Influence of interrupted wet periods, relative humidity and temperature on infection of carrots by *Cercospora carotae*. *Phytopathology*, 82(5), 602-606.
- Carisse, O., Kushalappa, A. C. (1990). Development of an infection model for *Cercospora carotae* on carrot based on temperature and leaf wetness duration. *Phytopathology*, 80(11), 1233-1238.
- Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest

management. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 366(1573), 1987-1998.

Charron, N., Dijkstra, L., & Lapuente, V. (2014). Regional Governance Matters: Quality of Government within European Union Member States. *Regional Studies*, 48(1), 68-90.

Clinckemaillie, A., Decroës, A., van Aubel, G., Carrola dos Santos, S., Renard, M. E., van Cutsem, P., & Legrève, A. (2016). The novel elicitor COS-OGA enhances potato resistance to late blight. *Plant Pathology*, 66(5), 818-825.

Cook, J. C., Charudattan, R., Zimmerman, T. W., Roskopf, E. N., Stall, W. M., & MacDonald, G. E. (2009). Effects of *Alternaria destruens*, Glyphosate, and Ammonium Sulfate Individually and Integrated for Control of Dodder (*Cuscuta pentagona*). *Weed Technology*, 23(4), 550-555.

Cunningham, J. P., & Zalucki M. P. (2014). Understanding Heliothine (Lepidoptera: Heliothinae) pests: What is a host plant? *Journal of Economic Entomology*, 107(3), 881-896.

Dalinova, A. A., Salimova, D. R., & Berestetskiy, A. O. (2020). Fungi of the Genera *Alternaria* as Producers of Biological Active Compounds and Mycoherbicides. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 56(3), 256-272.

David, J. C. (1988). *A. dauci*. No. 951. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria. Commonwealth Mycological Institutue, Kew, England.

Davis, R. M. & Raid, R. N. (2002). Compendium of umbelliferous crop diseases. St. Paul (MN), USA: APS PRESS.

Dorighello, D. V., Bettiol, W., Maia, N.B., & de Campos Leite, R. M. V. B. (2015). Controlling Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) with *Bacillus spp.* And coffee oil. *Crop Protection*, 67, 59–65.

Dorman, E. A., Webster, B. J., & Hausbeck, M. K. (2009). Managing Foliar Blights on Carrot Using Copper, Azoxystrobin, and Chlorothalonil Applied According to TOM-CAST. *Plant disease*, 93(4), 402–407.

Dreosti I. E. (1993). Vitamins A, C, E and β -carotene as protective factors for some cancers. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 2 Suppl 1, 21–25.

du Toit L. J., Crowe, F. J., Derie M. L., Simmons R. B., & Pelter G. Q. (2005). Bacterial blight in carrot seed crops in the Pacific Northwest. *Plant Disease*, 89(2), 896–907.

du Toit L. J., Le Clerc V., & Briard M. (2019). Genetics and Genomics of Carrot Biotic Stress. In Simon P., Iorizzo M., Grzebelus D. & Baranski R. (Eds), *The Carrot Genome. Compendium of Plant Genomes*. Cham, CH: Springer.

Dubouzet, J. G., Maeda, S., Sugano, S., Ohtake, M., Hayashi, N., Ichikawa, T., Kondou, Y., Kuroda, H., Horii, Y., Matsui, M., Oda, K., Hirochika, H., Takatsuji, H., & Mori, M. (2011). Screening for resistance against *Pseudomonas syringae* in rice-FOX Arabidopsis lines identified a putative receptor-like cytoplasmic kinase gene that

confers resistance to major bacterial and fungal pathogens in *Arabidopsis* and rice. *Plant biotechnology journal*, 9(4), 466-485.

Duke, S. O., Owens, D. K., & Dayan, F. E. (2019). Natural Product-Based Chemical Herbicides. In Korres, N. E., Burgos, N. R., Duke, S. O., (Eds.), *Weed Control: Sustainability, Hazards, and Risks in Cropping Systems Worldwide* (pp. 153–165). Boca Raton (FL), USA: CRC Press.

Ellis, M. B. & Holliday, P. (1972). *Alternaria radicina*. No 346. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria. Commonwealth Mycological Institutue, Kew, UK.

Ellis, M. B. (1971). Dematiaceous Hyphomycetes. Surrey (UK): Kew, Commonwealth Mycological Institute.

Ellis, M. B. (1976). More Dematiaceous Hyphomycetes. Surrey (UK): Kew, Commonwealth Mycological Institute.

Fao.org, (2019). *FAOSTAT*. [online] Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> [Accessed April 24 2017].

Farrar, J. J., Pryor, B. M., & Davis, R. M. (2004). *Alternaria* Diseases of Carrot. *Plant disease*, 88(8), 776–784.

Friedrich, L., Lawton, K., Ruess, W, Masner, P., Specker, N., Gut Rella, M., Meier, B., Dincher, S., Staub, T., Uknes, S., Metraux, J. P., Kessman, R., & Ryals, J. (1996). A benzothiadiazole derivative induces systemic acquired resistance in tobacco. *The Plant Journal*, 10(1), 61-70.

Fu, D., Uauy, C., Distelfeld, A., Blechl, A., Epstein, L., Chen, X., Sela, H., Fahima, T., & Dubcovsky, J. (2009). A kinase-START gene confers temperature-dependent resistance to wheat stripe rust. *Science (New York, N.Y.)*, 323(5919), 1357-1360.

Fu, J., Liu, H., Li, Y., Yu, H., Li, X., Xiao, J., & Wang, S. (2011). Manipulating broad-spectrum disease resistance by suppressing pathogen-induced auxin accumulation in rice. *Plant physiology*, 155(1), 589–602.

Fukuoka, S., Saka, N., Koga, H., Ono, K., Shimizu, T., Ebana, K., Hayashi, N., Takahashi, A., Hirochika, H., Okuno, K., & Yano, M. (2009). Loss of function of a proline-containing protein confers durable disease resistance in rice. *Science (New York, N.Y.)*, 325(5943), 998-1001.

Furlan L. (1989). Analisi delle possibilità di riduzione dell'impiego di geodisinfe-tanti nella coltura del mais nel Veneto. *L'Informatore Agrario*, 17, 107-115.

Furlan L. (1990). Analisi della possibilità di riduzione dell'impiego dei geodisinfe-tanti nella bietola da zucchero. *L'Informatore Agrario*, 5, 73-80.

Gannibal, Ph. B. (2018). Distribution of *Alternaria* species among sections. 4. Species formerly assigned to genus *Nimbya*. *Mycotaxon*, 133(1), 37-43.

Gaube, C., Dubourg, C., Pawelec, A., Chamont, S., Blancard, D., & Briard, M. (2004). Brûlures foliaires parasitaires de la carotte: *Alternaria dauci* sous surveillance. *PHM Revue Horticole*, 454, 15-18.

- Gilardi, G., Baudino, M., Garibaldi, A., & Gullino, M. L. (2012). Efficacy of biocontrol agents and natural compounds against powdery mildew of zucchini. *Phytoparasitica*, 40(2), 147-155.
- Gilbertson, R. L. (2002). Bacterial leaf blight of carrot. In R. M. Davis & R. N. Raid (Eds.), *Compendium of umbelliferous crop diseases* (pp. 11-12). St. Paul (MN), USA: APS PRESS.
- Goby, J. P., & Gidenne, T. (2008). Nutritive value of carrot (whole plant), dried at low temperature, for the growing rabbit. In *Proc. 9th World Rabbit Congress*, Verona, IT, 2008 June, Eds Xicato, G., Trocino, A., Lukefahr, S. D., 677-682.
- Göhl, B. (1982). Les aliments du bétail sous les tropiques. FAO, Division de Production et Santé Animale, Roma, IT.
- Groves, J. W. & Skolko, A. J. (1944). Notes on seed-borne fungi; II. *Alternaria*. *Canadian Journal of Research*, 22c(5), 217-234.
- Guevara, E., Hernández, E., Arispuro, I., & Téllez, M. (2010). Cell Wall Oligosaccharine Derivatives: Biological Activity and Participation in the Response of Plant Defense. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(2), 144-155.
- Gugino, B. K., Carroll, J. E., Widmer, T. L., Chen, P., & Abawi, G. S. (2007). Field evaluation of carrot cultivars for susceptibility to fungal leaf blight diseases in New York. *Crop Protection*, 26(5), 709-714.
- Hager, T. J., & Howard, L. R. (2006). Processing Effects on Carrot Phytonutrients. *Hortscience*, 41(1), 74-79.
- Hajek, A. E. (2004). *Natural Enemies*. New York (NY), USA: Cambridge University Press.
- Hansen, S. L., Purup, S., & Christensen, L. P. (2003). Bioactivity of falcarinol and the influence of processing and storage on its content in carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of the Science of the Food and Agricultural*, 83(10), 1010-1017.
- Hardman, J. A., Ellis, P. R., & Saw, P. L. (1990). Further investigations of the host range of the carrot fly, *Psila rosae* (F.). *Annals of Applied Biology*, 117(3), 495-506.
- Hashimoto, T., & Nagayama, T. (2004). Chemical composition of ready-to-eat fresh carrot. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, 39, 324-328.
- He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual review of food science and technology*, 1(1), 163-187.
- Heywood, V. H. (1983). Relationship and evolution in the *Daucus carota* complex. *Israel Journal of Botany*, 32(2), 51-65.
- Howell, W. E., & Mink, G. I. (1977). The role of weed hosts, volunteer carrots, and overlapping growing seasons in the epidemiology of carrot thin leaf and carrot motley dwarf viruses in central Washington. *Plant Disease Reporter*, 61(3), 217-222.

- Iorizzo, M., Senalik, D. A., Ellison, S. L., Grzebelus, D., Cavagnaro, P. F., Allender, C., Brunet, J., Spooner, D. M., Van Deynze, A., & Simon, P. W. (2013). Genetic structure and domestication of carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*) (*Apiaceae*). *American Journal of Botany*, 100(5), 930-938.
- Johal, G. S., & Briggs, S. P. (1992). Reductase activity encoded by the HM1 disease resistance gene in maize. *Science (New York, N.Y.)*, 258(5084), 985-987.
- Joly, P. (1964). *Le genre Alternaria*. Paris, FR: Paul Lechevalier.
- Jones, O. T. (1979). The response of carrot fly larvae, *Psila rosae*, to components of their physical environment. *Ecological Entomology*, 4, 327-334.
- Kalt W. (2005). Effects of production and processing factor on major fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 70(1), R11-R19.
- Kammerer, D., Carle, R., & Schieber, A. (2004b). Quantification of anthocyanins in black carrot extracts (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) and evaluation of their color properties. *European Food Research and Technology*. 219, 479-486.
- Khan, F., Asif, M., Khan, A., Tariq, M., & Siddiqui, M. A. (2018). Screening of carrot cultivars against root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Indian Phytopathology*, 71(3), 415-421.
- Kidmose, U., Hansen, S. L., Christensen, L. P., Edelenbos, M., Larsen, E. and Nørbæk, R. (2004). Effects of Genotype, Root Size, Storage, and Processing on Bioactive Compounds in Organically Grown Carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food Science*, 69, S388-S394.
- Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W., & Stalpers, J. A. (2008) *Dictionary of the Fungi* (10th ed.). Wallingford, UK: CABI Publishing. pp. 22.
- Kirk, W., Hanson, L., Franc, G., Stump, W., Gachango, E., Clark, G. & Stewart, J. (2012). First report of strobilurin resistance in *Cercospora beticola* in sugar beet (*Beta vulgaris*) in Michigan and Nebraska, USA. *New Disease Reports*, 26: 3-3.
- Koike, S. T., Nuñez, J. J., & Falk, B.W. (2002). Carrot motley dwarf. In R. M. Davis & R. N. Raid (Eds.), *Compendium of umbelliferous crop diseases* (pp. 51-52). St. Paul (MN), USA: APS Press.
- Kong, J. M., Chia, L. S., Goh, N. K., Chia, T. F., & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64(5), 923-933.
- Kora, C., McDonald, M. R., & Boland, G. J. (2003). Sclerotinia Rot of Carrot: An example of phenological adaptation and bicyclic development by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Disease*, 87(5), 456-470.
- Kotecha, P. M., Desai, B. B., & Madhavi, D. L. (1998). Carrot. In Salunkhe, D. K., & Kadam, S. S. (Eds.), *Handbook of Vegetable Science and Technology-Production, Composition, Storage, and Processing* (pp. 119-135). New York (NY), USA: Macel Dekker.

- Krebs-Smith, S. M., & Kantor, L. S. (2001). Choose a variety of fruits and vegetables daily: understanding the complexities. *The Journal of nutrition*, 131(2S-1), 487S–501S.
- Kuhn, J. (1855). Über das befallen des rapses und die krankheit der mohrenblatter. *Hedwigia*, 1, 86-92.
- Kushalappa, A. C., & Gunnaiah, R. (2013). Metabolo-proteomics to discover plant biotic stress resistance genes. *Trends in Plant Science*, 18(9), 522-531.
- Lacey, L., & Shapiro-Ilan, D. (2008). Microbial control of insect pests in temperate orchard systems: Potential for incorporation into IPM*. *Annual Review of Entomology*, 53(1), 121-44.
- Lai, Z., & Mengiste, T. (2013). Genetic and cellular mechanisms regulating plant responses to necrotrophic pathogens. *Current Opinion in Plant Biology*, 16(4), 505-512.
- Laufer, B. (1919). The carrot. Sino-Iranica: Chinese contributions to the history of civilization in ancient Iran with special reference to the history of cultivated plants and products (pp. 451-454). Chicago (IL), USA: Field Museum of Natural History.
- Lawrence, D. P., Gannibal, P. B., Peever, T. L., & Pryor, B. M. (2013). The sections of *Alternaria*: formalizing species-group concepts. *Mycologia*, 105(3), 530–546.
- Lawrence, D., Rotondo, F., & Gannibal, P. (2016). Biodiversity and taxonomy of the pleomorphic genus *Alternaria*. *Mycological Progress*, 15(3), 1-22.
- Lawton, K., Friedrich, L., Hunt, M., Weymann, K., Delany, T., Kessman, H., Staub, T. & Ryals, J. (1996). Benzothiadiazole induces disease resistance in *Arabidopsis* by activation of the systemic acquired resistance signal transduction pathway. *The Plant journal: for cell and molecular biology*, 10(1), 71-82.
- Lecomte, M., Hamama, L., Voisine, L., Gatto, J., Helesbeux, J-J., Seraphin, D., Peña-Rodriguez, L. M., Richomme, P., Boedo, C., Yovanopoulos, C., Gyomlai, M., Briard, M., Simoneau, P., Poupard, P., & Berruyer, R. (2014). Partial resistance of carrot to *Alternaria dauci* correlates with in vitro cultured carrot cell resistance to fungal exudates. *PLoS One*, 9, e101008.
- Leyronas, C., Troulet, C., Duffaud, M., Villeneuve F., Benigni M., Leigne S. & Nicot P. C. (2018). First report of *Sclerotinia subarctica* in France detected with a rapid PCR-based test. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(2), 248-253.
- Malandrakis, A., Markoglou, A., Nikou, D., Vontas, J., & Ziogas, B. (2006). Biological and molecular characterization of laboratory mutants of *Cercospora beticola* resistant to Qo inhibitors. *European Journal of Plant Pathology*, 116(2), 155-166.
- Maringoni, A. C., Baldini, L. F. G., Demantl, A. R., Evangelista, R. M., & Fujita, E. (2012). Ação de fungicidas no controle da queima das folhas e nas características físico-químicas da cenoura cv. Nantes. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande*, 14(2), 161-165.

- Markets and Markets (2020). Biopesticides Market by Type (Bioinsecticides, Biofungicides, Bionematicides, and Bioherbicides), Source (Microbials, Biochemicals, and Beneficial Insects), Mode of Application, Formulation, Crop Application, and Region - Global Forecast to 2025. Report Code: AGI 2716. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/biopesticides-267.html> [Accessed March 18 2021]
- Milosavljević, A., Pfaf-Dolovac, E., Mitrović, M., Jović, J., Toševski, I., Duduk, N., & Trkulja, N. (2014). First report of *Cercospora apii*, causal agent of Cercospora early blight of celery, in Serbia. *Plant Disease*, 98, 1157.
- Mitkowski, N. A., & Abawi, G. (2003). Root-knot nematodes. The Plant Health Instructor.
- Miya, A., Albert, P., Shinya, T., Desaki, Y., Ichimura, K., Shirasu, K., Narusaka, Y., Kawakami, N., Kaku, H., & Shibuya, N. (2007) CERK1, a LysM receptor kinase, is essential for chitin elicitor signaling in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104(49), 19613-19618.
- Morel d'Arleux, F. (1990). Les sous-produits en alimentation animale. Réseau national Expérimentation Démonstration (RNED), ITEB.
- Muehleisen, D., Bary, A., Cogger, C., Miles, C., Johnson, A., Ostrom, M., & Carkner, T. (2003). Managing carrot rust fly: In search of alternatives for a tough costumer. *Agrichemical and Environmental News*, 203, 1-9.
- Muller, P. G., Pigden, W. J. & Graham, W. W. (1984). Economic, nutritional and physiological evaluation of feeding food processing waste products to farm livestock. Ottawa (CA): Agriculture Canada.
- Neergaard, P. (1945). Danish Species of *Alternaria* and *Stemphylium*. London (UK): Oxford University Press. pp. 559.
- Nees von Esenbeck C. G. (1816). *Das system der pilze und schwämme*. Wurzburg (DE): In der Stahelschen buchhandlung.
- Neuweiler, K. (1931). Die Pflanzenreste aus dem spatbronzezeitlichen pfahlbau "sumpf" bei Zug. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 76, 116-132.
- Niere, J. O., Deangelis, G. G., & Grant, B. R. (1994). The effect of phosphonate on the acid-soluble phosphorus components in the genus *Phytophthora*. *Microbiology*, 140, 1661-1670.
- Nikoo, K., Zamanizadeh, H., Morid, B., Taheri, H., & Hajmansor, S. (2012). Study on pathogenic and genetic diversity of *Alternaria alternata* isolated from citrus hybrids of Iran, based on RAPD-PCR technique. *European Journal of Experimental Biology*, 2, 570-576.
- Palti, J. (1975). *Erysiphaceae* affecting Umbelliferous crops, with special reference to Carrot, in Israel. *Phytopathologia Mediterranea*, 14(2-3), 87-93.

- Parker, W. E., & Howard, J. J. (2001). The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the U.K. *Agricultural and Forest Entomology*, 3, 85-98.
- Patkowska, E., Mielniczuk, E., Jamiólkowska, A., Skwaryło-Bednarz, B., & Błażewicz-Woźniak, M. (2020). The Influence of *Trichoderma harzianum* Rifai T-22 and Other Biostimulants on Rhizosphere Beneficial Microorganisms of Carrot. *Agronomy*, 10(11), 1637.
- Pawelec, A., Dubourg, C., & Briard, M. (2006). Evaluation of carrot resistance to alternaria leaf blight in controlled environments. *Plant Pathology*, 55, 68-72.
- Peever, T., Su, G., Carpenter-Boggs, L., & Timmer, L. (2004). Molecular systematics of citrus-associated *Alternaria* species. *Mycologia*, 96, 119-134.
- Pfleger, F. L., Harman, G. E., & Marx, G. A. (1974). Bacterial blight of carrots: interaction of temperature, light, and inoculation procedures on disease development of various carrot cultivars. *Phytopathology*, 64, 746-749.
- Poland, J. A., Balint-Kurti, P. J., Wisser, R. J., Pratt, R. C., & Nelson, R. J. (2009). Shades of gray: the world of quantitative disease resistance. *Trends in plant science*, 14(1), 21-29.
- Poplawsky, A. R., Robles, L., Chun, W., Derie, M. L., du Toit, L. J., Meng, X. Q., & Gilbertson, R. L. (2004). Identification of a *Xanthomonas* pathogen of coriander from Oregon USA. (Abstr.) *Phytopathology* 94, S85.
- Pryor, B. M., & Gilbertson, R. L. (2002). Relationships and taxonomic status of *Alternaria radicina*, *A. carotiincultae*, and *A. petroselini* based upon morphological, biochemical, and molecular characteristics. *Mycologia*, 94(1), 49-61.
- Pryor, B. M., Strandberg, J. A., Davis, R. M., Nunez, J. J., & Gilbertson, R. L. (2001). Survival and persistence of *Alternaria dauci* in carrot cropping systems. *Plant Disease*, 86, 1115-1122.
- Raid, R. N. (2002). Cercospora leaf blight of carrot. In R. M. Davis & R. N. Raid (Eds.), *Compendium of umbelliferous crop diseases* (pp. 18). St. Paul (MN), USA: APS Press.
- Ravikumar, M. R., Harish, D. K., Kumara, B. H., & Kumar, A. (2020). Evaluation of Pre-mix Fungicide, Fluopyram and Trifloxystrobin 250SC against Purple Blotch Disease of Onion in Karnataka. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(8), 44-50.
- Roberts, C. J., Nelson, B., Marton, M. J., Stoughton, R., Meyer, M. R., Bennett, H. A., He, Y. D., Dai, H., Walker, W. L., Hughes, T. R., Tyers, M., Boone, C., & Friend, S. H. (2000). Signaling and circuitry of multiple MAPK pathways revealed by a matrix of global gene expression profiles. *Science (New York, N.Y.)*, 287(5454), 873-880.
- Roberts, P. (1987). The influence of planting date of carrot on *Meloidogyne incognita* reproduction and injury to roots. *Nematologica*, 33, 335-342.

- Roberts, R. G., Bischoff, J. F. & Reymond, S. T. (2012). Differential gene expression in *Alternaria gaisen* exposed to dark and light. *Mycol Progress* 11, 373–382.
- Rotem, J. (1994). *The Genus Alternaria: Biology, Epidemiology, and Pathogenicity*. St. Paul (MN), USA: APS Press.
- Rubatzky, V. E. (2002). Origin and domestication of carrot. In R. M. Davis & R. N. Raid (Eds.), *Compendium of umbelliferous crop diseases* (pp. 1-3). St. Paul (MN), USA: APS Press.
- Rubatzky, V. E., Quiros, C. F., & Simon, P.W. (1999). *Carrots and Related Vegetable Umbelliferae*. New York (NY), USA: CABI Publishing.
- Saenz Lain, C. 1981. Research on *Daucus* L. (*Umbelliferae*). *Anales del Instituto Botanico A.J. Cavanilles*, 37, 481-534.
- Sanders, P., Houser, W. J., & Cole, H., Jr. (1983). Control of *Pythium* spp. and Pythium blight of turfgrass with fosetyl aluminum. *Plant Disease*, 67,1382-1383.
- Schweizer, P., & Stein, N. (2011). Large-scale data integration reveals colocalization of gene functional groups with meta-QTL for multiple disease resistance in barley. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 24(12), 1492-1501.
- Shabana, Y. M., Charudattan, R., & Elwakil, M. A. (1995). Evaluation of *Alternaria eichhorniae* as a bioherbicide for Waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Greenhouse Trials. *Biological Control*, 5(2), 136-144.
- Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot-a review. *Journal of food science and technology*, 49(1), 22-32.
- Shtienberg, D., & Dreishpoun, J. (1991). Suppression of *Alternaria* leaf spot in Pima cotton by systemic fungicides. *Crop Protection*, 10(5), 381- 385.
- Shtienberg, D., Blatchinsky, D., Kremer, Y., Ben-Hador, G., & Dinoor, A. (1995). Integration of genotype and age-related resistance to reduce fungicide use in the management of *Alternaria* diseases of cotton and potatoes. *Phytopathology*, 85(9), 995-1002.
- Shtienberg, D., Kremer, Y., & Dinoor, A. (1993). Influence of physiological age of Pima cotton on need for fungicide treatment to suppress *Alternaria* leaf spot. *Phytopathology* 83(11), 1235-1239.
- Shtienberg, D., Vintal, H., Brener, S., & Retig, B. (2000). Rational Management of *Didymella rabiei* in Chickpea by Integration of Genotype Resistance and Postinfection Application of Fungicides. *Phytopathology*, 90(8), 834-842.
- Simmons, E. G. (1995). *Alternaria* themes and variations (112-144). *Mycotaxon*, 55, 55-163.
- Simmons, E. G. (2007). *Alternaria: an identification manual* (CBS Biodiversity Series 6). Utrecht, NL: CBS Fungal Biodiversity Centre.

- Small, E. (1978). A numerical taxonomic analysis of the *Daucus carota* complex. *Canadian Journal of Botany*, 56(3), 248-276.
- Somma, S., Pose, G., Pardo, A., Mulè, G., Pinto, V. F., Moretti, A., & Logrieco, A. F. (2011). AFLP variability, toxin production, and pathogenicity of *Alternaria* species from Argentinean tomato fruits and puree. *International journal of food microbiology*, 145(2-3), 414-419.
- Spassieva, S. D., Markham, J. E., & Hille, J. (2002). The plant disease resistance gene Asc-1 prevents disruption of sphingolipid metabolism during AAL-toxin-induced programmed cell death. *The Plant journal : for cell and molecular biology*, 32(4), 561-572.
- Speizer, F. E., Colditz, G. A., Hunter, D. J., Rosner, B., & Hennekens, C. (1999). Prospective study of smoking, antioxidant intake, and lung cancer in middle-aged women (USA). *Cancer Causes & Control: CCC*, 10(5), 475-482.
- Spencer, D. M. (1978). *The powdery mildews*. London (GB); New York (US): Academic Press.
- Stehmann, C., & Grant, B. R. (2000). Inhibition of Enzymes of the Glycolytic Pathway and Hexose Monophosphate Bypass by Phosphonate. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 67(1), 13-24.
- Stewart, J. E., Thomas, K. A., Lawrence, C. B., Dang, H., Pryor, B. M., Timmer, L. M., & Peever, T. L. (2013). Signatures of recombination in clonal lineages of the citrus brown spot pathogen, *Alternaria alternata* sensu lato. *Phytopathology*, 103, 741-749.
- Strandberg, J. (1983). Infection and colonization of inflorescences and mericarps of carrot by *Alternaria dauci*. *Plant Disease*, 67, 1351-1353.
- Tay, W. T., Soria, M. F., Walsh, T., Thomazoni, D., Silvie, P., Behere, G. T., Anderson, C., & Downes, S. (2013). A Brave New World for an Old World Pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *PLOS ONE* 8(11): e80134.
- Thomma, B. P. H. J. (2003). *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite. *Molecular Plant Pathology*, 4(2), 225-236.
- Töfoli, J. G., Domingues, R. J., Jacobelis, W., Tortolo, M. P. L. (2016). Fluxapiraxade associado à piraclostrobina um novo aliado para o manejo de doenças fúngicas em cultivos de hortaliças, frutíferas e ornamentais. *Biológico, São Paulo*, 78, (1), 1-11.
- van Aubel, G., Raffael, B., & van Cutsem, P., (2014). COS-OGA: A novel oligosaccharidic elicitor that protects grapes and cucumbers against powdery mildew. *Crop Protection*, 65, 129-37.
- Vernon R. S., Lagasa, E. & Philip, H. (2001). Geographic and temporal distribution of *Agriotes obscurus* and *A. lineatus* (Coleoptera: Elateridae) in British Columbia and Washington as determined by pheromone trap surveys. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 98, 257-265.

- Vernon, R. S. & van Herk, W. G. (2013). Wireworms as pests of potato. In P. Giordanengo, C. Vincent & A. Alyokhin (Eds.), *Insect Pests of Potato: Global Perspectives on Biology and Management* (pp. 103-164). Waltham, (MA), USA Academic Press, Elsevier.
- Vintal, H., Ben-Noon, E., Shlevin, E., Yermiyahu, U., Shtienberg, D., & Dinoor, A. (1999). Influence of rate of soil fertilization on alternaria leaf blight (*Alternaria dauci*) in carrots. *Phytoparasitica*, 27, 193-200.
- Vivek, B. S., & Simon, P. W. (1998). Genetic Relationships and Diversity in Carrot and other *Daucus* Taxa Based on Nuclear Restriction Fragment Length Polymorphisms. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(6), 1053-1057.
- Vulsteke, G., Meeus, P., Dejonckheere, W., Callewaert, D., & Van Oost, N. (1996). Control of powdery mildew (*Erysiphe heraclei*, DC.) and leaf blight (*Alternaria dauci* (Kühn) Groves & Skolko) in carrots / Bekämpfung der Blattfleckenkrankheiten (*Erysiphe heraclei* und *Alternaria dauci*) in Möhren. Zeitschrift Für Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz. Zeitschrift Fur Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz - *Journal of Plant Diseases and Protection*, 103(5), 488-494.
- Walkowiak-Tomczak, D., & Czapski, J. (2007). Colour changes of a preparation from red cabbage during storage in a model system. *Food Chemistry*, 104(2), 709-714.
- Walz, A., Zingen-Sell, I., Loeffler, M., & Sauer, M. (2008). Expression of an oxalate oxidase gene in tomato and severity of disease caused by *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant pathology*, 57, 453-458.
- Waterhouse, P. M. (1985). Isolation and identification of carrot red leaf virus from carrot and dill growing in the Australian Capital Territory. *Australasian Plant Pathology*, 14(2), 32-34.
- Waterhouse, P. M., & Murrant, A. F. (1983). Further evidence on the nature of the dependence of carrot mottle virus on carrot red leaf virus for transmission by aphids. *Annals of Applied Biology*, 103, 455-464.
- Watson, A. (2015). Managing carrot powdery mildew. *Australasian Plant Pathology*, 45(1), 29-35.
- Watson, M. T., & Sarjeant, E. P. (1964). The effect of motley dwarf virus on yield of carrots and its transmission in the field by *Cavariella aegopodiae* Scop. *Annals of Applied Biology*, 53(1), 77-93.
- Watson, M. T., Tian, T., Estabrook, E., & Falk, B. W. (1998). A small RNA resembling the beet western yellows luteovirus ST9-associated RNA is a component of the California carrot motley dwarf complex. *Phytopathology*, 88(2), 164-170.
- Wojciechowski, M., Milewski, S., Mazerski, J., & Borowski, E. (2005). Glucosamine-6-phosphate synthase, a novel target for antifungal agents. Molecular modelling studies in drug design. *Acta biochimica Polonica*, 52(3), 647-653.

Woudenberg, J. H. C., Groenewald, J. Z., Binder, M., & Crous, P. W. (2013). *Alternaria* redefined. *Studies in mycology*, 75(1), 171-212.

Woudenberg, J. H., Truter, M., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. (2014). Large-spored *Alternaria* pathogens in section *Porri* disentangled. *Studies in mycology*, 79, 1-47.

Zheng, L., Lv, R., Huang, J., Jiang, D., & Hsiang, T. (2010). Isolation, Purification, and Biological Activity of a Phytotoxin Produced by *Stemphylium solani*. *Plant disease*, 94(10), 1231-1237.

Zheng, Z., Qamar, S. A., Chen, Z., & Mengiste, T. (2006), Arabidopsis WRKY33 transcription factor is required for resistance to necrotrophic fungal pathogens. *The Plant Journal*, 48, 592-605.

Ολύμπιος Χ.Μ. (2015). Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Υπαίθριων Κηπευτικών. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Παναγόπουλος Χ. Γ. (1995). Ασθένειες κηπευτικών καλλιεργειών. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Τζάμος Κ. Ε. (2007). Φυτοπαθολογία. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, σελ. 259-278.