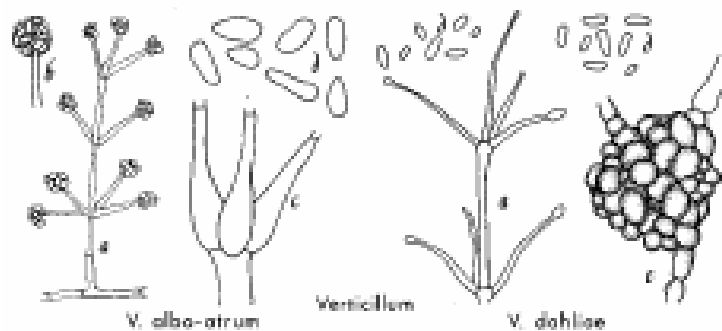


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ



«Η ΒΕΡΤΙΣΙΛΛΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ»

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΣΙΑΝΤΟΥΛΑ ΕΙΡΗΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2007

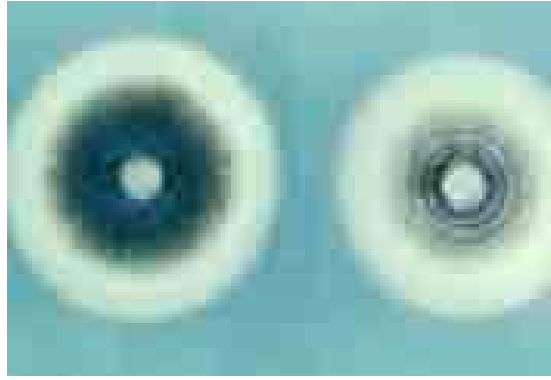
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	3
1. Ταξινόμηση και σημασία των φυτοπαθογόνων ειδών μυκήτων του γένους <i>Verticillium</i> . Τρόποι διάκρισής τους.....	3
2. Φάσμα ξενιστών του <i>V. dahliae</i> και <i>V. albo-atrum</i>	8
3. Συμπτώματα.....	9
4. Απώλειες από τη Βερτισιλλίωση των καλλιεργούμενων φυτών.....	19
5. Εξειδίκευση ως προς τον ξενιστή διαφόρων απομονώσεων του μύκητα <i>V. dahliae</i>	21
6. Γεωγραφική εξάπλωση των Βερτισιλλίωσεων.....	22
7. Βιολογία – Επιδημιολογία.....	24
7. Επίδραση διαφόρων παραγόντων στις μολύνσεις των ξενιστών και την εξέλιξη της ασθένειας.....	28
7.1. Θερμοκρασία.....	28
7.2. Φως.....	30
7.3. Υγρασία.....	32
7.4. Δυναμικό του μολύσματος.....	32
7.5. Βιοτικοί παράγοντες.....	33
7.6. Τρόποι εξάπλωσης του παθογόνου.....	34
7.7. Βιολογικός κύκλος του μύκητα <i>V. dahliae</i>	36
8. Τρόποι αντιμετώπισης	36
8.1. Καλλιέργεια ανθεκτικών γενοτύπων	37
8.2. Απολύμανση εδάφους (Χημική, ηλιοαπολύμανση).....	39
8.2.1 Χημική απολύμανση του εδάφους.	39
8.2.2. Ηλιοαπολύμανση του εδάφους.....	41
8.2.3. Ηλιοαπολύμανση του εδάφους (soil solarization, solar heating).....	43
8.2.4. Βασικές αρχές της ηλιοαπολύμανσης.....	47
8.2.5. Μηχανισμοί δράσεως της ηλιοαπολύμανσης στην αντιμετώπιση εδαφογενών φυτοπαθογόνων.....	49
8.3. Χημική αντιμετώπιση (χρήση φυτοφαρμάκων).....	57
8.4. Αμειψισπορά.....	59
8.5. Εφαρμογή κατάλληλων καλλιεργητικών φροντίδων.....	60
8.6. Αξιολόγηση και χρησιμοποίηση βιολογικών εχθρών.....	65
Βιβλιογραφία.....	69

Εισαγωγή

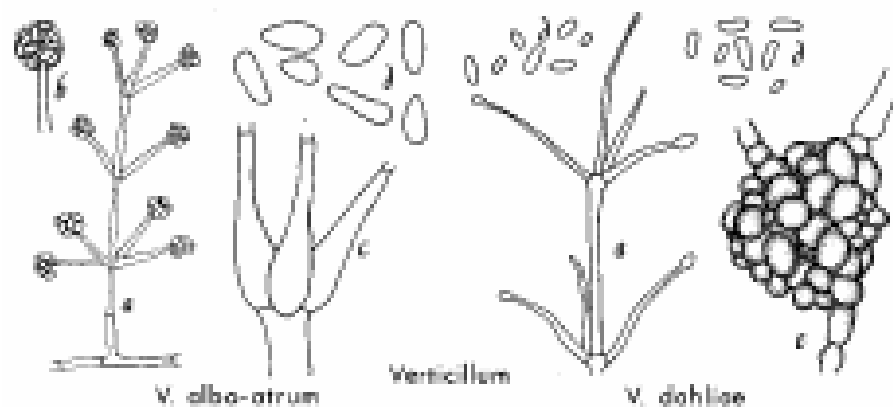
1. Ταξινόμηση και σημασία των φυτοπαθογόνων ειδών μυκήτων του γένους *Verticillium*. Τρόποι διάκρισής τους

Οι μύκητες του γένους *Verticillium*, ανήκουν στην κλάση Adelomycetes, στην τάξη Moniliales (=Hyphomycetes) και στην οικογένεια Molniliaceae. Τα είδη με τη μεγαλύτερη φυτοπαθολογική σημασία είναι τα *V. dahliae* Kleb. και *V. alboartum* Reinke & Berth. Οι εν λόγω μύκητες καλλιεργούμενοι σε θρεπτικό υλικό εμφανίζουν λευκές, βαμβακώδεις αποικίες (Βλέπε εικόνα 1) που αναπτύσσονται αργά, εμφανίζονται υπόλευκες μετά από μία εβδομάδα περίπου και αργότερα μπορεί να γίνονται μαύρες λόγω σχηματισμού των μικροσκληρωτίων. Το μυκήλιο είναι υαλώδες, οι κονιδιοφόροι υαλώδεις με 2-3 σπονδύλους, που καθένας τους έχει 2-4 ατρακτοειδείς κλάδους (Βλέπε εικόνες 2, 3 και 4). Κάθε κλάδος καταλήγει σε φιαλίδιο που περιέχει πολυάριθμα φιαλιδοκονίδια (Παναγόπουλος, 1995). Τα φιαλίδια έχουν διάφορα σχήματα και μερικές φορές, είναι δευτερογενώς διακλαδισμένα. Τα κονίδια είναι μονοκύτταρα υαλώδη, ενώ το σχήμα τους είναι ωοειδές επίμηκες νεφροειδές ή ελλειψοειδές, διαστάσεων 2,5-10,5 × 1,4-4μ. περίπου. Ο *V. dahliae* σχηματίζει μικροσκληρώτια (MS) ή ψευδοσκληρώτια (Βλέπε εικόνα 5). Το μικροσκληρώτιο σχηματίζεται από διαφοροποίηση συναφών υφών ή μίας υφής σε όλες τις κατευθύνσεις (Λιγοξυγκάκης, 1998). Τα μικροσκληρώτια έχουν παχιά κυτταρικά τοιχώματα, σκοτεινό καφέ μέχρι μαύρο χρώμα πολύ μεταβλητό σχήμα και μέγεθος και είναι συνήθως επιμηκυσμένα έως ακανόνιστα σφαιρικά, με διάμετρο 15-50 (100)μ. περίπου. Ο *V. albo-atrum* αντί για μικροσκληρώτια σχηματίζει σκοτεινόχρωμο διατηρητικό μυκήλιο (dark resting mycelium) (DM), που οι υφές του είναι παχύτερες από τις συνήθεις μυκηλικές υφές. Οι δύο τύποι διατηρητικών οργάνων διακρίνονται ως εξής, **α)** Διατηρητικό μυκήλιο: Μάζες σκοτεινών υφών με παχιά τοιχώματα, πολυάριθμα εγκάρσια τοιχώματα και βοτρυόμορφη εμφάνιση που θυμίζουν κάπως γλαμυδοσπόρια. **β)** Μικροσκληρώτια: Μονοκύτταρα όργανα με παχιά τοιχώματα που μοιάζουν με ιστό και προκύπτουν από τη διαδικασία της διαφοροποίησης των υφών.



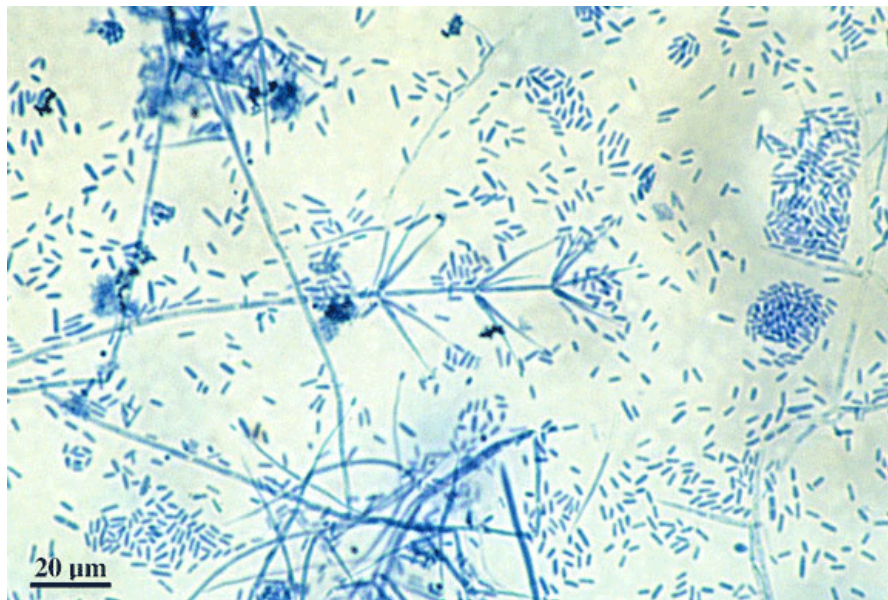
Εικόνα 1: Αποικία σε θρεπτικό υλικό του μύκητα *Verticillium dahliae*. Διακρίνουμε το άσπρο μυκήλιο και τον σχηματισμό μικροσκληρωτίων.

Είδη του γένους *Verticillium* είναι υπεύθυνα για μερικές από τις σπουδαιότερες ασθένειες που προσβάλλουν τα λαχανικά, τις μεγάλες καλλιέργειες, τις δενδρώδεις καλλιέργειες και τα καλλωπιστικά (Παναγόπουλος, 1995). Τα είδη που αναφέρονται είναι δύο: *V. albo-atrum* Reinke & Berth., *V. dahliae* Kleb., και είναι εδαφογενή. Τα *V. albo-atrum* και *V. dahliae* προκαλούν αδρομυκώσεις στα φυτά και προξενούν τις σοβαρότερες απώλειες. Ο *V. albo-atrum* αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 1879 σε ασθενή φυτά πατάτας (*Solanum tuberosum* L.) στη Γερμανία. Ο *V. Dahliae* αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 1913 σε ασθενή φυτά ντάλιας (*Dahlia rosea* Cav.) στη Γερμανία (Λιγοξυγκάκης, 1998).



Εικόνα 2: κονίδια, κονιδιοφόροι και μικροσκληρώτιο του μύκητα *V. dahliae*.

Στη διεθνή βιβλιογραφία πολλές φορές παρατηρείται σύγχυση στην ταξινόμηση των ειδών *V. dahliae* και *V. albo-atrum*. Η σύγχυση προκαλείται από το ερώτημα εάν ο *V. dahliae* είναι ένα ξεχωριστό είδος ή θα έπρεπε να συμπεριληφθεί στο είδος *V. albo-atrum*. Η πιο χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ των εν λόγω ειδών είναι ο τύπος των οργάνων διατήρησής τους: Ο *V. dahliae* σχηματίζει μικροσκληρώτια, ενώ ο *V. albo-atrum* σχηματίζει σκοτεινόχρωμο μυκήλιο. Παρόλα όμως αυτά, και τα δύο είδη μπορεί να μη σχηματίζουν όργανα διατήρησης, αλλά μόνο αποικίες (hyaline strains) που είναι μορφολογικά όμοιες. Γι' αυτό, μερικοί φυτοπαθολόγοι υποστηρίζουν ότι, ασχέτως αν οι μύκητες *V. dahliae* και *V. albo-atrum* παράγουν μικροσκληρώτια ή διατηρητικό μυκήλιο αντίστοιχα, είναι μέλη του είδους *V. albo-atrum*. Αντίθετα, άλλοι υποστηρίζουν ότι η μορφή των οργάνων διατήρησης είναι κριτήριο διάκρισης των εν λόγω ειδών. Σήμερα έχει επικρατήσει το DM και MS για τη διάκριση του *V. albo-atrum* από το *V. dahliae*, όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 3: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο κονιδιοφόρων και κονιδίων του μύκητα *V. dahliae*.



Εικόνα 4: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο κονιδιοφόρων του μύκητα *V. dahliae*.

Γενικά η διάκριση των *V. dahliae* και *V. albo-atrum*, σε καθαρή καλλιέργεια, μπορεί να γίνει από τη μορφολογία των αποικιών τους. Οι αποικίες στο *V. dahliae* παράγουν μικροσκληρώτια και εμφανίζονται εντελώς μαύρες όταν η επώαση γίνεται σε θερμοκρασία 30 °C ενώ δεν σχηματίζουν σκοτεινόχρωμο διατηρητικό μυκήλιο. Επίσης, το συνεχές φως (24 h/ημέρα) εμποδίζει την ανάπτυξη σκούρου διατηρητικού μυκηλίου του *V. albo-atrum*, ενώ ευνοεί την παραγωγή των μικροσκληρωτίων του *V. dahliae* (Λιγοξυγκάκης, 1998).



Εικόνα 5: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο μικροσκληρωτίου του μύκητα *V. dahliae*.

Περαιτέρω μορφολογικές διαφορές εμφανίζονται και μεταξύ απομονώσεων του *V. dahliae*. Για παράδειγμα, ο *V. dahliae* var. *longisporum* Stark, που απομονώθηκε από το σταυρανθές *Armoracia rusticana*, είχε διπλάσιο μήκος κονιδίων απ' ό,τι το τυπικό *V. dahliae*. Η διαφορά του μήκους των κονιδίων της παραπάνω φυλής επιβεβαιώθηκε σε καλλιέργειες διάρκειας μεγαλύτερης των 12 μηνών στο εργαστήριο (Λιγοξυγκάκης, 1998). Διπλοειδείς απομονώσεις του *V. dahliae* προσβάλλουν συνήθως τα σταυρανθή. Επίσης, απομονώσεις του *V. dahliae* από διάφορα είδη σταυρανθών που καλλιεργούνται στην Ισπανία, διακρίνονται από απομονώσεις του μύκητα από άλλους ξενιστές επειδή έχουν μακρύτερα κονίδια, περισσότερα κονίδια ανά κονιδοφόρο και αραιότερα μικροσκληρώτια ακανόνιστου σχήματος. Οι απομονώσεις του μύκητα από διάφορα είδη σταυρανθών ονομάστηκαν στελέχη των σταυρανθών (*crucifer str.*) και είναι όμοιες με όλα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά με τις διπλοειδείς ευρωπαϊκές απομονώσεις του *V. dahliae* var. *longisporum*. Θα πρέπει να υπογραμμισθεί ότι πρόσφατα αναφέρθηκε η ύπαρξη ενός νέου είδους του *V. longisporum*, που ονομάστηκε *V. longisporum* comb. nov. και προσβάλλει την ελαιοκράμβη (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Η διάκριση των *V. dahliae* και *V. albo-atrum* μπορεί να βασισθεί εκτός από μορφολογικά και σε φυσιολογικά ή φυσιοπαθολογικά στοιχεία. Τέτοια στοιχεία είναι το φάσμα των ξενιστών, η παθογόνος ικανότητα των στελεχών σε πολλούς ξενιστές, οι διαφορές στην ανάπτυξή τους σε θρεπτικό μέσο με διαφορετικό pH ή διάφορες πηγές άνθρακα ή μέσο που δεν περιέχει άζωτο ή σε ειδικό υπόστρωμα. Επίσης, οι διαφορές στα ηλεκτροφορητικά πρωτεϊνικά τους πρότυπα, στα ηλεκτροφορητικά ενζυμικά τους πρότυπα, στα πρότυπα RFLPs και στα πρότυπα RAPD-PCR. Από φυσιολογικής πλευράς, τα δύο είδη μπορούν να διακριθούν με βάση την ανθεκτικότητά τους στο υπεριώδες φως και στην επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξή τους. Τα δύο είδη έχουν διαφορετική ανθεκτικότητα στο υπεριώδες φως: το *V. albo-atrum* είναι πολύ ευαίσθητο, ενώ το *V. dahliae* είναι σχετικά ανθεκτικό. Γενικά, η ανάπτυξη απομονώσεων άγριου τύπου του σκούρου διαχειμάζοντος μυκηλίου μειώνεται

απότομα πάνω από τους 23-24 °C, ενώ του μικροσκληρωτιακού τύπου πάνω από τους 28-29 °C (Λιγοξυγκάκης, 1998).

2. Φάσμα ξενιστών του *V. dahliae* και *V. albo-atrum*

Ο *V. dahliae* είναι ένα από τα σπουδαιότερα παθογόνα του αγγειακού συστήματος των ανώτερων φυτών προκαλώντας αδρομυκώσεις σε περισσότερα από 250 είδη φυτών. Μεγάλος αριθμός γενών και ειδών διαφόρων φυτών προσβάλλονται από το *V. dahliae*, συμπεριλαμβανομένων ειδών των οικογενειών Solanaceae, Malvaceae, Asteraceae (συν. Compositae), Convolvulaceae, Fabaceae (συν. Leguminosae), Chenopodiaceae, Labiatae και Poaceae (συν. Gramineae).

Ο *V. dahliae* έχει ευρύτατο φάσμα ξενιστών, στους οποίους περιλαμβάνονται λαχανοκομικά, ανθοκομικά και φυτά μεγάλης καλλιέργειας, καθώς και δενδρώδη και πλήθος αυτοφυών. Μεταξύ των λαχανοκομικών ειδών που προσβάλλονται συνήθως από το μύκητα, περιλαμβάνονται: τομάτα, πατάτα, μελιτζάνα, πιπεριά, μπάμια, αγγουριά, πεπονιά, καρπουζιά, κολοκυθιά, αντίδι, ραδίκι, τεύτλο, ραπάνι, φασόλι, αγκινάρα κ.ά. Άλλοι ξενιστές μεταξύ των λαχανοκομικών φυτών, που όμως σπάνια προσβάλλονται, είναι τα: μαρούλι, γογγύλι, λάχανο Βρυξελλών, κουνουπίδι, μπρόκολο, κολοράμπι (kohlrabi), σινάπι, σπανάκι, μπιζέλι, φασόλι, κρεμμύδι, σκόρδο, πράσο, σπαράγγι, μαϊντανός, σέλινο κ.ά. (Sherf & MacNab, 1986). Οι αδρομυκώσεις των δενδροκομικών καλλιεργειών προκαλούνται από το μύκητα *V. dahliae*. Διάφορα είδη αυτοφυών φυτών είναι ευπαθείς ξενιστές του *V. dahliae*.

Ο μύκητας είναι ικανός να επιβιώνει σε μερικά είδη καλλιεργούμενων και αυτοφυών φυτών που είναι ασυμπτωματικά. Είδη της οικογένειας Poaceae (συν. Gramineae) έχουν αναφερθεί ως ξενιστές ή ασυμπτωματικοί φορείς του *V. dahliae* και *V. albo-atrum* ενώ παλιότερα εθεωρούνταν ότι ανήκουν στα ανθεκτικά είδη (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Ο *V. dahliae* είναι το κυριότερο παθογόνο των ετήσιων καλλιεργειών της χώρας μας. Στις δενδροκομικές καλλιέργειες της χώρας μας ο *V. dahliae* έχει αναφερθεί ότι είναι ο αποκλειστικός υπεύθυνος της προσβολής τους.

Συγκεκριμένα, ο μύκητας έχει απομονωθεί στη χώρα μας από τα ακόλουθα έξι δενδρώδη είδη: βερικοκιά, ελιά, φιστικιά, αμυγδαλιά, ροδακινιά και δαμασκηνιά (Λιγοξυγκάκης, 1998)

3. Συμπτώματα

Τα συμπτώματα της Βερτισιλλίωσης μερικές φορές μπορεί να συγχέονται με τα συμπτώματα των φουζαριώσεων, των αδροβακτηριώσεων και των ασθενειών του ριζικού συστήματος (σηψιρριζίες, ασφυξία λόγω κατάκλυσης κ.ά.) της έλλειψης υγρασίας και ζημιών από ζιζανιοκτόνα. Όμως οι μύκητες του γένους *Fusarium* δεν προκαλούν αδρομυκώσεις στα καρποφόρα δέντρα και στο αμπέλι. Γι' αυτό, οι αδρομυκώσεις των δενδρωδών (πυρηνόκαρπα, φιστικιά, ελιά κ.ά.) και του αμπελιού οφείλονται αποκλειστικά σε μύκητες του γένους *Verticillium* (Παναγόπουλος, 1993).

Τα συμπτώματα της Βερτισιλλίωσης είναι πάρα πολύ όμοια στους διάφορους ξενιστές. Στο σύνδρομο των συμπτωμάτων περιλαμβάνονται ένα ή περισσότερα από τα εξής: επιναστία φύλλων, μαρασμός, νεκρωτικές κιτρινοκάστανες κηλίδες που καταλήγουν σε νέκρωση και πτώση των φύλλων, καστανός μεταχρωματισμός των αγγείων του ξύλου και νανισμός.

Στα κηπευτικά, το πρώτο συμπτώματα είναι παροδικός μαρασμός των φύλλων. Το επόμενο σύμπτωμα είναι κιτρινοκάστανες μεσονεύριες κηλίδες στα κατώτερα φύλλα, που στη συνέχεια γίνονται νεκρωτικές. Η κίτρινη αυτή κηλίδωση των φύλλων διαφοροποιεί συχνά τη Βερτισιλλίωση από τη Φουζαρίωση στην τομάτα, μελιτζάνα και πατάτα. Σε προχωρημένα στάδια της ασθένειας παρατηρείται αποφύλλωση και μονόπλευρη ξήρανση των φυτών (ημιπληγία). Διακρίνεται επίσης ελαφρώς καστανός έως μαύρος μεταχρωματισμός των αγγείων του ξύλου (Βλέπε εικόνες 6, 7, 8 και 9). Ο μαρασμός των φύλλων μπορεί να προχωρά προς τα πάνω στο φυτό και τελικά να παραμένουν λίγα μόνο υγιή φύλλα στις κορυφές των βλαστών (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Συμπτώματα μπορεί να εμφανισθούν σε κάθε στάδιο ανάπτυξης ενός λαχανοκομικού φυτού, όμως τα χαρακτηριστικά συμπτώματα εμφανίζονται

συνήθως μετά την καρπόδεση. Στη μελιτζάνα τα πρώτα συμπτώματα της προσβολής εμφανίζονται συνήθως 6-8 εβδομάδες μετά τη φύτευση. Στην τομάτα, το διάστημα από την εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων μέχρι τη νέκρωση των φυτών μπορεί να είναι 3-4 εβδομάδες και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Όμως η Βερτισιλλίωση σπανίως προκαλεί νέκρωση των φυτών της τομάτας. Σε προχωρημένα στάδια, τα προσβλημένα φυτά παρουσιάζουν νανισμό και διατηρούν μερικά φύλλα που είναι χλωρωτικά ή νεκρωμένα. Αρχικά, τα φυτά εμφανίζονται μαραμένα μόνο κατά τις θερμές ώρες της ημέρας, όμως τελικά ο μαρασμός τους γίνεται μόνιμος και νεκρώνονται. Τα αγγεία του ξύλου του στελέχους και της ρίζας των προσβλημένων φυτών γίνονται καστανά, πρώτα κοντά στο λαιμό και αργότερα ψηλά στο στέλεχος. Ο μεταχρωματισμός των αγγείων είναι χαρακτηριστικό σύμπτωμα της προσβολής της τομάτας από μύκητες του γένους *Verticillium* και είναι χρήσιμος στην αρχική διάγνωση στον αγρό. Ο μεταχρωματισμός των αγγείων της τομάτας είναι ορατός από το επίπεδο του εδάφους μέχρι ύψος ενός μέτρου ή και περισσότερο πάνω από το έδαφος. Λόγω της έντονης αποφύλλωσης, η Βερτισιλλίωση συντελεί σε ζημιές των καρπών από ηλιοκαύματα, που οδηγούν σε περαιτέρω μείωση της παραγωγής και υποβάθμιση της ποιότητας. Στην πατάτα τα συμπτώματα περιλαμβάνουν πρόωρη χλώρωση και νέκρωση των παλιότερων φύλλων, νανισμό των σοβαρά προσβεβλημένων φυτών και συνήθως καστανό μεταχρωματισμό των αγγείων του ξύλου (Λιγοξυγκάκης, 1998 και Παναγόπουλος, 1995).

Η τάση μαρασμού που παρουσιάζει ένα συγκεκριμένο είδος όταν μολυνθεί από το *V. dahliae* εξαρτάται από το γενότυπο, το είδος ή τη φυλή του μύκητα και τις συνθήκες του περιβάλλοντος (Βλέπε εικόνα 6). Γενικά, ένα είδος που έχει προσβληθεί, εμφανίζει μαρασμό, μη μαρασμό ή μία ενδιάμεση κατάσταση. Αν εμφανισθεί μαρασμός, η έλλειψη σπαργής (flaccidity) των φύλλων είναι το πρώτο σύμπτωμα των φυτών και καθίσταται πολύ έντονο με την πρόοδο της ασθένειας. Αν δεν εμφανισθεί μαρασμός, τα φύλλα δεν εμφανίζουν μείωση σπαργής και νεκρώνονται απευθείας. Ενδιάμεση κατάσταση είναι εκείνη στην οποία εμφανίζεται μείωση σπαργής των φύλλων

μετά την ανάπτυξη άλλων ορατών συμπτωμάτων (π.χ. χλώρωσης) και είναι πολύ ελαφρά (Παναγόπουλος, 1995).



Εικόνα 6: Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης σε φυτά πιπεριάς.

Η ευπάθεια των φυτών στους μύκητες που προσβάλλουν τις ρίζες μειώνονται αυξημένης της ηλικίας. Όσο νωρίτερα εμφανισθούν τα συμπτώματα της Βερτισιλλίωσης σε σχέση με την ηλικία ενός λαχανοκομικού είδους (τομάτα, μελιτζάνα, πιπεριά), τόσο μεγαλύτερη είναι η σοβαρότητά της και κατά συνέπεια οι ζημιές της καλλιέργειας (Θανασουλόπουλος, 1978). Η εξέλιξη της συμπτωματολογικής κατάστασης εξαρτάται από το χρόνο προσβολής (πρώιμη ή όψιμη), τις κλιματολογικές συνθήκες, την πυκνότητα του μολύσματος, την ύπαρξη ή απουσία εξειδικευμένου στελέχους (specific strain) ή φυσιολογικής φυλής (race) του μύκητα, το είδος, την ποικιλία ή το υβρίδιο του καλλιεργούμενου φυτού και τις καλλιεργητικές φροντίδες (άρδευση, λίπανση κ.ά.).

Στις δενδρώδεις καλλιέργειες, τα συμπτώματα της Βερτισιλλίωσης εμφανίζονται σε ένα ή περισσότερα δέντρα. Στην αρχή παρατηρείται ένα ανοικτότερο πράσινο χρώμα των φύλλων, που αργότερα γίνεται κίτρινο. Τα φύλλα μαραίνονται και πέφτουν με αποτέλεσμα την αποφύλλωση και ξήρανση των ακραίων κλαδίσκων. Στην συνέχεια τα συμπτώματα επεκτείνονται και σε

μεγαλύτερους κλάδους. Τα συμπτώματα εμφανίζονται συνήθως στη μία πλευρά του δέντρου με τη μορφή ημιπληγίας, στη συνέχεια προσβάλλεται και η άλλη πλευρά του και συχνά ακολουθεί η ολική νέκρωσή του. Τις περισσότερες φορές το δέντρο παραμένει προσβλημένο για διάστημα πολλών ετών, εμφανίζοντας συμπτώματα προσβολής καθώς και νανισμό (Θανασουλόπουλος, 1992).



Εικόνα 7: Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης σε φυτά πιπεριάς.

Στα πυρηνόκαρπα (βερικοκιά, αμυγδαλιά, ροδακινιά, δαμασκηνιά και κερασιά), τα πρώτα συμπτώματα της προσβολής παρατηρούνται νωρίς ή στα μέσα του καλοκαιριού, που λόγω των υψηλών θερμοκρασιών τα φύλλα βρίσκονται σε συνθήκες έλλειψης νερού. Τα συμπτώματα που εμφανίζουν τα προσβλημένα δέντρα είναι χλώρωση και μαρασμός των φύλλων, πρόιμη αποφύλλωση μερικών βραχιόνων ή σε μερικές περιπτώσεις του μισού ή σχεδόν ολόκληρου του δέντρου. Συνήθως, οι προσβλημένοι βραχίονες και τα κλαδιά εμφανίζουν μεταχρωματισμό των αγγείων του ξύλου. Η αποφύλλωση και ο μεταχρωματισμός των αγγείων του ξύλου είναι πιο εμφανή στη βερικοκιά και τη ροδακινιά απ' ό,τι στην κερασιά. Συνήθως στα πυρηνόκαρπα, ιδίως σε

χρόνιες περιπτώσεις, η ασθένεια συνοδεύεται από την έκκριση κόμης. Οι προσβλημένοι βραχίονες όλων των πυρηνόκαρπων μπορεί να αποφυλλώνονται μερικώς για δύο συνεχόμενα χρόνια ή περισσότερο και στη συνέχεια να εξυγιαίνονται και να εμφανίζονται σχεδόν κανονικοί. Επίσης νεαρά πυρηνόκαρπα, ειδικά η βερικοκιά και αμυγδαλιά, τείνουν να ξεπερνούν την ασθένεια μετά από μια οξεία φάση και να αποφεύγουν νέες προσβολές. Η εξυγίανση των δέντρων βερικοκιάς αποδίδεται πιθανώς σε αδρανοποίηση του παθογόνου στον ετήσιο δακτύλιο του ξύλου. Πολλά δέντρα εξυγιαίνονται σε χρονικό διάστημα από ενός έως τριών ετών. Επαναπροσβολή δέντρων τα οποία έχουν εξυγιανθεί, είναι σπάνια. Ασθενή δέντρα μπορεί επίσης να αναρρώνουν και να αποφεύγουν την ασθένεια μετά από κλάδεμα, εφόσον αποφευχθούν μελλοντικές αναμολύνσεις των ριζών τους (Tjamos, 1991). Σε μερικές περιπτώσεις νεκρώνονται ξαφνικά ολόκληρα τα δέντρα και τα ξεραμένα φύλλα παραμένουν στα κλαδιά τους. Κατά κανόνα, τα νεαρά δέντρα ηλικίας μέχρι 6 ετών, είναι πιο ευπαθή από τα ηλικιωμένα (Θανασουλόπουλος, 1992) με εξαίρεση ίσως την κερασιά (Θανασουλόπουλος, 1992). Στα πυρηνόκαρπα, η διάγνωση της Βερτισιλλίωσης δυσχεραίνεται από προσβολές διαφόρων παθογόνων που προκαλούν παρόμοια συμπτώματα, όπως είναι το *Eutypa lata* (ειδικά στη βερικοκιά), το *Pseudomonas syringae*, τα *Armillaria mellea* και *Rosellinia necatrix* κ.ά. (Παναγόπουλος, 1993).

Στη φιστικιά, τα συμπτώματα της προσβολής μοιάζουν με τα συμπτώματα των πυρηνόκαρπων, όμως τα προσβλημένα φύλλα ξηραίνονται χωρίς να πέφτουν από τους κλάδους τους.

Στην ελιά η Βερτισιλλίωση προσβάλλει δέντρα κάθε ηλικίας στους ελαιώνες και στα φυτώρια. Η ασθένεια παρατηρείται σε μεμονωμένα δέντρα του ελαιώνα ή σε μεγάλο αριθμό δέντρων. Η ασθένεια εκδηλώνεται με δύο μορφές: **α)** το σύνδρομο του απότομου μαρασμού ή της αποπληξίας και **β)** το σύνδρομο της βραδείας αποξήρανσης. Η αποπληξία εμφανίζεται συνήθως στα φυτώρια και τα νεαρά δέντρα στον αγρό. Τα φύλλα μερικών κλάδων “καρουλιάζουν” ή “στρίβουν” και τελικά ξηραίνονται γρήγορα χωρίς να πέφτουν από τους κλάδους τους. Αρχικά, τα φύλλα των προσβλημένων

κλάδων χάνουν το βαθύ πράσινο χρώμα τους, γίνονται άτονα πράσινα και στη συνέχεια καστανά και συγχρόνως “καρουλιάζουν”.



Εικόνα 8: Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης στο ριζικό σύστημα φυτού πιπεριάς.

Η αποπληξία χαρακτηρίζεται από ταχεία ξήρανση των κλάδων και βραχιόνων ή νέκρωση ολόκληρων των ελαιοδέντρων και αναπτύσσεται από αργά το χειμώνα μέχρι νωρίς την άνοιξη. Η αποπληξία αναπτύσσεται πιο συχνά σε δέντρα που έχουν προσβληθεί τον προηγούμενο χρόνο. Η βραδεία ξήρανση εκδηλώνεται ημιπληγικά και βαθμιαία. Τα φύλλα των προσβλημένων κλάδων γίνονται χλωρωτικά ή κίτρινα και τελικά ξηραίνονται και αποπίπτουν με αποτέλεσμα την απογύμνωση και ξήρανση των κλάδων αυτών. Η βραδεία ξήρανση αναπτύσσεται σταδιακά από αργά την άνοιξη μέχρι νωρίς το καλοκαίρι και χαρακτηρίζεται από νέκρωση των φύλλων και ανθοταξιών και ξήρανση των κλάδων. Τα προσβλημένα ελαιόδεντρα αντιδρούν έντονα στη μόλυνση του μύκητα. Βραχιόνες, πλευρές ή ολόκληρη η κόμη των δένδρων μπορεί να νεκρωθεί σε μία περίοδο. Σπανίως νεκρώνεται το δέντρο, αντιθέτως

τείνει να αναγεννάται από μη προσβλημένα τμήματα και παραφυάδες της βάσης του. Ηλικιωμένα δέντρα μπορεί να αναρρώνουν από την ασθένεια που προκαλεί διακύμανση της έντασης της προσβολής με την πάροδο του χρόνου (Λιγοξυγκάκης, 1998).



Εικόνα 9: Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης σε στέλεχος φυτού τομάτας.

Όπως σημαίνει το κοινό αγγλοσαξονικό όνομα της ασθένειας “Verticillium wilt”, το επικρατέστερο σύμπτωμά της είναι ο μαρασμός (Βλέπε εικόνες 10, 11 και 12), χωρίς όμως να έχει διευκρινιστεί πλήρως η φυσιολογική αιτία του εν λόγω συμπτώματος. Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί μηχανισμοί που μόνοι τους ή από κοινού θα μπορούσαν να προκαλέσουν μαρασμό των προσβλημένων φυτών. Δύο κύριες θεωρίες έχουν αναπτυχθεί για την ερμηνεία του φαινομένου αυτού. Η μία υποστηρίζει ότι η φυσική απόφραξη των αγγείων των προσβλημένων φυτών, μειώνει τη ροή του νερού στα φύλλα. Η άλλη υποστηρίζει ότι παράγονται διάφορες ουσίες από το παθογόνο, που είναι τοξικές στα φύλλα.



Εικόνα 10: Φυτό μελιτζάνας προσβεβλημένο από Βερτισιλλίωση.



Εικόνα 11: Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης σε φύλλα τομάτας.

Στα αγγεία του ξύλου των προσβλημένων φυτών παρατηρούνται διάφορες αλλαγές, όπως: αποθέσεις καστανών χρωστικών, επικάλυψη με ανώμαλο υλικό (π.χ. πλούσιο σε λιπίδια), απόφραξη με γόμμες πηκτές ή τυλώσεις, αποδιοργάνωση των παρεγχυματικών κυττάρων και συσσώρευση υλικών στα κυτταρικά τοιχώματα.

Έχει αναφερθεί ότι οι υφές του μύκητα αποφράζουν μερικά αγγεία ξύλου και ότι η απόφραξη μπορεί να ενισχυθεί με ουσίες που παράγονται από το παθογόνο ή απελευθερώνονται λόγω της δράσης διαφόρων ενζύμων του παθογόνου στον ξενιστή. Οι ουσίες που απεκκρίνει ο μύκητας, βλάπτουν το φυτό άμεσα ή έμμεσα, προκαλώντας απόφραξη των αγγείων του, όμως δεν υπάρχει συμφωνία για τη φύση και τη δραστηριότητα των ουσιών αυτών. Οι εν λόγω ουσίες μπορεί να είναι: **α)** εξωκυτταρικά ένζυμα και ιδιαίτερα αυτά που δρουν στις κυτταρικές μεμβράνες και προκαλούν βλάβη στην ημιπερατότητά τους, με αποτέλεσμα απώλεια ύδατος από τα μολυσμένα φυτά, **β)** τοξίνες, **γ)**

μακρομόρια, που είναι πρωτεϊνο-λιποπολυσακχαρίτες (PLP) και δ) ρυθμιστές αύξησης.



Εικόνα 12: μαρασμός φύλλων συνέπεια προσβολής φυτού τομάτα από τον μύκητα *V. dahliae*.

Έχει αναφερθεί επίσης η ανάπτυξη τυλώσεων (tyloses) εντός των αγγείων του ξύλου, που προκαλούν την απόφραξή τους. Η ανάπτυξη τύλωσης είναι μία διαδικασία αύξησης που φαίνεται ότι προκαλείται από αυξημένη παραγωγή του ινδολοξικού οξέος (IAA), η οποία σχετίζεται με αδρομυκώσεις διαφόρων φυτών. Πολλές μελέτες μικροσκοπίου έχουν συνδέσει το σχηματισμό τυλώσεων με αντιδράσεις αντοχής σε διάφορα είδη φυτών που έχουν προσβληθεί από Βερτισιλλίωση, όμως υπάρχουν λίγα δεδομένα όσον αφορά στο μηχανισμό δημιουργίας των τυλώσεων και στη σχέση τους με τη νόσο. Η παρουσία τυλώσεων στα αγγεία του ξύλου συντελεί σε μερικό περιορισμό της πορείας και πιθανώς αλλαγή της πορείας του νερού στα φύλλα, που έχει ως αποτέλεσμα το μαρασμό τους (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Παρατηρήσεις που έχουν γίνει με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, έχουν προσδιορίσει τη μορφολογία του υλικού επικάλυψης των αγγείων του ξύλου της τομάτας και άλλων ειδών φυτών προσβλημένων από αδρομυκώσεις. Το

υλικό αυτό φαίνεται να είναι: μεταβλητής πυκνότητας, συχνά με πολλές στρώσεις, όμοιο στην εμφάνιση με το υλικό το οποίο καλύπτει τις υφές του μύκητα που βρέθηκαν στα αγγεία του φυτού. Το εν λόγω υλικό περιορίζει επίσης τη ροή του νερού στα αγγεία του ξύλου των προσβλημένων φυτών.

Η μειωμένη πρόσληψη νερού στα προσβλημένα φυτά προκαλεί τη μείωση της σπαργής των φύλλων τους. Όμως, το πιο κοινό σύμπτωμα είναι η βασιπέταλη ξήρανση των φύλλων τους που δεν αιτιολογείται από το παραπάνω γεγονός. Γι' αυτό, έχουν γίνει διάφορες μελέτες πάνω στην αδρομύκωση της μηδικής που προκαλείται από το *V. albo-atrum* οι οποίες κατέληξαν στην απομόνωση διαφόρων τοξινών μαρασμού. Έχει διαπιστωθεί ότι είδη του γένους *Verticillium* μπορεί να παράγουν: είτε χαμηλού, είτε υψηλού μοριακού βάρους φυτοτοξίνες σε καλλιέργειες, οι οποίες πιθανόν συμμετέχουν στην παθογένεια της νόσου. Μία απομόνωση του *V. dahliae*, παθογόνος σε πατάτα, παρήγαγε μία υψηλού μοριακού βάρους τοξίνη, που είναι πρωτεϊνολιποπολυσακχαρίτης (PLP) και συνδέεται με την παθογόνο ικανότητα του μύκητα. Η τοξίνη της απομόνωσης αυτής παρουσιάζει αξιοσημείωτη εξειδίκευση ως προς τον ξενιστή και προκαλεί νεκρώσεις κατά τη διάρκεια βιοδοκιμών σε φύλλα (Λιγοξυγκάκης, 1998).

4. Απώλειες από τη Βερτισιλλίωση των καλλιεργούμενων φυτών

Οι αδρομυκώσεις που προκαλούνται από είδη του γένους *Verticillium* είναι μεγάλης οικονομικής σπουδαιότητας παγκοσμίως. Όμως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αδρομύκωση που προκαλείται από το *V. dahliae*. Η ασθένεια αυτή είναι μία από τις σοβαρότερες μυκητολογικές της τομάτας, η κυριότερη της μελιτζάνας και μία από τις τρεις κυριότερες του βαμβακιού.

Οι απώλειες της παραγωγής διαφέρουν ανάλογα με: το είδος της καλλιέργειας και σε ευπαθή είδη, όπως η τομάτα, μελιτζάνα και πατάτα, φθάνουν το 50% ή περισσότερο και ενίοτε φθάνει το 100%, τη σοβαρότητα της προσβολής, το χρόνο εμφάνισης των πρώτων συμπτωμάτων της προσβολής και την καλλιεργητική περίοδο (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Στις ΗΠΑ έχουν αναφερθεί απώλειες της παραγωγής από 33% μέχρι 69% σε ευπαθείς γενότυπους τομάτας και μέχρι 50% σε πατάτες. Στο Ισραήλ, σε περιοχές με αμμώδη εδάφη, έχουν αναφερθεί απώλειες παραγωγής τομάτας μέχρι 50% και πατάτας μέχρι 50% ή και περισσότερο (Βλέπε εικόνα 13 και 14). Στις ΗΠΑ έχουν αναφερθεί απώλειες της παραγωγής μελιτζάνας από 60% μέχρι 100%, στο Ισραήλ μέχρι 100% σε μία περιοχή με αμμώδη εδάφη, στην Τουρκία από 37% μέχρι 60% και στην Ιταλία από 54% μέχρι 85% (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Στη Βουλγαρία, οι απώλειες της παραγωγής πιπεριάς το 1951 έφθαναν μέχρι 90% και το 1954 έφθαναν μέχρι 80%. Στην Καλιφόρνια, η απώλεια της παραγωγής πιπεριάς ήταν 20% σε ένα αγρό που είχαν καλλιεργηθεί πιπεριές για πέντε χρόνια.

Οι απώλειες της παραγωγής της μέντας στο νομό Ροδόπης μπορεί να φθάσει το 100% (Θανασουλόπουλος & Γκολιάρης, 1991).



Εικόνα 13: Έντονη προσβολή φυτείας πατάτας από τον μύκητα *V. dahliae*.



Εικόνα 14: Προσβολή κονδύλων πατάτας από τον μύκητα *V. dahliae*.

5. Εξειδίκευση ως προς τον ξενιστή διαφόρων απομονώσεων του μύκητα *V. dahliae*

Μεταξύ απομονώσεων του *V. dahliae* υπάρχει μεγάλη παραλλακτικότητα στην παθογόνο ικανότητά τους. Δεν είναι ακόμα γνωστό εάν οι παραλλαγές αυτές προέρχονται η μία από την άλλη ή είναι ξεχωριστοί βιότυποι (biotypes) εντός του είδους. Εξειδικευμένες απομονώσεις (specific isolates) του γένους *Verticillium* διαφέρουν αξιοσημείωτα σε εξειδίκευση ως προς τον ξενιστή. Γι' αυτό, απομονώσεις από πολλούς ξενιστές μπορεί να προκαλούν ασθένεια σε ένα αριθμό άλλων ειδών και γενών, ή/και να προσβάλλουν πλήθος άλλων ειδών χωρίς να τους προκαλούν ορατά συμπτώματα. Έχει αναφερθεί εξειδίκευση ως προς τον ξενιστή σε απομονώσεις του *V. dahliae* από μέντα (*Mentha piperita* L.), πιπεριά (*Capsicum annuum* L.), λάχανο Βρυξελλών (*Brassica oleracea* var. *gemmifera* D.C.) και μηδική (*Medicago sativa* L.) (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Ειδικές μορφές (formae speciales) δεν έχουν αναφερθεί στο *V. dahliae*. Έχει αναφερθεί όμως η ύπαρξη στελεχών που παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλή παθογόνο δύναμη σε ένα συγκεκριμένο ξενιστή αν και προσβάλλουν σε πολύ μικρότερο βαθμό και άλλα είδη. Συγκεκριμένα, ένα πολύ παθογόνο

υποφυλλωτικό στέλεχος του μύκητα προκαλούσε σημαντικές απώλειες στην παραγωγή βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.) στην κοιλάδα του San Joaquin της Καλιφόρνιας. Οι ερευνητές ονόμασαν T-1 το στέλεχος αυτό και πρότειναν τη διάκρισή του από το λιγότερο παθογόνο και ευρέως εξαπλωμένο στέλεχος SS-4. Η παθογένεια της απομόνωσης T-1 εκτιμήθηκε ότι ήταν 10 φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι της SS-4 σε μερικές ποικιλίες βαμβακιού και 100 φορές μεγαλύτερη σε άλλες (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Παρόλο που δεν υπάρχουν ειδικές μορφές, όμως υπάρχουν δύο φυσιολογικές φυλές του *V. dahliae*, η φυλή 1 και η φυλή 2, που διαφοροποιούνται σε τομάτα. Απομονώσεις του *V. dahliae* και *V. albo-atrum*, παθογόνες σε ευπαθείς ποικιλίες και υβρίδια τομάτας (που στερούνται το γονίδιο *Ve*) αλλά μη παθογόνες σε ανθεκτικές στη φυλή 1 ποικιλίες και υβρίδια τομάτας (που κατέχουν το γονίδιο αντοχής *Ve*), έχουν ονομασθεί φυλή 1 ή στέλεχος 1 της τομάτας, ενώ απομονώσεις παθογόνες σε ευπαθείς και ανθεκτικές ποικιλίες και υβρίδια τομάτας έχουν ονομασθεί φυλή 2 ή στέλεχος 2 της τομάτας (Αραμπατζής, 2000).

6. Γεωγραφική εξάπλωση των Βερτισιλλιώσεων

Ο *V. dahliae* έχει εκτεταμένη γεωγραφική εξάπλωση στις εύκρατες χώρες του κόσμου. Αναφέρεται στη βιβλιογραφία ο *V. dahliae* σε 53 χώρες. Κατά κανόνα, ο *V. dahliae* βρίσκεται στις θερμότερες περιοχές της ΗΠΑ, Καναδά, Ευρώπης και Ασίας.

Αντίθετα ο *V. albo-atrum* που φαίνεται να είναι περιορισμένος σε περιοχές όπου η μέση θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 21-24 °C για το μεγαλύτερο διάστημα της καλλιεργητικής περιόδου, ο *V. dahliae* μπορεί να προσβάλλει τα φυτά τόσο σε ψυχρές όσο και σε θερμές περιοχές, όπου η μέση θερμοκρασία υπερβαίνει τους 24 °C για το μεγαλύτερο διάστημα της καλλιεργητικής περιόδου. Όμως, ο *V. dahliae* είναι καταστροφικότερος σε θερμότερα κλίματα, ειδικά σε αρδευόμενες καλλιέργειες. Γι' αυτό, ο *V. dahliae* έχει αναφερθεί στο Ισραήλ αποκλειστικά σε ερημικές περιοχές που αρδεύονται και σε συνθήκες υψηλής εξατμισοδιαπνοής ο μύκητας αποβαίνει ένας από τους

κύριους περιοριστικούς παράγοντες στην παραγωγή των φυτών. Επειδή ο *V. dahliae* ευνοείται από υψηλές μέσες θερμοκρασίες, κυριαρχεί στις θερμές περιοχές της νότιας Ευρώπης και της Μεσογείου και μεταξύ αυτών και στην Κρήτη.

Η φυλή 2 του *V. dahliae*, έχει επίσης ευρεία εξάπλωση σε πολλές χώρες του κόσμου, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Γεωγραφική εξάπλωση και ξενιστές της φυλής 2 του μύκητα *V. dahliae*

Ήπειρος / Χώρα	Είδος ξενιστή
ΑΦΡΙΚΗ	
Μαρόκο, Ν. Αφρική	Τομάτα
ΑΣΙΑ	
Ιαπωνία	Τομάτα
ΕΥΡΩΠΗ	
Μεγάλη Βρετανία	Τομάτα
Γαλλία	Τομάτα
Ελλάδα	Μελιτζάνα
Ελλάδα	Τομάτα
	Καρπουζιά
Ελλάδα	Τομάτα, Αγγουριά
Ολλανδία	Τομάτα
Ιταλία	Πεπονιά, Τομάτα, Πιπερία
Ρουμανία	Αγγουριά
Ισπανία	Αγγουριά
ΗΠΑ	
Καλιφόρνια	Τομάτα
Καρολίνα	Τομάτα
Φλώριδα, Οχάιο	Τομάτα
Ουισκόνσιν	Τομάτα
ΝΟΤΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ	
Βραζιλία - Χιλή	Τομάτα
ΩΚΕΑΝΙΑ	
Αυστραλία	Τομάτα

7. Βιολογία – Επιδημιολογία

Ο *V. dahliae* είναι εδαφογενής μύκητας και θα μπορούσε να ενταχθεί στην κατηγορία των “αποικιστών της ρίζας” (root inhabitants), που χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη εκτεταμένης παρασιτικής φάσης στο ζωντανό ιστό του ξενιστή και από περιορισμένη σαπροφυτική φάση στα υπολείμματά του. Το μυκήλιο και τα κονίδια του *V. dahliae* δεν επιβιώνουν εκτός του ξενιστή για περισσότερο από μερικές εβδομάδες. Οι πληθυσμοί των *V. albo-atrum* και *V. dahliae* μειώνονται ταχέως στο έδαφος, γιατί πιθανώς δεν είναι ικανοί να ανταγωνισθούν άλλους μικροοργανισμούς του εδάφους και είναι δύσκολο να επαναπομονωθούν 6 μήνες μετά την τεχνητή μόλυνσή τους (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Ο μύκητας επιβιώνει στο έδαφος απουσία ξενιστών, για πολύ μεγάλο διάστημα με τη μορφή μικροσκληρωτίων, απουσία ξενιστών. Τα μικροσκληρώτια αναπτύσσονται μονήρη ή σε μικρές ομάδες και είναι βυθισμένα σε τεμάχια φυτικού ιστού (Παναγόπουλος, 1995). Απουσία ξενιστών, ο *V. dahliae* επιβίωσε σε ακαλλιέργητο έδαφος για τρία έως έξι χρόνια. Όμως, μετά από ετήσια καλλιέργεια τομάτας που προκάλεσε ισχυρή μόλυνση του εδάφους, αυτό δεν εξυγιάνθηκε ούτε μετά από οκτώ χρόνια, αν και καλλιεργήθηκε με σιτηρά και λιβαδοπονικά φυτά. Ο μύκητας θεωρείται ότι επιβιώνει στο έδαφος για 14 χρόνια με τη μορφή μικροσκληρωτίων απουσία ξενιστών του. Μακρόχρονη επιβίωση του μύκητα έχει αναφερθεί στις ρίζες μερικών ειδών καλλιεργούμενων και αυτοφυών φυτών, που θεωρούνται ασυμπτωματικά, τα οποία αν και φιλοξενούν το παθογόνο, εν τούτοις δεν παρουσιάζουν συμπτώματα της ασθένειας (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Ο *V. dahliae* αναπτύσσεται και αυξάνεται στα στελέχη και τις ρίζες διαφόρων ειδών ευπαθών φυτών. Έχει αναφερθεί ότι το μόλυσμα του μύκητα που υπάρχει στα στελέχη της πατάτας, επιβιώνει συχνά στο έδαφος για διάστημα 14-17 μηνών και δεν καταστρέφεται όσο τα στελέχη παραμένουν άθικτα (Τζάμος, 1989).

Παρουσία ευπαθών ξενιστών, ο μύκητας εντός 1-2 ετών μπορεί να φθάσει τα 30-40 μικροσκληρώτια (ms) ανά gr εδάφους, σε αγρό που είχε μικρή

ποσότητα μολύσματος (1-5 ms/gr εδάφους). Οι τιμές αυτές είναι πάνω από 10 φορές του επιπέδου που χρειάζεται για να προκληθεί 100% προσβολή σε καλλιέργεια βαμβακιού. Ωστόσο για να προκληθεί ασθένεια συμμετέχουν και πολλοί άλλοι παράγοντες, όπως το ιστορικό της καλλιέργειας, η λίπανση αζώτου, η υγρασία του εδάφους, η θερμοκρασία του αέρα, ο αερισμός του εδάφους, η πυκνότητα φύτευσης και οι αλλαγές του μικροβιακού πληθυσμού ευθύνονται μερικώς για την προσβολή των φυτών. Η φθινοπωρινή καλλιέργεια πατάτας στο Ισραήλ, μπορεί να υφίσταται σοβαρή προσβολή αν η πυκνότητα μολύσματος του *V. dahliae* στο έδαφος είναι υψηλότερη από 1 ms/5gr εδάφους. Έχει αναφερθεί ότι όταν υπήρχαν 1,3 ms/gr εδάφους, μολύνονταν το 80-90% της πατάτας. Άλλοι ερευνητές ανέφεραν ότι απαιτούνται υψηλότερες πυκνότητες μολύσματος του μύκητα για να προκληθεί έντονη προσβολή της πατάτας. Γενικά, πυκνότητες μολύσματος του *V. dahliae* οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 10 και 20 ms/g εδάφους, φαίνεται να προκαλούν οικονομική ζημιά στην καλλιέργεια της πατάτας (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Ο ελάχιστος αριθμός σπορίων του *V. dahliae* για 100% προσβολή της τομάτας είναι 50.000 κονίδια/gr εδάφους, ενώ ο ελάχιστος αριθμός μικροσκληρωτίων είναι 100. Το δυναμικό του μολύσματος όσον αφορά στα κονίδια μειώνεται από 100% σε μηδέν μετά παρέλευση 3 εβδομάδων, ενώ δεν υπάρχει μείωση του δυναμικού του μολύσματος όσον αφορά στα μικροσκληρώτια μετά από 7 εβδομάδες.

Το μικροσκληρώτιο δεν βλαστάνει στο έδαφος μόνο μία φορά. Ερευνητές ανέφεραν ότι τα μικροσκληρώτια βλαστάνουν πολλές φορές. Όταν ένα μικροσκληρώτιο έχει βλαστήσει επανειλημμένα, εξαιτίας των εκκρίσεων της ρίζας ενός φυτού, μπορεί να περιέλθει σε κατάσταση λήθαργου μέχρι να διεγερθεί ξανά από κάποια άλλη ρίζα. Έτσι, το μικροσκληρώτιο βλαστάνει επανειλημμένα στο έδαφος μέχρι να εξαντληθούν τα αποθέματα ενέργειάς του. Έχει βρεθεί ότι όταν τα μικροσκληρώτια βλαστήσουν, η πυκνότητα μολύσματος αυξάνεται στο έδαφος δύο έως έξι φορές. Η αύξηση αυτή υποβοηθά την προσβολή των ξενιστών του μύκητα (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Εντός των μικροσκληρωτίων, τα κονίδια που παράγονται σε μολυσμένες νεκρές ρίζες και στελέχη ευπαθών ξενιστών, είναι δυνατό να δρουν ως μόλυσμα για περισσότερες από 3 εβδομάδες πριν νεκρωθούν ή ξεραθούν. Η περίοδος παραγωγής των κονιδίων μπορεί να είναι μακρά και εξαρτάται από την επάρκεια θρεπτικών στοιχείων στα φυτικά υπολείμματα.

Η ταχεία εξάπλωση της ασθένειας από ένα μολυσμένο φυτό, δεν αποδίδεται σε ανάπτυξη του μυκηλίου που υπάρχει στο έδαφος προς τα γειτονικά φυτά, αλλά στην ανάπτυξη των ριζών των φυτών αυτών στο μολυσμένο έδαφος γύρω από το αρχικά μολυσμένο φυτό. Το μόλυσμα επικρατεί περισσότερο στα ανώτερα 33 cm του εδάφους, υπάρχουν όμως μικροσκληρώτια και σε βάθος τουλάχιστον ενός μέτρου. Οι ρίζες των υγιών φυτών μπορεί να μολυνθούν όταν έλθουν σε επαφή με το μύκητα που βρίσκεται σε μολυσμένα φυτικά υπολείμματα ή με όργανα του μύκητα, όπως: μικροσκληρώτια, μυκήλιο ή κονίδια που βρίσκονται στο έδαφος. Η επαφή υγιών ριζών με προσβλημένες δεν καταλήγει σε νέα μόλυνση, αν ο μύκητας δεν έχει εξαπλωθεί από τα αγγεία του ξύλου στην επιφάνεια των προσβλημένων ριζών. Όμως αυτή η διαδικασία συμβαίνει σπάνια αν δεν έχουν νεκρωθεί οι προσβλημένες ρίζες. Τραυματισμός των ριζών ευπαθών ειδών που οφείλεται: σε μεταφύτευση, καλλιέργεια του εδάφους και προσβολή διαφόρων νηματωδών της οικογένειας Tylenchoidea, συντελεί στην ταχεία διασυστηματική προσβολή των φυτών από μύκητες του γένους *Verticillium*. Εκτός του τραυματισμού και της επαφής υγιών με προσβλημένες και νεκρωμένες ρίζες, έχει αναφερθεί μόλυνση υγιών ριζών πατάτας και αγγουριάς μέσω επιδερμικών κυττάρων ή ριζικών τριχιδίων (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Η μυκοστατική ιδιότητα του εδάφους διατηρεί το λήθαργο των μικροσκληρωτίων του *V. dahliae* απουσία αναπτυσσόμενων φυτών. Αλλαγές στη ριζόσφαιρα που προκαλούνται από εκκρίσεις των ριζών, διεγείρουν τη βλάστηση των μικροσκληρωτίων και επιτρέπουν σε αυτά να εισέλθουν στη διαδικασία της μόλυνσης είτε μέσω άμεσης διείσδυσης των ριζών των ξενιστών από βλαστικούς σωλήνες των μικροσκληρωτίων ή έμμεσα από κονίδια που παράγονται μετά τη βλάστηση των μικροσκληρωτίων. Εκκρίσεις

ρίζων ανθεκτικών ξενιστών, όπως το σιτάρι, θα μπορούσαν να διεγείρουν τη βλάστηση των μικροσκληρωτίων, όχι όμως τόσο πολύ όπως οι ρίζες ευπαθών ξενιστών, όπως η τομάτα.

Ο αποικισμός της ρίζας από το *V. dahliae* συμβαίνει πολύ νωρίς στη ζωή της. Τα άκρα της ρίζας παίζουν σοβαρό ρόλο στη διαδικασία του αποικισμού (Τζάμος, 1989). Τα άκρα και ειδικά η ζώνη επιμήκυνσης της ρίζας είναι περιοχές από τις οποίες εκλύονται μεγάλες ποσότητες εκκρίσεων. Τα μικροσκληρώτια που ληθαργούν στο έδαφος βλαστάνουν λόγω αντίδρασης του στις εκκρίσεις των ριζών. Δεδομένης της ταχύτητας αύξησης των ριζών, που κυμαίνεται μεταξύ 3 και 10 mm ημερησίως και της μικρής απόστασης αντίδρασης, που είναι μικρότερη από 1 mm για τους περισσότερους μύκητες, θα πρέπει το μικροσκληρώτιο το οποίο ληθαργεί στο έδαφος να αντιδράσει γρήγορα στις εκκρίσεις της ρίζας που διέρχεται πλησίον του για να μπορέσει να την προσβάλλει. Γι' αυτό, όταν τα διαστήματα αντίδρασης των μικροσκληρωτίων είναι πολύ μεγαλύτερα από μερικές ώρες, είναι δύσκολο στο μύκητα να έρθει σε επαφή με το κινούμενο άκρο της ρίζας.

Ο αποικισμός της ρίζας μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο ξεχωριστές φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την ενεργοποίηση αναπαραγωγικών μονάδων του μύκητα που ληθαργούν, βλάστηση και αρχική επαφή τους με το άκρο ή με σημεία κοντά στο άκρο της ρίζας. Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την εγκατάσταση και ανάπτυξη του μύκητα επί ή εντός της επιδερμίδας της ρίζας και θα μπορούσε να εκτείνεται για πολλά εκατοστόμετρα πίσω από την κορυφή της ρίζας. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του *V. dahliae* και των ριζών ευπαθών φυτών διαιρείται σε δύο ξεχωριστές φάσεις. Η πρώτη φάση είναι ο αποικισμός της επιδερμίδας της ρίζας και η δεύτερη η είσοδος στα αγγεία του ξύλου. Η πρώτη φάση μπορεί να θεωρηθεί μία επιφυτική φάση, αν και υπάρχει εισβολή στον ιστό του ξενιστή, η οποία παρατηρείται και στα ευπαθή και στα ασυμπτωματικά φυτά. Τα ευπαθή φυτά διαφέρουν από τα ασυμπτωματικά στο ότι τα αγγεία του ξύλου τους προσβάλλονται διασυστηματικά από το μύκητα (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Τα μικροσκληρώτια του *V. dahliae* επιβιώνουν στο έδαφος σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα μικροσκληρώτια μπορούν να επιβιώσουν στους 30 °C για μέχρι 6 μήνες και στους 40 °C για διάστημα 3-35 ημερών. Το διάστημα επιβίωσής τους εξαρτάται από το επίπεδο της υγρασίας του εδάφους.

Φύλλα προσβλημένων φυτών (βαμβάκι, φράουλα, κ.α), καθώς επίσης και μίσχοι προσβλημένων δέντρων ελιάς συμβάλλουν στην αύξηση του μολύσματος και τη διάδοση του μύκητα στον αγρό, λόγω σχηματισμού κονιδίων ή/και μικροσκληρωτίων στους ιστούς τους (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Ο *V. dahliae* παραμένει ζωντανός για τουλάχιστον 3 χρόνια σε θρεπτικά υποστρώματα με άγαρ, ενώ είναι ικανός να επιβιώνει σε ξηρές καλλιέργειες για 13 περίπου χρόνια.

7. Επίδραση διαφόρων παραγόντων στις μολύνσεις των ξενιστών και την εξέλιξη της ασθένειας

Διάφοροι παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το φως, η υγρασία, ο αερισμός, η πυκνότητα του μολύσματος, η παρουσία νηματωδών και εντόμων εδάφους, επηρεάζουν σημαντικά τη μόλυνση των ξενιστών του *V. dahliae* και του *V. albo-atrum* και την εξέλιξη της ασθένειας.

Οι παράγοντες του περιβάλλοντος παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ασθένειας. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να επηρεάζουν την μόλυνση με άμεση επίδραση στη δραστηριότητα των ειδών του γένους *Verticillium* στο έδαφος και στην αρχική προσβολή των ριζών, με έμμεση επίδραση στην περαιτέρω πρόοδο της προσβολής με τροποποίηση της θρέψης και της ανάπτυξης του ξενιστή. Έχει διαπιστωθεί ότι το παθογόνο, ο ξενιστής και ποικίλες αντιδράσεις ξενιστή – παθογόνου επηρεάζονται από τους παράγοντες του περιβάλλοντος (Brinkerhoff, 1973).

7.1. Θερμοκρασία

Η Βερτισιλλίωση είναι μία ασθένεια που επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Η σοβαρότητα της ασθένειας, η ανάπτυξή της σε διάφορες εποχές και η τελική διασπορά του παθογόνου φαίνεται ότι είναι στενά

συνδεδεμένες με τη θερμοκρασία (Brinkerhoff, 1973). Η θερμοκρασία είναι ένας σπουδαίος παράγοντας που επηρεάζει τον ξενιστή, το παθογόνο, τις αλληλεπιδράσεις τους και τελικά την προσβολή και την ανάπτυξη της ασθένειας.

Ο μύκητας *V. dahliae* προκαλεί συμπτώματα προσβολής στα διάφορα είδη φυτών σε θερμοκρασίες μεταξύ 12 και 30 °C και επομένως μπορεί να θεωρηθεί επικίνδυνος στις συνήθεις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται οι καλλιέργειες (Θανασουλόπουλος, 1992). Σε πειράματα θερμοκηπίου, όταν η θερμοκρασία εδάφους και αέρος υπερβαίνει τους 28-30 °C, η ανάπτυξη της Βερτισιλλίωσης μειώνεται αισθητά (Παναγόπουλος, 1993).

Η Βερτισιλλίωση της τομάτας, που οφείλεται στο *V. albo-atrum*, ευνοείται από θερμοκρασίες αέρος μεταξύ 15 και 24 °C, με άριστες μεταξύ 21 και 23 °C. Αναφέρεται επίσης ότι η ασθένεια αντιμετωπίστηκε στο θερμοκήπιο με διατήρηση της θερμοκρασίας πάνω από 25 °C. Οι ερευνητές αξιολογώντας της επίδρασης της θερμοκρασίας εδάφους και αέρα στην ανάπτυξη της ασθένειας διαπίστωσαν ότι η θερμοκρασία εδάφους ήταν ο σοβαρότερος παράγοντας (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Ο *V. dahliae* προκάλεσε σοβαρά συμπτώματα στη μελιτζάνα σε θερμοκρασία εδάφους 12 και 30 °C, όταν οι θερμοκρασίες του αέρα κρατήθηκαν μεταξύ 19 και 23 °C, ενώ η προσβολή ήταν ήπια σε 28 °C όταν οι θερμοκρασίες του αέρα κρατήθηκαν μεταξύ 22 και 28 °C. Οι μέγιστες θερμοκρασίες για μόλυνση από το *V. dahliae* και *V. albo-atrum* ήταν 32 και 30 °C, αντίστοιχα. Ανέφερε επίσης ότι ο *V. albo-atrum* προκάλεσε τα σοβαρότερα συμπτώματα στην τομάτα σε 24 °C, με 28 °C το ανώτατο όριο θερμοκρασίας για εκδήλωση της ασθένειας.

Σε τεχνητές μολύνσεις σε πιπεριές με απομονώσεις του *V. dahliae* διαπιστώθηκε ότι σε θερμοκρασία αέρα 24 °C η ασθένεια ήταν σοβαρή όταν η θερμοκρασία εδάφους διατηρούνταν μεταξύ 15 και 30 °C, ενώ ήταν πολύ ήπια σε 35 °C.

7.2. Φως

Το φως έχει σημαντική επίδραση στην αύξηση και σπορίωση πολυάριθμων ειδών μυκήτων, συμπεριλαμβανομένων των *V. dahliae* και *V. albo-atrum*. Το φως καταστέλλει το σχηματισμό μελανίνης και μικροσκληρωτίων. Οι επιδράσεις του φωτός στη σπορίωση, ζώνωση και σχηματισμό όχι μαύρων χρωστικών έχουν αναφερθεί από διάφορους ερευνητές. Παρατηρήθηκε ότι ενώ αμφοτέροι οι κύκλοι σκότους / φωτός και αλλαγές στη θερμοκρασία προκαλούσαν την ανάπτυξη ζωνώσεων του διατηρητικού μυκηλίου και των μικροσκληρωτίων του *V. albo-atrum* και *V. dahliae* αντίστοιχα, ο συνεχής φωτισμός εμπόδιζε το σχηματισμό διατηρητικού μυκηλίου στον *V. albo-atrum* και δεν εμπόδιζε το σχηματισμό μικροσκληρωτίων στο *V. dahliae*. Όμως, παρατηρήθηκε καθυστέρηση στο σχηματισμό ή καταστολή του σχηματισμού μικροσκληρωτίων και μελανίνης λόγω έκθεσης στο φως απομονώσεων του *V. Dahliae* (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Σε υψηλή ένταση φωτισμού παρατηρείται οριστική καταστολή του σχηματισμού μικροσκληρωτίων και μελανίνης. Γενικά, η μείωση της έντασης του φωτός μπορεί να συντελεί σε κακή ανάπτυξη των φυτών και να αυξάνει την ευπάθειά τους στις προσβολές διαφόρων μυκήτων. Στη Βερτισιλλίωση της τομάτας παρατηρήθηκε επίσης ότι και η αύξηση του φωτός, αυξάνει την ένταση της ασθένειας (Θανασουλόπουλος, 1978).

Η φωτοπερίοδος επιδρά σημαντικά στη σπορίωση και την εξέλιξη της ασθένειας. Μερικά είδη μυκήτων δεν παράγουν σπόρια όταν αναπτύσσονται σε συνεχές σκοτάδι, ενώ άλλα είδη απαιτούν βραχεία έκθεση στο φως πριν αρχίσουν να παράγουν σπόρια. Τα μήκη κύματος του φωτός που είναι πιο δραστικά σε αυτές τις αντιδράσεις αύξησης (growth responses) είναι κάτω από 500 nm. Συνεχής έκθεση διαφόρων απομονώσεων του *V. dahliae* σε λευκό φως, είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της παραγωγής των κονιδίων του. Όμως, η σπορίωση του μύκητα μειώθηκε δραστικά όταν οι απομονώσεις εκτέθηκαν σε 12h φως / 12h σκοτάδι. Συνεχής φωτισμός παρεμπόδισε την ανάπτυξη διατηρητικού μυκηλίου στο *V. albo-atrum* και επέδρασε θετικά στην ανάπτυξη μικροσκληρωτίων του *V. dahliae*. Συνεχές σκοτάδι, συντέλεσε στην

παραγωγή άφθονου διατηρητικού μυκηλίου σε 24 °C και σχεδόν καθόλου σε 15 °C. Διάφοροι κύκλοι σκοταδιού / φωτός προκάλεσαν την ανάπτυξη ζωνών διατηρητικών οργάνων στο *V. albo-atrum* και *V. dahliae*. Η φωτοπερίοδος επέδρασε σημαντικά στην εξέλιξη της Βερτισιλλίωσης της τομάτας και διαπιστώθηκε ότι όταν μειωνόταν η φωτοπερίοδος, εντεινόταν τα συμπτώματα των φυτών. Επίσης, στην πατάτα και το χρυσάνθεμο παρατηρήθηκε ότι όταν αυξανόταν η φωτοπερίοδος, αυξανόταν η αντοχή των φυτών στην ασθένεια (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Η ποιότητα του φωτός επιδρά στην εξέλιξη της Βερτισιλλίωσης διαφόρων φυτών. Συνεχής έκθεση διαφόρων απομονώσεων του *V. dahliae* κάτω από κυανό φως για 10 ημέρες είχε ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση της παραγωγής σπορίων και παρεμπόδιση της παραγωγής μικροσκληρωτίων. Όταν όμως οι απομονώσεις είχαν εκτεθεί για 18 ώρες στο σκοτάδι και 8 ώρες στο κυανό φως, δεν παρεμποδίστηκε ο σχηματισμός μικροσκληρωτίων. Απομονώσεις του μύκητα που αναπτύσσονταν σε θρεπτικό μέσο Czapek, εκτέθηκαν συνεχώς σε μπλε, πράσινο, ερυθρό, λευκό φως και σκοτάδι, σε υψηλές θερμοκρασίες. Παρατηρήθηκε παρεμπόδιση της αύξησής τους από το πράσινο φως, ενώ η μέγιστη παραγωγή μικροσκληρωτίων έγινε στο ερυθρό φως και στο σκοτάδι (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Συνεχής έκθεση του *V. dahliae* σε εγγύς-υπεριώδες φως για περιόδους 3-10 ημερών, αύξησε τη σπορίωση, αλλά εμπόδισε την παραγωγή μικροσκληρωτίων. Φως φθορισμού διέγειρε την παραγωγή κονιδίων αλλά παρεμπόδισε τη σύνθεση μελανίνης του μύκητα. Λευκό φως φθορισμού καθυστέρησε ή παρεμπόδισε την παραγωγή μικροσκληρωτίων και μελανίνης των περισσότερων απομονώσεων του μύκητα σε PDA και υγιή καλλιέργεια. Εγγύς-υπεριώδες φως κατέστειλε την παραγωγή μελανίνης και μικροσκληρωτίων μίας απομόνωσης του μύκητα σε υγρά και στερεά μέσα ανάπτυξης. Η ευαισθησία στο υπεριώδες φως είναι μια χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ του *V. dahliae* και του *V. albo-atrum*, όπως προαναφέρθηκε. Απομονώσεις του *V. dahliae* είναι σχετικά ανθεκτικές, ενώ απομονώσεις του *V. albo-atrum* είναι πολύ ευαίσθητες στο υπεριώδες φως. Έκθεση

απομονώσεων του μύκητα σε εγγύς-υπεριώδες (near-ultraviolet) φως αύξησε τη σπορίωση αλλά εμπόδισε το σχηματισμό μικροσκληρωτίων.

7.3. Υγρασία

Όσον αφορά στην επίδραση της υγρασίας του εδάφους στην εξέλιξη της Βερτισιλλίωσης, υπάρχουν διαφορετικά δεδομένα.

Η βλαστικότητα των μικροσκληρωτίων του *V. dahliae* που υπάρχουν στον αγρό, επηρεάζεται από την υγρασία του εδάφους. Ο Brinkerhoff (1973) ανέφερε ότι παράχθηκαν άφθονα μικροσκληρώτια του *V. dahliae* σε πεσμένα φύλλα βαμβακιού που προέρχονταν από μολυσμένα φυτά. Με υγρασία που προσέγγιζε τον κορεσμό, τα μικροσκληρώτια σχηματίστηκαν στα μολυσμένα φύλλα ενός 2-5 ημερών σε 18-30°C. Μικροσκληρώτια αναπτύχθηκαν επίσης σε θερμοκρασία 5°C όταν η περίοδος επώασης ήταν 30 ημέρες, ενώ δεν αναπτύχθηκαν σε 32°C. Άφθονα μικροσκληρώτια αναπτύχθηκαν τόσο σε απολυμασμένο όσο και μη απολυμασμένο με ατμό έδαφος, σε επίπεδα κοντά στην υδατοϊκανότητα του εδάφους. Έχει αναφερθεί ότι πλημμύρισμα του εδάφους για διάστημα έξι εβδομάδων, είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή των μικροσκληρωτίων του *V. dahliae*. Πλούσιες αρδεύσεις που συντελούν στη μερική έλλειψη του διαθέσιμου οξυγόνου του εδάφους, έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή των μικροσκληρωτίων που υπάρχουν στα υπολείμματα των καλλιεργειών, τα οποία έχουν ενσωματωθεί στο έδαφος. Η υγρασία του εδάφους δεν είναι σοβαρός περιοριστικός παράγοντας στην επιβίωση των μικροσκληρωτίων του μύκητα, εκτός αν είναι στο επίπεδο κορεσμού και συνδυάζεται με θερμοκρασία 28°C.

7.4. Δυναμικό του μολύσματος

Ο ρόλος του δυναμικού του μολύσματος του *V. albo-atrum* και *V. dahliae* στην εξέλιξη της ασθένειας, διαφέρει εντός και μεταξύ των φυτικών ειδών, όπως προαναφέρθηκε. Έχει διαπιστωθεί συσχέτιση του δυναμικού του μολύσματος και της έντασης της Βερτισιλλίωσης σε διάφορα είδη φυτών, όπως η πατάτα, η μέντα, το βαμβάκι κ.ά. Η απλούστερη σχέση παρατηρείται με

ξενιστές στους οποίους ο μύκητας είναι συνήθως καταστροφικός, όπως είναι η φιστικιά. Στην περίπτωση αυτή βρέθηκε ότι όταν η πυκνότητα μολύσματος είναι 0,05 ms/gr εδάφους, συντελούσε σε απώλεια 1% του αριθμού των δέντρων, δύο χρόνια μετά τη φύτευσή τους. Όταν η πυκνότητα του μολύσματος ήταν 0,1-0,2 ms/gr εδάφους, οι απώλειες του αριθμού των δέντρων ήταν 3-5%. Όταν η πυκνότητα του μολύσματος ήταν 1-2 ms και 7-9 ms/gr εδάφους, οι απώλειες έφθαναν σε 10-14% και 30-40% αντίστοιχα. Διαπιστώθηκε επίσης ότι τα δεδομένα αυτά δεν επηρεάζονταν από εποχιακούς ή τοπικούς παράγοντες.

Ένας σπουδαίος παράγοντας που επηρεάζει την πυκνότητα του μολύσματος και τη συχνότητα και σοβαρότητα της Βερτισιλλίωσης στην τομάτα και το βαμβάκι είναι η πυκνότητα των ριζών τους. Γι' αυτό το λόγο, έχει αναφερθεί 100% μόλυνση της τομάτας σε πυκνότητα μολύσματος στο έδαφος που προκαλεί μόνο 25% μόλυνση στο βαμβάκι (Λιγοξυγκάκης, 1998).

7.5. Βιοτικοί παράγοντες

Διάφορα είδη νηματωδών δημιουργούν πληγές στις ρίζες των φυτών και συντελούν στην αύξηση της συχνότητα προσβολής τους από τη Βερτισιλλίωση. Για παράδειγμα, ο *Pratylenchus penetrans* τραυματίζει τις ρίζες διαφόρων ειδών λαχανικών (τομάτας, μελιτζάνας, πιπεριάς, πατάτας και φράουλας) και οι τραυματισμένες ρίζες τους συχνά προσβάλλονται από το *V. albo-atrum*.

Έχει αναφερθεί παρόμοια συσχέτιση στη μελιτζάνα μεταξύ των *P. penetrans* και *V. albo-atrum* στη φράουλα, μεταξύ των *P. penetrans* και *V. dahliae* και στην πατάτα μεταξύ των *P. penetrans* και *V. albo-atrum*.

Η χρησιμοποίηση διαφόρων υποκαπνιστικών ή νηματοδοκτόνων σε αγρούς μολυσμένους με *Verticillium* spp. και διάφορους νηματώδεις, συντελεί σε μείωση των πληθυσμών των νηματωδών, μείωση της σοβαρότητας της Βερτισιλλίωσης και αύξηση της παραγωγής των καλλιεργούμενων φυτών.

Επίσης, διάφορα έντομα εδάφους μπορεί να παίζουν ρόλο στην προσβολή των καλλιεργούμενων φυτών (Λιγοξυγκάκης, 1998).

7.6. Τρόποι εξάπλωσης του παθογόνου

Η εξάπλωση της ασθένειας γίνεται με τους εξής τρόπους:

α) Με σπόρους καλλιεργούμενων φυτών, κονδύλους πατάτας, καθώς επίσης και με σπόρους αυτοφυών φυτών, όπως αναφέρεται παρακάτω (Πίν. 2 & 3). Ο μύκητας βρίσκεται στο μολυσμένο σπόρο με τη μορφή μυκηλίου ή μικροσκληρωτίων. Η ικανότητα του μύκητα να προσβάλλει το σπόρο εξαρτάται από την παθογόνο ικανότητα του στελέχους και από το χρόνο προσβολής του φυτού (πρώιμα ή όψιμα).

Πίνακας 2. Σπόροι διαφόρων ειδών καλλιεργούμενων φυτών που είναι πηγές εξάπλωσης του μύκητα *V. dahliae* ή *V. albo-atrum*

Κατηγορία φυτών	Είδος
Λαχανικά	Κόνδυλοι πατάτας (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Μελιτζάνα (<i>Solanum melongena</i> L.) Τομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) Σπανάκι (<i>Spinacia oleracea</i> L.) Τεύτλα (<i>Beta vulgaris</i> L.)
Βιομηχανικά	Βαμβάκι (<i>Gossypium herbaceum</i> L.) Ηλίανθος (<i>Helianthus annuus</i> L.) Αρτακτυλίδα (<i>Carthamus tinctorius</i> L.)
Κτηνοτροφικά	Σόργο [(<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench.) Μηδική (<i>Medicago sativa</i> L.) Άσπρο λούπινο (<i>Lupinus albus</i> L.) Κίτρινο λούπινο (<i>Lupinus luteus</i> L.)

Πίνακας 3. Σπόροι διαφόρων αυτοφυών φυτών που είναι πηγές εξάπλωσης του μύκητα *V. dahliae* ή *V. albo-atrum*

Είδος
<i>Senecio vulgaris</i> L.
<i>Xanthium canadense</i> Mill.
<i>Xanthium pungens</i> Wallr.
<i>Xanthium spinosum</i> L.
<i>Carthamus lanatus</i> L.
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav) Benth & Hook

Σε μερικά καλλιεργούμενα είδη φυτών, η μόλυνση του σπόρου είναι σπάνια. Όμως έχουν αναφερθεί αρκετές περιπτώσεις διαφόρων ειδών που προσβάλλονται συχνά από το *V. dahliae* ή το *V. albo-atrum*. Για παράδειγμα, το 3% δείγματος εμπορικού σπόρου μελιτζάνας βρέθηκε μολυσμένο από *Verticillium*, καθώς και το 31% των σπόρων που προέρχονταν από προσβλημένα φυτά (Sherf & Macnab, 1986).

Η χρησιμοποίηση κονδύλων πατάτας από ένα μολυσμένο αγρό ως σπόρο έχει σαν αποτέλεσμα η προσβολή των φυτών πατάτας που προήλθαν από τους κονδύλους αυτούς να φτάσει σε ποσοστά περίπου 33%. Το 9% του σπόρου εμπορικού δείγματος σπανακιού, που ήταν απολυμασμένο επιφανειακά, βρέθηκε μολυσμένο από το *V. dahliae*. Ο μύκητας αναπτύχθηκε από το 98% των σπόρων σπανακιού που είχαν απολυμανθεί επιφανειακά και προέρχονταν από φυτά τα οποία καλλιεργήθηκαν σε τεχνητά μολυσμένο αγρό. Βαριά μολυσμένος αγρός παρήγαγε 18% μολυσμένα φυτά που το 9% του σπόρου τους ήταν μολυσμένος (Λιγοξυγκάκης, 1998).

β) Με φύτευση βλαστικού πολλαπλασιαστικού υλικού σε μολυσμένο έδαφος ή φύτευση βλαστικού αναπαραγωγικού υλικού που έχει πολλαπλασιασθεί σε μολυσμένο έδαφος.

γ) Με διασπορά προσβλημένου φυτικού υλικού και μολυσμένου εδάφους, με διάφορους μεταφορείς εκ των οποίων οι κυριότεροι είναι ο άνθρωπος, τα γεωργικά μηχανήματα και εργαλεία, φυσικά αίτια (π.χ. αέρας, βροχή, νερό άρδευσης σε ανοιχτά αυλάκια) και διάφορα έντομα.

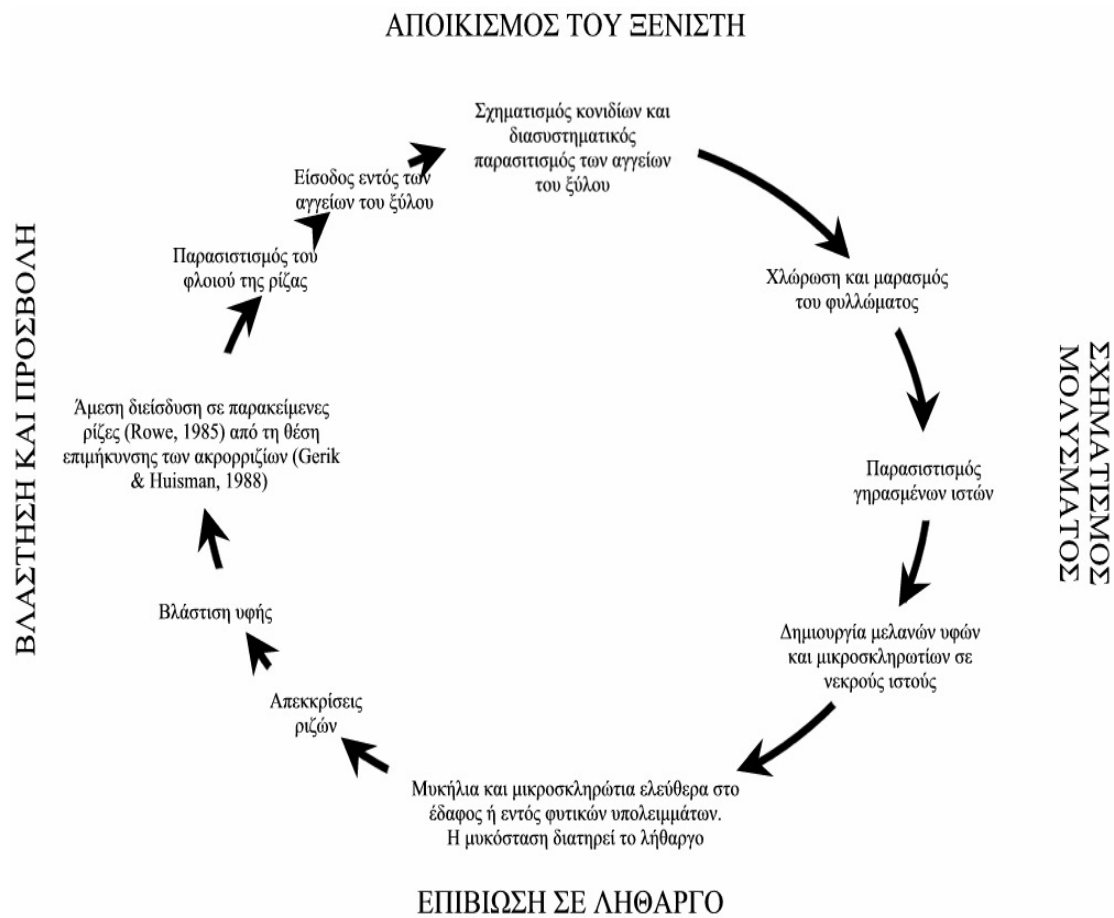
Το γένος *Verticillium* χαρακτηρίζεται από κονίδια που διασπείρονται με νερό και έντομα. Τα κονίδια διασκορπίζονται εύκολα με ρεύματα αέρα και εξαπλώνονται με σταγονίδια νερού. Όμως η διασπορά των κονιδίων του *V. dahliae* με τον αέρα φαίνεται να είναι περιορισμένη. Λόγω της μεγάλης ευπάθειας των κονιδίων στην ξηρασία, η διασπορά του μύκητα με αυτά γίνεται σε μικρές ή πολύ μικρές αποστάσεις. Το νερό είναι σπουδαίος παράγοντας για τη διασπορά και τη βλάστηση των αναπαραγωγικών μονάδων των *V. albo-atrum* και *V. dahliae*.

δ) Με επαφή των ριζών ασθενούς και υγιούς φυτού (Isaac, 1967).

Οι *V. albo-atrum* και *V. dahliae* προσβάλλουν μη τραυματισμένες ρίζες φυτών όμως, ζημιές της ρίζας μπορεί να αυξήσουν τη συχνότητα της προσβολής και τη σοβαρότητα των συμπτωμάτων.

7.7. Βιολογικός κύκλος του μύκητα *V. dahliae*

Ο βιολογικός κύκλος του μύκητα περιγράφεται στο διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1: Βιολογικός κύκλος του *Verticillium*

8. Τρόποι αντιμετώπισης

Η αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης δεν είναι δυνατή με διασυστηματικά μυκητοκτόνα (Θανασουλόπουλος, 1992, Παναγόπουλος, 1995).

Η αντιμετώπιση του *V. dahliae* αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα, εξαιτίας της παραγωγής μικροσκληρωτίων σε φυτικά υπολείμματα που βρίσκονται στην

επιφάνεια του εδάφους ή σε κάποιο βάθος του (Pegg, 1974). Οι κυριότεροι τρόποι αντιμετώπισης της ασθένειας είναι: **α)** καλλιέργεια ανθεκτικών ποικιλιών, **β)** απολύμανση εδάφους με ατμό ή χημικά απολυμαντικά ή/και ήλιο-απολύμανσή του, **γ)** χημική αντιμετώπιση (χρήση φυτοφαρμάκων επικουρικά - συμπληρωματικά), **δ)** αμεινισπορά, **ε)** εφαρμογή κατάλληλων καλλιεργητικών φροντίδων (λίπανση, άρδευση, ζιζανιοκτονία, κ.ά.), καθώς επίσης καταστροφή των προσβλημένων ριζών και στελεχών των διαφόρων φυτών μετά τη συγκομιδή (Δημητριάδης, 1970) και **στ)** χρησιμοποίηση διαφόρων βιολογικών εχθρών, όπως οι *Talaromyces flavus*, και *Trichoderma sp.* (Αντωνίου, 1995).

Στη χώρα μας, η αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης επιτυγχάνεται στις μεν θερμοκηπιακές καλλιέργειες με απολύμανση του εδάφους με χημικά απολυμαντικά ευρέως φάσματος (παλιότερα είχε χρησιμοποιηθεί ευρύτατα το βρωμιούχο μεθύλιο το οποίο για περιβαλλοντικούς λόγους απαγορεύτηκε η χρήση του στην γεωργία) ή συνδυασμό ηλιοαπολύμανση και μειωμένης δόσης απολυμαντικού καθώς επίσης με χρησιμοποίηση ποικιλιών και υβριδίων διαφόρων ειδών φυτών (Πίν. 4 & 5), στις δε υπαίθριες καλλιέργειες με χρησιμοποίηση ανθεκτικών ποικιλιών και υβριδίων (κυρίως στην τομάτα). Η βιολογική αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης δεν έχει ακόμα εφαρμοστεί πρακτικά στη χώρα μας.

Οι κυριότεροι τρόποι αντιμετώπισης της Βερτισιλλίωσης αναφέρονται στη συνέχεια.

8.1. Καλλιέργεια ανθεκτικών γενοτύπων

Η ιδανική αντιμετώπιση ασθενειών που οφείλονται στην παρουσία εδαφογενών παθογόνων επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ανθεκτικών ή ανεκτικών γενοτύπων. Η μέθοδος αυτή είναι οικονομική και προστατεύει το περιβάλλον.

Η αποτελεσματικότερη, οικονομικότερη και ευρύτερα χρησιμοποιούμενη πρακτική μέθοδος αντιμετώπισης της Βερτισιλλίωσης είναι η χρησιμοποίηση ανθεκτικών ποικιλιών. Η καλύτερη ελπίδα για την

αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης στις περισσότερες καλλιέργειες βρίσκεται στη δημιουργία ανθεκτικών ποικιλιών ή την ενσωμάτωση της αντοχής σε ορισμένες ποικιλίες.

Για την αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης έχουν δημιουργηθεί ανθεκτικές ή ανεκτικές ποικιλίες και υβρίδια διαφόρων κηπευτικών, καθώς επίσης ανθεκτικές ποικιλίες καρποφόρων δέντρων που χρησιμοποιούνται ως υποκείμενα (Πίνακας 4). Όμως στους περισσότερους ξενιστές, δεν έχει βρεθεί οικονομικά αποδεκτή αντοχή στο *V. dahliae* (Fravel, 1989). Γι' αυτό, η αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης βασίζεται κυρίως σε διάφορες προληπτικές επεμβάσεις.

Πίνακας 4. Ποικιλίες και υβρίδια διαφόρων ειδών καλλιεργούμενων φυτών με αντοχή στη Βερτισιλλίωση και ανθεκτικά είδη ή ποικιλίες καρποφόρων δέντρων που χρησιμοποιούνται ως υποκείμενα για εμβολιασμό

Είδος
Τομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)
Μελιτζάνα (<i>Solanum melongena</i> L.)
Πιπεριά (<i>Capsicum annuum</i> L.)
Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i> L.)
Φράουλα (<i>Fragaria vesca</i> L.)
Βατόμουρο (<i>Rubus</i> sp.)
Βαμβάκι (<i>Gossypium</i> spp.)
Λυκίσκος (<i>Humulus lupulus</i> L.)
Ηλιάνθος (<i>Helianthus annuus</i> L.)
Μέντα (<i>Mentha piperita</i> L.)
Μηδική (<i>Medicago sativa</i> L.)
Ελιά (<i>Olea europaea</i> L.)
Φιστικιά (<i>Pistacia vera</i> L.)
Κερασιά (<i>Prunus avium</i> L.)
Κερασιά μυροβαλάνα (<i>Prunus cerasifera</i> L.)
Τριανταφυλλιά (<i>Rosa</i> sp.)
Χρυσάνθεμο (<i>Chrysanthemum</i> sp.)

8.2. Απολύμανση εδάφους (Χημική, ηλιοαπολύμανση)

8.2.1 Χημική απολύμανση του εδάφους.

Η χημική απολύμανση του εδάφους για την καταπολέμηση εδαφογενών παθογόνων, όταν είναι εφαρμόσιμη, αποτελεί συχνά τη μοναδική διέξοδο αντιμετώπισης μεγάλου αριθμού εδαφογενών παθογόνων των φυτών. Ως προφυτρωτική εφαρμογή, σε υπαίθριες αλλά κυρίως σε υπό κάλυψη καλλιέργειες, επηρεάζει δραστικά την επιβίωση των παθογόνων εδάφους, ενώ η απολύμανση με υποθανάτιες δόσεις απολυμαντικών (sublethal fumigation) σε συνδυασμό με μη χημικές μεθόδους, όπως είναι η ηλιοαπολύμανση (soil solarization, Katan, 1981), θεωρούνται ως ηπιότερες βιολογικά μέθοδοι.

Τα σπουδαιότερα από τα απολυμαντικά εδάφους που χρησιμοποιούνται διεθνώς είναι τα ακόλουθα:

1. Απολυμαντικά με ευρύ φάσμα δράσεως: τριχλωρονιτρομεθάνιο (chloropicrin), metham sodium, vapam (N-μεθυλοδιθειο καρβαμιδικό Na), bunema (N-υδροξυμεθύλιο-N-μεθυλοδιθειό), dazomet (3,5-διμέθυλο-τετραϋδρο-1,3,5(2H) θειοδιαζινο-θειόνη).

2. Νηματοκτόνα υποκαπνιστικά: D-D (1,3-διχλωροπροπένιο-1,2-διχλωροπροπάνιο), 1,3-D(1,3-διχλωροπροπένιο), EDB (διβρωμοαιθυλένιο).

3. Νηματοκτόνα μη υποκαπνιστικά: **α)** Οργανοφωσφορικά (Dichlofenthion, fenamiphos, ethoprophe), **β)** Καρβαμιδικά (aldicard, carbofuran, oxamyl).

4. Μυκητοκτόνα όπως χαλκούχα, αρωματικοί υδρογονάνθρακες, διθειοκαρβαμιδικά κ.ά. μπορούν να εφαρμοστούν με τη μέθοδο του ριζοποτίσματος του εδάφους (soil drenching) για την αντιμετώπιση παθογόνων εδάφους. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν η χημική απολύμανση με απολυμαντικά εδάφους δεν είναι εφαρμόσιμη ή δεν είναι οικονομικά εφικτή.

Κύριο χαρακτηριστικό των απολυμαντικών με ευρύ φάσμα δράσεως είναι η υψηλή τοξικότητά τους, εναντίον όλων των εδαφογενών παθογόνων. Τα απολυμαντικά με ευρή φάσμα δράσεως είναι περισσότερο ενεργά και κατά συνέπεια δρουν με περισσότερους του ενός τρόπους. Συνήθως δρουν ως βιοκτόνα, σε αντίθεση με τα απολυμαντικά περιορισμένου φάσματος δράσεως

που είναι βιοστατικά, ιδιότητες οι οποίες επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως επίδραση του εδάφους, υγρασία κ.ά.

Σε αυτή την ομάδα ανήκει και η χλωροπικρίνη (CP) η οποία είναι εξαιρετικά τοξική σε μύκητες, βακτήρια, νηματώδεις, έντομα, καλλιεργούμενα φυτά, αλλά και θερμόαιμα.

Τα απολυμαντικά με δραστική ουσία το ισοκυανικό μεθύλιο (MIT) διακρίνονται σε αυτά που περιέχουν αυτούσια την ουσία, όπως το DI-Drapex και σε αυτά που απελευθερώνουν το MIT όταν βρεθούν στο έδαφος, όπως τα varam, dazomet και bunena. Το MIT είναι υγρό, πολύ τοξικό για τα ζιζάνια, τα έντομα, τους νηματώδεις και τους μύκητες. Ο χρόνος παραμονής του στο έδαφος είναι μικρός λόγω μικρής πτητικότητας.

Στην κατηγορία των υποκαπνιστικών νηματοκτόνων, κατατάσσονται τα απολυμαντικά που καταστρέφουν ορισμένα μόνο εδαφογενή παθογόνα.

Η αποτελεσματικότητα ενός απολυμαντικού στην αντιμετώπιση ενός παθογόνου εξαρτάται από την τοξικότητα του απολυμαντικού στο συγκεκριμένο παθογόνο και τη δόση, η οποία επιδρά σε αυτό και εκφράζεται με το γινόμενο CT της συγκεντρώσεως [C] επί το χρόνο [T]. Η δόση που θα επιδράσει σε ένα παθογόνο σε ορισμένο σημείο του εδάφους εξαρτάται από την κατανομή του απολυμαντικού στη στερεή, υγρή και αέριο φάση του εδάφους, την ταχύτητα διαχύσεως μέσα από κάθε φάση και τη διάσπασή του, παράμετροι που εξαρτώνται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η τοξικότητα ενός απολυμαντικού είναι διαφορετική για τις διάφορες πολλαπλασιαστικές μονάδες ενός παθογόνου και τέλος διαφορετική ανάλογα με το βαθμό ωριμότητας κάθε μίας από αυτές. Στην αποτελεσματικότητα των απολυμαντικών συμβάλλει και η προσρόφηση που λαμβάνει χώρα κυρίως στην οργανική ουσία, όπου και αδρανοποιείται. Αντιθέτως η προσρόφηση από την άργιλο είναι μικρότερη. Η επίδραση της χημικής απολυμάνσεως στην ανάπτυξη των φυτών είναι θετική, αν και υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου έχουν παρατηρηθεί και δυσμενείς επιπτώσεις, όπως αύξηση απωλειών από τις ασθένειες, φαινόμενα τοξικότητας και μειωμένη ανάπτυξη. Ένα μέρος των απολυμαντικών που προστίθεται στο

έδαφος διαφεύγει στον αέρα, αν είναι πτητικά, ένα άλλο προσροφάται στην οργανική ουσία και την άργιλλο, όπου και αδρανοποιείται και ένα τρίτο διασπάται. Η τελική κατάληξη της διασπάσεως είναι για το οργανικό μέρος η οξείδωση σε $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ και για το ανόργανο η παραμονή στο έδαφος υπό τη μορφή διαφόρων ενώσεων (Αντωνίου, 1995).

8.2.2. Ηλιοαπολύμανση του εδάφους

Η ηλιοαπολύμανση του εδάφους συνιστά μία πρόσφατη γεωργική τεχνική απολυμάνσεως του εδάφους. Η μέθοδος στηρίζεται στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρησιμοποίηση διαφανών πλαστικών φύλλων πολυαιθυλενίου κατά τη θερμή περίοδο του έτους (Βλέπε εικόνες 15, 16 και 17). Αναφέρεται στην κάλυψη οργωθέντος, ψιλοχωματισθέντος και επαρκώς αρδευθέντος εδάφους. Η τεχνική αφορά προφυτρωτικές κυρίως εφαρμογές για την αντιμετώπιση παθογόνων εδάφους. Στηρίζεται στην αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10-12 °C σε σύγκριση με το ακάλυπτο έδαφος – μάρτυρα, αύξηση η οποία είναι επαρκής για να εξοντώσει τα μολύσματα φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών που επιβιώνουν σε διάφορα βάθη εδάφους, όταν η διάρκεια της είναι τουλάχιστον 4 εβδομάδες, για τα περισσότερα από τα παθογόνα όπου έχει δοκιμαστεί. Από τη διαπίστωση ότι η εφαρμογή της μεθόδου συμβάλλει στη μακροχρόνια αποτελεσματικότητά της, συμπεραίνεται ότι πέραν της άμεσης θερμικής επιδράσεως στα μολύσματα του παθογόνου, υπάρχουν και άλλοι τρόποι δράσεως μεταξύ των οποίων η βιολογική, η οποία σχετίζεται με την επιβίωση και την αύξηση θερμοανθεκτικών μικροοργανισμών μετά από την εφαρμογή της ηλιοαπολυμάνσεως. Αυτή είναι αποτέλεσμα του μερικού βιολογικού κενού που δημιουργείται από την καταστροφή των περισσότερων μυκήτων και βακτηρίων της μικροχλωρίδας του εδάφους. Έχει κατά καιρούς διαπιστωθεί και αναφερθεί ότι οι θερμοανθεκτικοί μικροοργανισμοί είναι δυνατόν να συμβάλλουν στην παρεμπόδιση αναπτύξεως ή στην εγκατάσταση στο έδαφος μικροοργανισμών που ενδεχομένως επιβιώνουν της ηλιοαπολυμάνσεως, είτε, συμβάλλουν στην καταστροφή εξασθενηθέντων πολλαπλασιαστικών μονάδων στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Η

βιοχημική επίσης πλευρά έχει αναφερθεί ως ένας άλλος τρόπος δράσεως διότι έχει διαπιστωθεί ότι η εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης του εδάφους συμβάλλει στην ταχύτερη αύξηση και ανάπτυξη των φυτών σε σύγκριση με εδάφη στα οποία δεν έχει εφαρμοσθεί.

Η ηλιοαπολύμανση εφαρμόζεται στην πράξη σε πολλά μέρη της γης αλλά και στη χώρα μας, κυρίως για την αντιμετώπιση εδαφογενών παθογόνων σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες (Katan & DeVay, 1991).

Ως εναλλακτική μέθοδος προσεγγίσεως για την αποφυγή της έντονης τοξικότητας από τη χημική απολύμανση, συνιστάται η μείωση των δόσεων των χημικών απολυμαντικών σε συνδυασμό με την ηλιοαπολύμανση. Ο συνδυασμός της υποθανατίων δόσεων απολυμαντικών με την ηλιοαπολύμανση του εδάφους θα μπορούσε να εστιαστεί στα ακόλουθα:

- Ηλιοαπολύμανση ακολουθούμενη από χημικό απολυμαντικό, για θερμοανθεκτικά παθογόνα.
- Χημική απολύμανση ακολουθούμενη αμέσως από ηλιοαπολύμανση.
- Ταυτόχρονη εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης, με μειωμένες δόσεις απολυμαντικών (Tjamos et al., 1992).

Η ηλιοαπολύμανση εφαρμόζεται σε εμπορική κλίμακα κατά τη τελευταία δεκαετία σε περιοχές της χώρας μας όπου τα εδαφογενή παθογόνα αποτελούν σημαντικό φυτοπαθολογικό πρόβλημα, (Κρήτη, Δ. Πελοπόννησο, Πρέβεζα).



Εικόνα 15: Ηλιοαπολύμανση σε θερμοκήπιο



Εικόνα 16: Ηλιοαπολύμανση σε θερμοκήπιο

8.2.3. Ηλιοαπολύμανση του εδάφους (soil solarization, solar heating)

Όταν ήταν ακόμη άγνωστη η φύση των παθογόνων και οι γνώσεις γύρω από τη χρήση της θερμότητας ελάχιστες, οι αρχαίοι Ινδοί εξέθεταν τα φυτικά υπολείμματα στην ηλιακή ακτινοβολία. Η σύγχρονη εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης σε σύγκριση με τη χρήση του όρου σε προγενέστερες δημοσιεύσεις ως ηλιακή θέρμανση, αφορά στην αντιμετώπιση εδαφογενών παθογόνων και ζιζανίων και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1976, από τον Katan και τους συνεργάτες του από το Πανεπιστήμιο του Rehovot στο Ισραήλ (Katan et al., 1976).



Εικόνα 17: Ηλιοαπολύμανση σε αγρό

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ηλιοαπολύμανσης το έδαφος καλύπτεται με διαφανές φύλλο πλαστικού επί ένα τουλάχιστο μήνα κατά την περίοδο των υψηλών θερμοκρασιών. Κατ' αυτό τον τρόπο, η ηλιακή θερμότητα εγκλωβίζεται με τη μορφή της υγρής θερμότητας, η οποία συμβάλλει ουσιαστικά στην καταπολέμηση εδαφογενών φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών. Η απολύμανση αυτή, που στην ουσία είναι μία μορφή παστεριώσεως, έχει την ικανότητα να αντιμετωπίσει ευρέως φάσματος παθογόνους μικροοργανισμούς, με διαφορετικό όμως κατά περίπτωση ποσοστό επιτυχίας.

Βασικός σκοπός της ηλιοαπολύμανσης είναι η άνοδος της θερμοκρασίας του εδάφους σε επίπεδα θερμοκρασίας 36-50 °C, στο βάθος των 10-30 cm, όπου και απαντούν τα περισσότερα μολύσματα των παθογόνων μικροοργανισμών του εδάφους. Παρόλο που η βασική δράση της ηλιοαπολύμανσης είναι η θερμική, το εντυπωσιακό αποτέλεσμα της οφείλεται

στις συνθήκες που δημιουργούνται στο έδαφος και οι οποίες ευνοούν αυξημένη βιολογική δραστηριότητα.

Κύριος σκοπός της απολυμάνσεως του εδάφους είναι η αντιμετώπιση εδαφογενών παθογόνων μικροοργανισμών συνήθως προ της εγκαταστάσεως της φυτείας. Παρά ταύτα, η καταστροφή επιβλαβών παραγόντων, οι οποίοι συσσωρεύονται στο έδαφος κατά τη διάρκεια της συνεχούς καλλιέργειας, είναι ένας ακόμη σκοπός ο οποίος θα μπορούσε να επιτευχθεί ταυτόχρονα.

Η ηλιοαπολύμανση αποτελεί εναλλακτική μέθοδο απολυμάνσεως του εδάφους, η οποία βασίζεται στον εγκλωβισμό της ηλιακή θερμότητας με τη χρήση διαφανών ή εγχρώμων (πράσινα ή μαύρα) φύλλων πολυαιθυλενίου. Σκοπός της μεθόδου είναι η καταστροφή, η μείωση του αριθμού των μολυσμάτων ως και η εξασθένηση των διαχειμαζουσών μορφών – κατασκευών των φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών, που επιβιώνουν στο έδαφος ή στα φυτικά υπολείμματα που ενσωματώνονται σ' αυτό. Παράλληλα όμως, επιτυγχάνει και τον περιορισμό ανασταλτικών για την ανάπτυξη των φυτών παραγόντων, οι οποίοι συσσωρεύονται λόγω της συνεχούς μονοκαλλιέργειας, όπως τα ζιζάνια, τοξικά υπολείμματα κ.λπ. Επισημαίνεται ότι η επιτυχής εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης δεν απαιτεί πολύ υψηλές θερμοκρασίες όπως συμβαίνει με άλλες μεθόδους, ενώ η διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας από την “πηγή” στο χώρο της θερμάνσεως είναι άμεση, θα πρέπει επίσης να τονισθεί ότι οι ανεπιθύμητες επιδράσεις που παρατηρούνται με τη θέρμανση του εδάφους με τον ατμό, όπως η αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε μαγγάνιο ως και η ευχερής επαναμόλυνση του εδάφους λόγω δημιουργίας βιολογικού κενού, δεν έχουν μέχρι σήμερα αναφερθεί για την περίπτωση της ηλιοαπολύμανσης. Δεν πρέπει όμως να αποκλείεται η πιθανότητα διαταραχών στη βιολογική ισορροπία του οικοσυστήματος των φυτών με την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης, διότι η μέθοδος μπορεί να καταλήξει σε ανάλογες επιδράσεις που ακόμη δεν έχουν διαπιστωθεί ή διερευνηθεί (Katan & DeVay, 1991).

Ως προς το είδος του πολυαιθυλενίου (PE) που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της μεθόδου, το διαφανές πολυαιθυλένιο είναι εκείνο που επικρατεί.

Είναι γνωστόν ότι το πολυαιθυλένιο είναι ένα από τα κύρια πλαστικά, που χρησιμοποιούνται στη γεωργία και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά εμπορικά το 1939 (Katan, 1981). Υπάρχουν επίσης και άλλα είδη πλαστικών όπως, το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), τα πολυστειρένια, τα πολυπροπυλένια και το ακετυβινυλαιθυλένιο (EVA). Το χαμηλό κόστος, η εξαιρετική χημική του σταθερότητα, η έλλειψη οσμής και τοξικότητας, η χαμηλή υδατοπερατότητα και η υψηλή διαπερατότητα στην ακτινοβολία είναι ορισμένα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, στα οποία οφείλει την εκτεταμένη διάδοσή του. Έχει επιπροσθέτως την ικανότητα να περιορίζει την αντανάκλαση της θερμότητας και την απώλεια του νερού από το έδαφος λόγω εξατμίσεως στην ατμόσφαιρα. Ως αποτέλεσμα του σχηματισμού υδρατμών στο εσωτερικό του πλαστικού είναι η μείωση της διαφυγής της υψηλού μήκους κύματος ακτινοβολίας προς τα έξω και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη θέρμανση του εδάφους. Η πλειονότητα των πλαστικών φύλλων προέρχεται από συνθετικά μακρομοριακά υλικά που βασίζονται σε πολυμερή με προσθήκη άλλων πρόσθετων χημικών ουσιών. Μία από τις πρόσθετες αυτές ενώσεις είναι και οι σταθεροποιητές εναντίον των υπεριώδων ακτίνων (UV stabilizers). Η προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι πολύ δυσχερής αλλά και απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου στον αγρό. Κατά την τελευταία δεκαετία χρησιμοποιείται ένας νέος σταθεροποιητής κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας γνωστός ως αμινικός παρεμποδιστής που ενσωματώνεται στο πολυαιθυλένιο σε ποσοστό 1-2%. Ένα από τα φυσικά χαρακτηριστικά των διαφανών υλικών είναι η υψηλή "μετάδοση" (transmittance) της ηλιακής και της γήινης, θερμικής ακτινοβολίας. Το πολυαιθυλένιο (PE) είναι διαπερατό σε μήκος κύματος μικρότερο των 300 nm, ενώ το γυαλί έχει τη μεγαλύτερη διαπερατότητα μεταξύ 380-780 nm του ορατού φάσματος. Τόσο το γυαλί όσο και το πλαστικό έχουν την ίδια διαπερατότητα στο θερμικό, μικρό μήκος κύματος της υπέρυθρης (IR) ακτινοβολίας μεταξύ 780-2500 nm. Το ιδεώδες πλαστικό υλικό θα πρέπει να είναι διαπερατό στην ηλιακή ακτινοβολία (280-2500 nm), αλλά πλήρως αδιαφανές στη γήινη, θερμική ακτινοβολία (5.000-35.000 nm).

Η αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους κατά τη διάρκεια της καλύψεως στη χώρα μας είναι περίπου 10-12 °C υψηλότερη σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του ακάλυπτου εδάφους – μάρτυρα.

8.2.4. Βασικές αρχές της ηλιοαπολύμανσης

Η ηλιοαπολύμανση είναι πλέον μία πρακτικά εφαρμοζόμενη μέθοδος στη Φυτοπαθολογία ως και σε άλλους τομείς της φυτοπροστασίας, όπως καταπολέμηση ζιζανίων και νηματωδών.

Οι φυσικές, χημικές, βιολογικές και τεχνολογικές αρχές της ηλιοαπολύμανσης μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

1. Με την ηλιοαπολύμανση το έδαφος θερμαίνεται κατά επαναλαμβανόμενους ημερησίους κύκλους. Οι ανώτερες τιμές θερμοκρασίας του εδάφους μειώνονται αυξανόμενου του βάθους. Γενικώς παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των απογευματινών ωρών της ημέρας και διατηρούνται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα απ' ό,τι οι υψηλές θερμοκρασίες στο ακάλυπτο έδαφος – μάρτυρα.

2. Η επιμελημένη προετοιμασία του εδάφους είναι απαραίτητη για την απόκτηση κατά το δυνατόν επίπεδης επιφάνειας προ της εφαρμογής του διαφανούς πολυαιθυλενίου για την καλύτερη επαφή του με το έδαφος. Μετά από την απομάκρυνση του πλαστικού φύλλου, το έδαφος θα πρέπει να διαταραχθεί όσο το δυνατόν λιγότερο, προς αποφυγή επαναμολύνσεων από γειτονικές μη απολυμανθείσες περιοχές.

3. Πέραν του εμπειρικού καθορισμού της περιόδου καλύψεως κατά το θέρος, η καλύτερη περίοδος για την κάλυψη του εδάφους, όταν δεν επικρατούν ιδιαίτερα ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά σε συνδυασμό με πειραματικά δεδομένα προηγούμενων ετών καθώς και πρότυπα προβλέψεως, συνδεδεμένα με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, που διευκολύνουν αυτό το σκοπό.

4. Η υπερέπάρκεια εδαφικής υγρασίας είναι, απαραίτητη κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης για την αύξηση της θερμικής ευαισθησίας των φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών. Η εδαφική υγρασία βοηθά την επαγωγή

της θερμότητας στο έδαφος και αυξάνει τη βιολογική δράση της κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης. Το έδαφος μπορεί να υγρανθεί με μία πλήρη άρδευση ($30-40 \text{ L/m}^2$) 1-2 ημέρες πριν από την κάλυψη.

5. Το έδαφος καλύπτεται με λεπτό φύλλο διαφανούς πολυαιθυλενίου ή άλλο πλαστικό υλικό, που είναι διαθέσιμα για πειραματικούς σκοπούς, όπως WalloplastTM, ThermoplastTM και SaranexTM, ως και τα πλέον πρόσφατα αδιαπέρατα φύλλα LMG, EVOH. Η κάλυψη πρέπει να είναι ερμητική με τη διάνοιξη περιμετρικού αυλακιού μέσα στο οποίο τοποθετείται το πλαστικό φύλλο και σταθεροποιείται περιφερειακά με την επίθεση χώματος. Η επίδραση της καλύψεως στη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας επί μεγάλο χρονικό διάστημα και της αυξήσεως ή μειώσεως της εδαφικής θερμοκρασίας καθορίζεται από το ισοζύγιο ενεργείας του εδάφους (soil energy budget). Η εξίσωση του ισοζυγίου της ενεργείας περιλαμβάνει όρους που περιγράφουν ανταλλαγές ενέργειας στο έδαφος και μεταξύ εδάφους, καλύψεως και του περιβάλλοντος αέρα. Αδιαπέρατα πλαστικά φύλλα (impeable plastic) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν γι' αυτό το σκοπό, δίνοντας καλύτερα συνήθως αποτελέσματα αλλά και δυνατότητες συνδυασμού με άλλες μεθόδους απολυμάνσεως του εδάφους. Η κάλυψη γίνεται με τα χέρια ή με "Ι χρήση κατάλληλων μηχανών, όπως αυτών οι οποίες επιτυγχάνουν συνεχή κάλυψη, με: πλευρική ενσωμάτωση του πλαστικού στο έδαφος και παράλληλη συγκόλληση των επαπτόμενων στα άκρα πλαστικών φύλλων. Πλέον συνήθης είναι η χρήση διάφανους πολυαιθυλενίου πάχους 25-30 μμ, που συνδυάζει το χαμηλό κόστος με καλύτερη περατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Επειδή όμως είναι ευαίσθητο σε μηχανικές ζημιές, συνιστάται η χρήση παχύτερου φύλλου 50-100 μμ ως και η ενσωμάτωση 1-2% σταθεροποιητού κατά των υπεριωδών ακτίνων. Η διάρκεια καλύψεως είναι 4-6 εβδομάδες για να επιτευχθεί ικανοποιητική απολύμανση και στα βαθύτερα ακόμη στρώματα του εδάφους. Η παράταση της διάρκειας ηλιοαπολυμάνσεως συμβάλλει στην αντιμετώπιση των ευαίσθητων παθογόνων σε μεγαλύτερα βάθη εδάφους, ή στην αντιμετώπιση παθογόνων, τα οποία είναι λιγότερο ευαίσθητα στην αναπτυσσόμενη θερμότητα (Katan & DeVay, 1991).

6. Η μακροχρόνια δράση της μεθόδου στην αντιμετώπιση των παθογόνων και στην αύξηση της παραγωγής αποτελεί μία άλλη χαρακτηριστική ιδιότητα της ηλιοαπολύμανσης. Η αποτελεσματική καταπολέμηση πολλών φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών επεκτείνεται στη δεύτερη ή ακόμη και στην τρίτη καλλιεργητική περίοδο που θα ακολουθήσει την ηλιοαπολύμανση. Πέραν της αντιμετώπισης των ασθενειών μετά από την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης, παρατηρείται συχνά αυξημένος ρυθμός αναπτύξεως (increased growth response, IGR) των φυτών σε σύγκριση με τα μη ηλιοαπαλυμανθέντα εδάφη. Τούτο μπορεί να αποδοθεί στην απελευθέρωση ιόντων ή ριζών θρεπτικών συστατικών ως και προϊόντων αποσυνθέσεως της οργανικής ύλης στο έδαφος (Katan & DeVay, 1991).

7. Τέλος η ηλιοαπολύμανση προκαλεί χημικές, φυσικές και βιολογικές αλλαγές στο έδαφος οι οποίες επηρεάζουν θετικώς την ανάπτυξη του φυτού.

8.2.5. Μηχανισμοί δράσεως της ηλιοαπολύμανσης στην αντιμετώπιση εδαφογενών φυτοπαθογόνων

Η εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης επιφέρει διατάραξη στο εδαφικό οικοσύστημα, τόσο όσον αφορά τους φυτοπαθογόνους οργανισμούς, όσο και στη μικροχλωρίδα γενικότερα, και αυξάνει το ρυθμό αναπτύξεως των φυτών (increased growth response). Η επίδραση αυτή προέρχεται από τη θερμική, βιοχημική και βιολογική δράση της μεθόδου. Οι μεταβολές που υφίστανται στα εδάφη όπου έχει εφαρμοστεί ηλιοαπολύμανση αφορούν στη θερμοκρασία, στην υγρασία, στην οργανική και ανόργανη σύνθεση της στερεάς, υγρής και αέριας φάσης, καθώς και της φυσικής δομής τους. Το μέγεθος αυτών των μεταβολών εξαρτάται κυρίως από τη διάρκεια της εφαρμογής παρά το γεγονός ότι πολλές επιδράσεις είναι πιθανόν να εκδηλωθούν ακόμη και μετά από την απομάκρυνση του πολυαιθυλενίου από το έδαφος, καθώς και το είδος της καλλιέργειας που θα εγκατασταθεί μεταξύ των εφαρμογών. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να επηρεάσουν τόσο τα παθογόνα, όσο και τους δυνητικούς ανταγωνιστές των παθογόνων οι οποίοι μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του ποσού του μολύσματος ή στον περιορισμό της επιπτώσεως μίας ασθένειας,

ως και στην αύξηση του ρυθμού αναπτύξεως των φυτών (DeVay & Katan, 1991).

Στην περίπτωση της ηλιοαπολύμανσης έχουμε έκθεση των μολυσμάτων των μικροοργανισμών σε ήπιες σχετικά θερμοκρασίες, που κυμαίνονται μεταξύ 35-50 °C. Η έκθεση των μικροοργανισμών σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν το μέγιστο όριο αναπτύξεώς τους επιφέρει μείωση της ικανότητας επιβιώσεώς τους. Είναι γνωστό ότι ο θερμικός θάνατος (thermal death) κάθε οργανισμού εξαρτάται από το ύψος της θερμοκρασίας, τη διάρκεια εκθέσεως και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν.

Η διάρκεια εκθέσεως των μικροοργανισμών στη θερμότητα είναι καθαριστική για την επιβίωση και ανάπτυξή τους. Δεδομένα ερευνητικών εργασιών που αναφέρονται στην έκθεση των πολλαπλασιαστικών μονάδων των μικροοργανισμών σε διάφορες θερμοκρασίες διαφέρουν από αυτά που παρατηρούνται μετά από την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης και τούτο γιατί υπό ελεγχόμενες συνθήκες υπάρχει συνεχής έκθεση τον μολύσματος σε προκαθορισμένη θερμοκρασία, σε αντίθεση με την ηλιοαπολύμανση όπου τα πολλαπλασιαστικά όργανα εκτίθενται σε διάφορες θερμοκρασίες που παραλλάσσουν αναλόγως του βάθους, του εδάφους και κυμαίνονται σημαντικά σε συνάρτηση με το χρόνο. Κατ' αυτό τον τρόπο περιπλέκεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στους 37 °C, αρχική θανατηφόρος θερμοκρασία, για πολλούς μεσόφιλους (mesophilic) μύκητες, μπορεί, να απαιτείται έκθεση από 2-4 εβδομάδες, ενώ στους 47 °C έκθεση για 1-6 ώρες θα επιφέρει το ίδιο αποτέλεσμα. Μερικοί μύκητες όπως ο *Macrophomina phaseolina*, ο *Sclerotium rolfsii* και ο *Pythium aphanidermatum* είναι ολιγότερο ευαίσθητοι στις υψηλές θερμοκρασίες σε υγρά εδάφη. Αντιθέτως, μύκητες του γένους *Phytophthora*, όπως *P. cinnamoni* είναι πολύ ευαίσθητοι σε υψηλές θερμοκρασίες και νεκρώνονται σε 38 °C για 30 min. Έτσι καταστρέφονται μέχρι βάθους 70 cm με την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης διάρκειας έξι εβδομάδων. Ο μύκητας *V. dahliae* ανήκει στους φυτοπαθογόνους μύκητες που είναι ευαίσθητοι στη θερμότητα και στην υγρασία. Έχει αναφερθεί, ότι ακόμη και τα μικροσκληρώτια του *V. dahliae* που επιζούν θερμοκρασιών κατωτέρων των

ορίων των κρισίμων θερμοκρασιών, υφίστανται ζωτικές αλλοιώσεις, ή αποδυναμώνονται εντελώς. Υπάρχουν όμως άλλες περιπτώσεις φυτοπαθογόνων όπου η επίδραση είναι αναστρέψιμη.

Το μέγεθος της καταστροφής που προκαλείται στα πολλαπλασιαστικά όργανα των μυκήτων εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες περιβάλλοντος, το είδος της ασθένειας, το επίπεδο εδαφικής υγρασίας, την πυκνότητα και ηλικία του μολύσματος, ως και το θρεπτικό επίπεδο του παθογόνου την παρουσία τοξικών ουσιών.

Κατά αυτό τον τρόπο, το ποσοστό επιβίωσης του πληθυσμού ενός παθογόνου που έχει υποστεί θερμική επίδραση δεν εκφράζει το πραγματικό εύρος της ζημιάς. Η επίδραση της ηλιοαπολύμανσης αφορά στο δυναμικό του μολύσματος, που εκδηλώνεται ως μειωμένος ρυθμός αναπτύξεως, περιορισμένη ικανότητα πολλαπλασιασμού ως και ελαττωμένη ζωτικότητα. Αυτό είναι επακόλουθο της μείωσης των παραγομένων ενζύμων αλλά και των ζημιών στην ημιπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών που οδηγούν στην απώλεια θρεπτικών στοιχείων. Τα ανώτατα όρια θερμοκρασίας για τα σπερματοφύτα είναι 45 °C, για τους μύκητες 60 °C και για τα βακτήρια 70 °C έως και ανώτερα από 100 °C. Τα όρια της ευαισθησίας στις υψηλές θερμοκρασίες ενυπάρχουν με μικρές διάφορες στα μακρομόρια που αυξάνουν τους ενδομοριακούς δεσμούς, επιφέροντας ελαφρές αλλαγές στους υδρογονικούς, ιονικούς και δισουλφιδικούς δεσμούς (Katan, 1981).

Οργανισμοί ευαίσθητοι σε υψηλές θερμοκρασίες εδάφους, οι οποίες παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης φαίνεται ότι διαθέτουν μεγαλύτερη περίσσεια πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στα κυτταρικά τοιχώματα σε σύγκριση με τους θερμόφιλους οργανισμούς (thermophilic). Η σύσταση των λιπαρών οξέων στις κυτταρικές μεμβράνες επηρεάζει τη θερμοτροπική μεταβολή από τη στερεά στην πιο ρευστή φάση. Μεσόφιλοι οργανισμοί οι οποίοι δεν επιβιώνουν σε θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την ηλιοαπολύμανση, φαίνεται, να έχουν χαμηλότερου σημείου τήξεως λιπαρά οξέα στις μεμβράνες τους και επομένως απαιτούν χαμηλότερες θερμοκρασίες για φάση της θερμοτροπικής μεταβάσεως για των λιπιδίων τους.

Οι πρωτεΐνες επίσης των μεμβρανών δεν μεταβάλλουν σημαντικά τα θερμικά χαρακτηριστικά των λιπιδίων (DeVay & Katan, 1991). Όλα τα μακρομόρια των θερμοφίλων οργανισμών οι οποίοι μπορούν να επιβιώνουν σε θερμοκρασίες μέχρι 60 °C φαίνεται να είναι σταθερά σ' αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες. Πρόσφατα δεδομένα καταδεικνύουν ότι η θερμική ευαισθησία των οργανισμών συνδέεται κατά μεγάλο ποσοστό με ένα υψηλό όριο ευμεταβλητότητας των μεμβρανών, πέραν του οποίου η κατάρρευση της δομής της μεμβράνης πιθανόν να σχετίζεται, με την αστάθειά τους. Άλλα αίτια του θανάτου των οργανισμών κατά την έκθεσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες περιλαμβάνουν και την αδρανοποίηση των ενζυμικών συστημάτων και δη εκείνων της αναπνευστικής λειτουργίας, Η ευπάθεια όλων των ζώντων κυττάρων στις υψηλές θερμοκρασίες καθορίζεται από το σχηματισμό πρωτεϊνών, σχηματιζόμενων ακριβώς λόγω της εκθέσεως σε υψηλές θερμοκρασίες, στα προσβεβλημένα κύτταρα (DeVay & Katan, 1991). Η σύνθεση αυτών των πρωτεϊνών, το μοριακό βάρος των οποίων μπορεί να κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος εξαρτάται από το είδος των οργανισμών στους οποίους παράγονται. Άλλοι παράγοντες εκτός της θερμικής δράσεως, όπως έκθεση των κυττάρων σε αιθανόλη, ή αρσενικόδες νάτριο, μπορεί επίσης να προκαλέσουν σύνθεση πρωτεϊνών θερμοπληξίας – θερμικής επιδράσεως (heat shock proteins). Μετά από προηγούμενη έκθεση των κυττάρων σε τέτοιους παράγοντες, είναι δυνατόν τα κύτταρα αυτά να καταστούν ανθεκτικά ακόμη και σε θανατηφόρες θερμοκρασίες. Η συμβολή αυτών των πρωτεϊνών, στην επιβίωση των μικροοργανισμών ή άλλων ζώντων κυττάρων κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης, δεν έχει ακόμη διευκρινισθεί, όπως επίσης δεν έχει αποσαφηνισθεί εάν ο σχηματισμός αυτών των πρωτεϊνών μπορεί να συμβάλλει στην απόκτηση αντοχής των κυττάρων στις υψηλές θερμοκρασίας με την έκθεση των κυττάρων κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης. Η κανονική σύνθεση πρωτεϊνών ως αντίδραση στην έκθεσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες διακόπτεται στα μιτοχόνδρια παρεμποδίζοντας πλήρως τη δράση ορισμένων αναπνευστικών ενζύμων. Σε άλλα τμήματα του κυττάρου παρεμποδίζονται τα ένζυμα που επηρεάζουν το ρυθμό αναπτύξεως του παθογόνου. Εξασθενημένα

κύτταρα μέσα σ' ένα "εχθρικό εδαφικό περιβάλλον", εξαιτίας της θερμικής καταπονήσεως (thermal stress), είναι συνήθως πιο ευαίσθητα στα απολυμαντικά εδάφους και στους ανταγωνιστικούς μικροοργανισμούς. Υποφέρουν επίσης σε υψηλές θερμοκρασίες και είναι πιο ευαίσθητα σε μεταβαλλόμενο περιβάλλον υδρατμών που αναπτύσσεται σε υγραθέντα εδάφη κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης (Katan & DeVay, 1991).

Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης θεωρείται και ο παράγοντας υγρασία. Η πραγματική ευαισθησία των διαφόρων μικροοργανισμών αυξάνεται με την αύξηση του επιπέδου της υγρασίας. Η επίδραση της "υγρής" θερμότητας ερμηνεύεται από το γεγονός ότι η σταθερότητα των πρωτεϊνών εξαρτάται από το βαθμό υδρογονώσεώς τους. Έτσι με την "υγρή" θερμότητα απαιτείται μικρότερο ποσοστό ενέργειας για την αναδίπλωση της πεπτιδικής αλυσίδας (Katan, 1981).

Αντιστρέψιμη υποθανάτιος θερμική βλάβη, σε κύτταρα που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να εκφραστεί ως απώλεια της παθογόνου ικανότητας, ως διαταραχή στην ημιπερατότητα μεμβρανών και καταστροφή των νουκλεϊκών οξέων, συμπεριλαμβανομένου και του ριβοσωμικού RNA. Συνήθως τα καταπονημένα κύτταρα αδυνατούν να ανακτήσουν πλήρως τη δραστηριότητα των συστημάτων τους που επηρεάζονται από τη θερμότητα. Το θέμα αυτό έχει επίσης μελετηθεί σε αρκετά γένη βακτηρίων (Hurst, 1984).

Αναφορικά με τους μύκητες, οι υποθανάτιες θερμοκρασίες καθυστερούν τη βλάστηση των σπορίων ή των διαχειμαζουσών υφών και κατασκευών τους για παρατεταμένη χρονική περίοδο. Η επίπτωση στη βλάστηση εξαρτάται από το ύψος της θερμοκρασίας και τη διάρκεια της επεμβάσεως. Αυτή η υστέρηση αποδεικνύει ότι η βλάβη από τη θερμότητα είναι σταδιακά, αθροιστική έως ένα επίπεδο πέραν του οποίου ο μύκητας δεν μπορεί να επιβιώσει. Συγκριτικά ο μύκητας *Pythium ultimum* μπορεί να επιβιώσει σε μεγαλύτερη διάρκεια εκθέσεως σε υψηλές θερμοκρασίες απ' ότι οι μύκητες *Rhizoctonia solani* ή *Verticillium dahliae*. Ο μύκητας *Thielaviopsis basicola* όμως, αντέχει περισσότερο από άλλους μικροοργανισμούς στην

έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες πριν από τον τελικό θάνατο του κυττάρου του.

Οι διαχειμάζουσες πολυκύτταρες μορφές των παθογόνων μυκήτων εδάφους, φαίνεται να εμφανίζουν μεγαλύτερη ικανότητα αντοχής σε δυσμενείς συνθήκες του περιβάλλοντος, γεγονός που επιτρέπει την επιβίωση ενός ή ολίγον κυττάρων κατά την περίοδο αυτή της εκθέσεως. Η αντοχή αυτή των διαχειμαζουσών μορφών δεν αποτελεί κανόνα, όπως επί παραδείγματι ο μύκητας *V. dahliae* είναι πολύ πιο θερμοευαίσθητος σε σύγκριση με το μύκητα *Macrophomina phaseolina*, παρά το γεγονός ότι και οι δυο σχηματίζουν πολυκύτταρες σκούρου, χρώματος διαχειμάζουσες μυκηλιακές κατασκευές (μικροσκληρώτια ή σκληρώτια αντιστοίχως).

Οι μεταβολές που προκαλούνται στο εδαφικό περιβάλλον με την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης επηρεάζουν όχι μόνο τη βιολογική του σύνθεση, αλλά και τη δομή, την υφή και τα διαλυτά μεταλλικά στοιχεία του εδάφους που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών και των μικροοργανισμών. Συγκεκριμένα αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν την πυκνότητα του μολύσματος των παθογόνων στο έδαφος, την παθογόνο ικανότητα και την επιβίωσή τους, καθώς και την ανάπτυξη και την αντοχή των φυτών ξενιστών στις ασθένειες. Η χημική απολύμανση του εδάφους έχει συχνά ως αποτέλεσμα την αύξηση των ανιόντων στο εδαφικό διάλυμα. Στην περίπτωση της ηλιοαπολύμανσης αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, ενώ τα επίπεδα του φωσφόρου δεν μεταβάλλονται. Αυξάνονται επίσης οι συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών κατιόντων Fe^{+++} , Mn^{++} και Cu^{++} . Αισθητή είναι ακόμη η αύξηση των K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- και NH_4^+ . Ουσίες όπως το CO_2 παρουσιάζουν αύξηση έως και 35 φορές κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που καλύφθηκε με διαφανές πλαστικό σε σύγκριση με το ακάλυπτο έδαφος – μάρτυρα (Katan, 1981).

Οι βιοτικοί επίσης παράγοντες του εδάφους, επηρεάζονται σημαντικά από τις μεταβολές που παρατηρούνται στο εδαφικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια και μετά από την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης. Ορισμένες μεταβολές στη μικροβιακή χλωρίδα, προκαλούμενες από την ηλιοαπολύμανση

πιθανόν να συμβάλλουν στη βιολογική καταπολέμηση των φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών. Η βιολογική καταπολέμηση δια μέσου της ηλιοαπολύμανσης είναι δυνατόν να υλοποιείται με την αύξηση της ευπάθειας του παθογόνου στην ανταγωνιστική μικροχλωρίδα του εδάφους ή με την αύξηση της δραστηριότητας των ανταγωνιστικών αυτών μικροοργανισμών που επιβιώνουν της ηλιοαπολύμανσης και είτε δρουν εις βάρος του παθογόνου, είτε επηρεάζουν το ρυθμό αναπτύξεως του φυτού, που τελικά οδηγεί στον περιορισμό της ασθένειας ή στη μειωμένη ικανότητα επιβιώσεως του παθογόνου ή και των δυο συγχρόνως. Η επίδραση αυτή μπορεί να εκδηλωθεί δια μέσου της αντιβιώσεως, λύσεως, ανταγωνισμού και παρασιτισμού, σε οποιοδήποτε στάδιο αναπτύξεως του παθογόνου ή σταδίου της ασθένειας, κατά ή μετά από την ηλιοαπολύμανση. Η βιολογική δράση μπορεί να προκαλέσει θετικές ή αρνητικές επιδράσεις σ' έναν από τους τρεις ζωτικούς παράγοντες που συνυπάρχουν στο έδαφος και συμβάλλουν στην ένταση της ασθένειας δηλαδή, το παθογόνο, το φυτό ξενιστή και τη μικροχλωρίδα του εδάφους. Οι μηχανισμοί της βιολογικής δράσεως της ηλιοαπολύμανσης, που εμφανίζονται ή διεγείρονται μετά από την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης, μπορούν να συνοψισθούν στ' ακόλουθα:

1. Βιολογική επίδραση στο μόλυσμα που υπάρχει ήδη στο έδαφος.
2. Καταστολή του μολύσματος που εισάγεται μετά από την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης τόσο από βαθύτερα στρώματα του εδάφους, όσον και από γειτονικούς αγρούς οι οποίοι δεν υπέστησαν την επέμβαση.
3. Επίδραση στον ξενιστή λόγω διεγέρσεως λανθανόντων μηχανισμών αντοχής. Οι μηχανισμοί αντοχής, οι οποίοι είναι δυνατόν να υπεισέρχονται στην καταπολέμηση φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών σε εδάφη όπου εφαρμόστηκε ηλιοαπολύμανση, περιλαμβάνουν τόσο τη θερμική επίδραση λόγω υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν πλήρη αναστολή των κυτταρικών διεργασιών των θερμοευαίσθητων οργανισμών, όσο και μεταβολές στη σύσταση της μικροχλωρίδας του εδάφους. Οι εξασθενημένες πολλαπλασιαστικές μονάδες καθίστανται περισσότερο ευάλωτες στη δράση των υπάρχοντων ανταγωνιστών στο έδαφος με

αποτέλεσμα να αυξάνονται οι φυσικές διεργασίες της βιολογικής καταπολεμήσεως.

Η έννοια της εξασθένησεως (weakening effect) των παθογόνων με υποθανάτιες επεμβάσεις και η μετέπειτα αποίκιση από τους ανταγωνιστές έχει αναφερθεί και στην περίπτωση της αύξησης της βιολογικής καταπολεμήσεως του μύκητα *Armillaria mellea* από τον ανταγωνιστή μύκητα *Trichoderma* sp. Η συμβολή των πρωτεϊνών θερμοπληξίας (heat shock proteins) στην αύξηση της θερμικής αντοχής ή της θερμικής σταθερότητας στους μεσόφιλους οργανισμούς κατά την ηλιοαπολύμανση δεν φαίνεται να είναι ουσιαστική στην προστασία των οργανισμών αυτών από τη θερμότητα. Ο τύπος και η αναλογία της συνθέσεως αυτών των πρωτεϊνών είναι πιθανό να σχετίζεται με την εξασθένηση των πολλαπλασιαστικών μονάδων και κατά την ηλιοαπολύμανση (DeVay & Katan, 1991).

Ο δεύτερος βασικός μηχανισμός της αντιμετώπισεως του παθογόνου περιλαμβάνει εδαφογενή βακτήρια, ακτινομύκητες, και μύκητες των οποίων οι πληθυσμοί επιβιώνουν της ηλιοαπολύμανσης σε αντίθεση με πλείστους φυτοπαθογόνους μύκητες και αυξάνουν καταλαμβάνοντας με σχετική ευχέρεια το έδαφος όπου έχει εφαρμοστεί ηλιοαπολύμανση. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι συχνά παράσιτα ή ανταγωνιστές παθογόνων μυκήτων. Ορισμένοι εξ αυτών είναι εγκαταστημένοι στη ριζόσφαιρα των φυτών και πιθανόν να συμβάλλουν στην αύξηση του ρυθμού αναπτύξεως των φυτών, ενώ ορισμένοι άλλοι είναι υπεύθυνοι για την πρόκληση της κατασταλτικότητας (suppressiveness) του εδάφους στα φυτοπαθογόνα και στην επαναποίκισή τους σε ηλιοαπολυμανθέντα εδάφη. Αυτές όμως οι σχέσεις χρήζουν περαιτέρω έρευνας.

Σημαντική είναι επίσης και η συμβολή των πτητικών ουσιών του εδάφους (soil volatiles) που ελευθερώνονται κατά την ηλιοαπολύμανση, όπως η αμμωνία (NH₃) που έχει αποδειχθεί ότι έχει νηματωδοκτόνο δράση. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι πτητικές ουσίες που προέρχονται από την αποσύνθεση ενώσεων που περιέχουν θείο και CO₂ δρουν τοξικά κατά των παθογόνων.

8.3. Χημική αντιμετώπιση (χρήση φυτοφαρμάκων)

Η ανάπτυξη του μύκητα στα αγγεία του ξύλου των προσβλημένων φυτών, εμποδίζει την επαφή του με την πλειονότητα των κοινών μυκητοκτόνων που εφαρμόζονται στα φύλλα. Η πρώτη “γενιά” σκευασμάτων αποτελεσματικών εναντίον παθογόνων των αγγείων του ξύλου των φυτών ήταν οι βενζιμιδαζόλες. Τα μυκητοκτόνα αυτά στην αρχή υπόσχονταν πολλά και εφαρμόστηκαν σε ριζοποτίσματα ποωδών φυτών που έχουν αβαθές ριζικό σύστημα, όπως φράουλες, γαρυφαλλίες και τομάτες, εξασφαλίζοντας υψηλό βαθμό αντιμετώπισης της Βερτισιλλίωσης για μερικές εβδομάδες ή μήνες (Talboys, 1984). Έχει αναφερθεί ότι στις φράουλες, η διάρκεια της αντιμετώπισης σχετιζόταν με την ποιότητα του σκευάσματος που εφαρμοζόταν. Φράουλες που όταν έγινε η επέμβαση είχαν αρχίσει να εμφανίζουν συμπτώματα αδρομύκωσης, εξυγιαίνονταν και συνέχιζαν να αναπτύσσονται κανονικά.

Παρόλα όμως αυτά, τα εν λόγω σκευάσματα έχουν διάφορα μειονεκτήματα, εξαιτίας των οποίων έχει περιορισθεί η εφαρμογή τους στην αντιμετώπιση των Βερτισιλλίωσεων. Τα σκευάσματα αυτά είναι σχετικά αδιάλυτα και όταν εφαρμόζονται σε ριζοποτίσματα, διατηρούνται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και γενικά δε φθάνουν σε βάθος μεγαλύτερο από 10 cm. Γι’ αυτό προσλαμβάνονται μόνο από τις σχετικά αβαθείς ρίζες των φυτών, ενώ οι βαθύτερες ρίζες παραμένουν απροστάτευτες και τρωτές στην προσβολή του παθογόνου. Επιπλέον, σε φυτά με εκτενές ριζικό σύστημα, η πρόσληψη νερού από τις βαθύτερες ρίζες πιθανώς να μειώνει τη συγκέντρωση του μυκητοκτόνου που έχει εισέλθει στα υπέργεια τμήματά τους μέσω των επιφανειακών ριζών. Επίσης τα σκευάσματα αυτά μεταφέρονται με το ανιόν ρεύμα και καταστέλλουν τα παθογόνα που υπάρχουν στα αγγεία μεταξύ των σημείων πρόσληψής τους και των φύλλων, δηλαδή μετακινούνται από το ριζικό σύστημα όπου η παρουσία τους είναι πολύ χρήσιμη, στα άκρα των φύλλων όπου η δράση τους είναι λιγότερο χρήσιμη. Όμως, η απόφραξη των αγγείων του ξύλου των προσβλημένων φυτών, αποτρέπει το ανιόν ρεύμα, με το οποίο μεταφέρονται τα εν λόγω σκευάσματα, και έτσι δεν φθάνουν στον

προορισμό τους. Γι' αυτό, δεν είναι συνήθως αποτελεσματικά στη θεραπευτική αντιμετώπιση της ασθένειας (Tjamos, 1989). Τα σκευάσματα αυτά είναι μάλλον παρεμποδιστές της αύξησης του μύκητα και όχι πραγματικά μυκητοκτόνα, γι' αυτό όταν εξασθενεί η επίδρασή τους ο μύκητας αναπτύσσεται ακωλύτως. Τα σκευάσματα που παράγουν οι καρπενταζίνες καταστέλλουν την ανάπτυξη των ειδών του γένους *Verticillium*, όμως δεν σκοτώνουν το παθογόνο. Γι' αυτό, κάθε προσβολή που έχει γίνει πριν την επέμβαση αναστέλλεται, αλλά μόνο για όσο διάστημα υπάρχουν παρεμποδιστικές συγκεντρώσεις του σκευάσματος εντός του φυτού. Όμως, αυτό περιορίζει την αποτελεσματικότητα των εν λόγω μυκητοκτόνων στην αντιμετώπιση της ασθένειας και συντελεί στην επιλογή ανθεκτικών παραλλαγών του παθογόνου. Έχει αναφερθεί επίσης ότι προφυτρωτική ή μεταφυτρωτική εφαρμογή στο έδαφος των βενζιμιδαζολικών μυκητοκτόνων, δεν αντιμετωπίζει πρακτικά και οικονομικά τη Βερτισιλλίωση. Επίσης η εφαρμογή των βενζιμιδαζολών στο φύλλωμα έχουν γενικά περιορισμένη κατασταλτική δράση στις Βερτισιλλίωσεις (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Σήμερα δεν υπάρχει χημική θεραπεία της Βερτισιλλίωσης (Θανασουλόπουλος, 1992, Παναγόπουλος, 1993). Δεν υπάρχουν διασυστηματικά μυκητοκτόνα, που να εφαρμόζονται στα φύλλα και να αντιμετωπίζουν τη Βερτισιλλίωση.

Ο κύριος αντικειμενικός σκοπός στη δημιουργία νέων μυκητοκτόνων για την αντιμετώπιση των αδρομυκώσεων είναι να βρεθούν χημικά σκευάσματα τα οποία θα συγκεντρώνονται στις τρωτές περιοχές των ριζών. Όμως, σήμερα υπάρχουν λίγα διασυστηματικά μυκητοκτόνα που κινούνται προς τα κάτω, ενώ δεν υπάρχει κάποιο διασυστηματικό μυκητοκτόνο που να έχει αποτελεσματική επίδραση εναντίον ειδών του γένους *Verticillium* για να χρησιμοποιηθεί εμπορικά. Γι' αυτό, απαιτείται η δημιουργία βελτιωμένων σκευασμάτων για την αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης, που να διαθέτουν επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως κινητικότητα στο έδαφος και μεγάλη σταθερότητα, μετακίνηση από τα φύλλα προς τις ρίζες και δραστηριότητα στο ξύλο, κινητικότητα στο ξύλο και σταθερότητα στις ρίζες (Talboys, 1984).

8.4. Αμειψισπορά

Η αμειψισπορά φαίνεται να αποτελεί, σήμερα μία ενδιαφέρουσα μέθοδο αντιμετώπισης της Βερτισιλλίωσης στα είδη των φυτών στα οποία δεν υπάρχουν ανθεκτικές ποικιλίες. Η επιτυχία της μεθόδου αυτής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως: η επιβίωση του μύκητα σε ασυμπτωματικούς φορείς η ικανότητα του μύκητα να παραμένει για πολλά χρόνια ως σαπρόφυτο στο έδαφος ή σε φυτικά υπολείμματα, οι καλλιεργητικές φροντίδες, η πυκνότητα του μολύσματος στο έδαφος, οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής, η εποχή καλλιέργειας ενός ευπαθούς είδους και σε φύλλα καλλιεργούμενων φυτών. Ο σχηματισμός μικροσκληρωτίων σε ηλικιωμένους ιστούς προσβλημένων αυτοφυών φυτών θα μπορούσε να είναι ένας σοβαρός παράγοντας στην αποτυχία προγραμμάτων αμειψισποράς (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Γι' αυτό, η μείωση των αναπαραγωγικών μονάδων του *V. dahliae* σε αγρό που καλλιεργείται με διάφορα ασυμπτωματικά είδη (σιτάρι, αραβόσιτος) είναι βραδεία. Έχει αναφερθεί ότι ακόμα και μακράς διάρκειας αμειψισπορές, που περιλαμβάνουν είδη τα οποία δεν είναι ξενιστές του μύκητα, δεν καταστρέφουν το μύκητα στο έδαφος.

Η αμειψισπορά αποτελεί μία μέθοδο αντιμετώπισης ή μείωσης της σοβαρότητας της Βερτισιλλίωσης στην πατάτα, σε περιοχές που γίνεται, επανειλημμένη καλλιέργειά της. Θεωρείται ότι το μόλυσμα που παράγεται από μολυσμένες πατάτες θα μπορούσε να μειωθεί ή ελαχιστοποιηθεί απουσία πατάτας, συνήθως σε 2-4 χρόνια. Οι πατάτες θεωρούνται ότι προκαλούν αύξηση του μολύσματος σε αγρό στον οποίο έχουν καλλιεργηθεί συνεχώς για μερικά χρόνια. Η αύξηση του μολύσματος είναι πολύ μεγάλη λόγω σχηματισμού μικροσκληρωτίων στα υπολείμματα των φυτών που παραμένουν στο έδαφος. Έχει αναφερθεί ότι σε παρθένα εδάφη του Αϊντάχο, όπου καλλιεργούνται πατάτες, απαιτούνται τρία ή τέσσερα χρόνια για να αυξηθεί η πυκνότητα του μολύσματος στο έδαφος και να προκαλέσει σημαντικές μειώσεις στην παραγωγή τους. Το μόλυσμα που υπάρχει στα στελέχη της πατάτας, επιβιώνει για περίοδο 14-17 μηνών στον αγρό, όμως ποτέ δεν

εκλείπει όταν τα στελέχη παραμένουν άθικτα. Δηλαδή, αμειψισπορές μικρής διάρκειας (π.χ. πατάτες κάθε δεύτερο χρόνο) μάλλον δεν είναι αποτελεσματικές, επειδή το μόλυσμα διατηρείται στο έδαφος από τα προσβλημένα στελέχη της πατάτας. Αμειψισπορά 3 ή 4 χρόνων είναι ωφέλιμη για την πατάτα και συνιστώνται καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών και αραβοσίτου. Σε αμειψισπορές, όπου μετά από την πατάτα καλλιεργούνταν ανθεκτικά είδη φυτών, βρέθηκε ότι η μείωση της πυκνότητας του πληθυσμού των μικροσκληρωτίων ήταν μικρότερη στον αγρό απ' ό,τι στο εργαστήριο. Συγκεκριμένα, το 4% του αρχικού πληθυσμού των μικροσκληρωτίων παρέμενε ζωντανό στο έδαφος μετά από 7 χρόνια αμειψισποράς. Παρόλο που η αμειψισπορά δεν αντιμετώπισε πλήρως το μύκητα, μείωσε αισθητά την πυκνότητα του μολύσματός του στο έδαφος. Σε πειράματα αμειψισποράς βρέθηκε ότι το ύψος της παραγωγής της πατάτας έχει συσχετισθεί περισσότερο με τη συχνότητα καλλιέργειας της πατάτας στον αγρό και λιγότερο με τη συχνότητα καλλιέργειας διαφόρων ευπαθών ειδών στο *V. Dahliae* (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Μονοκαλλιέργεια σολανωδών είχε ως αποτέλεσμα αύξηση της προσβολής ειδών του γένους *Verticillium* ειδικά στην τομάτα και τη μελιτζάνα, ενώ αμειψισπορά σολανωδών με σιτηρά, μπιζέλι και καρότο είχε ως αποτέλεσμα μείωση της προσβολής. Στη μελιτζάνα συνιστώνται πολυετείς αμειψισπορές και αποφυγή καλλιέργειάς της μετά από ευπαθείς καλλιέργειες.

Σε μερικές περιπτώσεις, η αμειψισπορά έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Για παράδειγμα, ερευνητές παρατήρησαν ότι στην Ιαπωνία ο *V. dahliae* είναι σοβαρό παθογόνο στο κουνουπίδι, ενώ δεν προσβάλλει το μπρόκολο. Γι' αυτό πρότειναν, ως μέτρο αντιμετώπισης της ασθένειας, την αμειψισπορά κουνουπιδιού με μπρόκολο.

8.5. Εφαρμογή κατάλληλων καλλιεργητικών φροντίδων

Η αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης έχει επίσης στηριχθεί σε εφαρμογή καλλιεργητικών πρακτικών (λίπανση, άρδευση, ζιζανιοκτονία, νηματωδοκτονία, καταστροφή με φωτιά των υπολειμμάτων των φυτών,

καλλιέργεια του εδάφους κ.λπ.), που αποσκοπούν κυρίως σε ελάττωση της προσβολής και της σοβαρότητας της ασθένειας και όχι στην εξάλειψή της, η οποία όπως προαναφέρθηκε είναι πάρα πολύ δύσκολη (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές ότι ορισμένα εδαφοβελτιωτικά, διάφορα είδη και ποσότητες λιπασμάτων και διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές μειώνουν τη συχνότητα της Βερτισιλλίωσης στις επόμενες καλλιέργειες, αλλά δεν είναι βέβαιο αν αυτό οφείλεται στο παθογόνο, τον ξενιστή ή και στα δύο.

Η λίπανση των καλλιεργειών θα πρέπει να είναι ισορροπημένη και να αποφεύγεται η εφαρμογή υπερβολικής ποσότητας αζώτου (Δημητριάδης, 1970). Έχει βρεθεί συσχέτιση μεταξύ της διαθεσιμότητας του αζώτου (N) και της προσβολής και σοβαρότητας της Βερτισιλλίωσης στην τομάτα. Βρέθηκε ότι ο αποικισμός των στελεχών της πατάτας από το *V. dahliae* ήταν αρνητικά συσχετισμένος με τα επίπεδα του αμμωνιακού αζώτου στους μίσχους των φύλλων. Όσο αυξανόταν η διαθεσιμότητά του N, τόσο μειωνόταν ο αποικισμός του φυτού από το μύκητα. Όταν η ποικιλία της πατάτας Russet Burbank παρουσίαζε τροφopenία N στους μίσχους της, η ασθένεια ήταν πιο έντονη. Όσο η διαθεσιμότητα N πλησίαζε το άριστο για την υψηλότερη παραγωγή, τόσο η σοβαρότητα της ασθένειας ήταν μικρότερη και η σχέση αυτή ήταν αντίστροφα συσχετισμένη με την παραγωγή των φυτών. Όμως, η σχέση αυτή δεν βρέθηκε στην ποικιλία Norgold Russet, stow σημαίνει ότι στην πατάτα η αντίδραση στο N είναι συνδεδεμένη με το γονότυπο της ποικιλίας. Επίσης, η διαθεσιμότητα του καλίου (K) και φωσφόρου (P) στους μίσχους των φύλλων της πατάτας ήταν αρνητικά συσχετισμένη με τον αποικισμό του στελέχους της (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Η αύξηση της περιεκτικότητας σε N του μέσου ανάπτυξης, αυξάνει την ικανότητα του μύκητα να διεισδύει στις ρίζες και την παθογόνο ικανότητά του. Η διαπίστωση αυτή έγινε επειδή ο μύκητας, που είχε απομονωθεί από λάχανα Βρυξελλών και είχε αναπτυχθεί σε θρεπτικό μέσο πλούσιο σε N, επαναπομονωνόταν από τομάτες στις οποίες είχε γίνει τεχνητή μόλυνση ενώ

όταν το μέσο ανάπτυξης ήταν πτωχό σε N δεν επαναπομονωνόταν (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Έχει αναφερθεί ότι το θειικό αμμώνιο ήταν η μόνη από τις χημικές ενώσεις που δοκιμάστηκαν, η οποία είχε σοβαρή ανταγωνιστική επίδραση στα *V. dahliae in vitro*. Προσθήκη θειικού αμμωνίου (0,25%), νιτρικού ασβεστίου (0,25% και 0,5%) και συνδυασμένων εδαφοβελτιωτικών NPK (0,25%) στο έδαφος, προκάλεσε αξιόλογη μείωση της σοβαρότητας της ασθένειας στο αντίρρινο (*Antirrhinum majus* L.). Υποτέθηκε ότι η επίδραση αυτή θα μπορούσε να είχε προκληθεί εξαιτίας: **1)** της μυκητοτοξικής φύσης της χημικής ουσίας, π.χ. του θειικού αμμωνίου, **2)** της δημιουργίας ανταγωνιστικού περιβάλλοντος για το παθογόνο στη ριζόσφαιρα. όταν προστέθηκε το νιτρικό ασβέστιο στο έδαφος και **3)** ανάπτυξης ανταγωνιστικών ακτινομυκήτων στη ριζόσφαιρα, όταν εφαρμόστηκαν τα συνδυασμένα NPK στο έδαφος (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Οργανικά εδαφοβελτιωτικά (χητίνη και πράσινη κοπριά) που εφαρμόστηκαν στο έδαφος, είχαν ως αποτέλεσμα ποσοτικές και ποιοτικές αλλαγές στη μικροχλωρίδα της ριζόσφαιρας φίκων αντίρρινου, τα οποία είχαν προσβληθεί από το *V. dahliae*. Η πράσινη κοπριά αποτελούνταν από φύλλα και πράσινα στελέχη μηδικής, κομμένα σε τεμάχια μεγέθους 1 cm περίπου και ανακατεμένα με έδαφος σε αναλογία 1% κατά βάρος. Παρατηρήθηκε μείωση της σοβαρότητας της ασθένειας με χητίνη και πράσινη κοπριά, η οποία μπορεί να συσχετισθεί με την αύξηση του πληθυσμού των ακτινομυκήτων στη ριζόσφαιρα φυτών αντίρρινου (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Υπολείμματα μηδικής και βρώμης που προστέθηκαν στο έδαφος, προκάλεσαν μεγαλύτερη μείωση του αριθμού των μικροσκληρωτίων του *V. dahliae* μετά 12 εβδομάδες, απ' ό,τι υπολείμματα γογγυλιού.

Υψηλές εφαρμογές υπερφωσφορικού σε πειραματικούς αγρούς πατάτας συντέλεσαν σε μείωση της σοβαρότητας της ασθένειας σε σχέση με τους αγρούς που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες, στους οποίους έγινε ισορροπημένη λίπανση. Η προσβολή της φιστικιάς από την ασθένεια, σε αγρούς της Καλιφόρνιας με χαμηλή πυκνότητα μικροσκληρωτίων (0,02-0,2

ms/g), αυξήθηκε σημαντικά εντός δύο ετών σε δέντρα που είχαν χαμηλά επίπεδα Κ στα φύλλα. Όταν εφαρμόστηκε 1,5 kg Κ/δέντρο, τα συμπτώματα μειώθηκαν κατά 35% τον επόμενο χρόνο. Αναφέρθηκε επίσης ότι τροφοπενία Ρ αύξησε την ευπάθεια των δέντρων φιστικιάς στη Βερτισιλλίωση (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Η άρδευση των καλλιεργειών με αυλάκια θεωρείται ότι αυξάνει τη σοβαρότητα της ασθένειας σε σχέση με την άρδευση με σταλακτιήρες, λόγω πιθανής διασποράς αναπαραγωγικών μονάδων του μύκητα. Αναφέρθηκε επίσης ότι το νερό άρδευσης που ήταν καθαρό στην αφετηρία των αυλακιών, όταν έφθανε στο τέρμα τους περιείχε μέχρι 301.314 αναπαραγωγικές μονάδες του μύκητα ανά λίτρο. Αυτό σημαίνει ότι το νερό άρδευσης των αυλακιών συγκεντρώνει και μεταφέρει αναπαραγωγικές μονάδες του μύκητα όταν διέρχεται μέσω μολυσμένων χωραφιών. Γι' αυτό, θα πρέπει όταν γίνεται άρδευση με αυλάκια, το νερό να μη διέρχεται μέσω μολυσμένων αγρών (Θανασουλόπουλος, 1992).

Υπερβολικές αρδεύσεις που συντελούν στη μερική έλλειψη του διαθέσιμου οξυγόνου του εδάφους, έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή των μικροσκοληρωτίων που υπάρχουν στα υπολείμματα της καλλιέργειας της πατάτας, τα οποία έχουν ενσωματωθεί στο έδαφος. Πλημμύρισμα του μολυσμένου εδάφους είχε ως αποτέλεσμα αντιμετώπιση του μύκητα.

Η ζιζανιοκτονία θα πρέπει να γίνεται έγκαιρα με χρησιμοποίηση των κατάλληλων χημικών σκευασμάτων. Θα πρέπει να μεριμνάτε ώστε να καταστρέφεται η αυτοφυής βλάστηση στους μολυσμένους, αγρούς. Σε περιπτώσεις δένδρων με επιφανειακό ριζικό σύστημα, θα πρέπει να αποφεύγεται άροση ή φρεζάρισμα επειδή ζημιώνει τις ρίζες τους και διευκολύνει την προσβολή τους από το μύκητα (Tjamos, 1989).

Η νηματωδοκτονία θα πρέπει να γίνεται έγκαιρα, με χρησιμοποίηση των κατάλληλων απολυμαντικών εδάφους. Η νηματωδοκτονία έχει ιδιαίτερη σημασία στην καλλιέργεια της πατάτας.

Η καταστροφή με φωτιά των προσβλημένων φυτών (Δημητριάδης, 1970) και των υπολειμμάτων των προσβλημένων καλλιεργειών, όπως η πατάτα και μέντα θα πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη συγκομιδή.

Η ενσωμάτωση στο έδαφος των υπολειμμάτων των καλλιεργειών θα πρέπει να συνοδεύεται με προσθήκη αναλόγων ποσοτήτων N. Για παράδειγμα, όταν προστέθηκαν στο έδαφος 9 περίπου kg N ανά 900 kg λεπτοαλεσμένων υπολειμμάτων βρώμης ή κριθαριού, τα οποία ενσωματώθηκαν σε ένα στρέμμα, διαπιστώθηκε μείωση της σοβαρότητας της Βερτισιλλίωσης της πατάτας όμως τα φυτά εμφάνισαν συμπτώματα τροφопενίας N. Όταν όμως ενσωματώθηκαν 18-45 kg N ανά τόννο υπολειμμάτων, επιτεύχθηκε σοβαρή καταστολή της ασθένειας και αυξημένη ζωτικότητα των φυτών (Λιγοξυγκάκης, 1998). Επίσης, όταν προστέθηκαν στο έδαφος 1% (β/β, ξηραμένα στον αέρα) λεπτοτεμαχισμένα άχυρα βρώμης ή μηδικής, παρατηρήθηκε ότι η ένταση της προσβολής των αγγείων του ξύλου της πατάτας από το *V. dahliae* ήταν μικρότερη από ό,τι σε μάρτυρες, που δεν είχαν δεχθεί παρόμοια επέμβαση. Επίσης, όταν έγινε εφαρμογή KNO₃ σε δόσεις 200 ή 400 ppm, στο έδαφος στο οποίο είχαν προστεθεί τα φυτικά υπολείμματα, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της προσβολής (Λιγοξυγκάκης, 1998).

Η καλλιέργεια του εδάφους θα πρέπει να γίνεται με προσοχή για να αποφεύγονται οι τραυματισμοί των ριζών. Σε περατώσεις δέντρων με επιφανειακό ριζικό σύστημα θα πρέπει να αποφεύγεται άροση ή φρεζάρισμα, επειδή τραυματίζει τις ρίζες και διευκολύνει την προσβολή τους από το μύκητα (Tjamos, 1989). Παρατηρήθηκε ότι βαθειά άροση οργανικών εδαφών, που καλλιεργούνταν με μέντα, με αναστροφή του επιφανειακού στρώματός τους, πάχους 30,5-35,5 cm, και απόθεσή του στο προηγούμενο αυλάκι, είχε ως αποτέλεσμα μείωση της προσβολής από 57,2% σε 4,0% τον πρώτο χρόνο μετά την επέμβαση και από 85% σε 10,2% το δεύτερο χρόνο.

Η συγκαλλιέργεια δενδρωδών με ευπαθή ποώδη φυτά, θα πρέπει να αποφεύγεται επειδή συνήθως μολύνονται οι οπωρώνες από το μύκητα (Θανασουλόπουλος, 1978) (π.χ. καλλιέργεια τομάτας σε ελαιώνα).

8.6. Αξιολόγηση και χρησιμοποίηση βιολογικών εχθρών

Οι βιολογικοί εχθροί αποτελούν σήμερα μία από τις μελλοντικές ελπίδες αποτελεσματικής αντιμετώπισης της Βερτισιλλίωσης.

Οι σπουδαιότεροι βιολογικοί εχθροί του γένους *Verticillium* είναι: **α)** ανταγωνιστές μύκητες οι οποίοι επηρεάζουν την επιβίωση των μικροσκληρωτίων που έχουν ήδη εξασθενήσει από την ηλιοαπολύμανση ή τη χημική απολύμανση του εδάφους και **β)** ανταγωνιστές μύκητες ή βακτήρια που εμποδίζουν την προσβολή των φυτών από τα μικροσκληρώτια που βλαστάνουν στο έδαφος (Tjamos, 1997).

Ο *Talaromyces flavus* (ατελής μορφή *Penicillium dangeardii* Pitt) είναι ένας ασκομύκητας ευρύτατα διαδεδομένος στις εύκρατες περιοχές του κόσμου (Βλέπε εικόνα 15). Ο εδαφογενής μύκητας *T. flavus* είναι ανταγωνιστής του *V. dahliae* και αποτελεί ένα υποσχόμενο παράγοντα βιολογικής αντιμετώπισης του (Fravel, 1989).

Οι μηχανισμοί βιολογικής αντιμετώπισης του *V. dahliae* από τον *T. flavus* περιλαμβάνουν: ανταγωνισμό, παρασιτισμό και αντιβίωση. Βρέθηκε ότι ο πληθυσμός του *T. flavus* αυξήθηκε 8,9 φορές εντός 16 μηνών από την εισαγωγή του σε καλλιεργούμενο αγρό του Αϊντάχο, που ήταν μολυσμένος από το *V. dahliae*. Ο *T. flavus* μπορεί να εμποδίζει την προσβολή του *V. dahliae* σκοτώνοντας τα μικροσκληρώτια στο έδαφος. Έχει αναφερθεί ότι απομονώσεις του *T. flavus* παράγουν τέσσερα αντιβιοτικά. Έχει αναφερθεί επίσης ότι ο *T. flavus* παράγει ένα μεταβολίτη που επιβραδύνει τη γραμμική ανάπτυξη και σκοτώνει τα μικροσκληρώτια του *V. dahliae* *in vitro*. Ο *T. flavus* είναι ένας δυναμικός ανταγωνιστής του *V. dahliae*, επειδή είναι ικανός να αποικίζει τη ριζόσφαιρα διαφόρων ξενιστών του μύκητα και να παρεμποδίζει τη βλάστηση των μικροσκληρωτίων ή να προκαλεί τη νέκρωσή τους. Η εμφάνιση των ριζών των φυτών της μελιτζάνας σε αιώρημα ασκοσπορίων του *T. flavus* πριν από τη φύτευσή τους, μείωσε την προσβολή τους από το *V. dahliae* και συνετέλεσε σε αύξηση της παραγωγής τους που ήταν ανάλογη της παραγωγής σε απολυμασμένο έδαφος.



Εικόνα 18: Αποικία *in vitro* του μύκητα *Talaromyces flavus*.

Η εγκατάσταση του *T. flavus* στη ζώνη επιμήκυνσης των ριζών συντελεί στη βιολογική αντιμετώπιση της Βερτισιλλίωσης με παρεμπόδιση της εισόδου και εγκατάστασης του παθογόνου στα άκρα της ρίζας. Έχει αναφερθεί ότι ο *T. flavus* αποικίζει κατά προτίμηση τα άκρα της ρίζας ξενιστών της οικογένειας Solanaceae, παρά το έδαφος της ριζόσφαιρας ή της ριζικής επιφάνειας (Tjamos, 1997). Το ποσοστό των μικροσκληρωτίων τα οποία βλάστησαν στο επίπεδο της άκρης της ρίζας φυτών μελιτζάνας που αναπτύσσονταν σε γλάστρες, μειώθηκε κατά 15-40% παρουσία του *T. flavus*, σε σχέση με τα μικροσκληρώτια στις ρίζες των φυτών στα οποία δεν είχε γίνει εφαρμογή του *T. flavus*. Σε πειράματα που έγιναν με εφαρμογή του *T. flavus* σε αγρούς οι οποίοι καλλιεργούνταν με πατάτες, βρέθηκε ότι η συχνότητα προσβολής των φυτών και ο αποικισμός του στελέχους τους από το *V. dahliae* ήταν σημαντικά

μικρότερη στα εδαφοτεμάχια που έγινε επέμβαση με τον ανταγωνιστή απ' ό,τι στα εδαφοτεμάχια που δεν έγινε.

Ο *T. flavus* επιβίωσε μετά την ηλιοαπολύμανση του εδάφους σε καλλιέργειες αγκινάρας και ελιάς, που ήταν προσβλημένες από το *V. dahliae*. Ο *T. flavus* όχι μόνο επιβίωσε αλλά και αυξήθηκε αριθμητικά στα εδαφοτεμάχια που έγινε η ηλιοαπολύμανση (Tjamos & Paplomatas, 1987). Ο *T. flavus* θα μπορούσε να καταστέλλει τη Βερτισιλλίωση εάν συνδυαζόταν με ηλιοαπολύμανση ή μειωμένη δόση χημικού απολυμαντικού (Tjamos, 1997).

Η εταιρεία "Prophyta" δημιούργησε και κυκλοφόρησε το σκεύασμα που περιέχει ασκοσπόρια του *T. flavus* και χρησιμοποιείται επιτυχώς στην αντιμετώπιση του *V. dahliae*. Το σκεύασμα δοκιμάστηκε *in vivo*, με εφαρμογή πριν από τη φύτευση της τομάτας και μερικών άλλων κηπευτικών στα υποστρώματα ανάπτυξής τους. Η παραγωγή τομάτας ήταν σημαντικά μεγαλύτερη, παρόλο που δεν παρατηρήθηκε μείωση της έντασης των συμπτωμάτων της ασθένειας. Το σκεύασμα δοκιμάστηκε επίσης με ενσωμάτωση σε φυσικά μολυσμένο έδαφος πριν από τη φύτευση της ελαιοκράμβης (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera*) και συντέλεσε σε σημαντικά μεγαλύτερο ξηρό βάρος των φυτών και μειωμένο αποικισμό τους από το *V. dahliae*.

Έχει αναφερθεί ότι εμφάνιση των ριζών τομάτας σε διηθήματα των *T. viride* και *Penicillium chrysogenum* αντιμετώπισε αποτελεσματικά το *V. albo-atrum*. Διάφορα βακτήρια της ριζόσφαιρας και της ενδοριζόσφαιρας, που έχουν ιδιαίτερη ικανότητα να εγκαθίστανται στα άκρα της ρίζας ή ενδοφυτικά, βρέθηκε *in vitro* ότι δρουν εναντίον ίου *V. dahliae* και έχουν την ικανότητα να αντιμετωπίζουν τη Βερτισιλλίωση (Tjamos, 1997). Για παράδειγμα, είδη των γενών: *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Glucobacterium* και *Streptomyces*, καθώς επίσης είδη που δεσμεύουν ατμοσφαιρικό άζωτο, των γενών: *Azotobacter* και *Azotomonas* βρέθηκε *in vitro* ότι είναι ανταγωνιστής του *V. dahliae*. Οι *Actinobacillus ligniersii*, *Comamonas acidovorans*, *Enterobacter intermedius*, *Paenibacillus macerans*, *Serratia grimesii*, *Sphingobacterium heparinum*, *Stenotrophomonas maltophilia*, και *Yersinia frederiksenii* είναι

ανταγωνιστές του *V. dahliae* και θα πρέπει να αξιολογηθούν ως βιολογικοί παράγοντας αντιμετώπισής το. Δύο είδη του γένους *Bacillus* της ενδοριζόσφαιρας, τα K-165 και S-127, τα οποία έχουν αποτελεσματική επίδραση στην εμφάνιση των συμπτωμάτων που οφείλονται στο *V. dahliae*, βρέθηκε ότι μπορούν να καταλαμβάνουν τη ριζόσφαιρα και να αναπτύσσονται ενδοφυτικά σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες μελιτζάνας (Tjamos, 1997) και άλλων ειδών της οικογένειας Solanaceae (Tjamos, 1997). Ένα είδος του γένους *Bacillus*, το K-158, που προερχόταν από την ενδοριζόσφαιρα του άκρου της ρίζας τομάτας, εφαρμόστηκε ως αιώρημα για τη διαβροχή του εδάφους και μείωσε τη βλάστηση των μικροσκληρωτίων κατά 50-60% (Tjamos & Vellios, 1997). Τα βακτήρια *Bacillus subtilis* και *Pseudomonas fluorescens* που απομονώθηκαν από τη ριζόσφαιρα βαμβακιού, είχαν σοβαρή παρεμπόδιση της ανάπτυξης του *V. dahliae*. Το βακτήριο *Serratia plymuthica* (C 48) που απομονώθηκε από τη ριζόσφαιρα της ελαιοκράμβης παρεμποδίζει *in vitro* την ανάπτυξη του *V. dahliae*. Επίσης, το βακτήριο *Stenotrophomonas maltophilia* (R3089) που απομονώθηκε από τη ριζόσφαιρα της ελαιοκράμβης, παρεμποδίζει, την ανάπτυξη του *V. dahliae* var. *longisporum*, *in vitro* και μειώνει την προσβολή των φυτών από το παθογόνο κατά 23% (Λιγοξυγκάκης, 1998).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνίου Π, 1995. Συμβολή της ηλιοαπολυμάνσεως του εδάφους στην αντιμετώπιση φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών και η επίδραση της στην ανταγωνιστική μικροχλωρίδα του εδάφους. Διδακτορική διατριβή. ΓΠΑ
- Αραμπατζής Χ, 2000. Προσέγγιση στην ανοσοποίηση των φυτών κατά των αδρομυκώσεων. Πτυχιακή μελέτη. Αθήνα.
- Βακαλουνάκης Δ.Ι, 1988. Οι εχθροί και οι ασθένειες των κηπευτικών και η αντιμετώπιση τους. Ηράκλειο.
- Brinkerhoff L.A 1973. Effects of environment on the pathogen and the disease. In Verticillium wilt of cotton. NCPRL, Texas.
- Δημητριάδης Στ, 1970. Μαθήματα Φυτοπαθολογίας τόμος Β'. Αθήνα
- Dube HC, 1990. An introduction to fungi. India
- Fravel DR, 1989. Biocontrol of Verticillium wilt of eggplant and potato. In vascular wilt diseases of plants. NATO ASI series vol H28. Berlin.
- Isaac I 1967. Speciation in Verticillium. Annual Rev. Phytopathology 5.
- Θανασουλόπουλος Κ, 1978. Έρευνες και παρατηρήσεις στην βερτισιλλίωση της τομάτας. Διατριβή επί υφηγεσία. ΑΓΣΑ.
- Θανασουλόπουλος Κ, 1992. Μυκητολογικές ασθένειες δέντρων και αμπέλου. Μαθήματα ειδικής φυτοπαθολογίας. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
- Θανασουλόπουλος Κ& Γκολιάρης Α, 1991. Η καλλιέργεια της μέντας στην περιοχή της Κομοτηνής. Αντιμετώπιση της βερτισιλλίωσης. Γεωργία και Κτηνοτροφία 6.
- Katan J and DeVay 1989. The biological control induced by soil solarization. In vascular wilt diseases of plants. NATO ASI series vol H28. Berlin.
- Katan, 1981. Solar heating of soil for control of soilborne pests. Annual Rev Phytopathology 19: 211-236.

Katan J, 1976. Solar heating by polyethylene mulcing for the control of diseases caused by soilborne pathogens. *Phytopathology* 66.

Λιγοξυγκάκης Ε.Κ, 1984. Η βερτισιλλίωση των καλλιεργειών της Κρήτης και η αντιμετώπιση της. *Γεωτεχνικά Κρήτης* 4.

Λιγοξυγκάκης, 1998. Μελέτη των Βερτισιλλιώσεων των φυτών στη νήσο Κρήτη. Διδακτορική Διατριβή. ΑΠΘ

Μαλαθράκης 1983. Απολύμανση εδάφους. Σημειώσεις ΤΕΙ Ηρακλείου.

Παναγόπουλος Χ, 1995. Ασθένειες κηπευτικών καλλιεργειών. Αθήνα

Παναγόπουλος Χ, 1993. Ασθένειες καρποφόρων δέντρων και αμπέλου. Αθήνα.

Pegg G.F, 1974. Verticillium diseases. *Rev. of Plant Pathology* 53.

Sherf & MacNab, 1986. Vegetables diseases and their control. Τόμος Β'. Νέα Υόρκη.

Talboys P.W, 1984. Chemical control of Verticillium wilts. *Phytopathologia medit.* 23.

Τζάμος Ε, 1989. Μυκητολογικές ασθένειες κηπευτικών που συνιστούν φυτοπαθολογικά προβλήματα στην Ελλάδα. 5^ο Πανελλήνιο Φυτοπαθολογικό Συνέδριο. Θεσσαλονίκη.

Tjamos EC & Paplomatas N, 1988. Long term effect of soil solarization in covered plastic houses for the control of Verticillium wilt of tomatoes in Greece. *Acta Horticulturae* 10.

Tjamos EC & Paplomatas N, 1987. Effect of soil solarization on the survival of fungal antagonists of the Verticillium dahliae. *EPPO Bulletin* 17.

Tjamos EC & Vellios 1997. Studies on the effect of biocontrol agents on Verticillium dahliae microslerotia formation, survival and germination. 7th International Verticillium Symposium. Oct 6-10 Athens.

Tjamos EC, 1997. Strategies in developing methods and applying techniques for the control of *Verticillium dahliae*. 7th International Verticillium Symposium. Oct 6-10 Athens.

ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ:

Εικόνα 1: www.culs.ncsu.edu/course/pp728/verticillium/vertifin.htm.

Εικόνα 2: www.aces.viuc.edu/vista/pdf_pubs/VERTWILT.PDF.htm

Εικόνα 3: www.aces.viuc.edu/vista/pdf_pubs/VERTWILT.PDF.htm

Εικόνα 4: www.rbg Syd.usw.gov.au.htm

Εικόνα 5: www.rbg Syd.usw.gov.au.htm

Εικόνα 6: www.avrdc.org/pdf/pepper.

Εικόνα 7: www.avrdc.org/pdf/pepper.

Εικόνα 8: www.avrdc.org/pdf/pepper.

Εικόνα 9: www.flickr.com/photos

Εικόνα 10: www.vegetablemdonline.ppath.cornell.edu/photoPages

Εικόνα 11: www.apps.omafra.gov.ou.ca/scripts/english/crops/agriphone

Εικόνα 12: University of Florida Cooperative Extension

Εικόνα 13: www.vegetablemdonline.ppath.cornell.edu/photoPages

Εικόνα 14: www.vegetablemdonline.ppath.cornell.edu/photoPages

Εικόνα 15: www.solar.uckac.edu Soil solarization information site. Univ. of California.

Εικόνα 16: www.solar.uckac.edu

Εικόνα 17: www.solar.uckac.edu

Εικόνα 18: www.kacc.rda.go.kr