



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Γενική Φυτοπαθολογία Θεωρία

Ενότητα 10: Αλληλεπίδραση ξενιστών-
παθογόνων Β

Δρ Δήμητρα Ζωάκη-Μαλισιόβα
Καθηγήτρια Εντομολογίας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Τμήμα: Τεχνολόγων Γεωπόνων

Τίτλος Μαθήματος: Γενική Φυτοπαθολογία Θεωρία

Ενότητα 10: Αλληλεπίδραση ξενιστών-παθογόνων Β

Όνομα Καθηγητή: Δρ Δήμητρα Ζωάκη-Μαλισιόβα

Βαθμίδα Καθηγητή: Καθηγήτρια

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Ηπείρου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Αλληλεπίδραση ξενιστών- παθογόνων Β



Σκοποί ενότητας

- Περιγραφή των μηχανισμών παθογένεσης των παθογόνων & μη-παθογόνων μικροοργανισμών.



Περιεχόμενα ενότητας

- Μηχανισμοί αμύνης των φυτών (*συνέχεια*).
 - Αντίδραση υπερευαισθησίας ή υπερευπάθειας.
 - Επίκτητη & Επαγόμενη διασυστηματική αντοχή.
 - Μηχανισμοί άμυνας μη-ξενιστών φυτών κατά (παθογόνων) μικροοργανισμών.
- Μηχανισμοί αναγνώρισης μεταξύ παθογόνων-ξενιστών.
- Στοιχεία φυσιολογίας του ασθενούς φυτού.



Αντίδραση υπερευαισθησίας ή υπερευπάθειας

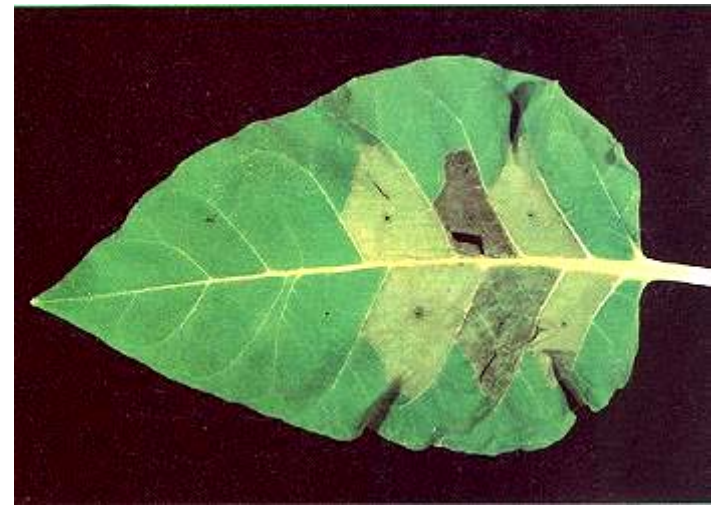
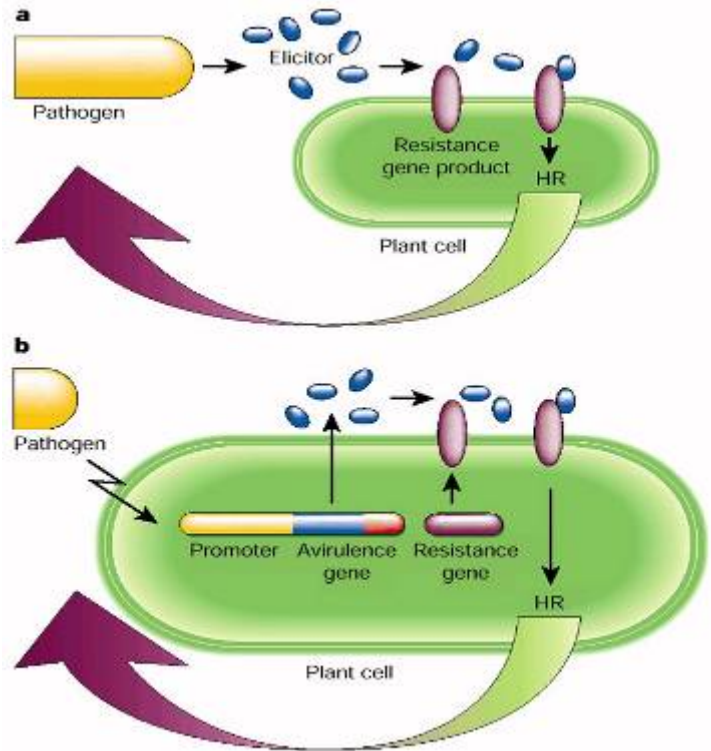


Αντίδραση υπερευαισθησίας (ΑΥ)

- Καλείται η ακραία έκφραση αντοχής των φυτών σε μυκητολογικές, βακτηριολογικές και ιολογικές προσβολές με κύριο χαρακτηριστικό κυτταρολογικές & βιοχημικές αλλοιώσεις και τον ταχύτατο θάνατο των προσβαλλόμενων κυττάρων του ξενιστή ως τελικό επακόλουθο της επιχειρούμενης μόλυνσης
- Πρόκειται για ιδιόμορφη «αυτοκτονία» ενός ή περισσότερων φυτικών κυττάρων μέσω της οποίας απομονώνεται το **υποχρεωτικό** παράσιτο στις θέσεις διείσδυσης, εγκλωβίζεται στην αρχική θέση διείσδυσης, παρεμποδίζεται η προέλαση ή ο πολλαπλασιασμός και μετακίνησή του και τελικά αποφεύγεται η ανάπτυξη της ασθένειας



Αντίδραση υπερευαισθησίας (ΑΥ)



Ενεργοποίηση της ΑΥ μέσω της υπερεξειδικευμένης αναγνώρισης του μορίου του διεγέρτη (από το παθογόνο) από το γόνο αντοχής (του ξενιστή-φυτού)



Ταχύτητα & διαδικασία ενεργοποίησης της ΑΥ (1)

- Αυτός ο προγραμματισμένος κυτταρικός θάνατος αφορά **ετερόλογες** (ασύμβατες) σχέσεις παθογόνου-ξενιστή
- Διεγείρεται από το παθογόνο ή από τα προϊόντα μεταβολισμού του και προϋποθέτει μοριακή επικοινωνία αλληλοαναγνώρισης ξενιστή και παθογόνου
- Η ταχύτητα με την οποία εκδηλώνεται ποικίλλει αναλόγως του παθογόνου και του είδους της φυτικής επιφάνειας



Ταχύτητα & διαδικασία ενεργοποίησης της ΑΥ (2)

- Στα ισωμάτια και βακτηριακά κύτταρα απαιτείται ορισμένο χρονικό διάστημα αλληλεπίδρασης (6-20 ώρες), για την έκφραση των γόνων που ενεργοποιούνται με την ανταλλαγή βιοχημικών σημάτων μεταξύ παθογόνων και των κυττάρων του ξενιστή
- Οι μύκητες πρέπει πρώτα να διαπεράσουν τα κυτταρικά τοιχώματα του ξενιστή, πριν την ενεργοποίηση της ΑΥ
- Ρυθμός ανάπτυξης των μυκήτων είναι ο ίδιος κατά τη διάτρηση των κυτταρικών τοιχωμάτων τόσο σε συμβατές (ομόλογες), όσο και σε ετερόλογες (ασύμβατες) αλληλεπιδράσεις; Διαφοροποίηση λαμβάνει χώρα όταν προσεγγίζεται η κυτταρική μεμβράνη και τότε καθίστανται εμφανείς όλες οι μεταβολικές, φυσιολογικές και μορφολογικές αλλοιώσεις των κυττάρων κατά την έκφραση της ΑΥ



Διεγέρτες της ΑΥ

- Οι διεγέρτες εντοπίζονται πάνω ή πλησίον της επιφάνειας του παθογόνου (μύκητας, βακτήριο, ιός) ή εκκρίνονται από αυτό
- Πρωταρχικοί στόχοι των μορίων των διεγερτών της ΑΥ είναι η πρωτοπλασματική μεμβράνη και οι μεμβράνες των κυτταρικών οργανιδίων του ξενιστή
- Στα φυτοπαθογόνα βακτήρια, η ΑΥ ελέγχεται από τους γόνους μη-παθογένειας ή αμολυσματικότητας (**avr γόνοι**) και αυτοί αποτελούν τη βάση της αντοχής και για τις μυκητολογικές ασθένειες
- Avr γόνοι λειτουργούν εξειδικευμένα σε σχέση με τους αντίστοιχους γόνους αντοχής των φυτών και μόνο στα φυτά που τους φέρουν-ξενιστές που τους φέρουν προκαλείται η ΑΥ



Διεγέρτες της ΑΥ σε μύκητες

- **Ακόρεστα λιπαρά οξέα** (αραχιδονικό, εικοσαπενταενοϊκό, λινολενικό): είναι συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος του ωομύκητα *Phytophthora infestans* (ικανά να διεγείρουν και την έκκριση των φυτοαλεξινών σεσκιτερπενοειδή)
- **Πεπτίδιο** που θεωρείται προϊόν του γόνου αμολυσματικότητας *avr9* κατά την αλληλεπίδραση ποικιλιών τομάτας που διαθέτουν το γόνο αντοχής *Cf9* με το μύκητα *Fulvia fulva*; Αυτό το πεπτίδιο έχει απομονωθεί και από το μύκητα και από τους υποστομάτιους χώρους της εν λόγω ποικιλίας τομάτας και είναι δραστικό μόνο στις ανθεκτικές ποικιλίες



Διεγέρτες της ΑΥ σε βακτήρια

- **Χαρπίνες:** πρόκειται για εξειδικευμένες πρωτεΐνες των οποίων η σύνθεση ελέγχεται από συστάδα γόνων *hpr* και έχουν ανιχνευθεί στο σύστημα αλληλεπίδρασης του παθογόνου βακτηρίου *Erwinia amylovora* και μηλοειδών και στο *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*
- **Πιλίνη:** είναι εξωκυττάρια πρωτεΐνες με κυριότερο εκπρόσωπο την πιλίνη HprA, που κωδικοποιείται από το γόνο *hprA* και είναι συστατικό του βακτηρίου *Pseudomonas syringae*; Είναι υδρόφιλη, δομική πρωτεΐνη του αγωγού Hpr pilus, που είναι απαραίτητος στις αντιδράσεις αλληλοαναγνώρισης ξενιστή-παθογόνου



Διεγέρτες της ΑΥ σε ιούς

- Εξειδικευμένος διεγέρτης του ιού TMV είναι η **καψιδιακή του πρωτεΐνη** στις περιπτώσεις εκείνες, που ο ξενιστής περιέχει το **γόνο N**

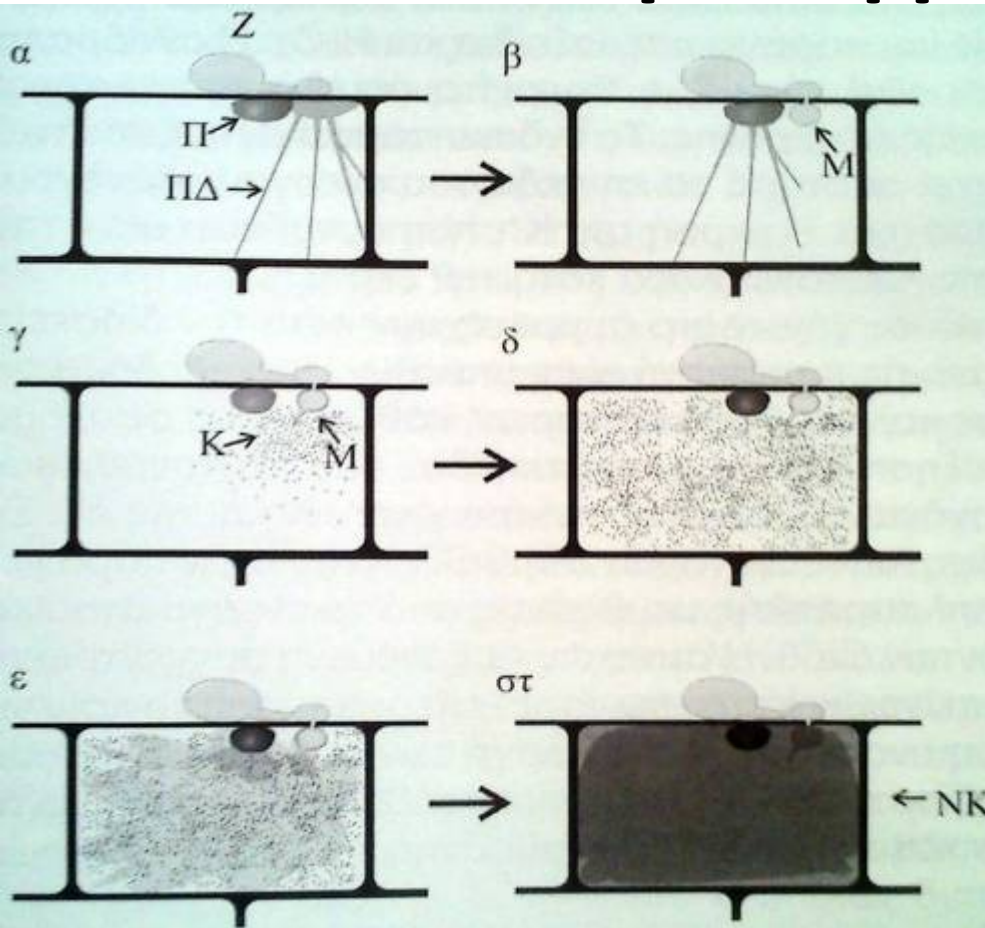


Δομικές (κυτταρολογικές) αλλαγές κατά την έκφραση της ΑΥ (1)

- Οι δομικές/κυτταρολογικές αλλαγές είναι ορατές μακροσκοπικά; Περιλαμβάνουν (10-60 πρώτα λεπτά):
 - Κυκλωτική κίνηση πρωτοπλασματικών ρευμάτων εντός του ζώντος κυττάρου
 - Μετακίνηση πυρήνα προς το σημείο διείσδυσης το παθογόνου
 - Σχηματισμός κύστεων
 - Σχηματισμός πρωτοπλασματικών δεσμών
 - Κροκίδωση του πρωτοπλάσματος του κυττάρου στη θέση επαφής του ξενιστή με το παθογόνο
- Στα επόμενα 90 λεπτά, ακολουθεί:
 - Παύση κυκλώσεως (είναι ταχύτατη και πάντα συνδυάζεται με την ΑΥ)
 - Καστανός μεταχρωματισμός στα κύτταρα του ξενιστή
 - Νέκρωση, η οποία παραμένει έντονη στην περιοχή αυτών των κυττάρων επό 10 ακόμα ώρες



Δομικές (κυτταρολογικές) αλλαγές κατά την έκφραση της ΑΥ (2)



Z: βλαστώνων ζωοσπόριο

Π: πυρήνας κυττάρου

ΠΔ: πρωτοπλασματικές δεσμίδες

Μ: μυζητήρας

Κ: κροκίδωση πρωτοπλάσματος

ΝΚ: νέκρωση κυττάρου



Βιοχημικά δεδομένα της ΑΥ (1)

- Σύνθεση και απελευθέρωση των διεγερτών της ΑΥ
- Δραστηριοποίηση του συστήματος των περοξειδασών των κυτταρικών τοιχωμάτων του H_2O_2 και του συστήματος $NADH/NADPH$, που ανάγει το O_2 σε H_2O_2 και O^{2-} ή OH^-
- Οξείδωση των μεμβρανών μέσω των λιποξυγενασών
- Εισροή Ca^{2+}
- Φωσφωρυλίωση μέσω των κινασών



Βιοχημικά δεδομένα της ΑΥ (2)

- Βλάβη της ημιπερατότητας των μεμβρανών μέσω της Η+ΑΤΡάσης
- Απώλεια (εκροή) K^+ (απώλεια ηλεκτρολυτών)
- Καταστροφή της πολικότητας (εκπόλωση) της κυτταρικής μεμβράνης
- Συσσώρευση φυτοαλεξινών
- Νέκρωση του κυττάρου



Επίκτητη (SAR) & Επαγόμενη (ISR) διασυστηματική αντοχή



Εισαγωγή

- Πρόκειται για **ανοσοποίηση των φυτών** κατά των ασθενειών με **διέγερση λανθανόντων μηχανισμών αντοχής**
- Τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να αμύνονται κατά των παθογόνων με πλειάδα μηχανισμών αντοχής, οι οποίοι λειτουργούν στα ανθεκτικά, κατά περίπτωση, φυτά ή παραμένουν σε **λανθάνουσα** κατάσταση και **διεγείρονται από βιοτικούς & αβιοτικούς παράγοντες**
- Το 1961 ο Ross παρατήρησε, ότι η πρόκληση τοπικών μολύνσεων στα φύλλα καπνού από τον ιό TMV συνέβαλε στο να μειωθεί η μόλυνση των ανωτέρω φύλλων σε επακόλουθες μολύνσεις από τον ίδιο τον ιό



Εισαγωγή

- Τη δεκαετία του 1970, ο Κύς ανέφερε περί της διασυστηματικής διέγερσης μηχανισμών αντοχής σε μυκητολογικές, βακτηριολογικές και ιολογικές ασθένειες των κολοκυνθοειδών
- Πρόκειται για μορφή ανοσοποίησης, η οποία προκαλείται από βιολογικούς παράγοντες (μύκητες, βακτήρια, ιοί) εναντίον των ίδιων ή διαφορετικών σε σύγκριση με εκείνα τα παθογόνα, που προκάλεσαν τη διέγερση



Ανοσοποίηση φυτών

- **Ορισμός:** είναι η βιολογική, βιοχημική, χημική διέγερση λανθανόντων μηχανισμών αντοχής, ώστε το ευπαθές φυτό σε ένα συγκεκριμένο σύστημα ξενιστή-παθογόνου να καθίσταται ανθεκτικό στο ίδιο σύστημα
- Η ανοσοποίηση εμφανίζεται με δύο μορφές:
 - **Τοπικού χαρακτήρα αντοχή:** εκφράζεται μόνο στο σημείο εισβολής του παθογόνου στο φυτό με νέκρωση και ξήρανση των ιστών και σχετίζεται με την ΑΥ
 - **Διασυστηματικού χαρακτήρα αντοχή:** οι αμυντικοί μηχανισμοί του φυτού εκφράζονται και μακράν του σημείου διέγερσης



Ανοσοποίηση φυτών: SAR & ISR

- **Επίκτητη διασυστηματική αντοχή** (systemic acquired resistance, **SAR**), όταν ενεργοποιείται κατόπιν μόλυνσης του ξενιστή με ένα παθογόνο
- **Επαγόμενη διασυστηματική αντοχή** (induced systemic resistance, **ISR**), όταν επιτυγχάνεται με βιολογικούς παράγοντες που δεν προκαλούν τοπική νέκρωση (π.χ. ριζοβακτήρια)
- SAR & ISR είναι ουσιαστικά «αφύπνιση» λανθανόντων μηχανισμών αντοχής, που αποκτάται κατόπιν διαφορετικών παραγόντων διέγερσης και λαμβάνουν χώρα οι ίδιοι ή διαφορετικοί μηχανισμοί αντοχής
- SAR & ISR έχουν ανιχνευθεί και σε μονοκοτυλήδονα και σε δικοτυλήδονα φυτά



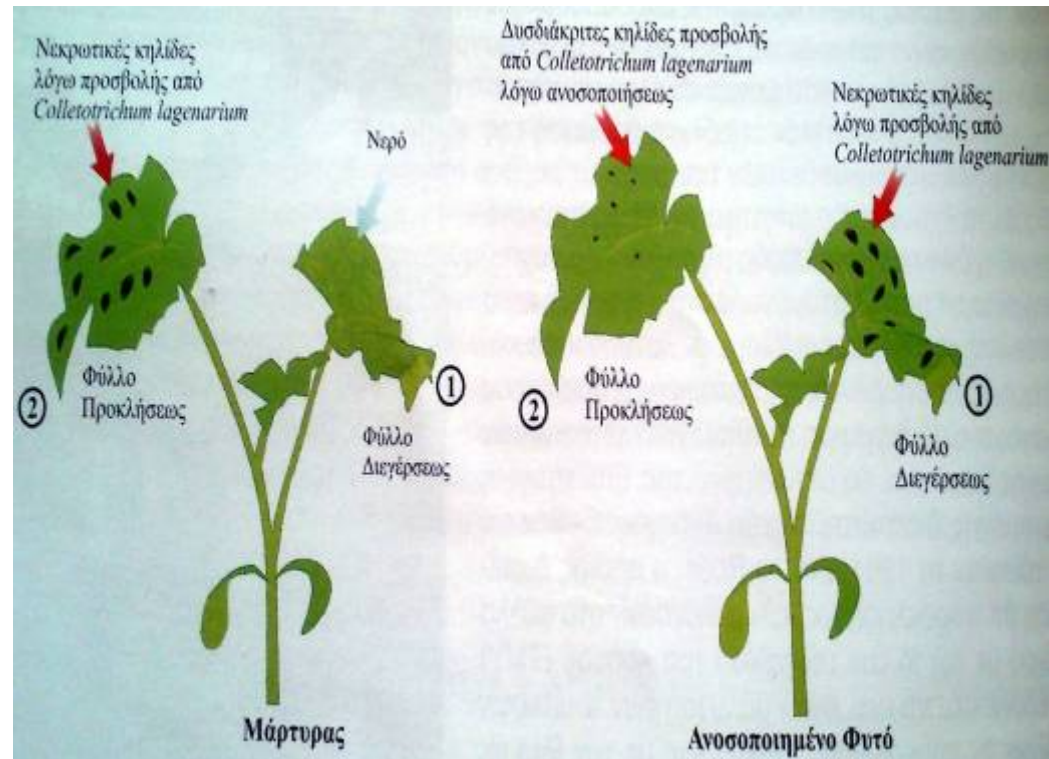
Τεχνική βιολογικής διέγερσης της ανοσοποίησης των φυτών (1)

- Πρώτο φύλο αγγουριάς (φύλλο διέγερσης των μηχανισμών αντοχής) μολύνεται κατά το στάδιο των 2 πραγματικών φύλλων σε 20 σημεία με αιώρημα κονιδίων συγκέντρωσης 10^6 /mL του μύκητα *Colletotrichum lagenarium*
- Επακόλουθη μόλυνση του δεύτερου φύλλου (φύλλο πρόκλησης) 4-5 ημέρες μετά την αρχική μόλυνση με το ίδιο ή άλλα παθογόνα και στην ίδια συγκέντρωση καταλήγει στην προστασία του, αλλά και των φύλλων που πρόκειται να αναπτυχθούν αργότερα
- Ανοσοποίηση εκδηλώνεται ως μειωμένος αριθμός κηλίδων, αλλά και ως σημαντικά περιορισμένη επιφάνεια των νεκρωτικών κηλίδων στο φύλλο πρόκλησης

Τεχνική βιολογικής διέγερσης της ανοσοποίησης των φυτών (2)

- Ενδιάμεση διάρκεια περιόδου διέγερσης (1-3 ημέρες) και χρήση μικρότερο αριθμού σταγόνων αιωρήματος κονιδίων προκαλούν ενδιάμεσου βαθμού ανοσοποίησης του φυτού

Μέθοδος ανοσοποίησης: μόλυνση πρώτου φύλλου από παθογόνο μύκητα και διέγερσης αντοχής στο δεύτερο φύλλο σε επακόλουθη μόλυνση από το ίδιο παθογόνο 5-6 ημέρες αργότερα





Τεχνική βιολογικής διέγερσης της ανοσοποίησης των φυτών (3)



Διαφοροποίηση σε φύλλα αγγουριάς προσβεβλημένων από το μύκητα *Colletotrichum lagenarium*; Αριστερά φυτό με έντονα συμπτώματα στο πρώτο φύλλο & δεξιά ασυμπτωτικό δεύτερο φύλλο μετά από ανοσοποίηση



Σήμα ανοσοποίησης φυτών

- Διέγερση λανθανόντων μηχανισμών αντοχής πέρα της μόλυνσης προϋποθέτει βιοχημικώς τη δραστηριοποίηση ή παραγωγή χημικών παραγόντων
- Αυτοί αποτελούν το **σήμα**, το οποίο είναι βιοχημικός, φυσικο-ηλεκτρικός παράγοντας, που μετακινείται διασυστηματικά και προετοιμάζει τους φυτικούς ιστούς, ώστε να αμυνθούν σε επακόλουθη μόλυνση
- **Επαγωγή λανθανόντων μηχανισμών αντοχής πραγματοποιείται κατά την αναγνώριση των μορίων διέγερσης από αντίστοιχους υποδοχείς στα φυτά**
- Αυτή η αναγνώριση ενεργοποιεί μεταβολικά μονοπάτια δημιουργία και μεταφοράς ενδογενούς σήματος (ή σημάτων) και το σήμα με τη σειρά του ενεργοποιεί τους γόνους παραγωγής των αντιμικροβιακών πρωτεϊνών/πεπτιδίων



Ιδιότητες σήματος κατά την ανοσοποίηση των φυτών

- Παράγεται με την εμφάνιση των νεκρωτικών κηλίδων
- Μετακινείται ταχέως και συνεχώς στα υπόλοιπα μέρη του φυτού μέσω των αγγείων (ανοδικά και καθοδικά) διεγείροντας το φαινόμενο της ανοσοποίησης
- Το επίπεδο προστασίας αυξάνει, καθώς και όλο περισσότερο σήμα παράγεται και μετακινείται εντός του φυτού
- Το μέγιστο της προστασίας επιτυγχάνεται, όταν έχουν κορεσθεί όλοι οι υποδοχείς του σήματος



Παράγοντες διέγερσης της ανοσοποίησης των φυτών

- Είναι **χημικοί, βιοχημικοί & βιολογικοί**, ήτοι:
 - Ασύμβατες φυλές παθογόνων μικροοργανισμών
 - Μη παθογόνα στελέχη παθογόνων μικροοργανισμών
 - Μη παθογόνοι μικροοργανισμοί (σαπρόφυτα), π.χ. ριζοσφαιρικά βακτήρια (κυρίως *Pseudomonas* & *Bacillus*)
 - Παράγοντες αβιοτικής καταπόνησης (π.χ. ξηρασία και έλλειψη θρεπτικών στοιχείων)
 - Χημικές ενώσεις



Χημικές ενώσεις ως επαγωγείς SAR

- **Φυσικές οργανικές ενώσεις:** πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (λινολενικό, αραχιδονικό, εικοσιπενταενοϊκό οξύ) επάγουν SAR στην πατάτα εναντίον του *Phytophthora infestans*
- **Συνθετικές οργανικές ενώσεις:** για προστασία από μύκητες, βακτήρια και ιούς είναι οι 2,6 διχλωροϊσονικοτινικό οξύ (INA), βενζο(1,2,3) θειανταζόλ-7-καρβοθειϊκό οξύ-S-μεθυλεστέρας (BTH) και DL-β-αμινοβουτυρικό οξύ (BABA), αλλά και τα μυκητοκτόνα fosetyl-Al και metalaxyl
- **Ανόργανες ενώσεις:** φωσφορικά και οξαλικά άλατα



Κριτήρια φυσικών & χημικών ενώσεων ως επαγωγείς SAR

- Να διεγείρουν μηχανισμούς αντοχής εναντίον ενός αριθμού παθογόνων αιτίων
- Να προκαλεί την έκφραση των ίδιων βιοχημικών δεικτών, που εμφανίζει και το βιολογικό πρότυπο ανοσοποίησης
- Να μην έχει άμεση μικροβιακή δράση *in vivo* & *in vitro*
- Να τροποποιεί την αλληλεπίδραση παθογόνου-φυτού, ώστε φαινοτυπικά να μην πραγματώνεται μόλυνση και να επάγει τους μηχανισμούς άμυνας του φυτού πριν από ή μετά τη μόλυνση



Βιοχημικές ενώσεις ως επαγωγείς

SAR & ISR (1)

- **Σαλυκιλικό οξύ (SA):** δρα τοπικά και διασυστηματικά και παράγεται στους χλωροπλάστες μέσω του μεταβολισμού των δυνυλοπροπανοειδών
- Βάσει φυσικοχημικών ιδιοτήτων του είναι ιδανικό για τη μεταφορά του μέσα στον ηθμό και θεωρείται ότι κατέχει καίριο ρόλο στη διάχυση & μεταφορά του σήματος μετά τη μόλυνση από το παθογόνο
- Είναι διεγέρτης συσσώρευσης των πρωτεϊνών σχετικών με την παθογένεση (PR-proteins), οι οποίες παρεμποδίζουν την ανάπτυξη του παθογόνου
- Υποδοχέας του SA είναι μία προσδένουσα πρωτεΐνη 240-289 kDa, η οποία είναι ομόλογη με τους γόνους που κωδικοποιούν καταλάσες (ένζυμο που μετατρέπει το H_2O_2 σε O_2 & H_2O)
- Το SA αναστέλλει τη δράση της καταλάσης, αυξάνεται η ποσότητα του H_2O_2 και αυτό δρα ως δευτερογενές σήμα που επάγει τη συσσώρευση SA, το οποίο επάγει τη συσσώρευση των PR-proteins κατά το μηχανισμό SAR 34



Αποδείξεις για το ρόλο του σαλικυλικού οξέος στη SAR

- Εξωγενής εφαρμογή του επάγει την έκφραση των πρωτεϊνών που σχετίζονται με την παθογένεση και προσφέρει διασυστηματική προστασία κατά των παθογόνων
- Αύξηση της ποσότητάς του ενδογενώς συσχετίζεται με την έκφραση των γόνων άμυνας και ανάπτυξης της αντοχής
- Διεγείρει τους ίδιους 9 γόνους, που ενεργοποιούνται διασυστηματικά μετά από μόλυνση του φυτού με τον ιό TMV
- Έκφραση του γόνου της σαλικυλικής υδροξυλάσης σε διαγονιδιακά φυτά καπνού αναστέλλει τη συσσώρευσή του και παρεμποδίζει περαιτέρω την ανάπτυξη της ανοσοποίησης στο φυτό



Βιοχημικές ενώσεις ως επαγωγείς

SAR & ISR (2)

- **Ιασμονικές ουσίες** (ιασμονικό οξύ & μεθυλιωμένος εστέρας του): απαντώνται σε όλα τα φυτά, ανήκουν στις κυκλοπεντανόνες και παράγονται από το λινολενικό οξύ
- Τροποποιούν την έκφραση γόνων και συσσωρεύονται στους φυτικούς ιστούς κατά τη δημιουργία πληγής ή ύπαρξης κατάλληλων διεγερτών
- Φαίνεται να δρα ως δευτερογενής επαγωγέας της ISR
- Σε μικρές ποσότητες επάγουν πρωτεϊνικούς παρεμποδιστές (θειονίνη, ωσμοτίνη, προλίνη των κυτταρικών τοιχωμάτων), ένα σουλφιδριλικό παρεμποδιστή πρωτεϊνών και διάφορα ένζυμα (PAL, οξειδάση πολυφαινολών, όξινη πρωτεϊνάση, λιποξυγενάση, αμινοπεπτιδάση), που εμπλέκονται στους μηχανισμούς άμυνας του φυτού



Βιοχημικές ενώσεις ως επαγωγείς

SAR & ISR (3)

- **Συστεμίνη:** είναι πεπτίδιο 18 αμινοξέων, το οποίο έχει απομονωθεί από την τομάτα και σε μικρές ποσότητες συμβάλλει στη σύνθεση παρεμποδιστών πρωτεϊνών κατά τη SAR
- **Αιθυλένιο:** είναι πτητική φυτική ορμόνη, που επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών και τη γήρανση. Κατά τη διείσδυση του παθογόνου στο φυτό, παράγεται και επάγει στο πλαίσιο της SAR τη σύνθεση μερικών πρωτεϊνών παθογένεσης (β -1,3-γλουκανάση, χιτινάση, β -γλουκανάση). Επίσης προκαλεί δομικές αλλαγές που αυξάνουν την αντοχή του κυτταρικού τοιχώματος (εναπόθεση λιγνίνης και συσσώρευση υδροξυπρολινοπρωτεϊνών)



Μηχανισμοί άμυνας του φυτού, που διεγείρονται κατά την ανοσοποίηση

- Αντίδραση υπερευαισθησίας
- Παραγωγή ενώσεων μέσω οξειδωτικής μεταβολικής έκρηξης
- Παραγωγή αναστολέων/παρεμποδιστών πρωτεϊνών
- Λιγνιτοποίηση (εναπόθεση λιγνίνης) και άλλο δομικοί φραγμοί (εναπόθεση καλλόζης, τυλώσεις, φελλοποίηση κ.λπ.)
- Σύνθεση, συρρώρευση και ρόλος φυτοαλεξινών
- Διέγερση γόνων που συμβάλλουν στην άμυνα του φυτού, μέσω των πρωτεϊνών που σχετίζονται με την παθογένεση
- Μηχανισμοί της ISR των φυτών εναντίον ιολογικών ασθενειών



Λιγνιτοποίηση (1)

- Αποτελεί σημαντικό μηχανισμό για την παρεμπόδιση της ανάπτυξης παθογόνου (μύκητας, βακτήριο, ιός)
- Λιγνίνη είναι προϊόν πολυμερισμού πρόδρομων ενώσεων του μεταβολικού μονοπατιού των φαινυλπροπανοειδών (κεντρικό ρόλο κατέχει το ένζυμο PAL, το οποίο εμπλέκεται και κατά το σχηματισμό διαφόρων φυτοαλεξινών)
- Άλλα σημαντικά ένζυμα που συμβάλλουν στην αυξημένη αντοχή και εμπλέκονται στο μονοπάτι των φαινυλπροπανοειδών είναι η δεϋδρογονάση της κινναμικής αλκοόλης, οι περοξειδάσες και η λιγάση του 4-κουμαρικού:CoA
- Αμελητέος ο ρόλος της λιγνίνης στις ενδοκυττάρειες διεισδύσεις των παθογόνων



Παρεμπόδιση ανάπτυξης μυκήτων μέσα στο φυτικό ιστό από τη λιγνιτοποίηση (1)

- Προσδίδει μεγαλύτερη αντίσταση στη μηχανική διείδυση από τα παθογόνα
- Στο σημείο εισόδου του παθογόνου, το κυτταρικό τοίχωμα καθίσταται πιο αθεκτικό στη διάσπασή του από τα ένζυμα που εκκρίνει το παθογόνο
- Περιορίζει τη διάχυση των ενζύμων και των τοξινών του μύκητα μέσα στο κύτταρο του ξενιστή και παράλληλα το νερό και θρεπτικά στοιχεία από τον ξενιστή προς το παθογόνο
- Μικρού μοριακού βάρους φαινολικοί πρόδρομοι της λιγνίνης και ελεύθερες ρίζες που παράγονται κατά τον πολυμερισμό, απενεργοποιούν της μεμβράνες των μυκήτων, τα ένζυμα, τις τοξίνες και τους διεγέρτες



Παρεμπόδιση ανάπτυξης μυκήτων μέσα στο φυτικό ιστό από τη λιγνιτοποίηση (2)

- Πολλές φαινολικές ουσίες έχουν αντιμικροβιακή δράση
- Λαμβάνει χώρα στο άκρο της διεισδύουσας υφής, με αποτέλεσμα αυτή να χάνει την πλαστικότητά της, που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξή της
- Μεσοκυτταρίως παρεμποδίζει τη μείωση του πληθυσμού, τον αριθμό και τη διάμετρο της νεκρωτικής κηλίδας, λόγω του ότι συμβάλλει στην ενεργοποίηση της παραγωγής των απαραίτητων ενζύμων (χιτινάσες, κυτταρινάσες) για τη σύνθεση φυτοαλεξινών από το φυτό; Αυτά τα ένζυμα παρεμποδίζουν και τη βιοσύνθεση βασικών δομικών υλικών του παθογόνου μύκητα και ανιχνεύονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στην περιφέρεια της κηλίδας (τοπική ανοσοποίηση)



Διέγερση των γόνων που ενεργοποιούν τη σύνθεση πρωτεϊνών, που σχετίζονται με την παθογένεση (1)

- Είναι μικρού μοριακού βάρους, πολύ διαλυτές στα οξέα, έχουν μικρό ισοηλεκτρικό σημείο, είναι ανθεκτικές στην πρωτεολυτική διάσπαση και δεν έχουν εμφανή ενζυματική δραστηριότητα
- Οι PR-proteins κωδικοποιούνται από τον ξενιστή (παράγονται μέσα στο μεσοκυττάριο χυμό), αλλά η σύνθεσή τους ενεργοποιείται σε περιπτώσεις ασθενειών ή καταπονήσεων
- Αποτελούν μη-εξειδικευμένο φαινόμενο μιας και έχουν εντοπιστεί σε πολλά φυτικά είδη διαφόρων οικογενειών
- Συσσωρεύονται τοπικά στο φύλλο διέγερσης και συντίθενται διασυστηματικά σε επακόλουθη μόλυνση στο φύλλο πρόκλησης
- Παράγονται τόσο σε ασύμβατες, όσο και σε συμβατές αλληλεπιδράσεις ξενιστή-παθογόνου και επάγονται ως αντίδραση στη μόλυνση



Διέγερση των γόνων που ενεργοποιούν τη σύνθεση πρωτεϊνών, που σχετίζονται με την παθογένεση (2)

- Αναφέρονται και ως SAR-πρωτεΐνες και οι γόννοι που συνδέονται με αυτές ως SAR-γόννοι; Συσσωρεύονται στους μεσοκυττάριους χώρους ή χυμοτόπια
- Δεν έχουν ακόμα αναφερθεί με αντιϊκή δράση PR-proteins
- Επιδεικνύουν αντιμικροβιακή δράση, λυσοζυμική δράση, υδρολύουν, αποδιοργανώνουν πρωτεΐνες των κυτταρικών τοιχωμάτων των παθογόνων, ενδυναμώνουν τα φυτικά κύτταρα (εναπόθεση λιγνίνης), καθιστούν διαπερατές τις μεμβράνες των μυκήτων και διασπούν τις μεμβράνες μυκήτων & βακτηρίων
- **Ομάδες PR-proteins:** PR1 (άγνωστες), PR2 (β-1,3-γλουκανάσες), PR3 & PR4 & PR8 & PR11 (χιτινάσες), PR5 (ανάλογη της θαυματίνης), PR6 (παρεμποδιστής πρωτεϊνών), PR7 (ενδοπρωτεΐνάση), PR9 (περοξειδάση), PR10 (ριβονουκλεάση), PR12 (ντιφενσίνη), PR13 (θειονίνη), PR14 (πρωτεΐνη μεταφοράς λιπιδίων)



Μηχανισμοί ISR των φυτών εναντίον ιολογικών ασθενειών

- Στηρίζονται στην παρεμπόδιση του πολλαπλασιασμού των ιών και στο σχηματισμό πρωτεϊνών που σχετίζονται με την παθογένεση
- Ίσως τροποποιούνται ως προς την κατασκευή τους και τα πλασμοδέσματα, ώστε να παρεμποδίζεται η μετακίνηση των ιοσωματίων από τα μολυσμένα στα γειτονικά υγιή κύτταρα
- Πιθανή δράση του φυτικού ενζύμου RNAάσης στο ιϊκό RNA



Βιολογικοί παράγοντες ως επαγωγείς ISR (1)

- Ύπαρξη συγκεκριμένων στελεχών μη-παθογόνων ριζοβακτηρίων, τα οποία προστατεύουν τα φυτά από μύκητες, βακτήρια και ιούς διεγείροντας λανθάνοντες μηχανισμούς αντοχής των φυτών
- Ορισμένα παράγουν και αντιβιοτικά καθώς επιβιώνουν και αναπτύσσονται στις ρίζες των φυτών και, παράλληλα, περιορίζουν την ανάπτυξη (εδαφογενών) παθογόνων
- **Εξακρίβωση της ενεργοποίησης ISR λόγω της παρουσίας τους επιβάλλει το χωροταξικό διαχωρισμό του διεγέρτη βακτηρίου από το παθογόνο**



Βιολογικοί παράγοντες ως επαγωγείς ISR (2)

- Υπάρχουν και τα αυξητικά ριζοσφαιρικά βακτήρια (plant growth promoting rhizobacteria, PGPR), κυρίως *Pseudomonas* & *Bacillus*, τα οποία παράγουν και αυξητικές ορμόνες (π.χ αυξίνη, IAA)
- Αν και η SAR συνήθως φθάνει στο μέγιστο επίπεδο ενεργοποίησής της με την πρόκληση νεκρωτικής κηλίδας υπό την επίδραση του παθογόνου ή αβιοτικού παράγοντα, αντιθέτως τα ριζοβακτήρια που ενεργοποιούν την ISR (SAR & ISR φαινοτυπικά όμοιες) δεν προκαλούν κανένα ορατό σύμπτωμα στον ξενιστή (και τα αυξητικά ριζοβακτήρια συνήθως αυξάνουν και το ρυθμό ανάπτυξής του)



Χαρακτηριστικά ριζοβακτηρίων, που επάγουν ISR

- Είναι ικανοποιητικής αποτελεσματικότητας και σε συνθήκες αγρού
- Ενεργοποίηση ISR εξαρτάται από το επαρκές ύψος αποίκησης του ριζικού συστήματος από το ριζοβακτήριο; Ελάχιστη πυκνότητα εφαρμογής του ριζοβακτηρίου στον αγρό (προσθήκη στο έδαφος ως υγρό αιώρημα, επίπαση σπόρου υπό μορφή πούδρας κ.λπ.) είναι 10^5 cfu/g ριζόσφαιρας
- Μερικά ριζοβακτήρια έχουν την ικανότητα να εισέλθουν στο φυτό από τις ρίζες και να το αποικίσουν ενδοφυτικά; Αυτά έχουν μεγαλύτερη επαγωγική ικανότητα σε σύγκριση με τα στελέχη που εντοπίζονται αποκλειστικά στη ριζόσφαιρα, γιατί με αυτή την ιδιότητα εξασφαλίζεται η επαφή περισσότερων φυτικών κυττάρων με τα βακτήρια



Πλεονεκτήματα της ανοσοποίησης των φυτών (1)

- Διασυστηματική και αποτελεσματική εναντίον μυκητολογικών, βακτηριολογικών και ιολογικών ασθενειών των φυτών
- Βασίζεται στην ενεργοποίηση περισσοτέρων του ενός, κάθε φορά, λανθανόντων μηχανισμών άμυνας του ξενιστή
- Διασυστηματική ευαισθητοποίηση των φυτών, για να αντιδράσουν μόνο όταν είναι απαραίτητο
- Αυτή η ικανότητα υφίσταται σε όλα τα φυτά και οι ουσίες που παραλαμβάνονται από ανοσοποιημένα φυτά δύνανται με τη σειρά τους να ανοσοποιήσουν άλλα φυτά



Πλεονεκτήματα της ανοσοποίησης των φυτών (2)

- Διαρκεί συνήθως για όλο το βιολογικό κύκλο ετήσιων φυτών
- Η διάρκεια της αποτελεσματικότητάς είναι μεγαλύτερη από εκείνη των φυτοπροστατευτικών προϊόντων εξειδικευμένης δράσης (τα μη-εξειδικευμένα είναι συνήθως προστατευτικά)
- Αποφυγή δημιουργίας πρόσθετων κινδύνων για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, μιας και χρησιμοποιούνται μηχανισμοί που προϋπάρχουν στα φυτά
- Μεταδίδεται από το υποκείμενο στο εμβόλιο



Μειονεκτήματα της ανοσοποίησης των φυτών

- Δεν είναι ανταγωνιστική, από οικονομικής άποψης, έναντι της χημικής
- Απουσία εκτεταμένων εφαρμογών της στον αγρό, για τον έλεγχο ενδεχόμενης ικανοποιητικής προστασίας των φυτών σε περιπτώσεις επιδημίας των ασθενειών



Μηχανισμοί άμυνας μη-ξενιστών φυτών κατά (παθογόνων) μικροοργανισμών



Μηχανισμοί άμυνας μη-ξενιστών κατά παθογόνων (1)

- Μετακίνηση του πυρήνα προς τη θέση επαφής με το παθογόνο
- Κροκίδωση πρωτοπλάσματος
- Σχηματισμός θηλών (papillae) στα κυτταρικά τοιχώματα από εναπόθεση λιγνίνης ή καλλόζης
- Αλλαγές στη διάταξη των πρωτοπλασματικών ινιδίων
- Αλλαγή στην ταχύτητα κινήσεως του πρωτοπλασματικού ρεύματος



Μηχανισμοί άμυνας μη-ξενιστών κατά παθογόνων (2)

- Πολλές από τις προηγούμενες κυτταρολογικές αντιδράσεις σχετίζονται με την αναδιοργάνωση των οργανιδίων στο πρωτόπλασμα
- Ο σκελετός του κυττάρου κατέχει σημαντικό ρόλο στις αντιδράσεις αντοχής, επειδή μικρονημάτια και μικροσωληνίσκοι παρέχουν τη μέγιστη δύναμη για τη μετακίνηση οργανιδίων και πρωτοπλάσματος
- Κατά το σχηματισμό πλακών συγκράτησης από το μη-παθογόνο επιχειρεί διείσδυση σε κύτταρα, τότε μικρονημάτια και μικροσωληνίσκοι διατάσσονται ως τόξα ακτινοειδώς (που είναι έντονη μόνο στο μη-ξενιστή και σε ασύμβατες σχέσεις ξενιστή-παθογόνου) γύρω από το ράμφος μόλυνσης



Μηχανισμοί αναγνώρισης μεταξύ παθογόνων-ξενιστών

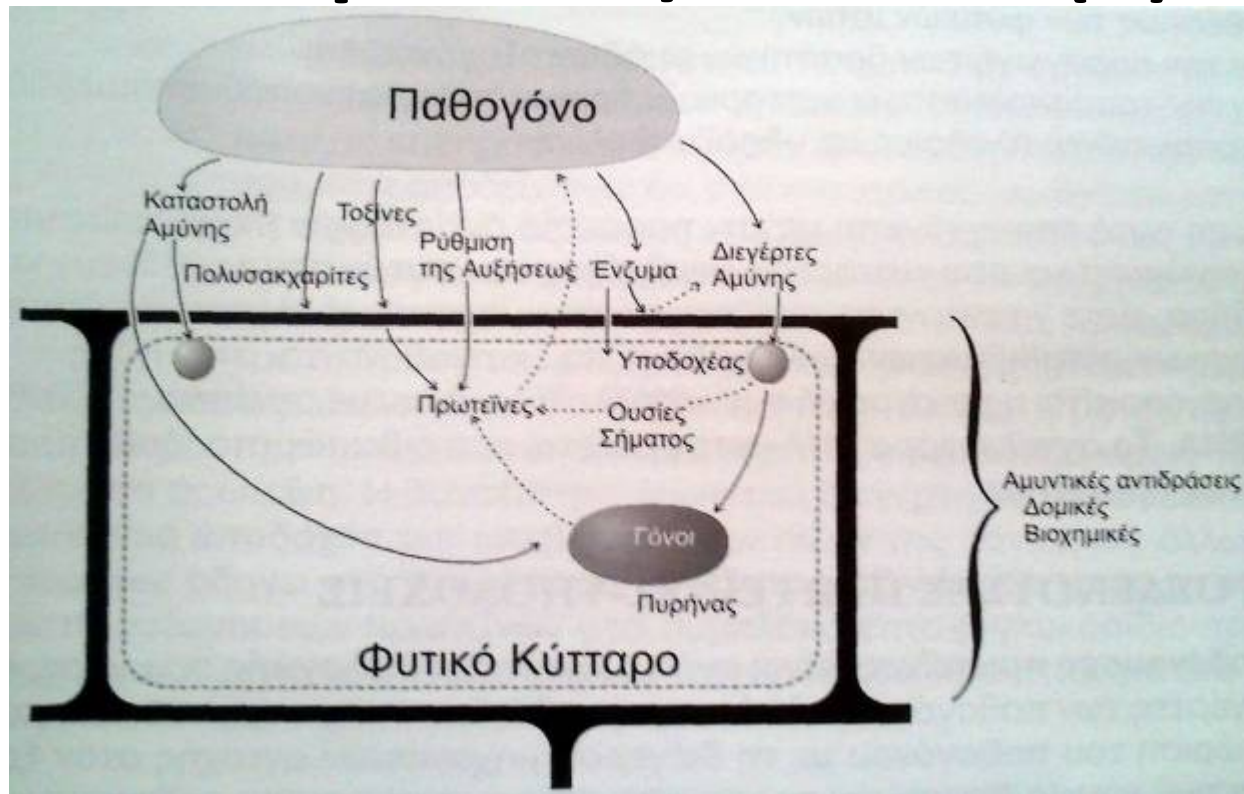


Μηχανισμοί αναγνώρισης μεταξύ παθογόνων-ξενιστών (1)

- Τα φυτά έχουν αναπτύξει βαθμιαία και εξελικτικά εξεζητημένους και λεπτεπίλεπτους μηχανισμούς ανθεκτικότητας, για να αντιληφθούν τα αρχικά στάδια προσβολής και να μεταφράζουν αυτή την «αίσθηση/διάκριση» σε συγκεκριμένη βιοχημική αντίδραση
- Σε κυτταρικό επίπεδο περιλαμβάνουν χημικές αντιδράσεις (κυρίως στις κυτταρικές επιφάνειες αλληλοαναγνώρισης), ενώ σε μοριακό επίπεδο αυτή η αλληλεπίδραση στηρίζεται σε εξειδικευμένες ουσίες που παράγονται από το παθογόνο και αντίστοιχων ενώσεων που υπάρχουν στα φυτά



Μηχανισμοί αναγνώρισης μεταξύ παθογόνων-ξενιστών (2)



Διαγραμματική απεικόνιση επικοινωνίας παθογόνου μύκητα στα επιφανειακά κύτταρα του ξενιστή



Μικροβιακοί διεγέρτες & υποδοχείς αυτών στα φυτά (1)

- Η **επαφή** αποτελεί το πρώτο στάδιο επικοινωνίας ξενιστή-παθογόνου
- Μεταγενέστερα λαμβάνει χώρα το πρωταρχικό βήμα της **αλληλοαναγνώρισης** (σειρά γενετικών πληροφοριών ένθεν κακείθεν)
- Πρόκειται για βιοχημική & μοριακή διεργασία αναγνώρισης των ξενιστών από τα παθογόνα στο περιβάλλον τους και ειδικότερα τις εξειδικευμένες επιφάνειες και χαρακτηριστικά τους, για να εξασφαλίσουν τη διείσδυση και μόλυνση



Μικροβιακοί διεγέρτες & υποδοχείς αυτών στα φυτά (2)

- Οι **διεγέρτες** (ομάδα βιοχημικών παραγόντων) δρουν σε αυτά τα αρχικά στάδια αναγνώρισης παθογόνου-ξενιστή
- Οι διεγέρτες διαχέουν μέσω εξειδικευμένων **προσδενουσών πρωτεϊνών**, οι οποίες αποτελούν τους **υποδοχείς-δέκτες** στις κυτταρικές επιφάνειες των φυτών, το **σήμα/μήνυμα** στον ξενιστή για την επαπειλούμενη είσοδο και μόλυνση
- Τελικό αποτέλεσμα είναι η πρόκληση (ευπαθής ξενιστής) ή αποφυγή (ανθεκτικός ξενιστής) της ασθένειας από το συγκεκριμένο παθογόνο



Διεγέρτες (1)

- Είναι βιοχημικές ενώσεις, που απαντούν κυρίως στα κυτταρικά τοιχώματα των παθογόνων και θεωρούνται ως βιοχημικά σήματα
- Επιτυχής διέγερση γίνεται με την παρουσία αντίστοιχων βιοχημικών υποδοχέων στα κυτταρικά τοιχώματα και στις κυτταρικές μεμβράνες των φυτών, που λαμβάνουν και μετάγουν το βιολογικό σήμα
- Μεταγωγή σήματος στον πυρήνα του κυττάρου, όπου και ενεργοποιείται η μεταγραφή κατάλληλων γόνων και άρα mRNA
- Μετάφραση mRNA στα ριβοσώματα, όπου πραγματοποιείται η σύνθεση των πρωτεϊνών



Ιδιότητες των διεγερτών

- Διεγείρουν μηχανισμούς αντοχής στα φυτά και τη σύνθεση φυτοαλεξινών
- Αποτελούν το έναυσμα της αντίδρασης υπερευαισθησίας
- Επάγουν την παραγωγή γλυκοσυλο-υδρολασών, ικανών να αντιδράσουν με πολυμερή των επιφανειών των παθογόνων
- Επάγουν την παραγωγή των δραστικών ομάδων οξυγόνου και τη σύνθεση πρωτεϊνών, που παρεμποδίζουν ένζυμα των παθογόνων με ικανότητα αποσύνθεσης φυτικών ιστών
- Επάγουν την τροποποίηση των κυτταρικών τοιχωμάτων με εναπόθεση καλλόζης, λιγνίνης και γλυκοπρωτεΐνες πλούσιες σε υδροξυπρολίνη



Προσδένουσες πρωτεΐνες-υποδοχείς

- Ουσίες που αντιδρούν με τους διεγέρτες των παθογόνων, αλλά και μη-παθογόνων, και συμβάλλουν στην αναγνώρισή τους με τη διέγερση μηχανισμών αντοχής στον ξενιστή
- Η δημιουργία συμπλόκου διεγέρτη-υποδοχέα πρέπει να είναι αναστρέψιμη, να κορρένεται και υψηλής συγγένειας
- Το εύρος κορεσμού της δεσμευτικής του ικανότητας να συσχετίζεται με το εύρος της συγκέντρωσής του
- Πρέπει να υφίσταται φαρμακευτική εξειδίκευση του διεγέρτη και το σύμπλοκο να καταλήγει σε εξειδικευμένη ως προς αυτό το διεγέρτη βιολογική αντίδραση (αύξηση, διαφοροποίηση, έκφραση γόνου) πάνω στα κύτταρα-στόχους του φυτού



Διεγέρτες & Υποδοχείς αναγνώρισης

- **Σύμπλοκα ολιγοσακχαριτών:** ολιγογλυσε χαμηλές συγκεντρώσεις ενεργοποιούν συσσώρευση φυτοαλεξινών, παρεμποδιστές πρωτεϊνών, περοξειδασών, λιποξυγενάσης, β-1,3-γλουκανάσης και λιγνίνης; Σημαντικέρες είναι οι ολιγογλουκάνη, ολιγοχιτίνη, ολιγοχιτοσάνη (παράγονται από μύκητες) και ολιγογαλακτουρονίνη (παράγεται από το φυτό)
- **Σύμπλοκα γλυκοπεπτιδικών:** είναι οι γλυκοπρωτεΐνες, οι οποίες έχουν ενζυμική δράση και έχουν διαπιστωθεί στο κυτταρικό τοίχωμα του μύκητα *Puccinia graminis* f. sp *tritici*
- **Σύμπλοκα πολυπεπτιδίων:** κυριότερα πολυπεπτίδια στα φυτά είναι οι ελισιτίνες, χαρπίνες, πιλίνες, συστεμίνη και πεπτίδιο γόνου αμολυσματικότητας Avr



Σύμπλοκα πολυπεπτιδίων (1)

Ελισιτίνες & Χαρπίνες & Πιλίνες

- **Ελισιτίνες:** μικρές εξωκυτταρικές πρωτεΐνες που απαντώνται στις φυτόφθορες και διεγείρουν AY & SAR, αιθυλένιο, ημιτερπενοειδείς φυτοαλεξίνες και πρωτεΐνες παθογένεσης σε μυκητολογικές & βακτηριολογικές ασθένειες
- **Χαρπίνες:** πρωτεΐνες από Gram- βακτήρια, οι οποίες είναι υδρόφιλες και πλούσιες σε γλυκίνη και προκαλούν AY
- **Πιλίνες:** εξωκυτταρικές πρωτεΐνες που απαντώνται στο βακτήριο *Pseudomonas syringae* και είναι δομικές του αγωγού Hrp pilus, το οποίο είναι απαραίτητος στις αντιδράσεις αλληλοαναγνώρισης παθογόνου-ξενιστή



Σύμπλοκα πολυπεπτιδίων (2)

Συστεμίνη & Πεπτίδιο Avr

- **Συστεμίνη:** ολιγοπεπτίδιο παράγωγο της χιτίνης, που προκαλεί συσσώρευση πρωτεϊνικών παρεμποδιστών και δρα στη σύνθεση φυτοαλεξινών
- **Πεπτίδιο γόνου αμολυσματικότητας Avr:** πεπτίδιο που προκαλεί ΑΥ σε φυτά τομάτας ευπαθή στο μύκητα *Fulvia fulva*; οι γόνοι αμολυσματικότητας αντιδρούν με συμπληρωματικούς γόνους αντοχής των φυτών σε παρασιτικές ασθένειες, για να δώσουν το έναυσμα δραστηριοποίησης ενεργητικών μηχανισμών αντοχής, που αφορούν ιδιαίτερως την ΑΥ



Βιοχημική-μοριακή λειτουργία αναγνώρισης φυτοπαθογόνων-ξενιστών

- Διατύπωση θεωρίας «gene for gene resistance» (Flor, 1941)
- Περιλαμβάνει την εξειδικευμένη αναγνώριση μίας πρωτεΐνης που κωδικοποιείται από κυρίαρχους γόνους αμολυσματικότητας (*avr*) του παθογόνου, μέσω μία συμπληρωματικής πρωτεΐνης του φυτού που κωδικοποιείται από ένα κυρίαρχο γόνο αντοχής (*R*)
- Η αναγνώριση μεταξύ φυτοπαθογόνων & ξενιστών ρυθμίζεται από εξειδικευμένες αντιδράσεις μεταξύ των γενετικών τόπων αμολυσματικότητας (*avr gene loci*) του παθογόνου και των αλληλομόρφων του αντίστοιχου γενετικού τόπου αντοχής του ξενιστή (*R locus*)



Βιοχημική-μοριακή λειτουργία αναγνώρισης φυτοπαθογόνων-ξενιστών

- Τα προϊόντα των γόνων αντοχής να αναγνωρίζουν βιοχημικά μηνύματα που προέρχονται από τους γόνους αμολυσματικότητας των παθογόνων, ώστε να διεγείρεται αλυσίδα μεταγωγής των σημάτων/μηνυμάτων και να κορυφώνεται με τη διέγερση μηχανισμών αντοχής και άρα στην παρεμπόδιση εγκατάστασης του παθογόνου
- Όταν ένας εκ των γόνων αμολυσματικότητας δεν εκφράζεται ή ο αντίστοιχος της ανθεκτικότητας, τότε δεν παρατηρείται αλληλοαναγνώριση, η σχέση ξενιστή-παθογόνου είναι ασύμβατη και εκδηλώνεται **ασθένεια**
- Αν όμως και τα δύο αντιδρώντα μέλη (Avr & R πρωτεΐνες) είναι παρόντα, τότε παρατηρείται αναγνώριση που οδηγεί σε συμβατή σχέση και εκδηλώνεται ως **αντοχή** του φυτού στο παθογόνο, κυρίως με την αντίδραση υπερευαισθησίας



Βιοχημική-μοριακή λειτουργία αναγνώρισης φυτοπαθογόνων-ξενιστών

- Λειτουργικοί γόννοι αντοχής κωδικοποιούν αντοχή σε ιολογικές, βακτηριολογικές και μυκητολογικές ασθένειες των φυτών
- Οι γόννοι αντοχής των φυτών κωδικοποιούν μόνο 5 κλάσεις πρωτεϊνών, ενώ υφίσταται διαφοροποίηση με τα μόρια πρόκλησης της ασθένειας ή τελεστικές πρωτεΐνες των παθογόνων
- Η μεγαλύτερη κλάση γόννων αντοχής, που σχετίζονται με την πρωτοπλασματική μεμβράνη, κωδικοποιεί την περιοχή πρόσδεσης νουκλεοτιδίων (NB) με επαναλαμβανόμενα πεπτιδικά μόρια πλούσια σε λευκίνη (LRR) και αυτές οι NB-LRR περιοχές λειτουργούν ως θέσεις αντιδράσεων μεταξύ πρωτεϊνών-πρωτεϊνών και πρωτεϊνών-υδατανθράκων



Βιοχημική-μοριακή λειτουργία αναγνώρισης φυτοπαθογόνων-ξενιστών

- Οι NB-LRR πρωτεΐνες είναι ενδοκυτταρικές και δρουν ως υποδοχείς για διεγέρτες αμολυσματικότητας ή λειτουργούν ως πρωτεϊνικό σύμπλοκο, που είναι ο λειτουργικός υποδοχέας
- Παρουσία ενδοκυτταρικών NB-LRR πρωτεϊνών δραστικών εναντίον φυτοπαθογόνων σημαίνει ότι τα προσδέματα/διεγέρτες από φυτοπαθογόνους μύκητες και βακτήρια είναι ενδοκυτταρικά
- Στα βακτήρια Gram- υπάρχουν 4 εξειδικευμένα εκκριτικά μονοπάτια (I, II, III & IV) των πρωτεϊνών που σχετίζονται με την παθογένεια, τα οποία μέσω του μεμβρανικού φακέλου εξασφαλίζουν αυτή την έκκριση των συγκεκριμένων πρωτεϊνών στη λειτουργική τους μορφή και σε συγκεκριμένη θέση δράσης στον ξενιστή



Στοιχεία φυσιολογίας του ασθενούς φυτού



Αλλαγές στη φυσιολογία ασθενούς φυτού

- Μεταβολές στην αναπνοή
- Μεταβολές στη φωτοσύνθεση
- Μεταβολές στη μεταφορά θρεπτικών στοιχείων και ύδατος
- Σύνδρομο βραδέος μαρασμού
- Μεταβολές στη διαπνοή
- Μεταβολές στις υδατικές σχέσεις
- Μεταβολές στην ανάπτυξη, λόγω ορμονικών διαταραχών



Μεταβολές στην αναπνοή

- Αισθητή αύξηση του ρυθμού της αναπνοής μετά τη μόλυνση
- Αυτό πιθανά οφείλεται σε κάποια τοξίνη του παθογόνου, η οποία συμβάλλει στην αποσύζευξη του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρονίων στα μιτοχόνδρια του ασθενούντος φυτού από το σύστημα οξειδωτικής φωσφορυλίωσης και άρα δεν παράγεται ATP
- Η ανάγκη του παθογόνου για ανάπτυξη, πολλαπλασιασμό και αναπαραγωγή απαιτεί αυξημένη τροφοδοσία σε χημικές ενώσεις του φυτού, ενώ ο ξενιστής που πρέπει να καλύψει τις ενεργειοβόρες απαιτήσεις του αμυντικού του συστήματος, καταναλώνει ATP



Μεταβολές στη φωτοσύνθεση

- Παρατηρούνται χλωρώσεις (μείωση χλωροφύλλης), κιτρινίσματα (περισσότερη μείωση χλωροφύλλης), νεκρώσεις (απώλεια χλωροφύλλης) και φυλλόπτωση, που συμβάλλουν στη μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των ασθενούντων φυτών
- Εκτός της διάσπασης χλωροφύλλης (αυξημένη δράση του ενζύμου χλωροφυλλάσης), λαμβάνει χώρα και η παρεμπόδιση της σύνθεσής της, αλλά και μείωση του αριθμού των χλωροπλαστών
- Χλωροπλάστες έχουν επίσης μειωμένη ικανότητα να συνθέτουν ATP από τη μη-κυκλική φωσφορυλίωση



Μεταβολές στη μεταφορά θρεπτικών στοιχείων & ύδατος

- Βιοτροφικά παθογόνα ανακατευθύνουν και αξιοποιούν τα θρεπτικά στοιχεία του φυτού προς όφελός τους
- Περιοχές γύρω από τις κηλιδώσεις αποτελούν δεξαμενές θρεπτικών στοιχείων (παρακράτηση σακχάρων & αμινοξέων) για το παθογόνο
- Σε μολυσμένους ιστούς από υποχρεωτικά παράσιτα (π.χ. ιοί) παρατηρείται αυξημένη δραστικότητα της ινβερτάσης, ένζυμο που συμβάλλει σημαντικά στο μεταβολισμό των υδατανθρακών



Σύνδρομο του βραδέος μαρασμού (1)

- Αποτελεί χαρακτηριστικό σύμπτωμα στις αδρομυκώσεις λόγω δυσχέρειας διακίνησης ύδατος στα αγγεία του ξύλου, που οφείλεται στην παρουσία των παθογόνων, των προϊόντων μεταβολισμού τους, αλλά και στις αλλοιώσεις που προκαλούν επί της ιστολογίας & βιοχημείας των αγγείων
- Παρεμπόδιση μετακίνησης ύδατος μπορεί να φθάσει και στο 95% σε σχέση με τα υγιή φυτά
- Αποκλεισμός αγγείων από την έκκριση πολυσακχαριτών και πηκτινολυτικών ενζύμων του παθογόνου καταστρέφουν την ημιπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών των παρεγχυματικών κυττάρων και παρακωλύει την ανοδική, κάθετη και παράπλευρη κίνηση του ύδατος και θρεπτικών στοιχείων



Σύνδρομο του βραδέος μαρασμού (2)

- Παραγωγή και απελευθέρωση ορμονικών ουσιών (π.χ. IAA) επιφέρει έντονη κυτταροδιαίρεση στα παρεγχυματικά κύτταρα και συνθλίβει τα παρακείμενα αγγεία και άρα δυσχεραίνεται η ομαλή διακίνηση του ανοδικού ρεύματος
- Παράλληλα, ο ξενιστής απελευθερώνει κόμμεα και σχηματίζει τυλώσεις εντός των αγγείων και έτσι περαιτέρω συμβάλει στη δυσχερή μετακίνηση του ύδατος με αποτέλεσμα την εκδήλωση συμπτωμάτων μαράνσεων και χλωρώσεων
- Ομοίως και στις αδροβακτηριώσεις με τη δυσμενή επίδραση προϊόντων μεταβολισμού των βακτηρίων (π.χ. εξωκυττάρια ένζυμα, μεγαλομοριακές ενώσεις), που παρεμποδίζουν το ανοδικό ρεύμα του χυμού και αποφράσσουν τις μεμβράνες των βοθρίων των αγγείων



Μεταβολές στη διαπνοή

- Μείωση της απορροφητικής ικανότητας ύδατος από τις ρίζες και δυσχέρειας κινητικότητάς του στα αγγεία του ξύλου (αδρομυκώσεις, αδροβακτηριώσεις, σηψιρριζίες); Παράλληλα, μείωση απώλειας ύδατος μέσω της διαπνοής, λόγω έλλειψης ύδατος στα φύλλα σε συνδυασμό με το κλείσιμο των στοματίων
- Παθογόνα που καταστρέφουν μεγάλο μέρος της φυλλικής επιφάνειας και αυξάνουν τη διαπνοή μέσω της εφυμενίδας συμβάλλουν στην αύξηση της απώλειας ύδατος μέσω της διαπνοής
- Ανωμαλίες στο άνοιγμα & κλείσιμο των στοματίων στα φύλλα παρατηρούνται γύρω από τις κηλίδες προσβολής από τον *Phytophthora infestans*



Μεταβολές στις υδατικές σχέσεις

- Υδατικές σχέσεις φυτικών κυττάρων ελέγχονται από την κυτταρική μεμβράνη, η ημιπερατότητα της οποίας έχει πρωταρχική συμβολή στον έλεγχο κατά τη διέλευση των ιόντων και των οργανικών ενώσεων
- Στα ασθενή κύτταρα αυξάνεται η περατότητα, λόγω της απώλειας της ημιπερατότητάς της και άρα της απώλειας ηλεκτρολυτών στο εξωτερικό περιβάλλον
- Στις υγρές σήψεις, παρατηρείται κυτταρική αποδιοργάνωση στα ετοιμοθάνατα κύτταρα, λόγω δράσης πηκτινασών και φωσφορολιπασών
- Τα βιοτροφικά παθογόνα αυξάνουν επίσης την περατότητα των μεμβρανών στα κύτταρα του ξενιστή, γιατί η ημιπερατότητά τους χάνεται με την παρουσία των μεμβρανών των μυζητήρων και έτσι λαμβάνει χώρα ελεύθερη μετακίνηση σακχάρων προς το παθογόνο



Μεταβολές στην ανάπτυξη, λόγω ορμονικών διαταραχών

- Συμπτώματα υπερπλασιών και υπετροφιών, αλλά και βραχυγονατώσεων και νανισμού είναι συνδεδεμένα με τη συμβολή ορμονικών παραγόντων, που οδηγούν σε αλλαγές του ελέγχου ανάπτυξης και διαφοροποίησης
- Ορμονικοί παράγοντες: αυξίνες (π.χ. ινδολοξεϊκό οξύ, IAA), γιββερελλίνες, κυτοκινίνες, αψισικό οξύ, αιθυλένιο
- Αυτοί οι παράγοντες είτε προέρχονται από τα παθογόνα, είτε είναι απόρροια μεταβολών στο ορμονικό επίπεδο του ξενιστή



Βιβλιογραφία

Γεωργόπουλος Σ.Γ., 1984. Βασικές γνώσεις φυτοπαθολογίας. ΑΘΗΝΑ, 260 σελ.

Ζωάκη-Μαλισιόβα Δ., 1995. Μαθήματα Φυτοπροστασίας Ι. Διδακτικές σημειώσεις, Εκδόσεις ΤΕΙ Ηπείρου, 121 σελ.

Ηλιόπουλος Α.Γ., 2004. Γενική Φυτοπαθολογία. Εκδόσεις Έμβρυο, 296 σελ.

Τζάμος Ε.Κ., 2007. Φυτοπαθολογία. Εκδόσεις Σταμούλης, 557 σελ.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Τεχνολογικό Ίδρυμα Ηπείρου. Δρ Δήμητρα Ζωάκη
Μαλισιόβα.

Γενική Φυτοπαθολογία Θεωρία. Αλληλεπίδραση ξενιστών-
παθογόνων Β.

Έκδοση: 1.0. Άρτα, 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG101/>>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λπ., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Δρ Αντωνόπουλος Δημήτριος

Γεωπόνος-Φυτικής Παραγωγής ΓΠΑ

Γεωπόνος-Γεωπονικής Βιοτεχνολογίας ΓΠΑ

ΕΠΠΑΙΚ ΑΣΠΑΙΤΕ

ΜΔΕ (MPhil) Φυτοπροστασίας ΓΠΑ

ΜΔΕ (MSc) Ασφάλειας Τροφίμων WUR

ΔΔ (PhD) Φυτοπαθολογίας ΓΠΑ

Μετα-ΔΔ (Post-Doc) Φυτοπαθολογίας NCSU USA

Μετα-ΔΔ (Post-Doc) Φυτοπαθολογίας ΓΠΑ-ΙΚΥ

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

