

## **Βιοτικές Αλληλεπιδράσεις-Καταπονήσεις**

## Τυποι αλληλεπιδράσεων

Σχέσεις  
αμοιβαιότητας και  
συμβιωτικές



Ανταγωνισμός-  
Παθογενεια-  
Παρασιτισμός



Αλληλοπάθεια



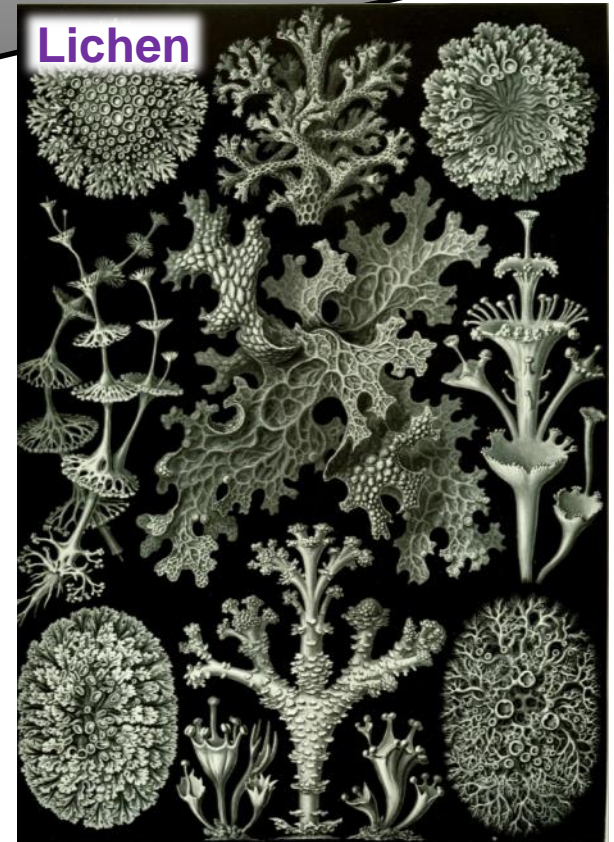
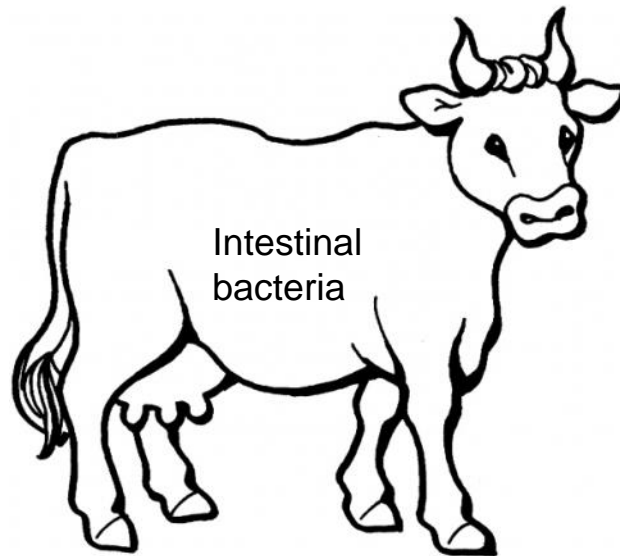
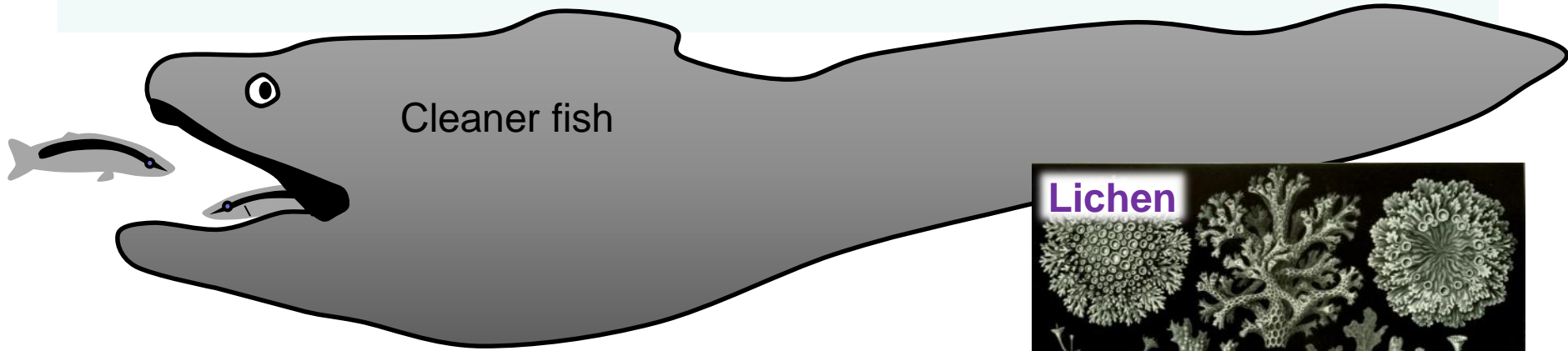
Φυτά και  
Ανθρωπος



## Τύποι αλληλεπιδράσεων οργανισμών

- ✓ Αμοιβαιότητα - αμοιβαία συνεργασία- συμβίωση (mutualism- symbiosis)
- ✓ Ανταγωνισμός (antagonism)
- ✓ Παρασιτισμός
- ✓ Commensalism
- ✓ Neutralism

# Σχέσεις αμοιβαιότητας



# Στα φυτά προάγουν την αναπαραγωγή και την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων

ΕΠΙΚΟΝΙΑΣΗ



Διασπορά σπερμάτων



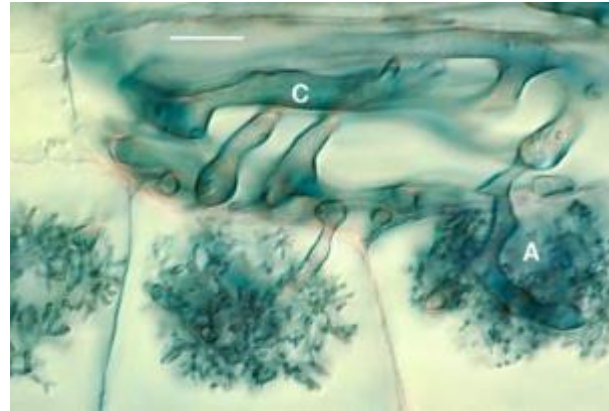
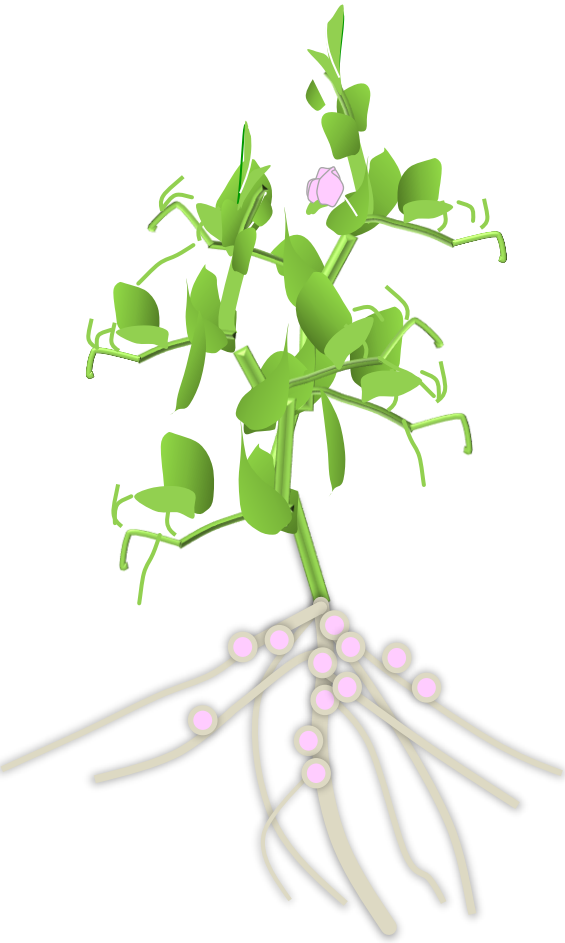
μυκόρριζες



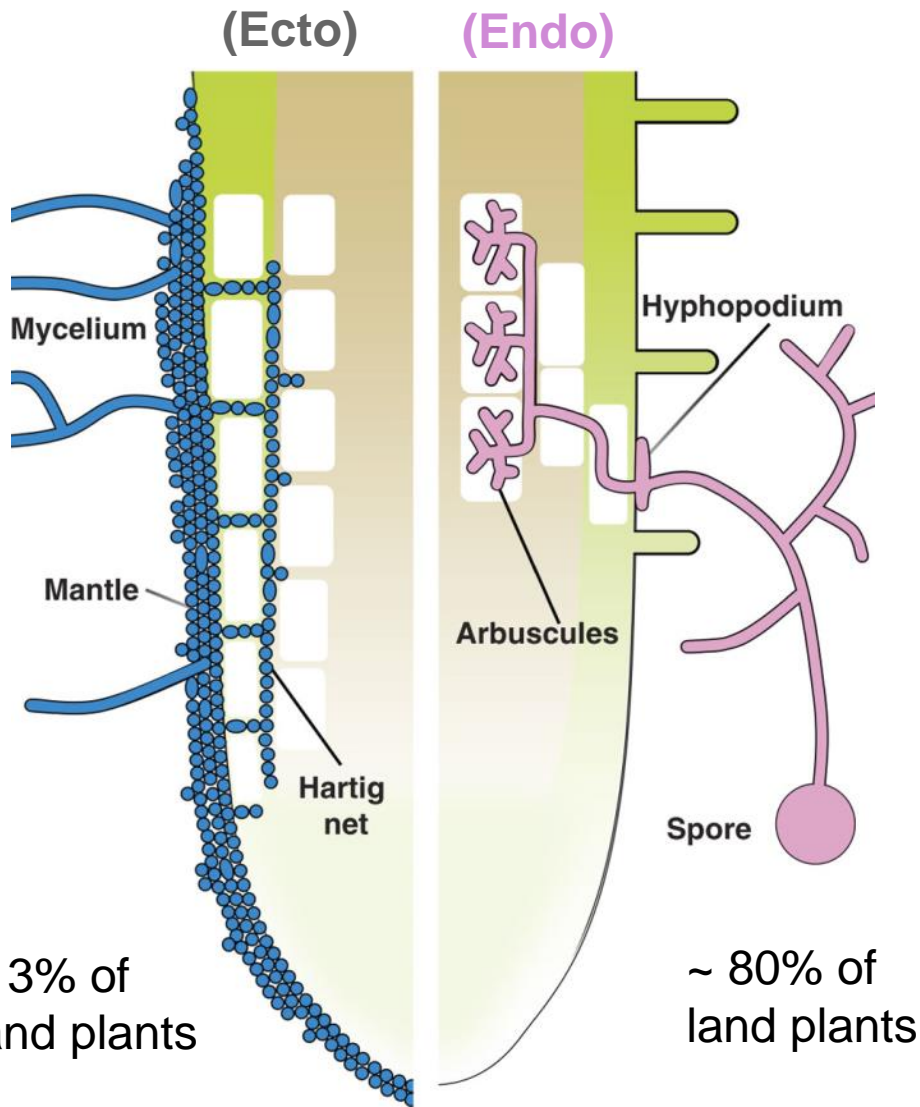
Αζωτοδεσμευτική  
ενδοσυμβίωση



# Συμβιωτικές σχέσεις



# Μυκόρριζες και Εκτομυκόρριζες



# Εκτομυκόρριζες

...και τρούφες

*Tuber melanosporum*



*Tuber aestivum*



*Amanita muscaria*



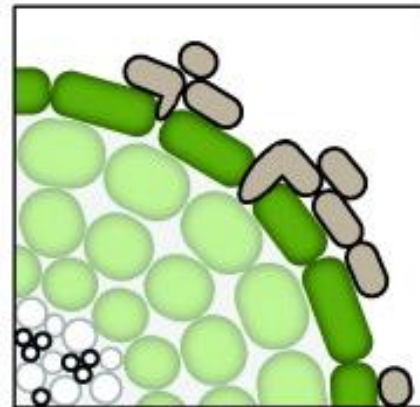
Photo credits [Gerald Holmes](#), Valent USA Corporation, Bugwood.org and [Arpingstone](#)



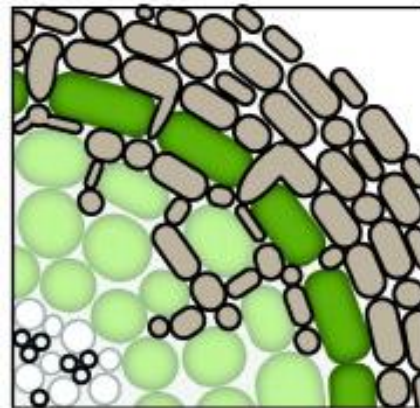
Οι εκτομυκόρριζες σχηματίζουν ένα δίκτυο που περιβάλλει τη ρίζα αλλά δεν εισέρχονται στα φυτικά κύτταρα



*Pinus nigra* με εκτομυκκόριζα



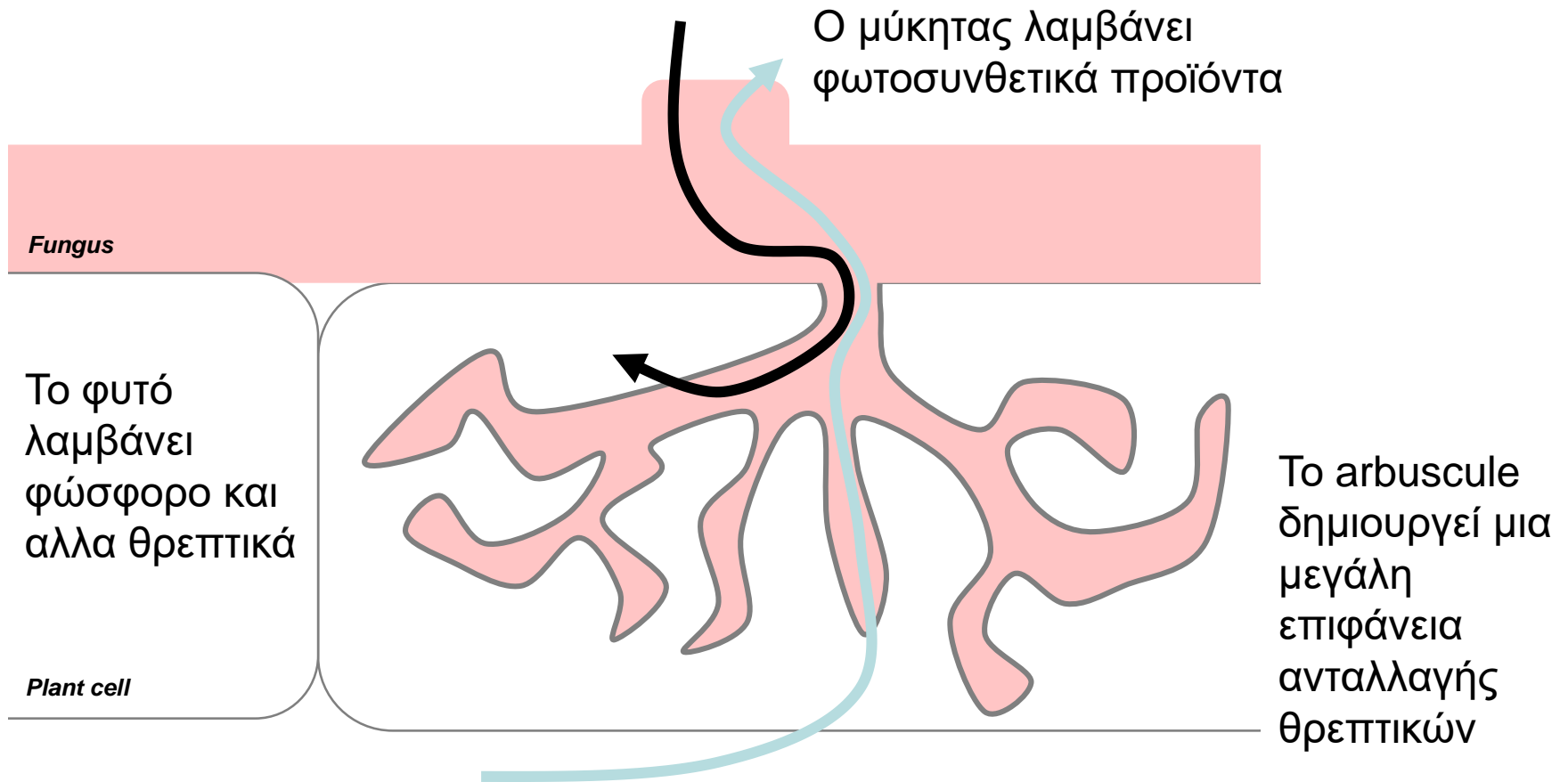
Hartig net



TRENDS in Genetics

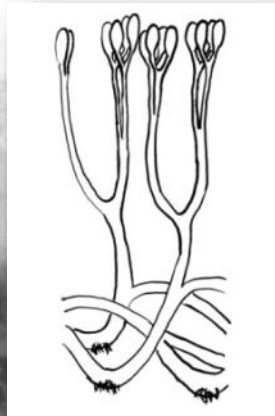
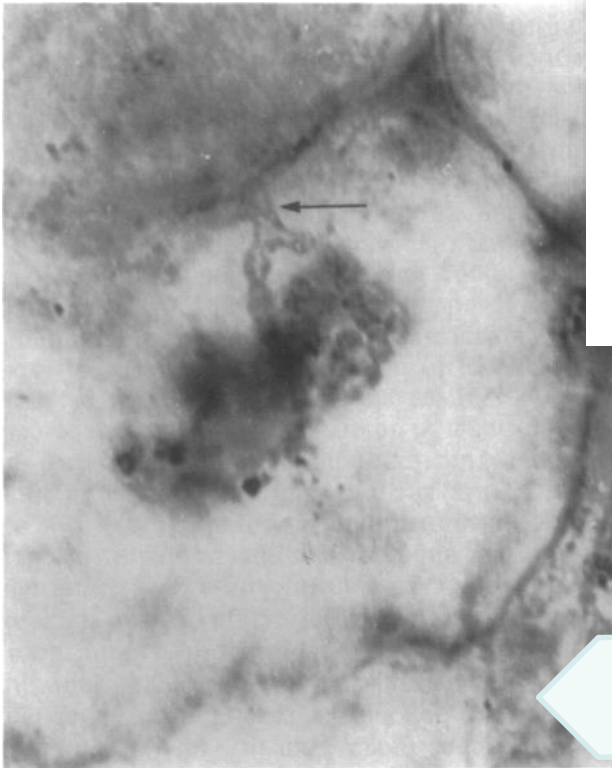
Reprinted from Plett, J.M., and Martin, F. (2011). Blurred boundaries: lifestyle lessons from ectomycorrhizal fungal genomes. Trends Genetics 27: [14-22](#) with permission from Elsevier; Photo courtesy [M. Vohník](#)

Οι δενδροειδείς μυκόρριζες εισέρχονται στα κύτταρα και σχηματίζουν δομές που μοιάζουν με κλαδια δένδρων

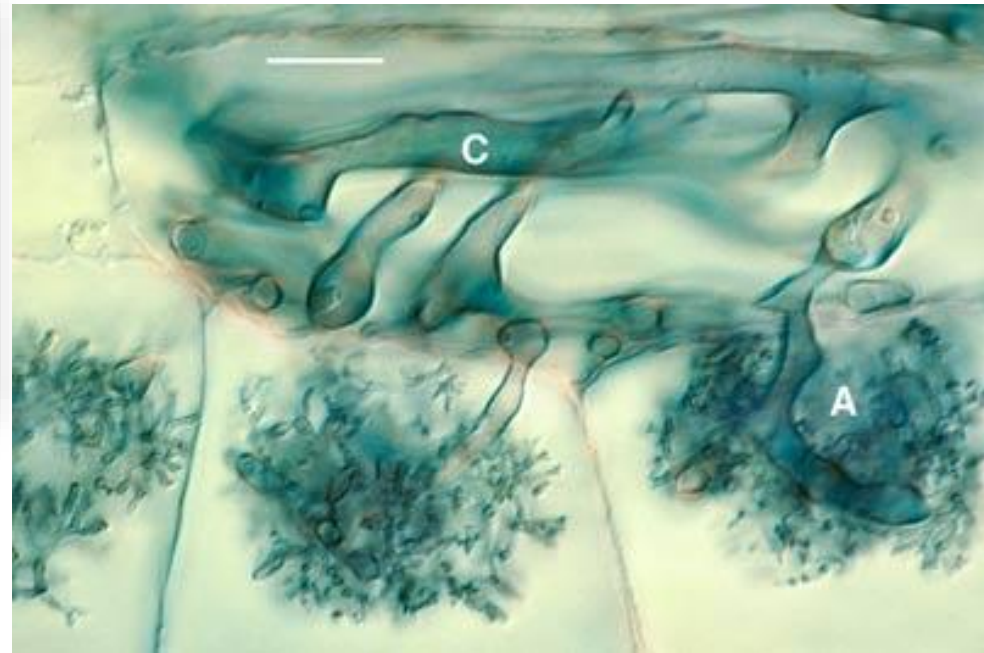


# Συμβίωση AM-φυτού > 400 εκατ. χρόνια

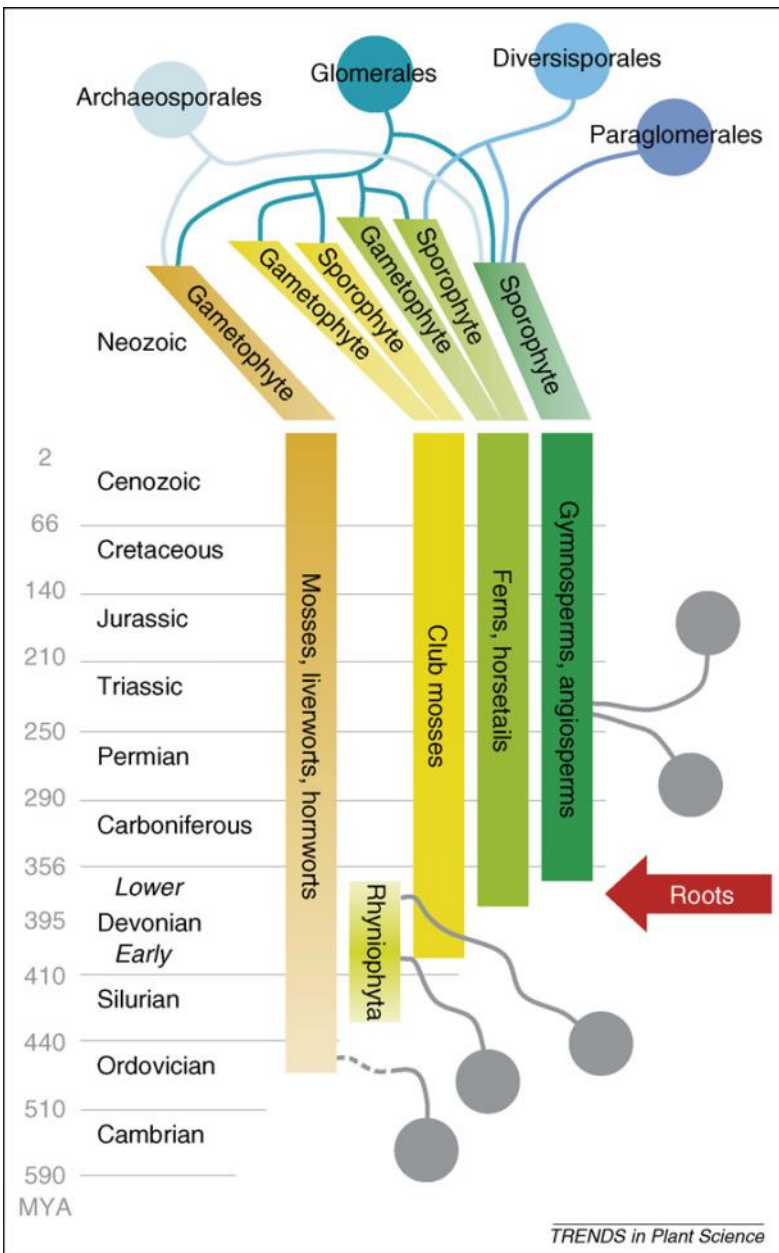
400 million year old  
AM within plant cell



Modern AM within plant cell



This AM was found inside a fossilized  
Devonian plant, *Aglaophyton major*



~80% των χερσαίων φυτών  
είναι ενδομυκορριζικά

Reprinted from Bonfante, P., and Genre, A. (2008). Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. Trends Plant Sci. 13: [492-498](#) with permission from Elsevier.

# Φυμάτια



*Medicago italica* - *Sinorhizobium meliloti*

# Symbiotic nitrogen fixation

Some nitrogen-fixing bacteria form symbiotic associations with plants



Many plants associate with cyanobacteria



Legumes form nodules with symbiotic rhizobia bacteria



Actinorhizal plants like alder form nodules with symbiotic *Frankia* bacteria

- Συμβιωτικές σχέσεις (ριζόβια, μυκόρριζες)
- Το φυτό-ξενιστής είναι ανθεκτικό και δεν αναπτύσσεται ασθένεια
- Το φυτό εμφανίζει αντοχή στην μόλυνση και τα συμπτώματα της ασθένειας είναι περιορισμένα
- Ο μικροοργανισμός είναι παθογόνος (βιότροφοι, νεκρότροφοι)

# Φυτά και παθογόνα/ εχθροί





# Φυτά και παθογόνα/ εχθροί



# Plants under attack

- Μικροοργανισμοί: ιοί, μύκητες, βακτήρια
- Νηματώδεις
- Εντομα και φυτοφάγα
- άνθρωπος



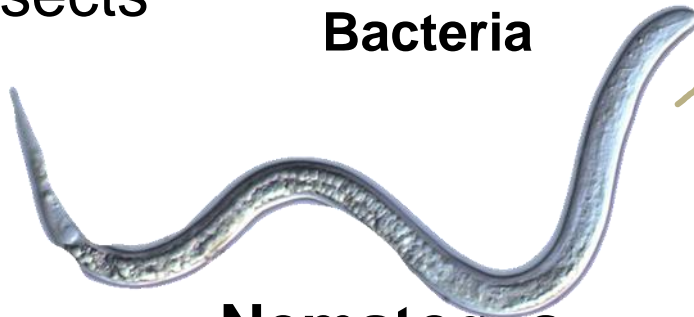
**Insects**



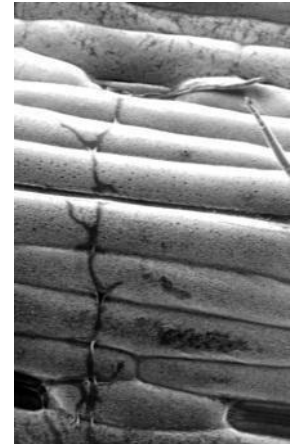
**Bacteria**



**Nematodes**



**Oomycetes**



**Fungi**

# Μύκητες



*Zea mays* infected with  
*Fusarium verticillioides*



Wheat infected with wheat  
stem rust *Puccinia graminis*

# loí



African Cassava Mosaic Virus resistant cassava variety (left) and susceptible cassava variety (right)

# Βακτήρια



Banana infected with *Xanthomonas*



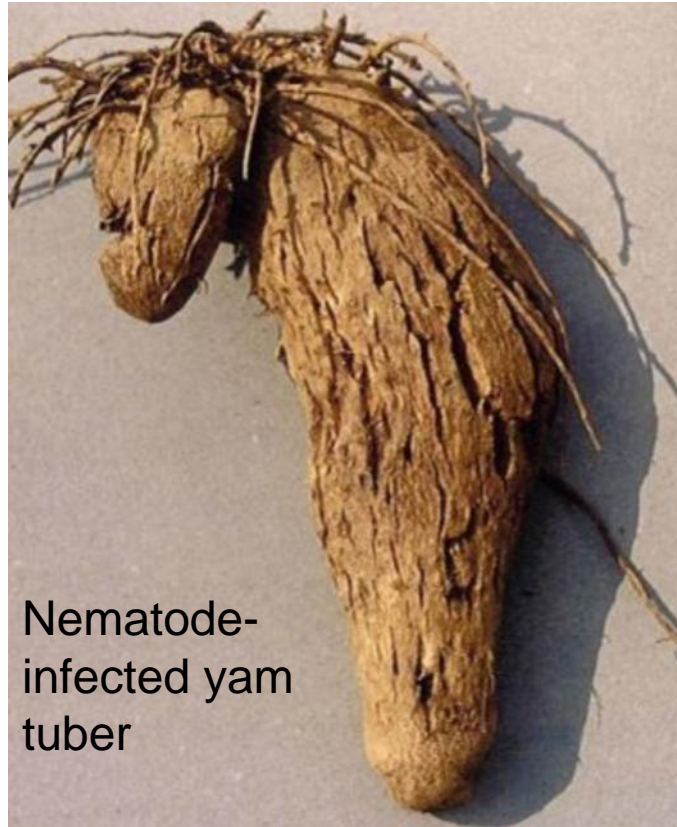
Maize infected with bacterial leaf stripe (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*)



# Νηματοδεις



Nematodes are tiny round worms (0.1 mm diameter) that are found ubiquitously. Some are plant pests, some eat plant pests, and some are human pathogens



Nematode-infected yam tuber

Wheat infected with root knot nematode (*Meloidogyne* spp.)



# Παθογόνα και εχθροί προκαλούν απώλειες στις παραγωγές > 25%



*Phytophthora capsici* on cucumber  
(*Cucumis sativus*)

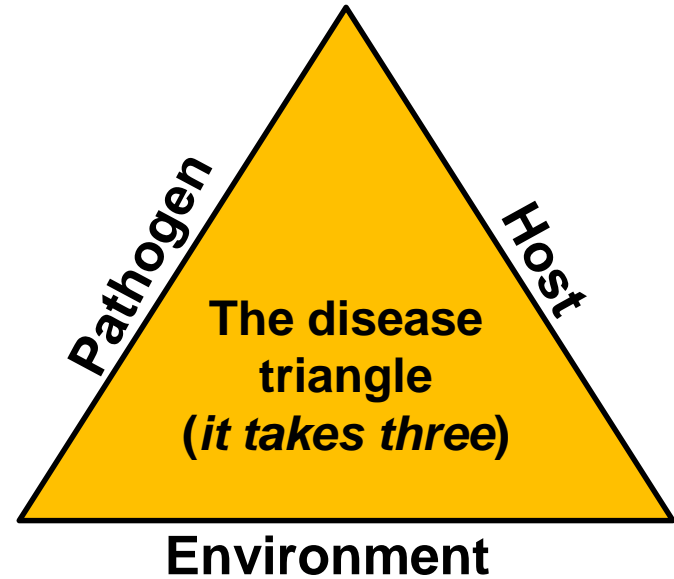


European corn borer  
*Ostrinia nubilalis*  
in its host *Zea mays*

# Παθογένεση- Συμβατότητα

Προϋποθέτει:

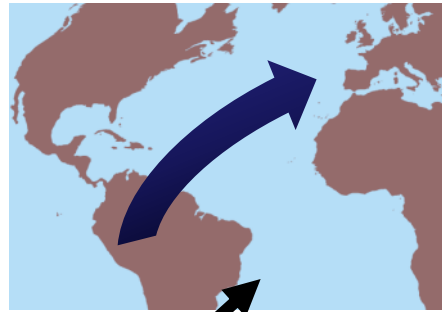
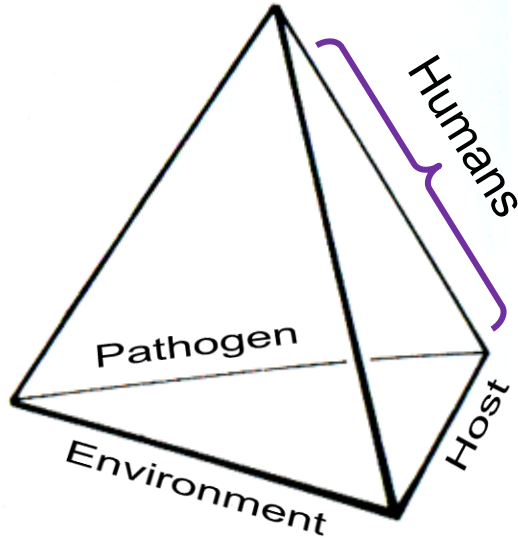
- Ευνοϊκές συνθήκες περιβάλλοντος
- Ανεπαρκή θεμελιώδη άμυνα
- μη αποτελεσματική επαγόμενη άμυνα
- το παθογόνο δεν γίνεται αντιληπτό
- το φυτό-ξενιστής εκπληρώνει τις απαιτήσεις του βιολογικού κύκλου του παθογόνου



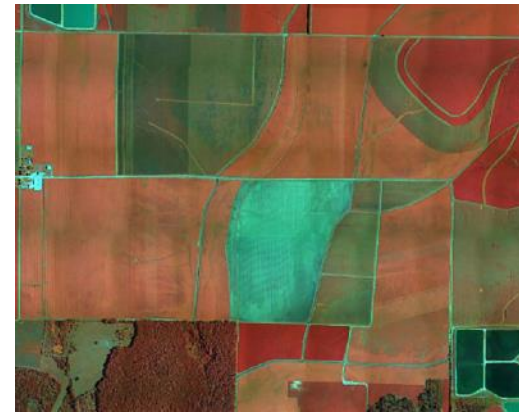


# Άνθρωπος...

(disease pyramid....)



μεταναστεύσεις



μονοκαλλιέργειες

Ξενικά είδη



Πρακτικές  
καλλιέργειας



# Τα παθογόνα είναι βιότροφοι, νεκρότροφοι ή ημι-βιότροφοι οργανισμοί

Necrotroph  
*Botrytis cinerea*



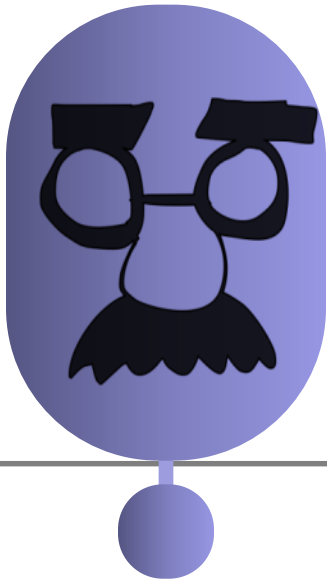
Biotroph  
*Hyaloperonospora  
arabidopsidis*



Hemibiotroph  
*Pseudomonas  
syringae*

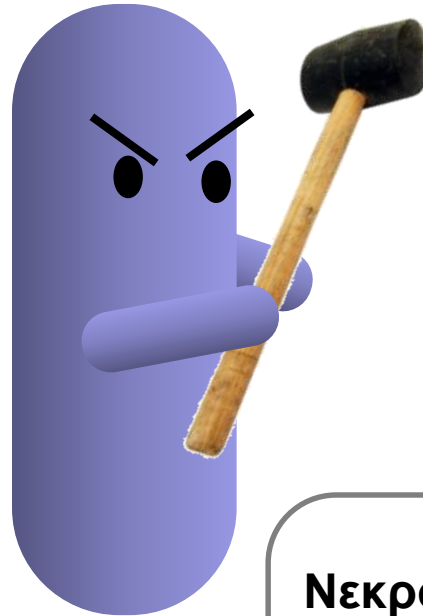


Οι ημι-βιότροφοι  
μπορούν να  
μετατραπούν από  
βιότροφοι σε  
νεκρότροφοι



### **Βιότροφοι:**

- “όλα καλά...”
- λίγα λυτικά ένζυμα για το κυτταρικό τοίχωμα
- διαφεύγουν της αναγνώρισης και αποφεύγουν τις αποκρίσεις άμυνας



### **Νεκρότροφοι:**

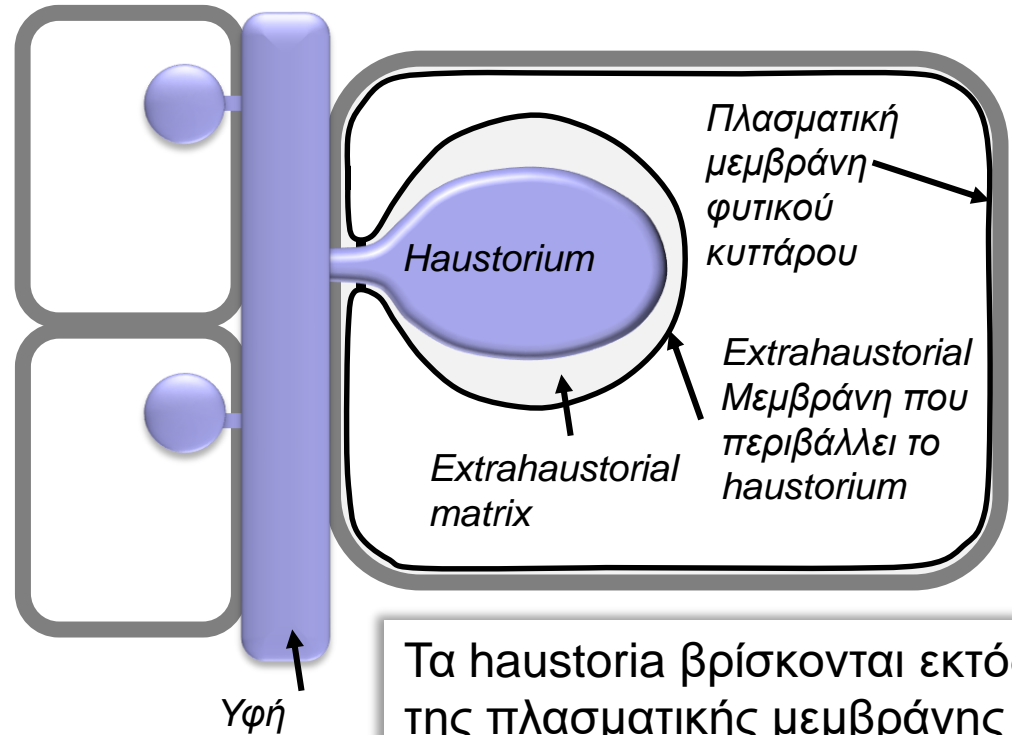
- “τα σπάζουν και αρπάζουν”
- παράγουν τοξίνες και ένζυμα λυτικά των κυτταρικών τοιχωμάτων

# Οι μύκητες και οι ωομύκητες συνήθως έχουν haustoria

*Hyaloperonospora arabidopsidis*  
βιότροφος ωομύκητας που προσβάλλει το *Arabidopsis*

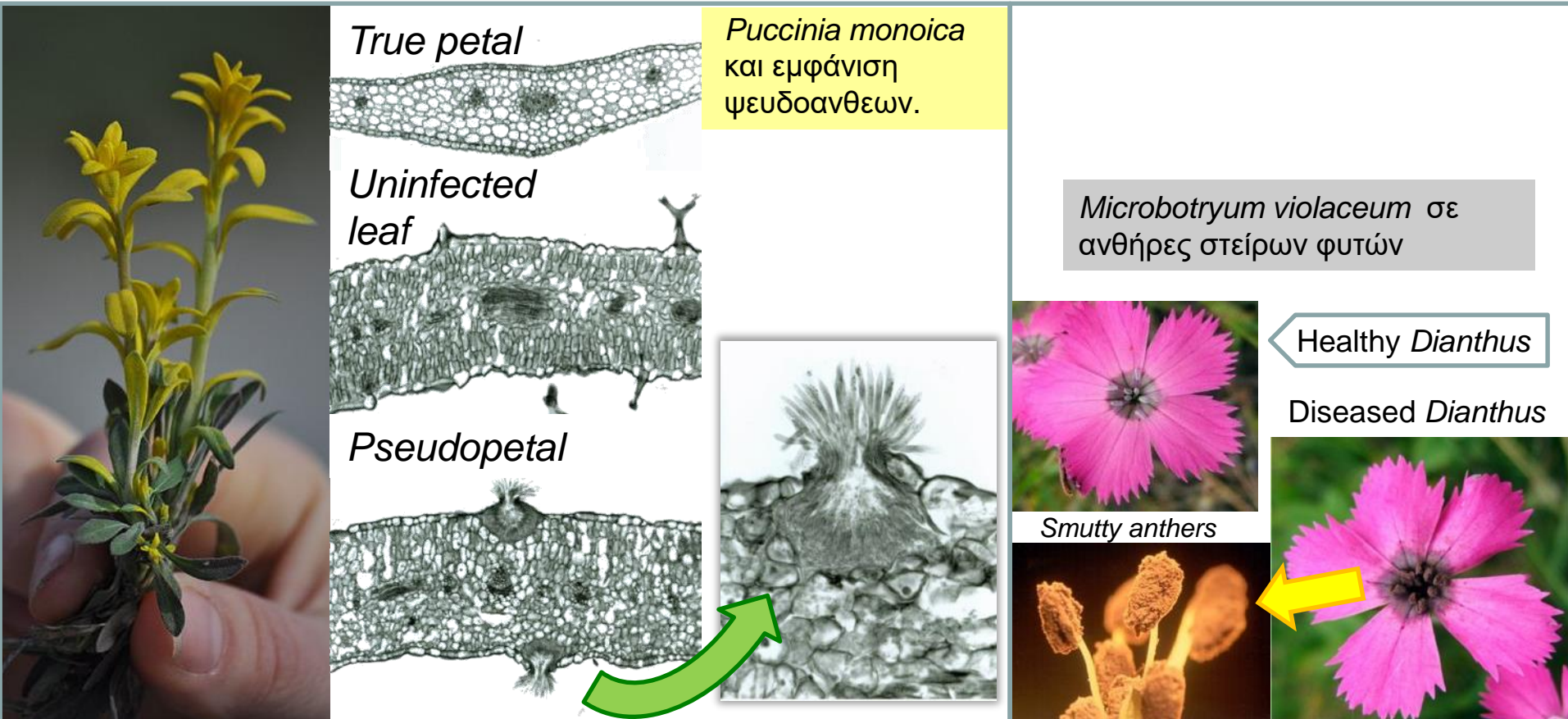
Hypa →

→ Haustoria



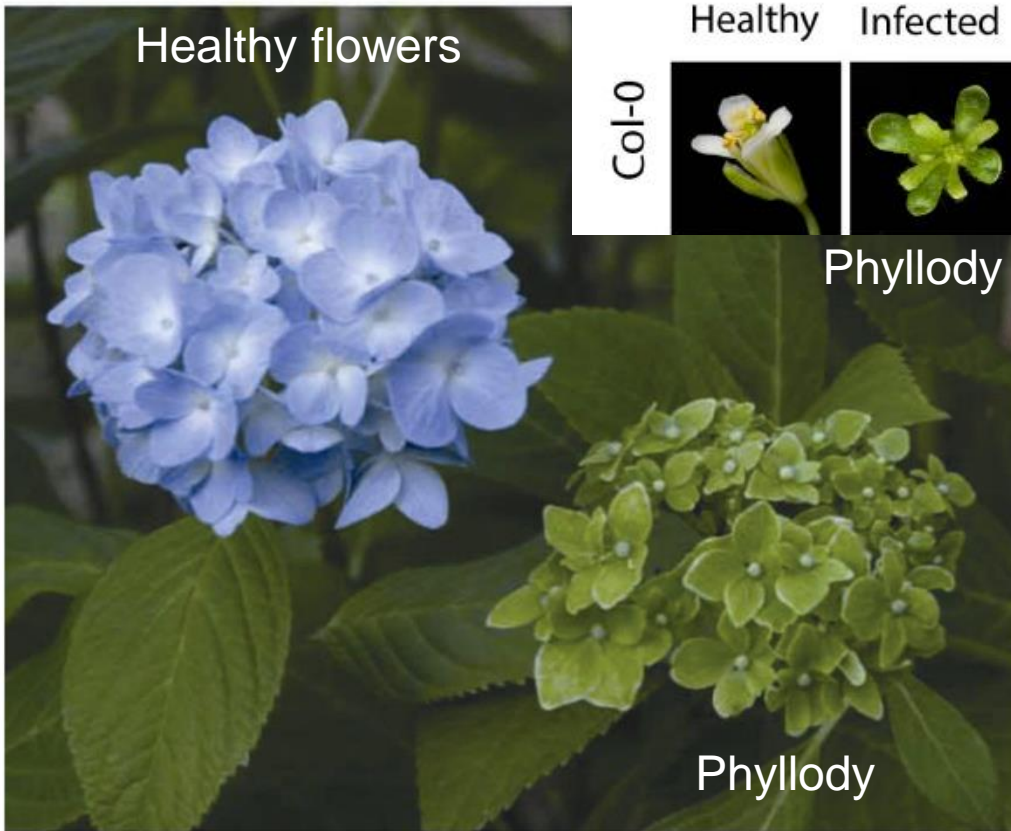
Τα haustoria βρίσκονται εκτός της πλασματικής μεμβράνης και είναι εξειδικευμένες δομές ανταλλαγής θρεπτικών και σημάτων

# Μιμητισμός



Farrar, J.J. (1999) Anatomy of rockcress pseudoflowers caused by *Puccinia consimilis*. Great Basin Naturalist 59: [384-386](#); Roy, B.A. (1993). Floral mimicry by a plant pathogen. Nature. 362: [56-58](#); Ngugi, H.K. and Scherm, H. (2006). Mimicry in plant-parasitic fungi. FEMS Microbiol. Lett. 257: 171-176. Photos by permission of [J.J. Farrar](#) and [Michael Hood](#).

# Φυτοπλάσματα



Oshima, K., Maejima, K. and Namba, S. (2013). Genomic and evolutionary aspects of phytoplasmas. *Frontiers Microbiol.* 4: [230](#). MacLean, A.M., Orlovskis, Z., Kowitzanich, K., Zdziarska, A.M., Angenent, G.C., Immink, R.G.H. and Hogenhout, S.A. (2014). Phytoplasma Effector SAP54 Hijacks Plant Reproduction by Degrading MADS-box Proteins and Promotes Insect Colonization in a RAD23-Dependent Manner. *PLoS Biol.* 12: [e1001835.v](#); Hoshi, A., Oshima, K., Kakizawa, S., Ishii, Y., Ozeki, J., Hashimoto, M., Komatsu, K., Kagiwada, S., Yamaji, Y. and Namba, S. (2009). A unique virulence factor for proliferation and dwarfism in plants identified from a phytopathogenic bacterium. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 106: [6416-6421](#), with permission from S. Namba.

# Άμυνα των φυτών

Τα φυτά διαθέτουν δυο βασικές στρατηγικές αντιμετώπισης βιοτικών παραγόντων

- ✓ Αποφυγή – *Ιδιοσυστατική προϋπάρχουσα άμυνα*
- ✓ Ανθεκτικότητα – *Ελαγώμενη άμυνα*

# Ιδιοσυστατική προϋπάρχουσα άμυνα

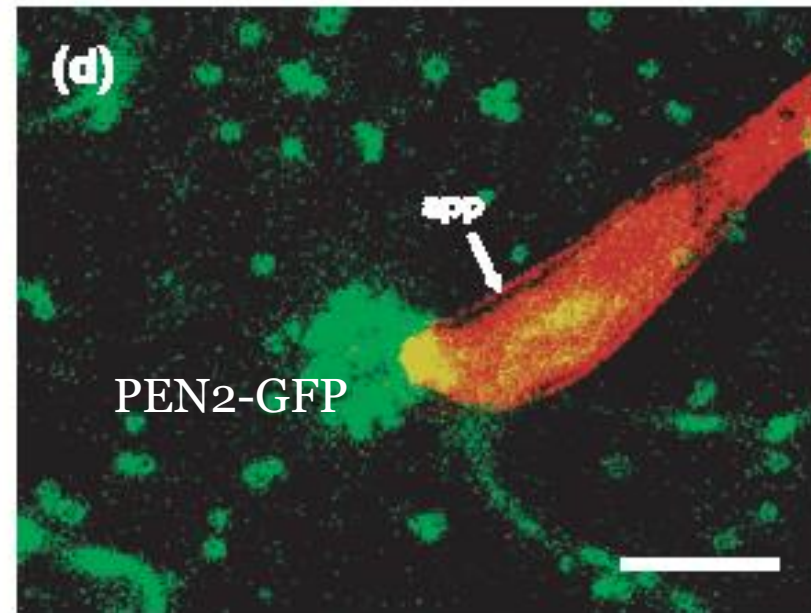
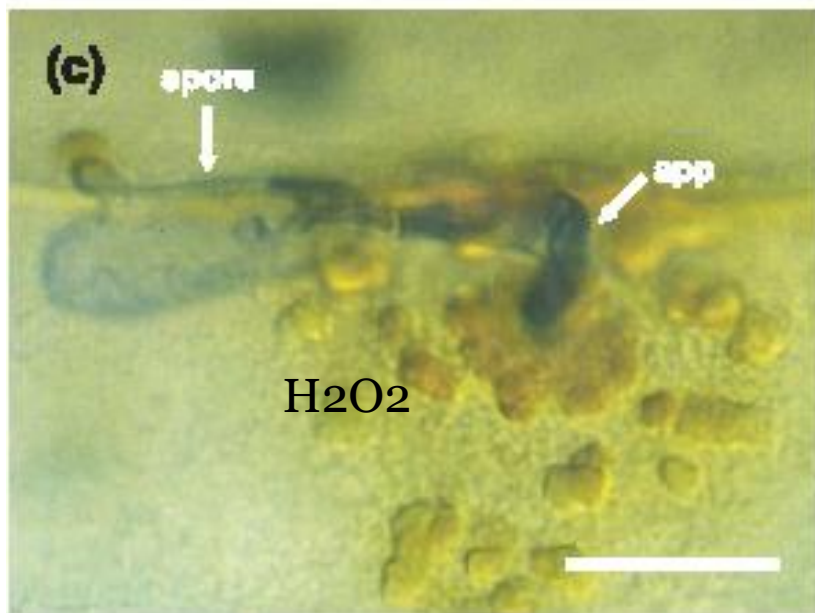
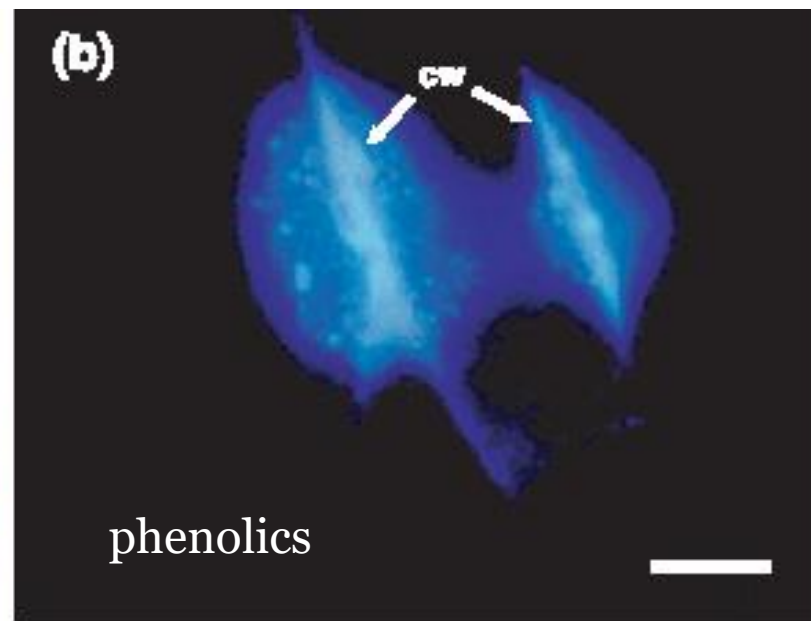
## *A. Μορφολογικοί χαρακτήρες που παρέχουν μηχανική προστασία*

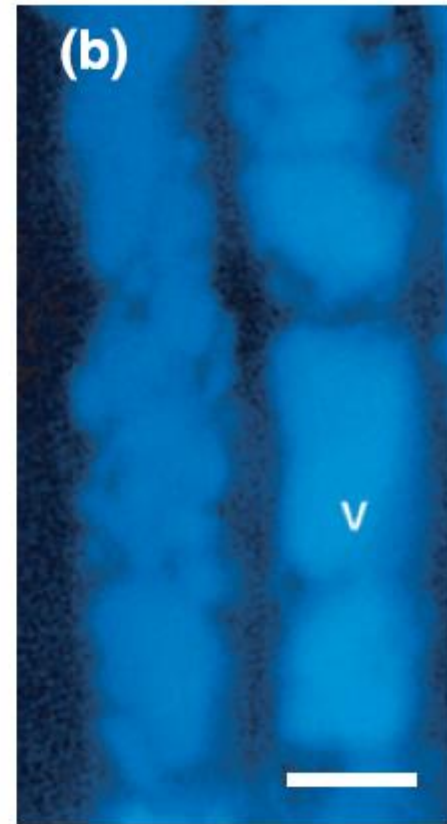
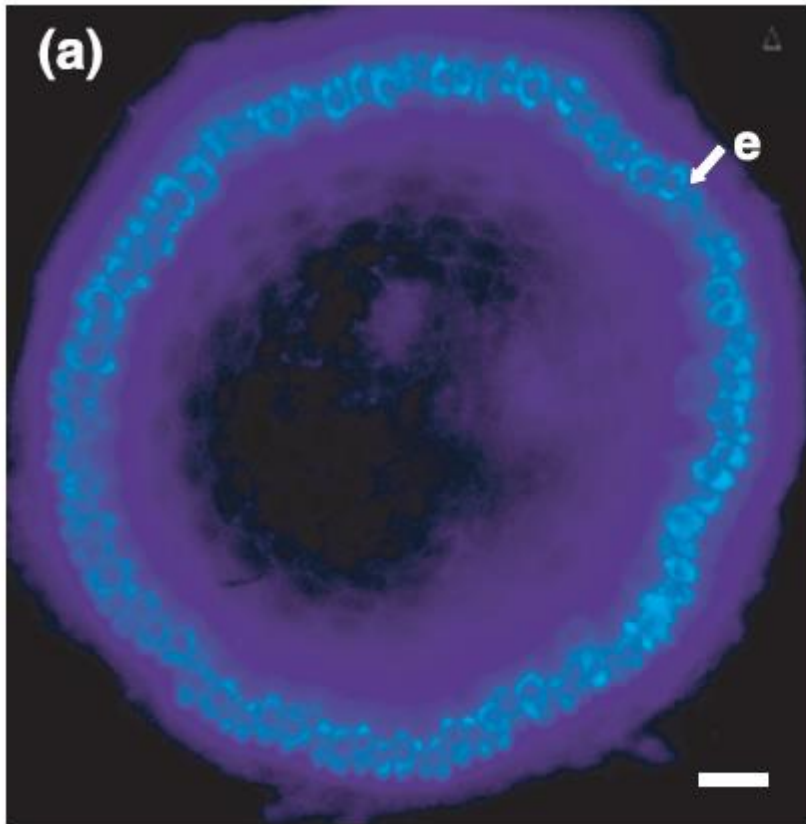
- ✓ Θωράκιση επιφανειών (υμενίνη, κηροί , φελλίνη)
- ✓ Ισχυροποίηση κυτταρικών τοιχωμάτων, σκληροεγχυματικοί ιστοί (λιγνίνη)
- ✓ εξαρτήματα της επιδερμίδας (άκανθες, τρίχες, αδένες, ρητινοφόροι αγωγοί, γαλακτοφόροι σωλήνες)

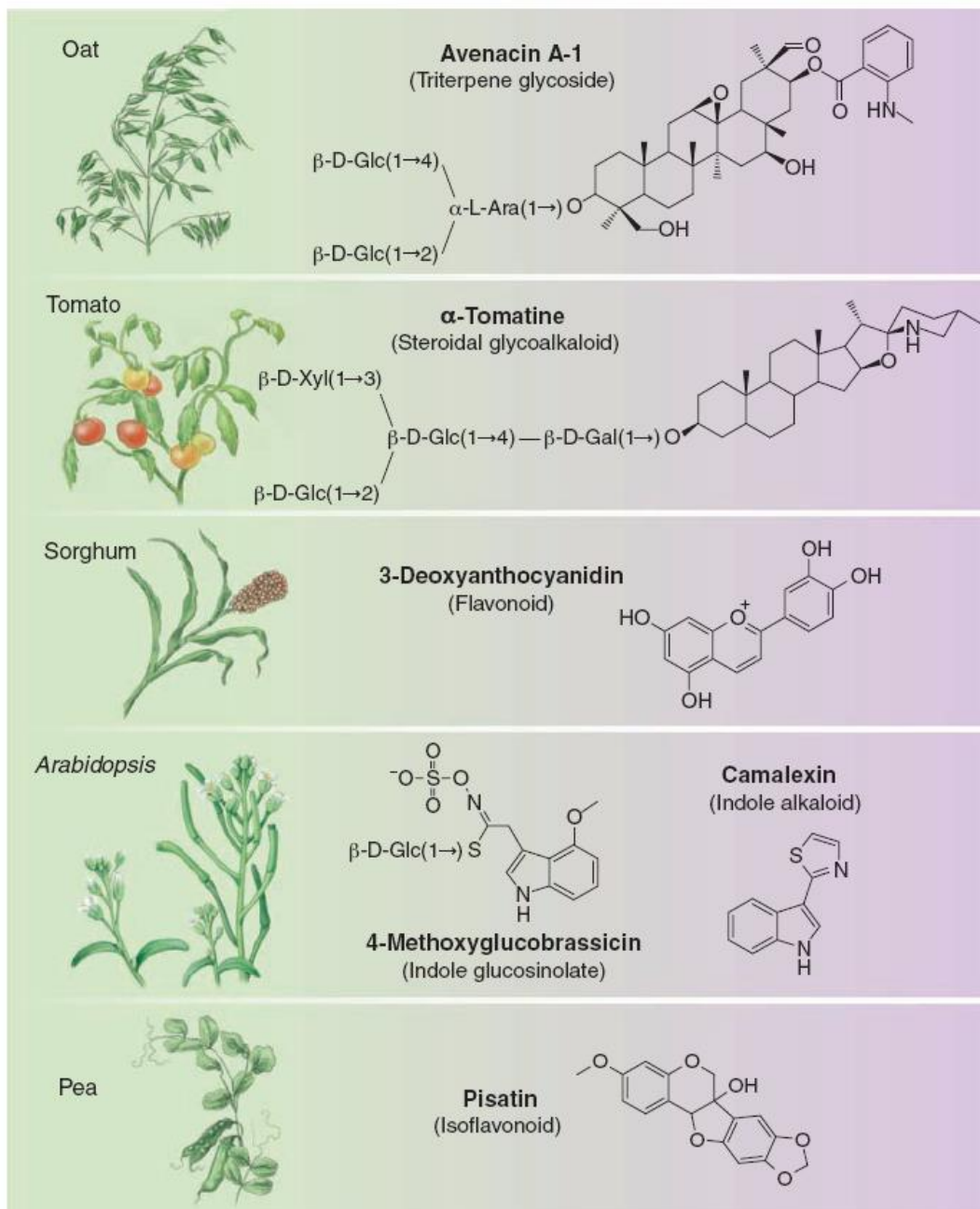
## *B . Βιοχημικοί χαρακτήρες*

- ✓ Δευτερογενείς μεταβολίτες (φυτοαντισιπίνες)
  - ✓ Αντιμικροβιακές πρωτεΐνες και πεπτίδια (π.χ defencins)
- ➡ Προσαρμογή στις επικρατούσες συνθήκες του αβιοτικού περιβάλλοντος, στο στάδιο ανάπτυξης, είδος οργάνου










**Fig. 1.** Examples of phytochemicals with roles in plant-microbe interactions.

# Επαγώμενη άμυνα

- *Βασική προϋπόθεση:* σύστημα επιτήρησης ενδεχόμενων προσβολών με δυνατότητα διάκρισης σημάτων **(διεγέρτες)**

- 
- πολυσακχαρίτες,
  - γλυκοπρωτεΐνες,
  - πεπτίδια,
  - λιπαρά όξέα,
  - ένζυμα,
  - τμήματα του προσβληθέντος ιστού

# Διαδικασία ενεργοποίησης άμυνας

*(εν συντομία...)*

- ✓ Ενεργοποίηση εξειδικευμένων υποδοχέων
- ✓ Παραγωγή εσωτερικού σήματος
- ✓ Μηχανισμοί μεταγωγής του σήματος
- ✓ Γενίκευση της αντίδρασης

### Immediate responses of invaded cells

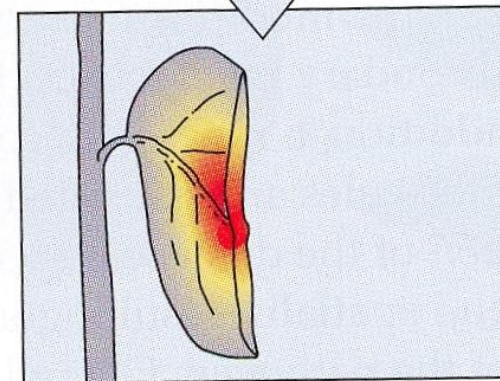
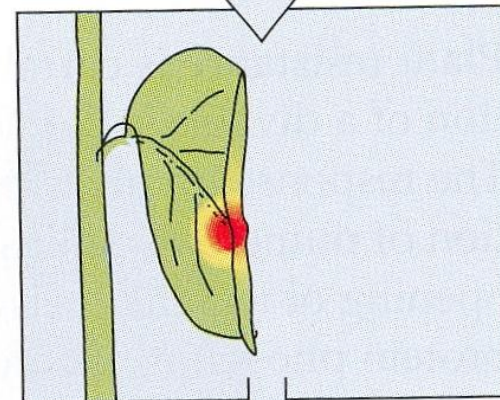
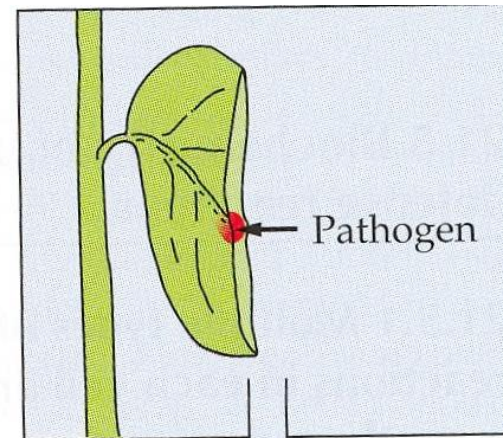
- Generation of reactive oxygen species
- Nitric oxide synthesis
- Opening of ion channels
- Protein phosphorylation/dephosphorylation
- Cytoskeletal rearrangements
- Hypersensitive cell death (HR)
- Gene induction

### Local responses and gene activation

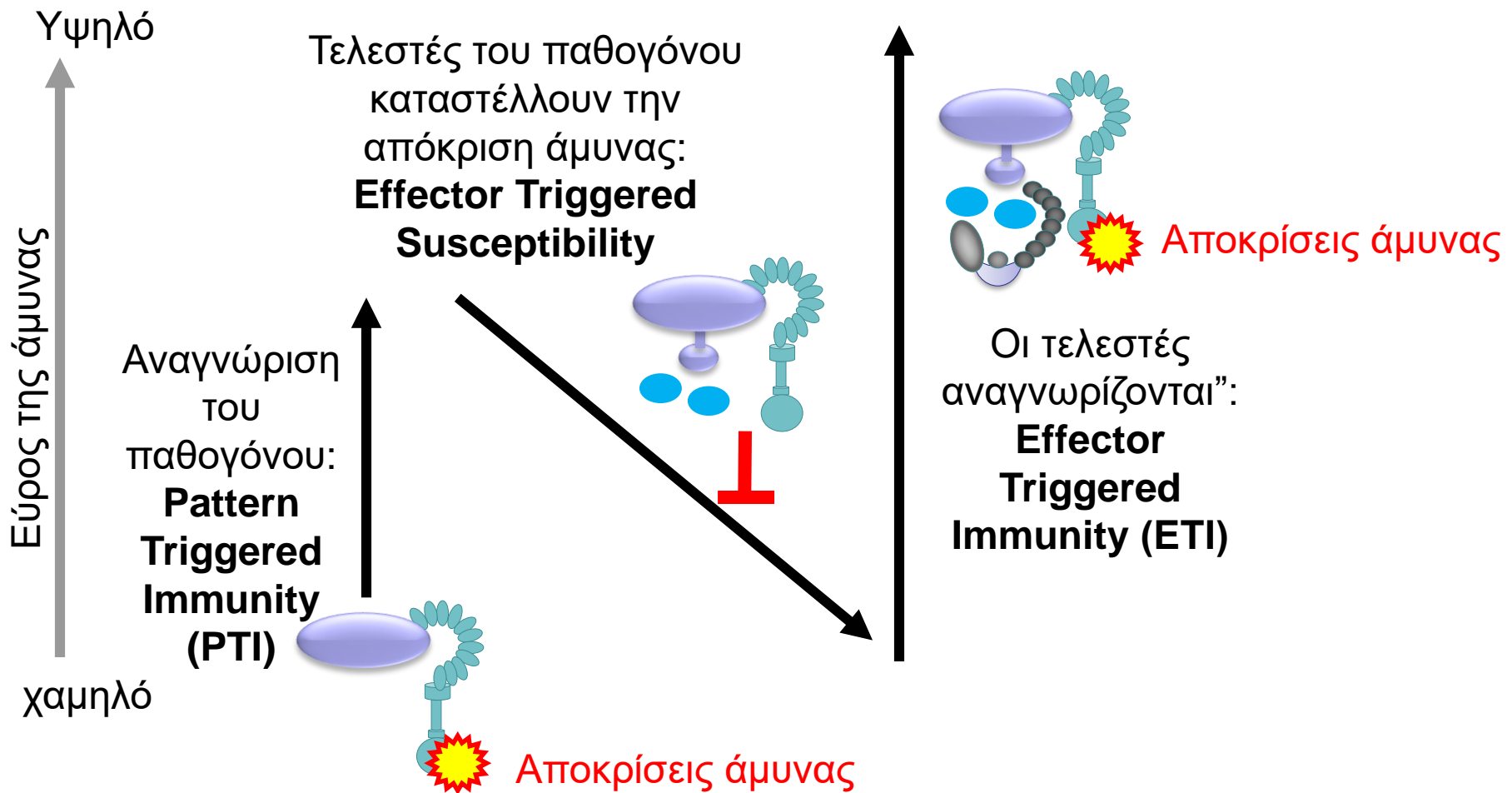
- Alterations in secondary metabolic pathways
- Cessation of cell cycle
- Synthesis of pathogenesis-related (PR) proteins
- Accumulation of benzoic and salicylic acid
- Production of ethylene and jasmonic acid
- Fortification of cell walls (lignin, PGIPs, HRGPs)

### Systemic responses and gene activation

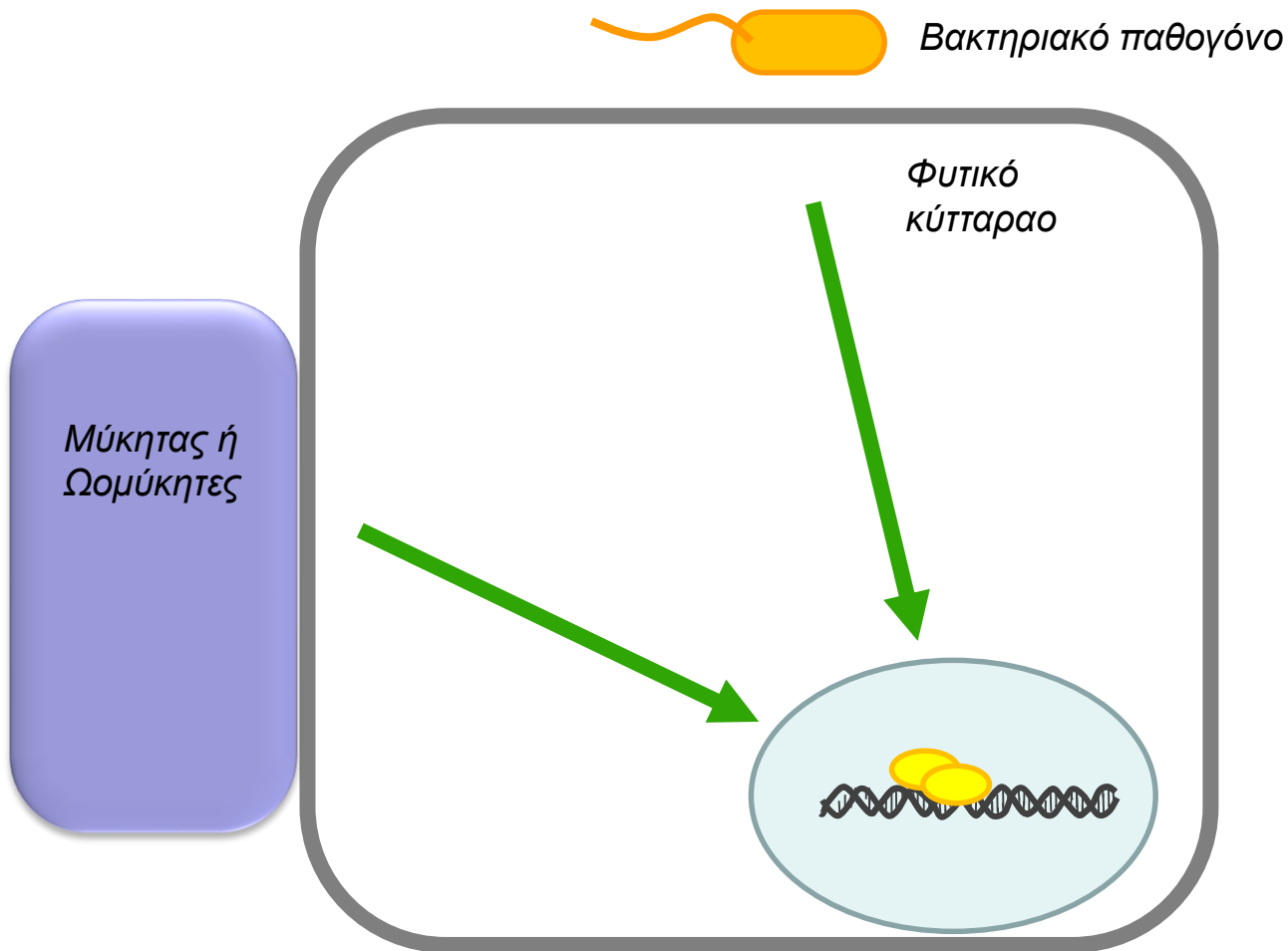
- (1→3) $\beta$ -Glucanases
- Chitinases
- Peroxidases
- Synthesis of other PR proteins



# Το zig-zag μοντέλο των αλληλεπιδράσεων φυτού-παθογόνου



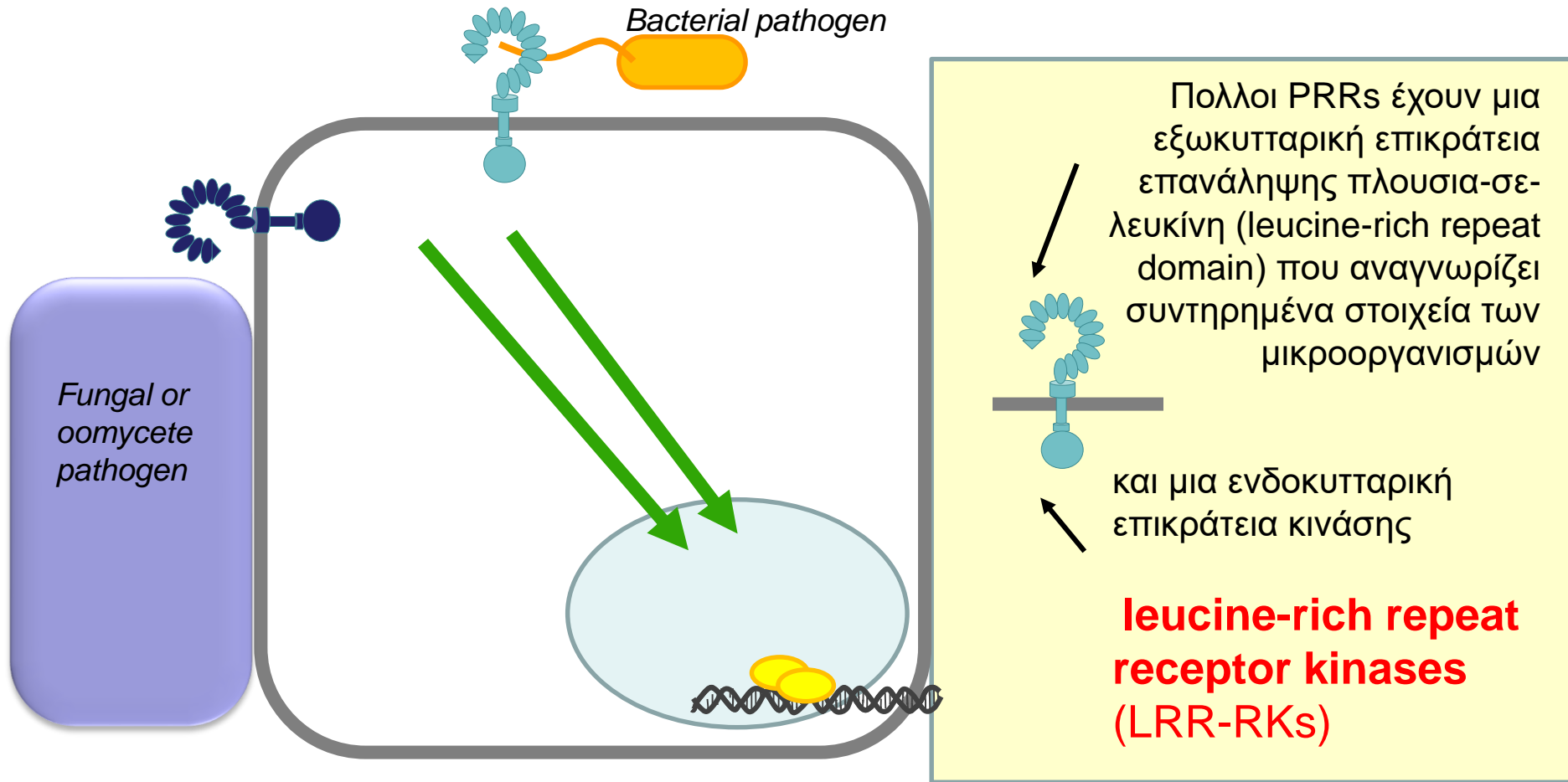
# Η απόκριση στα παθογόνα περιλαμβάνει μεγάλες μεταγραφικές αλλαγές



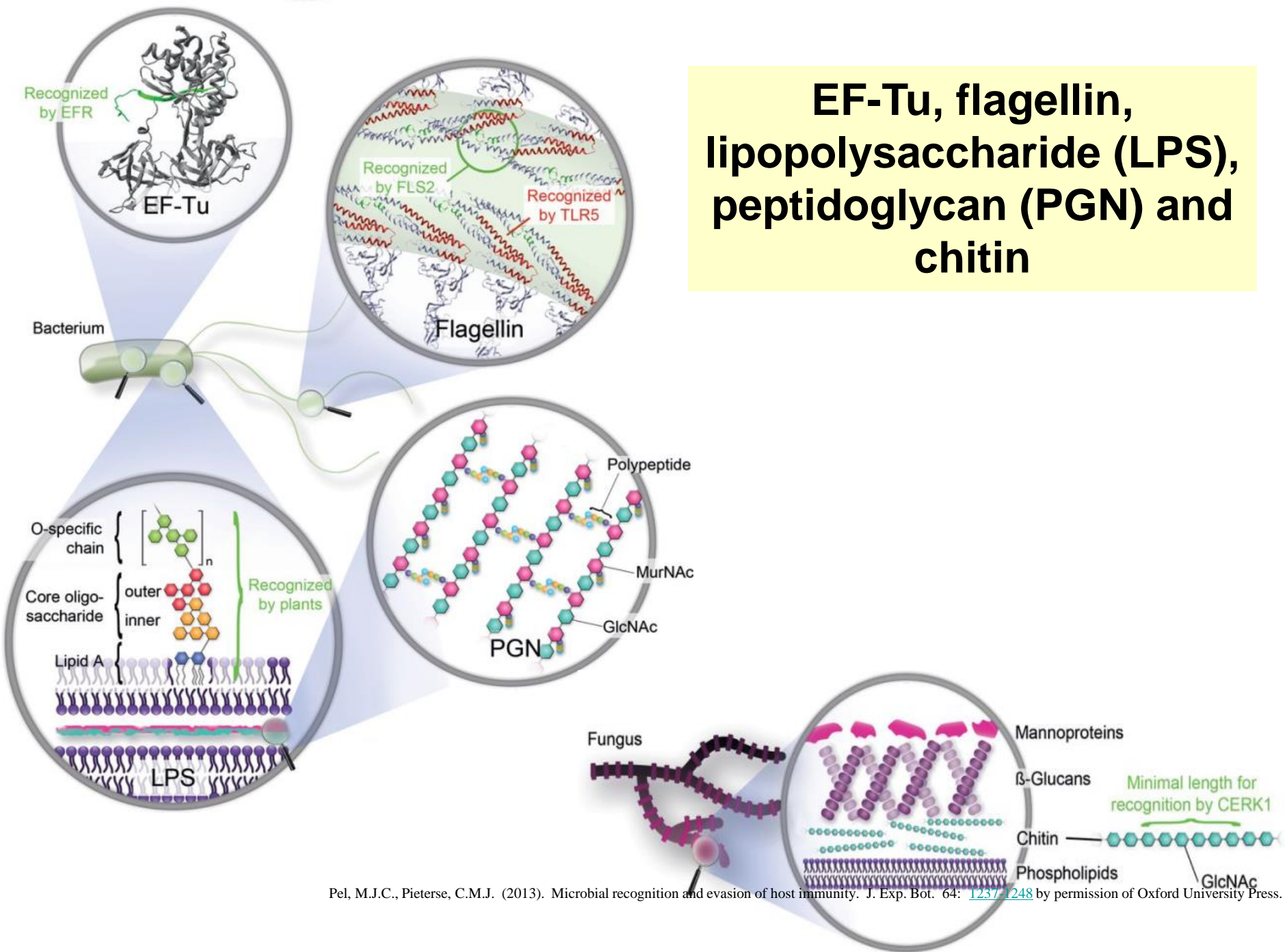
- Επαγωγή σύνθεσης ορμονών
- Επαγωγή των pathogenesis-related (*PR*) γονιδίων
- Συνθεση αντιμικροβιακών ουσιών, φυτοαλεξίνες
- Παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS)
- Παραγωγή καλλόζης



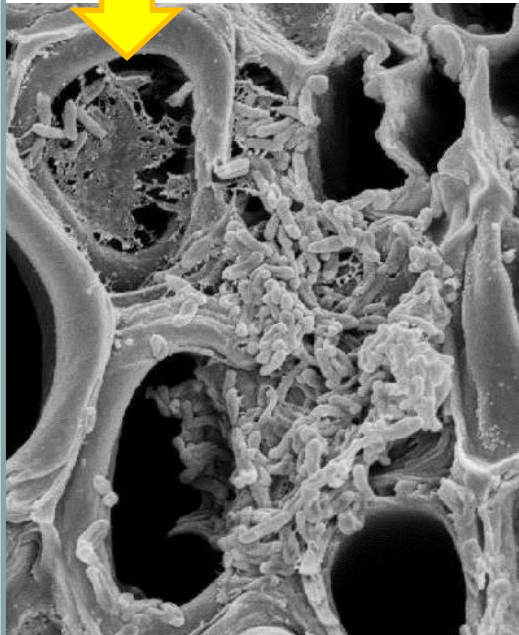
Πώς αναγνωρίζονται τα παθογόνα;  
Υποδοχείς αναγνώρισης μοτίβου  
(Pattern recognition receptors -PRRs)



# EF-Tu, flagellin, lipopolysaccharide (LPS), peptidoglycan (PGN) and chitin



Many bacteria  
produce biofilms



*Xylella fastidiosa* in  
a xylem vessel

*Magnaporthe grisea*, causal agent of rice blast, produces extracellular hydrophobin proteins required for adhesion and penetration; a deficient mutant (shown below) is less pathogenic

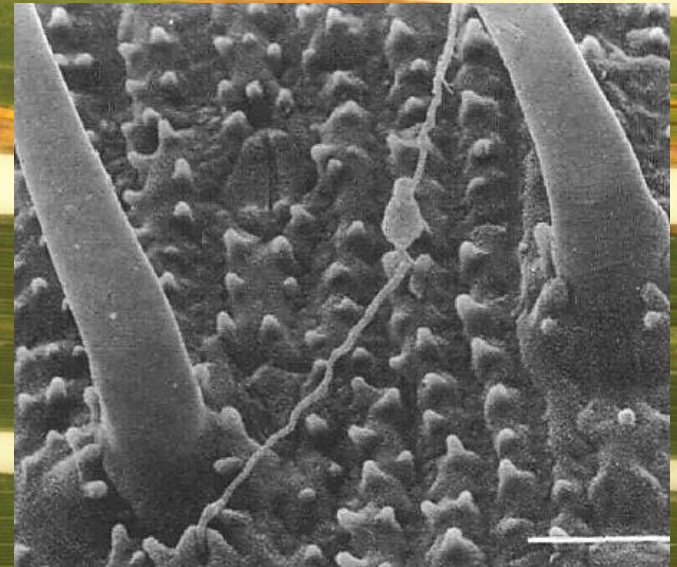
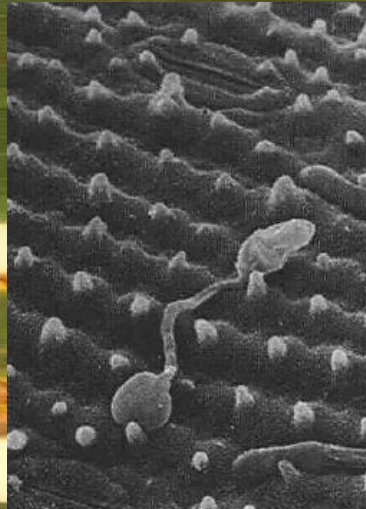
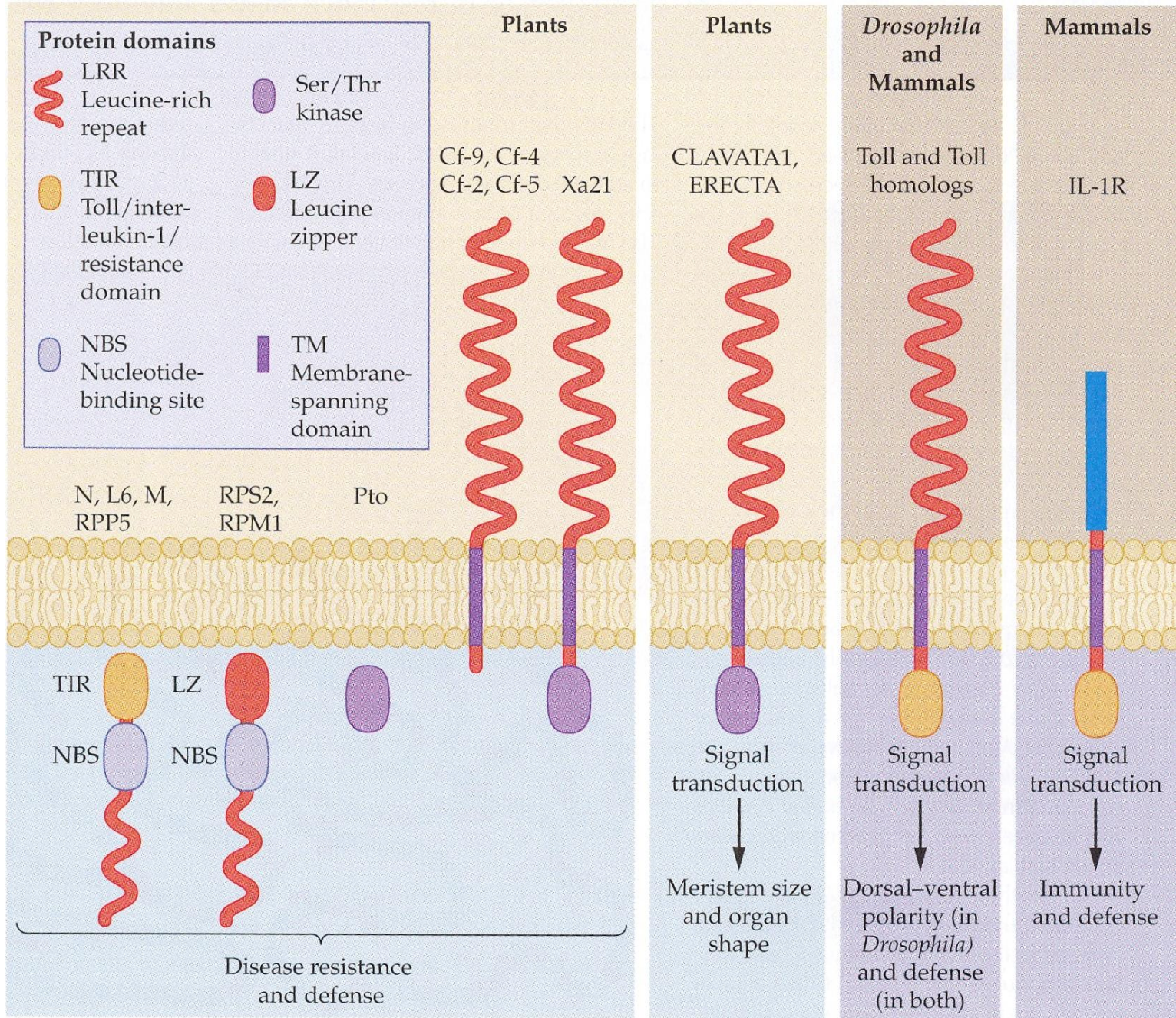
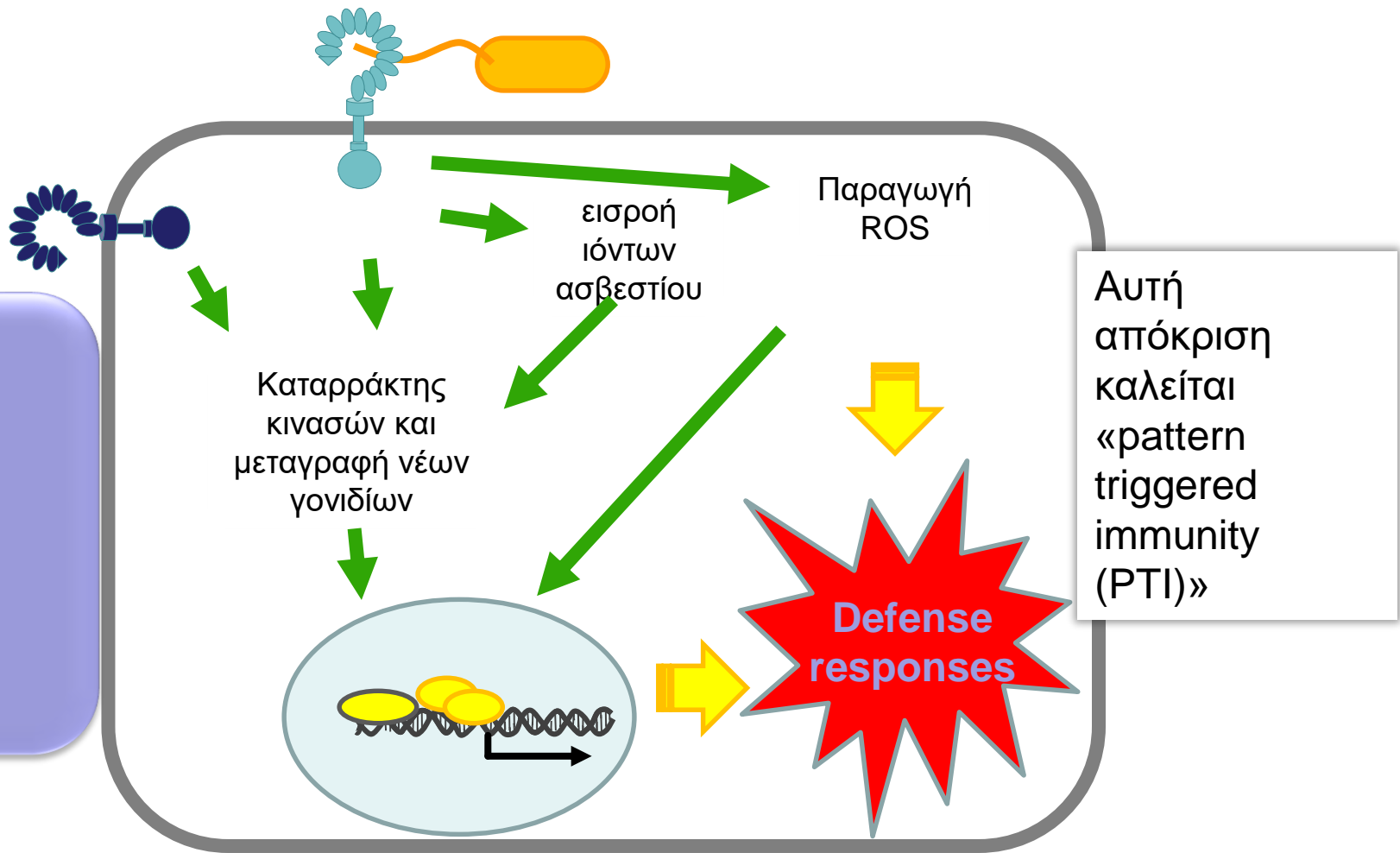


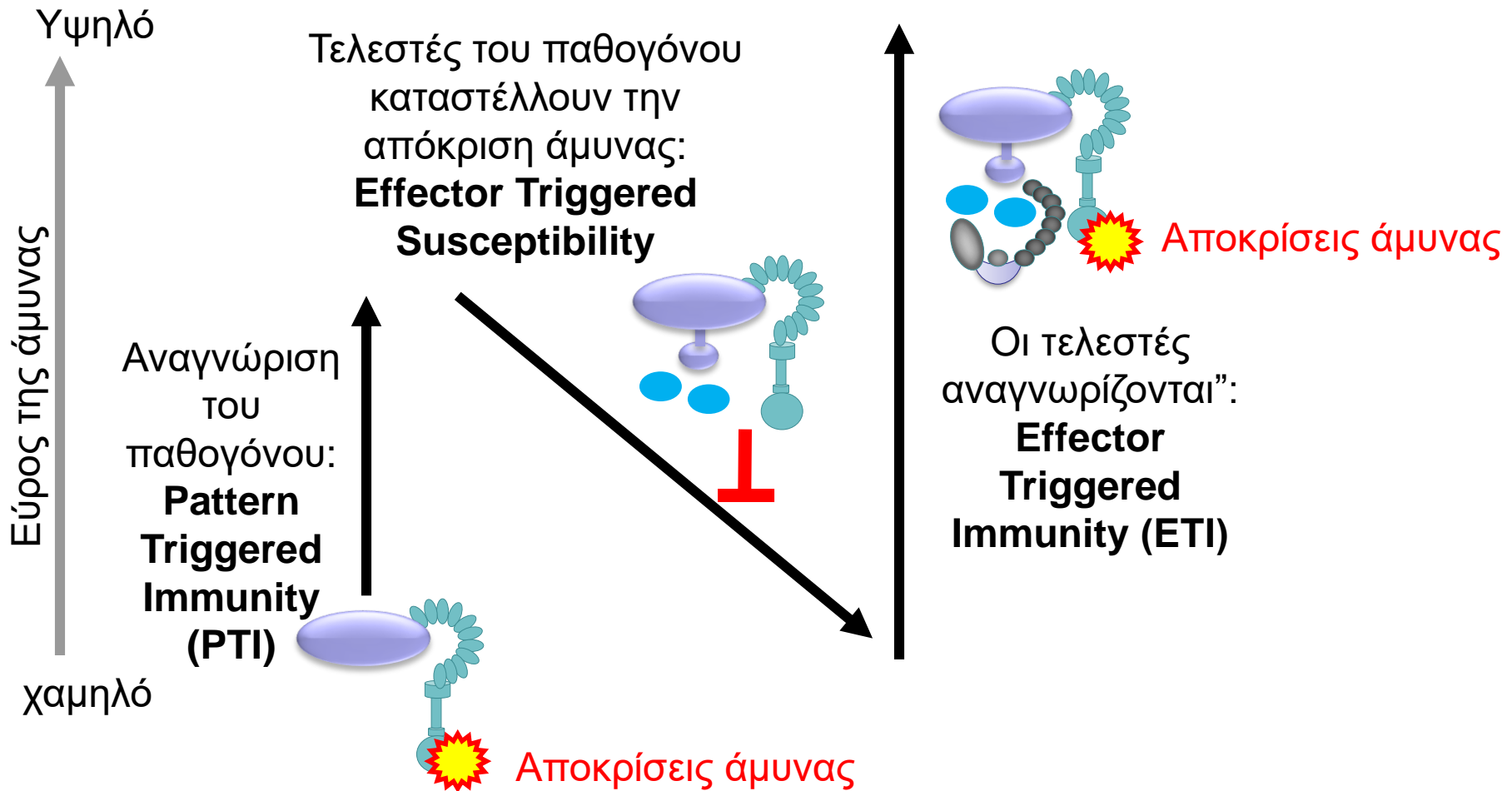
Photo by [E. W. Kitajima](#) (ESALQ/USP/Brazil); [RK Webster](#), USDA; Talbot, N.J., Kershaw, M.J., Wakley, G.E., de Vries, O., Wessels, J. and Hamer, J.E. (1996). *MPG1* encodes a fungal hydrophobin involved in surface interactions during infection-related development of *Magnaporthe grisea*. *Plant Cell*. 8: [985-999](#).



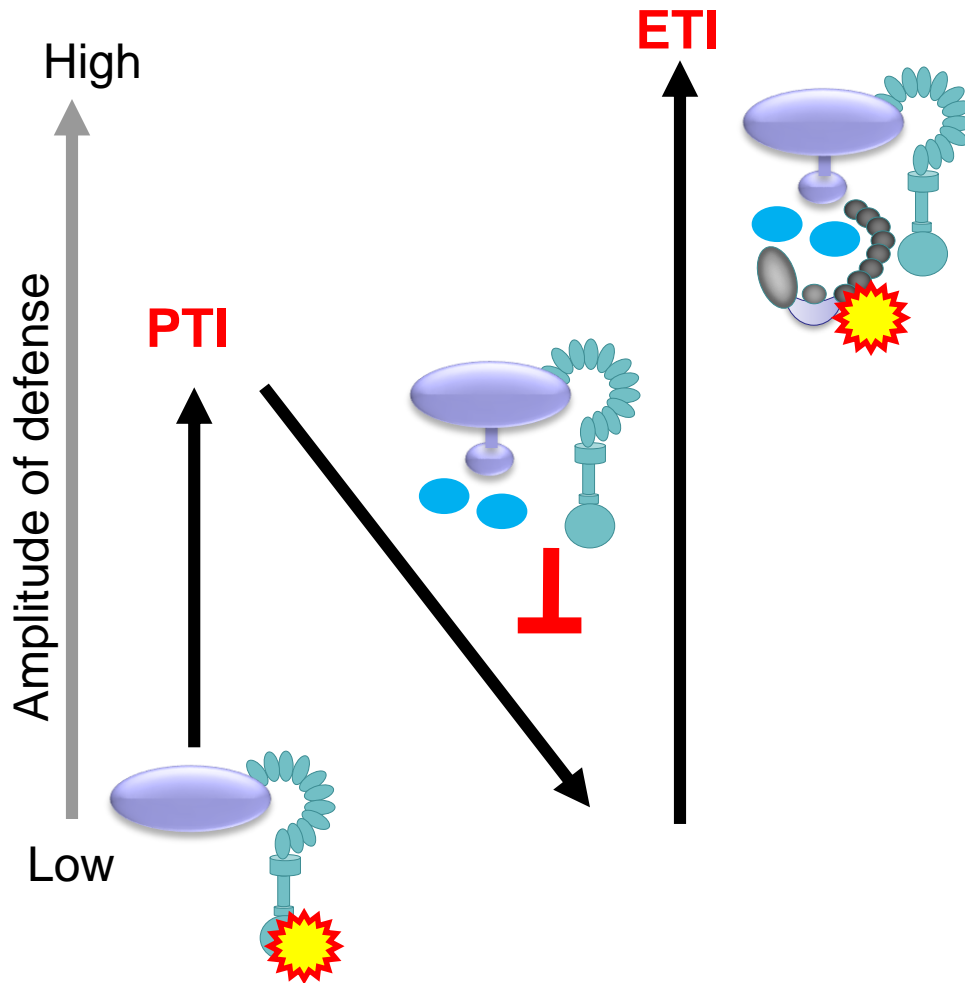
# Η αναγνώριση των παθογόνων εκκινεί την απόκριση άμυνας



# Το zig-zag μοντέλο των αλληλεπιδράσεων φυτού-παθογόνου



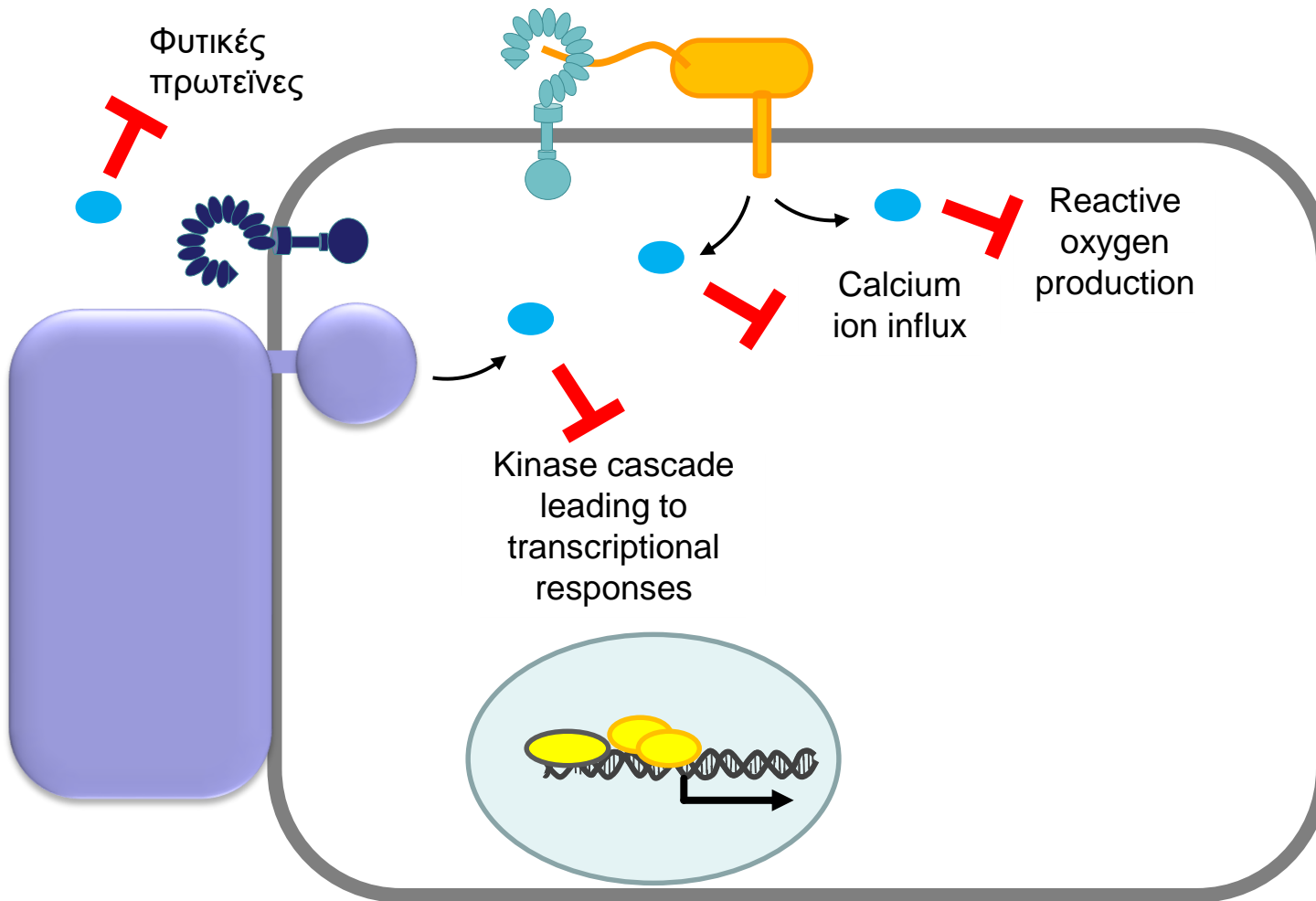
# Ενεργοποίηση R πρωτεϊνών: ETI



## Αποκρίσεις άμυνας:

- Παραγωγή της ορμόνης άμυνας σαλικυλικό οξύ (SA)
- Παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS)
- Αντιδραση υπερευαισθησίας (HR)
- Έκφρασης των πρωτεϊνών παθογένειας (pathogenesis-related proteins -PR)
- Συστημικά σήματα και επικτητή ανθεκτικότητα (systemic acquired resistance -SAR)

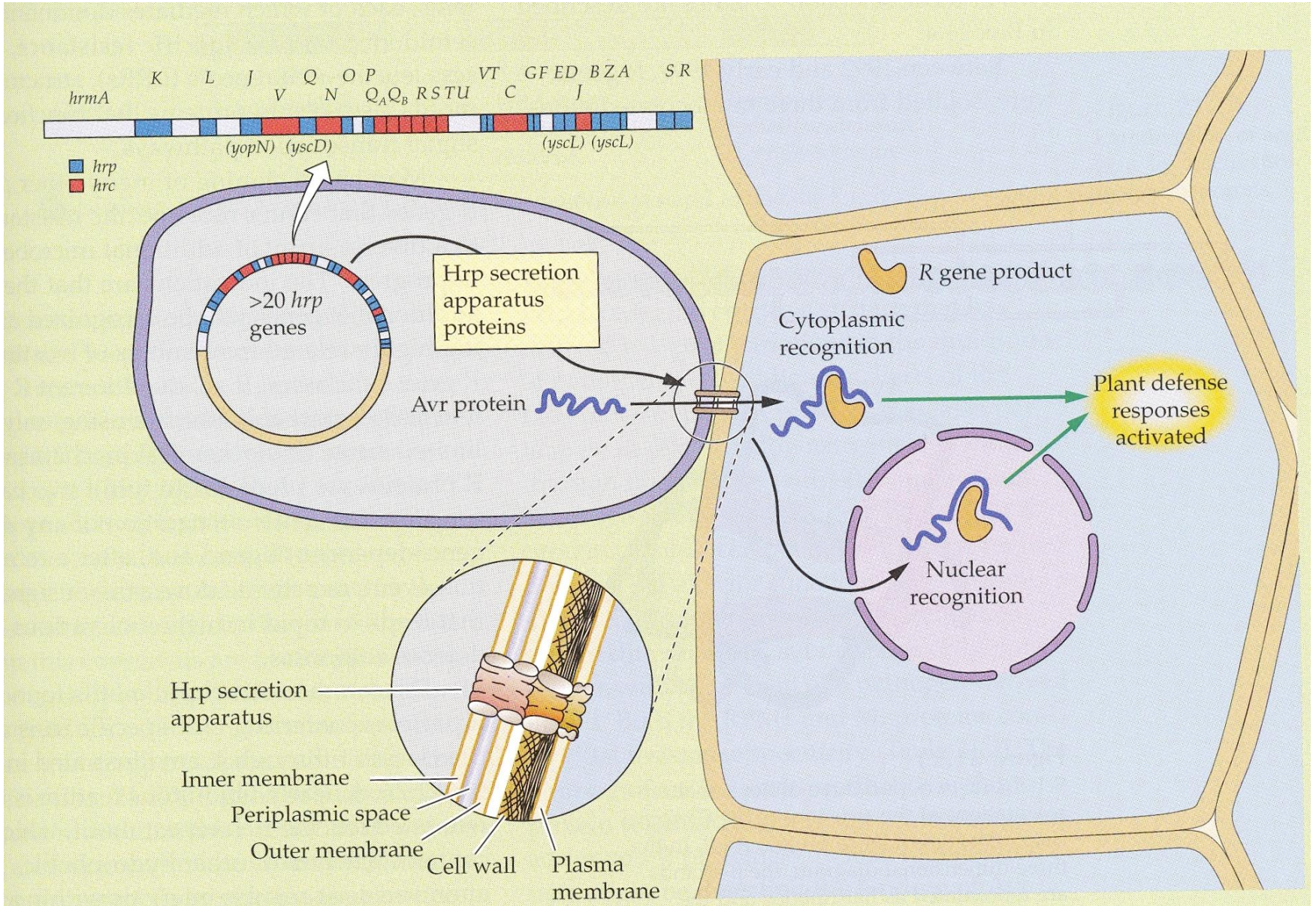
# Τα παθογόνα παράγουν τελεστές που αυξάνουν τη μολυσματικότητά τους



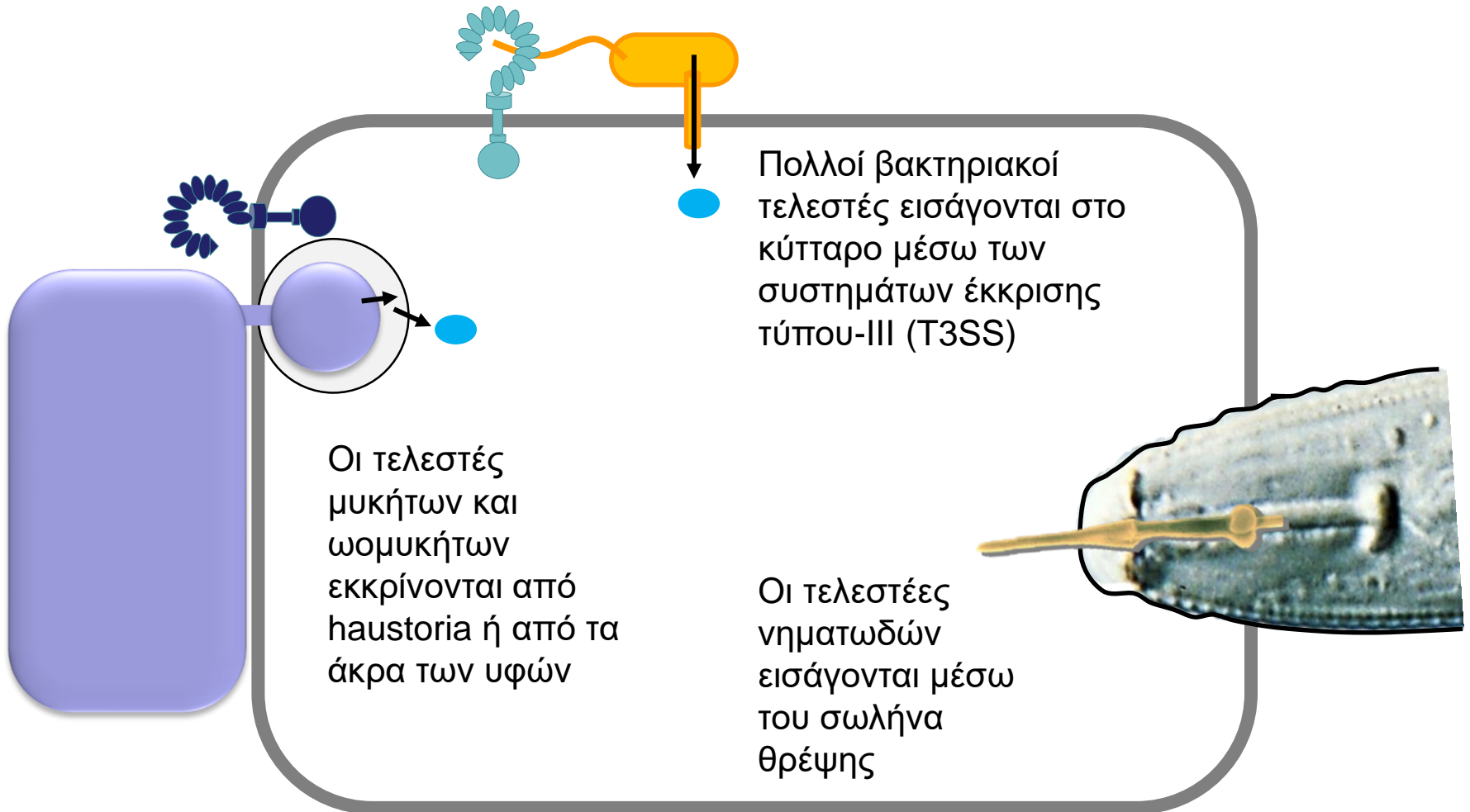
Οι τελεστές καταστέλλουν την απόκριση άμυνας του φυτού και συνεισφέρουν στην επιβίωση του παθογόνου



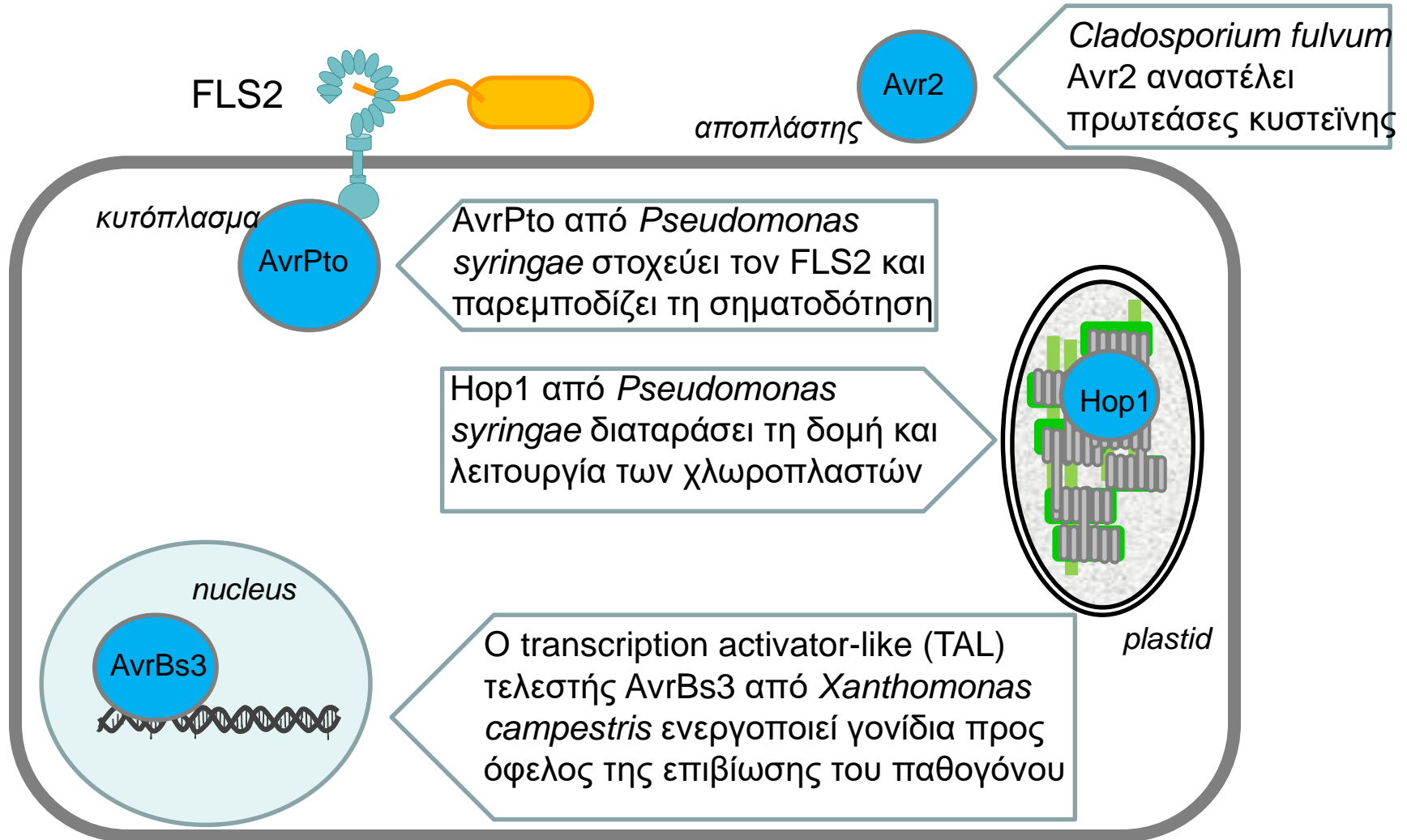
# Εκκριτικό μονοπάτι τύπου III σε βακτηριακά παθογόνα φυτών



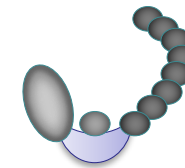
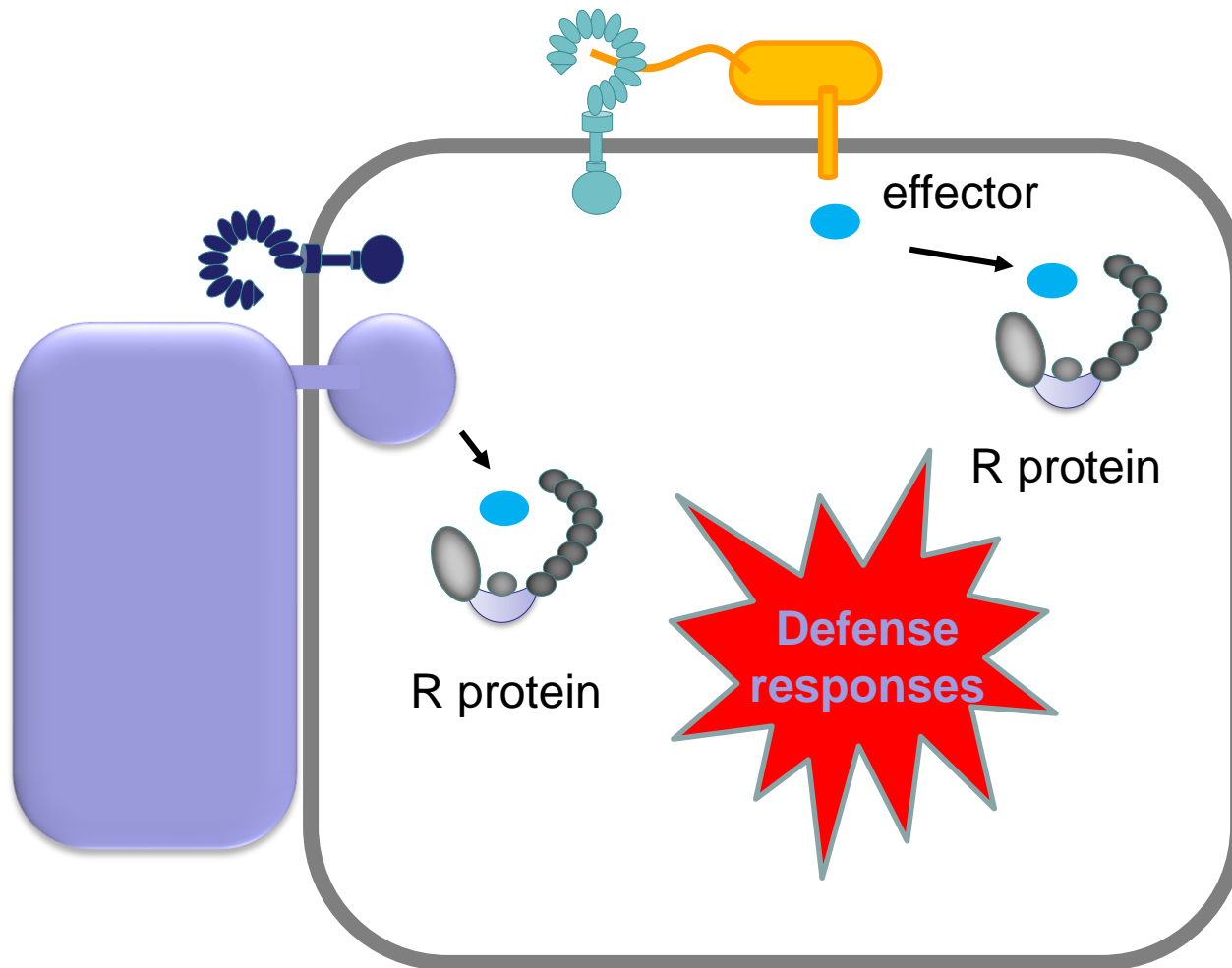
Οι τελεστές εκκρίνονται από το παθογόνο και δρουν μέσα στο φυτικό κύτταρο ή στον αποπλάστη



# Οι τελεστές μπορούν να δρουν σε πολλά κυτταρικά διαμερίσματα



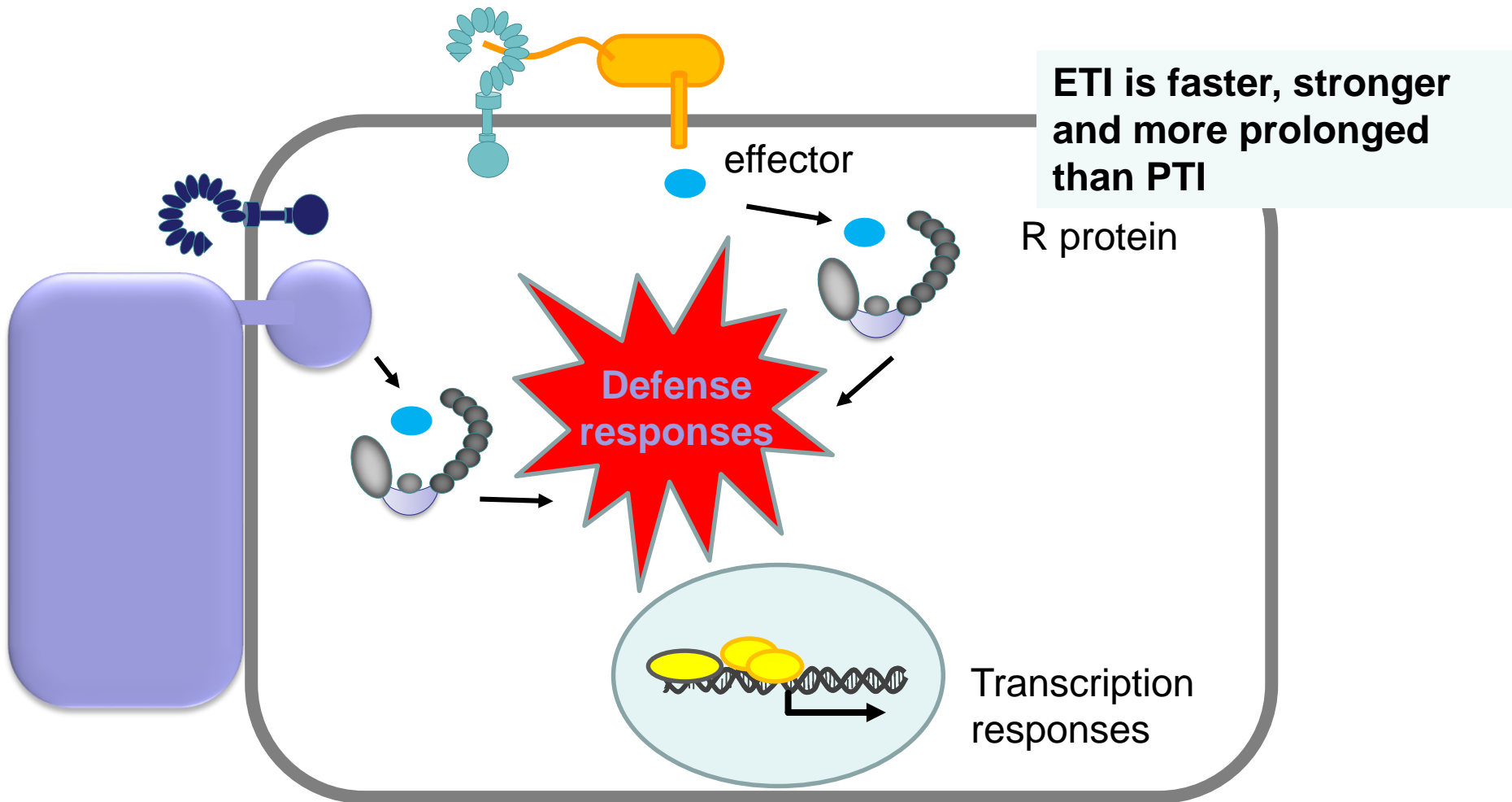
# Πρωτεΐνες ανθεκτικότητας (Resistance proteins, R) – ενδοκυτταρικοί υποδοχείς άμυνας



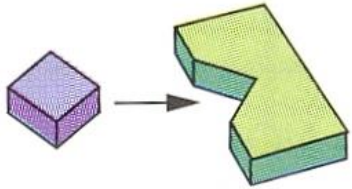
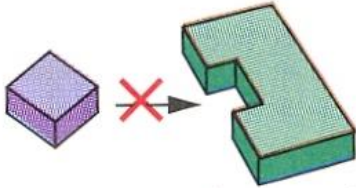
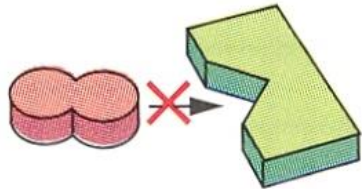
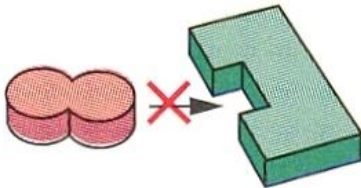
Οι R πρωτεΐνες  
αναγνωρίζουν τους  
τελεστές  
ενδοκυτταρικά

Εχουν αναφερθεί  
μόνο ενάντια σε  
βιοτροφα παθογόνα

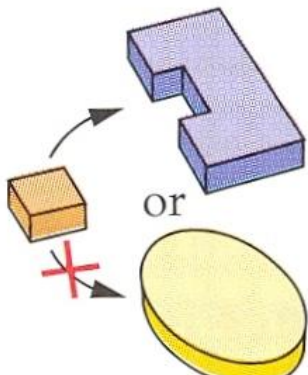
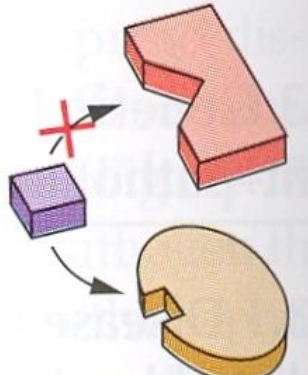
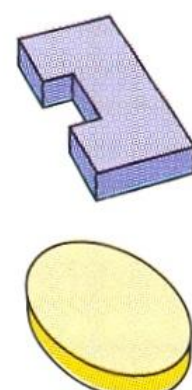
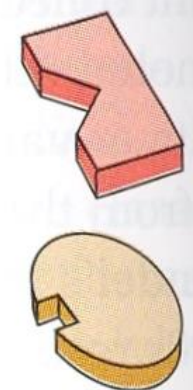
Η ενεργοποίηση των R protein έχει αποτέλεσμα την ενίσχυση της άμυνας (effector triggered immunity: ETI)



## Θεωρία FORL (1942)

Pathogen genotype	Host plant genotype	
	<i>R1</i>	<i>r1</i>
<i>Avr1</i>	 <p>Avr1 R1 protein</p> <p>No disease (Plant and pathogen are <b>incompatible</b>.)</p>	 <p>Avr1 r1 protein</p> <p>Disease (Plant and pathogen are <b>compatible</b>.)</p>
<i>avr1</i>	 <p>avr1 R1 protein</p> <p>Disease (Plant and pathogen are <b>compatible</b>.)</p>	 <p>avr1 r1 protein</p> <p>Disease (Plant and pathogen are <b>compatible</b>.)</p>

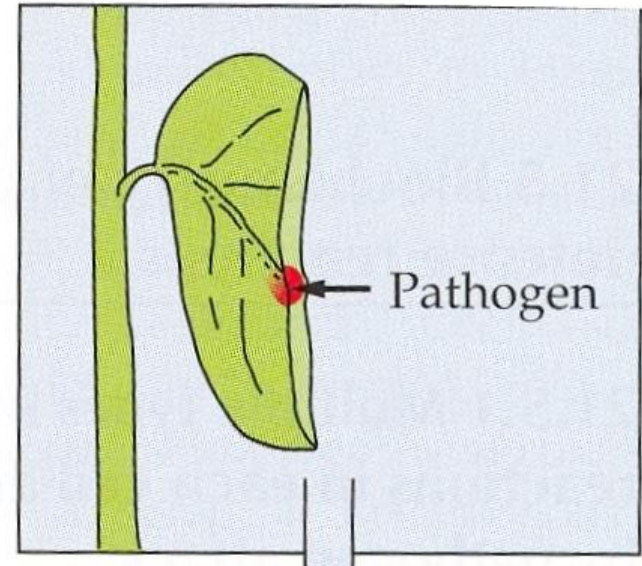
... σε κάθε γονίδιο το οποίο ρυθμίζει την αντίδραση στον ξενιστή αντιστοιχεί ένα γονίδιο παθογόνου, το οποίο ρυθμίζει την παθογόνο ικανότητά του...

Pathogen genotype	Host plant genotype	
	<i>RR</i> or <i>Rr</i>	<i>rr</i>
<i>Tox</i>	<p>Enzymatic detoxification</p>  <p>Insensitive target protein</p> <p><b>No disease</b></p>	<p>No enzymatic detoxification</p>  <p>Sensitive target protein</p> <p><b>Disease</b></p>
<i>tox</i>	<p>No toxin</p>  <p><b>No disease</b></p>	<p>No toxin</p>  <p><b>No disease</b></p>

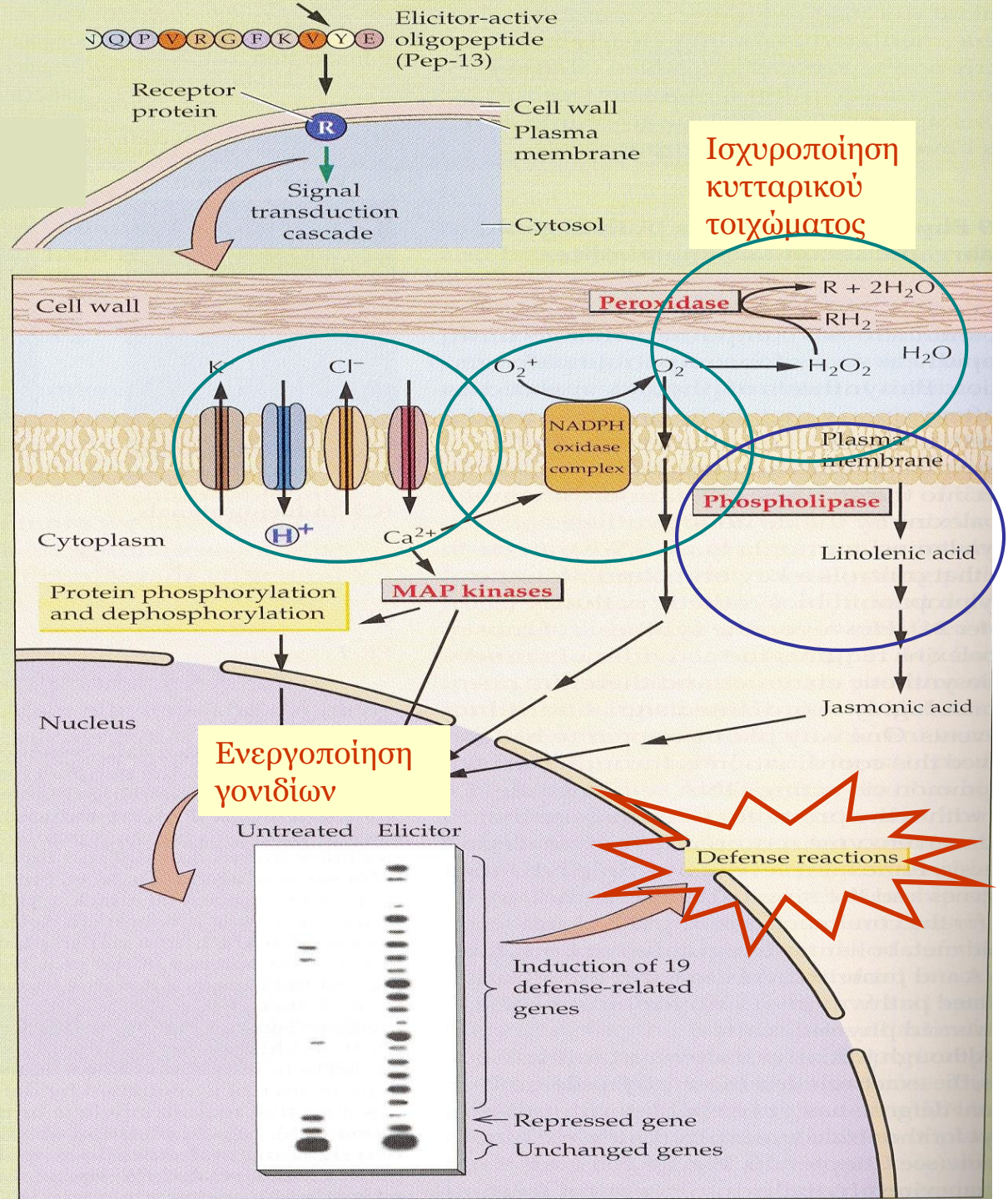
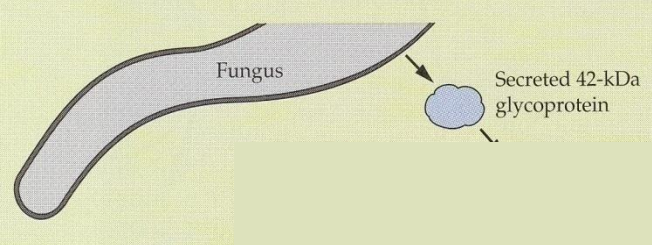
## Πρώτα φαινόμενα/γεγονότα επαγόμενης αντοχής (ανθεκτικότητας)

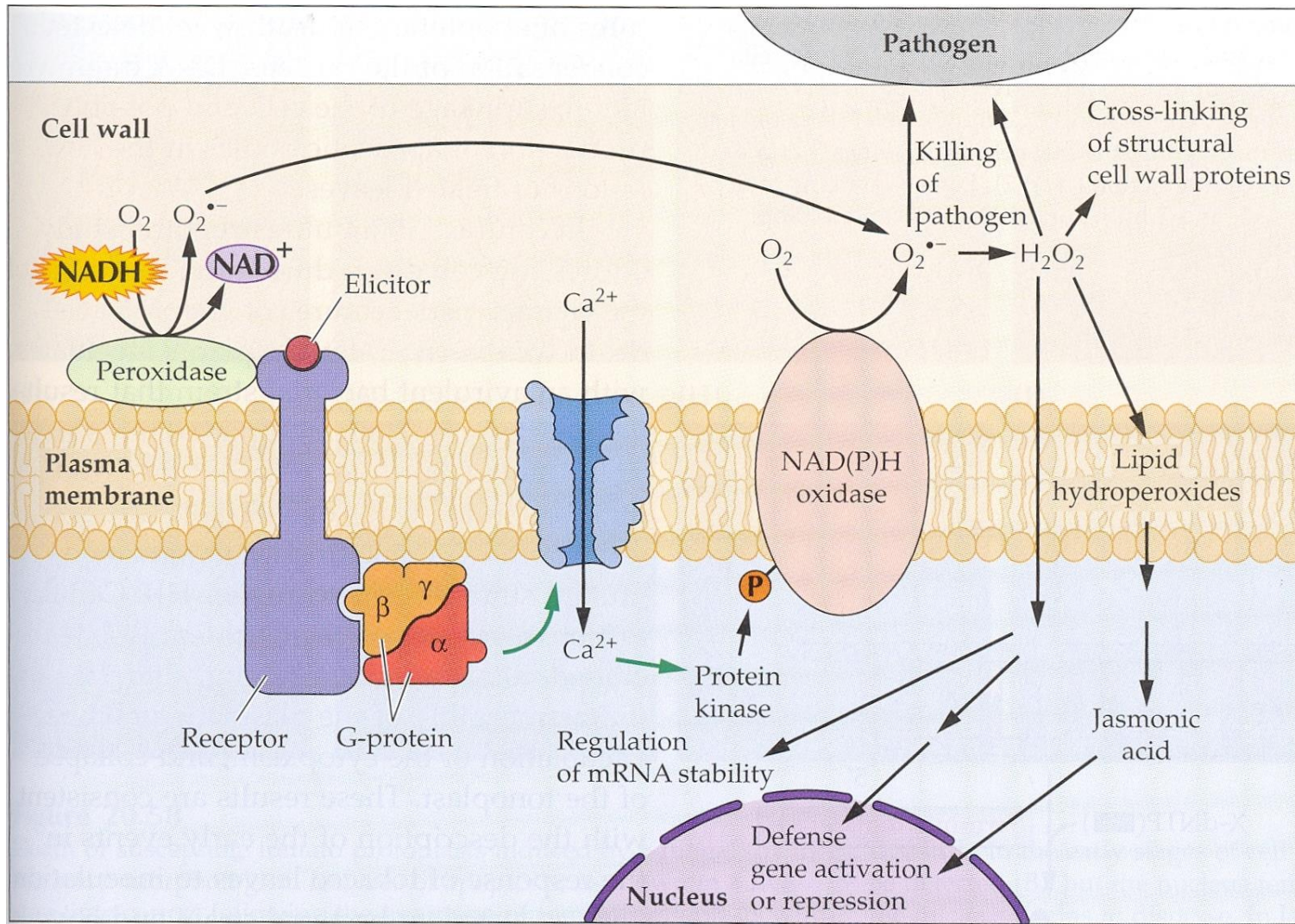
### Immediate responses of invaded cells

- Generation of reactive oxygen species
- Nitric oxide synthesis
- Opening of ion channels
- Protein phosphorylation/dephosphorylation
- Cytoskeletal rearrangements
- Hypersensitive cell death (HR)
- Gene induction





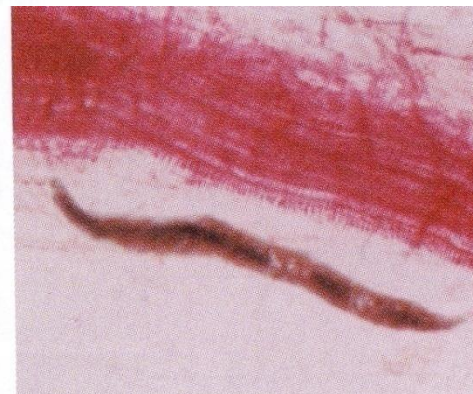
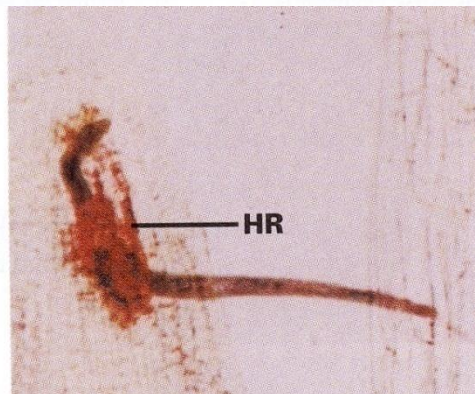
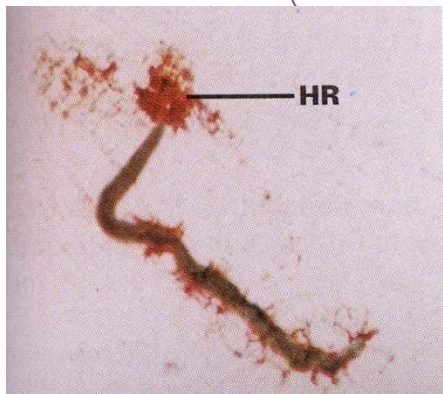
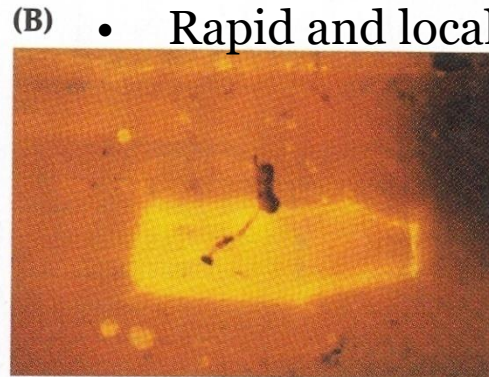
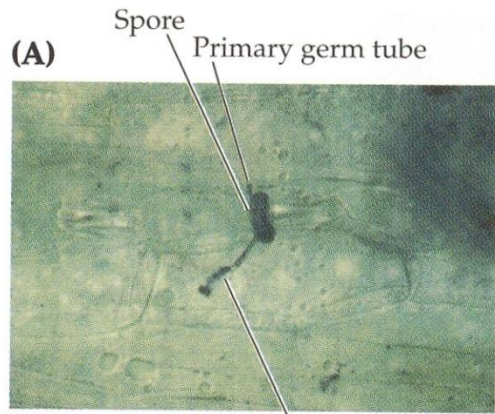




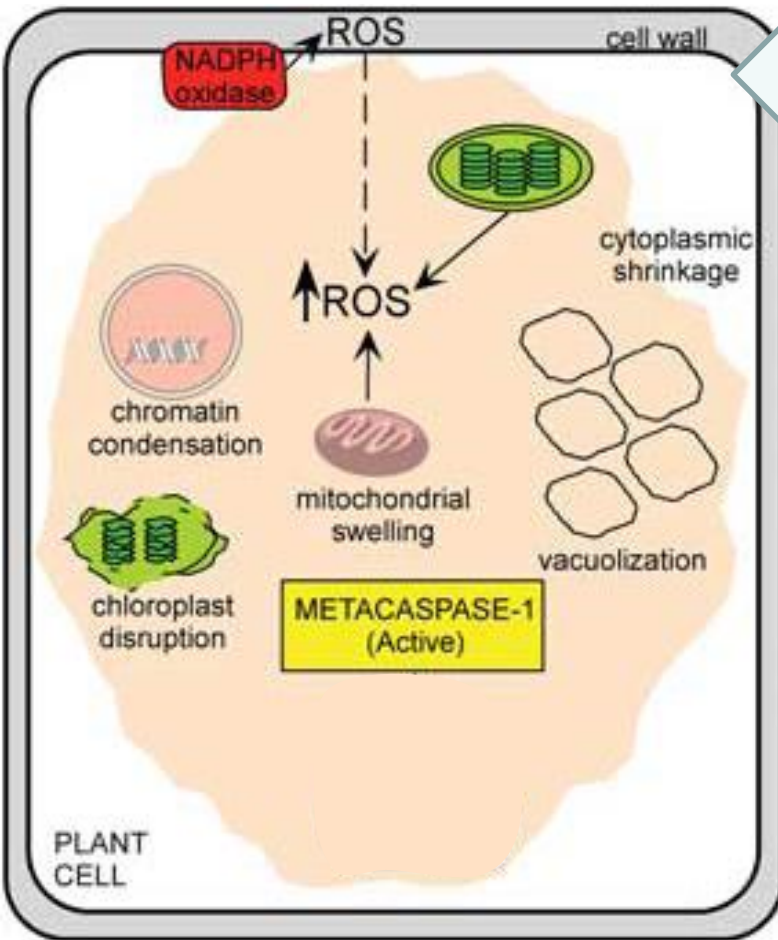
# Αντιδραση υπερευαισθησίας: εξειδικευμένος και αμυντικά προγραμματισμένος κυτταρικός θάνατος



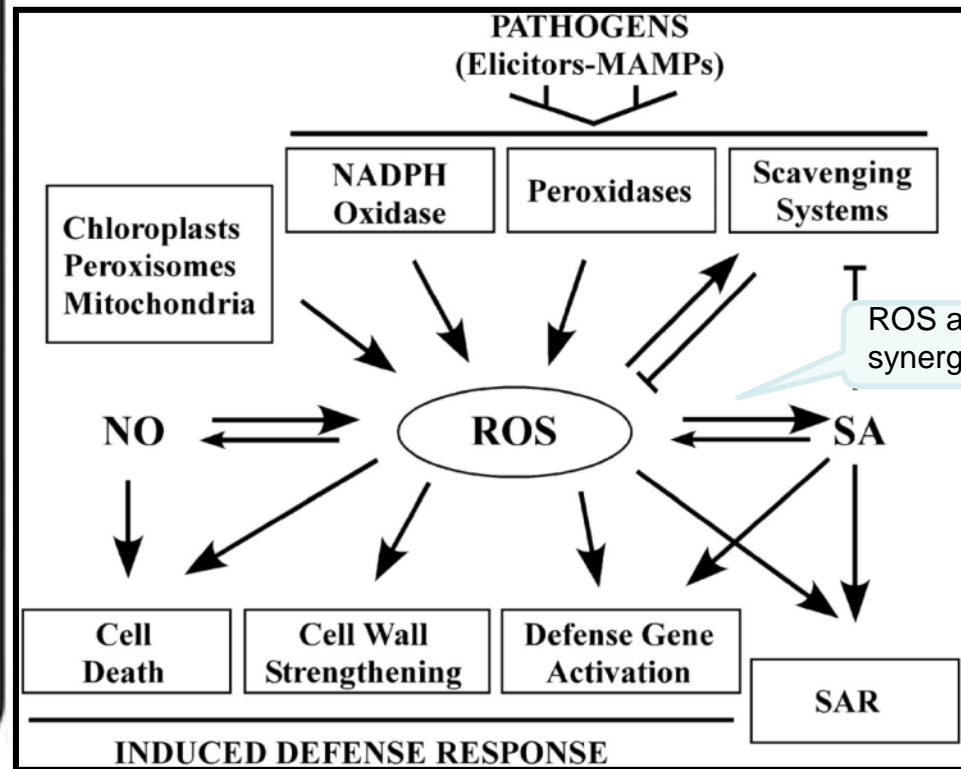
- Burst of oxygen reactive species around infection site
- Synthesis of antimicrobial phytoalexins
- Accumulation of Salicylic Acid (SA)
- Directly kill and damage pathogens
- Strengthen cell walls, and triggers apoptosis
- Restrict pathogen from spreading
- Rapid and local



# Αντιδραση υπερευαισθησίας



ROS σχηματίζονται στον αποπλάστη, στους χλωροπλάστες και στα μιτοχρόνδρια



ROS and SA act synergistically

### Immediate responses of invaded cells

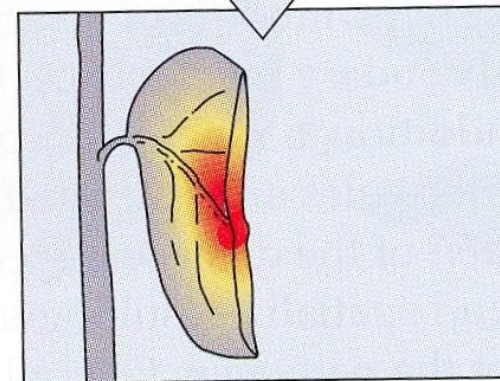
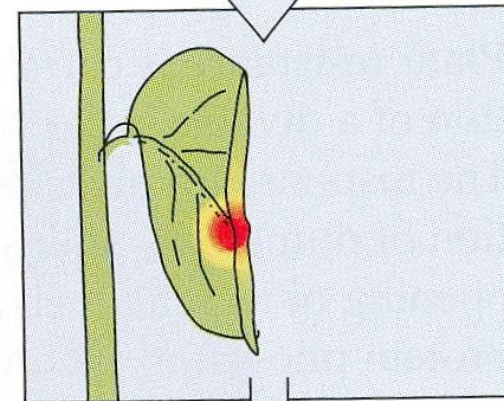
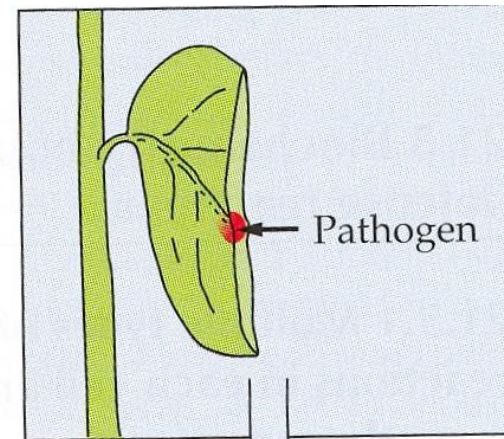
- Generation of reactive oxygen species
- Nitric oxide synthesis
- Opening of ion channels
- Protein phosphorylation/dephosphorylation
- Cytoskeletal rearrangements
- Hypersensitive cell death (HR)
- Gene induction

### Local responses and gene activation

- Alterations in secondary metabolic pathways
- Cessation of cell cycle
- Synthesis of pathogenesis-related (PR) proteins
- Accumulation of benzoic and salicylic acid
- Production of ethylene and jasmonic acid
- Fortification of cell walls (lignin, PGIPs, HRGPs)

### Systemic responses and gene activation

- (1→3) $\beta$ -Glucanases
- Chitinases
- Peroxidases
- Synthesis of other PR proteins



## Τοπική Επικτητη Ανθεκτικότητα

### Local responses and gene activation

Alterations in secondary metabolic pathways

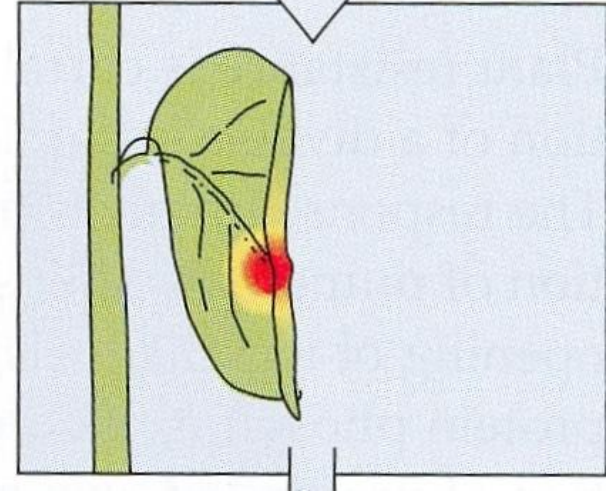
Cessation of cell cycle

Synthesis of pathogenesis-related (PR) proteins

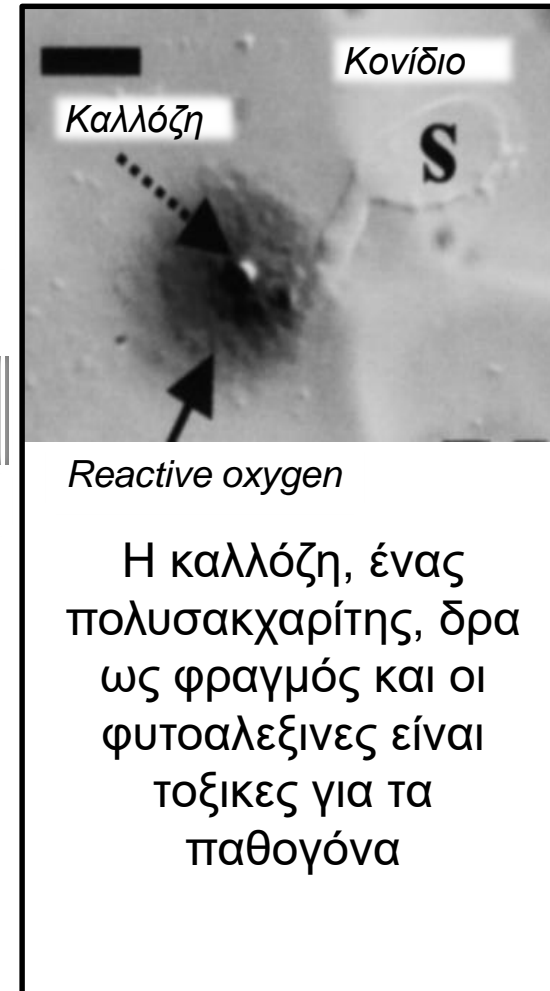
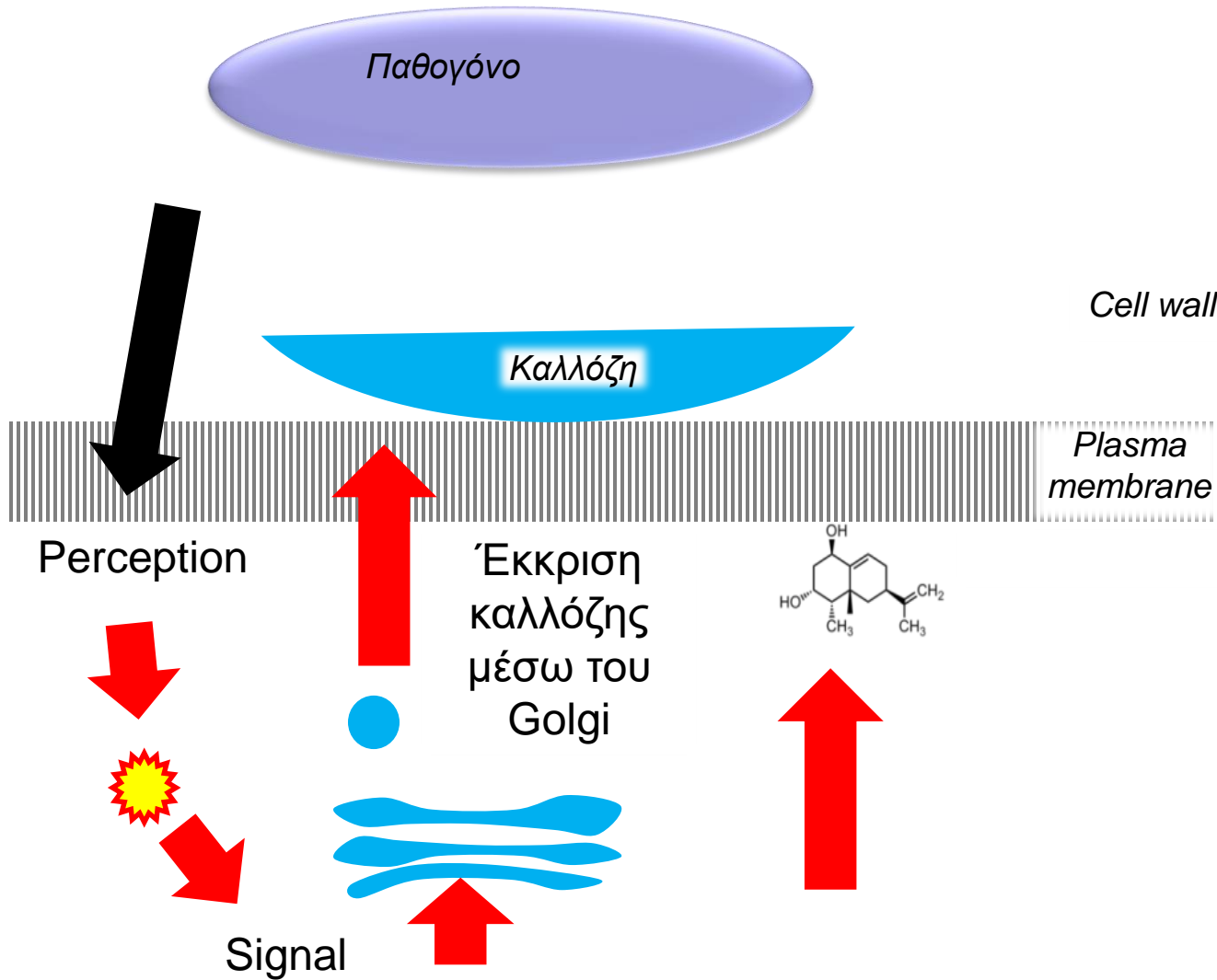
Accumulation of benzoic and salicylic acid

Production of ethylene and jasmonic acid

Fortification of cell walls (lignin, PGIPs, HRGPs)



- ❖ Σύνθεση φυτοαλεξινών
- ❖ Ισχυροποίηση κυτταρικών τοιχωμάτων (καλλόζη, λιγνίνη, σουβερίνη, εξτενσίνες, φαινολικές ουσίες, πυρίτιο, ασβέστιο...)
- ❖ Σύνθεση νέων πρωτεϊνών (Pathogenesis Related-PR proteins)
- ❖ Παραγωγή μορίων-σημάτων συναγερμού (NO, σαλικυλικό οξύ, γιασμονικό οξύ, αιθυλένιο)



## Pathogen-Related (PR) Genes

- Αντιμικροβιακές ιδιότητες
- Μεγάλο πλήθος και σε πολλά φυτικά είδη
- Και διασυστηματική επαγωγή παραγωγής και συσσώρευσής τους
- Ταξινόμηση με βάση την δραστικότητα/λειτουργία αλλά και την ομολογία και μοριακό βάρος
- 14 οικογένειες
- Examples
  - PR-2 : beta-1,3-glucanase
  - PR-3 : chitinase
  - PR-12: defensin



## Τοπική Επικτητη Ανθεκτικότητα

### Local responses and gene activation

Alterations in secondary metabolic pathways

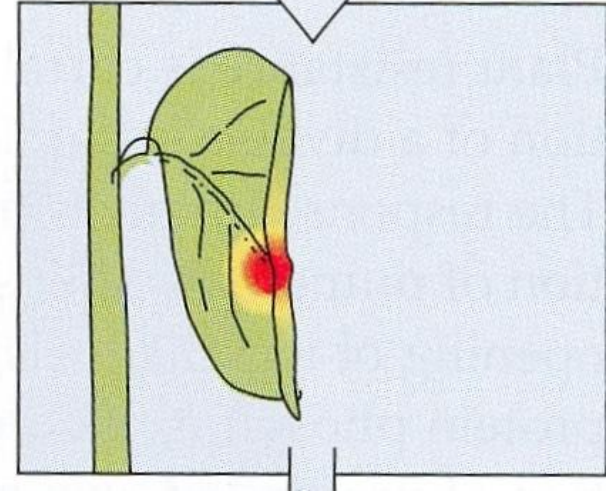
Cessation of cell cycle

Synthesis of pathogenesis-related (PR) proteins

Accumulation of benzoic and salicylic acid

Production of ethylene and jasmonic acid

Fortification of cell walls (lignin, PGIPs, HRGPs)



- ❖ Σύνθεση φυτοαλεξινών
- ❖ Ισχυροποίηση κυτταρικών τοιχωμάτων (καλλόζη, λιγνίνη, σουβερίνη, εξτενσίνες, φαινολικές ουσίες, πυρίτιο, ασβέστιο...)
- ❖ Σύνθεση νέων πρωτεϊνών (Pathogenesis Related-PR proteins)
- ❖ Παραγωγή μορίων-σημάτων συναγερμού (NO, σαλικυλικό οξύ, γιασμονικό οξύ, αιθυλένιο)

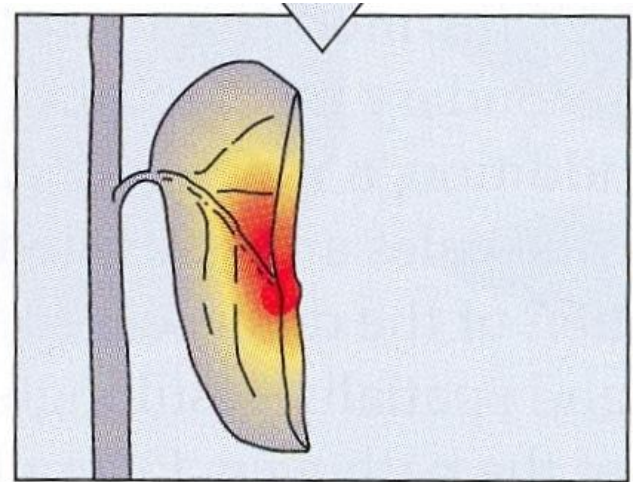
## Systemic responses and gene activation

(1→3) $\beta$ -Glucanases

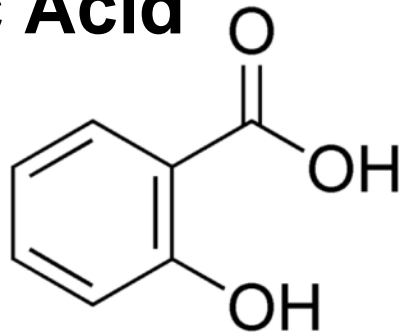
Chitinases

Peroxidases

Synthesis of other PR proteins



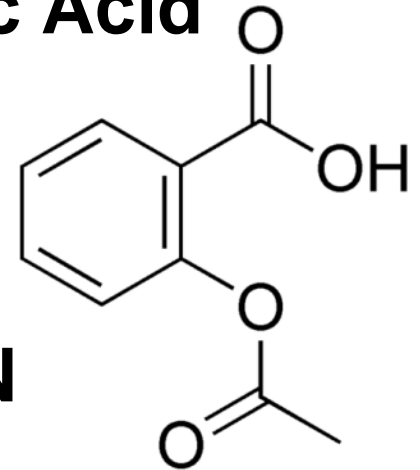
## Salicylic Acid



## Acetylsalicylic Acid



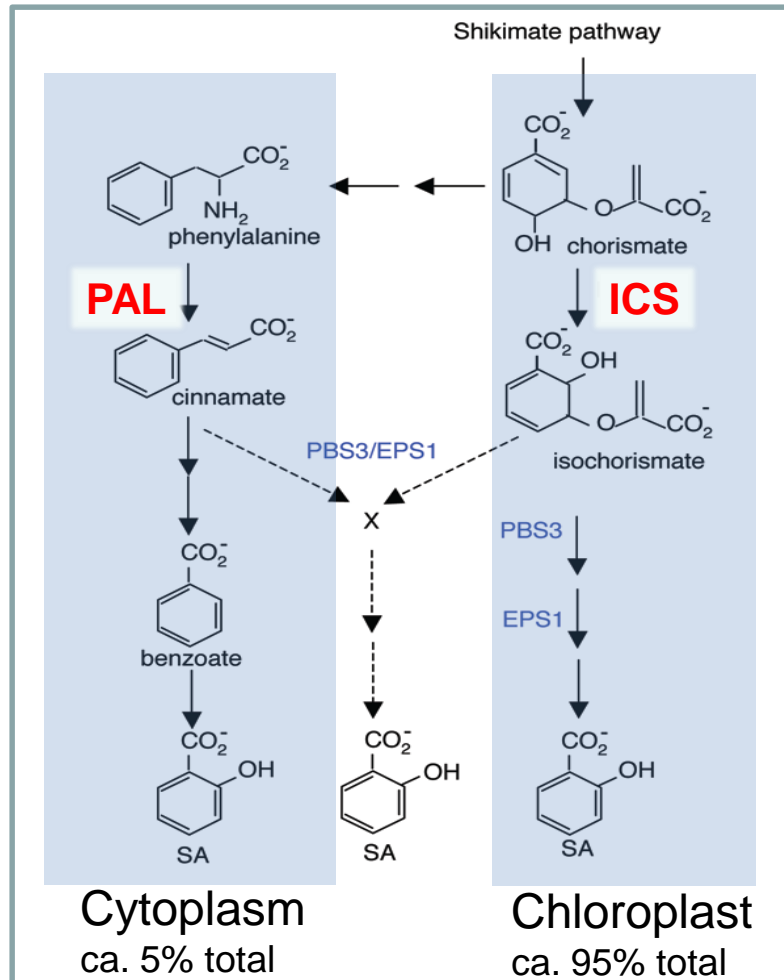
**ASPIRIN**



*Salix alba*

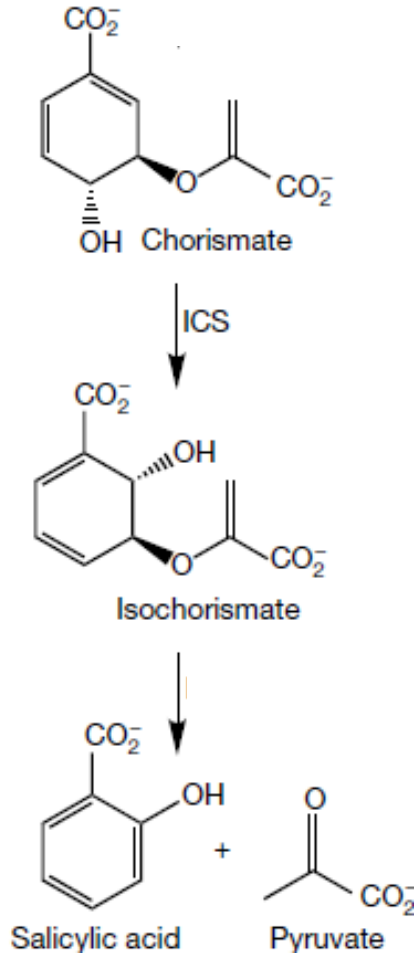


# Βιοσύνθεση SA, μέσω ICS και PAL

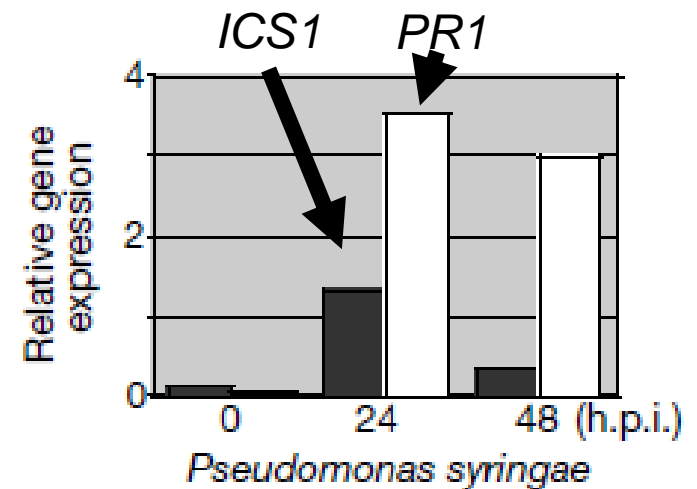
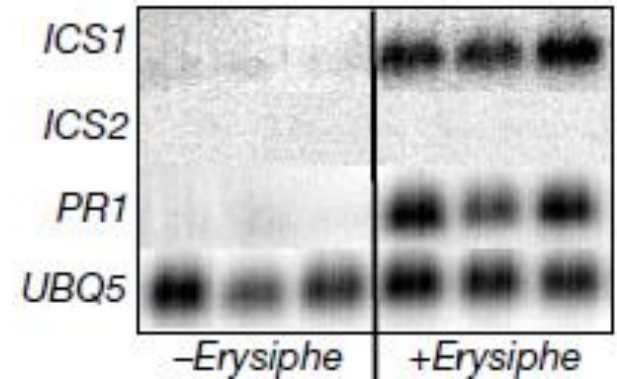


Reprinted with permission from Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai, Z. and Fan, B. (2009). Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signaling & Behavior*. 4: [493-496](#); see also Reprinted from Métraux, J.-P. (2002). Recent breakthroughs in the study of salicylic acid biosynthesis. *Trends in Plant Science* 7: [332-334](#) with permission from Elsevier. .

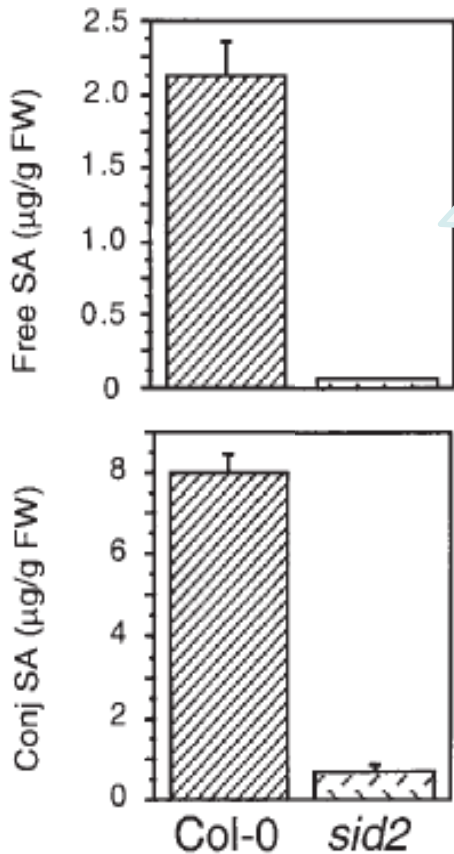
# Το *ICS1* επάγεται παρουσία παθογόνων



Το *PR1* επάγεται από το SA-ως απόκριση στην παρουσία παθογόνου



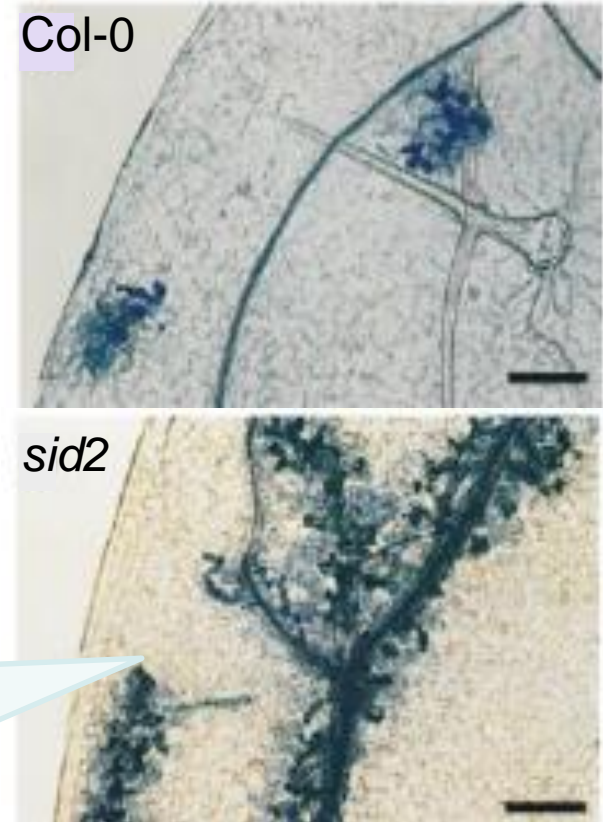
# Μεταλλάγματα στο *ICS1* είναι ευαίσθητα στο παθογόνο



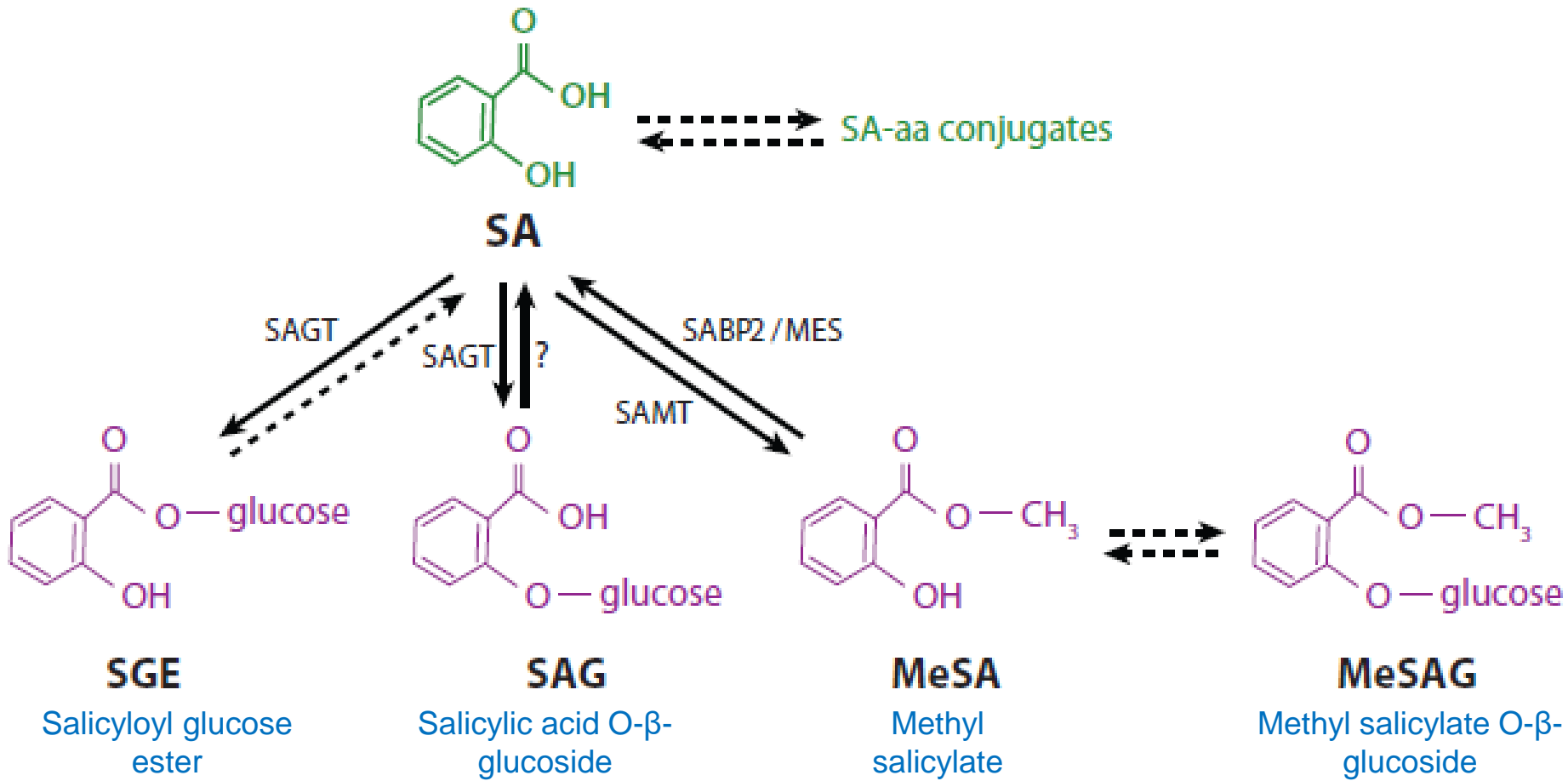
Μειωμένη παραγωγή ελεύθερου και συζευγμένου SA

Τα *sid2* και *eds16* έχουν μεταλλαξη στο *ICS1*

Αυξημένη ανάπτυξη του *Hyaloperonospora arabidopsidis*

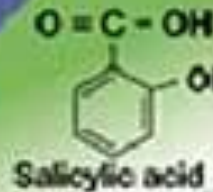
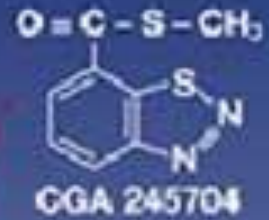


# Σύζευξη



Used with permission from Vlot, A.C., Dempsey, D.M.A., and Klessig, D.F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annu. Rev. Phytopath.* 47: [177-206](#), permission conveyed through Copyright Clearance Center, Inc..

# Επαγωγή άμυνας του φυτού



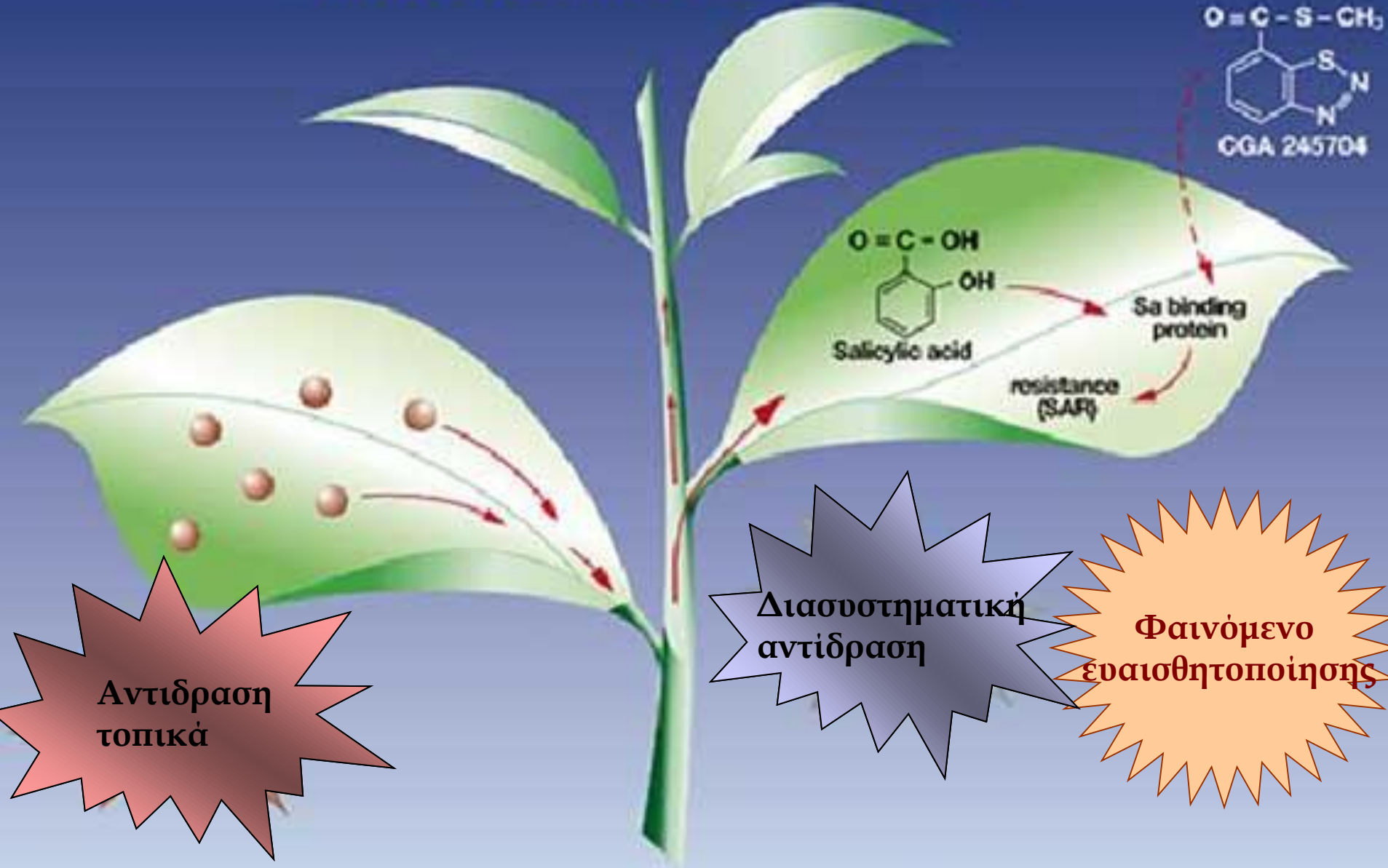
Sa binding protein

resistance (SAR)

Αντίδραση τοπικά

Διασυστηματική αντίδραση

Φαινόμενο ευαισθητοποίησης





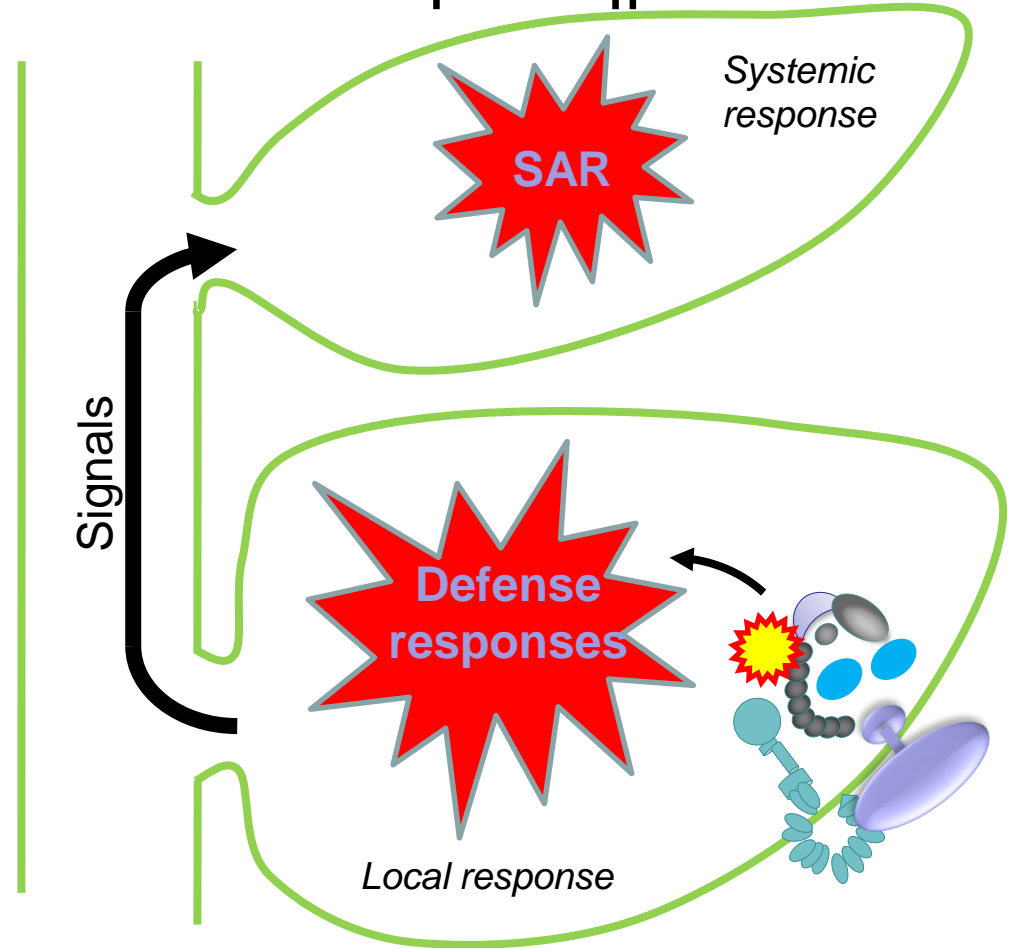
## Διασυστηματική αντοχή

- Επίκτητη διασυστηματική ανθεκτικότητα/ αντοχή  
Systemic acquired resistance (SAR)
- Επαγόμενη διασυστηματική αντοχή / ανθεκτικότητα  
Induced systemic resistance (ISR)

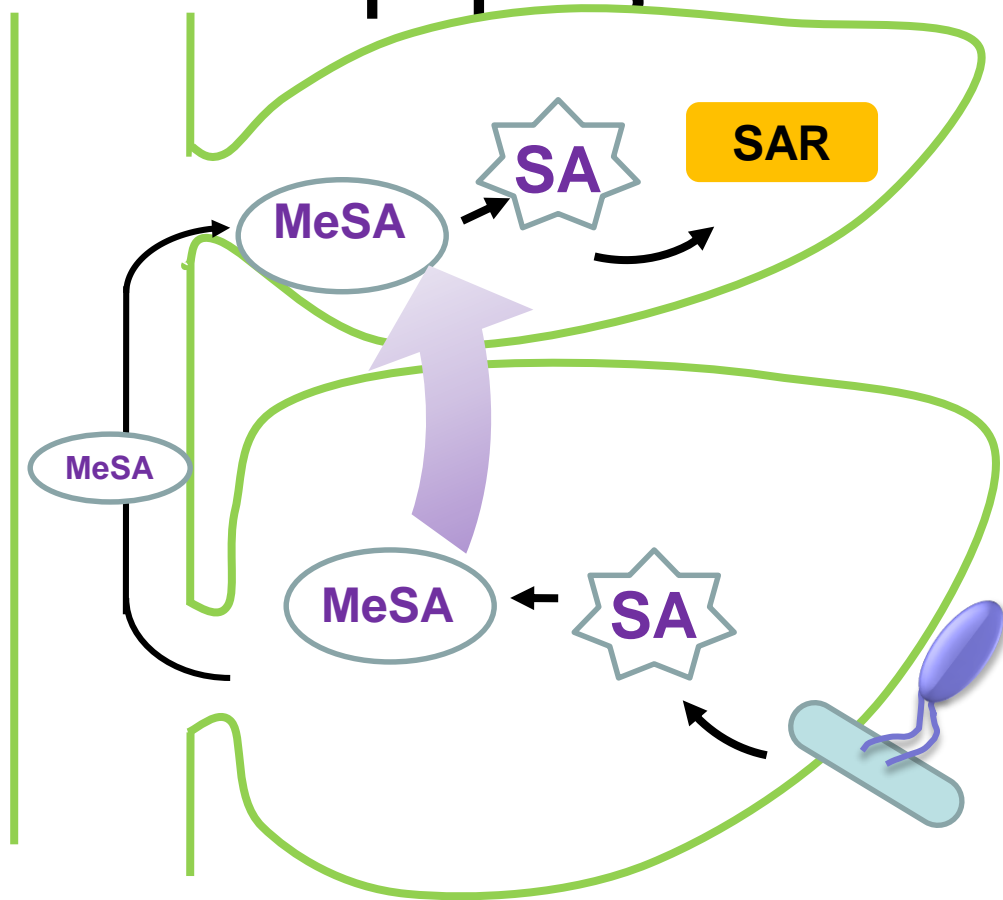
# Επίκτητη διασυστηματική ανθεκτικότητα (SAR)

- Δευτερογενής απόκριση
- Διασυστηματική
- Ανθεκτικότητα
- Εκφραση PR πρωτεϊνών
- Σήματα: SA, JA, αιθυλένιο

# Η επικτητή διασυστηματική ανθεκτικότητα (SAR) διαμεσολαβείται από ένα κινητό σήμα

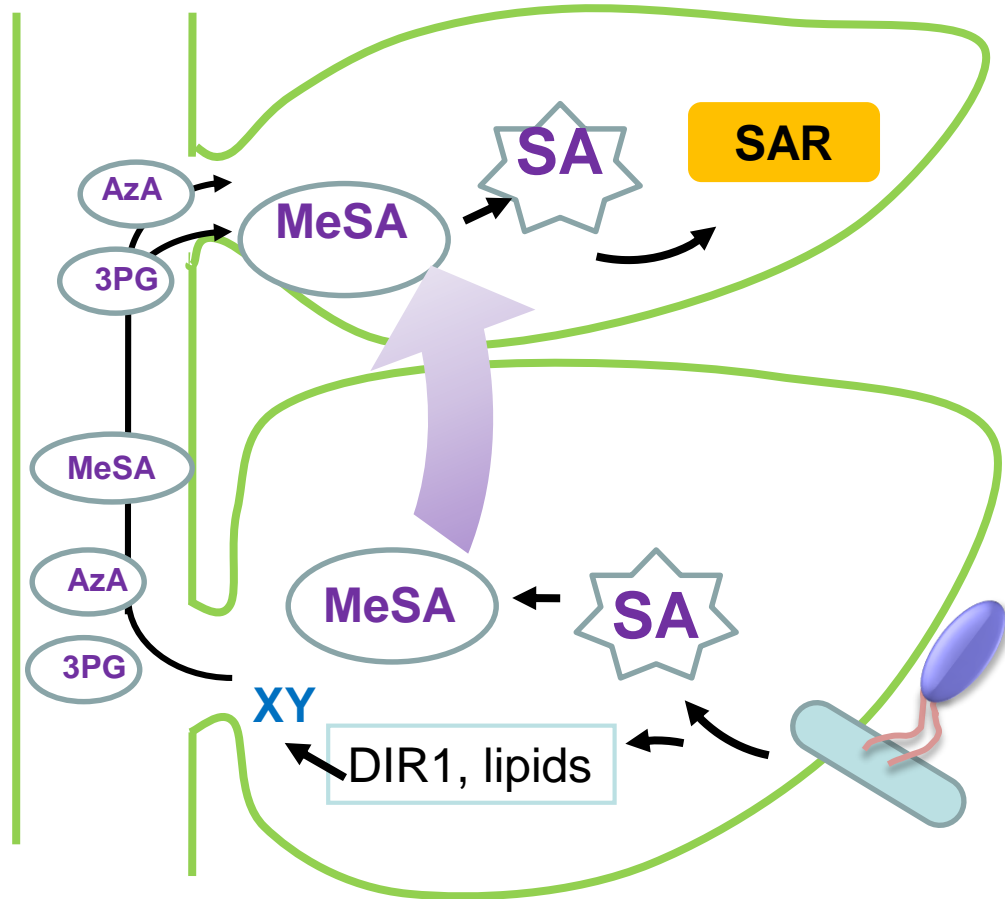


# Το SA είναι ένας από τους διαμεσολαβητές

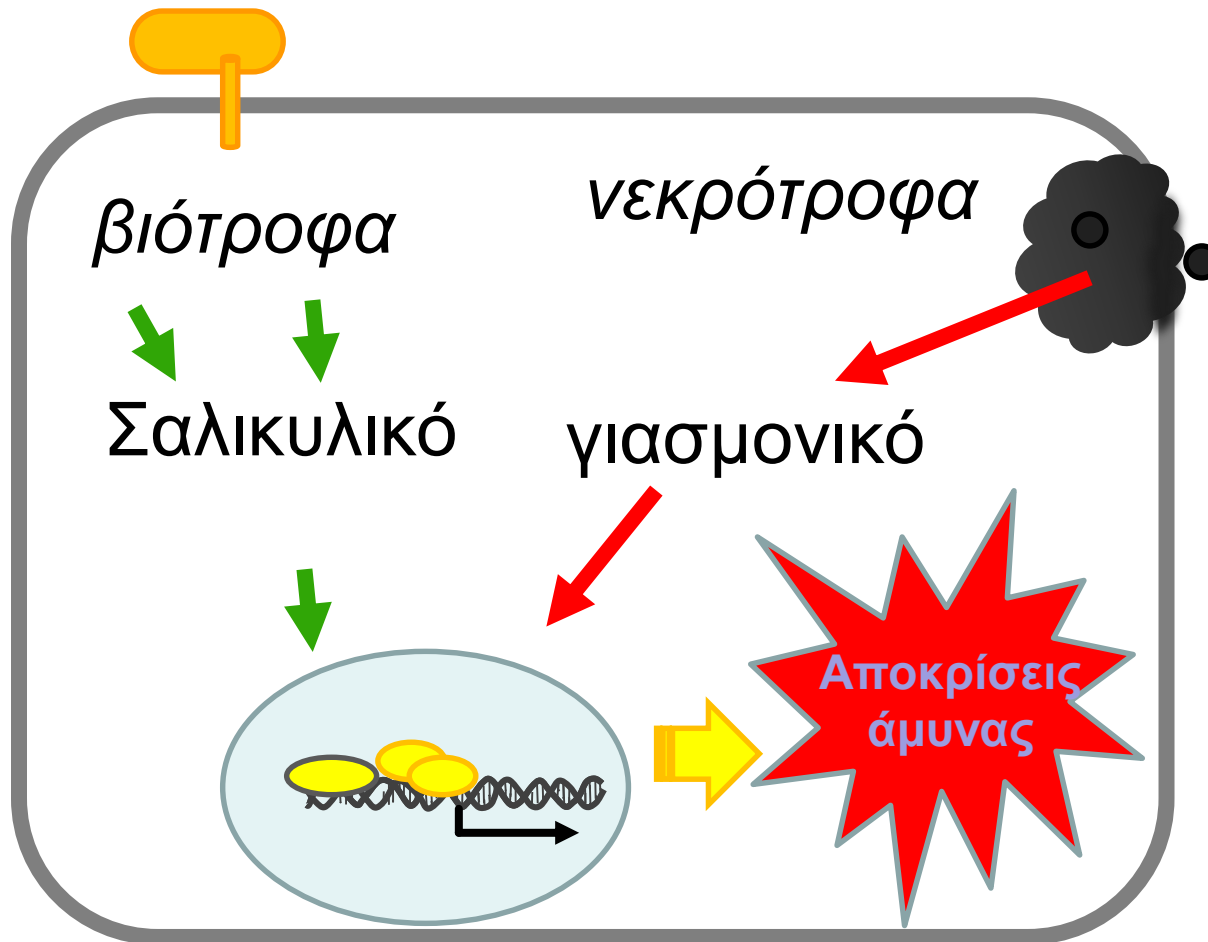


SA is necessary in systemic tissue for SAR, but the nature of the mobile signal(s) is still up in the air

It is likely that multiple signals contribute to SAR



Το γιασμονικό οξύ εμπλεκεται στην άμυνα (κυρίως σε νεκρότροφα παθογόνα και έντομα)

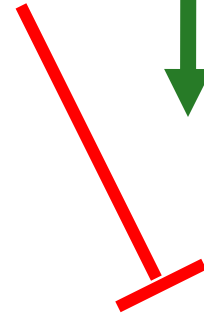
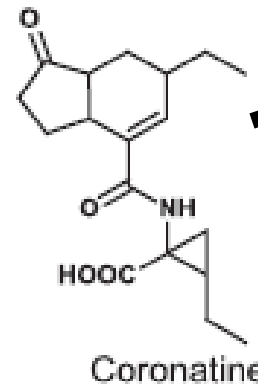


Το SA και JA  
δρουν  
ανταγωνιστικά

Το SA και JA  
δρουν  
ανταγωνιστικά

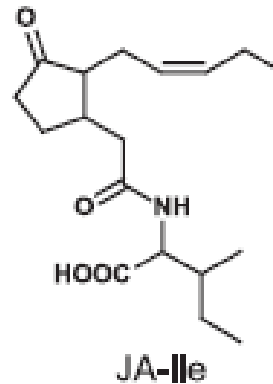
Ένα παραδειγμα

*Pseudomonas syringae*  
παράγει  
coronatine



άμυνα

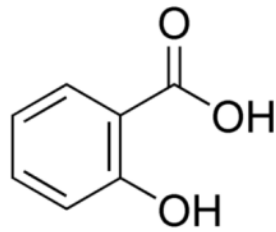
Coronatine παρομοιάζει δομικά το JA-Ile και καταστέλλει την απόκριση άμυνας ενάντια σε βιότροφα παθογόνα, ενισχύοντας την παθογένεια των βακτηρίων που το παράγουν



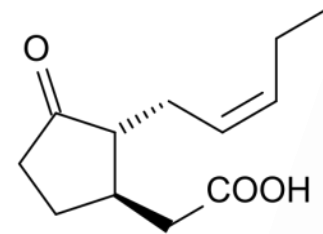
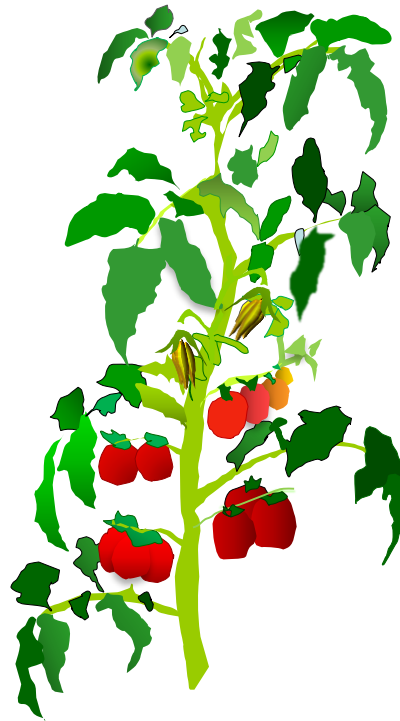
# Ορμονική απόκριση σε βιοτική καταπόνηση



Βακτηρια,  
μύκητες,  
ιοί—  
Βιοτροφοι  
οργανισμοί



Salicylic Acid



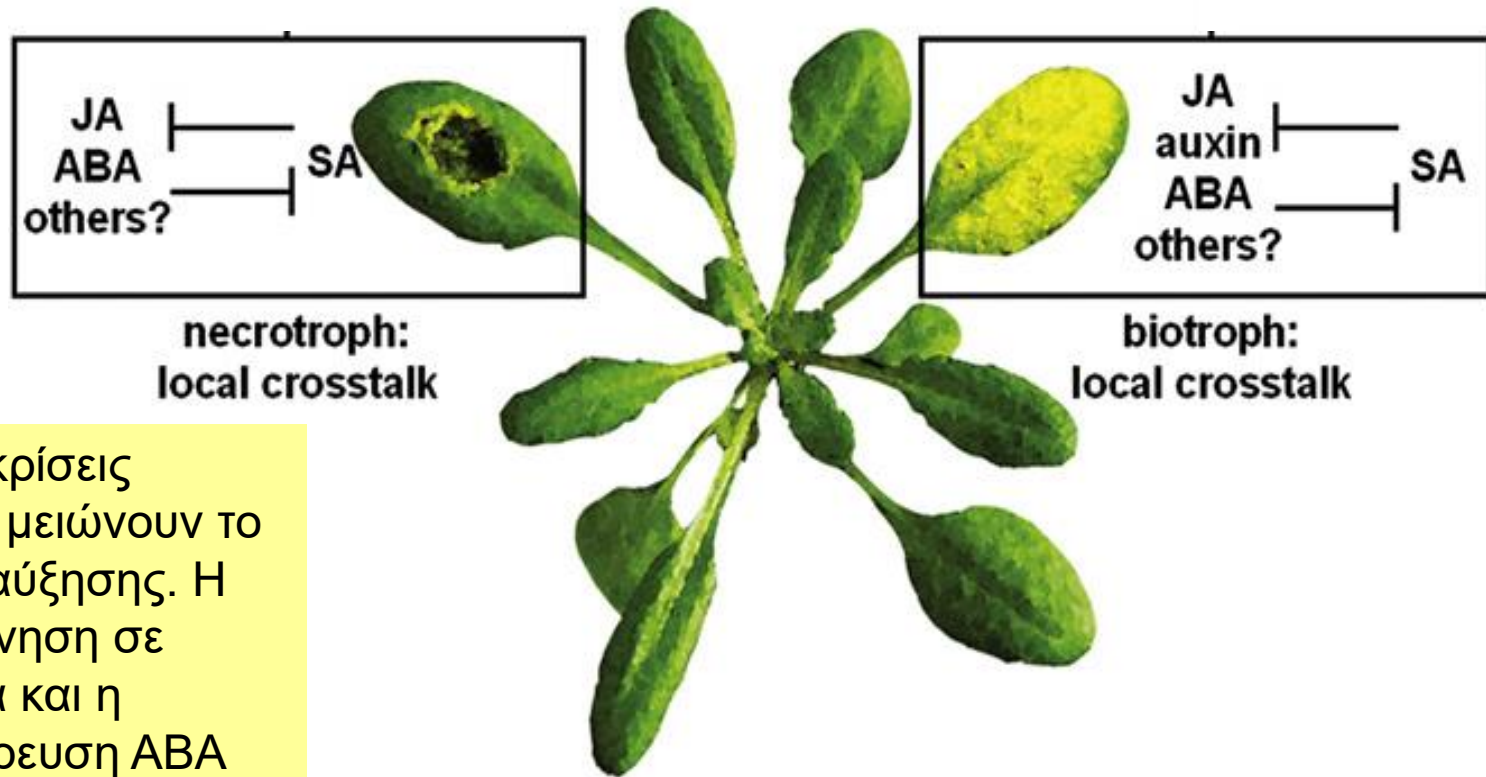
Jasmonates

φυτοφάγα—  
έντομα, μύκητες  
Νεκρότροφοι  
οργανισμοί

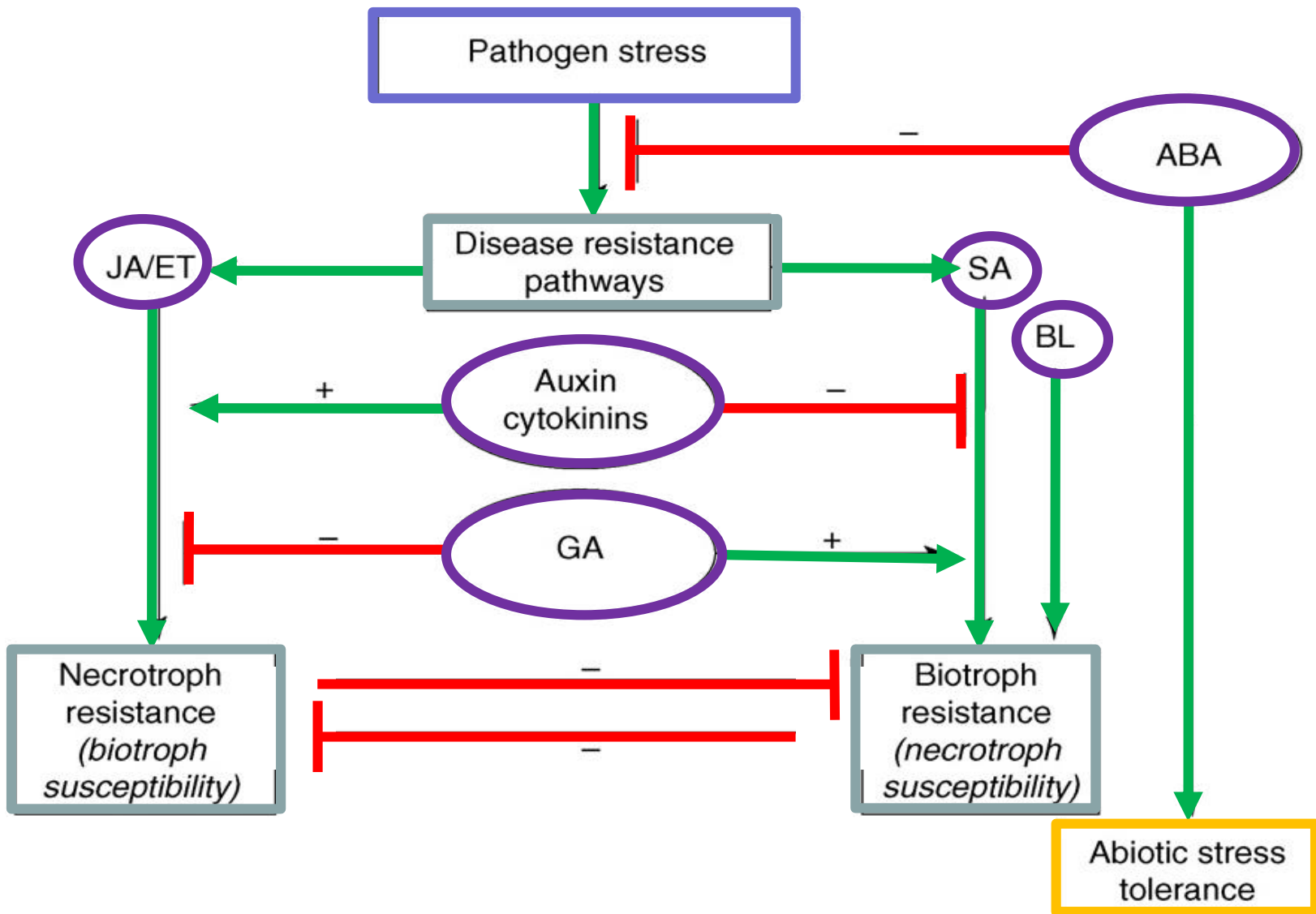




# Τα σηματοδοτικά μονοπάτια άμυνας σε παθογόνα αλληλεπιδρούν με άλλα



Οι αποκρίσεις άμυνας μειώνουν το ρυθμό αύξησης. Η καταπόνηση σε ξηρασία και η συσσώρευση ABA καταστέλλουν τις αποκρίσεις σε παθογόνα



Current Opinion in Plant Biology

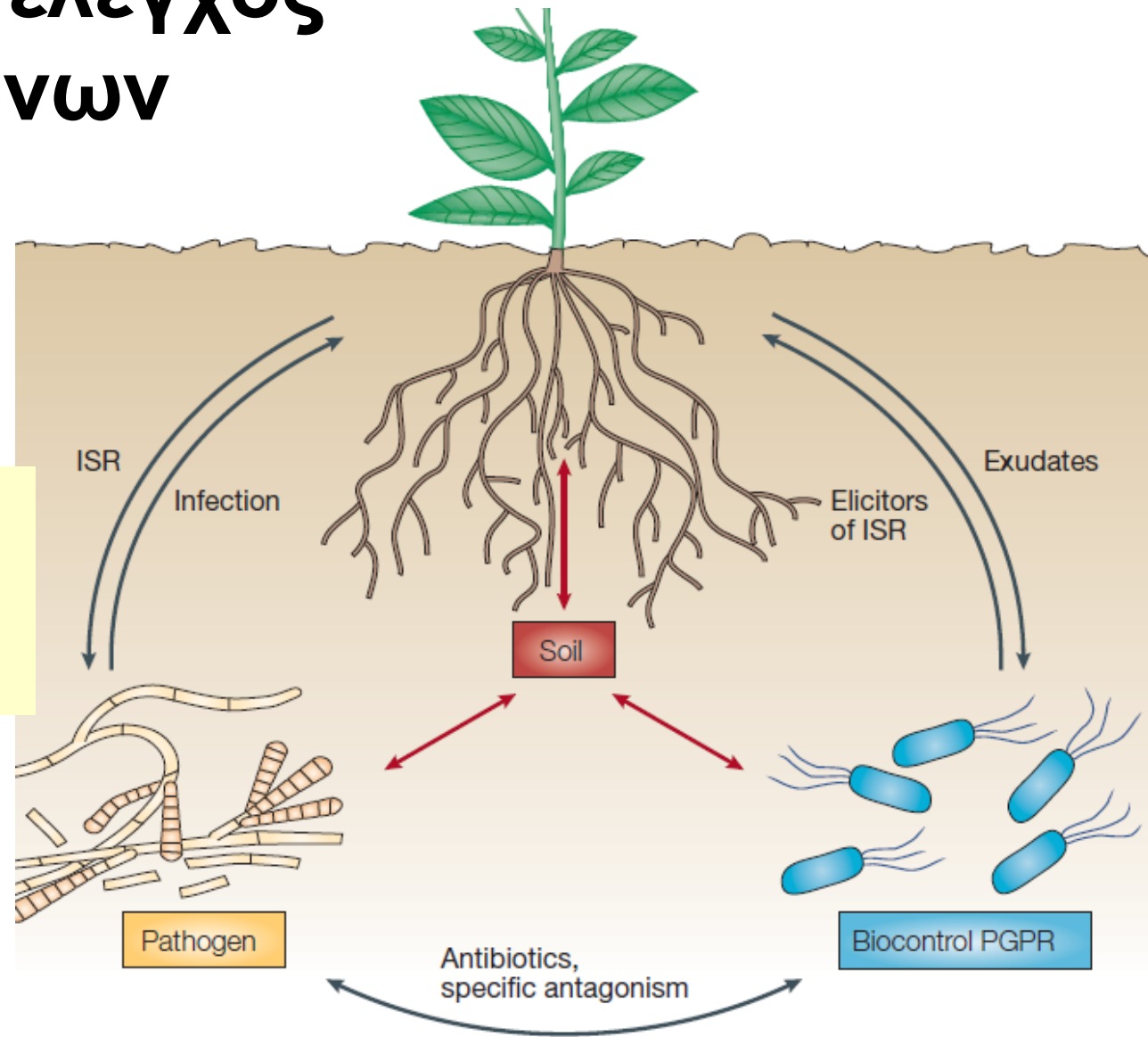
## Διασυστηματική αντοχή

- Επίκτητη διασυστηματική ανθεκτικότητα/ αντοχή  
Systemic acquired resistance (SAR)
- Επαγόμενη διασυστηματική αντοχή / ανθεκτικότητα  
Induced systemic resistance (ISR)

# Βιολογικός έλεγχος παθογόνων

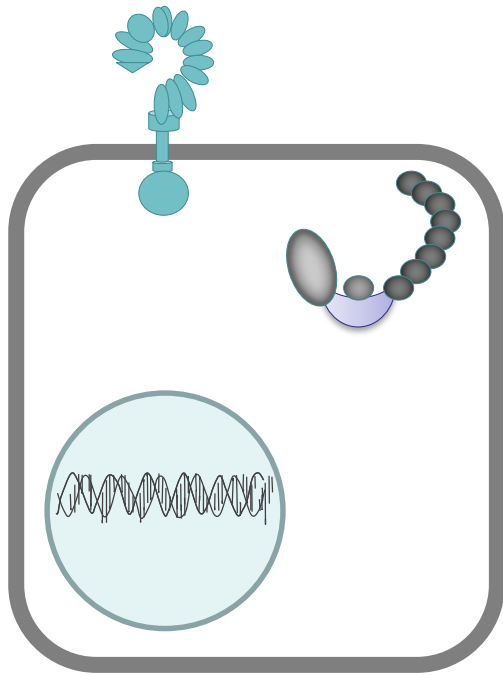
## Biocontrol agents:

- Επάγουν την επίκτητη διασυστημική ανθεκτικότητα (*induced systemic resistance* \_ISR)

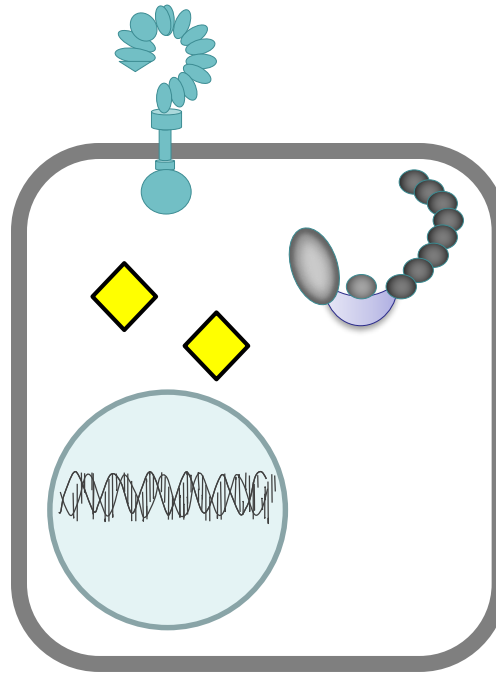


# Biocontrol agents επάγουν τη διασυστηματική άμυνα

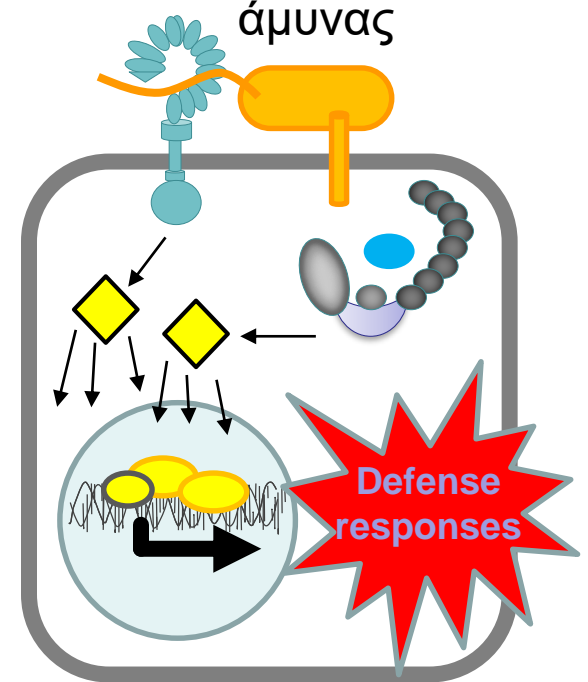
Κανονική κατάσταση



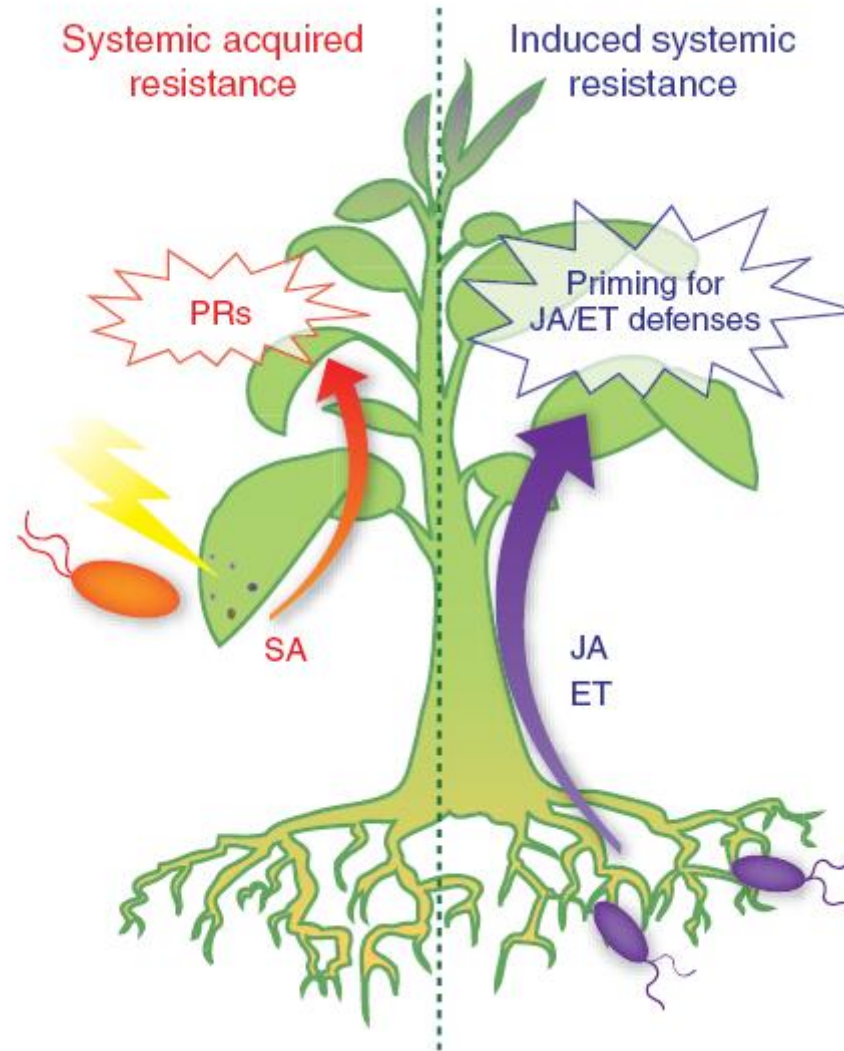
Ενεργοποιημένο κύτταρο με «ενισχυτές σήματος»

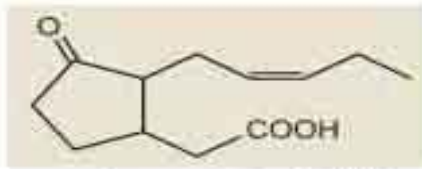


Ενισχυμένη σηματοδότηση με εντονότερη απόκριση άμυνας

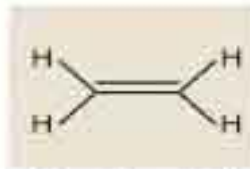


# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΜΥΝΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

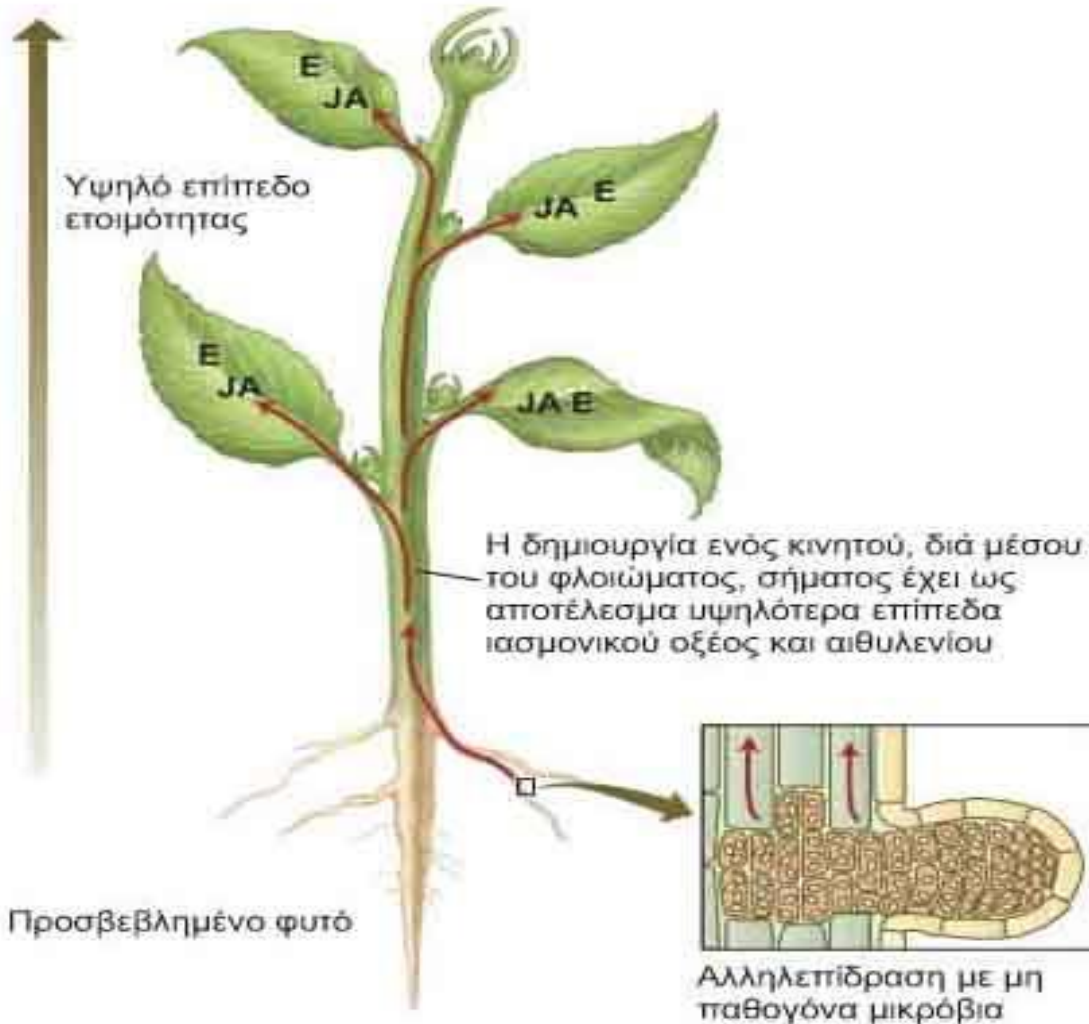




Ιασμονικό οξύ (JA)



Αιθυλένιο (E)



Crosstalk

Αιθυλένιο/ JA

SA

Jasmonic-acid dependent

Salicylic-acid dependent

Pathogen infection and necrosis

Pathogen infection and necrosis

↑ Jasmonic acid and ethylene

↑ Salicylic acid

Wounding by insects

↑ Pathogenesis-related proteins

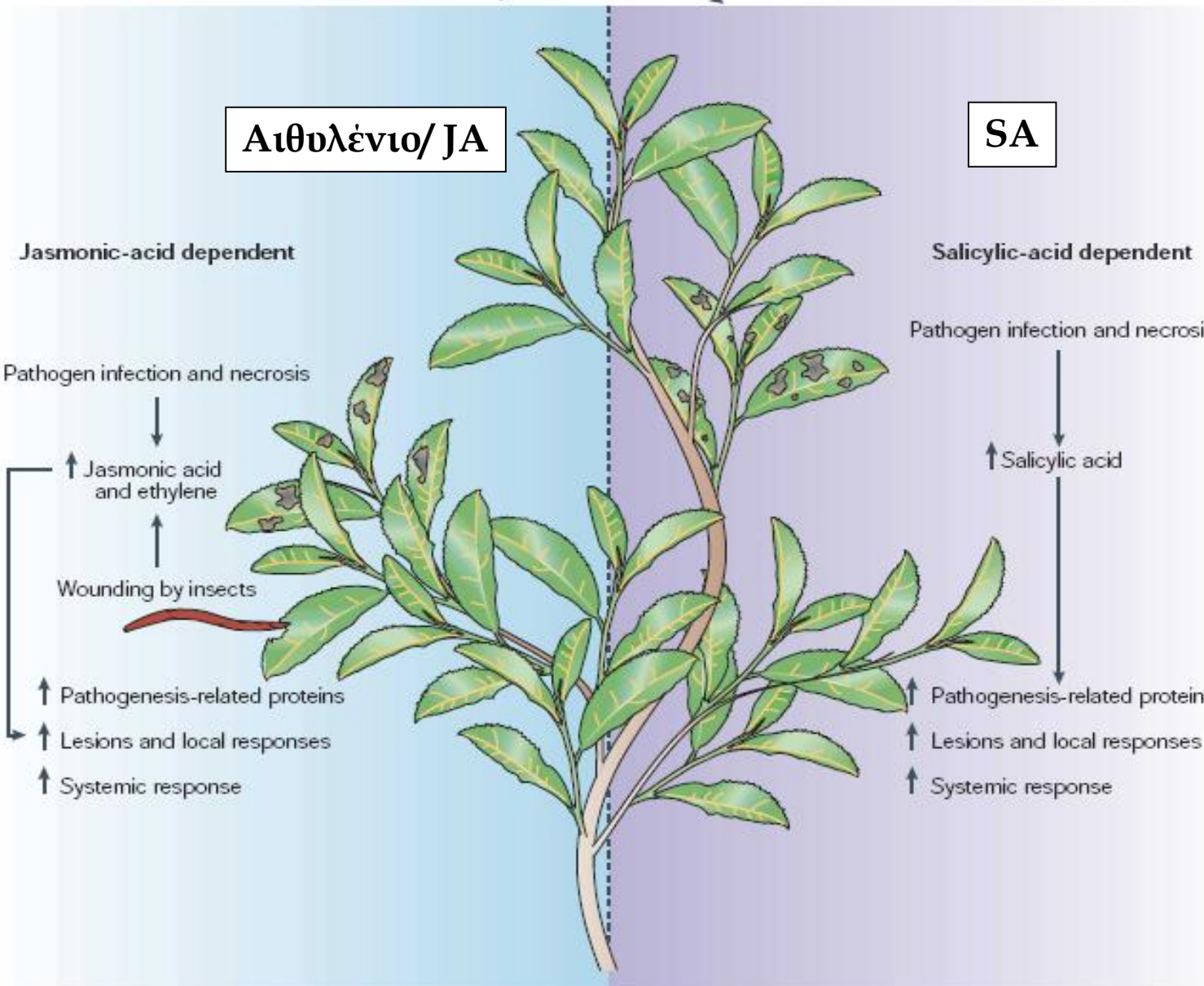
↑ Pathogenesis-related proteins

↑ Lesions and local responses

↑ Lesions and local responses

↑ Systemic response

↑ Systemic response



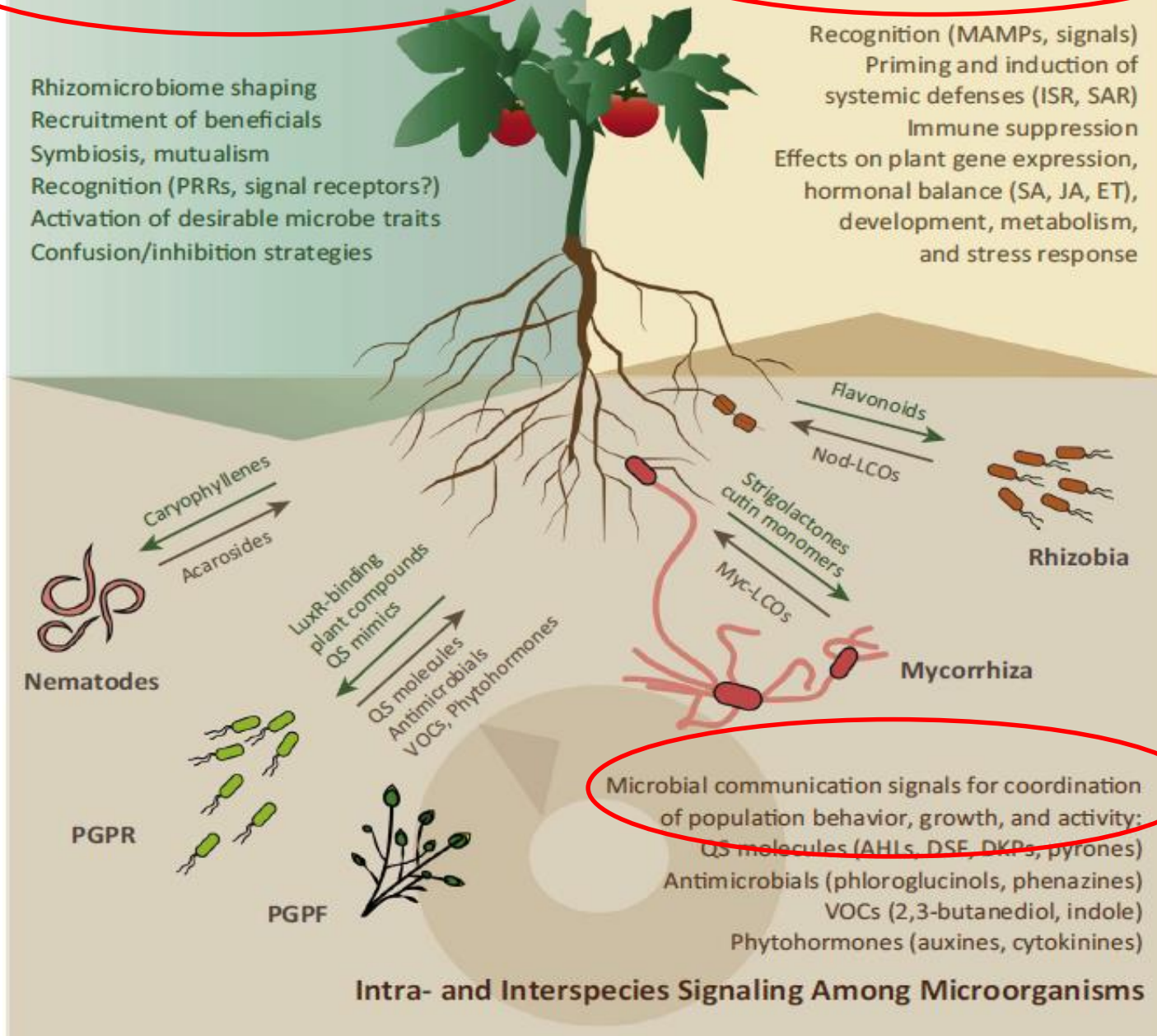


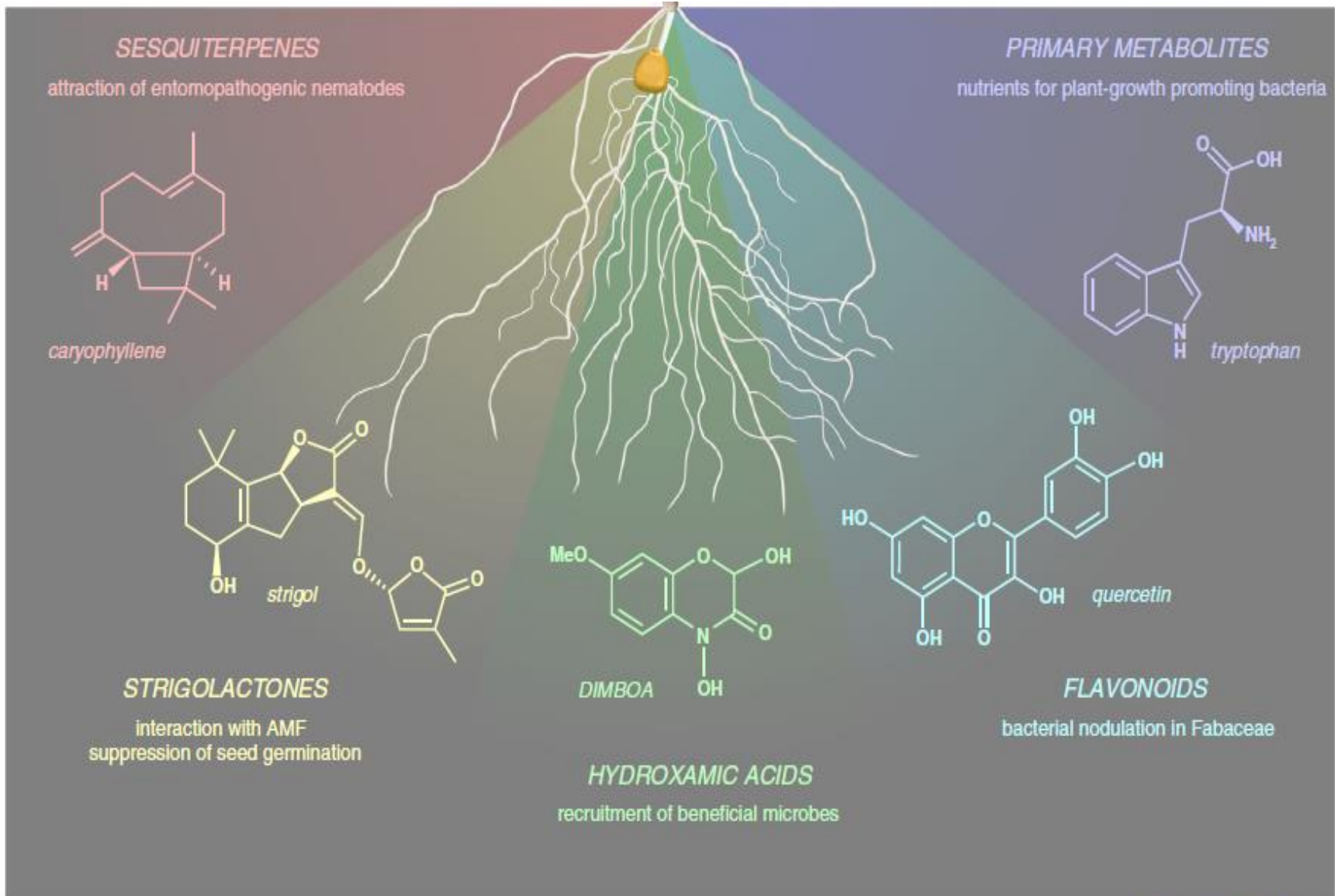
## Plant–Microorganism Signaling

Rhizomicrobiome shaping  
Recruitment of beneficials  
Symbiosis, mutualism  
Recognition (PRRs, signal receptors?)  
Activation of desirable microbe traits  
Confusion/inhibition strategies

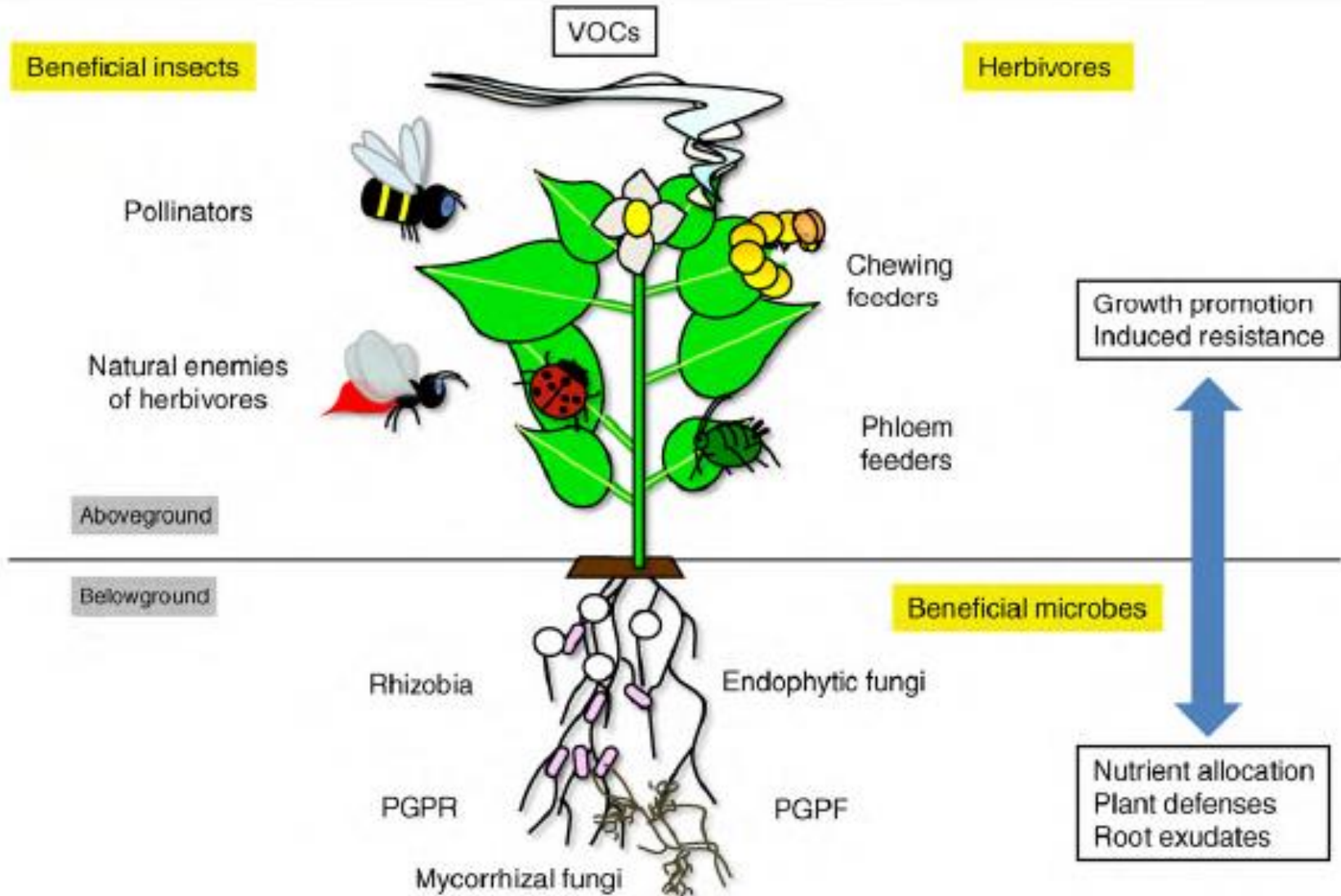
## Microorganism–Plant Signaling

Recognition (MAMPs, signals)  
Priming and induction of systemic defenses (ISR, SAR)  
Immune suppression  
Effects on plant gene expression, hormonal balance (SA, JA, ET), development, metabolism, and stress response

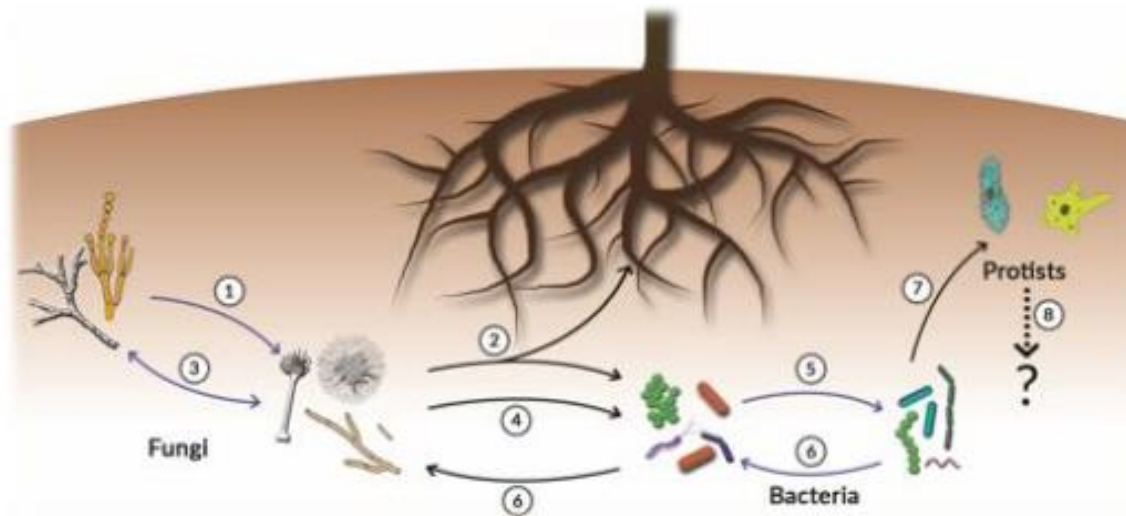




# Πτητικές ενώσεις άμυνας



## Volatiles play important role in belowground interactions



*Schulz-Bohm et al., (2017) Frontiers in Microbiology*

*Schmidt et al., 2015 ISME Journal*