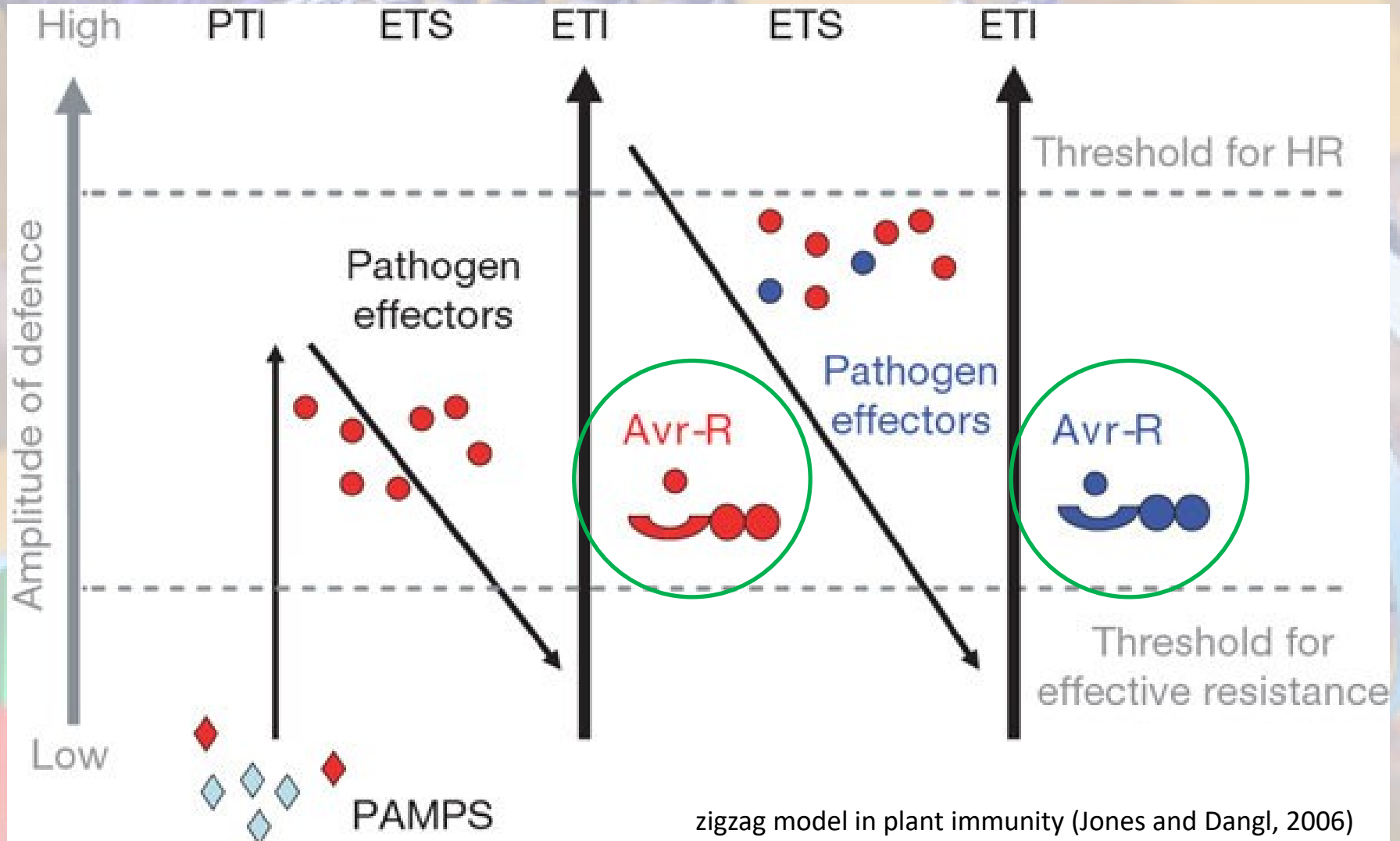


The background features a stylized illustration of a DNA double helix in shades of blue and green, with various protein structures in purple and grey. The overall aesthetic is scientific and modern.

# Μοριακές αλληλεπιδράσεις φυτών μικροοργανισμών

Ευαγγελία Σιναπίδου,  
Αν. καθηγήτρια,  
Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης, ΔΠΘ

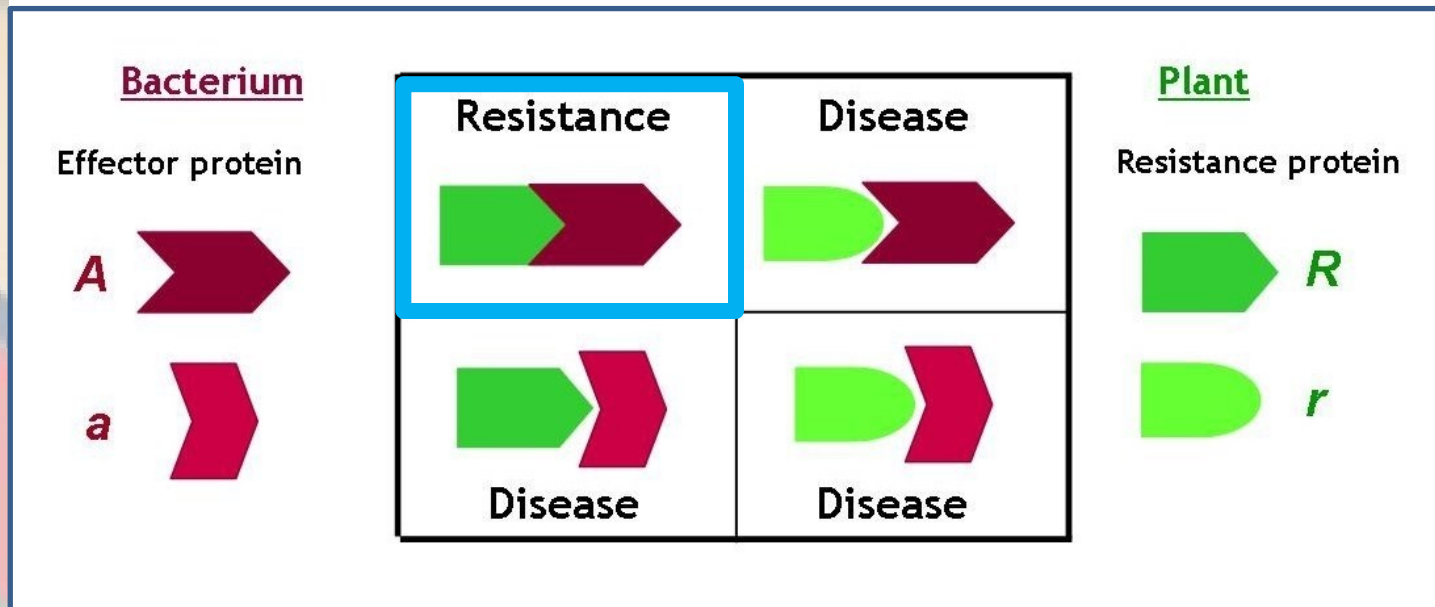
# Το μοντέλο zigzag του «ανοσοποιητικού συστήματος» των φυτών



zigzag model in plant immunity (Jones and Dangl, 2006)

## The Gene-for-Gene Model of Plant Immunity

<b>Bacterium</b>	<b>Plant</b> Resistance gene	<i>R</i>	<i>r</i>
	Effector gene		
	<i>A</i>	Resistance	Disease
	<i>a</i>	Disease	Disease



# Agroinfiltration

- Προσωρινή έκφραση των πρωτεϊνών (transient expression)



Εύκολα,

ανάλυση πολλών δειγμάτων

γρήγορα,

σε ελεγχόμενες συνθήκες

ασφάλεια

χωρίς την επίδραση της θέσης στο γονιδίωμα

# Μεθοδολογία

1. Ανάπτυξη φυτών (*Nicotiana benthamiana*) στα 8 φύλλα
2. Ανάπτυξη του *Agrobacterium tumefaciens* με το επιθυμητό γονίδιο όλο το βράδυ
3. Εφαρμογή διαλύματος του βακτηρίου με σύριγγα στην κάτω πλευρά του φύλλου του φυτού
4. Έλεγχος των συμπτωμάτων στα φύλλα σε 2-3 ημέρες

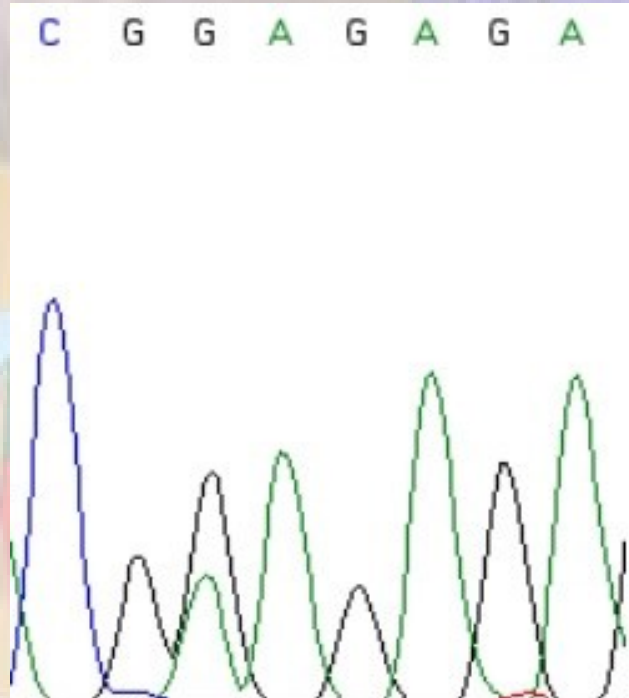
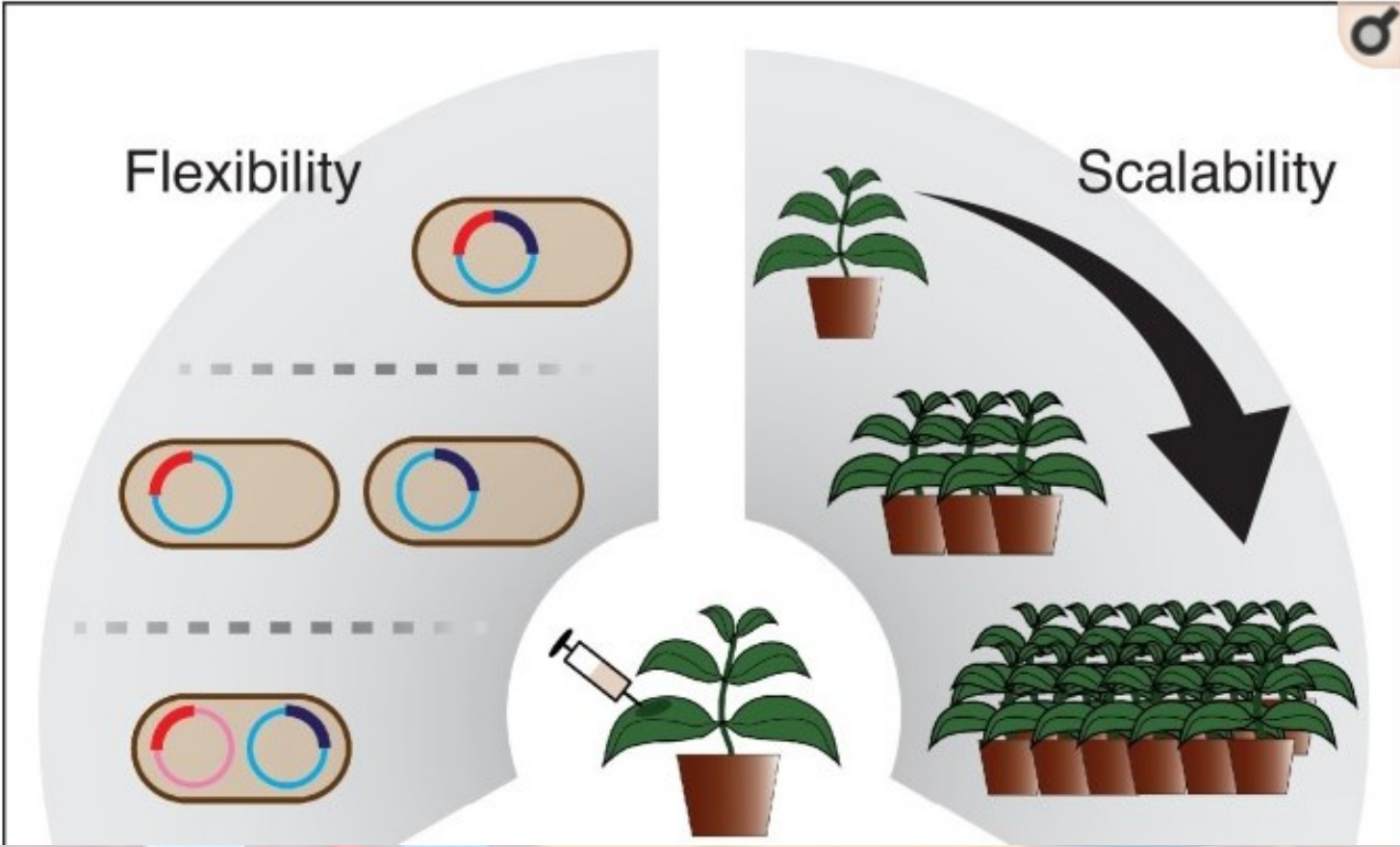


Figure 1



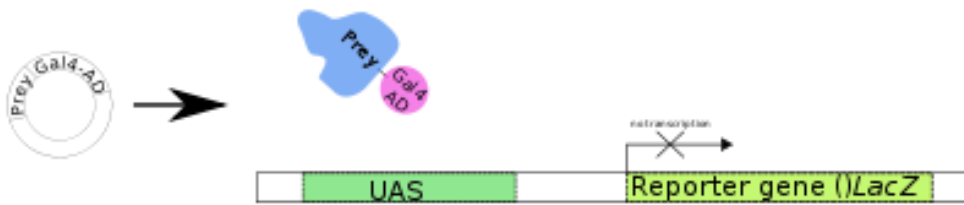




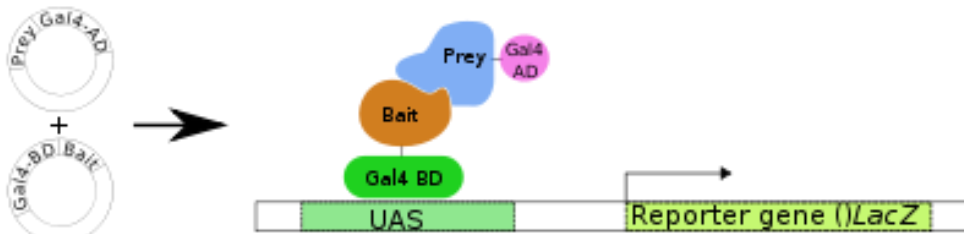
A. Regular transcription of the reporter gene



B. One fusion protein only (Gal4-BD + Bait) - no transcription

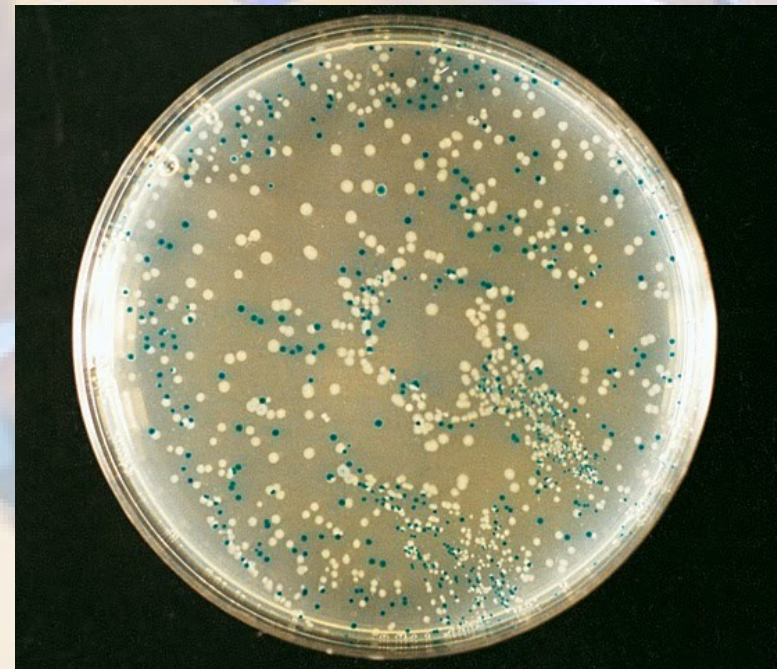
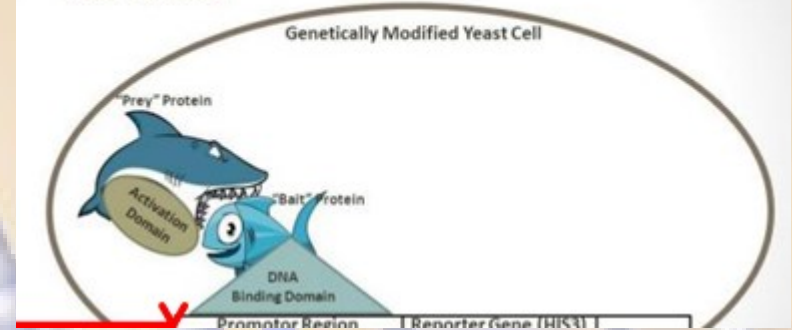


C. One fusion protein only (Gal4-AD + Prey) - no transcription

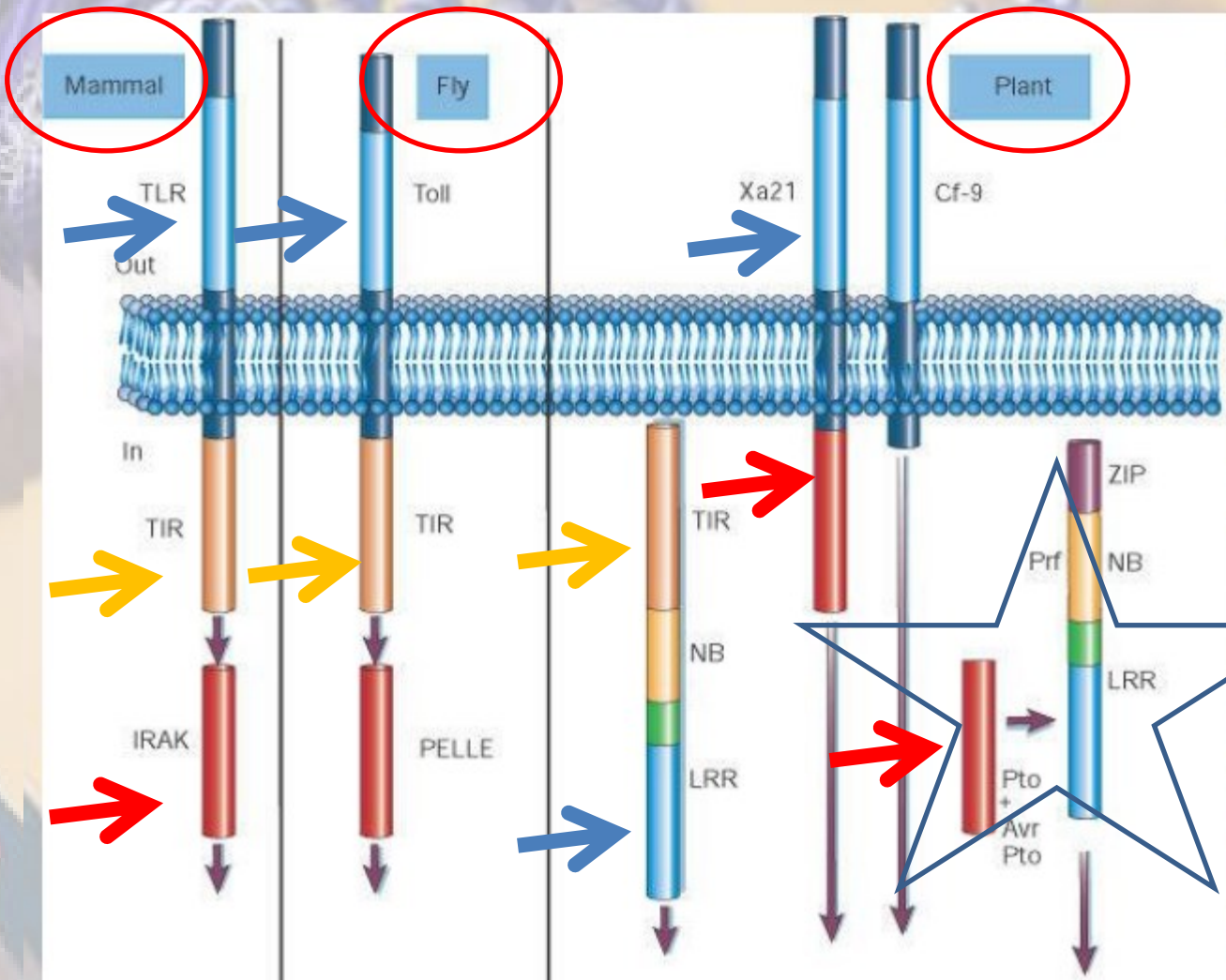


D. Two fusion proteins with interacting Bait and Prey

## Yeast Two Hybrid (Y2H) Method



Jeffery L. Dangl and Jonathan D. G. Jones  
Nature 411, 826-833(14 June 2001)  
doi:10.1038/35081161





# Ενεργοποίηση της μετάδοσης σημάτων

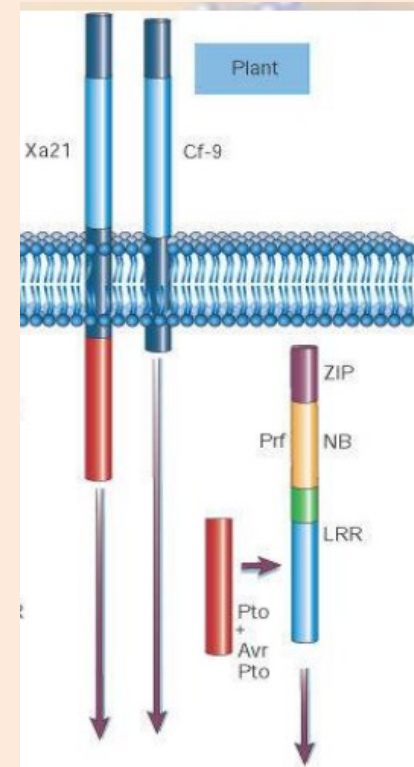
- **Πείραμα:** προσωρινή έκφραση σε φυτά καπνού (transient expression in *N. bentamiana*) μεταλλαγμένων NB-LRR πρωτεϊνών (χωρίς την LRR περιοχή)
- → Πρόκληση HR (αντίδραση υπερευαισθησίας) απουσία του παθογόνου-διεγέρτη (Avr) σε πολλές περιπτώσεις
- Η NB-LRR περιοχή συμμετέχει στη μετάδοση σημάτων (signalling)
- Η διαγραφή της LRR δεν οδηγεί πάντα στην πρόκληση υπερευαισθησίας απουσία του διεγέρτη
- **Αλλαγές σε λίγα αμινοξέα** (point mutation) στην LRR περιοχή οδηγούν σε πρόκληση υπερευαισθησίας απουσία του διεγέρτη
- Η LRR περιοχή συμμετέχει στην ενεργοποίηση (activation) της μετάδοσης των σημάτων

# Ενεργοποίηση της μετάδοσης σημάτων

- Πειράματα με την Rx (πρωτεΐνη της πατάτας για αντοχή στον ιό X)
- Πρόκληση HR (αντίδραση υπερευαισθησίας) απουσία του παθογόνου-διεγέρτη (Anr) με τη χρήση ενός τμήματος της πρωτεΐνης: της NB περιοχής
- Η ARC1 περιοχή «αναγκάζει» την LRR περιοχή να αλληλεπιδρά με το αμινικό άκρο της R πρωτεΐνης
- → Η R πρωτεΐνη απουσία του διεγέρτη παραμένει σε αδράνεια λόγω της «αναγκαστικής» αλληλεπίδρασης ανάμεσα στις περιοχές ARC και LRR
- Η αναγνώριση του διεγέρτη (Anr) αλλάζει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στις περιοχές ARC2 και LRR
- → Η ARC2 περιοχή είναι ο διακόπτης που «απελευθερώνει» τις αναγκαστικές πρωτεϊνικές αλληλεπιδράσεις και ενεργοποιεί την πρωτεΐνη για ν' ακολουθήσει η μετάδοση των σημάτων μέσω της NB περιοχής

# Μετάδοση σημάτων: *Pto-AvrPto*

- Η σχέση ανάμεσα στα γονίδια *AvrPto*, *Pto* και *Prf* αποτελεί κλασικό παράδειγμα για τη μετάδοση σημάτων στην αντοχή των φυτών
- Η *Pto* είναι μια πρωτεϊνική κινάση (protein kinase) της τομάτας που αναγνωρίζει τον ειδικό διεγέρτη *AvrPto* του *Pseudomonas syringae* pv *tomato*
- Μία επιπλέον NB-ARC-LRR πρωτεΐνη, η *Prf*, είναι απαραίτητη για την εκδήλωση αντοχής στο *P. syringae* που φέρει τον *AvrPto* διεγέρτη



35S:*Pto*  
+  
*EV*

Pro<sub>*Pto*</sub>:*Pto*  
+  
*EV*



35S:*Pto*  
+  
35S:*Prf*

Pro<sub>*Pto*</sub>:*Pto*  
+  
35S:*Prf*

*EV*  
+  
35S:*Prf*

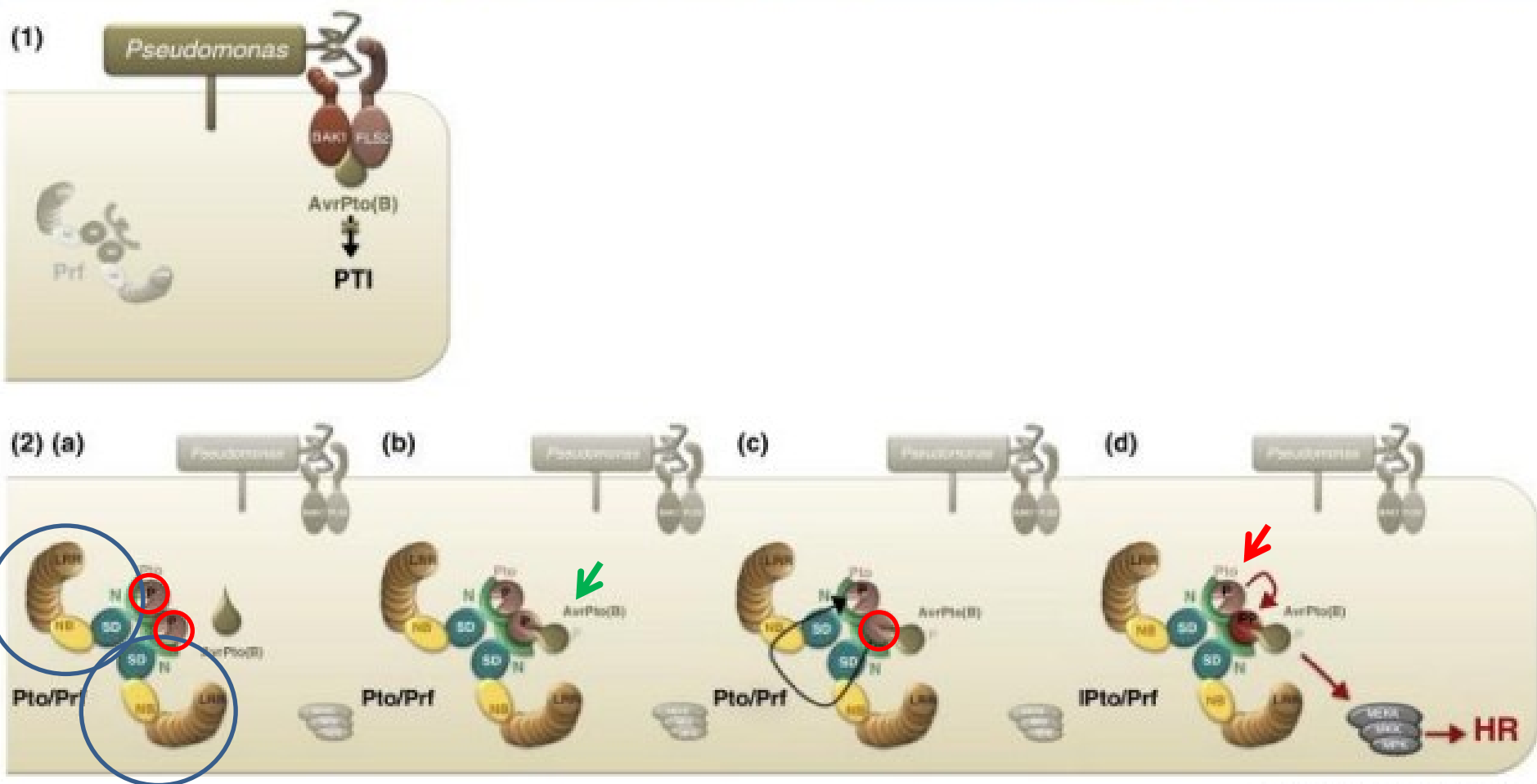
## Μετάδοση σημάτων: *Pto-AnrPto*

- Στο ίδιο χρωμόσωμα, στην ίδια ομάδα (cluster) με το *Pto* βρίσκεται το γονίδιο *Fen*, που προκαλεί ευαισθησία στο εντομοκτόνο fenthion
- Παρόλο που τα γονίδια *Pto* και *Fen* είναι συνδεδεμένα, πειράματα με μεταλλάξεις απέδειξαν ότι η αντοχή μέσω της αναγνώριση του *AnrPto* από το *Pto* είναι ανεξάρτητη από την ευαισθησία στο fenthion
- Οι πρωτεΐνες *Fen* και *Pto* έχουν 87% ομοιότητα στην αλληλουχία των αμινοξέων τους (1994)
- Και οι δύο πρωτεΐνες *Fen* και *Pto* χρειάζονται την *Prf* για να λειτουργήσουν (1996)
- Η *Pto* λειτουργεί ως ρυθμιστική υπομονάδα της *Prf* και
- Η *Prf* συμβάλλει στη λειτουργία αναγνώρισης της *Pto* (2006)

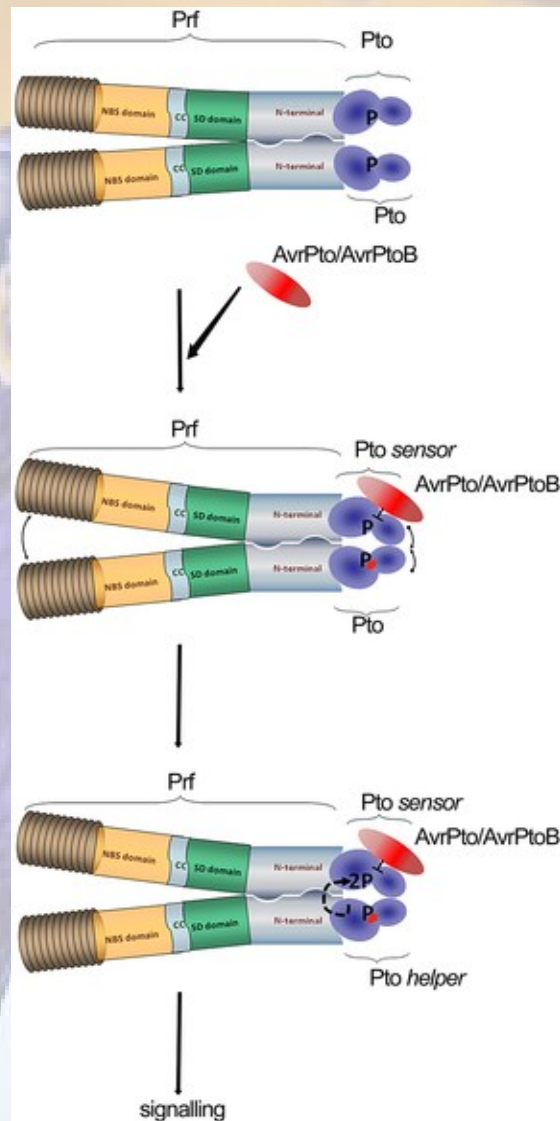


# The changing of the guard: the Pto/Prf receptor complex of tomato and pathogen recognition

Current Opinion in Plant Biology  
Volume 20, 2014, Pages 69-74



## Model of sensor and helper kinases.



Ntoukakis V, Balmuth AL, Mucyn TS, Gutierrez JR, Jones AME, et al. (2013) The Tomato Prf Complex Is a Molecular Trap for Bacterial Effectors Based on Pto Transphosphorylation. PLOS Pathogens 9(1): e1003123. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003123>  
<https://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1003123>

# Μετάδοση σημάτων: NB-LRR

- Κάποια *R* γονίδια δεν κωδικοποιούν πρωτεΐνες αναγνώρισης, αλλά πρωτεΐνες που συνεργάζονται με ένα R-Anr ζεύγος πρωτεϊνών
- Η NRC1 του καπνού (*N. benthamiana*) είναι μια CC-NB-LRR πρωτεΐνη
- Βρέθηκε ότι είναι απαραίτητη για την έκφραση της αντίδρασης υπερευαισθησίας (HR) που προκαλείται από διαφορετικά *R* γονίδια μετά την αναγνώριση Anr πρωτεϊνών (διεγέρτες)
- Είναι ενδιαφέρον ότι αυτό παρατηρήθηκε για πρωτεΐνες με εξω-κυτταρική LRR περιοχή (*Cf-4*, *Cf-9*) και ενδο-κυτταρικές NB-LRR πρωτεΐνες χωρίς TIR περιοχή [Rx, Mi-1, Prf(Pto)]
- Ωστόσο, η CC-NB-LRR πρωτεΐνη NRC1 βρέθηκε ότι συμμετέχει στην αντοχή στον TMV μέσω της TIR-NB-LRR πρωτεΐνης N

## Μετάδοση σημάτων: ένα γονίδιο-πολλές πρωτεΐνες

- Διαφορετικές πρωτεΐνες από το ίδιο γονίδιο - προϊόντα εναλλακτικού ματίσματος (alternative splice products) μπορεί να συμμετέχουν:
  - σε σύμπλοκα απαραίτητα για την αναγνώριση ή/και τη μετάδοση σημάτων ή
  - τη ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων αντοχής
- Το γονίδιο *RPS4* του *Arabidopsis thaliana* μπορεί να παράγει περισσότερες από μία πρωτεΐνες όταν ενεργοποιούνται μηχανισμοί άμυνας
- Διαγραφή ακόμη και ενός εσωνίου του *RPS4* επέδρασε αρνητικά στη λειτουργία του, αποδεικνύοντας το ρόλο των διαφορετικών πρωτεϊνών που παράγονται από αυτό
- Ακόμη διαφορετικές πρωτεΐνες είχαν διαφορετική σταθερότητα
- → Η λειτουργία του γονιδίου βρίσκεται κάτω από πολλαπλό έλεγχο  
→ μπορεί η δράση του να συντονιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια

## Μετάδοση σημάτων: ένα γονίδιο-πολλές πρωτεΐνες

- Το γονίδιο *N* του καπνού παράγει δύο διαφορετικές πρωτεΐνες (splice variants) που απαιτούνται για την αντοχή στον TMV μέσω αναγνώρισης του διεγέρτη
- Η συγκέντρωση της δεύτερης πρωτεΐνης αυξάνεται ανάλογα με τη συγκέντρωση του διεγέρτη




# Μη τυπικά *R* γονίδια

- Η πλειοψηφία των *R* γονιδίων κωδικοποιεί πρωτεΐνες που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν
- Αυτό επιτρέπει τον εντοπισμό ομόλογων *R* γονιδίων χωρίς να είναι γνωστό ποια σχέση γονίδιο-προς-γονίδιο διέπουν
- Υπάρχουν όμως και *R* γονίδια που κωδικοποιούν πρωτεΐνες που δεν ανήκουν σε καμία «τυπική» κατηγορία

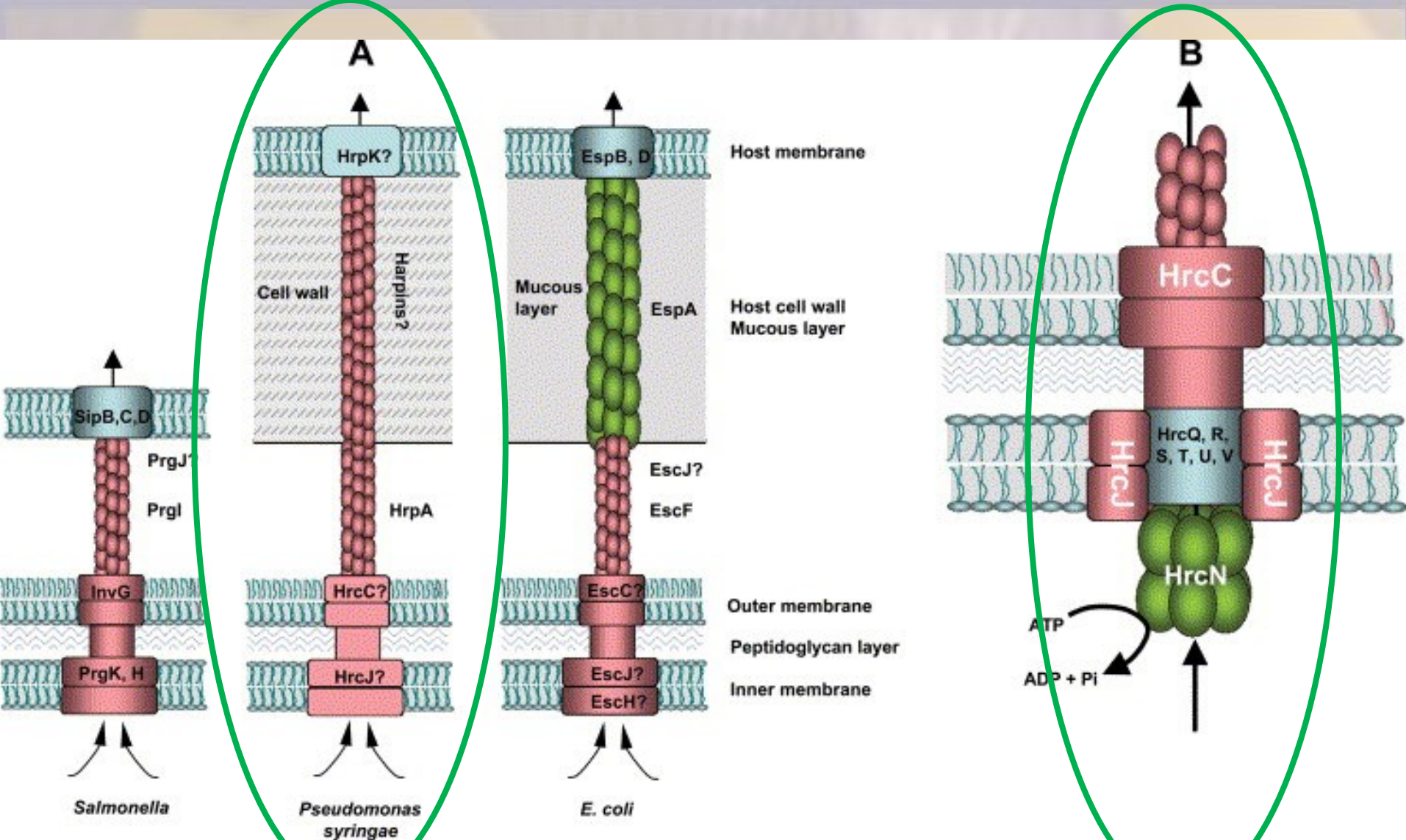
# Το *Hm1* γονίδιο του καλαμποκιού

- Είναι το πρώτο *R* γονίδιο που απομονώθηκε (1992)
- Δίνει αντοχή στον ασκομύκητα *Cochliobolus carbonum* της φυλής 1 (CCR1), που παράγει την εξειδικευμένη για τον ξενιστή τοξίνη HC-toxin
- Η τοξίνη είναι απαραίτητη για την παθογένεση
- Η *Hm1* παράγει μια HC-toxin reductase (αναγωγάση), η οποία αποτοξινώνει την τοξίνη και καθιστά έτσι τη φυλή 1 του μύκητα μη παθογόνα



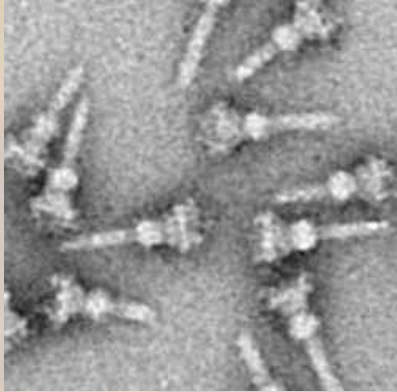
# Βακτήρια (Bacteria)

<https://www.youtube.com/watch?v=gpLUQza4uWw>



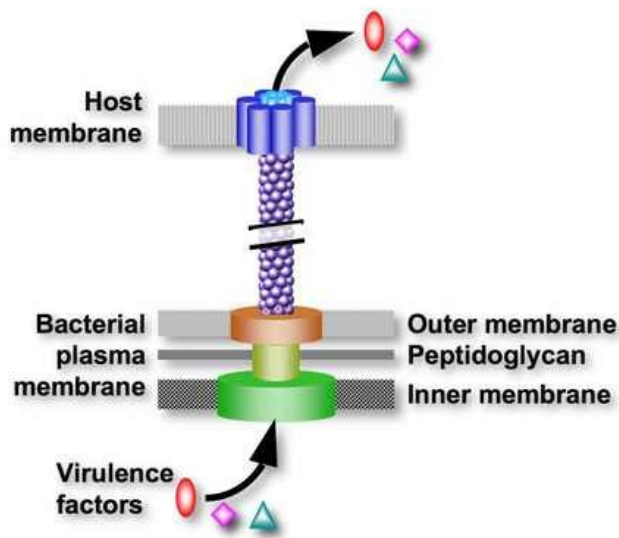
Review: **Type III protein secretion mechanism in mammalian and plant pathogens.** [Biochimica et Biophysica Acta \(BBA\) - Molecular Cell Research, Volume 1694, Issues 1–3, 11 November 2004, Pages 181-206](#)

# Εκκριτικό μονοπάτι πρωτεϊνών τύπου III

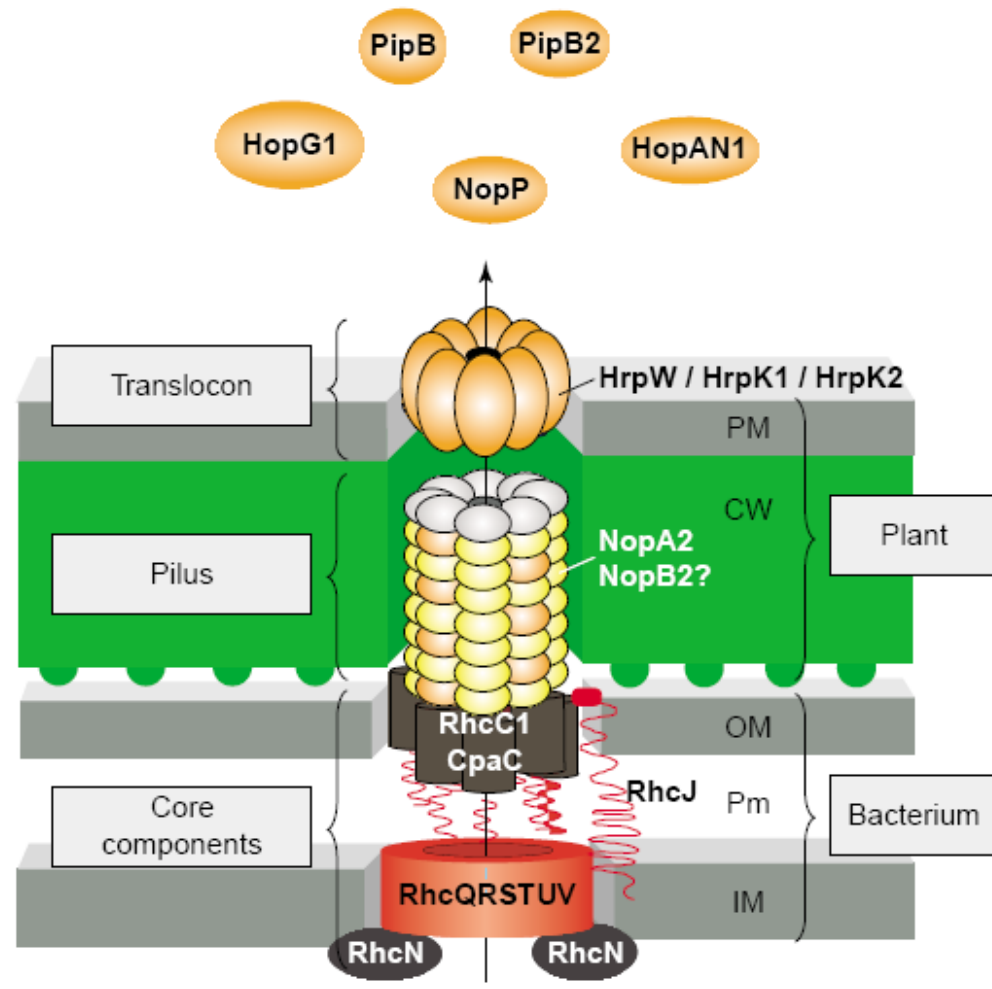


A transmission electron-microscope image of isolated T3SS needle complexes from *Salmonella typhimurium*

[en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)



The Type III secretion system



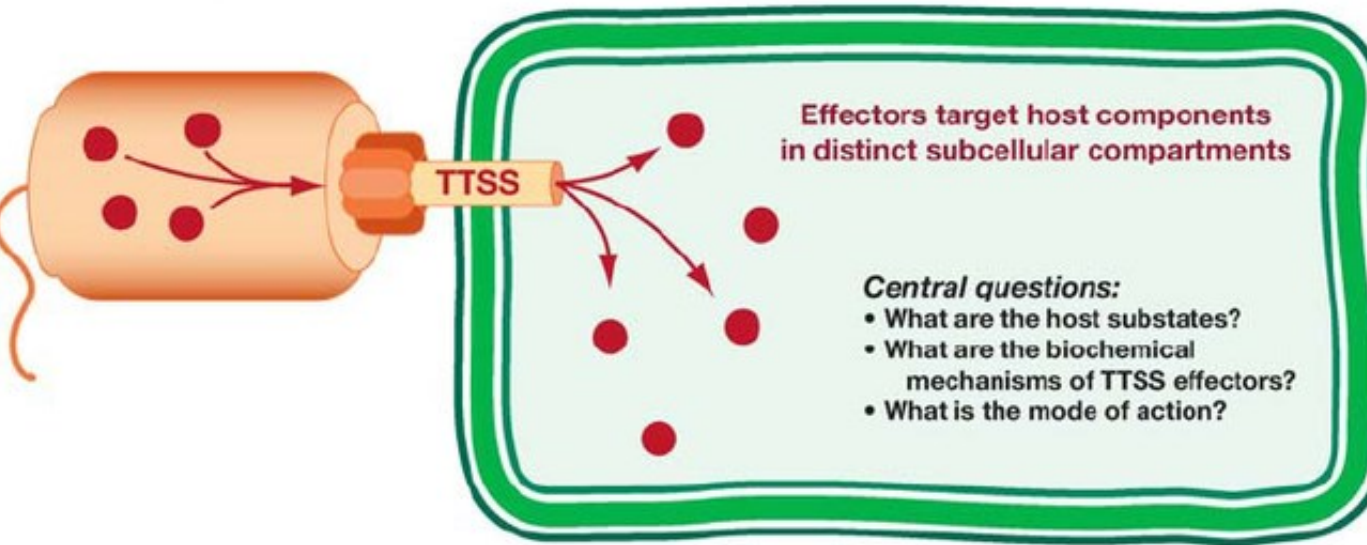
T3SS of *Rhizobium etli*

<http://www.biw.kuleuven.be/dtp/cmpg/spi/proteinsecretion.aspx> 23



**a**

## Ευαίσθητος ξενιστής

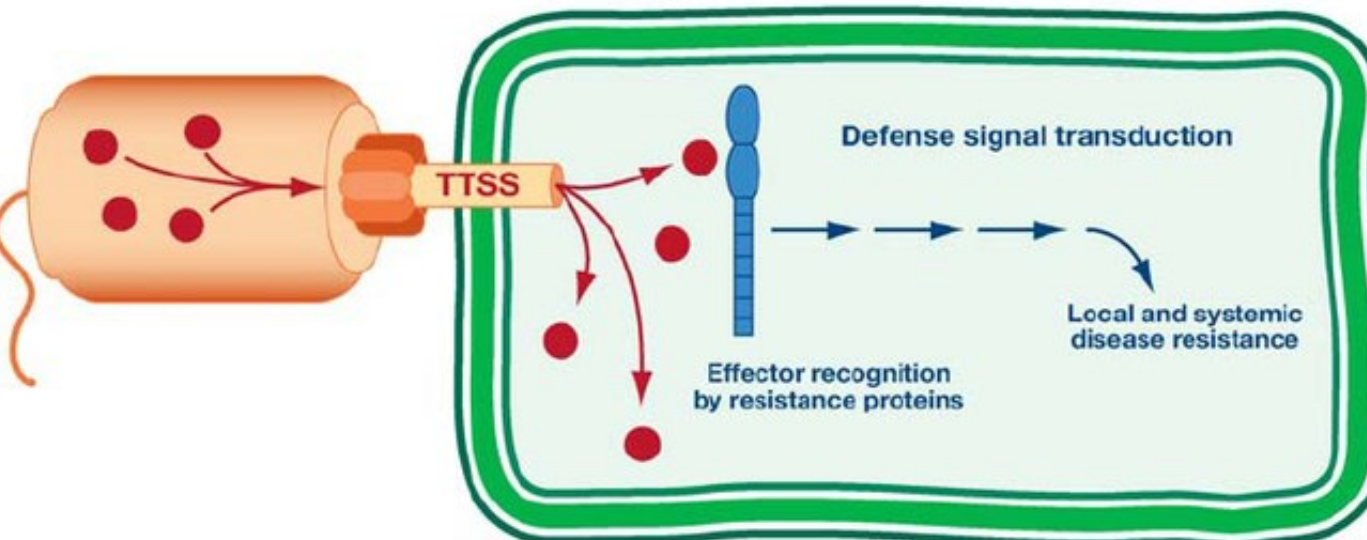


### Αποτέλεσμα:

- Πολλαπλασιασμός βακτηρίων
- Εμφάνιση συμπτωμάτων
- Εξάπλωση του παθογόνου

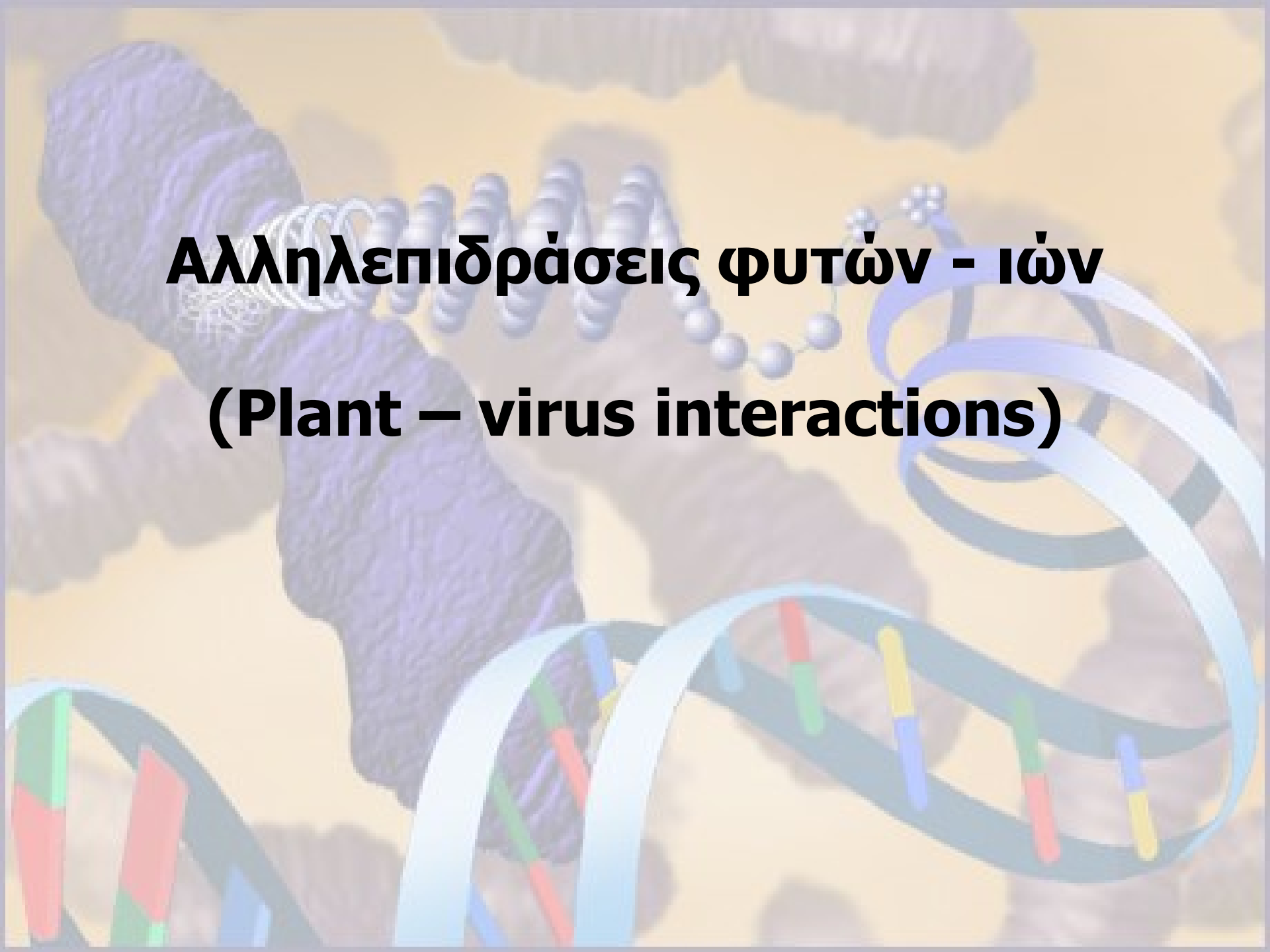
**b**

## Ανθεκτικός ξενιστής



### Αποτέλεσμα:

- Περιορισμός της ανάπτυξης των βακτηρίων
- Ενεργοποίηση της HR
- Ενεργοποίηση της SAR
- Περιορισμός της εξάπλωσης του παθογόνου



**Αλληλεπιδράσεις φυτών - ιών**  
**(Plant – virus interactions)**

# Η μοναδικότητα της φύσης των ιών

- Οι ιοί είναι υποχρεωτικά παράσιτα
- Επιβιώνουν μέσα στα κύτταρα των ξενιστών τους
- Η αναπαραγωγή του ιού είναι άμεσα εξαρτώμενη από το κύτταρο του ξενιστή του
- Ο ιός πρέπει να χρησιμοποιήσει το μηχανισμό «μετάφρασης» του κυττάρου-ξενιστή για να συνθέσει ιικές πρωτεΐνες

# Αναπαραγωγή των ιών

- Η μεγάλη πλειοψηφία των ιών έχουν RNA γένωμα και οι περισσότεροι από αυτούς θετικό, μονόκλωνο (sense, single-stranded) RNA (ssRNA).
- Η αναπαραγωγή τους απαιτεί τη δράση RNA εξαρτώμενης RNA πολυμεράσης που παρέχεται από ένα σύμπλοκο, όπου συμμετέχουν πρωτεΐνες του ιού και του ξενιστή (συντομογρ. RdRp)
- Αντίθετα οι φυτικές RNA εξαρτώμενες RNA πολυμεράσες συμβολίζονται RDRs
- Αυτά τα σύμπλοκα αναπαραγωγής σχηματίζονται κοντά στις ενδοκυτταρικές μεμβράνες που τροποποιούνται ώστε να σχηματίζουν ένα ευνοϊκό περιβάλλον\* για την παραγωγή των ιικών RNA και mRNA
- \* Ελάχιστη έκθεση στους μηχανισμούς ελέγχου και άμυνας του φυτού

# Μηχανισμοί αντοχής (γενετικά)

- Παθητικοί μηχανισμοί αντοχής:

- Έλλειψη παραγόντων του ξενιστή που είναι απαραίτητοι για την αναπαραγωγή ή μετακίνηση του ιού
- Παρουσία φυσικών εμποδίων μόλυνσης (εφυμενίδα, τρίχες, κυτ. τοιχώματα) που καταργούνται είτε μέσω μηχανικών πληγών, είτε με έντομα-φορείς

- Ενεργητικοί μηχανισμοί άμυνας:

- Αντίδραση υπερευαισθησίας (HR) – ο ιός περιορίζεται στα κύτταρα που μόλυνε αρχικά

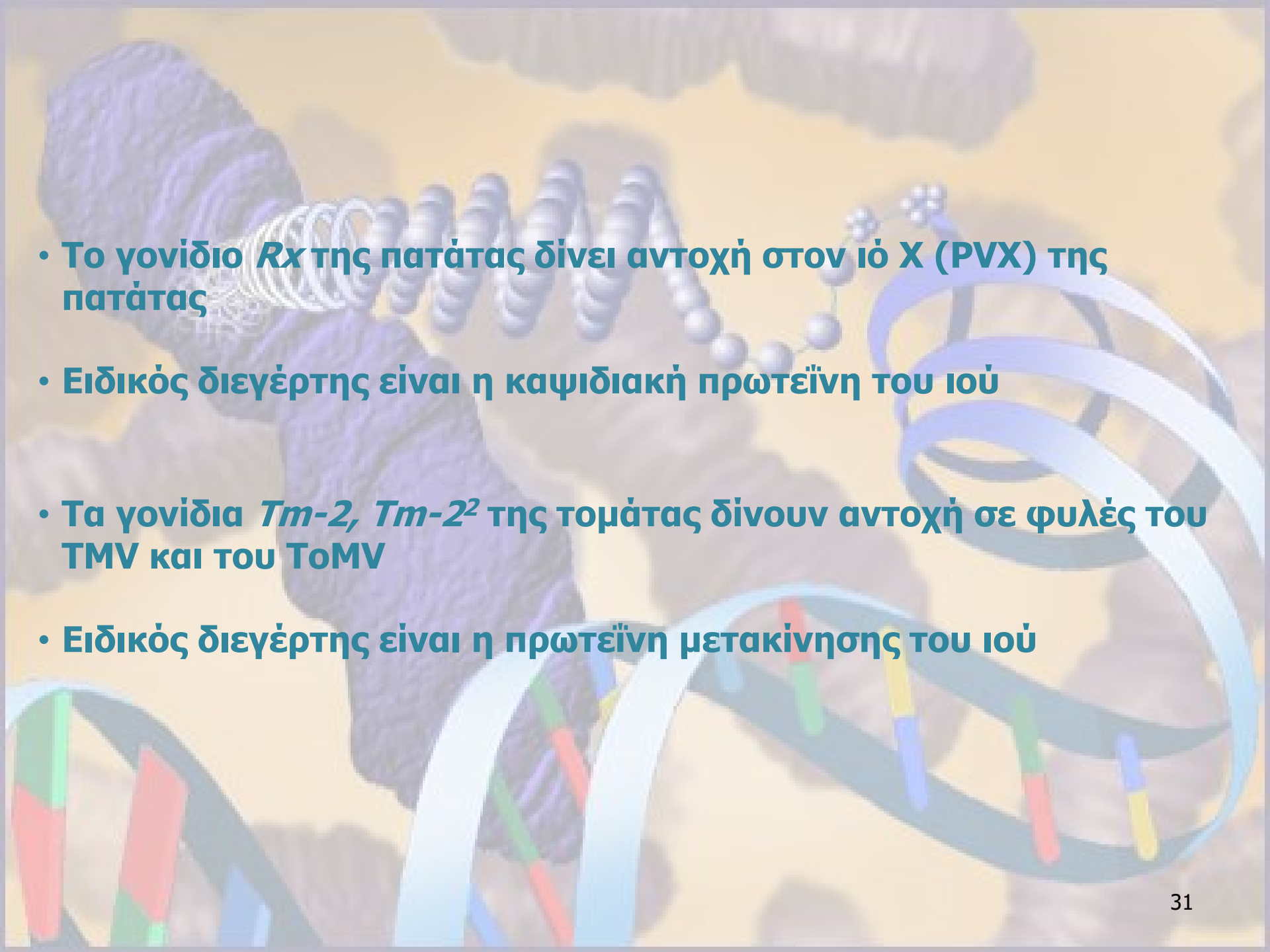


# Έλλειψη παραγόντων αναπαραγωγής

- Οι ιοί του γένους Poty και άλλοι (+)ssRNA ιοί φέρουν πρωτεΐνες (VPg: virus protein genome linked), οι οποίες πρέπει να αλληλεπιδράσουν με συγκεκριμένες πρωτεΐνες του ξενιστή για να γίνει η μετάφραση του ιικού RNA σε πρωτεΐνη
- Υπάρχουν υποτελή *r* γονίδια σε φυτά (καλλιεργούμενα, *Arabidopsis*) που κωδικοποιούν παραλλαγμένες τέτοιες πρωτεΐνες που δεν αλληλεπιδρούν με τις VPg πρωτεΐνες των ιών
- Φυτά που είναι ομόζυγα για το *r* γονίδιο είναι ανθεκτικά, καθώς εμποδίζουν την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του ιού

# HR

- Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης γονίδιο – προς - γονίδιο
- Ένα γονίδιο (συνήθως κυρίαρχο, *R*) του φυτού επιτρέπει στο φυτό να αναγνωρίζει και να αντιδρά εξειδικευμένα σε κάποιο παθογόνο (που φέρει το αντίστοιχο *Anr* γονίδιο)
- Το πρώτο γονίδιο φυτού για αντοχή σε ιό ήταν το *N* από τον καπνό που δίνει HR-αντοχή σε όλες σχεδόν τις φυλές του TMV
- Το γονίδιο *N* κωδικοποιεί μία TIR-NBS-LRR πρωτεΐνη
- Ειδικός διεγέρτης είναι η πρωτεΐνη αναπαραγωγής του ιού
- Τα περισσότερα γονίδια αντοχής των φυτών σε ιούς κωδικοποιούν CC-NBS-LRR πρωτεΐνες

- 
- Το γονίδιο *Rx* της πατάτας δίνει αντοχή στον ιό X (PVX) της πατάτας
  - Ειδικός διεγέρτης είναι η καψιδιακή πρωτεΐνη του ιού
  - Τα γονίδια *Tm-2*, *Tm-2<sup>2</sup>* της τομάτας δίνουν αντοχή σε φυλές του TMV και του ToMV
  - Ειδικός διεγέρτης είναι η πρωτεΐνη μετακίνησης του ιού

# Η υπόθεση του φύλακα – Guard hypothesis

- Το γονίδιο *HRT* του *Arabidopsis* δίνει αντοχή στον turnip crinkle virus (TCV)
- Ειδικός διεγέρτης είναι η καψιδιακή πρωτεΐνη του ιού
- Η καψιδιακή πρωτεΐνη προσδένεται σε έναν παράγοντα μεταγραφής (TIP), ώστε να εμποδίζεται η μετάβασή του στον πυρήνα
- Την πρόσδεση «αντιλαμβάνεται» το *HRT* που «παρακολουθεί» το TIP

# HR - άμυνα

- Ο κυτταρικός θάνατος κατά την HR δεν είναι απαραίτητα αναγκαίος για την άμυνα στους ιούς
- Κατά την άμυνα στον TMV μέσω του γονιδίου *N* σε καπνό σε ατμόσφαιρα χαμηλού οξυγόνου όπου δεν παρατηρείται κυτ. θάνατος, ο ιός εξακολουθούσε να είναι περιορισμένος στα κύτταρα των αρχικών μολύνσεων
- Πειραματικά ο κυτταρικός θάνατος μπορεί να διαχωριστεί από την αντοχή των φυτών σε ιούς
- CMV σε κουκιά → κυτταρικός θάνατος
  - Μία αλληλουχία του ειδικού διεγέρτη προκαλεί περιορισμό της ικανότητας αναπαραγωγής του
  - Άλλη αλληλουχία του ειδικού διεγέρτη προκαλεί κυτ. θάνατο
- Ο ειδικός διεγέρτης p19 πρωτεΐνη του tomato bushy stunt virus (TBSV) προκαλεί HR στον καπνό
  - Μετάλλαξη του γονιδίου p19 έπαψε να προκαλεί νέκρωση στον καπνό, αλλά το φυτό παρέμεινε ανθεκτικό στον ιό

# RNA σίγηση (RNA silencing)

- Μηχανισμός που απαντάται σε φυτά, ζώα, άλγη, μύκητες
- Ο μηχανισμός είναι συντηρημένος στους διάφορους οργανισμούς (από διαφορετικά βασίλεια)
  - παρουσιάστηκε πολύ νωρίς στην εξελικτική τους πορεία
- Περιλαμβάνει τη σίγηση της έκφρασης ενός γονιδίου μέσω μικρών τμημάτων RNA (short RNA – sRNA) που έχουν μεγάλη ομοιότητα (homology) στην αλληλουχία με το στόχο της σίγησης



# RNA σίγηση μέσω μικρών παρεμβαλλόμενων RNA (short-interfering RNA-mediated silencing)

- Μηχανισμός των (si) RNAs
  - Πρόκειται για ομάδες ssRNA (21-24 νουκλεοτίδια μήκος) που έχουν απόλυτη ή σχεδόν *απόλυτη συμπληρωματικότητα* με την αλληλουχία-στόχο του ιού
  - Είναι δραστικός για RNA και DNA ιούς
  - Ενεργοποιείται από: dsRNA (στάδιο της αναπαραγωγής των ιών), απουσία πολύ(A)-ουράς, θηλιές

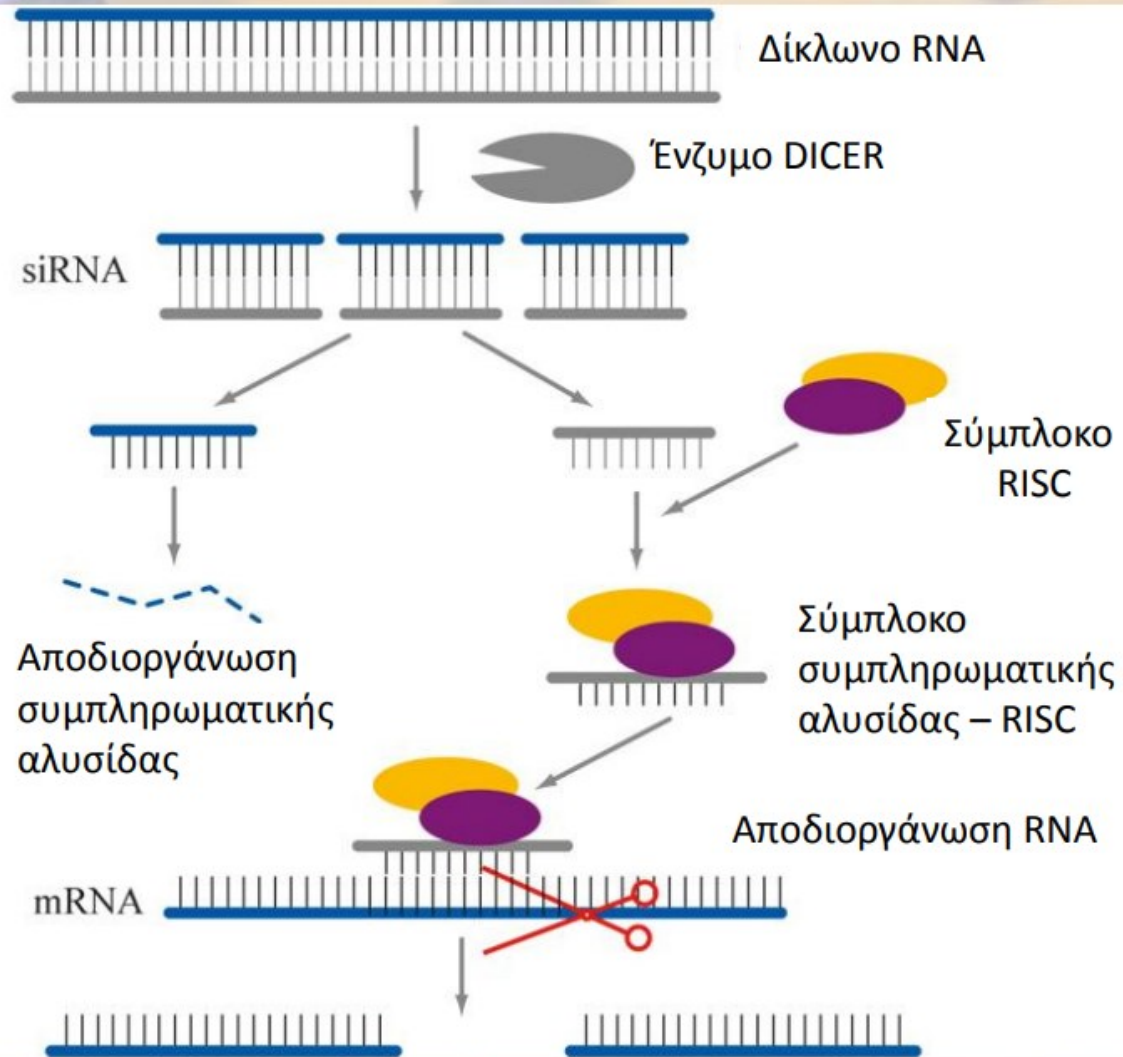
# The core of RNA silencing: Dicers and Argonautes

RNA silencing uses a set of core reactions in which **double-stranded RNA (dsRNA)** is processed by **Dicer** or **Dicer-like proteins** into **short RNA duplexes**.

These small RNAs subsequently associate with **ARGONAUTE** proteins to confer silencing.

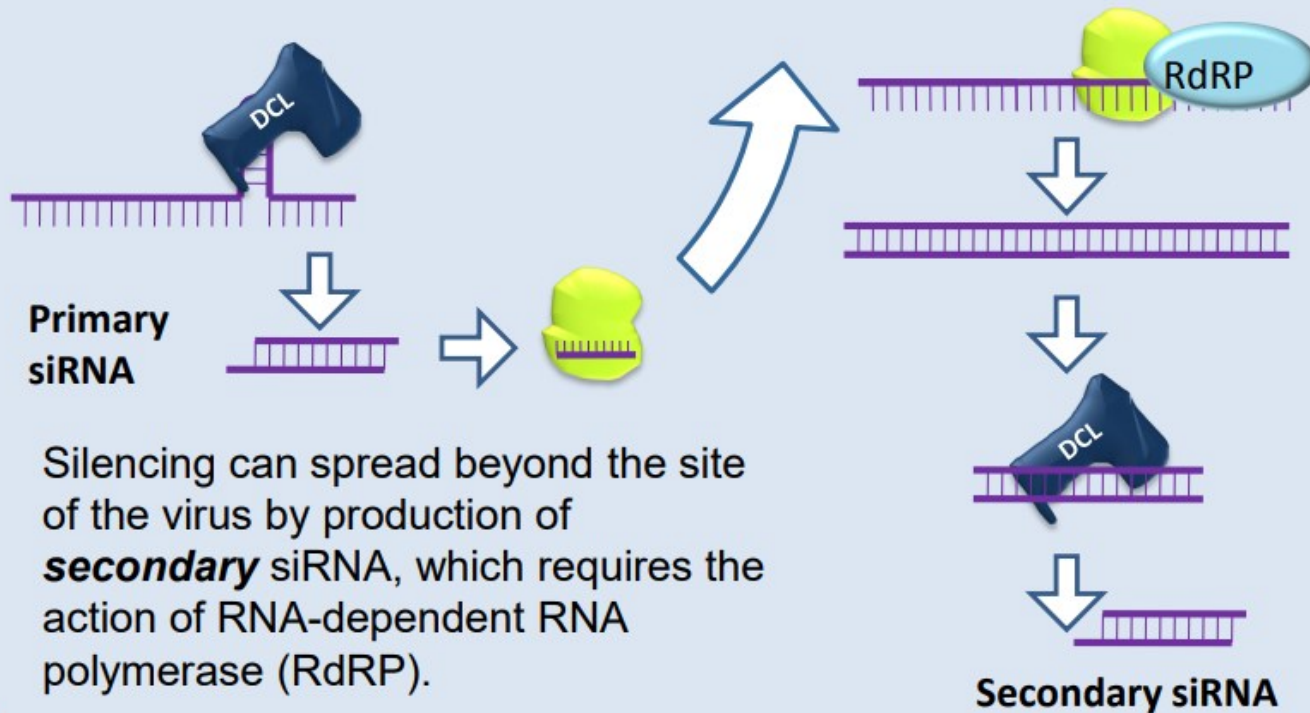


# Μηχανισμός του RNA silencing



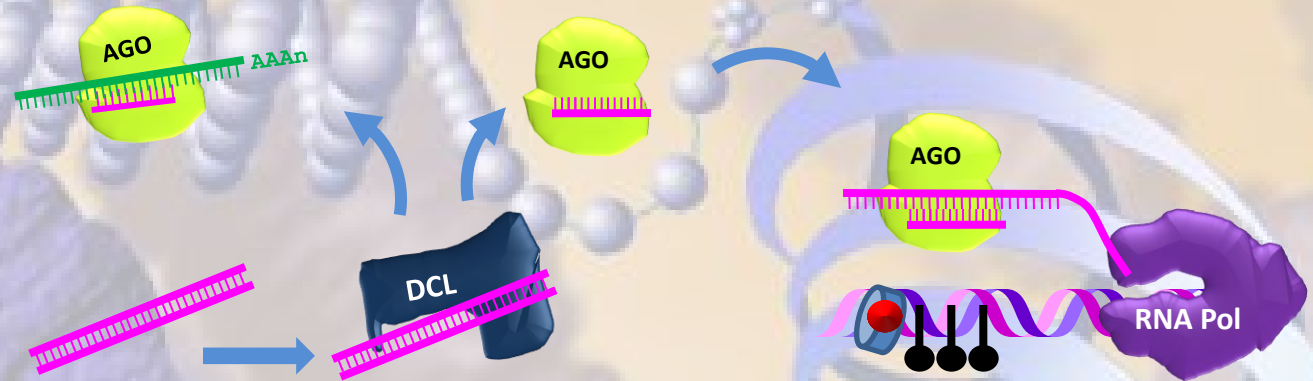


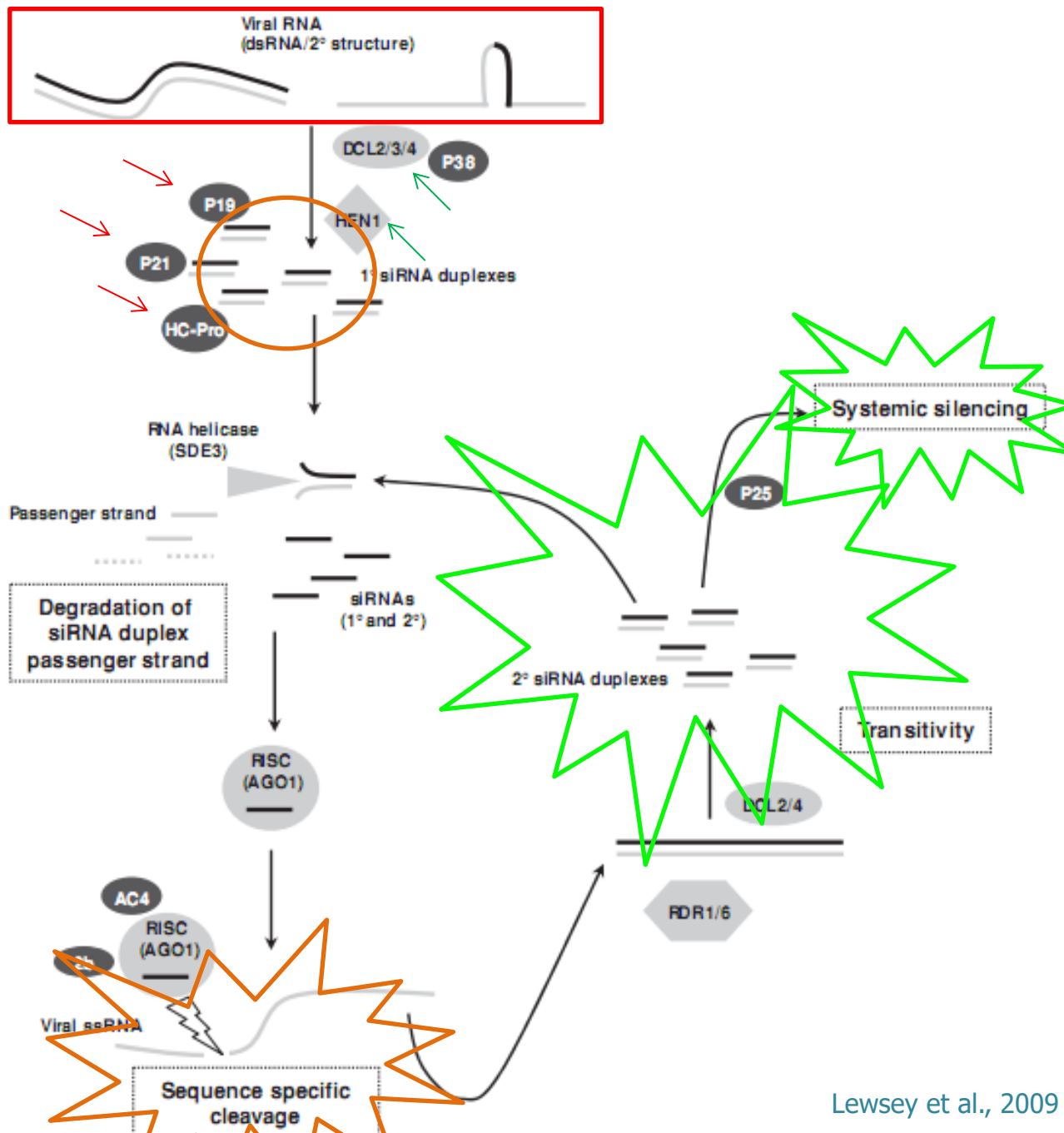
# Systemic silencing is enhanced by signal amplification



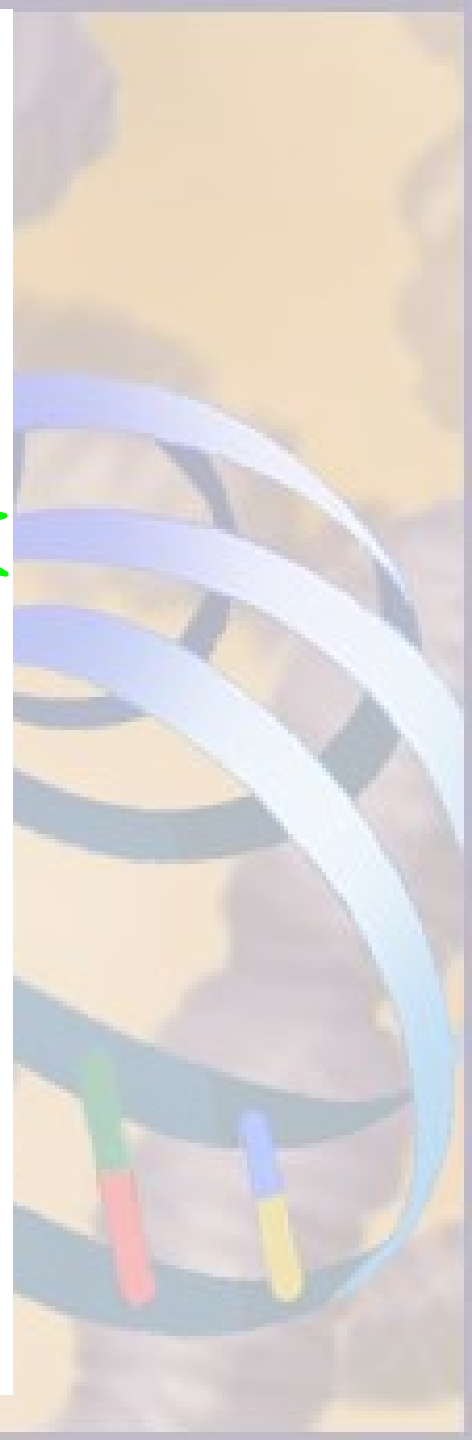
# RNA silencing - overview

**siRNA**-mediated silencing via post-transcriptional and transcriptional gene silencing





Lewsey et al., 2009





A 3D molecular model showing a large, textured purple protein structure on the left, with a white helical structure extending from it. To the right, a blue ribbon structure represents a protein or RNA, and a light blue DNA double helix is visible in the foreground. The background is a soft, yellowish gradient.

- **Μηχανισμός των (si) RNAs....**

- **Δευτερογενή siRNAs μπορεί να μεταφερθούν σε μεγάλη απόσταση (έχουν βρεθεί στο φλοιώμα)**

- **→ πιθανόν η αιτία της διασυστηματικής αντοχής**

# Plants can recover from viral infection and become resistant

OLDEST

YOUNGEST



**Virus-induced cell death**

Leaf inoculated with virus

No symptoms: recovery

Leaf inoculated with virus  
No symptoms: resistance

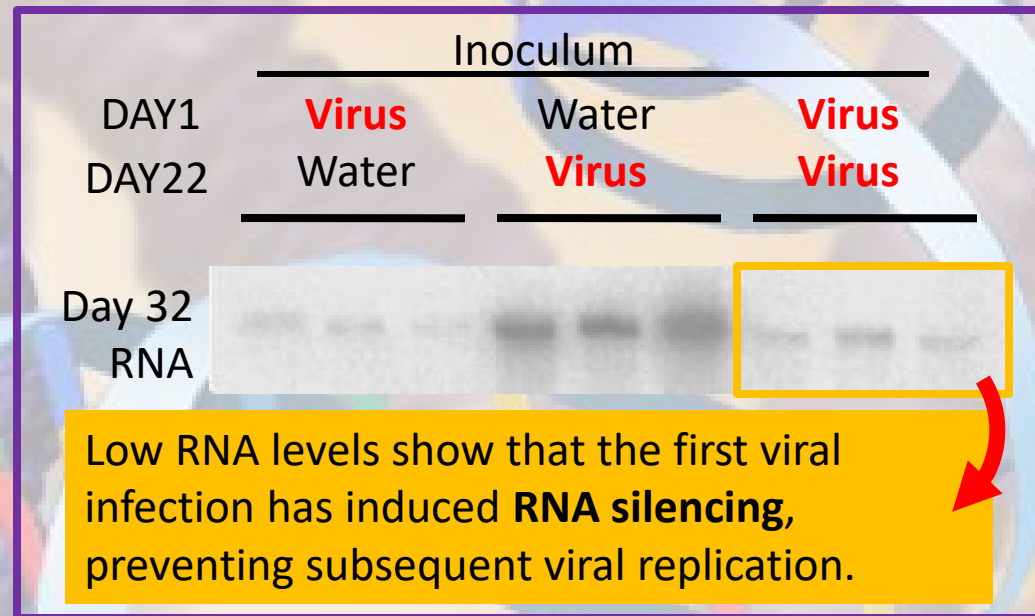
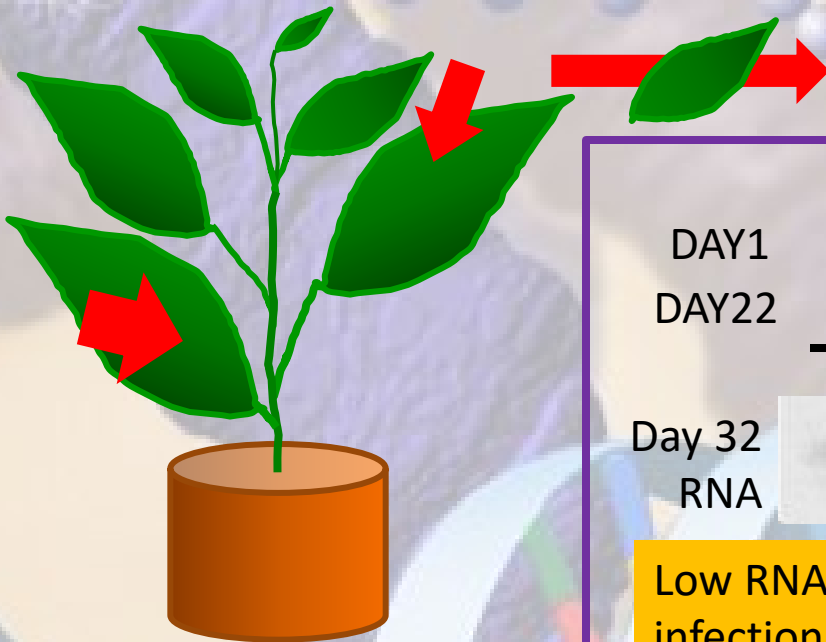
From Ratcliff, F., Henderson, B.D., and Baulcombe, D.C. (1997) A similarity between viral and gene silencing in plants. *Science* 276: [1558-1560](#). Reprinted with permission from AAAS.

# Viral resistance involves siRNA-mediated silencing

DAY 22 – Inoculate younger leaf with virus or water

DAY 32 – Isolate RNA from leaf inoculated on Day 22. Measure viral RNA level.

DAY 1 – Inoculate leaf with virus or water

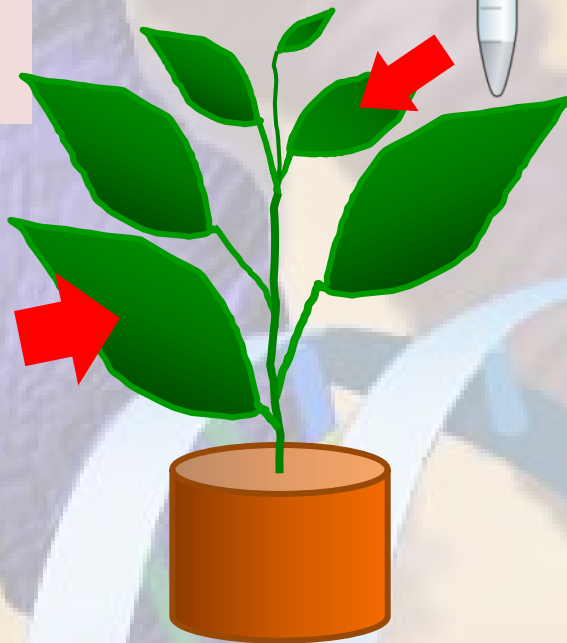


From Ratcliff, F., Henderson, B.D., and Baulcombe, D.C. (1997) A similarity between viral defense and gene silencing in plants. Science 276: 1558–1560. Reprinted with permission from AAAS.

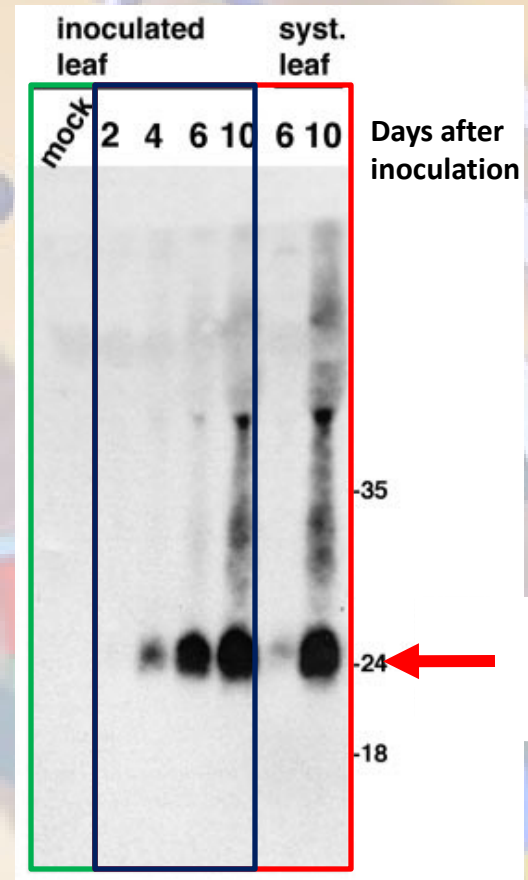
# Small RNAs are correlated with viral-induced gene silencing

A small RNA **homologous** to viral RNA is present in inoculated leaves and distal, “systemic” leaves, but not mock-infected leaves.

Inoculated leaf

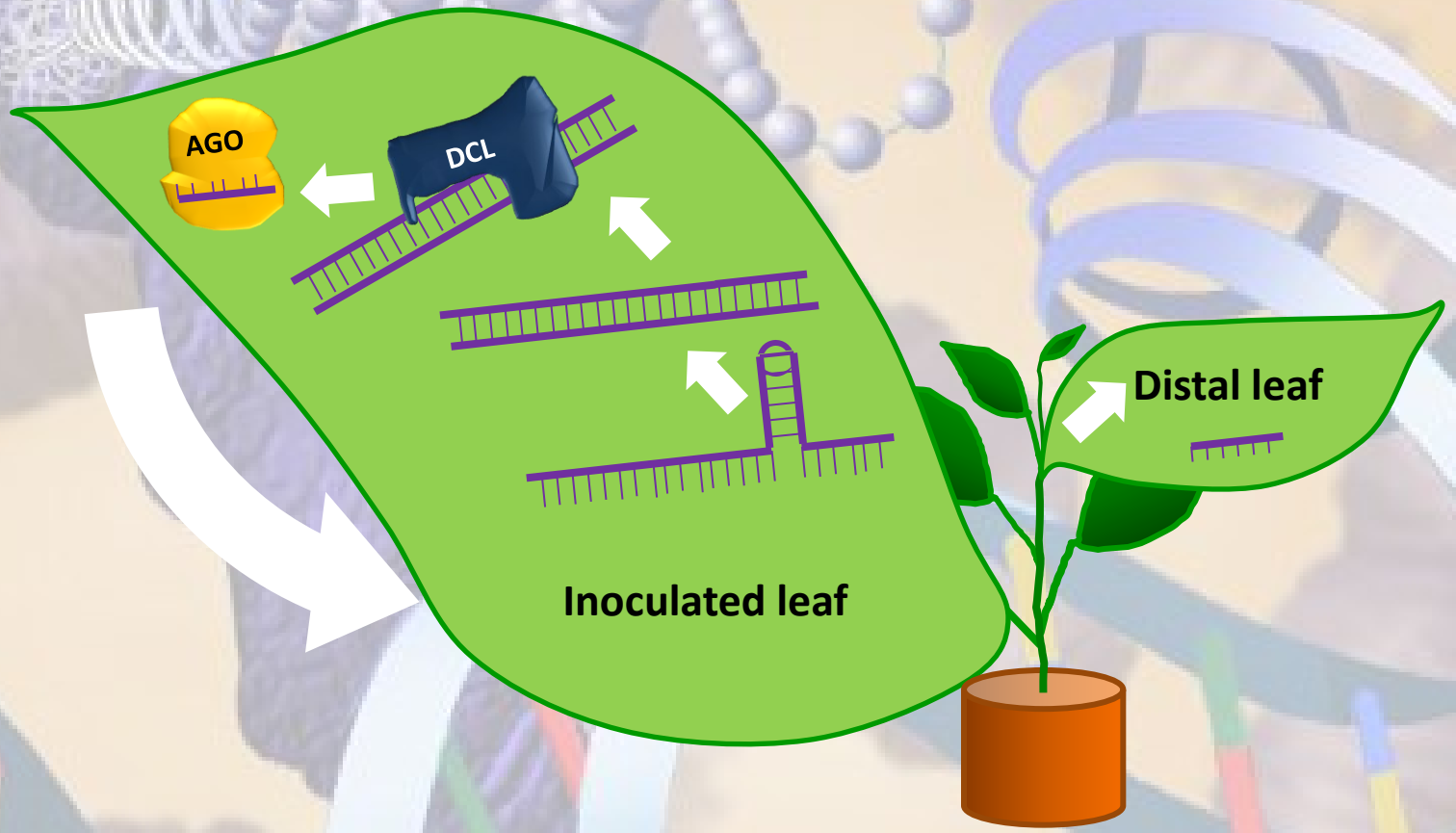


Systemic leaf

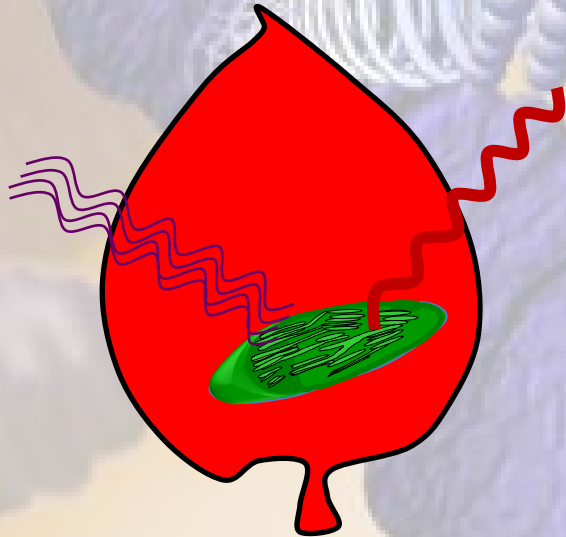


Hamilton, A.J., and Baulcombe, D.C. (1999). A species of small antisense RNA in posttranscriptional gene silencing in plants. *Science* 286: [950–952](#).

# Virus infection causes systemic siRNA accumulation



# How does RNA silencing spread systemically???



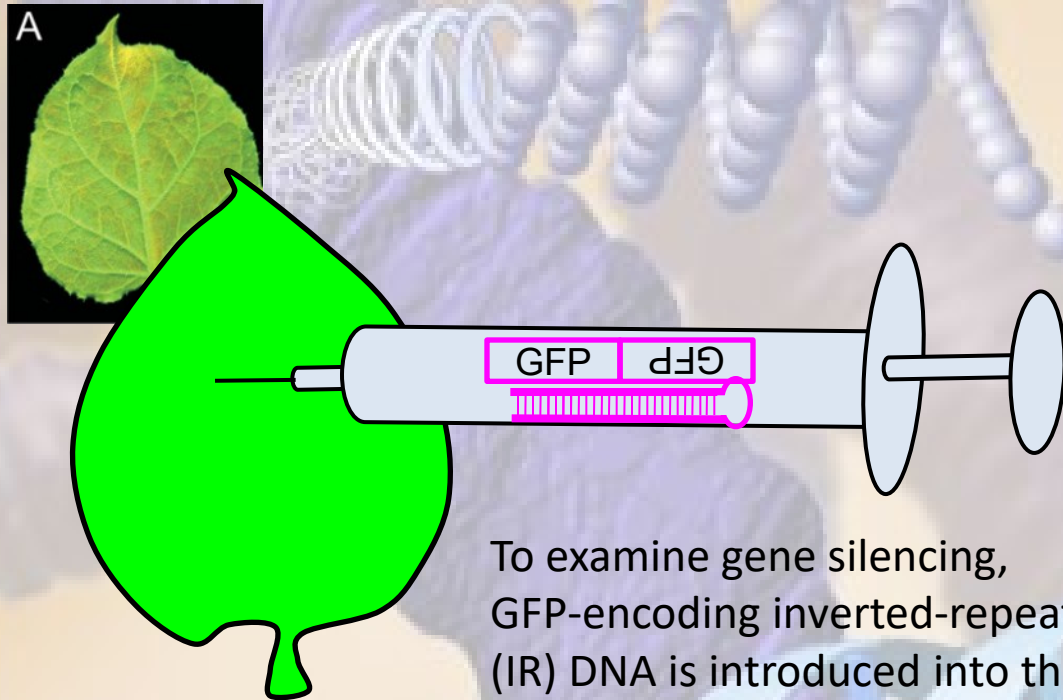
Under UV light, **wild-type** leaves fluoresce **red**, from chlorophyll in the chloroplasts.



A plant expressing GFP fluoresces **green** under UV light.

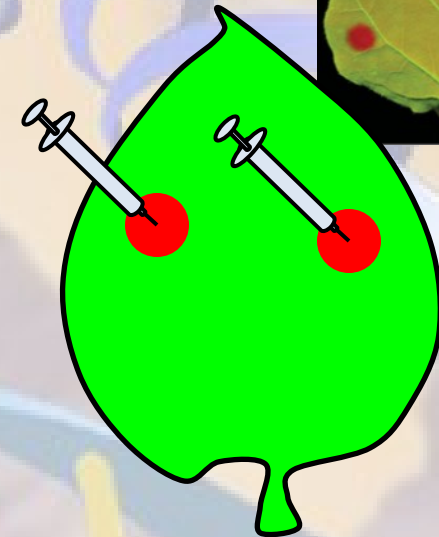
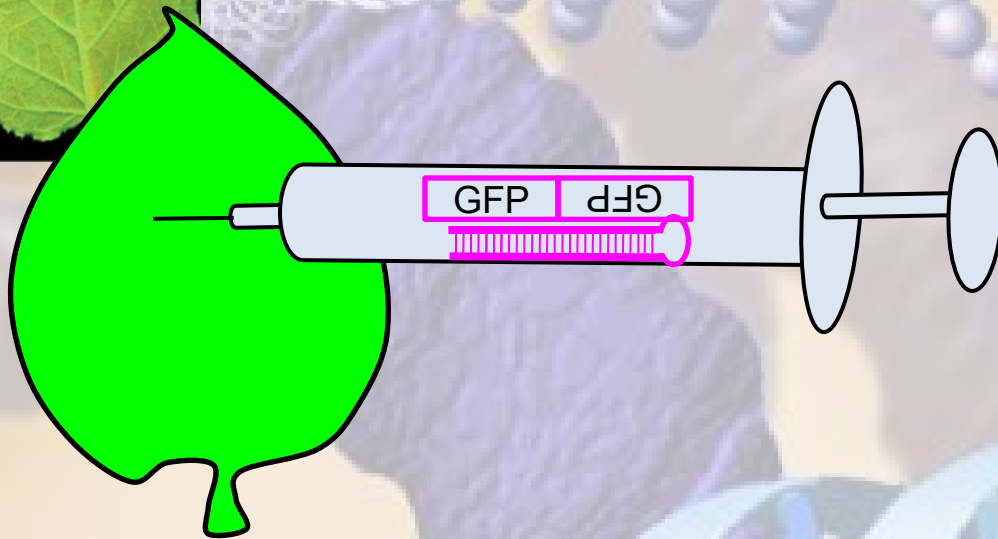
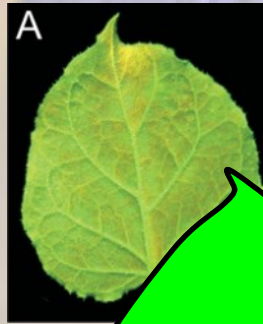


# Spreading of RNA silencing



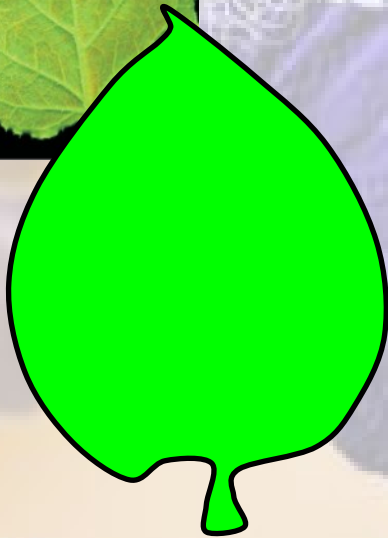
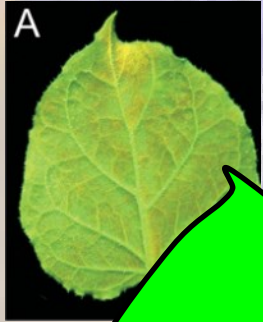
To examine gene silencing, GFP-encoding inverted-repeat (IR) DNA is introduced into the GFP-expressing cells.

# Spreading of RNA silencing

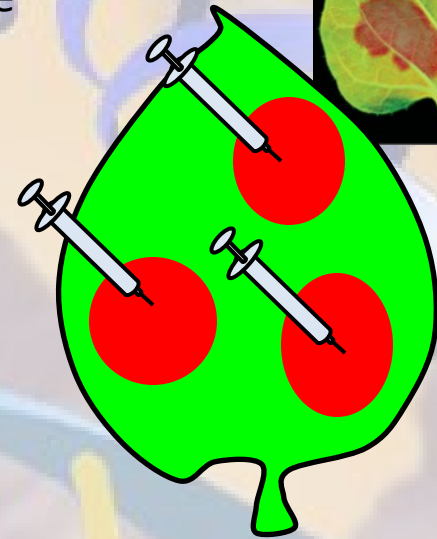
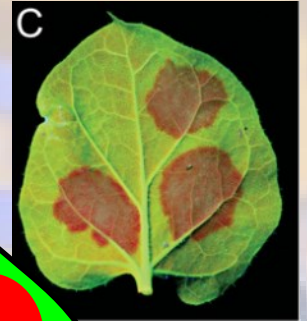


When GFP is silenced, the red chlorophyll fluorescence becomes visible.

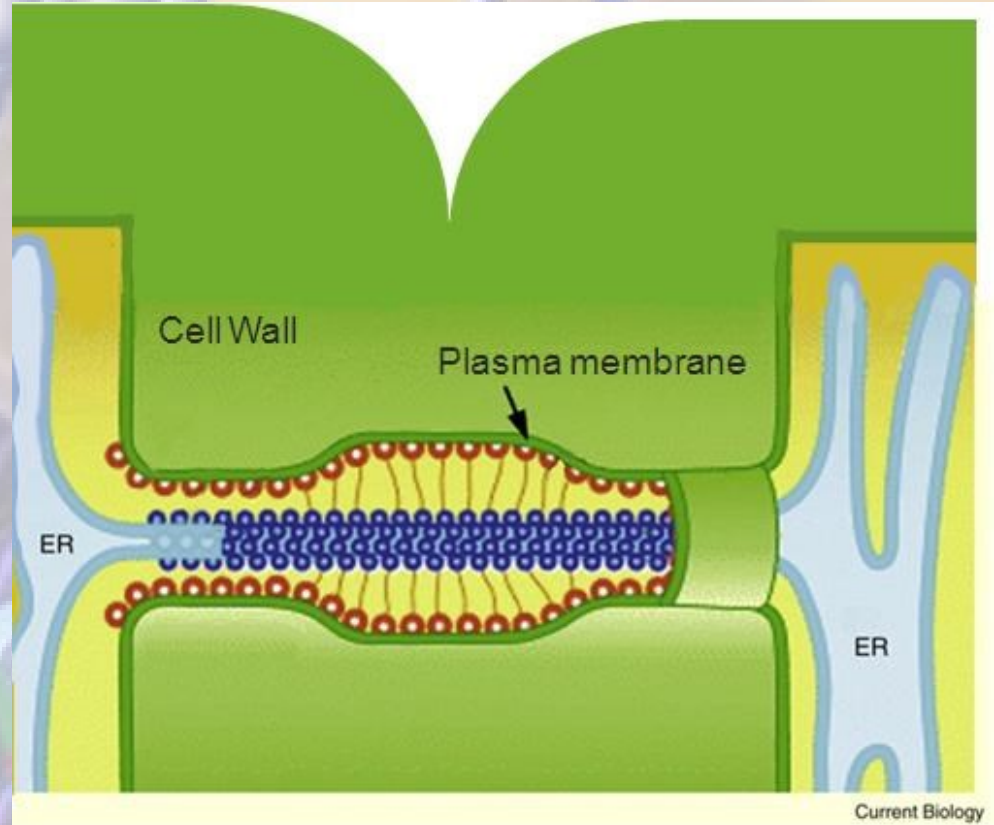
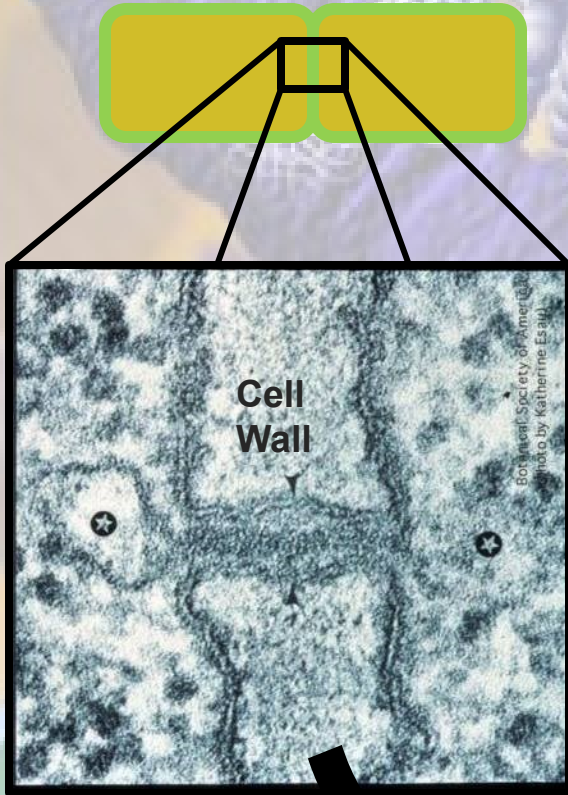
# Silencing can spread locally



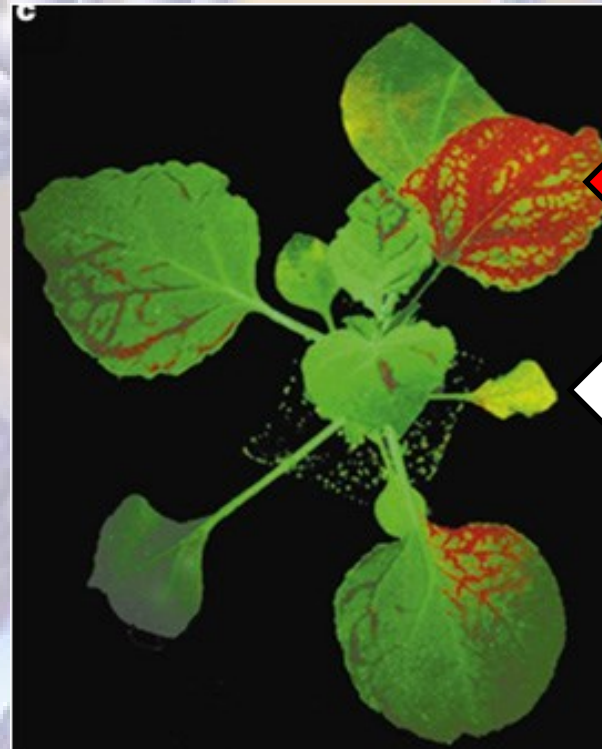
Often the silencing spreads over up to 15 cells, probably by diffusion of the silencing signal through the plasmodesmata.



# Plasmodesmata are regulated connections between plant cells



# Silencing can spread systemically through the phloem

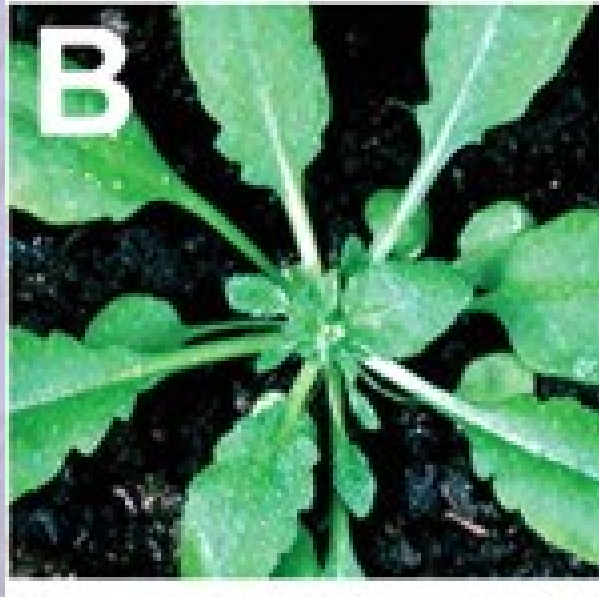


Recent experiments have shed light on the identity of the silencing signal...



# siRNA production mutants are more susceptible to viral disease

WT Arabidopsis inoculated with TRV



Double mutant of *dcl2-dcl4* inoculated with TRV



Tobacco Rattle Virus (TRV) silencing in wild-type Arabidopsis plants prevents disease symptoms. Mutants deficient in Dicer activity are unable to suppress viral infection.



# A viral suppressor protein in action

Genes encoding functional, mutant, or no viral suppressor proteins were introduced into **plants carrying a silenced GUS gene**. The plants were **inoculated with a virus expressing GUS**. Blue spots indicate GUS expression.

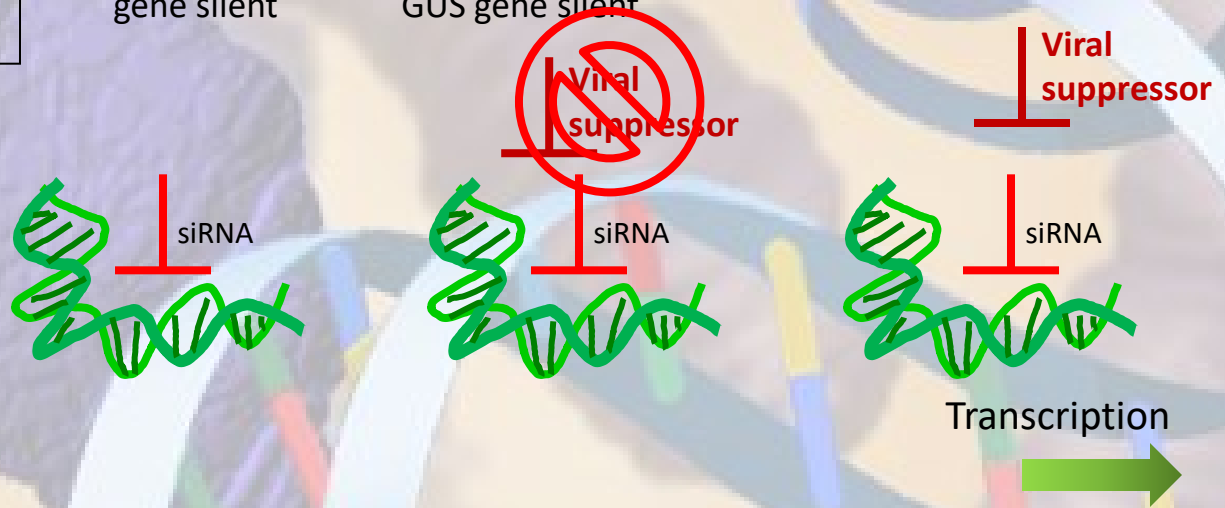


**No viral suppressor:** GUS gene silent

**Mutant viral suppressor:** GUS gene silent

**Functional viral suppressor:** GUS gene expressed

The plant's RNA silencing efforts are suppressed by the viral protein.



# Πρωτεΐνες των ιών που περιορίζουν την RNA σίγηση

- Πρωτεΐνες των ιών που περιορίζουν την RNA σίγηση (viral-encoded suppressors of RNA silencing- VSRs)
  - Λίγες πληροφορίες υπάρχουν για το μηχανισμό δράσης τους
  - Παρουσιάζουν ελάχιστες ομοιότητες μεταξύ τους
  - Συνήθως επιτελούν και άλλες λειτουργίες στον κύκλο ζωής του ιού
  - Μερικοί ιοί παράγουν περισσότερες από μία VSRs

# HC-Pro

- **Helper component/ proteinase (HC-Pro):** ιοί γένους poty (PVY)
  - → Ελέγχει την ικανότητα μετάδοσης με αφίδες
  - → Είναι υπεύθυνη για την πρωτεολυτική επεξεργασία της πολυπρωτεΐνης του ιού
  - → Συμμετέχει στην μετακίνηση του ιού