



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Γενική Φυτοπαθολογία Θεωρία

Ενότητα 6: Φυτοπαθολογική ιολογία

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 6: Φυτοπαθολογική ιολογία

Όνομα Καθηγητή: Δρ Δήμητρα Ζωάκη-Μαλισιόβα

Βαθμίδα Καθηγητή: Καθηγήτρια

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





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



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Φυτοπαθολογική ιολογία



Σκοποί ενότητας

- Απόκτηση βασικών γνώσεων σχετικά με τους ιούς που προσβάλλουν τα φυτά.



Περιεχόμενα ενότητας

- Ορισμός, πολυπλοκότητα & μέγεθος του γονιώματος των ιών.
- Σύσταση & μορφολογία των φυτικών ιών.
- Είσοδος & πολλαπλασιασμός των ιών στα κύτταρα του ξενιστή-φυτού.
- Αναπαραγωγή των ιών.
- Μετακίνηση & κατανομή των ιών στα φυτικά κύτταρα.
- Πολυσωματιακοί, συνιοί & δορυφόροι ιοί.
- Αντίδραση των φυτών σε μολύνσεις δύο διαφορετικών ιών.
- Ιοειδή των φυτών.



Ορισμός, πολυπλοκότητα & μέγεθος του γονιώματος των ιών



Εισαγωγή

- Virus: δηλητήριο ή μολυσματικός παράγοντας
- Ανάπτυξη της ιολογίας με την ανακάλυψη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (ορατός ιός: 1945)
- Γερμανός Meyer (1886): λαμβάνει ως μόλυσμα χυμό ασθενών φύλλων καπνού και επιτυγχάνει τη μηχανική μετάδοση του συμπτώματος του μωσαϊκού μετά από επάλειψη και τριβή υγιών φύλλων
- Ρώσος Ivanowski (1892): ο χυμός παραμένει μολυσματικός και μετά τη δίοδό του μέσω βακτηριακών φίλτρων, επισημαίνοντας την υπερμικροσκοπική τους φύση



Εισαγωγή

- Ολλανδός Beijerinck (1898): η ασθένεια του μωσαϊκού του καπνού οφείλεται σε νέα κατηγορία παθογόνων αιτίων και ανακάλυψε, ότι έχουν τη δυνατότητα να πολλαπλασιάζονται χωρίς να είναι ορατά στο οπτικό μικροσκόπιο
- Αμερικανός Stanley (1935) & Βρετανοί Bawden & Prie (1937): ανεκάλψαν τη χημική σύνθεση των ιοσωματίων (νουκλεϊνικό οξύ και πρωτεΐνη)
- Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (1939): παρατήρηση ιοσωματίων και μάλιστα ο ιός του μωσαϊκού του καπνού είναι ραβδόμορφος
- Ταχύτατες εξελίξεις στη χημεία-βιοχημεία & μοριακή βιολογικά-γενετική οδήγησαν σε σημαντικές ανακαλύψεις σχετικά με τη φύση, σύσταση, σχήμα των φυτικών ιών



Ιδιότητες φυτικών ιοσωματίων

- Είναι νουκλεοπρωτεΐνες ικανές να προκαλούν σοβαρότατες ασθένειες στα φυτά; Συνήθως αποτελούνται από μία ή περισσότερες αλυσίδες νουκλεϊνικών οξέων (**RNA** ή **DNA**) και περιβάλλονται από πρωτεϊνικό κάλυμμα, το **καψίδιο**
- Αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ζώσας ύλης και συμπεριφέρονται ως παθογόνα αίτια προκαλώντας ποικιλία συμπτωμάτων στα φυτά-ξενιστές
- Διαθέτουν γενετικό κώδικα πληροφοριών (ένας μέχρι αρκετούς εκατοντάδες γόνους) που είναι απαραίτητο για τον πολλαπλασιασμό τους και παθογένεσή τους
- Είναι στα **υποχρεωτικά παράσιτα** μιας και πολλαπλασιάζονται αποκλειστικά μέσα στο φυτό χρησιμοποιώντας τις απαραίτητες χημικές ενώσεις, τα κατάλληλα ενζυμικά συστήματα και τα αναγκαία οργανίδια των κύτταρων



Ορισμός

- Άθροισμα ενός ή περισσοτέρων πρότυπων γονιωματικών μορίων νουκλεϊνικών οξέων, που περιβάλλονται από προστατευτικό κάλυμμα ή καλύμματα πρωτεΐνης ή λιποπρωτεΐνης και είναι ικανά να οργανώσουν και να ολοκληρώσουν την αναπαραγωγή τους μέσα στα κύτταρα του κατάλληλου ξενιστή
- Η αναπαραγωγή των ιών:
 - Είναι εξαρτημένη από το κυτταρικό μηχανισμό σύνθεσης πρωτεϊνών
 - Προέρχεται από δεξαμενές απαραίτητων δομικών υλικών και όχι από δυαδική διαίρεση
 - Πραγματοποιείται σε διάφορες θέσεις, όπως στο πρωτόπλασμα ή στον πυρήνα των κυττάρων



Μέγεθος γονιώματος των ιών

- Οι φυτικοί ιοί είναι πολύ μικροί και γενετικά απλοί σε σύγκριση με τα κύτταρα, τα οποία μολύνουν
- Μικρότεροι ιοί είναι αυτοί που έχουν μέγεθος ανάλογο του μεγέθους ενός κυτταρικού αγγελιοφόρου RNA (mRNA)
- Το εύρος των πρωτεϊνών που κωδικοποιούνται από τα νουκλεοξέα των φυτικών ιών είναι 1-12



Ονοματολογία των ιών

- Έχει επικρατήσει η ορολογία που περιγράφει τα πλέον χαρακτηριστικά συμπτώματα στους σημαντικότερους ξενιστές ή/και το συχνότερο στον πρώτο ξενιστή, που περιγράφηκε για πρώτη φορά
- Αν και οι περισσότεροι ιοί που μολύνουν τα φυτά προκαλούν εμφανή συμπτώματα στα φυτά-ξενιστές, ωστόσο υφίστανται και φυτοϊοί που μολύνουν χωρίς να προκαλούν συμπτώματα (**λανθάνων ιός**) ή άλλοι ιοί που προκαλούν ταχύτατη και καθολική νέκρωση του ξενιστή-φυτού



Ιοί δεν είναι μικροοργανισμοί

- Όλοι οι οργανισμοί έχουν RNA & DNA, ενώ οι ιοί έχουν ή RNA ή DNA (περισσότεροι φυτοπαθογόνοι RNA και λίγοι DNA)
- Όλοι οι οργανισμοί διαθέτουν εξοπλισμό για το μεταβολισμό τους, ενώ οι ιοί δεν τον διαθέτουν (ούτε και ένζυμα)
- Όλοι οι οργανισμοί αναπαράγονται από όλα τα σημεία του κυττάρου τους, ενώ οι ιοί μόνο ως προς το νουκλεοξύ τους
- Αναπαραγωγή των ιών δεν μπορεί να γίνει έξω από το κύτταρο του ξενιστή τους



Σύσταση & μορφολογία των φυτικών ιών



Χαρακτηριστικά των ιών

- Βιολογική οντότητα **απουσίας κυτταρικής δομής**
- Σωματίδια αποτελούμενα από ένα νουκλεοξύ (**RNA ή DNA**) προστατευμένο από το πρωτεϊνικό περίβλημα (**καψίδιο**)
- Σε μερικούς υπάρχει εξωτερική λιποπρωτεϊνική μεμβράνη από λιπίδια του ξενιστή και πρωτεΐνες του ιού (**μεμβράνη, φάκελος**)
- Συμπεριφέρονται ως **υποχρεωτικά παράσιτα** και κατευθύνουν το μεταβολισμό του παρασιτούμενου κυττάρου, για την ολοκλήρωση του δικού τους βιολογικού κύκλου (φυτά: εκδήλωση συμπτωμάτων)



Δομή ιολογικού σωματιδίου (virion)

- Αποτελείται από **1 νουκλεοξύ**; Στους περισσότερους φυτοπαθογόνους ιούς κατά κανόνα **απλής αλυσίδας RNA** (οι βακτηριοφάγοι ιοί έχουν κυρίως DNA)
- Και από το **πρωτεϊνικό περίβλημα (καψίδιο)**, το οποίο περιβάλλει το νουκλεοξύ σαν προστατευτική θήκη



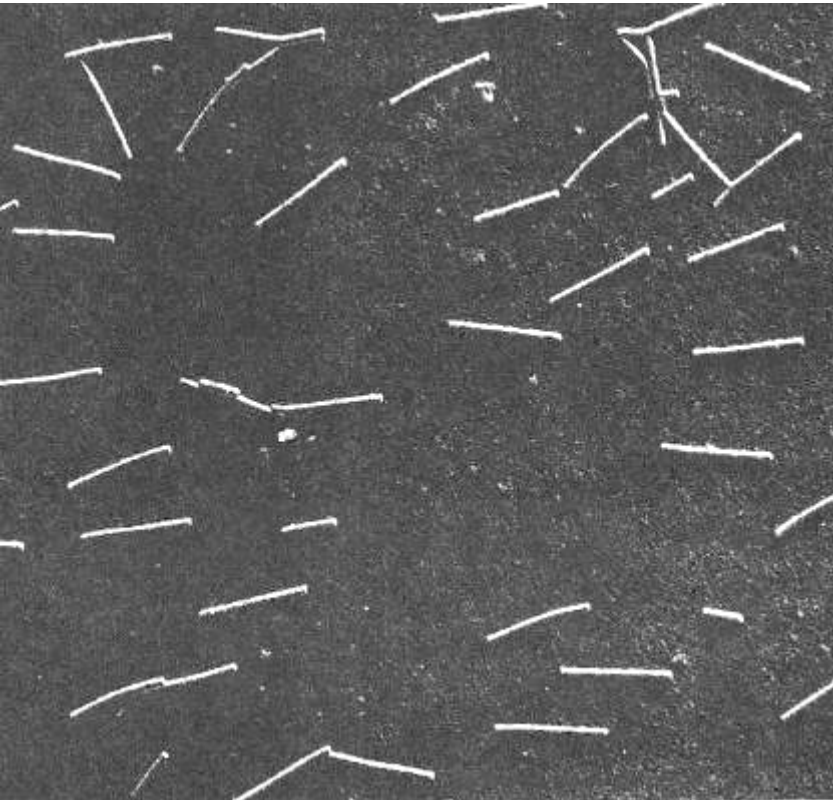
Δομή ιολογικού σωματιδίου

- Κατά κανόνα υπάρχει ένα μόριο RNA ανά σωματίδιο ιού και μόνο ένα είδος πρωτεΐνης
- Η πρωτεΐνη αποτελείται από πολλές πολυπεπτιδικές αλυσίδες (υπομονάδες πρωτεΐνης ή καψομέρη)
- Η πρωτεΐνη είναι μεγάλου μοριακού βάρους, αποτελούμενη από μεγάλο αριθμό αμινοξέων
- **TMV (tobacco mosaic virus):** 2130 καψομέρη, 300-350 χιλιάδες μόρια αμινοξέων με συνολικό μοριακό βάρος 40 εκατομμύρια περίπου



Δομή ιολογικού σωματιδίου TMV

Σωματίδια TMV στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



Νουκλεοξύ (RNA υπό μορφή έλικας/σπείρας)



TMV: Tobacco Mosaic Virus



Σύσταση των φυτικών ιών (1)

- Ιοσωμάτια από RNA ή DNA ή σπανίως και από τα δύο μαζί και συντίθενται από τα 4 βασικά νουκλεοτίδια που απαντούν στα αντίστοιχα νουκλεϊνικά οξέα των κυττάρων των ξενιστών
- Πρωτεΐνες των ιών περιέχουν τα 20 ίδια απαραίτητα αμινοξέα, που υπάρχουν φυτικά κύτταρα
- Πρωτεΐνες μεμβράνης στο **λιποπρωτεϊνικό φάκελο** κωδικοποιούνται από τον ιό και είναι γλυκοπρωτεΐνες, που περιέχουν υδατάνθρακες; Τα λιπίδια προέρχονται από διάφορες κυτταρικές πηγές (κυτταρική μεμβράνη ξενιστή)



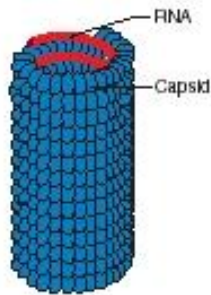
Σύσταση των φυτικών ιών (2)

- Όλοι οι ιοί κωδικοποιούν μία ή περισσότερες πρωτεΐνες, που είναι απαραίτητες για το σχηματισμό του καψιδίου και για τον πολλαπλασιασμό το γονιώματος του ιού δρώντας ως ένζυμα
- Κωδικοποιούν και πρωτεΐνες που μετακινούν τα ιοσωμάτια από κύτταρο σε κύτταρο και συμβάλλουν στη μετάδοσή τους μέσω φορέων (ασπόνδυλα, πρωτόζωα, μύκητες)
- Περιέχουν και περιορισμένο φάσμα μικρού μοριακού βάρους ενώσεις, όπως μόρια ύδατος, ορισμένα ιόντα Ca^{2+} και πολυαμίνες (συμβάλλουν κατασκευαστικά και όχι μεταβολικά)

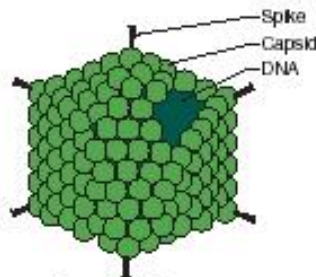


Μορφολογία των ιών (1)

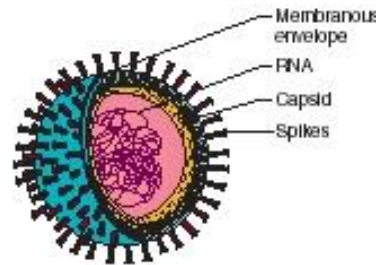
- Όλοι οι φυτοπαθογόνοι ιοί καθίστανται ορατοί με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο
- Οι μισοί σχεδόν είναι νηματόμορφοι (480-2000 nm μήκος και 10-13 nm πλάτος), αρκετοί είναι σφαιρικοί (υπό την έννοια της πολυεδρικότητας διαμέτρου 17-60 nm), ενώ ορισμένοι παραμένουν ραβδόμορφοι και μοιάζουν με βακίλλους (βραχείς, κυλινδρικοί, 300-380 x 52-75 nm)



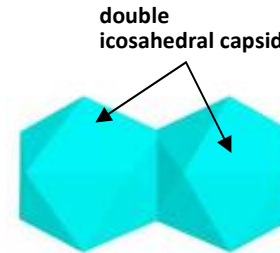
Rod-like virus



Icosahedral virus



Spherical virus





Μορφολογία των ιών (2)

- Πολλοί φυτικοί ιοί διαθέτουν γονιώματα διαχωρισμένα σε δύο ή περισσότερες διακριτές αλυσίδες νουκλεοξέων ενθυλακωμένες (εμπεριεχόμενες) σε διαφορετικού συνήθως σχήματος σωματίδια, τα οποία προέρχονται από την ίδια πρωτεϊνική υπομονάδα
- Αρκετοί φυτικοί ιοί έχουν 2 ή 3 ιοσωμάτια ίδιου μεγέθους, που περιέχουν όμως αλυσίδες νουκλεοξέων διαφορετικού μήκους



Μορφολογία των ιών (3)

- **Καψομερή** είναι συγκεκριμένος αριθμός πρωτεϊνικών υπομονάδων που αποτελούν το καψίδιο και εντοπίζονται στην επιφάνεια ιοσωματίων
- Κατά κανόνα όλα τα καψομερή είναι όμοια, ωστόσο υφίστανται και περιπτώσεις που υπάρχουν μέχρι και 9 διαφορετικά είδη πρωτεϊνών
- Στους νηματόμορφους ιούς τα καψομερή είναι σπειροειδώς διατεταγμένα, ενώ στα πολυεδρικά ιοσωμάτια των σφαιροϊών βρίσκονται στις πλευρές; Επιφάνεια ραβδοειδών και ορισμένων σφαιροϊών καλύπτεται από λιποπρωτεϊνική μεμβράνη



Ρόλοι των καψομερών

- Προστατευτικός και αντιγονικής εξειδικεύσεως
- Καθορίζει τον τρόπο μεταδοτικότητας των ιοσωματίων από τους φορείς του ιού
- Καθορίζει το είδος των συμπτωμάτων που προκαλεί
- Καψιδιακή πρωτεΐνη δεν έχει μολυσματικότητα, αλλά η παρουσία της τη διευκολύνει



Είσοδος & πολλαπλασιασμός των ιών στα κύτταρα του ξενιστή-φυτού



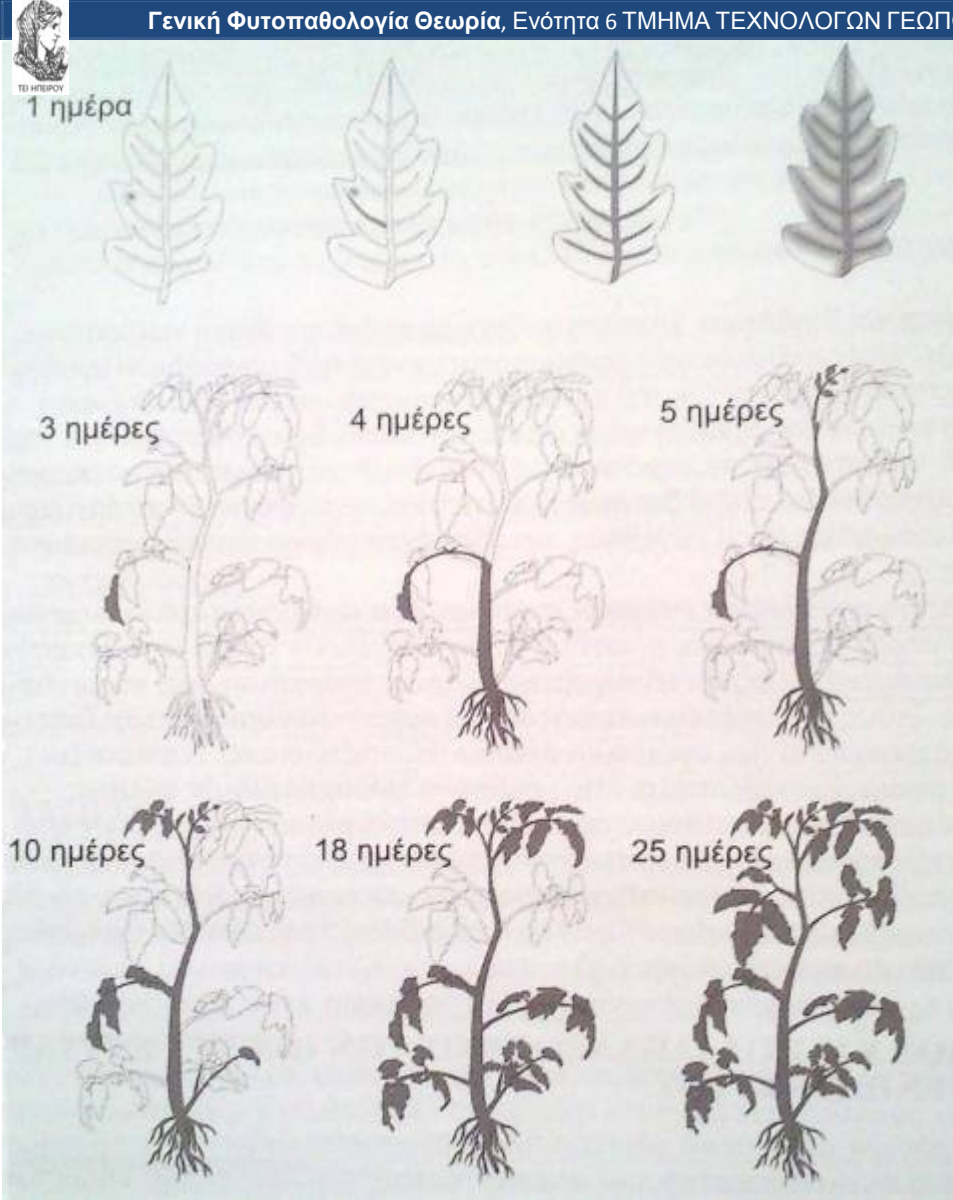
Είσοδος των ιών στα φυτικά κύτταρα

- **Πραγματοποιείται μόνο μέσω πληγών**, που προκαλούνται μηχανικά ή με υπαιτιότητα των φορέων τους (π.χ. έντομα)
- Απαιτείται λύση της συνέχειας των προστατευτικών στρωμάτων του κυτταρικού τοιχώματος και της κυτταροπλασματικής μεμβράνης
- Εξαίρεση αποτελεί η είσοδος φυτικού ιού μέσω της αποθέσεώς του εντός ωοθήκης μέσω του μολυσμένου κόκκου γύρεως
- Εισαγωγή του ιού θα πρέπει να είναι σχεδόν ταυτόχρονη με τη δημιουργία τραύματος, γιατί η πληγή επουλώνεται μετά από 5-30 λεπτά (ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες)



Πολλαπλασιασμός των ιών στα φυτικά κύτταρα

- **Κύτταρο σε κύτταρο τα ιοσωμάτια μετακινούνται μέσω πλασμοδεσμών** και αυτή η κίνηση είναι αργή και προκαλεί κυρίως τοπική μόλυνση
- Σε **διασυστηματικούς ιούς**, η μετακίνηση των ιοσωματίων σε μεγάλες αποστάσεις επιτυγχάνονται **μέσω των κυττάρων του ηθμού** με ταχύτητα που υπολογίζεται σε 2 περίπου cm/min
- Αν η μόλυνση γίνει σε επιδερμικό κύτταρο του φύλλου, ο ιός θα ανιχνευτεί στους ηθμοσωλήνες του φύλλου σε 2-5 ημέρες
- Μετά θα μεταφερθεί αρχικώς στις ρίζες και αργότερα θα εξαπλωθεί στο υπόλοιπο υπέργειο φυτικό τμήμα



Κατεύθυνση και ταχύτητα διασυστηματικής μετακίνησης των φυτοϊών

- Παρουσία ιοσωματίων μόνο στον ηθμό και στα παρακείμενα παρεγχυματικά κύτταρα
- Παρουσία ιοσωματίων σε όλους τους ιστούς (π.χ. μωσαϊκώσεις) σε υψηλές συγκεντρώσεις (10^5 - 10^7 ιοσωμάτια ανά κύτταρο)
- Στις διασυστηματικές μολύνσεις, όλα τα ζωντανά κύτταρα περιέχουν τον ιό



Αναπαραγωγή των ιών



Αναπαραγωγή των ιών

- Μονόκλωνο νουκλεϊνικό οξύ (απλή αλυσίδα) μπορεί να είναι κωδικό ή αντικωδικό
- Μονόκλωνοι κωδικοί ιοί σημαίνει ότι διαθέτουν νουκλεϊκό οξύ, που δρα απευθείας ως mRNA με αλληλουχία που κωδικοποιεί μία πρωτεΐνη
- Μονόκλωνοι αντικωδικοί ιοί διαθέτουν νουκλεϊνικό ξύ που δεν δρα απευθείας ως mRNA, γιατί έχουν συμπληρωματική αλληλουχία και άρα είναι αναγκαία η αντιγραφή της σε κωδικό, για να δράσει ως mRNA



Μολυσματικότητα νουκλεϊνικών οξέων των ιών

- Γονίωμα ενός ιού περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, για την αναπαραγωγή πλήρων ιοσωματίων *in vivo*
- **Φυσική ακεραιότητα & είδος νουκλεϊνικού οξέος** είναι οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται αν είναι μολυσματικό το αιώρημα ιοσωματίων
- Φυσική ακεραιότητα νοείται η πληρότητα, άθικτο σωματίο χωρίς θραυσθέντες φωσφοροδιαστερικούς δεσμούς λόγω φυσικοχημικής ή ενζυμικής δράεως
- Είδος νουκλεϊνικού οξέος νοούνται **ιοί μονόκλωνοι κωδικού & αντικωδικού RNA, ιοί δίκλωνου RNA και ιοί DNA**



Ιοί μονόκλωνου κωδικού RNA

- Είναι οι ιοί με κωδικό ριβοζονουκλεϊνικό οξύ μονής αλυσίδας (ssRNA)
- Αυτός το γονίωμα με την είσοδό του στον κατάλληλο ξενιστή δρα ως mRNA και άρα είναι μολυσματικό
- Πολύ περιορισμένη μολυσματικότητα σε σύγκριση με το πλήρες ιοσωμάτιο, ίσως λόγω της ενζυμικής δράσης των νουκλεασών που καταστρέφουν μεγάλο ποσοστό του γυμνού RNA
- Μερικοί ιοί διαθέτουν μικρό τμήμα πρωτεΐνης συνδεδεμένης στο 5' άκρο του RNA και αυτή (η πρωτεΐνη) είναι απαραίτητη για τη μολυσματικότητα
- Άλλοι ιοί απαιτούν την παρουσία του καψιδίου ή mRNA για τη σύνθεση της πρωτεΐνης του καψιδίου και να αρχίσει η διαδικασία της μόλυνσης
- Σε 10 ώρες περίπου έχουν σχηματισθεί τα νέα ιοσωμάτια σε ζωντανό φυτικό πρωτόπλασμα του ξενιστή



Ιοί μονόκλωνου αντικωδικού RNA

- Είναι οι ιοί με αντικωδικό ριβοζονουκλεϊνικό οξύ μονής αλυσίδας
- Αυτό το γονίωμα αρνητικής έννοιας (αντικωδικό) πρέπει να αντιγραφεί σε θετικής έννοιας (κωδικά) mRNA, για να καταστεί λειτουργικό
- Αυτή η αντιγραφή επιτυγχάνεται με την παρουσία ενός ενζύμου στα ιοσωμάτια, του οποίου η πληροφορία παραγωγής είναι κωδικοποιημένο στον ιό
- Απουσία προφανώς αυτού του ενζύμου καθιστά το γονιωματικό RNA μη μολυσματικό



Δίκλωνοι RNA ιοί

- Είναι οι ιοί με ριβοζονουκλεϊνικό οξύ διπλής αλυσίδας (dsRNA)
- Διαθέτουν γονίωμα με κωδικοποιημένη πληροφορία παραγωγής ενός ενζύμου, που αντιγράφει το γονιδιακό RNA σε mRNA
- Απομάκρυνση αυτού του ενζύμου κατά τη διάρκεια απομόνωσης του RNA καθιστά αυτό το γονιωματικό RNA μη μολυσματικό



DNA ιοί

- Γονίωμα μονής ή διπλής αλυσίδας
- Αυτοί οι ιοί χρησιμοποιούν τα ενζυμικά συστήματα του ξενιστή-φυτού στα αρχικά στάδια της μόλυνσης, όπου σχηματίζονται λειτουργικά mRNA
- Αυτοί οι ιοί μολύνουν απουσία ενζύμων, γιατί η γενετική πληροφορία παραγωγής τους είναι καταγεγραμμένη στο γονίωμά τους



Διαδικασία σύνθεσης των ιών

- Περισσότεροι φυτοπαθογόνοι ιοί διαθέτουν μονόκλωνο RNA και άρα ένα μόριο RNA υφίσταται ανά ιοσωμάτιο και ένα μόνο είδος καψομερούς σε κάθε ιό
- Αρχικά, απελευθέρωση RNA από το πρωτεϊνικό καψίδιο
- Επαγωγή σύνθεσης ιικής RNA-πολυμεράσης, η οποία χρησιμοποιεί ιικό RNA ως εκμαγείο (μήτρα) για να σχηματίσει συμπληρωματικό RNA
- Προσωρινή σύνδεση συμπληρωματικού RNA με την (αρχική θετική) ιική αλυσίδα, αλλά ταχέως διαχωρίζονται και αυτή η συμπληρωματική αλυσίδα έχει το ρόλο εκμαγείου οδηγώντας στη σύνθεση νέου ιικού RNA



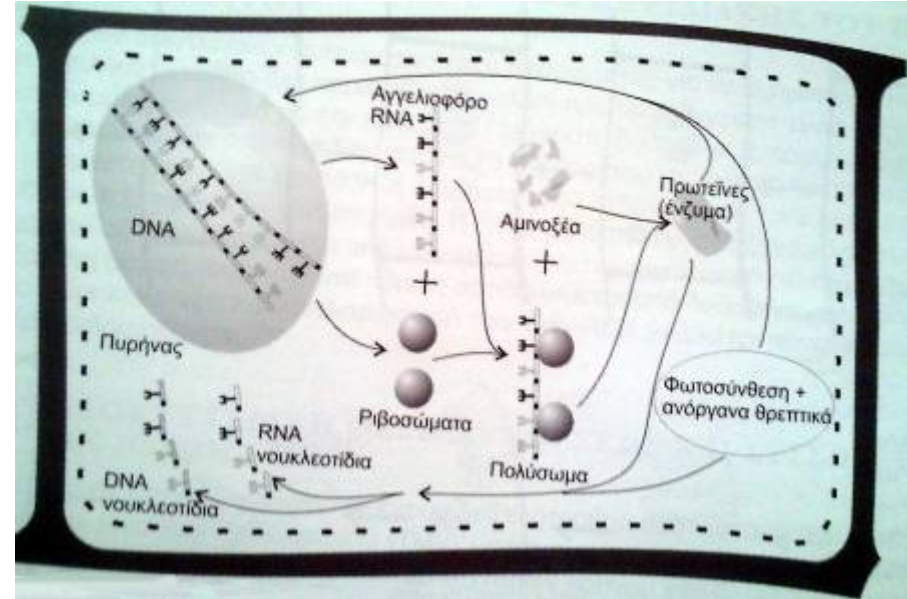
Διαδικασία σύνθεσης των RNA ιών

- **Ιοί με διαφορετικά τμήματα RNA σε δύο ή περισσότερα ιοσωμάτια**, η αναπαραγωγή του και μόλυνση πραγματοποιούνται όταν όλα τα ιοσωμάτια του είναι παρόντα στο ίδιο φυτικό κύτταρο
- **Μονόκλωνοι ραβδόμορφοι RNA ιοί** δεν έχουν RNA μολυσματικό ως αντικωδικό και αυτή η μολυσματικότητα εκφράζεται, όταν γίνει μεταγραφή εντός του ξενιστή μέσω του ενζύμου μεταγραφάση (transcriptase) και ακολουθήσει η αντιγραφή του RNA σε κωδικό
- **Δίκλωνοι ισοδιαμετρικοί RNA ιοί** φέρουν το RNA χωρισμένο εντός του ίδιου ιοσωματίου (είναι μη-μολυσματικό) και η αντιγραφή του στον ξενιστή εξαρτάται από το ένζυμο της μεταγραφάσης, που πρέπει να συνυπάρχει εντός του ιού



Διαδικασία σύνθεσης των dsDNA ιών

- **Ιοί με δίκλωνο DNA**, η μόλυνση εντός του φυτού γίνεται όταν το ιικό δίκλωνο DNA εισέρχεται στον πυρήνα του φυτικού κυττάρου, όπου και μεταγράφεται σε δύο μονόκλινα RNA
- Ακολούθως, το μικρότερο RNA μεταφέρεται στο κυτταρόπλασμα και μεταφράζεται σε κωδικοποιημένες πρωτεΐνες του ιού



- Το μεγαλύτερο RNA μεταφέρεται στην ίδια περιοχή του κυτταροπλάσματος και περικλείεται από τα καψομερή και χρησιμοποιείται ως εκμαγείο για αντίστροφη μεταγραφή στο πλήρες ιικό δίκλωνο DNA



Διαδικασία σύνθεσης των ssDNA ιών

- **Αντιγραφή ιού μονόκλωνου DNA** λαμβάνει χώρα με την παραγωγή πολυμερικής αλυσίδας, που αποτελεί το εκμαγείο για την παραγωγή πολυμερικών ικών αλυσίδων βάσει του σχηματισμού **κυλιόμενοι κύκλου (rolling circle)**
- Ακολούθως, οι πολυμερικές ικές αλυσίδες συνενώνονται για να δημιουργεί το πλήρες μήκος της κανονικής ικής αλυσίδας
- Η πρωτεϊνοσύνθεση στα υγιή φυτικά κύτταρα εξαρτάται από την παρουσία αμινοξέων και από τη συμβολή/συνεργασία των ριβοσωμάτων, του mRNA και των tRNA (κάθε tRNA αντιστοιχεί στην αλληλουχία mRNA)
- Το mRNA που παράγεται στον πυρήνα και κωδικοποιεί τμήμα DNA καθορίζει το είδος της πρωτεΐνης που θα παραχθεί, κωδικοποιώντας την αλληλουχία κατά την οποία τα αμινοξέα είναι διατεταγμένα

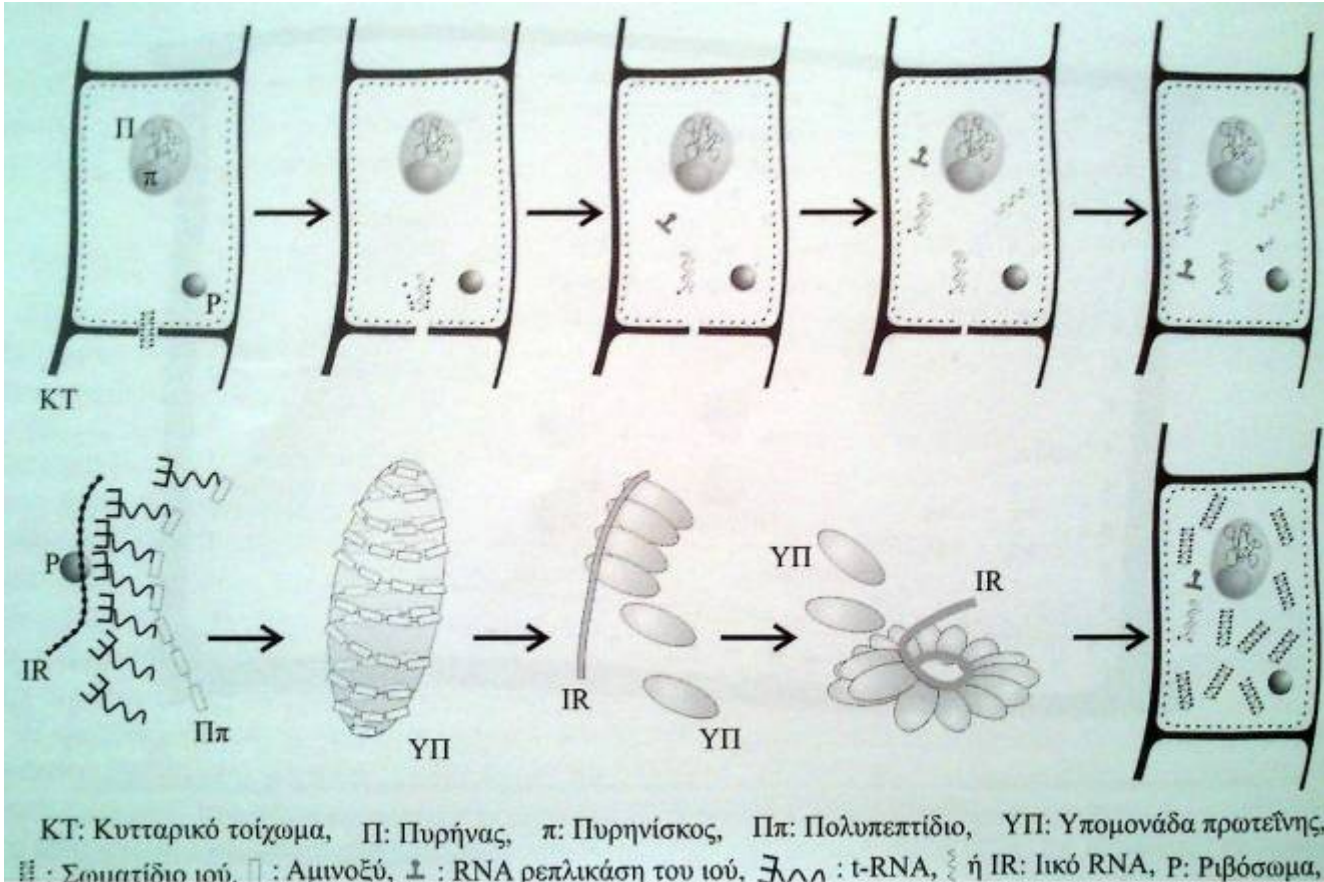


Διαδικασία σύνθεσης των ssDNA ιών

- Τα ριβοσώματα μετακινούνται κατά μήκος του mRNA και παρέχουν την ενέργεια για τη σύνδεση των προδιατεταγμένων αμινοξέων, για το σχηματισμό της πρωτεΐνης
- Για την ική πρωτεϊνοσύνθεση, τμήμα ικού RNA που κωδικοποιεί την ική πρωτεΐνη κατέχει ρόλο mRNA
- Ο ιός χρησιμοποιεί τα αμινοξέα, τα ριβοσώματα και τα tRNAs του ξενιστή και οι σχηματιζόμενες πρωτεΐνες είναι αποκλειστικά προς χρήση του ιού ως περίβλημα-καψίδιο ή για άλλες λειτουργίες
- Όταν ολοκληρωθεί η παραγωγή του νέου ικού νουκλεοξέος και των καψομερών, το νουκλεοξύ οργανώνει τις πρωτεϊνικές υπομονάδες πέριξ του και αυτά τα δύο συγκροτούν το ισωμάτιο



Διαδικασία σύνθεσης των ssDNA ιών



Διαδοχικά στάδια μόλυνσης & βιοσύνθεσης των φυτικών ιών



Διαδικασία σύνθεσης των ιών

- Το σημείο ή σημεία του κυττάρου που γίνεται η σύνθεση του ιικού νοκλεοξέος και των καψομερών ποικίλλει και εξαρτάται από τον ιό
- Ιικό RNA, αφού απελευθερωθεί από το πρωτεϊνικό καψίδιο, αναπαράγεται στο κυτταρόπλασμα
- Απόθεση ιοσωματίων γίνεται επίσης στο κυτταρόπλασμα
- Η σύνθεση των ιικών νοκλεοξέων & πρωτεϊνών των ssDNA ιών και η συνάθροιση των ιοσωματίων τους γίνεται στον πυρήνα και στη συνέχεια απελευθερώνονται στο κυττόπλασμα
- Ιοσωμάτια στο κυττόπλασμα (10 ώρες μετά τη μόλυνση) του φυτικού κυττάρου εντοπίζονται είτε μόνα τους, είτε σε ομάδες και ίσως σχηματίζουν κρυσταλλικά έγκλειστα



Ρόλος RNA

- Το RNA των ιών έχει τη μοναδικότητα να δρα είτε ως εκμαγείο, είτε ως mRNA και για αυτό λέγεται **πολυλειτουργικό**
- Υφίστανται γόννοι για την RNA-πολυμεράση, την πρωτεΐνη του καψιδίου και ίσως για τη σύνθεση προϊόντων που ευθύνονται για την εκδήλωση συγκεκριμένων συμπτωμάτων στο φυτό-ξενιστή
- **Εκδήλωση συμπτωμάτων δεν οφείλονται μόνο στο ότι η σύνθεση του ιού καταναλώνει συστατικά του φυτικού κυττάρου, αλλά και στο ότι ο ιός κατευθύνει τη σύνθεση βιολογικά ενεργών ουσιών που δεν προϋπάρχουν στα υγιή φυτά ή τουλάχιστον στις ίδιες ποσότητες**



Μετακίνηση & κατανομή των ιών στα φυτικά κύτταρα

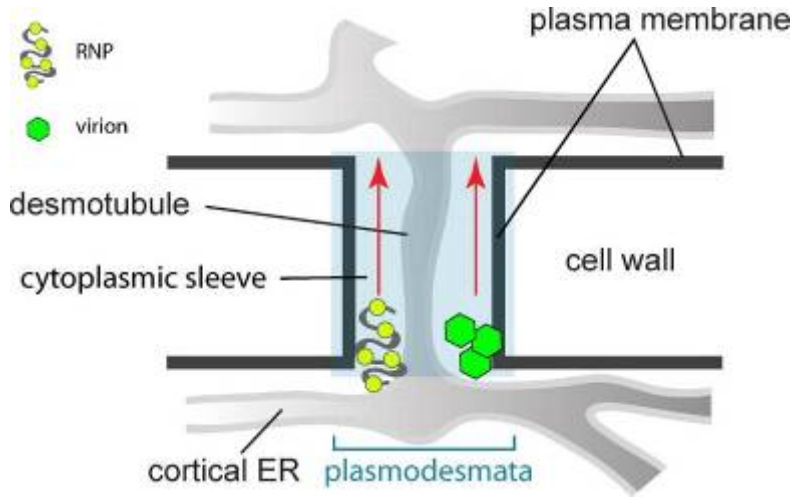


Μετακίνηση & κατανομή των ιών στα φυτικά κύτταρα

- Μετακίνηση τοπικά ή διασυστηματικά εντός μολυσμένων φυτών
- **Τοπική** μετακίνηση μέσω των πλασμοδεσμάτων των κυττάρων από τη θέση της αρχικής εισόδου και είναι βραδεία
- **Διασυστηματική** μετακίνηση μέσω των αγγείων του ηθμού και είναι ταχύτερη
- Οι κινητές μορφές του ιού από κύτταρο σε κύτταρο είναι οι άθικτοι ιοί, αλλά και οι μονές κωδικές αλυσίδες νουκλεϊνικών οξέων
- **Ριβονουκλεοπρωτεΐνες (vRNP)**: μορφές συμπλόκων που περιέχουν ιικό RNA, καψιδιακή πρωτεΐνη και νουκλεϊνικά οξέα και μετακινούνται σε μικρές ή μεγάλες αποστάσεις εντός του φυτού

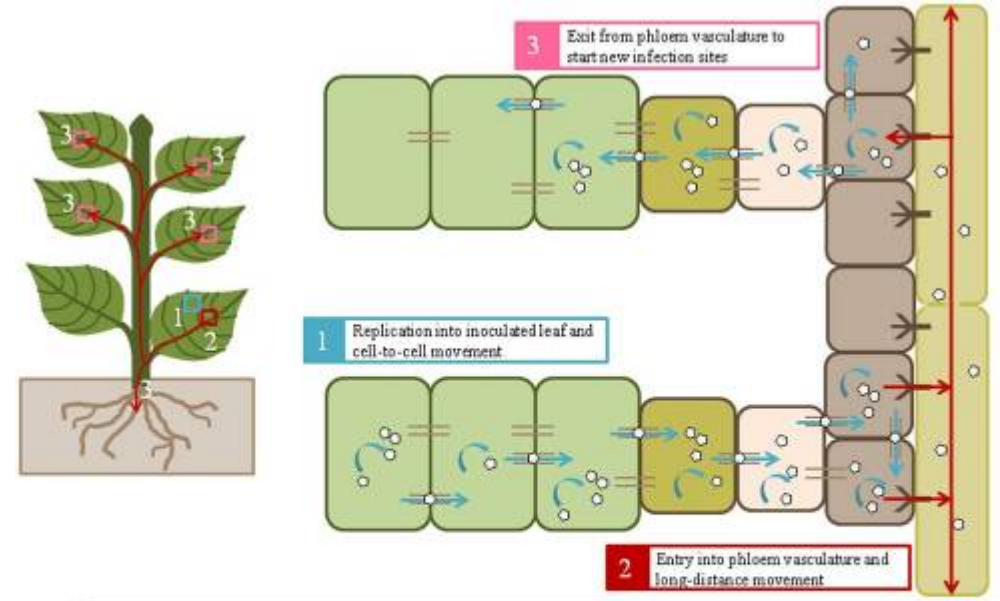


Μετακίνηση & κατανομή των ιών στα φυτικά κύτταρα



Τοπική μετακίνηση

Ιοί μεταβάλλουν τις ιδιότητες των πλασμοδεσμάτων (π.χ. διάμετρος), ώστε να μετακινηθούν από κύτταρο σε κύτταρο



	Epidermal cells Mesophyll cells		Bundle sheath		Vascular parenchyma		Companion cells		Sieve elements
	Plasmodesmata		Pore Plasmodesmal Units (PPUs)		Viral transport complex		Viral cell-to-cell movement via plasmodesmata		Viral long-distance movement via phloem vasculature
	Viral replication Protein synthesis								

Τοπική & Διασυστηματική μετακίνηση



Πολυσωματιακοί, συνιοί και δορυφόροι ιοί



Πολυσωματιακοί, συνιοί & δορυφόροι ιοί

- **Πολυσωματιακοί:** μερικοί RNA-φυτοϊοί διαθέτουν δύο ειδών ιοσωμάτια εκ των οποίων κανένα από μόνο του δεν είναι μολυσματικό (το γονίωμά τους είναι κατανεμημένο σε δύο τμήματα RNA και μολύνουν μόνο που συνευρίσκονται στα κύτταρα του ξενιστή)
- **Συνιοί:** μερικοί RNA-φυτοϊοί διαθέτουν δύο διαφορετικών ειδών ιοσωμάτια
- **Δορυφόροι ιοί:** ιοσωμάτιο που μοιάζει με ιό, αλλά περιέχει μόνο ένα γόνο που κατευθύνει την πρωτεϊνοσύνθεση μόνο του δικού του καψιδίου και εξαρτάται ολοκληρωτικά από τον κύριο ιό για την παραγωγή της RNA-πολυμεράσης



Ιοσοειδή & Prions

- **Ιοσοειδή:** πρόκειται για κατηγορία δορυφορικών RNA, τα οποία είναι κυκλικά, μονονηματικά μήκους 324-378 νουκλεοτιδίων με ενδομοριακή συμπληρωματικότητα και δευτεροταγή δομή όμοια με εκείνης των ιοειδών (βλέπε κάτωθι)
- Τα ιοειδή συντίθενται στους πυρηνίσκους χρησιμοποιώντας την RNA-πολυμεράση II του πυρήνα (DNA εξαρτώμενη), ενώ τα ιοσοειδή συντίθενται στο κυτταρόπλασμα χρησιμοποιώντας μία πολυμεράση εξαρτώμενη από RNA
- **Prions:** τα μικρότερα μολυσματικά παθογόνα



Αντίδραση φυτών σε μολύνσεις δύο διαφορετικών ιών



Μόλυνση φυτού από δύο ιούς

- Είτε ταυτόχρονα, είτε διαδοχικά, ο πολλαπλασιασμός του κάθε ιού δεν επηρεάζεται από την παρουσία του άλλου
- Εμφάνιση τυπικών συμπτωμάτων και των δύο ιώσεων ή συμπλόκου συμπτωμάτων, που δεν μοιάζουν σε καμία από τις δύο ιώσεις
- Αν πρόκειται για φυλές του ίδιου ιού που προκαλούν διαφορετικά συμπτώματα, έχει μεγάλη σημασία αν η μόλυνση στο φυτό έγινε ταυτόχρονα ή διαδοχικά από αυτές τις δύο φυλές



Μόλυνση φυτού από δύο φυλές του ίδιου ιού με διαφορετικά συμπτώματα

- **Ταυτόχρονη μόλυνση:** οι 2 φυλές να πολλαπλασιαστούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη και να παραχθούν συμπτώματα ενδιάμεσης φύσεως ή η μία φυλή να πολλαπλασιαστεί ταχύτερα και να υπερισχύσει της άλλης (**ανταγωνισμός**) ή η μία φυλή να «βοηθήσει» στο πολλαπλασιασμό & εξάπλωση της άλλης μέσα στο φυτό (**συνεργία**)
- **Διαδοχική μόλυνση:** η παρουσία ιοσωματίων της πρώτης φυλής παρεμποδίζει πλήρως τη μόλυνση οποιασδήποτε άλλης φυλής του ίδιου ιού (είδος επίκτητης αντοχής και δεν εξαρτάται από το ποια φυλή θα μολύνει πρώτη)
 - Μόλυνση φυτού τεχνητώς με ήπια μορφή ενός ιού έχει προσφέρει προστασία από καταστρεπτικές φυλές του ίδιου ιού (**cross protection**)



Ιοειδή των φυτών

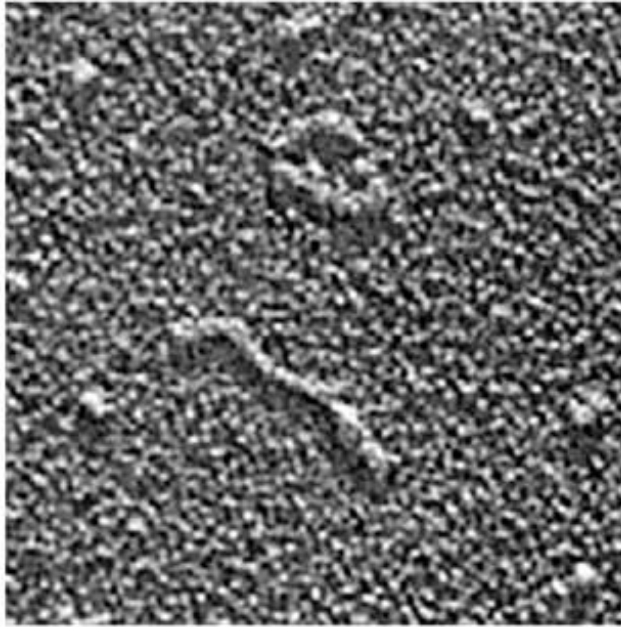


Ιοειδή (1)

- Οι μικρότερες παθογόνες οντότητες μολυσματικών ασθενειών των φυτών μετά τα prions; ~20 ασθένειες των φυτών οφείλονται σε ιοειδές
- Μικρών διαστάσεων κυκλικά RNA μονής αλυσίδας μικρού μοριακού βάρους; Μήκος 40 nm και πάχος δίκλωνου RNA
- Τα νουκλεοτίδιά τους δεν κωδικοποιούν καμιά πρωτεΐνη και πολλαπλασιάζονται μόνο σε κύτταρα φυτών
- Αποτελούν το ελάχιστο γενετικό σύστημα και ορίζουν το μέτρο του ελάχιστου της μολυσματικής μονάδας
- Φαίνεται να εντοπίζονται στον πυρήνα του κυττάρου και ίσως στο ενδομεμβρανικό του σύστημα



Ιοειδή (2)

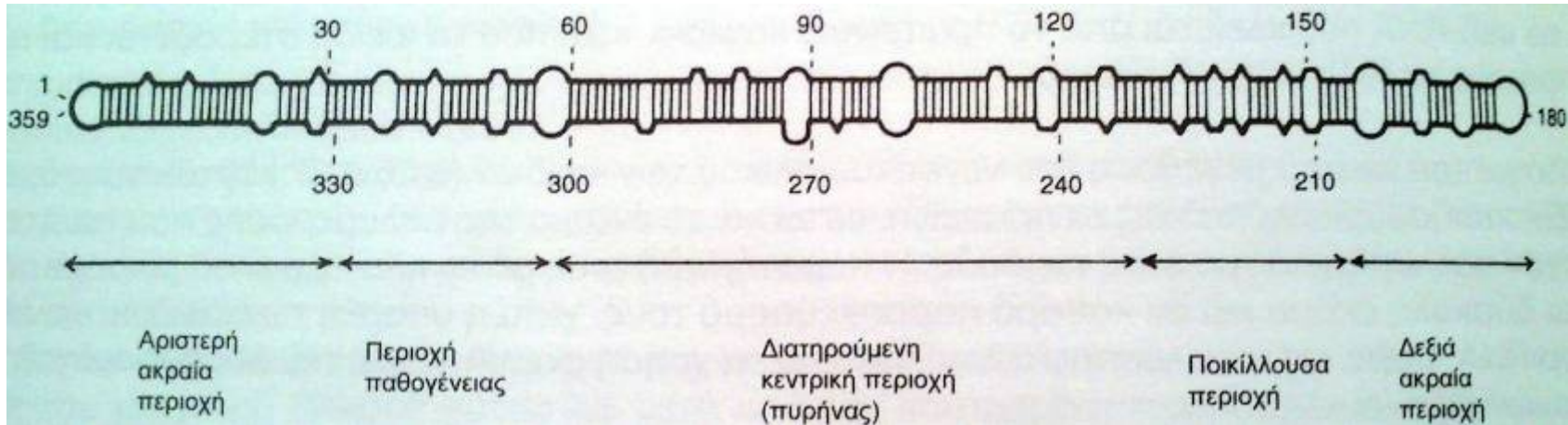


Ο Αμερικανός
Diener το 1971
πρωτοπεριέγραψε
τις μολυσματικές
οντότητες από
νουκλεοξύ

- Δύσκολη η παρατήρησή τους ακόμα και σε καθαρό παρασκεύασμά τους στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (χρήση φαινόλης για την αδρανοποίηση των φυτικών ριβονουκλεασών)



Ιοειδή (3)



- Σχηματισμός ζευγών βάσεων μεταξύ τους οδηγεί το γενετικό υλικό να έχει δομή λαβίδας (φουρκέτας) με μονόκλωνες και δίκλωνες περιοχές και έτσι το RNA καθίσταται τελικά πιο σταθερό παρά την απουσία πρωτεϊνικού καψιδίου

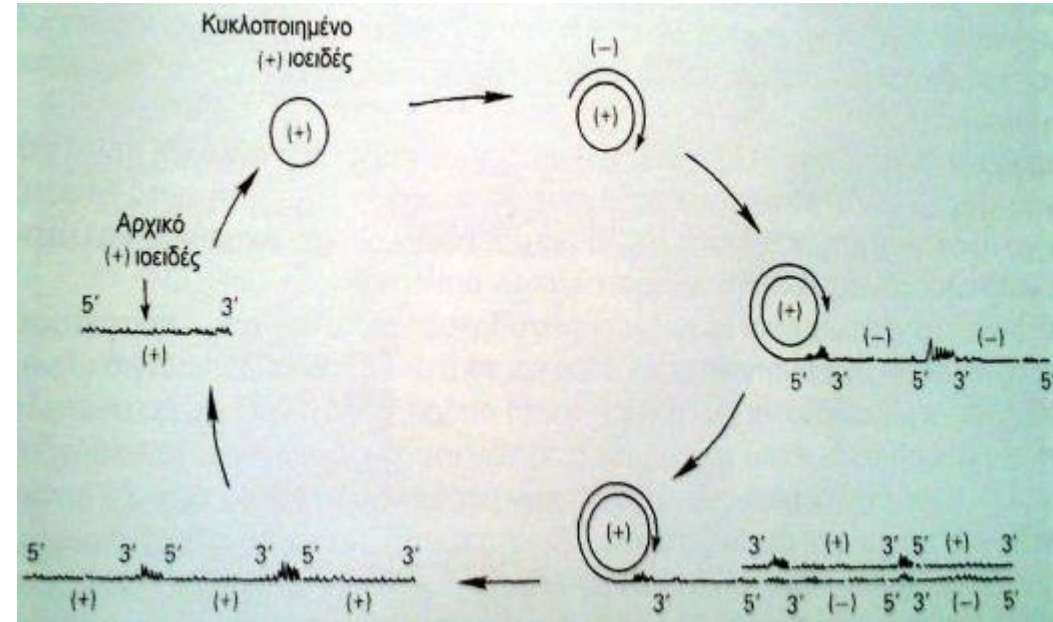


Ιοειδή (4)

- Στην ονοματολογία τους γίνεται με τη χρήση του γράμματος «d» στο τέλος του αρτικόλεξου του ονόματός τους (π.χ. Potato spindle tuber virod, PSTVd); Αγγλικά: viroid
- **Πολλαπλασιασμός των ιοειδών** γίνεται με τη χρήση προϋπαρχόντων ενζύμων του φυτού (RNA ιοειδούς δεν κωδικοποιεί για κανένα από τα πολυπεπίδια), τα οποία είναι υπεύθυνα για τη σύνθεση νουκλεϊνικών οξέων; Λαμβάνει χώρα μέσω RNA προτύπου και περιλαμβάνει ένα κυλιόμενο (rolling-circle) μηχανισμό
- **Άγνωστο πως μολύνουν τα ιοειδή** και οι ασθένειές τους εκδηλώνονται με διάφορα συμπτώματα; Πιθανά ο **βαθμός δράσης μίας πρωτεϊνικής κινάσης** να σχετίζεται με το βαθμό παθογένεσης του ιοειδούς και άρα με την ανάπτυξη της ασθένειας στο φυτό

Στάδια πολλαπλασιασμού ιοειδών

- Ξεκινά με την κωδική (θετική) μολυσματική αλυσίδα, που καθίσταται πρότυπο για τη σύνθεση των αντικωδικών (αρνητικών) αλυσίδων
- Η πολυμερής γραμμική αντικωδική αλυσίδα αντιγράφεται σε πρόδρομες πολυμερείς κωδικές αλυσίδες
- Αυτές οι πρόδρομες αλυσίδες τεμαχίζονται και κυκλοποιούνται



4 ένζυμα υπεισέρχονται στη σύνθεση ιοειδών μέσω της αντιγραφής της κωδικής αλυσίδας από μία αντικωδική: DNA-εξαρτώμενη πολυμεράση με 3 μορφές (I, II, III) και μία RNA-εξαρτώμενη πολυμεράση (πιθανά η μορφή II) 60



Ιοειδή (5)

- **Μετακίνηση** ταχέως μέσω των κυττάρων & αγγείων του ηθμού του ξενιστή (όπως και οι ιοί) και αυτό ίσως λαμβάνει χώρα ως προσδεδεμένα σε μία πρωτεΐνη του φυτού
- **Μετάδοση & Επιδημιολογία:** εύκολα μηχανικώς (χυμός μολυσμένου φυτού στα χέρια, εργαλεία, καλλιεργητικές φροντίδες κ.λπ.) και με το αγενές πολλαπλασιαστικό υλικό, αλλά και με τη γύρη & σπόρο (μικρός ρυθμός μεταδοτικότητας); Φορείς ιοειδών δεν πρέπει να υπάρχουν
- Επιβίωση ιοειδών εκτός του ξενιστή τους στα νεκρά φυτικά υπολείμματα για λίγα λεπτά της ώρας έως λίγους μήνες; Κυρίως επιβιώνουν εντός πολυετών ξενιστών
- Αρκετά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες; Δεν αδρανοποιούνται εντός των μολυσμένων φυτών με τη θερμική μεταχείρισή τους



Ομοιότητες ιών-ιοειδών

- Και τα δύο είναι υπερμικροσκοπικά υποχρεωτικά παράσιτα (πολλαπλασιάζονται μόνο σε ζωντανά κύτταρα), αυτόνομα πολλαπλασιαζόμενα, αποτελούμενα κατά βάση από νουκλεϊκό οξύ (DNA ή RNA οι ιοί, RNA τα ιοειδή) και αναπαραγόμενα βάσει του δόγματος της βιολογίας
- Συμπτωματολογία των ιοειδικών ασθενειών περιλαμβάνεται σε εκείνη των ιών (που είναι ευρύτερη)
- Τρόποι μετάδοσης των ιοειδών επίσης περιλαμβάνονται σε εκείνους των ιών



Διαφορές ιών-ιοειδών

- Μέγεθος RNA ιοειδούς είναι 250-370 βάσεις, ενώ το αντίστοιχο ιικό RNA είναι των 4-20 kb
- Το ιικό RNA περικλείεται από το πρωτεϊνικό καψίδιο, ενώ τα ιοειδή στερούνται και προφανώς το RNA τους είναι ελεύθερο
- Οι ιοί περιέχουν τις γενετικές πληροφορίες για τη σύνθεση κάποιων πρωτεϊνών (τουλάχιστον του ενζύμου πολυμερισμού του ίδιου του νουκλεϊκού οξέος τους), ενώ τα ιοειδή δεν κωδικοποιούν πρωτεΐνες
- Τα ιοειδή έχουν μοναδική χημική δομή και έχουν υψηλότερη από τους ιούς άριστη θερμοκρασία πολλαπλασιασμού και εκδήλωσης των συμπτωμάτων (πάνω από τους 30°C, ενώ άνω από αυτό το επίπεδο θερμοκρασίας γίνεται η θεραπεία των φυτών από τους ιούς)



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. Φυτοπαθολογική ιολογία.

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



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

