



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

Ενότητα 7:

Μηχανική Καταπόνηση, 2ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Διδάσκοντες: Γεώργιος Καραμπουρνιώτης

Γεώργιος Λιακόπουλος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Μαθησιακοί Στόχοι

- Ορισμός και κατηγορίες μηχανικής καταπόνησης, επιπτώσεις των μηχανικών καταπονήσεων, του ανέμου και των τραυματισμών, στρατηγικές και μηχανισμοί αντιμετώπισης μηχανικών καταπονήσεων.



Λέξεις Κλειδιά 1/2

- θιγμομορφογένεση,
- σεισμομορφογένεση,
- ανεμομόρφωση,
- ξύλο αντίδρασης,
- συμπιεσμένο ξύλο,
- ξύλο τάσης,
- διαπνοή,
- θερμικό ισοζύγιο,
- καλμοντουλίνη.



Λέξεις Κλειδιά 2/2

- τραυματισμοί,
- τραυματική καλόζη,
- οξειδωτική έκρηξη,
- συστεμίνη,
- αυξίνη,
- αιθυλένιο,
- τραυματίνη,
- τραυματική αναπνοή.



Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ



Μηχανική Καταπόνηση 1/2

Ορίζεται κάθε άσκηση δύναμης σε ιστούς, όργανα ή στο σώμα ενός φυτού, υπό την προϋπόθεση ότι αυτή δεν προκαλεί καταστροφή των δομών του.

- **θιγμομορφογένεση**
 - περιγράφει τις μεταβολές στη μορφολογία και φυσιολογία των φυτών οι οποίες επέρχονται υπό την επίδραση τριβής, συστροφής και κάμψης των οργάνων τους λόγω φυσικής επαφής.
- **σεισμομορφογένεση**
 - περιγράφει τις μορφολογικές και φυσιολογικές μεταβολές οι οποίες επέρχονται υπό την επίδραση τρανταγμάτων ή ασθενών δονήσεων.



Μηχανική Καταπόνηση 2/2

● Προέλευση

- Στη φύση τα φυτά δέχονται συνήθως μηχανική καταπόνηση από τον άνεμο, αλλά και από τις σταγόνες της βροχής, την αύξηση του βάρους των οργάνων τους κ.ά.
- Τα υδρόφυτα δέχονται συνεχώς τριβές, τραντάγματα και δονήσεις από το υδατικό περιβάλλον.

● Ανεμομόρφωση

- Ακραίες περιπτώσεις θιγμομορφογένεσης παρατηρούνται σε φυτά τα οποία διαβιώνουν σε αλπικά υψόμετρα ή σε περιβάλλοντα που δέχονται ισχυρούς ανέμους. Τα φυτά αυτά παίρνουν χαρακτηριστική μορφή.



Ανεμομόρφωση 1/2



- Σχοίνος (αριστερά) και ελιά (δεξιά) σε χωράφι στα Στύρα, Ν. Εύβοια.



Ανεμομόρφωση 2/2



- Καστανιά στην Όχη (Κάρυστος, Ν. Εύβοια) σε υψόμετρο 700 m περίπου.



Μηχανική Καταπόνηση 3/3

● Εγκλιματισμός

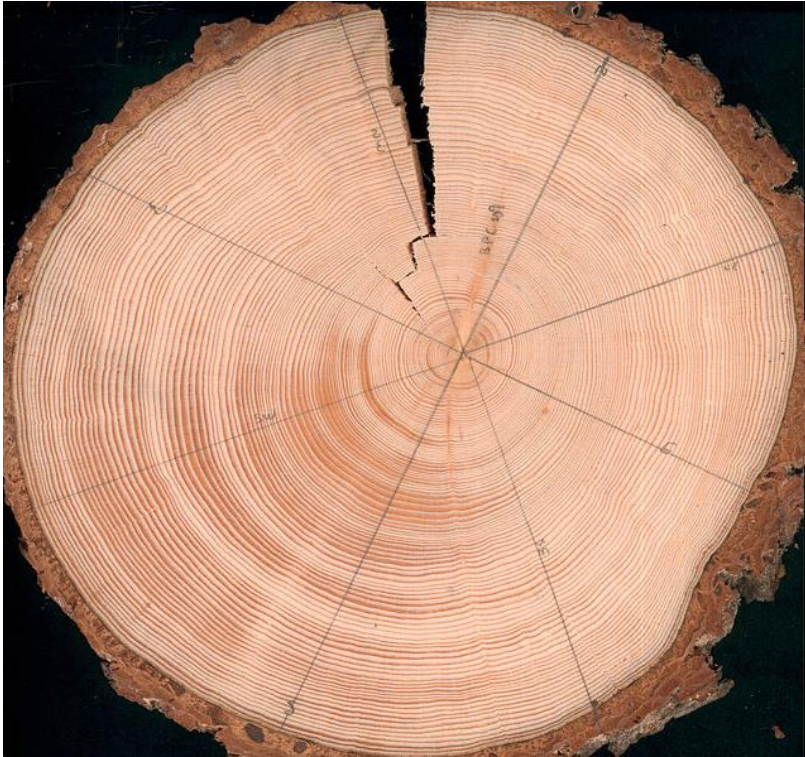
- Μείωση του ρυθμού ανάπτυξης. Ειδικότερα, μείωση του ρυθμού επιμήκυνσης των φύλλων, μείωση του συνολικού αριθμού των φύλλων, μείωση του ύψους των φυτών.
- Σε επίπεδο φύλλου, αυξάνεται η σκληροφυλλία όπως εκτιμάται από την παράμετρο SLA (Specific Leaf Area).

● Σχηματισμός εξειδικευμένων ιστών

- Η διαρκής έκθεση σε υψηλές ταχύτητες ανέμου ή πλάγιασμα του βλαστού των δένδρων έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή ξύλου αντίδρασης.



Ξύλο Αντίδρασης 1/2



- Σχηματισμός ξύλου αντίδρασης (συμπιεσμένου ξύλου) στο έλατο. Η κλίση του κορμού είναι προς τα κάτω και αριστερά.



Ξύλο Αντίδρασης 2/2

είδος φυτού	γυμνόσπερμα	αγγειόσπερμα
αντίδραση	συμπιεσμένο ξύλο	ξύλο τάσης
θέση στον κορμό	χαμηλά	ψηλά
κυτταρικό τοίχωμα	παχύ	λεπτό
σύσταση	πλούσιο σε λιγνίνη	πλούσιο σε κυτταρίνη
εμφάνιση	σκουρόχρωμο	ανοιχτόχρωμο



Επιδράσεις του Ανέμου στα Φυτά 1/4

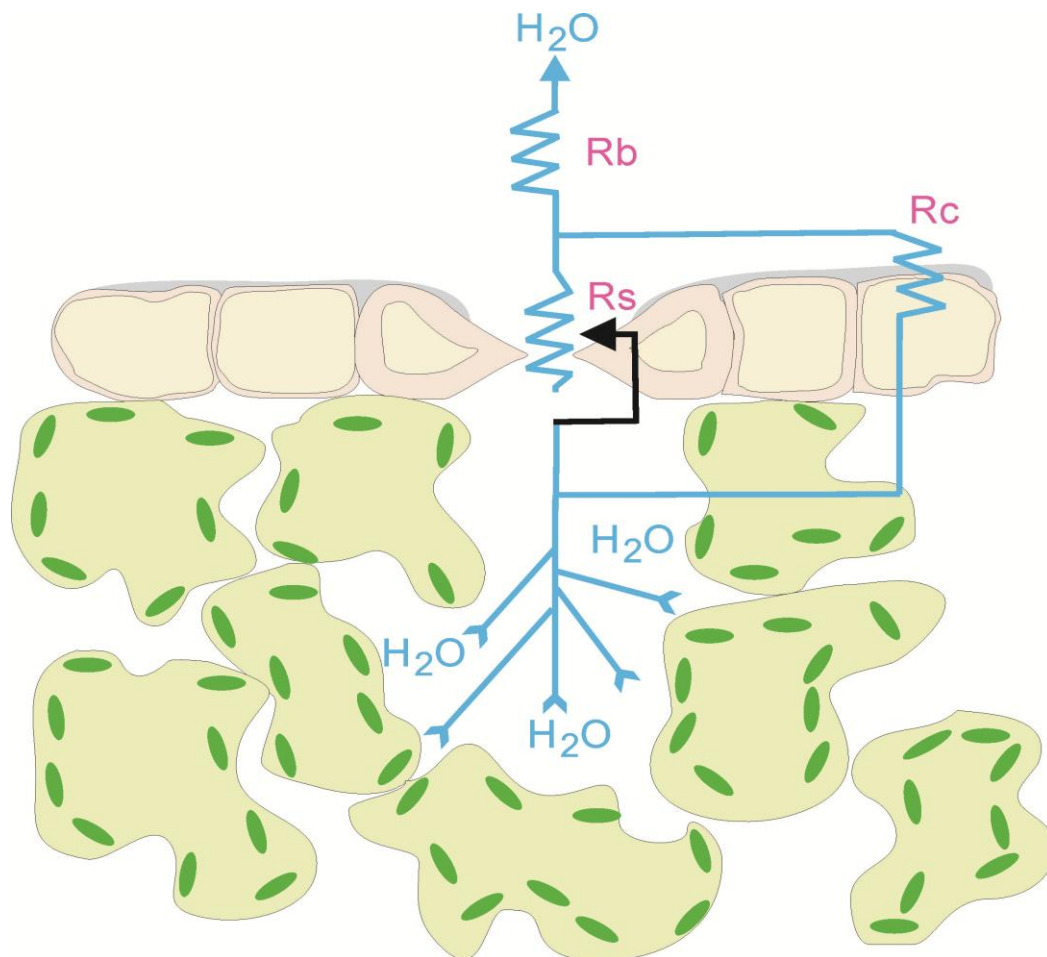
● Αλλαγές στη διαπνοή

- Η μείωση του πάχους του οριακού στρώματος επιφέρει παροδική αύξηση της διαπνευστικής ταχύτητας. Ωστόσο μπορεί να οδηγήσει σε υδατική καταπόνηση με συνέπεια την μείωση της διαπνευστικής ταχύτητας λόγω κλεισίματος των στοματίων.
- Η ύπαρξη ισχυρών ανέμων επιφέρει αλλοιώσεις της εφυμενίδας και μικροτραυματισμούς με συνέπεια την αύξηση της εφυμενιδικής διαπνοής, λόγω μείωσης της αντίστασης της εφυμενίδας στη διάχυση των υδρατμών.



Επιδράσεις του Ανέμου στα Φυτά 2/4

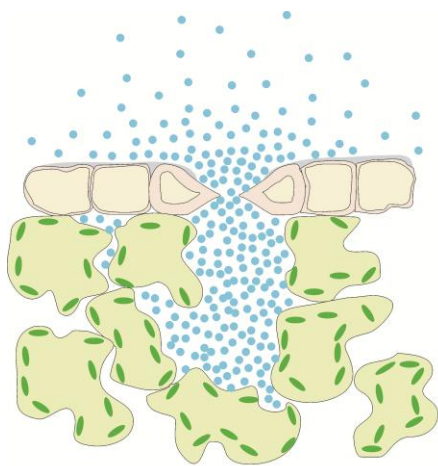
- Αλλαγές στη διαπνοή



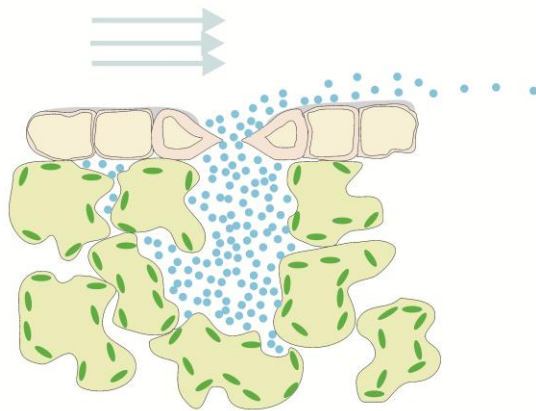


Επιδράσεις του Ανέμου στα Φυτά 3/4

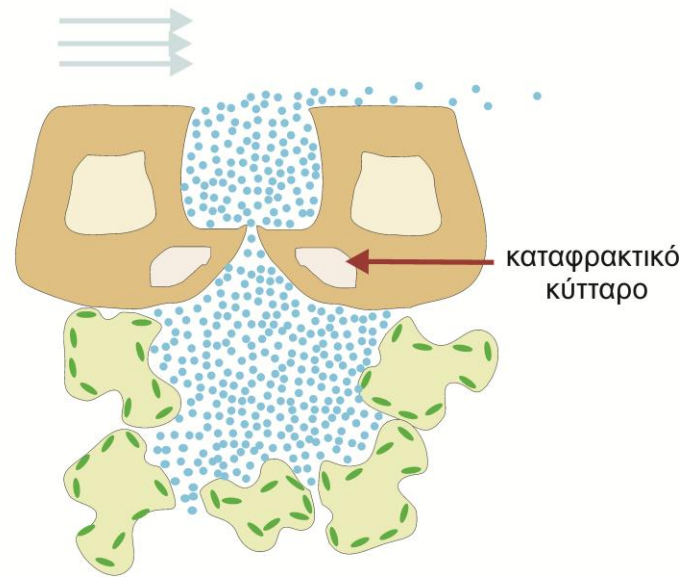
- Αλλαγές στη διαπνοή



A



B



Γ



Επιδράσεις του Ανέμου στα Φυτά 4/4

- **Αλλαγές στο θερμικό ισοζύγιο των φύλλων**
 - Ο άνεμος προκαλεί ελάττωση της θερμοκρασίας του ελάσματος λόγω ταχύτερης απαγωγής της θερμότητας.
- **Επίδραση στην αναπαραγωγή των φυτών**
 - λόγω μεταφοράς γυρεοκόκκων στα ανεμόφιλα είδη.
- **Επίδραση στις προσβολές από μικρόβια**
 - λόγω αυξημένης μεταφοράς και έκθεσης των φυτών σε σπόρια και άλλες αναπαραγωγικές μορφές παθογόνων μικροοργανισμών.

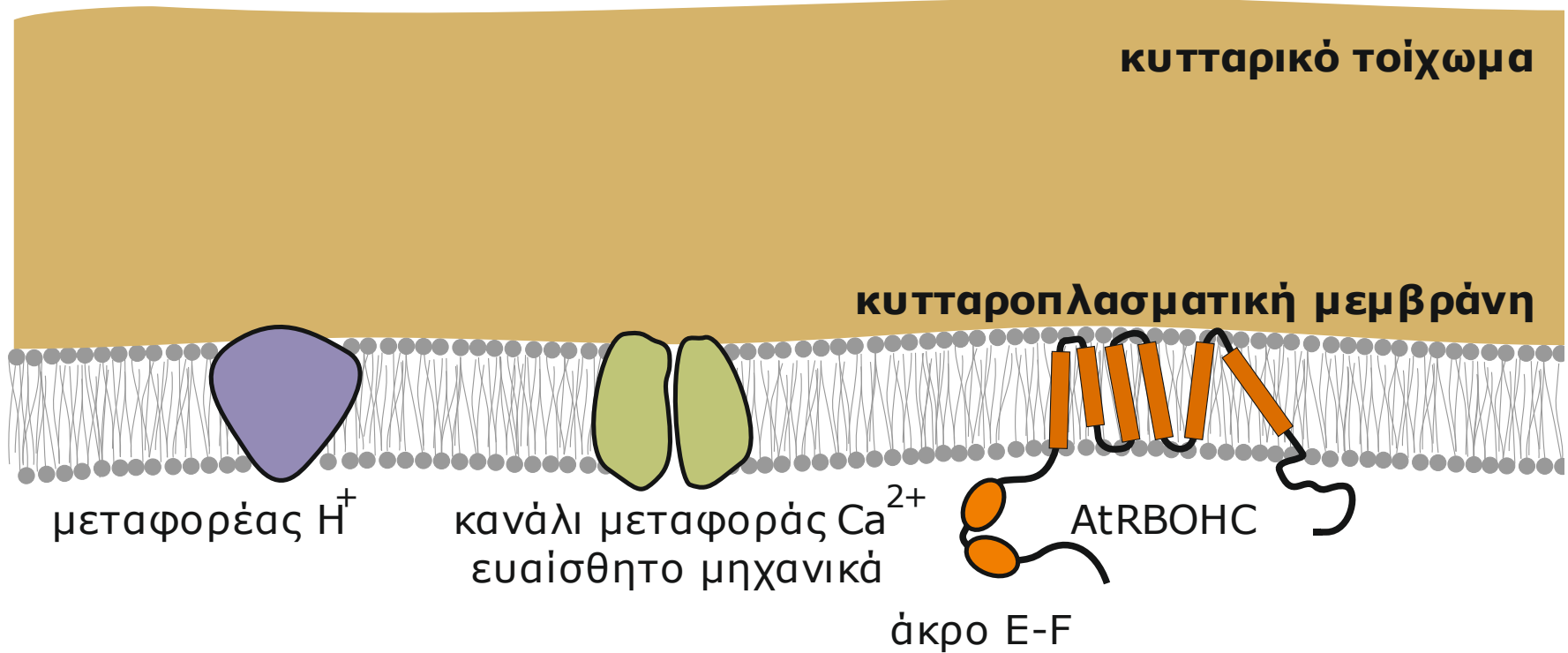


Αντίληψη των Μηχανικών Ερεθισμάτων

- **Αισθητήρες μηχανικών ερεθισμάτων**
 - Πρόκειται για κανάλια μεταφοράς ιόντων της κυτταροπλασματικής μεμβράνης των οποίων η δραστηριότητα μεταβάλλεται ως απόκριση στα μηχανικά ερεθίσματα.
- **Μεταγωγή σήματος**
 - μέσω της αλλαγής της κυτταροπλασματικής συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου και της ενεργοποίησης του μηχανισμού της καλμοντουλίνης.

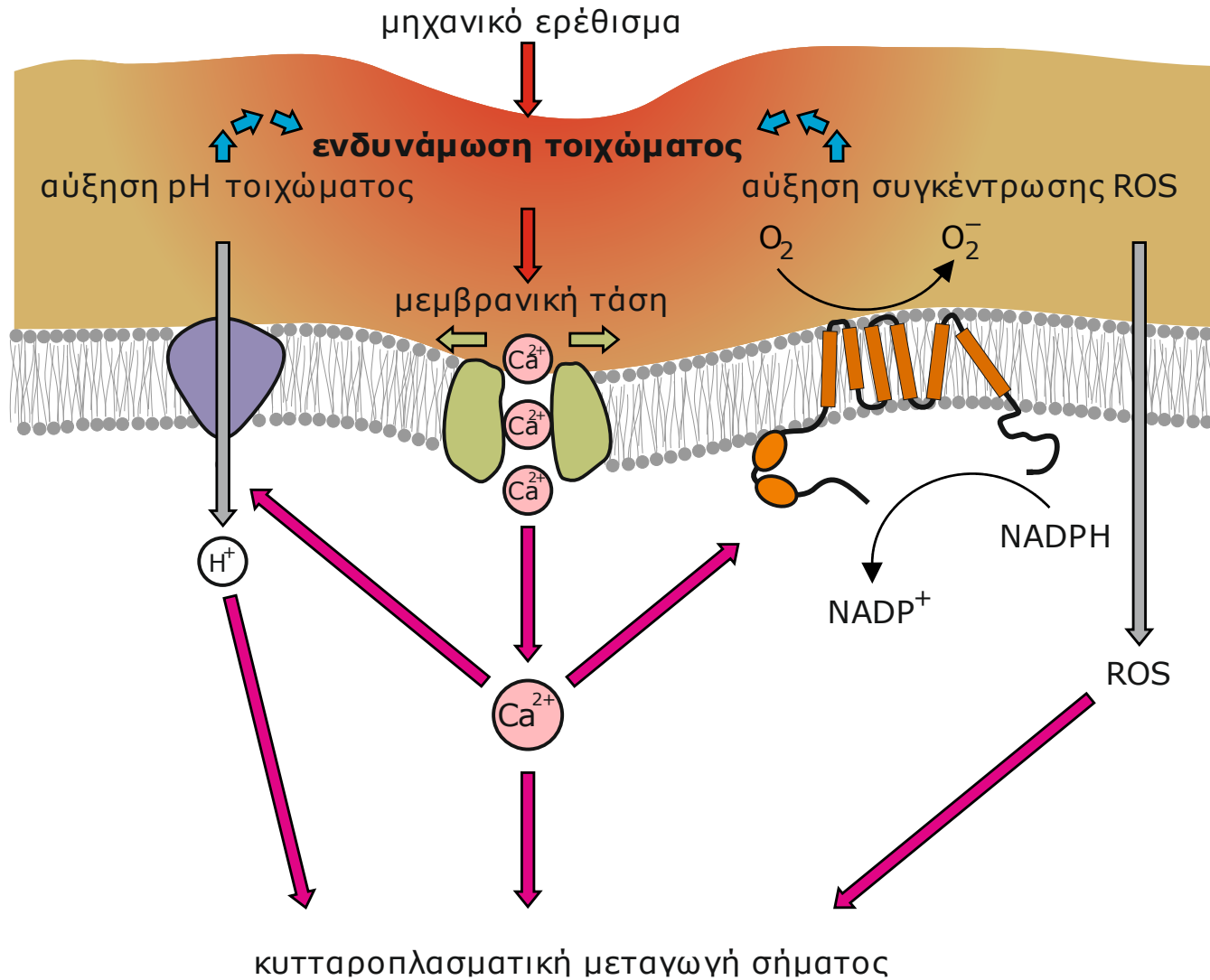


Μηχανισμός Αντίληψης 1/2



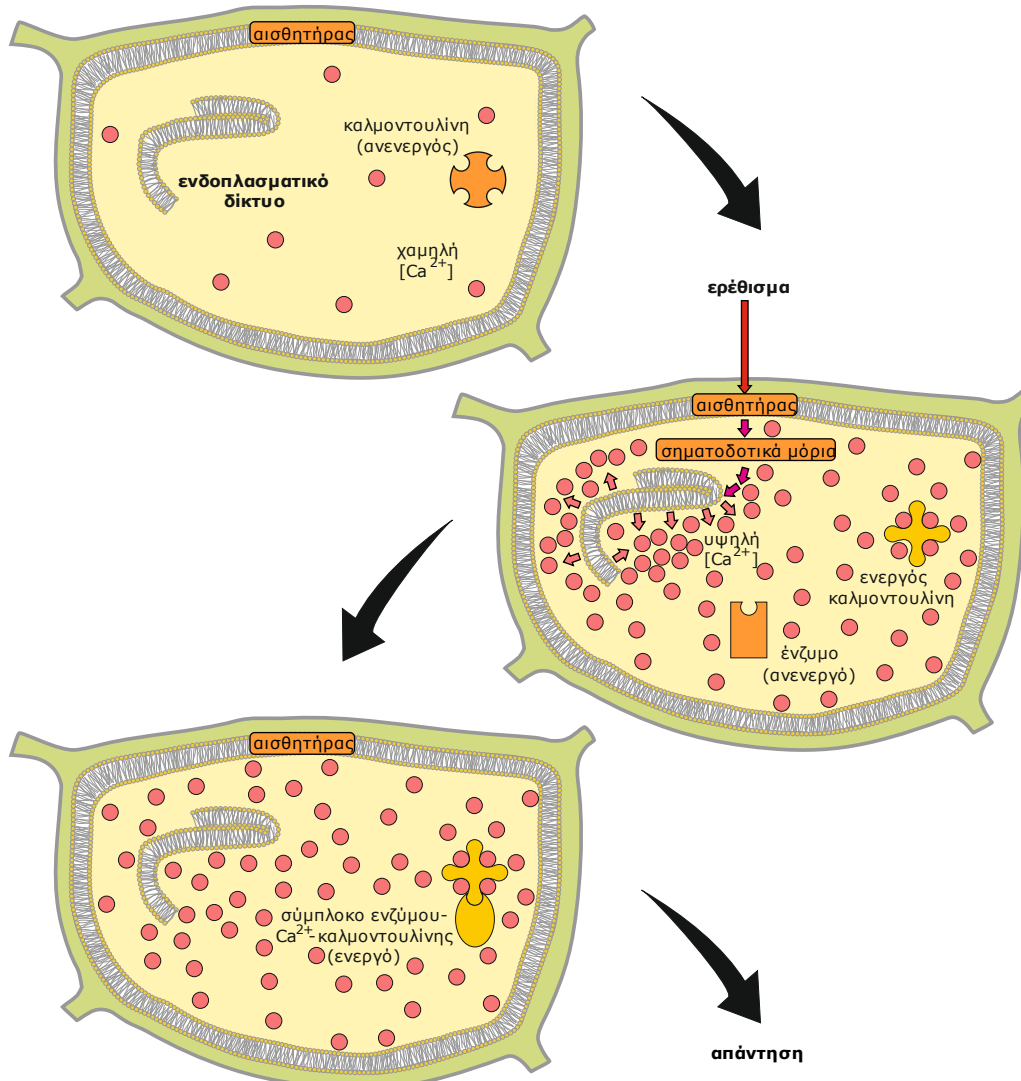


Μηχανισμός Αντίληψης 2/2





Μηχανισμός Καλμοντουλίνης





Αντιδράσεις των Φυτών στην Μηχανική Καταπόνηση

- Ταχείες αντιδράσεις

- Έκθεση φυτών *Arabidopsis thaliana* σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, σταγόνες βροχής ή απλό άγγιγμα έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία (μέσα σε 10 min) ενεργοποίηση ειδικών θιγμο-επαγώμενων γονιδίων (γονίδια TCH). Στα πρωτεϊνικά προϊόντα τους περιλαμβάνεται η καλμοντουλίνη καθώς και ένζυμα βιοσύνθεσης του κυτταρικού τοιχώματος.



Αποτελέσματα της Μηχανικής Καταπόνησης 1/2

● Βραχυπρόθεσμα

- Σύνθεση και εναπόθεση καλλόζης, επαγωγή γονιδίων, αύξηση της συγκέντρωσης του κυτταροπλασματικού ασβεστίου, και πρόσκαιρη ελάττωση της φωτοσυνθετικής ταχύτητας και της διαπνοής.

● Μακροπρόθεσμα

- Παρεμπόδιση της διάτασης των κυττάρων λόγω ελάττωση των επιπέδων της αυξίνης.
- Πτώση της συνολικής φωτοσυνθετικής ικανότητας λόγω περιορισμού της φυλλικής επιφάνειας και δυσχέρειες στη λειτουργία του ηθμού.
- Αύξηση των επιπέδων αιθυλενίου και αμπσισικού οξέος.
- Αύξηση της δραστηριότητας ορισμένων ενζύμων, όπως οι υπεροξειδάσες και η συνθετάση της β -1,3-γλυκάνης.



Αποτελέσματα της Μηχανικής Καταπόνησης 2/2

● Τραυματισμοί

- Πρόκειται για βίαιες μηχανικές καταπονήσεις οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή της δομής ιστών και οργάνων.
- Οι τραυματισμοί μπορεί να οφείλονται σε φυσικά αίτια, σε προσβολές παθογόνων, σε κατανάλωση ιστών από φυτοφάγους οργανισμούς, σε κλάδεμα, κ. ά.
- Η επούλωση των τραυμάτων, αλλά και η αποσόβηση παρενεργειών (προσβολές από παθογόνα) αποτελεί μια συντονισμένη διαδικασία η οποία θα πρέπει να ολοκληρωθεί το συντομότερο δυνατό.



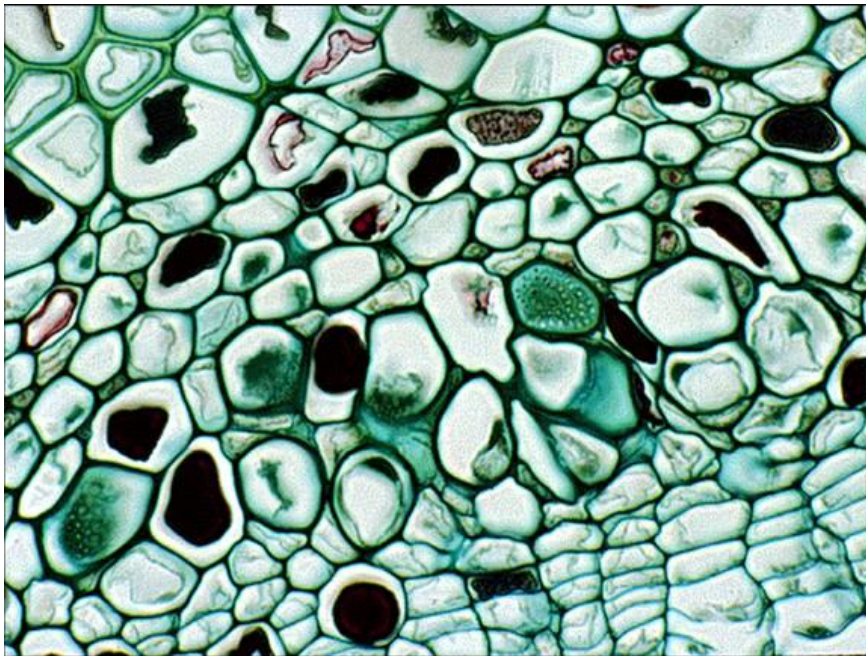
Αντιμετώπιση Τραυματισμών 1/6

1. Αποδιαφοροποίηση ορισμένων τουλάχιστον κυττάρων τα οποία με αλληπάλληλες διαιρέσεις δημιουργούν κάλο ώστε να επουλωθεί το τραύμα.
2. Δραστηριοποίηση βασικών ενζύμων όπως χητινάσες, β -1,3-γλυκανάσες, αμμώνιο-λυάση της φαινυλαλανίνης, συνθετάση της χαλκόνης.
3. Συντίθενται φυτοαλεξίνες, πολυφαινολικά συστατικά, παρεμποδιστές πρωτεΐνας, λιγνίνη κ.ά. Σε ορισμένα φυτά παρατηρείται απελευθέρωση πτητικών μονοτερπενίων.



Αντιμετώπιση Τραυματισμών 2/6

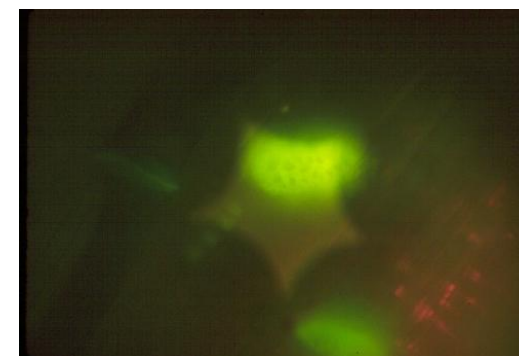
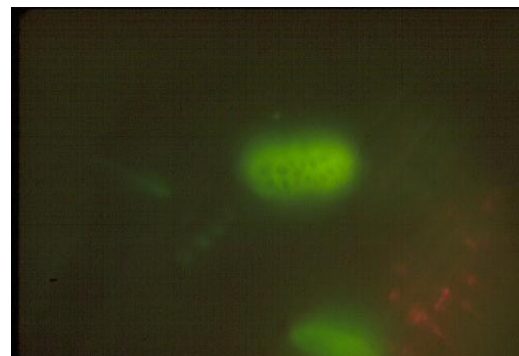
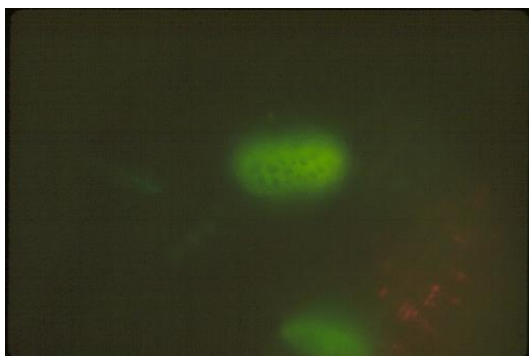
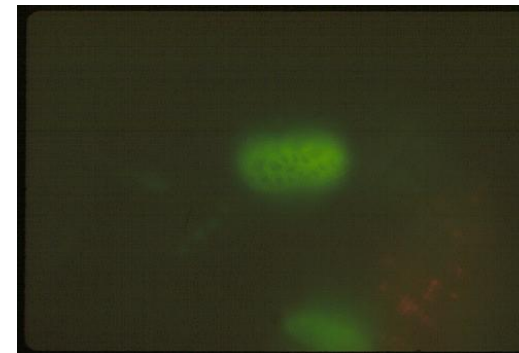
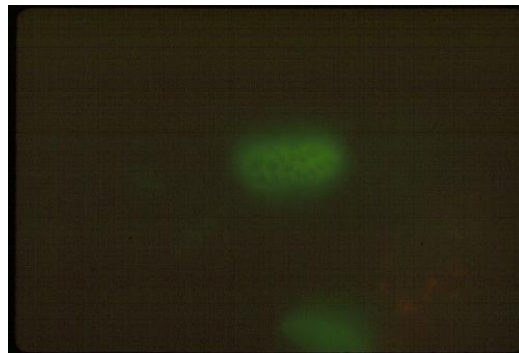
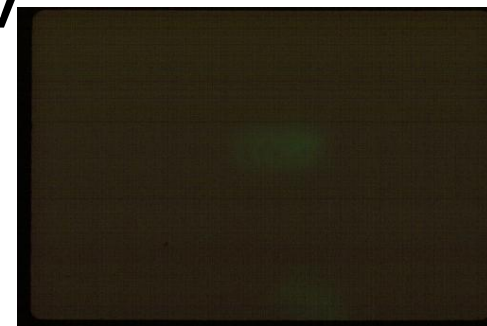
- **Σφράγισμα κατεστραμμένων ηθμοσωλήνων**
 - Σε πρώτο στάδιο λαμβάνει χώρα αυθόρμητη μετακίνηση των περιεχομένων του τραυματισμένου ηθμικού στοιχείου προς τις ηθμώδεις πλάκες λόγω της πίεσης σπαραγής που επικρατεί στον ηθμό.





Αντιμετώπιση Τραυματισμών 3/6

- Σφράγισμα κατεστραμμένων ηθμοσωλήνων
 - Σε δεύτερο στάδιο εναποτίθεται τραυματική καλλόζη στο σημείο μεταξύ κυτταροπλασματικής μεμβράνης και κυτταρικού τοιχώματος.





Αντιμετώπιση Τραυματισμών 4/6

● Αναπλήρωση κατεστραμμένου ηθμού

- Μέσω της διαρροής αυξίνης από τα κατεστραμμένα ηθμικά στοιχεία επάγονται οι κυτταροδιαιρέσεις στο σημείο του τραυματισμού με αποτέλεσμα την δημιουργία νέων στοιχείων μεταφοράς.

● Οξειδωτική έκρηξη

- Στα κατεστραμμένα κύτταρα επάγεται η παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου με συνέπεια την δημιουργία επουλωτικών δομών. Ταυτόχρονα δημιουργείται ένα φράγμα για την προστασία των υγιών υποκείμενων ιστών. Φαινορικά συστατικά και πρωτεΐνες πολυμερίζονται ως αποτέλεσμα του οξειδωτικού περιβάλλοντος με συνέπεια την ισχυροποίηση των κυτταρικών τοιχωμάτων.



Αντιμετώπιση Τραυματισμών 5/6

● Βιοσύνθεση συστεμίνης

- Πρόκειται για μια χαμηλού μοριακού βάρους η οποία συντίθεται ως αποτέλεσμα τραυματισμού και λειτουργεί ως διασυστηματικό σήμα συναγερμού.

● Βιοσύνθεση αιθυλενίου και τραυματίνης

- Μέσω της αύξησης της μεταγραφής του mRNA της συνθετάσης του ACC (1-αμινο-κυκλοπροπανο-1-καρβοξυλικό οξύ), παράγεται αιθυλένιο στο σημείο τραυματισμού.
- Μέσω της οξειδωτικής μετατροπής του λινολενικού οξέος παράγεται τραυματίνη η οποία επάγει τις κυτταροδιαιρέσεις σε γειτονικά κύτταρα με συνέπεια το σχηματισμό επουλωτικού ιστού.



Αντιμετώπιση Τραυματισμών 6/6

● Τραυματική αναπνοή

- Πρόκειται για αύξηση της φαινόμενης αναπνευστικής δραστηριότητας στο σημείο του τραυματισμού.
- Αποτελείται από δύο συνιστώσες:
 - Αυξημένη αναπνευστική δραστηριότητα λόγω της έντονης μεριστωματικής δραστηριότητας κατά τον σχηματισμό του επουλωτικού ιστού.
 - Αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου λόγω της δραστηριότητας οξειδωτικών ενζύμων τα οποία βρίσκονται σε επαφή με τα υποστρώματά τους λόγω της απώλειας της διαμερισματοποίησης των κατετραμμένων κυττάρων.



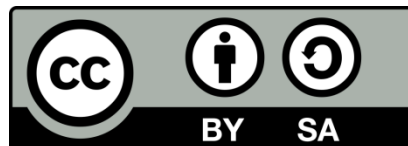
Βιβλιογραφία

- Coutand C. 2010. Mechanosensing and thigmomorphogenesis, a physiological and biomechanical point of view. *Plant Science* 179: 168-182.
- Monshausen GB, Gilroy S. 2009. Feeling green: mechanosensing in plants. *Trends in Cell Biology* 19: 228-235.



Άδειες Χρήσης

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





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



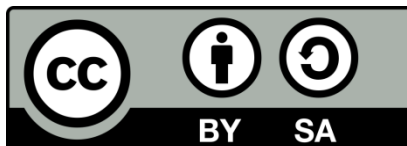
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεώργιος Καραμπουρνιώτης/ Γεώργιος Λιακόπουλος. «Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDCS100/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
 - το Σημείωμα Αδειοδότησης
 - τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
 - το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)
- μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.