



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

# Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

## Ενότητα 2: Υδατική Καταπόνηση (2/4), 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 διάδοση της υδατικής καταπόνησης,
- ιδιότητες του εδάφους,
- επιπτώσεις της υδατικής καταπόνησης στις καλλιέργειες,
- κατηγορίες φυτών όσον αφορά στις απαιτήσεις τους σε νερό,
- παράμετροι υδατικής κατάστασης (δυναμικό νερού, σχετικό περιεχόμενο σε νερό,
- αποδοτικότητα χρήσης νερού).



# Λέξεις Κλειδιά

- υδατική καταπόνηση,
- ξηρασία,
- υδρόφυτα,
- υγρόφυτα,
- μεσόφυτα,
- ξηρόφυτα,
- αποδοτικότητα χρήσης νερού,
- διαπνευστικό πηλίκιο,
- δυναμικό νερού,
- σχετικό περιεχόμενο σε νερό,
- οσμωτικό δυναμικό.



# Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

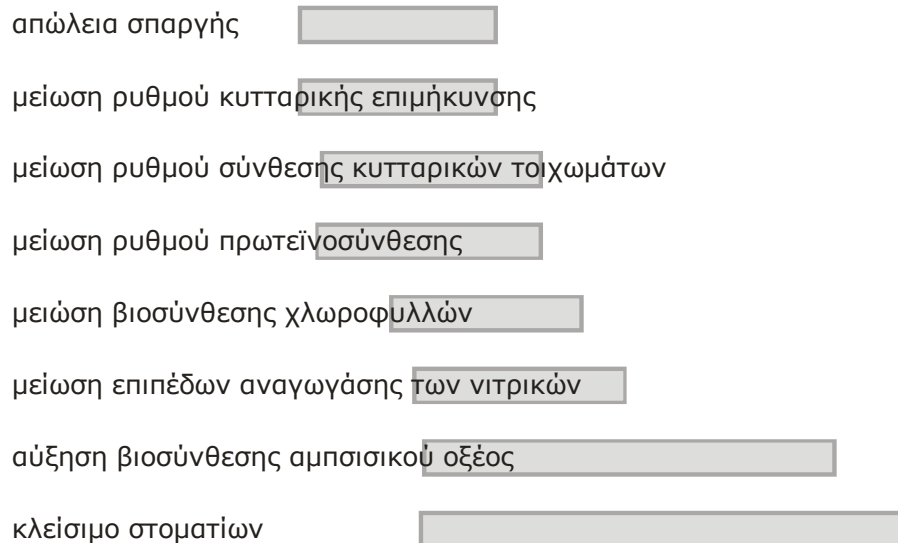


**ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ**



# Επιπτώσεις της Μείωσης του Δυναμικού Νερού 1/2

μείωση δυναμικού νερού (MPa) σε σχέση με ένα καλά ποτισμένο φυτό το οποίο βρίσκεται σε συνθήκες μέτριας διαπνοής





# Επιπτώσεις της Μείωσης του Δυναμικού Νερού 2/2

μείωση δυναμικού νερού (MPa) σε σχέση με ένα καλά ποτισμένο φυτό το οποίο βρίσκεται σε συνθήκες μέτριας διαπνοής



μείωση ταχύτητας αφομοίωσης CO<sub>2</sub>

αύξηση ρυθμού αναπνοής

δημιουργία εμβολών στα αγγεία του ξύλου

συσσώρευση οργανικών οσμωτικά ενεργών ουσιών

διαταραχές στη λειτουργία του ηθμού

μείωση των επιπέδων των ανόργανων στοιχείων

μάρανση





# Αντιδράσεις στην Υδατική Καταπόνηση

- Οι αντιδράσεις των φύλλων εξαρτώνται από το στάδιο ανάπτυξης.
  - Ανεπτυγμένα φύλλα
    - Οι αντιδράσεις των ανεπτυγμένων φύλλων σχετίζονται με τη διαφύλαξη των υδατικών αποθεμάτων και την προστασία υπό συνθήκες αφυδάτωσης
  - Αναπτυσσόμενα φύλλα
    - Παρεμπόδιση της ανάπτυξης
    - Εκκίνηση διαδικασιών εγκλιματισμού



# Η Παύση της Αύξησης των Νεαρών Φύλλων

- Η παύση της αύξησης των νεαρών φύλλων είναι αιφνίδια και συνιστά σημαντικό συμβάν εγκλιματισμού στην υδατική καταπόνηση.
  - Η αντίδραση των νεαρών φύλλων συνίσταται σε δύο στάδια:
    - απότομη αναστολή της κυτταροδιαίρεσης ή/και του ρυθμού επιμήκυνσης και
    - επανεκκίνηση της αύξησης
  - Η φάση της αναστολής προκαλείται από τη συνδυαστική δράση τριών ορμονικών σημάτων:
    - αιθυλένιο και ABA > επαγωγή καταβολισμού
    - GAs > σταθεροποίηση παρεμποδιστών της αύξησης (πρωτεΐνες DELLA) > αναστολή



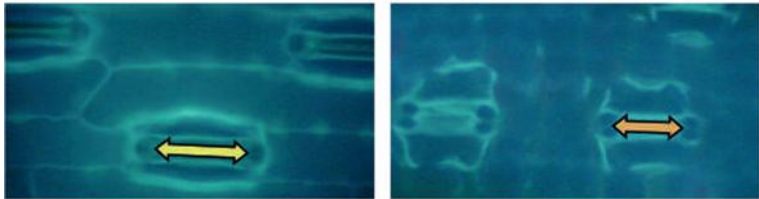
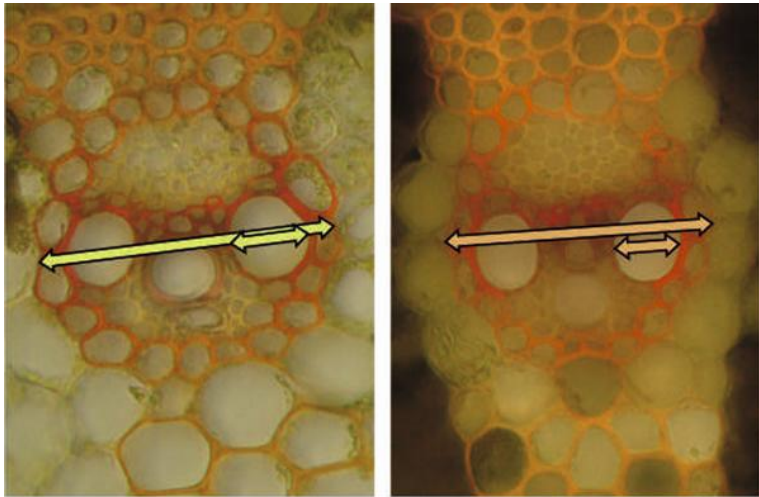


# Η Επανεκκίνηση της Αύξησης των Νεαρών Φύλλων 1/3

- Η φάση της επανεκκίνησης περιλαμβάνει την απάντηση στην ύπαρξη της καταπόνησης και συνίσταται στα εξής:
  - a. επαναπρογραμματισμός του αναπνευστικού μεταβολισμού
  - b. περιορισμός των μεριστωματικών κυττάρων (αποσκοπώντας στην παραγωγή μικρότερων και συνεπώς λιγότερο υδατοβόρων φύλλων)



# Η Επανεκκίνηση της Αύξεσης των Νεαρών Φύλλων 2/3



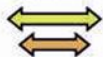
Πλάτος ηθμαγγειώδους δεσμίδας



Διάμετρος αγγείων του ξύλου



Μήκος στοματικού πόρου





# Η Επανεκκίνηση της Αύξησης των Νεαρών Φύλλων 3/3

- Η φάση της επανεκκίνησης περιλαμβάνει την απάντηση στην ύπαρξη της καταπόνησης και συνίσταται στα εξής:
  - a. επαναπρογραμματισμός του αναπνευστικού μεταβολισμού
  - b. περιορισμός των μεριστωματικών κυττάρων (αποσκοπώντας στην παραγωγή μικρότερων και συνεπώς λιγότερο υδατοβόρων φύλλων)
  - c. αλλαγή των μηχανικών χαρακτηριστικών του κυτταρικού τοιχώματος των αναπτυσσόμενων κυττάρων και
  - d. αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας μέσω σύνθεσης υδατοπορινών



# Επιπτώσεις της Υδατικής Καταπόνησης 1/3

- **Επιπτώσεις που αποτελούν μηχανισμούς εγκλιματισμού**
  - Μείωση της επιφάνειας των αναπτυσσόμενων φύλλων
  - Μεταβολή του λόγου υπέργειου / υπόγειου τμήματος του φυτού
  - Αποβολή των γηραιότερων φύλλων
  - Κινήσεις των φύλλων
  - Αύξηση των αντιστάσεων στη διάχυση του νερού με κλείσιμο των στοματίων



# Επιπτώσεις της Υδατικής Καταπόνησης 2/3

- **Επιπτώσεις που αποτελούν μηχανισμούς εγκλιματισμού**
  - Επαγωγή του μεταβολισμού CAM
  - Τροποποιήσεις του πρωτεώματος που σχετίζονται με την μεταφορά νερού και την προστασία ευαίσθητων στόχων από την αφυδάτωση
  - Οσμωτική εξισορρόπηση ή οσμωρύθμιση



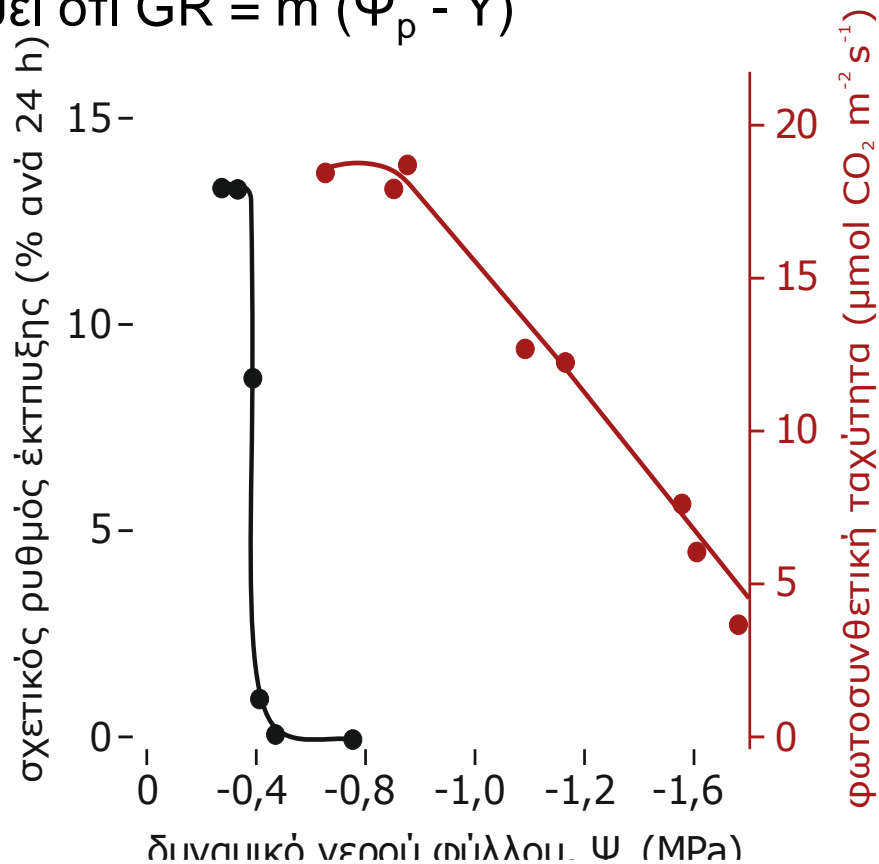
# Επιπτώσεις της Υδατικής Καταπόνησης 3/3

- **Επιπτώσεις που θεωρούνται δυσμενείς**
  - Διαταραχή της ακεραιότητας και εκλεκτικότητας των μεμβρανών
  - Διαταραχή της λειτουργίας των μεμβρανικών ενζύμων
  - Μεταβολικές δυσλειτουργίες
  - Διαταραχή της φωτοσυνθετικής λειτουργίας
  - Φωτοαναστολή
  - Οξειδωτική καταπόνηση



# Μείωση της Επιφάνειας των Αναπτυσσόμενων Φύλλων

- Η διάταση των κυττάρων, ιδιαίτερα των μεριστωματικών ιστών, αποτελεί έναν μηχανισμό εξαιρετικά ευαίσθητο στην έλλειψη νερού, επειδή εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη επαρκούς πίεσης σπαργής. Ισχύει ότι  $GR = m (\Psi_p - Y)$





# Μεταβολή του Λόγου Υπέργειου / Υπόγειο Μέρος 1/3

- Η ανάπτυξη της ρίζας σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης εμφανίζεται κατά κανόνα λιγότερο ευαίσθητη έναντι εκείνης του βλαστού και ιδιαίτερα των φύλλων.
- Το γεγονός οφείλεται στην ενεργητική οσμωτική εξισορρόπηση των ριζών, η οποία προκαλεί πτώση του δυναμικού του νερού των κυττάρων της σε χαμηλά επίπεδα (χαμηλότερα εκείνων του δυναμικού του εδαφικού νερού).



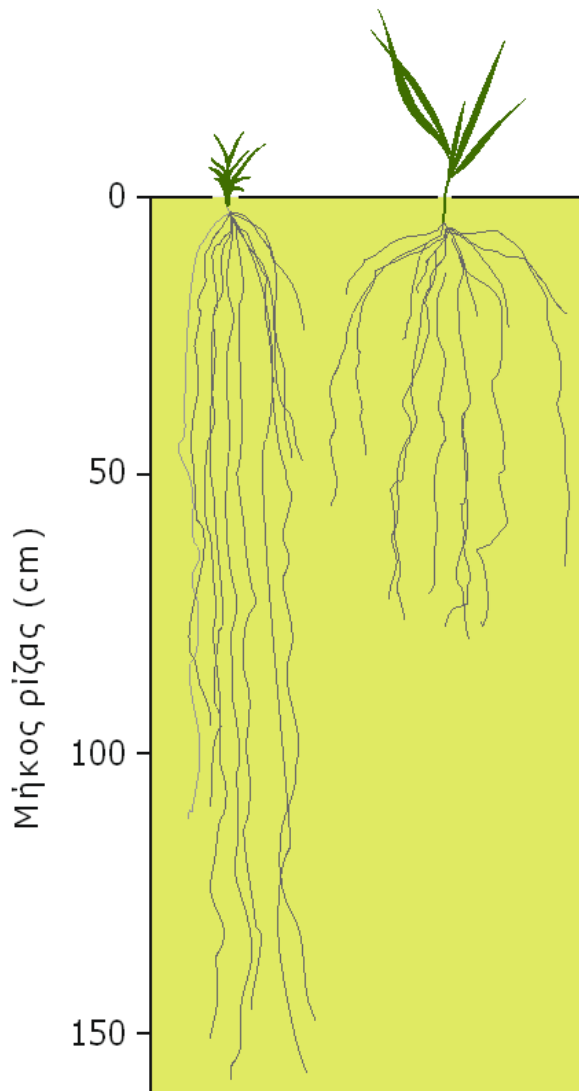


# Μεταβολή του Λόγου Υπέργειου / Υπόγειο Μέρος 2/3

- Τα κύτταρα των ριζών έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται σε χαμηλότερα δυναμικά νερού έναντι των κυττάρων των φύλλων.
- Μεγαλύτερο μέρος των φωτοσυνθετικών προϊόντων οδεύει προς το υπόγειο μέρος λόγω περιορισμού των αναγκών αύξησης των φύλλων συγκριτικά με τον περιορισμό της φωτοσύνθεσης.



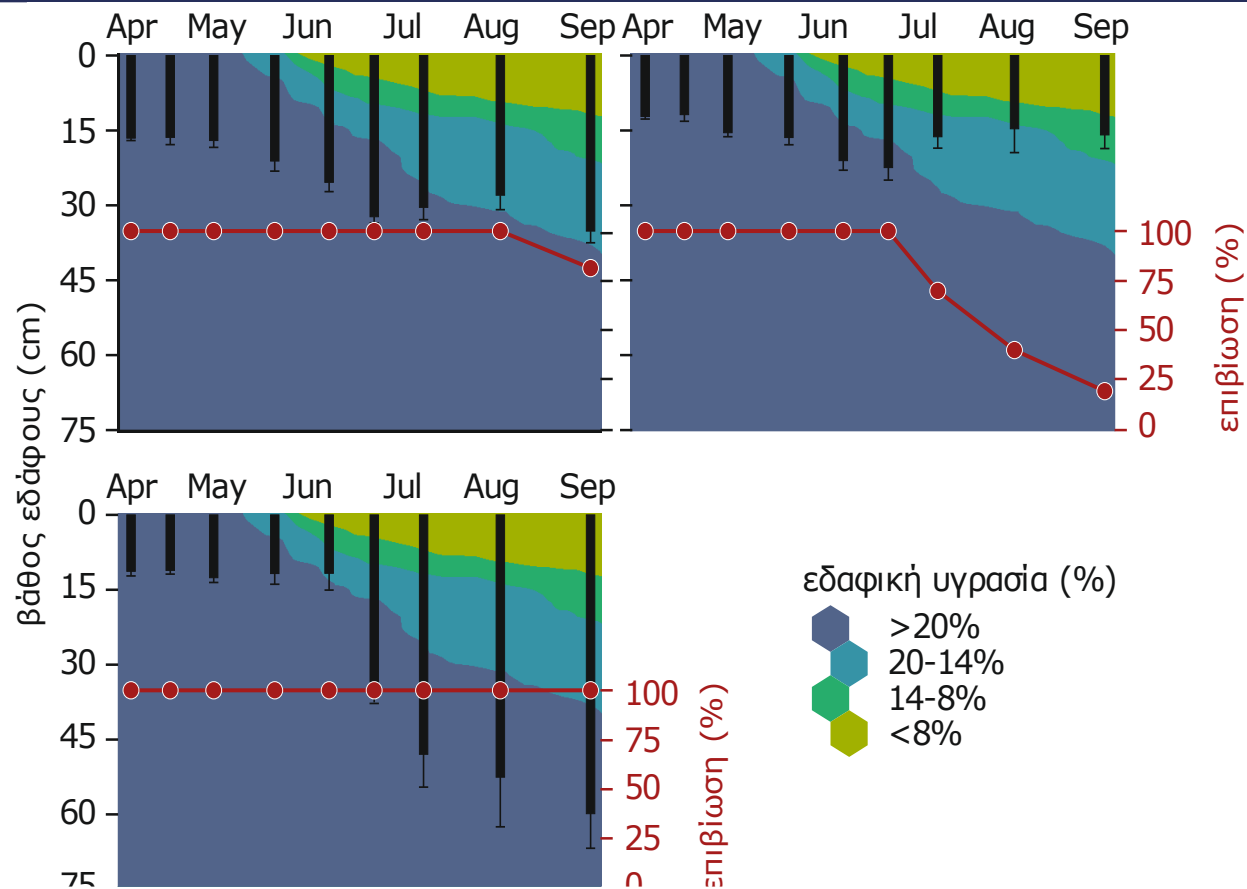
# Μεταβολή του Λόγου Υπέργειου / Υπόγειο Μέρος 3/3



Ο εγκλιματισμός του φυτού *Agropyron smithii* σε ξηρά εδάφη. Αριστερά απεικονίζεται ένα φυτό το οποίο αναπτύσσεται σε σχετικά ξηρό έδαφος, δεξιά ένα φυτό το οποίο αναπτύσσεται σε σχετικά υγρό έδαφος.



# Σχέση Επιβίωσης και Βάθους Ριζικού Συστήματος



Μέγιστο βάθος εισχώρησης ρίζας (μαύρες μπάρες), ισοϋψείς εδαφικής υγρασίας και επιβίωση φυταρίων αντιπροσωπευτικών φυτικών ειδών με την πρόοδο του χρόνου (κόκκινη γραμμή).



# Κινήσεις των Φύλλων

- Οδηγούν στην τροποποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου του φύλλου
- Το ενεργειακό ισοζύγιο και περαιτέρω η θερμοκρασία του φύλλου εξαρτάται από την σχέση μεταξύ εισερχόμενης και αποβαλλόμενης ενέργειας:

$$Q \geq Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Q1: επανεκπομπή στο περιβάλλον μέσω ακτινοβολίας

Q2: μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον

Q3: απώλειες μέσω διαπνευστικής εξάτμισης του νερού προς τους μεσοκυττάριους χώρους



# ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ(2)

- Οι κινήσεις έχουν σαν σκοπό τον περιορισμό της εισροής ενέργειας ( $Q$ ) μέσω του περιορισμού της έκθεσης του φύλλου στις ακτίνες του ήλιου
- Περιλαμβάνουν παραηλιοτροπικές κινήσεις, αλλαγή της κλίσης του ελάσματος και συστροφή του ελάσματος



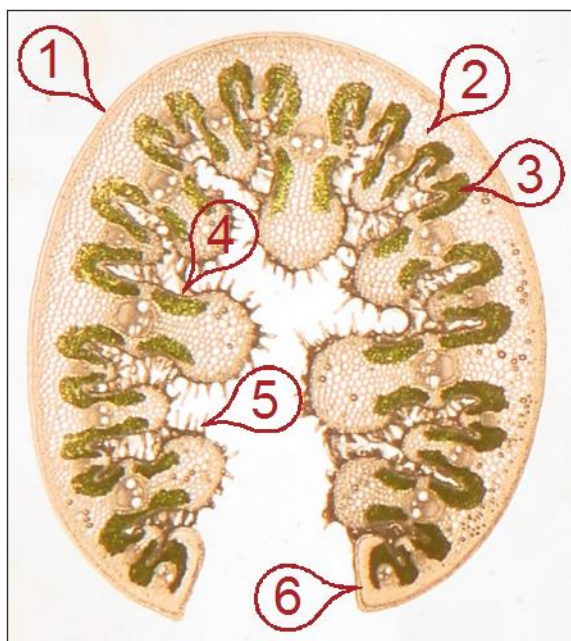


# Μηχανισμοί: Συχνά Περισσότεροι από ότι Περιμένουμε 1/2





# Μηχανισμοί: Συχνά Περισσότεροι από ό,τι Περιμένουμε 2/2



**Ισχυρή εφυμενίδα και επιδερμίδα**  
Αποτροπή απώλειας νερού



**Περιορισμένο χλωρέγχυμα**  
Εξορθολογισμός φωτοσύνθεσης



**Ύπαρξη τριχών**  
Περιορισμός απώλειας νερού



**Εκτεταμένο σκληρέγχυμα**  
Μηχανική ενδυνάμωση, μεταφορά φωτισμού, οικονομία νερού



**Στόματα σε κρύπτες**  
Περιορισμός απώλειας νερού, άμεση τροφοδοσία κυττάρων με CO<sub>2</sub>



**Κυλινδρικό έλασμα**  
Περιορισμός απώλειας νερού



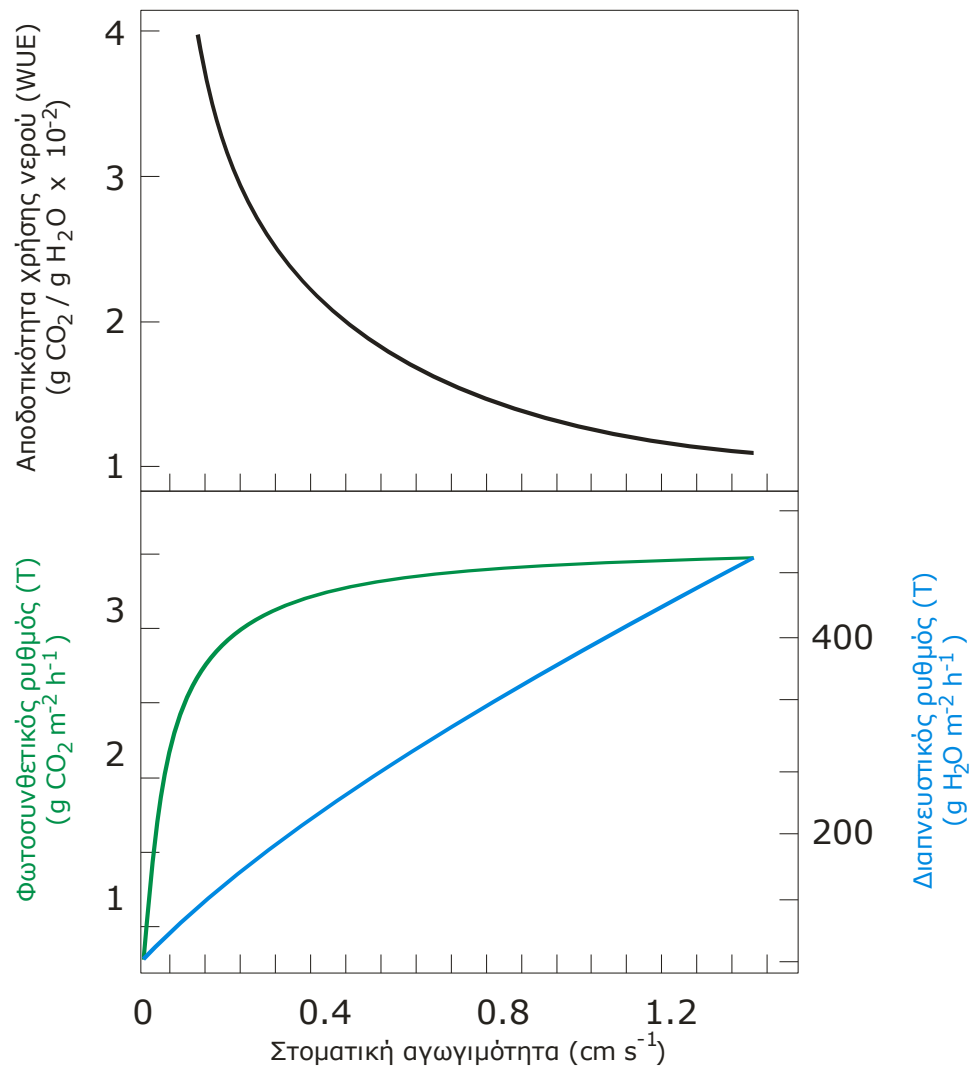
# Κλείσιμο των Στοματίων 1/2

- Οδηγεί στην αύξηση των αντιστάσεων στη ροή των υδρατμών προς την ατμόσφαιρα με σκοπό την οικονομία νερού.
- Το κλείσιμο των στοματίων μπορεί να επέλθει παθητικά (μέσω της απώλειας της σπαραγής των καταφρακτικών κυττάρων) ή ενεργητικά (μέσω της μεταβολικά εξαρτώμενης εξόδου οσμωτικά ενεργών μορίων από τα καταφρακτικά κύτταρα με τη μεσολάβηση του αμπσισικού οξέος).
- Το αμπσισικό οξύ μπορεί να προέρχεται από τα φύλλα ή από τις ρίζες μέσω μεταφοράς από τα αγγεία του ξύλου.





# Κλείσιμο των Στοματίων 2/2



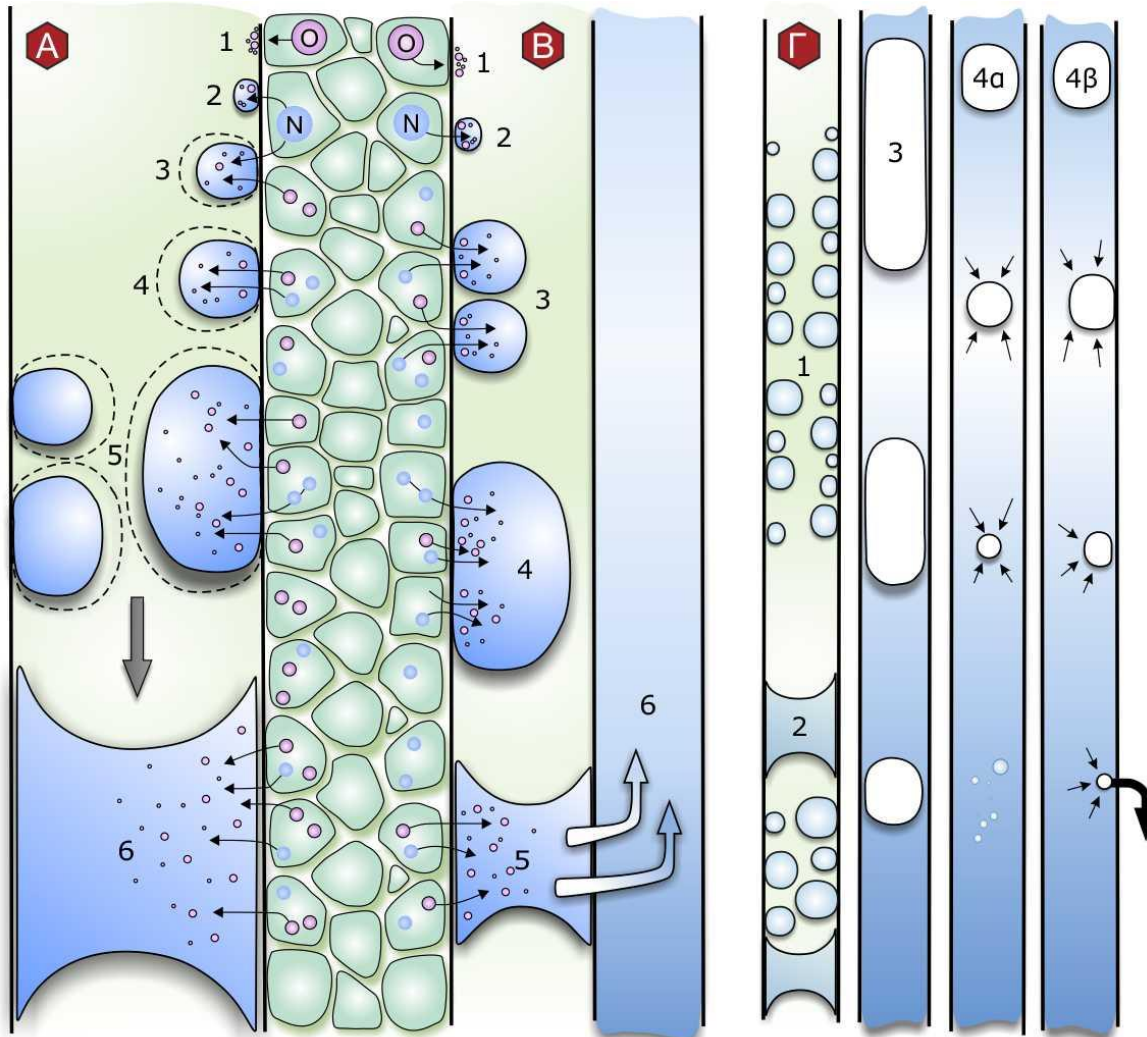


# Λοιπές Αλλαγές της Υδραυλικής Αγωγιμότητας 1/2

- Φελοποίηση της υποδερμίδας της ρίζας
- Δημιουργία εμβολών στα αγγεία του ξύλου



# Επιδιόρθωση Εμβόλων





# Λοιπές Αλλαγές της Υδραυλικής Αγωγιμότητας 2/2

- Φελοποίηση της υποδερμίδας της ρίζας
- Δημιουργία εμβολών στα αγγεία του ξύλου
- Αλλαγές στην κατανομή των υδατοπορινών (MIPs)
  - RIPs: σχετίζονται με την διακυτταρική ροή νερού και συνεπώς με την κατανομή του σε επίπεδο φυτού και την υδατική οικονομία
  - TIPs: σχετίζονται με την ενδοκυτταρική κατανομή του νερού και την ικανότητα οσμωρύθμισης



# Βιβλιογραφία 1/3

- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 185-212.
- Farrant JM, Moore JP. 2011. Programming desiccation-tolerance: from plants to seeds to resurrection plants. *Current Opinion in Plant Biology* 14: 340-345.
- Lata C, and Prasad M. 2011. Role of DREBs in regulation of abiotic stress responses in plants. *Journal of Experimental Botany* 62: 4731-4748.



# Βιβλιογραφία 2/3

- Muller B, Pantin F, Genard M, Turc O, Freixes S, Piques M, Gibon Y. 2011. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany* 62: 1715-1729.
- Pinheiro, C., Chaves, M.M. 2011. Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data?. *Journal of Experimental Botany*, 62: 869-882.
- Skirycz A, Inze D. 2010. More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology* 21: 197-203.



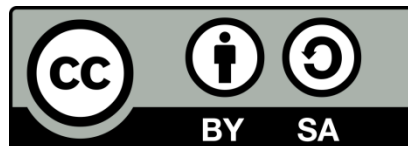
# Βιβλιογραφία 3/3

- Tardieu F, Granier C, Muller B. 2011. Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator? *Current Opinion in Plant Biology* 14: 283-289.
- Valliyodan B, Nguyen HT. 2006. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 9: 189-195.



# 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



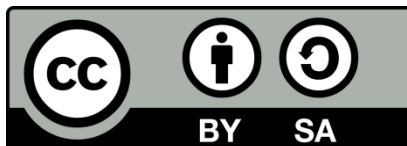
# Σημείωμα Αναφοράς

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.