

Το νερό στο φυτό

- ◆ Άριστος διαλύτης
- ◆ συμμετέχει στη διαμόρφωση της λειτουργικής στερεο-δομής των μακρομορίων
- ◆ παίζει ενεργό ρόλο στο μεταβολισμό
- ◆ αποτελεί τον πρωταρχικό δότη e^- κατά τη φωτοσυνθετική ροή e^-
- ◆ μέσο μεταφοράς οργανικών και ανόργανων ουσιών στο εσωτερικό του φυτού
- ◆ θερμορύθμιση
- ◆ στήριξη

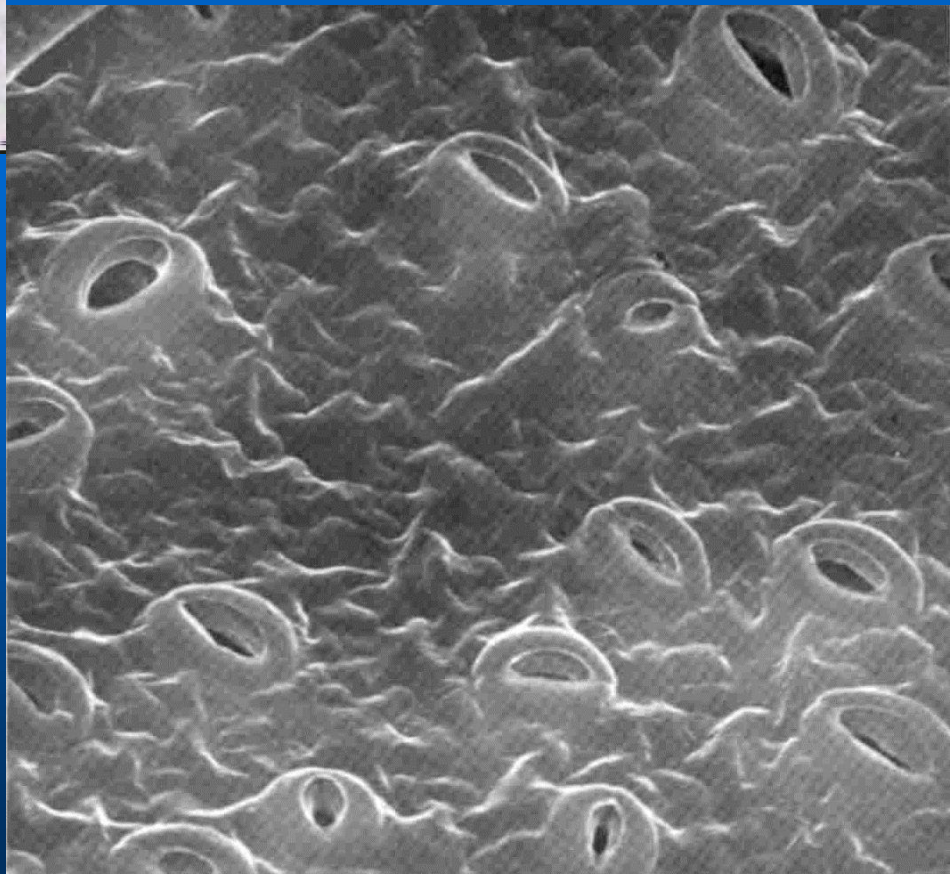
**Απώλεια 95-97% του νερού που απορροφάται
ενώ**

~2% υποστηρίζει την αύξηση

~1% συμμετέχει σε φωτοσύνθεση & άλλες μεταβολικές διεργασίες



**...κι όμως ο αποτελεσματικός φραγμός
μπορεί να υπάρξει: εφυμενίδα**

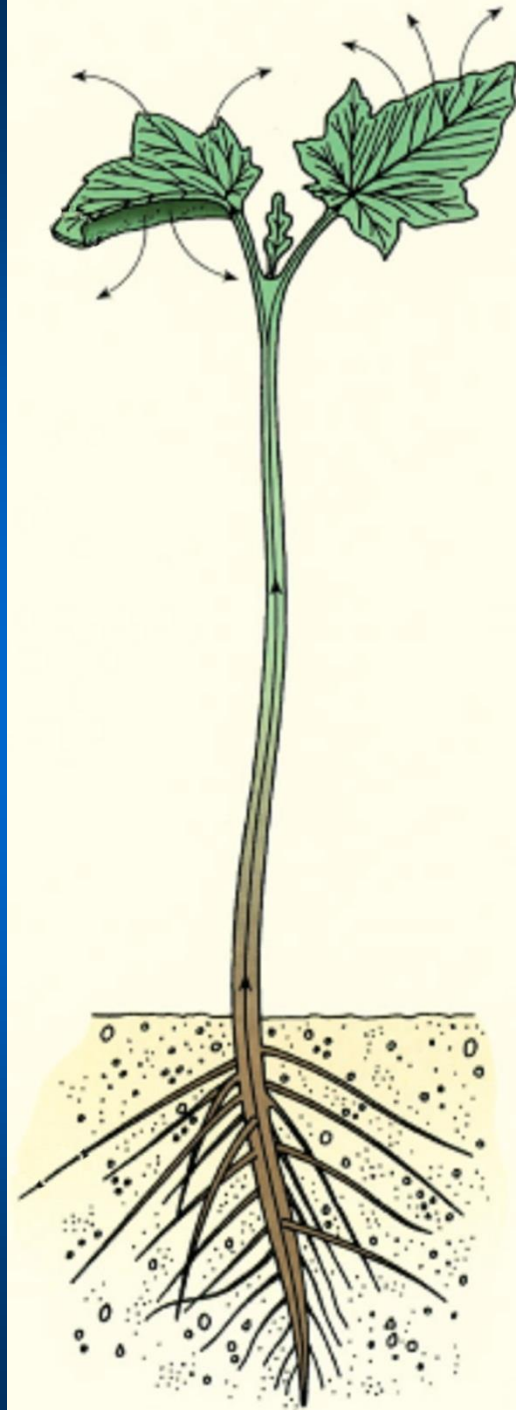


Διαχείριση νερού από τα φυτά

Μεγιστοποίηση
φωτοσύνθεσης



Ελαχιστοποίηση
απωλειών νερού

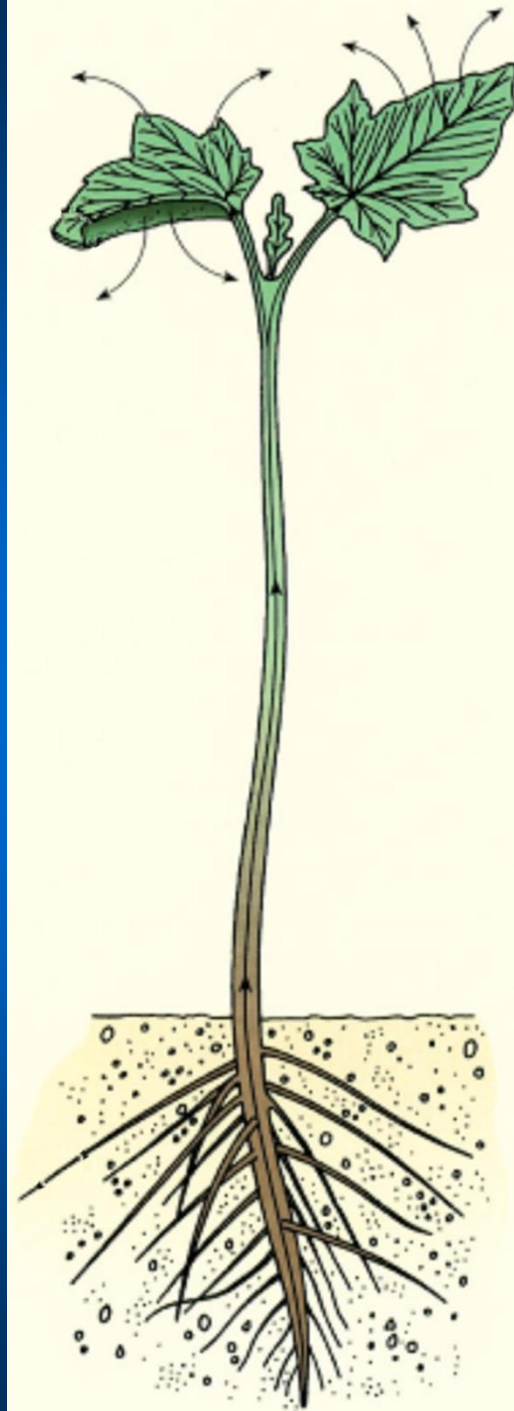


Υδατικές σχέσεις

Διαπνοή

Μετακίνηση

Απορρόφηση



Έντονα διαπνέον φύλλο
μπορεί να χάσει νερό ίσο με το βάρος του
σε 1 ώρα

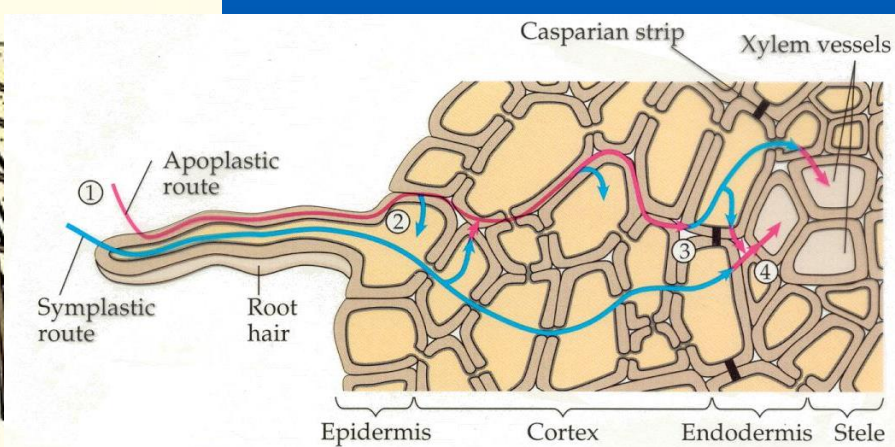
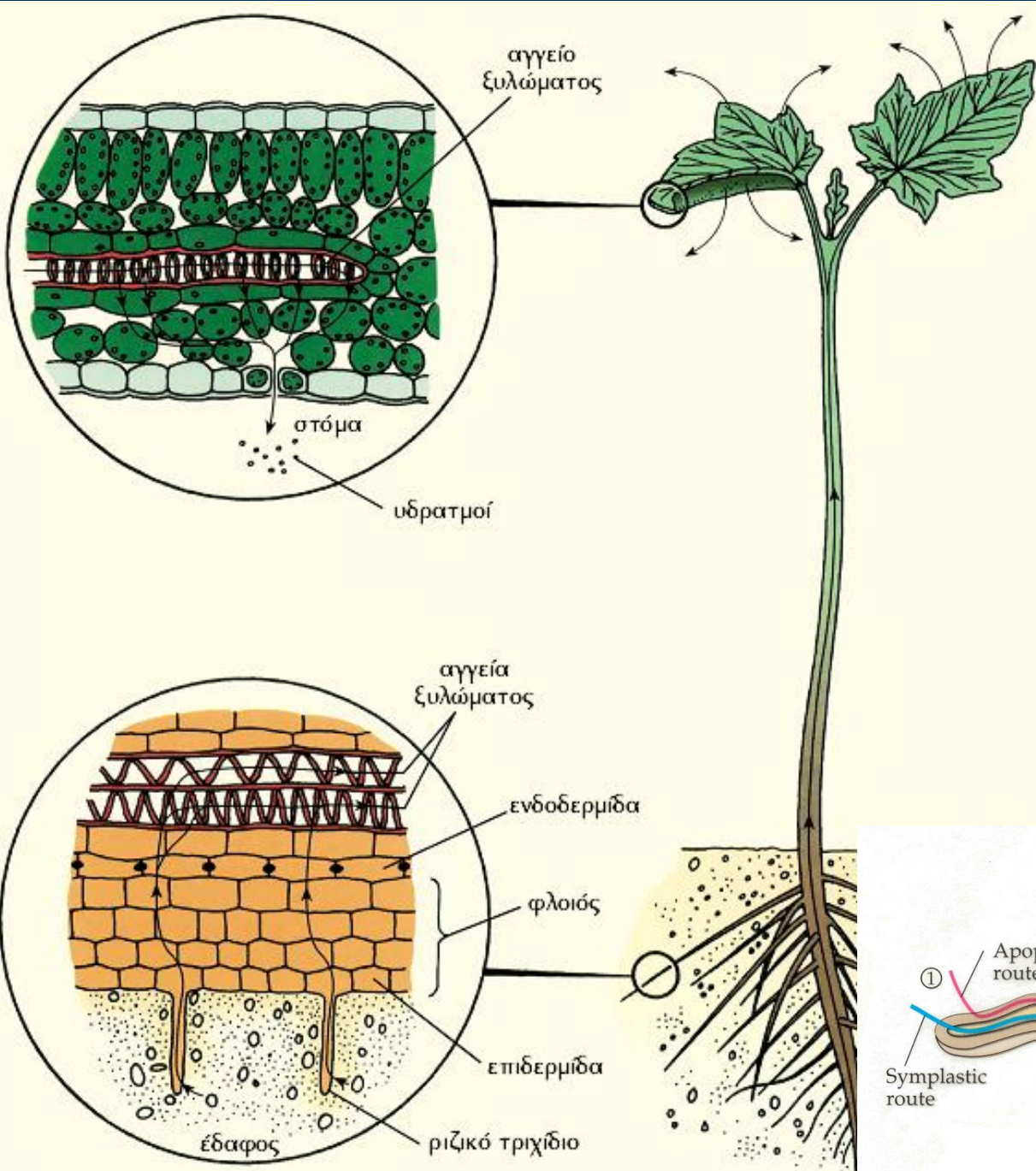
Κακός σχεδιασμός
ή
αναπόφευκτη συνέπεια?

Διαπνοή (transpiration)

- Ψύξη φύλλων (λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης)
- Διαπνευστικό ρεύμα – μεταφορά θρεπτικών

Που συμβαίνει κίνηση νερού μέσα στο φυτικό σώμα?

- Σε ποιον ιστό?
 - Ξύλωμα (αγγεία – τραχειΐδες)
- Σε ποιο σημείο της ρίζας βρίσκεται ο ιστός αυτός?
 - Στο κέντρο
- Σε ποιο σημείο βρίσκεται ο ιστός αυτός στα φύλλα? Ποια η πορεία μέχρι τα στόματα?
 - Μεταξύ σπογγώδους και δρυφακτοειδούς
 - Κύτταρα – κυτταρικά τοιχώματα – εξάτμιση – μεσοκυττάριοι χώροι – στόματα



Μηχανισμοί κίνησης του νερού

- Διάχυση
 - Τυχαία κίνηση νερού από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης προς περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης
 - Αργή
 - Σε επίπεδο κυττάρου
- Μαζική Ροή
 - Κίνηση νερού και διαλυμένων ουσιών εξαιτίας διαφορών πίεσης
 - Γρήγορη
 - Ανάλογη της διαφοράς πίεσης και του r^4
 - Εύλωμα, αποπλάστης, μεσοκυττάριοι χώροι

Κίνηση του νερού

Ενδοδερμίδα

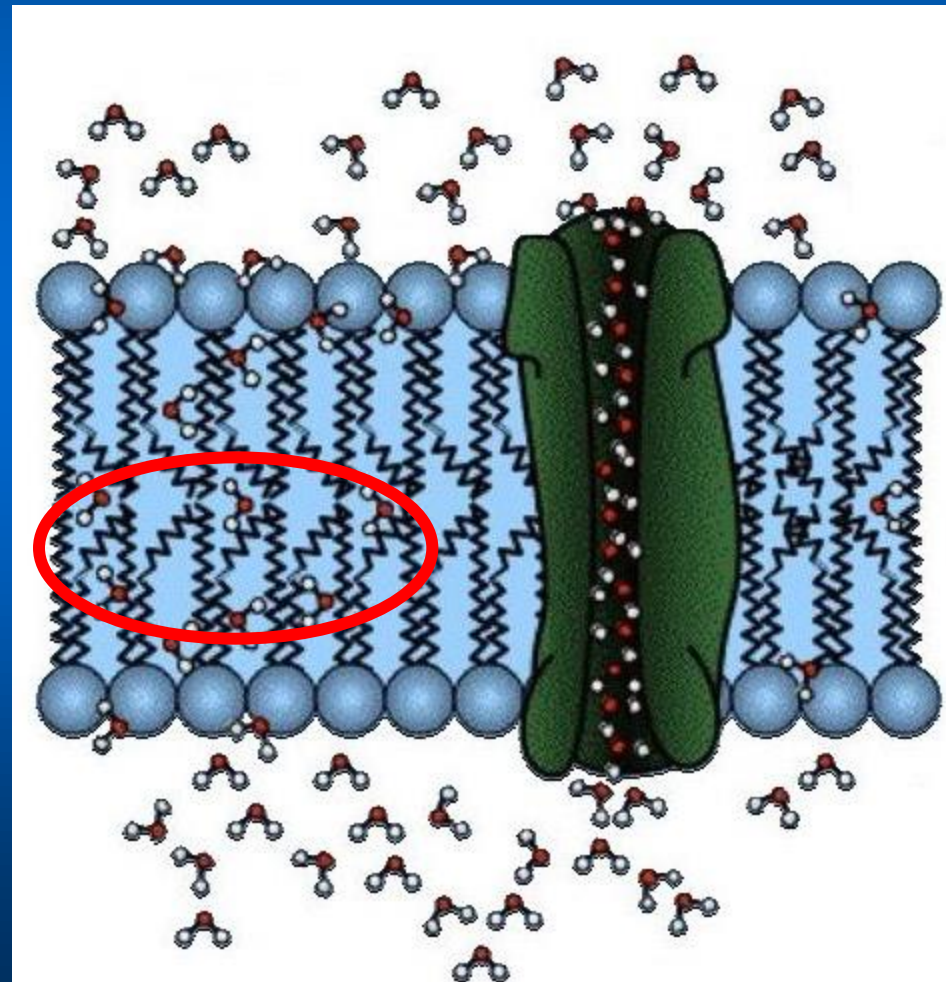
Διεξοδικά κύτταρα

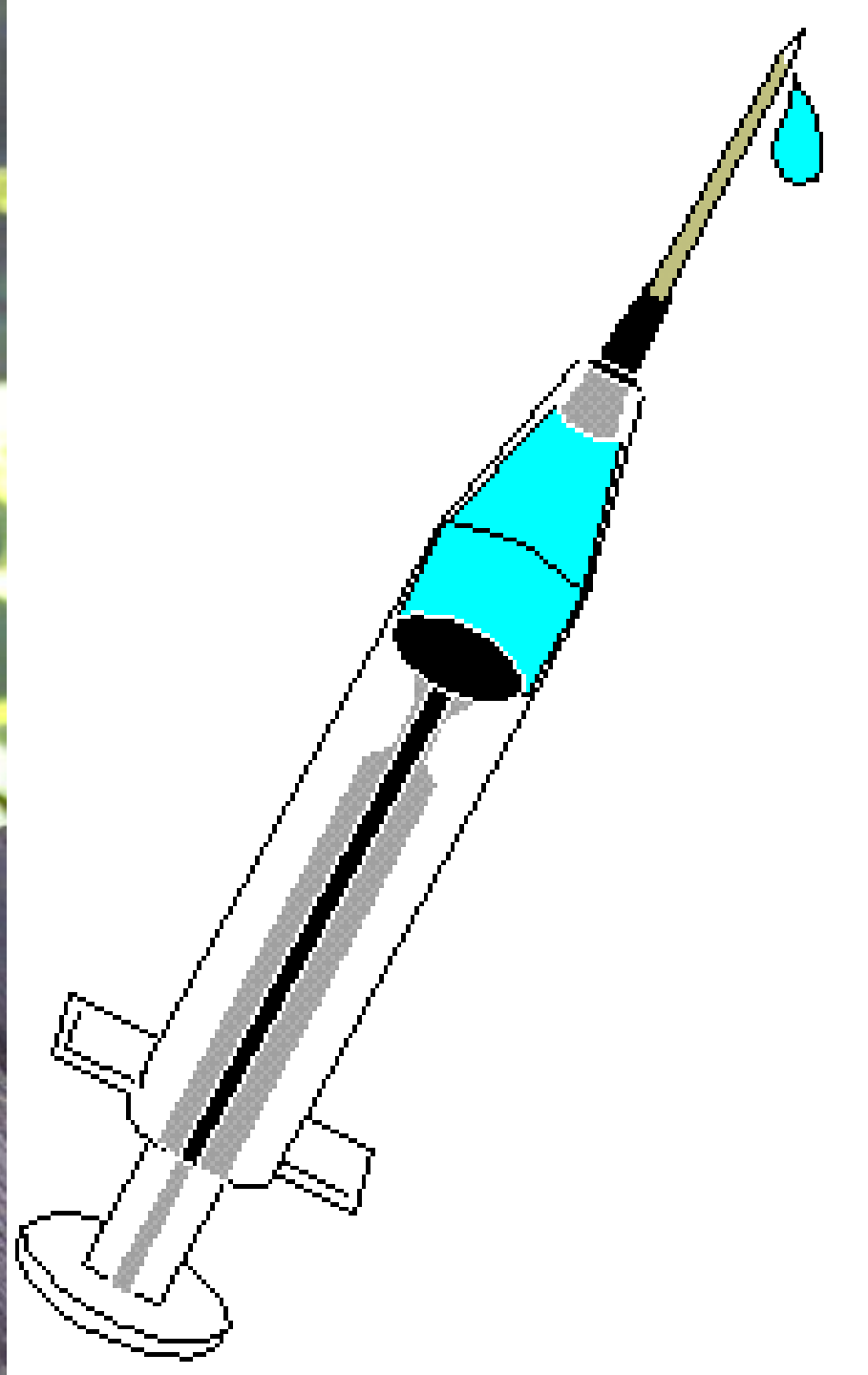
Aquaporins

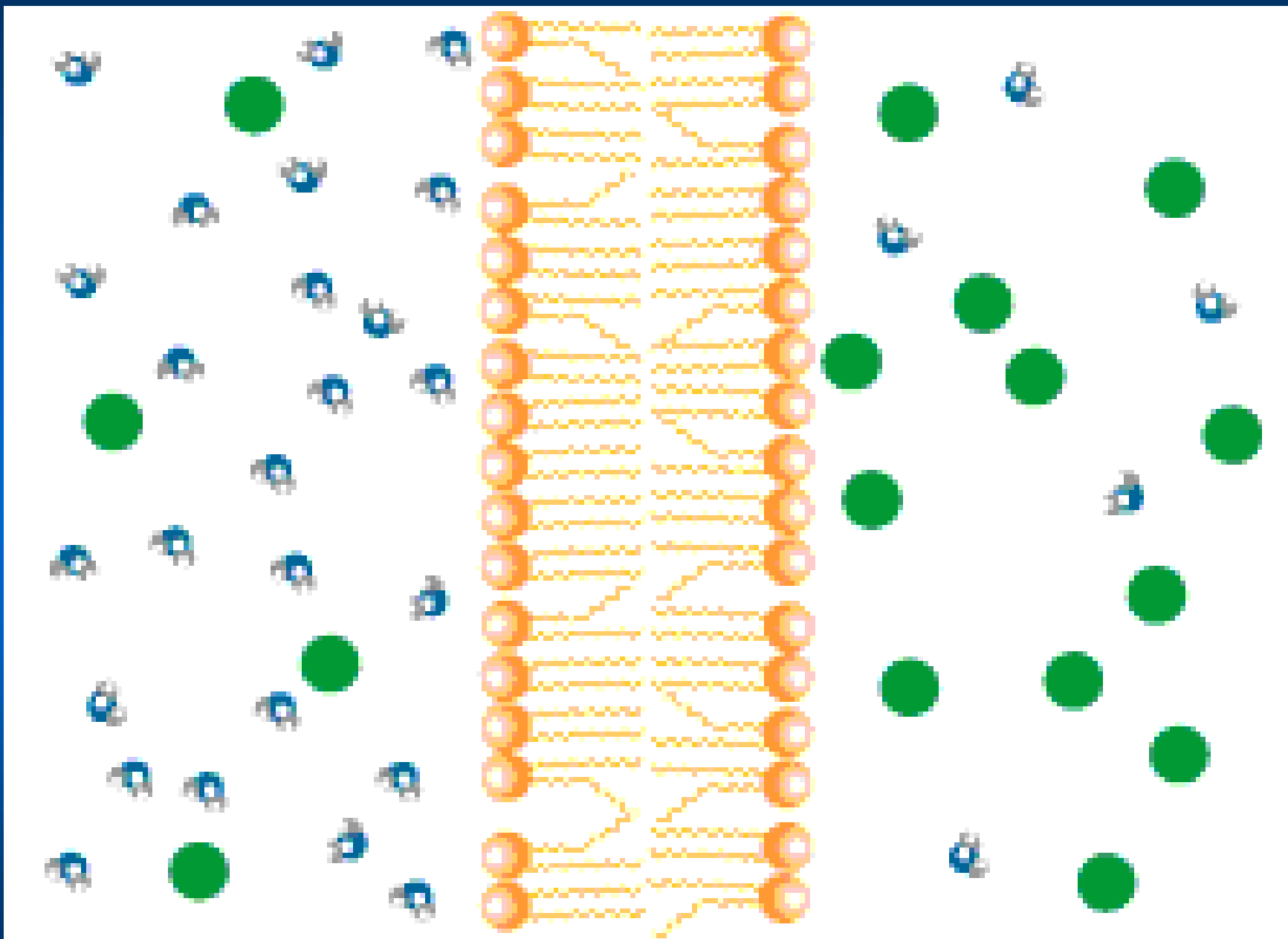
πρωτεϊνικά κανάλια

άνοιγμα – κλείσιμο

πρόσθεση – αφαίρεση







Δυναμικό νερού Ψ

Μέτρο της δυναμικής ενέργειας του νερού – μονάδες πίεσης MPa

Η κίνηση του νερού μεταξύ δύο σημείων καθορίζεται με βάση τη διαφορά δυναμικού τους $\Delta\Psi$:



Σχετική ποσότητα:

0: απεσταγμένο νερό
σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος

Δυναμικό νερού Ψ

Κίνηση του νερού:

από υψηλό Ψ



σε χαμηλό Ψ

απεσταγμένο νερό

-

κύτταρο

0

-

< 0

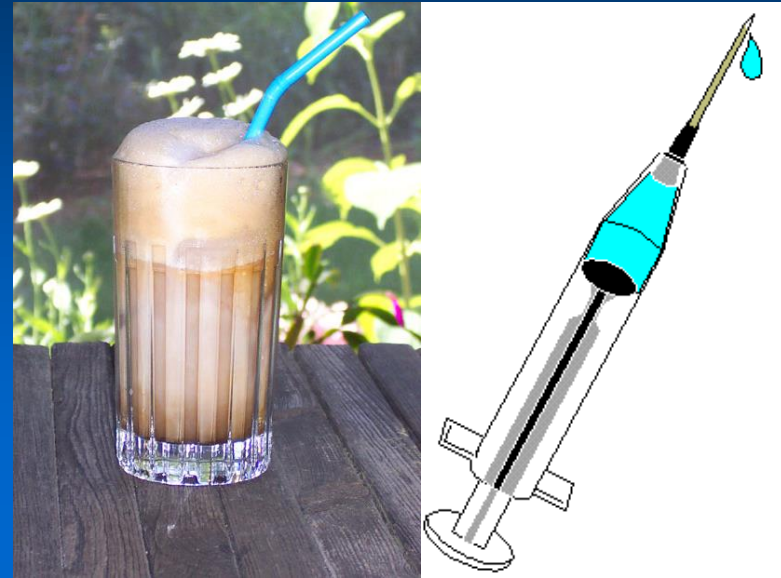
αρνητικό Ψ

Οι συνιστώσες του δυναμικού του νερού

1. Βαρύτητα



Οι συνιστώσες του δυναμικού του νερού



2. Πίεση P

αύξηση P



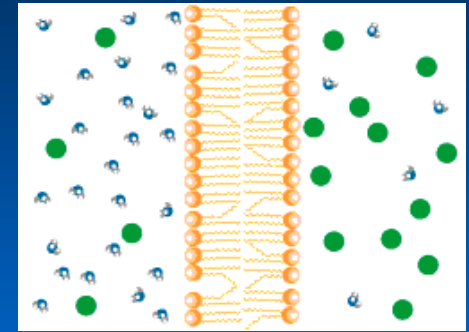
αύξηση της τάσης των μορίων του νερού προς κίνηση



αύξηση Ψ

υδροστατική πίεση: πάνω ή κάτω από την ατμοσφαιρική ($= 0$)

Οι συνιστώσες του δυναμικού του νερού



3. Διαλυμένες ουσίες

αύξηση διαλυμένων ουσιών



προσέλκυση μορίων νερού



αύξηση δεσμών υδρογόνου



μείωση της τάσης των μορίων του νερού προς κίνηση



μείωση Ψ

ωσμωτική πίεση π

$$(\pi = c R T)$$

Η βασική εξίσωση του δυναμικού του νερού

$$\Psi = P - \pi$$

P , πίεση σπαργής

π , ωσμωτική πίεση

Πίεση σπαργής (σπαργή=φούσκωμα)

- Ακαμψία
- Μηχανική σταθερότητα (σε ιστούς χωρίς εναπόθεση λινίνης)



Αλλά και

- Αύξηση κυττάρου
- Άνοιγμα στομάτων
- Μεταφορά μέσω φλοιώματος



Κίνηση του νερού... συμπερασματικά

Κατεύθυνση

Ακολουθώντας κλίσεις του Ψ (υψηλό \rightarrow χαμηλό) που καθορίζονται από την **πίεση σπαραγής** και την **οσμωτική πίεση**

Ταχύτητα

Εξαρτάται από τη διαπερατότητα των μεμβρανών
Σχετικό μέγεθος: υδραυλική αγωγιμότητα (L_p)



- ◆ Σύνθεση ή ενεργοποίηση ακουαπορινών
- ◆ Ποικιλία στη διάρκεια της ημέρας & μεταξύ ειδών

Υδατική καταπόνηση

Ξηρασία

πραγματική

φυσιολογική

Έλλειψη νερού στο έδαφος

Υπάρχει νερό στο έδαφος,
αλλά δεν είναι διαθέσιμο

Έρημοι
Αμμοθίνες
Βράχοι-τοίχοι
Ρηχά εδάφη
Ξηρά περιβάλλοντα

Εδάφη υψηλής αλατότητας
ή παγωμένα

Υδατική καταπόνηση

Αφυδάτωση

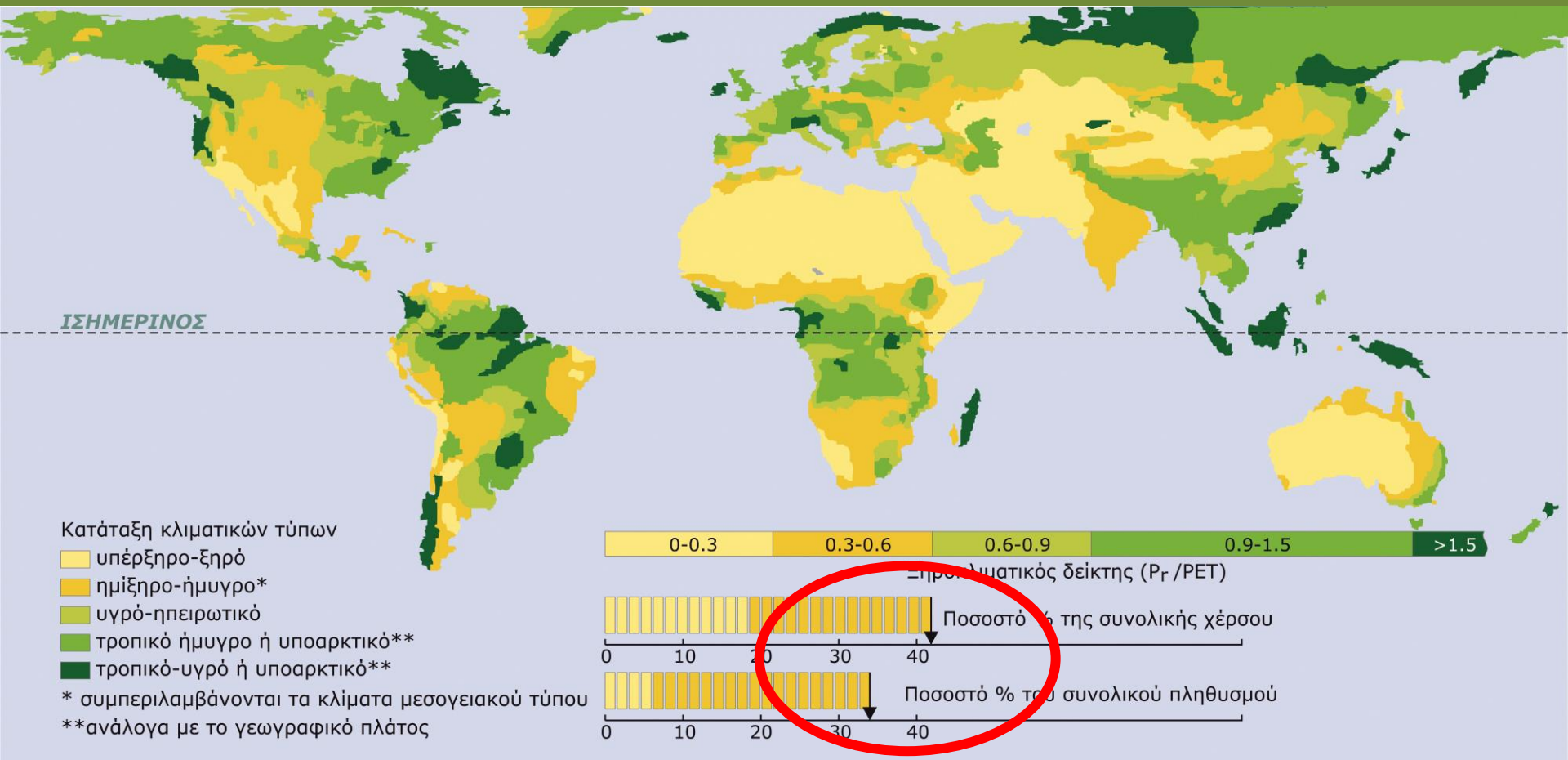
Αποτέλεσμα
της ξηρασίας

Οσμωτική καταπόνηση

Αποτέλεσμα της
αλατότητας

Υδατική καταπόνηση

Εηρασία = ↓ διαθεσιμότητα νερού + ↑ εξατμισοδιαπνοή



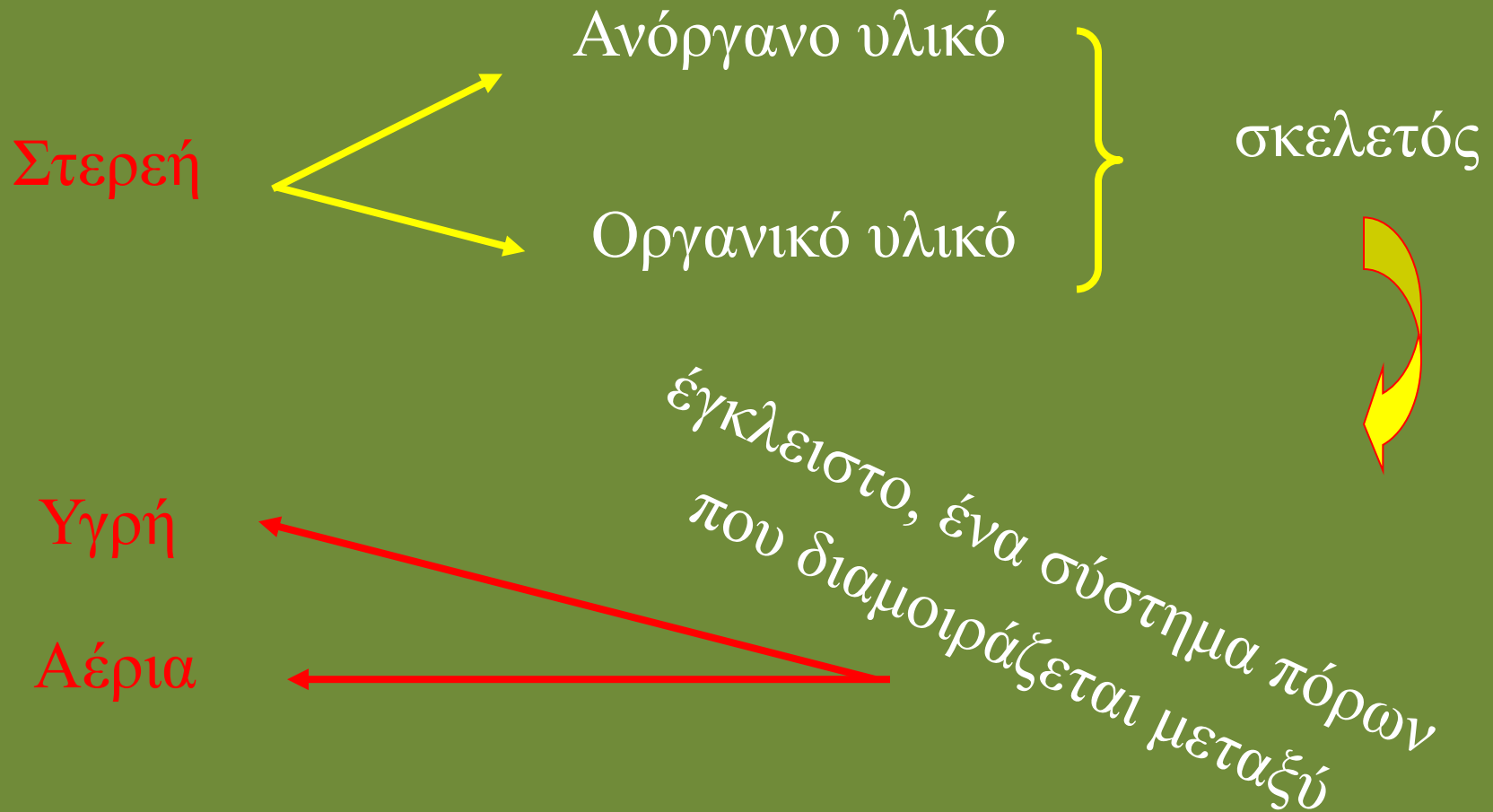
Υδατική καταπόνηση

Αποτελέσματα - επιπτώσεις

- ❖ Μεταβολές στο εδαφικό περιβάλλον και τη ριζόσφαιρα
- ❖ Σοβαρές διαταραχές σε μορφολογικό, φυσιολογικό και μοριακό επίπεδο

Μεταβολές στο εδαφικό περιβάλλον και τη ριζόσφαιρα

Το έδαφος απαρτίζεται από τρεις φάσεις



Υφή εδαφών

Προφανώς, η σχετική παρουσία των διαφόρων συστατικών διαμορφώνει και το πορώδες του εδάφους, επηρεάζοντας έτσι καθοριστικά...

- ✦ τον αερισμό
- ✦ την δυνατότητα κατακράτησης του νερού ή αντιστρόφως την αποστράγγιση
- ✦ τη διείσδυση των ριζών
- ✦ την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων

Η υγρή φάση

Το εδαφικό νερό αναλόγως των δυνάμεων με τις οποίες συγκρατείται μπορεί να χωριστεί στις εξής κατηγορίες:

◆ Υγροσκοπικό

συγκρατείται από την επιφανειακή τάση γύρω από τα εδαφικά σωματίδια ως film (δεν είναι διαθέσιμο για τα φυτά)

◆ Τριχοειδές

το υγροσκοπικό έλκει κι άλλα μόρια νερού, σχηματίζοντας παχύτερα στρώματα (κύρια πηγή για τα φυτά)

◆ Ελεύθερο ή βαρυτικό

γρήγορη αποστράγγιση σε βαθύτερα στρώματα (ελάχιστη χρήση από τα φυτά)

Η υγρή φάση

Δύο όρια της ποσότητας του διαθέσιμου για τα φυτά νερού του εδάφους

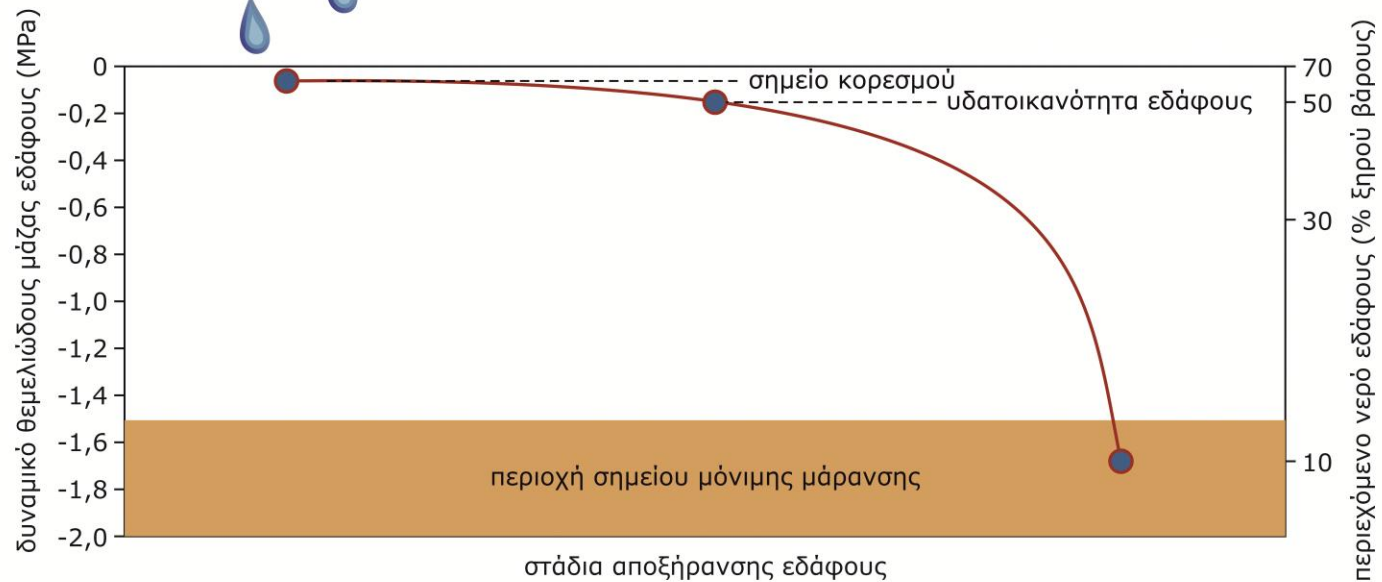
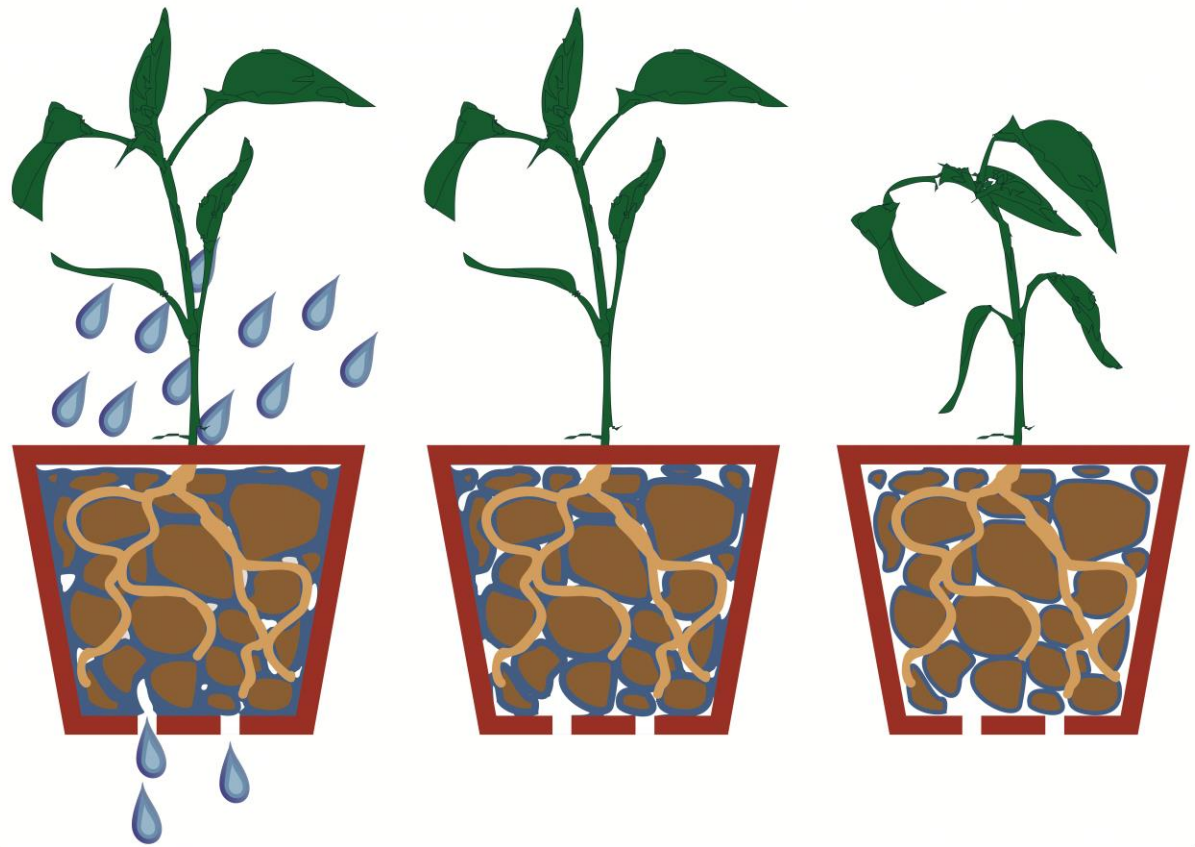
◆ Εδαφική υδατοϊκανότητα

η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατηθεί από τα εδαφικά τεμαχίδια

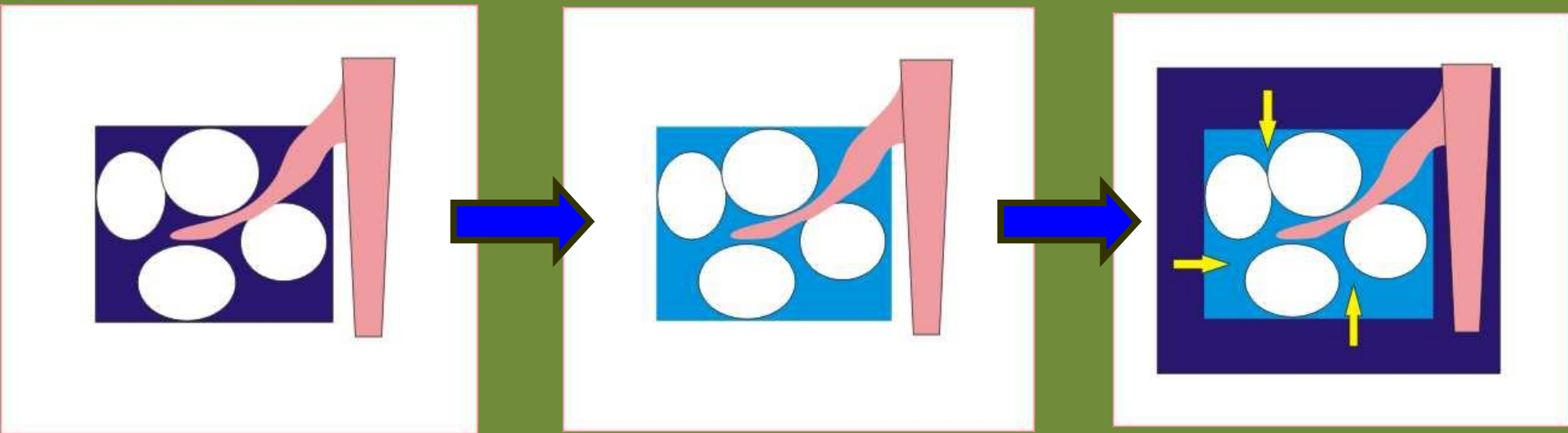
◆ Σημείο μόνιμης μάρανσης

το κατώτατο όριο συγκέντρωσης του διαθέσιμου νερού

Μεταβολές στο εδαφικό περιβάλλον και τη ριζόσφαιρα



Διαπνοή – μαζική ροή – θρεπτικά προς τη ριζόσφαιρα



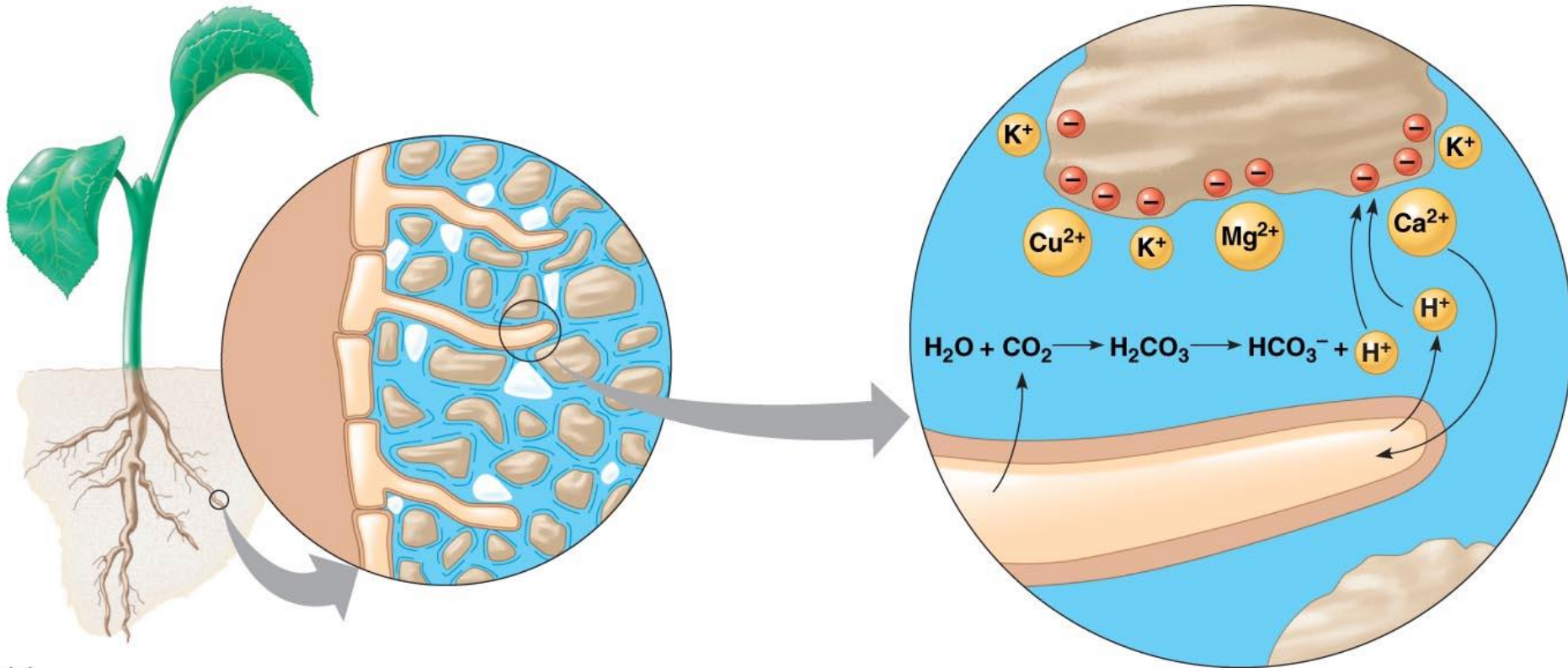
Υδατική καταπόνηση

Αποτελέσματα - επιπτώσεις

- ❖ Σοβαρές διαταραχές σε μορφολογικό, φυσιολογικό και μοριακό επίπεδο
 - ★ Μειώνεται η πρόσφυση της ρίζας στα εδαφικά σωματίδια
 - ★ Αυξάνονται οι αντιστάσεις στη ροή του νερού
 - ★ Παρεμποδίζονται οι κυτταρικές διαιρέσεις και διάταση των κυττάρων
 - ★ Επηρεάζεται η δομή και λειτουργία μεμβρανών και ενζύμων
 - ★ Παρεμποδίζεται η φωτοσυνθετική λειτουργία

Επιπτώσεις της υδατικής καταπόνησης σε δομή και λειτουργίες

Μειώνεται η πρόσφυση της ρίζας στα εδαφικά σωματίδια



(a)

(b)

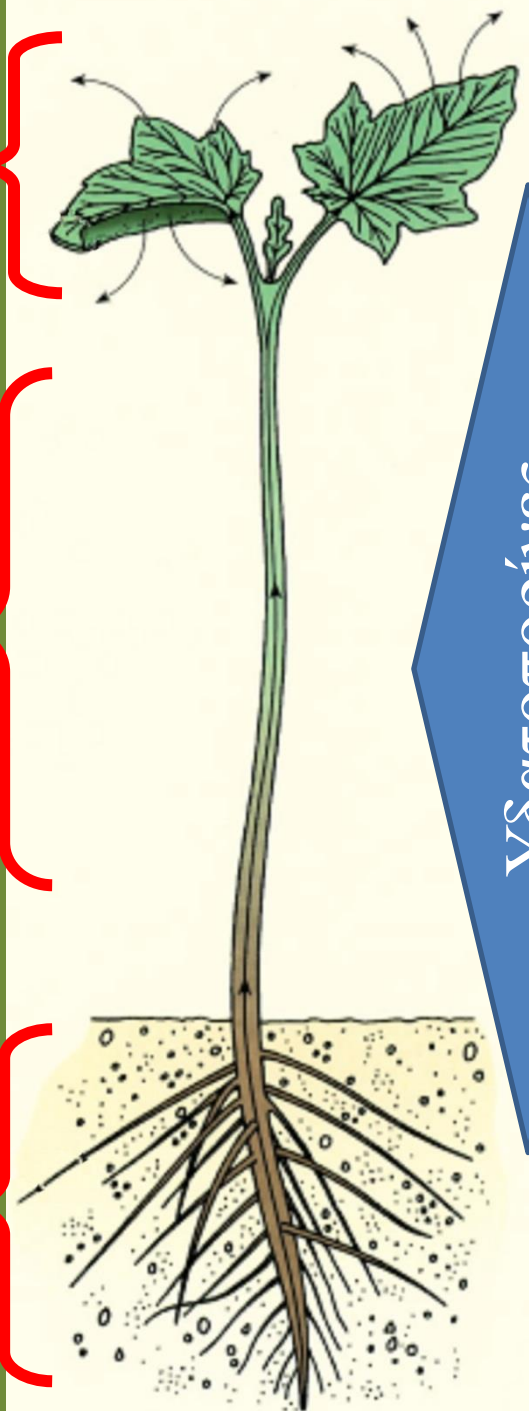
Αυξάνονται οι αντιστάσεις στη ροή του νερού

Τι επηρεάζει τις αντιστάσεις

Στοματική
αντίσταση

Υδραυλικά χαρακτηριστικά των
αγγείων του ξύλου (εύρος αγγείων,
εμβολές κλπ.)

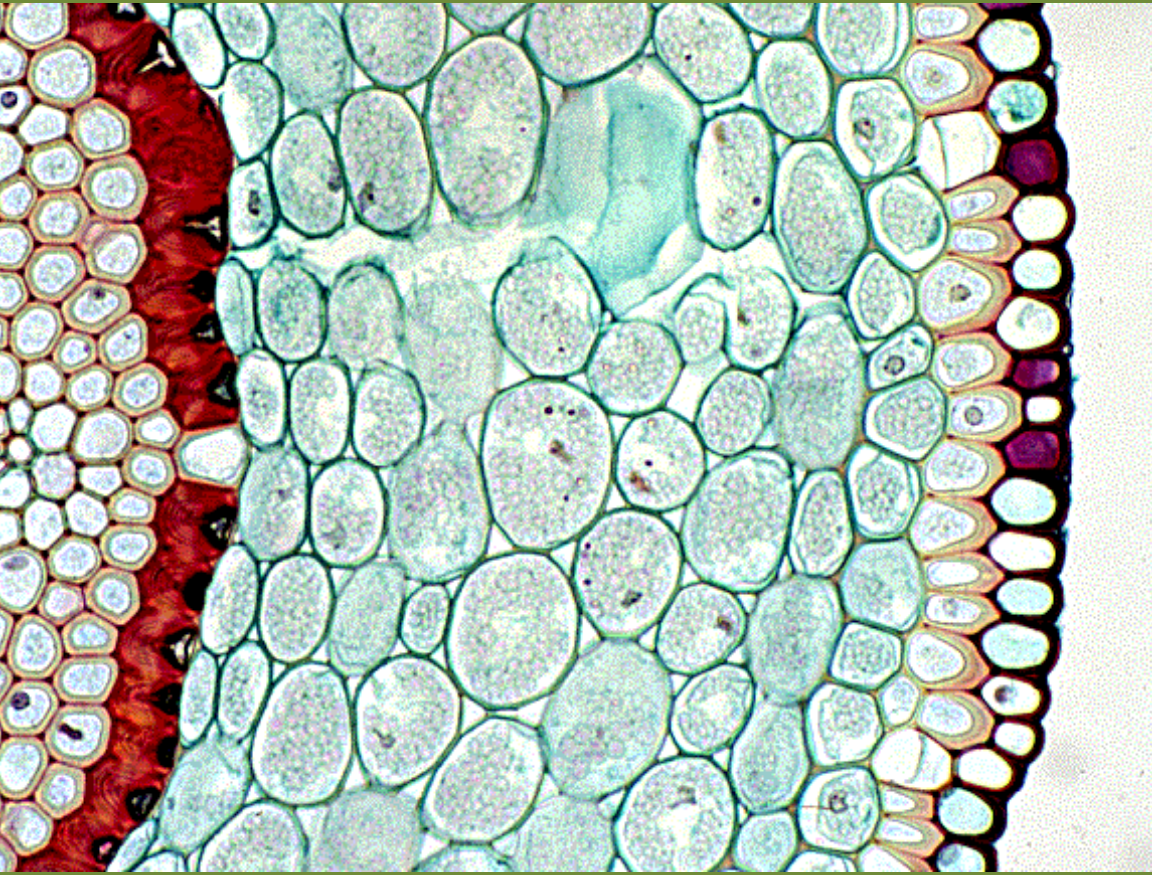
Ανατομικά χαρακτηριστικά των
ιστών της ρίζας



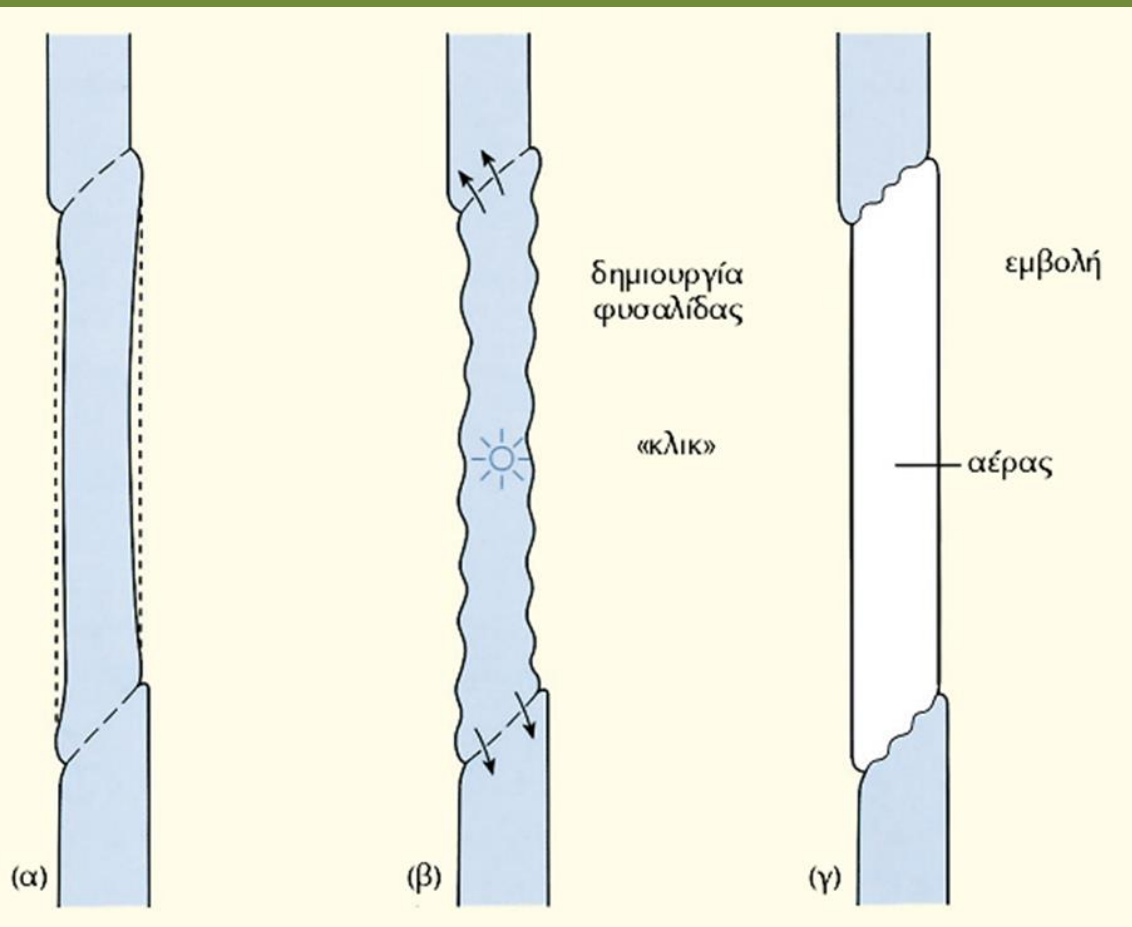
Υδατοπορίνες

Αυξάνονται οι αντιστάσεις στη ροή του νερού

Φελλίνη στην υποδερμίδα της ρίζας (μη αντιστρέψιμη αντίσταση)



Αυξάνονται οι αντιστάσεις στη ροή του νερού



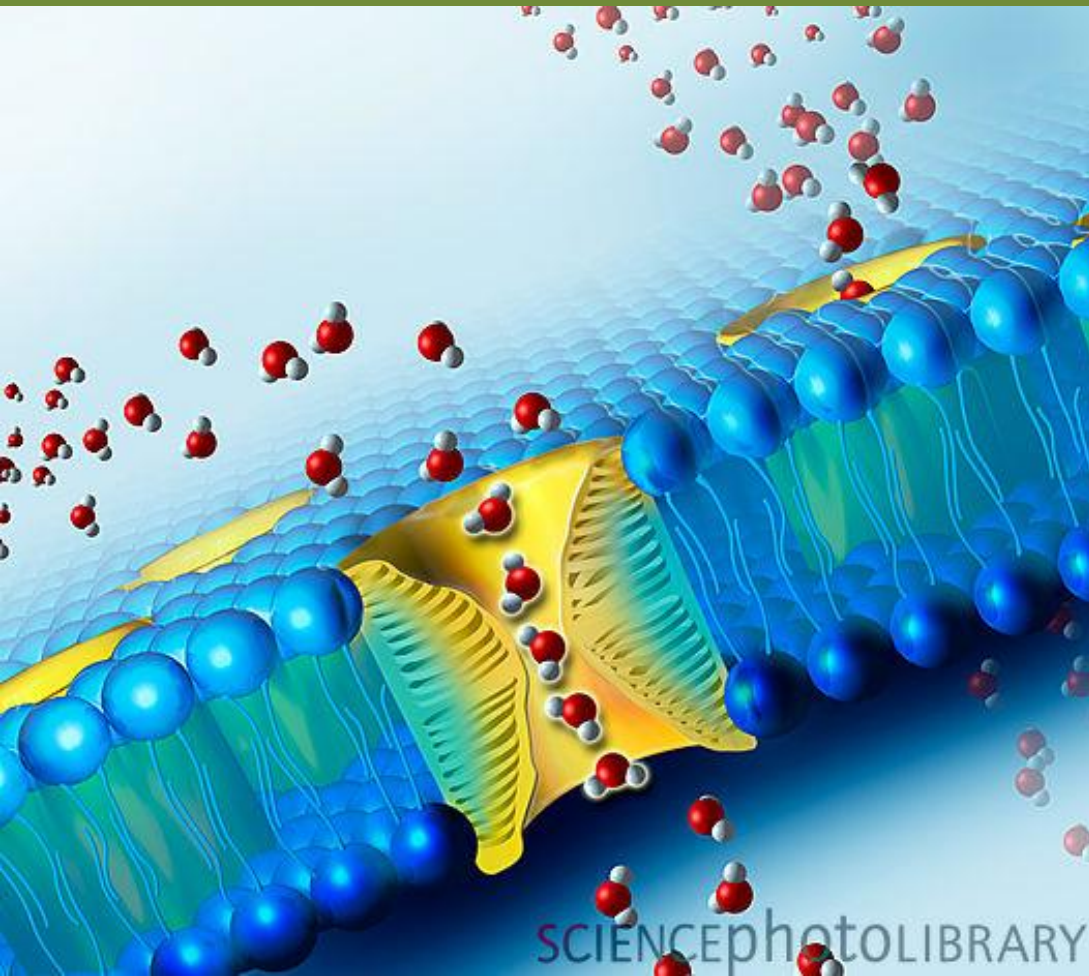
Δημιουργία εμβολών

εξαιρετικά χαμηλό Ψ



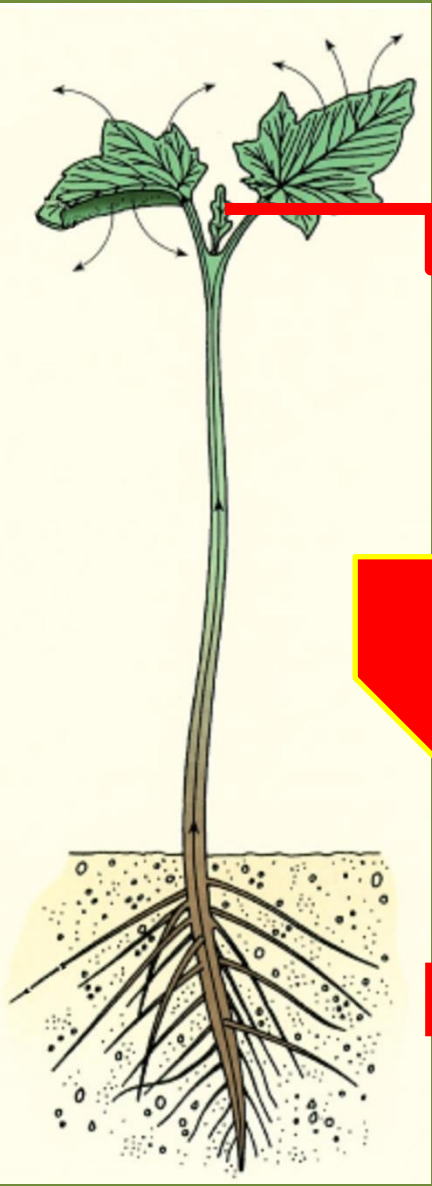
ανάπτυξη υψηλών
αρνητικών πιέσεων
(τάσεων)

Αυξάνονται οι αντιστάσεις στη ροή του νερού



Απενεργοποίηση
υδατοπορινών

Παρεμποδίζονται οι κυτταρικές διαιρέσεις και η διάταση των κυττάρων



1^η φάση: έντονη παρεμπόδιση κυτταροδιαίρεσης ή/και ρυθμού επιμήκυνσης

2^η φάση: επανεκκίνηση της αύξησης με χαμηλότερους ρυθμούς

Εγκλιματισμός: επαναπρογραμματισμός αναπτυξιακού προτύπου

ABA & ACC (πρόδρομο αιθυλενίου → αιθυλένιο στα φύλλα)

Φυσιολογική βάση της παρεμπόδισης κ.δ.

Συνδυαστική
δράση ABA-
αιθυλενίου



Επαγωγή
καταβολισμού
γιββερρελινών



Σταθεροποίηση
επιπέδων
πρωτεϊνών
DELLA
(παρεμποδιστές
ανάπτυξης)

Ανταγωνισμός που ρυθμίζει
κυτταρική επιμήκυνση &
ρυθμό κυτταροδιαίρέσεων

...πέραν των ορμονικών σημάτων

Μείωση
υδραυλικής
αγωγιμότητας
ρίζας-βλαστού

Απενεργοποίηση
υδατοπορινών

Μείωση πίεσης
σπαργής
αναπτυσσόμενων
κυττάρων

Διακοπή αύξησης υπέργειων οργάνων

Εγκλιματισμός: επαναπρογραμματισμός του αναπτυξιακού προτύπου

Επαναπρογραμματισμός αναπνευστικού μεταβολισμού

- Περιορισμός αριθμού μεριστωματικών κυττάρων (μείωση μεγέθους φύλλων)

Μεταβολή μηχανικών χαρακτηριστικών κυτταρικού τοιχώματος

- Σύνθεση υδατοπορινών
- 

Μεταβολή μηχανικών χαρακτηριστικών κυτταρικού τοιχώματος

Η επιμήκυνση των αναπτυσσόμενων κυττάρων εξαρτάται
από την πίεση σπαργής και την ελαστικότητα των
κυτταρικών τοιχωμάτων

Ελάττωση πίεσης σπαργής



Αύξηση ελαστικότητας κυτταρικών τοιχωμάτων για
επίτευξη τελικού μεγέθους κυττάρου με μικρότερη πίεση
σπαργής

Μεγάλης έντασης υδατική καταπόνηση: επηρεάζεται η δομή και λειτουργία μεμβρανών και ενζύμων

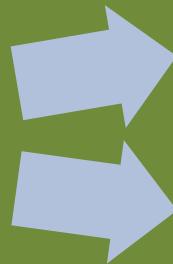
Σταδιακή αφυδάτωση
κυτταροπλάσματος



Συρρίκνωση
πρωτοπλάστη



Συμπύκνωση υδατικής
φάσης & αύξηση
συγκέντρωσης
διαλυμένων ουσιών



Απώλεια δραστηριότητας
μεμβρανικών αντλιών

Δημιουργία πόρων

Επηρεάζει ακεραιότητα
μεμβρανών

Επηρεάζει
δραστηριότητα ενζύμων

Μεγάλης έντασης υδατική καταπόνηση: επηρεάζεται η δομή και λειτουργία μεμβρανών και ενζύμων

Απώλεια δραστηριότητας
μεμβρανικών αντλιών

Δημιουργία πόρων

Επηρεάζει ακεραιότητα
μεμβρανών

Απώλεια εκλεκτικής
περατότητας μεμβρανών
& διαμερισματοποίησης

Ανεξέλεγκτη διακίνηση
ουσιών

Συνολική μεταβολική
δυσλειτουργία

Παρεμπόδιση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας

- ❶ Το αναπόφευκτο κλείσιμο στομάτων παρεμποδίζει την είσοδο CO_2
- ❷ Το χαμηλό δυναμικό νερού επηρεάζει τη δομική και λειτουργική ακεραιότητα της φωτοσυνθετικής συσκευής
- ❸ Η έντονη υδατική καταπόνηση προκαλεί τη συσσώρευση ενεργών μορφών οξυγόνου, άρα την οξειδωτική καταπόνηση της φωτοσυνθετικής συσκευής αλλά και όλου του μεταβολισμού

Παρεμπόδιση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας

