

Τρεις στρατηγικές αντιμετώπισης της υδατικής καταπόνησης

Διαφυγή

Αποφυγή

Ανθεκτικότητα

Δ ι α φ υ γ ή

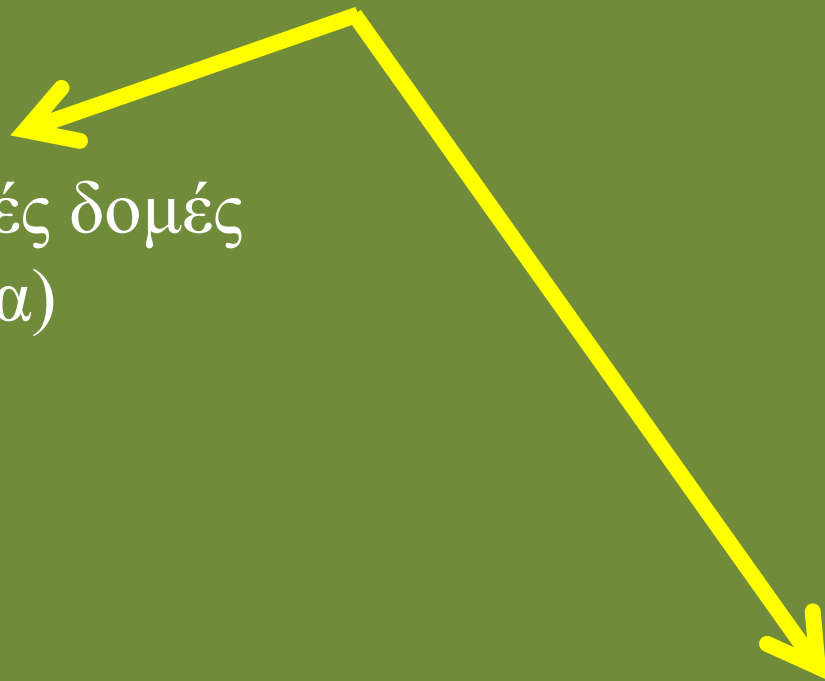
Επιλέγεται από ετήσιες ή εφήμερες μορφές ζωής. Τα φυτά αυτά ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο μέσα στα στενά όρια της ευνοϊκής περιόδου όπου υπάρχει επάρκεια νερού.

Διαφυγή

Στη διάρκεια της δυσμενούς περιόδου

ληθαργικές δομές
(σπέρματα)

βιολογικά δραστήριο μόνο ένα τμήμα
(ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού)



Δ ι α φ υ γ ή



Asphodelos



Euphorbia

Ζωντανό το υπόγειο
τμήμα
(βολβοί, κόνδυλοι,
ριζώματα)

Θάμνοι που αποβάλλουν
τα φύλλα τους στη
δυσμενή περίοδο

Π.χ. γεώφυτα

βιολογικά δραστήριο μόνο ένα τμήμα
(ελαχιστοποίηση των απωλειών νερού)

Δ ι α φ υ γ ή

Ετήσια, με υψηλή φωτοσυνθετική απόδοση και αποδοτική διαχείριση θρεπτικών (ταχεία ολοκλήρωση βιολογικού κύκλου)



Κατασκευή αγγείων και στομάτων για υψηλούς ρυθμούς τροφοδοσίας των φύλλων με νερό και όχι εξοικονόμηση νερού + κίνδυνος εμβολών (παρουσία stress)

Α π ο φ υ γ ή

Επιλέγεται από **ετήσιες ή πολυετείς** μορφές ζωής. Τα φυτά της κατηγορίας αυτής, παρουσία υδατικής καταπόνησης, διατηρούν το δυναμικό νερού των κυττάρων τους σε **σχετικά υψηλά επίπεδα**. Επομένως τα κύτταρα των ιστών τους δεν έχουν την εμπειρία της αφυδάτωσης, έναντι της οποίας παρουσιάζονται **σχετικά ευαίσθητα**.

Αποφυγή

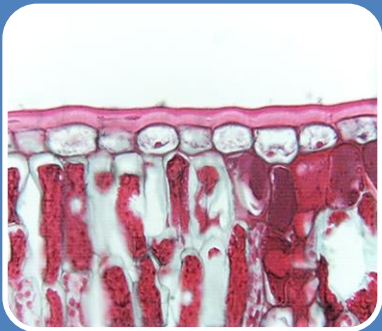
Δύο παραλλαγές της στρατηγικής αυτής

- ◆ Αποφυγή με οικονομία νερού
- ◆ Αποφυγή με κατανάλωση νερού

Αποφυγή με οικονομία νερού

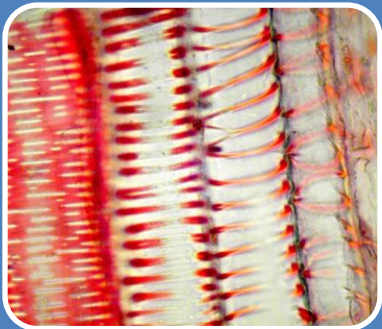
- ✓ Τα φυτά αυτά διαθέτουν την ικανότητα να **περιορίζουν** τις **διαπνευστικές απώλειες**, διατηρώντας ταυτόχρονα την **ικανότητα αφομοίωσης CO₂**
- ✓ Δίδεται **προτεραιότητα** στην **εξοικονόμηση** και **διαφύλαξη** των **λιγιστών αποθεμάτων νερού**
- ✓ Στη διάρκεια της **δυσμενούς περιόδου** τα κύτταρά τους **διατηρούν υψηλό Ψ**

Π ώ ς τ α κ α τ α φ έ ρ ν ο υ ν



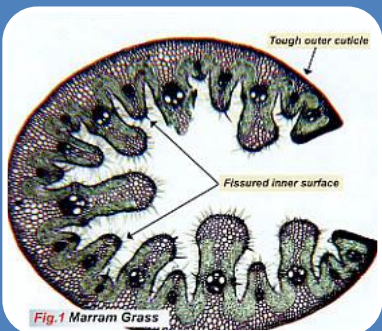
Μορφολογικοί χαρακτήρες που παρεμβάλλουν ισχυρές αντιστάσεις στη διαπνευστική απώλεια νερού

- Εφυμενίδα, τρίχες, κηροί
- Τοποθέτηση στομάτων σε κρύπτη



Ασφαλής διαχείριση νερού μέσω των αγγείων του ξύλου και των στομάτων

- Στενά αγγεία ξύλου (↓ ροής αλλά και αποτροπή εμβολών)
- Πολλά, μικρά στόματα



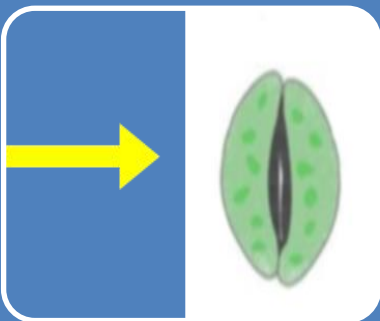
Περιορισμός στο ελάχιστο των επιφανειών των οργάνων που έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα

- Φύλλα σε μορφή σφαίρας

Π ώ ς τ α κ α τ α φ έ ρ ν ο υ ν



- Βλαστοί που συνεισφέρουν σημαντικά στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και ιδιόμορφη μεταβολική δραστηριότητα
- Άνοιγμα στομάτων στη διάρκεια της νύχτας (CAM)



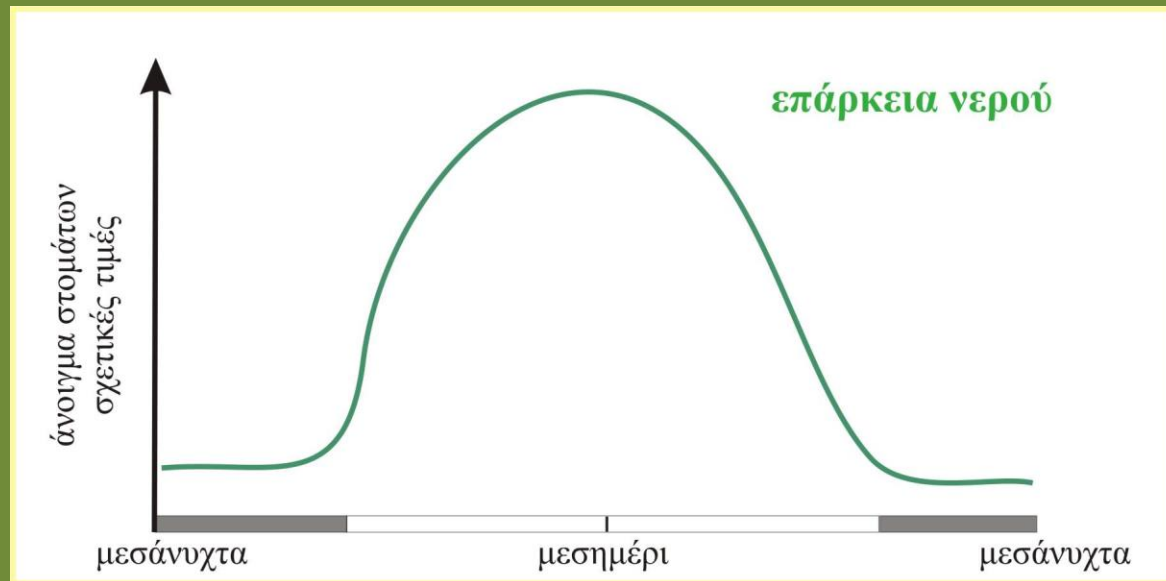
- Κλείσιμο στομάτων στη διάρκεια της περιόδου που ευνοεί μεγάλες απώλειες νερού
- στη διάρκεια της ημέρας (CAM)
 - στη διάρκεια του μεσημεριού (μεσογειακά αείφυλλα σκληρόφυλλα)



- Αποθήκευση νερού σε κατάλληλους ιστούς, π.χ.
- Βλαστοί
 - Κορμοί
 - Κυτταρικά τοιχώματα

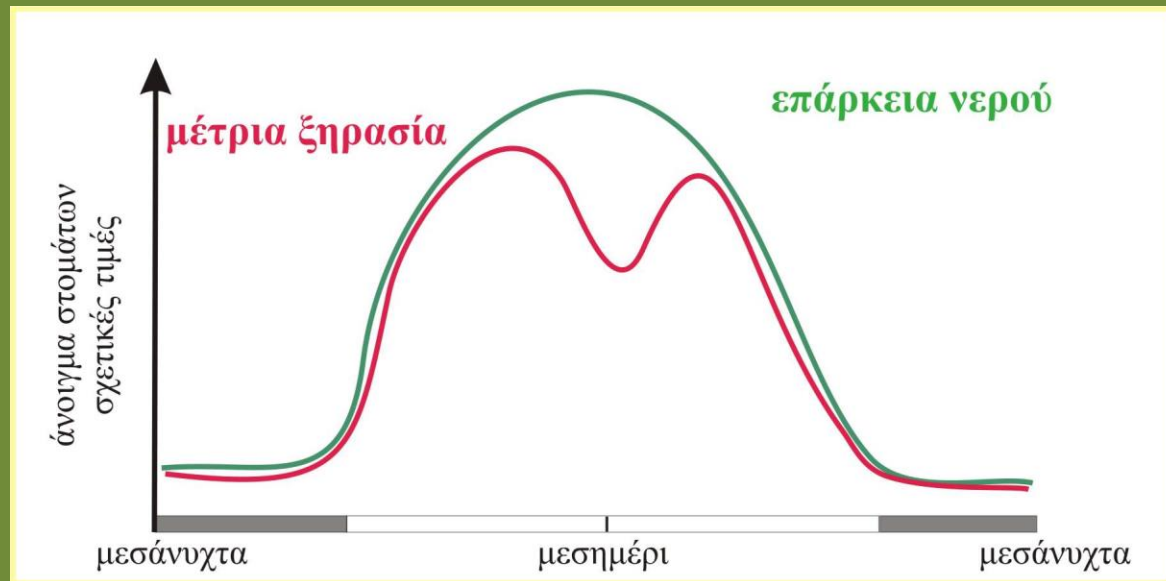
Αποφυγή με οικονομία νερού

Παράδειγμα: αυστηρός έλεγχος ανοίγματος στομάτων



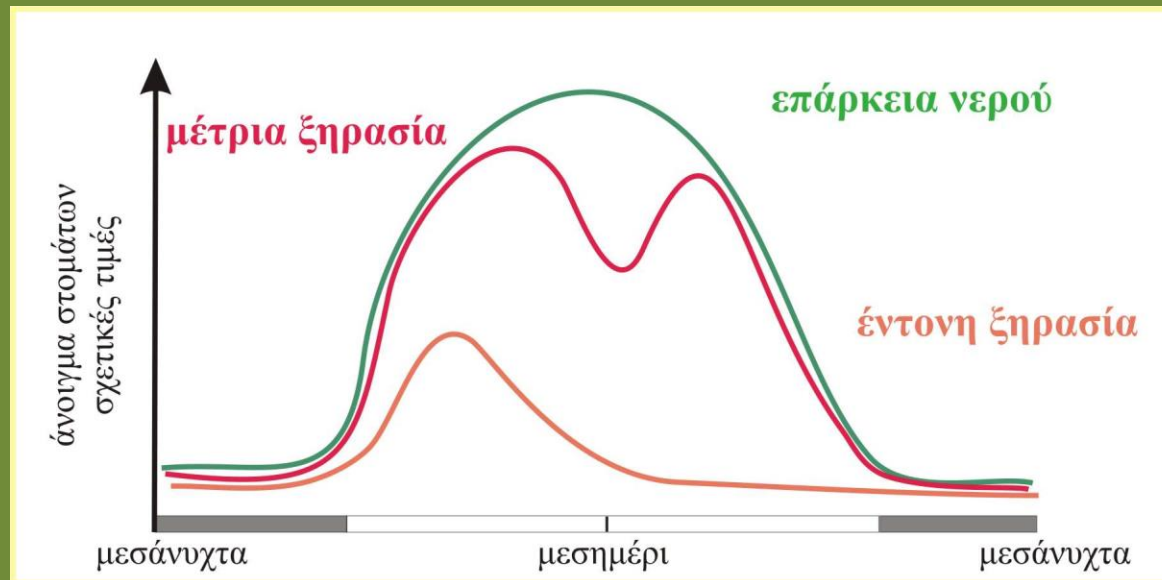
Αποφυγή με οικονομία νερού

αυστηρός έλεγχος ανοίγματος στομάτων



Αποφυγή με οικονομία νερού

αυστηρός έλεγχος ανοίγματος στομάτων



Αποφυγή με κατανάλωση νερού

- ✓ Τα φυτά της κατηγορίας αυτής **αδιαφορούν** για την εξοικονόμηση νερού, το οποίο **καταναλώνουν** συνήθως σε **μεγάλες ποσότητες**
- ✓ Δίδεται **προτεραιότητα** στην **εξεύρεση** και αποτελεσματική **άντληση** του νερού του περιβάλλοντος

Πώς τα καταφέρνουν

Δυνατότητα επίτευξης χαμηλού Ψ στη ρίζα

Αύξηση του λόγου υπόγειο/υπέργειο, άρα ανάπτυξη της ρίζας που μπορεί να προσεγγίσει τον υδροφόρο ορίζοντα (π.χ. φρεατόφυτα)

Αύξηση αγωγιμότητας στη μεταφορά νερού:

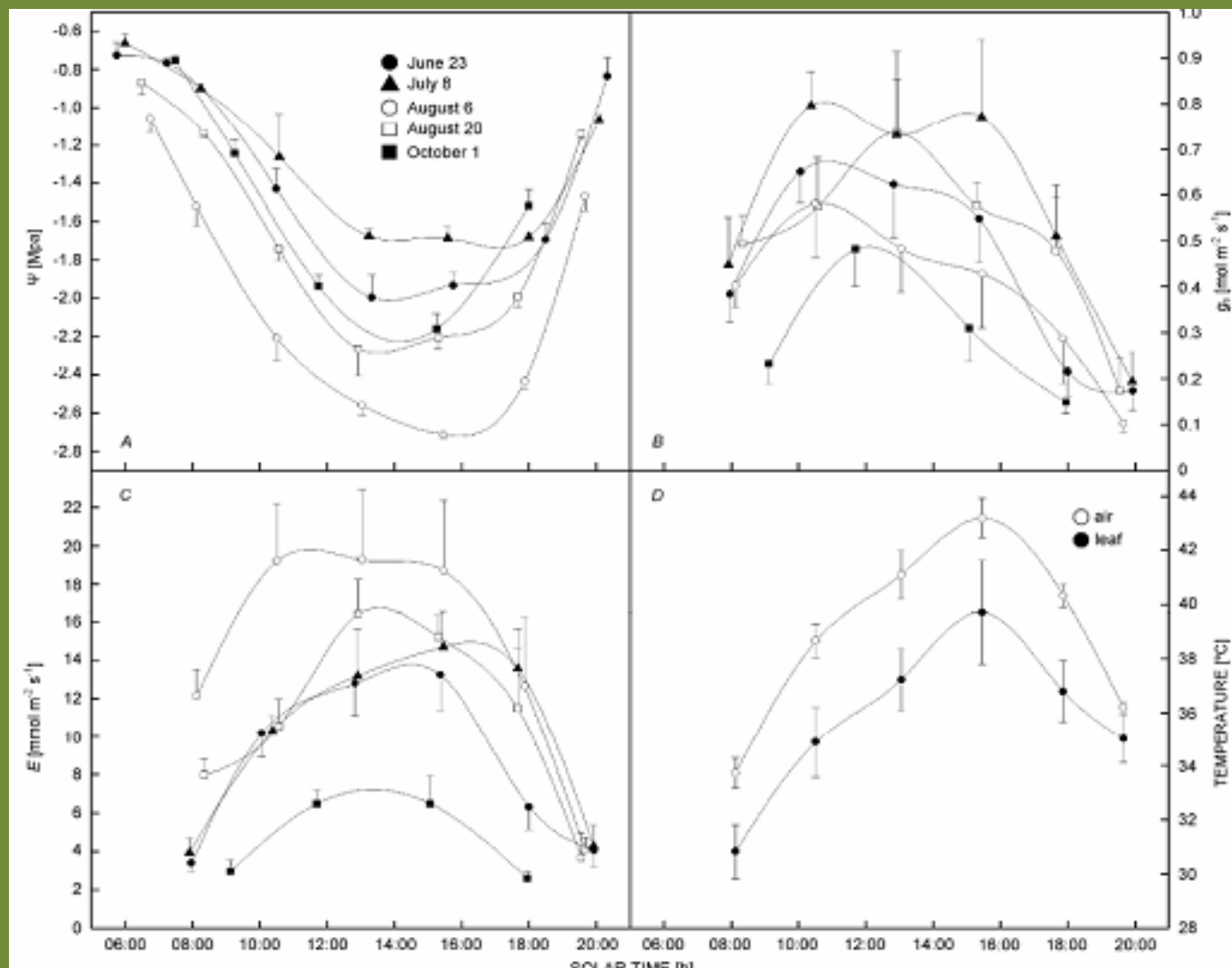
- ★ αύξηση αγγείων ξύλου
- ★ πολλά και διακλαδισμένα νεύρα

Αποφυγή με κατανάλωση νερού



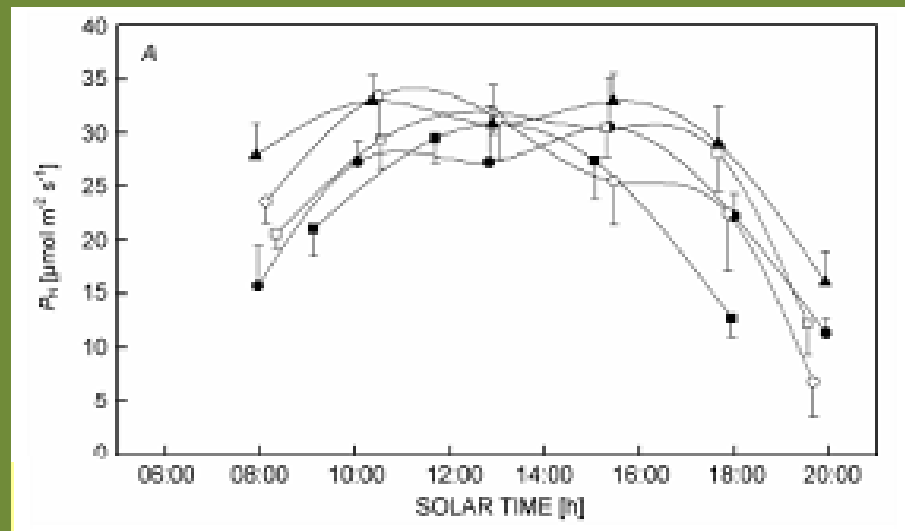
Αποφυγή με κατανάλωση νερού

Οι εξαιρετικές αποδόσεις της κάπαρης



Αποφυγή με κατανάλωση νερού

Οι εξαιρετικές αποδόσεις της κάπαρης



Α ν θ ε κ τ ι κ ό τ η τ α

Τα φυτά αυτά διαθέτουν την ικανότητα να διατηρούν
στοιχειώδη μεταβολική δραστηριότητα ακόμη και αν το
δυναμικό νερού του κυτταροπλάσματος πέσει σε πολύ
χαμηλά επίπεδα

Π ώ ς τ α κ α τ α φ έ ρ ν ο υ ν

Οσμωρύθμιση:

Η οσμωτική πίεση των ιστών ρυθμίζεται σε υψηλά επίπεδα μέσω συσσώρευσης οσμωτικά ενεργών μεταβολιτών

Ανθεκτικότητα έναντι έντονης και παρατεταμένης αφυδάτωσης

Ο σ μ ω ρ ύ θ μ ι σ η

Ενεργητική αύξηση (μέσω βιοσύνθεσης)
οσμωτικά ενεργών ουσιών που επάγεται
από την υδατική καταπόνηση

Χαμηλότερο Ψ στους ιστούς

Πρόσληψη νερού -ακόμη κι αν η
διαθεσιμότητα του είναι μειωμένη- και
διατήρηση ανεκτής πίεσης σπαργής

Ο σ μ ω ρ ύ θ μ ι σ η

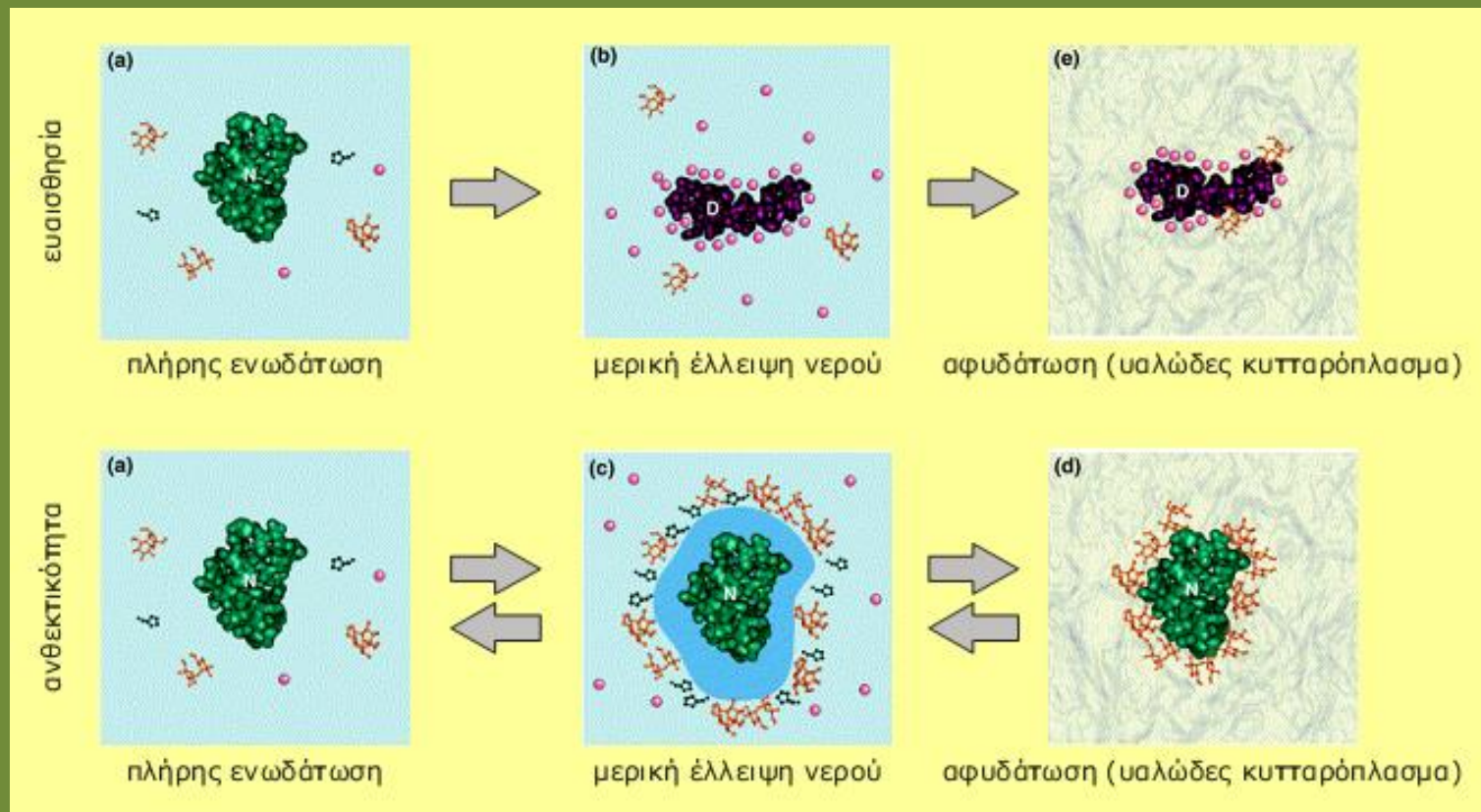
...από τους **συμβατούς οσμωλύτες**

συμβατοί = η συσσώρευσή τους δεν
επιφέρει μεταβολικές δυσλειτουργίες

Ποιοι είναι: τα αμινοξέα προλίνη και γλουταμινικό οξύ, βεταΐνες, ο δισακχαρίτης τρεαλόζη, η γλυκόζη κ.α.

Οι συμβατοί οσμωλύτες εκτός της οσμωρύθμισης...

...προστατεύουν ευαίσθητα μόρια – κυρίως πρωτεΐνες- από την αφυδάτωση, αποδιάταξη και καταστροφή



Ανθεκτικότητα έναντι έντονης και παρατεταμένης αφυδάτωσης

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κυρίως **ποικιλοϋδρικοί** οργανισμοί, των οποίων τα κύτταρα επιβιώνουν για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα, παρόλο ότι το σχετικό περιεχόμενο σε νερό πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα

Ανθεκτικότητα έναντι έντονης και παρατεταμένης αφυδάτωσης

Φυτά αναβίωσης (resurrection plants)

Σε συνθήκες παρατεταμένης και έντονης αφυδάτωσης μεταβαίνουν στην λεγόμενη κατάσταση αναβίωσης, η οποία χαρακτηρίζεται από συνθήκες σχεδόν πλήρους αφυδάτωσης των κυττάρων

Ανθεκτικότητα έναντι έντονης και παρατεταμένης αφυδάτωσης



Εγκλιματισμός στην υδατική καταπόνηση

Σταδιακή έλλειψη νερού



Ενεργοποίηση μηχανισμών
εγκλιματισμού



Τη στρατηγική που
ακολουθεί, άρα από
δομικούς/λειτουργικούς
χαρακτήρες (π.χ. τα
φυτά της
διαφυγής → μικρή
ικανότητα)



Τροποποίηση δομών &
λειτουργιών όλου του
φυτικού οργανισμού με
στόχο την
εξοικονόμηση νερού

Εγκλιματισμός στην υδατική καταπόνηση

Βραχυπρόθεσμος

Μορφολογικές και
φυσιολογικές
τροποποιήσεις των ήδη
υπαρχόντων οργάνων

Μακροπρόθεσμος

Αφορά παρατεταμένη
περίοδο ξηρασίας και
περιλαμβάνει αντικατάσταση
παλιών δομών και
δημιουργία νέων που
ανταποκρίνονται καλύτερα
στις αντίξοες συνθήκες της
καταπόνησης

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Μορφολογικές

- ✦ Περιορισμός της επιφάνειας των εκπτυσσόμενων φύλλων
 - ✦ Κινήσεις φύλλων για αποφυγή υπερθέρμανσης

Φυσιολογικές

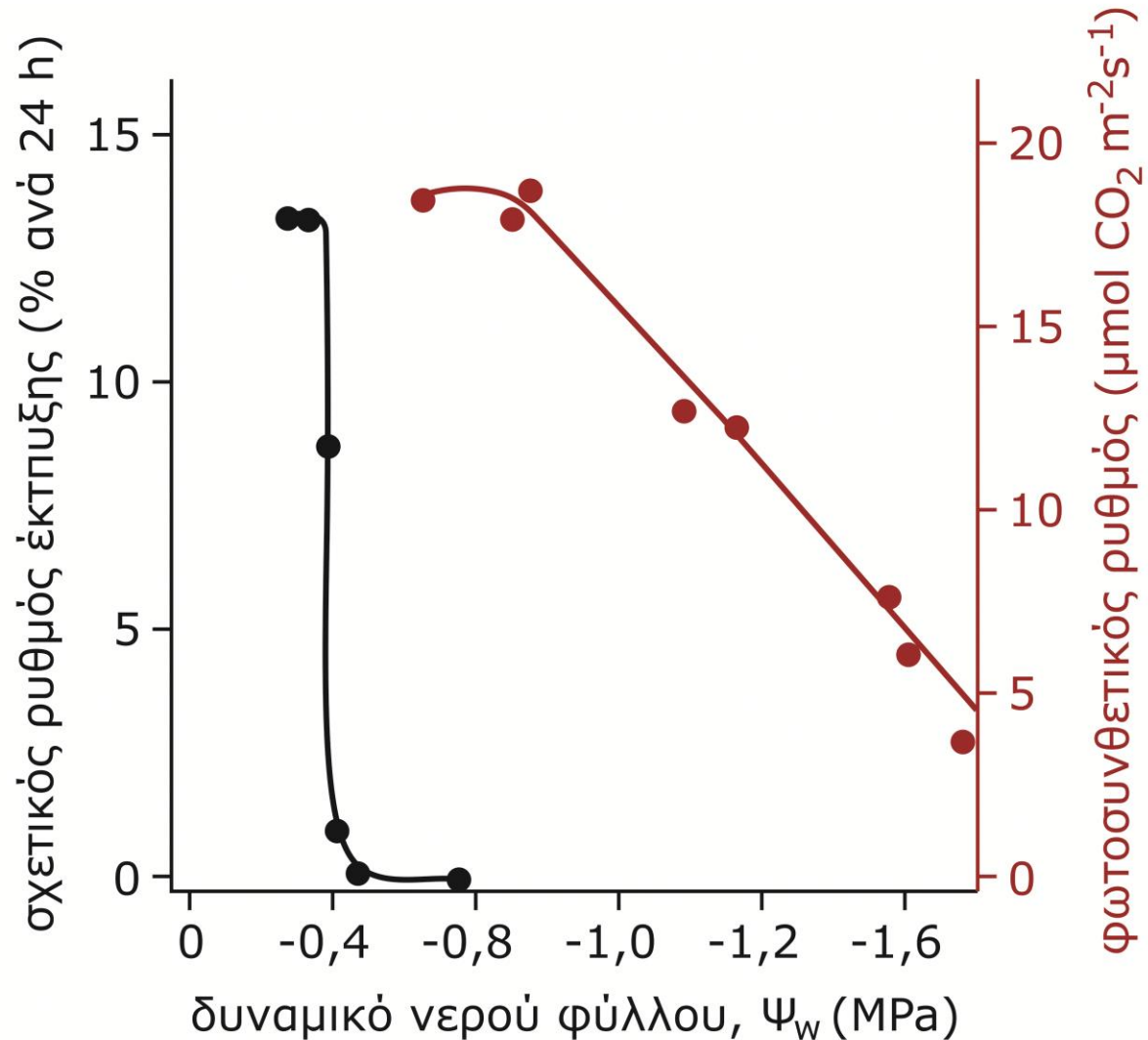
- ✦ Το ABA προκαλεί κλείσιμο των στομάτων
- ✦ Ρύθμιση της δραστηριότητας υδατοπορινών
 - ✦ Περιορισμός των εμβολών
- ✦ Ενεργοποίηση αντιοξειδωτικών μηχανισμών
- ✦ Επαγωγή του CAM μεταβολισμού (σε ορισμένα είδη)

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Περιορισμός της επιφάνειας των εκπτυσσόμενων φύλλων

Τελικό μέγεθος φύλλου = ρυθμός
διαιρέσεων + διάταξη κυττάρων

Αυτά επηρεάζονται
ισχυρά από την υδατική
καταπόνηση



Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Κινήσεις φύλλων για αποφυγή υπερθέρμανσης

Παρα-ηλιοτροπικές
κινήσεις π.χ. φασόλι,
σόγια

Καρούλιασμα
(συστροφή) φύλλου,
π.χ. αγρωστώδη κ.α.

όχι άμεση
έκθεση στις
ηλιακές
ακτίνες

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Κινήσεις φύλλων για αποφυγή υπερθέρμανσης



Leaf curl on corn



Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Κινήσεις φύλλων για αποφυγή υπερθέρμανσης



κλείσιμο των στομάτων

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Κλείσιμο στομάτων

ενεργητικά

παθητικά

Μεταβολική δραστηριότητα καταφρακτικών:
έξοδος K^+ →
απώλεια σπαργής

άμεση απώλεια νερού από τα καταφρακτικά

ABA από τα φύλλα

ABA από τη ρίζα

Βραχυπρόθεσμος εγκληματισμός

Κλείσιμο στομάτων

Σταδιακή αφυδάτωση
κυτταροπλάσματος,
συνεπάγεται
περισσότερο ABA στα
καταφρακτικά

**Διασυστηματικό σήμα
κινδύνου:** παράγεται από
τα κύτταρα που
καταπονούνται και
εξαπλώνεται στο φυτικό
σώμα

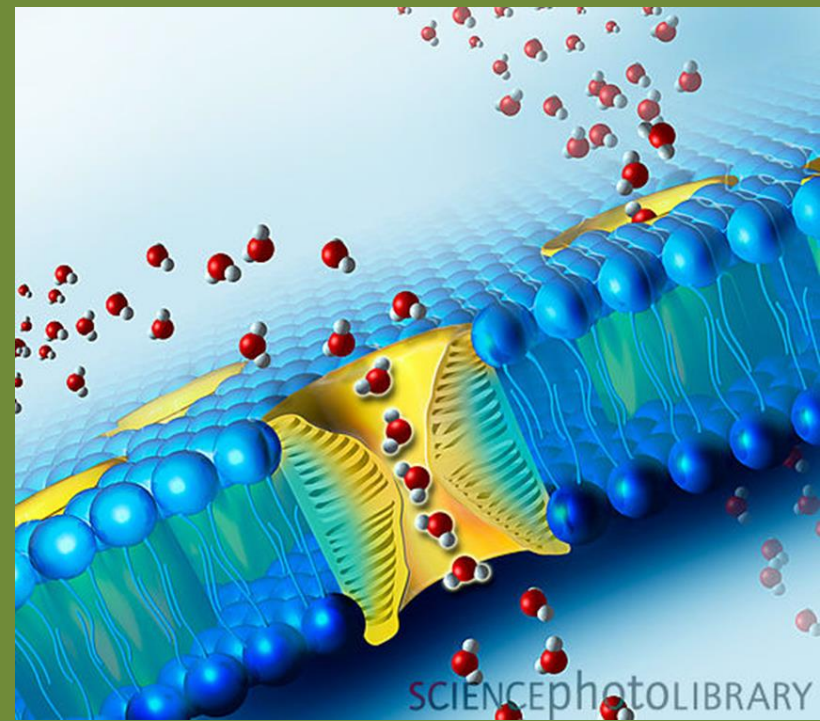
ABA από τα
φύλλα

ABA από τη
ρίζα

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Ρύθμιση δραστηριότητας υδατοπορινών

Η φυσιολογική σημασία της παρουσίας των υδατοπορινών σχετίζεται με την ικανότητά τους να τροποποιούν τη διακυτταρική και ενδο-κυτταρική κίνηση του νερού ιδιαίτερα σε συνθήκες κρίσιμες για την υδατική οικονομία του φυτού



SCIENCEPHOTOLIBRARY

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Ρύθμιση δραστηριότητας υδατοπορινών

Υδατική καταπόνηση



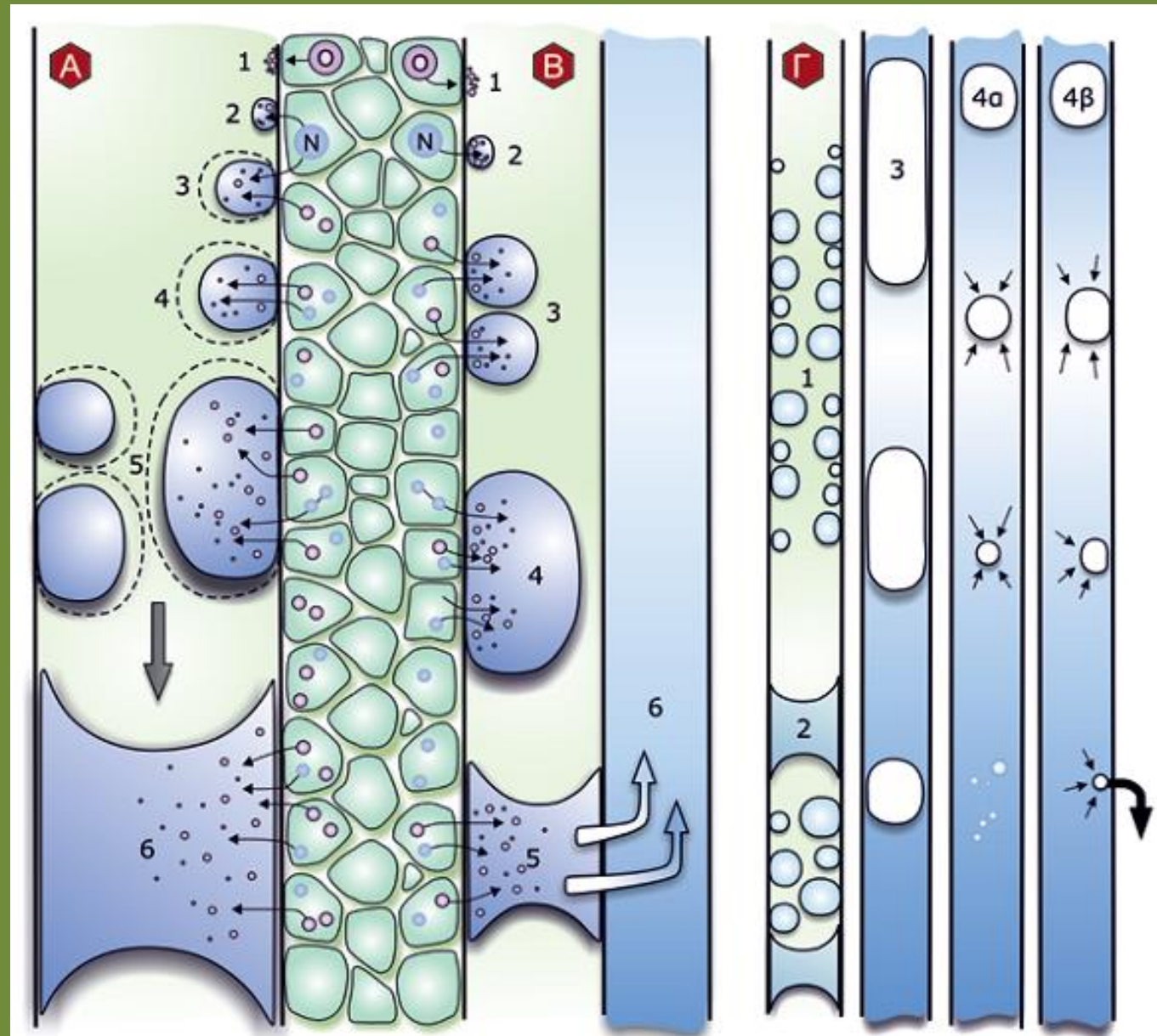
Ανάκαμψη από την καταπόνηση



Υδατοπορίνες
κυτταροπλασματικής μεμβράνης

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Περιορισμός
εμβολών



Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Ενεργοποίηση αντιοξειδωτικών μηχανισμών

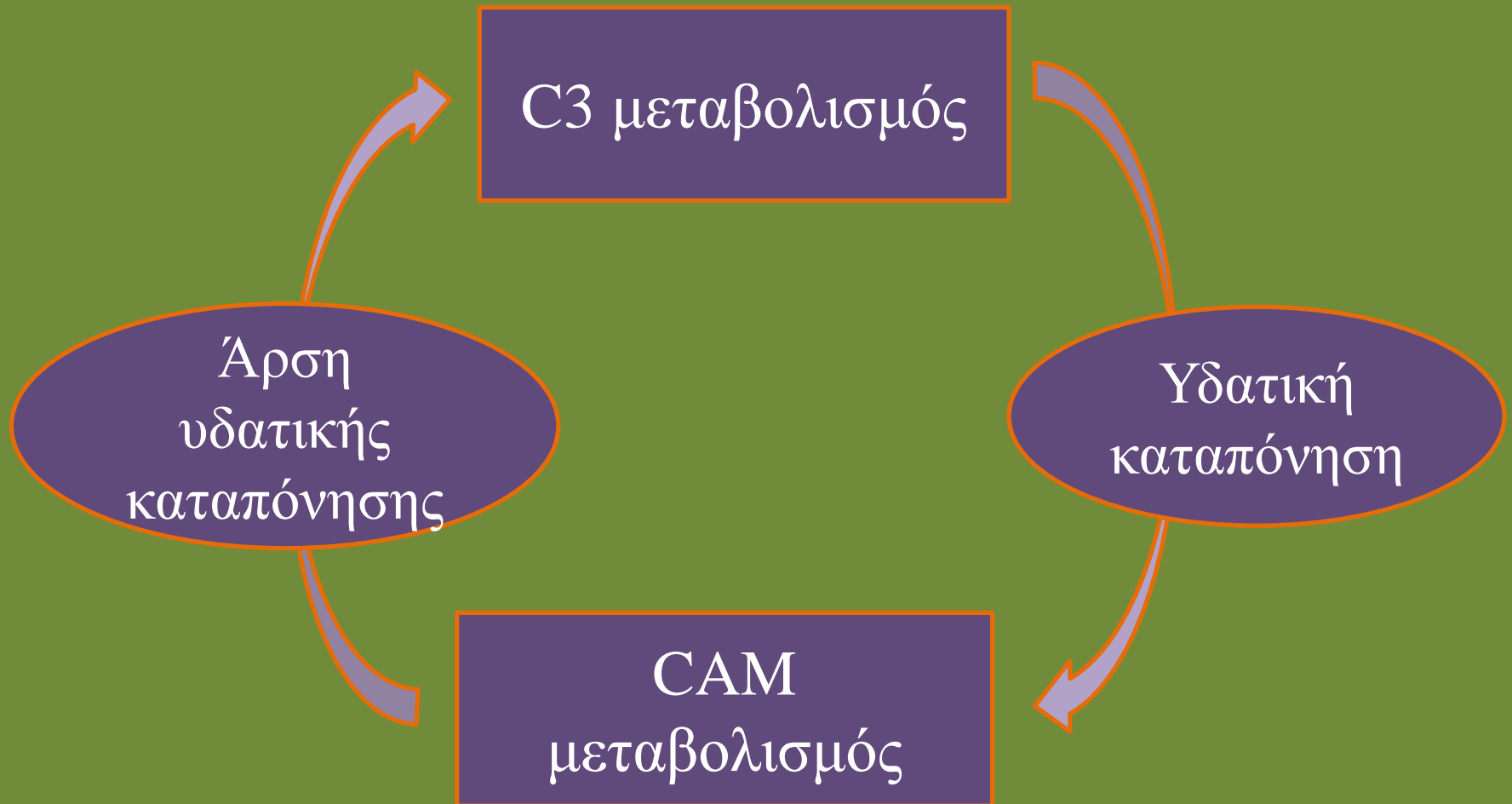
Σε όλες τις περιπτώσεις καταπονήσεων, η αύξηση στη συγκέντρωση των ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) αποτελεί μια μεταβολική παρενέργεια



Η ενεργοποίηση αντιοξειδωτικών μηχανισμών, και μηχανισμών επιδιόρθωσης των ζημιών που έχουν προκληθεί από την ανεξέλεγκτη δράση των ROS είναι μια από τις κύριες συνιστώσες εγκλιματισμού στην υδατική καταπόνηση σε βιοχημικό επίπεδο

Βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός

Επαγωγή του CAM μεταβολισμού (σε ορισμένα είδη)



Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

Ο μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός αφορά στην κατασκευή **νέων οργάνων** που ανταποκρίνονται στις συνθήκες υδατικής καταπόνησης

- ✓ Αποβολή γηραιότερων φύλλων
- ✓ Νέα φύλλα με δομή & λειτουργία κατάλληλη για ανεπάρκεια νερού
- ✓ Μεταβολή λόγου υπόγειο/υπέργειο

Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

Αποβολή γηραιότερων φύλλων

Πέφτουν τα γηραιότερα (κατώτερα) φύλλα (π.χ. βαμβάκι) και σε ακραίες συνθήκες μένουν μόνο τα κορυφαία νεότερα



α) Δραστικός περιορισμός διαπνευστικής επιφάνειας

Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

Αποβολή γηραιότερων φύλλων

Πέφτουν τα γηραιότερα (κατώτερα) φύλλα (π.χ. βαμβάκι) και σε ακραίες συνθήκες μένουν μόνο τα κορυφαία νεότερα



β) αποβολή δομών που κατασκευάστηκαν σε συνθήκες επάρκειας νερού και τώρα τα χαρακτηριστικά τους (αγγεία, στόματα, μέγεθος φύλλου) δεν ευνοούν την εξοικονόμηση νερού, ούτε την ασφαλή μεταφορά του (εμβολές)

Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

Νέα φύλλα με δομή & λειτουργία που ανταποκρίνεται καλύτερα στις νέες δυσμενείς συνθήκες παροχής νερού

Φύλλα με:

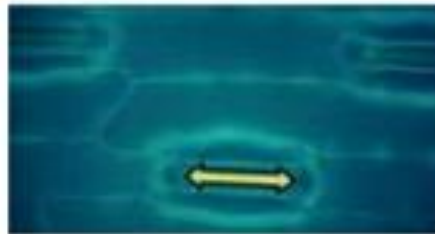
- ✓ μικρότερο μέγεθος
- ✓ μεγαλύτερο πάχος και πυκνότητα
 - ✓ στενότερα αγγεία
- ✓ μικρότερα και σε πυκνότερη διάταξη στόματα

Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

επάρκεια
νερού



έλλειψη
νερού



Μακροπρόθεσμος
εγκλιματισμός
φύλλων του σταριού
στην υδατική
καταπόνηση

Πλάτος ηθμαγγειώδους δεσμίδας



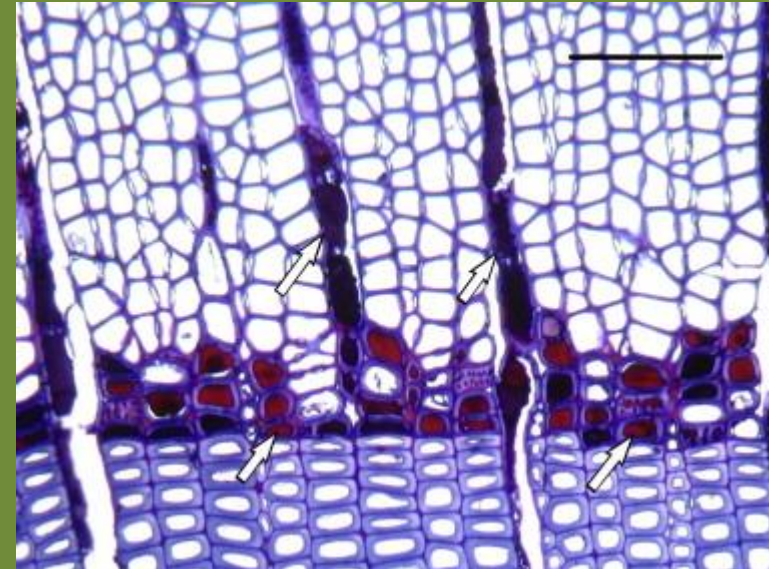
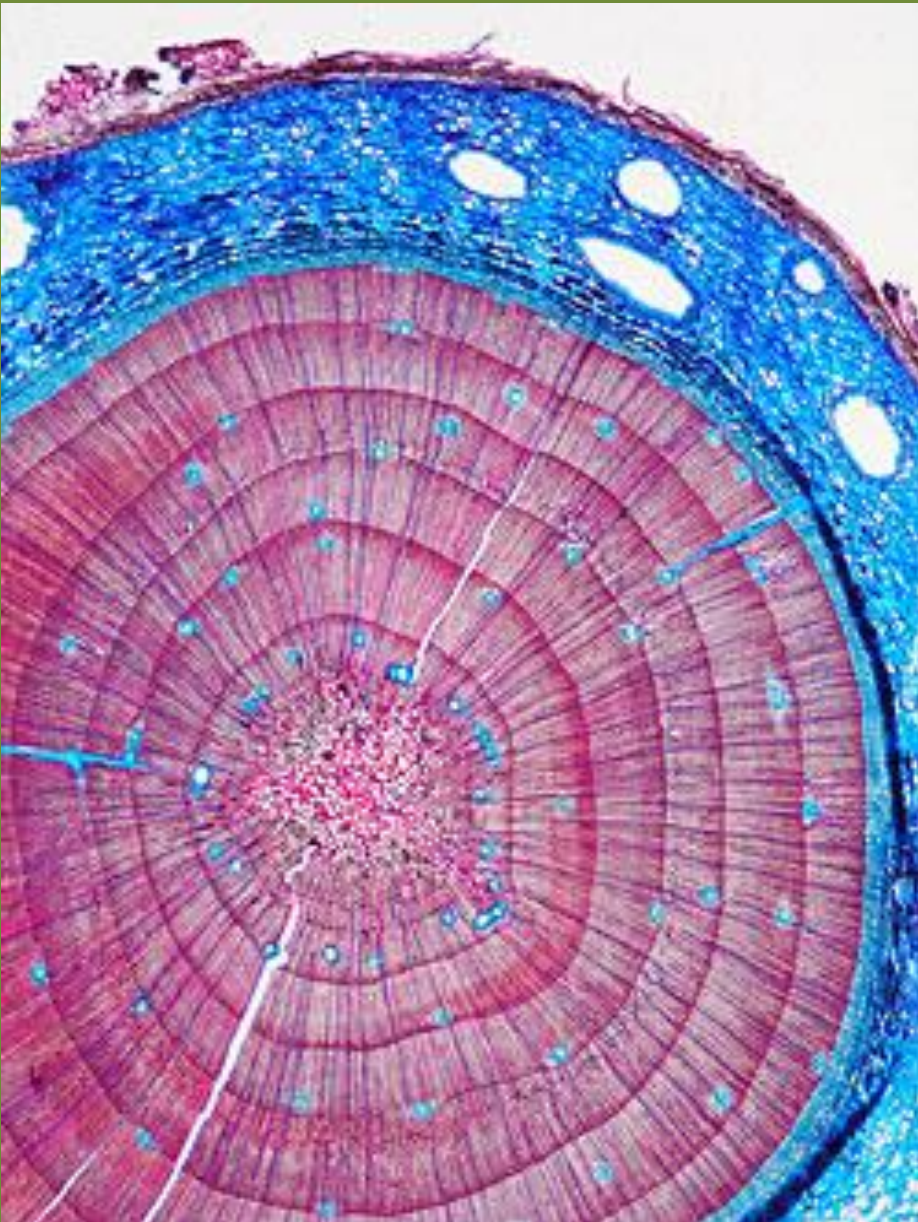
Διάμετρος αγγείων του ξύλου



Μήκος στοματικού πόρου



Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός



Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

Μεταβολή λόγου υπόγειο/υπέργειο τμήμα του φυτού

Η ανάπτυξη της ρίζας σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης εμφανίζεται κατά κανόνα **λιγότερο ευαίσθητη** έναντι εκείνης του βλαστού και ιδιαίτερα των φύλλων

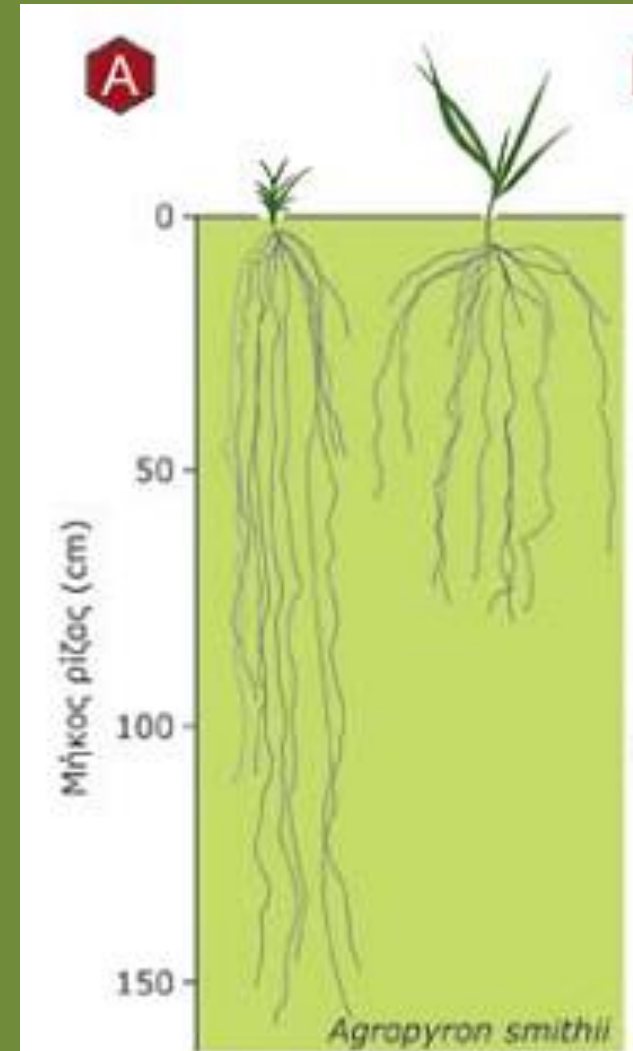


Τα κύτταρά της μπορούν να αναπτύσσονται σε χαμηλότερα Ψ



Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

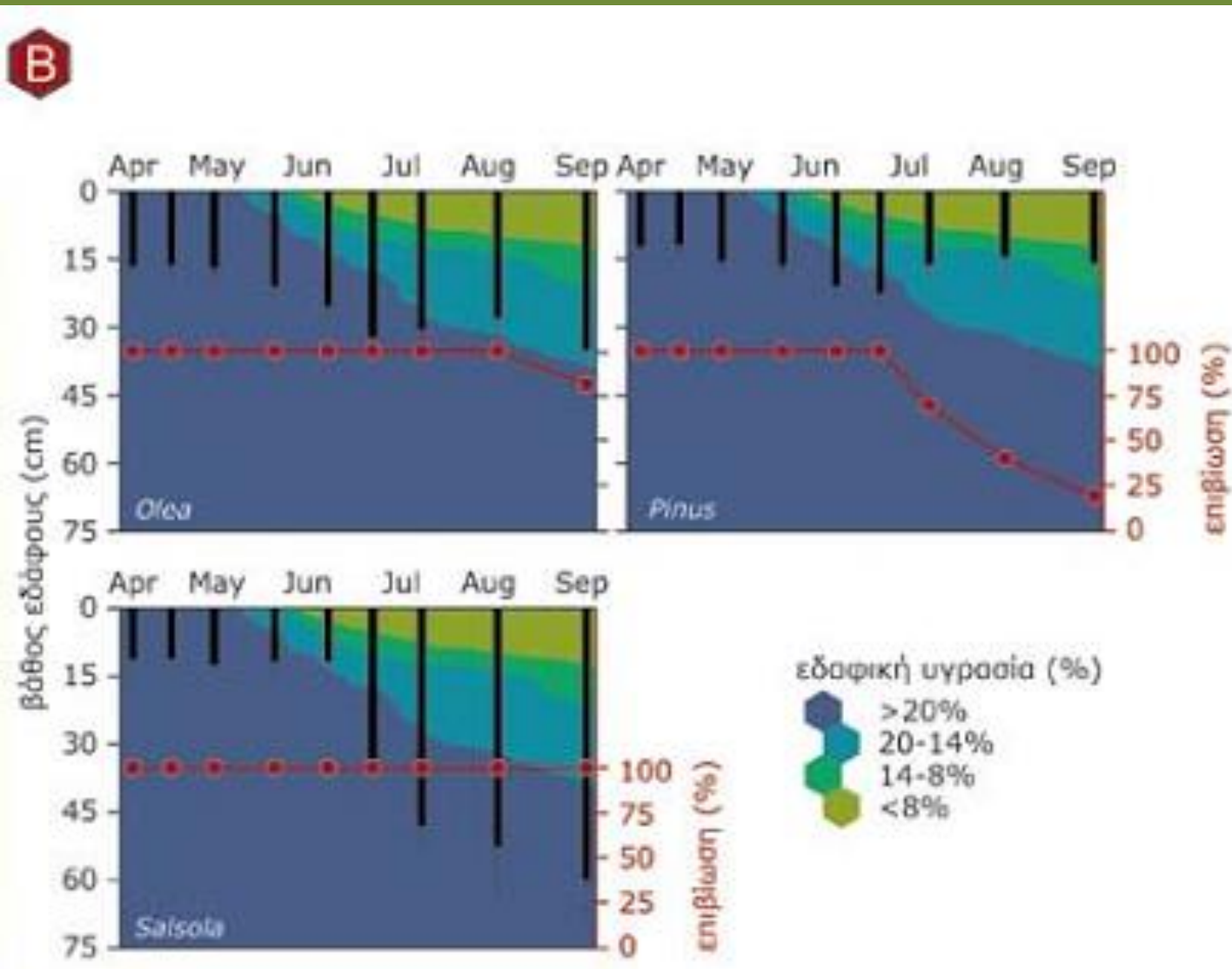
η σχετική ανάπτυξη της ρίζας είναι
ταχύτερη εκείνης
του βλαστού, με αποτέλεσμα ο λόγος
ρίζας/βλαστού να αυξάνεται



Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός

η ανάπτυξη της ρίζας υποστηρίζεται και από τροφοδότηση με φωτοσυνθετικά προϊόντα που δεν καταναλώνονται στο υπέργειο μέρος λόγω περιορισμού της ανάπτυξης (διάτασης) των φύλλων η οποία προκαλείται από την ανεπάρκεια νερού

Μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός



Ανάκτηση κανονικής βιολογικής δραστηριότητας

Ο χρόνος που απαιτείται για την επαναφορά σε κανονική λειτουργία μετά την άρση της υδατικής καταπόνησης εξαρτάται:

- ① την ένταση
- ② τη διάρκεια της καταπόνησης
- ③ το είδος του φυτού

Μέτρια-σύντομη καταπόνηση

1-2 μέρες

Ισχυρή και παρατεταμένη

Πολύς χρόνος ή ποτέ (εάν μακροπρόθεσμος εγκλιματισμός)

Ομαδοποίηση φυτών ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε νερό

Υδροφύτα

στη διάρκεια της ανάπτυξής τους καλύπτονται, μερικώς ή ολικώς από νερό

Υγρόφυτα

Μεσόφυτα

Ξηρόφυτα

Ομαδοποίηση φυτών ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε νερό

Υδρόφυτα

Υγρόφυτα

αποικίζουν περιβάλλοντα των οποίων η ατμόσφαιρα είναι πλούσια σε υδρατμούς και η διαθεσιμότητα του νερού του εδάφους υψηλή

Μεσόφυτα

Ξηρόφυτα

Ομαδοποίηση φυτών ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε νερό

Υδρόφυτα

- ◆ διαθέτουν μηχανισμούς ελέγχου των απωλειών νερού
- ◆ καλλιεργούμενα φυτά
- ◆ στρατηγική διαφυγής

Υγρόφυτα

Μεσόφυτα

αποικίζουν περιβάλλοντα με παροδικά υψηλή ή μέτρια υγρή ατμόσφαιρα και σχετικά επαρκή διαθεσιμότητα νερού

Ξηρόφυτα

Ομαδοποίηση φυτών ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε νερό

Υδρόφυτα

Υγρόφυτα

Μεσόφυτα

Ξηρόφυτα

- ◆ στρατηγική αποφυγής ή ανθεκτικότητας

έχουν την ικανότητα να αντεπεξέρχονται τις δυσμενείς επιπτώσεις έλλειψης νερού στο περιβάλλον