

ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Γεωργία, Βελτίωση Φυτών & Γεωργικός Πειραματισμός

Βελτίωση Ανθεκτικότητας στις Καταπονήσεις
Βελτίωση Ποιότητας

Απόκριση των φυτών σε αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης





Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

- Τι εννοούμε με τον όρο **ξηρασία**;
- Γιατί τα φυτά **καταπονούνται** από την ξηρασία;
- Ποιες είναι οι **επιπτώσεις** της ξηρασίας;
- Πως μπορούμε να **παρέμβουμε**;

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Τι εννοούμε με τον όρο **ξηρασία**;

Ξηρασία για τη **γεωπονία** είναι η έλλειψη νερού σε τέτοιο βαθμό που να μην εξασφαλίζει την **ομαλή ανάπτυξη μιας καλλιέργειας**.

Ως κλιματικός παράγοντας είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού της **περιορισμένης εισροής νερού** από την ατμόσφαιρα και της **αυξημένης εξατμισοδιαπνοής**.

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Γιατί τα φυτά **καταπονούνται** από την ξηρασία;

Η έλλειψη νερού **καθιστά δυσχερή την αναπλήρωση των υδατικών απωλειών** των φυτών μέσω της διαπνοής.

Τα φυτά **αφυδατώνονται** γεγονός που αντανακλάται στο **σχετικό περιεχόμενο σε υγρασία** και στο **δυναμικό νερού**.

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Ποιες είναι οι **επιπτώσεις** της ξηρασίας;

Η ίδια η μείωση του περιεχόμενου νερού προκαλεί
άμεσες επιπτώσεις στα φυτά.

Μειώνεται η ανάπτυξη και **επαναπρογραμματίζεται**
η αναπτυξιακή πορεία του φυτού.

Η προσπάθεια διατήρησης των υδατικών αποθεμάτων των φυτών
με περιορισμό της διαπνοής **μειώνει τη φωτοσύνθεση.**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Πως μπορούμε να **παρέμβουμε**;

Ανάπτυξη γονοτύπων **‘κατάλληλων’** για ξηρά περιβάλλοντα.

- **Παραγωγικοί** σε συνθήκες ξηρασίας
- **Ανθεκτικοί** σε συνθήκες ακραίας ξηρασίας
- **Εύκολα ανακάμψιμοι** σε συνθήκες επαναφοράς της υγρασίας
- Γονότυποι με **μεγάλη πλαστικότητα**
- Γονότυποι με **μικρή πλαστικότητα** και **εξορθολογισμένη παραγωγικότητα**
- Γονότυποι ανθεκτικοί σε **συνδυασμούς καταπονήσεων**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Πως μπορούμε να **παρέμβουμε**;

Αναζήτηση γονοτύπων με κατάλληλα χαρακτηριστικά.

- **Άγριοι συγγενείς**
- **Πληθυσμοί**
- **Ποικιλίες**
- Φυτά απομακρυσμένα φυλλογενετικώς με **χρήσιμα γονίδια**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Είναι όντως **πολύ μακριά** αυτά τα **σούπερ γονίδια**;

Ακόμα και τα φυτά που δεν φανταζόμαστε (πρακτικά όλα!)
διαθέτουν εξαιρετικές επιδόσεις στην αντοχή στην
αφυδάτωση



ευαίσθητο στην αφυδάτωση

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Είναι όντως **πολύ μακριά** αυτά τα **σούπερ γονίδια**;

Ακόμα και τα φυτά που δεν φανταζόμαστε (πρακτικά όλα!)
διαθέτουν εξαιρετικές επιδόσεις στην αντοχή στην
αφυδάτωση



ευαίσθητο στην αφυδάτωση



ανθεκτικό (!)

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Πως μπορούμε να **παρέμβουμε**;

Πως θα αναγνωρίσουμε τα **χρήσιμα γονίδια**;

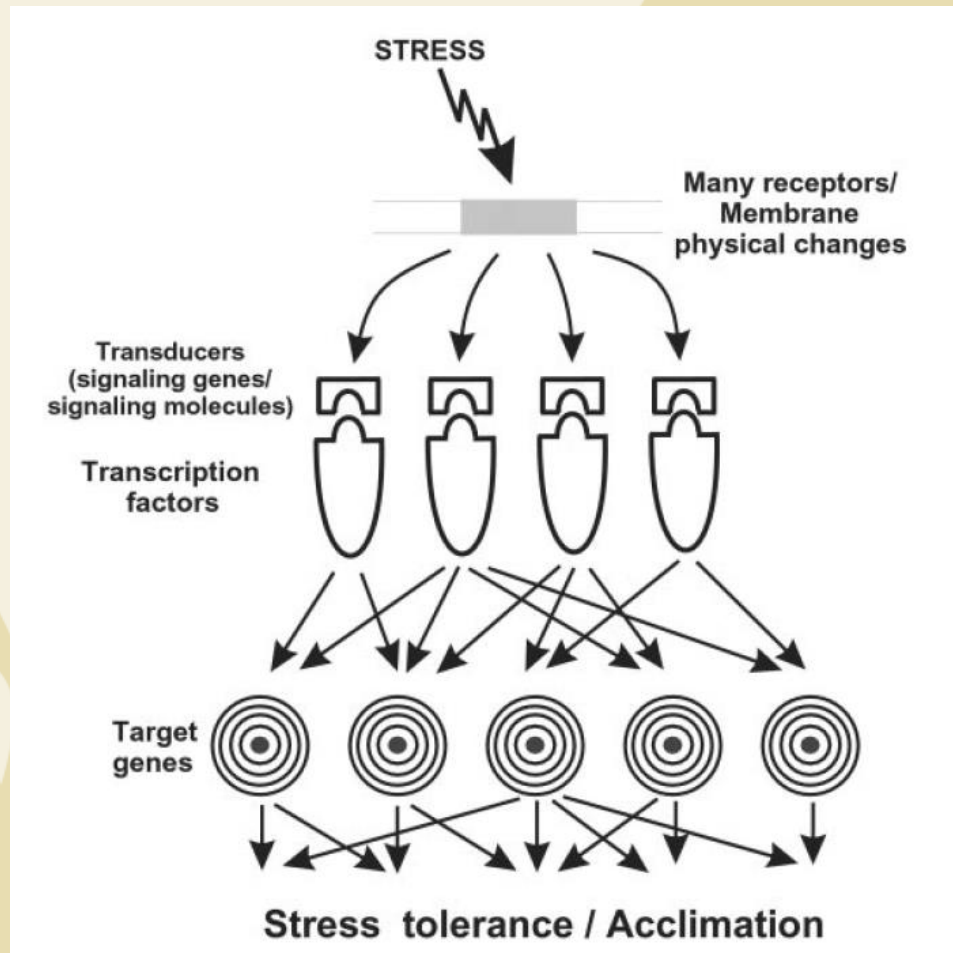
- Αναγνώριση **μηχανισμών** μέσω:
 - **Μελέτης ανθεκτικών και μη ανθεκτικών γονοτύπων**
κάτω από **δυσμενείς συνθήκες**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Πως μπορούμε να **παρέμβουμε**;

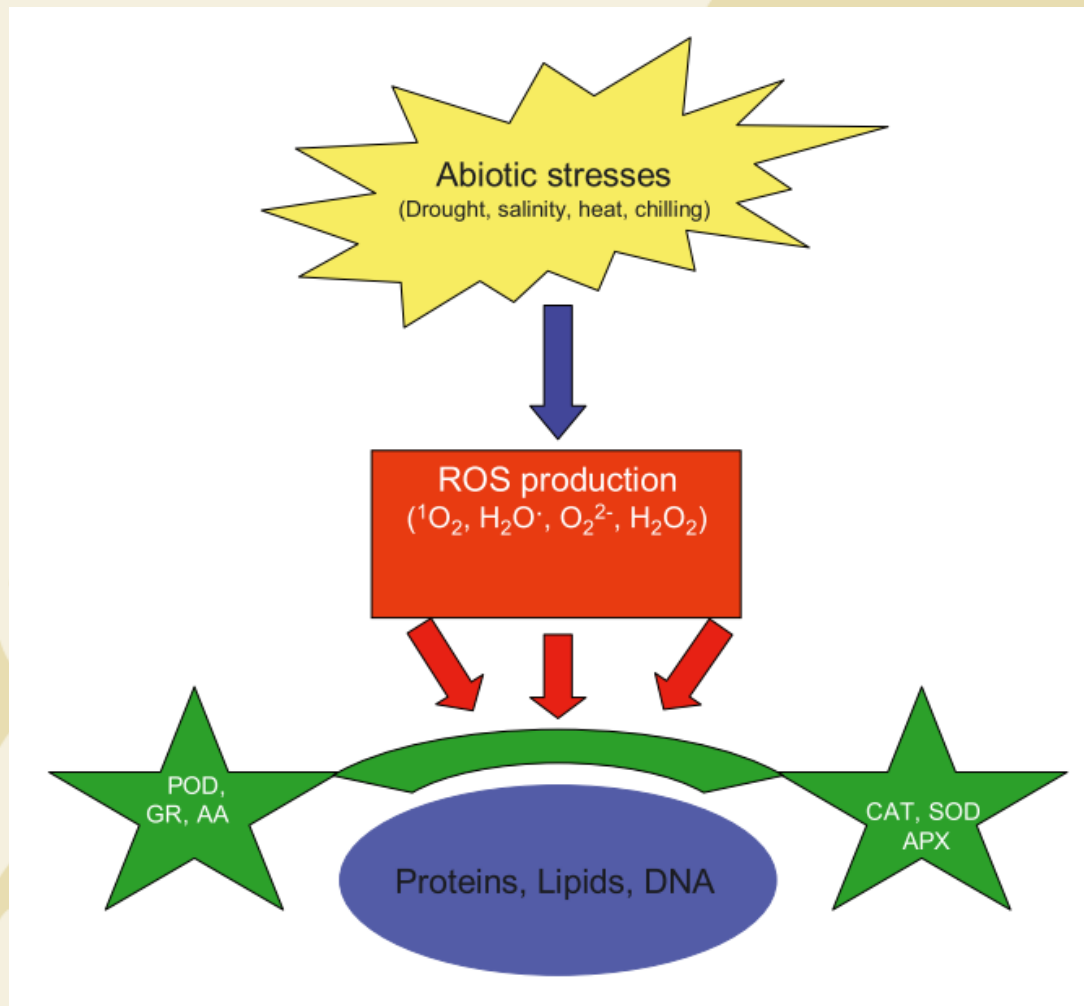
Κατηγορίες μηχανισμών που λειτουργούν στα επίπεδα:

- **Αντίληψη και μεταγωγή σήματος**
- **Ρύθμιση γονιδιακής έκφρασης και ρύθμιση πρωτεώματος**
- Ανατομικός, βιοχημικός και λειτουργικός **εγκλιματισμός**
- **Συνεργασία** όλων των λειτουργικών υπομονάδων

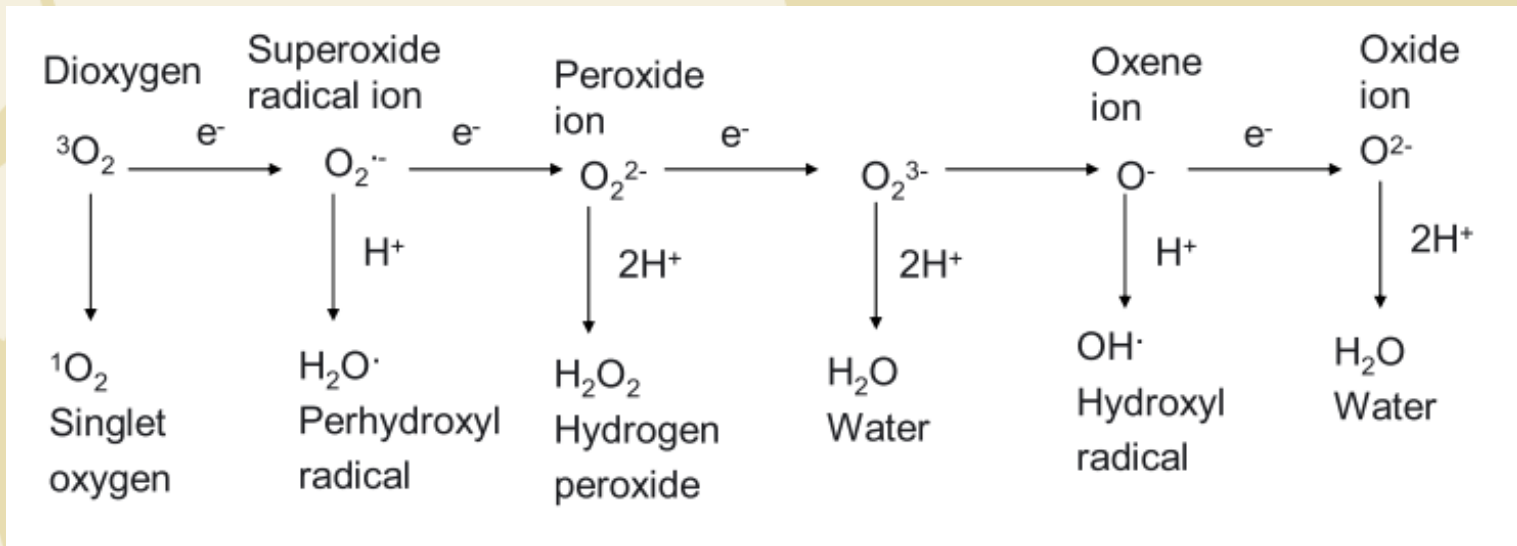
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** **Αντίληψη και μεταγωγή σήματος**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**

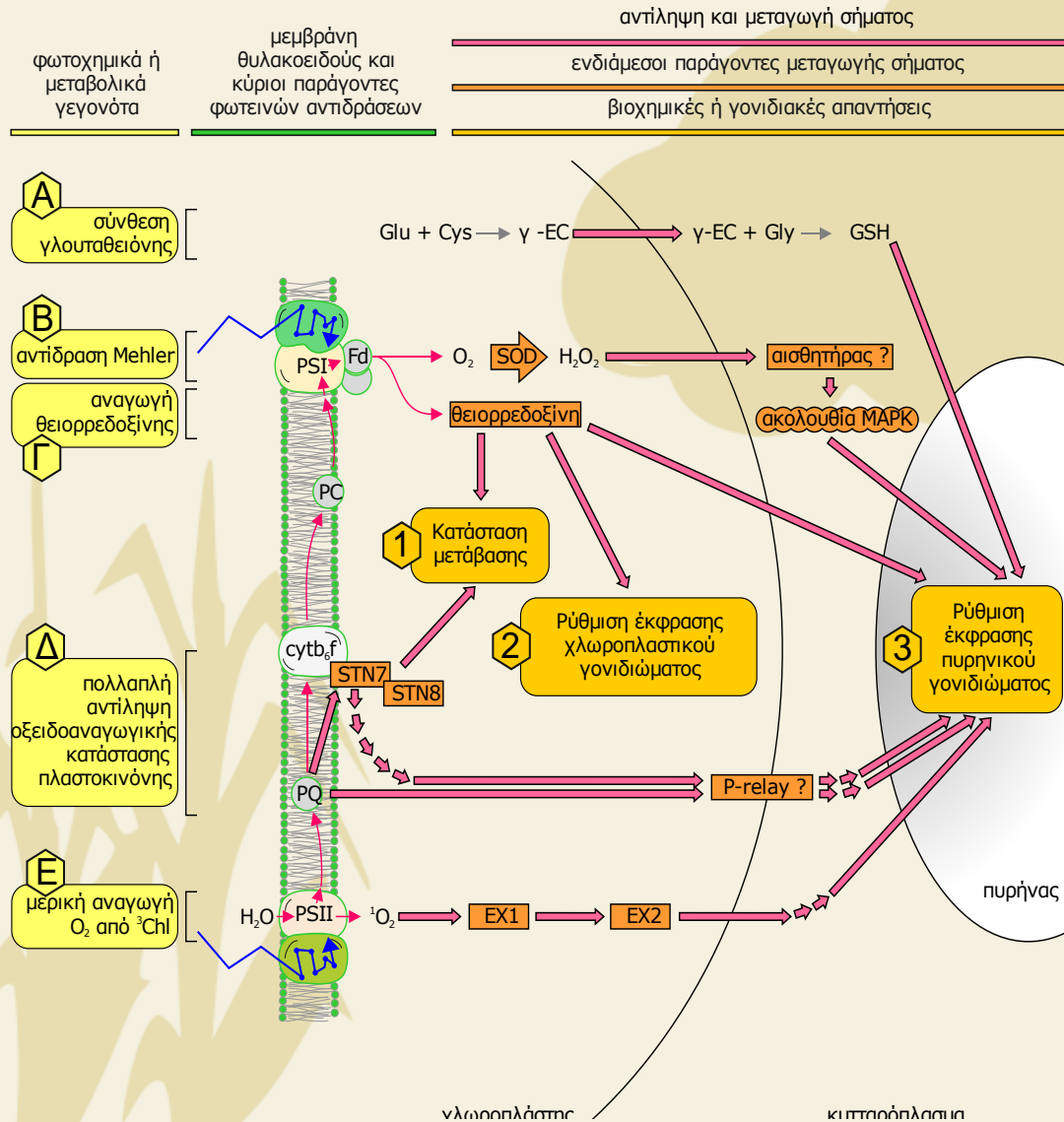


Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** **Αντίληψη και μεταγωγή σήματος**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην ξηρασία

Αντίληψη και μεταγωγή σήματος



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης

Gene expression is mainly regulated at the initiation of transcription. The proportion of the plant genome dedicated to genes encoding transcription factors reflects this important feature. Approximately 25% of the 25,498 genes encoding proteins from 11,000 families in the Arabidopsis genome are involved in transcription, signal transduction, and the control of cell destiny and survival. Moreover, about

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** **Ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης**

Δράση πρωτεϊνών και ορμονών ως παραγόντων μεταγραφής επί ειδικών ρυθμιστικών ακολουθιών των υπεύθυνων μεταγραφικών παραγόντων των γονιδίων-στόχων

Επαγωγή ομάδων γονιδίων βάσει τεσσάρων ρυθμιστικών συστημάτων: δύο ABA-εξαρτώμενα και δύο ABA-ανεξάρτητα σηματοδοτικά μονοπάτια ρύθμισης της έκφρασης γονιδίων

ABA-εξαρτώμενα: MYC/MYB και AREB/ABF

ABA-ανεξάρτητα: CBF/DREB και NAC/ZF-HD

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Τα **δίκτυα γονιδιακής ρύθμισης** είναι **ιδιαίτερα πολύπλοκα**

- Η έκφραση ορισμένων γονιδίων επάγεται από περισσότερους του ενός παράγοντες καταπόνησης

Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται επαγωγή διαφορετικών γονιδίων από το ίδιο ερέθισμα η οποία ρυθμίζεται από κοινούς μηχανισμούς διαβίβασης σήματος που ενεργοποιούν τους υπεύθυνους προαγωγείς

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Τα **δίκτυα γονιδιακής ρύθμισης** είναι **ιδιαίτερα πολύπλοκα**

- Η έκφραση ορισμένων γονιδίων επάγεται από περισσότερους του ενός παράγοντες καταπόνησης

Από την άλλη πλευρά, το ίδιο γονίδιο μπορεί να περιλαμβάνει ρυθμιστικές ακολουθίες οι οποίες ενεργοποιούνται από διαφορετικά ερεθίσματα καταπόνησης

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Τα **δίκτυα γονιδιακής ρύθμισης** είναι **ιδιαίτερα πολύπλοκα**

- Η αλληλεπίδραση δύο ή περισσότερων παραγόντων καταπόνησης αποτελεί μια νέα κατάσταση καταπόνησης

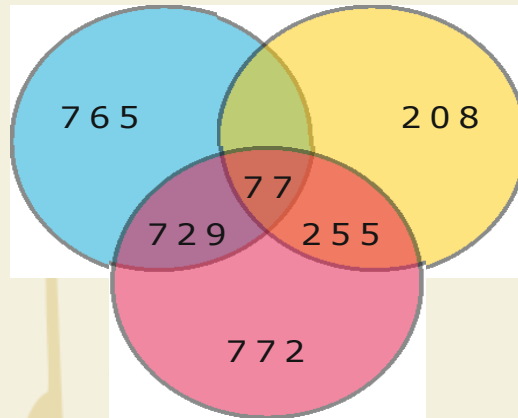
Η αντίδραση ενός φυτού όταν αλληλεπιδρούν δύο ή περισσότεροι αβιοτικοί παράγοντες καταπόνησης είναι **μοναδική** και δεν μπορεί να προβλεφθεί με βάση την αντίδραση του φυτού έναντι του κάθε ενός παράγοντα ξεχωριστά

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Τα **δίκτυα γονιδιακής ρύθμισης** είναι **ιδιαίτερα πολύπλοκα**

μεταγραφήματα

υδατική καταπόνηση (1571) υψηλές θερμοκρασίες (540)



υδατική καταπόνηση +
υψηλές θερμοκρασίες
(1833)

μεταβολίτες

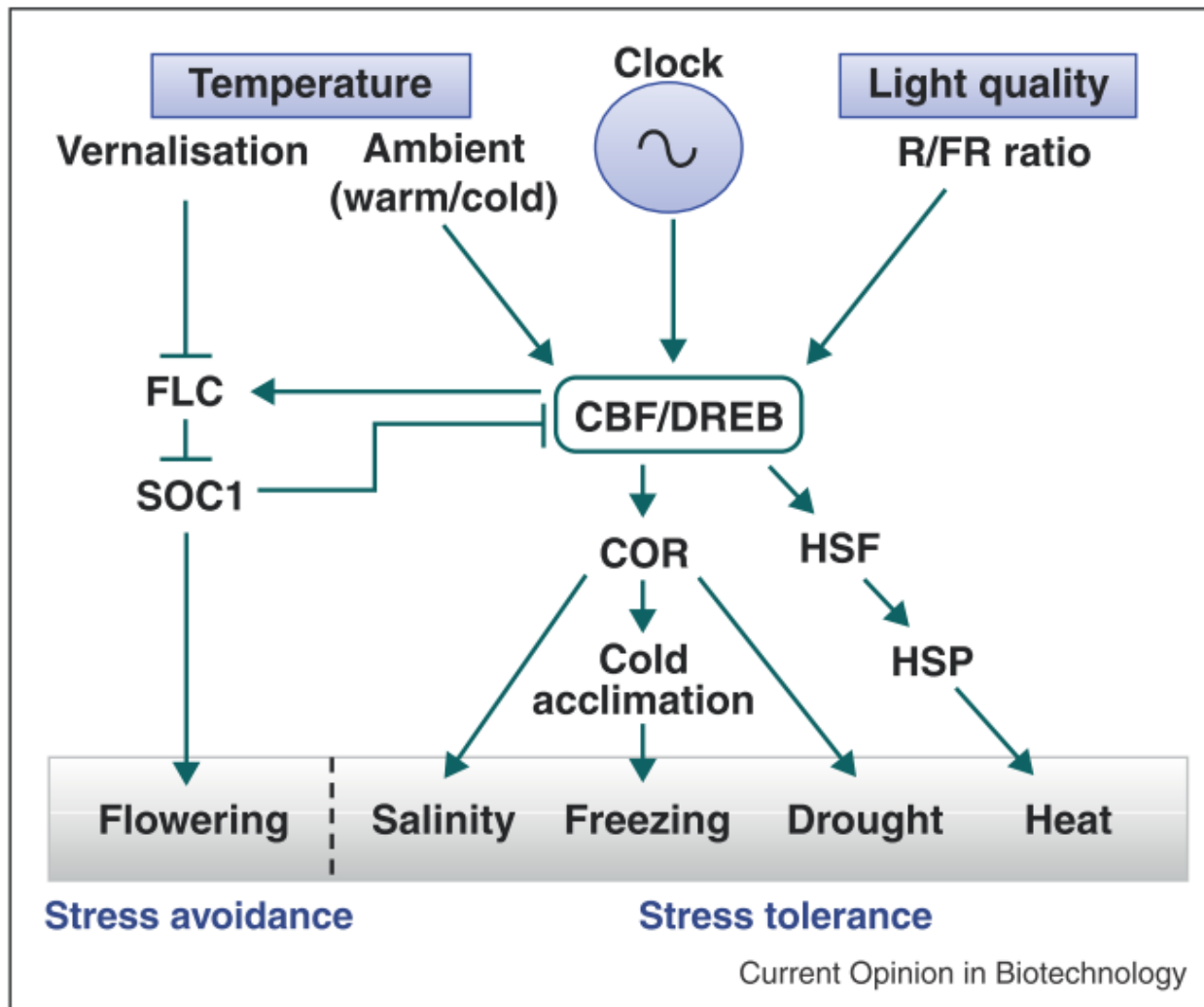
υδατική καταπόνηση (23) υψηλές θερμοκρασίες (18)



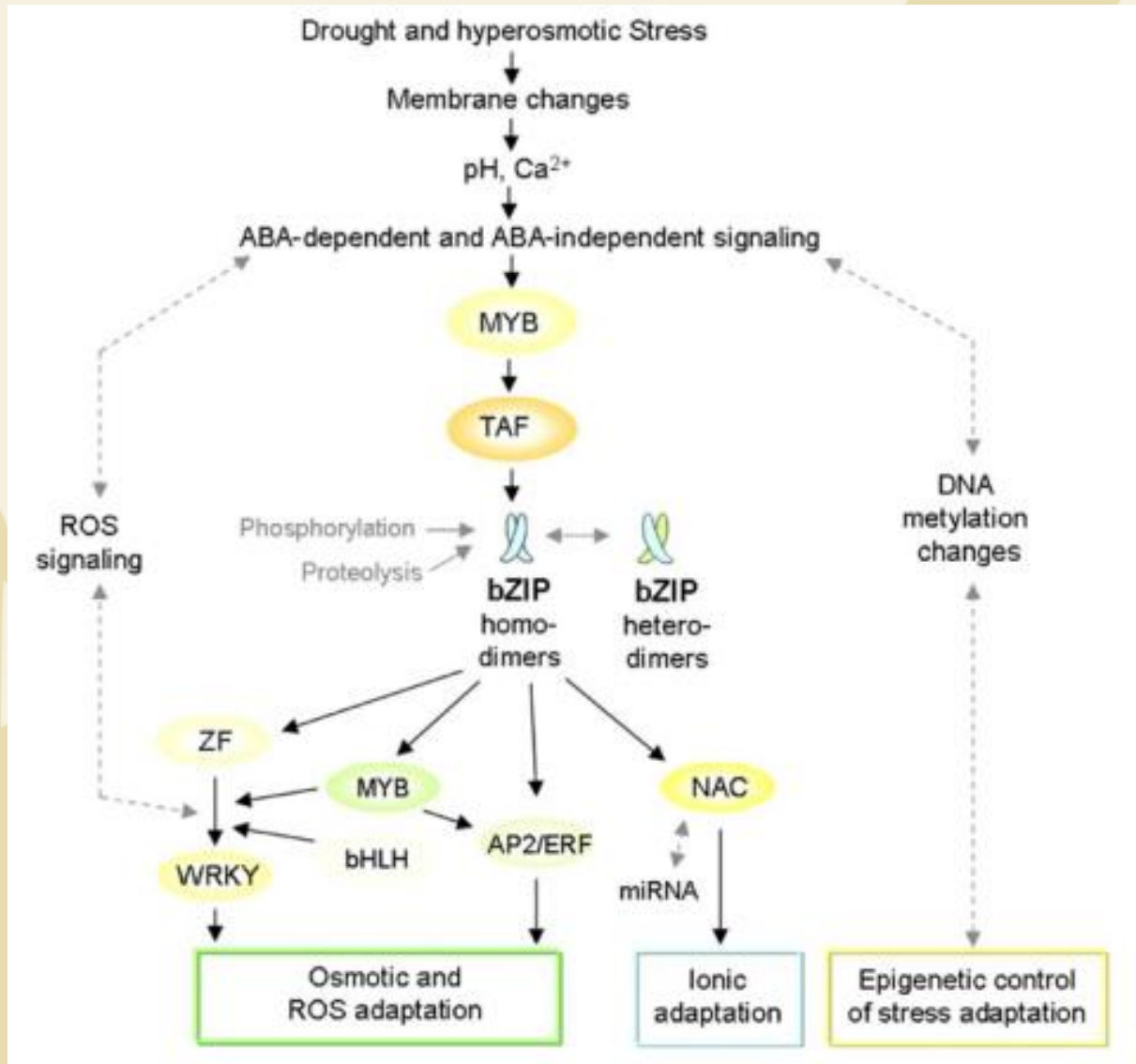
υδατική καταπόνηση +
υψηλές θερμοκρασίες
(28)

Τα μοναδικά μεταγραφικά και μεταβολικά χαρακτηριστικά φυτών υπό συνδυασμό υδατικής και θερμικής καταπόνησης. Φαίνεται η επικάλυψη σε μεταγραφήματα και μεταβολίτες που δείχνουν μεταβολές κατά τη διάρκεια υδατικής ή θερμικής καταπόνησης ή σε συνδυασμό των δύο καταπονήσεων.

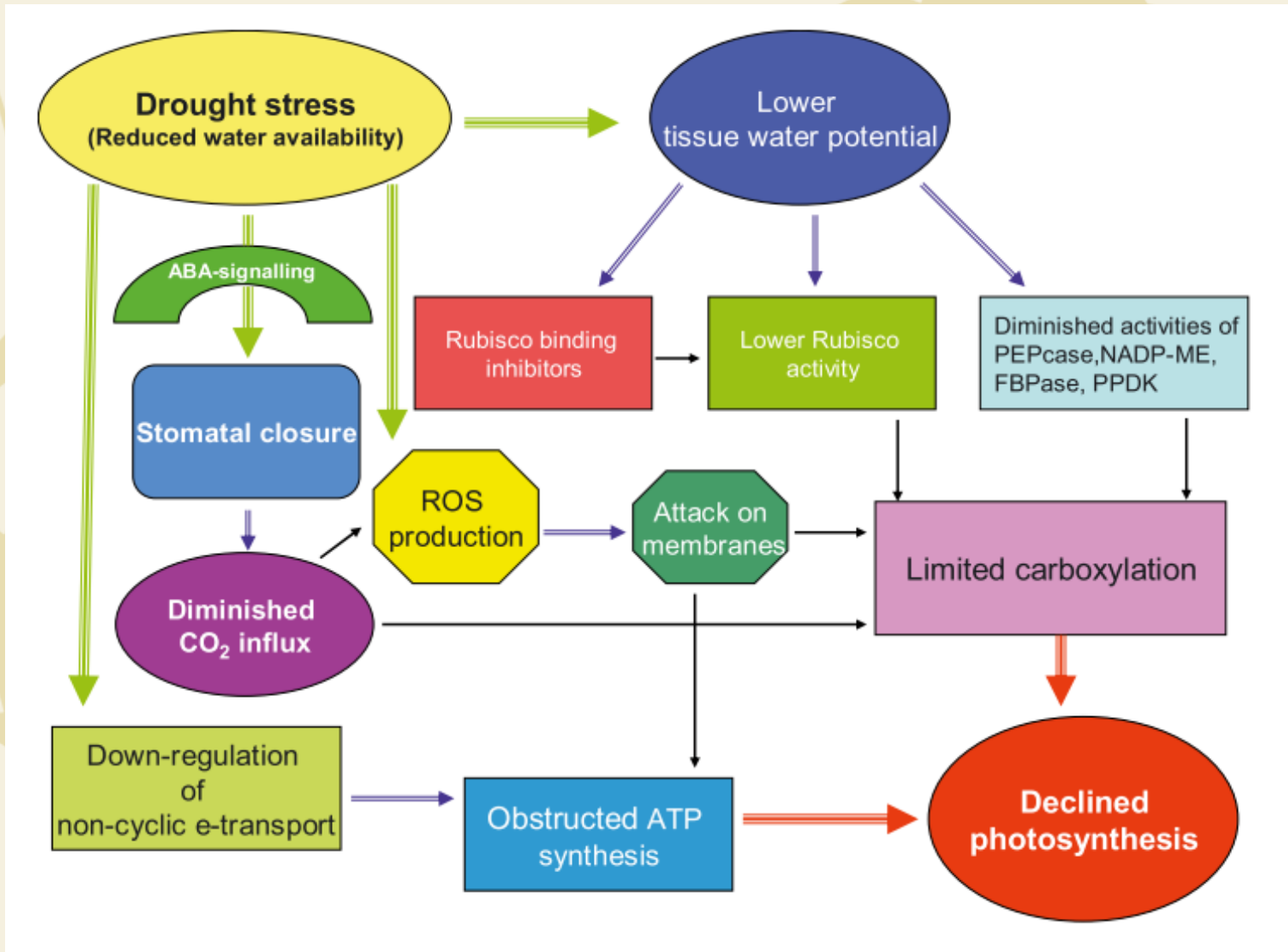
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Ανατομικός, βιοχημικός και λειτουργικός **εγκλιματισμός**



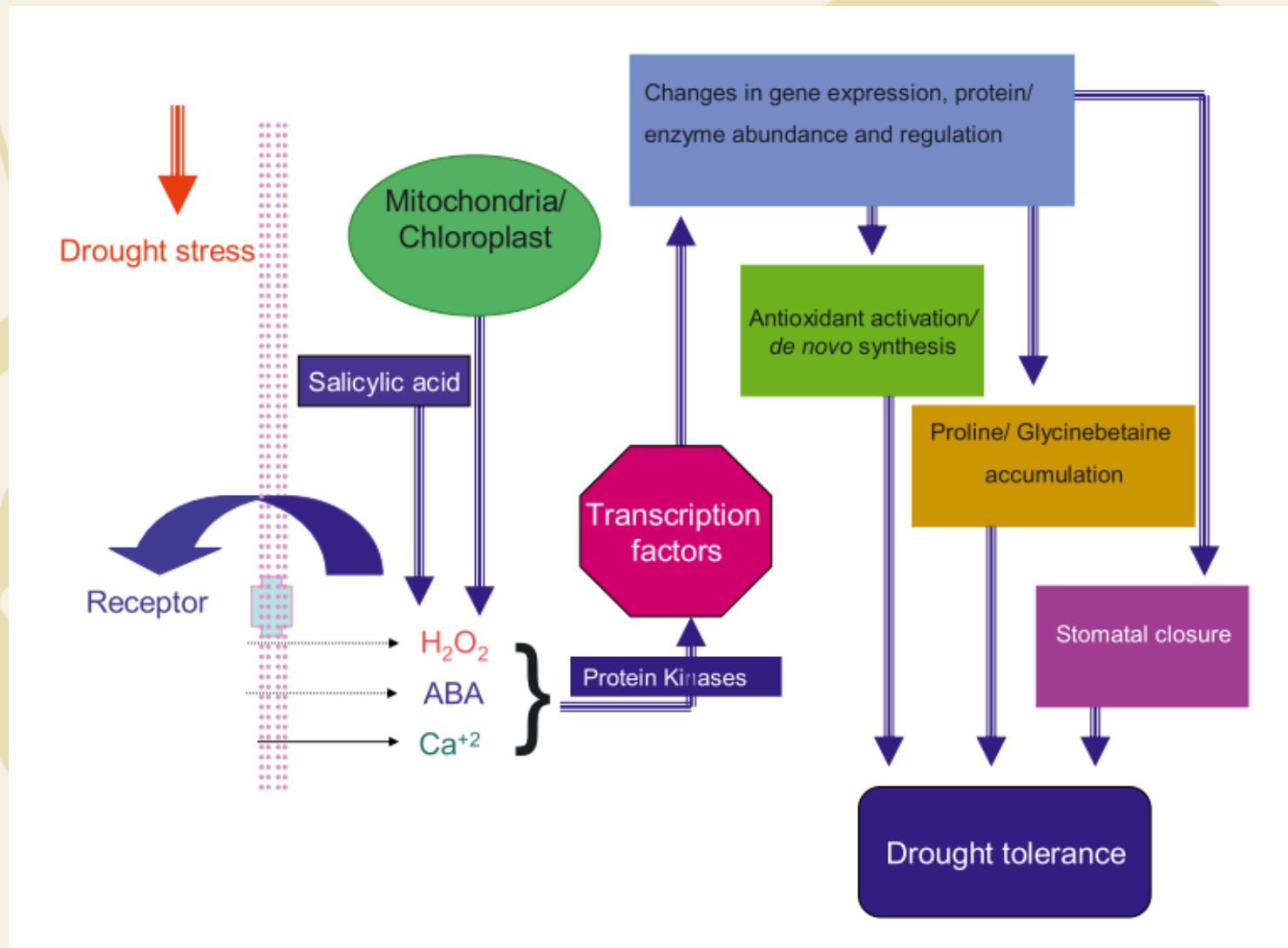
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Ανατομικός, βιοχημικός και λειτουργικός **εγκλιματισμός**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Ανατομικός, βιοχημικός και λειτουργικός **εγκλιματισμός**

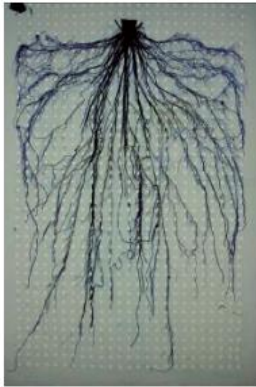


Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Το κινήγι των **μηχανισμών**...



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**

Nip



sl 13



sl 34



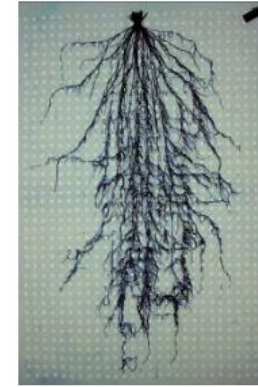
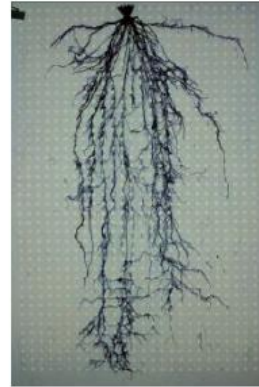
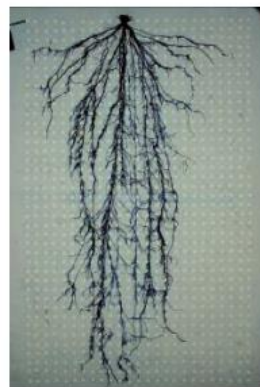
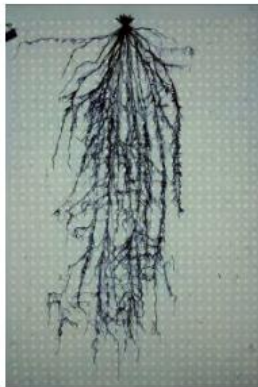
sl 45



sl 50

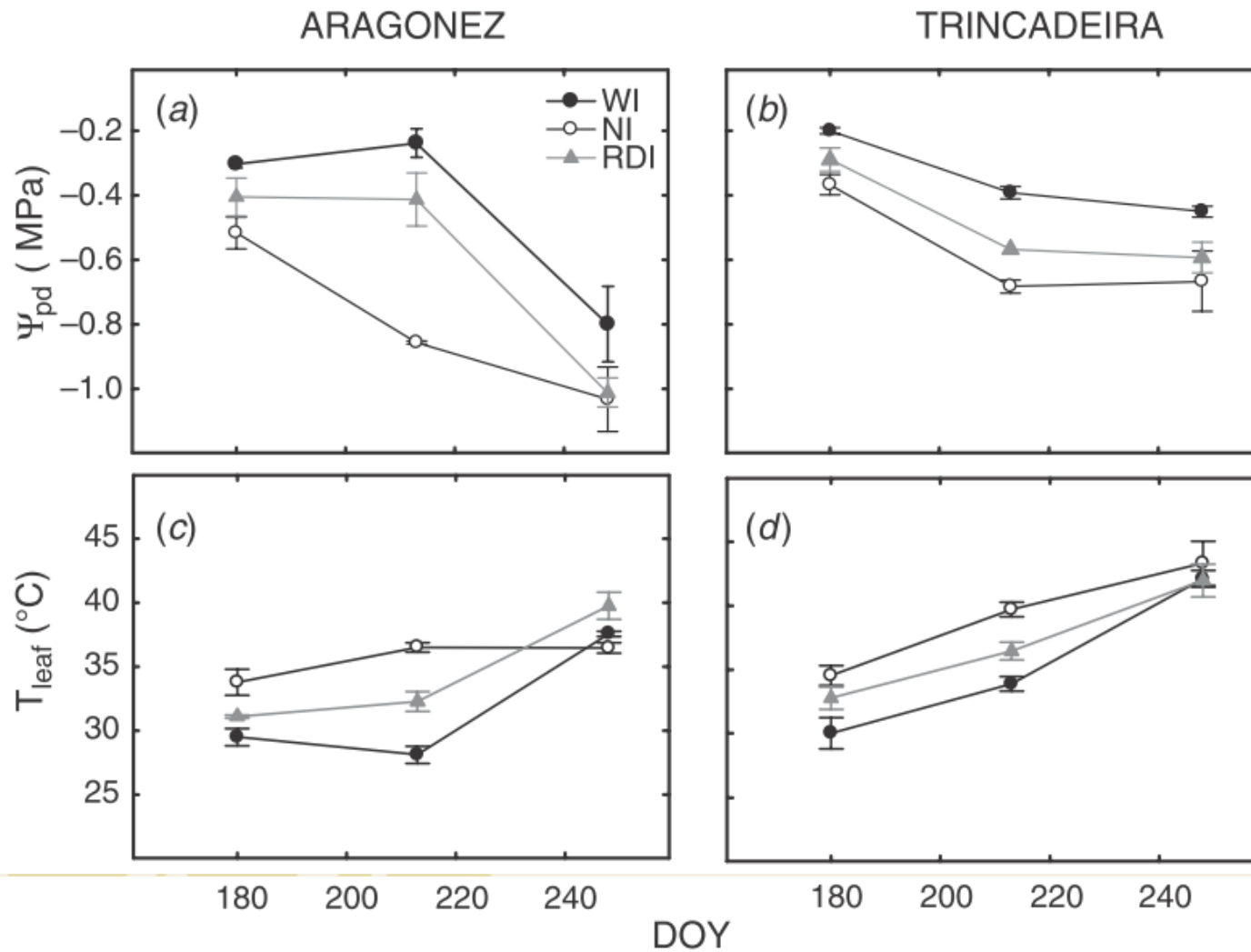


Well-watered

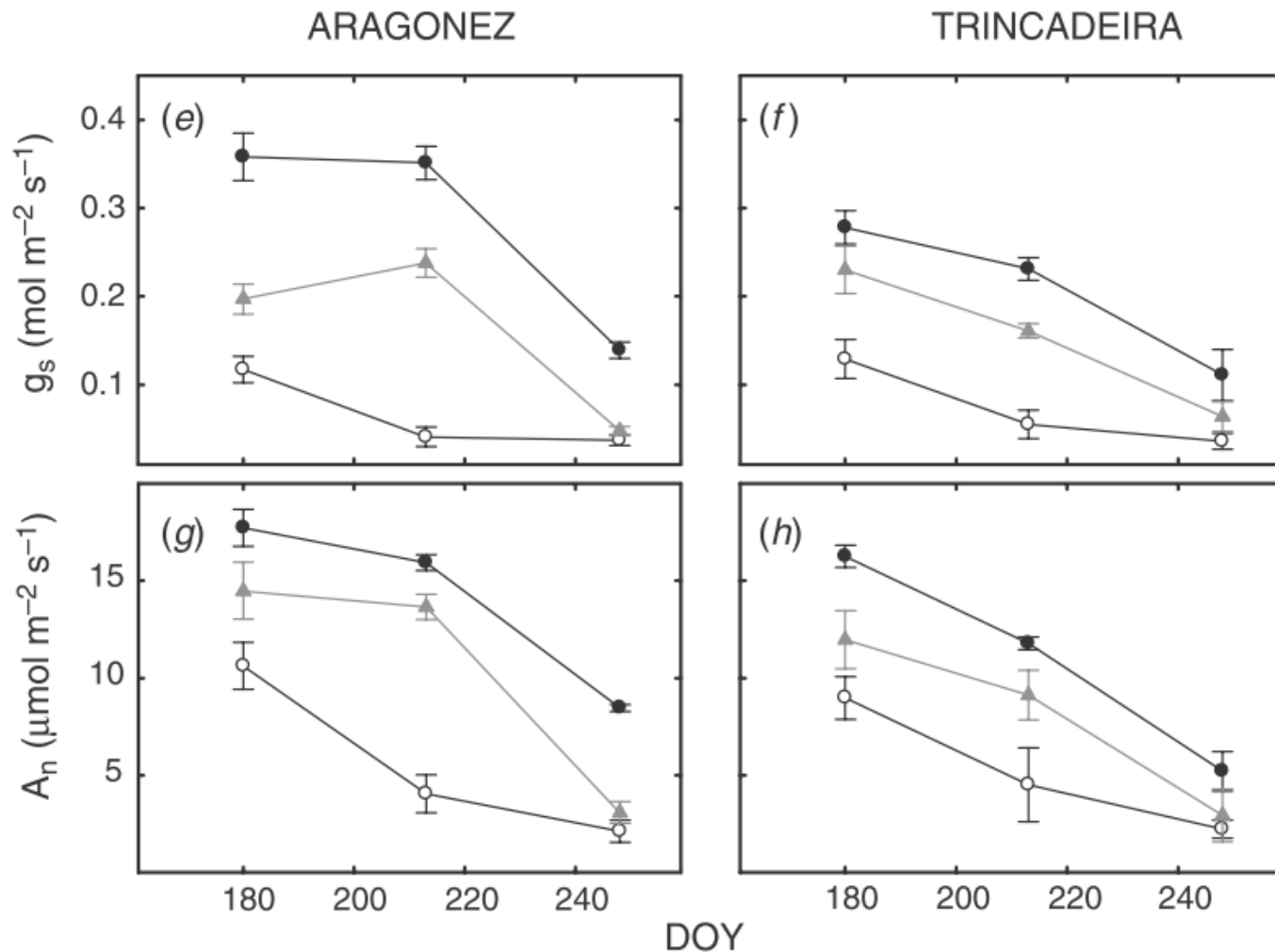


Drought stress

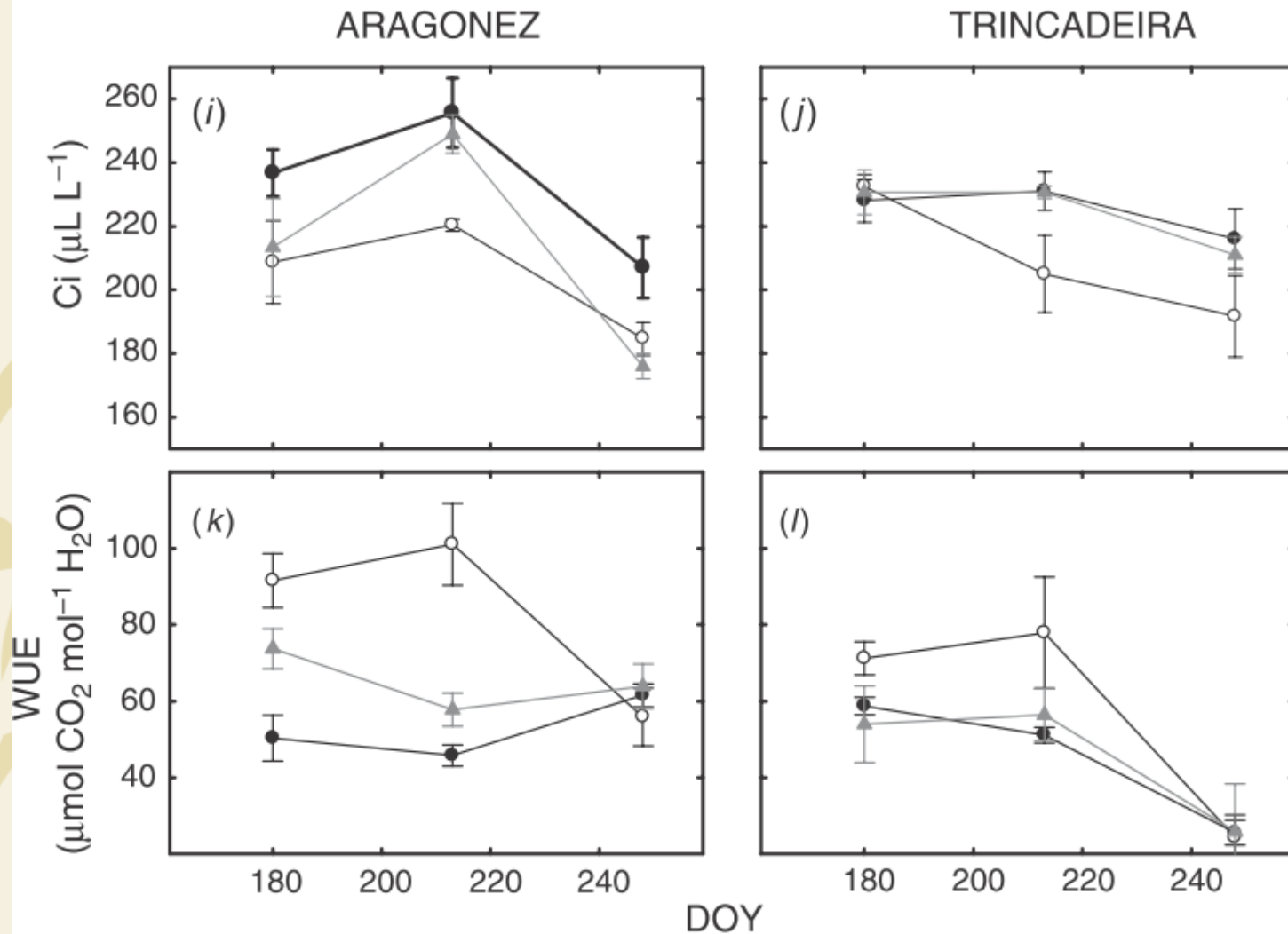
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**

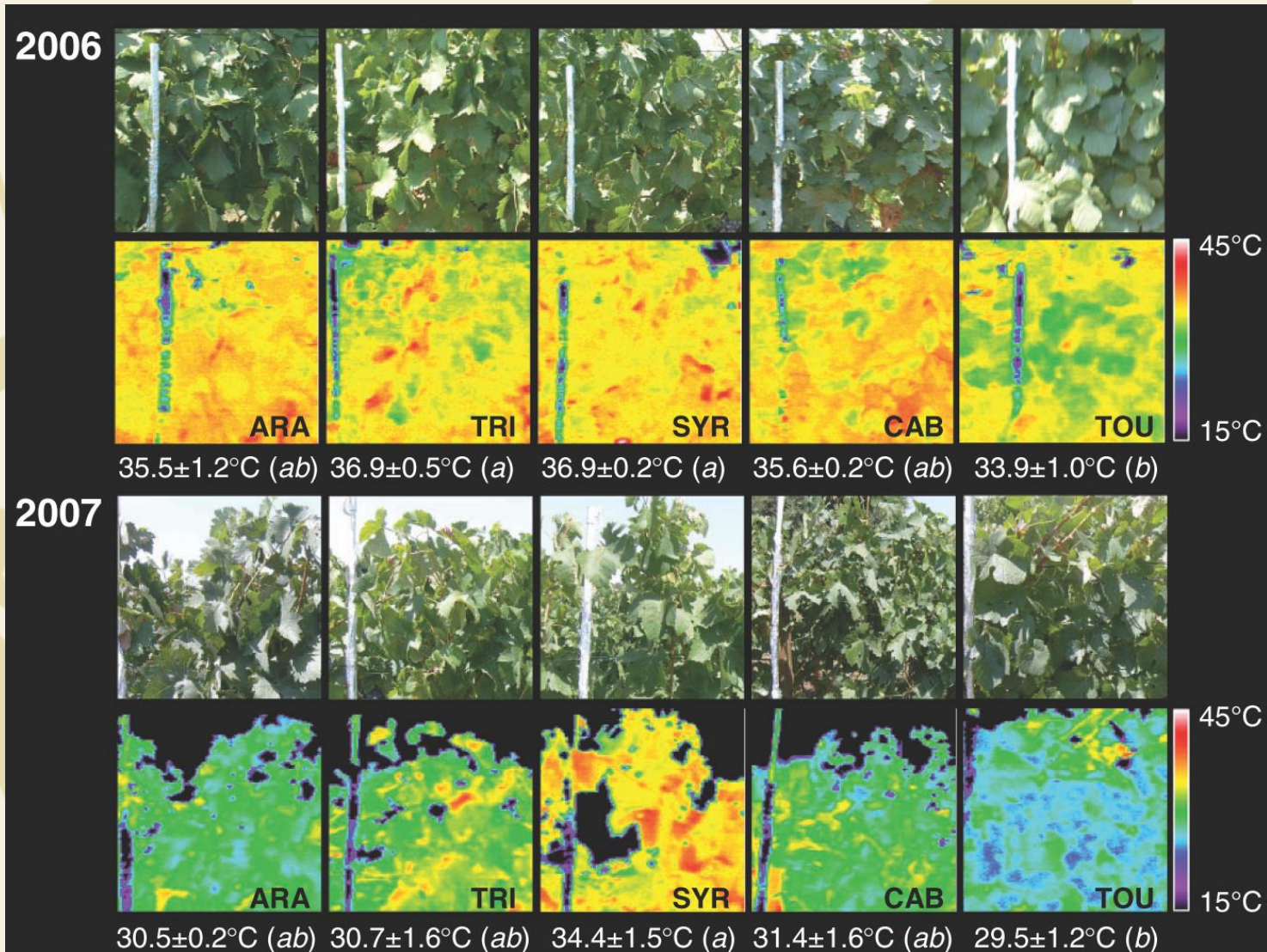


Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**

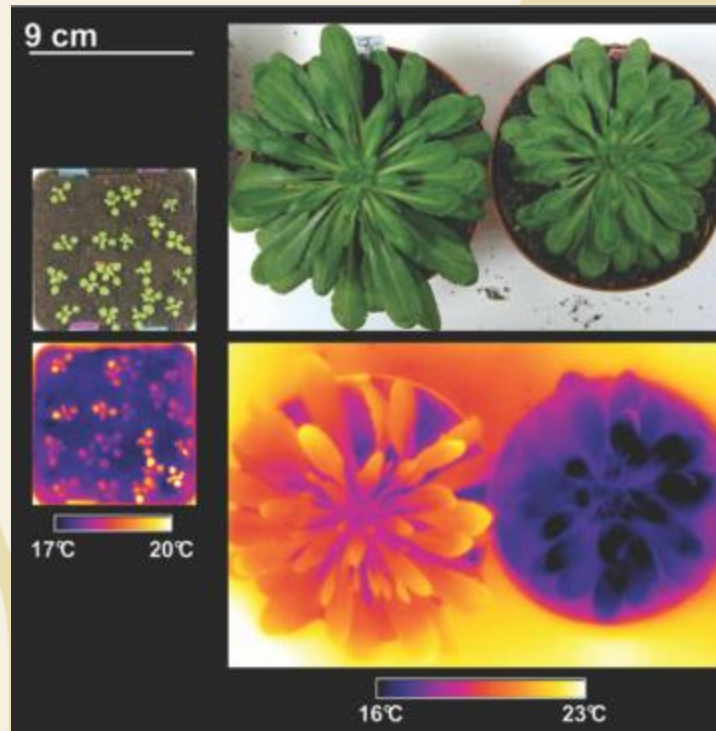


Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

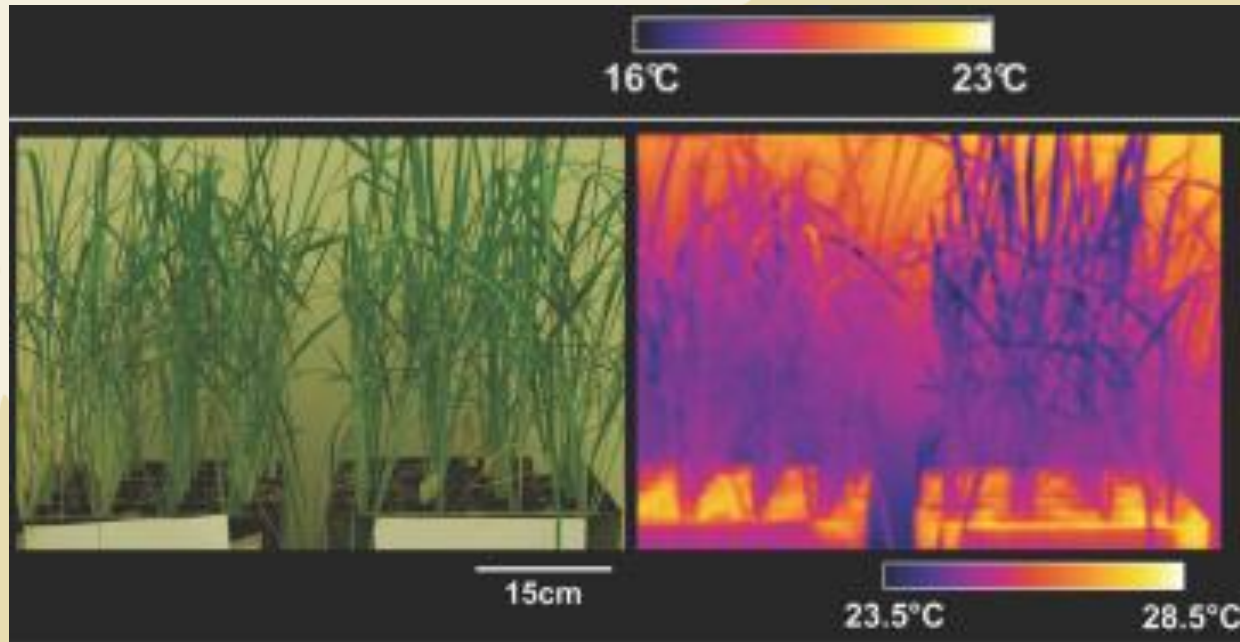
Το κινήγι των **μηχανισμών**...



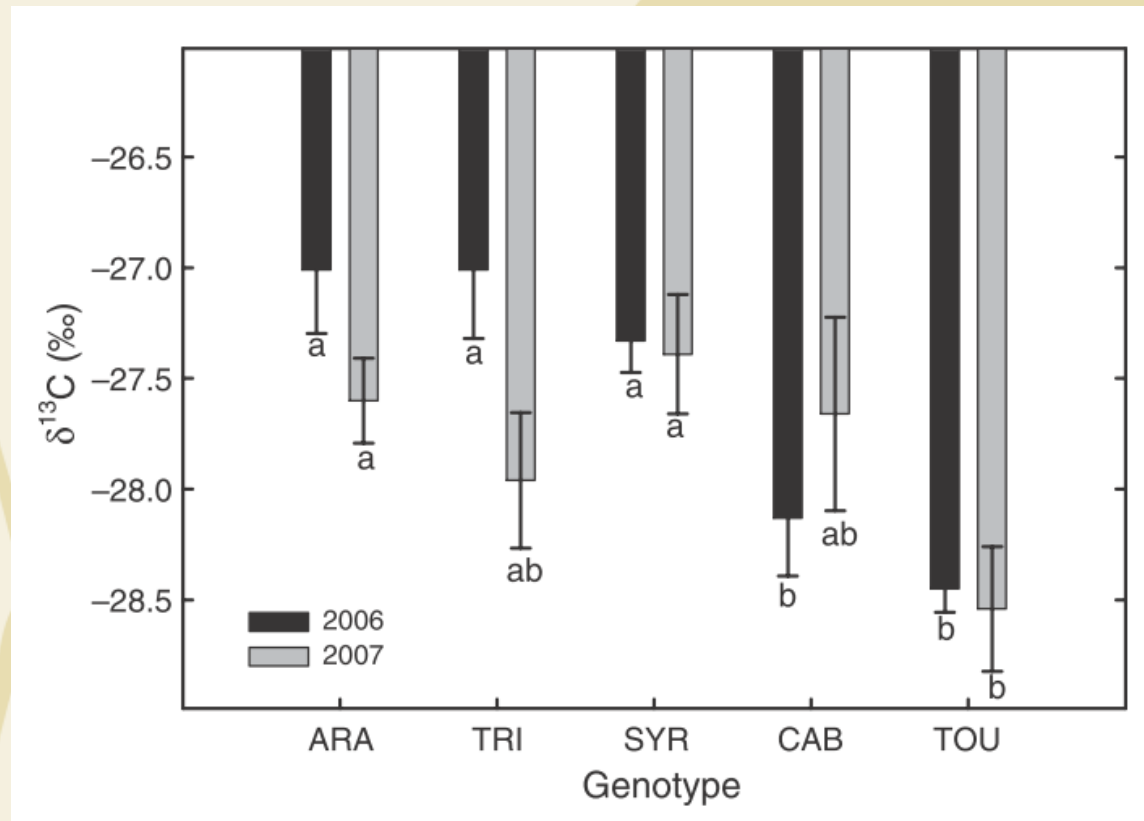
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**



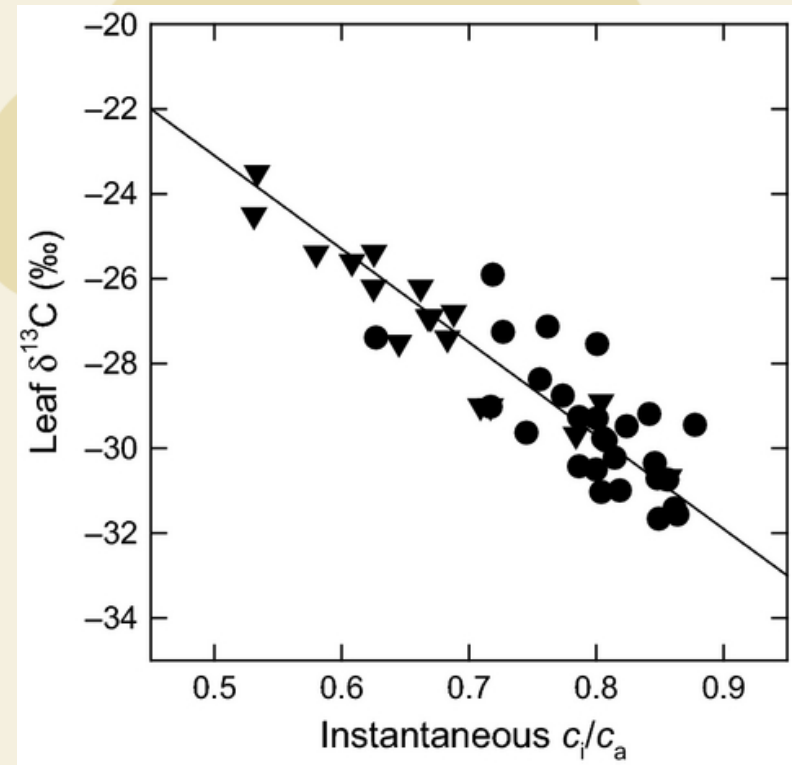
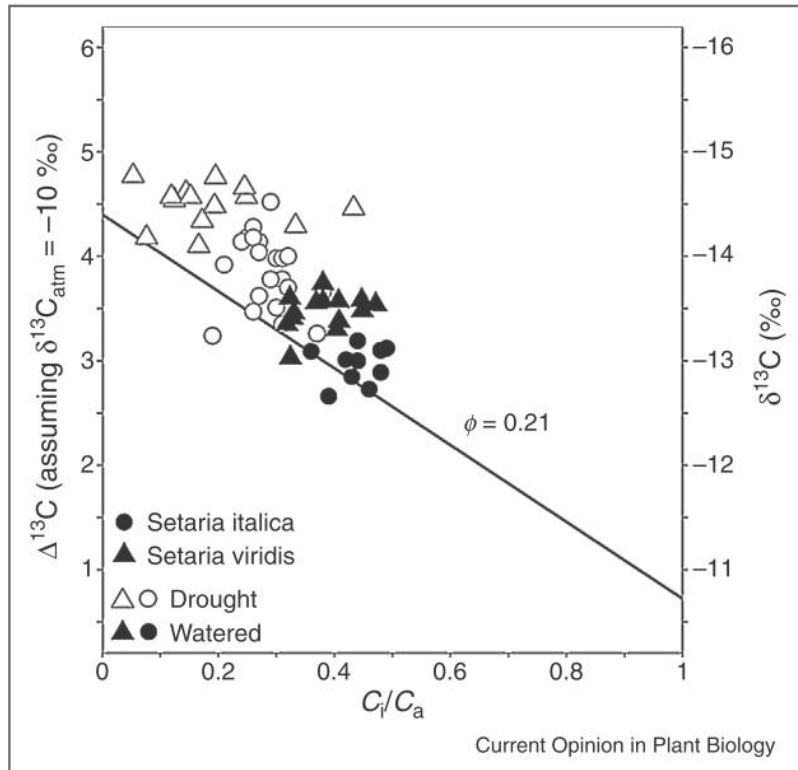
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**



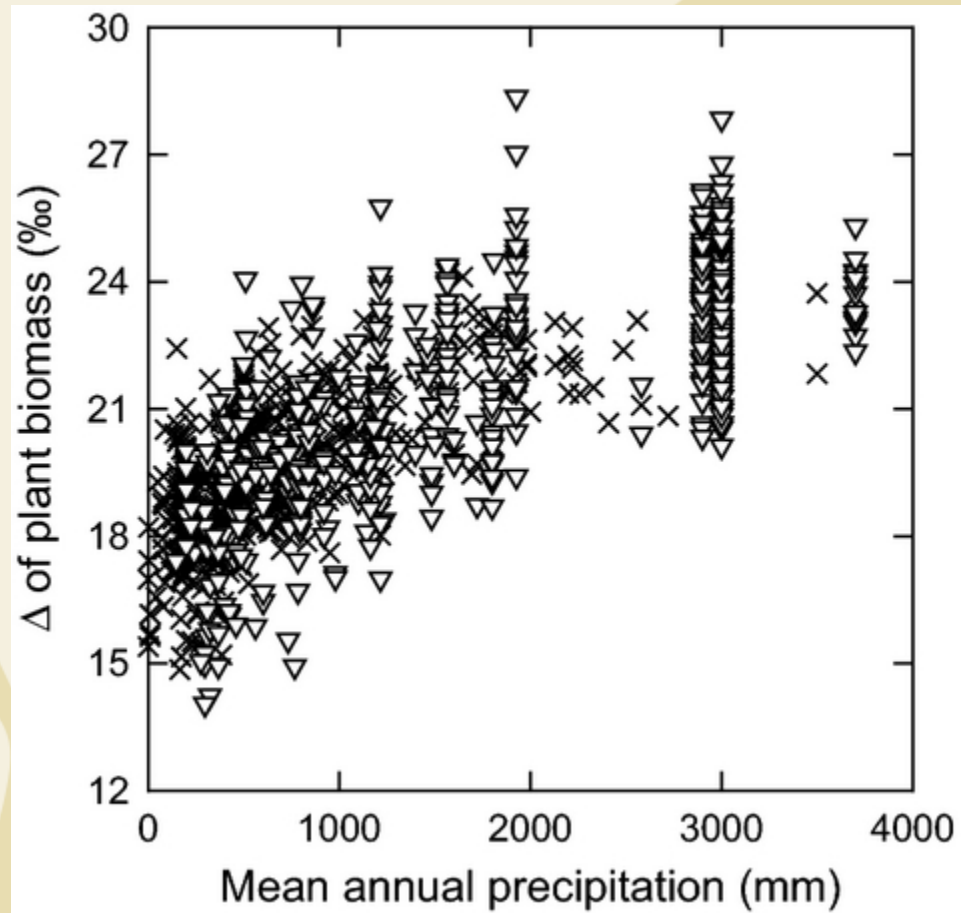
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Το κινήγι των **μηχανισμών**...



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Το κινήγι των **μηχανισμών**...



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κινήγι των **μηχανισμών...**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **μηχανισμών...**

Αφορά στη μείωση του οσμωτικού δυναμικού των κυττάρων μέσω συσσώρευσης οσμωτικά ενεργών μορίων

Η μείωση αυτή του Ψ_s δεν πρέπει να συγχέεται με την παθητική μείωση της ίδιας παραμέτρου λόγω αφυδάτωσης. Πρόκειται για μια **ενεργητική αύξηση** της συγκέντρωσης των οσμωτικά ενεργών μορίων λόγω **βιοσύνθεσης** ή **συσσώρευσης από άλλη πηγή**. Το φαινόμενο αυτό επάγεται από υδατική καταπόνηση.

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κυνήγι των **μηχανισμών...**

- **Τι επιτυγχάνεται με την οσμωρύθμιση**

Χαμηλώνει το οσμωτικό δυναμικό (Ψ_s) των κυττάρων
Έτσι μειώνεται με τη σειρά του το δυναμικό νερού του
κυττάρου (Ψ_w)

Η μείωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση της
ικανότητας των κυττάρων να **προσλάβουν νερό όταν η
διαθεσιμότητά του είναι μειωμένη** (συνθήκες υπό τις
οποίες το δυναμικό νερού του εδάφους είναι επίσης χαμηλό)

Τα παραπάνω συμβαίνουν ταυτόχρονα με την **διατήρηση
μιας ανεκτής πίεσης σπαργής** των κυττάρων και την
αποτροπή της πλασμόλυσης

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Το κινήγι των **μηχανισμών...**

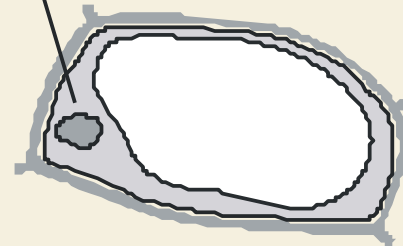
Στα κύτταρα το δυναμικό νερού διαμορφώνεται κυρίως λόγω δύο παραμέτρων. Η πρώτη είναι το οσμωτικό δυναμικό (Ψ_s) και η δεύτερη το δυναμικό πίεσης (Ψ_p). Ισχύει ότι $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$

Ενδοκυτταρικό Περιβάλλον

$$\Psi_p = + 0,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = - 1,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s = - 1,0 \text{ MPa}$$



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

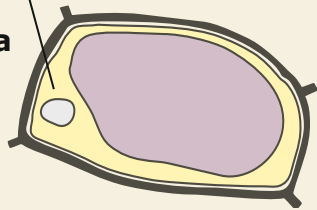
Το κινήγι των **μηχανισμών**...

Ενδοκυτταρικό Περιβάλλον

$$\Psi_p = + 0,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = - 1,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s = - 1,0 \text{ MPa}$$



Εξωτερικό Περιβάλλον

$$\Psi_{weξ} = 0 \text{ MPa (καθαρό νερό)}$$

Ενδοκυτταρικό Περιβάλλον

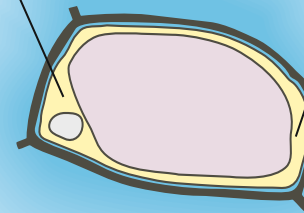
$$\Psi_p = + 1,2 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = - 1,2 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = 0 \text{ MPa} = \Psi_{weξ}$$

$$\Psi_{weξ} > \Psi_{wκυττ}$$

είσοδος νερού, αύξηση πίεσης σπαργής, ελαφρά αρραίωση των διαλυμένων ουσιών



πλήρης σπαργή

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

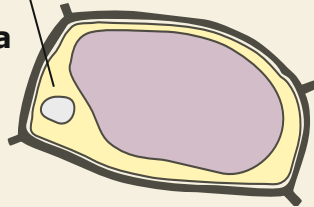
Το κινήγι των **μηχανισμών...**

Ενδοκυτταρικό Περιβάλλον

$$\Psi_p = + 0,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = - 1,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s = - 1,0 \text{ MPa}$$



Εξωτερικό Περιβάλλον

$$\Psi_w = - 1,8 \text{ MPa}$$

Ενδοκυτταρικό Περιβάλλον

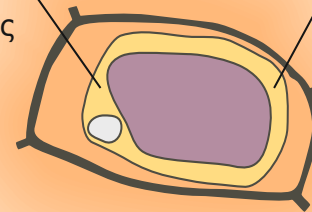
$$\Psi_p = 0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = - 1,8 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = -1,8 \text{ MPa} = \Psi_{wεξ}$$

$$\Psi_{wεξ} < \Psi_{wκυττ}$$

αδυναμία οσμωρύθμισης
αφυδάτωση πρωτοπλάστη
παθητική αύξηση συγκέντρωσης
διαλυμένων ουσιών



πλασμόλυση

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

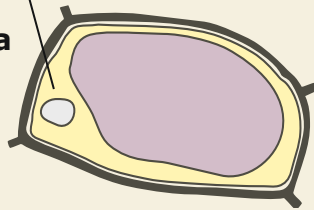
Το κινήγι των **μηχανισμών**...

Ενδοκυτταρικό Περιβάλλον

$$\Psi_p = + 0,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = - 1,5 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s = - 1,0 \text{ MPa}$$



Εξωτερικό Περιβάλλον

$$\Psi_w = - 1,8 \text{ MPa}$$

Ενδοκυτταρικό Περιβάλλον

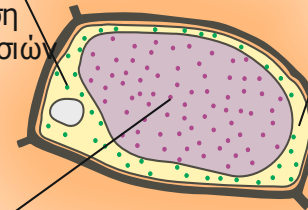
$$\Psi_p = + 0,1 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = - 1,9 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = - 1,8 \text{ MPa} = \Psi_{wεξ}$$

$$\Psi_{wεξ} < \Psi_{wκυττ}$$

δυνατότητα οσμωρύθμισης
βιοσύνθεση συμβατών
οσμωλυτών, ενεργητική αύξηση
συγκέντρωσης διαλυμένων ουσιών



ενεργητική συγκέντρωση
διαλυμένων ουσιών (ιόντων)

οσμωρύθμιση

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Το κυνήγι των **μηχανισμών...**

- **Ποια μόρια συμμετέχουν στην οσμωρύθμιση;**

Θα πρέπει να είναι εύκολο να αποκτηθούν από το κύτταρο

Θα πρέπει η υψηλή συσσώρευσή τους να μην προκαλεί δυσλειτουργίες στον κυτταρικό μεταβολισμό

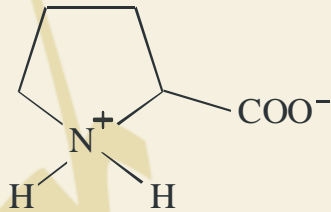
Θα πρέπει να είναι πολικά μόρια ώστε να είναι ευδιάλυτα στο χυμοτόπιο, να έλκουν μεγάλο αριθμό μορίων νερού και ταυτόχρονα να προστατεύουν τα ευαίσθητα πρωτεϊνικά μόρια του κυτταροπλάσματος από την αλληλεπίδραση με αποσταθεροποιητικά μόρια

Συνηθέστερα τέτοια μόρια είναι τα αμινοξέα προλίνη και γλουταμινικό οξύ, βεταΐνες, πολυυδροξυ-αλκοόλες, φρουκτάνες, ο δισακχαρίτης τρεαλόζη, η γλυκόζη και ορισμένοι ολιγοσακχαρίτες

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Το κινήγι των **μηχανισμών...**

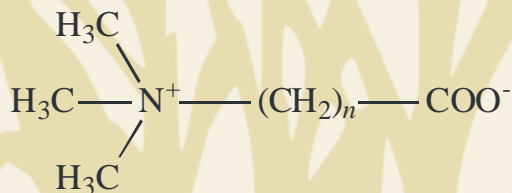
- Ποια μόρια συμμετέχουν στην οσμωρύθμιση;

αμινοξέα



προλίνη

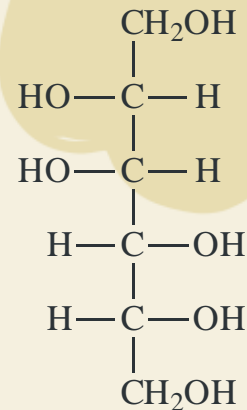
τεταρτοταγείς ενώσεις αμμωνίου



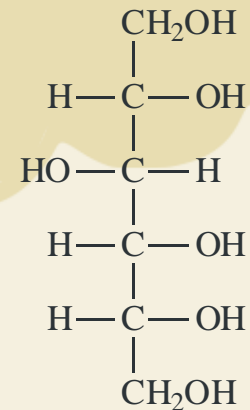
$n = 1$, βεταΐνη της γλυκίνης

$n = 2$, βεταΐνη της αλανίνης

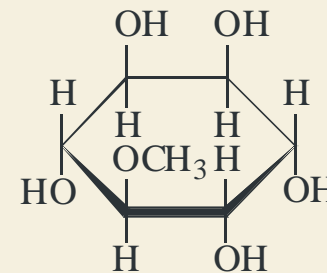
πολυυδροξυαλκοόλες



μαννιτόλη



σορβιτόλη

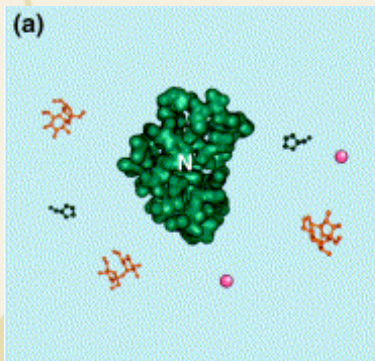


πινιτόλη

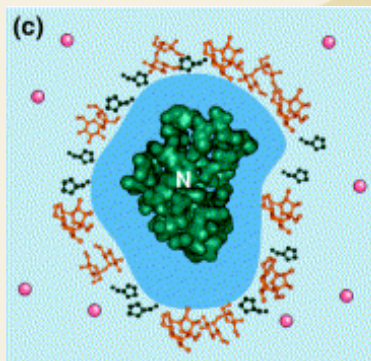
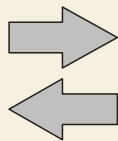
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Το κινήγι των **μηχανισμών...**

- Πως προστατεύονται οι ευαίσθητοι στόχοι;

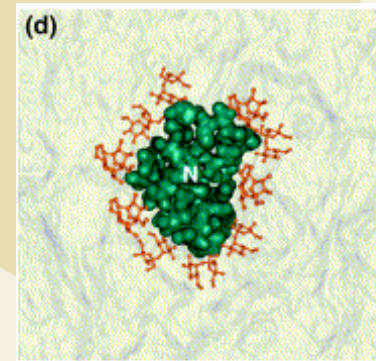
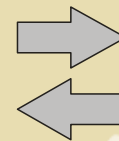
ανθεκτικότητα



πλήρης ενωδάτωση

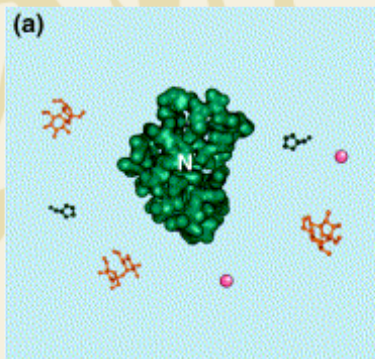


μερική έλλειψη νερού

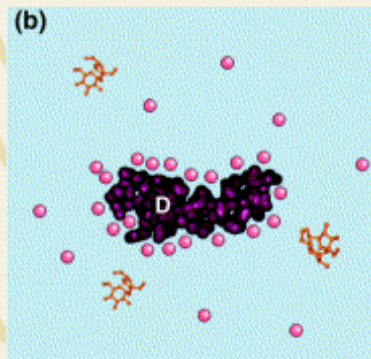


αφυδάτωση (υαλώδες κυτταρόπλασμα)

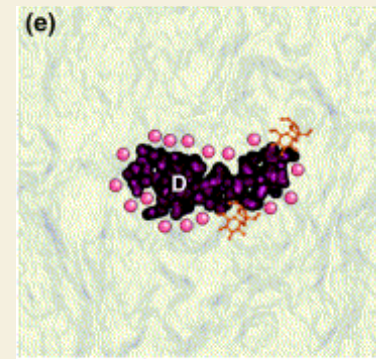
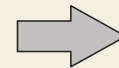
ευαισθησία



πλήρης ενωδάτωση



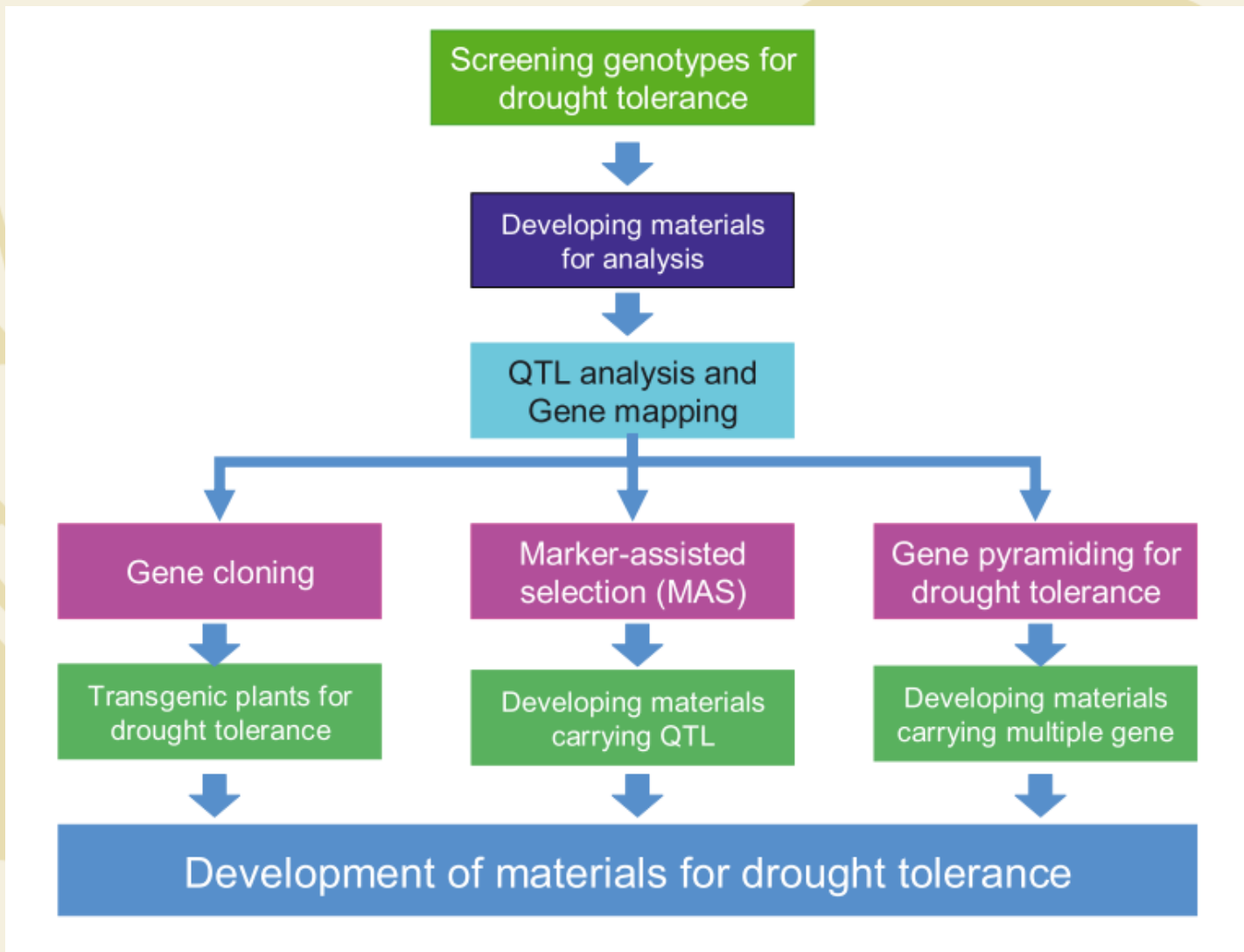
μερική έλλειψη νερού



αφυδάτωση (υαλώδες κυτταρόπλασμα)

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το αποτέλεσμα συχνά είναι **απογοητευτικό...**

Gene	Species	Phenotype	Reference
<i>SiTIP2;2</i>	tomato	increase in osmotic water permeability and transpiration	Sade <i>et al.</i> 2009
<i>CfPIP2;1</i>	<i>Arabidopsis</i>	better plant growth under dehydration stress	Jang <i>et al.</i> 2007
<i>PgTIP1</i>	<i>Arabidopsis</i>	root dependent, drought and salt tolerance	Peng <i>et al.</i> 2007
<i>PIP</i>	soybean/lettuce	water conservation and drought tolerance	Porcel <i>et al.</i> 2006
<i>RWC3</i>	rice	maintenance of leaf water potential and transpiration under PEG stress	Lian <i>et al.</i> , 2004
<i>PIP1b</i>	tobacco	no increase in plant drought and salt stress tolerance	Aharon <i>et al.</i> 2003
<i>PIP2:2</i>	<i>Arabidopsis</i>	increased root water uptake	Javot <i>et al.</i> 2003
<i>NtAQP1</i>	tobacco	high root hydraulic conductance and drought tolerance	Siefritz <i>et al.</i> 2002
<i>LEA 4</i>	tobacco	drought tolerance <i>via</i> stabilizing membrane and protein	Liu <i>et al.</i> 2009
<i>OsLEA3</i>	rice	dehydration and salt stress tolerance	Hu <i>et al.</i> 2008
<i>CaLEA6</i>	tobacco	protection of photosynthetic activity under drought	Jun <i>et al.</i> 2008
<i>HVA1</i>	mulberry	drought and salinity tolerance	Lal <i>et al.</i> 2008
Dehydrin	<i>Arabidopsis</i>	enhanced osmotic and salt stress tolerance	Brini <i>et al.</i> 2007
<i>HVA1</i>	creeping bentgrass	maintenance of high water contents in leaves under water stress	Fu <i>et al.</i> 2007
<i>OsLEA3-1</i>	rice	drought resistance for yield in the field	Xiao <i>et al.</i> 2007
<i>DQ663481</i>	tobacco	drought resistance <i>via</i> cell membrane stability	Wang <i>et al.</i> 2006
<i>HVA1</i>	wheat	improved plant water status and yield under field drought	Bahieldin <i>et al.</i> 2005
<i>ME-leaN4</i>	lettuce	enhanced growth and delayed wilting under drought	Park <i>et al.</i> 2005a
<i>ME-leaN4</i>	Chinese cabbage	drought and salt resistance	Park <i>et al.</i> 2005b
<i>HVA1</i>	rice	dehydration avoidance and cell membrane stability	Babu <i>et al.</i> 2004
Rab 17	<i>Arabidopsis</i>	enhanced osmotic stress tolerance	Figueras <i>et al.</i> 2004
<i>CuCOR19</i>	tobacco	no effect on drought tolerance	Hara <i>et al.</i> 2003
<i>CaLEA</i>	Chinese cabbage	dehydration stress tolerance	Park <i>et al.</i> 2003
<i>PF00477</i>	rice	enhanced dehydration tolerance	Cheng <i>et al.</i> 2002
<i>HVA1</i>	oat	delayed wilting under drought stress	Maqbool <i>et al.</i> 2002
<i>LEA3-L2</i>	wheat	increased content of protein of unknown function	Ndong <i>et al.</i> 2002
<i>HVA1</i>	rice	drought and salinity tolerance	Rohila <i>et al.</i> 2002
<i>HVA1</i>	wheat	increased biomass and WUE under stress	Sivamani <i>et al.</i> 2000
<i>RcHSP17.8</i>	<i>Arabidopsis</i>	increased drought, salt, heat and osmotic stress tolerance	Jiang <i>et al.</i> 2009
<i>sHSP17.7</i>	rice	enhanced drought tolerance	Sato and Yokoya 2008
<i>NtHSP70-1</i>	tobacco	drought tolerance due to regulated water flux	Cho and Hong 2006
<i>AtHSP17.6A</i>	<i>Arabidopsis</i>	increased tolerance to drought and salt stresses	Sun <i>et al.</i> 2001

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Βοήθεια από τους **πρωταθλητές της επιβίωσης...**

Τα ποικιλοϋδρικά φυτά χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να διατηρούν στοιχειώδη μεταβολική δραστηριότητα ακόμη και αν το δυναμικό νερού του κυτταροπλάσματος πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Ορισμένα από αυτά, σε συνθήκες παρατεταμένης και έντονης αφυδάτωσης μεταβαίνουν στην λεγόμενη κατάσταση αναβίωσης η οποία χαρακτηρίζεται από συνθήκες σχεδόν πλήρους αφυδάτωσης των κυττάρων.



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Βοήθεια από τους **πρωταθλητές της επιβίωσης...**

Τα ποικιλοϋδρικά φυτά χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να διατηρούν στοιχειώδη μεταβολική δραστηριότητα ακόμη και αν το δυναμικό νερού του κυτταροπλάσματος πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Ορισμένα από αυτά, σε συνθήκες παρατεταμένης και έντονης αφυδάτωσης μεταβαίνουν στην λεγόμενη κατάσταση αναβίωσης η οποία χαρακτηρίζεται από συνθήκες σχεδόν πλήρους αφυδάτωσης των κυττάρων.



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Βοήθεια από τους **πρωταθλητές της επιβίωσης...**

Στη 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 (συνήθως βρίσκεται σε ισορροπία με το δυναμικό νερού της ατμόσφαιρας).

Περιλαμβάνουν μονοκύτταρους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, λειχήνες και ανώτερα φυτά όπως ορισμένα είδη *Ramonda* και *Haberlea* της οικογένειας Gesneriaceae (ενδημικά της Βαλκανικής χερσονήσου), καθώς και τα λεγόμενα φυτά αναβίωσης, είδη των οικογενειών Myrothamnaceae, Scrophulariaceae, Lamiaceae, Cyperaceae, Poaceae, Liliaceae και Velloziaceae

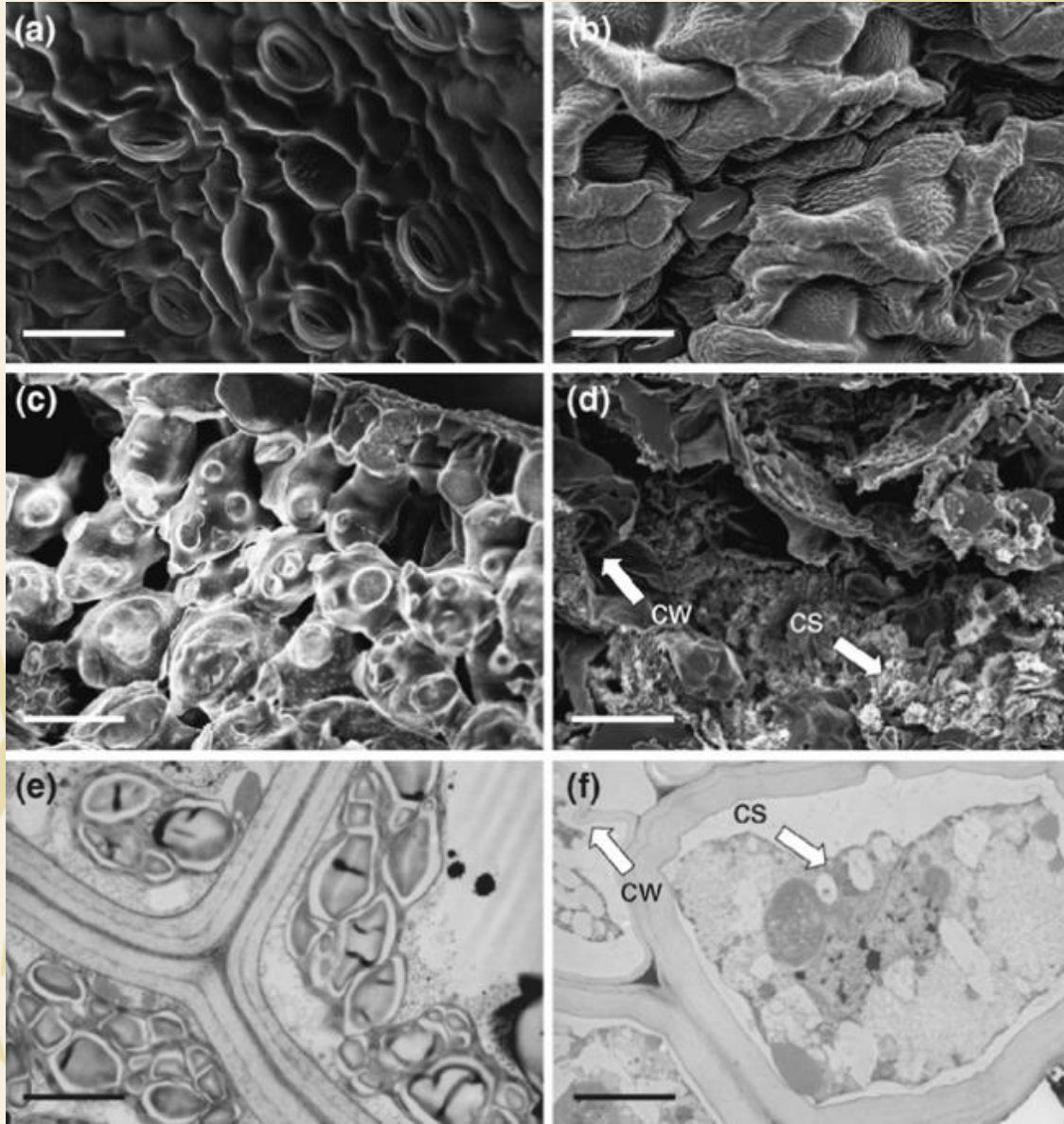
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Βοήθεια από τους **πρωταθλητές της επιβίωσης...**

Κοινό χαρακτηριστικό των ειδών αυτών αποτελεί η ικανότητα επιβίωσης των κυττάρων τους σε συνθήκες σχεδόν πλήρους αφυδάτωσης, η οποία επέρχεται με τη μετάβαση στη λεγόμενη κατάσταση αναβίωσης. Κρίσιμο βήμα για τη μετάβαση αυτή αποτελεί η σύνθεση ορισμένων μορίων υδατανθράκων (όπως η ραφινόζη και η τρεαλόζη), τα οποία προσφέρουν προστασία στα φωσφορολιπίδια των μεμβρανών.

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Βοήθεια από τους **πρωταθλητές της επιβίωσης...**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Βοήθεια από τους **πρωταθλητές της επιβίωσης...**



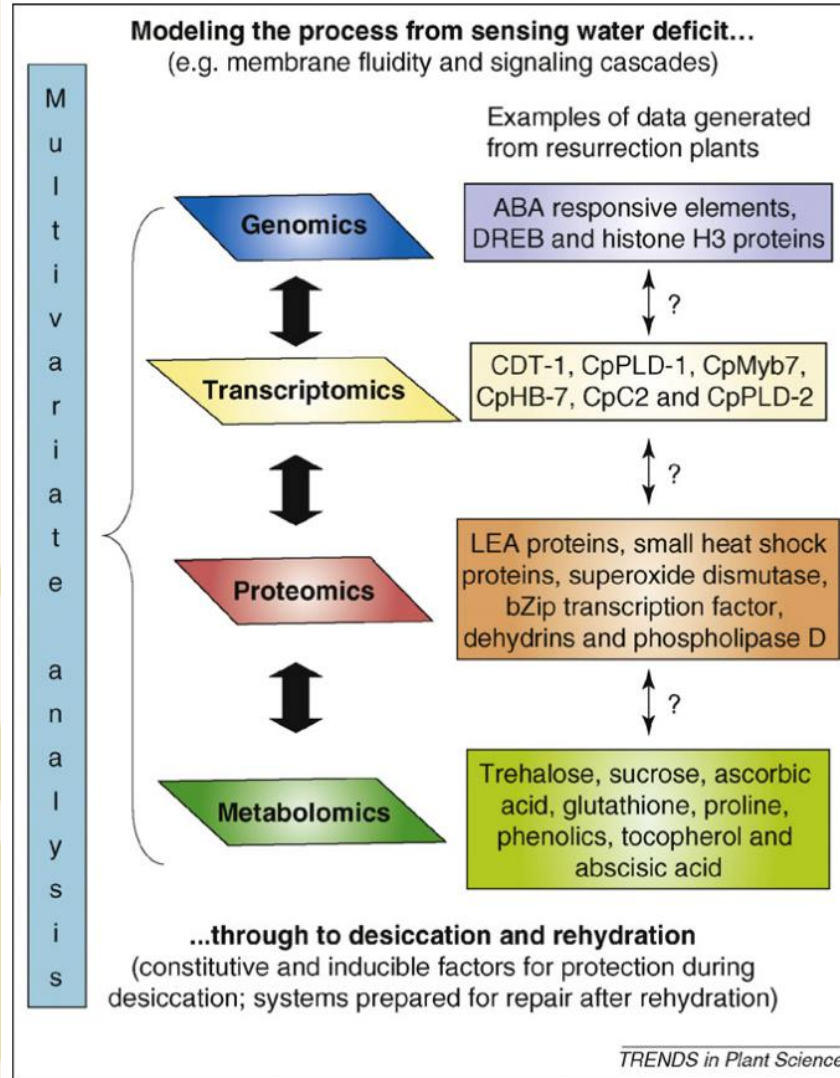
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Βοήθεια από τους **πρωταθλητές της επιβίωσης...**

Table 1. Transgenic plants engineered with resurrection plant genes and resultant phenotypes

Gene (Class)	Origin	Transgenic	Manipulation and phenotype	Refs
<i>CpHB-7</i> (Homeodomain leucine zipper TF)	<i>Craterostigma plantagineum</i>	<i>Nicotiana tabacum</i>	Overexpression resulted in early germination and increased growth rate. Reduced ABA sensitivity during germination and stomatal closure was found. Transgenic plants show no differences in tolerance to drought or cold, but seeds show increased tolerance to salt stress	[36]
<i>CpMYB10</i> (Myb TF)	<i>C. plantagineum</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i> <i>A. thaliana</i>	Overexpression resulted in reduced ABA sensitivity during germination and stomatal closure	[39]
<i>CDT-1</i> (Regulatory RNA)	<i>C. plantagineum</i>	<i>C. plantagineum</i>	Overexpression resulted in increased drought and salt tolerance. ABA hypersensitivity and glucose insensitivity during seed germination was observed	[41]
<i>CpALDH stress-inducible CpC2 promoter fused to AtALDH311</i> (Aldehyde dehydrogenase)	<i>C. plantagineum</i> ; <i>A. thaliana</i>	<i>A. thaliana</i>	Constitutive tissue-specific expression resulted in constitutive desiccation tolerance in callus tissue without ABA treatment	[75]
<i>XvSAP1</i> (Unknown)	<i>Xerophyta viscosa</i>	<i>A. thaliana</i>	Stress-inducible expression resulted in increased resistance to osmotic and oxidative stress. Protection against lipid peroxidation	[76]
			Overexpression resulted in improved salinity, osmotic and high temperature stress tolerance	[76]

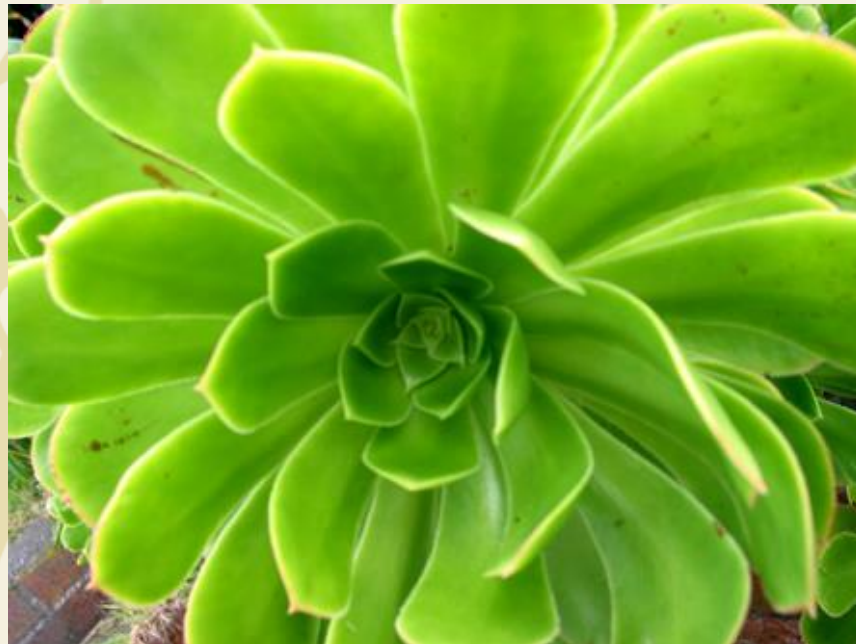
Abbreviations: ABA, abscisic acid; TF, transcription factor.

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Αναζήτηση σε **όλα τα επίπεδα...**

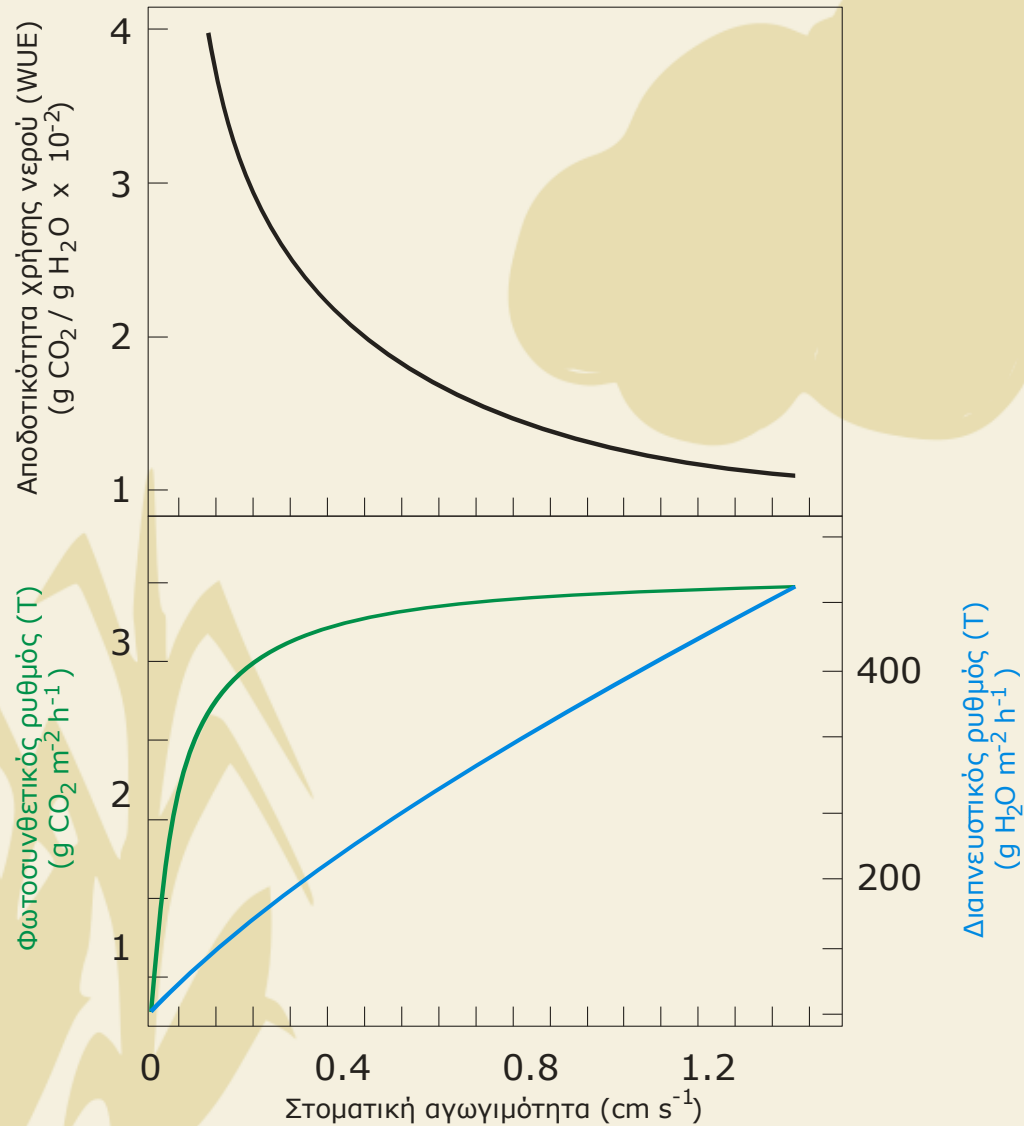


Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως να στραφούμε στον **πιο αδύναμο κρίκο**;

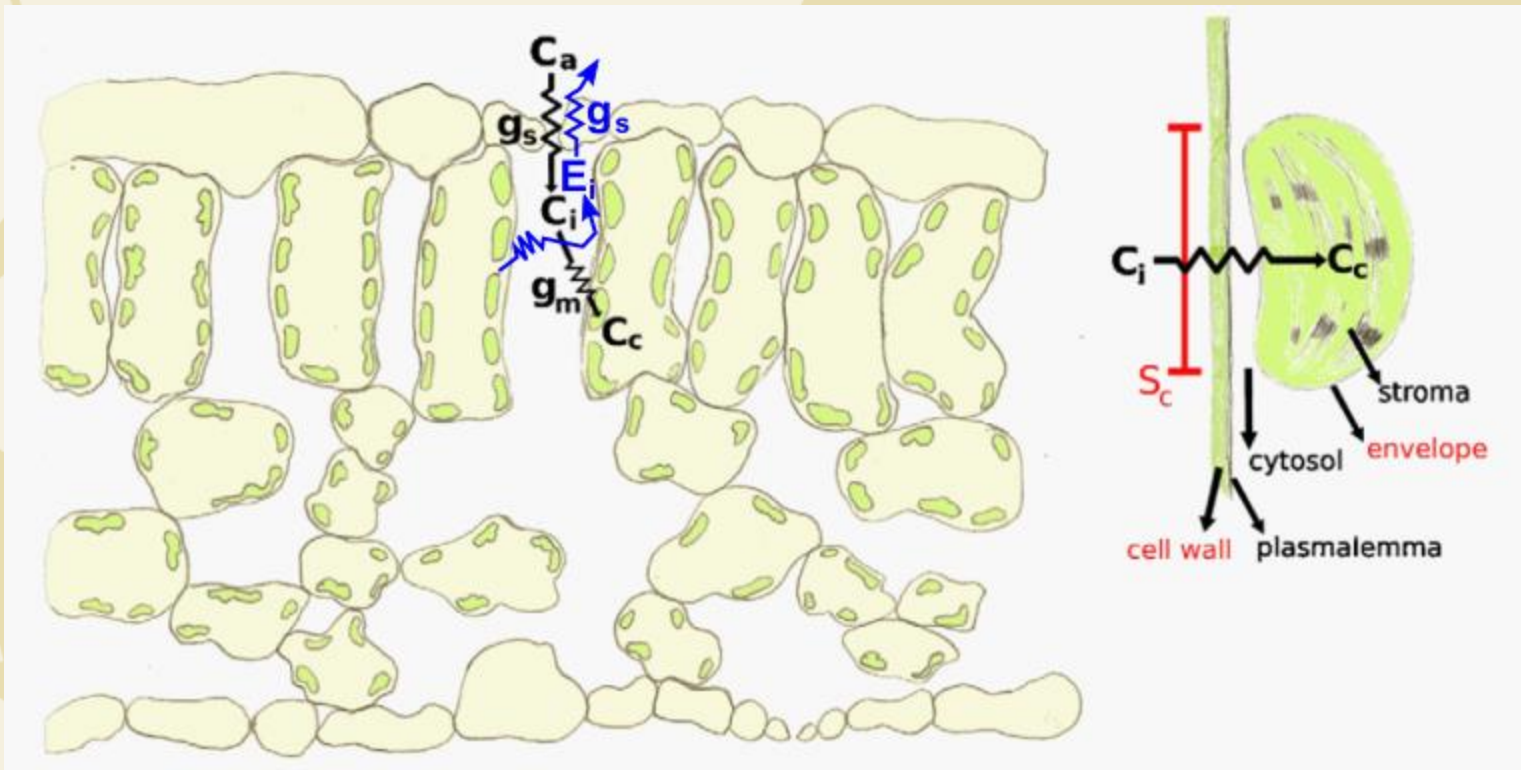
Ορισμένα φυτά διαθέτουν την ικανότητα να περιορίζουν τις διαπνευστικές απώλειες, διατηρώντας ταυτόχρονα την ικανότητα αφομοίωσης CO_2 (υψηλές τιμές WUE). Δίδεται προτεραιότητα στην εξοικονόμηση και διαφύλαξη των λιγοστών αποθεμάτων νερού. Στη διάρκεια της δυσμενούς περιόδου τα κύτταρά τους διατηρούν υψηλό δυναμικό νερού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα φυτά CAM.



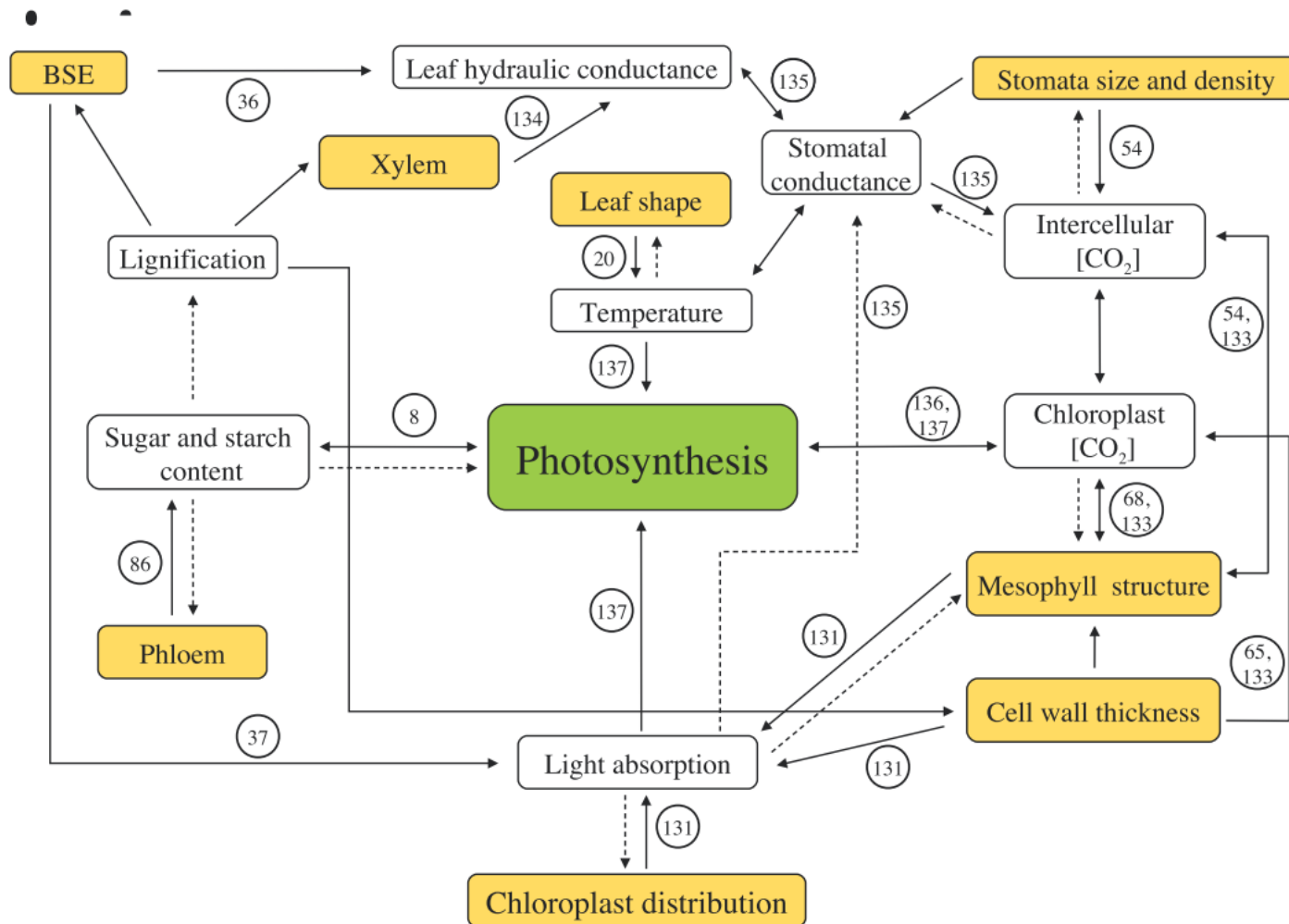
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως να στραφούμε στον **πιο αδύναμο κρίκο**;



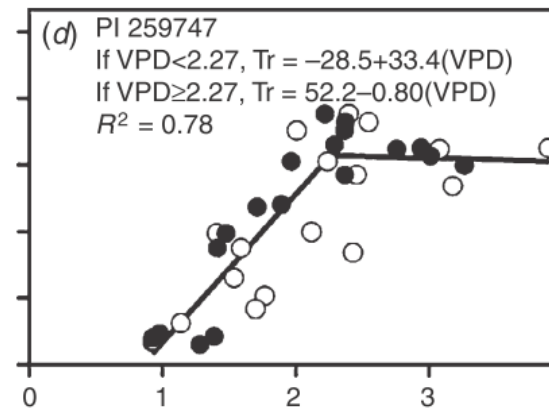
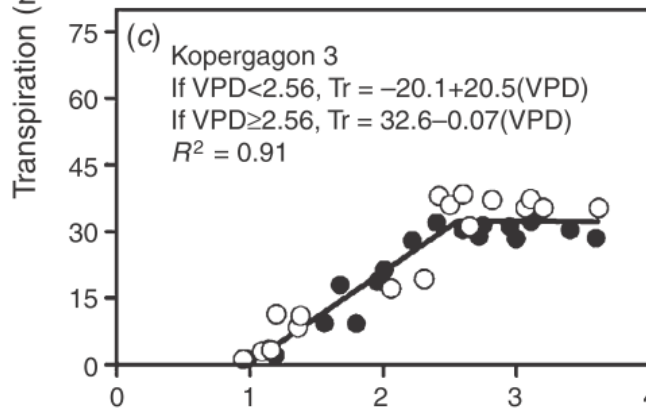
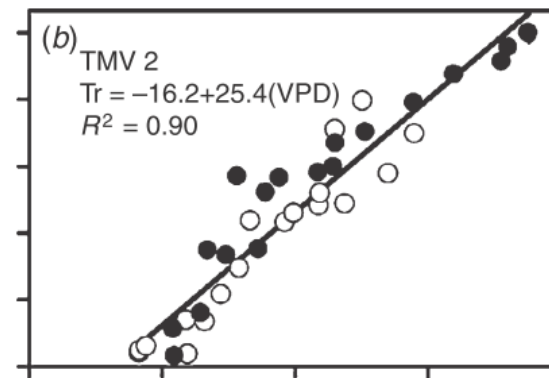
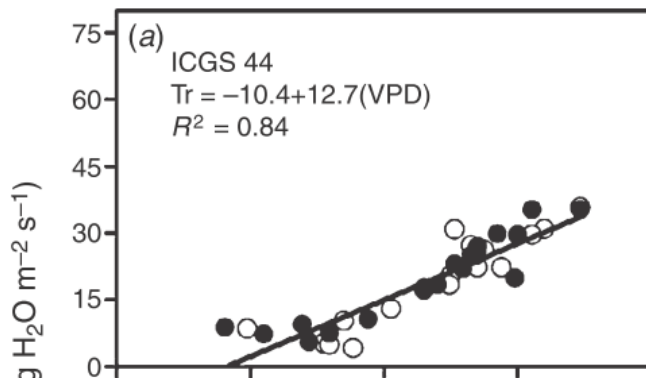
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Η εξήγηση του **παράδοξου**...



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως να στραφούμε στον **πιο αδύναμο κρίκο**;

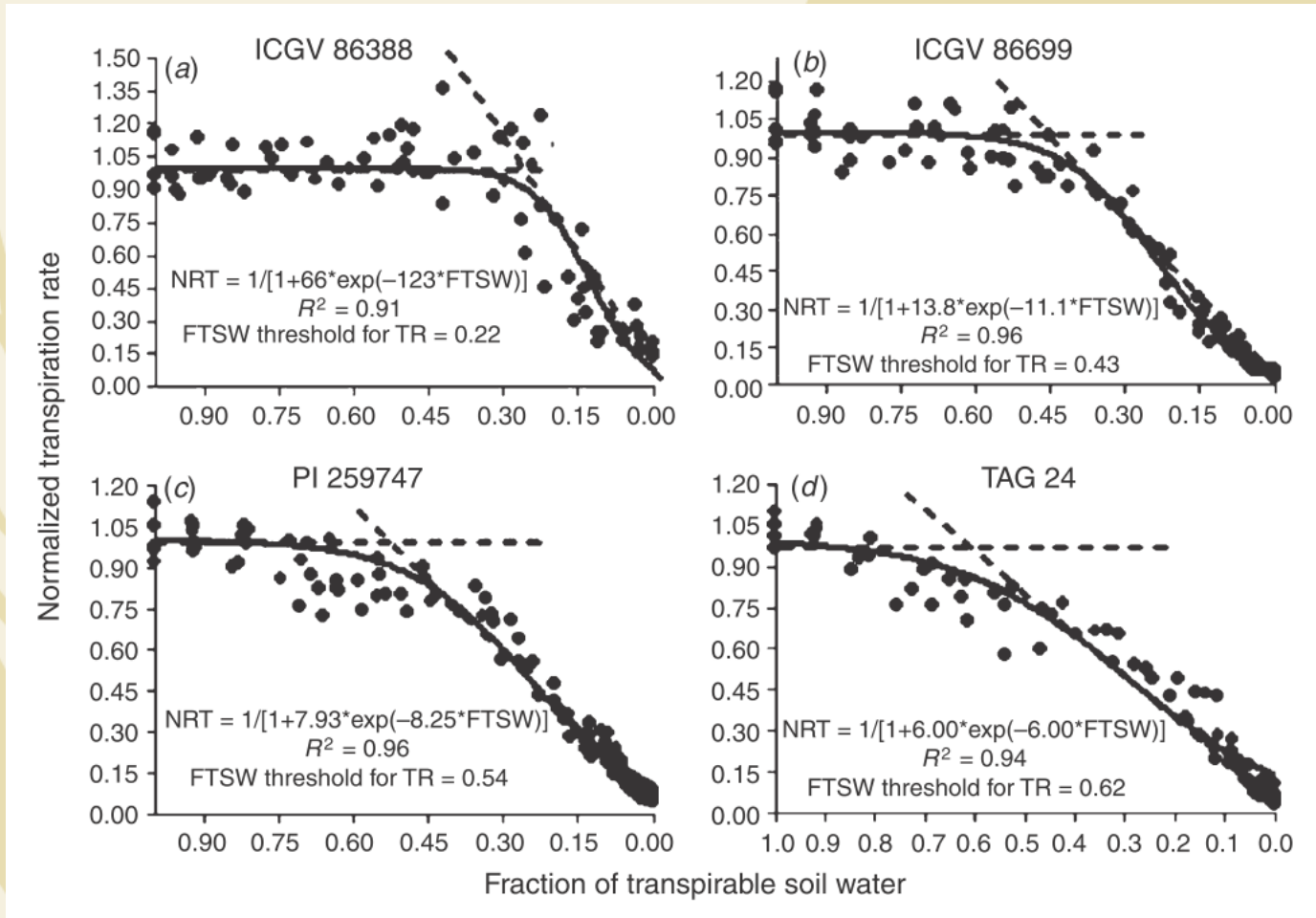


Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως να στραφούμε στον **πιο αδύναμο κρικό**;

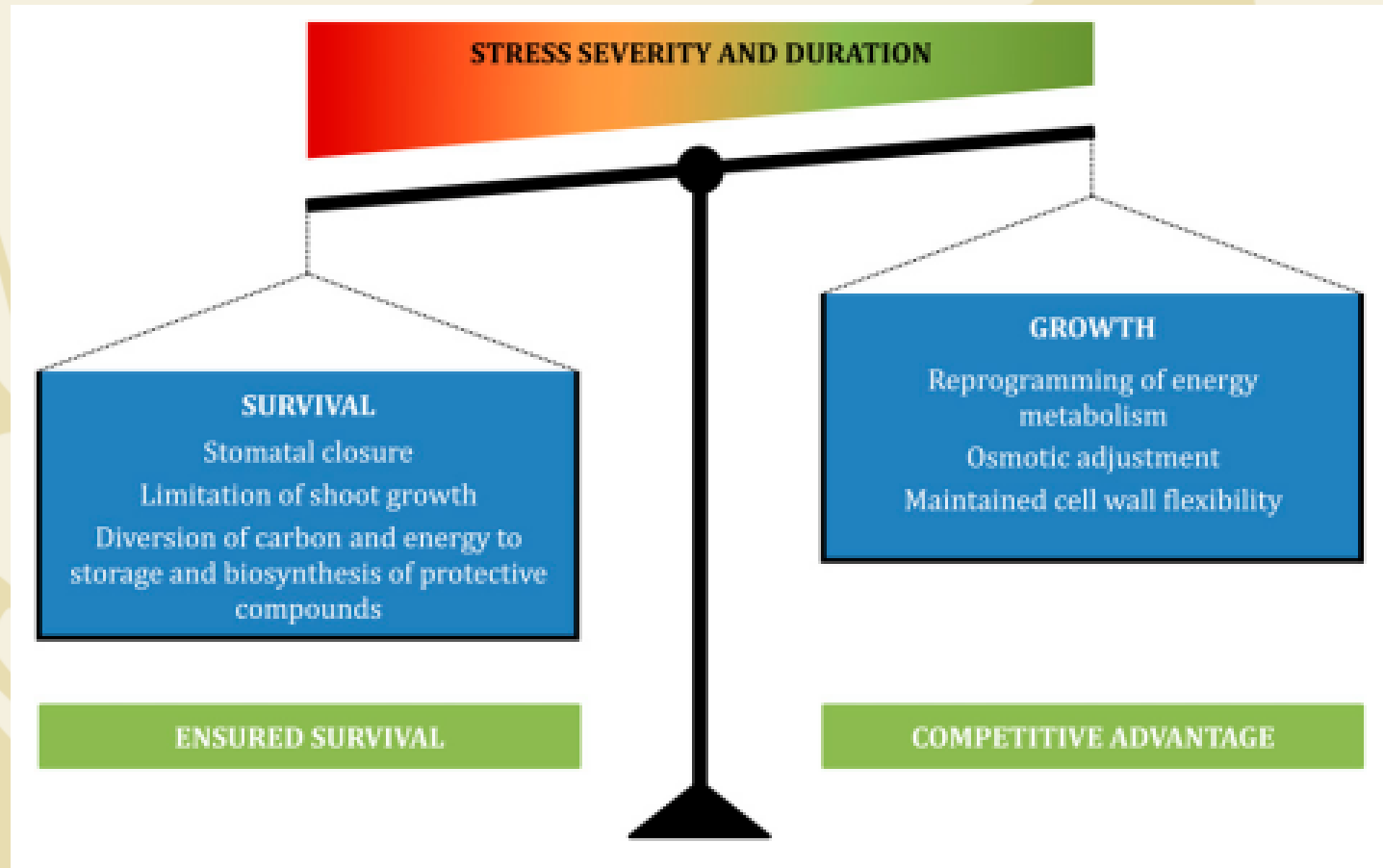


Vapor pressure deficit (kPa)

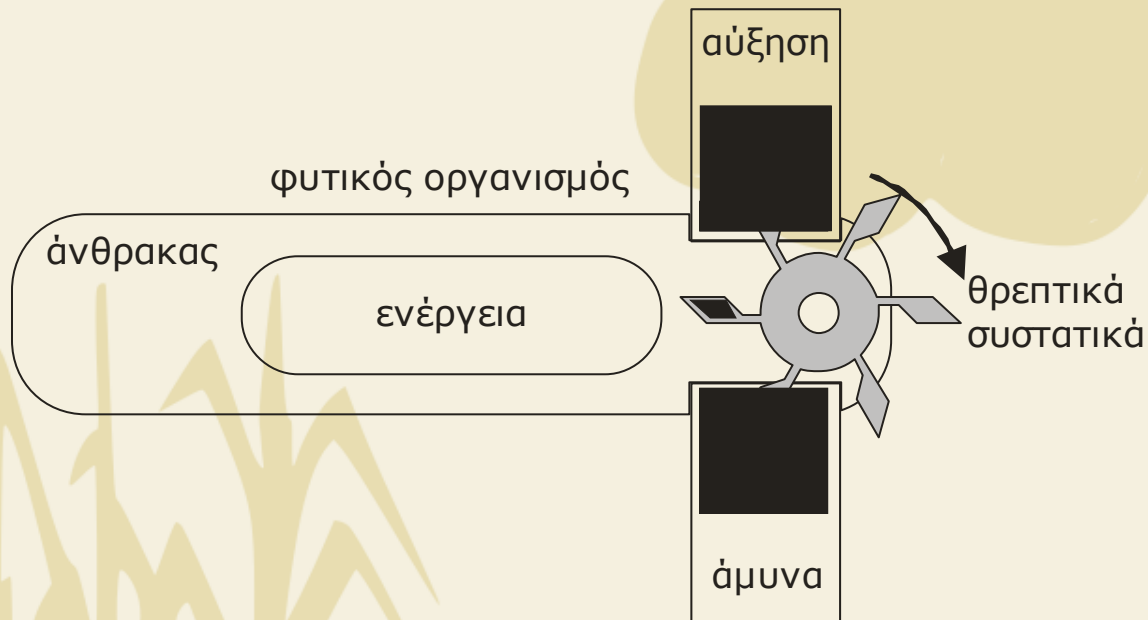
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως να στραφούμε στον **πιο αδύναμο κρίκο**;



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως τελικά **η επιβίωση και η ανάπτυξη αντικρούονται;**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως τελικά **η επιβίωση και η ανάπτυξη αντικρούονται;**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως τελικά **η επιβίωση και η ανάπτυξη αντικρούονται;**

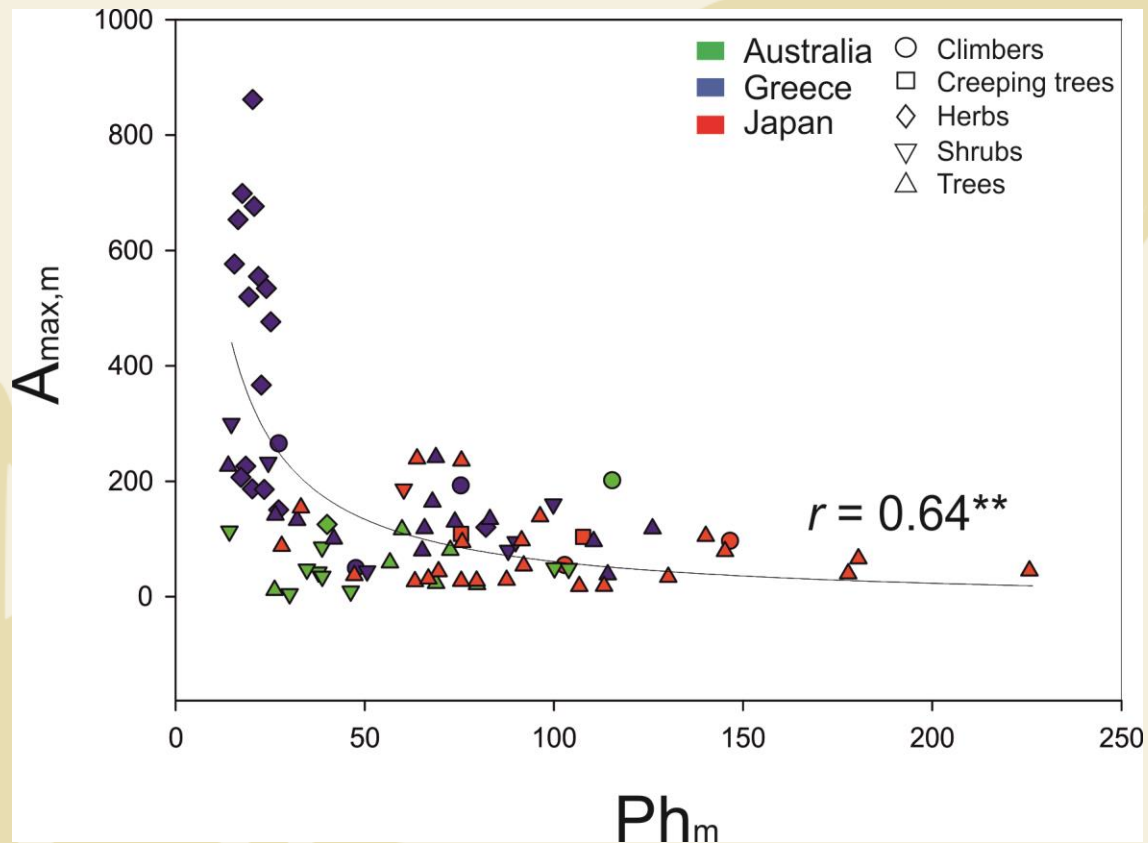
- **Προτεραιότητα στην άμυνα**

Η πιθανότητα σημαντικής απώλειας βιομάζας και το ρίσκο της επιβίωσης δίνει προτεραιότητα στην άμυνα

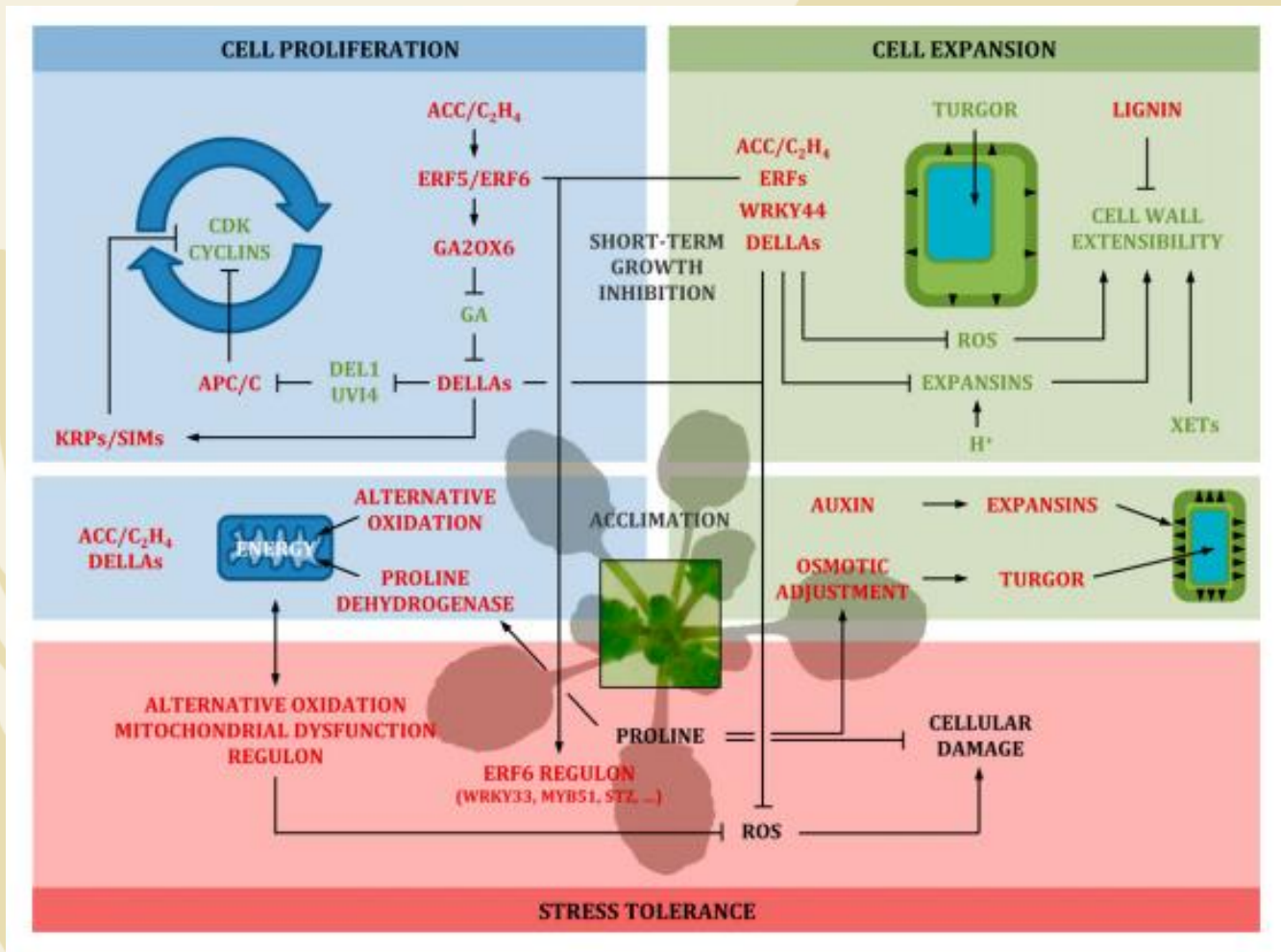
- **Το υψηλό κόστος κατασκευής αυξάνει την ανάγκη για αμυντική θωράκιση**

Το υψηλό κόστος κατασκευής σχετίζεται με την αμυντική θωράκιση (το ένα είναι απόρροια του άλλου). Επίσης το υψηλό κόστος κατασκευής απαιτεί αύξηση του αναμενόμενου χρόνου ζωής ενός οργάνου (γιατί;) γεγονός το οποίο επίσης απαιτεί αυξημένη αμυντική θωράκιση (γιατί;)

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**
Μήπως τελικά **η επιβίωση και η ανάπτυξη αντικρούονται;**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** **Συνεργασία** όλων των λειτουργικών υπομονάδων



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- Ένας από τους στόχους της βιοτεχνολογίας είναι η **ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης**

Η αντιμετώπιση ενός παράγοντα καταπόνησης απαιτεί τη **συντονισμένη συνεργασία πολλών διαφορετικών γονιδίων** των οποίων η έκφραση ρυθμίζεται από διαφορετικούς εξωτερικούς παράγοντες, μέσω των κατάλληλων κάθε φορά κυτταρικών αισθητήρων

Επομένως δεν πρέπει να φαίνεται παράδοξο το γεγονός ότι η υπερέκφραση **ενός** συγκεκριμένου και **μόνο γονιδίου δεν οδηγεί** απαραίτητα και σε αυξημένη ανθεκτικότητα έναντι των παραγόντων καταπόνησης

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- Ένας από τους στόχους της βιοτεχνολογίας είναι η **ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης**

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αποκρυπτογράφηση των πολύπλοκων μονοπατιών αλληλεπίδρασης φυτικού οργανισμού και περιβάλλοντος σε μοριακό επίπεδο αλλά και την ανάπτυξη επιτυχημένων βιοτεχνολογικών εφαρμογών παρουσιάζει η μελέτη των **μεταγραφικών παραγόντων**

Οι ρυθμιστικές αυτές πρωτεΐνες συμμετέχουν στη **διαβίβαση σήματος** από τους αισθητήρες των ερεθισμάτων και συντονίζουν την έκφραση ομάδων γονιδίων των οποίων τα προϊόντα σχετίζονται με τον **εγκλιματισμό** έναντι αντίστοιχων παραγόντων καταπόνησης

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- Ένας από τους στόχους της βιοτεχνολογίας είναι η **ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης**

Η ύπαρξη συντηρημένων χαρακτήρων σε γονίδια τα οποία επάγονται σε συνθήκες καταπόνησης δίδει τη δυνατότητα βελτίωσης της ανθεκτικότητας των φυτών με μεθόδους ανασυνδυασμένου DNA

Με κατάλληλους γενετικούς χειρισμούς των **ρυθμιστικών στοιχείων** του γονιδιώματος και μεταφορά γονιδίων μεταξύ - ακόμα και εντελώς διαφορετικών μεταξύ τους- φυτών είναι δυνατή η απόκτηση ποικιλιών με **επιθυμητά χαρακτηριστικά**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- Ένας από τους στόχους της βιοτεχνολογίας είναι η **ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης**

Σε πολλές περιπτώσεις η έκφραση τέτοιου είδους γονιδίων στα φυτικά κύτταρα **προσέδωσε αυξημένη ανθεκτικότητα** σε αυτά. Ωστόσο σε άλλες περιπτώσεις **δεν επηρέασε την ανθεκτικότητα** των φυτών έναντι του παράγοντα καταπόνησης

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο **επιμερισμός των πόρων** προς την προστασία, μέσω ενός νέου γονιδίου, απαιτεί ποσά ενέργειας τα οποία αναγκαστικά θα οδηγήσουν σε **πτώση της παραγωγικότητας**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- **Ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης - Παραδείγματα**

Η **υπερέκφραση της πρωτεΐνης DREB1/CBF** στο *Arabidopsis* οδήγησε στην έκφραση **40 και πλέον γονιδίων** των οποίων η έκφραση επάγεται σε συνθήκες καταπόνησης, με αποτέλεσμα την **απόκτηση πολλαπλής ανθεκτικότητας** έναντι υδατικής καταπόνησης, υψηλής αλατότητας και παγετού

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- **Ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης - Παραδείγματα**

Η μεταφορά των **ρυθμιστικών γονιδίων HDG11** (στον καπνό) **και HRD** (στο ρύζι) οδήγησαν στη δημιουργία φυτών με **αυξημένη ανθεκτικότητα στην ξηρασία** μέσω αλλαγών στην αρχιτεκτονική του ριζικού συστήματος, μείωσης της στοματικής πυκνότητας, σύνθεσης ABA και προλίνης, σύνθεσης μεταφορέων ιόντων και τροποποίησης της ευαισθησίας των στομάτων στο ABA

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κινήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- **Ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης - Παραδείγματα**

Η **υπερέκφραση των υπομονάδων NF-ΥΑ και NF-ΥΒ του τριμερούς συμπλόκου NF-Υ (Nuclear Factor-Υ)** στο *Arabidopsis* και στον αραβόσιτο είχε ως αποτέλεσμα **αυξημένη ανθεκτικότητα** στην ξηρασία και υψηλότερη φωτοσύνθεση και παραγωγικότητα υπό συνθήκες καταπόνησης

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

- **Ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών έναντι παραγόντων καταπόνησης - Παραδείγματα**

Η εισαγωγή στο σιτάρι του **γονιδίου HVA1** το οποίο κωδικοποιεί μια **πρωτεΐνη της ομάδας 3 των LEA**, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φυτών με **αυξημένη παραγωγικότητα** και **υψηλότερη WUE** υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία** Το κυνήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

μεταγραφικός παράγοντας	οικογένεια μεταγραφικού παράγοντα	φυτό	καταπόνηση στόχος	επίδραση στη φωτοσύνθεση υπό καταπόνηση
NtTsi1	AP2/EREBP	καπνός	αλατότητα	περιορισμός απώλειας χλωροφύλλης
AtCBF1	AP2/EREBP	τομάτα	χαμηλή θερμοκρασία	χωρίς επίδραση στη φωτοχημική απόδοση του PSII, συσσώρευση χλωροφύλλης
AtCBF1	AP2/EREBP	ρύζι	χαμηλή θερμοκρασία	χωρίς επίδραση στη φωτοχημική απόδοση του PSII
SHN	AP2/EREBP	<i>Arabidopsis</i>	ξηρασία	μείωση πυκνότητας στομάτων
BNCBF5 και BNCBF17	AP2/EREBP	<i>Brassica napus</i>	παγετός	αύξηση αφομοίωσης CO ₂ , αύξηση φωτοχημικής απόδοσης του PSII
AtCBF3	AP2/EREBP	ρύζι	ξηρασία/ αλατότητα/ χαμηλή θερμοκρασία	αύξηση φωτοχημικής απόδοσης του PSII
CaPF1	AP2/EREBP	πέυκο	οξειδωτική καταπόνηση	περιορισμός απώλειας χλωροφύλλης
TaERF1	AP2/EREBP	καπνός	αλατότητα	συσσώρευση χλωροφύλλης
JcERF	AP2/EREBP	<i>Arabidopsis</i>	αλατότητα/ παγετός	συσσώρευση χλωροφύλλης
HvCBF4	AP2/EREBP	ρύζι	ξηρασία/ αλατότητα/ χαμηλή θερμοκρασία	αύξηση φωτοχημικής απόδοσης του PSII

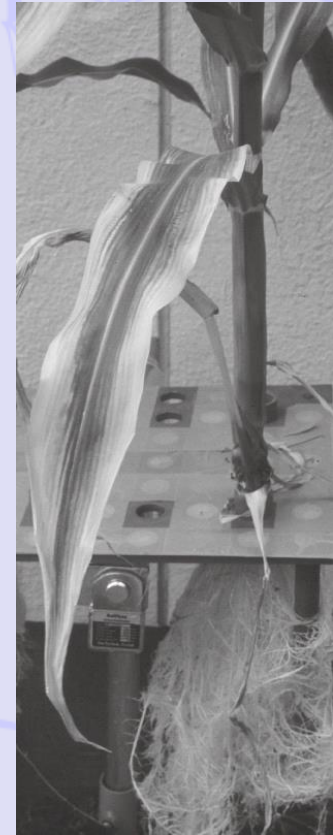
Απόκτηση ανθεκτικότητας διαγονιδιακών φυτών σε συγκεκριμένους παράγοντες καταπόνησης μέσω μόνιμης (υπερ)έκφρασης μεταγραφικών παραγόντων

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **ξηρασία**

Το κινήγι των **γονιδίων που ελέγχουν τους μηχανισμούς...**

μεταγραφικός παράγοντας	οικογένεια μεταγραφικού παράγοντα	φυτό	καταπόνηση στόχος	επίδραση στη φωτοσύνθεση υπό καταπόνηση
NtOPBP1	AP2/EREBP	καπνός	αλατότητα	περιορισμός απώλειας χλωροφύλλης
AtHRD	AP2/EREBP	ρύζι	ξηρασία/ αλατότητα	μείωση αγωγιμότητας των στομάτων, αύξηση αφομοίωσης CO ₂ και φωτοσυνθετικής απόδοσης
GhDREB1	AP2/EREBP	καπνός	χαμηλή θερμοκρασία	αύξηση αφομοίωσης CO ₂ , αύξηση φωτοχημικής απόδοσης του PSII
AtABP9	bZIP	<i>Arabidopsis</i>	ξηρασία/ θερμική καταπόνηση	αύξηση ικανότητας αφομοίωσης CO ₂
SNAC1	NAC	ρύζι	ξηρασία/ αλατότητα	διατήρηση αφομοίωσης CO ₂ , μείωση απώλειας νερού
AtNFXL1	NF-X1	<i>Arabidopsis</i>	αλατότητα	αύξηση φωτοχημικής απόδοσης του PSII
AtNF-YB1	NF-Y (HAP)	<i>Arabidopsis</i>	ξηρασία	αύξηση δυναμικού νερού, αύξηση αφομοίωσης CO ₂
ZmNF-YB2	NF-Y (HAP)	αραβόσιτος	ξηρασία	συσσώρευση χλωροφύλλης, αύξηση αφομοίωσης CO ₂ , αύξηση αγωγιμότητας των στομάτων
GmSCOF-1	C ₂ H ₂ zinc finger	καπνός	χαμηλή θερμοκρασία	ταχύτερη ανάκαμψη επιπέδων χλωροφύλλης
OsMYB4	MYB	<i>Arabidopsis</i>	χαμηλή θερμοκρασία/πα- γετός	αύξηση σταθερότητας PSII, ανθεκτικότητα στη φωτοπαρεμπόδιση

Απόκτηση ανθεκτικότητας διαγονιδιακών φυτών σε συγκεκριμένους παράγοντες καταπόνησης μέσω μόνιμης (υπερ)έκφρασης μεταγραφικών παραγόντων



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Ένα **σοβαρό** και **επιδεινούμενο** πρόβλημα για τη γεωργία

- **Τι είναι;**

Η αλατότητα αναφέρεται στην ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων (κατά κανόνα Na^+ και Cl^-), κυρίως στο περιβάλλον της ρίζας.

- **Έκταση**

Ως παράγων καταπόνησης παρουσιάζεται σε εκτεταμένες περιοχές του πλανήτη (περίπου 10^9 ha) στις οποίες για διαφορετικούς λόγους εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος.

Υπολογίζεται ότι ποσοστό 20% των καλλιεργουμένων εκτάσεων του πλανήτη εμφανίζουν υψηλή αλατότητα.

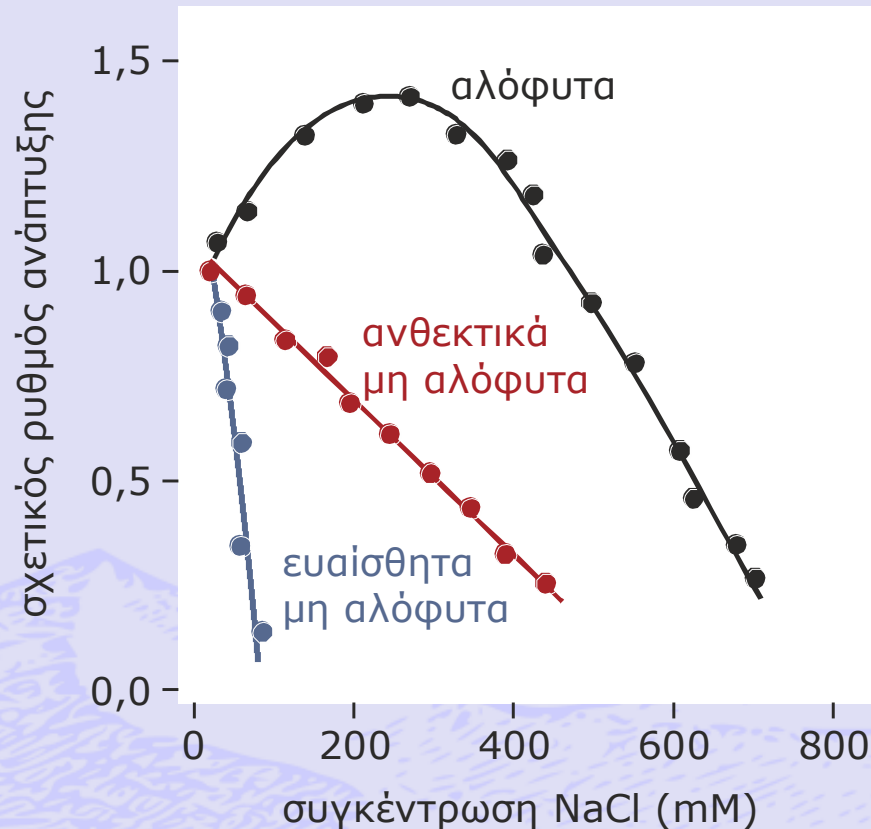
Approximately 7% of the world's land including agricultural lands is affected by either salinity or sodium toxicity. Production in over 30% of irrigated crops and 7% of dryland agriculture worldwide is limited by salinity stress. Crop irrigation is increasing soil salinity, owing to trace amounts of salt in irrigation waters. Plant plasma membrane transporters

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Ένα **σοβαρό** και **επιδεινούμενο** πρόβλημα για τη γεωργία

Παράμετρος	Θαλασσινό νερό	Νερό άρδευσης
Συγκέντρωση ιόντων (mM)		
Na ⁺	457	<2.0
K ⁺	9.7	<1.0
Ca ²⁺	10	0.5-2.5
Mg ²⁺	56	0.25-1.0
Cl ⁻	536	<2.0
SO ₄ ²⁻	28	0.25-2.5
HCO ₃ ⁻	2.3	<1.5
Οσμωτικό δυναμικό (Μρα)	-2.4	-0.039
Ολική συγκέντρωση ιόντων (mg L⁻¹ ή ppm)	32 000	500
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS m⁻¹)	44-55	<2.0

Χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού
και του νερού άρδευσης καλής ποιότητας

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Τα φυτά παρουσιάζουν **διαβάθμιση** στην αντοχή τους



Η εξάρτηση της ταχύτητας ανάπτυξης από τη συγκέντρωση αλατιού στο περιβάλλον μέσον, για τρεις κατηγορίες φυτών

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**

Τα φυτά παρουσιάζουν **διαβάθμιση** στην αντοχή τους

Καλλιεργούμενο φυτό	Πτώση της παραγωγικότητας (%) για αύξηση της αλατότητας κατά 1 dS m ⁻¹	Κατωφλική αλατότητα ως EC _e (dS m ⁻¹)
<i>βερυκοκιά</i>	23	1.6
<i>φασόλι</i>	18.9	1.0
<i>καρότα</i>	14.1	1.0
<i>πορτοκαλιά</i>	15.9	1.7
<i>μηδική</i>	7.3	2.0
<i>αγγούρι</i>	13.0	2.5
<i>Τομάτα</i>	9.9	2.5
<i>πατζάρι</i>	9.0	4.0
<i>σόγια</i>	20.0	5.0
<i>σιτάρι</i>	7.1	6.0
<i>βαμβάκι</i>	5.2	7.7
<i>κριθάρι</i>	5.0	8.0

Η συμπεριφορά ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών έναντι της αλατότητας με βάση δύο καθοριστικές παραμέτρους

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**

Η **Φυσιολογία** της αλατότητας

- **Επιπτώσεις της υψηλής αλατότητας**

Αλλοίωση των χαρακτηριστικών των εδαφών όπως το πορώδες με συνέπειες στον αερισμό και την αποστράγγισή τους

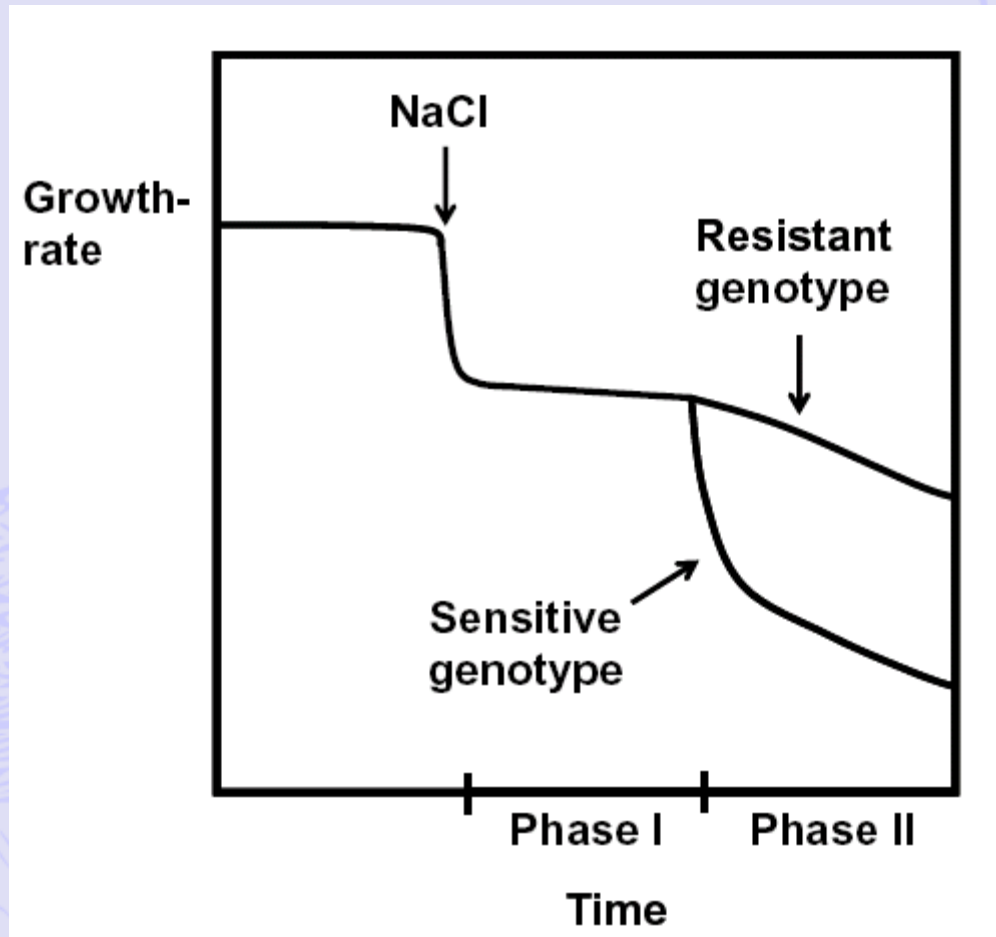
Μείωση του δυναμικού νερού του εδάφους με αποτέλεσμα την ωσμωτική καταπόνηση των φυτών

Φυτοτοξικότητα λόγω της παρουσίας ιόντων Na^+ και Cl^- λόγω παρεμπόδισης της εκλεκτικότητας των πλασματικών μεμβρανών και της λειτουργίας των πρωτεϊνικών μεταφορέων και ενζύμων

Η συσσώρευση ιόντων Na^+ και Cl^- εντός των κυττάρων διαταράσσει σταδιακά την κυτταρική ιοντική ομοιόσταση δηλαδή την κατανομή των ιόντων μεταξύ αποπλαστικού χώρου, κυτταροπλάσματος και χυμοτοπίου καθώς επίσης και την ηλεκτροχημική πολικότητα των πλασματικών μεμβρανών.

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Το **διφασικό μοντέλο** της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά

- Οι δύο φάσεις της καταπόνησης από αλατότητα



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Το **διφασικό μοντέλο** της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά

- **Πρώτη φάση - Περιορισμένη ανάπτυξη**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Το **διφασικό μοντέλο** της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά

- **Πρώτη φάση - Περιορισμένη ανάπτυξη**

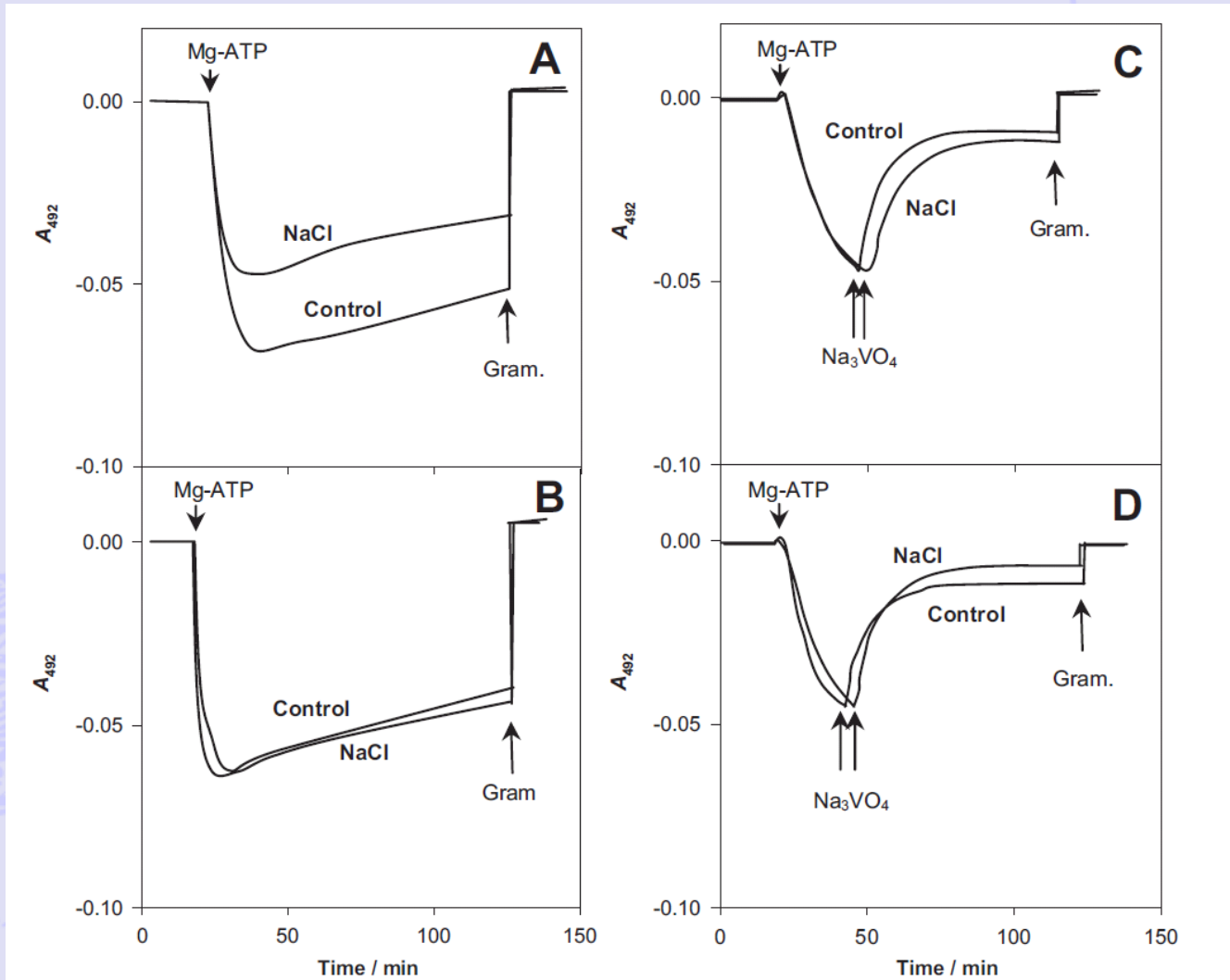
$$dV/dt = m \times (\Psi_p - Y)$$

όπου dV/dt = ρυθμός αύξησης,
 m = εκτασιμότητα κυτταρικού τοιχώματος,
 Ψ_p = δυναμικό πίεσης σπαργής,
 Y = κατωφλική πίεση σπαργής και
 $\Psi_p - Y$ = διαφορά πίεσης σπαργής αποτελεσματική για την
αύξηση

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**

Το **διφασικό μοντέλο** της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά

- **Δεύτερη φάση – Αφυδάτωση και τοξικότητα Na**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Το **διφασικό μοντέλο** της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά

- **Δεύτερη φάση – Αφυδάτωση και τοξικότητα Na**

Απώλειες νερού λόγω παρεμπόδισης των στοματικών κινήσεων. Η περατότητα των μεμβρανών στο Na είναι πολύ χαμηλότερη εκείνης του K

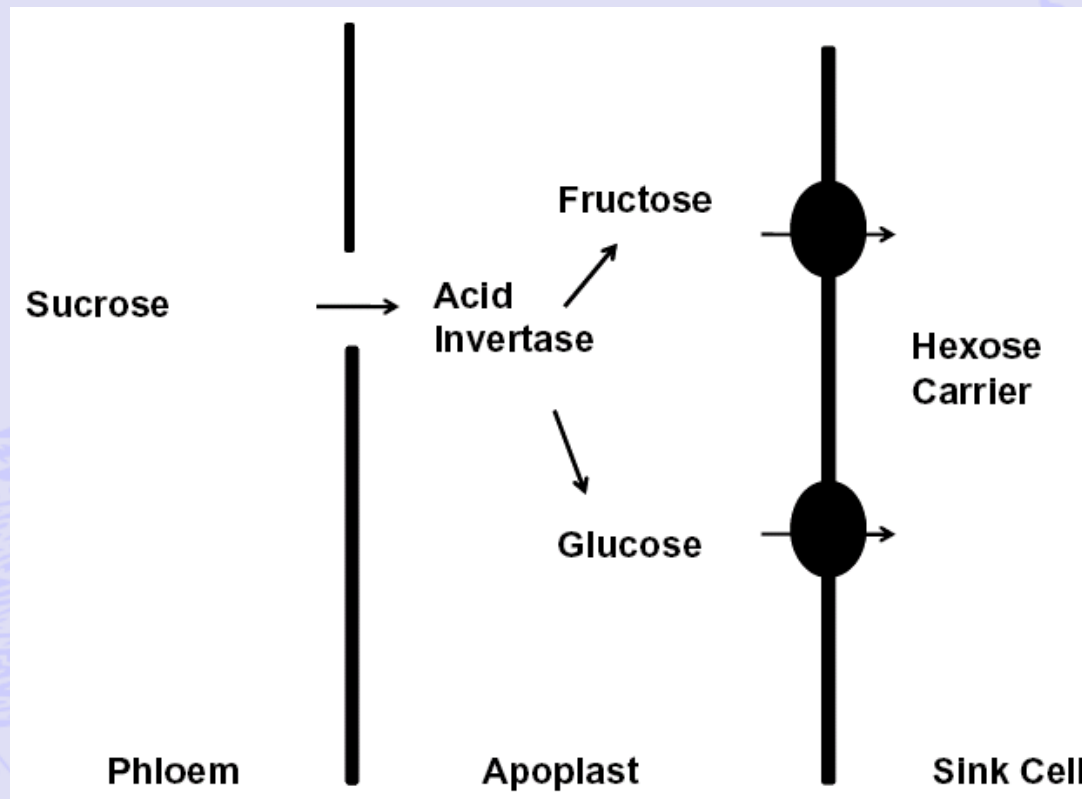
Διαταραχή του μεταβολισμού λόγω παρεμπόδισης της λειτουργίας των ενζύμων

Τα ιόντα Na εισέρχονται εύκολα στο χλωροπλαστικό στρώμα προκαλώντας αλλοίωση του πρωτεώματος και διαταραχή στην δομή και τη λειτουργικότητα των μεμβρανών των θυλακοειδών

Η αλατότητα προκαλεί παρεμπόδιση της δραστηριότητας της όξινης ιμπερτάσης (η οποία λειτουργεί κατά την αποπλαστική μεταφορά της σακχαρόζης στα αγρωστώδη) και μειωμένη εισροή εξοζών προς τα κύτταρα αποδέκτες

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Το **διφασικό μοντέλο** της επίδρασης της αλατότητας στα φυτά

- Δεύτερη φάση – Αφυδάτωση και τοξικότητα Na

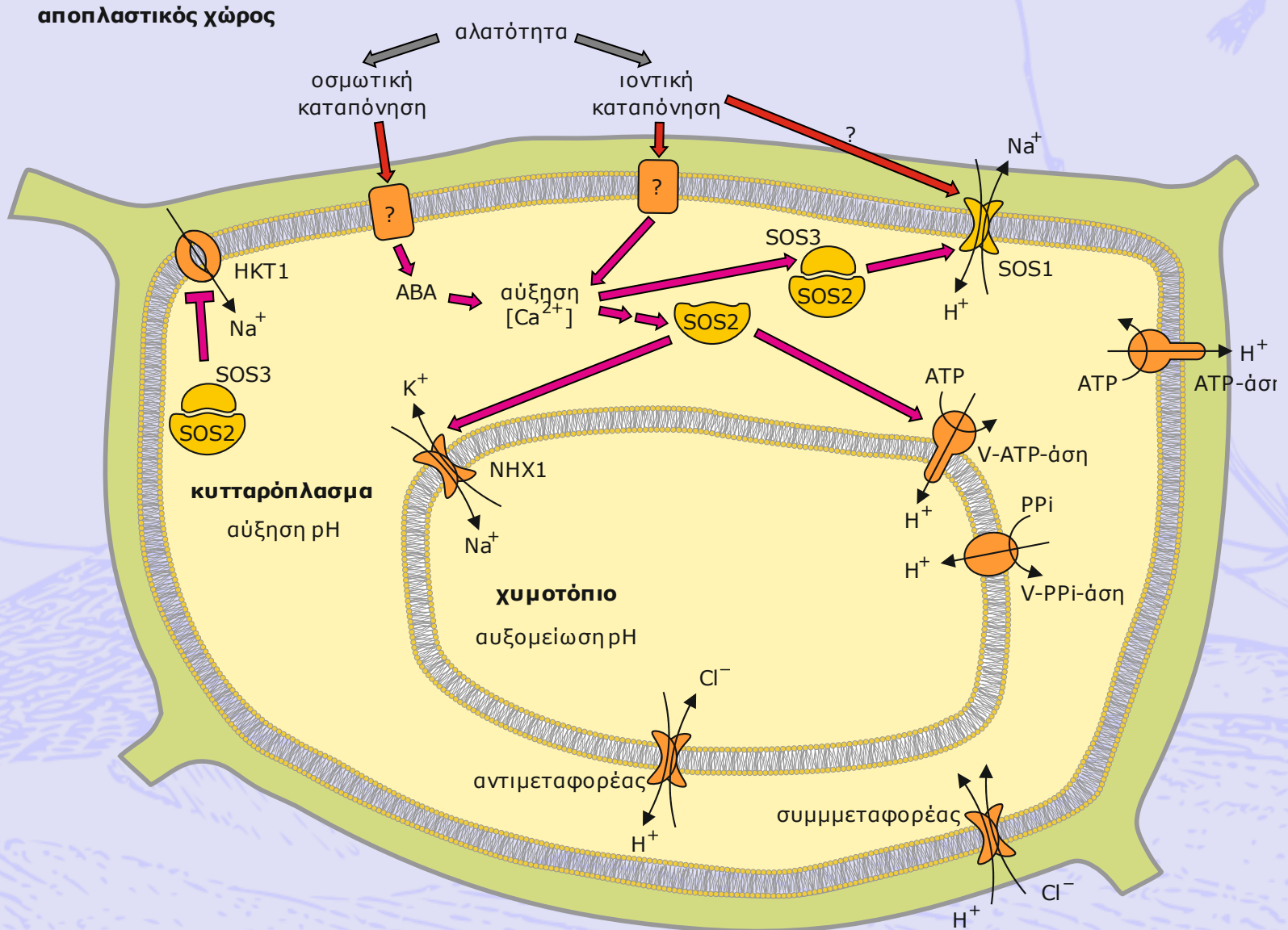


Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι επιπτώσεις στη **φωτοσύνθεση**

Οσμωτικό δυναμικό υποστρώματος ανάπτυξης (MPa)	Επιφάνεια φύλλων (dm ² ανά φυτό)	Φωτοσυνθετική δραστηριότητα (mg CO ₂ dm ⁻² ημέρα ⁻¹)	Αναπνευστική δραστηριότητα (mg CO ₂ dm ⁻² ημέρα ⁻¹)
-0.04	30	46	11
-0.64	24	29	16
-1.24	18	23	19

Η επίδραση της αλατότητας εκφρασμένης ως οσμωτικό δυναμικό στην ανάπτυξη του βαμβακιού

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα** Αντίληψη, μεταγωγή σήματος και μηχανισμοί εγκλιματισμού



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**

- **Η στρατηγική της αποφυγής**

Τα φυτά τα οποία έχουν επιλέξει τη στρατηγική αυτή (**ρυθμιστές αλατότητας**), δεν επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων. Η στρατηγική αυτή παρουσιάζεται με τρεις παραλλαγές:



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**

- **Η στρατηγική της αποφυγής**

Τα φυτά τα οποία έχουν επιλέξει τη στρατηγική αυτή (**ρυθμιστές αλατότητας**), δεν επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων. Η στρατηγική αυτή παρουσιάζεται με τρεις παραλλαγές:

Ρύθμιση της αλατότητας με **ενεργό αποκλεισμό**

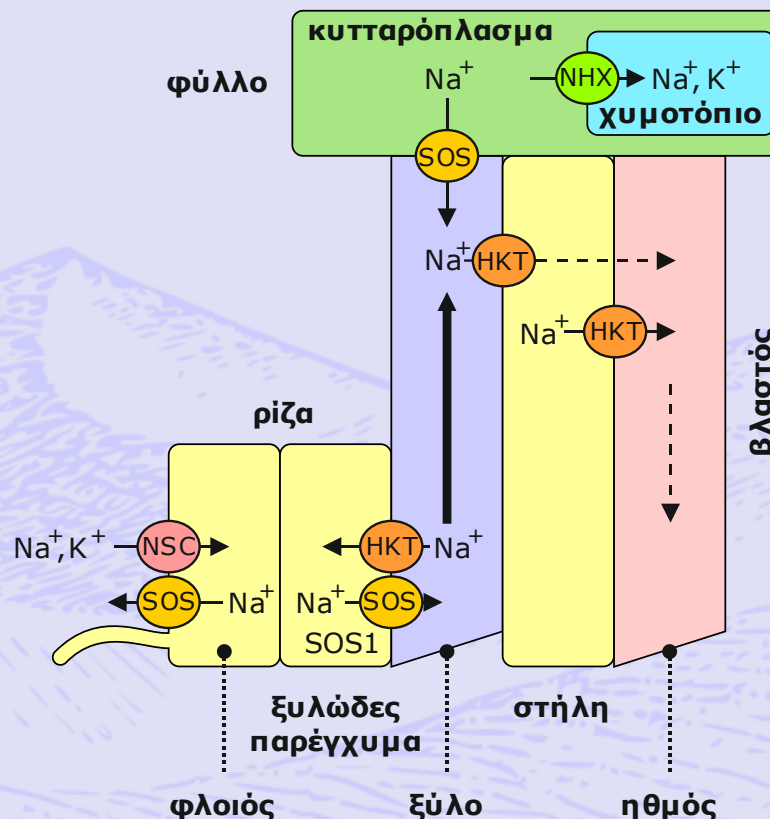
Ρύθμιση της αλατότητας με **απομάκρυνση από εξειδικευμένα κύτταρα**

Ρύθμιση της αλατότητας **με ρύθμιση κατανομής**

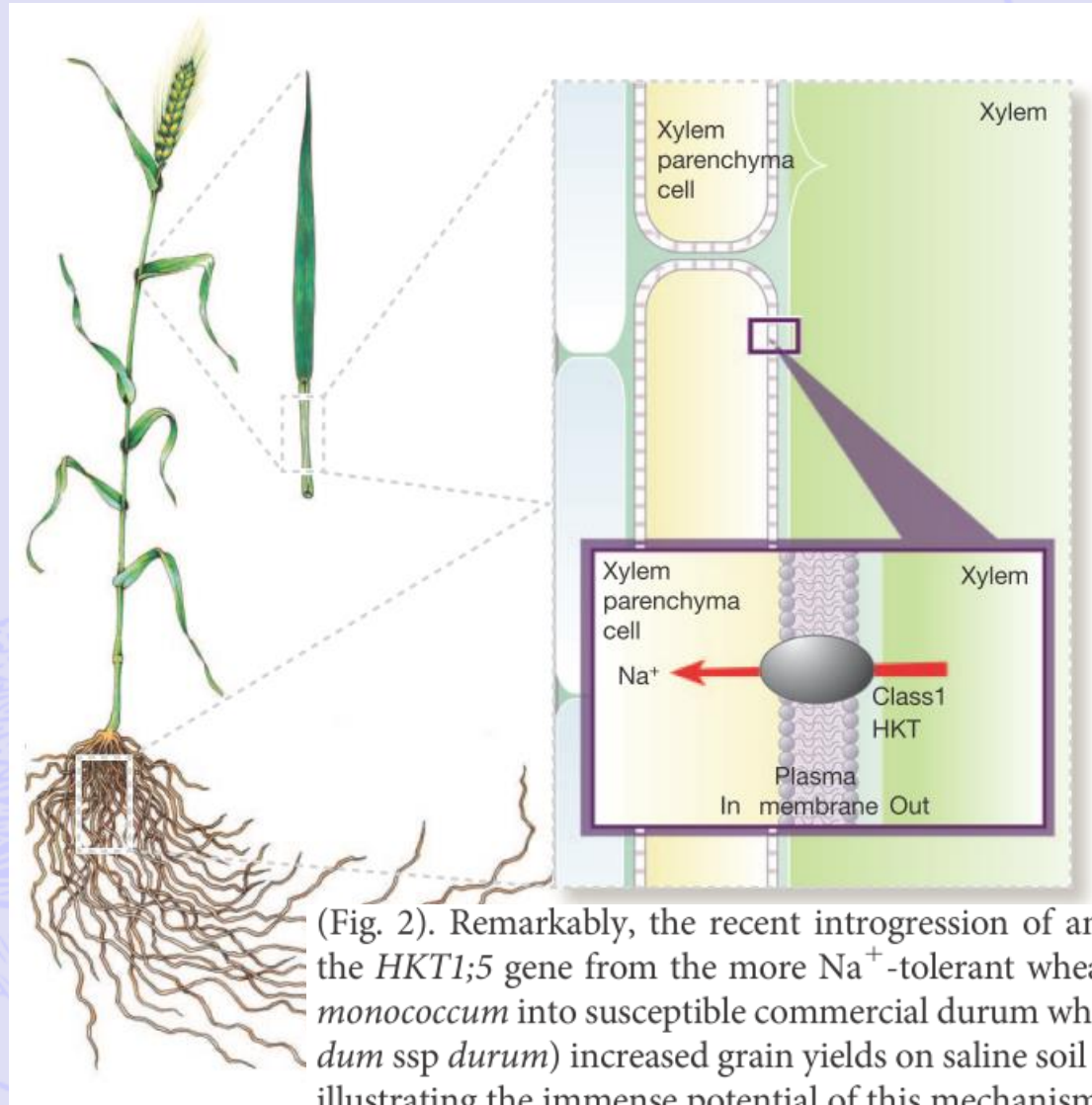
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**

- **Ρύθμιση με αποκλεισμό και ρύθμιση κατανομής**

Σε αρκετά είδη, τα ιόντα Na^+ υπόκεινται σε ανακυκλοφορία μεταξύ υπόγειου και υπέργειου μέρους. Επιτυγχάνεται έτσι ο δυναμικός έλεγχος της κατανομής των ιόντων σε επίπεδο φυτού.



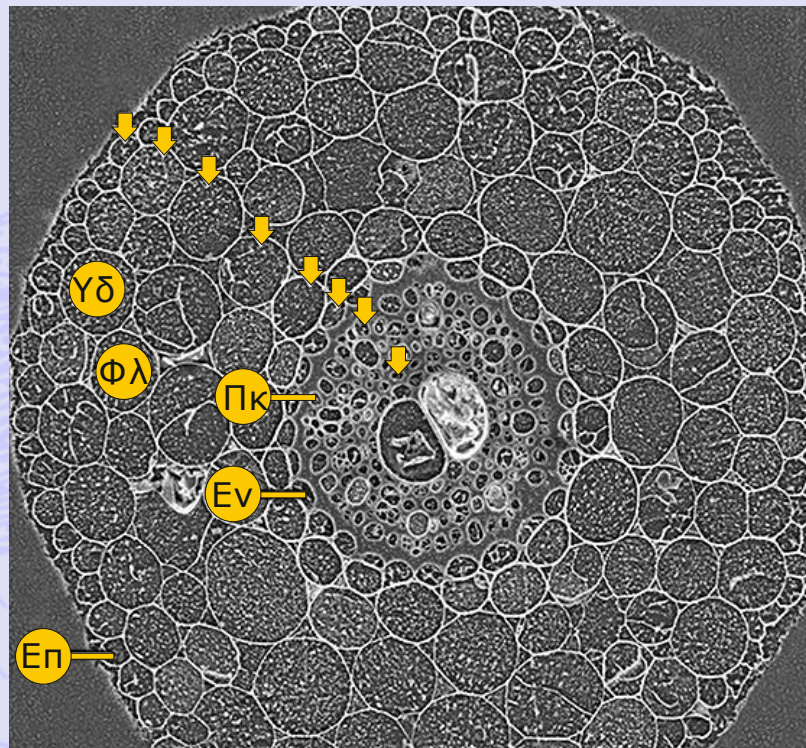
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**



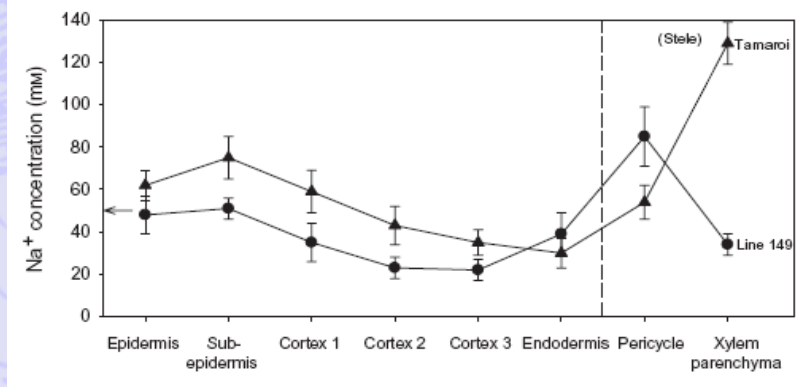
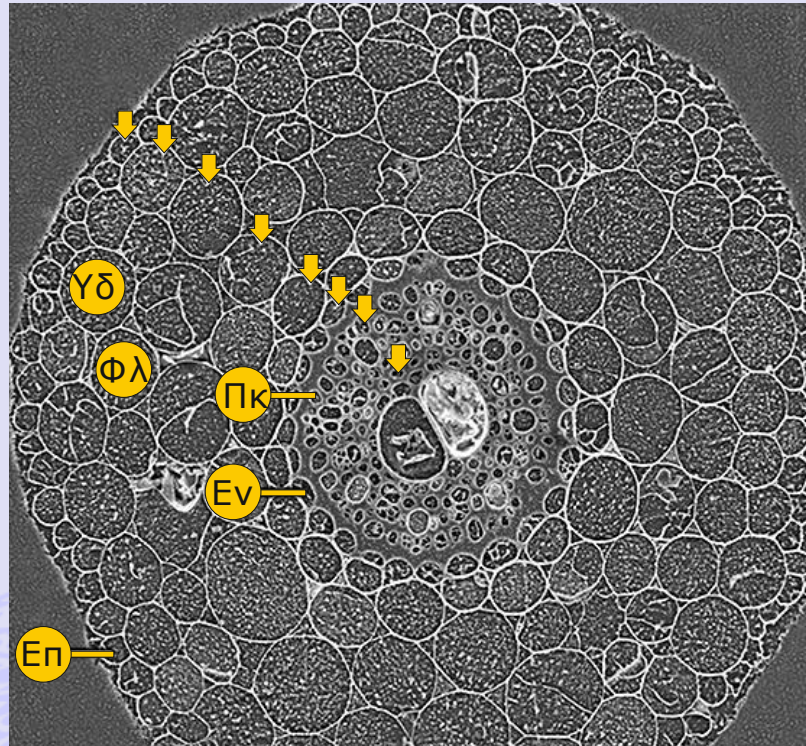
Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**

- **Ρύθμιση της αλατότητας στην κατά ακτίνα κίνηση**

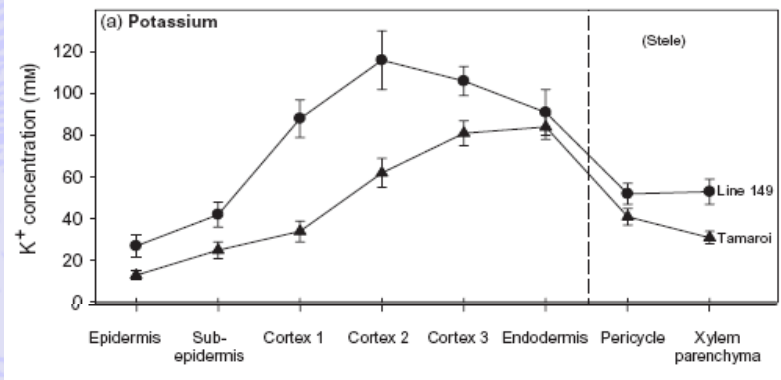
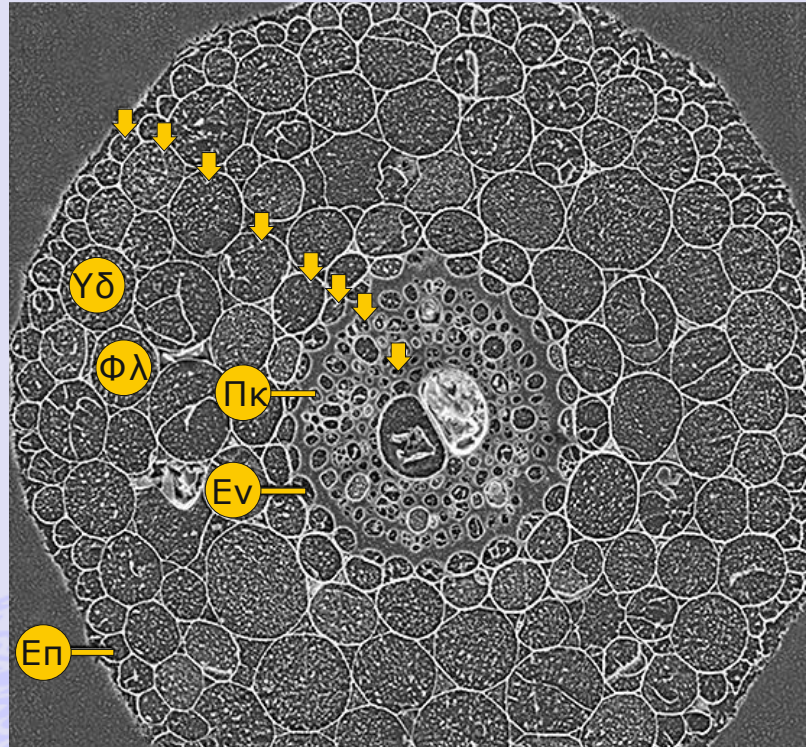
Ορισμένα αγρωστωδή όπως το σιτάρι (*Triticum turgidum* spp. *durum*) επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο περιορίζεται στα χυμοτόπια σε συγκεκριμένους ιστούς της ρίζας



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**



Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**

- **Συσσωρευτές άλατος**

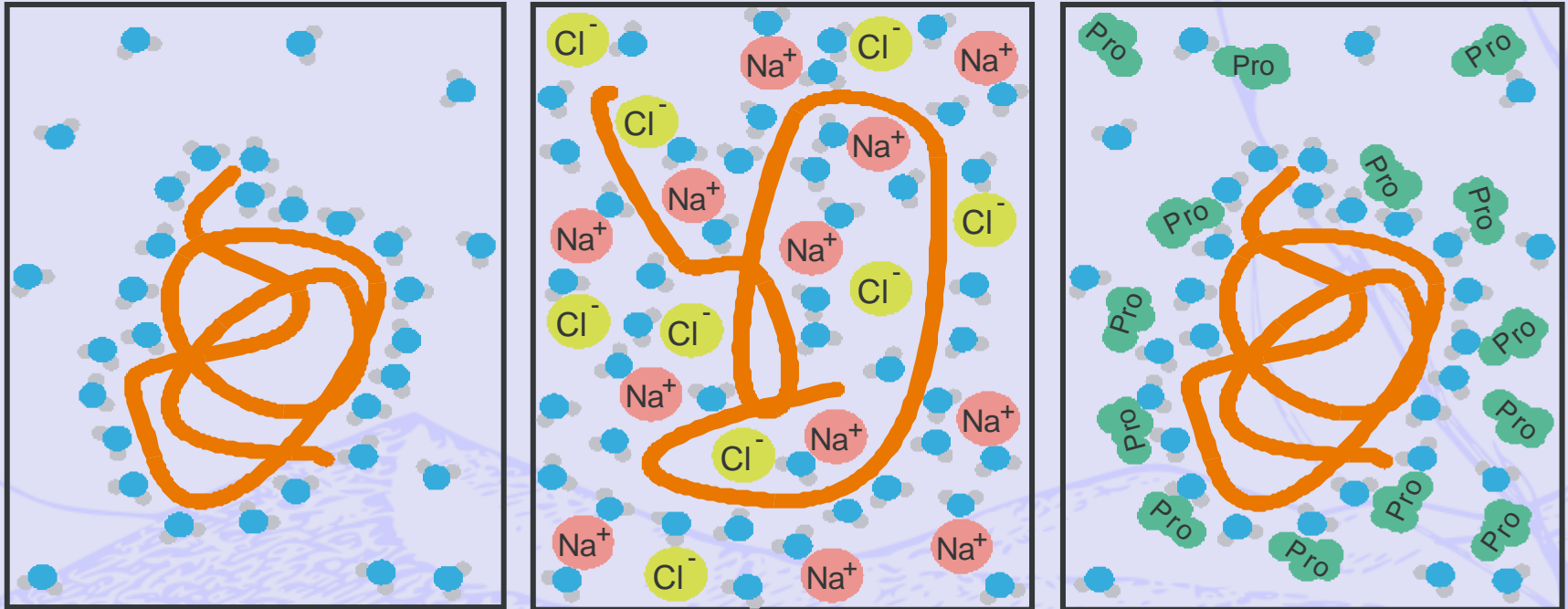
Ο μεταβολισμός των φυτών αυτών (**συσσωρευτές άλατος**) είναι κατάλληλα προσαρμοσμένος ώστε να μη παρουσιάζονται δυσλειτουργίες παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων.

Τα ιόντα συσσωρεύονται σε οργανικές συγκεντρώσεις σε κεντρικά όργανα ή σε ειδικά επίπεδα. Το δυναμικό εξισορροπείται με την έκκριση ή την αποβολή ιόντων, ώστε να μην αφυδατωθεί το φυτό. Η σύνθεση συμβαίνει με την



ηλά
ροστε
η

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**



Παρά το ότι οι φυτοβλαστοί έχουν την ικανότητα να ανθεκτούν σε υψηλά επίπεδα αλατότητας, ενυδάτωσης λόγω διασπαράξης της πρωτεΐνης και μείωσης ή απώλεια της λειτουργικής διαμόρφωσης

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα**
 Οι μηχανισμοί εντάσσονται σε **δύο στρατηγικές**

Ιόν ή μόριο	Συγκέντρωση στο χυμοτόπιο (mM)	Συγκέντρωση στο κυτταρόπλασμα (mM)
Βεταΐνη της γλυκίνης	<1	300
Οργανικά οξέα	100	60
Cl ⁻	<150	<50
Na ⁺	200	<50
K ⁺	150	120
σύνολο	~600	~580
λόγος $[Na^+]_{vac}/[Na^+]_{cyt}$	~4,0	
λόγος $[Na^+]_{cyt}/[K^+]_{cyt}$	~0,4	
λόγος $[Na^+]_{vac}/[K^+]_{vac}$	~1,3	

Ενδοκυτταρική κατανομή ορισμένων ιόντων ή οργανικών μορίων σε κύτταρα μεσοφύλλου σπανακιού σε συνθήκες αλατότητας στο εξωτερικό περιβάλλον

Βελτίωση με σκοπό την αύξηση της αντοχής στην **αλατότητα** Αλλαγές στο **πρωτέωμα**

Αφορά σε διευθετήσεις που οδηγούν σε αλλαγή της δράσης πρωτεϊνών αλλά και *de novo* σύνθεση νέων πρωτεϊνικών μορίων απαραίτητων για τον εγκλιματισμό όπως π.χ. για τη σύνθεση συμβατών οσμωλυτών

Οι οσμωτίνες, πρωτεΐνες με MB 24-50 kDa συσσωρεύονται υπό συνθήκες αλατότητας. Ανήκουν στην ευρύτερη οικογένεια των πρωτεϊνών παθογένεσης

Οι υδρόφιλες πρωτεΐνες LEA: Ορισμένες από αυτές, οι οποίες ονομάζονται αφυδατάσες, φαίνεται πως λειτουργούν ως συνοδές πρωτεΐνες σταθεροποιώντας κυστίδια, πρωτεΐνες και μεμβρανικές δομές υπό συνθήκες αφυδάτωσης, οσμωτικής καταπόνησης και ψύχους