



ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

- **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 στις οποίες για διαφορετικούς λόγους εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος.

ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

- **Περιοχές με εγγενώς υψηλή αλατότητα**

Περιοχές οι οποίες συνήθως διαβρέχονται από θαλασσινό νερό (αλίπεδα ή υφάλμυρα έλη).

Ερημικές περιοχές στα εδάφη των οποίων συσσωρεύονται άλατα επειδή ο ρυθμός εξατμισμού του νερού παρουσιάζεται κατά πολύ υψηλότερος έναντι του ρυθμού βροχόπτωσης.

Υπερβολικά αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις στις οποίες παρατηρείται συσσώρευση ιόντων στο έδαφος λόγω έντονης εξατμισοδιαπνοής ή γεωργικές εκτάσεις οι οποίες αρδεύονται με κακής ποιότητας νερό.

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

ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

- **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

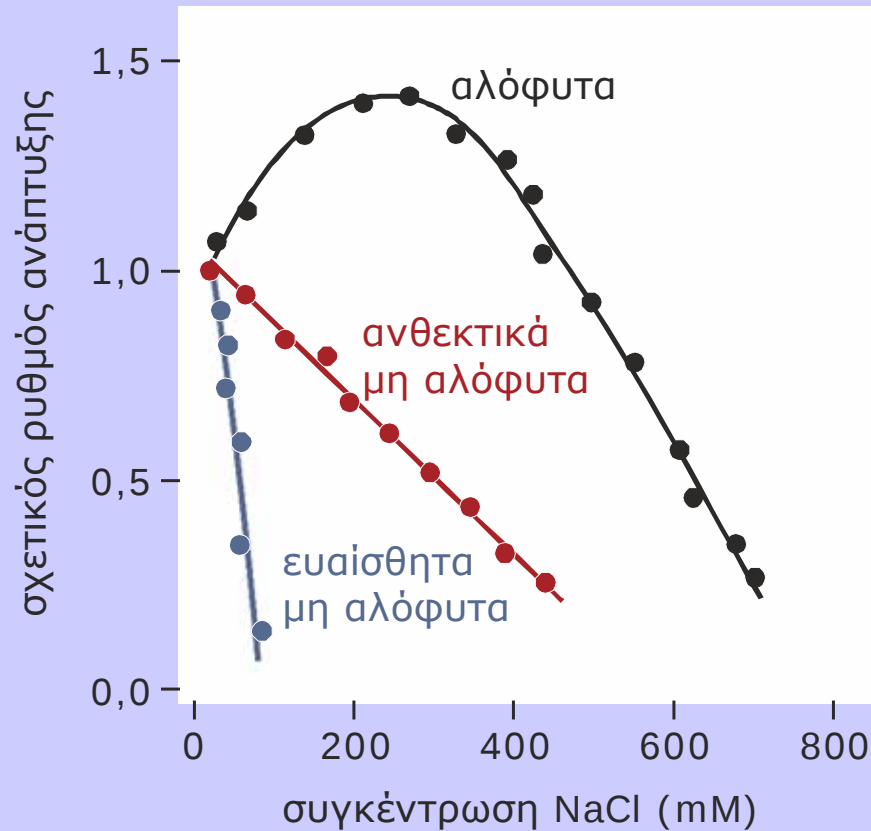
Η συσσώρευση ιόντων Na^+ και Cl^- εντός των κυττάρων διαταράσσει σταδιακά την κυτταρική ιοντική ομοιόσταση δηλαδή την κατανομή των ιόντων μεταξύ αποπλαστικού χώρου, κυτταροπλάσματος και χυμοτοπίου καθώς επίσης και την ηλεκτροχημική πολικότητα των πλασματικών μεμβρανών.

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

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

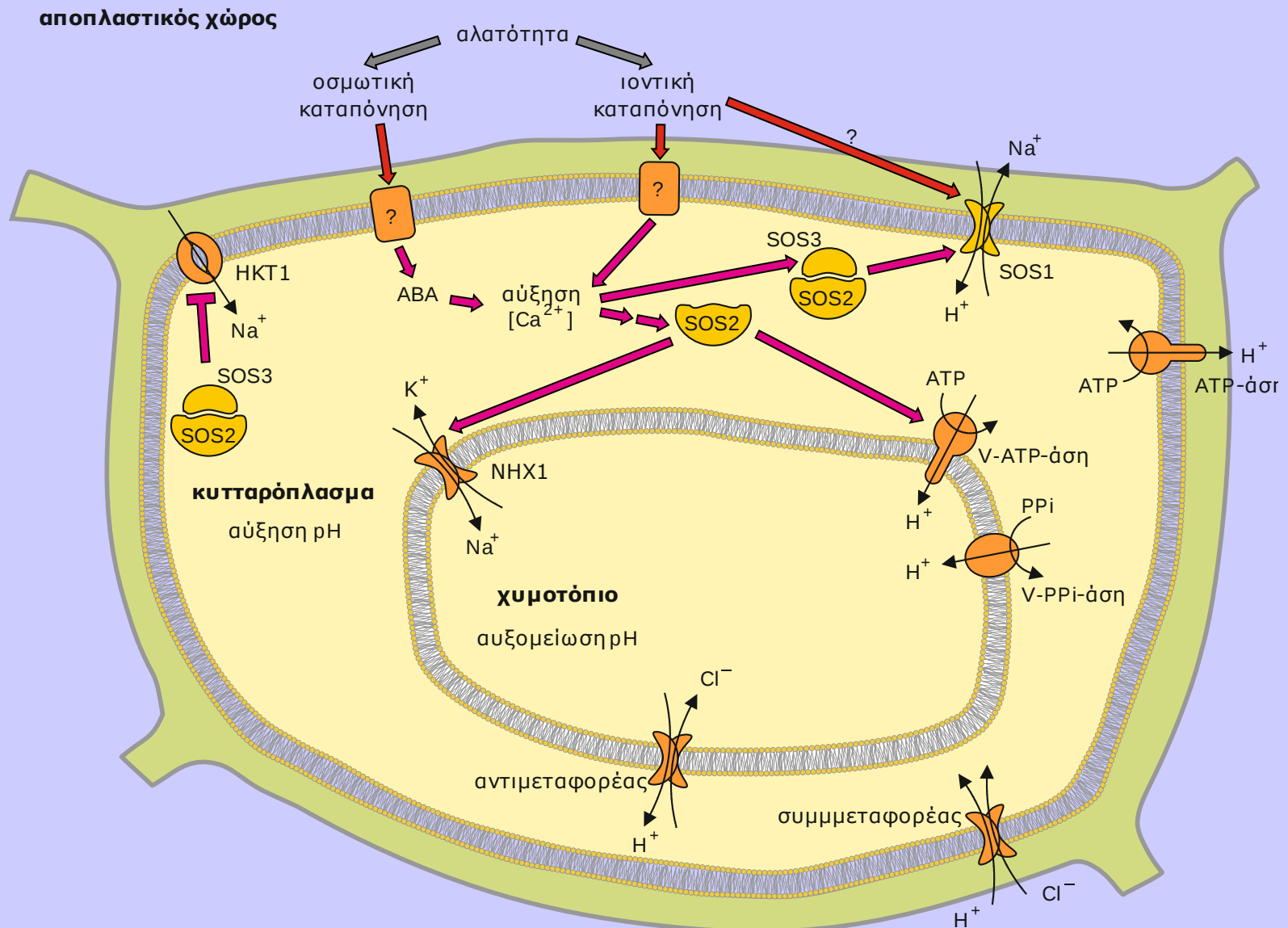
Οσμωτικό δυναμικό υποστρώματος ανάπτυξης (MPa)	Επιφάνεια φύλλων (dm² ανά φυτό)	Φωτοσυνθετική δραστηριότητα (mg CO₂ dm⁻² ημέρα⁻¹)	Αναπνευστική δραστηριότητα (mg CO₂ dm⁻² ημέρα⁻¹)
-0.04	30	46	11
-0.64	24	29	16
-1.24	18	23	19

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



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

ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ



ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **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:

ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **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**

ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Ρύθμιση της αλατότητας με ενεργό αποκλεισμό**

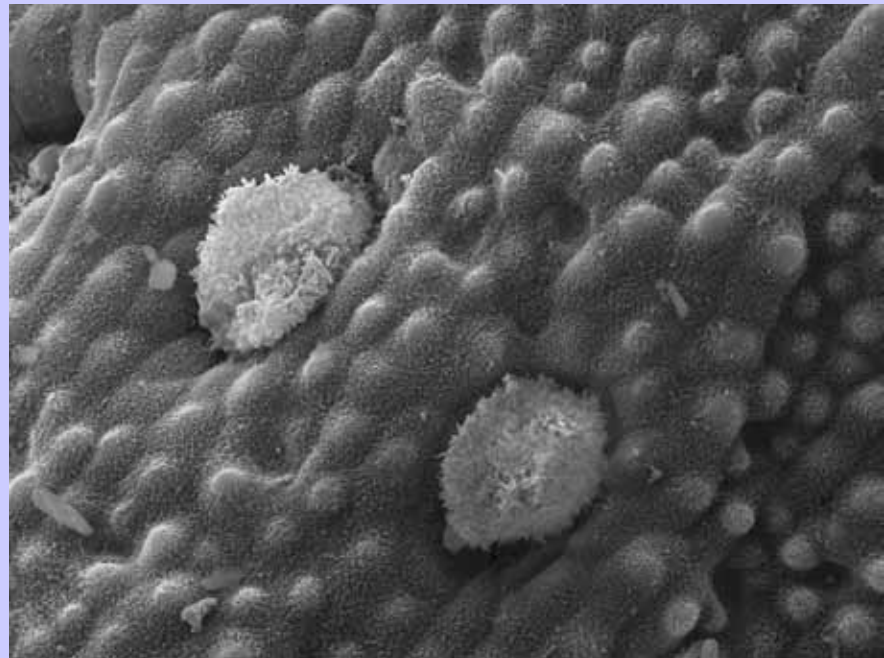
Ορισμένα φυτικά είδη δεν απορροφούν το αλάτι, αλλά το αποκλείουν ενεργητικά στο εξωτερικό περιβάλλον των ριζών (π.χ. το είδος *Rhizophora mangle*).



ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Ρύθμιση της αλατότητας με απομάκρυνση**

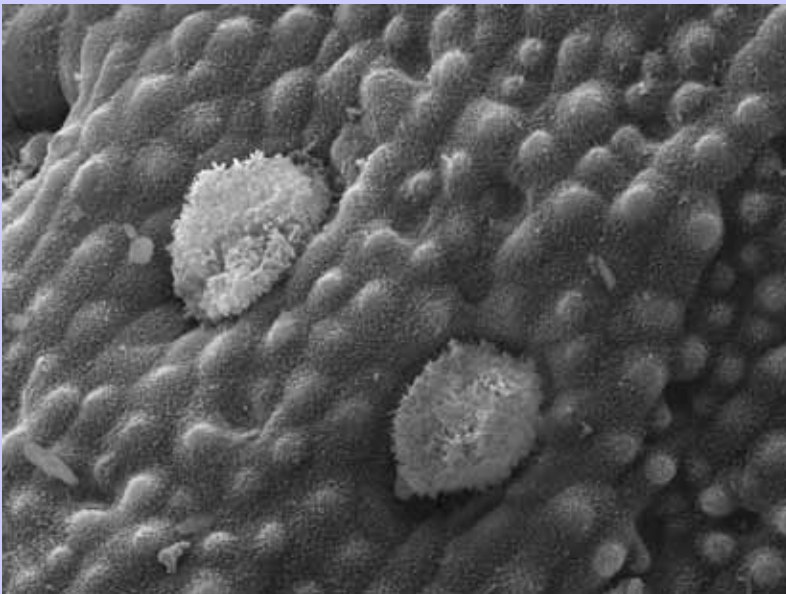
Ορισμένα φυτικά είδη επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο οδηγείται προς και εκκρίνεται από εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες των φύλλων (π.χ. Είδη του γένους *Tamarix*)



ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Ρύθμιση της αλατότητας με απομάκρυνση**

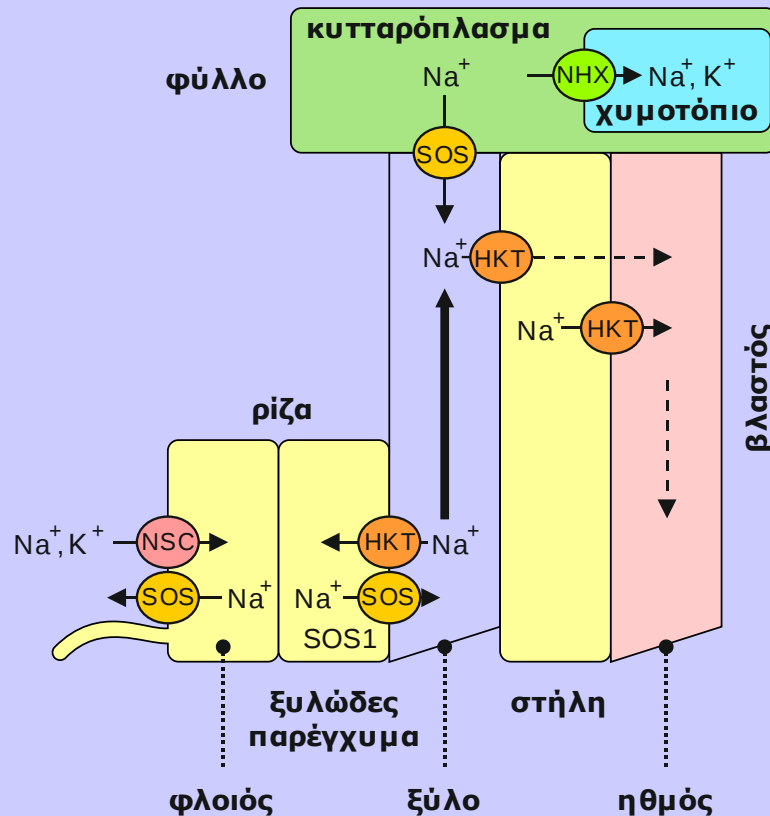
Ορισμένα φυτικά είδη επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο οδηγείται προς και εκκρίνεται από εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες των φύλλων (π.χ. Είδη των γενών *Tamarix* και *Limonium*)



ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Ρύθμιση με αποκλεισμό και ρύθμιση κατανομής**

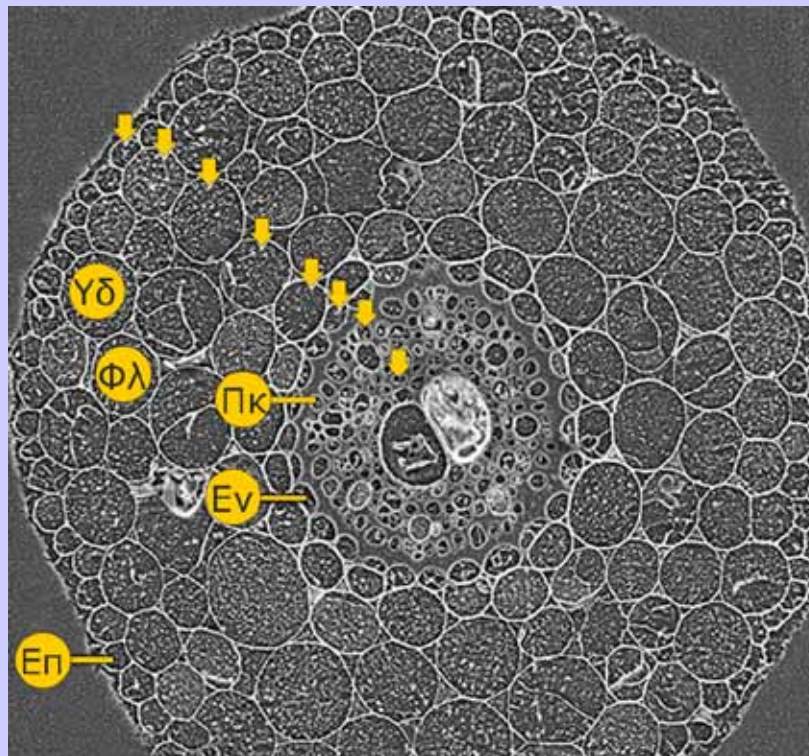
Σε αρκετά είδη, τα ιόντα Na^+ υπόκεινται σε ανακυκλοφορία μεταξύ υπόγειου και υπέργειου μέρους. Επιτυγχάνεται έτσι ο δυναμικός έλεγχος της κατανομής των ιόντων σε επίπεδο φυτού.



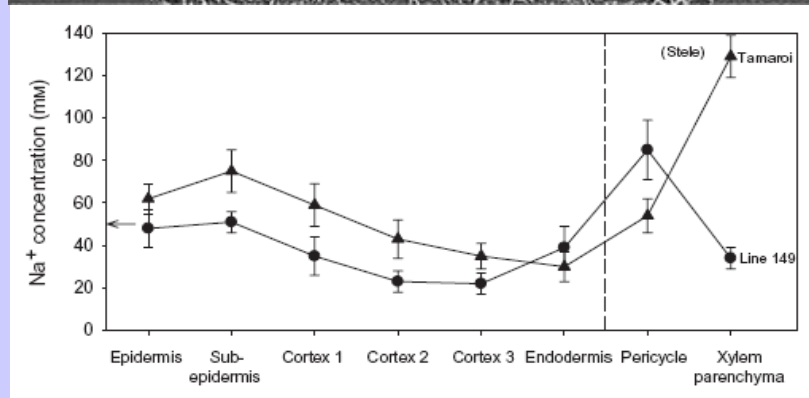
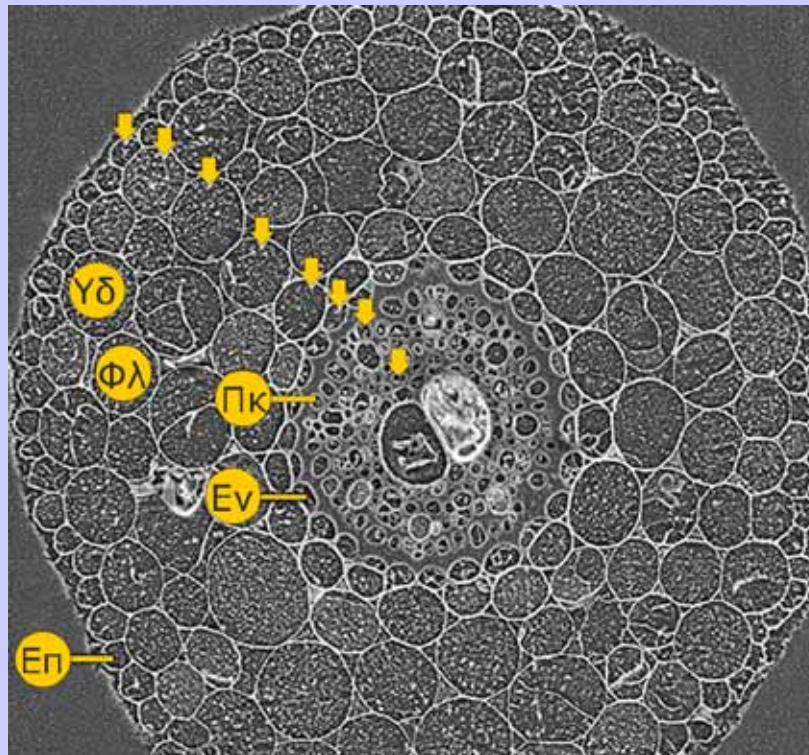
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΣΚΛΗΡΟ ΣΙΤΑΡΙ

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

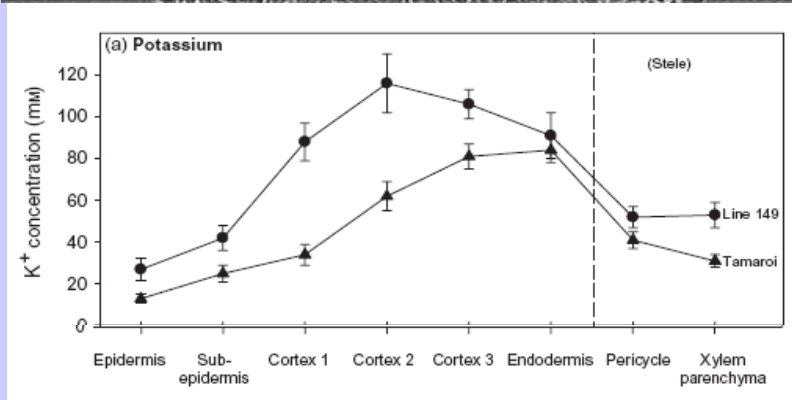
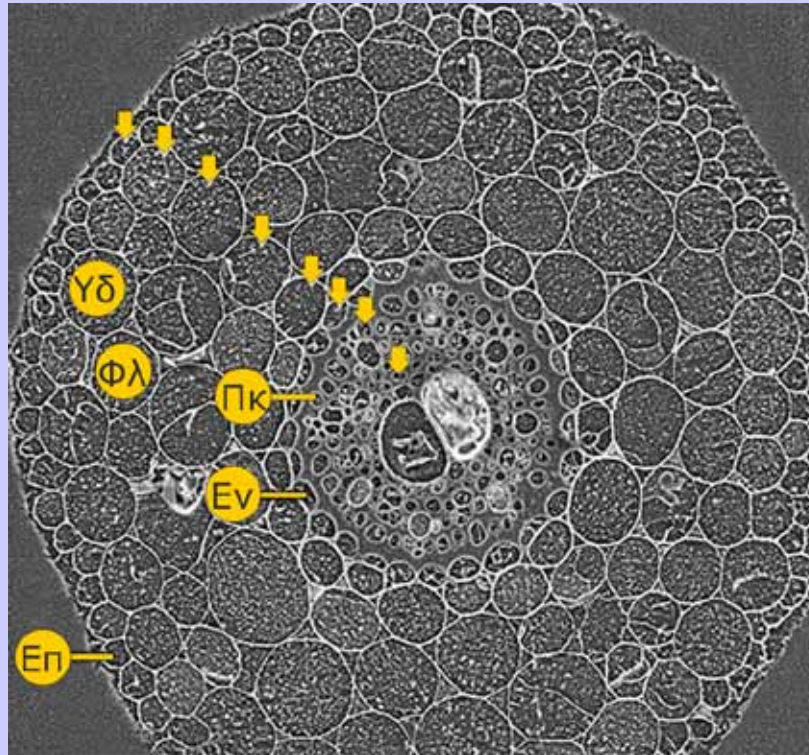
Ορισμένα αγρωστώδη όπως το σιτάρι (*Triticum turgidum* spp. *durum*) επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο περιορίζεται στα χυμοτόπια σε συγκεκριμένους ιστούς της ρίζας



ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΣΚΛΗΡΟ ΣΙΤΑΡΙ



ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΣΚΛΗΡΟ ΣΙΤΑΡΙ



ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΔΥΟ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

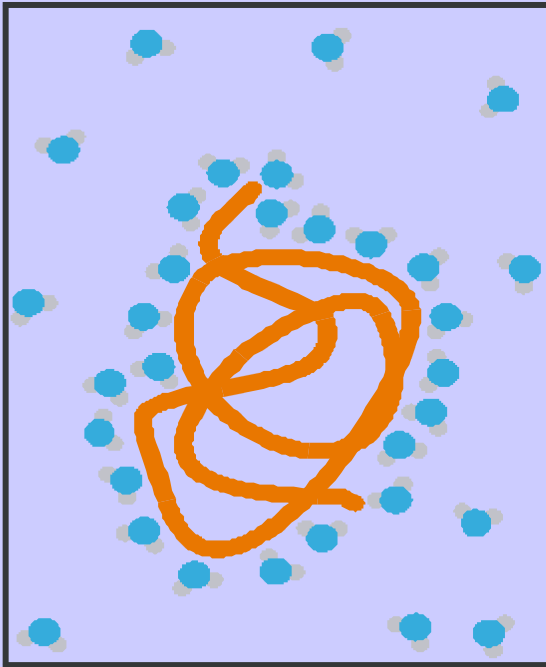
- **Η στρατηγική της ανθεκτικότητας**

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

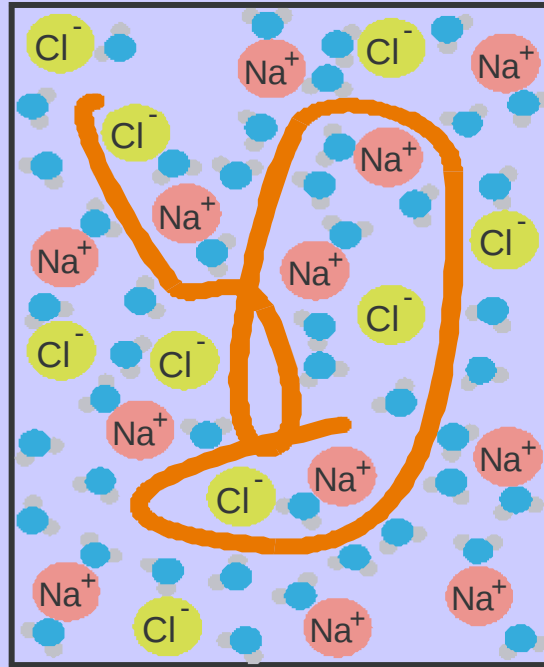
Τα ιόντα συσσωρεύονται στο χυμοτόπιο, ενώ οι συγκεντρώσεις στο κυτταρόπλασμα διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. Το δυναμικό του νερού του κυτταροπλάσματος εξισορροπείται οσμωτικά με εκείνο του χυμοτοπίου, έτσι ώστε να μην αφυδατωθεί. Η οσμωρρύθμιση επιτυγχάνεται με τη σύνθεση συμβατών οσμωλυτών



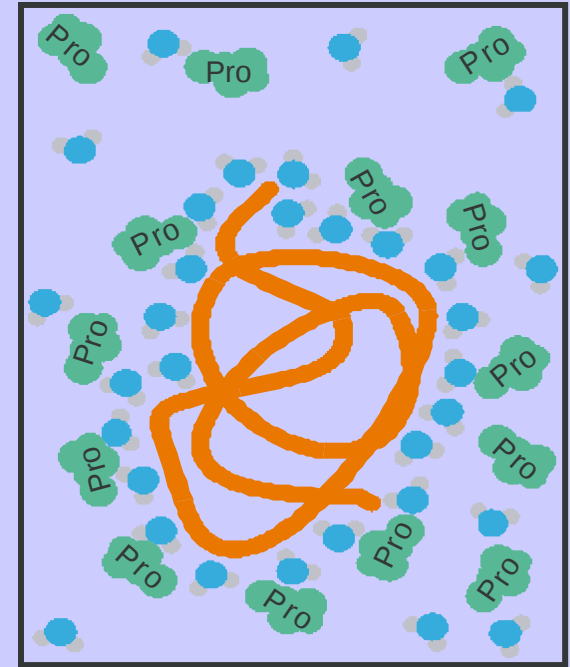
Η ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΟΣΜΩΛΥΤΩΝ



Η σφαίρα
ενυδάτωσης
ενός
πρωτεϊνικού
μορίου



Παρουσία ιόντων
 Na^+ και Cl^- το
πρωτεϊνικό μόριο
αποδιατάσσεται,
λόγω διαταραχής
της σφαίρας
ενυδάτωσης



Τα μόρια του συμβατού
οσμωλύτη
σταθεροποιούν τη
σφαίρα ενυδάτωσης και
προστατεύουν το
πρωτεϊνικό μόριο από
απώλεια της λειτουργικής
διαμόρφωσης

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

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΕΩΜΑΤΟΣ ΛΟΓΩ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

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 οσμολυτών

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



ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

ΑΚΡΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

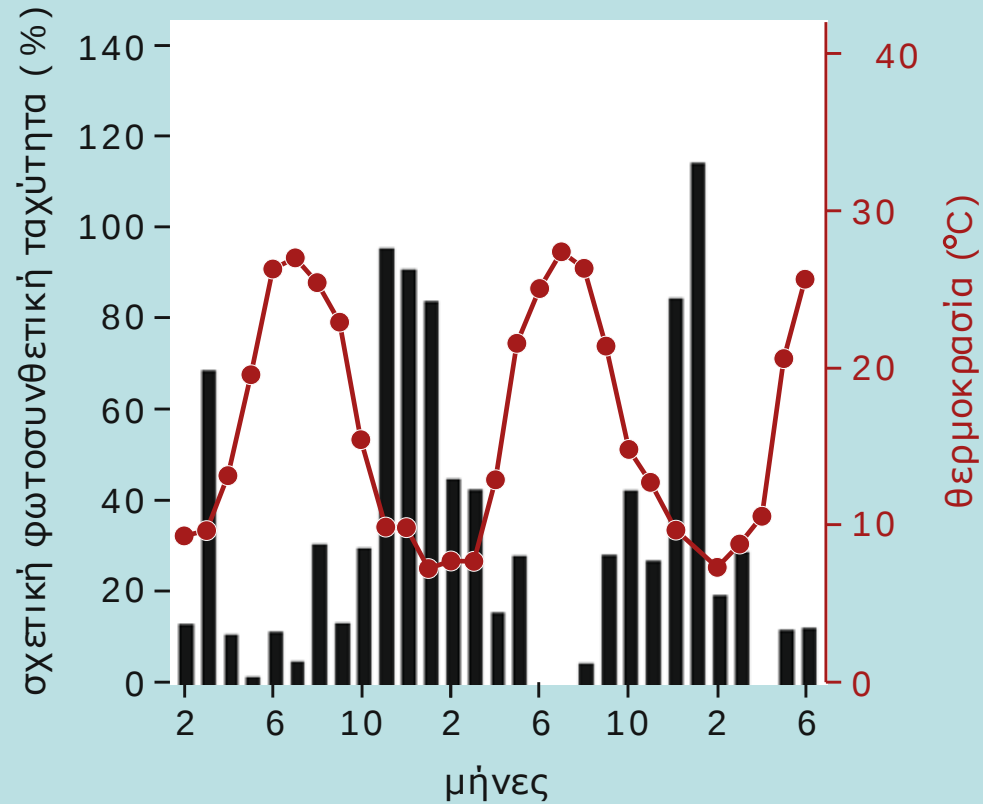
ΑΚΡΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

- **Θερμοκρασιακά όρια βιολογικής δραστηριότητας**

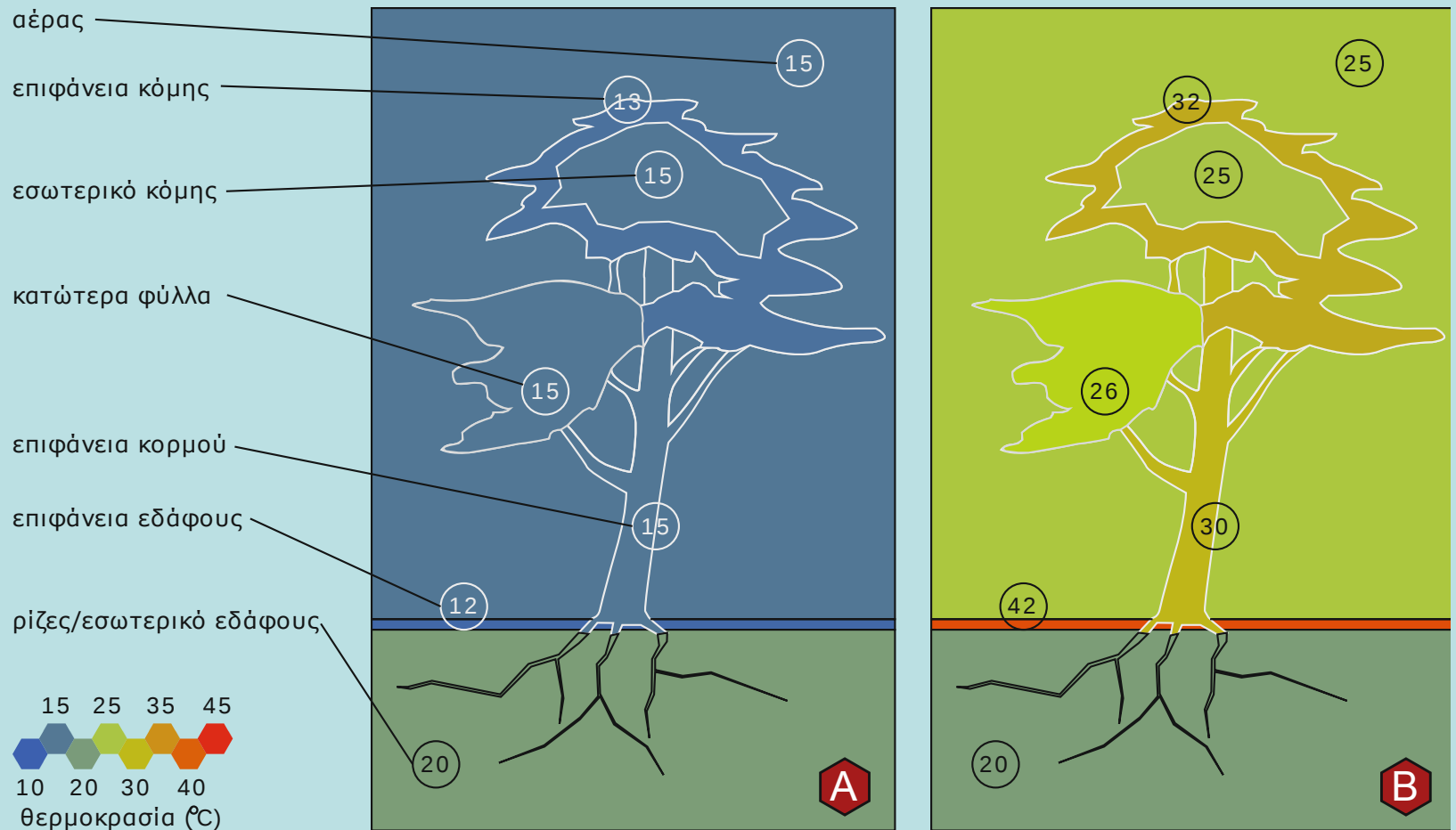
Πέρα από τα όρια αυτά επέρχεται βαθμιαία και αναστρέψιμη παρεμπόδιση της βιολογικής δραστηριότητας

- **Θανατηφόρα θερμοκρασιακά όρια**

Πέρα από τα όρια αυτά προξενούνται στα φυτά μόνιμες φυσιολογικές βλάβες με συνέπεια την αδυναμία ολοκλήρωσης του βιολογικού τους κύκλου



Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής με μεσογειακό κλίμα



Διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ των επί μέρους ιστών ή οργάνων ενός φυτού

ΟΜΑΔΕΣ ΦΥΤΩΝ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΟΡΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

- **Ψυχρόφιλα**

Η βέλτιστη ανάπτυξη παρατηρείται σε θερμοκρασίες 0-20 °C

- **Μεσόφιλα**

Η βέλτιστη ανάπτυξη παρατηρείται σε θερμοκρασίες 10-30 °C

- **Θερμόφιλα**

Η βέλτιστη ανάπτυξη παρατηρείται σε θερμοκρασίες 30-65 °C

Οργανισμός / μορφή	Θανατηφόρος θερμοκρασία (°C)	
	Ένυδρη κατάσταση	Αφυδάτωση
σπόρια βακτηρίων	80-120	έως 160
σπόρια μυκήτων	50-60	από 100
λειχήνες εύκρατων περιοχών	33-46	70-100
ποικιλοϋδρικά περιδόφυτα	47-50	60-100
<i>Ramonda myconi</i>	48	56
<i>Myrothamnus flabellifolia</i>		80

Θανατηφόρες υψηλές θερμοκρασίες για ορισμένους
ποικιλοϋδρικούς οργανισμούς

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΟΡΙΑ



Συνθήκες παγετού επικρατούν σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 0 °C

Συνθήκες ψύχους επικρατούν σε θερμοκρασίες μεταξύ 0 και 15 °C

ΨΥΧΟΣ

- **Η επίδραση του ψύχους στους μεσόφιλους οργανισμούς**

Φυτά τα οποία έχουν προσαρμοστεί σε θερμά κλίματα, στα οποία συγκαταλέγονται πολλά καλλιεργούμενα, χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητα σε χαμηλές θερμοκρασίες και τα συμπτώματα καταπόνησης εμφανίζονται εάν εκτεθούν σε θερμοκρασίες κάτω από 10 °C

- **Χαρακτηριστικά της καταπόνησης**

Τα συμπτώματα εξαρτώνται από το είδος, την ηλικία του φυτού και το είδος του ιστού ή του οργάνου, και τη διάρκεια έκθεσης στις χαμηλές θερμοκρασίες

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΧΑΜΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

- **Μεμβράνες**

Αύξηση της ακαμψίας των μεμβρανών

- **Βιοχημικές αντιδράσεις**

Αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας ενεργοποίησης των βιοχημικών αντιδράσεων

- **Φυσικοχημικές αλλαγές στον πρωτοπλάστη**

Η μετάβαση του νερού από την υγρή στη στερεή κατάσταση σε συνθήκες παγετού, αποτελεί ένα κρίσιμο συμβάν για την διατήρηση των ζωτικών λειτουργιών των κυττάρων

- **Οξειδωτική καταπόνηση**

Συσσώρευση ROS

Η ΜΑΡΑΝΣΗ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ

- **Μπορεί το ψύχος να προκαλέσει υδατική καταπόνηση;**

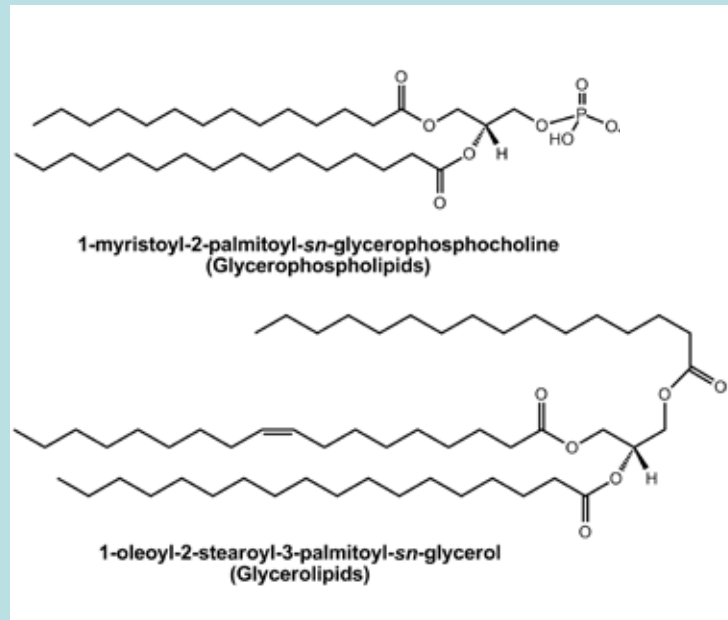
Ο μαρασμός των φύλλων, παρόλο που υπάρχει επαρκής διαθεσιμότητα νερού, αποτελεί την πρώτη ένδειξη καταπόνησης από ψύχος. Ο μαρασμός αποδίδεται σε ορισμένους παράγοντες όπως:

I. Σε χαμηλές θερμοκρασίες μειώνεται αισθητά η αγωγιμότητα των μεμβρανών των ριζών, μέσω των οποίων μεταφέρονται τα μόρια νερού, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται το ιξώδες του νερού

II. Ο μηχανισμός των στοματικών κινήσεων παρουσιάζει παρεμπόδιση ή υστέρηση να ανταποκριθεί στο υπάρχον έλλειμμα νερού. Η δράση των παραγόντων αυτών δημιουργεί ουσιαστικά συνθήκες υδατικής καταπόνησης

ΨΥΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

- Η σύσταση των μεμβρανών σχετίζεται με την ένταση της καταπόνησης



ΨΥΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Λιπαρό οξύ	Αριθμός ατόμων C : διπλών δεσμών	Συντακτικός τύπος	Σημείο τήξης (°C)
Στεατικό	18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	71
Λαυρικό	12:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44
Ελεϊκό	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16
Λινολεϊκό	18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5
Λινολενικό	18:3	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-11

Το σημείο τήξης ορισμένων αντιπροσωπευτικών
λιπαρών οξέων

ΨΥΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

- Η σύσταση των μεμβρανών σχετίζεται με την ένταση της καταπόνησης

Το είδος των λιπιδίων τα οποία συγκροτούν τις μεμβράνες (δηλ. η αναλογία ακόρεστων προς κεκορεσμένα), επηρεάζει την ρευστότητα τους

Τα λιπίδια τα οποία απαρτίζονται από κεκορεσμένα λιπαρά οξέα στερεοποιούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες από ότι τα ακόρεστα

Η μεταβολή από τη ρευστή μορφή στην ημικρυσταλλική υπό μορφή πηκτής (gel) μπορεί να καταγραφεί ως μία απότομη μετάβαση γνωστή ως **μεταβατική θερμοκρασία**

ΨΥΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

- **Η σύσταση των μεμβρανών σχετίζεται με την ένταση της καταπόνησης**

Η μετάβαση από τη ρευστή μορφή των μεμβρανών στην ημικρυσταλλική προκαλεί αλλοίωση της ακεραιότητας και της περατότητας των μεμβρανών με αποτέλεσμα την απώλεια της διαμερισματοποίησης και την ανεξέλεγκτη διαρροή μεταβολιτών. Οι συνέπειες της μετάβασης εμφανίζουν αναλογίες προς εκείνες της υδατικής καταπόνησης

Οι μεμβράνες των ανθεκτικών στις χαμηλές θερμοκρασίες φυτών, διαθέτουν την ικανότητα να διατηρούν την ρευστή μορφή τους σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες έτσι ώστε να παρέχεται η αναγκαία προστασία σε ζωτικές κυτταρικές λειτουργίες

ΨΥΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Φυτικό είδος	φυτικό όργανο	λόγος ακ/κορ
φυτά ευαίσθητα στο ψύχος		
<i>Phaseolus vulgaris</i>	βλαστός	2.8
<i>Ipomoea batatas</i>	κόνδυλος	1.7
<i>Zea mays</i>	βλαστός	2.1
<i>Lycopersicon esculentum</i>	καρπός	2.8
φυτά ανθεκτικά στο ψύχος		
<i>Brassica oleracea</i>	οφθαλμός	3.2
<i>Brassica campestris</i>	ρίζα	3.9
<i>Pisum sativum</i>	βλαστός	3.8

Ο λόγος ακόρεστων/κεκορεσμένων λιπαρών οξέων των λιπιδίων των μεμβρανών απομονωμένων μιτοχονδρίων ευαίσθητων και ανθεκτικών στο ψύχος ιστών

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ

- Ο παγετός επιφέρει σοβαρή υδατική και μηχανική καταπόνηση στα κύτταρα

Οι θερμοκρασίες κάτω των 0 °C ευνοούν τον σχηματισμό κρυστάλλων πάγου στα κύτταρα. Στην περίπτωση αυτή το τελικό αποτέλεσμα είναι ο θάνατος των κυττάρων λόγω μηχανικής καταστροφής της λεπτής δομής τους

Αφυδατωμένοι ιστοί όπως σπέρματα ή σπόρια μυκήτων μπορούν να αντεπεξέλθουν σε παρατεταμένη παραμονή τους σε θερμοκρασίες οι οποίες προσεγγίζουν το απόλυτο μηδέν (0 °K), χωρίς να παρατηρηθεί καταστροφική βλάβη.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ

Αντιπροσωπευτικά φυτά	Ζημιογόνος θερμοκρασία παγετού (°C) κατά το στάδιο		
	Βλάστησης	Άνθησης	Καρπόδεσης
Χειμερινές ποικιλίες σίτου	έως -37		
Εαρινές ποικιλίες σίτου	-9	-1	-2
Κριθάρι	-7	-1	-2
Φακή	-7	-2	-2
Φασόλι	-5	-2	-3
Σαχαρότευτλο	-6	-2	
Σόγια	-3	-2	-2
Πατάτα	-2	-1	-1
Βαμβάκι	-1	-1	-2
Ρύζι	-0.5	-0.5	-0.5

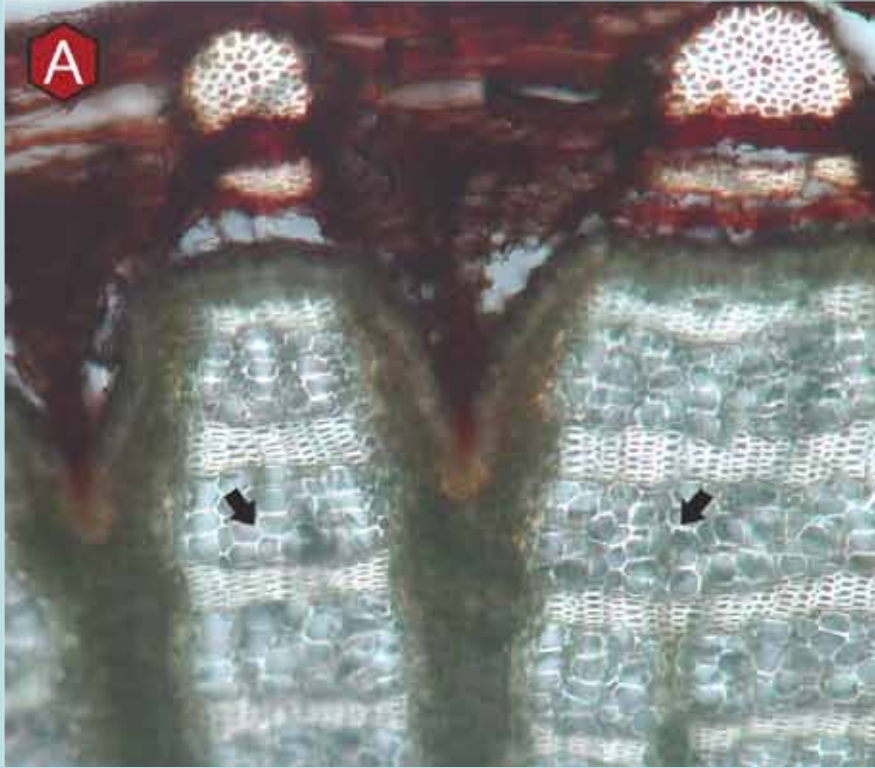
Η ανθεκτικότητα ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών σε θερμοκρασίες παγετού σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ

Φυτικό είδος	φύλλα	οφθαλμοί	μερ. βλαστού	μερ. ρίζας
<i>Ceratonia siliqua</i>	-6	-8	-9	
<i>Nerium oleander</i>	-8	-12	-14	
<i>Olea europaea</i>	-12	-12	-16	-6
<i>Quercus ilex</i>	-15	-17	-28	-7

Η ανθεκτικότητα έναντι χαμηλών θερμοκρασιών ορισμένων οργάνων αντιπροσωπευτικών αείφυλλων σκληρόφυλλων της Μεσογειακής χλωρίδας κατά τη διάρκεια του Χειμώνα. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τις θερμοκρασίες οι οποίες επιφέρουν βλάβες σε ποσοστό 50% στους ιστούς

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ



Οι επιπτώσεις ενός επεισοδίου παγετού στο βλαστό του αμπελιού όπως εμφανίζονται στο οπτικό μικροσκόπιο σε πεδίο πολωμένου φωτός

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ

- **Ο ρόλος της ταχύτητας ψύξης**

Οι ενυδατωμένοι μη ανθεκτικοί ιστοί μπορούν να επιβιώσουν σε ακραίες θερμοκρασίες(π.χ. με εμφάνιση σε υγρό άζωτο), εφόσον η διαδικασία συμβεί αστραπιαία.

Το γεγονός αποδίδεται στην **υαλοποίηση** των μορίων του νερού, δηλ. τη μετάβαση στη στερεά κατάσταση χωρίς τη δημιουργία κρυστάλλων πάγου ή το σχηματισμό εξαιρετικά μικρού μεγέθους κρυστάλλων οι οποίοι δεν προξενούν μηχανική καταπόνηση στους ιστούς.

Στις συνθήκες φυσικού περιβάλλοντος η ταχύτητα ψύξης δεν είναι ποτέ τόσο ταχεία ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός κρυστάλλων πάγου εντός των ιστών

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

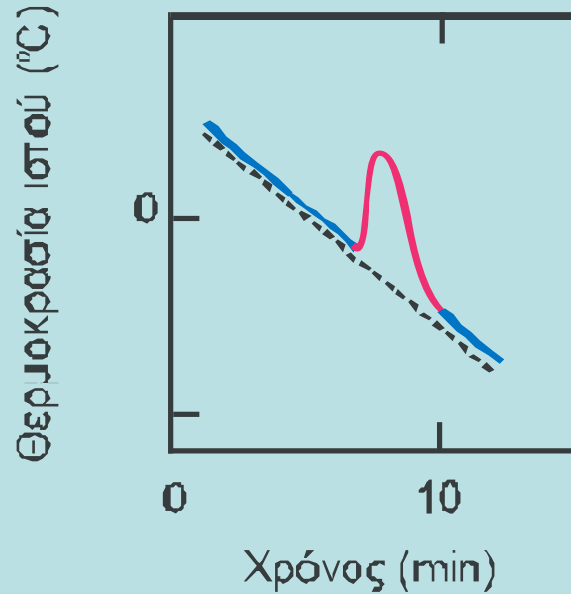
- Η θερμική συμπεριφορά των ιστών δεν είναι ομοιόμορφη σε όλες τις θερμοκρασίες

Η μέθοδος της θερμικής ανάλυσης αποκαλύπτει την θερμική συμπεριφορά των ιστών και εξηγεί τη βαθμιαία συσσώρευση βλαβών από την πτώση της θερμοκρασίας

Στηρίζεται στην μέτρηση της θερμοκρασίας ενός ιστού και την καταγραφή των περιστατικών **παγοποίησης** μέσω των **εξωθέρμων**

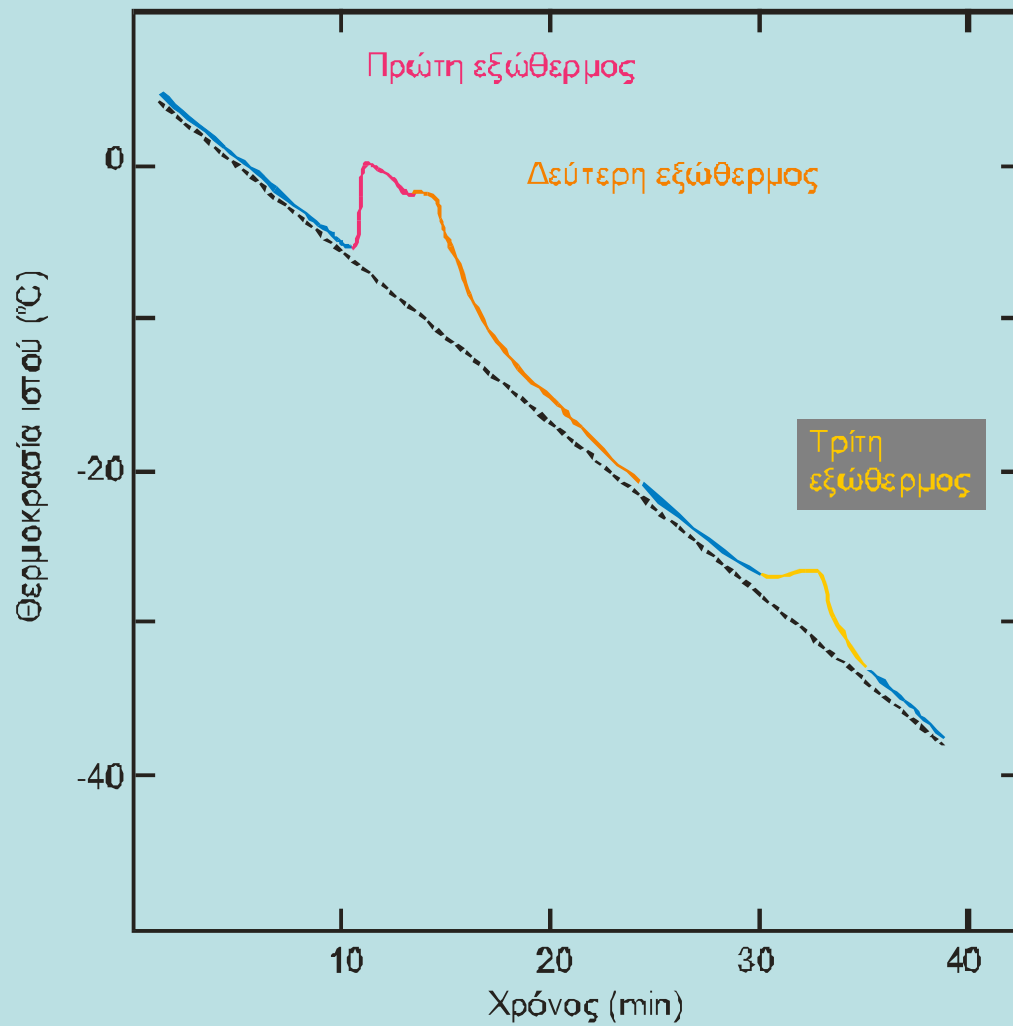
Η εξώθερμος προκαλείται από το γεγονός ότι η μετάβαση του νερού από την υγρή στην στερεή κατάσταση είναι **εξεργονική**

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

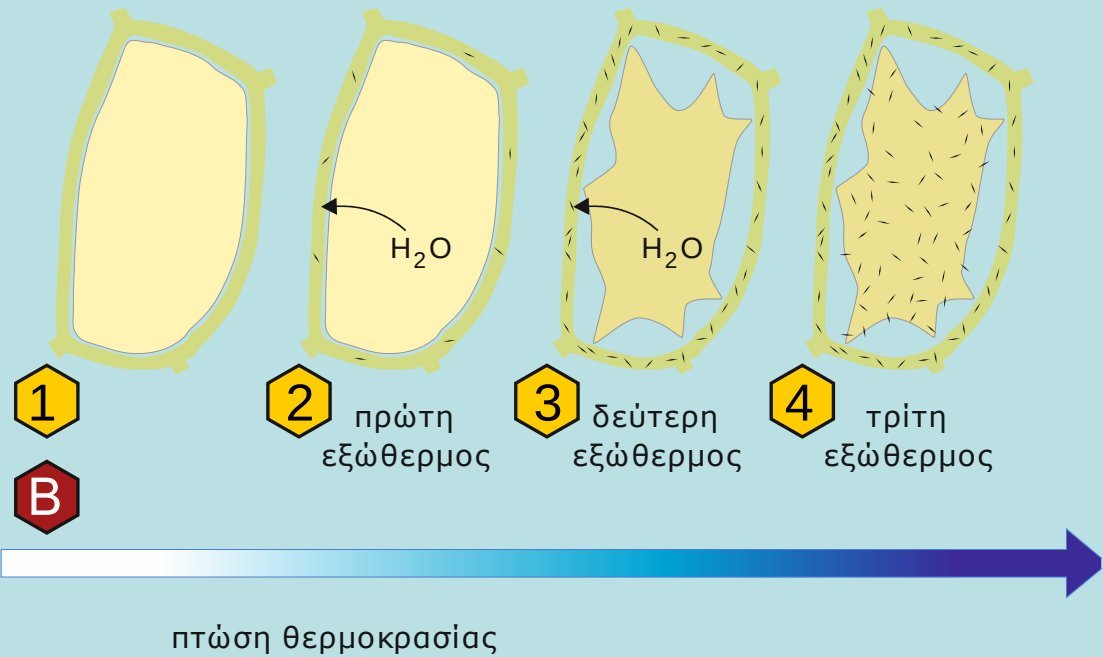
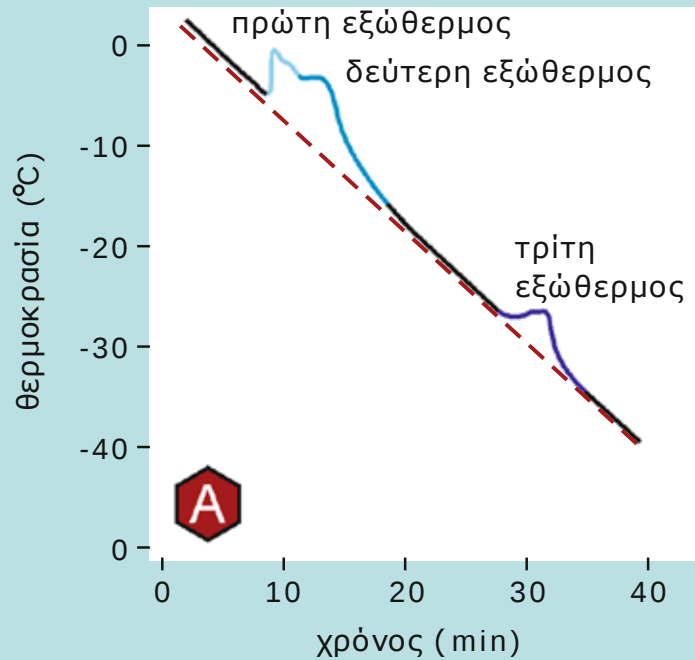


Χαρακτηριστική καμπύλη θερμικής ανάλυσης καθαρού νερού. Η εξώθερμος αντιπροσωπεύει τα σημεία εκείνα στα οποία παρατηρείται άνοδος θερμοκρασίας, παρόλο που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται με σταθερή ταχύτητα (στικτή γραμμή).

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ



ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ



ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

- **Συνέπειες της θερμικής συμπεριφοράς των φυτικών κυττάρων**

Η θερμική ανάλυση δείχνει ότι ο ιστός αποκτά θερμοκρασίες κάτω του μηδενός χωρίς να παρατηρηθεί σχηματισμός πάγου. Το φαινόμενο ονομάζεται **υπέρψυξη**.

Κατά το στάδιο Β (πρώτη εξώθερμος) ο σχηματισμός πάγου περιορίζεται κατά κανόνα στους **αποπλαστικούς** χώρους. Η παγοποίηση αυτή δεν έχει θανατηφόρες συνέπειες στα κύτταρα και η επαναθέρμανση δεν δημιουργεί σημαντικές βλάβες.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

- **Συνέπειες της θερμικής συμπεριφοράς των φυτικών κυττάρων**

Η μετακίνηση νερού από τα κύτταρα προς τον αποπλαστικό χώρο και ενσωμάτωσή του στους ήδη σχηματισμένους κρυστάλλους πάγου κατά το στάδιο Γ (δεύτερη εξώθερμος) έχει τις εξής επιπτώσεις:

1. αυξάνεται η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών του πρωτοπλάστη προξενώντας πτώση του σημείου πήξης του νερού
2. η συνεχής απομάκρυνση μορίων νερού από τα κύτταρα επιφέρει τη σταδιακή αφυδάτωσή τους (**πλασμόλυση παγετού**). Επομένως το καθαρό φυσιολογικό αποτέλεσμα ισοδυναμεί με υδατική καταπόνηση

ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

- **Συνέπειες της θερμικής συμπεριφοράς των φυτικών κυττάρων**

Η τρίτη εξώθερμος αντιπροσωπεύει τον σχηματισμό πάγου στον πρωτοπλάστη κατά το στάδιο Δ ο οποίος προκαλεί το θάνατο των κυττάρων

ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Η στρατηγική της διαφυγής**

Επιλέγεται από θερμοφιλα είδη τα οποία δεν εκτίθενται στις χαμηλές θερμοκρασίες. Μια παραλλαγή της στρατηγικής αυτής αφορά στην αποκοπή των ευαίσθητων οργάνων πριν από την έναρξη της δυσμενούς περιόδου του χειμώνα.

ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Η στρατηγική της αποφυγής**

Η αποφυγή του παγώματος των ιστών των φυτών που έχουν επιλέξει αυτή τη στρατηγική βασίζεται καταρχήν στον περιορισμό των θερμικών απωλειών των ιστών, μέσω κατάλληλων μορφολογικών, ανατομικών και φυσιολογικών προσαρμογών.

Στα μορφολογικά και ανατομικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται οι αλληπάλληλες επικαλύψεις των οφθαλμών με λέπια, η παραμονή των διαχειμάζοντων οργάνων κάτω από στρώματα πεσμένων φύλλων ή εντός του εδάφους.

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι κατάλληλες κινήσεις των φύλλων συνεισφέρουν επίσης στον περιορισμό των θερμικών απωλειών.

ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Η στρατηγική της ανθεκτικότητας**

Στα φυτά τα οποία είναι ανθεκτικά στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες το νερό του συμπλάστη δεν παγώνει, ακόμη και εάν οι θερμοκρασίες είναι πολύ κάτω του σημείου πήξεως καθώς παραμένει σε μια ασταθή θερμοδυναμικά κατάσταση, εκείνη του **υπερψυγμένου υγρού**.

Το φαινόμενο της υπέρψυξης των ιστών οφείλεται στο γεγονός ότι τα κύτταρα αυτά δεν διαθέτουν **πυρήνες κρυστάλλωσης**, η παρουσία των οποίων θεωρείται απαραίτητη για την έναρξη σχηματισμού κρυστάλλων πάγου. Επιπροσθέτως ο σχηματισμός πάγου δεν συμβαίνει όταν ο όγκος του πρωτοπλάστη είναι πολύ μικρός.

ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Η στρατηγική της ανθεκτικότητας**

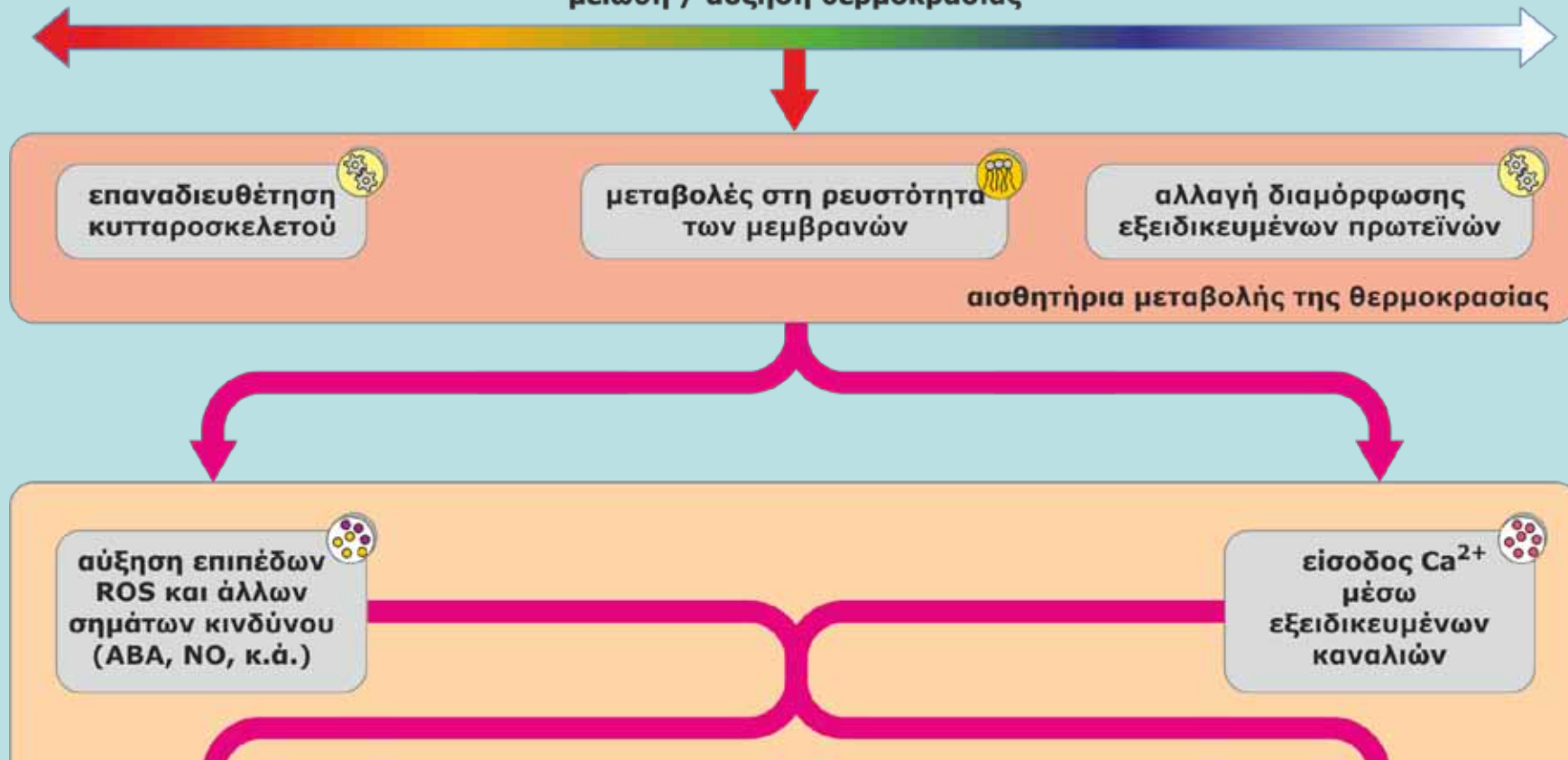
Το καθαρό νερό το οποίο είναι απαλλαγμένο από συστατικά τα οποία συμπεριφέρονται ως πυρήνες κρυστάλλωσης, υπερψύχεται σε ελάχιστη θερμοκρασία $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στη θερμοκρασία αυτή παρατηρείται αυθόρμητος σχηματισμός πάγου.

Κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες οι ξυλώδεις ιστοί συνήθως υπερψύχονται σε ελάχιστη θερμοκρασία $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ορισμένοι ωστόσο ιστοί, όπως ξυλοφόροι και ανθοφόροι οφθαλμοί ορισμένων φυλλοβόλων δένδρων και κωνοφόρων χαρακτηρίζονται από βαθιά υπέρψυξη.

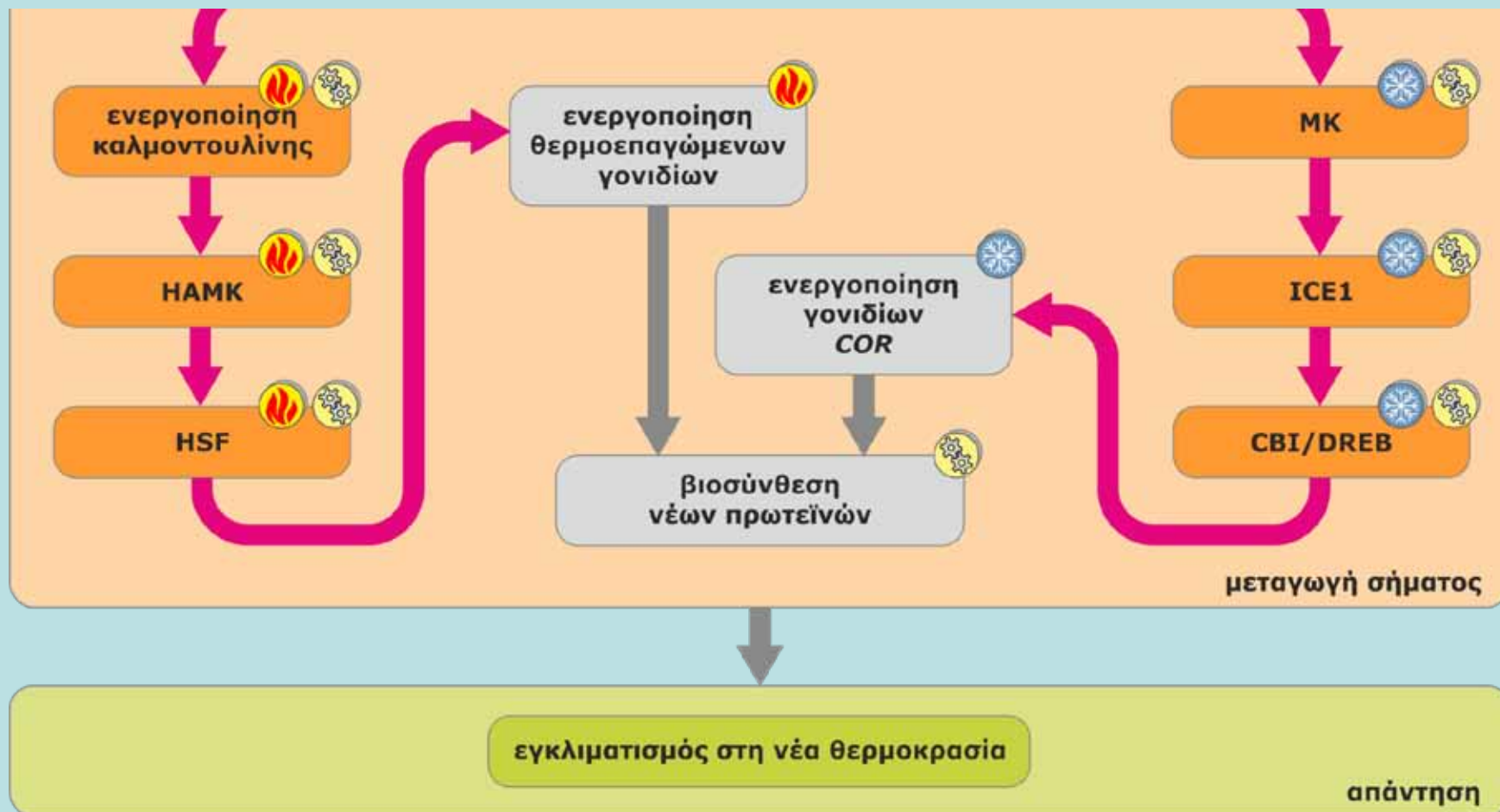
Σε αυτά τα κύτταρα, το υδατικό περιεχόμενο συμπεριφέρεται ως υπερψυγμένο υγρό σε θερμοκρασίες έως $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Σε ακραίες περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί βαθιά υπέρψυξη σε $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ

μείωση / αύξηση θερμοκρασίας



ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ

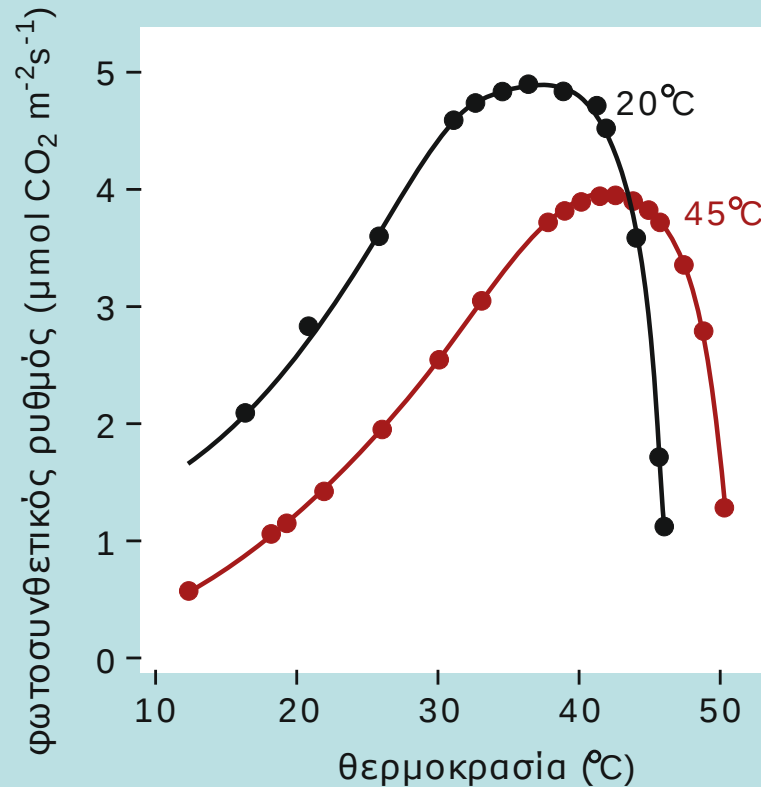


ΕΓΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

- Η ανθεκτικότητα έναντι ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών αυξάνεται θεαματικά εάν προηγηθεί κατάλληλος εγκλιματισμός των φυτών (σκληραγώγηση στο ψύχος)

Φυλλοβόλα δένδρα βόρειων κλιμάτων στην περιοχή του αρκτικού κύκλου όπως ορισμένα είδη σημύδας (*Betula* sp.), λεύκας (*Populus* sp.) και ιτιάς (*Salix* sp.) επιβιώνουν στις αντίξοες συνθήκες κλίματος επειδή είναι εφοδιασμένα με την ικανότητα να εγκλιματίζονται σταδιακά, με τελικό αποτέλεσμα να επέρχεται **σκληραγώγηση** και αντοχή σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες.

ΕΓΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΚΑΘΕΣΤΩΤΑ



Εγκλιματισμός της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των
φύλλων της πικροδάφνης (*Nerium oleander*) ως προς τη
θερμοκρασία ανάπτυξης

ΕΓΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

- Η ανθεκτικότητα έναντι ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών αυξάνεται θεαματικά εάν προηγηθεί κατάλληλος εγκλιματισμός των φυτών (σκληραγώγηση στο ψύχος)

Η διαδικασία εγκλιματισμού περιλαμβάνει **δύο στάδια**. Το **πρώτο** παρατηρείται το φθινόπωρο, πριν από την πτώση των φύλλων, επάγεται από φωτοπεριοδικούς μηχανισμούς ευαίσθητους στις βραχείες ημέρες και ελέγχεται από το φυτόχρωμα.

ΕΓΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

- Η ανθεκτικότητα έναντι ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών αυξάνεται θεαματικά εάν προηγηθεί κατάλληλος εγκλιματισμός των φυτών (σκληραγώγηση στο ψύχος)

Το **δεύτερο στάδιο** επάγεται από έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες η έναρξη του οποίου εντοπίζεται κατά την εκδήλωση του πρώτου παγετού. Κατά το στάδιο αυτό συμβαίνουν εκτεταμένες μεταβολικές αλλαγές οι οποίες περιλαμβάνουν αύξηση στη συγκέντρωση φωσφορυλιωμένων μεταβολιτών, τη μετατροπή των αποθεμάτων αμύλου σε σάκχαρα, συσσώρευση γλυκοπρωτεϊνών και ανάπτυξη αντοχής του πρωτοπλάστη έναντι της αφυδάτωσης.

ΕΓΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

- Η ανθεκτικότητα έναντι ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών αυξάνεται θεαματικά εάν προηγηθεί κατάλληλος εγκλιματισμός των φυτών (σκληραγώγηση στο ψύχος)

Ο εγκλιματισμός απαιτεί αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και μεταβολές στην έκφραση ορισμένων γονιδίων. Παρατηρείται επίσης αύξηση των επιπέδων ABA. Η εφαρμογή εξωγενούς ABA σε νεαρά φυτάρια ή ελεύθερα κύτταρα *in vitro* επιφέρει αύξηση της αντοχής έναντι του ψύχους.

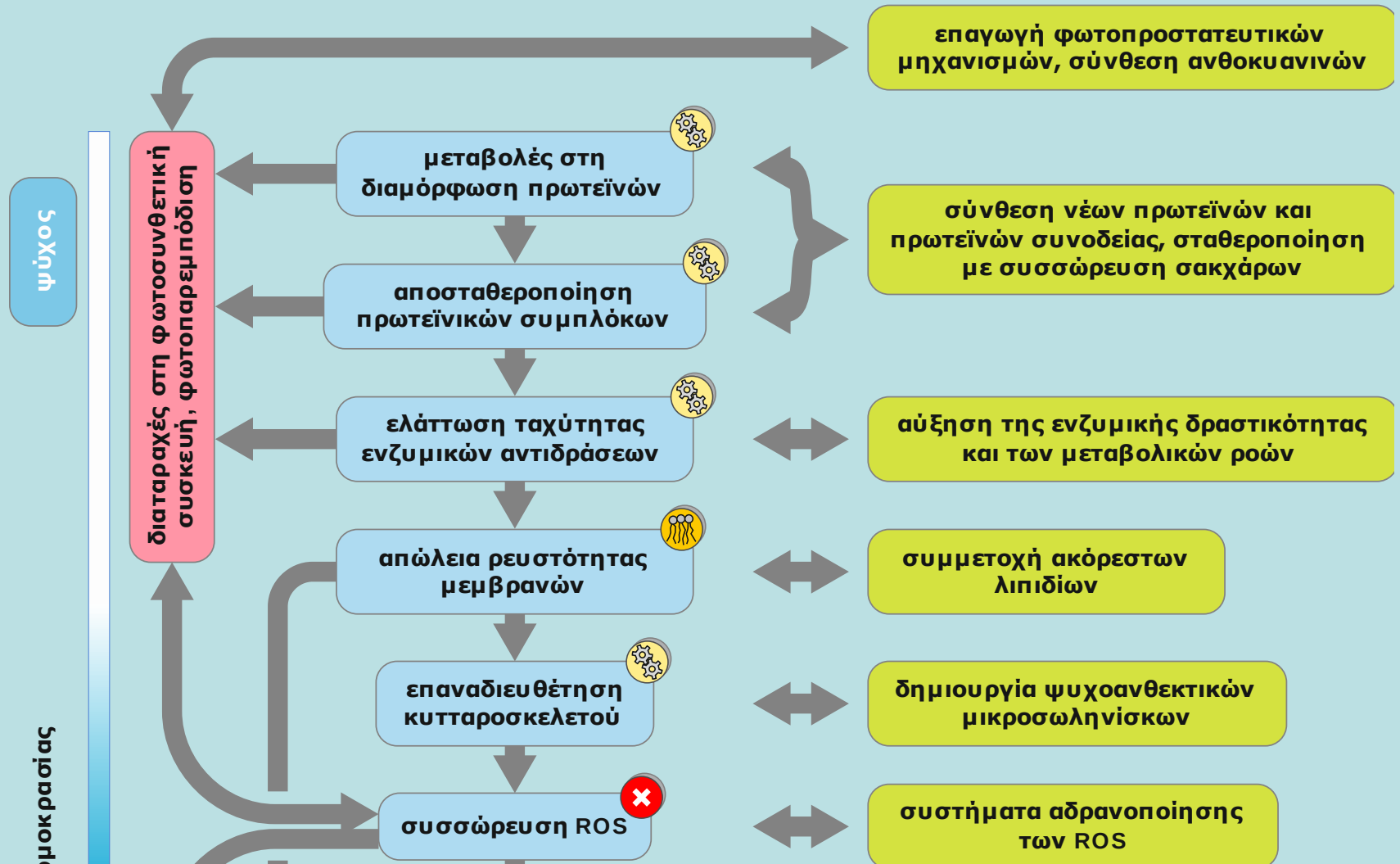
ΕΓΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

- **Εγκλιματισμός του φυτού *Arabidopsis* στο ψύχος**

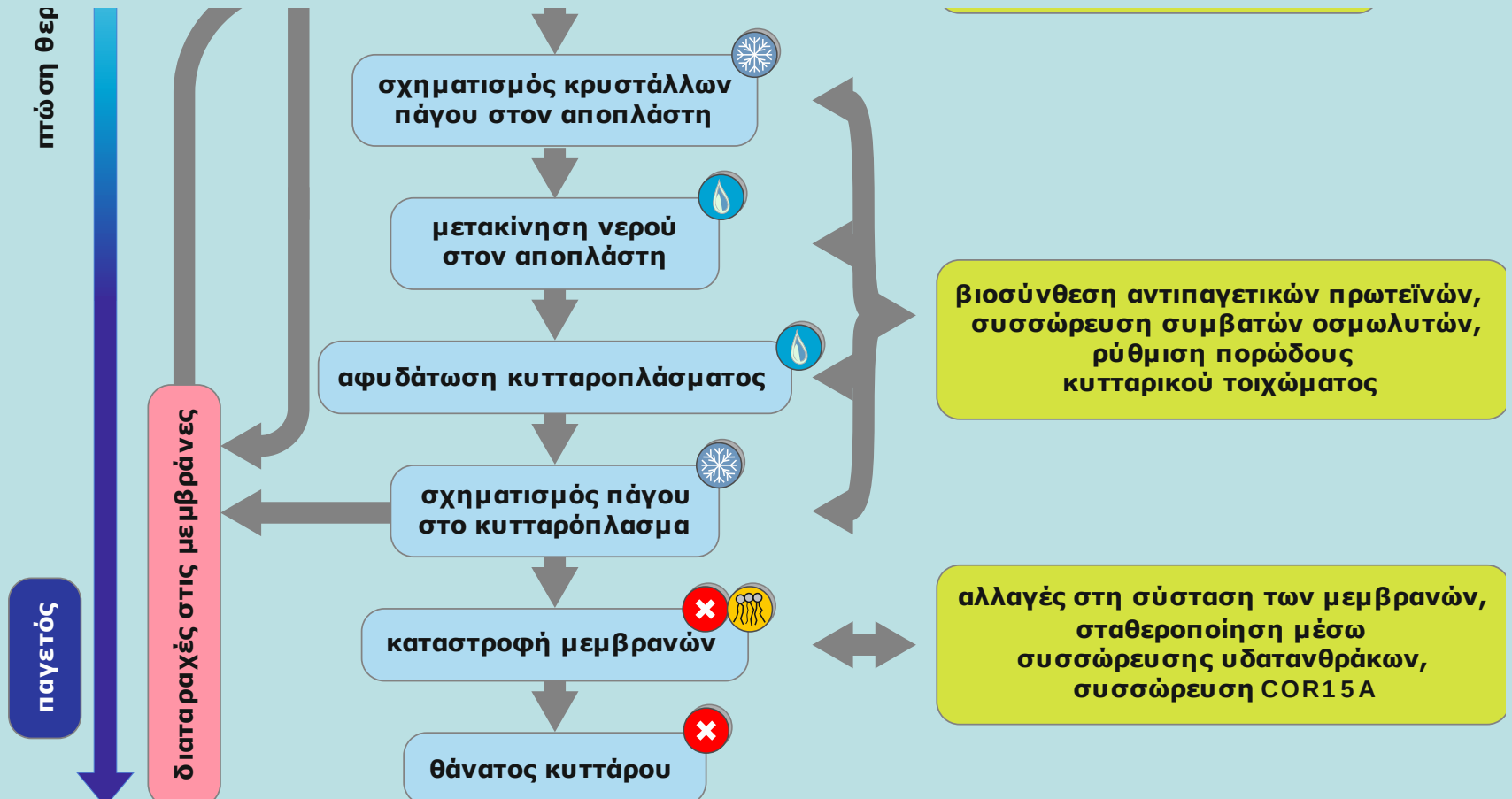
Παρατηρούνται μεταβολές του μεταγραφώματος με τη δράση μιας οικογένειας ρυθμιστικών πρωτεϊνών, των πρωτεϊνών CBF (COR (COld Regulated) Binding Factors)/DREB (Dehydration Responsive Element Binding (proteins)). Οι ενεργοποιητές αυτοί προσδένονται σε ειδικό προαγωγέα, το ρυθμιστικό στοιχείο DRE/CRT (C-RepeaT).

Οι πρωτεΐνες CBF/DREB επάγουν τη μεταγραφή των γονιδίων τα οποία ελέγχονται από το ρυθμιστικό στοιχείο CRT/DRE σε σύντομο χρονικό διάστημα, χωρίς να μεσολαβήσει έκθεση σε ψύχος. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα γονίδια αυτά ενεργοποιούνται όχι μόνο παρουσία χαμηλών θερμοκρασιών, αλλά και παρουσία οσμωτικής ή υδατικής καταπόνησης, δηλ. παραγόντων καταπόνησης που έχουν ως κοινό αποτέλεσμα την αφυδάτωση των ιστών.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ



ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

- Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στους μεσόφιλους οργανισμούς

Το ανώτατο όριο ανοχής για τα περισσότερα φυτά είναι η θερμοκρασία των 50-55 °C. Το όριο αυτό εξαρτάται από την υδατική κατάσταση των ιστών.

Φυτά τα οποία αναπτύσσονται σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα εκτίθενται συνήθως σε υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες συνοδεύονται από υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας, περιορισμένη παροχή νερού και έντονες διαπνευστικές απώλειες.

ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

- Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στους μεσόφιλους οργανισμούς

Η καταπόνηση λόγω υψηλών θερμοκρασιών αποτελεί ένα συνήθη κίνδυνο και για τα φυτά τα οποία αναπτύσσονται σε **θερμοκήπια**, λόγω της απουσίας ρευμάτων αέρος αλλά και της ύπαρξης υψηλής σχετικής υγρασίας. Οι συνθήκες αυτές δεν ευνοούν την απαγωγή της θερμότητας των φυτικών οργάνων και τη διατήρηση της θερμοκρασίας τους σε ανεκτά επίπεδα.



ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

- **Τα χαρακτηριστικά των θερμοφίλων ειδών**

Πολλά φυτά, αντιπροσωπευτικά της βλάστησης των ερήμων, διαθέτουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να αντεπεξέρχονται της καταπόνησης εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών. Τα φυτά αυτά αντέχουν σε θερμοκρασίες οι οποίες υπερβαίνουν τους 60 °C, ενώ σε βραχυχρόνια έκθεση αντέχουν σε θερμοκρασίες οι οποίες υπερβαίνουν τους 70 °C.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

- **Μεμβράνες**

Αύξηση της ρευστότητας των μεμβρανών το οποίο δημιουργεί προβλήματα στην περατότητα και τις καταλυτικές τους ιδιότητες

- **Βιοχημικές αντιδράσεις**

Αύξηση της πιθανότητας επαναδιευθέτησης πρωτεϊνικών μορίων και μετουσίωσής τους

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

- **Φωτοσύνθεση**

Η λειτουργία του φωτοσυστήματος II εμφανίζεται ιδιαίτερα ευαίσθητη έναντι των υψηλών θερμοκρασιών. Το σύμπλοκο το οποίο είναι υπεύθυνο για τη φωτόλυση του νερού και την παραγωγή οξυγόνου αποδραστηριοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την διακοπή της ροής ηλεκτρονίων προς το φωτοσύστημα II. Προκαλούνται επίσης δυσλειτουργίες στη ροή των ηλεκτρονίων και τη φωτοφωσφορυλίωση. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο φθορισμός της χλωροφύλλης αυξάνεται, επειδή ένα σημαντικό ποσοστό της απορροφούμενης ενέργειας δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή φωτοχημικού έργου

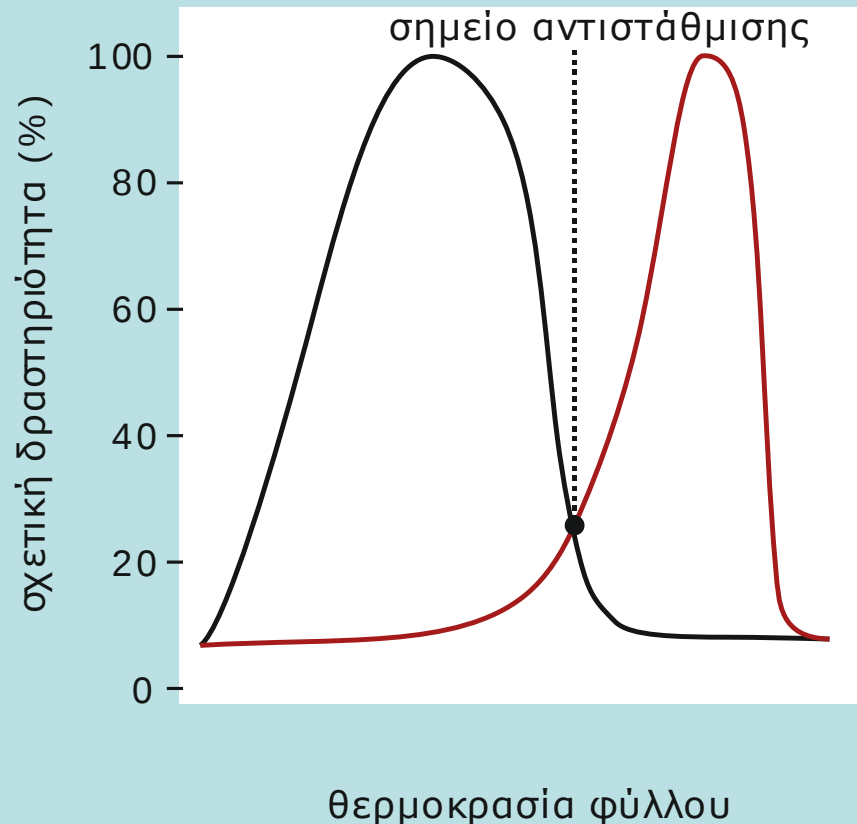
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

- **Εμφάνιση σημείου αντιστάθμισης του CO₂ σε υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας**

Η άνοδος της θερμοκρασίας επηρεάζει τόσο την φωτοσύνθεση, όσο και την αναπνοή, ωστόσο η αναπνοή παρεμποδίζεται σε σαφώς υψηλότερες θερμοκρασίες εν συγκρίσει με τη φωτοσύνθεση. Επομένως αυξανομένης της θερμοκρασίας ανατρέπεται το ισοζύγιο της ταχύτητας αφομοίωσης του CO₂ (μέσω της φωτοσύνθεσης) και της ταχύτητας έκλυσης CO₂ (μέσω της αναπνοής), σταδιακά εις βάρος της πρώτης. Σε μια ορισμένη θερμοκρασία οι ταχύτητες αφομοίωσης και έκλυσης CO₂ μέσω των δύο λειτουργιών εξισώνονται και εμφανίζεται το σημείο αντιστάθμισης. Αυξανομένης περαιτέρω της θερμοκρασίας επικρατεί η έκλυση CO₂.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

- Εμφάνιση σημείου αντιστάθμισης του CO_2 σε υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας



ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Φυτικό είδος	Ιστός ή όργανο	Θανατηφόρος θερμοκρασία (°C)	Χρόνος Έκθεσης (min)
<i>Καλλιεργούμενα φυτικά είδη</i>			
<i>Zea mays</i>	φύλλα	49-51	10
<i>Solanum tuberosum</i>	φύλλα	42,5	60
<i>Olea europaea</i>	φύλλα	57	30
<i>Hordeum vulgare</i>	καρπός	65	8
<i>Lycopersicum esculentum</i>	καρπός	45	-
<i>Malus domestica</i>	καρπός	49-52	-
<i>Vitis vinifera</i>	ώριμη ράγα	63	-
<i>Medicago sativa</i>	σπέρματα	120	30
<i>Triticum</i> sp.	αφυδατωμένος καρπός	90,8	8

Θανατηφόρες υψηλές θερμοκρασίες για ορισμένους φυτικούς
ιστούς καλλιεργουμένων ή μη φυτών

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Φυτικό είδος	Ιστός ή όργανο	Θανατηφόρος θερμοκρασία (°C)	Χρόνος Έκθεσης (min)
<i>Αντιπροσωπευτικά φυτικά είδη</i>			
Κωνοφόρα	αρτίβλαστα	54-55	5
Δενδρώδη είδη	κύτταρα φλοιώδους παρεγχύματος	57-59	30
<i>Opuntia</i> (κάκτος)	βλαστός	>65	-
<i>Iris</i> sp.	βλαστός	55	-
<i>Αείφυλλα σκληρόφυλλα</i>			
<i>Quercus ilex</i>	φύλλα	55	30
<i>Pistacia lentiscus</i>	φύλλα	56	30

Θανατηφόρες υψηλές θερμοκρασίες για ορισμένους φυτικούς ιστούς καλλιεργουμένων ή μη φυτών

ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

- Η σύσταση των μεμβρανών σχετίζεται με την ένταση της καταπόνησης

Μία σημαντική διαφορά στη σύσταση των μεμβρανών μεταξύ θερμόφιλων και μεσόφιλων φυτών είναι η υψηλότερη αναλογία σε κεκορεσμένα λιπαρά οξέα των μεμβρανών της πρώτης κατηγορίας.

Η υψηλότερη συμμετοχή κεκορεσμένων λιπαρών οξέων προσδίδει περιορισμένη ρευστότητα η οποία διατηρεί ισχυρότερες τις υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις των μορίων τα οποία απαρτίζουν την μεμβράνη και ως εκ τούτου η δομή εμφανίζεται σταθερότερη σε υψηλές θερμοκρασίες.

ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Η στρατηγική της διαφυγής**

Επιλέγεται από ψυχρόφιλα είδη τα οποία δεν εξαπλώνονται στις θερμές κλιματικές ζώνες και συνεπώς δεν εκτίθενται στις υψηλές θερμοκρασίες. Μια παραλλαγή της στρατηγικής αυτής αφορά στην αποκοπή των ευαίσθητων οργάνων πριν από την έναρξη της δυσμενούς περιόδου του καλοκαιριού ή στην ύπαρξη ληθαργικών μορφών των φυτών αυτών κατά την ίδια περίοδο.

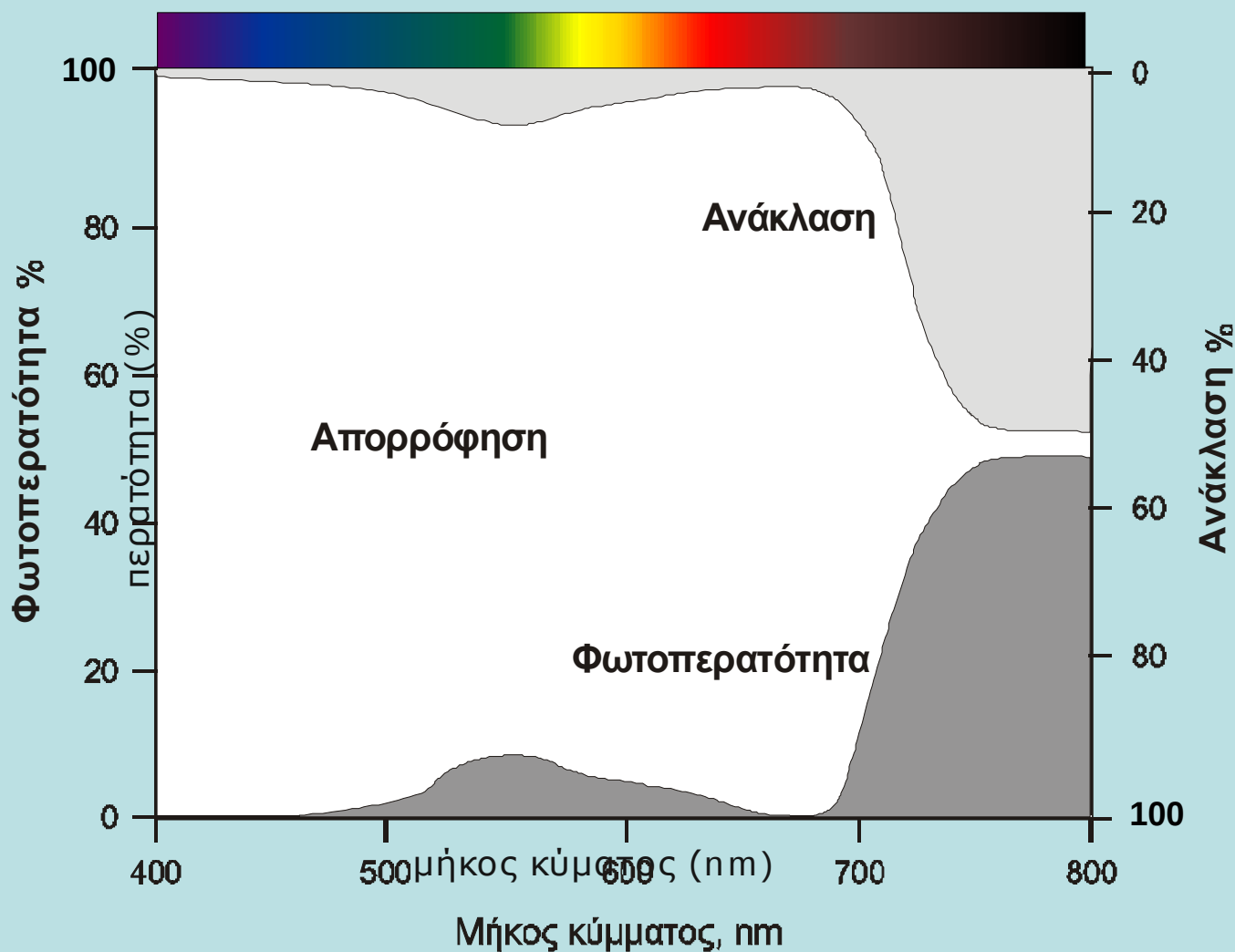
ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Η στρατηγική της αποφυγής**

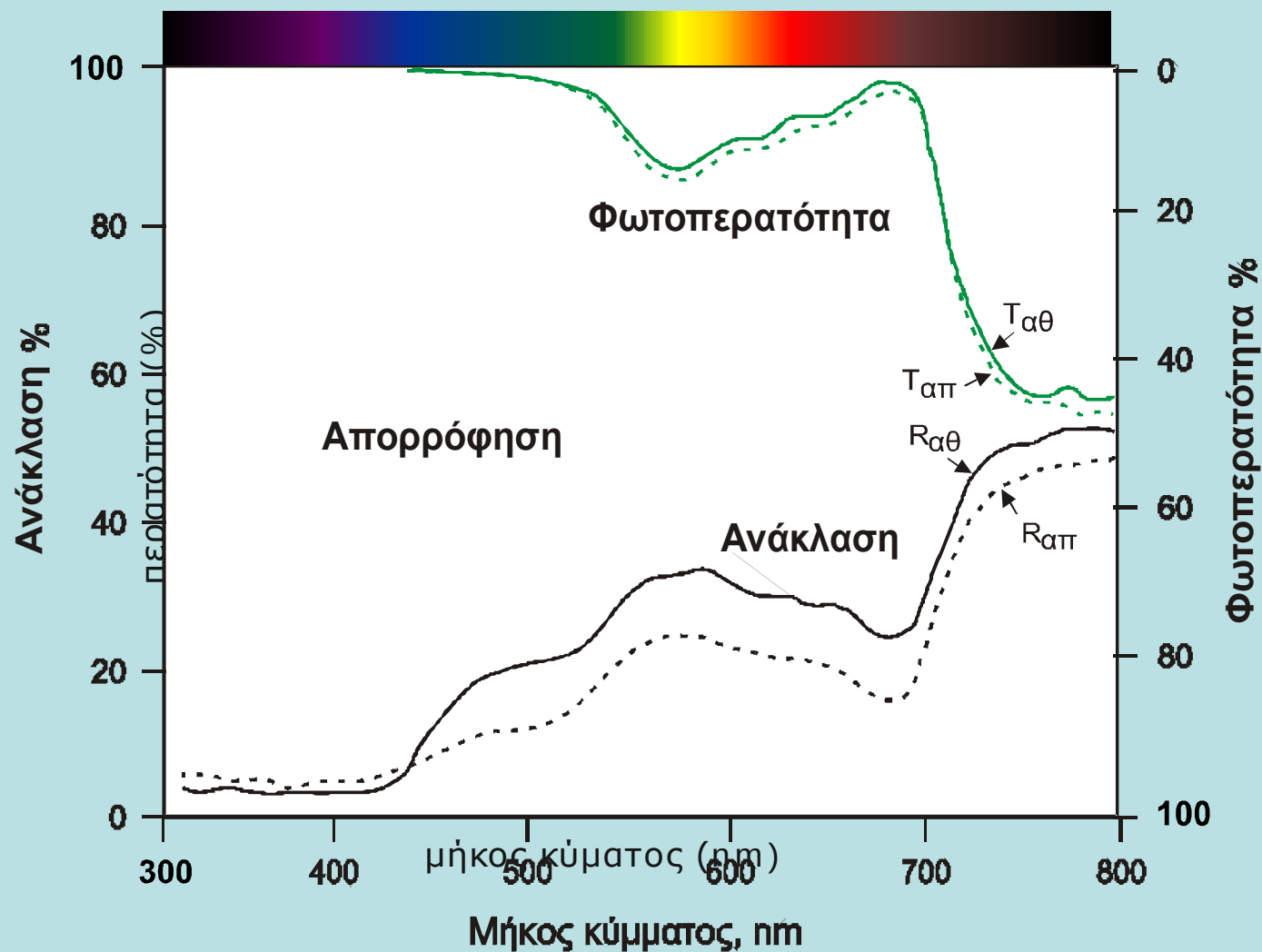
Ορισμένα μορφολογικά-ανατομικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην αποφυγή της υπερθέρμανσης:

1. Συστροφή των φύλλων
2. Κάθετος προσανατολισμός των φύλλων
3. Διαμόρφωση υψηλής ανακλαστικότητας της επιφάνειας των φύλλων μέσω της ύπαρξης τριχώματος ή κατάλληλης διεύθετησης των επιεφυμενιδικών κηρών
4. Περιορισμένου μεγέθους φύλλα, τα οποία συνήθως φέρουν έντονες εγκολπώσεις έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το πάχος του οριακού στρώματος και να μεγιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες
5. Εποχιακός διμορφισμός των φύλλων όπου η μορφολογία των φύλλων εμφανίζει διαφορές μεταξύ της θερμής και της ψυχρής περιόδου.

ΑΠΟΦΥΓΗ-ΟΙ ΑΔΡΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ



ΑΠΟΦΥΓΗ-ΟΙ ΑΔΡΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ



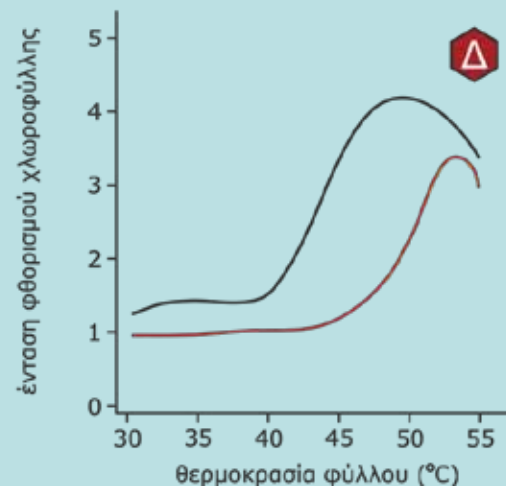
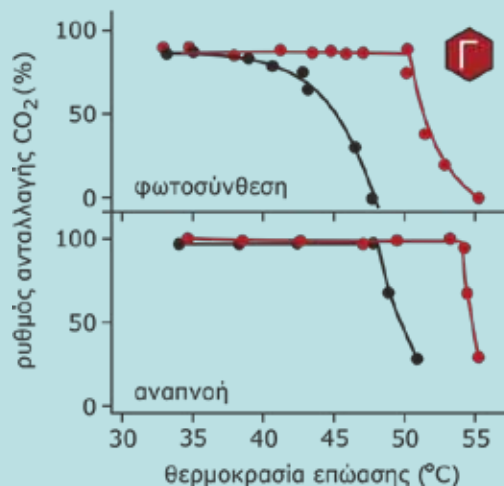
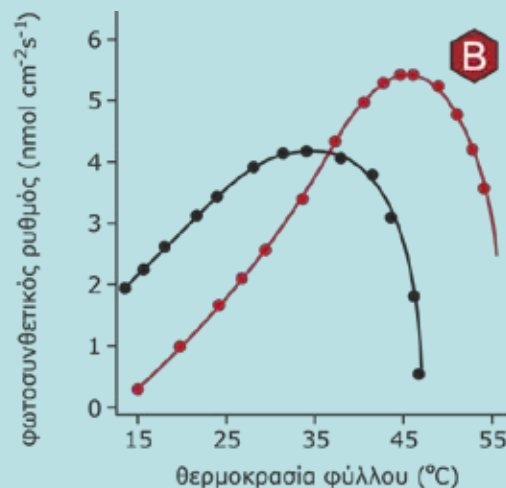
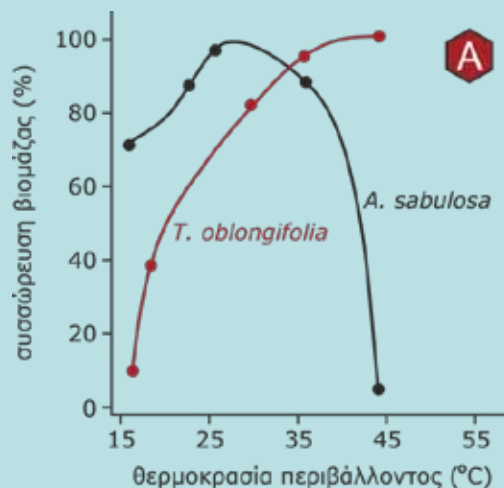
ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

- **Η στρατηγική της ανθεκτικότητας**

Στα φυτά τα οποία είναι ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες τα κύτταρα δεν υφίστανται βλάβες παρόλο που δέχονται την επίδραση θερμοκρασιών σε τιμές και διάρκεια οι οποίες θα ήταν θανατηφόρες για μη ανθεκτικά φυτικά είδη.

Σε φυσιολογικό επίπεδο η εκδήλωση ανθεκτικότητας συνδέεται κυρίως με την *de novo* σύνθεση ορισμένων πρωτεϊνών (κυρίως κατά το στάδιο του εγκλιματισμού), οι οποίες φαίνεται ότι παρέχουν την αναγκαία προστασία σε ζωτικούς μηχανισμούς των κυττάρων.

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ



Ο θάμνος *Tidestromia oblongifolia* αποικεί θερμές ερημικές περιοχές, ενώ το *Atriplex sabulosa* ψυχρές παραθαλάσσιες περιοχές των Η.Π.Α.

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΩΜΑ

- **Ο ρόλος των πρωτεϊνών θερμικής καταπόνησης**

Η έκθεση για σύντομο συνήθως χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες οι οποίες υπερβαίνουν το βέλτιστο, επιφέρει στους περισσότερους φυτικούς οργανισμούς παρεμπόδιση της πρωτεϊνοσύνθεσης, επάγει ωστόσο τη σύνθεση μιας οικογένειας πρωτεϊνών χαμηλού M.B., γνωστών ως πρωτεΐνες θερμικής καταπόνησης (Heat Shock Proteins, HSP).

Οι πρωτεΐνες αυτές παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες, ανεξάρτητα από το φυτικό είδος στο οποίο συντίθενται, ενώ η λειτουργία τους συνδέεται άμεσα με την ικανότητα επιβίωσης σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η σύνθεσή τους είναι ταχεία, ενώ τα υπεύθυνα mRNAs μπορεί να κάνουν την εμφάνισή τους μέσα σε 3 έως 5 min και οι HSPs μέσα σε 30 min από την εφαρμογή της θερμικής καταπόνησης.

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΩΜΑ

- **Κατηγορίες πρωτεϊνών θερμικής καταπόνησης**

Με βάση το μοριακό τους βάρος, οι πρωτεΐνες αυτές διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες: Την HSP 100, την HSP 90, την HSP 70, την HSP 60 και την ετερογενή ομάδα η οποία περιλαμβάνει πρωτεΐνες με Μ.Β. μεταξύ των 17 και 28 kDa.

Μεταξύ των πρωτεϊνών θερμικής καταπόνησης περιλαμβάνεται και η ουμπικουΐτινη, της οποίας ο ρόλος αφορά τη σήμανση πρωτεϊνικών μορίων τα οποία θα υποστούν πρωτεολυτική αποδόμηση.

Ορισμένες πρωτεΐνες της κατηγορίας HSP 70 παίζουν τον ρόλο **τσαπερονινών**. Πρόκειται για μια κατηγορία πρωτεϊνών οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες κατευθύνουν την συναρμολόγηση ετερογενών πρωτεϊνικών συμπλόκων.

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΩΜΑ

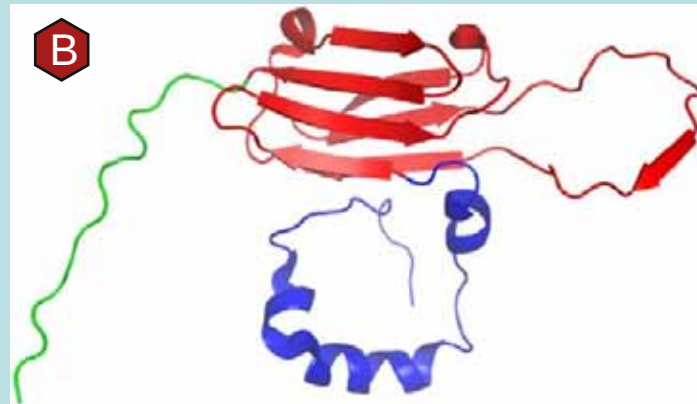
- **Ο ρόλος των πρωτεϊνών θερμικής καταπόνησης**

Οι περισσότερες HSPs συμπεριφέρονται ως τσαπερόνες και ο λειτουργικός τους ρόλος αφορά τη σταθεροποίηση ευαίσθητων πρωτεϊνών ή πρωτεϊνικών συμπλόκων, την αναδίπλωση ή χαλάρωση πολυπεπτιδίων, τη προστασία πρωτεϊνών από τη θερμική καταπόνηση, αλλά και τη μεταφορά πρωτεϊνικών μορίων σε ένα συγκεκριμένο υποκυτταρικό διαμέρισμα ή τη διάθεσή τους για αποικοδόμηση

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΩΜΑ

Κατηγορία HPS	Εντοπισμός	Πιθανή λειτουργία
HSP 110		Άγνωστη
HSP 90		Προστασία άλλων πρωτεϊνών
HSP 70	Κυτταρόπλασμα, μιτοχόνδρια, χλωροπλάστες	Παίρνουν μέρος σε αντιδράσεις συναρμολόγησης ή αποσυναρμολόγησης υπομονάδων ενζύμων ή πολυενζυμικών συμπλόκων.
HSP 60	Κυτταρόπλασμα, μιτοχόνδρια, χλωροπλάστες	Ανάλογη με των HSP 70
LMW HSP (17-28 kDa)	Σχηματίζουν συσσωματώματα στους χλωροπλάστες και το κυτταρόπλασμα	Η λειτουργία τους εν πολλοίς παραμένει άγνωστη
Ουμπικουϊτίνη		Αναλαμβάνει την επισήμανση πρωτεϊνικών μορίων τα οποία πρόκειται να αποδομηθούν

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΩΜΑ



ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΩΜΑ

- **Λοιπές πρωτεΐνες**

- Μεταγραφικοί παράγοντες DREB2

- Εκτασίνες

- Ένζυμα του μεταβολισμού ολιγοσακχαριτών

- Ένζυμα του αντιοξειδωτικού μεταβολισμού

- Μέλη της οικογένειας LEA / αφυδατάσες