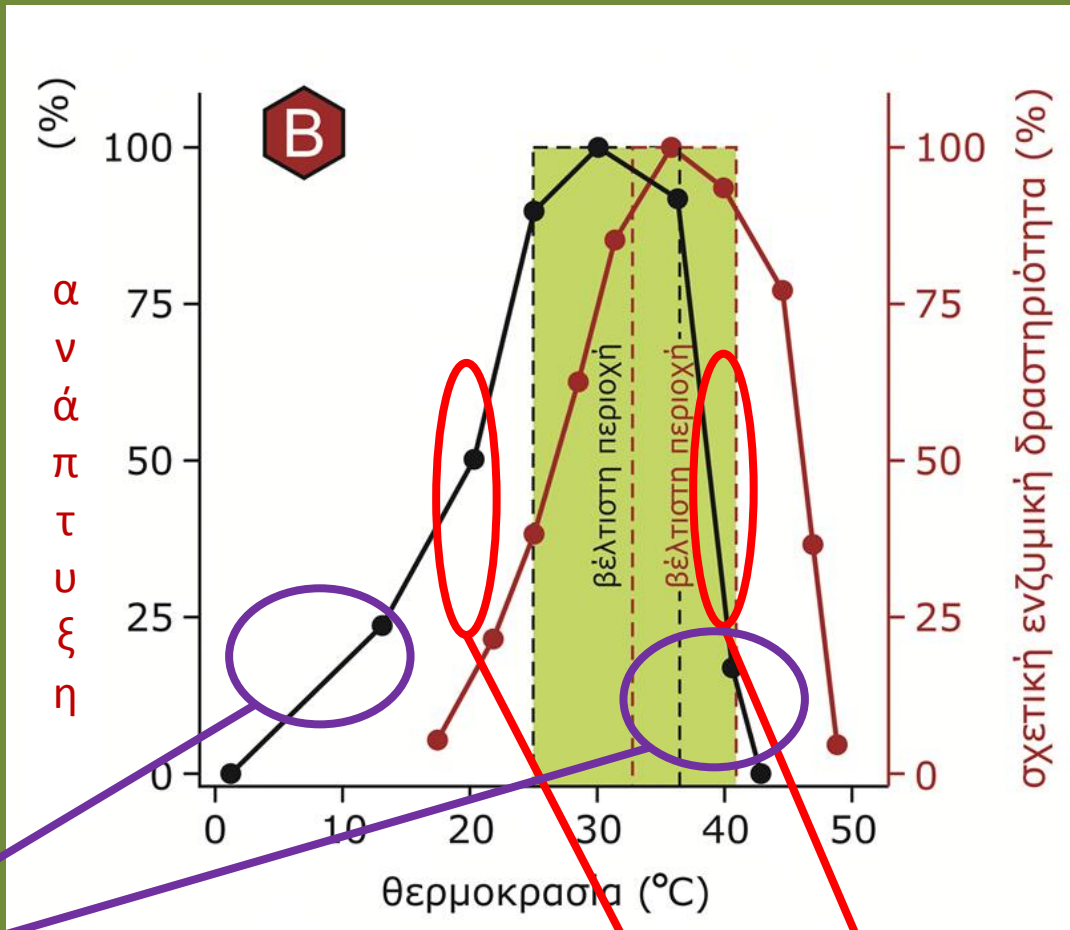


Η ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών περιορίζεται από ανώτερα και κατώτερα όρια θερμοκρασίας του περιβάλλοντος

Κάθε φυτικός οργανισμός αυξάνεται και
αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε μια περιοχή
θερμοκρασιών η οποία χαρακτηρίζεται ως βέλτιστη
και διαθέτει **κατώτερο** και **ανώτερο** όριο

Το βέλτιστο και τα όρια

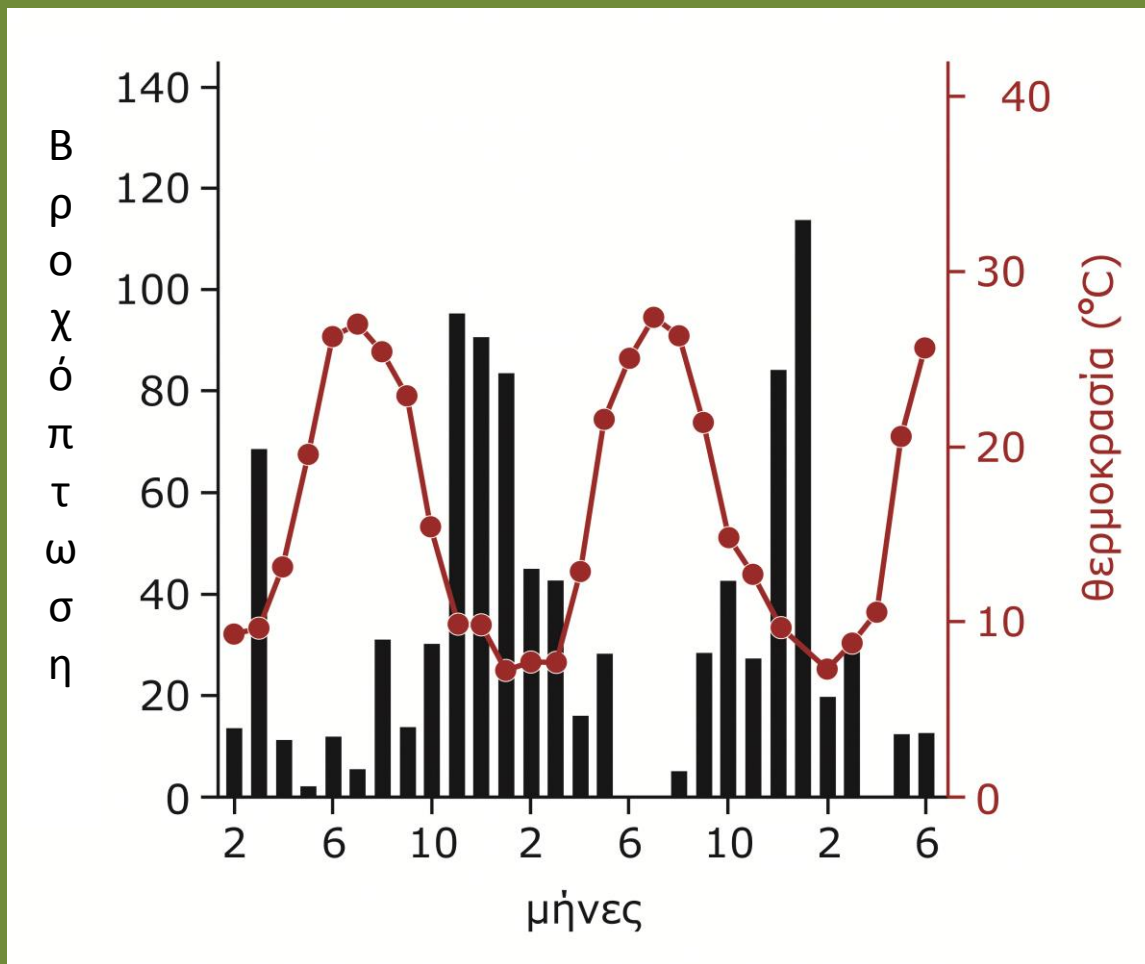


Θανατηφόρα όρια

μόνιμες φυσιολογικές βλάβες

αναστρέψιμη παρεμπόδιση της ανάπτυξης

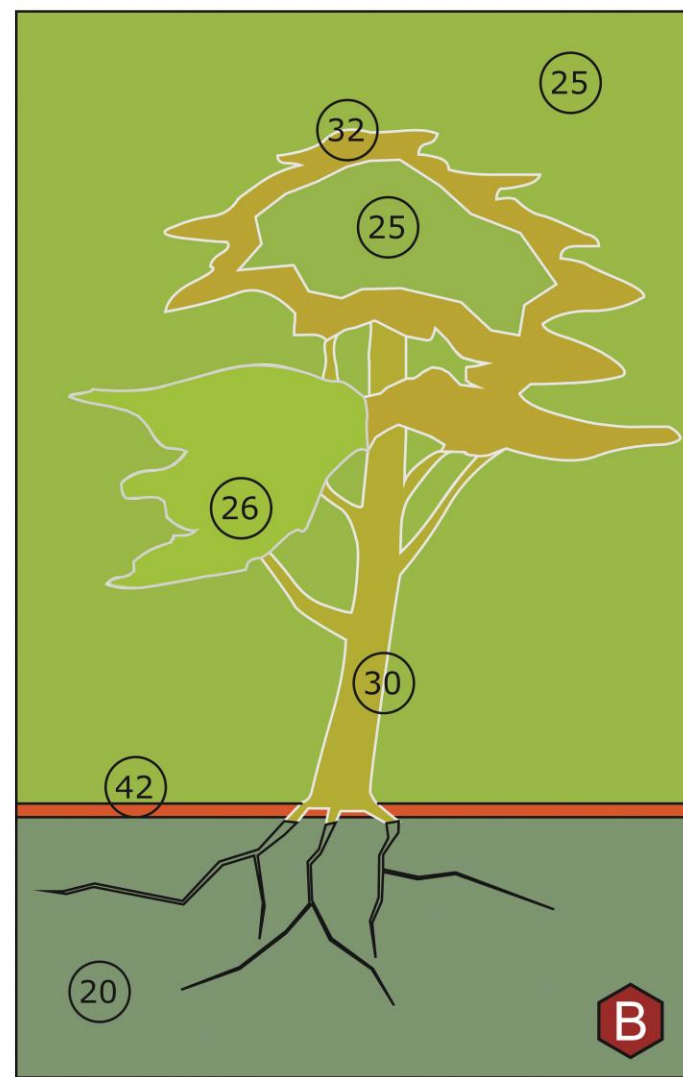
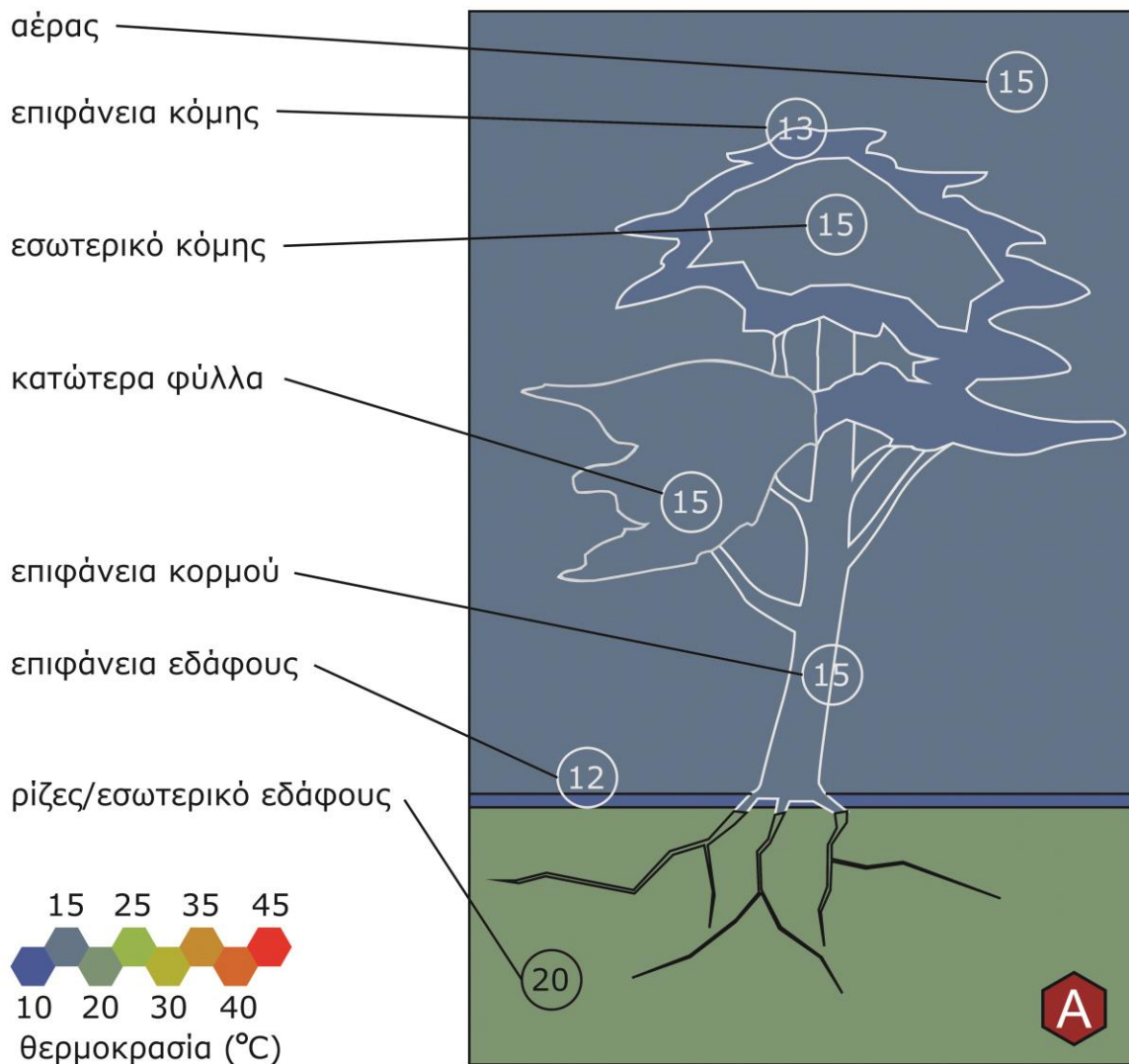
Θερμοκρασία: ένας παράγοντας με πολλές διακυμάνσεις



Θερμοκρασία: ένας παράγοντας με πολλές διακυμάνσεις

Νύχτα

Ημέρα



Η προσαρμογή και τα όρια εξάπλωσης

διαφορές στο θερμοκρασιακό καθεστώς μεταξύ διαφορετικών κλιματικών περιοχών

τα φυτά δεν διαθέτουν μηχανισμούς ρύθμισης της θερμοκρασίας τους (ως ποικιλόθερμοι οργανισμοί)

εξέλιξη

ιδιαίτερες φυσιολογικές, ανατομικές και μορφολογικές προσαρμογές στις επί μέρους κλιματικές συνθήκες

Όρια εξάπλωσης του φυτικού είδους

Θερμοκρασιακά όρια ανάπτυξης

οι φυτικοί οργανισμοί μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

ψυχρόφιλοι

βέλτιστη ανάπτυξη σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (0-20°C)

μεσόφιλοι

10-30°C

θερμόφιλοι

30-65°C

Αντίληψη των θερμοκρασιακών μεταβολών

δεν υπάρχει ένα μοναδικό «θερμόμετρο»,
αλλά η αντίληψη μέσω ενός **κυτταρικού δικτύου που αποτελείται από «θερμοστάτες»** που αντιλαμβάνονται τις μεταβολές θερμοκρασίας που τείνουν να ανατρέψουν την κυτταρική ομοιόσταση

Οι «θερμοστάτες»

συστατικά του κυττάρου ευαίσθητα σε μεταβολές της θερμοκρασίας: η κυτταροπλασματική μεμβράνη, ο κυτταροσκελετός και ορισμένες πρωτεΐνες

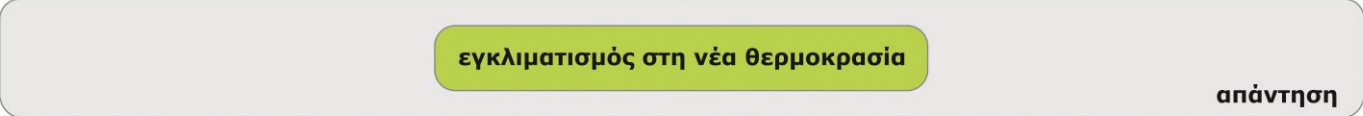
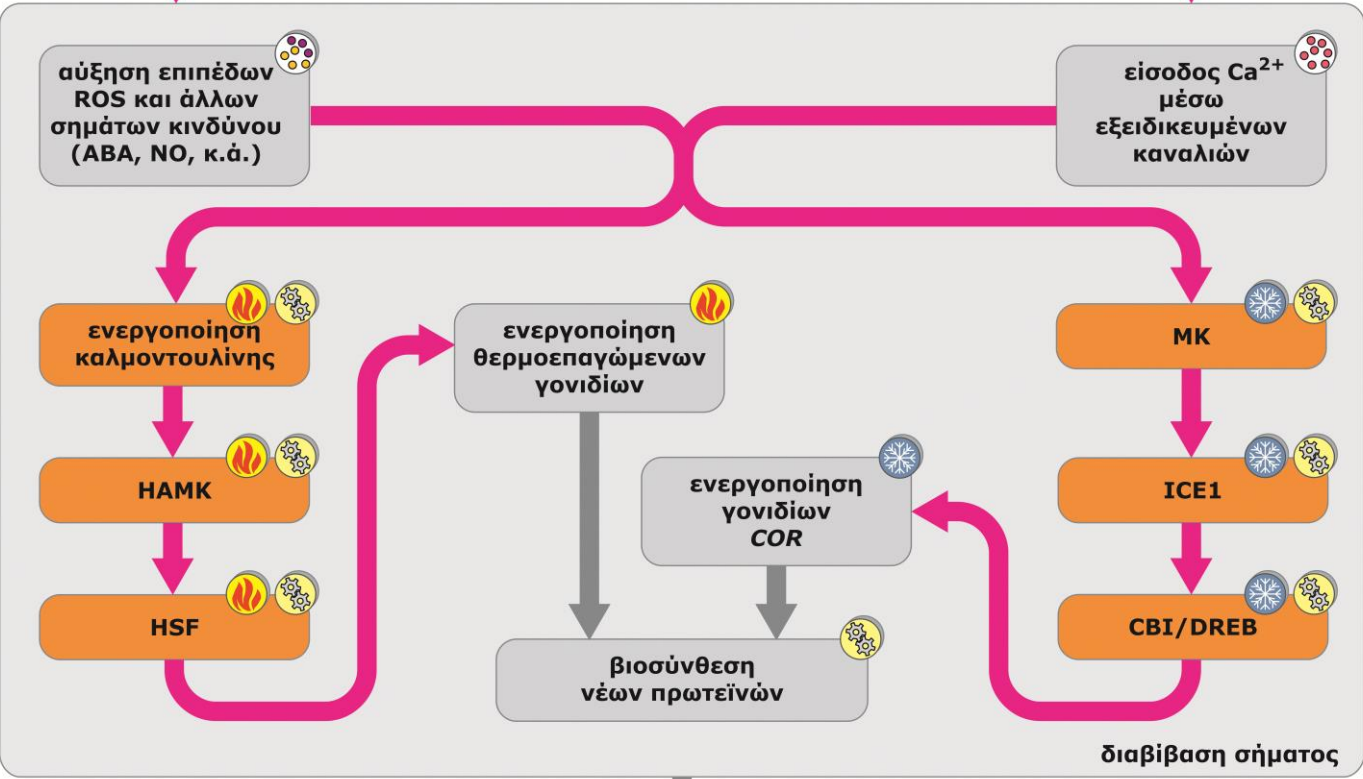
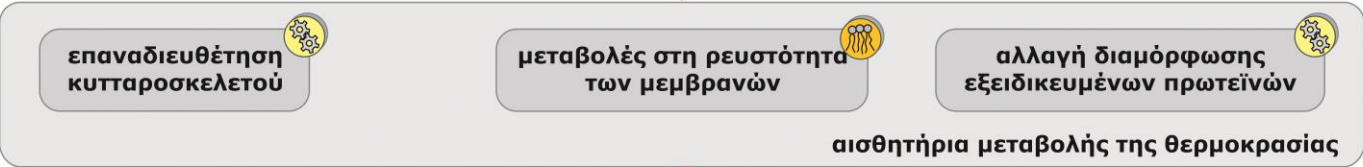
Η αντίληψη της θερμοκρασιακής μεταβολής

Μεταβολές στους «θερμοστάτες»

ενεργοποίηση δικτύου διαβίβασης σήματος

αλλαγές σε μεταγραφικό και μετα-μεταγραφικό επίπεδο

μεταβολική ισορροπία στις νέες συνθήκες
θερμοκρασιακού περιβάλλοντος



αύξηση θερμοκρασίας

μείωση θερμοκρασίας

επαναδια-
κυτταροσ-

Κοινή αντίληψη για \uparrow και \downarrow θ

απόφωσης
πρωτεϊνών

αισθητήρια μεταβολής της θερμοκρασίας

αύξηση επιπέδων
ROS και άλλων
σημάτων κινδύνου
(ABA, NO, κ.ά.)

ενεργοποίηση
καλμοντουλίνης

HAMK

HSF

Διάκριση
ερεθίσματος από το
δίκτυο διαβίβασης
σήματος

ενεργοποιούνται
διαφορετικοί
μεταγραφικοί
παράγοντες και
μεταγράφονται
διαφορετικά γονίδια
για κάθε περίπτωση

είσοδος Ca^{2+}
μέσω
εξειδικευμένων
καναλιών

MK

ICE1

CBI/DREB

διαβίβαση σήματος

απάντηση

Η αντίληψη θερμοκρασιακών μεταβολών από τις κυτταρικές μεμβράνες

αλλαγή της ρευστότητάς τους



Η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί θερμοδυναμικά τις κινήσεις των μορίων των λιπιδίων, με αποτέλεσμα οι μεμβράνες να γίνονται ρευστότερες και περισσότερο εύκαμπτες

Πτώση της θερμοκρασίας προκαλεί ακαμψία των μεμβρανών

Η αντίληψη θερμοκρασιακών μεταβολών από τον κυτταροσκελετό

επαναδιευθέτηση του κυτταροσκελετού

Η αρχιτεκτονική του κυτταροσκελετού μεταβάλλεται μέσω πολυμερισμού-αποπολυμερισμού των συστατικών του (μικροσωληνίσκων, νηματίων ακτίνης και πρωτεϊνών)



Ενεργοποίηση μηχανισμού μεταβίβασης σήματος

Η αντίληψη θερμοκρασιακών μεταβολών από πρωτεΐνες

αλλαγή στη διαμόρφωση ορισμένων
εξειδικευμένων πρωτεϊνών

π.χ. συσσώρευση πρωτεϊνών με αλλοιωμένη αναδίπλωση



Ενεργοποίηση μηχανισμού μεταβίβασης σήματος

Οι επιπτώσεις...

Το ψύχος (0 - 15 °C) αποτελεί παράγοντα καταπόνησης για μεσόφιλους και θερμόφιλους φυτικούς οργανισμούς

Οι ακραίες θερμοκρασίες κάτω των 0°C αποτελούν παράγοντα καταπόνησης για όλους τους φυτικούς οργανισμούς

Οι επιπτώσεις του ψύχους

Όχι σημαντικός παράγοντας καταπόνησης για ψυχρόφιλα είδη, αλλά σημαντικότερος για είδη προσαρμοσμένα σε θερμά κλίματα (ντομάτα, καλαμπόκι, σόγια, βαμβάκι κ.α.)

ευαίσθητα σε χαμηλές θερμοκρασίες



συμπτώματα καταπόνησης σε θερμοκρασίες κάτω από 10°C

Οι επιπτώσεις του ψύχους

Τα συμπτώματα εξαρτώνται από:

- ✓ είδος
- ✓ ηλικία του φυτού
- ✓ είδος του ιστού ή του οργάνου
- ✓ διάρκεια έκθεσης στις χαμηλές θερμοκρασίες

Οι επιπτώσεις του ψύχους: τα συμπτώματα στα νεαρά αρτίβλαστα

χλώρωση

μειωμένη έκπτυξη φύλλων

μάρανση (ανεξάρτητα από την παροχή νερού)

νεκρωτικές κηλίδες ή/και ο θάνατος του φυτού



Μάρανση φύλλων παρά το επαρκές νερό- 1^η ένδειξη καταπόνησης από ψύχος. Γιατί:

μειώνεται η
αγωγιμότητα
μεμβρανών των ριζών



αυξάνεται το ιξώδες
του νερού

Ο μηχανισμός των στοματικών κινήσεων παρουσιάζει παρεμπόδιση ή υστέρηση να ανταποκριθεί στο υπάρχον έλλειμμα νερού



Συνθήκες υδατικής καταπόνησης

Οι επιπτώσεις του ψύχους

χλώρωση

μειωμένη έκπτυξη
φύλλων

μάρανση (ανεξάρτητα από την
παροχή νερού)

νεκρωτικές κηλίδες ή/και ο θάνατος του φυτού

εκτεταμένη μεταβολική δυσλειτουργία

περιορισμό των δραστηριοτήτων:

- ✓ αναπνοής
- ✓ φωτοσύνθεσης
- ✓ πρωτεϊνοσύνθεσης
- ✓ πρόσληψης νερού
και θρεπτικών συστατικών κ.ά.

Μεταβολικές δυσλειτουργίες ως επιπτώσεις του ψύχους

Οι δυσλειτουργίες αποδίδονται σε **αναστρέψιμες μεταβολές** τις οποίες προξενούν οι χαμηλές θερμοκρασίες στη:

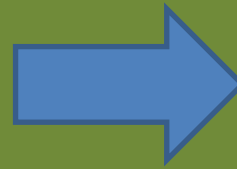
★ **δομή των κυτταρικών μεμβρανών** (μετατροπή της ρευστής λειτουργικής μορφής τους σε ημικρυσταλλική)

★ **διαμόρφωση πρωτεϊνών** (μεταβολές στη διαμόρφωση και αποσταθεροποίηση συμπλόκων)

★ **ταχύτητα ενζυμικών αντιδράσεων** (μείωση)

Συνέπειες της μετάβασης των μεμβρανών σε ημικρυσταλλική μορφή

A) Αλλοιώνεται η
ακεραιότητα και η
περατότητα των
μεμβρανών



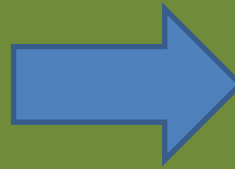
απώλεια της
διαμερισματοποίησης
και την ανεξέλεγκτη
διαρροή μεταβολιτών



Αναλογία με την υδατική καταπόνηση

Συνέπειες της μετάβασης των μεμβρανών σε ημικρυσταλλική μορφή


B) διαταραχές στη
δομή και λειτουργία
μεμβρανικών
πρωτεϊνών



Άμεση συνέπεια σε
αναπνοή και
φωτοσύνθεση

Ο παγετός: θ κάτω των $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

εντονότερες ζημιογόνες επιδράσεις από την περίπτωση του ψύχους, και επιπροσθέτως ευνοούν τον σχηματισμό κρυστάλλων πάγου στα κύτταρα

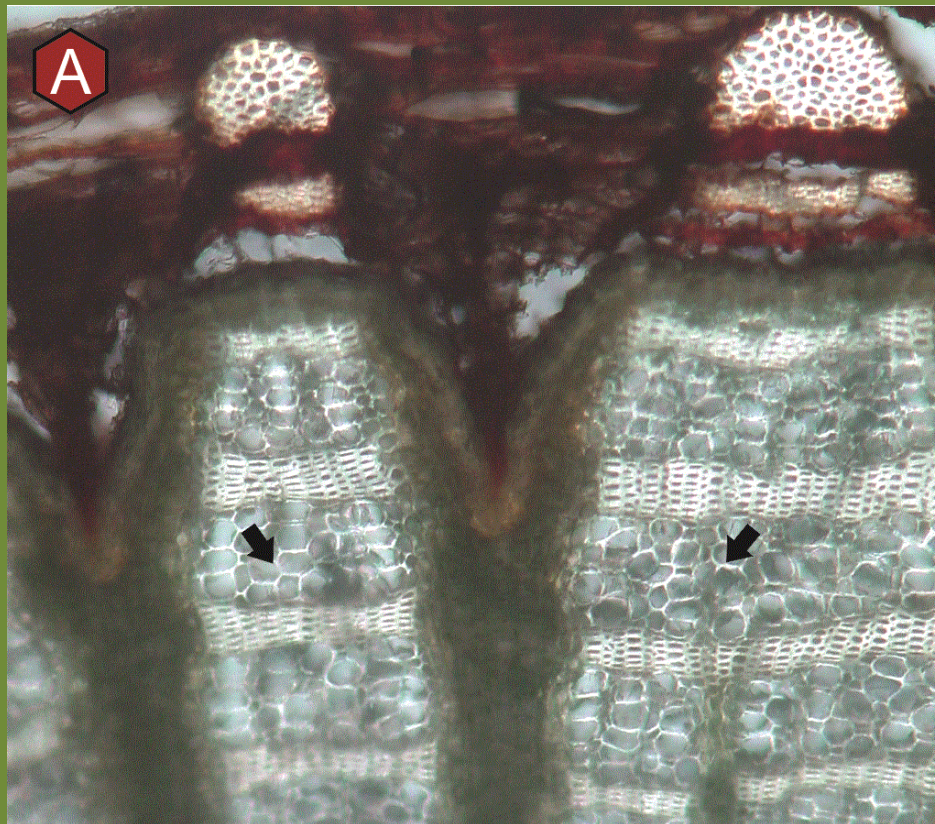


θάνατος των κυττάρων
λόγω μηχανικής
καταστροφής της λεπτής
δομής τους

Ο παγετός: θ κάτω των 0°C

εγκάρσια τομή βλαστού αμπελιού από περιοχή χωρίς παγετό

τομή βλαστού αμπελιού από την περιοχή Τυρνάβου στην οποία συνέβη επεισόδιο παγετού



μαύρα βέλη: οι αλλοιώσεις που έχει υποστεί η περιοχή του ηθμού

κίτρινα βέλη: ο έντονος καφέ μεταχρωματισμός στις εντεριόνιες ακτίνες και τον ηθμό που οφείλεται στην οξείδωση φαινολικών των κυττάρων λόγω της ρήξης των κυτταρικών μεμβρανών των καταπονημένων φυτών

Ο παγετός: θ κάτω των $0\text{ }^{\circ}\text{C}$



Ζημιές από παγετό στο ευαίσθητο καλλωπιστικό *Begonia* sp. Η καταστροφή των κυττάρων λόγω του σχηματισμού κρυστάλλων πάγου προκάλεσε την έξοδο του κυτταρικού χυμού (κόκκινες σταγόνες λόγω της παρουσίας ανθοκυανινών)

Ο παγετός: θ κάτω των $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Η περιεκτικότητα των ιστών σε νερό αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα ανθεκτικότητας των φυτικών ιστών έναντι των συνθηκών παγετού

Αφυδατωμένοι
ιστοί (π.χ.
σπέρματα)

παρατεταμένη διατήρηση
στο απόλυτο 0 ($0\text{ }^{\circ}\text{K}$)

Ενυδατωμένοι
ιστοί

σχηματισμός πάγου –
εκτός περιπτώσεων
υαλοποίησης

Ανθεκτικότητα διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης καλλιεργούμενων φυτών σε θερμοκρασίες παγετού

ανηπροσωπευτικά φυτά	ζημιογόνος θερμοκρασία παγετού (°C) κατά το στάδιο		
	βλάστησης	άνθησης	καρπώδους
χειμερινές ποικιλίες σίτου	-37		
εαρινές ποικιλίες σίτου	-9	-1	-2
βρώμη	-8	-1	-2
κριθάρι	-7	-1	-2
μπιζέλι	-7	-2	-3
φακή	-7	-2	-2
φασόλι	-5	-2	-3
ηλίανθος	-5	-2	-2
λινάρι	-5	-2	-2
ζαχαρότευτλο	-6	-2	
σόγια	-3	-2	-2
καλαμπόκι	-2	-1	-2
πατάτα	-2	-1	-1
σόργο	-2	-1	-2
βαμβάκι	-1	-1	-2
ρύζι	-0,5	-0,5	-0,5
τομάτα	0	0	0
καπνός	0	0	0

Η καταπόνηση ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών αντιμετωπίζεται μέσω δύο στρατηγικών

① Αποφυγή

② Ανθεκτικότητα

Διαφυγή: φυτικά είδη (κυρίως θερμόφιλα) τα οποία εξαπλώνονται σε θερμά κλίματα και επομένως ουδέποτε εκτίθενται σε ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες

Αποφυγή

Περιορισμός των θερμικών απωλειών των ιστών, μέσω κατάλληλων μορφολογικών - ανατομικών προσαρμογών

αλληπάλληλες επικαλύψεις των οφθαλμών με λέπια ή τρίχωμα

παραμονή των διαχειμαζόντων οργάνων κάτω από στρώματα φύλλων ή στρωμνής ή εντός του εδάφους

αποκοπή και πτώση των ευαίσθητων οργάνων (π.χ. φύλλων) πριν από την έναρξη των συνθηκών παγετού

κινήσεις των φύλλων

Αποφυγή



Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα έναντι ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών αυξάνεται θεαματικά εάν προηγηθεί κατάλληλος εγκλιματισμός των φυτών: **σκληραγώγηση**

Αρτίβλαστα χειμερινών ποικιλιών σίκαλης:

Θάνατος στους -4 έως -5°C

εγκλιματισμός στους 5°C

Επιβίωση έως και -30°C

Σκληραγώγηση

Σε φυσιολογικό επίπεδο περιλαμβάνει την ενεργοποίηση ορισμένων μηχανισμών:

- α) Μεταβολές στην αρχιτεκτονική των κυττάρων
- β) Σταθεροποίηση των μεμβρανών
- γ) Εκτεταμένες μεταβολικές αλλαγές
- δ) Σύνθεση εξειδικευμένων πρωτεϊνών καταπόνησης
- ε) Μεταβολές στην έκφραση των γονιδίων

α) Μεταβολές στην αρχιτεκτονική των κυττάρων I

- ★ Εναπόθεση λιγνίνης
- ★ Πάχυνση κυτταρικών τοιχωμάτων

Ισχυροποίηση
κ.τ.

Αποφυγή ζημιών λόγω της αφυδάτωσης, της συρρίκνωσης του κυττάρου και της δημιουργίας κρυστάλλων πάγου

α) Μεταβολές στην αρχιτεκτονική των κυττάρων II

Οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν αποσταθεροποίηση και αποπολυμερισμό των μικροσωληνίσκων



Σκληρα-
γώγηση

Οι ευαίσθητοι στις χαμηλές θερμοκρασίες μικροσωληνίσκοι αντικαθίστανται από άλλους οι οποίοι επιδεικνύουν σταθερότητα στις συνθήκες αυτές

β) Σταθεροποίηση των μεμβρανών

- ① μεταβολές της σύστασης των μεμβρανών σε λιπίδια
- ② σύνθεση πρωτεϊνών (για σταθεροποίηση δομής)
- ③ ενεργοποίηση των αντιοξειδωτικών συστημάτων

β) Σταθεροποίηση των μεμβρανών

① μεταβολές της σύστασης των μεμβρανών σε λιπίδια

τα ακόρεστα λιπαρά οξέα στερεοποιούνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι τα κορεσμένα

η αναλογία ακόρεστων προς κορεσμένα επηρεάζει τη ρευστότητα των μεμβρανών

υψηλότερη αναλογία σε ακόρεστα λιπαρά οξέα → φυτά ανθεκτικά στις χαμηλές θερμοκρασίες

β) Σταθεροποίηση των μεμβρανών

φυτικό είδος	φυτικό όργανο	λόγος ακόρεστων / κεκορεσμένων Λιπαρών οξέων
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>	οφθαλμοί	3,2
<i>Brassica campestris</i>	ρίζα	3,9
<i>Pisum sativum</i>	βλαστός	3,8

λιπιδίων των μεμβρανών απομονωμένων μιτοχονδρίων ευαίσθητων και ανθεκτικών στο ψύχος ιστών

γ) Εκτεταμένες μεταβολικές αλλαγές

★ μετατροπή των αποθεμάτων αμύλου σε σάκχαρα

★ συσσώρευση γλυκοπρωτεϊνών και αντιπαγετικών πρωτεϊνών

★ συσσώρευση συμβατών οσμωλυτών



Προστασία και αύξηση αντοχής του πρωτοπλάστη έναντι της αφυδάτωσης

δ) Σύνθεση εξειδικευμένων πρωτεϊνών καταπόνησης

★ Αφυδατάσες

αποτροπή αποσταθεροποίησης μεμβρανών σε συνθήκες αφυδάτωσης του κυττάρου και αντιοξειδωτικές, αντιπαγετικές, κρυοπροστατευτικές ιδιότητες

★ Αντιπαγετικές

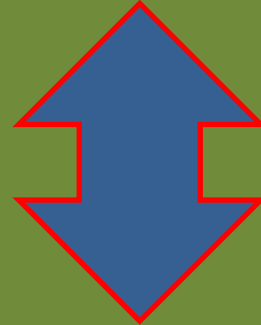
απεκκρίνονται στους αποπλασματικούς χώρους και καθυστερούν τη δημιουργία ή την εξάπλωση παγοκρυστάλλων

★ Ψυχρού σοκ

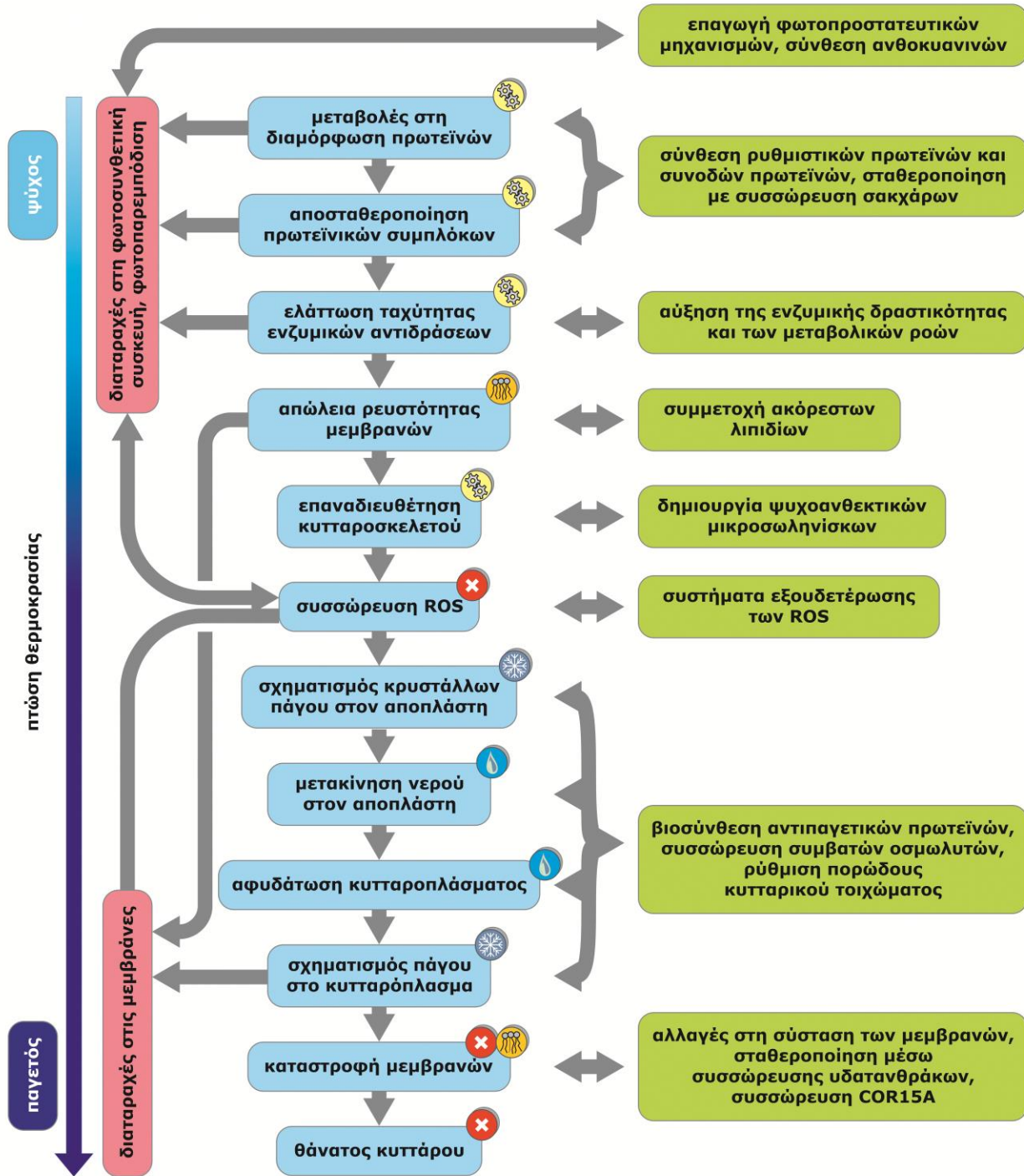
προσδέονται σε μόρια RNA και προστατεύουν τη δευτεροταγή δομή του μορίου

ε) Μεταβολές στην έκφραση γονιδίων

μεταβολές στην έκφραση πολυάριθμων γονιδίων (π.χ. 4% γονιδιώματος Arabidopsis)



αυξημένη σύνθεση πρωτεϊνών,
των οποίων η ποιοτική σύνθεση εμφανίζεται τρο-
ποποιημένη έναντι αυτής που συμβαίνει απουσία
καταπόνησης



Οι υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα καταπόνησης των φυτών

Το ανώτατο όριο ανθεκτικότητας για τα περισσότερα φυτά είναι η θερμοκρασία των **50-55°C**



Ερημικά φυτά: αντέχουν σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 60 °C

Οι υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα καταπόνησης των φυτών

φυτικό είδος	ιστός ή όργανο	θανατηφόρος θερμοκρασία (°C)	χρόνος έκθεσης (min)
<i>καλλιεργούμενα</i>			
<i>Zea mays</i>	φύλλα	49-51	10
<i>Solanum tuberosum</i>	φύλλα	42,5	60
<i>Hordeum vulgare</i>	ένυδρος καρπός	65	8
<i>Triticum sp.</i>	αφυδρωμένος καρπός	90,8	8
<i>Vitis vinifera</i>	ωριμη ράγα	63	
<i>Medicago sativa</i>	σπέρματα	120	30
<i>Lycopersicon esculentum</i>	καρπός	45	
<i>Malus domestica</i>	καρπός	49-52	
<i>Olea europaea*</i>	φύλλα	57	30
<i>διάφορα αντιπροσωπευτικά είδη</i>			
Κωνοφόρα	αρτίβλαστα	54-55	5
Δενδρώδη είδη	κύτταρα φλοιώδους παρεγχύματος	57-59	30
<i>Opuntia</i> (κάκτος)	βλαστός	>65	
<i>Iris sp.</i>	βλαστός	55	
<i>αείφυλλα σκληρόφυλλα</i>			
<i>Quercus ilex*</i>	φύλλα	55	30
<i>Pistacia lentiscus*</i>	φύλλα	56	30

Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών

α) σε όργανα-ιστούς:

★ τα **μεριστώματα** είναι περισσότερο ευαίσθητα σε ακραίες θερμοκρασίες έναντι των άλλων ιστών

★ κατά το στάδιο **της αναπαραγωγής:**



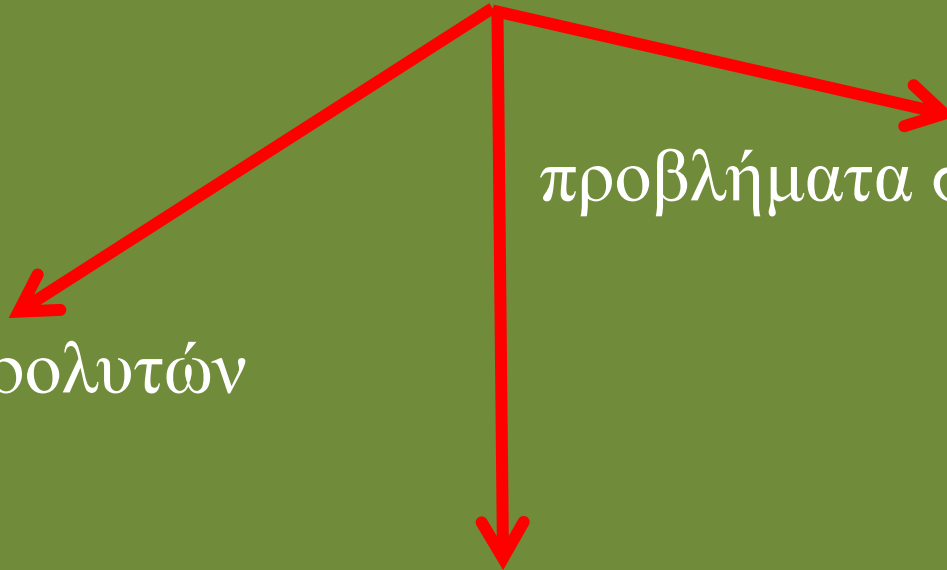
πόροι που προορίζονταν π.χ. για το γέμισμα του καρπού, κατευθύνονται προς αντιμετώπιση της καταπόνησης, συνεπώς παρατηρείται πτώση ή και πλήρης καταστροφή της παραγωγής

- i) αποβολή ανθοφόρων οφθαλμών και ανθέων
- ii) ανωμαλίες στην ανάπτυξη γυρεόκοκκων και ανθήρων

Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών

β) σε μεμβράνες:

Η ρευστότητα των μεμβρανών αυξάνεται σε υψηλές θερμοκρασίες



διαρροή ηλεκτρολυτών

προβλήματα στην περατότητα

αυξημένη παραγωγή ROS

Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών

γ) σε λειτουργίες:

Η λειτουργία του φωτοσυστήματος II εμφανίζεται ιδιαίτερα ευαίσθητη έναντι των υψηλών θερμοκρασιών (αποδραστηριοποίηση συμπλόκου φωτόλυσης νερού και παραγωγή οξυγόνου)



διακοπή της ροής ηλεκτρονίων προς το φωτοσύστημα I

Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών

γ) σε λειτουργίες:

επαναδιευθετήσεις των συμπλόκων μεταξύ των φωτοσυνθετικών χρωστικών και πρωτεϊνών



δυσλειτουργίες στη ροή των ηλεκτρονίων και τη φωτοφωσφορυλίωση

Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών

γ) σε λειτουργίες:

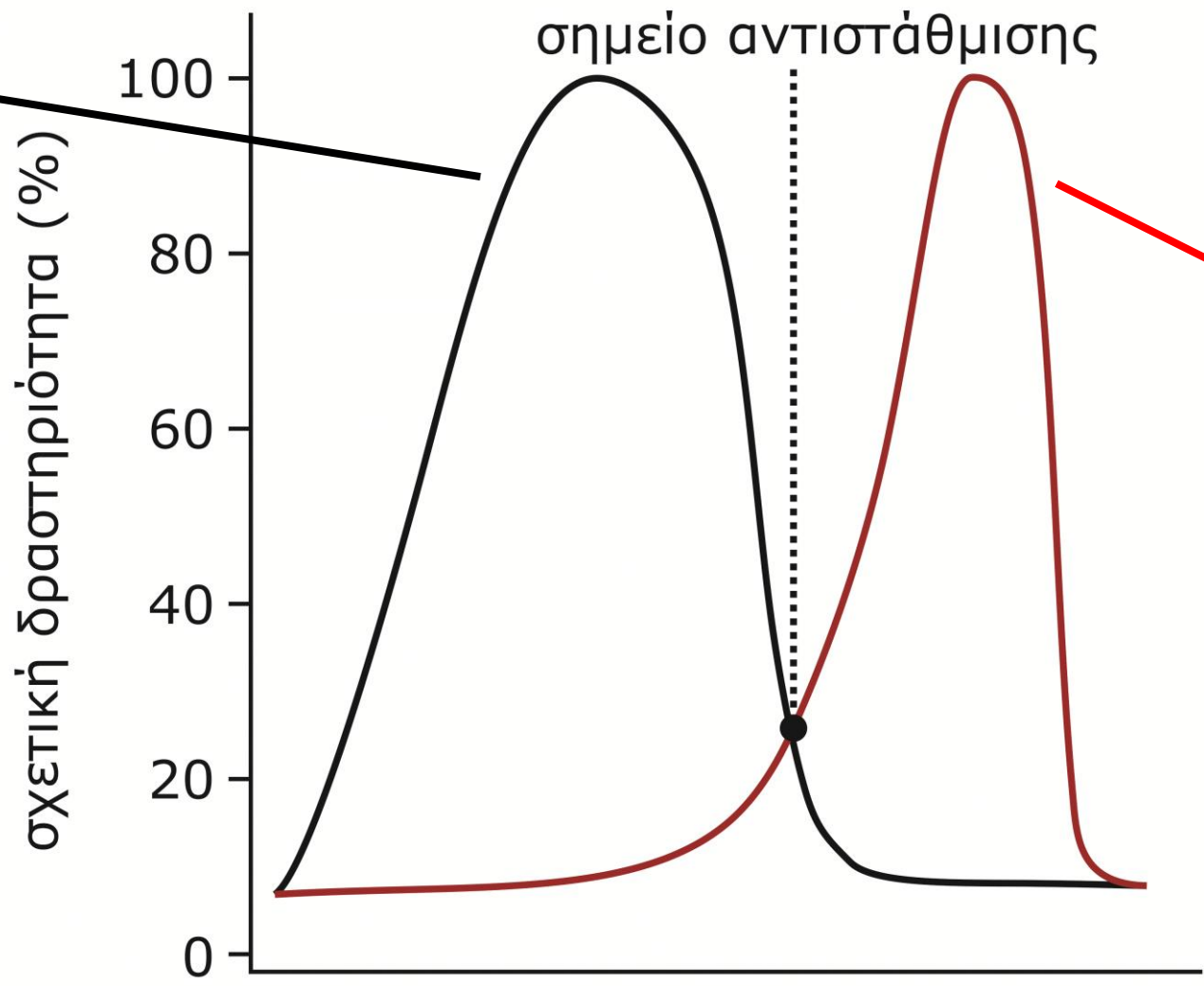
η αναπνοή παρεμποδίζεται σε σαφώς υψηλότερες θερμοκρασίες εν συγκρίσει με τη φωτοσύνθεση



ανατρέπεται το ισοζύγιο της ταχύτητας αφομοίωσης του CO_2 (μέσω της φωτοσύνθεσης) και της ταχύτητας έκλυσης CO_2 (μέσω της αναπνοής)

Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών

Φωτο-
σύνθεση



αναπνοή

Η καταπόνηση λόγω υψηλών θερμοκρασιών αντιμετωπίζεται μέσω τριών στρατηγικών

❶ Διαφυγή

❷ Αποφυγή

❸ Ανθεκτικότητα

Διαφυγή

Τη στρατηγική αυτή ακολουθούν είτε ψυχρόφιλα είδη τα οποία δεν εξαπλώνονται σε θερμές κλιματικές ζώνες, είτε φυτά τα οποία κατά τη διάρκεια της δυσμενούς θερμής περιόδου απαντώνται σε ληθαργικές μορφές

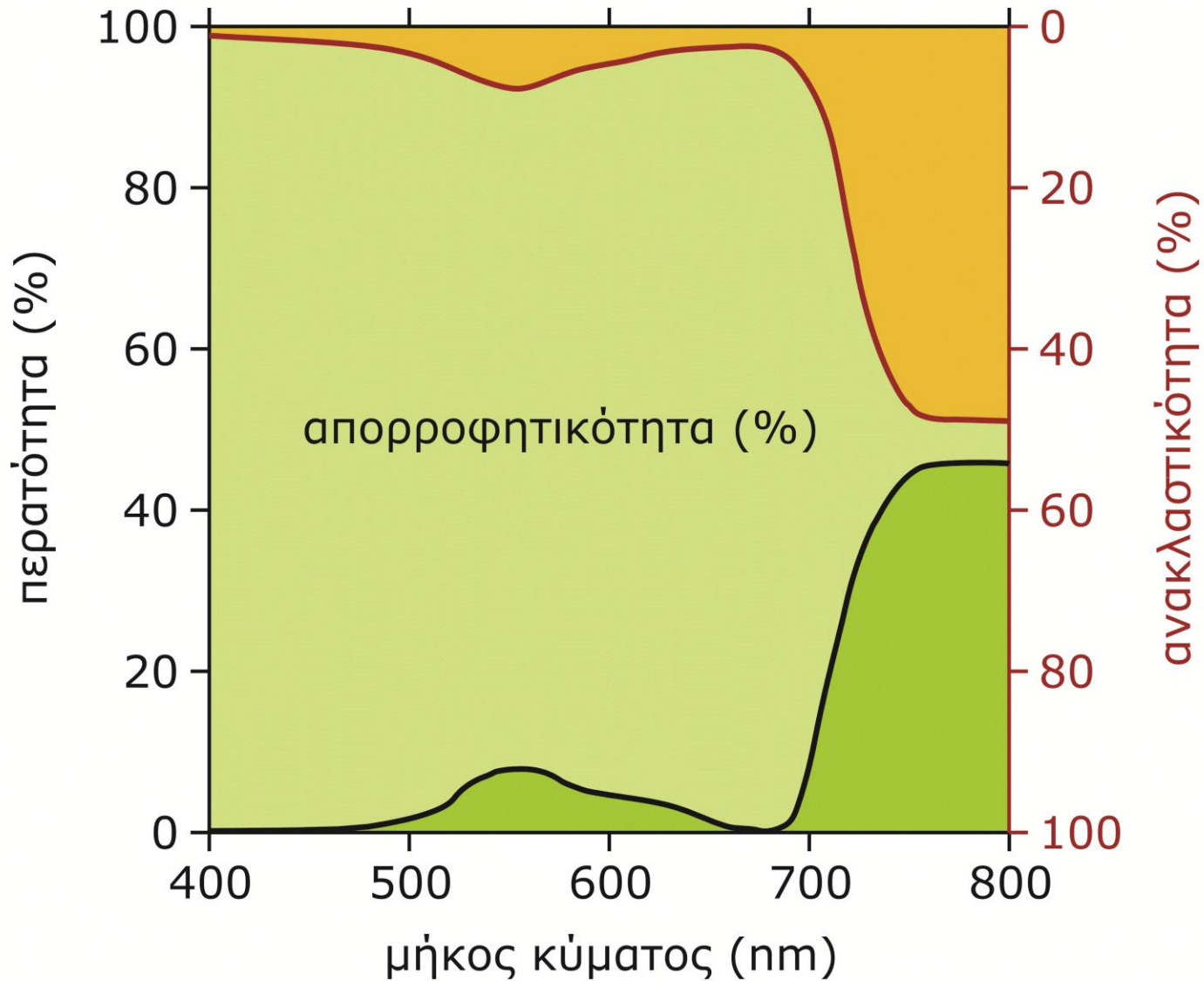
Αποφυγή

μορφολογικά-ανατομικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην αποφυγή της υπερθέρμανσης:

- i. Κάθετος προσανατολισμός του φύλλου
- ii. Συστροφή των φύλλων
- iii. Ύπαρξη ανακλαστικών επιφανειών
- iv. Διμορφισμός των φύλλων

Αποφυγή

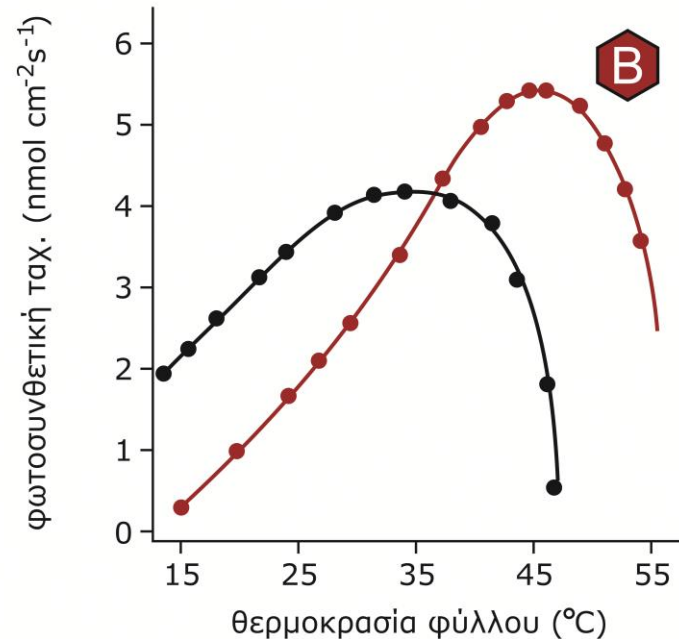
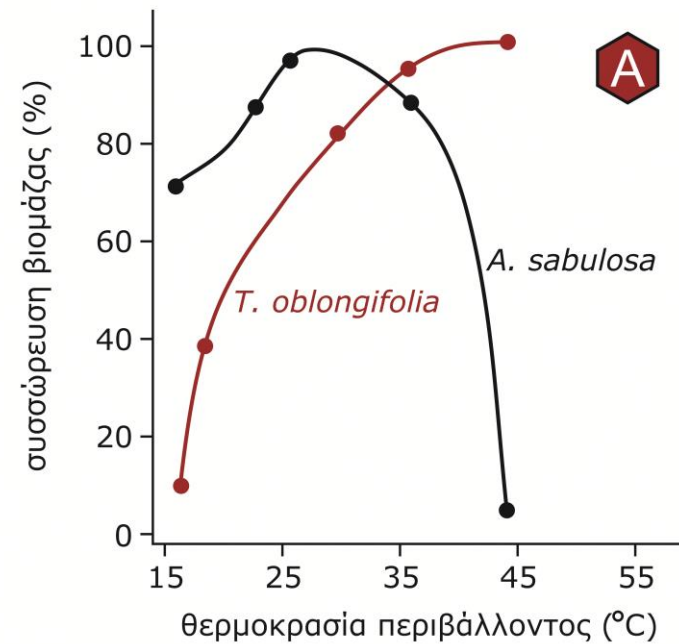
Φασόλι



Ανθεκτικότητα


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

Το *A. sabulosa* αναπτύχθηκε σε θερμοπερίοδο 25/15 °C, ενώ το *T. oblongifolia* σε 45/32 °C



Ανθεκτικότητα

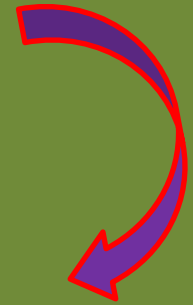
Η ανθεκτικότητα έναντι υψηλών θερμοκρασιών αυξάνεται θεαματικά εάν προηγηθεί κατάλληλος εγκλιματισμός των φυτών: **επίκτητη θερμοανθεκτικότητα**



Φυτά που έχουν εγκλιματιστεί σε περιβάλλον υψηλών (αλλά όχι θανατηφόρων) θερμοκρασιών για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα (**λεπτών ή ωρών**) είναι ικανά στη συνέχεια να επιβιώσουν σε θερμοκρασίες οι οποίες σε κανονικές συνθήκες θα ήταν θανατηφόρες

Ανθεκτικότητα

Έκθεση 15 min έως λίγων ωρών σε θ υψηλότερες κατά 5 έως 15°C από την κανονική θ ανάπτυξης

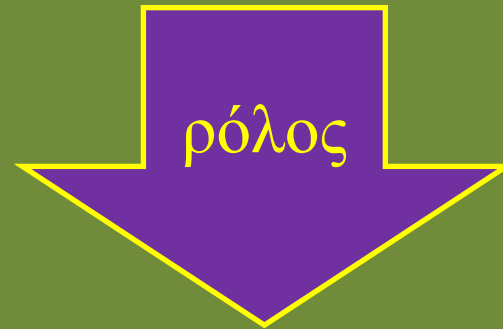


- ♦ παρεμπόδιση της σύνθεσης των περισσότερων πρωτεϊνικών μορίων,
- ♦ επαγωγή της σύνθεσης μιας οικογένειας πρωτεϊνών, γνωστών ως **θερμοεπαγόμενες πρωτεΐνες ή πρωτεΐνες θερμικού σοκ (Heat Shock Proteins, HSPs)**

HSPs

Εμφανίζονται μέσα σε 30 min από την εφαρμογή του θερμικού σοκ.

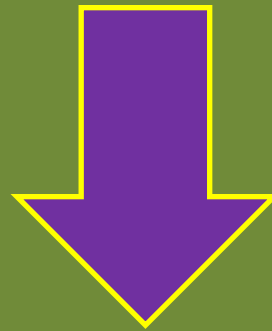
Παύουν να συντίθενται μέσα σε λίγες ώρες από την επαναφορά των φυτών σε κανονικές θ



Παρέχουν την αναγκαία προστασία σε ζωτικούς μηχανισμούς των κυττάρων και σχετίζονται με την εκδήλωση ανθεκτικότητας

Συμπερασματικά, σε συνθήκες θερμικού σοκ

δραματικές αλλαγές στην ποιοτική σύσταση των πρωτεϊνών



αντικατοπτρίζουν τις ανάγκες επαναδιευθέτησης του μεταβολισμού και διατήρησης της ομοιόστασης των κυττάρων