



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

Ενότητα 4: Ακραίες Θερμοκρασίες (1/2α), 2ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Διδάσκοντες: Γεώργιος Καραμπουρνιώτης

Γεώργιος Λιακόπουλος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Μαθησιακοί Στόχοι

- Κατανομή θερμοκρασιών στα διάφορα φυτικά μέρη κατά την ημέρα και τη νύχτα, θερμοκρασιακά όρια βιολογικής δραστηριότητας, καταπόνηση από χαμηλές θερμοκρασίες, επιπτώσεις του ψύχους και του παγετού στα φυτά, η τεχνική της θερμικής ανάλυσης, θερμική συμπεριφορά των κυττάρων, στρατηγικές αντιμετώπισης των χαμηλών θερμοκρασιών.



Λέξεις Κλειδιά 1/2

- θερμοκρασιακά όρια βιολογικής δραστηριότητας,
- θανατηφόρα θερμοκρασιακά όρια,
- ψυχρόφιλα,
- μεσόφιλα,
- θερμόφιλα φυτικά είδη,
- ψύχος,
- παγετός,
- μεμβράνες,
- οξειδωτική καταπόνηση,
- μεμβρανικά λιπίδια,



Λέξεις Κλειδιά 2/2

- πλασμόλυση παγετού
- θερμική ανάλυση
- υπέρψυξη,
- Στρατηγικές,
- πυρήνες κρυστάλλωσης,
- εγκλιματισμός,
- σκληραγωγή.



Διακρίνονται Τρεις Κύριες Στρατηγικές

- Η στρατηγική της διαφυγής
- Η στρατηγική της αποφυγής
- Η στρατηγική της ανθεκτικότητας



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.



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



Η Στρατηγική της Ανθεκτικότητας 1/2

- 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.



Η Στρατηγική της Ανθεκτικότητας 2/2

- 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 $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Αντίληψη Θερμοκρασιακών Διακυμάνσεων 1/2

μείωση / αύξηση θερμοκρασίας



επαναδιευθέτηση
κυτταροσκελετού



μεταβολές στη ρευστότητα
των μεμβρανών



αλλαγή διαμόρφωσης
εξειδικευμένων πρωτεϊνών



αισθητήρια μεταβολής της θερμοκρασίας



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



είσοδος Ca^{2+}
μέσω
εξειδικευμένων
καναλιών



ενεργοποίηση
καλμοντουλίνης



ενεργοποίηση
θερμοεπαγόμενων
γονιδίων

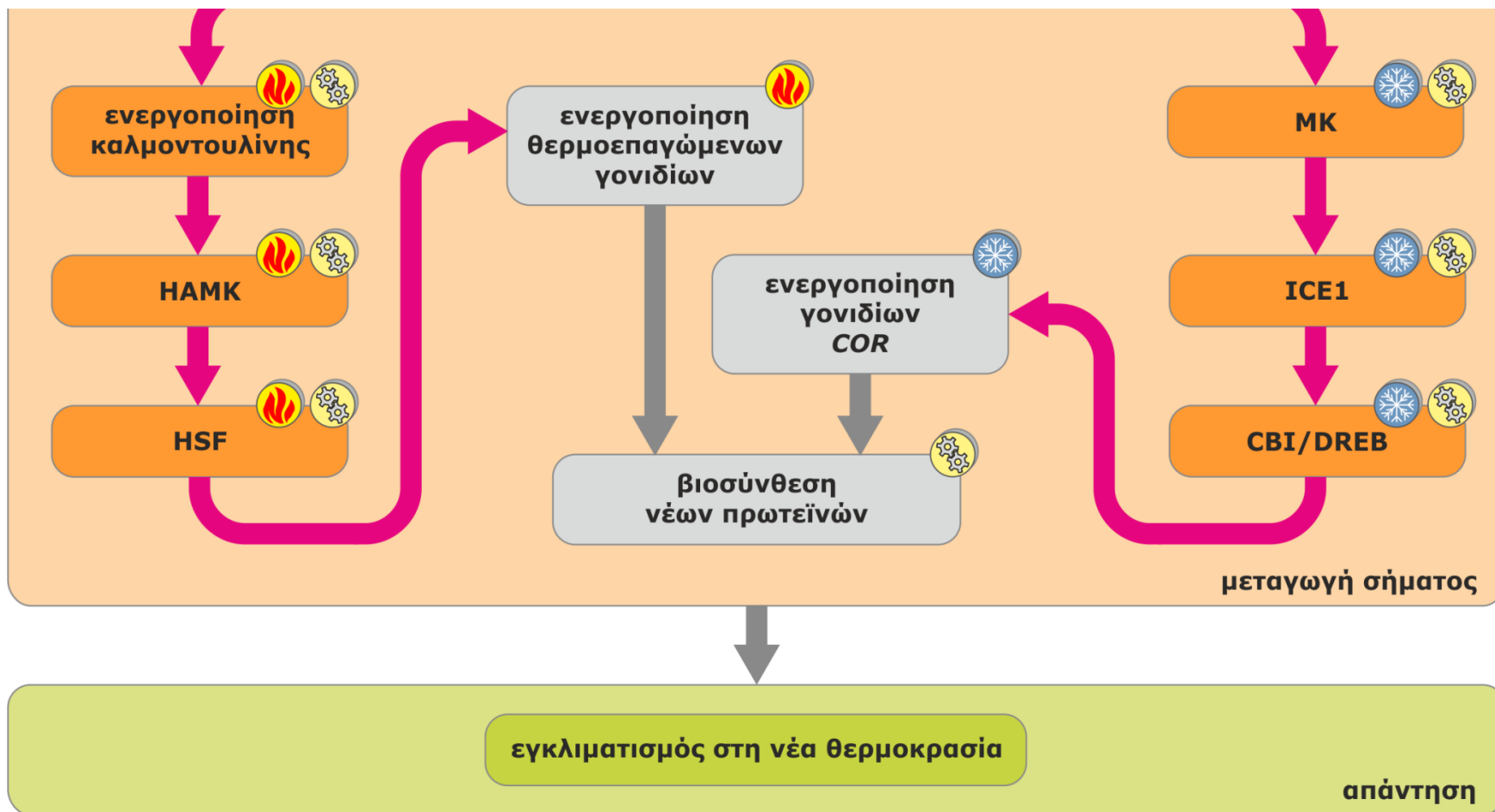


ΜΚ





Αντίληψη Θερμοκρασιακών Διακυμάνσεων 2/2

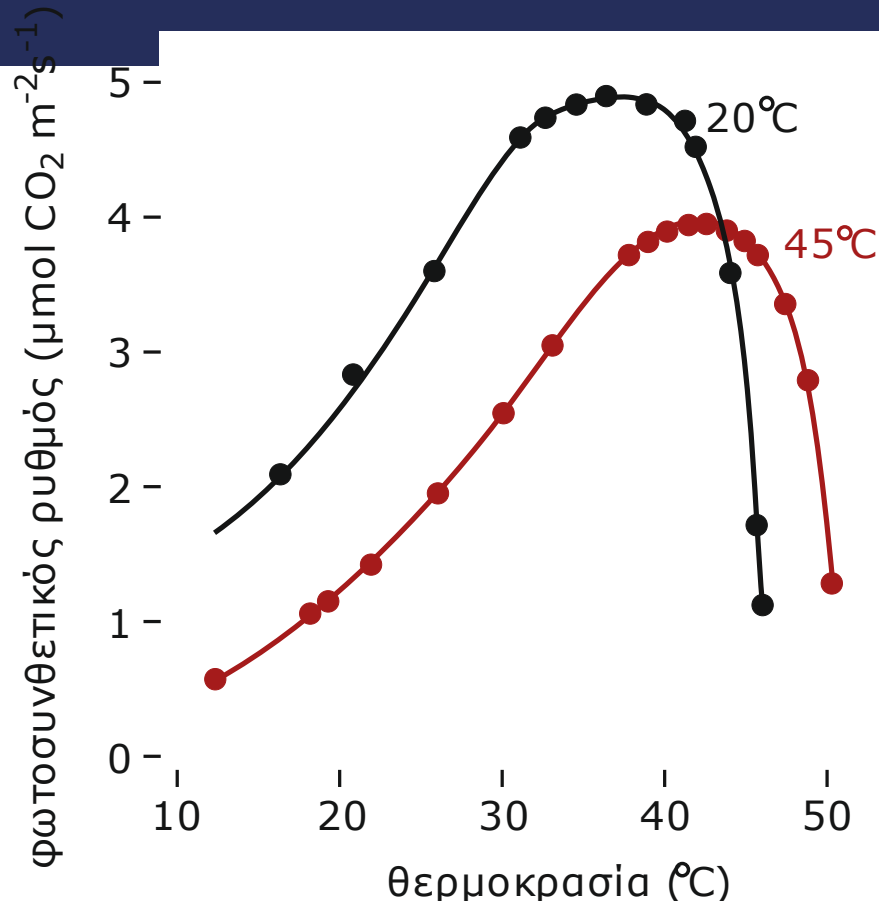




Εγκλιματισμός και Ανθεκτικότητα 1/5

- 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



Εγκλιματισμός και Ανθεκτικότητα 2/5

- 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.



Εγκλιματισμός και Ανθεκτικότητα 3/5

- 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.



Εγκλιματισμός και Ανθεκτικότητα 4/5

- 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.

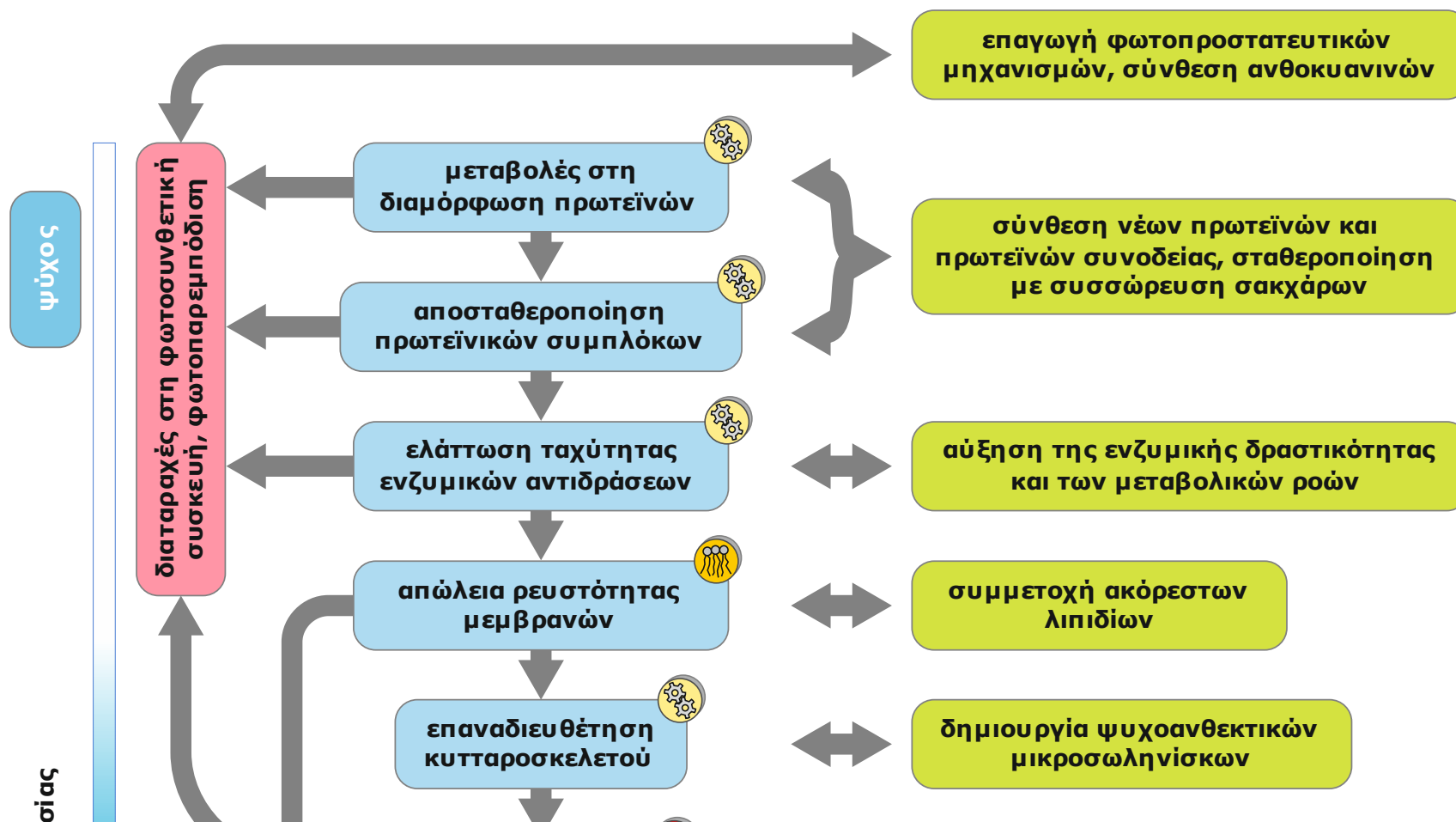


Εγκλιματισμός και Ανθεκτικότητα 5/5

- 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.

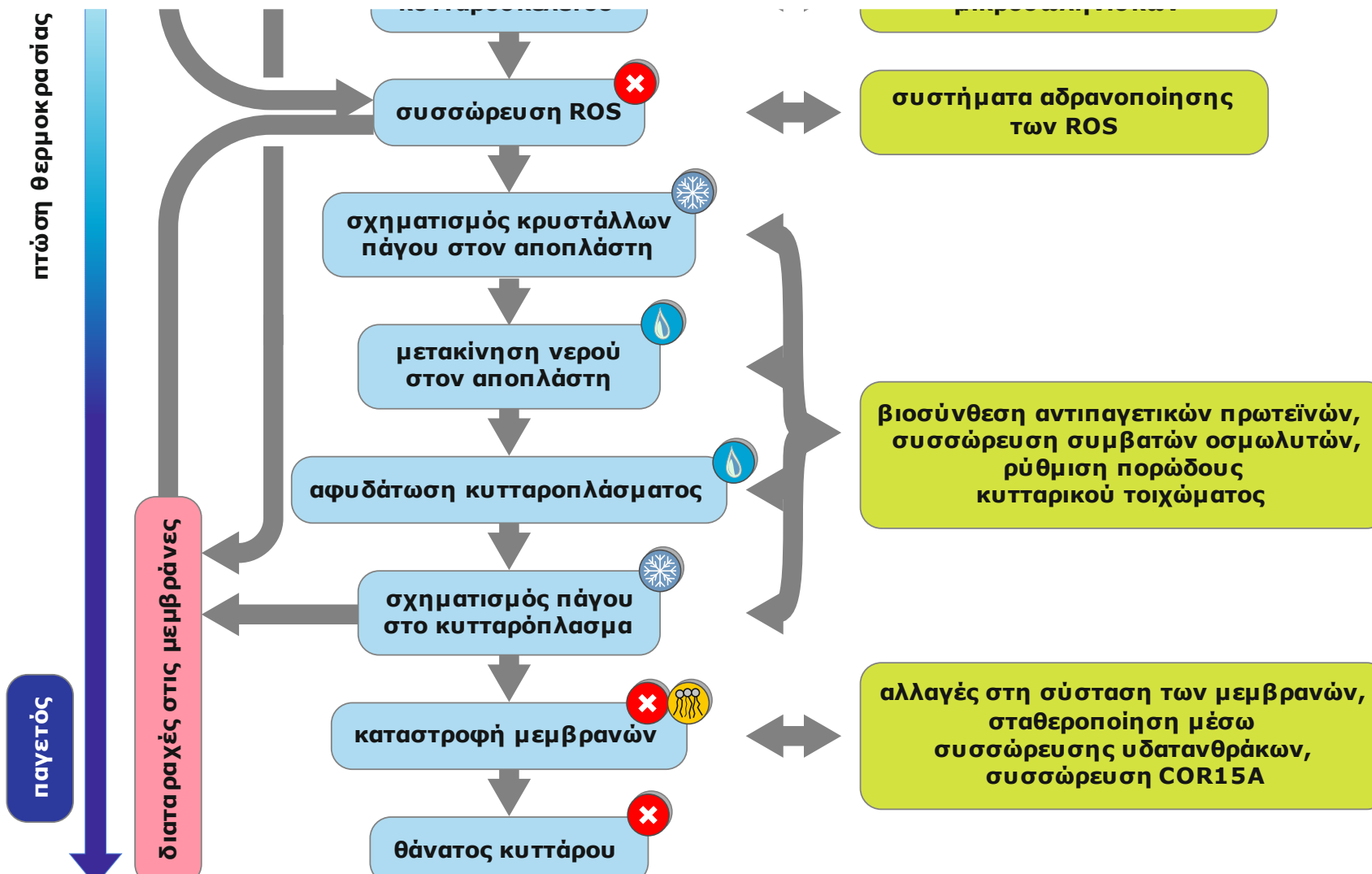


Επιπτώσεις και Απαντήσεις 1/2





Επιπτώσεις και Απαντήσεις 2/2





Βιβλιογραφία 1/3

- Ainsworth EA, Ort DR. 2010. How do we improve crop production in a warming world? *plant physiology* 154: 526-530.
- Chinnusamy V, Zhu J, Zhu J-K. 2007. Cold stress regulation of gene expression in plants. *Trends in Plant Science* 12: 444-451.
- Hedhly A. 2011. Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environmental and Experimental Botany* 74: 9-16.
- Huang B, Xu C. 2008. Identification and characterization of proteins associated with plant tolerance to heat stress. *Journal of Integrative Plant Biology* 50: 1230-1237.



Βιβλιογραφία 2/3

- Larcher W. 2000. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant Biosystems* 134: 279-295.
- Robertson McClung C, Davis SJ. 2010. Ambient thermometers in plants: from physiological outputs towards mechanisms of thermal sensing. *Current Biology* 20: 1086-1092.
- Ruelland E, Vaultier M-N, Zachowski A, Hurry V. 2009. Cold signaling and cold acclimation in plants. *Advances in Botanical Research* 49: 36-122.



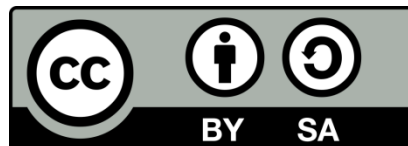
Βιβλιογραφία 3/3

- Saidi Y, Finka A, Goloubinoff P. 2010. Heat perception and signalling in plants: a tortuous path to thermotolerance. *New Phytologist* 190: 556-565.
- Thomashow, M. F. 2001. So what's new in the field of plant cold acclimation? Lots. *Plant Physiology* 125: 89-93.
- Wahid A, Gelani S, Ashraf M, Foolad MR. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany* 61: 199-223.



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



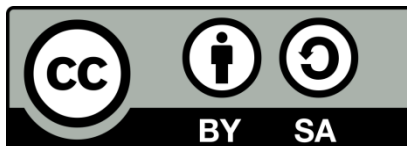
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεώργιος Καραμπουρνιώτης/ Γεώργιος Λιακόπουλος. «Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDCS100/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
 - το Σημείωμα Αδειοδότησης
 - τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
 - το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)
- μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.