



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

Ενότητα 4: Ακραίες Θερμοκρασίες (2/2), 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

- Καταπύνηση από υψηλές θερμοκρασίες, επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στα φυτά, στρατηγικές αντιμετώπισης των υψηλών θερμοκρασιών.



Λέξεις Κλειδιά

- θερμόφιλα φυτικά είδη,
- υψηλές θερμοκρασίες,
- μεμβράνες,
- φωτοσύνθεση,
- αναπνοή,
- σημείο αντιστάθμισης,
- θανατηφόρα θερμοκρασιακά όρια,
- στρατηγικές,
- οπτικές ιδιότητες φύλλων,
- πρωτεΐνες θερμικής καταπόνησης.



Υψηλές Θερμοκρασίες 1/3

- **Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στους μεσόφιλους οργανισμούς.**
 - Το ανώτατο όριο ανοχής για τα περισσότερα φυτά είναι η θερμοκρασία των 50-55 οC. 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.



Υψηλές Θερμοκρασίες 2/3

- 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.





Υψηλές Θερμοκρασίες 3/3

- **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.



Επιπτώσεις των Υψηλών Θερμοκρασιών 1/6

- **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.



Επιπτώσεις των Υψηλών Θερμοκρασιών 2/6

● 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.



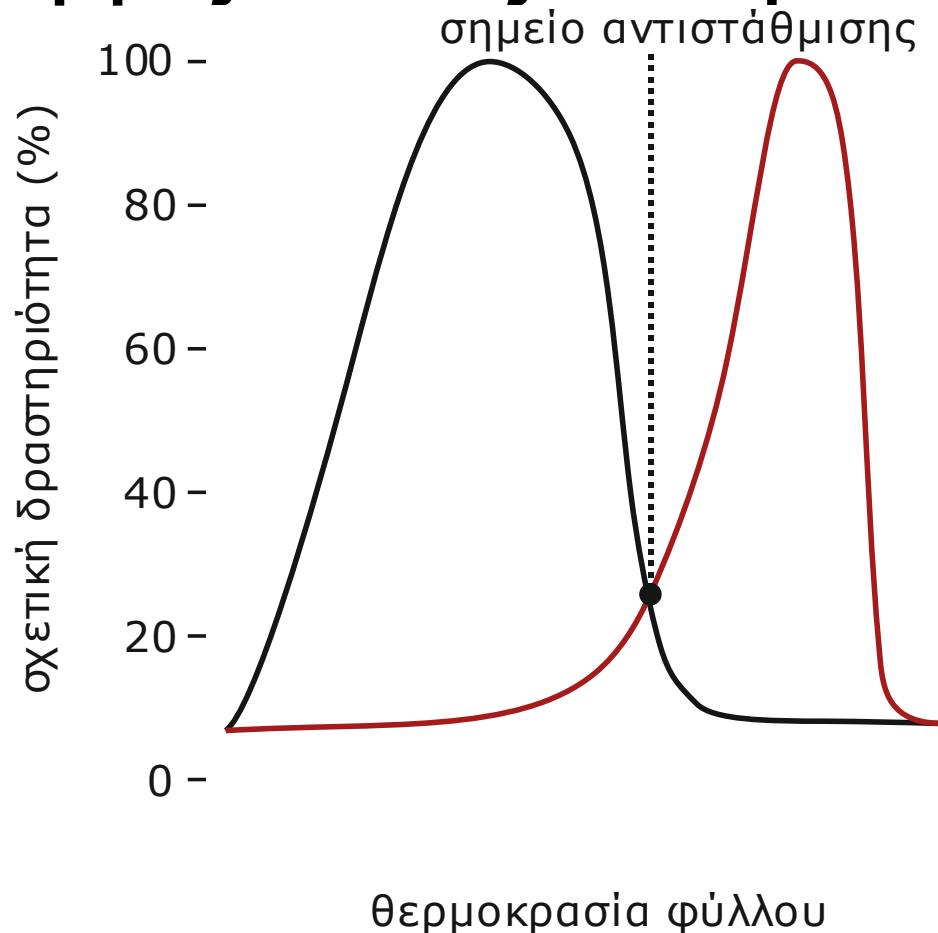
Επιπτώσεις των Υψηλών Θερμοκρασιών 3/6

- **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 αυξανόμενης 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. Αυξανόμενης περαιτέρω της θερμοκρασίας επικρατεί η έκλυση CO₂.



Επιπτώσεις των Υψηλών Θερμοκρασιών 4/6

- Εμφάνιση σημείου αντιστάθμισης του CO_2 σε υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας.





Επιπτώσεις των Υψηλών Θερμοκρασιών 5/6

- Θανατηφόρες υψηλές θερμοκρασίες για ορισμένους φυτικούς ιστούς καλλιεργουμένων ή μη φυτών.

| Φυτικό είδος | Ιστός ή όργανο | Θανατηφόρος | Χρόνος |
|------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------|
| | | θερμοκρασία(°C) | Έκθεσης(min) |
| | Καλλιεργούμενα | φυτικά | είδη |
| <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 |



Επιπτώσεις των Υψηλών Θερμοκρασιών 6/6

- Θανατηφόρες υψηλές θερμοκρασίες για ορισμένους φυτικούς ιστούς καλλιεργουμένων ή μη φυτών.

| Φυτικό είδος | Ιστός ή όργανο | Θανατηφόρος θερμοκρασία(°C) | Χρόνος Έκθεσης(min) |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Αντιπροσωπευτικά φυτικά είδη | | | |
| 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 | - |
| Αείφυλλα σκληρόφυλλα | | | |
| <i>Quercus ilex</i> | φύλλα | 55 | 30 |
| <i>Pistacia lentiscus</i> | φύλλα | 56 | 30 |



Υψηλές Θερμοκρασίες και Σύσταση των Μεμβρανών

- **Η σύσταση των μεμβρανών σχετίζεται με την ένταση της καταπόνησης.**
 - Μία σημαντική διαφορά στη σύσταση των μεμβρανών μεταξύ θερμοφίλων 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.



Διακρίνονται Τρεις Κύριες Στρατηγικές

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



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.



Η Στρατηγική της Αποφυγής 1/2

- Ορισμένα μορφολογικά-ανατομικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην αποφυγή της υπερθέρμανσης:
 - Συστροφή των φύλλων
 - Κάθετος προσανατολισμός των φύλλων
 - Διαμόρφωση υψηλής ανακλαστικότητας της επιφάνειας των φύλλων μέσω της ύπαρξης τριχώματος ή κατάλληλης διεύθεσης των επιεφυμενιδικών κηρών

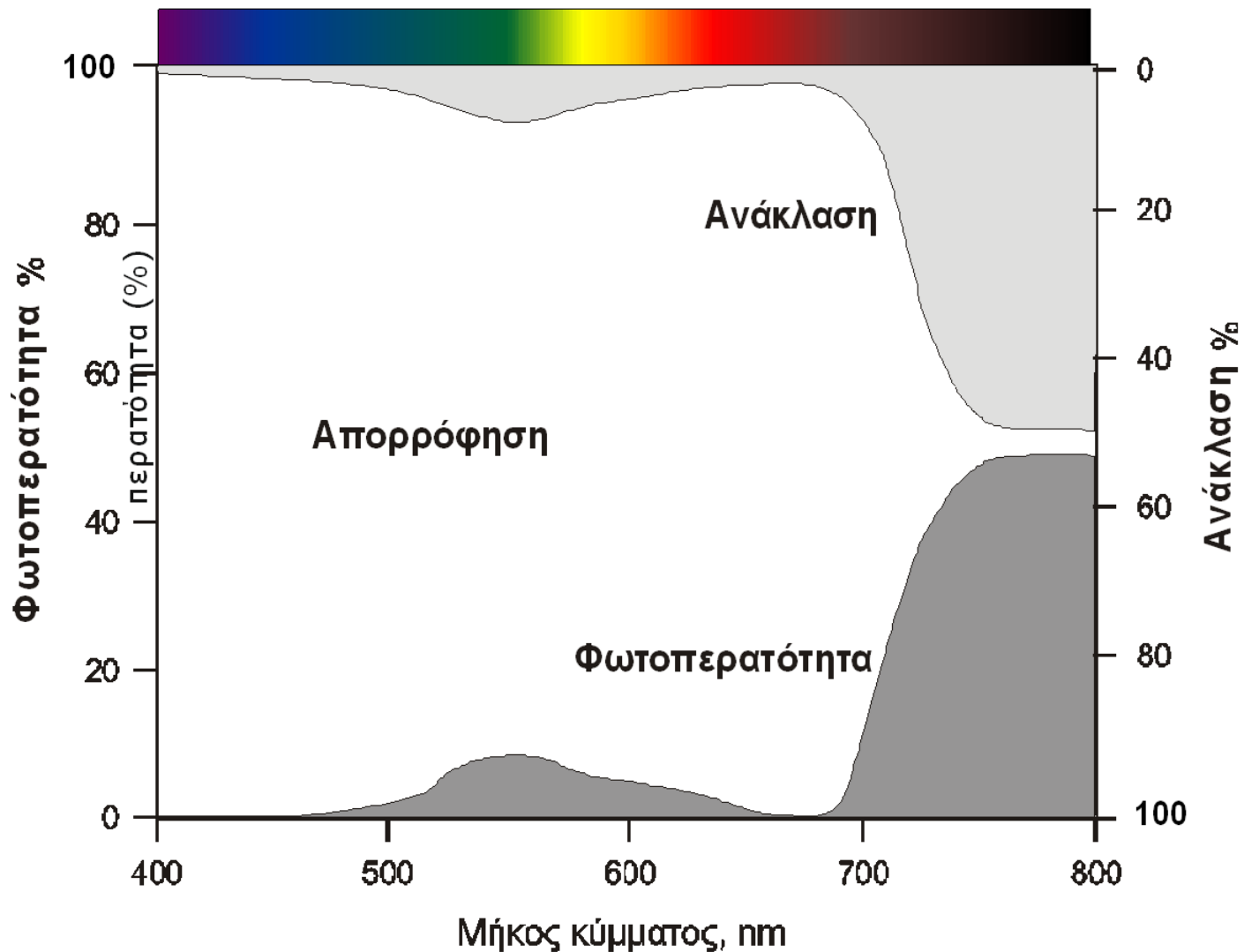


Η Στρατηγική της Αποφυγής 2/2

- Ορισμένα μορφολογικά-ανατομικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην αποφυγή της υπερθέρμανσης:
 - Περιορισμένου μεγέθους φύλλα, τα οποία συνήθως φέρουν έντονες εγκολπώσεις έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το πάχος του οριακού στρώματος και να μεγιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες
 - Εποχιακός διμορφισμός των φύλλων όπου η μορφολογία των φύλλων εμφανίζει διαφορές μεταξύ της θερμής και της ψυχρής περιόδου.

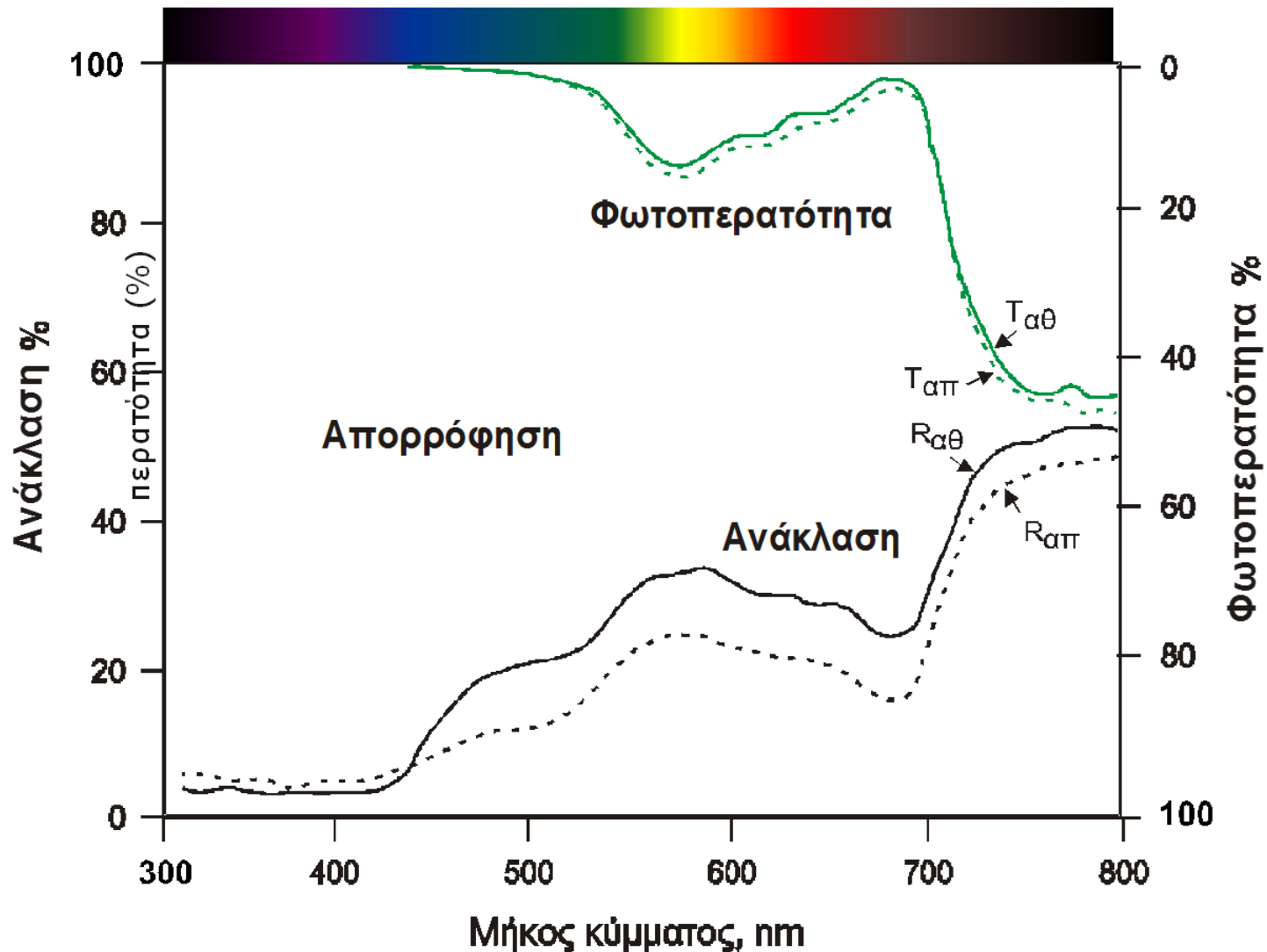


Αποφυγή-οι Αδρές Οπτικές Ιδιότητες των Φύλλων 1/2





Αποφυγή-οι Αδρές Οπτικές Ιδιότητες των Φύλλων 2/2



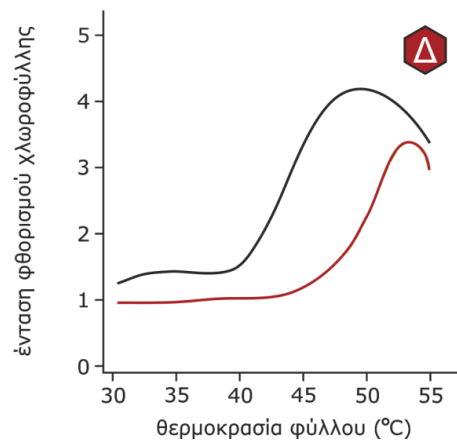
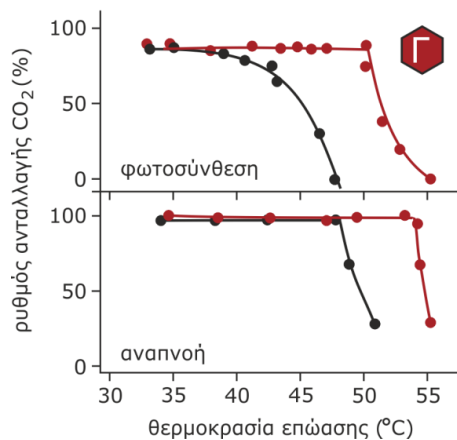
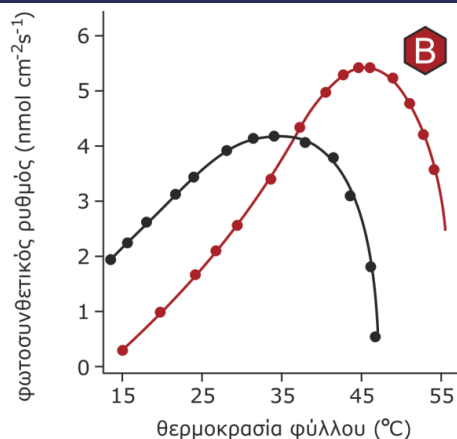
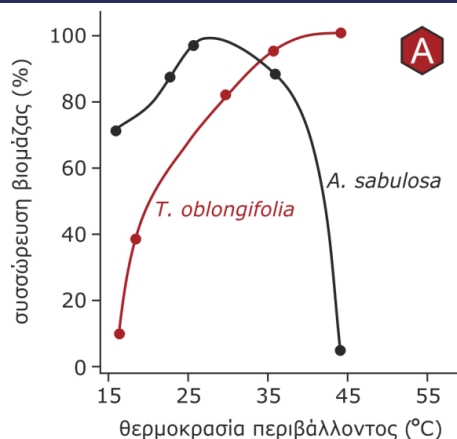


Η Στρατηγική της Ανθεκτικότητας

- 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.



Ανθεκτικότητα Προσαρμογή σε Διαφορετικά Περιβάλλοντα



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



Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 1/8

- **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.W., 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.



Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 2/8

- Ο ρόλος των πρωτεϊνών θερμικής καταπόνησης.
 - 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.



Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 3/8

- **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 M.W. μεταξύ των 17 και 28 kDa.
 - Μεταξύ των πρωτεϊνών θερμικής καταπόνησης περιλαμβάνεται και η ομπικουΐτινη, της οποίας ο ρόλος αφορά τη σήμανση πρωτεϊνικών μορίων τα οποία θα υποστούν πρωτεολυτική αποδόμηση.



Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 4/8

- **Κατηγορίες πρωτεϊνών θερμικής καταπόνησης.**
 - 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.



Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 5/8

- **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.

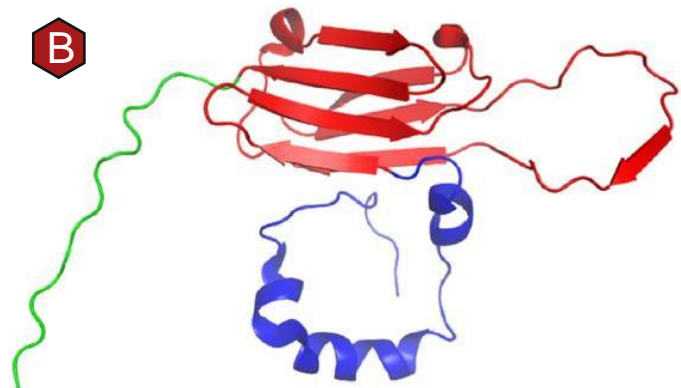
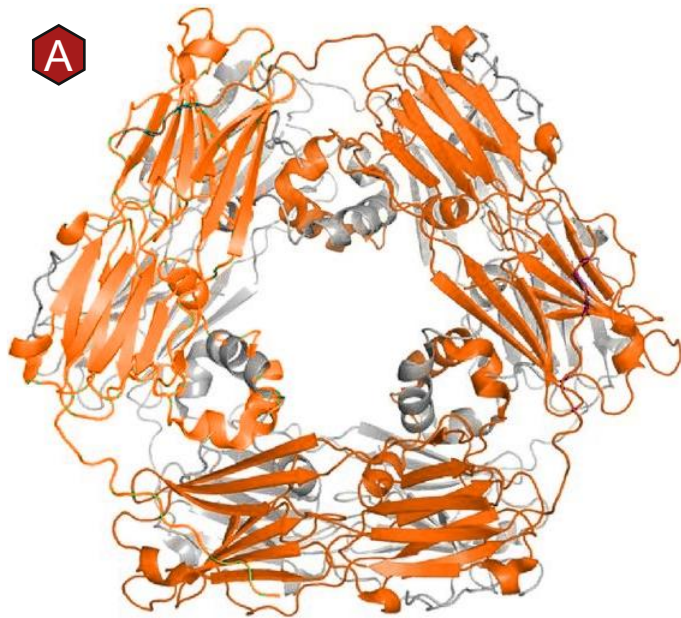


Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 6/8

| Κατηγορία HPS | Εντοπισμός | Πιθανή λειτουργία |
|------------------------|--|--|
| HSP 110 | | Αγνωστη |
| 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 |
| Ουμπικουΐτινη | | Αναλαμβάνει την επισήμανση πρωτεϊνικών μορίων τα οποία πρόκειται να αποδομηθούν |



Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 7/8





Ανθεκτικότητα και Πρωτέωμα 8/8

- **Λοιπές πρωτεΐνες.**

- Μεταγραφικοί παράγοντες DREB2
- Εκτασίνες
- Ένζυμα του μεταβολισμού ολιγοσακχαριτών
- Ένζυμα του αντιοξειδωτικού μεταβολισμού
- Μέλη της οικογένειας LEA / αφυδατάσες



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.
- Saidi Y, Finka A, Goloubinoff P. 2010. Heat perception and signalling in plants: a tortuous path to thermotolerance. *New Phytologist* 190: 556-565.



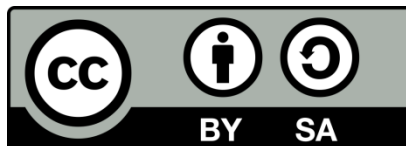
Βιβλιογραφία 3/3

- 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



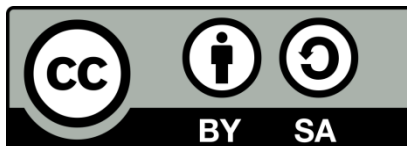
Σημείωμα Αναφοράς

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.