



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

# Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

## Ενότητα 8:

### Οξειδωτική Καταπόνηση, 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

- Παραγωγή και κατηγορίες ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS), δράση των ROS στα κύτταρα, αμυντικοί μηχανισμοί των φυτών έναντι των ROS, οξειδωτική καταπόνηση.



# Λέξεις Κλειδιά

- ενεργές μορφές οξυγόνου,
- ελεύθερες ρίζες,
- μεμβρανικά λιπίδια,
- πρωτεΐνες,
- αντίδραση Fenton,
- φωτοαναπνοή,
- φωτοχημική ροή ηλεκτρονίων,
- αντίδραση Mehler,
- αντιοξειδωτικός μεταβολισμός,
- ασκορβικό οξύ,
- γλουταθειόνη,



# Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών



**ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ**



# Παραγωγή Ενεργών Μορφών Οξυγόνου (Ros) 1/5

**Είναι συνυφασμένη με τον οξειδωτικό μεταβολισμό:**

- Παραγωγή ROS μπορεί να προέλθει από την ατελή αναγωγή του οξυγόνου.
- Κατά την ομαλή λειτουργία του μεταβολισμού ένα ποσοστό 1-5% του οξυγόνου που συμμετέχει στις βιοχημικές αντιδράσεις παρεκκλίνει της ομαλής πορείας με συνέπεια την παραγωγή ROS.

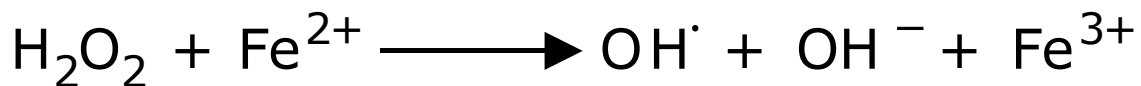
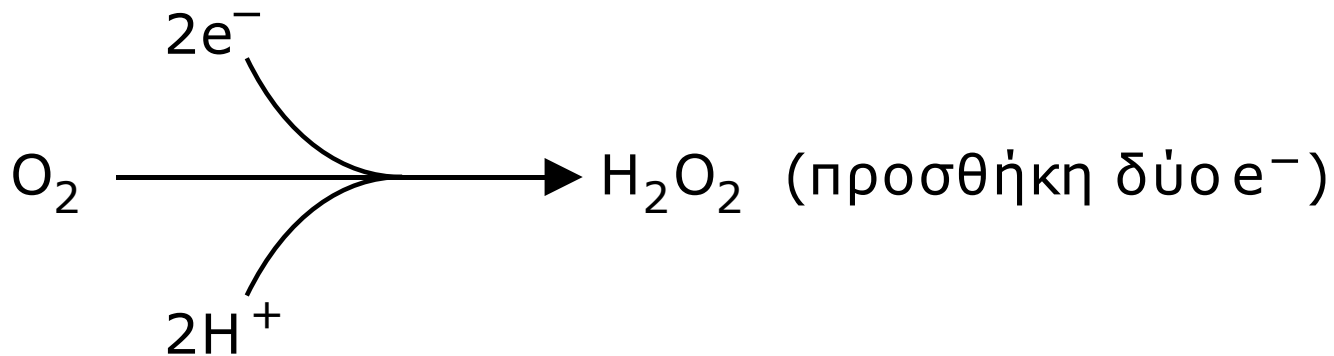
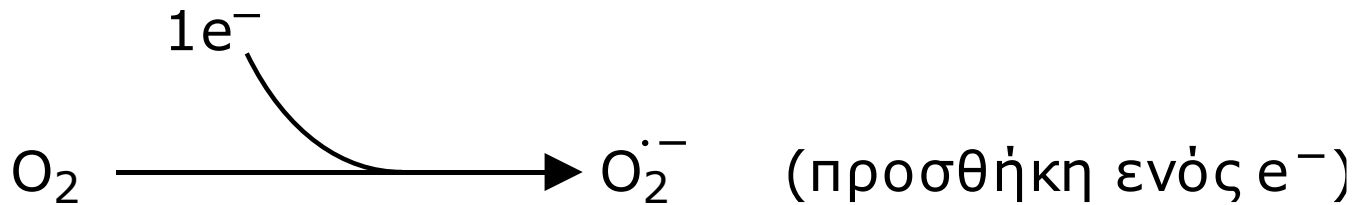


# Παραγωγή Ενεργών Μορφών Οξυγόνου (Ros) 2/5

- Στις μορφές αυτές περιλαμβάνονται ιόντα, ελεύθερες ρίζες και μόρια μέσω των οποίων μπορούν να παραχθούν περισσότερο ενεργές μορφές όπως ελεύθερες ρίζες.
- Παράγονται κατά την μεταφορά ηλεκτρονίων σε μόρια ή την ομολυτική διάσπαση μορίων. Με τις αντιδράσεις αυτές προκύπτουν χημικά είδη με περιττό αριθμό ηλεκτρονίων σθένους και επομένως με ένα ασύζευκτο ηλεκτρόνιο σε ένα από τα τροχιακά.



# Παραγωγή Ενεργών Μορφών Οξυγόνου (Ros) 3/5





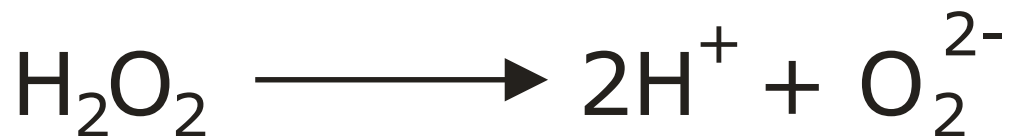
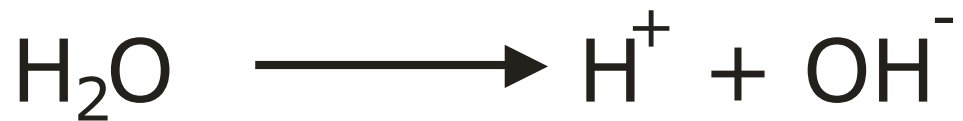
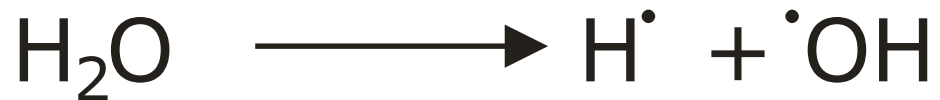
# Παραγωγή Ενεργών Μορφών Οξυγόνου (Ros) 4/5

- Κατά την ομολυτική διάσπαση ενός δεσμού κάθε τμήμα του μορίου λαμβάνει ένα ηλεκτρόνιο του ζεύγους των δεσμικών ηλεκτρονίων και μετατρέπεται σε ελεύθερη ρίζα.
- Αντίθετα κατά την ετερολυτική διάσπαση ενός δεσμού το ζεύγος των δεσμικών ηλεκτρονίων παραμένει στο ένα από τα δύο τμήματα του μορίου με αποτέλεσμα να προκύπτουν ιόντα.





# Παραγωγή Ενεργών Μορφών Οξυγόνου (Ros) 5/5





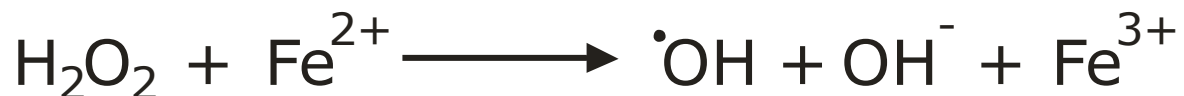
# Δράση των Ros στα Κύτταρα 1/3

- Αντιδρούν με κύρια βιομόρια του κυττάρου στα οποία περιλαμβάνονται λιπίδια, νουκλεϊκά οξέα και πρωτεΐνες.
- Ο σχηματισμός οξειδωμένων παραγώγων των λιπιδίων προκαλεί μια αλληλουχία αντιδράσεων με συνέπεια την καταστροφή των μεμβρανών.
- Η συνακόλουθη παραγωγή προϊόντων αποδόμησης των λιπιδίων όπως αλδεϋδών συμβάλλει στην αδρανοποίηση ενζύμων και την διαταραχή του μεταβολισμού.



# Δράση των Ros στα Κύτταρα 2/3

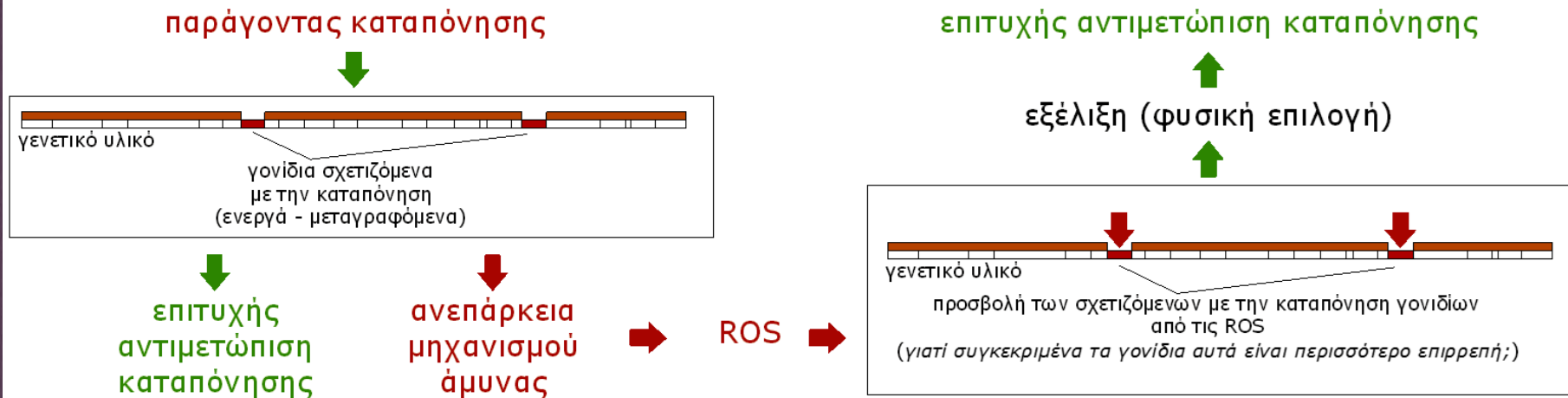
- Ιδιαίτερα ευαίσθητοι στόχοι των ROS είναι οι σουλφιδρυλομάδες ορισμένων πρωτεϊνών. Η αντίδραση τους με τις ROS προκαλεί αδρανοποίηση ή μειωμένη δραστηριότητα των ενζύμων.
- Αντιπροσωπευτική των βλαβών από τις ROS είναι η αντίδραση Fenton κατά την οποία οξειδώνεται ο δισθενής σίδηρος και διασπάται το υπεροξειδίο του υδρογόνου:





# Δράση των Ros στα Κύτταρα 3/3

- Προϊόντα των αντιδράσεων των ROS μπορούν να παρεμποδίσουν την ομαλή λειτουργία ή να προκαλέσουν αλλοιώσεις στα νουκλεϊκά οξέα.
  - Συμμετέχουν οι ROS στην εξέλιξη;





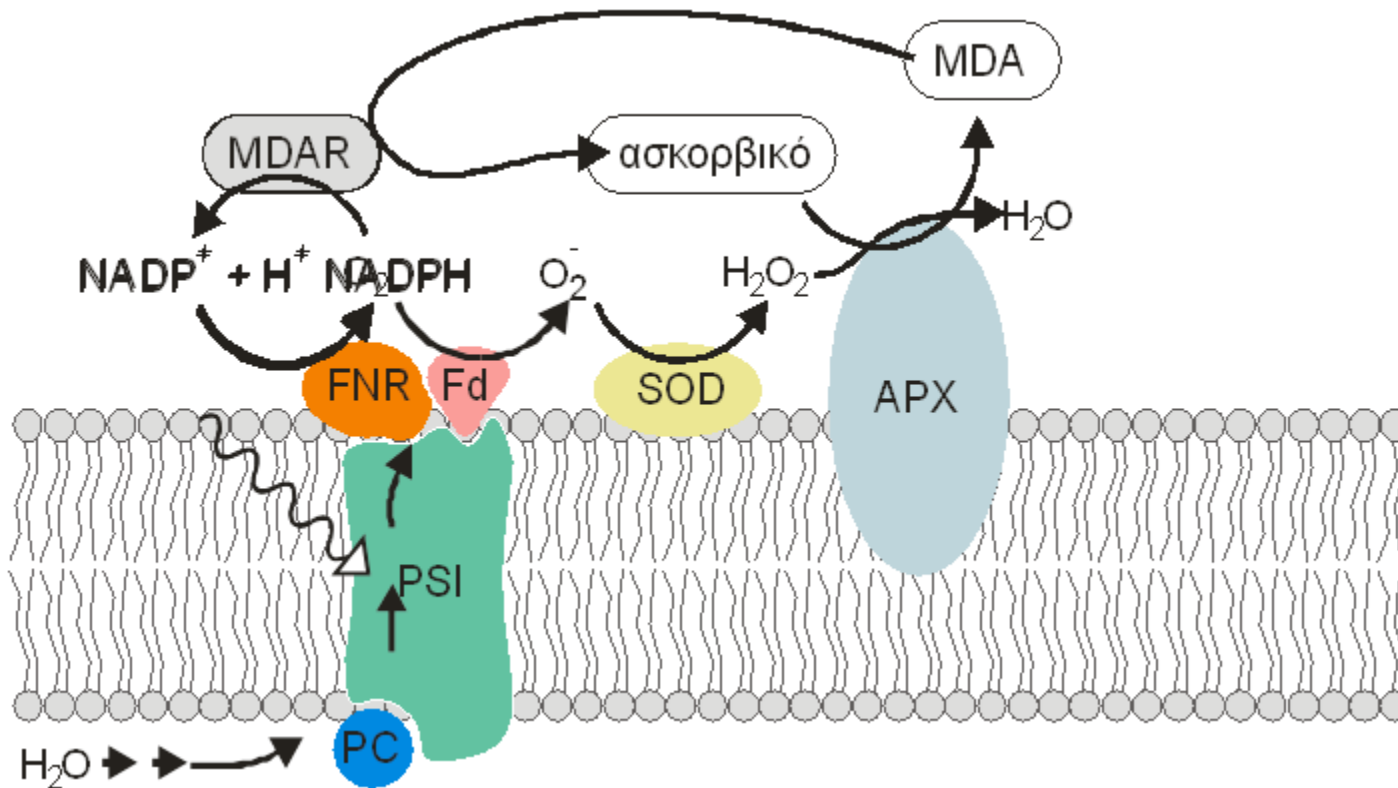
# Μεταβολικές Διεργασίες με Παραγωγή Ros 1/3

1. Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις όπως στην φωτοαναπνοή, στην αποδόμηση των πουρινών από την οξειδάση της ξανθίνης και κατά την αναγωγή του οξυγόνου από το NAD(P)H.



# Μεταβολικές Διεργασίες με Παραγωγή Ros 2/3

2. Στην αναγωγή του μοριακού οξυγόνου στην αναγωγική πλευρά του φωτοσυστήματος I (αντίδραση Mehler ή κύκλος νερού).





# Μεταβολικές Διεργασίες με Παραγωγή Ros 3/3

3. Στην αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων μέσω των ενδιάμεσων φορέων κατά την αναπνοή ή την φωτοσύνθεση.
  - Ειδικά στους χλωροπλάστες, η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου στις θέσεις φωτόλυσης του νερού σε συνδυασμό με την δημιουργία ισχυρά οξειδωτικών μορίων και την ύπαρξη χρωστικών και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων των μεμβρανών καθιστά το οργανίδιο αυτό ιδιαίτερα επιρρεπές σε οξειδωτικές βλάβες.
4. Η επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας επί του μορίου όπως το μοριακό οξυγόνο ή το υπεροξείδιο του υδρογόνου.
5. Η μεταφορά ενέργειας διέγερσης από την χλωροφύλλη τριπλότητας προς το οξυγόνο.



# Κυριότερες Ros

είδος	μοριακή δομή	κύριες πηγές
singlet οξυγόνο	$^1\text{O}_2$	μεταφορά ηλεκτρονίων προς το οξυγόνο στο φωτοσύστημα II, UV ακτινοβολία
ρίζα υπεροξειδίου	$\text{O}_2^{\cdot-}$	Αναπνευστική αλυσίδα μεταφοράς $e^-$ , αντίδραση Mehler, φωτοαναπνοή, αντίδραση υπερευαισθησίας, όζον, ζιζανιοκτόνα
υπεροξειδίο υδρογόνου	$\text{H}_2\text{O}_2$	φωτοαναπνοή, δράση SOD, αντίδραση υπερευαισθησίας, τραυματισμοί
ρίζα υδροξυλίου	$\text{OH}^\cdot$	Διάσπαση όζοντος, αντίδραση υπερευαισθησίας, αντίδραση Fenton
ρίζα υπερ-υδροξυλίου	$\text{O}_2\text{H}^\cdot$	Προϊόν αντίδρασης του όζοντος με την ρίζα υδροξυλίου στον αποπλαστικό χώρο
όζον	$\text{O}_3$	αντίδραση οξυγόνου με ατμοσφαιρικούς ρύπους με την επίδραση της UV ακτινοβολίας





# Αμυντικοί Μηχανισμοί των Φυτών Έναντι των ROS 1/3

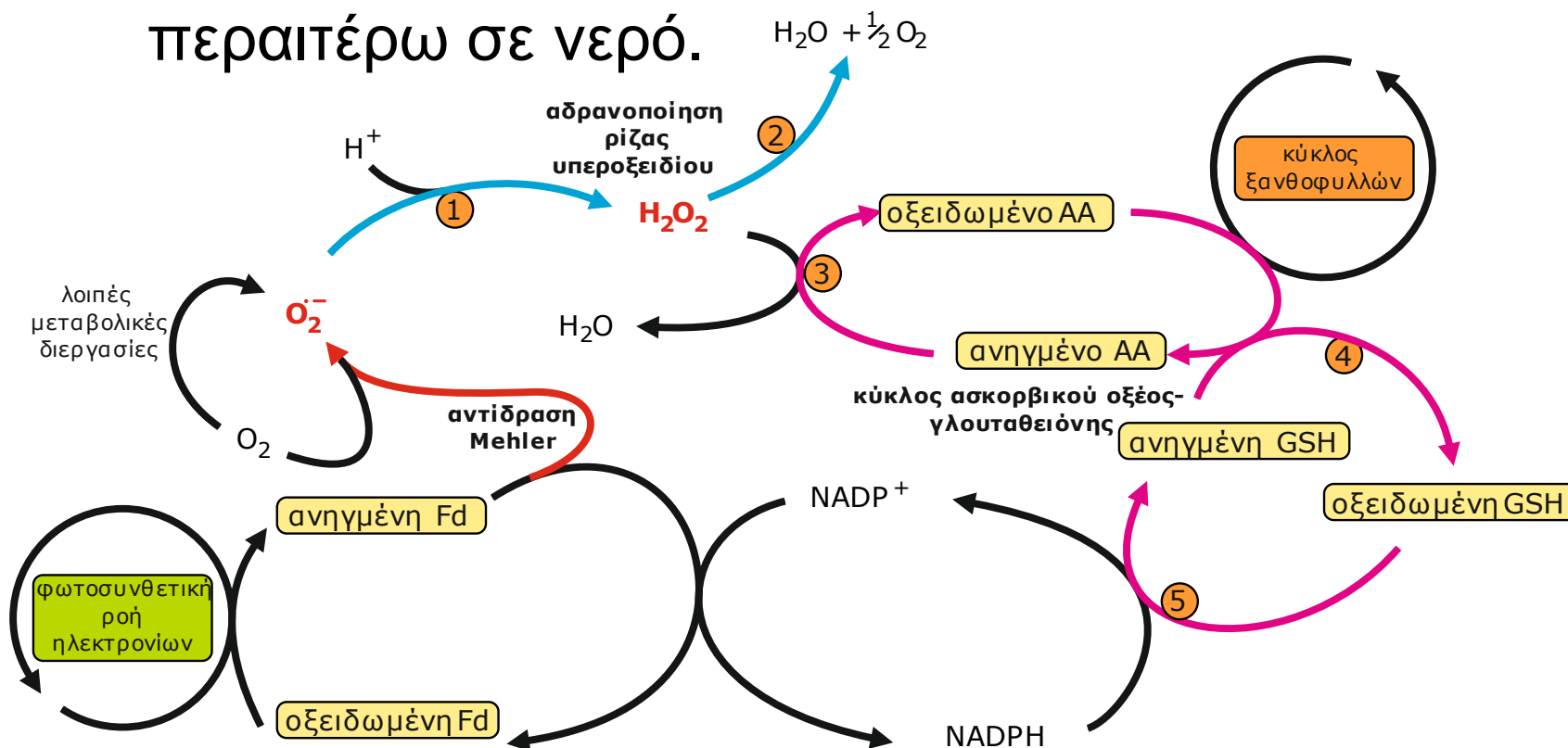
- 1. Απόσβεση ROS μέσω αντιοξειδωτικών μορίων.**
  - Κυριότερα αντιοξειδωτικά μόρια των φυτών είναι το ασκορβικό οξύ, η γλουταθειόνη, η α-τοκοφερόλη, τα καροτενοειδή, τα φαινολικά συστατικά και οι πολυαμίνες.



# Αμυντικοί Μηχανισμοί των Φυτών Έναντι των Ros 2/3

## 2. Κύκλος ασκορβικού οξέος-γλουταθειόνης.

- Αφορά στην μετατροπή της ρίζας του υπεροξειδίου σε υπεροξείδιο και αυτού περαιτέρω σε νερό.





# Αμυντικοί Μηχανισμοί των Φυτών Έναντι των Ros 3/3

3. Καταλυτική μετατροπή του υπεροξειδίου του υδρογόνου προς νερό στα μικροσώματα.



# Πότε η Οξειδωτική Καταπόνηση Προκαλεί Βλάβες; 1/3

- Η εμφάνιση έντονων οξειδωτικών βλαβών στα κύτταρα συνήθως οφείλεται σε συνεργισμό μεταξύ εξωτερικών παραγόντων καταπόνησης και οξειδωτικής καταπόνησης.

## παράγοντες καταπόνησης

φωτοπαρεμπόδιση  
τραυματισμοί  
ρυπαντές  
έλλειψη νερού  
αλατότητα  
παθογόνα  
ακραίες θερμοκρασίες  
βαρέα μέταλλα



υπερπαραγωγή ROS



# Πότε η Οξειδωτική Καταπόνηση Προκαλεί Βλάβες; 2/3



**χαρακτηριστικά ROS, χαρακτηριστικά ιστών**

τύπος ROS  
συγκέντρωση  
διάρκεια παραγωγής  
κυτταρικό οργανίδιο στο οποίο συσσωρεύονται  
ηλικία ιστού, οργάνου



**ανεπάρκεια μηχανισμών  
αντιοξειδωτικής προστασίας**



**οξειδωτική καταπόνηση**



# Πότε η Οξειδωτική Καταπόνηση Προκαλεί Βλάβες; 3/3

- Μέσω της επίδρασης ορισμένων παραγόντων καταπόνησης αυξάνεται η διαμεμβρανική μεταφορά ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα την δραματική αύξηση του ρυθμού παραγωγής ROS.
- Οι παράγοντες καταπόνησης προκαλούν διαταραχές στους μηχανισμούς απόσβεσης της ενέργειας όπως π.χ. κατά τον συνδυασμό ψύχους και υψηλών εντάσεων ακτινοβολίας.
- Ορισμένοι παράγοντες καταπόνησης επιδρούν δυσμενώς επί των ίδιων των αντιοξειδωτικών μηχανισμών του κυττάρου.



# Βιβλιογραφία 1/3

- Foyer, C.H., Noctor, G. 2009. Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation, and practical implications. *Antioxidants and Redox Signaling*, 11: 861-905.
- Gould, K.S. 2003. Free radicals, oxidative stress and antioxidants. In: *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. (B. Thomas, Ed.). Elsevier.
- Halliwell B and Gutteridge. 1996. *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press. Oxford.
- Misra, A.N., Misra, M., and Singh R. 2011. Nitric oxide biochemistry, mode of action and signaling in plants. *Journal of Medicinal Plants Research* 4: 2729-2739.



# Βιβλιογραφία 2/3

- Mittler R, Vanderauwera S, Suzuki N, Miller G, Tognetti VB, Vandepoele K, Gollery M, Shulaev V, Breusegem FV. 2011. ROS signaling: the new wave? Trends in Plant Science 16: 300-309.
- Monaghan P, Metcalfe NB, Torres R. 2009. Oxidative stress as a mediator of life history trade-offs: mechanisms, measurements and interpretation. Ecology Letters 12: 75-92.
- Neill, S., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrison, J., and Wilson I. 2008. Nitric oxide evolution and perception. Journal of Experimental Botany 59: 25-35.
- Yemets AI, Krasylenko YA, Lytvyn DI, Sheremet YA, Blume YB. 2011. Nitric oxide signaling via cytoskeleton in plants. Plant Science 181: 545-554.





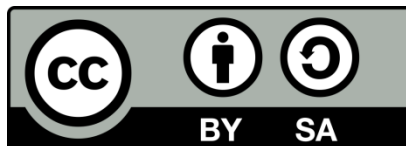
# Βιβλιογραφία 2/3

- Pfannschmidt, T., Bräutigam, K., Wagner, R., Dietzel, L., Schröter, Y., Steiner, S., Nykytenko, A. 2009. Potential regulation of gene expression in photosynthetic cells by redox and energy state: Approaches towards better understanding. *Annals of Botany*, 103: 599-607.
- Rouhier, N., Lemaire, S.D., Jacquot, J.-P. 2008. The role of glutathione in photosynthetic organisms: Emerging functions for glutaredoxins and glutathionylation. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 143-166.
- Scheibe, R., Backhausen, J.E., Emmerlich, V., Holtgreffe, S. 2005. Strategies to maintain redox homeostasis during photosynthesis under changing conditions. *Journal of Experimental Botany*, 56: 1481-1489.



# 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



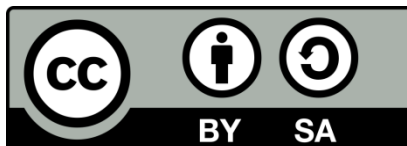
# Σημείωμα Αναφοράς

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.