



Θρέψη Φυτών

Ενότητα 8^η Σίδηρος

Όνομα καθηγητή: **Δ. Μπουράνης**

Όνομα καθηγητή: **Σ. Χωριανοπούλου**

Τμήμα: **Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής**



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Στόχοι ενότητας

1. Εξοικείωση με τις μορφές του σιδήρου μέσα στο φυτό.
2. Ο ρόλος του σιδήρου στις πρωτεΐνες και στους χλωροπλάστες.
3. Οι φερριτίνες.
4. Οι δύο διαφορετικές στρατηγικές πρόσληψης σιδήρου.



Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδιά: Σίδηρος, Αίμη, Φερριτίνες, Φυτοσιδηροφόρα.
- Key words: Iron, Heme, Ferritins, Phytosiderophores.



Μορφές σιδήρου στο φυτό

- Σίδηρος **Fe**: βρίσκεται σε 2 μορφές μέσα στο φυτό:
 - οξειδωμένη μορφή Fe^{3+} .
 - ανηγμένη μορφή Fe^{2+} .
- Η ανηγμένη μορφή είναι ο ενεργός σίδηρος.
- Ο περισσότερος σίδηρος μέσα στο φυτό είναι οξειδωμένος σίδηρος.
- Ιδιαίτερη φυσιολογική σημασία έχει το κλάσμα σιδήρου που υφίσταται αντιστρεπτή οξειδοαναγωγή.



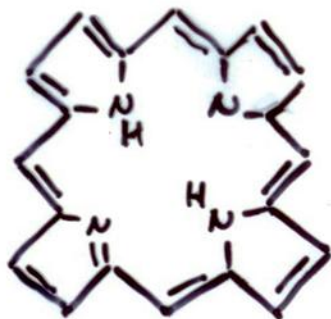
Επίπεδα σιδήρου στο φυτό

- Απαιτήση του φυτού σε σίδηρο για κανονική αύξηση:
 - 50 – 80 ppm.
 - ή 0,9 – 1,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$ ΞΜ.
- Στο ΗΑΣ 9,5 ppm ή 170 μM σιδήρου.
- Στο ΞΑΣ 0,6 ppm ή 10 μM σιδήρου.
- Μέρος του σιδήρου ακινητοποιείται στον αποπ्लाσμικό χώρο και δεν είναι διαθέσιμο για φυσιολογική δράση.

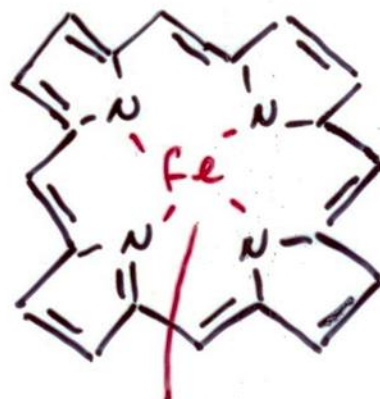


Αίμη (α)

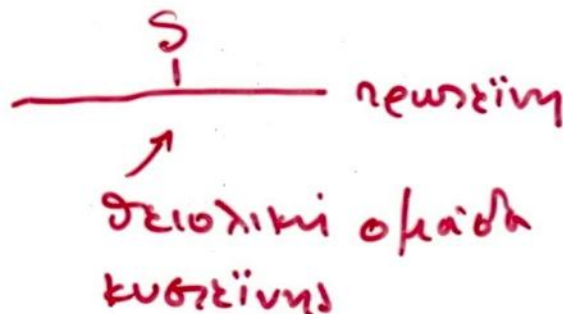
Αίμη: σύμπλοκο σιδήρου – πορφυρίνης.



δομή πορφυρίνης



Ενσωμάτωση
σιδήρου στο
δακτύλιο
πορφυρίνης.





Αίμη (β)

Πρωτεΐνες που περιέχουν αίμη:

- Κυτοχρώματα.
- Αναγωγή νιτρικού.
- Λεγκαιμογλοβίνη.
- Αζωτάση.
- Καταλάση.
- Υπεροξειδάσες.

-Fe ⇒ δραστηριότητα καταλάσης ↓

δείκτης της θρεπτικής κατάστασης του φυτού σε σίδηρο.



Σίδηρος στο χλωροπλάστη (α)

- Ο χλωροπλάστης & το θυλακοειδές έχουν μεγάλη ευαισθησία στην έλλειψη σιδήρου.
- Η ευαισθησία δεν είναι η ίδια για όλα τα εξαρτήματα της φωτοσυνθετικής αλυσίδας:
 - η ενεργότητα του $\Phi\Sigma_I$ μειώνεται περισσότερο από την ενεργότητα του $\Phi\Sigma_{II}$.
- Νέα τροφοδοσία με Fe στο χλωρωτικό φύλλο:
 - αυξάνει τη λειτουργία του $\Phi\Sigma_I$ ως μεταφορέα ηλεκτρονίων περισσότερο από το $\Phi\Sigma_{II}$.



Σίδηρος στο χλωροπλάστη (β)

- Κύριο σύμπτωμα στα ελλειμματικά σε σίδηρο φύλλα \Rightarrow η παρεμπόδιση της ανάπτυξης του χλωροπλάστη.
- Το 80% του σιδήρου εντοπίζεται στους χλωροπλάστες των γρήγορα αναπτυσσόμενων φύλλων ανεξάρτητα από τη θρεπτική κατάσταση σε σίδηρο.
- Έλλειψη Fe: αλλάζει η κατανομή του σιδήρου μέσα στο χλωροπλάστη.



Φυτοφερρίνη (α)

Φυτοφερρίνη:

- πρωτεΐνη που αποθηκεύει σίδηρο και βρίσκεται στο πλαστιδιακό πλάσμα.
- αποτελείται από πρωτεϊνικό κέλυφος.
- στο εσωτερικό αποθηκεύει μέχρι 5000 άτομα οξειδωμένου σιδήρου.
- αντιστοιχεί στο 15-20% της περιεκτικότητας της ξηρής μάζας σε σίδηρο.



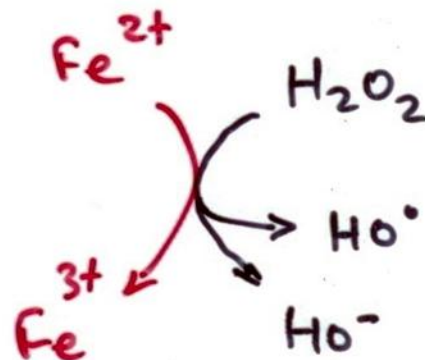
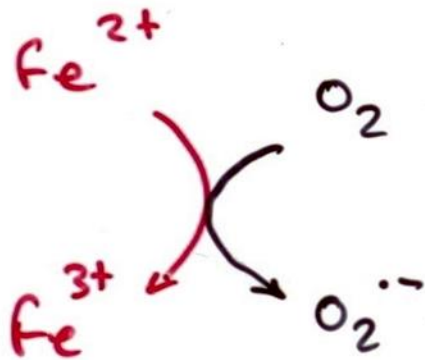
Φυτοφερρίνη (β)

- Η περιεκτικότητα της φυτοφερρίνης σε σίδηρο αυξομειώνεται.
- Φυτοφερρίνη εντοπίζεται σε ΗΑΣ, ΞΑΣ και σπέρματα.
- Το πρωτεϊνικό κέλυφος αποδομείται και ο σίδηρος παράγει H_2O_2 το οποίο επιταχύνει την αποδόμηση.



Παραγωγή ενεργού οξυγόνου

Ο ανηγμένος σίδηρος παράγει ενεργό οξυγόνο.





Υψηλές ανάγκες για σίδηρο

Υψηλή απαίτηση για σίδηρο:

- το χλωροπλαστικό mRNA και rRNA.
- η μεμβράνη του θυλακοειδούς για δομική & λειτουργική σταθερότητα.
- η φερεδοξίνη.
- η πορεία παραγωγής της χλωροφύλλης.



Έλλειψη σιδήρου (α)

Έλλειψη σιδήρου -Fe \Rightarrow περιορισμένη επίδραση:

- στην αύξηση του φύλλου.
- στον αριθμό κυττάρων ανά μονάδα επιφάνειας.
- στον αριθμό χλωροπλαστών ανά κύτταρο.

επηρεάζονται:

- το μέγεθος του χλωροπλάστη.
- η συγκέντρωση πρωτεΐνης του χλωροπλάστη.



Έλλειψη σιδήρου (β)

Ο σίδηρος είναι αναγκαίος για πρωτεϊνοσύνθεση.
Σε συνθήκες έλλειψης σιδήρου -Fe:

- ο αριθμός των ριβοσωμάτων μειώνεται.
- η συγκέντρωση πρωτεΐνης στο χλωροπλάστη μειώνεται πολύ περισσότερο (80%) από τη συγκέντρωση πρωτεΐνης στο κυτταρόπλασμα (20%).



Σχέση σιδήρου - χλωροφύλλης

Φυτό σε θρεπτικό διάλυμα:

- υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ ολικού σιδήρου φύλλου & χλωροφύλλης όταν η τροφοδοσία σε χηλικό σίδηρο δεν είναι άριστη.

Αυτό δεν ισχύει:

- στα φυτά σε ασβεστούχο έδαφος.
- όταν η τροφοδοσία φωσφόρου είναι μεγάλη.
- όταν τροφοδοτούνται διάφορες μορφές αζώτου.

Σε αυτές τις περιπτώσεις ο σίδηρος είναι στο ίδιο ή υψηλότερο επίπεδο σε σχέση με το κανονικό πράσινο φύλλο.

- Αυτό οφείλεται στον εντοπισμό και στον τρόπο συγκράτησης του σιδήρου στο φύλλο.



Σίδηρος στη ρίζα

Επιπτώσεις της έλλειψης σιδήρου στη ρίζα:

- παρεμποδίζεται η επιμήκυνση της ρίζας.
- αυξάνεται η διάμετρος της επάκριας ζώνης της ρίζας.
- επάγεται σχηματισμός κυττάρων με τοίχωμα τυπικό των κυττάρων μεταφοράς στη ριζοδερμίδα & στην υποδερμίδα.

Ριζοδερμικά κύτταρα μεταφοράς (PKM):

Ρυθμιστικός μηχανισμός αύξησης της πρόσληψης του σιδήρου.



Πρόσληψη σιδήρου (α)

Στρατηγική πρόσληψης σιδήρου Νο.1: Υπό συνθήκες έλλειψης σιδήρου τα **PKM** ⇒

- αποβάλλουν πρωτόνια.
- εμφανίζουν αναγωγική ισχύ.
- αποβάλλουν φαινολικά.

Συνθήκες που περιορίζουν την διαθεσιμότητα του σιδήρου επάγουν ρυθμικές αλλαγές ⇒

- στη μορφολογία της ρίζας.
- στις ριζογενείς αλλαγές του pH του υποστρώματος.
- στο ρυθμό πρόσληψης του σιδήρου.



Πρόσληψη σιδήρου (β)

Στρατηγική πρόσληψης σιδήρου No.1:
(συνέχεια)

Με νέα τροφοδοσία με σίδηρο:

- εξαφανίζονται οι αποκρίσεις της «στρατηγικής No.1».
- τα PKM καταστρέφονται μέσα σε 1-2 ημέρες.



Πρόσληψη σιδήρου (γ)

Στρατηγική πρόσληψης σιδήρου No.2: Τα **αγρωστώδη** δεν εμφανίζουν τις μορφολογικές & φυσιολογικές αλλαγές της «στρατηγικής No.1».

- η ρίζα των αγρωστωδών αποδεσμεύει τα φυτοσιδηροφόρα.

Τα **φυτοσιδηροφόρα** είναι:

- συμπλεκτικά μόρια του σιδήρου.
- παράγωγα της νικοτιαναμίνης.



Πρόσληψη σιδήρου (δ)

Στρατηγική πρόσληψης σιδήρου Νο.2:
(συνέχεια)

Η νικοτιαναμίνη:

- παράγεται από την μεθειονίνη.
- είναι επίσης συμπλεκτικό μόριο του σιδήρου.
- συμβάλλει στην ομοιόσταση του σιδήρου στα μεταβολικά διαμερίσματα.



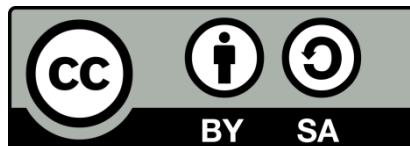
Βιβλιογραφία

- Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z and Zhao F (2012). Function of Nutrients: Micronutrients. 7.1 Iron. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition.
- Αναλογίδης ΔΑ (2007). Τα μικροθρεπτικά στοιχεία στο αγροτικό οικοσύστημα. 6.1 Σίδηρος (Fe).



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.





Σημείωμα Αναφοράς

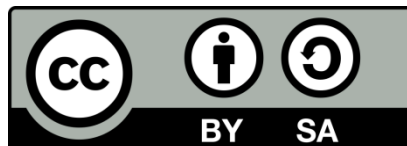
Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Μπουράνης Δημήτριος, Χωριανοπούλου Στυλιανή, «Θρέψη Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDCS102/>



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/>



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



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.