



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Θρέψη Φυτών

Ενότητα 11^η Χαλκός

Όνομα καθηγητή: **Δ. Μπουράνης**

Όνομα καθηγητή: **Σ. Χωριανοπούλου**

Τμήμα: **Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής**



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
πρόγραμμα για την ανάπτυξη





Στόχοι ενότητας

1. Περιγραφή της φυσιολογίας του χαλκού μέσα στο φυτό.



Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδιά: Χαλκός, Μεταλλοτσαπερόνες.
- Key words: Copper, Metal chaperones.



Χαλκός

Χαλκός **Cu**: Στοιχείο μετάπτωσης, μέταλλο.

- Στο κυτταρικό περιβάλλον βρίσκεται σε δύο μορφές οξείδωσης:
 - Cu^+ **ανηγμένος** χαλκός,
 - Cu^{2+} **οξειδωμένος** χαλκός.
- Είναι μαλακό οξύ \Rightarrow προτιμά να προσαρτάται σε μαλακούς υποκαταστάτες.



Μορφές χαλκού στο κύτταρο

Cu^{2+} : προσαρτάται στο άζωτο της πλευρικής αλυσίδας ιστιδίνης.

Cu^{+} : προτιμά συναρμογή με θείο κυστεΐνης ή μεθειονίνης.

- συμμετέχει σε οξειδοαναγωγικές διεργασίες προσαρτημένο σε πρωτεΐνες.
- χρησιμοποιείται σε διεργασίες μεταφοράς ηλεκτρονίων.
- μπορεί να σχηματίσει ενεργές μορφές οξυγόνου.



Εντοπισμός χαλκού στο κύτταρο

Οι στάθμες του χαλκού στα κυτταρικά διαμερίσματα είναι υπό έλεγχο. Στο φυτικό κύτταρο βρίσκεται σε:

- κυτταρόπλασμα,
- ενδοπλασματικό δίκτυο,
- στρώμα χλωροπλάστη,
- ενδοθυλακοειδή χώρο,
- αποπλασματικό χώρο,
- εσωτερική μεμβράνη του μιτοχονδρίου.

Μιτοχόνδριο & πλαστίδιο είναι καταναλωτές χαλκού.

Χυμοτόπιο: διαμέρισμα αποθήκευσης συμπλεγμένου χαλκού.



Χαλκός ως συμπαράγοντας (α)

Συμπαράγοντας σε:

- πλαστοκυανίνη.
- σουπεροξειδική δισμουτάση Cu/Zn.
- οξειδάση κυτοχρώματος c.
- υποδοχέα αιθυλενίου.

3 ομάδες βιομορίων με συμπαράγοντα χαλκό:

- πρωτεΐνες χαλκού (ή χαλκοπρωτεΐνες).
- μεταφορείς χαλκού.
- τσαπερόνες χαλκού.



Χαλκός ως συμπράγοντας (β)

Οξειδάση κυτοχρώματος c:

- χαλκός σε αίμη.
- 3 άτομα χαλκού σε κάθε μόριο.
- 2 θέσεις με χαλκό σε κάθε μόριο.

Cu στην παραγωγή του συμπράγοντα μολυβδαινίου:

- σύνδεση του μεταβολισμού του χαλκού με την αφομοίωση αζώτου και την παραγωγή ορμονών.



Αποπλασμικές οξειδάσες

Οι αποπλασμικές οξειδάσες χρειάζονται χαλκό.

- οξειδάση ασκορβικού.
- οξειδάση πολυφαινόλης.
- οξειδάση αμίνης.



Μεταλλοσαπερόνες (α)

Μεταλλοσαπερόνες: συνοδευτικές πρωτεΐνες.

- μηχανισμός εξειδικευμένης παράδοσης μετάλλου σε συγκεκριμένη θέση στο κύτταρο.
- παρεμποδίζουν ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις.
- ανάγκη για ύπαρξη μεταλλοσαπερονών για να ρυθμιστεί η ισχυρή συμπλεκτική ικανότητα συγκεκριμένων συναρμοστών.
- η επιλεκτικότητα ρυθμίζεται από:
 - τις συνάφειες και τις γεωμετρίες των συναρμοστών,
 - τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρωτεϊνών.



Μεταλλοτσαπερόνες (β)

Copper Chaperone CCH:

- ενεργοποιείται από τροφοπενία χαλκού.
- όταν γίνεται αναδιανομή θρεπτικών βρίσκεται στο ΗΑΣ και γύρω από τον αγωγό ιστό.
- συμβάλλει στη συμπλασμική μεταφορά χαλκού.



Μεταλλοσαπερόνες (γ)

COX, SCO: μεταλλοσαπερόνες

- προσάρτηση Cu μέσω θειολών.

Copper Chaperone for SOD:

- μεταφορά χαλκού με άμεση αλληλεπίδραση των πρωτεϊνών.
- ενεργοποίηση SOD καταλύοντας σχηματισμό δισουλφιδικού δεσμού.



Σουπεροξειδική δισμουτάση

Cu: συμπαράγοντας Cu/Zn SOD.

Στάθμη Cu↓:

- ενεργοποίηση FeSOD.
- απενεργοποίηση Cu/Zn SOD & CCS.
- Cu διατίθεται μόνο στην πλαστοκυανίνη.

Στάθμη Cu↑:

- απενεργοποίηση FeSOD.
- ενεργοποίηση Cu/Zn SOD & CCS.



Μεταφορείς χαλκού (α)

- **COPT** (COPper Transporter protein): μεταφορέας χαλκού.
- Οικογένεια μεταφορέων **CTR** (Copper Transporter family).
- **COPT1** στην κυτταροπλασματική μεμβράνη:
 - ⇒ μεταλλάγματα χωρίς COPT1 ⇒ πρόσληψη $\text{Cu} \downarrow$, στάθμες $\text{Cu} \downarrow$ ⇒ ενεργοποιούνται μεταλλοθειονίνες.



Μεταφορείς χαλκού (β)

Εσωτερικοί μεταφορείς χαλκού:

- **ΡΑΑ**: ΑΤΡάση τύπου-P για μεταφορά χαλκού στην εσωτερική μεμβράνη φακέλου χλωροπλάστη και στο θυλακοειδές.
 - παράδοση χαλκού στην πλαστοκυανίνη.
- **RAN**: Responsive to AgoNist.
- **HMA** (Heavy Metal ATPase): ΑΤΡάση τύπου-P για μεταφορά Cu:
 - απομάκρυνση Cu από το κυτταρόπλασμα.
 - διακίνηση Cu στο ενδοπλασματικό δίκτυο και στον αποπλασματικό χώρο.



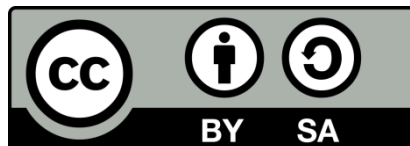
Βιβλιογραφία

- Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z and Zhao F (2012). Function of Nutrients: Micronutrients. 7.3 Copper. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition.
- Αναλογίδης ΔΑ (2007). Τα μικροθρεπτικά στοιχεία στο αγροτικό οικοσύστημα. 6.4 Χαλκός (Cu).



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

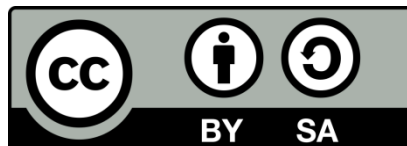
Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Μπουράνης Δημήτριος, Χωριανοπούλου Στυλιανή, «Θρέψη Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<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.