



# Θρέψη Φυτών

## Ενότητα 7<sup>η</sup>

### Θείο (μέρος α)

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. Περιγραφή του μεταβολισμού του θειικού ανιόντος μέσα στο φυτό.
2. Αφομοίωση και διακίνηση στα διάφορα κυτταρικά διαμερίσματα.



# Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδια: Θείο, Θειικό ανιόν, Σουλφουρυλάση του ATP, Αναγωγή του θειώδους.
- Sulphur. Sulphate, ATP sulphurylase, Sulphite reductase.

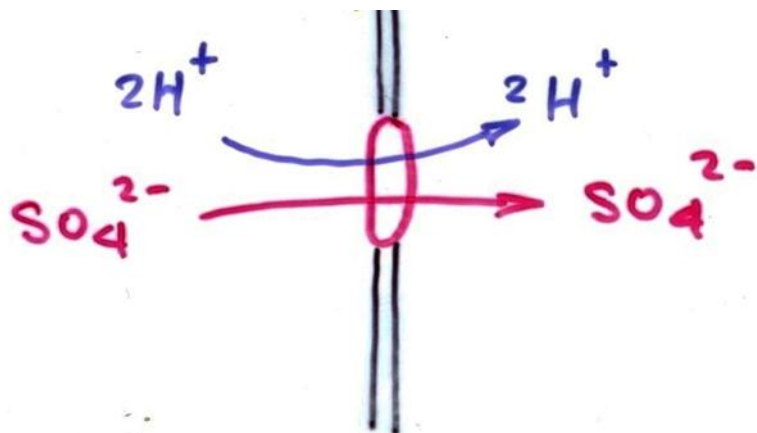


# Θειϊκό και θειώδες ανιόν

Θειϊκό ανιόν  $\text{SO}_4^{2-}$ :



Παραλαμβάνεται με μεταφορά από τη ρίζα.



Θειώδες ανιόν  $\text{SO}_3^{2-}$ :





# Επίπεδα θειϊκού στο φυτό

- Το φυτό χρειάζεται θείο σε επίπεδο 0,1-0,5% της ΞΜ (0,2% = 62  $\mu\text{mol S g}^{-1}$  ΞΜ).
- Το θειϊκό κινείται στο ΞΑΣ και στο ΗΑΣ:
  - στο ΞΑΣ 45 ppm ή 0,5 mM.
  - στο ΗΑΣ 140 ppm ή 1,5 mM.
- Το θειϊκό μπαίνει στο κύτταρο του μεσοφύλλου με μεταφορέα και συμμεταφορά πρωτονίων,
- το πλεονάζον θειϊκό μεταφέρεται στο χυμοτόπιο.



# Ενεργοποίηση του θειϊκού (α)

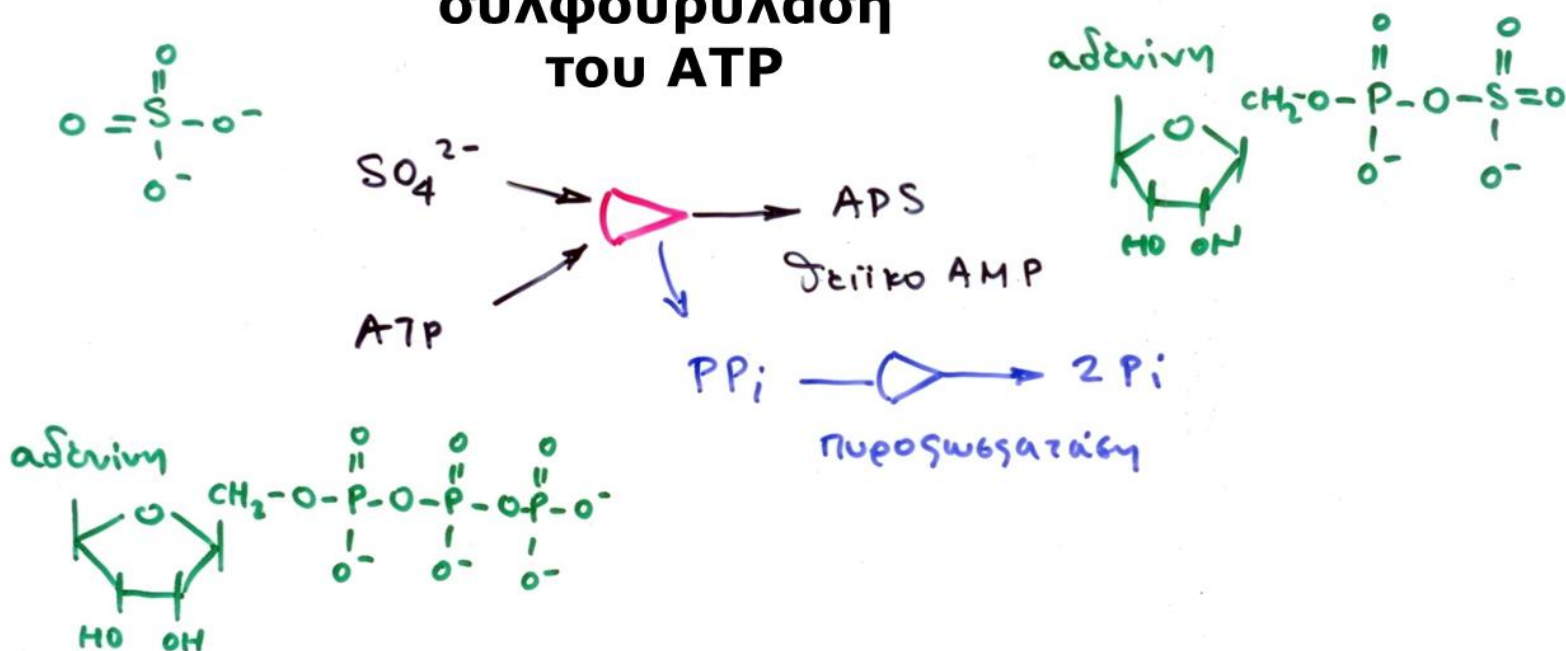
- Το θειϊκό δεν μπορεί να αναχθεί άμεσα επειδή το οξειδοαναγωγικό δυναμικό του ζεύγους  $\text{SO}_4^{2-} / \text{SO}_3^{2-}$  είναι πολύ υψηλό: -517 mV.
- δεν υπάρχει διαθέσιμο αναγωγικό για αναγωγή σε ένα στάδιο  $\Rightarrow$  έτσι το θειϊκό πρέπει να ενεργοποιηθεί.



# Ενεργοποίηση του θειϊκού (β)

Η δράση της σουλφουρυλάσης του ATP.

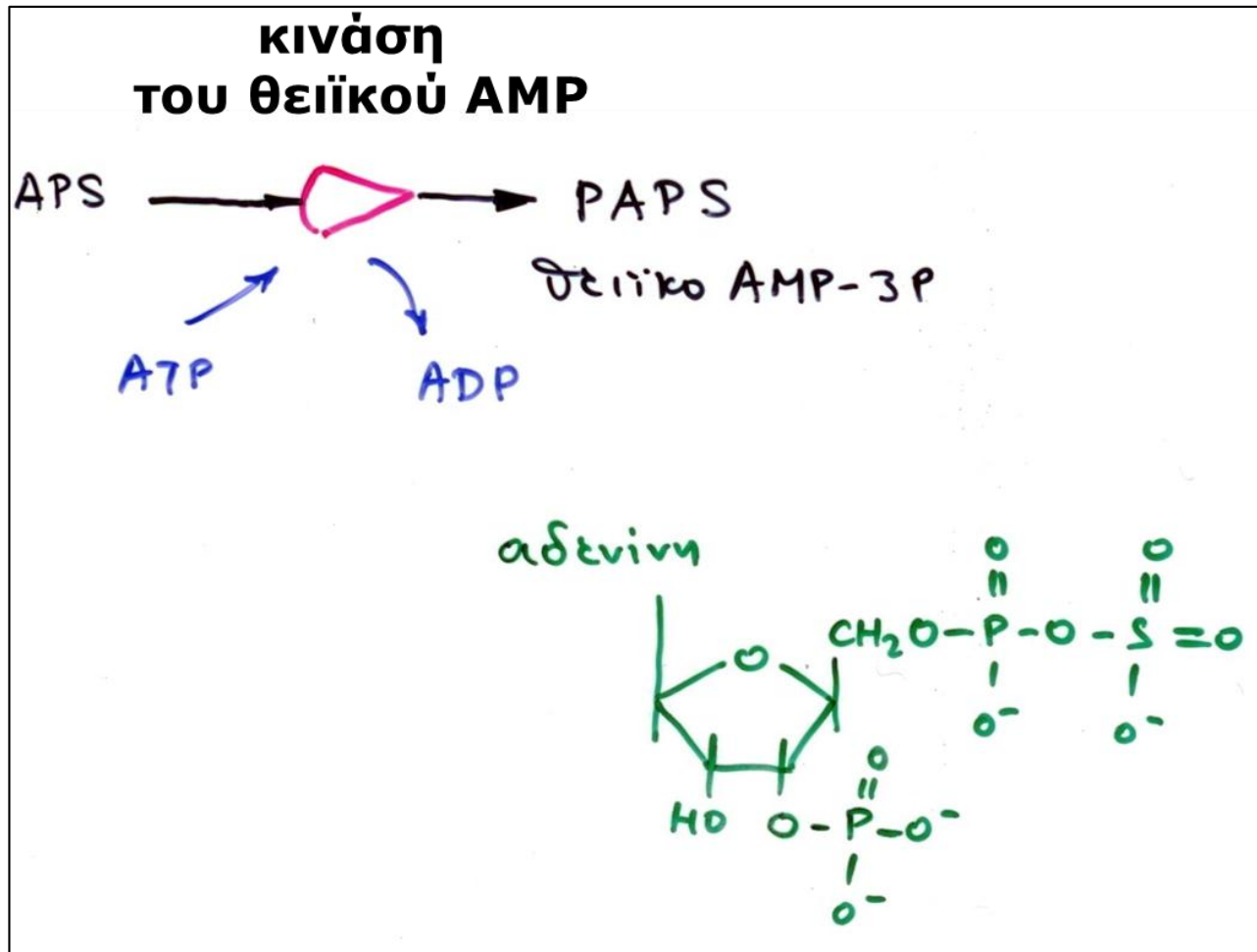
## σουλφουρυλάση του ATP





# Ενεργοποίηση του θειϊκού (γ)

Η δράση της κινάσης του θειϊκού AMP.



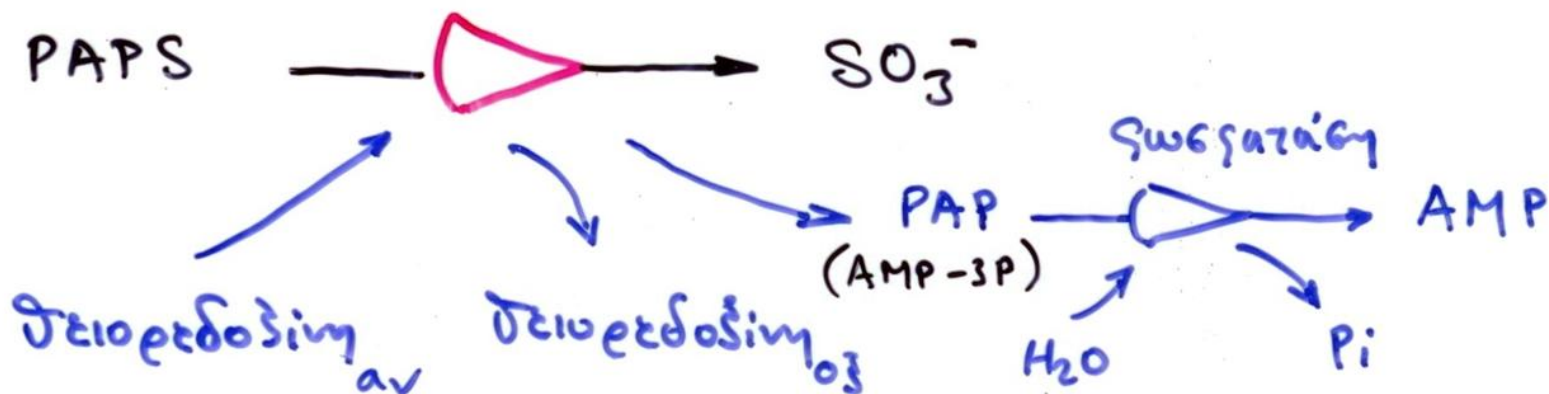




# Ενεργοποίηση του θειϊκού (δ)

Η δράση της αναγωγής του θειϊκού AMP-3P.

αναγωγή  
του θειϊκού AMP-3P

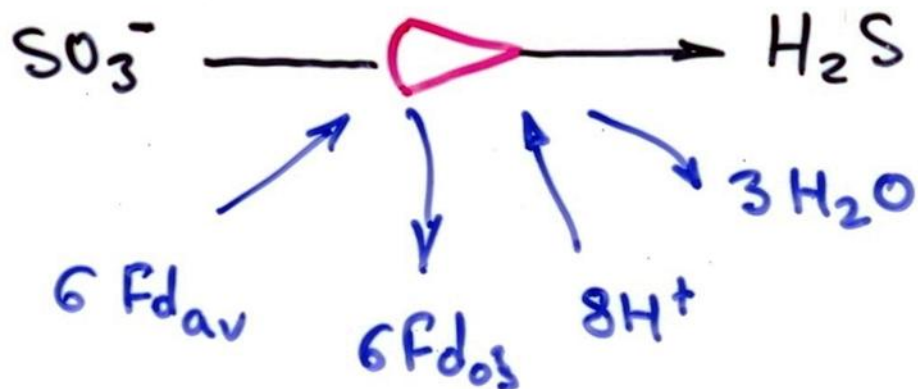




# Ενεργοποίηση του θειϊκού (ε)

Η δράση της αναγωγάσης του θειώδους.

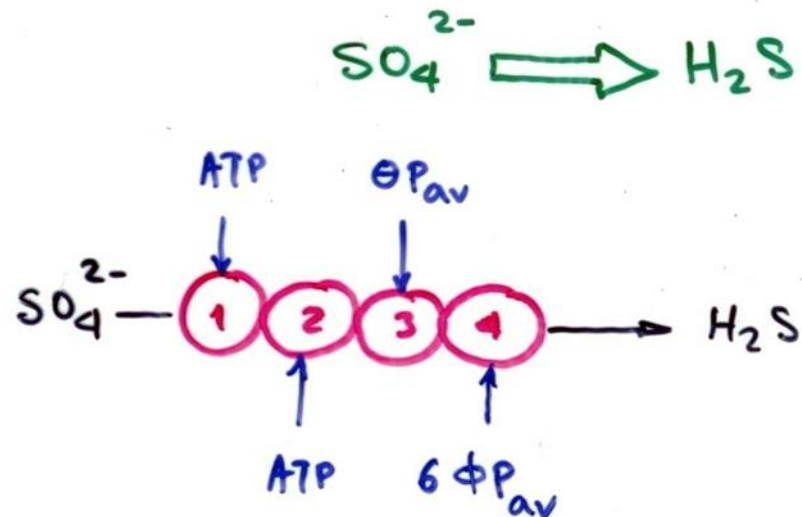
αναγωγή  
του θειώδους





# Ενεργοποίηση του θειϊκού (στ)

Επομένως το **θειϊκό** ανάγεται σε **θειώδες** και αυτό σε **υδρόθειο**.



Η αναγωγική διαδικασία απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας.

- (1) βουλγουραϊνική του ATP
- (2) κινάση του θειϊκού AMP
- (3) αναγωγαϊνική του θειϊκού AMP-3P
- (4) αναγωγαϊνική του θειώδους

- $\Theta P$ : θειορεδοξίνη.
- $\Phi P$ : φερεδοξίνη.



# Μεταβολισμός θειϊκού (α)

- Τα ένζυμα του μεταβολισμού του θειϊκού υπάρχουν επίσης στο κυτταρόπλασμα και στο μιτοχόνδριο.
- Ο ρυθμός αφομοίωσης του θειϊκού είναι σχετικά αργός:
  - ⇒ 5% του ρυθμού αφομοίωσης του νιτρικού.
  - ⇒ 0,2% του ρυθμού αφομοίωσης του διοξειδίου του άνθρακα.



# Μεταβολισμός θειϊκού (β)

Η μετατροπή της σερίνης σε ακέτυλο-σερίνη.

τρανς-ακετυλάση  
της σερίνης

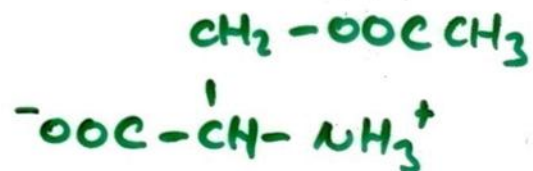
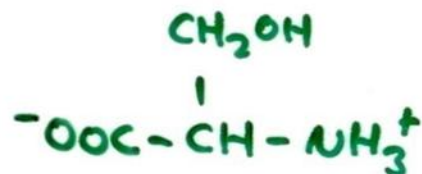
σερίνη



ακέτυλο-σερίνη

ακέτυλο-CoA

CoASH





# Μεταβολισμός θειϊκού (γ)

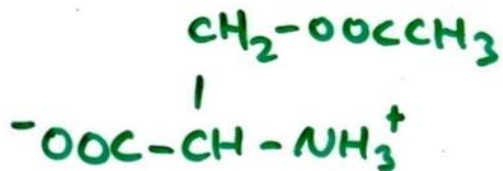
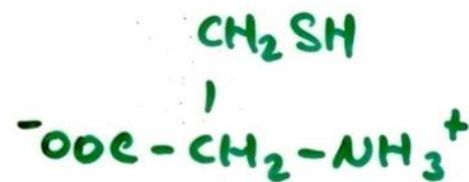
Η μετατροπή της ακέτυλο-σερίνης σε κυστεΐνη.

## Θειολο-λυάση της ακέτυλο-σερίνης

ακέτυλο-σερίνη  κυστεΐνη



οξείκο





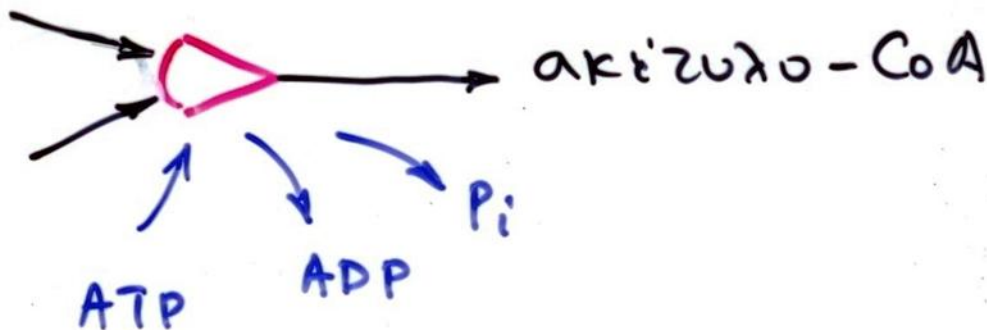
# Μεταβολισμός θειϊκού (δ)

Η παραγωγή ακέτυλο-συνενζύμου Α.

συνθετάση  
του ακέτυλο-CoA

οξεικό

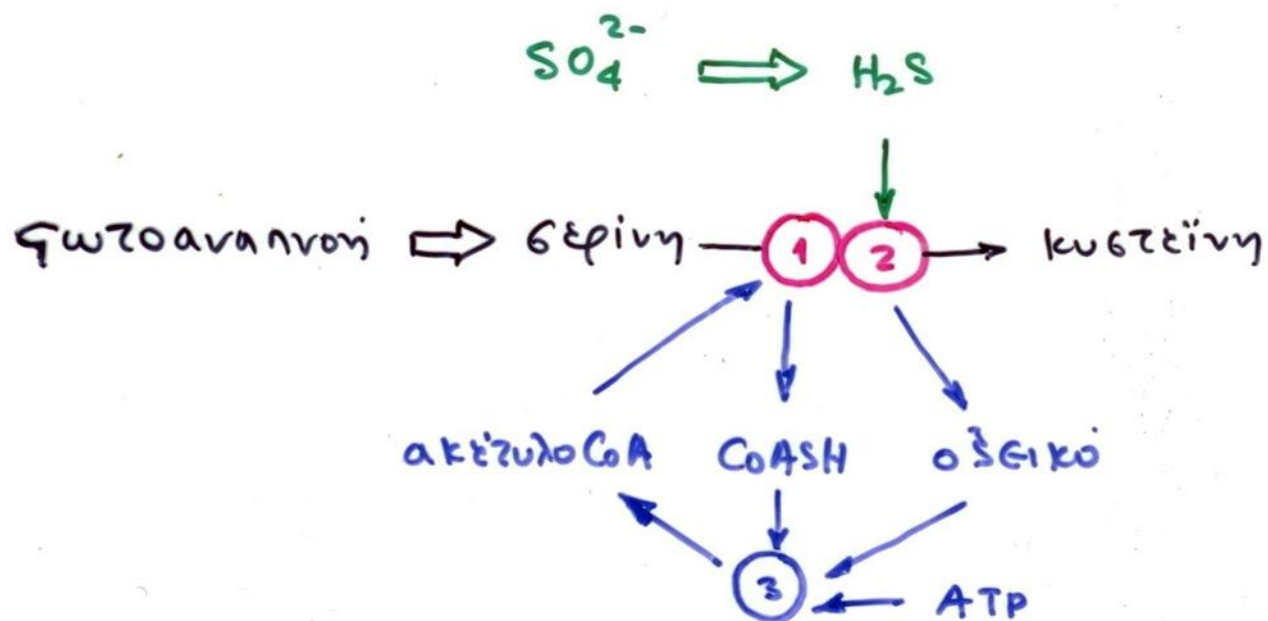
CoASH





# Μεταβολισμός θειϊκού (ε)

Τελικά το **θειϊκό** μετατρέπεται σε **θειολική ομάδα (-SH)**.



(1) τρανσακετυλάγη της βερίνης

(2) θειολογυάγη της ακετυλοβερίνης

(3) συνδέταγη των ακετυλοβυνενυλίου A

βερίνη  $\Rightarrow$  κυσθεινή





# Διακίνηση S στα διαμερίσματα

Η γενική εικόνα της διακίνησης του ανόργανου και οργανικού θείου στα διάφορα διαμερίσματα.

πλαστιδιακό  
πλαίσιο

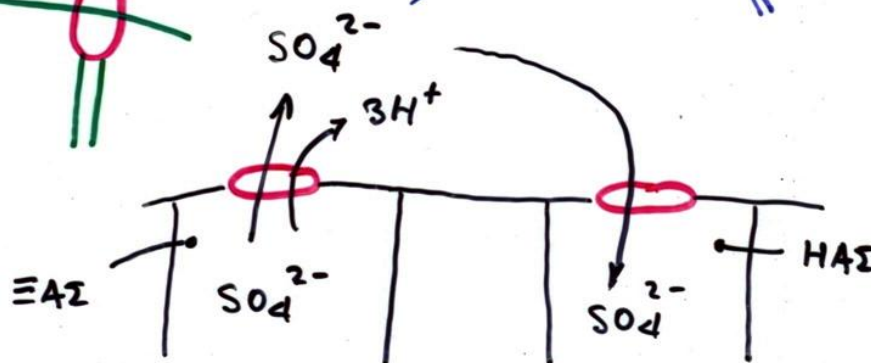
κυστίτινη → κυστίτινη

↑  
 $H_2S$

↑  
 $SO_4^{2-}$

χυτοζόλιο

$SO_4^{2-}$





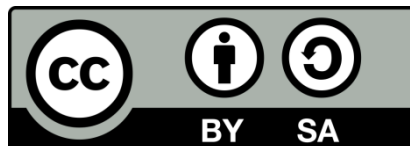
# Βιβλιογραφία

- Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Møller IS, and White P (2012). Functions of Macronutrients. 6.2 Sulphur. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition.



# 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

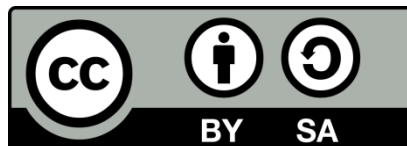
Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Μπουράνης Δημήτριος, Χωριανοπούλου Στυλιανή, «Θρέψη Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<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.