



# Θρέψη Φυτών

## Ενότητα 5<sup>η</sup>

### Φωσφόρος (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. Εξοικείωση με τις μορφές του φωσφορικού ανιόντος.
2. Οι ρόλοι του φωσφόρου τόσο ως δομικό στοιχείο όσο και στη διαχείριση της ενέργειας.
3. Η ρύθμιση ενζυμικών αντιδράσεων μέσω φωσφορυλιώσεων.



# Λέξεις - κλειδιά

- Λέξεις κλειδιά: Φωσφόρος, Φωσφορικό ανιόν, Φωσφορυλίωση ενζύμου, Κινάσες πρωτεϊνών.
- Key words: Phosphorus, Phosphate, Enzyme phosphorylation, Protein kinases.



# Μορφές Φωσφορικού ανιόντος (α)

$PO_4^{3-}$  : φωσφορικό ανιόν



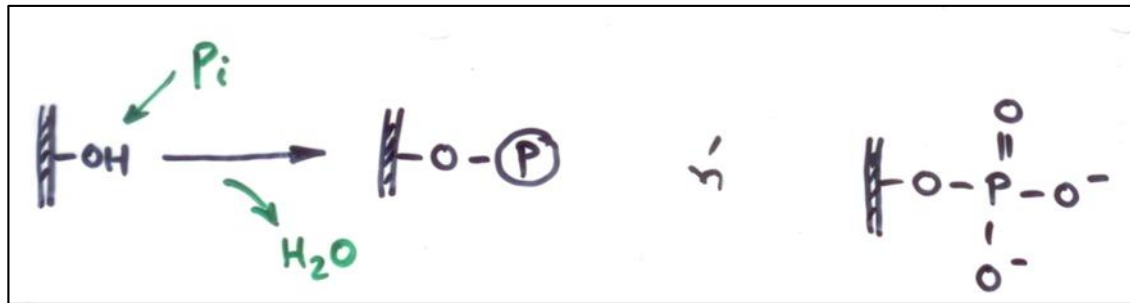
Το φωσφορικό ανιόν δεν ανάγεται μέσα στο φυτό. Παραμένει στην υψηλότερη οξειδωτική μορφή του:

1. Ως ελεύθερο Pi (inorganic phosphate).
2. Προσαρτημένο ως φωσφορική ομάδα πάνω σε κάποιο μόριο  $\Rightarrow$  το συμβολίζουμε ως  $-P$



# Μορφές Φωσφορικού ανιόντος (β)

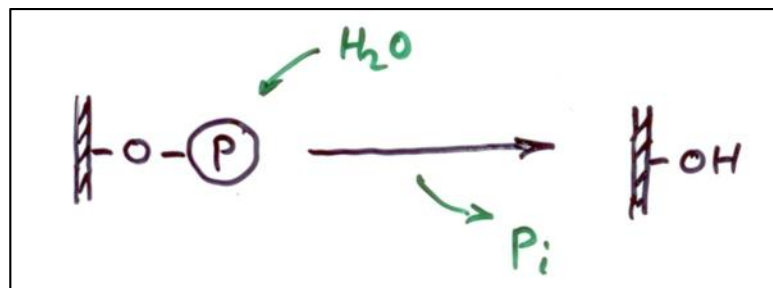
Ο ρυθμός μετατροπής μεταξύ  $P_i$  και  $-P$  είναι πολύ υψηλός.



2 αρνητικά φορτία ανά ομάδα.

Μόριο με υδροξυλομάδα R-OH ή C-OH.

φωσφορικός εστέρας του μορίου.





# Μορφές Φωσφορικού ανιόντος (γ)

3. Προσαρτημένο πάνω σε άλλη φωσφορική ομάδα. Ο δεσμός αυτός λέγεται πυροφωσφορικός δεσμός και είναι πλούσιος σε ενέργεια (~).





# Μορφές Φωσφορικού ανιόντος (δ)

4. Δομικό στοιχείο μορίου ως φωσφορική γέφυρα (φωσφορικός δεσμός με υψηλή σταθερότητα).



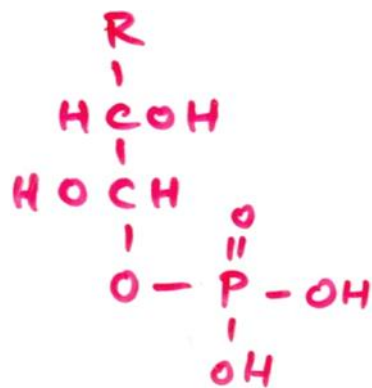
1 αρνητικό φορτίο ανά ομάδα.



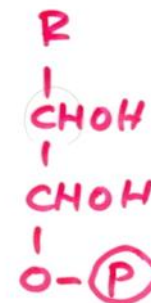
# Διαχείριση χημικής ενέργειας (α)

- Οι προσαρτημένες **φωσφορικές** και **πυροφωσφορικές** ομάδες είναι στοιχεία του μηχανισμού διαχείρισης της χημικής ενέργειας.
- Φωσφορικός εστέρας: ενδιάμεσος μεταβολίτης σε μεταβολική πορεία.

- Συνηθισμένη δομή:



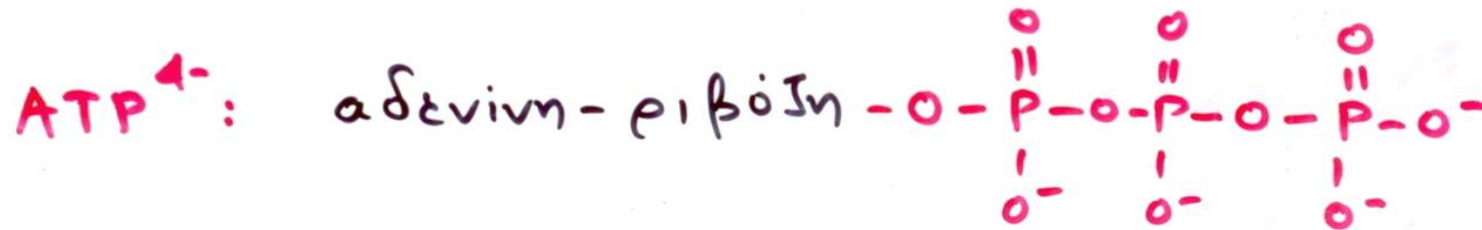
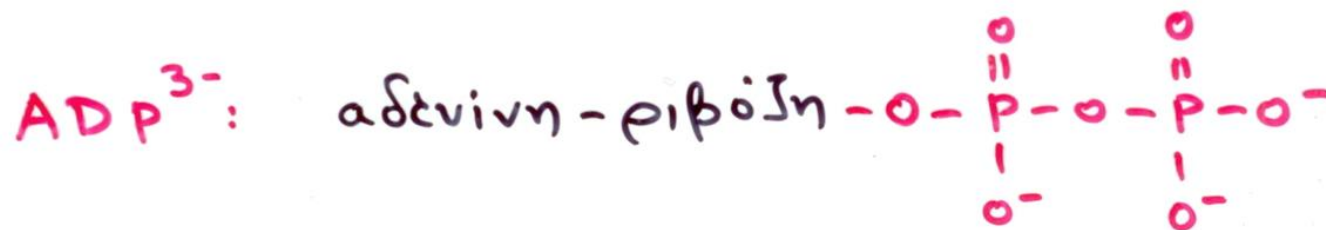
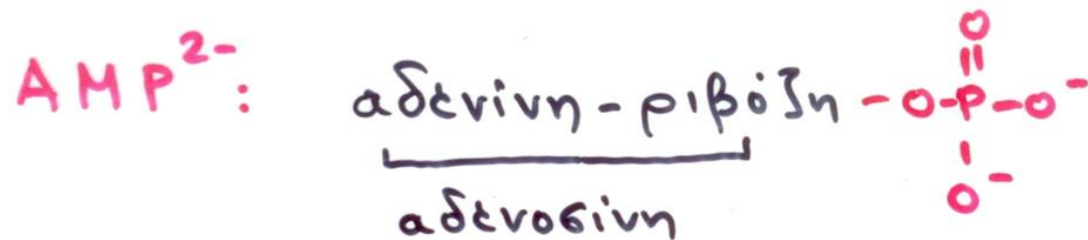
ή





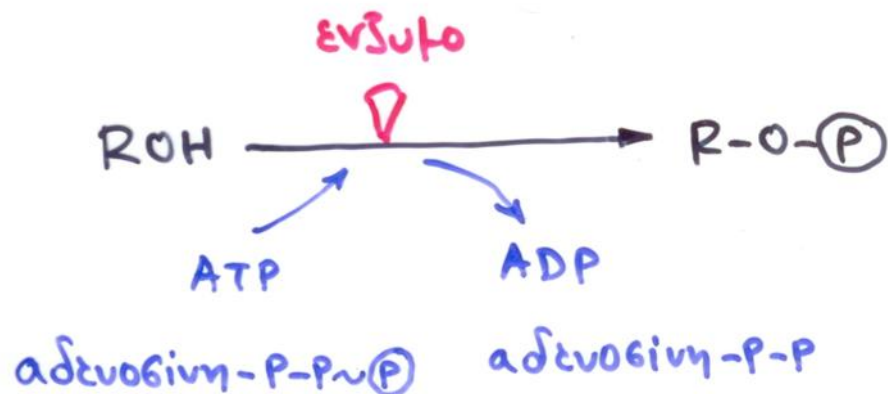


# Διαχείριση χημικής ενέργειας (β)

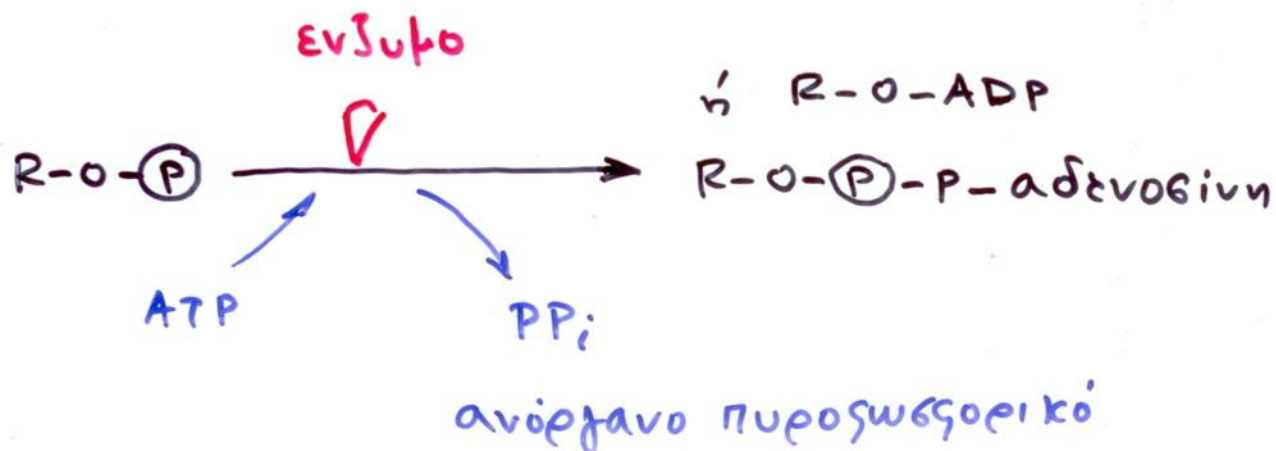




# Διαχείριση χημικής ενέργειας (γ)



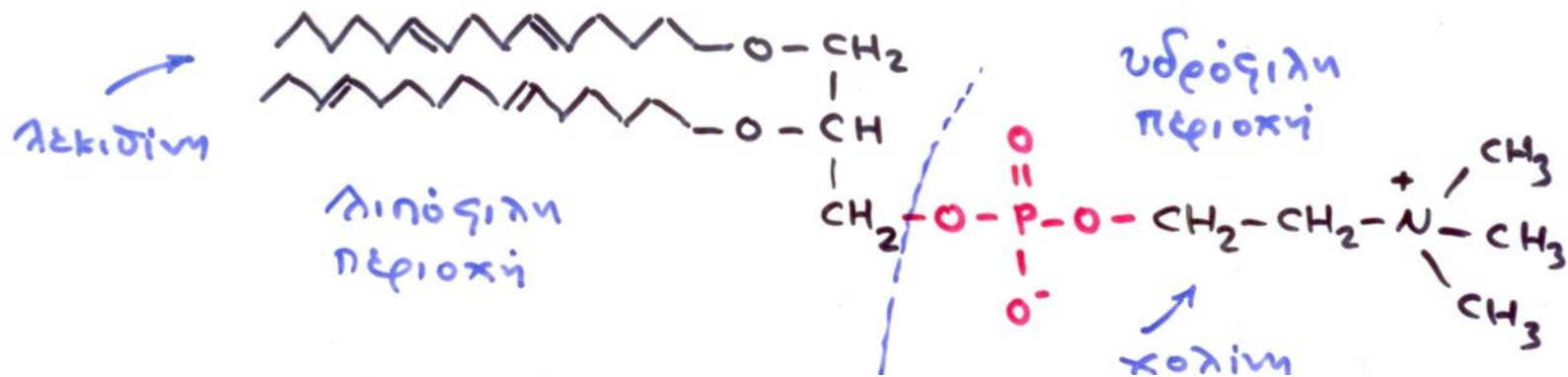
**Αντίδραση  
φωσφορυλίωσης:**  
 Προσάρτηση φωσφορικής  
 ομάδας σε ένα μόριο.





# Γέφυρα λιπόφιλης – υδρόφιλης περιοχής της μεμβράνης (α)

Συστατικό φωσφολιπιδίου της μεμβράνης.





# Γέφυρα λιπόφιλης – υδρόφιλης περιοχής της μεμβράνης (β)

Είναι η γέφυρα μεταξύ:

- του διγλυκεριδίου (εσωτερικό της μεμβράνης – λιπόφιλη περιοχή),
- και άλλου μορίου (αμινοξέος, αμίνης, αλκοόλης – υδρόφιλη περιοχή).

Έτσι το μόριο προσαρτάται στη μεμβράνη.

Φυσιολογικό ρόλο έχουν:

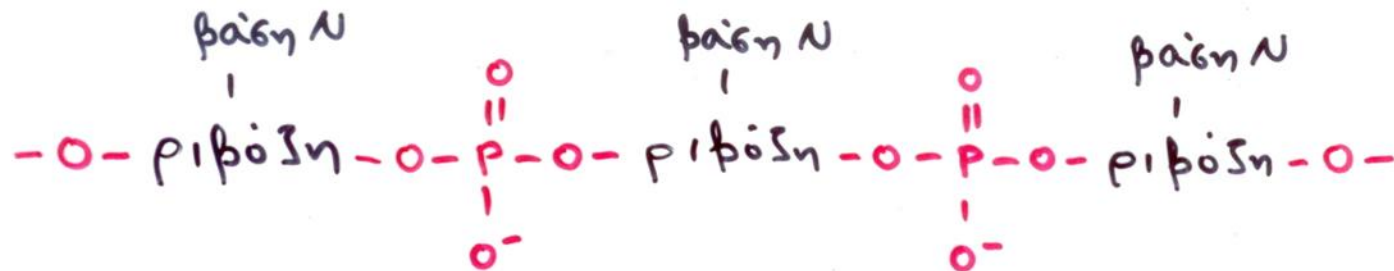
- το είδος και,
- ο προσανατολισμός του προσαρτημένου μορίου,
- καθώς και τα φορτία του.



# Συστατικό νουκλεϊκών οξέων (α)

Συστατικό του DNA και του RNA.

- Η ισχυρά όξινη φύση του νουκλεϊκού οξέος οφείλεται στη φωσφορική ομάδα.





# Συστατικό νουκλεϊκών οξέων (β)

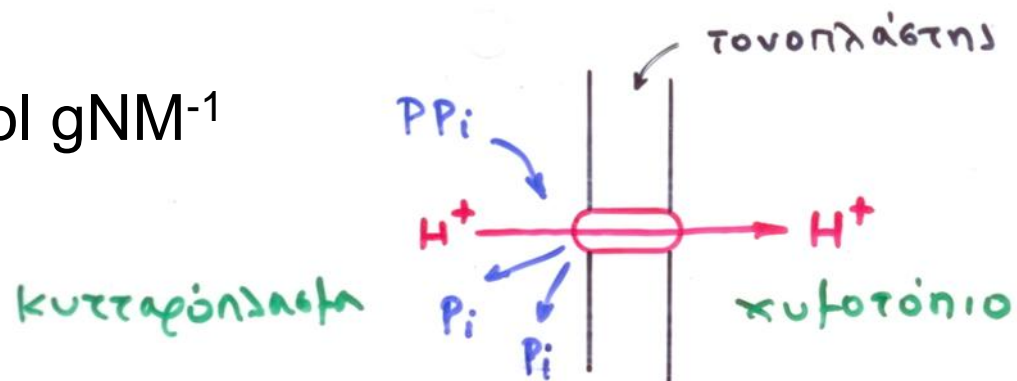
- Απαιτείται υψηλή συγκέντρωση κατιόντων δίπλα στις δομές DNA και RNA.
- Η αναλογία νουκλεϊνικού φωσφόρου προς προσαρτημένο φωσφόρο εξαρτάται από το είδος του κυττάρου και του ιστού:
  - υψηλή στο μερίστωμα.
  - χαμηλή στον αποθηκευτικό ιστό.



# Πυροφωσφατάση

**Πυροφωσφατάση:** αντλία πρωτονίων στον τονοπλάστη  
⇒ μεταφέρει πρωτόνια από το κυτταρόπλασμα στο χυμοτόπιο.

$$[PP_i] = 100 - 200 \text{ nmol gNM}^{-1}$$



Στο φύλλο:

- [PP<sub>i</sub>] κυτταροπλάσματος ≈ [PP<sub>i</sub>] στρώματος χλωροπλάστη.
- σταθερό κατά την εναλλαγή φωτός – σκότους.



# Φωσφορυλίωση ενζύμου (α)

## Ρυθμιστική φωσφορυλίωση:

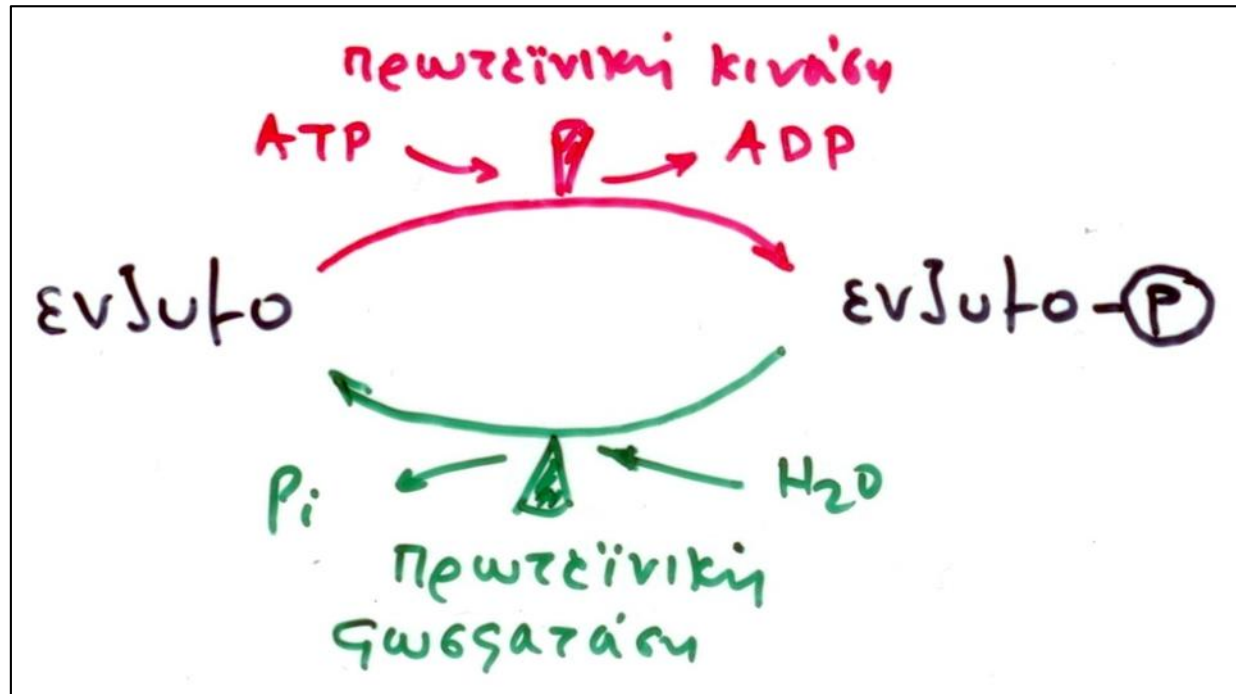
- Η φωσφορυλίωση του ενζύμου τροποποιεί τη δραστηριότητά του.
- Το σύστημα χρησιμοποιεί πρωτεϊνική κινάση και πρωτεϊνική φωσφατάση:
  - Η πρωτεϊνική κινάση φωσφορυλιώνει το ένζυμο.
  - Η πρωτεϊνική φωσφατάση αποφωσφορυλιώνει το ένζυμο.





# Φωσφορυλίωση ενζύμου (β)

Η ρυθμιστική φωσφορυλίωση των ενζύμων





# Φωσφορυλίωση ενζύμου (γ)

Τροποποίηση της ενζυμικής δραστηριότητας:

- ενεργοποίηση.
- απενεργοποίηση.
- τροποποίηση αλλοστερικών ιδιοτήτων.

Μία πρωτεϊνική κινάση φωσφορυλιώνει δομικές μονάδες σερίνης & θρεονίνης στην πολυπεπτιδική αλυσίδα.



# Ρύθμιση ενζυμικών αντιδράσεων (α)

- Στις ενζυμικές αντιδράσεις το P<sub>i</sub> λειτουργεί:
  - ως υπόστρωμα.
  - ως προϊόν.
- Το P<sub>i</sub> ρυθμίζει ενζυμικές αντιδράσεις που είναι μεταβολικοί κόμβοι.
- Απαραίτητη η διαμερισματοποίηση του P<sub>i</sub> για τη ρύθμιση των μεταβολικών πορειών στο κυτταρόπλασμα και στο χλωροπλάστη.



# Ρύθμιση ενζυμικών αντιδράσεων ( $\beta$ )

- Μεταφορά  $P_i$  από το χυμοτόπιο στο κυτταρόπλασμα.
- ενεργοποίηση δραστηριότητας φωσφορφορικού κινάσης.
- ρύθμιση της ροής των μεταβολιτών προς τη γλυκόλυση.



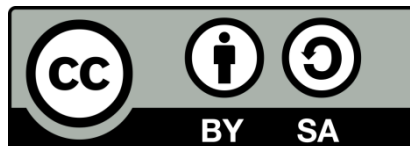
# Βιβλιογραφία

- Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Møller IS, and White P (2012). Functions of Macronutrients. 6.3 Phosphorus. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition.
- Αναλογίδης ΔΑ (2000). Έδαφος, Θρεπτικά Στοιχεία και Φυτική Παραγωγή. Κεφ. 4<sup>ο</sup>: Φωσφόρος.



# 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

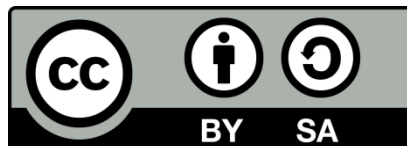
Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Μπουράνης Δημήτριος, Χωριανοπούλου Στυλιανή, «Θρέψη Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<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.