

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ- ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ

Η ΦΥΛΟΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ
ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ



Εισηγητές: Βασίλειος Τζανακάκης & Φοιτητές ΕΛΜΕΠΑ



Απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία

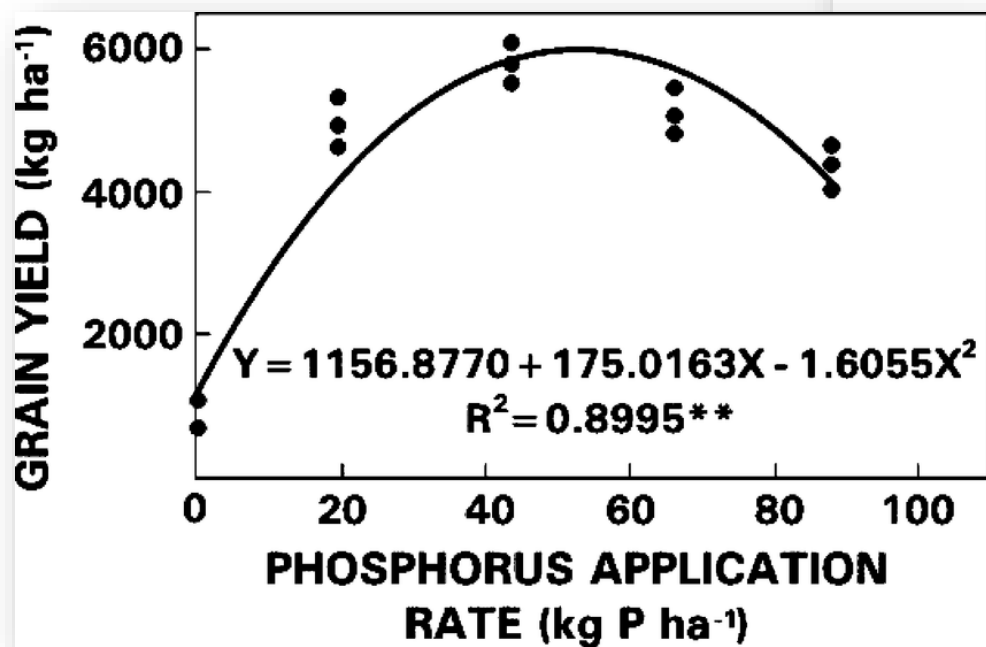
- ✓ Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία κατηγοριοποιούνται σε μακρο-θρεπτικά και μικρο-θρεπτικά ανάλογα με την συγκέντρωσή τους στους φυτικούς ιστούς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Στοιχεία που είναι Απαραίτητα για την Ανάπτυξη των Φυτών και οι Πηγές τους^α

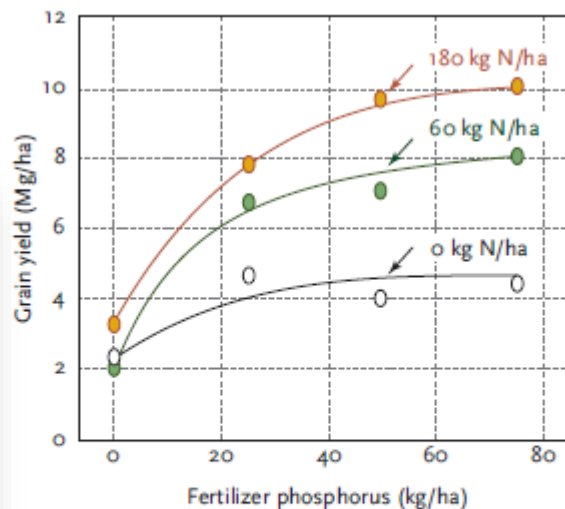
Οι χημικές μορφές που συνήθως προσλαμβάνονται από τα φυτά δείχνονται σε παρένθεση, με το χημικό σύμβολο του στοιχείου να αναγράφεται με έντονη γραφή.

Μακροθρεπτικά: Χρησιμοποιούνται σε σχετικά μεγάλα ποσά (> 0,1 % ξηρού φυτικού ιστού)		Μικροθρεπτικά: Χρησιμοποιούνται σε σχετικά μικρά ποσά (< 0,1 % ξηρού φυτικού ιστού)
Κυρίως από τον αέρα και το νερό	Κυρίως από τα στερεά του εδάφους	Από τα στερεά του εδάφους
Ανθρακας (CO ₂)	Κατιόντα:	Κατιόντα:
Υδρογόνο (H ₂ O)	Ασβέστιο (Ca ²⁺)	Χαλκός (Cu ²⁺)
Οξυγόνο (O ₂ , H ₂ O)	Μαγνήσιο (Mg ²⁺)	*Κοβάλτιο (Co ²⁺) ^β
	Άζωτο (NH ₄ ⁺)	Σίδηρος (Fe ²⁺)
	Κάλιο (K ⁺)	Μαγγάνιο (Mn ²⁺)
	Ανιόντα:	Νικέλιο (Ni ²⁺)
	Άζωτο (NO ₃ ⁻)	*Νάτριο (Na ⁺) ^β
	Φώσφορος (H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻²)	Ψευδάργυρος (Zn ²⁺)
	Θείο (SO ₄ ⁻²)	Ανιόντα:
	*Πυρίτιο (H ₄ SiO ₄ , H ₃ SiO ₄ ⁻) ^β	Βόριο (H ₃ BO ₃ , H ₄ BO ₄ ⁻)
		Χλώριο (Cl ⁻)
		Μολυβδαίνιο (MoO ₄ ²⁻)

Επίδραση της εφαρμογής θρεπτικών στην παραγωγή: Το παράδειγμα του φωσφόρου



Fageria et al., 2008



Maize grain yield response to fertilizer P applications for three levels of N (Adapted from Sumner and Farina, 1986).

Η σημασία του φωσφόρου για το περιβάλλον: Ευτροφισμός

EUTROPHICATION PROCESS

Fertilizer

Runoff

Leaching

Blocked Sunlight

Algae

Fish Suffocate

Algae Dies



ECOLOGY

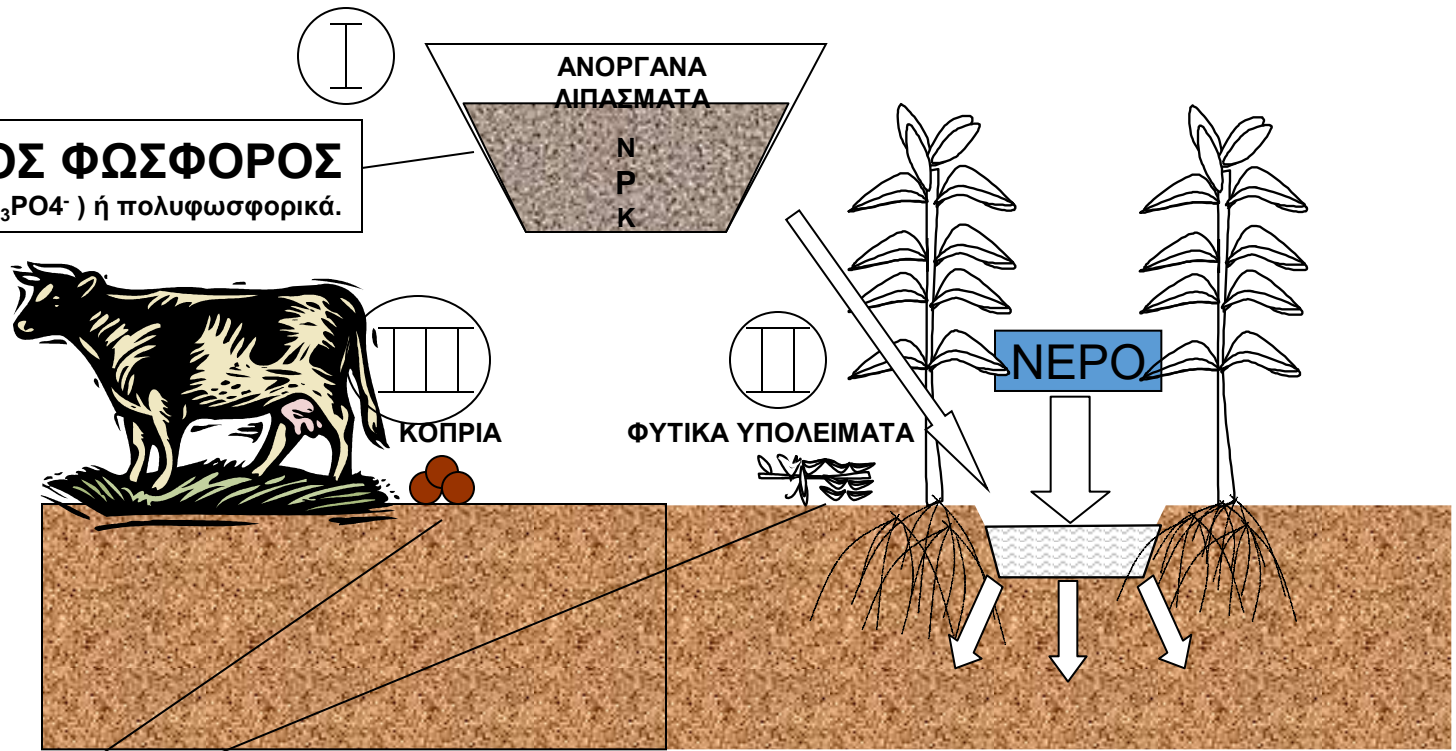
Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus

Daniel J. Conley,^{1*} Hans W. Paerl,² Robert W. Howarth,³ Donald F. Boesch,⁴ Sybil P. Seitzinger,⁵ Karl E. Havens,⁶ Christiane Lancelot,⁷ Gene E. Likens⁸

Too much algae. (Top) Removing macroalgal blooms at the Olympic Sailing venue, China. (Middle) Seagrasses covered with attached algae in a Danish estuary. (Bottom) Non-N₂-fixing cyanobacteria blooms in Lake Okechobee, Florida, U.S.A.

Πηγές φωσφόρου που μεταφέρονται στο έδαφος

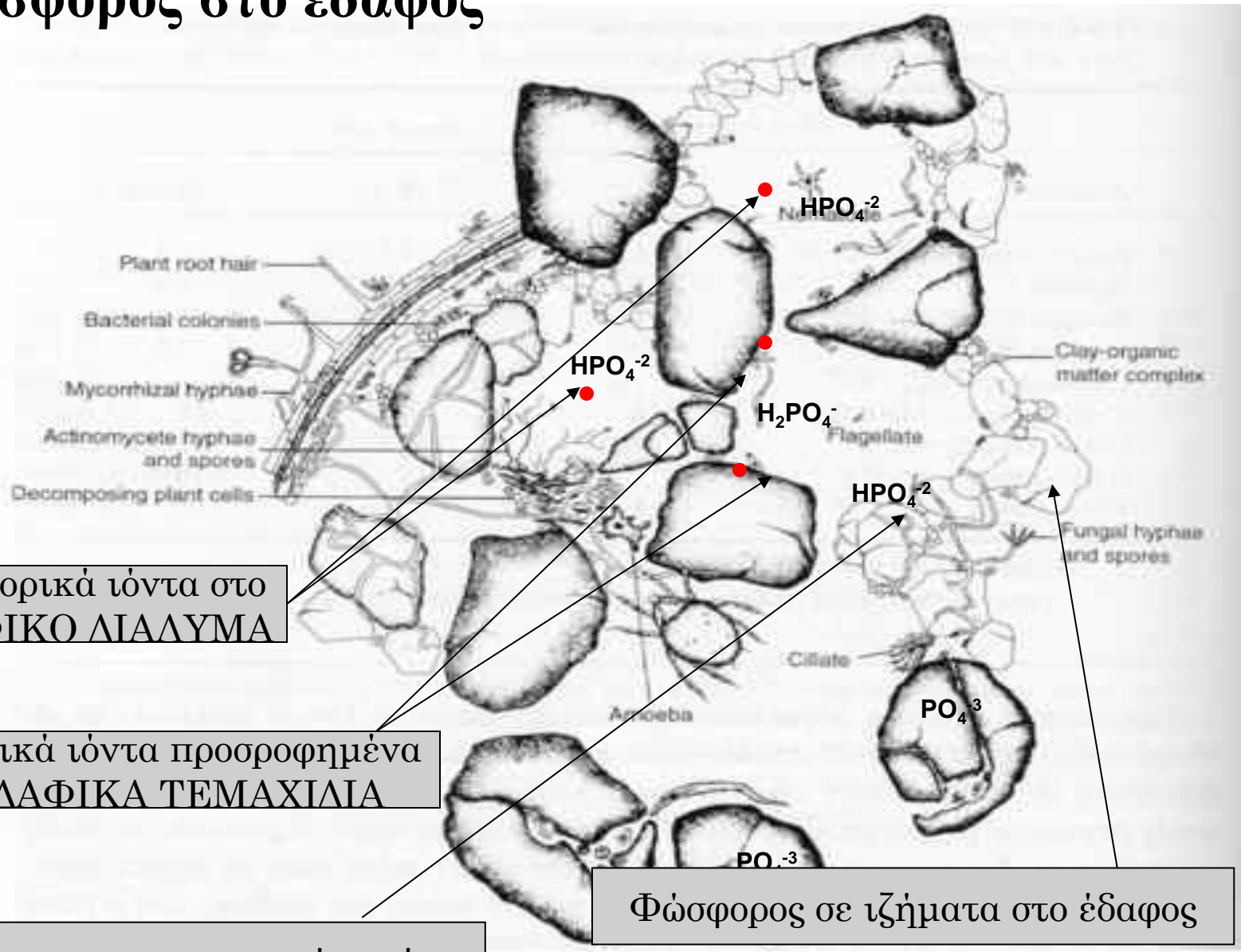
1. ΑΝΟΡΓΑΝΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4^-) ή πολυφωσφορικά.



2. ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ

- (1) τα φωσφορικά, ή φωσφορικοί εστέρες, μια ένωσης παρόμοιας με σάκχαρο, της ινοσιτόλης $\{\text{C}_6\text{H}_6(\text{OH})_6\}$,
- (2) νουκλεϊνικά οξέα και
- (3) φωσφορολιπίδια

Ο φώσφορος στο έδαφος



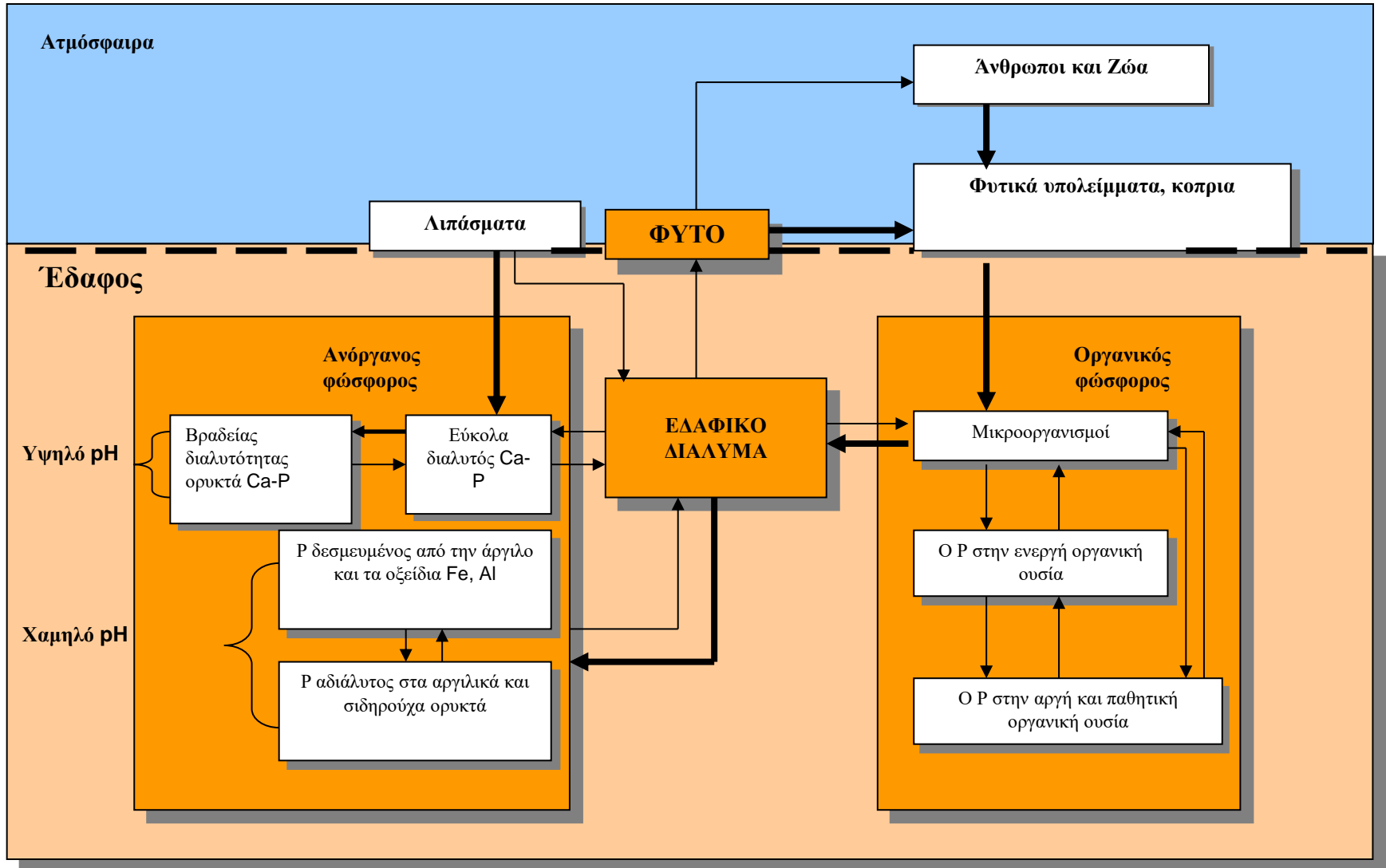
Φωσφορικά ιόντα στο
ΕΛΑΦΙΚΟ ΛΙΑΛΥΜΑ

Φωσφορικά ιόντα προσροφημένα
στα ΕΛΑΦΙΚΑ ΤΕΜΑΧΙΔΙΑ

Φώσφορος στην οργανική ουσία

Φώσφορος σε ιζήματα στο έδαφος

Ο κύκλος του φωσφόρου (P)



Η μορφή και η διαθεσιμότητα του φώσφορου στο έδαφος επηρεάζεται αρνητικά από:

- ✓ Την περιεκτικότητα και το είδος της αργίλου,
- ✓ Τη χαμηλή ή υψηλή τιμή του pH (Διάγραμμα) και
- ✓ Την αυξημένη παρουσία ανθρακικού ασβεστίου
- ✓ Την αυξημένη παρουσία σιδήρου
- ✓ Την ελάττωση της οργανικής ουσίας
- ✓ Το περιορισμένο ριζικό σύστημα των φυτικών ειδών

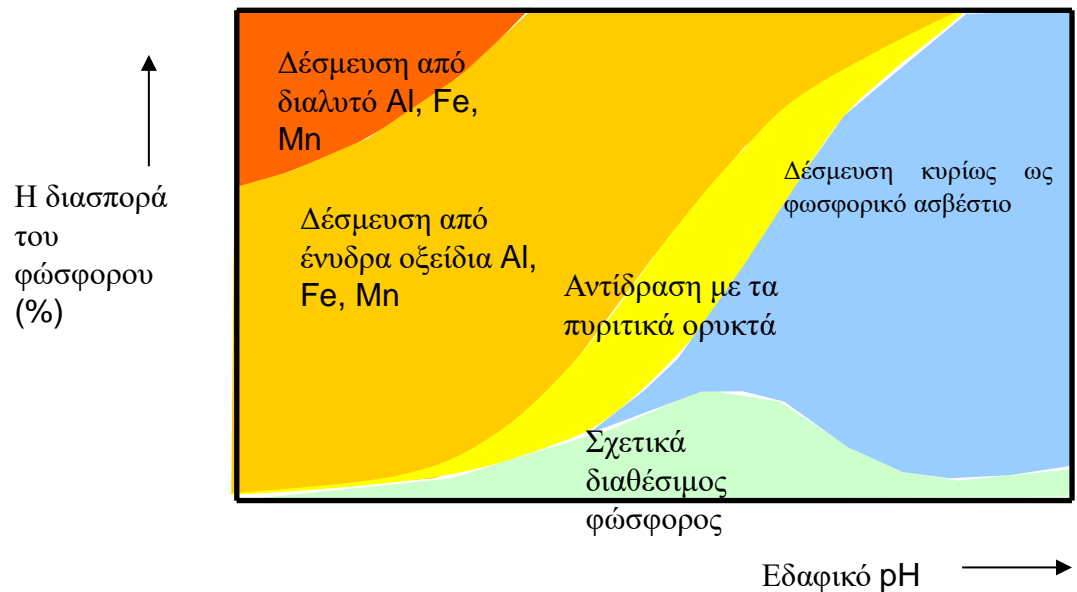
ΠΙΝΑΚΑΣ 14.7 Μέγιστη Ικανότητα Δέσμευσης Φωσφόρου Ορισμένων Εδαφών Διαφορετικής Περιεκτικότητας και Τύπου Αργίλων

Τα οξειδία Fe και Al (ειδικώς οι άμορφες μορφές) δεσμεύουν τις μεγαλύτερες ποσότητες, ενώ οι πυριτικές άργιλοι (ειδικά ο τύπος των 2:1) δεσμεύουν τις μικρότερες.

Μεγάλη εδαφική ομάδα (και εδαφοσειρά, αν είναι γνωστή)	Τοποθεσία	Άργιλος		Μέγιστη δέσμευση P, mg P/kg εδάφους
		%	Τύπος	
Evesboro (Quartzipsamment)	Μέριλαντ	6	Καολινίτης, οξειδία Fe, Al	125
Kandiustalf	Ζιμπάμπουε	20	Καολινίτης, οξειδία Fe	394
Kitsap (Xerept)	Ουάσιγκτον	12	Άργιλοι 2:1, αλλοφανής	453
Matapeake (Hapludult)	Μέριλαντ	15	Χλωρίτης, Καολινίτης, οξειδία Fe	465
Rhodustalf	Ζιμπάμπουε	53	Καολινίτης, οξειδία Fe	737
Newberg (Haploxeroll)	Ουάσιγκτον	38	Άργιλοι 2:1, οξειδία Fe	905
Tropohumults	Καμερούν	46	Οξειδία Fe, Al, Καολινίτης	2060

Το pH είναι σημαντικός παράγοντας που ρυθμίζει την κινητικότητα του φωσφόρου

Το υψηλό pH οδηγεί στην εναλλαγή των προσροφημένων φωσφορικών ιόντων με τα OH^- και HCO_3^- του εδαφικού διαλύματος αυξάνοντας την συγκέντρωσή τους μέσα σε αυτό. Επίσης, η διαλυτότητα του φωσφόρου σε υψηλό pH εξαρτάται από την διαλυτότητα των υπαρχόντων ασβεστούχων φωσφορικών ορυκτών.



Σε χαμηλό pH, προκαλείται κατακρήμνιση του φωσφόρου από τα διαλυτά ιόντα Al^{3+} , Fe^{3+} και Mn^{3+} .

Σχέσεις θρεπτικής διαθεσιμότητας και φυτικής παραγωγής-Κρίσιμη Συγκέντρωση-Ζώνες επάρκειας/ανεπάρκειας/τοξικότητας

- ✓ «Κρίσιμη συγκέντρωση» στον φυτικό ιστό είναι εκείνη η συγκέντρωση κατά από την οποία η ανάπτυξη του φυτού-απόδοση περιορίζεται σημαντική.
- ✓ «Αριστη συγκέντρωση» είναι εκείνη η συγκέντρωση κατά από την οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση.
- ✓ Κάτω από την κρίσιμη συγκέντρωση δημιουργείται μία ζώνη ανεπάρκειας στην οποία η απόδοση μειώνεται σημαντικά
- ✓ Η ζώνη επάρκειας έπεται της κρίσιμης συγκέντρωσης και στην οποία η αύξηση της συγκέντρωσης ενός στοιχείου σχετίζεται με την μέγιστη απόδοση.
- ✓ Περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του θρεπτικού στοιχείου στους φυτικούς ιστούς προκαλεί ελάττωση της απόδοσης πιθανότατα λόγω τοξικότητας από το θρεπτικό στοιχείο γιαυτό και ονομάζεται ζώνη τοξικότητας.

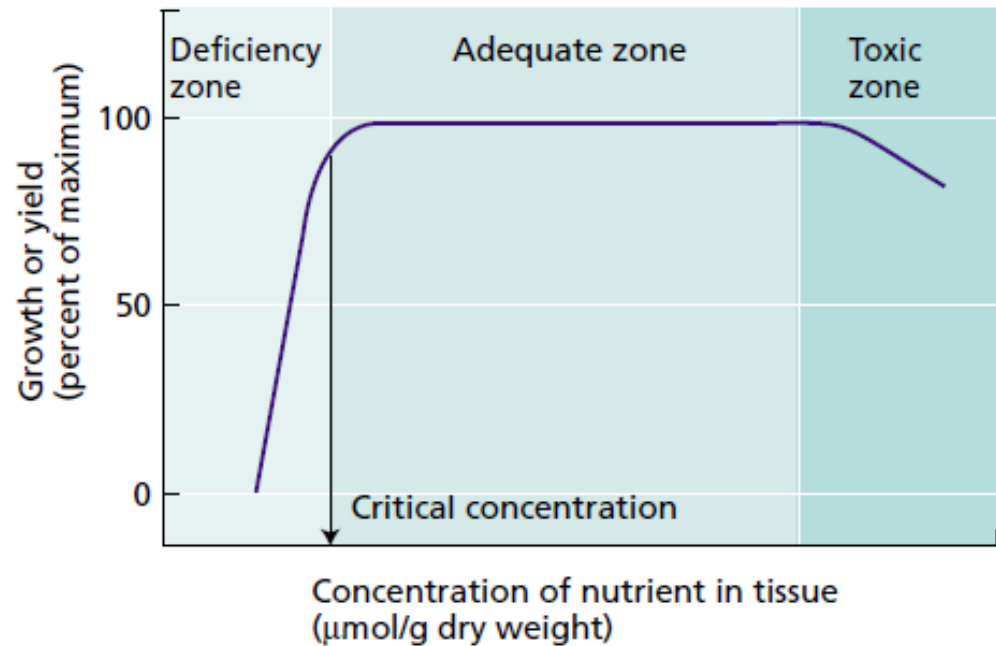


FIGURE 5.3 Relationship between yield (or growth) and the nutrient content of the plant tissue. The yield parameter may be expressed in terms of shoot dry weight or height. Three zones—deficiency, adequate, and toxic—are indicated on the graph. To yield data of this type, plants are grown under conditions in which the concentration of one essential nutrient is varied while all others are in adequate supply. The effect of varying the concentration of this nutrient during plant growth is reflected in the growth or yield. The critical concentration for that nutrient is the concentration below which yield or growth is reduced.

Η τροφοπενία (ανεπάρκεια)
του φωσφόρου στα φυτά

Κατηγορίες συμπτωμάτων τροφοπενιών

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΩΝ ΤΡΟΦΟΠΕΝΙΩΝ

•Συμπτώματα – επιπτώσεις των τροφοπενιών:

- 1) Χλώρωση φύλλων
 - a) καθολική
 - b) μεσονεύρια
- 2) Νέκρωση φύλλων ή τμημάτων του ελάσματος
 - a) κορυφαία ή πλευρική νέκρωση
 - b) μεσονεύρια
- 3) Ανωμαλίες στην ανάπτυξη
 - a) επιβράδυνση ή παύση ανάπτυξης
 - b) ακανόνιστη ή ιδιαίτερη ανάπτυξη φύλλων ή βλαστών
 - c) νέκρωση ακραίου ή/και πλάγιων οφθαλμών
 - d) όψη ροζέτας
 - e) νανισμός, μικροφυλλία, μικροκαρπία
- 4) Μεταχρωματισμοί
 - a) συσσώρευση ανθοκυανινών
 - b) συσσώρευση άλλων χρωστικών (μπρούτζινης ή μελανής απόχρωσης)





Ο ρόλος του P στη θρέψη των φυτών

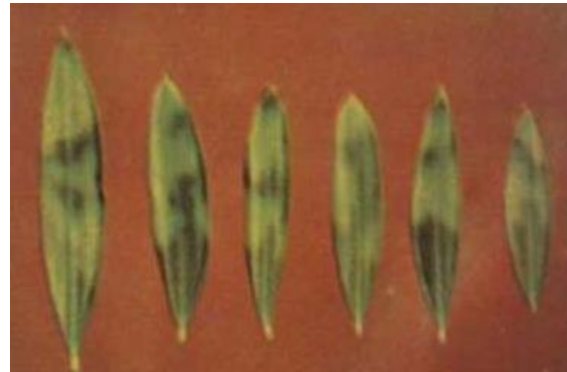
- ✓ Ο P είναι συστατικό φωσφορικών σακχάρων, νουκλεϊκών οξέων, νουκλεοτιδίων, συνενζύμων, φωσφολιπιδίων, φυτικού οξέος κ.λπ.
- ✓ Βασικός ρόλος στις αντιδράσεις που περιλαμβάνουν ATP.
- ✓ Εμπλέκεται στην αναπνοή και φωτοσύνθεση.
- ✓ Ο P ρυθμίζει το pH του κυττάρου, τα αναπαραγωγικά όργανα και την αύξηση της ρίζας.

Συμπτώματα ανεπάρκειας

- ✓ Η ανεπάρκεια P επηρεάζει την ανάπτυξη των νεαρών φυτών και δίνει ένα σκούρο πράσινο χρώμα στα φύλλα, τα οποία ενδέχεται παραμορφωθούν ή να περιέχουν νεκρωτικά σημεία
- ✓ Όπως και στην έλλειψη αζώτου, ορισμένα είδη μπορεί να παράγουν περίσσεια ανθοκυανινών, δίνοντας στα φύλλα έναν ελαφρύ μωβ χρωματισμό.
- ✓ Πρόσθετα συμπτώματα ανεπάρκειας φωσφόρου περιλαμβάνουν την παραγωγή λεπτών (αλλά όχι ξυλώδους υφής) στελεχών και του θάνατος παλαιότερων φύλλων.
- ✓ Η ωρίμανση του φυτού μπορεί επίσης να καθυστερήσει.



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε εσπεριδοειδή,
<https://plantpro.gr/kaliergies/f1120503/469>



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε φύλλα ελιάς,
<https://plantpro.gr/post/626>



https://agritech.tnau.ac.in/horticulture/plant_nutri/guava_phos.html



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε ντομάτα
(Epstein and Bloom 2004)

Συμπτώματα ανεπάρκειας στα φυτά

Πίνακας 4.2. Σύνομη Κλείδα Διάγνωσης Τροφοπενιών (IFA, 1992)

Συμπτώματα	Τροφοπενία
<i>(Α) Έναρξη της προσβολής από τα παλαιότερα (βασικά) φύλλα</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Χλώρωση που ξεκινά από τὰ άκρα των φύλλων • Περιφερειακή νέκρωση φύλλων • Μεσονεύρια χλώρωση (οι νευρώσεις παραμένουν πράσινες) • Σκούρα πράσινα-κυανίζοντα ελάσματα, συχνά με ερυθρωπές νευρώσεις • Μεσονεύριες χλωρωτικές γραμμώσεις, και μετά γκρι/καφέ κηλίδες (σιτηρά) 	<p>N K Mg P Mn</p>
<i>(Β) Έναρξη της προσβολής από τα νεώτερα (κορυφαία) φύλλα (εν μέρει δε και από τα μεσαία)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Λεπτό πλέγμα μεσονεύριας χλώρωσης και μετά νεκρωτικές κηλίδες (δικότυλα) • Διάστικτα κιτρινοπράσινα ελάσματα με πράσινες νευρώσεις • Κιτρινωπά/κίτρινα ομοιόμορφα ελάσματα περιλαμβανομένων των νευρώσεων • Τα πιο νεαρά φύλλα μαραίνονται και νεκρώνονται • Νέκρωση κορυφαίων οφθαλμών σε αναπτυσσόμενους βλαστούς/φύλλα • Πάχυνση/αναστολή ανάπτυξης κορυφαίων οφθαλμών, παραμόρφωση φύλλων 	<p>Mn Fe S Cu Ca B</p>
<i>(Γ) Έναρξη της προσβολής σε νεώτερα και παλαιά φύλλα και όργανα</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Διάχυτη χλώρωση (ψυχανθή), Ωχροκίτρινα ελάσματα με κηλίδες (λοιπά είδη) • Ακανόνιστες χλωρωτικές κηλίδες ελασμάτων, βραχυγονάτωση βλαστών. 	<p>Mo Zn</p>

Συμπτώματα ανεπάρκειας φωσφόρου στα κηπευτικά

- Φύλλα και τα στελέχη με κόκκινη προς βυσσινή απόχρωση. Αυτό φαίνεται καλύτερα από την κάτω πλευρά των φύλλων.
- Αν η περίοδος των μη ευνοϊκών συνθηκών επιμηκυνθεί, τα φυτά γίνονται κίτρινα και τελικά μπορεί να πεθάνουν.
- Το συνολικό μέγεθος του φυτού και το μέγεθος των φύλλων μειώνονται σημαντικά, τα φύλλα είναι πολύ χλωρωτικά και μαραίνονται, ειδικά τα παλαιότερα.



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε φύλλα φυτού πατάτας, <https://plantpro.gr/post/626>



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε πιπεριά, <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/sweet-pepper/nutrient-deficiencies-pepper/phosphorus-deficiency-pepper/>



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε ντομάτα (Erstein and Bloom 2004)



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε φράουλες
<https://plantpro.gr/kalergies/f1170600/357>

Συμπτώματα ανεπάρκειας φωσφόρου στα κηπευτικά



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε καρότα, <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/carrots/nutrient-deficiencies-carrots/phosphorus-deficiency-carrots/>



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε μπρόκολο, <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/broccoli/nutrient-deficiencies-broccoli/phosphorus-deficiency-broccoli/>

Το συνολικό μέγεθος του καρπού μειώνεται

Η ανάπτυξη των φυτών καθυστερεί με καθυστερημένη κεφαλή ή καθόλου κεφαλή. Τα φύλλα είναι πιο σκούρα πράσινα από το κανονικό, αλλά δεν μπορούν να βρεθούν ξεκάθαρα συμπτώματα. Εάν η ποικιλία περιέχει ανθοκυανίνη, τα φύλλα μπορεί να έχουν μοβ χρώμα.



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε μαρούλι, <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/lettuce/nutrient-deficiencies-lettuce/phosphorus-deficiency-lettuce/>

Τα φυτά παρουσιάζουν κόκκινο αποχρωματισμό στις άκρες των παλαιότερων φύλλων, με μια κιτρινοπράσινη μεταβατική ζώνη. Το μέγεθος των φύλλων δεν επηρεάζεται.

Συμπτώματα ανεπάρκειας φωσφόρου στην άμπελο

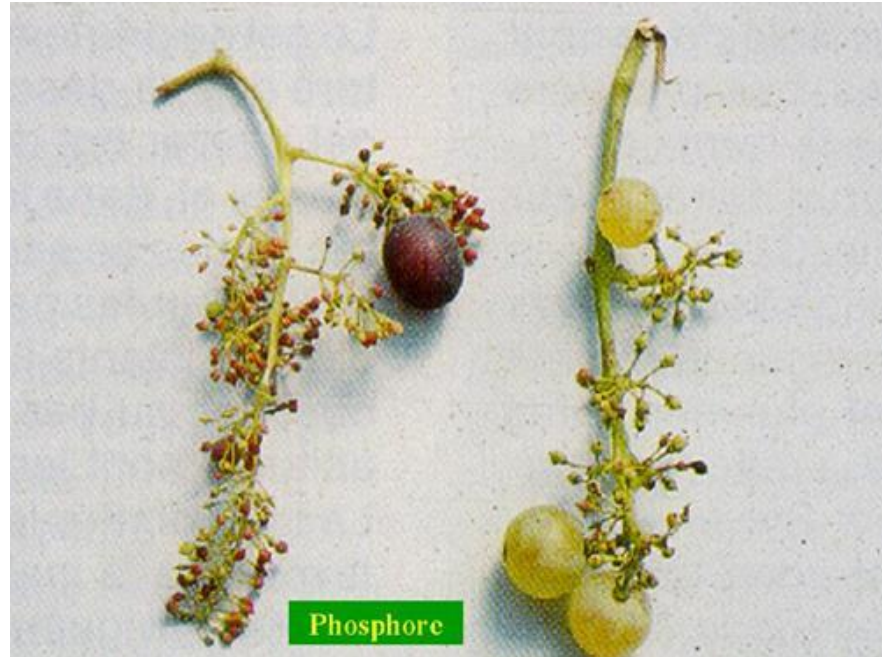


Ανεπάρκεια φωσφόρου σε φύλλα αμπελιού,
<https://plantpro.gr/kaliergies/f1041000/112>

Παραγωγή περίσσειας ανθοκυανινών,
δίνοντας στα φύλλα έναν ελαφρύ μωβ



<https://dracaenawines.com/grapevine-nutrient-deficiencies/>



<https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/grapes/nutrient-deficiencies-grapevines/phosphorus-deficiency-grapevines/>

Η έλλειψη P μειώνει σημαντικά τη γονιμότητα και την καρποφορία, με αποτέλεσμα κακή απόδοση.

Η ανεπάρκεια φωσφόρου παρουσιάζει ένα πολύ ευδιάκριτο σύμπτωμα που εμφανίζεται ως κόκκινες κουκκίδες κατά μήκος των βασικών φύλλων. Με την πάροδο του χρόνου οι κουκκίδες ευθυγραμμίζονται σε ορθή γωνία μεταξύ τους και σχηματίζουν σκούρες κόκκινες ράβδους μεταξύ των νεύρων. Τα φύλλα μπορεί τελικά να γίνουν σκληρά και δύσκαμπτα.

Συμπτώματα ανεπάρκειας φωσφόρου στα ψυχανθή και αγρωστώδη



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε φυτό σόγιας,
<https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/soybean/nutrient-deficiencies-soybean/phosphorus-deficiency-soybean/>

Τα φύλλα έχουν συνήθως μια σκούρα πράσινη έως μπλε απόχρωση. Η φωτογραφία που εμφανίζεται δείχνει κίτρινη χλώρωση. Λόγω της επίδρασης που έχει η ανεπάρκεια P στην επιβράδυνση της συνολικής ανάπτυξης, μερικές φορές παρατηρούνται εντυπωσιακά συμπτώματα φυλλώματος που αποτελούν ένδειξη ανεπάρκειας σε ορισμένα άλλα θρεπτικά συστατικά, για παράδειγμα N και K.



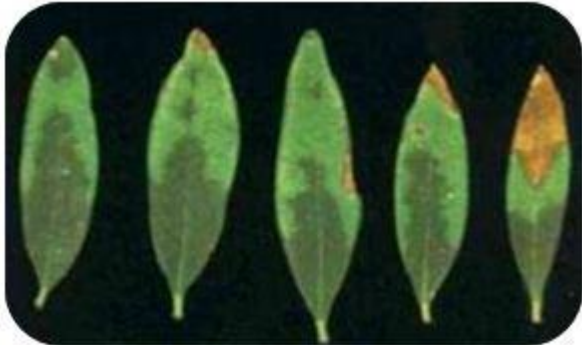
Ανεπάρκεια φωσφόρου σε φύλλα Καλαμποκιού,
<https://plantpro.gr/kaliergies/f1019999/778>



Ανεπάρκεια φωσφόρου σεφ φυτά κριθαριού
<https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/barley/nutrient-deficiencies-barley/phosphorus-deficiency-barley/>

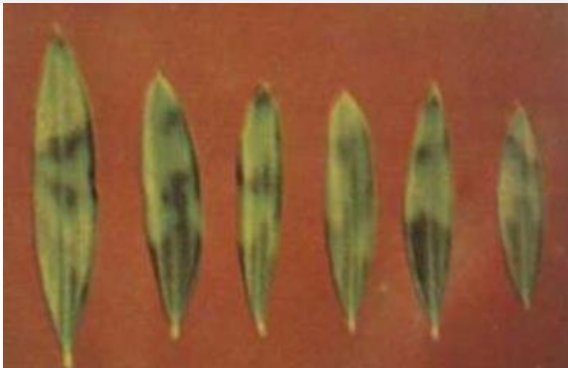
Τα νεαρά φυτά είναι μικρά και λεπτά με σκούρα πράσινα φύλλα. Τα περιθώρια των φύλλων, τα νεύρα και οι μίσχοι εμφανίζουν μοβ αποχρώσεις που μπορεί να εξαπλωθούν σε ολόκληρη τη λεπίδα του φύλλου. Τα παλαιότερα φύλλα των νεαρών φυτών προσβάλλονται πρώτα. Ο κοκκινωπός αποχρωματισμός είναι συνήθως ορατός μόνο στο νεανικό στάδιο.

Συμπτώματα ανεπάρκειας φωσφόρου στα δένδρα



Στην ελιά, ορισμένα συμπτώματα τροφοπενίας P είναι παρόμοια με αυτά της τροφοπενίας αζώτου, όπως μικρό μέγεθος φύλλου, αλλά χωρίς: παραμόρφωση φύλλων, κόκκινα φύλλα, ανοιχτά πράσινα άκρα φύλλου ή σκούρο πράσινο χρώμα

<https://www.haifa-group.com/el/%C2%A0οδηγός-καλλιέργειας-θρέψη-των-ελαιόδεντρων>



Ανεπάρκεια φωσφόρου σε φύλλα ελιάς,
<https://plantpro.gr/post/626>



Σοβαρή ανεπάρκεια
φωσφόρου σε ελιά

Ανεπάρκεια φωσφόρου στα μήλα,
<https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/apples/nutrient-deficiencies-apples/phosphorus-deficiency-apples/>

Στα μήλα, οι χαμηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου στα φρούτα παράγουν "διάσπαση χαμηλής θερμοκρασίας", που φαίνεται από καφέ και μαλακές περιοχές εντός της σάρκας στην αποθήκη. Μόνο σε προχωρημένο στάδιο η ζημιά είναι ορατή από έξω. Οι καρποί είναι κολοκυθείς και εμφανίζουν καφέ περιοχές στην επιφάνεια.



Προσαρμογή των φυτών στην έλλειψη φωσφόρου

- ✓ Τα ανώτερα φυτά έχουν προσαρμόσει έναν αριθμό μηχανισμών για να ζουν με χαμηλό διαθέσιμο P στο έδαφος, όπως αλλαγές στη μορφολογία και την αρχιτεκτονική των ριζών, μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης, βελτιωμένη πρόσληψη και αποτελεσματικότητα χρήσης P και εξίδρωμα οργανικών οξέων και ενζύμων για τη διαλυτοποίηση εξωτερικών ανόργανων και οργανικών ενώσεων P στη ριζόσφαιρα.
- ✓ Τα φυτικά είδη και ακόμη και οι ποικιλίες διαφέρουν ευρέως ως προς την απόδοση του P λόγω των διαφορών σε έναν ή περισσότερους από αυτούς τους μηχανισμούς.
- ✓ Η εκμετάλλευση αυτών των γενετικών παραλλαγών μεταξύ των καλλιεργούμενων φυτών μπορεί να διατηρήσει τη γεωργική παραγωγή.
- ✓ Η κατανόηση του μηχανισμού που εμπλέκεται στην ανίχνευση της ανεπάρκειας P θα μπορούσε να διευκολύνει προσεγγίσεις επιλογής, αναπαραγωγής και γενετικής μηχανικής για τη βελτίωση της παραγωγής καλλιεργειών σε περιβάλλοντα υπό πίεση P και θα μπορούσε να μειώσει την εξάρτηση από μη ανανεώσιμους ανόργανους πόρους P.

Ο προσδιορισμός του
φωσφόρου στους φυτικούς
ιστούς

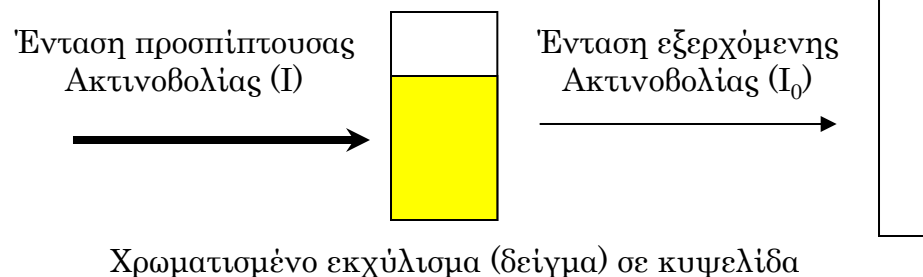
Φασματοφωτομετρία

Η μέθοδος στηρίζεται στην ιδιότητα χρωματισμένων ουσιών να απορροφούν ακτινοβολία ορισμένου μήκους κύματος. Η ένταση της απορρόφησης είναι συνάρτηση της έντασης του χρώματος άρα και της συγκέντρωσης του στοιχείου ή της ένωσης που έδωσε το χρώμα. Οι παραπάνω αλληλεπιδράσεις περιγράφονται από τον νόμο των Lambert-Beer:

$$\log I/I_0 = ebC = A$$

Όπου:

- (I) Ένταση προσπίπτουσας Ακτινοβολίας
- (I_0) Ένταση εξερχόμενης Ακτινοβολίας
- (e) Μοριακός συντελεστής απορρόφησης
- (b) Μήκος διανυθείσας διαδρομής
- (C) Συγκέντρωση διαλύματος
- (A) Απορρόφηση



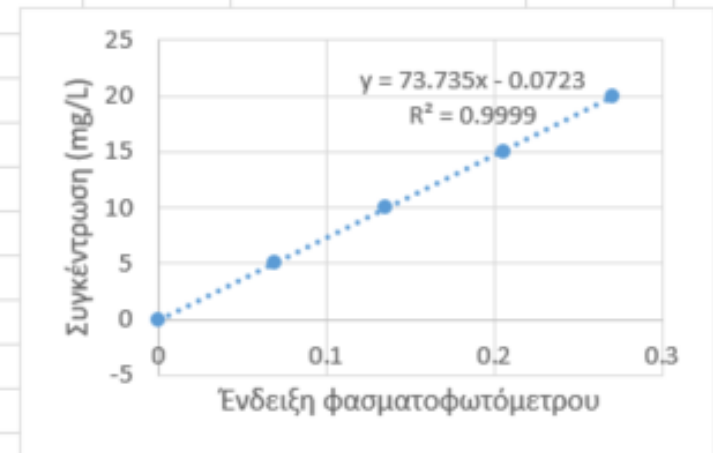
Ο νόμος των Lambert-Beer ισχύει υπό τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Η απορρόφηση είναι ο μόνος μηχανισμός αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της διαλυμένης ουσίας.
- Η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι μονοχρωματική.
- Η διατομή του όγκου του διαλύματος είναι ομοιόμορφη.
- Τα απορροφούντα μόρια της ουσίας δρουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Βαθμολόγηση του φασματοφωτόμετρου

- Η βαθμολόγηση (κατασκευή της συνάρτησης) γίνεται για να βρεθεί η σχέση της ένδειξης του οργάνου με την συγκέντρωση σε P. Γίνεται συγχρόνως με την ανάλυση και για να γίνει χρησιμοποιούνται πρότυπα διαλύματος γνωστής συγκέντρωσης σε P.
- **Μετά την βαθμονόμηση** γίνεται η μέτρηση του δείγματος και λαμβάνουμε την ένδειξη του οργάνου. Με βάση τη κατασκευασμένη συνάρτηση αντιστοιχούμε την ένδειξη του οργάνου σε συγκέντρωση P στο δείγμα.

Ένδειξη	Συγκέντρωση (mg/L)
0	0
0.07	5
0.136	10
0.206	15
0.271	20



Μέθοδος Βαναδομολυβδαινικού Αμμωνίου-Αρχή μεθόδου-Αντιδραστήρια

Αρχή της μεθόδου.

Βαναδικές, μολυβδαινικές και ορθοφωσφορικές ενώσεις αντιδρούν μεταξύ τους σε όξινο περιβάλλον και δίνουν ένα σύμπλοκο με κίτρινο χρώμα. Η ένταση του χρώματος είναι πρακτικά ανάλογη με την περιεκτικότητα του P στο διάλυμα μέσα όμως σ' ορισμένα όρια.

Αντιδραστήρια

Βαναδομολυβδαινικό αμμώνιο.

- 22,5 g μολυβδαινικού αμμωνίου διαλύονται σε 400 ml νερό.
- 1,25 g βαναδικού αμμωνίου διαλύονται σε 300 ml νερό που βράζει.
- Προστίθενται 250 ml πυκνό νιτρικό οξύ.

Διάλυμα P 50 ppm.

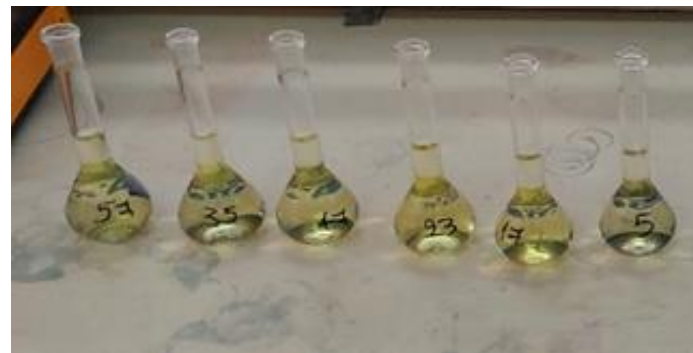
- Παρασκευάζεται διαλύοντας 0,2195 g δισόξινο φωσφορικό κάλι (KH_2PO_4) σε ένα λίτρο νερό.
- Με αραιώσεις προκύπτουν τα διαλύματα 0-5-10-15-20 ppm P (standards).

Μέθοδος Βαναδομολυβδαινικού Αμμωνίου-Αρχή μεθόδου-Διαδικασία

- Προσθήκη 10 ml stock διαλύματος (διάλυμα στο οποίο περιέχονται τα θρεπτικά στοιχεία)
- Προσθήκη 10 ml διαλύματος βαναδομολυβδαινικού αμμώνιου
- Συμπληρώνουμε με νερό έως τα 50 ml
- Κατασκευάζουμε τα πρότυπα διαλύματα 0-5-10-15-20 ppm P
 - ✓ (προσθήκη 0, 5, 10, 15, και 20 ml από το διάλυμα P 50 ppm,
 - ✓ προσθήκη 10 ml διαλύματος βαναδομολυβδαινικού αμμώνιου στο κάθε ένα,
 - ✓ συμπληρώνουμε με νερό έως τα 50 ml σε όλα όπως στο δείγμα
- Αφήνουμε 30 όλα τα διαλύματα σε θερμοκρασία δωματίου για την ανάπτυξη του κίτρινου χρώματος.



Απεικόνιση standards (0,5,10,15,20)

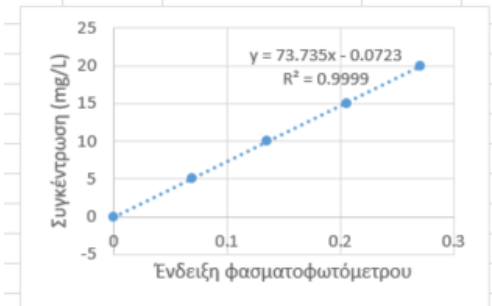


Απεικόνιση δειγμάτων

Πρόβλημα-Υπολογισμοί

- Νωπό βάρος ξηρών φυτικών ιστών: 1,000g
- Υγρασία νωπών φυτικών ιστών 10%
- Stock διάλυμα που προήλθε από την καύση αλεσμένων φυτικών ιστών: 100 ml.
- Φιαλίδιο που χρησιμοποιήθηκε: 50 ml.
- Η απορρόφηση του διαλύματος μετρήθηκε 0.15
- Ζητείται η % περιεκτικότητα επί ξηρού φυτικού ιστού.σε P

Ένδειξη	Συγκέντρωση (mg/L)
0	0
0.07	5
0.136	10
0.206	15
0.271	20



Λύση

Με βάση την καμπύλη από τα πρότυπα διαλύματα προέκυψε ότι η συγκέντρωση P του διαλύματος που περιέχει τα 10 ml από το stock διάλυμα είναι **11 mg/L P**

Δηλαδή:

Τα 1000 ml διαλύματος που μετρήθηκε περιέχουν 11,0 mg P.

Τα 50 ml που είναι το φιαλίδιο περιέχουν $X=?$ “ “

$$X=50 \times 11 / 1000 = 0,55 \text{ mg P.}$$

Άρα τα 10 ml του stock διαλύματος περιέχουν 0,55 mg P

Τα 100 ml “ “ “ X “ “

$$0,55 \times 100 / 10 = 5,5 \text{ mg P.}$$

Τα 1,000 g ή 1000 mg νωπών φυτικών ιστών ή $(1000 \times 0,10) = 900$ mg ξηρών φυτικών ιστών περιέχουν 5,5 mg P

Τα 100 mg φυτικών ιστών περιέχουν X; mg P

$$X = 5,5 \times 100 / 900 = 0,61 \text{ mg P}$$

Δηλαδή η επί τοις εκατό περιεκτικότητα του φωσφόρου στον ξηρό φυτικό ιστό είναι 0,61 %

Αξιολόγηση αποτελέσματος: Παράδειγμα ανάλυσης σε φύλλα ελιάς

ΠΙΝΑΚΑΣ

Αποτελεσμάτων Ανάλυσης Δείγματος Φύλλων.
Ελιά (Χειμώνας) 25 ετών

	Μακροστοιχεία %										
	Ολικό N		P		K		Ca		Mg		S
Τιμές Επάρκειας:	1.60	2.00	0.09	0.12	0.70	1.00	1.00	2.50	0.10	0.30	
Αποτέλεσμα:	1.554		0.41		0.77		2.12		0.24		
Χαρακτηρισμός:	MA		Y		E		E		E		

	Ιχνοστοιχεία ppm										
	B		Mn		Zn		Fe		Cu		Mo
Τιμές Επάρκειας:	20	50	50	150	10	30	50	150	5.00	20.00	
Αποτέλεσμα:	18.57		46.35		10.87		128.80		6.8		
Χαρακτηρισμός:	MA		MA		ME		E		E		

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΡΕΠΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ: **A:** Ανεπάρκεια, **MA:** Μερική Ανεπάρκεια, **ME:** Μερική Επάρκεια, **E:** Επάρκεια, **Y:** Υπερεπάρκεια



Σας ευχαριστώ για την
προσοχή σας