

# Εργαστήριο ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ- ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ

Εαρινό Εξάμηνο

## ΤΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ



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.

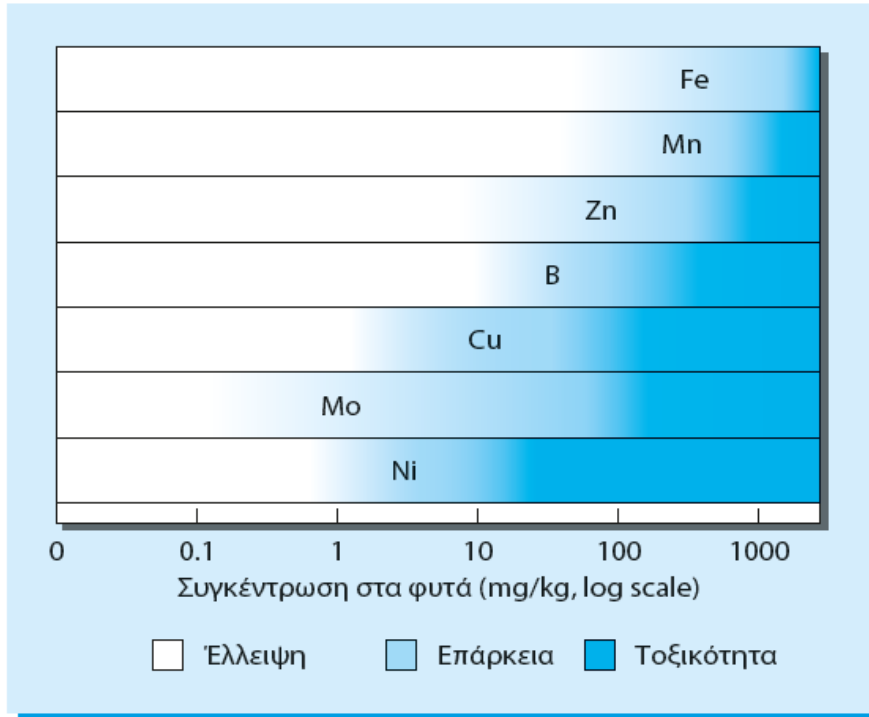
## ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Στοιχεία που είναι Απαραίτητα για την Ανάπτυξη των Φυτών και οι Πηγές τους<sup>α</sup>

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 <sub>2</sub> )                                                          | Κατιόντα:                                                                                               | Κατιόντα:                                                                             |
| Υδρογόνο (H <sub>2</sub> O)                                                          | Ασβέστιο (Ca <sup>2+</sup> )                                                                            | Χαλκός (Cu <sup>2+</sup> )                                                            |
| Οξυγόνο (O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)                                          | Μαγνήσιο (Mg <sup>2+</sup> )                                                                            | *Κοβάλτιο (Co <sup>2+</sup> ) <sup>β</sup>                                            |
|                                                                                      | Άζωτο (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )                                                                   | Σίδηρος (Fe <sup>2+</sup> )                                                           |
|                                                                                      | Κάλιο (K <sup>+</sup> )                                                                                 | Μαγγάνιο (Mn <sup>2+</sup> )                                                          |
|                                                                                      | Ανιόντα:                                                                                                | Νικέλιο (Ni <sup>2+</sup> )                                                           |
|                                                                                      | Άζωτο (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )                                                                   | *Νάτριο (Na <sup>+</sup> ) <sup>β</sup>                                               |
|                                                                                      | Φώσφορος (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )                | Ψευδάργυρος (Zn <sup>2+</sup> )                                                       |
|                                                                                      | Θείο (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )                                                                   | Ανιόντα:                                                                              |
|                                                                                      | *Πυρίτιο (H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> , H <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) <sup>β</sup> | Βόριο (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , H <sub>4</sub> BO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) |
|                                                                                      |                                                                                                         | Χλώριο (Cl <sup>-</sup> )                                                             |
|                                                                                      |                                                                                                         | Μολυβδαίνιο (MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )                                         |

Τα ιχνοστοιχεία

# Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα φυτά



**ΕΙΚΟΝΑ 15.8** Εύρος συγκεντρώσεως επτά μικροθρεπτικών στα φυτά για τις περιοχές έλλειψης, επάρκειας και τοξικότητας. Σημειώστε ότι η κλίμακα συγκεντρώσεως είναι λογαριθμική και ότι το επίπεδο επάρκειας του μαγγανίου είναι περίπου 10.000 φορές υψηλότερο από του μολυβδαίνιου και του νικελίου. Στη χρήση αυτού του σχήματος, να έχετε υπόψη τις σημαντικές διαφορές στην ικανότητα των διαφορετικών φυτικών ειδών και ποικιλιών να συσσωρεύουν και ανέχονται διαφορετικά επίπεδα μικροθρεπτικών στοιχείων. (Βασισμένο σε δεδομένα από πολλές πηγές)

# Ο ρόλος των ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ στα φυτά

## ΠΙΝΑΚΑΣ 15.4 Οι λειτουργίες μερικών μικροθρεπτικών στοιχείων στα ανώτερα φυτά

| <i>Μικροθρεπτικά</i> | <i>Οι λειτουργίες των μικροθρεπτικών στα ανώτερα φυτά</i>                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ψευδάργυρος          | Λαμβάνει μέρος σε αρκετά ένζυμα, όπως αφυδρογονάσες, πρωτεΐνάσες και πεπτιδάσες, διεγείρει τις αυξητικές ορμόνες και το σχηματισμό αμύλου, ευνοεί την ωρίμανση των σπόρων και την αύξηση της παραγωγή.                                                                                                        |
| Σίδηρος              | Υπάρχει σε αρκετά ένζυμα, όπως υπεροξειδάσες, καταλάσες, και στην οξειδάση του κυτοχρώματος, βρίσκεται στην φερρεδοξίνη, που συμμετέχει στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (π.χ., στην αναγωγή των $\text{NO}_3^-$ και $\text{SO}_4^-$ και στην δέσμευση του N), σημαντικό ιόν στο σχηματισμό της χλωροφύλλης. |
| Χαλκός               | Υπάρχει στη laccase και σε πολλά άλλα οξειδωτικά ένζυμα, σημαντικό ιόν στη φωτοσύνθεση, στο μεταβολισμό των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων, και πιθανόν στη δέσμευση του αζώτου.                                                                                                                              |
| Μαγγάνιο             | Ενεργοποιεί τα ένζυμα, αποκαρβοξυλάση, αφυδρογονάση, και οξειδάση. Σημαντικό ιόν στη φωτοσύνθεση, στο μεταβολισμό και στην αφομοίωση του αζώτου.                                                                                                                                                              |
| Νικέλιο              | Απαραίτητο στην ουρεάση, υδρογενάση και στη μεθυλο-αναγωγή, χρειάζεται για την πλήρωση των κόκκων, την βιωσιμότητα των σπόρων, την πρόσληψη του σιδήρου και στο μεταβολισμό της ουρίας και των ουρειδικών ενώσεων (για την αποφυγή τοξικών συγκεντρώσεων αυτών προϊόντων στα ψυχανθή).                        |
| Βόριο                | Ενεργοποιεί ορισμένα ένζυμα αφυδρογονασών, διευκολύνει την μεταφορά-εναπόθεση των σακχάρων και την σύνθεση των νουκλεϊκών οξέων και φυτικών ορμονών, απαραίτητο για την κυτταρική διαίρεση και ανάπτυξη                                                                                                       |
| Μολυβδαίνιο          | Ευρίσκεται στα ένζυμα, νιτρογενάση (δέσμευση του αζώτου) και νιτρική αναγωγή, απαραίτητο για τη δέσμευση και την αφομοίωση του αζώτου.                                                                                                                                                                        |
| Κοβάλτιο             | Απαραίτητο για δέσμευση του αζώτου, βρίσκεται στη βιταμίνη $\text{B}_{12}$ .                                                                                                                                                                                                                                  |
| Χλώριο               | Απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση και ενεργοποίηση ενζύμων. Παίζει ρόλο στη ρύθμιση της πρόσληψης νερού σε αλατούχα εδάφη.                                                                                                                                                                                        |

# Συμπτώματα ανεπάρκειας ιχνοστοιχείων στα φυτά

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15.6** Συμπτώματα που συνδέονται με έλλειψη ή τοξικότητα μικροθρεπτικών στα φυτά

| Μικρο-θρεπτικό | Συμπτώματα έλλειψης                                                                                                                                                                                                                                          | Συμπτώματα τοξικότητας                                                                                                                                                     |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fe             | Νεαρά φύλλα με μεσονεύρια χλώρωση, με διακριτά πράσινα νεύρα. Σε έντονη έλλειψη, ολόκληρο το φύλλο είναι άσπρο ή κίτρινο. Οι ρίζες αναπτύσσουν άφθονα ριζικά τριχίδια παίρνοντας τη μορφή βούρτσας.                                                          | Ερυθρωπός ή μαύρος χρωματισμός των άκρων των φύλλων, ρίζες μαύρες και μαλακίες. Τα συμπτώματα εμφανίζονται κυρίως σε εδάφη που νεροκρατούν.                                |
| Mn             | Νεαρά φύλλα με μεσονεύρια κιτρινίσματα, με τα νεύρα και τον ιστό κοντά στα νεύρα να παραμένουν πράσινα. Νεκροί ιστοί σε μεταγενέστερα στάδια. Όχι πλευρικές ρίζες                                                                                            | Σκούρα πράσινα φύλλα με κόκκινες κηλίδες νωρίς, αργότερα μεσονεύριος ιστός με ερυθρωπώ/ κίτρινο χρώμα. Κηλιδωτός πράσινος χρωματισμός. Μπορεί να προκληθεί έλλειψη σιδήρου |
| Zn             | Συνήθως μεσονεύριο κιτρίνισμα των νεαρών ώριμων ή παλιών φύλλων ανάλογα με το φυτό, εμφάνιση ροζετών και μικροσκοπικά φύλλα. Εμφάνιση ευρείας άσπρης ζώνης και στις δύο πλευρές του φύλλου καλαμποκιού. Σκοτεινά, συρρικνωμένα φύλλα σε χορτοτάπητα γηπέδων. | Φύλλα ανοικτού πράσινου χρωματισμού με νεκρωτικές μεσονεύριες κηλίδες. Κάθυγρες άκρες φύλλων. Αυξημένες πλευρικές ρίζες, πυκνό ριζικό σύστημα.                             |
| Cu             | Νεαρά φύλλα κίτρινα, γυρισμένες ή νεκρές άκρες φύλλων, καχεκτικά φύλλα και φυτά. Μάρανση φύλλων και φυλλόπτωση στα δένδρα.                                                                                                                                   | Καχεκτικά φυτά, φύλλα ανοικτού χρώματος, μπορεί να προκληθεί έλλειψη Fe. Περιφερειακός κόκκινος χρωματισμός φύλλων. Ρίζες κοντές με εμφάνιση συρματοπλέγματος.             |
| Ni             | Χλωρωτικά νέα φύλλα, μικρά φύλλα με το σύμπτωμα "αυτί του ποντικιού" σε δένδρα με πτεροειδή φύλλα, νέκρωση των μεριστωμάτων.                                                                                                                                 | Παραμορφωμένα νεαρά φύλλα, λευκή μεσονεύρια λωρίδα, σκούρα πράσινα νεύρα, ακανόνιστες πλάγιες ραβδώσεις ή λευκές λωρίδες ή καστανές κηλίδες. Καφέ, καχεκτικές ρίζες        |
| Mo             | Μοιάζει με την έλλειψη N στα ψυχανθή, με κηλιδωτό κίτρινο χρωματισμό στα νεαρά λεπτά, στενόμακρα φύλλα του γένους brassicas υπόλευκο χρώμα, νεκρωτικά άκρα φύλλων.                                                                                           | Περιφερειακή ερυθροί χρωματισμοί στα φύλλα, οι ρίζες κανονικές.                                                                                                            |
| B              | Νέκρωση ριζών και αναπτυσσομένων μερών και βλαστών. Κοκκινωπά νεαρά φύλλα. Κακοσχηματισμένοι οφθαλμοί,, νέκρωση των μεσονεύριων ιστών σε σαρκώδη στελέχη, νεκρώσεις σε κονδύλους και σπόρους. Κοντό, θαμνώδες ριζικό σύστημα.                                | Μεσονεύρια χλώρωση, περιφερειακή νέκρωση με διακριτά όρια. Σχετικά κανονική εμφάνιση ρίζας.                                                                                |
| Cl             | Κιτρίνισμα των φύλλων και μείωση του μέγεθους τους. Αργότερα ερυθρωπός χρωματισμός και νέκρωση. Στα σιτηρά επιμήκεις νεκρωτικές κηλίδες.                                                                                                                     | Έγκαυμα (νέκρωση) της άκρης και ης περιφέρειας του φύλλου, μοιάζει με έλλειψη K και εμφανίζεται στα νεώτερα φύλλα. Νέκρωση της άκρης της ρίζας.                            |

Πηγές: Fageria et al. (2002), Baligar et al. (1998), Rashid and Ryan (2004) και άλλοι.

# Πηγές ιχνοστοιχείων-Ανόργανες μορφές

- Μητρικό υλικό, ορυκτά, προσροφημένα, και στο εδαφικό διάλυμα
- Όλα τα μικροθρεπτικά έχουν βρεθεί σε ποικίλες ποσότητες στα πυριγενή πετρώματα. Δύο από αυτά –ο σίδηρος και το μαγγάνιο- είναι σημαντικά δομικά συστατικά των πρωτογενών πυριτικών ορυκτών, όπως ο βιοτίτης και η κερροσίλβη. Άλλα, όπως το κοβάλτιο και ο ψευδάργυρος, μπορεί επίσης να καταλαμβάνουν τις δομικές θέσεις, σε μικρού βαθμού αντικατάσταση των κύριων συστατικών των πυριτικών ορυκτών, συμπεριλαμβανομένου και του αργιλίου.
- Οι ανόργανες μορφές των μικροθρεπτικών μεταβάλλονται κατά την αποσάθρωση τους και κατά τον σχηματισμό του εδάφους. Συνήθως σχηματίζονται οξειδία και, σε ορισμένες περιπτώσεις, θειούχες ενώσεις των στοιχείων όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος (βλ. Πίν.15.7).
- Δευτερογενή πυριτικά ορυκτά, όπως τα ορυκτά της αργίλου, μπορεί να περιέχουν σημαντικές ποσότητες σιδήρου και μαγγανίου και μικρότερες ποσότητες ψευδαργύρου και κοβαλτίου. Τα μελανοκρατικά πετρώματα, ιδίως ο σερπεντίνης, είναι πλούσια σε νικέλιο.
- Τα κατιονικής μορφής μικροθρεπτικά, που ελευθερώνονται κατά την αποσάθρωση, προσροφώνται στα κολλοειδή, ακριβώς όπως τα ιόντα ασβεστίου ή αργιλίου.
- Το χλώριο, το πιο διαλυτό στοιχείο της ομάδας των μικροθρεπτικών, προστίθεται στο έδαφος σε σημαντικές ποσότητες κάθε χρόνο μέσω της βροχής. Η συμπτωματική προσθήκη του στο έδαφος με τα λιπάσματα και με άλλους τρόπους, βοηθά στην πρόληψη της έλλειψης του χλωρίου κάτω από συνθήκες αγρού. Το χλώριο προσροφάται στα κολλοειδή του εδάφους με πολύ ασθενείς δεσμούς και σε μικρές ποσότητες.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 15.7 Κύριες πηγές των μικροθρεπτικών. Εύρος και αντιπροσωπευτικές συγκεντρώσεις τους στο έδαφος, και οι αντιπροσωπευτικές συγκεντρώσεις τους στα προϊόντα συγκομιδής

Ο λόγος των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στο έδαφος προς τις συγκεντρώσεις τους στη βιομάζα της καλλιέργειας, τονίζει αρχικά την ανάγκη να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα των φυτών στην πρόσληψη των θρεπτικών από το έδαφος.

| Στοιχείο | Κύριες πηγές                             | Αντιπροσωπευτικές συγκεντρώσεις σε |                      |                             |                              |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
|          |                                          | Εύρος, kg/ha/ 15 cm                | Έδαφος, kg/ha/ 15 cm | Καλλιέργεια, kg/καλλιέργεια | Λόγος του Έδαφος/Καλλιέργεια |
| Fe       | Οξειδία, θειούχα, πυριτικά               | 20,000-220,000                     | 56,000               | 2                           | 28,000                       |
| Mn       | Οξειδία, πυριτικά, ανθρακικά             | 45-9,000                           | 2200                 | 0.5                         | 4,400                        |
| Zn       | Θειούχα, ανθρακικά, πυριτικά             | 25-700                             | 110                  | 0.3                         | 366                          |
| Cu       | Θειούχα, υδροξυ, ανθρακικά, οξειδία      | 4-2,000                            | 45                   | 0.1                         | 450                          |
| Ni       | Πυριτικά (π.χ. σερπεντίνης), (Fe Ni), Si | 10-2,200                           | 45                   | 0.02                        | 2,250                        |
| B        | Βοριο-πυριτικά, βορικά                   | 8-200                              | 22                   | 0.2                         | 110                          |
| Mo       | Θειούχα, οξειδία, μολυβδαινικά           | 0.4-10                             | 5                    | 0.02                        | 250                          |
| Cl       | Χλωριούχα                                | 15-100                             | 22                   | 2.5                         | 9                            |



# Πηγές ιχνοστοιχείων-Ανόργανες μορφές στο εδαφικό διάλυμα

- Οι κυριότερες μορφές των μικροθρεπτικών που απαντούν στο εδαφικό διάλυμα φαίνονται στο Πίνακα 15.8.
- Αυτές οι ειδικές μορφές, καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το pH και από τον αερισμό του εδάφους (δηλαδή, το οξειδοαναγωγικό δυναμικό).
- Σημειώστε ότι τα κατιόντα υπάρχουν, είτε ως απλά κατιόντα ή ως υδροξυ- κατιόντα μετάλλων. Τα απλά κατιόντα βρίσκονται κυρίως κάτω από εξαιρετικά όξινες συνθήκες, ενώ τα υδροξυ- κατιόντα αρχίζουν να γίνονται αφθονότερα καθώς αυξάνει το pH του εδάφους.
- Το μολυβδαίνιο υπάρχει κυρίως ως  $\text{MoO}_4^{2-}$ , μια ανιονική μορφή που αντιδρά σε χαμηλό pH με τον ίδιο τρόπο όπως εκείνη του φωσφόρου
- Αν και το βόριο μπορεί επίσης να απαντά σε ανιονική μορφή σε υψηλά pH, η έρευνα έδειξε ότι το αδιάστατο βορικό οξύ ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) είναι η μορφή που κυριαρχεί στο εδαφικό διάλυμα και προσλαμβάνεται από τα φυτά

## ΠΙΝΑΚΑΣ 15.8 Κύριες Μορφές μικροθρεπτικών στο εδαφικό διάλυμα

| Μικροθρεπτικά | Κύριες Μορφές στο εδαφικό διάλυμα                                                                |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Σίδηρος       | $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ , $\text{Fe}(\text{OH})_2^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ |
| Μαγγάνιο      | $\text{Mn}^{2+}$                                                                                 |
| Ψευδάργυρος   | $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Zn}(\text{OH})^+$                                                      |
| Χαλκός        | $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Cu}(\text{OH})^+$                                                      |
| Μολυβδαίνιο   | $\text{MoO}_4^{2-}$ , $\text{HMoO}_4^-$                                                          |
| Βόριο         | $\text{H}_3\text{BO}_3$                                                                          |
| Κοβάλτιο      | $\text{Co}^{2+}$                                                                                 |
| Χλώριο        | $\text{Cl}^-$                                                                                    |
| Νικέλιο       | $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Ni}^{3+}$                                                              |

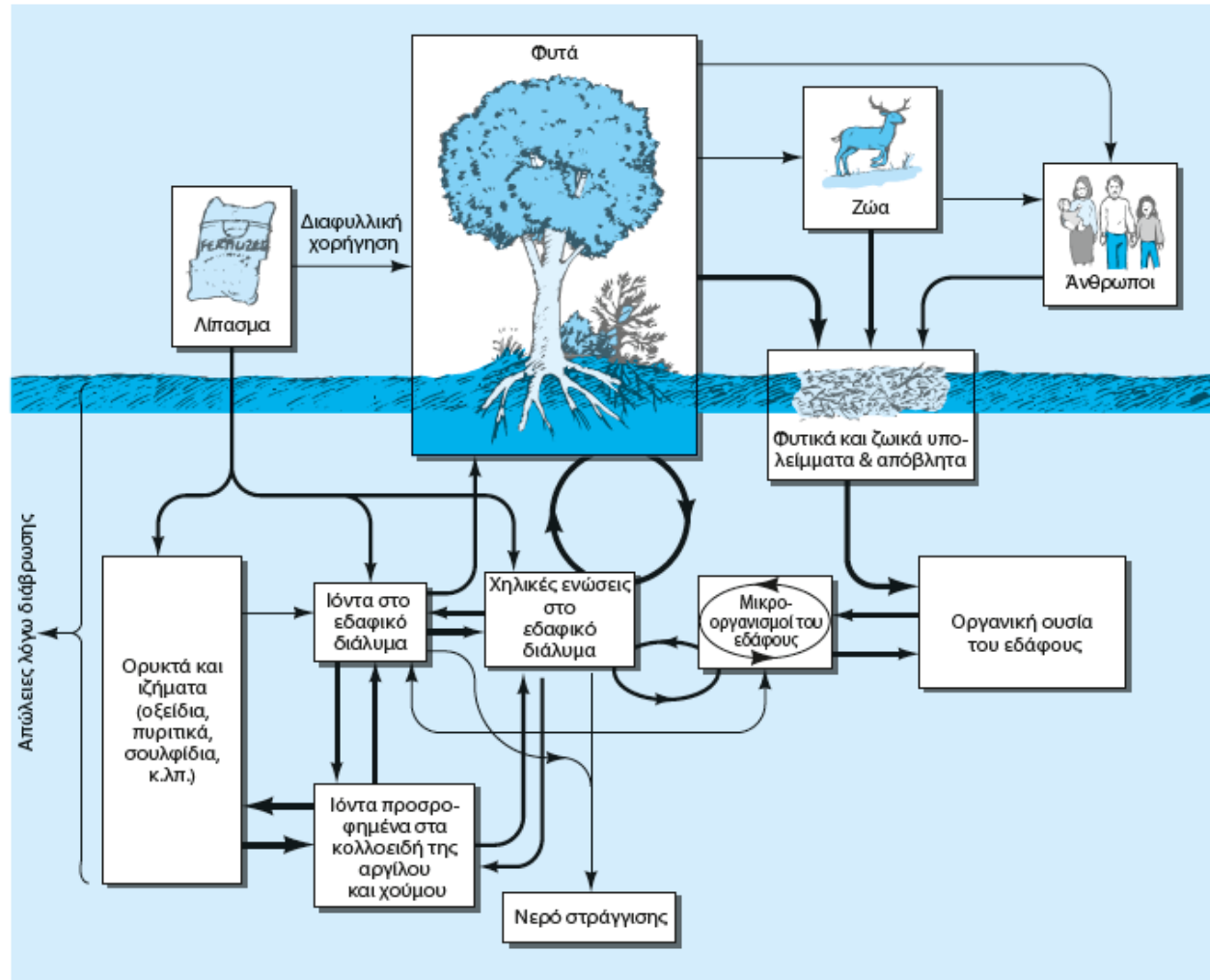
Δεδομένα από Lindsay (1972).



# Πηγές ιχνοστοιχείων-Οργανικές μορφές

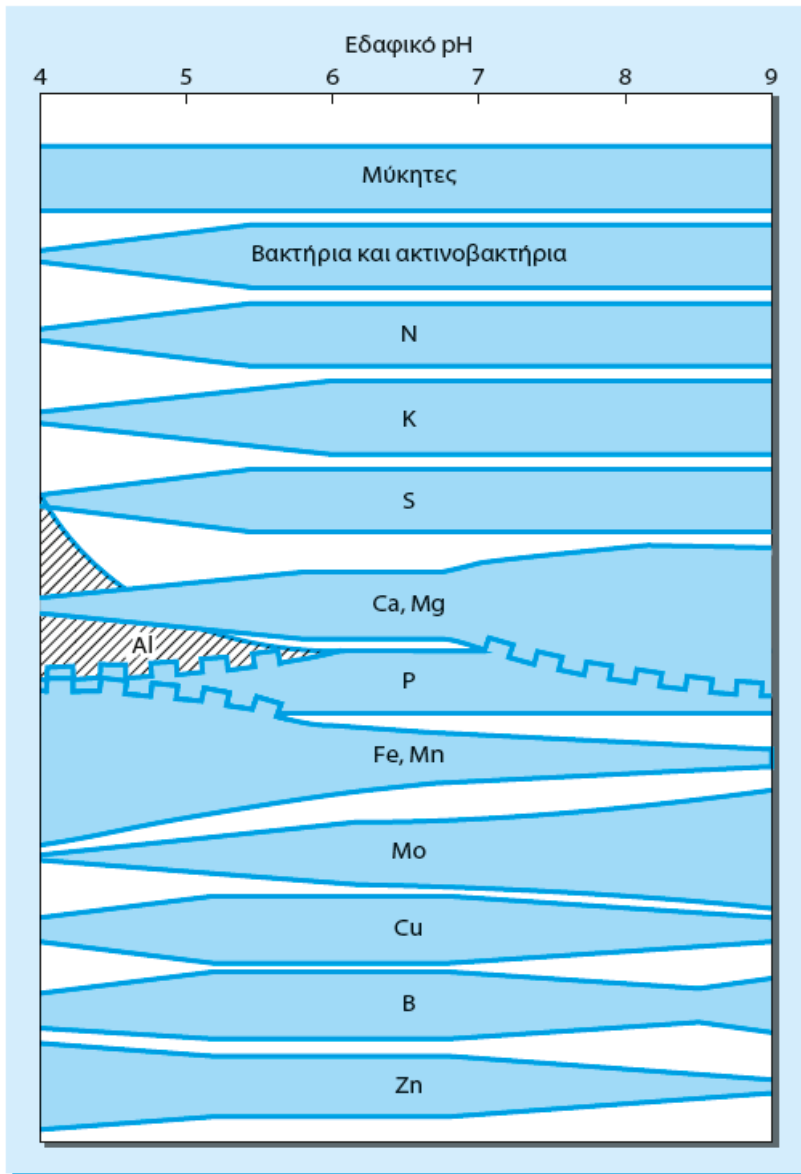
- Η οργανική ουσία είναι η δεύτερη σημαντική πηγή ορισμένων ιχνοστοιχείων.
- Αρκετά από αυτά βρίσκονται σε μορφές συμπλόκων με τα οργανικά κολλοειδή (χούμος).
- Έχει βρεθεί στενή σχέση μεταξύ της οργανικής ουσίας του εδάφους και της περιεκτικότητας σε χαλκό, μολυβδαίνιο και ψευδάργυρο.
- Ελευθερώνονται μέσω της αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας
- Τα ζωικά απόβλητα (κοπριά) είναι μια καλή πηγή μικροθρεπτικών στοιχείων, με το μεγαλύτερο μέρος τους να βρίσκεται σε οργανικές μορφές.

# Ο κύκλος των ιχνοστοιχείων στο έδαφος



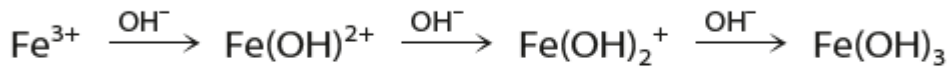
**ΕΙΚΟΝΑ 15.12** Ο κύκλος και οι μετασχηματισμοί των μικροθρεπτικών στο σύστημα έδαφος-φυτό-ζώο. Αν και όλα τα μικροθρεπτικά στοιχεία μπορεί να μην ακολουθούν κάθε ένα από τα μονοπάτια που φαίνονται στον πίνακα, τα περισσότερα όμως εμπλέκονται στις κύριες διεργασίες του κύκλου. Ο σχηματισμός χηλικών ενώσεων, οι οποίες διατηρούν τα περισσότερα από αυτά τα στοιχεία σε διαλυτή μορφή, είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό αυτού του κύκλου. (Διάγραμμα, ευγενική προσφορά του R. Weil).

# Η επίδραση του pH στη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων



**ΕΙΚΟΝΑ 9.22** Σχέσεις σε ανόργανα εδάφη μεταξύ pH και διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων. Επίσης παρουσιάζεται η ενεργότητα ορισμένων μικροοργανισμών. Το εύρος των λωρίδων δείχνει στη σχετική μικροβιακή ενεργότητα ορισμένων μικροοργανισμών ή τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Οι ακανόνιστες γραμμές μεταξύ της λωρίδας του P και του Ca, Al και Fe αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα των μετάλλων αυτών στον περιορισμό της διαθεσιμότητας του P. Όταν οι συσχετίσεις γίνονται στο σύνολο, ένα εύρος pH 5,5 έως ίσως 7,0 φαίνεται να είναι το άριστο στην ενίσχυση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων. Εν κατακλείδι, εάν το εδαφικό pH έχει ρυθμιστεί στην κατάλληλη περιοχή για το φωσφόρο, τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία, εάν βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες, θα είναι διαθέσιμα στις περισσότερες περιπτώσεις.

# Η επίδραση του pH στη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων

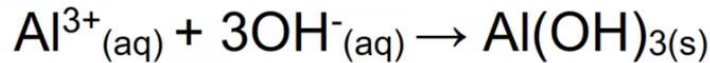


Απλό κατιόν  
(διαλυτό)

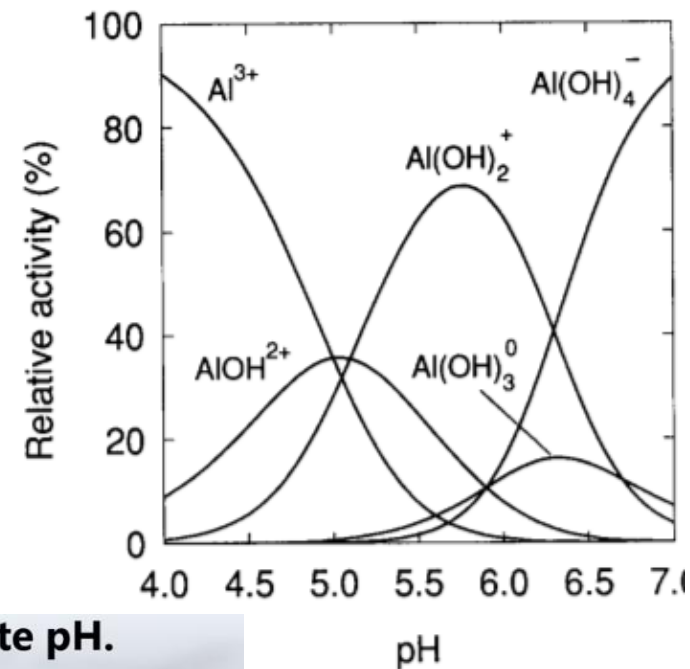
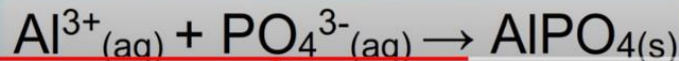
Υδροξυ-κατιόντα μετάλλων  
(διαλυτό)

Υδροξείδιο  
(αδιάλυτο)

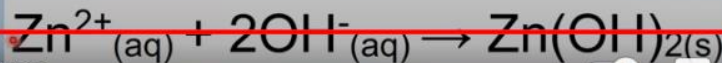
- At high pH, the insoluble hydroxides are produced.
- The  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions are no longer available to plants.



- The  $\text{Al}^{3+}$  ions at low pH also remove  $\text{PO}_4^{3-}$  ions.



- Copper and zinc are only available at intermediate pH.
- These ions are displaced by  $\text{H}^+$  at low pH and form insoluble hydroxide at high pH.



4:12 / 4:19



Τροφοπενία  
Σιδήρου  
Fe

# Η προέλευση του σιδήρου στο έδαφος

## I. Ο σίδηρος προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση σιδηρούχων ορυκτών (μητρικό πέτρωμα):

- Σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά (π.χ. ολιβίνης, πυρόξενι, αμφίβολοι)
- Μαρμαρυγίες (βιοτίτης)
- Σιδηρούχα θειούχα (π.χ. πυρίτης)
- Κατά τη χημική αποσάθρωση:  $\text{Fe}^{2+}$  απελευθερώνεται αρχικά
- Οξειδώνεται σε  $\text{Fe}^{3+}$  υπό αερόβιες συνθήκες
- Κατακρημνίζεται ως οξειδία/υδροξειδία

## II. Δευτερογενής προέλευση (εδαφογενετικές διεργασίες)

- Ανακατανομή μέσα στο προφίλ (illuviation–eluviation)
- Αναγωγή/οξείδωση (redox cycles)
- Σχηματισμός δευτερογενών ορυκτών (goethite, hematite κ.ά.)

## III. Βιολογική συνεισφορά

- Μικροοργανισμοί επηρεάζουν τη μορφή του Fe (ιδίως μέσω αναγωγής  $\text{Fe}^{3+}$ )
- Ριζικά εκκρίματα (π.χ. οργανικά οξέα, φυτοσιδηροφόρα) κινητοποιούν τον Fe

# Οι μορφές σιδήρου στο έδαφος

- Τα ανόργανα εδάφη περιέχουν 20-40 g/kg ολικό σίδηρο.
- Η πρόσληψη από τα καλλιεργούμενα φυτά είναι 0,1-0,2 kg/στρ.
- Απαντάται σε ως  $Fe^{2+}$  και  $Fe^{3+}$  υπό μορφή:
  - ✓ Απλών κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα
  - ✓ Υδροξυ-κατιόντα σιδήρου ( $Fe(OH)^{2+}$ ,  $Fe(OH)^+$ ) (1)  
(Κρυσταλλικά: Αιματίτης ( $Fe_2O_3$ ) Γκαιτίτης ( $FeOOH$ ) ή άμορφα: Ferrihydrite)
  - ✓ Δυσδιάλυτων ένυδρων οξειδίων σιδήρου (π.χ. τρισθενούς σιδήρου  $5 FeO_3 \cdot 9H_2O$  ή άμορφου υδροξειδίου  $Fe(OH)_3$ ) (1)
  - ✓ Δυσδιάλυτος ανθρακικός ή διττανθρακικός σίδηρος
  - ✓ Φωσφορικός σίδηρος
  - ✓ Προσφροφημένος ή ως συστατικό κρυσταλλικού πλέγματος πρωτογενών πυριτικών ορυκτών και διαφορετικών τύπων αργίλου (ιλλίτης, μοντμοριλονίτης, βερμικουλίτης)
  - ✓ Θειούχα ορυκτά ( $FeS_2$ ,  $CuFeS_2$ )
  - ✓ Οργανικά σύμπλοκα -Χηλικές μορφές σιδήρου

Hematita : Óxido de Ferro,  $\alpha - Fe_2O_3$



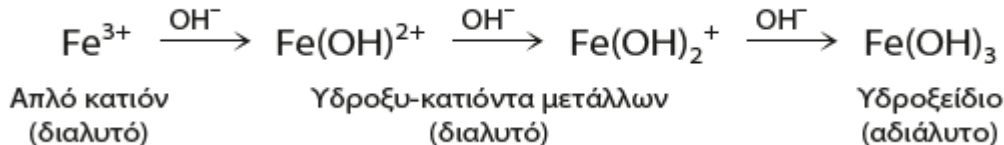
Goethita – Oxidróxido de Ferro,  $\alpha - FeOOH$



Matéria orgânica



<https://www.linkedin.com/pulse/o-que-cor-do-solo-nos-diz-sobre-suas-propriedades-geiss-lorenzoni/>

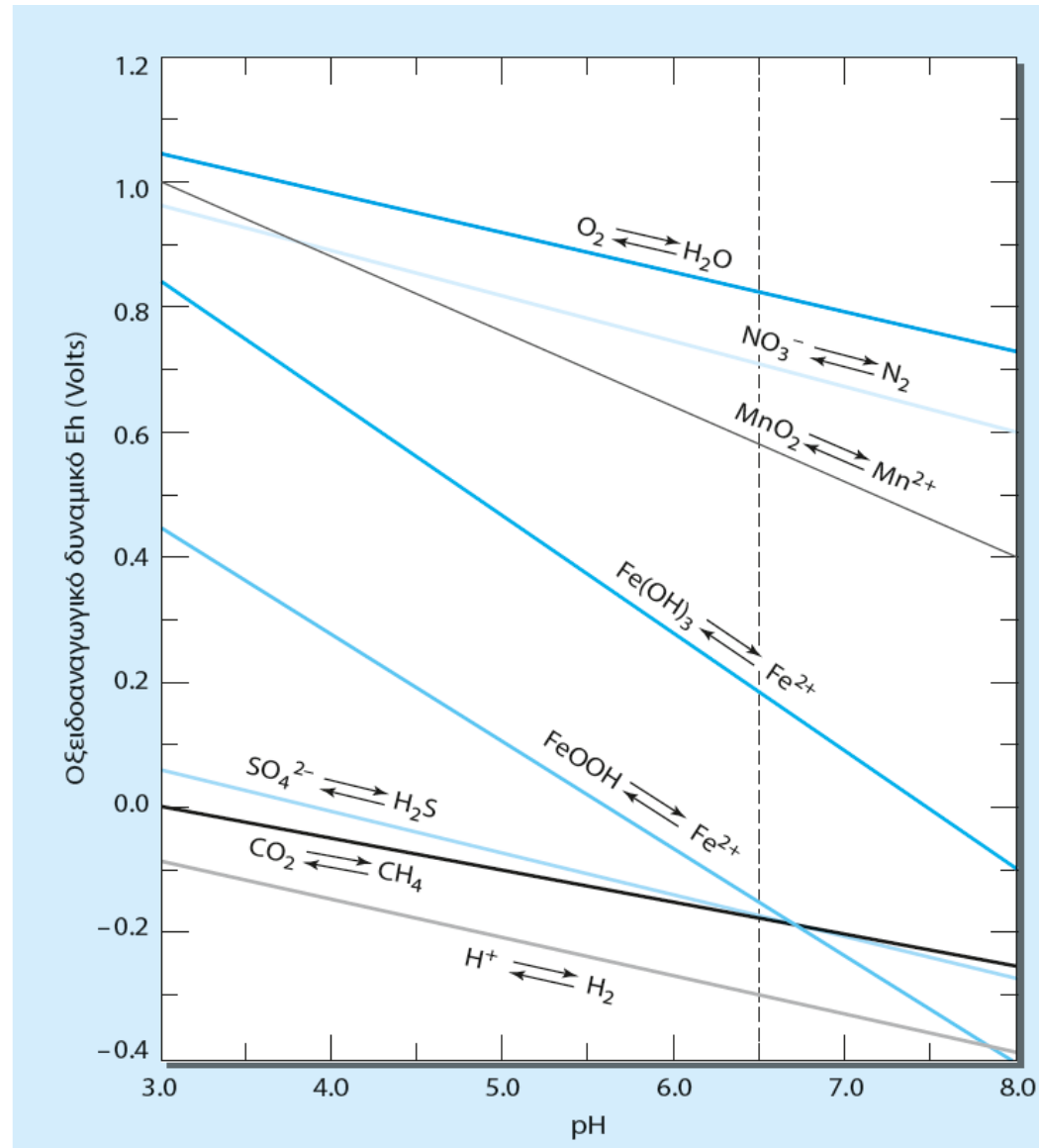


(1)

# Οι παράγοντες ρύθμισης της μορφής και διαθεσιμότητας του σιδήρου στο έδαφος

Η μορφή του σιδήρου στο έδαφος ελέγχεται από:

- pH
- redox δυναμικό
- οργανική ουσία
- η διαθεσιμότητά του είναι αποτέλεσμα ισορροπίας μορφών, όχι ποσότητας



Υπάρχει σε αρκετά ένζυμα, όπως υπεροξειδάσες, καταλάσες, και στην οξειδάση του κυτοχρώματος, βρίσκεται στην φερρεδοξίνη, που συμμετέχει στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (π.χ., στην αναγωγή των  $\text{NO}_3^-$  και  $\text{SO}_4^-$  και στην δέσμευση του N), σημαντικό ιόν στο σχηματισμό της χλωροφύλλης.

## Η τροφοπενία σιδήρου

Νεαρά φύλλα με μεσονεύρια χλώρωση, με διακριτά πράσινα νεύρα. Σε έντονη έλλειψη, ολόκληρο το φύλλο είναι άσπρο ή κίτρινο. Οι ρίζες αναπτύσσουν άφθονα ριζικά τριχίδια παίρνοντας τη μορφή βούρτσας.



[https://www.trifectanatural.com/wp-content/uploads/2020/11/iron\\_deficiency\\_tomatoes.jpg](https://www.trifectanatural.com/wp-content/uploads/2020/11/iron_deficiency_tomatoes.jpg)



<https://iclgrowingsolutions.com/agriculture/categories/iron-deficiency-in-crops/>



<http://www.grassmarket.gr/%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%80%CE%B5%CE%BD%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CE%B9%CE%B4%CE%AE%CF%81%CE%BF%CF%85-%CE%AD%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%88%CE%B7-%CE%B1%CE%B9%CF%84%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%AD%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%BB%CE%B9%CF%80%CE%AC%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CE%B1%CE%BC%CF%80%CE%AD%CE%BB%CE%B9-%CE%B5%CF%83%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B4%CE%BF%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%AE-%CE%B3%CE%B1%CF%81%CE%B4%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CF%83%CE%B8%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82>



<https://iclgrowingsolutions.com/agriculture/categories/iron-deficiency-in-crops/>

- Είναι δυσκίνητο στο φυτό
- Κιτρίνισμα των **νεαρών** φύλλων μεταξύ των νευρώσεων που παραμένουν πράσινα
- Ομοιότητες με την τροφοπενία μαγγανίου

Τροφοπενία  
Μαγγανίου  
Mn

# Η προέλευση του μαγγανίου στο έδαφος

## I. Πρωτογενής (μητρικό πέτρωμα)

- Το Mn προέρχεται από την αποσάθρωση ορυκτών όπως: Βιοτίτης, Πυρόξενι και αμφίβολοι
  - Ορυκτά Mn (π.χ. ροδοχρωσίτης, πυρολουσίτης)
- Κατά την αποσάθρωση: απελευθερώνεται κυρίως ως  $Mn^{2+}$

## II. Δευτερογενής προέλευση (εδαφογενετικές διεργασίες)

- Οξείδωση → σχηματισμός οξειδίων  $Mn^{3+}/Mn^{4+}$
- Αναγωγή → επαναφορά σε  $Mn^{2+}$
- Μετακίνηση στο προφίλ (ιδίως σε υγρά–ξηρά περιβάλλοντα)

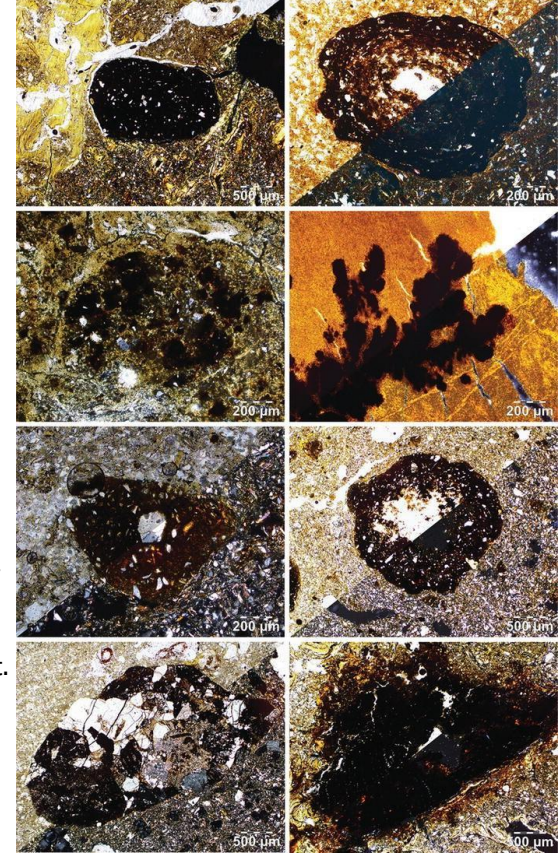
## III. Βιολογική συνεισφορά

- Μικροοργανισμοί: οξειδώνουν  $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$  ή
- ανάγουν  $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$
- Το Mn είναι από τα στοιχεία με την πιο έντονη μικροβιακή καταλυτική δράση

# Οι μορφές του μαγγανίου στο έδαφος

- Είναι το ενδέκατο σύνηθες στοιχείο στον στερεό φλοιό της γης με μέση συγκέντρωση 900 mg/kg.
- Στο έδαφος το ολικό μαγγάνιο κυμαίνεται από δεκάδες ως χιλιάδες ppm.
- Προσλαμβάνεται από τα φυτά ως ιόν  $Mn^{2+}$  και υπό μορφή οργανικών συμπλόκων.
- Δεν απαντάται στο έδαφος ως ελεύθερο ιόν.
- Απαντάται υπό μορφή:
  - ✓ Αδιάλυτων οξειδίων μαγγανίου (οξειδίων μαγγανίου ( $MnO_2$ ,  $MnO_3$ ,  $MnO_4$ ,  $MnOOH$ )) - Pyrolusite ( $MnO_2$ ) Birnessite  $MnOOH$
  - ✓ Σουλφίδια, και ανθρακικές και πυριτικές μορφές όπως ο σίδηρος
  - ✓ Αδιάλυτες φωσφορικές ενώσεις
  - ✓ Σε σιδηρομεταλλεύματα, πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα.
  - ✓ Συστατικό κρυσταλλικού πλέγματος μαγγανιοφόρων ορυκτών
  - ✓ Μικρό μέρος προσροφημένο ανταλλάξιμο
  - ✓ Συνδεδεμένο με οργανική ουσία

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-67806-7\\_4?utm\\_source=chatgpt.com](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-67806-7_4?utm_source=chatgpt.com)

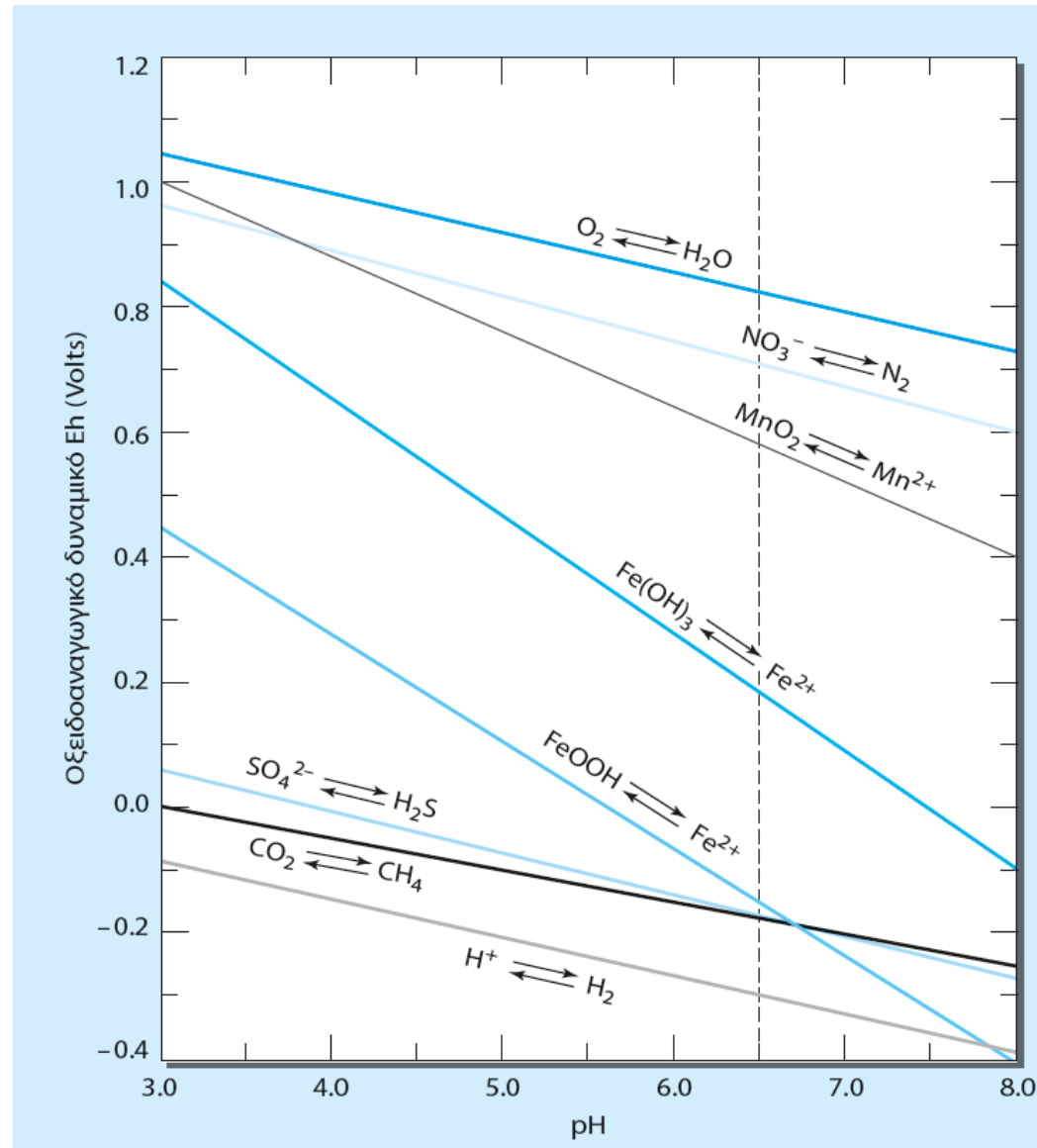


[https://www.lfu.bayern.de/boden/tag\\_des\\_bodens/2015/pic/846576\\_kl.jpg](https://www.lfu.bayern.de/boden/tag_des_bodens/2015/pic/846576_kl.jpg)

# Οι παράγοντες ρύθμισης της μορφής και διαθεσιμότητας του μαγγανίου στο έδαφος

Το Mn είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στο Eh:

- Οξειδωτικές συνθήκες (υψηλό Eh):  $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{4+}$  (οξειδία, αδιάλυτα)
- Αναγωγικές συνθήκες (χαμηλό Eh):  $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$  (διαλυτό)
- Σε σχέση με τον Fe: Το Mn ανάγεται πιο εύκολα και γρηγορότερα



Ενεργοποιεί τα ένζυμα , αποκαρβοξυλάση, αφυδρογονάση, και οξειδάση. Σημαντικό ιόν στη φωτοσύνθεση, στο μεταβολισμό και στην αφομοίωση του αζώτου.

# Η τροφοπενία Μαγγανίου

Νεαρά φύλλα με μεσονεύρια κιτρινίσματα, με τα νεύρα και τον ιστό κοντά στα νεύρα να παραμένουν πράσινα. Νεκροί ιστοί σε μεταγενέστερα στάδια. Όχι πλευρικές ριζές

- Είναι δυσκίνητο στο φυτό.
- Κίτρινες ή λευκές κηλίδες των **νεαρών** φύλλων μεταξύ των νευρώσεων που παραμένουν πράσινα
- Ομοιότητες με την τροφοπενία σιδήρου



<https://plantpro.gr/kaliergies/f1140501/38>



<https://cropprotectionnetwork.org/encyclopedia/manganese-mn-deficiency-of-soybean>



<https://www.haifa-group.com/el/%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CF%8C%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82-%CE%B8%CF%81%CE%AD%CF%88%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%8E%CE%BD>

<https://plantpro.gr/kaliergies/f1120400/394>

Τροφοπενία  
Ψευδαργύρου  
Zn

# Η προέλευση του ψευδαργύρου στο έδαφος

## I. Πρωτογενής (μητρικό πέτρωμα)

- Ο Zn προέρχεται από: Σφαλερίτη (ZnS) — βασικό ορυκτό  
Υποκατάσταση σε: βιοτίτη αμφιβόλους, άλλα θειούχα και πυριτικά  
Κατά την αποσάθρωση απελευθερώνεται κυρίως ως  $Zn^{2+}$

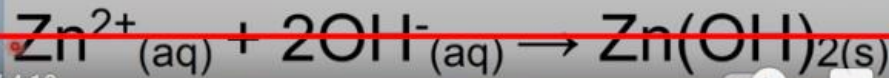
## II. Δευτερογενής προέλευση (εδαφογενετικές διεργασίες)

- Προσρόφηση σε άργιλο και οξείδια Fe/Mn
- Σχηματισμός δευτερογενών φάσεων (ανθρακικά, υδροξείδια)
- Μετακίνηση στο προφίλ (λιγότερο έντονη από Fe/Mn)

# Οι μορφές ψευδαργύρου στο έδαφος

- Είναι το δεύτερο πιο άφθονο μεταβατικό μέταλλο στα έμβια όντα μετά το σίδηρο.
- Στο έδαφος το ολικό μαγγάνιο είναι περίπου στα 65 (10-300) ppm.
- Προσλαμβάνεται από τα φυτά ως ιόν  $Zn^{2+}$  και υπό υδροξυ-κατιόντων ( $ZnOH^+$ ) σε υψηλότερο PH και χηλικών συμπλόκων ψευδαργύρου
- Απαντάται υπό μορφή:
  - ✓ Αδιάλυτων υδροξειδίων ψευδαργύρου ( $Zn(OH)_2$  σε υψηλό PH)
  - ✓ Συστατικό κρυσταλλικού πλέγματος σιδηρομαγνησιακών ορυκτών
  - ✓ Δευτερογενή πυριτικά ορυκτά της αργίλου
  - ✓ Μικρό μέρος προσροφημένο ανταλλάξιμο
  - ✓ Οργανικά σύμπλοκα: Zn συνδεδεμένος με: χουμικά/φουλβικά οξέα, ριζικά εκκρίματα κ.α.

- **Copper and zinc are only available at intermediate pH.**
- **These ions are displaced by  $H^+$  at low pH and form insoluble hydroxide at high pH.**



4:12 / 4:19



# Οι παράγοντες ρύθμισης της μορφής και διαθεσιμότητας του ψευδαργύρου στο έδαφος

## I. Ο ρόλος του pH (ο πιο κρίσιμος παράγοντας)

- Χαμηλό pH (όξινα): → αυξημένη διαλυτότητα  $Zn^{2+}$  → μεγαλύτερη διαθεσιμότητα
- Υψηλό pH (αλκαλικά/ασβεστούχα): → προσρόφηση + κατακρήμνιση → έντονη έλλειψη Zn

## II. Ρόλος του Eh (σε αντίθεση με Fe/Mn)

- Ο Zn δεν αλλάζει σθένος εύκολα (παραμένει  $Zn^{2+}$ ) Άρα:
- το Eh έχει έμμεση επίδραση μόνο μέσω Fe/Mn οξειδίων και οργανικής ουσίας

## III. Αλληλεπιδράσεις (πολύ σημαντικές)

- Φώσφορος (P): → σχηματισμός Zn-φωσφορικών → μείωση διαθεσιμότητας
- Fe/Mn οξείδια: → ισχυρή προσρόφηση Zn
- Οργανική ουσία: → μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει διαθεσιμότητα

Λαμβάνει μέρος σε αρκετά ένζυμα, όπως αφυδρογονάσες, πρωτεϊνάσες και πεπτιδάσες, διεγείρει τις αυξητικές ορμόνες και το σχηματισμό αμύλου, ευνοεί την ωρίμανση των σπόρων και την αύξηση της παραγωγής.

Συνήθως μεσονεύριο κιτρίνισμα των νεαρών ώριμων ή παλιών φύλλων ανάλογα με το φυτό, εμφάνιση ροζετών και μικροσκοπικά φύλλα. Εμφάνιση ευρείας άσπρης ζώνης και στις δύο πλευρές του φύλλου καλαμποκιού. Σκοτεινά, συρρικνωμένα φύλλα σε χορτοτάπητα γηπέδων.

# Η τροφοπενία Ψευδαργύρου

- Λαμπερή **κιτρινωπή μεσονεύρια χλώρωση** των **παλαιών φύλλων** με όλα τα νεύρα, ακόμα και τα πολύ λεπτά να παραμένουν πράσινα
- Σε σοβαρή έλλειψη μπορεί να έχουμε **βραχυγονάτωση και μικροφυλλία**



<https://plantpro.gr/kaliergies/f1120410/485>



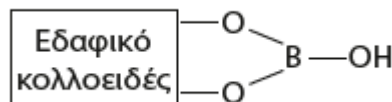
<https://www.haifa-group.com/el/%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CF%8C%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82-%CE%B8%CF%81%CE%AD%CF%88%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%8E%CE%BD>

<https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/threpsi-lipansi/item/2689-trofopenia-psevdargyrou-sta-fyta-7-gegonota-kai-tropoi-antimetopisis>

Τροφοπενία  
Βορείου  
Β

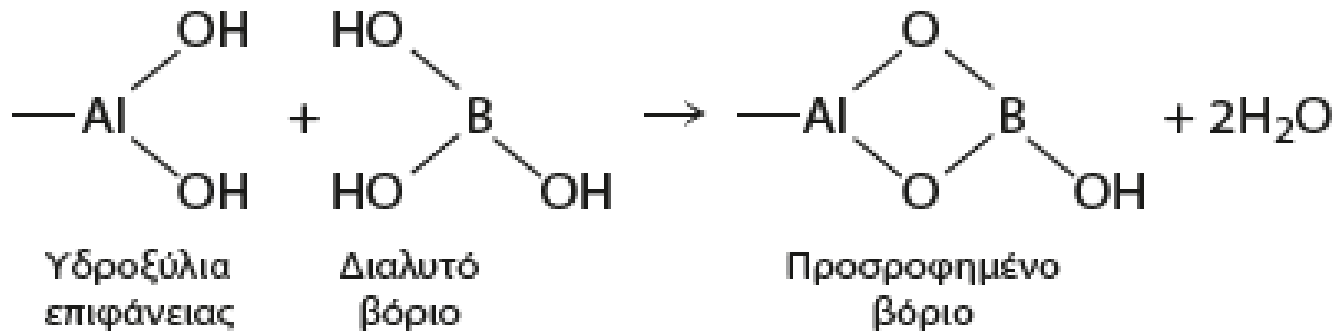
# Το βόριο στο έδαφος

- ✓ Το βόριο ευρίσκεται σε διαλυτή μορφή ιόντος στο εδαφικό διάλυμα.
- ✓ Στο έδαφος βρίσκεται κυρίως στο εδαφικό διάλυμα υπό μορφή βορικού οξέος και υπό μορφή διαφόρων βορικών ανιόντων ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^{2-}$ ,  $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{BO}_3^-$ ).
- ✓ Το βόριο προσροφάται στις επιφάνειες των τεμαχιδίων (προσρόφηση ανιόντων) και μπορεί να διατίθεται εύκολα στο εδαφικό διάλυμα
- ✓ Το βόριο μπορεί να σχηματίζει σύμπλοκα στην επιφάνεια της αργίλου ή να αντικαθιστά το το αργίλιο ( $\text{Al}^{3+}$ ) ή το σίδηρο ( $\text{Fe}^{3+}$ ) στους κρυστάλλους με ισόμορφη αντικατάσταση.
- ✓ Σύνδεση με την υδροξυλιομάδα σε μη κρυσταλικές ενώσεις όπως τα άμορφα οξειδία σιδήρου και αργιλίου
- ✓ Ανιόντα όπως βορικά μπορεί να προσροφηθούν στο έδαφος ή να υποστούν μετατροπές παρόμοιες με εκείνες των φωσφορικών ανιόντων. Η προσρόφηση του βορίου μπορεί να δειχθεί ως εξής:



# Το βόριο στο έδαφος

- ✓ Η μορφή του διαλυτού βορίου στα εδάφη είναι ως επί το πλείστον το βορικό οξύ  $[B(OH)_3]$  ή το βορικό ανιόν  $B(OH)_4$
- ✓ Αυτές οι ενώσεις μπορούν να ανταλλάσσονται με τις ομάδες  $OH$  των ακμών και των επιφανειών των διαφόρων ορυκτών της αργίλου μεταβλητού φορτίου, όπως είναι ο καολινίτης και ιδιαίτερα τα οξείδια σιδήρου και αργιλίου, με παρόμοιες αντιδράσεις όπως η παρακάτω:



# Το βόριο στο έδαφος

- ✓ Το βόριο προσροφάται ακόμη στον χούμο, με τη δύναμη προσρόφησής του να είναι ακόμη μεγαλύτερη από εκείνη των ανόργανων κολλοειδών.
- ✓ Το βόριο είναι επίσης ένα συστατικό της οργανικής ουσίας και ανοργανοποιείται με τη βοήθεια των μικροοργανισμών. Κατά συνέπεια, η οργανική ουσία χρησιμεύει ως μια σημαντική πηγή βορίου σε πολλά εδάφη και ελέγχει σε μεγάλο βαθμό τη διαθεσιμότητα αυτού του θρεπτικού.
- ✓ Η διαθεσιμότητα του βορίου μειώνεται κατά πολύ στις ξηρές περιόδους, ιδιαίτερα όταν ακολουθούν περιόδους αρίστων συνθηκών υγρασίας. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με το γεγονός ότι το βόριο προσλαμβάνεται μέσω του νερού της διαπνοής και όχι μέσω του μηχανισμού της ενεργού πρόσληψης ιόντων, όπως γίνεται η πρόσληψη των περισσότερων άλλων θρεπτικών.
- ✓ Ξηρές εδαφικές συνθήκες, μπορούν επίσης να μειώσουν την ανοργανοποίηση του οργανικού βορίου κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων.

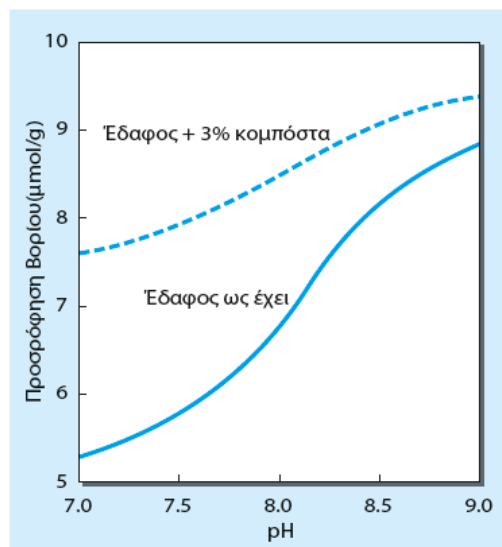
# Το βόριο σε σχέση με το pH του εδάφους

- ✓ Το προσροφημένο αυτό βόριο συνδέεται πολύ ισχυρά, κυρίως σε pH μεταξύ 7 και 9, που είναι η περιοχή pH με τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα αυτού του στοιχείου.
- ✓ Αυτό εξηγεί ίσως την έλλειψη βορίου σε ασβεστούχα εδάφη, όπου η τιμή του pH κυμαίνεται από 7 και άνω.
- ✓ Η προσρόφηση του βορίου σε οργανικά και ανόργανα κολλοειδή αυξάνεται με την αύξηση του pH.
- ✓ το στοιχείο αυτό είναι πιο διαθέσιμο σε όξινα εδάφη αλλά εκπλύνεται σχετικά εύκολα από αυτά, ιδιαίτερα αν είναι αμμώδη.
- ✓ Επομένως, αν και η έλλειψη βορίου είναι συχνή σε όξινα, αμμώδη εδάφη, συμβαίνει ωστόσο όχι εξαιτίας της χαμηλής διαθεσιμότητάς του, αλλά λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης του ολικού βορίου.

Ρόλος του pH (ο πιο σημαντικός παράγοντας)

- Χαμηλό pH: → κυριαρχεί  $H_3BO_3$  → σχετικά κινητικό
- Υψηλό pH: → μετατροπή σε  $B(OH)_4^-$  → ↑ προσρόφηση σε οξειδία και άργιλο

Άρα: μέγιστη προσρόφηση σε pH ~7-9



**ΕΙΚΟΝΑ 15.24** Επίδραση της οργανικής ουσίας (που προστέθηκε ως κομπόστα σε αυτό το πείραμα) και του pH του εδάφους στην προσρόφηση βορίου. Τόσο η άργιλος, όσο και οι χουμικές ενώσεις που προέρχονται από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας, προσροφούν βόριο. Η ικανότητα προσρόφησης της άργιλος και των χουμικών ενώσεων αυξάνεται με την αύξηση του pH στην ουδέτερη έως αλκαλική περιοχή. Η προσρόφηση μειώνει τη συγκέντρωση του βορίου στο εδαφικό διάλυμα και συνεπώς τη διαθεσιμότητα του στα φυτά, προστατεύει όμως το βόριο από την έκπλυση. Το έδαφος σε αυτή τη μελέτη ήταν ένα Calcic Haploxeralf. [από Yermiyahu et al. με επανασχεδιασμό (1995)]

Ενεργοποιεί ορισμένα ένζυμα αφυδρογονασών, διευκολύνει την μεταφορά-εναπόθεση των σακχάρων και την σύνθεση των νουκλεϊκών οξέων και φυτικών ορμονών, απαραίτητο για την κυτταρική διαίρεση και ανάπτυξη

# Η τροφοπενία Βορίου

- Είναι η συνηθέστερη έλλειψη ιχνοστοιχείου στους ελαιώνες
- τα φύλλα κιτρινίζουν ολικά, αποκτούν ένα χαρακτηριστικό καφέ χρώμα στην κορυφή τους και τελικά πέφτουν
- Αποχρωματισμός **νεαρών** φύλλων μεταξύ των νευρώσεων που παραμένουν πράσινα
- Μικροφυλλία και παραμόρφωση.
- Μικρά μεσογονάτια διαστήματα

Νέκρωση ριζών και αναπτυσσομένων μερών και βλαστών. Κοκκινωπά νεαρά φύλλα. Κακοσχηματισμένοι οφθαλμοί,, νέκρωση των μεσονεύριων ιστών σε σαρκώδη στελέχη, νεκρώσεις σε κονδύλους και σπόρους. Κοντό, θαμνώδες ριζικό σύστημα.



<https://plantpro.gr/kaliergies/f1051902/211>



<https://www.haifa-group.com/el/%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CF%8C%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%A2%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82-%CE%B8%CF%81%CE%AD%CF%88%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%8E%CE%BD>



<https://www.pomology.gr/2020/08/Trofopenia-ellepsi-kai-toxikotita-yperparakeia-perisseia-boroy-B-sta-fyta-Anorgani-threpsi-kai-lipansi-karpoforon-dentron-Dendrokomia.html>



<https://giorgoskatsadonis.blogspot.com/2018/05/t.html>

# Τα συμπτώματα ανεπάρκειας ΒΟΡΙΟΥ στην Ελιά

- ✓ Χλώρωση των φύλλων από τις άκρες των νεαρών φύλλων προς τις άκρες τους
- ✓ Τα φύλλα στους ετήσιους βλαστούς σχηματίζουν ροζέτες (σκούπα της μάγισσας)
- ✓ Παραμόρφωση φύλλων (μικροφυλλία) των καρπών
- ✓ Φυλλόπτωση και καρπόπτωση



Τροφοπενία χαλκού  
Cu

# Η προέλευση του χαλκού στο έδαφος

## I. Πρωτογενής (μητρικό πέτρωμα)

- Ο Cu προέρχεται από: Θειούχα ορυκτά: χαλκοπυρίτης ( $\text{CuFeS}_2$ ), χαλκοσίτης ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )
- Υποκατάσταση σε: ορυκτά μαρμαρυγίες  
Κατά την αποσάθρωση: απελευθερώνεται κυρίως ως  $\text{Cu}^{2+}$

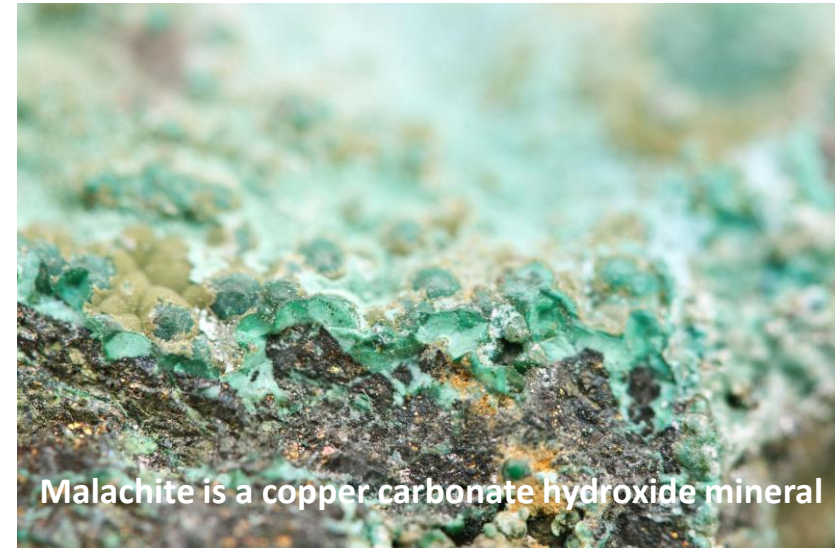
## II. Δευτερογενής προέλευση (εδαφογενετικές διεργασίες)

- Προσρόφηση σε : άργιλο, οξείδια Fe και Mn
- Σχηματισμός: υδροξειδίων, ανθρακικών

Ισχυρή σύνδεση με οργανική ουσία

# Ο χαλκός στο έδαφος

- Είναι το ενδέκατο σήνηθες στοιχείο στον στερεό φλοιό της γης με μέση συγκέντρωση 900 mg/kg.
- Στο έδαφος το ολικό μαγγάνιο κυμαίνεται από δεκάδες ως χιλιάδες ppm.
- Προσλαμβάνεται από τα φυτά ως ιόν  $\text{Cu}^{2+}$  και υπό μορφή οργανικών συμπλόκων.
- Δεν απαντάται στο έδαφος ως ελεύθερο ιόν.
- Απαντάται υπό μορφή:
  - ✓ Θειούχων ορυκτών ( $\text{CuFeS}_2$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuS}$ )
  - ✓ Ανθρακικών ορυκτών ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ )
  - ✓ Συστατικό κρυσταλλικού πλέγματος πυριτικών ορυκτών
  - ✓ Σύμπλοκο με την οργανική ύλη
  - ✓ Αδιάλυτων υδροξειδίων ( $\text{Cu}(\text{OH})^+$  η  $\text{Cu}(\text{OH})^-$  σε υψηλό PH)
  - ✓ Μικρό μέρος προσροφημένο ανταλλάξιμο
  - ✓ Σύμπλοκα με την οργανική ουσία (Cu δεσμευμένος με: χουμικά και φουλβικά οξέα. Ο Cu έχει τεράστια συγγένεια με οργανική ουσία. Συχνά: 50% του Cu βρίσκεται σε αυτή τη μορφή άρα υψηλή σταθερότητα και χαμηλή άμεση διαθεσιμότητα)



Malachite is a copper carbonate hydroxide mineral



[Copper Sulphides](https://www.mindat.org/min-27403.html?utm_source=chatgpt.com)

# Οι παράγοντες ρύθμισης της μορφής και διαθεσιμότητας του ψευδαργύρου στο έδαφος

## I. Ο ρόλος του pH (ο πιο κρίσιμος παράγοντας)

- Χαμηλό pH: → αυξάνει τη διαλυτότητα  $\text{Cu}^{2+}$  → αλλά παραμένει δεσμευμένος σε οργανική ουσία
- Υψηλό pH: → αυξάνει προσρόφηση + κατακρήμνιση → ↓ διαθεσιμότητα

## II. Ρόλος του Eh (σε αντίθεση με Fe/Mn)

- Ο Cu μπορεί να αλλάξει μορφή:  $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Cu}^+$
- Όμως η επίδραση Eh είναι δευτερεύουσα, σημαντική κυρίως σε έντονα αναγωγικά περιβάλλοντα (π.χ. CuS σχηματισμός)

## III. Αλληλεπιδράσεις (πολύ σημαντικές)

- Ο Cu ελέγχεται κυρίως από την οργανική ουσία.
- Έλλειψη Cu σε οργανικά εδάφη (τύρφη) λόγω ισχυρής δέσμευσης

Υπάρχει στη laccase και σε πολλά άλλα οξειδωτικά ένζυμα, σημαντικό ιόν στη φωτοσύνθεση, στο μεταβολισμό των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων, και πιθανόν στη δέσμευση του αζώτου.

## Η τροφοπενία Χαλκού

- Αποχρωματισμός **νεαρών** φύλλων μεταξύ των νευρώσεων
- Φυλλόπτωση
- Μπορεί να σχηματιστούν μικρές νεκρωτικές κηλίδες, ειδικά στα περιθώρια των φύλλων
- Παραμόρφωση των φύλλων

Νεαρά φύλλα κίτρινα, γυρισμένες ή νεκρές άκρες φύλλων, καχεκτικά φύλλα και φυτά. Μάρανση φύλλων και φυλλόπτωση στα δένδρα.



<https://blog.farmacon.gr/katigories/tehniki-arthrografia/fytoprostasia/item/1877-giati-einai-aparaititos-o-xalkos-stis-kalliergeies-mas>



<https://plantpro.gr/kaliergeies/f1130800/515>



<https://plantpro.gr/kaliergeies/f1053600/304>

Τροφοπενία  
Μολυβδαινίου  
Mo

Ευρίσκεται στα ένζυμα, νιτρογενάση (δέσμευση του αζώτου) και νιτρική αναγωγή, απαραίτητο για τη δέσμευση και την αφομοίωση του αζώτου.

Μοιάζει με την έλλειψη N στα ψυχανθή, με κηλιδωτό κίτρινο χρωματισμό στα νεαρά λεπτά, στενόμακρα φύλλα του γένους brassicas υπόλευκο χρώμα. νεκρωτικά άκρα φύλλων.

# Η τροφοπενία Μολυβδαινίου

- Μειωμένη ανάπτυξη
- Αποχρωματισμός **νεαρών** φύλλων μεταξύ των νευρώσεων
- Φυλλόπτωση
- Μπορεί να σχηματιστούν μικρές νεκρωτικές κηλίδες, ειδικά στα περιθώρια των φύλλων
- Σχηματισμός στενόμακρων των φύλλων



<https://www.yara.gr/threpsi-lipansi/patata/381/992/>



<https://www.yara.gr/threpsi-lipansi/lipansi-sitari/973/777/>



<https://www.yara.gr/threpsi-kalliergeiwn/kalliergia-krithariou/19/287/>

Αναγνώριση τροφοπενίας

# Αναγνώριση τροφοπενίας

|                                     | ώριμα | νεαρά φύλλα           |
|-------------------------------------|-------|-----------------------|
| ομοιόμορφη χλώρωση                  | N     | Fe, S*, Cu*, ***      |
| μεσονεύρια χλώρωση                  | Mg    | Zn, Mn**, Fe**, Cu*** |
| κορυφαίες ή περιφερειακές ξηράνσεις | K     | Ca, Cu***, B          |
| μεσονεύριες ξηράνσεις               | Mg    | Mn                    |
| παραμορφώσεις                       | -     | Mo, Ca, B             |
| ερυθροί μεταχρωματισμοί             | P     | -                     |
| μικροφυλλία και φυλλόπτωση          | -     | Zn                    |

- \*: αν τα συμπτώματα εντοπίζονται αυστηρά στα νεαρά φύλλα: Cu / αν είναι διάχυτα: S  
\*\* : αν το δίκτυο των νευρώσεων είναι ιδιαίτερα εμφανές: Fe / αν δεν είναι ιδιαίτερα: Mn  
\*\*\*: αν υπάρχουν ξηράνσεις και παραμορφώσεις (π.χ. συστροφές): Cu



# Ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων

- Γίνεται με την μεθοδο της Φασματομετρίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS) αποτελεί μια ευαίσθητη και αξιόπιστη τεχνική για τον προσδιορισμό ιχνοστοιχείων σε stock διαλύματα. Βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας από ελεύθερα άτομα του στοιχείου-στόχου.
- Για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων χρησιμοποιούμε το stock διάλυμα



## • ΒΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ

- I. Παρασκευή Προτύπων Διαλυμάτων (Calibration Standards)
- II. Ατομοποίηση (Atomization): Το δείγμα εισάγεται στο όργανο, όπου μετατρέπεται σε ατομικό ατμό:
- Φλόγα (Flame AAS): Το δείγμα ψεκάζεται σε φλόγα (π.χ. ασετυλίνης/αέρα) όπου εξατμίζεται και ατομοποιείται. Κατάλληλο για υψηλότερες συγκεντρώσεις.
- III. Μέτρηση Απορρόφησης (Measurement): Μια λυχνία (Hollow Cathode Lamp) εκπέμπει ακτινοβολία χαρακτηριστική του στοιχείου-στόχου. Τα ελεύθερα άτομα στο δείγμα απορροφούν μέρος αυτής της ακτινοβολίας. Ο ανιχνευτής μετρά την ένταση του φωτός που πέρασε. Η απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης (Νόμος Beer-Lambert).
- IV. Υπολογισμός Συγκέντρωσης: Κατασκευάζεται η καμπύλη βαθμονόμησης (απορρόφηση έναντι συγκέντρωσης) χρησιμοποιώντας τα πρότυπα διαλύματα. Η συγκέντρωση του αγνώστου δείγματος προσδιορίζεται από την απορρόφησή του, βάσει της ευθείας αναφοράς.

# Η λίπανση μικροθρεπτικών

- ✓ Εντούτοις, η πιο κοινή διαχειριστική πρακτική για την αντιμετώπιση της έλλειψης μικροθρεπτικών (και μερικών τοξικοτήτων) είναι η εφαρμογή των εμπορικών λιπασμάτων.
- ✓ Τα λιπάσματα αυτά εφαρμόζονται συνήθως στο έδαφος, αν και μπορούν να εφαρμοσθούν με διαφυλλικούς ψεκασμούς ή ακόμη μαζί με τους σπόρους.
- ✓ Οι διαφυλλικοί ψεκασμοί με αραιά ανόργανα άλατα ή οργανικές χηλικές ενώσεις είναι πιο αποτελεσματικοί από την εφαρμογή των λιπασμάτων στο έδαφος, όπου το υψηλό pH του εδάφους και άλλοι παράγοντες τα καθιστούν μη διαθέσιμα στα φυτά.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 15.11 Λίγα από τα πλέον συνήθως χρησιμοποιούμενα λιπάσματα μικροθρεπτικών

| Μικροθρεπτικό | Συνήθως χρησιμοποιούμενα λιπάσματα | Περιεκτικότητα στο θρεπτικό, %                                      |       |
|---------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Βόριο         | Βόρακας                            | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$        | 11    |
|               | Πενταβορικό νάτριο                 | $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot \text{H}_2\text{O}$    | 18    |
| Χαλκός        | Θεικός χαλκός                      | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$                           | 25    |
| Σίδηρος       | Θεικός σίδηρος                     | $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$                           | 19    |
|               | Χηλικός σίδηρος                    | $\text{NaFeEDDHA}$                                                  | 6     |
| Μαγγάνιο      | Θεικό μαγγάνιο                     | $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$                           | 26-28 |
|               | Οξείδιο του μαγγανίου              | $\text{MnO}$                                                        | 41-68 |
| Μολυβδαίνιο   | Μολυβδαινικό νάτριο                | $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                 | 39    |
|               | Μολυβδαινικό αμμώνιο               | $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 54    |
| Ψευδάργυρος   | Θεικός ψευδάργυρος                 | $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$                            | 35    |
|               | Οξείδιο του ψευδαργύρου            | $\text{ZnO}$                                                        | 78    |
|               | Χηλικός ψευδάργυρος                | $\text{Na}_2\text{ZnEDTA}$                                          | 14    |

Συλλέχτηκαν από Murphy and Walsh (1972).

# Βιβλιογραφία

Η φύση και οι ιδιότητες του εδάφους. Brady, C.N. and Weil, R.R. 2016. The nature and properties of soils. 14<sup>th</sup> ed. Mc Millan, N.Y., USA.

Κωνσταντίνος Σινάνης.2003. Εδαφολογία. ΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Γεωπονίας Γ.Π.Α. Παρουσίαση: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΦΥΤΩΝ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ (Διατροφικοί Παράγοντες - Οι διαταραχές που προκύπτουν από την έλλειψη θρεπτικών στοιχείων)



Σας ευχαριστώ για την  
προσοχή σας