

6-7-8-9^η Διάλεξη

Λίπανση-Θρέψη στις Υδροπονικές Καλλιέργειες



Αναστάσιος Ι. Κώτσιρας

Χρήστος Α. Μουρούτογλου

Δημήτριος Τσιλιάνος

Λίπανση-Θρέψη Υδροπονικών Καλλιεργειών

- Η λίπανση των υδροπονικών καλλιεργειών στηρίζεται στην παροχή θρεπτικού διαλύματος **πλήρους συνθέσεως**
- Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία είναι ο παράγοντας ρυθμίσεως της θρέψης των φυτών **με ακρίβεια** στις υδροπονικές καλλιέργειες

ΣΥΝΤΑΓΕΣ ΣΤΙΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

ΠΥΚΝΟ ΔΙΑΛΥΜΑ Α	ΠΥΚΝΟ ΔΙΑΛΥΜΑ Β	ΠΥΚΝΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΟΞΕΟΣ
Νιτρικό ασβέστιο 1,081 κιλά	Νιτρικό κάλιο 32,817 κιλά	*Νιτρικό οξύ 31,551 λίτρα
Νιτρικό κάλιο 21,878 κιλά	Θειικό μαγνήσιο 8,445 κιλά	
Νιτρική αμμωνία 8,725 κιλά	Νιτρικό μαγνήσιο 8,128 κιλά	
**Χηλικός σίδηρος 2,329 κιλά	Φωσφορικό μονοκάλιο 17,013 κιλά	
	Θειικό μαγγάνιο 169,00 γρ	
	Θειικός ψευδάργυρος 115,00 γρ	
	Θειικός χαλκός 18,73 γρ	
	Βόρακας 144,76 γρ	
	Μολυβδαινικό νάτριο 12,10 γρ	

Συνταγές Υδροπονικών Καλλιεργειών

Προσαρμογή βάσει των παρακάτω παραγόντων:

- του φυτικού είδους και των ιδιαίτερων απαιτήσεων των ποικιλιών ή των υβριδίων που θα καλλιεργηθούν,
- του τύπου του υποστρώματος (αδρανούς ή ενεργού) που θα χρησιμοποιηθεί,

Συνταγές Υδροπονικών Καλλιεργειών

- της εποχής καλλιέργειας και των συνθηκών που επικρατούν: ένταση, διάρκεια ακτινοβολίας, διάρκεια ημέρας,
- του φυτικού τμήματος που συγκομίζεται (καρπός, στέλεχος, ρίζα, φύλλα, βολβός, κόνδυλος).

Θρεπτικό διάλυμα

Αραιό υδατικό διάλυμα των 12 απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων σε μορφές:

- ιόντων ανοργάνων αλάτων
- ευδιάλυτων ανοργάνων χημικών ενώσεων
- ευδιάλυτων οργανικών χημικών ενώσεων

Σύνθεση θρεπτικού διαλύματος

Ζητούμενα χαρακτηριστικά της συνθέσεως
ενός θρεπτικού διαλύματος:

1. Συνολική συγκέντρωση ιόντων (EC σε dS m^{-1})

2. pH

3. Αναλογίες μακροστοιχείων (mM):

- K:Ca:Mg
- N:K
- $\text{NH}_4^+ / (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)$

ή 3. Συγκεντρώσεις μακροστοιχείων (mM):

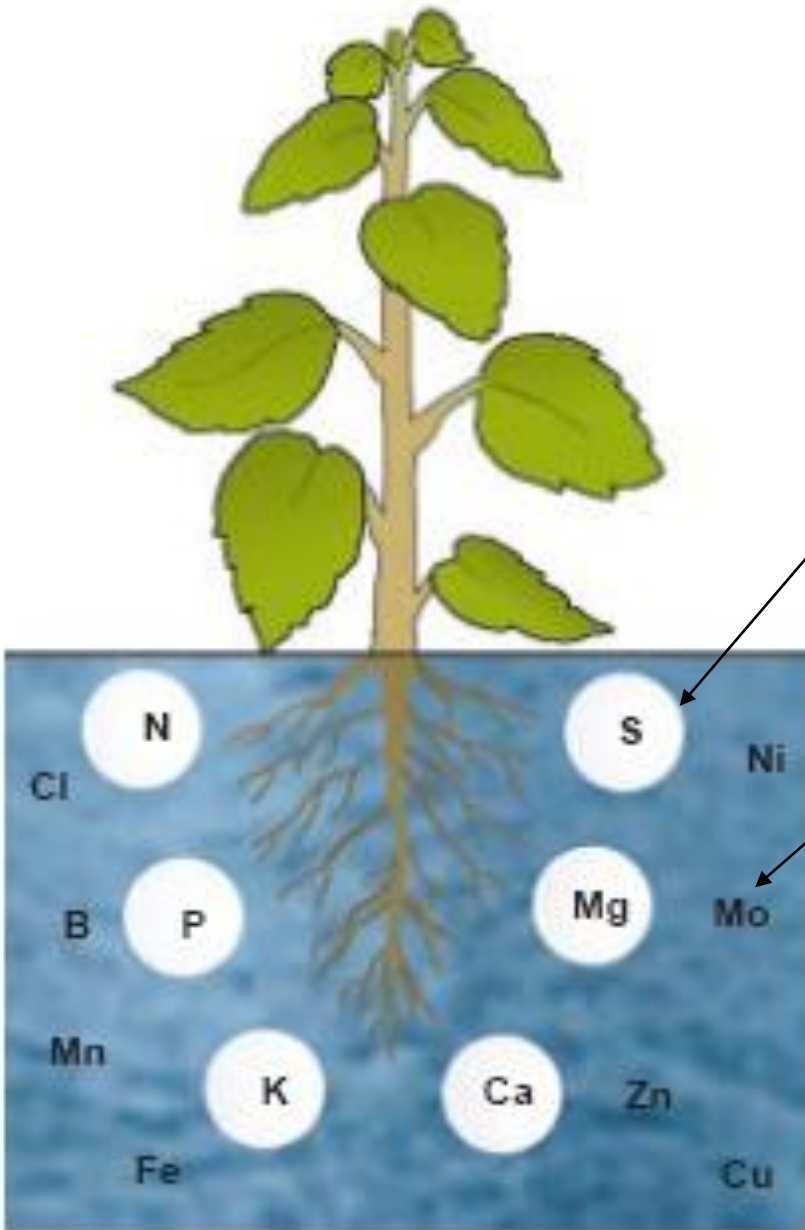
- K, Ca, Mg
- NO_3^- ,
- NH_4^+

4. Συγκέντρωση H_2PO_4^- (mM)

5. Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (μM)

ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ



Μορφές των 12 θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα

Μακροστοιχείο	Χημική μορφή	Ιχνοστοιχείο	Χημική Μορφή
Άζωτο (N)	NO_3^- , NH_4^+	Σίδηρος (Fe)	Fe^{2+}
Φωσφόρος (P)	H_2PO_4^-	Μαγγάνιο (Mn)	Mn^{2+}
Κάλιο (K)	K^+	Ψευδάργυρος (Zn)	Zn^{2+}
Ασβέστιο (Ca)	Ca^{2+}	Χαλκός (Cu)	Cu^{2+}
Μαγνήσιο (Mg)	Mg^{2+}	Βόριο (B)	H_3BO_3
Θείο (S)	SO_4^{2-}	Μολυβδαίνιο (Mo)	MoO_4^{2-}

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Ταξινόμηση των θρεπτικών διαλυμάτων

- Θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας
- Θρεπτικό διάλυμα στο περιβάλλον των ριζών
- Θρεπτικό διάλυμα απορροής

Ιδιότητες των θρεπτικών διαλυμάτων

- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)
- pH
- Συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων
- Αναλογίες μεταξύ των κύριων θρεπτικών στοιχείων
- Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

- Η ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα λόγω της παρουσίας των ιόντων.
- Όσο περισσότερα ιόντα είναι διαλυμένα στο νερό, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητά του να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα.
- Η EC είναι ανάλογη της συνολικής συγκεντρώσεως ιόντων στο διάλυμα.
- Η EC δεν δίνει πληροφορίες για το είδος των ιόντων που περιέχονται στο θρεπτικό διάλυμα.

Έλεγχος της αγωγιμότητας στην ριζόσφαιρα

- Νερό καλής ποιότητας (χαμηλά επίπεδα Na και Cl)
- Κατάλληλες αναλογίες K:Ca:Mg.
- Χαμηλή συγκέντρωση SO_4^{2-} .
- Σωστή συχνότητα ποτισμάτων.
- Συσχέτιση αρδεύσεως με την ηλιακή ενέργεια και την περιεκτικότητα σε νερό του υποστρώματος.
- Έκπλυση του υποστρώματος με χαμηλής EC θρεπτικό διάλυμα (όχι με νερό).

Προσδιορισμός της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας

- Η EC προσδιορίζεται ταχύτατα με την βοήθεια φορητών οργάνων.
- Η γρήγορη μέτρηση της EC χρησιμοποιείται για τον εύκολο προσδιορισμό της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στα θρεπτικά διαλύματα.

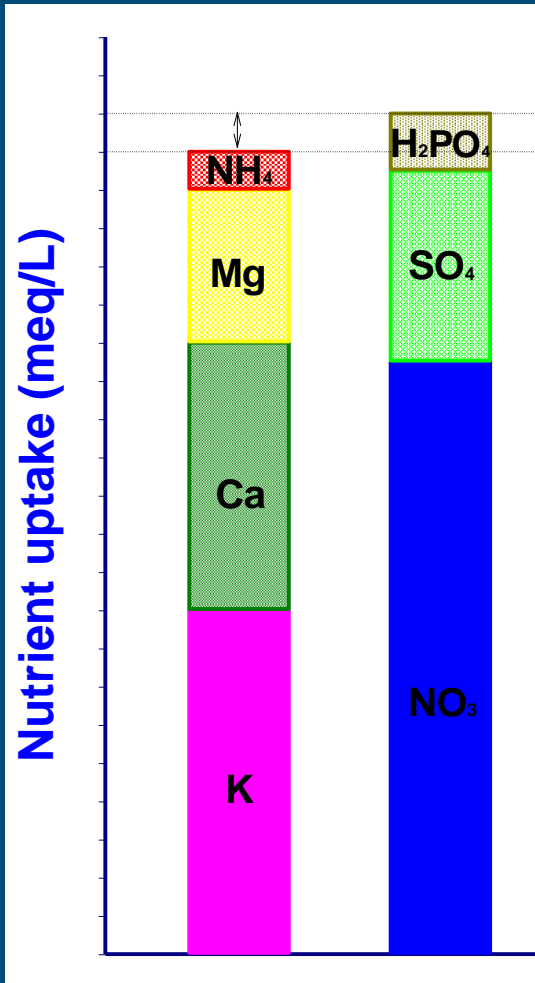
pH θρεπτικού διαλύματος

- πολύ σημαντικός παράγοντας για την θρέψη των φυτών
 - επηρεάζει τις χημικές ισορροπίες μεταξύ διαφόρων ιόντων και χημικών ενώσεων στο θρεπτικό διάλυμα
- καθορίζει την διαλυτότητα και συνεπώς την διαθεσιμότητα πολλών θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά.

Ρύθμιση του pH

- Η παρουσία των HCO_3^- στο αρδευτικό νερό επιδρά στην αλκαλικότητά του.
- Τα περισσότερα αρδευτικά νερά έχουν $\text{pH} > 7$
- Η μείωση του pH του αρδευτικού νερού επιτυγχάνεται με την προσθήκη οξέος (H^+) για την εξουδετέρωση των HCO_3^- .
- Η προσθήκη H^+ συνοδεύεται και από την προσθήκη ανιόντος (NO_3^- ή H_2PO_4^-) που πρέπει να υπολογισθεί στις προστιθέμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων.

Αύξηση του pH λόγω απορρόφησης περισσότερων ανιόντων

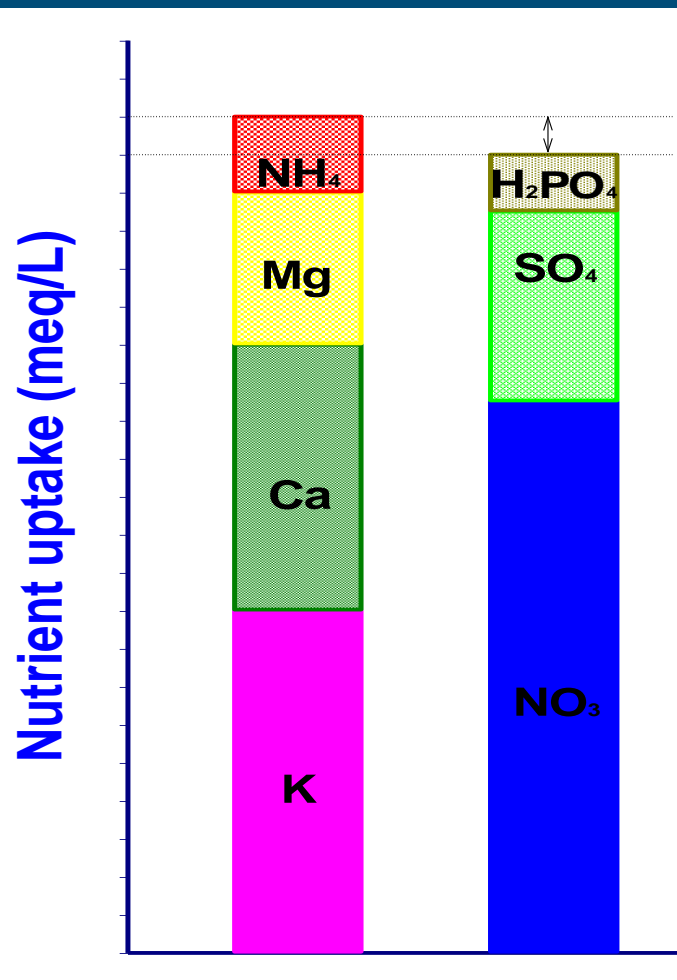


Η απορρόφηση των ανιόντων ξεπερνά την αντίστοιχη των κατιόντων

Η διαφορά ηλεκτρικού φορτίου στο κυτόπλασμα εξισορροπείται ηλεκτροχημικά μέσω απέκκρισης HCO₃⁻ και OH⁻

Το pH ανυψώνεται στο εξωτερικό διάλυμα

Μείωση του pH λόγω απορρόφησης περισσότερων κατιόντων



Η απορρόφηση κατιόντων ξεπερνά την αντίστοιχη των ανιόντων

Η διαφορά ηλεκτρικού φορτίου στο κυτόπλασμα εξισορροπείται ηλεκτροχημικά μέσω απέκκρισης H⁺

Το pH ελαττώνεται στο εξωτερικό διάλυμα

Τρόποι ρυθμίσεως του pH στην ρίζα

- Επιθυμητές τιμές pH στην ρίζα: 5,5-6,5
- Οριακές τιμές pH: 5-5,5 και 6,5-7.
- Διατήρηση του pH στα επιθυμητά επίπεδα:
 - Εφαρμογή θρεπτικού διαλύματος με pH μεταξύ 5,5 και 5,8
 - Εφαρμογή μέρους του αζώτου σε αμμωνιακή μορφή
 - $\text{NH}_4 = 10-15\%$ του ολικού N
 - Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από το φυτικό είδος και την εποχή

Αναλογίες Μακροστοιχείων

Αναλογίες μακροστοιχείων (mM):

K:Ca:Mg

N:K

$\text{NH}_4^+ / (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)$

Συγκεντρώσεις Μακροστοιχείων

Συγκεντρώσεις μακροστοιχείων(mM):

- K, Ca, Mg
- NO_3^- ,
- NH_4^+
- H_2PO_4^-

Συγκεντρώσεις Μικροστοιχείων

Συγκεντρώσεις μικροστοιχείων (mM):

- Fe
- Mn
- Cu
- Zn
- B
- Mo

Δυσκολίες καταρτίσεως της συνθέσεως σε μακροστοιχεία ενός θρεπτικού διαλύματος

- Σύνδεση ανιόντων – κατιόντων
- Σύσταση αρδευτικού νερού
- Ρύθμιση του pH

Σύνδεση ανιόντων - κατιόντων

- Την προσθήκη ενός ιόντος συνοδεύει απαραίτητα και η προσθήκη ενός άλλου ιόντος αντιθέτου φορτίου στην ίδια κανονική συγκέντρωση.

Πχ: Προσθήκη καλίου (K):

Επιλογές:



Σύσταση του αρδευτικού νερού

- Το αρδευτικό νερό περιέχει σημαντικές ποσότητες:
 - των θρεπτικών μακροστοιχείων Ca, Mg, S (SO_4^{2-})
 - των ιχνοστοιχείων Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , B και Cl^-
 - των μακρο-ιόντων HCO_3^- και Na^+ .

Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων στο νερό πλησιάζουν ή υπερκαλύπτουν τις τιμές - στόχο για το θρεπτικό διάλυμα.

Δημιουργία και παροχή του θρεπτικού διαλύματος

- Για την αποφυγή της συχνής παρασκευής αραιού θρεπτικού διαλύματος, παρασκευάζονται πυκνά διαλύματα (συνήθως 100-200 φορές συμπυκνωμένα).
- Τα πυκνά διαλύματα αραιώνονται σε μία καθορισμένη αναλογία με το αρδευτικό νερό μέσω κατάλληλου εξοπλισμού και παρασκευάζεται το διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών.
- Κατ' ελάχιστον σε κάθε μονάδα θα πρέπει να υπάρχουν 3 δοχεία, 2 για τα μακροστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία και ένα με οξύ (συνήθως HNO_3) για τον έλεγχο του pH.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ορισμοί Παραμέτρων

- Βάρος
- Όγκος
- Πυκνότητα
- Διαλυτότητα
- Ατομικό Βάρος
- Μοριακό Βάρος
- Γραμμομόριο
- Χημικό Ισοδύναμο
- Γραμμοϊσοδύναμο

ΒΑΡΟΣ

- Μονάδα βάρους είναι το kg με υποδιαιρέσεις
 - το γραμμάριο (g),
 - το χιλιοστογραμμάριο (mg),
 - το μικρογραμμάριο (μg).

- Γενικώς ισχύει:

$$1 \text{ kg} = 1.000.000 \text{ mg} = 1.000.000.000 \mu\text{g}$$

ΟΓΚΟΣ ΥΓΡΩΝ

- Ο όγκος των υγρών εκφράζεται σε:
 - λίτρα (l)
 - χιλιοστόλιτρα (ml),
 - κυβικά μέτρα (m^3)
 - κυβικά εκατοστά (cm^3), κλπ

- **Γενικώς ισχύει:**

$$1l = 1.000ml$$

$$1m^3 = 1.000.000 cm^3$$

$$1m^3 = 1.000 l$$

$$1cm^3 = 1 ml$$

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

- Η πυκνότητα (d) ισούται με το βάρος (m) του υγρού ανά μονάδα όγκου (V) αυτού.
- **$d=m/V$**
- **Εκφράζεται σε μονάδες kg/l**

ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ

- Η μέγιστη ποσότητα μιας χημικής ουσίας που μπορεί να διαλυθεί ανά μονάδα όγκου διαλύματος
- Εκφράζεται συνήθως σε kg/l ή kg/m^3
($1\text{kg/l}=1.000\text{kg/m}^3$)
- Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία του νερού και γι' αυτό όταν δίνεται μια τιμή διαλυτότητας θα πρέπει να συνοδεύεται και από τη θερμοκρασία στην οποία αναφέρεται

ΑΤΟΜΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Είναι καθαρός αριθμός που πληροφορεί:

- πόσες φορές είναι βαρύτερο το άτομο του στοιχείου αυτού από το άτομο του υδρογόνου

Ατομικά Βάρη των στοιχείων

Στοιχείο	Σύμβολο	Ατομικό Βάρος
Άζωτο	N	14,01
Ασβέστιο	Ca	40,08
Άνθρακας	C	12,01
Βόριο	B	10,81
Θείο	S	32,06
Κάλιο	K	39,10
Μαγγάνιο	Mn	54,94
Μαγνήσιο	Mg	24,31
Μολυβδαίνιο	Mo	95,94
Νάτριο	Na	22,99
Οξυγόνο	O	16,00
Πυρίτιο	Si	28,09
Υδρογόνο	H	1,008
Σίδηρος	Fe	55,85
Φωσφόρος	P	30,97
Χαλκός	Cu	63,54
Χλώριο	Cl	35,45
Ψευδάργυρος	Zn	65,37

ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ

Είναι καθαρός αριθμός που υπολογίζεται:

- με πρόσθεση των ατομικών βαρών όλων των ατόμων που συμμετέχουν σε μία χημική ένωση

ΓΡΑΜΜΟΜΟΡΙΟ (mol)

- 1 mol μιας χημικής ενώσεως ισούται με το μοριακό βάρος της σε γραμμάρια (g)
- υποδιαιρέσεις:
χιλιοστογραμμόριο (mmol),
μικρογραμμομόριο (μmol)
- **1 mol = 1.000 mmol = 1.000.000 μmol**

ΧΗΜΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ (Χ.Ι)

- Χημικό ισοδύναμο (Χ.Ι.) ιόντος:
 - πηλίκο του μοριακού βάρους του δια του αριθμού οξειδώσεως του.
- Χημικό ισοδύναμο (Χ.Ι.) χημικής ενώσεως
 - όταν διαλύεται στο νερό συμπεριφέρεται ως ηλεκτρολύτης (δηλαδή δίσταται σε ανιόντα και κατιόντα)
 - πηλίκο του μοριακού της βάρους δια του ολικού αριθμού οξειδώσεως (απόλυτη τιμή) των ανιόντων ή των κατιόντων που προκύπτουν κατά τη διάστασή της

- Χημικοί τύποι και αριθμοί οξειδώσεως των κυριότερων ανόργανων ιόντων που περιέχονται στο αρδευτικό νερό και στα χρησιμοποιούμενα για τη διατροφή φυτών θρεπτικά διαλύματα.
- (+) στα κατιόντα και (-) στα ανιόντα

Κατιόντα

αμμώνιο (NH_4^+)

ασβέστιο (Ca^{2+})

κάλιο (K^+)

μαγγάνιο (Mn^{2+})

μαγνήσιο (Mg^{2+})

νάτριο (Na^+)

σίδηρος (Fe^{2+})

υδρογόνο (H^+)

χαλκός (Cu^{2+})

ψευδάργυρος (Zn^{2+})

Ανιόντα

θειικό (SO_4^{2-})

μολυβδαινικό (MoO_4^{2-})

νιτρικό (NO_3^-)

όξινο ανθρακικό (HCO_3^-)

φωσφορικό (H_2PO_4^-)

χλώριο (Cl^-)

ΓΡΑΜΜΟΙΣΟΔΥΝΑΜΟ (eq)

- Γραμμοισοδύναμο (eq) ενός στοιχείου ή ιόντος ή μιας χημικής ενώσεως:
 - μια ποσότητά τους μετρημένη σε γραμμάρια ίση με το χημικό τους ισοδύναμο

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ

Συγκεντρώσεις

- Η περιεκτικότητα ενός διαλύματος σε διάφορα στοιχεία ονομάζεται συγκέντρωση
- Δείχνει αριθμητικά την ποσότητα των διαλελυμένων στοιχείων σε συγκεκριμένο όγκο διαλύματος.
- Στην υδροπονία τα θρεπτικά διαλύματα δημιουργούνται με την προσθήκη συγκεκριμένων ποσοτήτων υδατοδιαλυτών λιπασμάτων σε συγκεκριμένο όγκο νερού.

Συγκεντρώσεις

Σκοπός:



- κάθε σταγόνα θρεπτικού διαλύματος να περιέχει **όλα** τα θρεπτικά στοιχεία για την σωστή ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονικών καλλιεργειών εκφράζεται κυρίως μέσω των εξής μονάδων:

ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ

ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΦΡΑΣΕΩΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Φυσικές μονάδες:

- χιλιοστόγραμμα διαλυμένης ουσίας ανά λίτρο διαλύματος (mg/l)
- μικρογραμμάρια διαλυμένης ουσίας ανά λίτρο διαλύματος (μg/l)
- μέρη στο εκατομμύριο (ppm)

Χημικές μονάδες:

- μοριακή συγκέντρωση ή μοριακότητα (M ή mol/l)
- κανονική συγκέντρωση ή κανονικότητα (N ή eq/l)

Βάρος του διαλελυμένου στοιχείου ανά λίτρο διαλύματος (ppm ή mg/l)

- Χιλιοστά του γραμμαρίου του διαλελυμένου στοιχείου που έχουν διαλυθεί σε 1 λίτρο αρδευτικού νερού.
- Πχ: $1\text{mg}/\text{λίτρο} = 1\text{mg}/1.000\text{ml} = 1\text{mg}/1.000\text{g} = 1\text{mg}/1.000.000\text{mg}$ (σε αραιά υδατικά διαλύματα τα 1.000 ml ισοδυναμούν με 1.000 g, εφ' όσον το 1ml νερό ζυγίζει 1g).
- ppm = mg/l. Χρησιμοποιείται κυρίως για την έκφραση της συγκεντρώσεως των μακροστοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα (άζωτο, φωσφόρος, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, θείο).

Γραμμομόριο του διαλελυμένου στοιχείου ανά λίτρο διαλύματος (mol/l)

- Τα γραμμομόρια του διαλελυμένου στοιχείου που έχουν διαλυθεί σε 1 λίτρο αρδευτικού νερού.
- Κατά την δημιουργία των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται για πρακτικούς λόγους δυο υποδιαιρέσεις:
 - η μια για τα μακροστοιχεία: χιλιοστογραμμομόριο ή **mmol/l** και
 - η άλλη για τα ιχνοστοιχεία: μικρογραμμομόριο ή **μmol/l**.

Γραμμοισοδύναμο του διαλελυμένου στοιχείου ανά λίτρο διαλύματος (eq/l)

- Τα γραμμοισοδύναμα του διαλελυμένου στοιχείου που έχουν διαλυθεί σε 1 λίτρο αρδευτικού νερού.
- Κατά την δημιουργία των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιείται για πρακτικούς λόγους μία υποδιαίρεση για τα μακροστοιχεία:
 - χιλιοστογραμμοισοδύναμο ή **meq/l**

**ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΕΤΑΞΥ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ
ΜΟΝΑΔΩΝ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΣ**

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΣ

- Σύνδεση μεταξύ φυσικών μονάδων συγκεντρώσεως (Σ) και μοριακότητας (M)
- Σύνδεση μεταξύ φυσικών μονάδων συγκεντρώσεως (Σ) και κανονικότητας (N)

Σύνδεση μεταξύ Φυσικών Μονάδων και Μοριακότητας

- $\Sigma = (MB) \cdot M$ ή $M = \Sigma / MB$
 - $\Sigma =$ η συγκέντρωση σε φυσικές μονάδες
 - $MB =$ το μοριακό βάρος του στοιχείου ή της ενώσεως
 - $M =$ η μοριακότητα
 - απαιτείται προσοχή στην αντιστοίχιση των μονάδων:
 - $g/l \longrightarrow mol/l$
 - $mg/l \longrightarrow mmol/l$

Σύνδεση μεταξύ Φυσικών Μονάδων και Κανονικότητας

- $\Sigma = (ΧΙ) * N$ ή $N = \Sigma / (ΧΙ)$
 - Σ = η συγκέντρωση σε φυσικές μονάδες
 - $ΧΙ$ = το χημικό ισοδύναμο του στοιχείου ή της ενώσεως
 - N = η κανονικότητα
 - απαιτείται προσοχή στην αντιστοίχιση των μονάδων:
 - $g/l \rightarrow eq/l$
 - $mg/l \rightarrow meq/l$

ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

Απλά ή σύνθετα λιπάσματα;

- Για την προσθήκη των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα χρησιμοποιούνται **απλά υδατοδιαλυτά 100%** λιπάσματα και οξέα.
- Για την κάλυψη των αναγκών σε σίδηρο, χρησιμοποιούνται οργανομεταλλικά σύμπλοκα (**χηλικές ενώσεις**).
- Καλλιεργητικές συγκυρίες όπως η ποιότητα του νερού, το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, οι απαιτούμενες αναλογίες μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων, κλπ, καθιστούν:

– ~~ανέφικτη την χρήση συνθέτων λιπασμάτων~~

Χρησιμοποιούμενα λιπάσματα

Λίπασμα	Χημικός τύπος	Θρεπτικά στοιχεία %	M.B	X.I.	Διαλυτότητα (kg/l, 0°C)
Νιτρική Αμμωνία	NH_4NO_3	N: 34,5	80,0	80,0	1,18
Νιτρικό Ασβέστιο	$5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]\text{NH}_4\text{NO}_3$	N: 15,5 Ca: 19	1080,5	108,05	1,02
Νιτρικό Κάλιο	KNO_3	N: 13, K:38	101,1	101,1	0,13
Νιτρικό Μαγνήσιο	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Mg: 9, N: 11	256,3	128,1	-

Λίπασμα	Χημικός τύπος	Θρεπτικά στοιχεία %	M.B	X.I.	Διαλυτότητα (kg/l, 0°C)
Νιτρικό Οξύ	HNO ₃	N: 22	63,0	63,0	-
Φωσφορικό Μονοκάλιο	KH ₂ PO ₄	P: 23, K: 28	136,1	136,1	1,67
Φωσφορικό Οξύ	H ₃ PO ₄	P: 32	98,0	98,0	-
Θειικό Κάλιο	K ₂ SO ₄	K: 45, S: 18	174,3	87,1	0,12
Θειικό Μαγνήσιο	MgSO ₄ 7H ₂ O	Mg: 9,7 S: 13	246,3	123,1	0,26
Χηλικός Σίδηρος	Fe- EDDHA	Fe: 5	1118	-	-

Λίπασμα	Χημικός τύπος	Θρεπτικά στοιχεία %	M.B	Χ.Ι.	Διαλυτότητα (kg/l, 0°C)
Χηλικός Σίδηρος	Fe-EDTA	Fe: 13	430	-	-
Χηλικός Σίδηρος	Fe-DTPA	Fe: 6	932	-	-
Θειικό Μαγγάνιο	MnSO ₄ H ₂ O	Mn: 32	169,0	-	1,05
Θειικός Ψευδάργυρος	ZnSO ₄ 7H ₂ O	Zn: 23	287,5	-	0,62
Θειικός Χαλκός	CuSO ₄ 5H ₂ O	Cu: 25	249,5	-	0,32
Βορικό Οξύ	H ₃ BO ₃	B: 17,5	61,8	-	0,050
Βόρακας (Τετραβορικό Νάτριο)	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	B: 11,0	381,2	-	0,016
Solubor (Οκταβορικό Νάτριο)	Na ₂ B ₈ O ₁₃ · 4H ₂ O	B: 20,5	412,4	-	0,045
Επταμολυβδαινικό Αμμώνιο	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	Mo: 58	1163,3	-	0,43
Μολυβδαινικό Νάτριο	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	Mo: 40	241,9	-	0,56

Λιπάσματα στην υδροπονία

- **Νιτρική αμμωνία (Ammonium nitrate)**

- Χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση του pH
- Η συγκέντρωση του αμμωνίου πρέπει να είναι πολύ χαμηλή (συνήθως $< 1 \text{ meq/l}$), έτσι προστίθεται σε μικρές ποσότητες.

➤ **pH** ↓

- **Νιτρικό ασβέστιο (Calcium nitrate)**

- Προσθήκη ασβεστίου στη καλλιέργεια
- Περιέχει και NH_4NO_3 (7,4% κατά βάρος)

Λιπάσματα στην υδροπονία

- Νιτρικό οξύ (Nitric acid)

– **pH** ↓

– Η εφαρμογή του θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Απαιτούνται Μέσα Ατομικής Προστασίας (γάντια, φόρμα εργασίας, μάσκα, γυαλιά)

Λιπάσματα στην υδροπονία

- **Φωσφορικό μονοκάλιο** (Monopotassium phosphate)
 - Προσθήκη φωσφόρου στο θρεπτικό διάλυμα
 - Μικρή **↓ pH** (απελευθέρωση ιόντων H_2PO_4^-)
- **Φωσφορικό οξύ** (Phosphoric acid)
 - Προτιμάται από το **Φωσφορικό μονοκάλιο** (φτηνότερο)
 - Η εφαρμογή του θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.
 - **↓ pH**

Λιπάσματα στην υδροπονία

- **Νιτρικό κάλιο** (Potassium nitrate)
 - κύρια πηγή K
- **Νιτρικό μαγνήσιο** (Magnesium nitrate)
 - κύρια πηγή Mg και παράλληλα διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα της συγκεντρώσεως των θειικών

Λιπάσματα στην υδροπονία

- **Θειικό Κάλιο (Potassium sulphate)**
 - Σχετικά δυσδιάλυτο
 - Συμπληρωματικά με το νιτρικό κάλιο
 - Όταν η συγκέντρωση των SO_4^{2-} είναι μεγαλύτερη του Mg
- **Θειικό μαγνήσιο (Epsom salt)**
 - Χρήση μόνο του επταϋδρικού θειικού μαγνησίου
 - Κύρια πηγή Mg^{2+} και SO_4^{2-}

Λιπάσματα στην υδροπονία

- **Χηλικός σίδηρος (Iron chelate)**

- Προστίθεται σε χηλική μορφή (οργανομεταλλικό σύμπλοκο) και όχι σε ανόργανη μορφή γιατί ο ανόργανος σίδηρος δεν είναι αφομοιώσιμος από το φυτό στα θρεπτικά διαλύματα.
- Οι κορυφές των ριζιδίων προσλαμβάνουν ολόκληρο το χηλικό μόριο μαζί με τον σίδηρο.
- Είσοδος του στο μεταβολισμό του φυτού

- **Θειικό μαγγάνιο (Manganese sulfate)**

- Χρησιμοποιείται το μονοϋδρικό θειικό μαγγάνιο λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς του σε μαγγάνιο (32%)

Λιπάσματα στην υδροπονία

- **Θειικός ψευδάργυρος (Zinc sulfate)**
 - Χρήση του επταϋδρικού θειικού ψευδαργύρου λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς του σε καθαρό ψευδάργυρο (23%)
- **Θειικός χαλκός (Copper sulfate)**
 - Στην υδροπονία χρησιμοποιείται ο πενταϋδρικός θειικός χαλκός
- **Βόρακας (Borax)**
 - Τετραβορικό άλας του νατρίου. Χρησιμοποιείται ως πηγή βορίου
- **Solubor (Sodium octaborate)**
 - πιο ευδιάλυτο από τον βόρακα

Λιπάσματα στην υδροπονία

- **Επταμολυβδαινικό αμμώνιο** (Ammonium molybdate) (54% Mo)
- **Μολυβδαινικό νάτριο** (Sodium molybdate) (40% Mo)
 - Πηγές Μολυβδαινίου

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Αφού είναι γνωστές οι συγκεντρώσεις των λιπασμάτων που προστίθενται (σε mg/l):

- Υπολογίζονται για κάθε λίπασμα οι ποσότητες (βάρος σε kg) για την παρασκευή ενός συγκεκριμένου όγκου θρεπτικού διαλύματος.
- Για τον υπολογισμό των βαρών των λιπασμάτων μακροστοιχείων εφαρμόζεται η σχέση:

$$W_{rs} = 10^{-3} [F]_{rs} E_{rs} V_{rs} A_{rs} \quad r = 1, \dots, 6, \quad s = 1, \dots, 5$$

ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

- το W_{rs} συμβολίζει το βάρος του λιπάσματος rs σε kg,
- η τιμή του r (1,...,6) υποδηλώνει κατά σειρά Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , H^+ **(ΚΑΤΙΟΝΤΑ)**
- η τιμή του s (1,...,5) υποδηλώνει κατά σειρά SO_4^{2-} , NO_3^- , $H_2PO_4^-$, HCO_3^- , Cl^- **(ΑΝΙΟΝΤΑ)**
- το $[F]_{rs}$, είναι η δοσολογία προσθήκης του λιπάσματος rs σε meq/l,
- το E_{rs} είναι το χημικό ισοδύναμο του rs λιπάσματος,
- το V_{rs} υποδηλώνει τον όγκο του πυκνού διαλύματος rs σε m^3 και
- το A_{rs} συμβολίζει την βαθμό συμπύκνωσης του πυκνού διαλύματος που περιέχει το λίπασμα rs .

ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα βάρη των λιπασμάτων των ιχνοστοιχείων υπολογίζονται με την σχέση:

$$W_j = (10^3 n_j)^{-1} [G]_j M_j V_j A_j \quad j = 1, \dots, 6 \quad \text{όπου:}$$

- το W_j είναι το βάρος του λιπάσματος του j ιχνοστοιχείου σε g,
- η τιμή του j (1, ..., 6) υποδηλώνει κατά σειρά Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo
- το n_j είναι ο αριθμός των ατόμων του j ιχνοστοιχείου στο μόριο του λιπάσματος
- το $[G]_j$ είναι η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής συγκέντρωσης και της συγκέντρωσης στο νερό για το ιχνοστοιχείο j (mmol/L),
- το M_j είναι το μοριακό βάρος του λιπάσματος του j ιχνοστοιχείου
- το V_j είναι ο όγκος του πυκνού διαλύματος του j ιχνοστοιχείου σε m^3 και
- το A_j συμβολίζει την βαθμό συμπύκνωσης του πυκνού διαλύματος που περιέχει το j ιχνοστοιχείο.

Στερεά Λιπάσματα Μακροστοιχείων

$$\Lambda = \Sigma \chi \Delta / 1.000$$

- Λ = η ποσότητα του λιπάσματος σε kg
- Σ = Συγκέντρωση του λιπάσματος σε meq/l
- χ = Χημικό ισοδύναμο λιπάσματος
- Δ = Ο τελικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος σε m³ (όγκος πυκνού * αναλογία αραίωσης)

Υγρά Λιπάσματα Μακροστοιχείων

$$Y = \frac{\Sigma X \Delta}{10 E \Pi}$$

- Y = ο όγκος του υγρού λιπάσματος σε λίτρα
- Σ = Συγκέντρωση του λιπάσματος σε mg/l
- X = Χημικό ισοδύναμο λιπάσματος
- Δ = Ο τελικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος σε m^3 (όγκος πυκνού * αναλογία αραίωσης)
- E = το ειδικό βάρος του λιπάσματος
- Π = η % περιεκτικότητα του σκευάσματος σε καθαρό υγρό λίπασμα

Λιπάσματα Μικροστοιχείων

Συγκέντρωση του ιχνοστοιχείου σε $\mu\text{mol/L}$

$$\Lambda = \Sigma (M/n) \Delta / 1.000$$

- Λ = ποσότητα του λιπάσματος σε g)
- Σ = συγκέντρωση του λιπάσματος σε $\mu\text{mol/L}$
- M = μοριακό βάρος λιπάσματος
- Δ = τελικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος σε m^3 (όγκος πυκνού * αναλογία αραίωσης)
- n = αριθμός των ατόμων του ιχνοστοιχείου που συμμετέχουν στο μόριο της χημικής έβωσης του λιπάσματος

Λιπάσματα Μικροστοιχείων

Συγκέντρωση του ιχνοστοιχείου σε mg/L

$$\Lambda = \Sigma \Delta 100 / \Pi$$

- Λ = ποσότητα του λιπάσματος σε g)
- Σ = συγκέντρωση του λιπάσματος σε mg/L
- Π = % καθαρή περιεκτικότητα του λιπάσματος στο ιχνοστοιχείο
- Δ = τελικός όγκος του θρεπτικού διαλύματος σε m³ (όγκος πυκνού * αναλογία αραίωσης)