

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ
ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Δημήτρης Σάββας

Αναπληρωτής Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΑΘΗΝΑ 2012

1. Καθορισμός σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος

Τα ανώτερα φυτά έχουν ανάγκη από 16 χημικά στοιχεία για να αναπτυχθούν και να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο. Από τα στοιχεία αυτά, τα 9 είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες και ονομάζονται μακροστοιχεία ενώ τα υπόλοιπα 7 είναι απαραίτητα μόνο σε ίχνη, δηλαδή σε πολύ μικρότερες ποσότητες σε σχέση με τα μακροστοιχεία και γι' αυτό ονομάζονται ιχνοστοιχεία. Τα μακροστοιχεία είναι ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), και το μαγνήσιο (Mg). Τα ιχνοστοιχεία είναι ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn) ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu) το βόριο (B), το μολυβδαίνιο (Mo) και το χλώριο (Cl).

Εκτός από τον άνθρακα, όλα τα άλλα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στα φυτά περιέχονται είτε ως συστατικά (H, O) είτε σε διαλυμένη μορφή στο εδαφικό νερό και από εκεί προσλαμβάνονται από τις ρίζες. Αν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία προστεθούν σε νερό σε κατάλληλες ποσότητες, προκύπτει ένα υδατικό διάλυμα το οποίο καλείται θρεπτικό διάλυμα γιατί μπορεί να καλύψει πλήρως τις θρεπτικές ανάγκες των φυτών.

Για να παρασκευασθεί ένα θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει αρχικά να καθορισθεί πλήρως η επιθυμητή του σύνθεση με βάση είτε τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του συγκεκριμένου φυτού σε θρεπτικά στοιχεία είτε συγκεκριμένες ερευνητικές ή άλλες σκοπιμότητες. Η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος είναι ορισμένη όταν έχουν καθορισθεί επιθυμητές τιμές (τιμές-στόχοι) για τα παρακάτω χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος:

- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ως μέτρο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα.
- Τιμή pH στο θρεπτικό διάλυμα.
- Επίπεδα K, Ca και Mg στο θρεπτικό διάλυμα. Για τον καθορισμό τους υπάρχουν δύο εναλλακτικές επιλογές:
 - αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) η οποία συμβολίζεται με X:Y:Z, ή
 - συγκεντρώσεις (mmol/L) για το καθένα από τα τρία μακροκατιόντα,
- Καθορισμός επιπέδων αζώτου. Ο καθορισμός του επιθυμητού επιπέδου αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να γίνει με τέσσερις εναλλακτικούς τρόπους:
 - καθορισμός αναλογίας ολικού αζώτου προς κάλιο, δηλ. N:K (R , mol/mol) και αναλογίας αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο (N_r , mol/mol),
 - καθορισμός αναλογίας ολικού αζώτου προς κάλιο (R , mol/mol) και συγκεκριμένης συγκέντρωσης (mmol/L) αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_4\text{-N}$),

- καθορισμός επιθυμητής συγκέντρωσης (mmol/L) νιτρικού αζώτου ($\text{NO}_3\text{-N}$) και αναλογίας αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο (N_T , mol/mol),
- καθορισμός επιθυμητών συγκεντρώσεων (mmol/L) τόσο για το νιτρικό ($\text{NO}_3\text{-N}$) όσο και για το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_4\text{-N}$).
- συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων (H_2PO_4^- σε mmol/L), και
- συγκεντρώσεις ($\mu\text{mol/L}$) ιχνοστοιχείων ($[G]_{ij}$, όπου $j = \text{Fe, Mn, Zn, Cu, B}$ και Mo).

Εκτός από τις παραπάνω τιμές που είναι επιλεγόμενες, για να υπολογισθούν οι ποσότητες των λιπασμάτων που είναι αναγκαίες για την παρασκευή του συγκεκριμένου θρεπτικού διαλύματος πρέπει να είναι γνωστά και τα εξής δεδομένα:

- 1) η περιεκτικότητα του νερού σε όλα τα ανόργανα διαλυτά συστατικά που σχετίζονται με την θρέψη του φυτού,
- 2) το pH του νερού,
- 3) η εκατοστιαία περιεκτικότητα του χηλικού σιδήρου σε ανόργανο Fe (P_{Fe}) και
- 4) επιθυμητό λίπασμα για την προσθήκη ορισμένων θρεπτικών στοιχείων.

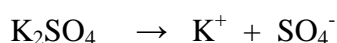
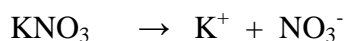
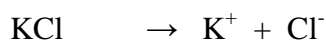
2. Δυσκολίες κατάρτισης σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος σε μακροστοιχεία

Ακόμη και αν έχουν καθοριστεί συγκεκριμένες τιμές για όλα τα παραπάνω δεδομένα, ο υπολογισμός των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων και η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες για τον μη ειδικό. Οι δυσκολίες οφείλονται στους παρακάτω λόγους:

2.1. Σύνδεση ανιόντων - κατιόντων

Χορήγηση ενός ιόντος συνοδεύεται απαραίτητα από την χορήγηση ενός άλλου ιόντος αντίθετου φορτίου στην ίδια κανονική συγκέντρωση. Παράδειγμα: Προσθήκη καλίου (K).

Υπάρχουν οι εξής δυνατές επιλογές:



2.2. Σύσταση νερού άρδευσης

Συχνά το νερό άρδευσης περιέχει σημαντικές ποσότητες των θρεπτικών μακροστοιχείων Ca, Mg, S-SO₄²⁻, των ιχνοστοιχείων Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, B και Cl⁻, καθώς και των μη θρεπτικών μακροϊόντων HCO₃⁻ και Na⁺. Μερικές φορές οι συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων στο νερό προσεγγίζουν ή υπερβαίνουν τις τιμές - στόχο για το θρεπτικό διάλυμα. Επομένως πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τους υπολογισμούς.

2.3. Ρύθμιση pH

Η παρουσία HCO₃⁻ στο νερό άρδευσης το καθιστά αλκαλικό. Για να μειωθεί το pH του νερού απαιτείται η προσθήκη οξέως (H⁺) για την απομάκρυνση των ιόντων HCO₃⁻. Η παροχή H⁺ όμως συνοδεύεται και από την προσθήκη ενός ανιόντος (συνήθως NO₃⁻) που πρέπει να συνυπολογισθεί στις χορηγούμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων.

3. Υπολογισμός θρεπτικού διαλύματος

Οι δυσκολίες που εκτέθηκαν παραπάνω έχουν οδηγήσει στην δημιουργία κατάλληλων προγραμμάτων H/Y τα οποία επιτρέπουν τον εύκολο και γρήγορο υπολογισμό των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος με δεδομένη επιθυμητή σύνθεση. Η επιθυμητή σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος θεωρείται δεδομένη εφόσον έχουν οριστεί συγκεκριμένες τιμές για τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

3.1. Γενικές αρχές

Το πρόγραμμα περιλαμβάνεται σε ένα φύλλο ενός αρχείου EXCEL της Microsoft. Όλες οι περιοχές του φύλλου που είναι επισημασμένες με πράσινο χρώμα αντιστοιχούν σε δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα από τον χρήστη ως πληροφορίες ή επιθυμητές τιμές. Αντίστοιχα, όλες οι περιοχές που είναι επισημασμένες με γαλάζιο χρώμα αντιστοιχούν στο αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή του προγράμματος και συνιστούν την συνταγή παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος. Τα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Το θεωρητικό υπόβαθρο καθώς και η χημική και μαθηματική τεκμηρίωση του προγράμματος υπολογισμού θρεπτικών διαλυμάτων εκτίθενται αναλυτικά σε δύο δημοσιευμένες εργασίες (Savvas and Adamidis, 1999 και Savvas, 2001).

3.2. Συμβολισμοί

Όλα τα εισαγόμενα δεδομένα που προσδιορίζονται με σύμβολα περιγράφονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1. Επεξηγήσεις συμβόλων.

V_r, m^3	Όγκος πυκνών διαλυμάτων A, B και οξέως σε κυβικά μέτρα (m^3)
A	Αναμενόμενη ή επιθυμητή αναλογία αραίωσης πυκνών διαλυμάτων (αντιστοιχεί στον συντελεστή συμπύκνωσης που υποδηλώνει πόσες φορές πυκνότερο είναι το συγκεκριμένο πυκνό διάλυμα σε σύγκριση με το αραιωμένο τελικό διάλυμα που χορηγείται στα φυτά).
E_t	Η επιθυμητή ηλεκτρική αγωγιμότητα του τελικού θρεπτικού διαλύματος που χορηγείται στα φυτά (διάλυμα τροφοδοσίας) σε dS/m.
X (K)	Επιθυμητή αναλογία καλίου στο σύνολο των θρεπτικών μακροκατιόντων (K+Ca+Mg) σε μοριακή βάση (mol/mol). Μαθηματικά ορίζεται ως εξής: $X = C_K / (C_K + C_{Ca} + C_{Mg})$ όπου C υποδηλώνει συγκέντρωση σε mmol/L.
Y (Ca)	Επιθυμητή αναλογία ασβεστίου στο σύνολο των θρεπτικών μακροκατιόντων (K+Ca+Mg) σε μοριακή βάση (mol/mol). Μαθηματικά ορίζεται ως εξής: $Y = C_{Ca} / (C_K + C_{Ca} + C_{Mg})$ όπου C υποδηλώνει συγκέντρωση σε mmol/L.
Z (Mg)	Επιθυμητή αναλογία μαγνησίου στο σύνολο των θρεπτικών μακροκατιόντων (K+Ca+Mg) σε μοριακή βάση (mol/mol). Μαθηματικά ορίζεται ως εξής: $Z = C_{Mg} / (C_K + C_{Ca} + C_{Mg})$ όπου C υποδηλώνει συγκέντρωση σε mmol/L.
R (total-N/K)	Επιθυμητή αναλογία ολικού αζώτου ($NH_4-N + NO_3-N$) προς κάλιο (K) στο θρεπτικό διάλυμα, σε μοριακή βάση (mol/mol)..
$N_r (NH_4/\text{total-N})$	Επιθυμητή αναλογία αμμωνιακού αζώτου (NH_4-N) στο σύνολο του αζώτου που περιέχεται στο θρεπτικό διάλυμα ($NH_4-N + NO_3-N$) σε μοριακή βάση (mol/mol).
$[K], [Ca], [Mg], [NO_3], [NH_4]$	Επιθυμητές συγκεντρώσεις καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, νιτρικού αζώτου και αμμωνιακού αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα σε mmol/L.

$[H_2PO_4^-]$	Επιθυμητή συγκέντρωση φωσφόρου στο θρεπτικό διάλυμα σε mmol/L.
$[Fe]_t$	Επιθυμητή συγκέντρωση σιδήρου στο θρεπτικό διάλυμα σε $\mu\text{mol/L}$.
$[Mn]_t$	Επιθυμητή συγκέντρωση μαγγανίου στο θρεπτικό διάλυμα σε $\mu\text{mol/L}$.
$[Zn]_t$	Επιθυμητή συγκέντρωση ψευδαργύρου στο θρεπτικό διάλυμα σε $\mu\text{mol/L}$.
$[Cu]_t$	Επιθυμητή συγκέντρωση χαλκού στο θρεπτικό διάλυμα σε $\mu\text{mol/L}$.
$[B]_t$	Επιθυμητή συγκέντρωση βορίου στο θρεπτικό διάλυμα σε $\mu\text{mol/L}$.
$[Mo]_t$	Επιθυμητή συγκέντρωση μολυβδαινίου στο θρεπτικό διάλυμα σε $\mu\text{mol/L}$.
Καθαρό HNO_3	% κατά βάρος καθαρό νιτρικό οξύ στο εμπορικό σκεύασμα νιτρικού οξέως που χρησιμοποιείται ως λίπασμα.
Καθαρό H_3PO_4	% κατά βάρος καθαρό φωσφορικό οξύ στο εμπορικό σκεύασμα φωσφορικού οξέως που χρησιμοποιείται ως λίπασμα.
% Fe στον χηλικό σίδηρο	% κατά βάρος καθαρός σίδηρος στο εμπορικό σκεύασμα χηλικού σιδήρου που χρησιμοποιείται ως λίπασμα.
Χημική σύσταση νερού	Ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH και συγκεντρώσεις επιμέρους στοιχείων και ιόντων στο νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος (Ca, Mg, K, NH_4 , Na, SO_4 , NO_3 , H_2PO_4 , HCO_3 και Cl σε mmol/L, Fe, Mn, Zn, Cu, B και Mo σε $\mu\text{mol/L}$).
KNO_3 στο Π.Δ. A (%)	Επιθυμητό ποσοστό νιτρικού καλίου (σε βάρος) που θα τοποθετηθεί στο δοχείο A. Το υπόλοιπο νιτρικό κάλιο θα τοποθετηθεί στο δοχείο B (το αντίστοιχο ποσοστό υπολογίζεται αυτόματα). Το ποσοστό του νιτρικού καλίου στο δοχείο A πρέπει να λαμβάνει τέτοια τιμή, ώστε το συνολικό βάρος των λιπασμάτων στο δοχείο A να ισούται κατά προσέγγιση με το αντίστοιχο βάρος στο δοχείο B.

Κατά τον υπολογισμό των μαζών των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος για ανοιχτό υδροπονικό σύστημα, οι παραπάνω επιθυμητές τιμές EC, pH, αναλογιών κύριων θρεπτικών στοιχείων και συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων αναφέρονται στο τελικό θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται στα φυτά (διάλυμα τροφοδοσίας). Οι τιμές που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα για τα παραπάνω μεγέθη θα πρέπει να είναι εφικτές (κατά ένα μέρος αυτό εξαρτάται από την σύσταση του χρησιμοποιούμενου νερού σε κάθε περίπτωση) και συμβατές μεταξύ τους. Αν αυτή η προϋπόθεση δεν πληρείται, το

πρόγραμμα μπορεί να δώσει αρνητική μάζα για κάποια λιπάσματα, κάτι που είναι φυσικά ανέφικτο σε συνθήκες καλλιεργητικής πράξης. Στην περίπτωση αυτή τα επιθυμητά δεδομένα θα πρέπει να τροποποιούνται κατάλληλα, ώστε να προκύπτουν θετικές τιμές βάρους για όλα τα λιπάσματα. Είναι προφανές για παράδειγμα ότι η συγκέντρωση ασβεστίου ή μαγνησίου στο θρεπτικό διάλυμα δεν μπορεί να είναι χαμηλότερη από τις αντίστοιχες τιμές στο χρησιμοποιούμενο νερό.

Το σύνολο των συγκεντρώσεων των κατιόντων θρεπτικών στοιχείων (σε meq/L) στο νερό άρδευσης θα πρέπει να ισούται με το αντίστοιχο σύνολο των ανιόντων. Αν αυτό δεν συμβαίνει και η διαφορά είναι μεγαλύτερη από 0,2 meq/L, τότε το πρόγραμμα προβάλλει αντίστοιχο μήνυμα. Αυτό σημαίνει ότι η ανάλυση νερού δεν ήταν ακριβής και θα πρέπει να επαναληφθεί, πιθανόν σε ένα άλλο, πιο αξιόπιστο εργαστήριο. Μικρές αποκλίσεις μέχρι 1 meq/L μπορούν να εξισορροπούνται και κατ' εκτίμηση από τον χρήστη του προγράμματος.

4. Βιβλιογραφία

- Savvas, D. and C. Adamidis, 1999. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition* 22 (9): 1415-1432.
- Savvas, D., 2001. Nutritional Management of Vegetables and Ornamental Plants in Hydroponics. In: Dris, R. Niskanen, R., and S.M. Jain (Eds). *Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Products. Volume I: Quality Management*. Science Publishers, Enfield, N.H., U.S.A.: pp. 37-87.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Συνιστώμενα χαρακτηριστικά θρεπτικών
διαλυμάτων για δύο αντιπροσωπευτικά είδη κηπευτικών**

Πίνακας 1. Αριθμητικά δεδομένα για την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας για καλλιέργειες τομάτας σε ανοιχτά και κλειστά υδροπονικά συστήματα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} , των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$ και οι μεταξύ τους αναλογίες σε γραμμομοριακή βάση.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Διαβροχή υποστρώματος	Βλαστικό στάδιο	Άνθηση 1 ^{ου} άνθους 3 ^{ης}	Άνθηση 1 ^{ου} άνθους 5 ^{ης}	Μετά την άνθηση του 1 ^{ου} άνθους της 10 ^{ης}
		(μέχρι άνθηση 1 ^{ου} άνθους 3 ^{ης} ταξιανθίας)	μέχρι άνθηση 1 ^{ου} άνθους 5 ^{ης} ταξιανθίας	μέχρι άνθηση 1 ^{ου} άνθους 10 ^{ης} ταξιανθίας	τάξιανθίας
EC *	2,80	2,50	2,40	2,40	2,30
pH	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
[K ⁺]	6,80	7,00	7,50	8,00	7,50
[Ca ²⁺]	6,40	5,10	4,70	4,50	4,40
[Mg ²⁺]	3,00	2,40	2,20	2,10	2,00
[NH ₄ ⁺]	0,80	1,50	1,20	1,20	1,20
[SO ₄ ²⁻]	4,50	3,60	4,10	4,00	3,60
[NO ₃]	15,50	14,30	12,30	12,40	12,30
[H ₂ PO ₄ ⁻]	1,40	1,50	1,50	1,50	1,50
[Fe]	20,0	15,00	15,00	15,00	15,00
[Mn]	12,00	10,00	10,00	10,00	10,00
[Zn]	6,00	5,00	5,00	5,00	4,00
[Cu]	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70
[B]	40,00	35,00	30,00	30,00	25,00
[Mo]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
[K] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,42	0,48	0,52	0,55	0,54
[Ca] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,40	0,35	0,33	0,31	0,32
[Mg] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,20	0,17	0,15	0,14	0,14
([NH ₄]+[NO ₃]) : [K]	2,40	2,25	1,80	1,70	1,80
[NH ₄] : ([NH ₄]+[NO ₃])	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09

* Οι τιμές της EC αντιστοιχούν σε 1 - 2 mmol L^{-1} NaCl στο νερό άρδευσης. Αν η συγκέντρωση NaCl στο νερό άρδευσης είναι υψηλότερη, η EC θα πρέπει να αναπροσαρμόζεται λαμβάνοντας υπόψη ότι, για κάθε αύξηση της συγκέντρωσης NaCl κατά 0,85 mmol L^{-1} στο νερό άρδευσης, η EC θα πρέπει να αυξάνεται κατά 0,1 dS m^{-1} .

Πίνακας 2. Μέσες αναμενόμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών μακροστοιχείων (mmol L^{-1}) και ιχνοστοιχείων ($\mu\text{mol L}^{-1}$) καθώς και αντιστοιχούσες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, dS m^{-1}) και αναλογιών μακροστοιχείων (γραμμομοριακή βάση) σε καλλιέργειες τομάτας εκτός εδάφους σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών*.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος	Βλαστικό στάδιο (μέχρι άνθηση 1 ^{ου} άνθους 3 ^{ης} ταξιανθίας)	Άνθηση 1 ^{ου} άνθους 3 ^{ης} μέχρι άνθηση 1 ^{ου} άνθους 5 ^{ης} ταξιανθίας	Άνθηση 1 ^{ου} άνθους 5 ^{ης} μέχρι άνθηση 1 ^{ου} άνθους 10 ^{ης} ταξιανθίας	Μετά την άνθηση του 1 ^{ου} άνθους της 10 ^{ης} ταξιανθίας
EC *	2,00	1,90	1,85	1,80
K ⁺	6,40	7,00	7,50	7,00
Ca ²⁺	3,10	2,60	2,30	2,40
Mg ²⁺	1,50	1,30	1,10	1,00
NH ₄ ⁺	1,60	1,40	1,40	1,40
SO ₄ ²⁻	1,50	1,65	1,50	1,50
NO ₃ ⁻	12,40	11,20	11,00	10,50
H ₂ PO ₄ ⁻	1,30	1,20	1,20	1,20
[Fe] _t	15,00	15,00	15,00	12,00
[Mn] _t	10,00	10,00	10,00	8,00
[Zn] _t	4,00	4,00	4,00	3,50
[Cu] _t	0,80	0,80	0,70	0,70
[B] _t	20,00	20,00	20,00	20,00
[Mo] _t	0,50	0,50	0,50	0,50
[K] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,58	0,64	0,69	0,67
[Ca] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,28	0,24	0,21	0,23
[Mg] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,14	0,12	0,10	0,10
([NH ₄]+[NO ₃]) : [K]	2,20	1,80	1,65	1,70
[NH ₄] : ([NH ₄]+[NO ₃])	0,11	0,11	0,11	0,12

* Οι παραπάνω μέσες συγκεντρώσεις απορρόφησης ισχύουν κατά προσέγγιση για μέσες κλιματικές συνθήκες (Άνοιξη - Φθινόπωρο). Σε συνθήκες πολύ χαμηλής ή πολύ έντονης ηλιοφάνειας είναι ανάλογα αυξημένες ή μειωμένες και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κυρίως ως αναλογίες και όχι ως απόλυτες συγκεντρώσεις απορρόφησης.

Πίνακας 3. Συνιστώμενες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων (mmol L^{-1}) και ιχνοστοιχείων ($\mu\text{mol L}^{-1}$), καθώς και τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E_{tr}), pH και αναλογιών μακροστοιχείων στο περιβάλλον των ριζών τομάτας που καλλιεργείται εκτός εδάφους σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

Θρεπτικό στοιχείο	Βλαστικό στάδιο			Μετά την άνθηση του 1 ^{ου} άνθους της 10 ^{ης} ταξιανθίας
	(μέχρι άνθηση του 1 ^{ου} άνθους της 3 ^{ης} ταξιανθίας)	Μέχρι άνθηση του 1 ^{ου} άνθους της 6 ^{ης} ταξιανθίας	Μέχρι άνθηση του 1 ^{ου} άνθους της 10 ^{ης} ταξιανθίας	
E_{tr} (dS m^{-1})	3,20	3,40	3,50	3,70
pH	5,80 – 6,70	5,80 – 6,70	5,80 – 6,70	5,80 – 6,70
K^+	7,50	8,20	8,50	8,80
Ca^{2+}	7,80	8,00	8,00	8,50
Mg^{2+}	3,40	3,40	3,50	3,60
NH_4^+	<0,80	<0,50	<0,50	<0,50
Na^+	<6,00	<8,00	<9,00	<10,00
SO_4^{2-}	5,00	6,75	6,75	7,40
NO_3^-	19,00	16,50	16,50	17,25
H_2PO_4^-	1,00	1,00	1,00	1,00
$[\text{Fe}]_t$	25,00	25,00	25,00	20,00
$[\text{Mn}]_t$	8,00	8,00	8,00	6,00
$[\text{Zn}]_t$	7,00	7,00	7,00	8,00
$[\text{Cu}]_t$	0,80	0,80	0,80	1,00
$[\text{B}]_t$	50,00	50,00	50,00	60,00
$[\text{Mo}]_t$	-	-	-	-
$[\text{Cl}]_t$	<6,00	<8,00	<10,00	<12,00
$[\text{K}] : ([\text{K}] + [\text{Ca}] + [\text{Mg}])$	0,40	0,42	0,43	0,42
$[\text{Ca}] : ([\text{K}] + [\text{Ca}] + [\text{Mg}])$	0,42	0,41	0,40	0,41
$[\text{Mg}] : ([\text{K}] + [\text{Ca}] + [\text{Mg}])$	0,18	0,17	0,17	0,17
$([\text{NH}_4] + [\text{NO}_3]) : [\text{K}]$	2,40	2,10	2,00	2,05

Πίνακας 4. Αριθμητικά δεδομένα για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων και τον έλεγχο της θρέψης των φυτών σε καλλιέργειες αγγουριάς σε ανοιχτά και κλειστά υδροπονικά συστήματα. Παρατίθενται δεδομένα για το διάλυμα τροφοδοσίας (Δ.Τ.), τις εκτιμώμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης (Σ.Α.) και το διάλυμα ριζοστρώματος (Δ.Ρ.). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) δίνεται σε dS m^{-1} , οι συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων σε mmol L^{-1} , των ιχνοστοιχείων σε $\mu\text{mol L}^{-1}$ και οι μεταξύ τους αναλογίες σε γραμμομοριακή βάση.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά	Διαβροχή υποστρώματος	Βλαστικό στάδιο			Στάδιο καρποφορίας		
		Δ.Τ.	Σ.Α.**	Δ.Ρ.	Δ.Τ.	Σ.Α.**	Δ.Ρ.
EC *	2,40	2,20	1,90	2,50	2,10	1,80	2,70
pH	5,60	5,60	-	5,30 - 6,40	5,60	-	5,20 - 6,40
[K ⁺]	6,30	6,20	6,00	6,40	7,20	6,50	8,00
[Ca ²⁺]	5,00	4,15	3,20	6,00	3,40	2,60	5,50
[Mg ²⁺]	2,00	1,60	1,10	2,30	1,40	1,00	2,50
[NH ₄ ⁺]	0,80	1,40	1,60	<0,50	1,40	1,50	1,50
[SO ₄ ²⁻]	1,90	1,30	1,00	2,20	1,40	1,00	2,60
[NO ₃]	15,60	14,75	12,50	17,00	13,70	11,50	17,20
[H ₂ PO ₄]	1,20	1,25	1,20	1,00	1,20	1,20	1,00
[Fe]	20,00	15,00	15,00	25,00	15,00	15,00	25,00
[Mn]	12,00	10,00	10,00	8,00	10,00	10,00	7,00
[Zn]	6,00	5,00	5,00	7,00	5,00	5,00	8,00
[Cu]	0,80	0,80	0,80	1,30	0,80	0,70	1,50
[B]	40,00	25,00	30,00	50,00	25,00	25,00	50,00
[Mo]	0,50	0,50	0,50	-	0,50	0,50	-
[K] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,47	0,52	0,58	0,44	0,60	0,64	0,50
[Ca] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,38	0,35	0,31	0,40	0,28	0,26	0,34
[Mg] : ([K]+[Ca]+[Mg])	0,15	0,13	0,11	0,16	0,12	0,10	0,16
([NH ₄]+[NO ₃]) : [K]	2,60	2,60	2,35	2,65	2,10	2,00	2,15
[NH ₄] : ([NH ₄]+[NO ₃])	0,05	0,09	0,11	-	0,09	0,12	-

* Οι τιμές της EC αντιστοιχούν σε 1 - 2 mmol L^{-1} NaCl στο νερό άρδευσης. Αν η συγκέντρωση NaCl στο νερό άρδευσης είναι υψηλότερη, η EC θα πρέπει να αναπροσαρμόζεται λαμβάνοντας υπόψη ότι, για κάθε αύξηση της συγκέντρωσης NaCl κατά 0,85 mmol L^{-1} στο νερό άρδευσης, η EC θα πρέπει να αυξάνεται κατά 0,1 dS m^{-1} .

** Οι παραπάνω μέσες συγκεντρώσεις απορρόφησης ισχύουν κατά προσέγγιση για μέσες κλιματικές συνθήκες (Άνοιξη - Φθινόπωρο). Σε συνθήκες πολύ χαμηλής ή πολύ έντονης ηλιοφάνειας είναι ανάλογα αυξημένες ή μειωμένες και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κυρίως ως αναλογίες και όχι ως απόλυτες συγκεντρώσεις απορρόφησης.