



Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών

Εγχειρίδιο Υδροπονίας

Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ





Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών

Εγχειρίδιο Υδροπονίας

Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ

Λευκωσία, 2014

Ετοιμασία Έκδοσης:

Δρ Δαμιανός Νεοκλέους
Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών

**Συντονισμός έκδοσης και
γλωσσική επιμέλεια:**

Ερμούλλα Χριστοδούλου
Λειτουργός Τύπου και Πληροφοριών Α΄

Δημήτρης Χάσιος
Λειτουργός Τύπου και Πληροφοριών

Σχεδιασμός:

Δώρα Κλεάνθους-Φαρσίδη
Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών

Φωτογραφίες:

Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών



Γ.Τ.Π. 102/2014–50

ISBN 978-9963-50-261-5

Εκδόθηκε από το Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών

Εκτύπωση: Κώνος Λτδ

Περιεχόμενα

Πρόλογος	5
<i>Δ. Σάββας</i>	
Εισαγωγή	7
<i>Δ. Νεοκλέους</i>	
Γενικές έννοιες και ορισμοί	9
<i>Γ. Χ"Κωνσταντής, Γ. Σάρδαλου, Ν. Μιχαήλ</i>	
Εξοπλισμός υδροπονικής μονάδας	19
<i>Γ. Νικολάου, Σ. Σωτηρίου, Δ. Νεοκλέους</i>	
Θρεπτικά διαλύματα	27
<i>Χ. Ανδρέου, Δ. Νεοκλέους</i>	
Άρδευση – Τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος.....	52
<i>Γ. Νικολάου, Δ. Νεοκλέους</i>	
Θρέψη φυτού	59
<i>Α. Νικολάου, Α. Λουκαϊδης, Δ. Νεοκλέους</i>	
Ανακύκλωση θρεπτικού διαλύματος	72
<i>Δ. Νεοκλέους</i>	
Φυτοϋγεία	80
<i>Σ. Λάμπρου, Γ. Παρασκευάς</i>	
Περιβάλλον θερμοκηπίου	93
<i>Γ. Κύζας, Κ. Κκάμαρης, Α. Παύλου</i>	
Πρακτικές συμβουλές	98
<i>Γ. Παρασκευάς, Δ. Νεοκλέους</i>	
Βιβλιογραφία	102

Ομάδα Συγγραφής

Δαμιανός Νεοκλέους,

Ανώτερος Λειτουργός Γεωργικών Ερευνών,
Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών

Γεώργιος Χ' Κωνσταντίνης,

Λειτουργός Γεωργίας Α', Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Αμμοχώστου, Τμήμα Γεωργίας

Γεωργία Σάρδαλου,

Λειτουργός Γεωργίας, Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Αμμοχώστου, Τμήμα Γεωργίας

Νικολέττα Μιχαήλ,

Λειτουργός Γεωργίας, Κλάδος Οπωροκηπευτικών,
Τμήμα Γεωργίας

Γεώργιος Νικολάου,

Λειτουργός Γεωργίας, Κλάδος Χρήσης Γης και Ύδατος,
Τμήμα Γεωργίας

Σωτήρης Σωτηρίου,

Λειτουργός Γεωργίας, Κλάδος Προστασίας Φυτών και
Μελισσοκομίας, Τμήμα Γεωργίας

Χρυστάλλα Ανδρέου,

Λειτουργός Γεωργίας, Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Ποσειδίας, Τμήμα Γεωργίας

Αλέκος Νικολάου,

Λειτουργός Γεωργίας, Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Λάρνακας, Τμήμα Γεωργίας

Ανδρέας Λουκαΐδης,

Λειτουργός Γεωργίας Α', Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Πάφου, Τμήμα Γεωργίας

Στέλλα Λάμπρου,

Λειτουργός Γεωργίας Α', Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Λευκωσίας, Τμήμα Γεωργίας

Γιώργος Παρασκευάς,

Λειτουργός Γεωργίας, Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Λάρνακας, Τμήμα Γεωργίας

Γιάννης Κύζας,

Λειτουργός Γεωργίας, Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Λευκωσίας, Τμήμα Γεωργίας

Κυριάκος Κκάμαρης,

Λειτουργός Γεωργίας, Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Λεμεσού, Τμήμα Γεωργίας

Ανδρέας Παύλου,

Λειτουργός Γεωργίας Α', Επαρχιακό Γεωργικό Γραφείο
Πάφου, Τμήμα Γεωργίας

Πρόλογος

Στη Βόρεια Ευρώπη, και ιδιαίτερα στην Ολλανδία, η καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους (soilless culture), γνωστή και ως υδροπονία (hydroponics), συγκέντρωσε το ενδιαφέρον των παραγωγών θερμοκηπίων ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1960. Η χρήση τεχνολογικού εξοπλισμού υψηλού επιπέδου στα θερμοκήπια των χωρών αυτών επέβαλε τη μεταπήδηση σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, ώστε τα εδαφογενή παθογόνα και η γονιμότητα του εδάφους, καθώς και η καλή θρέψη των φυτών, να μην αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες στην επίτευξη υψηλών αποδόσεων.

Αντίθετα, η μεσογειακή Ευρώπη είναι συνηθισμένη να παράγει λαχανικά και άνθη εκτός εποχής σε χαμηλού κόστους κατασκευές κυρίως, εκμεταλλευόμενη τις ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις χώρες αυτές, μολοντί έτσι δεν διασφαλίζονται ούτε υψηλές αποδόσεις ούτε ικανοποιητική ποιότητα προϊόντων. Κατά συνέπεια, στις χώρες της Μεσογείου οι περισσότεροι παραγωγοί δεν είναι ιδιαίτερα πρόθυμοι να επενδύσουν εγκαθιστώντας σύγχρονο εξοπλισμό στα θερμοκήπια τους και συνεπώς διστάζουν να αναλάβουν το κόστος εγκατάστασης του εξοπλισμού που απαιτεί η καλλιέργεια εκτός εδάφους. Γι' αυτό τον λόγο η εξάπλωση της υδροπονίας στις μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων της Ελλάδας και της Κύπρου, άρχισε με χρονική καθυστέρηση και βαίνει μέχρι σήμερα με σημαντικά πιο αργούς ρυθμούς.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, όμως, παρατηρείται και στην Ελλάδα καθώς και στην Κύπρο ένα σταθερά αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις υδροπονικές καλλιέργειες. Το ενδιαφέρον αυτό παρατηρείται τόσο μεταξύ των παραγωγών θερμοκηπίων, των γεωπόνων, των εμπορικών εταιρειών που σχετίζονται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό με τα θερμοκήπια, όσο και των κρατικών φορέων που έχουν ρυθμιστικό ή συμβουλευτικό ρόλο στον κλάδο της θερμοκηπιακής παραγωγής. Το ενδιαφέρον αυτό αντικατοπτρίζεται και στη σταθερή αύξηση της έκτασης των ελληνικών και κυπριακών θερμοκηπίων στα οποία υιοθετούνται συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους. Αν και στην Ελλάδα δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, υπολογίζεται ότι η εκτός εδάφους καλλιέργεια κηπευτικών και δρεπτών ανθέων στα ελληνικά θερμοκήπια υπερβαίνει τα 1.500 στρέμματα σε ένα σύνολο θερμοκηπιακών καλλιεργειών που προσεγγίζει περίπου τα 55.000 στρέμματα. Αντίστοιχη ανάπτυξη των υδροπονικών καλλιεργειών παρατηρείται και στην Κύπρο, όπου με βάση τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία υπολογίζεται ότι αυτές καταλαμβάνουν μια έκταση 500 στρεμμάτων περίπου σε σύνολο 3.500 στρεμμάτων με θερμοκήπια.

Τα πιο πάνω δεδομένα δείχνουν ότι η έκταση που καταλαμβάνουν οι υδροπονικές καλλιέργειες τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Κύπρο είναι ακόμη αρκετά περιορισμένη σε σύγκριση με άλλες χώρες και επομένως υπάρχουν πολύ μεγάλα περιθώρια περαιτέρω

αύξησης της. Η πίεση που ασκεί το έντονα ανταγωνιστικό διεθνές περιβάλλον στους παραγωγούς θερμοκηπίων όσον αφορά τόσο το κόστος παραγωγής όσο και την ποιότητα των προϊόντων, αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των υδροπονικών καλλιεργειών τα επόμενα χρόνια, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Κύπρο. Ήδη τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα έχουν δημιουργηθεί μεγάλες θερμοκηπιακές μονάδες με υδροπονικές καλλιεργείες κατά τα πρότυπα των ολλανδικών θερμοκηπίων και η τάση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί.

Ένας από τους περιοριστικούς παράγοντες για την περαιτέρω ανάπτυξη των υδροπονικών καλλιεργειών τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Κύπρο είναι το υπάρχον επίπεδο της τεχνογνωσίας στον συγκεκριμένο τομέα. Η καλλιέργεια εκτός εδάφους αποτελεί μία σύγχρονη και όχι παραδοσιακή μορφή καλλιέργειας, η οποία βασίζεται στην εφαρμογή εξελιγμένων τεχνολογικών μεθόδων και ειδικού εξοπλισμού και απαιτεί ειδικές γνώσεις για να αποδώσει τα πλεονεκτήματα που διαθέτει.

Αντιλαμβανόμενοι την παραπάνω αδήριτη ανάγκη, το Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωργίας της Κυπριακής Κυβέρνησης ανέλαβαν την πρωτοβουλία διοργάνωσης επιμορφωτικού σεμιναρίου, μακράς διάρκειας, πάνω στις υδροπονικές καλλιεργείες. Στο σεμινάριο αυτό είχα την τιμή να προσκληθώ για να διδάξω ορισμένες βασικές αρχές της καλλιέργειας λαχανικών και δρεπτών ανθών σε υδροπονικά συστήματα. Θέλω να ελπίζω ότι η συμβολή μου σε αυτό το σεμινάριο είχε έστω και μία ελάχιστη χρησιμότητα στην προώθηση αυτής της σύγχρονης και εντατικής μορφής καλλιέργειας στα θερμοκήπια της Κύπρου. Μου προξενεί ιδιαίτερη χαρά η διαπίστωση ότι αυτή η προσπάθεια εκ μέρους της Κυπριακής Κυβέρνησης και του ΙΓΕ συνεχίζεται με διάφορους τρόπους, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η έκδοση του παρόντος εγχειριδίου με υπεύθυνο έκδοσης τον άοκνο συνάδελφο-ερευνητή δρ. Δαμιανό Νεοκλέους.

Κλείνοντας αυτό το μικρό εισαγωγικό σημείωμα θα ήθελα να ευχηθώ καλή επιτυχία στην προσπάθεια των Κυπρίων συναδέλφων αλλά και των Κυπρίων παραγωγών θερμοκηπίου για επέκταση των υδροπονικών καλλιεργειών, καθώς και τη βελτίωση του τεχνολογικού εξοπλισμού και των μεθόδων καλλιέργειας, με τελικό στόχο την αύξηση της ανταγωνιστικότητας και συνεπώς και του παραγόμενου εισοδήματος στον συγκεκριμένο κλάδο της Κυπριακής οικονομίας. Είμαι πεπεισμένος ότι το παρόν εγχειρίδιο μπορεί να συμβάλει θετικά σε αυτή την κατεύθυνση.

Δημήτρης Σάββας

Αναπληρωτής Καθηγητής

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών

Εισαγωγή

Σήμερα οι υδροπονικές καλλιέργειες και οι αυτοματισμοί στα θερμοκήπια είναι οι πιο σύγχρονες τεχνολογίες που υπάρχουν παγκόσμια στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Αυτές οι μέθοδοι αποτελούν προϋπόθεση για την εφαρμογή των συστημάτων ακριβείας στη γεωργία και οι υδροπονικές καλλιέργειες αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι τους. Στην Κύπρο η υδροπονία χρησιμοποιείται περιορισμένα και όπου εφαρμόζεται δεν γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσφέρει. Η ανάπτυξη αυτού του τομέα στη χώρα μας θα συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας των θερμοκηπιακών εκμεταλλεύσεων.

Για την ανάπτυξη αυτού του τομέα στη χώρα μας απαιτείται πρωτίστως ένα υψηλό επίπεδο γενικής, επαγγελματικής εκπαίδευσης και κατάρτισης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός αποτελεσματικού συστήματος μεταφοράς και εφαρμογής της κερκτημένης τεχνογνωσίας στους τελικούς χρήστες, γιατί στον τομέα αυτό παρουσιάζονται ελλείψεις και αδυναμίες. Για τον σκοπό αυτό το Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών προχώρησε στη δημιουργία ενός κέντρου εκπαίδευσης σε θέματα υδροπονίας στον πειραματικό σταθμό στο Ζύγι, και το παρόν σύγγραμμα είναι φυσικό επακόλουθο αυτής της εκπαίδευσης.

Η λέξη υδροπονία (hydroponics) παράγεται από δύο ελληνικές λέξεις: Ύδωρ (hydro) που σημαίνει νερό και πόνος (ponos) που σημαίνει εργασία, δηλαδή εργασία με το νερό. Η υδροπονία είναι μια τεχνολογικά εξελιγμένη μέθοδος γεωργικής παραγωγής, η οποία επεκτείνεται συνεχώς σε όλο τον κόσμο, όπου η χρησιμοποίηση της επιστημονικής γνώσης και της τεχνολογίας δίνουν νέες διαστάσεις στις δυνατότητες της γεωργικής παραγωγής. Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται εκτός του φυσικού εδάφους, είτε πάνω σε αδρανή υποστρώματα είτε σε θρεπτικά διαλύματα.

Όπως όλα τα πράγματα, η υδροπονία μπορεί να δώσει θετικά ή αρνητικά αποτελέσματα, ανάλογα με τον χρήστη και τα αποτελέσματα που επιδιώκει. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μαζική παραγωγή και να παράγει προϊόντα χαμηλής ποιότητας, αλλά μπορεί και να παράγει υψηλής αξίας προϊόντα με τις καλύτερες θρεπτικές ιδιότητες, με πλούσια γεύση και άρωμα. Επίσης, μπορεί να μολύνει το περιβάλλον, μπορεί όμως και να χρησιμοποιηθεί οικολογικά με σεβασμό στο περιβάλλον. Διεθνώς στην επιχειρηματική παραγωγή δεν υπάρχει μια μέθοδος υδροπονικής καλλιέργειας που να δίνει το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα σε όλες τις περιπτώσεις. Το βέλτιστο σύστημα καθορίζεται από παράγοντες, όπως το κλίμα, το κόστος των πρώτων υλών, την ενέργεια, την εργασία καθώς και το επίπεδο των γνώσεων. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται περισσότερο σήμερα στον κόσμο, είναι η καλλιέργεια σε ορυκτοβάμβακα (Rockwool), μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT) και ίνες καρύδας (Cocosoil).

Η κυπριακή γεωργία, αν και έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο σε πολλούς τομείς, υστερεί στην εφαρμογή γεωργικών συστημάτων ακριβείας και τη χρήση τεχνολογικού εξοπλισμού υψηλού επιπέδου στα θερμοκήπια. Η απόφαση για εγκατάσταση υδροπονικής καλλιέργειας βασίζεται κυρίως στα οικονομικά της παραγωγής, με μια προδιάθεση για λύσεις λιγότερο δαπανηρές και με μειωμένες τεχνικές απαιτήσεις. Υπάρχουν όμως καταστάσεις όπου απαιτούνται πιο ακριβά συστήματα, είτε γιατί δεν είναι διαθέσιμο κατάλληλο έδαφος, είτε γιατί η κατάσταση είναι τόσο ανταγωνιστική, που απαιτείται επιπρόσθετη παραγωγή.

Στην Κύπρο τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε αύξηση στην έκταση που καταλαμβάνει η υδροπονία στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Αυτό κυρίως οφείλεται στην προώθηση των υδροπονικών καλλιεργειών μέσω του Σχεδίου Αγροτικής Ανάπτυξης 2004-2006 και Προγράμματος Αγροτικής Ανάπτυξης 2007-2013 και της αποδοτικότερης χρήσης του υπόλοιπου εξοπλισμού του θερμοκηπίου.

Ήδη η Κύπρος, όπως και πολλές άλλες χώρες της Μεσογείου, έχουν σοβαρό πρόβλημα τόσο με την ποσότητα, όσο και με την ποιότητα του νερού για άρδευση, όπως και με τη ρύπανση των υπογείων υδάτων. Αν συνυπολογίσουμε ότι τα εδάφη υφίστανται υποβάθμιση χρόνο με τον χρόνο, λόγω της εντατικής χρήσης τους, τότε καταλαβαίνουμε ότι η ανάπτυξη των υδροπονικών καλλιεργειών, είτε αυτούσια όπως εφαρμόζονται σε άλλες χώρες (με τον κίνδυνο μετά από κάποιο χρονικό διάστημα να χαρακτηριστούν ως ανεδαφικές), είτε τροποποιημένες στις τοπικές συνθήκες της χώρας, μας θα συμβάλουν στην αύξηση και βελτίωση της παραγωγής, στον εκσυγχρονισμό των γεωργικών εκμεταλλεύσεων με πιο σύγχρονες επιδιώξεις, όπως η βελτίωση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τη Διεύθυνση του ΙΓΕ για την υποστήριξη του όλου έργου, τη Διεύθυνση του Τμήματος Γεωργίας για την αгаστή συνεργασία, όλους τους εμπλεκόμενους λειτουργούς του ΙΓΕ και του Τμήματος Γεωργίας, όπως επίσης και όλους τους εκπαιδευόμενους, τόσο για το ακέραιο του χαρακτήρα τους, όσο και για το πραγματικό ενδιαφέρον και τη θέληση για μάθηση που επέδειξαν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ετοιμασία του κειμένου. Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες ήθελα να εκφράσω στους καθηγητές του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών Δημήτριο Σάββα και Γεώργιο Μαυρογιαννόπουλο, οι οποίοι προσέφεραν τα μέγιστα στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα, χωρίς προσωπικό όφελος, τόσο με τη φυσική τους παρουσία ως εκπαιδευτές, όσο και με το πλούσιο εκπαιδευτικό υλικό τους το οποίο και αποτέλεσε σημαντική πηγή γνώσης για το παρόν σύγγραμμα.

Δρ Δαμιανός Νεοκλέους

Ανώτερος Λειτουργός Γεωργικών Ερευνών

Γενικές έννοιες και ορισμοί

1. Υδροπονία

Υδροπονία ή καλλιέργεια εκτός εδάφους

Υδροπονία (Hydroponics) καλείται κάθε μέθοδος καλλιέργειας φυτών, των οποίων το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται εκτός του φυσικού εδάφους. Οι ρίζες αναπτύσσονται είτε σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα, είτε πάνω σε υποστρώματα στα οποία προστίθεται το θρεπτικό διάλυμα. Συχνά αναφέρεται και καλλιέργεια εκτός εδάφους (Soiless culture).

Θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας

Είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα όλων των θρεπτικών στοιχείων, τα οποία είναι απαραίτητα για τα φυτά. Τα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονται διαλυμένα στο νερό κατά κανόνα ως ιόντα ανόργανων αλάτων. Το διάλυμα τροφοδοσίας μπορεί να οδηγηθεί κατευθείαν στη ρίζα των φυτών. Από το διάλυμα αυτό τα φυτά αντλούν το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία.

Πυκνά διαλύματα

Είναι μεγάλης πυκνότητας θρεπτικά διαλύματα (συνήθως 100 φορές πυκνότερα από τα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας), τα οποία περιέχουν σε σωστή αναλογία τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, που είναι αναγκαία για τη θρέψη των φυτών. Τα πυκνά διαλύματα παρασκευάζονται και αποθηκεύονται σε δοχεία, από τα οποία λαμβάνονται μικρές ποσότητες, οι οποίες αραιώνονται ανάλογα με το νερό της άρδευσης για να δημιουργήσουν τα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας των φυτών.

Υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών

Είναι κάθε φυσικό ή προερχόμενο από βιομηχανική επεξεργασία πορώδες υλικό, εκτός από το φυσικό χώμα, το οποίο μπορεί να συγκρατεί θρεπτικό διάλυμα και αέρα και συνεπώς να μπορεί να υποκαθιστά το έδαφος, ως μέσο ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Τα περισσότερα υποστρώματα συμπεριφέρονται χημικώς, ως αδρανή υλικά, δηλαδή δεν αποδίδουν θρεπτικά στοιχεία στο θρεπτικό διάλυμα, ούτε δεσμεύουν ιόντα που υπάρχουν σε αυτό.

Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)

Το pH είναι το μέτρο της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (H^+) στο διάλυμα και η τιμή του επηρεάζει καθοριστικά τη διαλυτότητα και συνεπώς τη διαθεσιμότητα των περισσότερων θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο το pH των θρεπτικών διαλυμάτων να κυμαίνεται γύρω στο 5,5.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC; Electrical Conductivity)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μέτρο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο διάλυμα και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βαθμού επάρκειας θρεπτικών στοιχείων σε αυτό. Έτσι, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση αλάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των θρεπτικών διαλυμάτων με τα οποία τροφοδοτούνται τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά στις υδροπονικές καλλιέργειες, πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2,5 dS/m.

Το pH και EC χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον καθημερινό έλεγχο της καταλληλότητας του θρεπτικού διαλύματος, χάρις στη δυνατότητα που υπάρχει να μετρούνται εύκολα και γρήγορα.

2. Αξιολόγηση της Υδροπονίας

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 το ενδιαφέρον για τη χρήση υδροπονικών συστημάτων αναζωπυρώθηκε διεθνώς ξεκινώντας από την Αγγλία, τις Σκανδιναβικές χώρες και την Ολλανδία, λόγω κυρίως της υποβάθμισης των εδαφών των θερμοκηπίων μετά από τη συνεχή καλλιέργεια και τη συνεπαγόμενη έξαρση εδαφογενών ασθενειών καθώς και των προβλημάτων που δημιουργούσαν οι συνεχείς απολυμάνσεις του εδάφους με βρωμιούχο μεθύλιο. Έτσι, οι υδροπονικές καλλιέργειες είχαν το πλεονέκτημα ενός καθαρού ξεκινήματος από παθογόνα εδάφους ή ευκολότερης απολύμανσης (χαμηλότερο κόστος, μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα) του υποστρώματος αν ξαναχρησιμοποιηθεί, συγκριτικά με το έδαφος.

Το βασικό ερώτημα που τίθεται από κάθε ενδιαφερόμενο αγρότη ή επιστήμονα για την υδροπονία, αφορά τη χρησιμότητα και την αξία της ως μιας εναλλακτικής μεθόδου καλλιέργειας φυτών στο θερμοκήπιο. Για τον λόγο αυτό στη συνέχεια παρατίθενται τόσο τα πλεονεκτήματα της υδροπονίας, όσο και τα μειονεκτήματα που τη συνοδεύουν.

Πλεονεκτήματα

- 1) Εναλλακτική λύση αντιμετώπισης των προβλημάτων που προκαλούν οι μεταδιδόμενες μέσω του εδάφους ασθένειες (π.χ. φουζάριο, βερτισίλιο, πύθιο κ.τ.λ.). Ξεκίνημα της καλλιέργειας με απουσία παθογόνων στο ριζικό περιβάλλον.
- 2) Απαλλαγή της φυτείας από την παρουσία ζιζανίων.
- 3) Λύνεται το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη, είτε λόγω της υπερεντατικής τους εκμετάλλευσης και της μονοκαλλιέργειας, είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (π.χ. εναλατωμένα εδάφη, πολύ βαριά εδάφη, εδάφη με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία).

- 4) Έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι η καλλιέργεια πάνω σε καλής ποιότητας υποστρώματα και σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα επιφέρει σημαντική πρωίμιση της συγκομιδής. Αυτό οφείλεται στη δυνατότητα διατήρησης υψηλότερων θερμοκρασιών στον χώρο του ριζοστρώματος.
- 5) Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή, αφενός, από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση κ.τ.λ.), με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά, και, αφετέρου, να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης.
- 6) Δίνει αυξημένες αποδόσεις λόγω της αύξησης της πυκνότητας φύτευσης, της άριστης θρέψης, της δυνατότητας διατήρησης υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά τη διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους και των καλύτερων φυσιολογικών ιδιοτήτων, που έχουν τα υποστρώματα έναντι του εδάφους.
- 7) Αυτοματοποίηση και μηχανοποίηση των καλλιεργητικών εργασιών.

Μειονεκτήματα

- 1) Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης μιας υδροπονικής μονάδας είναι υψηλότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος για μια καλλιέργεια που λαμβάνει χώραν στο έδαφος.
- 2) Πολυπλοκότητα στον χειρισμό του νερού και του θρεπτικού διαλύματος.
- 3) Στα κλειστά συστήματα άρδευσης υπάρχει κίνδυνος εξάπλωσης μιας μόλυνσης, εφόσον προσβληθεί ένα φυτό, μέσω του θρεπτικού διαλύματος το οποίο ανακυκλώνεται. Στην πράξη ο κίνδυνος αυτός είναι σχετικά μικρός.
- 4) Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού είναι πιο γρήγορη και συχνά πιο έντονη στις υδροπονικές καλλιέργειες.
- 5) Στα ανοιχτά συστήματα υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του εδάφους και πιθανόν των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής στην οποία απορρίπτεται η αποστράγγιση.

Εκτιμώντας σε ποιο βαθμό αυτά τα μειονεκτήματα αντισταθμίζονται από τα οφέλη που προκύπτουν από την υιοθέτηση της εναλλακτικής αυτής μεθόδου καλλιέργειας, καθίσταται ευκολότερο να κατανοήσει κανείς για ποιο λόγο και σε ποιες περιπτώσεις ένας καλλιεργητής θερμοκηπίου μπορεί να ωφεληθεί μεταπηδώντας στην υδροπονία. Η εξέλιξη και η τελειοποίηση της υδροπονίας ως εναλλακτικής μεθόδου καλλιέργειας φυτών στο θερμοκήπιο είναι θεαματική τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Έτσι, στις μέρες μας η υδροπονία αποτελεί συχνά επιλογή και για εκείνους τους καλλιεργητές που δεν αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα με το έδαφος τους.

3. Καλλιεργούμενες εκτάσεις

Σήμερα χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα, σε όλο τον κόσμο, πάρα πολλές μέθοδοι υδροπονικής καλλιέργειας. Στην Κύπρο η υδροπονία ξεκίνησε να εφαρμόζεται από τη δεκαετία του 1990 σε ανθοκομικές και λαχανοκομικές μονάδες και από τότε κερδίζει συνεχώς έδαφος. Η καλλιέργεια σε σάκους με υπόστρωμα είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα και τα συνήθη υποστρώματα που χρησιμοποιούν οι Κύπριοι γεωργοί είναι ο πετροβάμβακας και ο κοκκοφοίνικας. Με βάση τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία οι υδροπονικές καλλιέργειες καταλαμβάνουν μια έκταση 500 περίπου δεκαρίων. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις ανά επαρχία είναι οι εξής:

Πίνακας 1. Καλλιεργούμενες εκτάσεις (δεκάρια) στην υδροπονία με λαχανοκομικά και ανθοκομικά είδη στις διάφορες Επαρχίες της Κύπρου.

Επαρχία	Λαχανοκομία	Ανθοκομία
Αμμόχωστος	178,15	22,5
Λάρνακα	90,6	13
Λεμεσός	59	39,6
Πάφος	22	0
Λευκωσία	0,5	0
Πιτσιλιά	10,5	1,8

(Τμήμα Γεωργίας, Μητρώο Καλλιεργητών 2010 & 2012)

Τα λαχανοκομικά είδη που καλλιεργούνται με τη μέθοδο της υδροπονίας είναι η ντομάτα, η φράουλα, το αγγουράκι και σε μικρότερη έκταση το φασολάκι και η πιπεριά. Από τα ανθοκομικά είδη καλλιεργούνται κυρίως το τριαντάφυλλο και η ζέρμπερα.

4. Συστήματα Υδροπονικών Καλλιεργειών

1. Ταξινόμηση ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης της απορροής

1. Ανοικτά συστήματα

Το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει (αποστραγγίζει) μετά την άρδευση δεν επαναχρησιμοποιείται και απορρίπτεται στο έδαφος, είτε διατίθεται για άρδευση εξωτερικών φυτειών. Τα ανοικτά συστήματα εφαρμόζονται σε συστήματα καλλιέργειας σε υποστρώματα.

Τα ανοικτά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα:

- i. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που χορηγείται στα φυτά είναι γνωστή και σταθερή και εύκολα μπορεί να τροποποιείται ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών (Sonneveld, 2002).
- ii. Είναι εύκολη η εφαρμογή τους εφόσον η διαχείριση της απορροής είναι απλή και το θρεπτικό διάλυμα φεύγει εκτός του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, χωρίς αυτό να επηρεάζει τη θρέψη και ανάπτυξη των φυτών.
- iii. Η καλλιέργεια σε ανοικτά υδροπονικά συστήματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, όταν το χρησιμοποιούμενο νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα.
- iv. Η επένδυση έχει σχετικά χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα κλειστά συστήματα.

Μειονεκτήματα:

- i. Γίνεται σπατάλη νερού και λιπασμάτων, ιδιαίτερα όταν το θρεπτικό διάλυμα δεν επαναχρησιμοποιείται για άλλες καλλιέργειες.
- ii. Η διαφυγή των λιπασμάτων στο περιβάλλον προκαλεί τη μόλυνση του με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα (Σάββας, 2010).

2. Κλειστά συστήματα

Το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει μετά την άρδευση, συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται (ανακυκλώνεται), μετά από κατάλληλη επεξεργασία στην ίδια καλλιέργεια (Savvas, 2002).

Τα κλειστά συστήματα έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα:

- i. Λόγω του ότι στα συστήματα αυτά το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται, αποτρέπεται η διαφυγή λιπασμάτων στο περιβάλλον, οπότε αποφεύγεται η μόλυνση των επιφανειακών και υπόγειων νερών με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα (περιβαλλοντικό όφελος).
- ii. Γίνεται σημαντική εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων (οικονομικό όφελος).

Μειονεκτήματα:

- i. Είναι αναγκαία η απολύμανση του διαλύματος απορροής, για αποφυγή μετάδοσης ιολογικών και μυκητολογικών ασθενειών σε όλη την καλλιέργεια διά μέσου του ανακυκλούμενου διαλύματος.

- ii. Είναι δύσκολη η συμπλήρωση του διαλύματος της απορροής με τις κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων, ώστε το νέο διάλυμα τροφοδοσίας που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία να καλύπτει ικανοποιητικά τις θρεπτικές ανάγκες των φυτών. (Σάββας, 2010).
- iii. Απαιτείται νερό πολύ καλής ποιότητας.
- iv. Το αρχικό κόστος επένδυσης είναι αυξημένο.

II. Ταξινόμηση ανάλογα με το μέσο ανάπτυξης του ριζικού συστήματος

1. Συστήματα καλλιέργειας σε πορώδη υποστρώματα

Σήμερα χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα σε όλο τον κόσμο πάρα πολλές μέθοδοι υδροπονικής καλλιέργειας. Η καλλιέργεια σε σάκους είναι διεθνώς η πιο διαδεδομένη μέθοδος καλλιέργειας φυτών σε υποστρώματα. Εκτός από τους σάκους τα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν και σε γλάστρες, λεκάνες και κανάλια με υπόστρωμα.

Πριν την εγκατάσταση της φυτείας θα πρέπει να ισοπεδωθεί το έδαφος του θερμοκηπίου, ώστε να έχουμε ομοιόμορφη παροχή νερού σε όλη την έκταση και να καλυφθεί με πλαστικό (μαύρο στην κάτω και λευκό στην πάνω επιφάνεια). Η κλίση κατά μήκος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1-1,5%. Ο τρόπος ανάπτυξης των φυτών σε δοχεία, σε σάκους, σε λεκάνες, σε αυλάκια στο έδαφος, σε στεγανά κανάλια πάνω από το έδαφος και σε υπερυψωμένα στεγανά κανάλια (πάγκους) δεν επηρεάζει την εν λόγω εργασία.

Όταν τοποθετηθούν οι σάκοι στην πάνω επιφάνεια τους και στις επιθυμητές αποστάσεις και διαστάσεις, κόβεται ένα τμήμα του πλαστικού φύλλου που τον καλύπτει ανάλογα με το μέγεθος των κύβων ανάπτυξης των σποροφύτων, ώστε αργότερα να μπορέσουν οι ρίζες των νεαρών φυτών που θα τοποθετηθούν επάνω του να εισχωρήσουν μέσα στο υπόστρωμα. Τοποθετούνται οι γραμμές άρδευσης, παράλληλα με τις γραμμές του σάκου, σε οριζόντιο επίπεδο και σε θέση χαμηλότερη των σάκων, ώστε να μην αδειάζει ο σωλήνας τροφοδοσίας, μετά το τέλος της άρδευσης. Η τροφοδοσία με θρεπτικό διάλυμα των φυτών γίνεται με την τοποθέτηση εύκαμπτου πλαστικού αγωγού μικρής διαμέτρου (μακαρονιού) επί του αγωγού άρδευσης και σταγόνας χαμηλής παροχής. Στη συνέχεια ακολουθεί πότισμα των σάκων με κατάλληλο θρεπτικό διάλυμα διαβροχής μέχρι κορεσμού και αφήνονται γεμάτοι, τουλάχιστον 24 ώρες, πριν γίνει η φύτευση. Κατά τη φύτευση τοποθετείται σε κάθε θέση που έχει διανοιχθεί ένας κύβος ορυκτοβάμβακα ή διάτρητο μικρό δοχείο με κατάλληλο μείγμα, που φέρει το σπορόφυτο. Μετά τη φύτευση γίνονται με το μαχαίρι σχισμές στις πλευρές του σάκου (2-4 cm), στο μέσο της απόστασης μεταξύ των θέσεων άρδευσης (κάθετα ή γωνία 45°), για σκοπούς στράγγισης της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος. Οι σχισμές μπορεί να καταλήγουν μέχρι τον πυθμένα του σάκου ή να σταματούν 1-3 cm ψηλότερα ή και να

χαράσσονται οριζόντια σε αυτό το ύψος ανάλογα με την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας από το υπόστρωμα.



Εικόνα 1. Θέσεις τοποθέτησης φυτών και κάθετη σχισμή αποστράγγισης σε πλάκα ορυκτοβάμβακα.

Τα υποστρώματα μπορεί να είναι ανόργανα πορώδη υλικά, όπως είναι ο ορυκτοβάμβακας (πετροβάμβακας), ο περλίτης, η ποταμίσια κρυσταλλική άμμος και τα μικρής διαμέτρου χαλίκια από βασαλτικά πετρώματα, μπορεί όμως να είναι και οργανικά πορώδη υλικά φυσικής προέλευσης, όπως είναι οι ίνες καρύδας (κοκκοφοίνικας), η τύρφη και η κομπόστα. Τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα διεθνώς είναι ο ορυκτοβάμβακας και ο κοκκοφοίνικας.

A. Καλλιέργεια σε ορυκτοβάμβακα (Rockwool Culture)

Ο ορυκτοβάμβακας (πετροβάμβακας; Εικόνα 2) είναι ένα διογκωμένο ανόργανο πορώδες υλικό και έχει ως πρώτες ύλες τον βασάλτη, τον ασβεστόλιθο και τον γαιάνθρακα. Το pH του είναι περίπου 7 και παρουσιάζει χαμηλή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC). Η καλλιέργεια γίνεται σε πλάκες μήκους 0,8 – 1,2 m, με διάφορα πλάτη και πάχος. Συνήθως για τα λαχανικά χρησιμοποιούνται πλάκες διαστάσεων 100 × 15 × 7,5 cm. Το ύψος των πλακών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8-10 cm γιατί μειώνεται απότομα η περιεκτικότητα σε υγρασία. Ο ορυκτοβάμβακας χρησιμοποιείται για 1-3 χρόνια και μετά θα πρέπει να ανακυκλώνεται ή να απορρίπτεται σε βάθος μέσα στο έδαφος και να σκεπάζεται με παχύ στρώμα από χώμα. Έχει πυκνότητα 70-80 kg/m³, με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία σε κατάσταση κορεσμού (90%). Επίσης, το νερό που περιέχεται στο υπόστρωμα είναι σχεδόν στο σύνολο του διαθέσιμο για τα φυτά. Ο ορυκτοβάμβακας χαρακτηρίζεται από πολύ καλή αναλογία νερού-αέρα, την απουσία

παθογόνων, είναι εύκολος στη χρήση του, έχει σταθερότητα στη δομή του και είναι χημικά αδρανές υπόστρωμα. Βασικό του μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος αγοράς και το γεγονός ότι δεν αποικοδομείται βιολογικά στο έδαφος. Πριν την εγκατάσταση των φυτών, οι πλάκες ποτίζονται με όξινο θρεπτικό διάλυμα και μετά από 24 ώρες δημιουργούνται 2-3 τρύπες απορροής στο κάτω μέρος της πλάκας (Μαλούρα, 2002).



Εικόνα 2. Καλλιέργεια σε πλάκες ορυκτοβάμβακα.

Β. Καλλιέργεια σε ίνες καρύδας (Κοκκοφοίνικας, *Cocosoil*)

Είναι οργανικό πορώδες υλικό, υποπροϊόν που προέρχεται από το ινώδες περίβλημα των καρπών καρύδας, το οποίο αφού έχει υποστεί κομποστοποίηση χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα καλλιέργειας φυτών (Εικόνα 3). Η ηλεκτρική του αγωγιμότητα δεν είναι υψηλή και έχει σχέση με τον τόπο προέλευσης και τον τρόπο κατεργασίας του. Το pH κυμαίνεται μεταξύ 5-6, έχει μέση έως υψηλή ρυθμιστική και εναλλακτική ικανότητα και η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους ή δοχεία. Έχει πυκνότητα 40-80 kg/m³, περιεκτικότητα σε νερό σε κατάσταση υδατοϊκανότητας 80% και υψηλή περιεκτικότητα σε εύκολως διαθέσιμο νερό. Επίσης, διατηρεί ικανοποιητική διαθεσιμότητα νερού μεταξύ των ποτισμάτων. Το θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται κατά την αρχική διαβροχή και τις πρώτες μέρες ανάπτυξης των φυτών, πρέπει να περιέχει ασβέστιο (Ca) και μαγνήσιο (Mg) σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι στα αδρανή υποστρώματα, για την εξισορρόπηση και την απομάκρυνση τυχόν υπερβολικών ποσοτήτων καλίου (K), νατρίου (Na) και χλωρίου (Cl) που μπορεί να περιέχει ανάλογα με την ποιότητα του. Το υπόστρωμα παρουσιάζει σταθερότητα και πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της ρίζας και δίνει υψηλές αποδόσεις. Χρησιμοποιείται συχνά για να αντικαταστήσει την τύρφη.



Εικόνα 3. Καλλιέργεια σε σάκους γεμάτων από κοκκοφοίνικα.

2. Συστήματα καλλιέργειας χωρίς πορώδη υποστρώματα σε θρεπτικά διαλύματα

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι καλλιέργειας σε θρεπτικά διαλύματα, όπως είναι η καλλιέργεια σε στάσιμο θρεπτικό διάλυμα, το σύστημα επίπλευσης (Floating System; Εικόνα 4), η καλλιέργεια σε αβαθές ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT), η καλλιέργεια σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Deep Flow Culture), η επιδαπέδια υδροπονία (Plant Plane Hydroponics) και η μέθοδος της αεροπονίας.



Εικόνα 4. Καλλιέργεια σε σύστημα επίπλευσης (Floating System).

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος όμως είναι η καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (Nutrient Film Technique; Εικόνα 5). Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από ένα ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος, που ρέει μέσα σε κανάλια, στα οποία οι ρίζες των φυτών δημιουργούν ένα πλέγμα ριζών (Μαλούρα, 2002). Το πάνω μέρος του ριζικού συστήματος μέσα στο κανάλι βρίσκεται το περισσότερο στον αέρα που του επιτρέπει την καλή οξυγόνωση. Τα κανάλια συνήθως έχουν πλάτος 0,25-0,30 cm, με κλίση 1,5-2% και είναι κατασκευασμένα από πλαστικό ή γαλβανισμένη μεταλλική κατασκευή. Το θρεπτικό διάλυμα ρέει κατά μήκος του καναλιού στα 1-3 mm, σε μια απόσταση που δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 20 μέτρα. Τα κανάλια φέρουν οπές για την τοποθέτηση των φυτών. Οι καλλιέργειες σε NFT αναγκαστικά γίνονται σε κλειστό υδροπονικό σύστημα, γιατί η παροχή και συλλογή του θρεπτικού διαλύματος γίνεται όλο το εικοσιτετράωρο. Στην πράξη η εφαρμογή του NFT περιορίστηκε στην καλλιέργεια φυλλωδών λαχανικών, καθώς η καλλιέργεια καρποδοτικών λαχανικών μεγάλης καλλιεργητικής διάρκειας, όπως η ντομάτα και το αγγούρι, εμπεριέχει αυξημένο ρίσκο και ανάγκη υψηλού επιπέδου επιστημονικής υποστήριξης.



Εικόνα 5. Καλλιέργεια σε NFT.

Η **αεροπονία** είναι μια παραλλαγή της καλλιέργειας σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα. Στη μέθοδο αυτή το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται πάνω στο γυμνό ριζικό σύστημα των φυτών, το οποίο βρίσκεται σε ένα κλειστό φυτοδοχείο. Ο χώρος πρέπει να είναι κορεσμένος σε σχετική υγρασία, ώστε να διαβρέχεται η ρίζα και να απορροφά νερό και θρεπτικά στοιχεία. Το υπέργειο μέρος του φυτού βρίσκεται εκτός του φυτοδοχείου. Κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας είναι το μέγεθος της ψεκαζόμενης σταγόνας. Εφόσον εφαρμόζεται ανακύκλωση, η αεροπονία έχει όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κλειστών συστημάτων.

Εξοπλισμός υδροπονικής μονάδας

Τα κυριότερα μέρη του εξοπλισμού από τα οποία αποτελείται συνήθως μια τυπική υδροπονική μονάδα είναι τα εξής:

- ▶ Εγκαταστάσεις παρασκευής θρεπτικού διαλύματος
- ▶ Υδροπονική κεφαλή
- ▶ Σύστημα μεταφοράς και εφαρμογής θρεπτικού διαλύματος
- ▶ Δίκτυο συλλογής θρεπτικού διαλύματος
- ▶ Δεξαμενή συγκέντρωσης θρεπτικού διαλύματος
- ▶ Υποδοχείς υποστρωμάτων ή του θρεπτικού διαλύματος

1. Εγκαταστάσεις παρασκευής θρεπτικού διαλύματος

Οι εγκαταστάσεις αποτελούνται από τα δοχεία στα οποία γίνεται η παρασκευή των πυκνών διαλυμάτων (Εικόνα 1). Η συνήθης πρακτική επιβάλλει όπως χρησιμοποιούνται τουλάχιστον τρία δοχεία (βαρέλια), τα οποία πρέπει να είναι κατασκευασμένα από κατάλληλο υλικό, ώστε να μην διαβρώνεται, να μην οξειδώνεται και να αποτρέπει την είσοδο του ηλιακού φωτός, ιδιαίτερα δε στο δοχείο εκείνο όπου τοποθετείται ο χηλικός σίδηρος. Στα δύο δοχεία (Δοχείο Α και Β) τοποθετούνται τα υδατοδιαλυτά λιπάσματα σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες από αυτές που απαιτούνται για τη θρέψη των φυτών (εκατονταπλάσιες). Στο τρίτο δοχείο (Δοχείο Γ) τοποθετείται το οξύ, απαραίτητο για τη ρύθμιση του pH. Η χωρητικότητα τους επιλέγεται από την έκταση της υδροπονικής καλλιέργειας και συστήνεται να έχουν σύστημα ανάδευσης.



Εικόνα 1. Δοχείο πυκνών διαλυμάτων με σύστημα ανάδευσης.

Τα τελευταία χρόνια μεγάλες θερμοκηπιακές μονάδες με πολυδύναμες κεφαλές υδρολίπανσης χρησιμοποιούν ξεχωριστό δοχείο πυκνού διαλύματος για το κάθε λίπασμα.

Το νερό που χρησιμοποιείται, ανεξάρτητα από την πηγή προέλευσης του (π.χ. γεώτρηση, αρδευτικό δίκτυο), πρέπει να είναι καλής ποιότητας όσον αφορά την περιεκτικότητά του σε άλατα. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό καλής ποιότητας, συστήνεται η συλλογή του βρόχινου νερού ή η εγκατάσταση συστήματος αφαλάτωσης. Για την αποφυγή προβλημάτων απόφραξης στο σύστημα παροχής ενδείκνυται η χρησιμοποίηση κατάλληλου συστήματος φιλτραρίσματος.

2. Κεφαλή υδροπονικού συστήματος

Η μονάδα αυτόματης αραιώσης πυκνών διαλυμάτων (κεφαλή υδρολίπανσης; Εικόνα 2) χρησιμεύει κατά κύριο λόγο στην αραιώση των πυκνών διαλυμάτων σε ένα κοινό δοχείο, ώστε να παρασκευάζεται ένα αραιό θρεπτικό διάλυμα το οποίο χορηγείται στα φυτά. Η άντληση των πυκνών διαλυμάτων επιτυγχάνεται συνήθως με την τοποθέτηση μιας δοσομετρικής αντλίας ή εγχυτών Venturi σε κάθε δοχείο, και τα πυκνά διαλύματα από τα δοχεία Α και Β, ως επίσης και το οξύ (δοχείο Γ), αραιώνονται με την ανάμειξή τους με νερό άρδευσης στον κάδο ανάμειξης της υδροπονικής κεφαλής. Για την επί-



Εικόνα 2. Τυπική μονάδα αυτόματης αραιώσης πυκνών διαλυμάτων με κάδο ανάμειξης (κεφαλή υδρολίπανσης).

τευξη της σωστής αναλογίας αραίωσης νερού και πυκνών λιπασμάτων και των επιθυμητών τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και του pH στο διάλυμα τροφοδοσίας, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση αισθητήρων μέτρησης EC και pH στο δοχείο ανάμειξης.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι μετρήσεις γίνονται αυτόματα και σε συνθήκες πραγματικού χρόνου αποστέλλονται στον προγραμματιστή άρδευσης. Ο προγραμματιστής, ο οποίος στη συνήθη μορφή του συνδέεται με οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή δέχεται τις τιμές-στόχους EC, pH και έμμεσα τις επιθυμητές συγκεντρώσεις και αναλογίες των θρεπτικών στοιχείων. Ακολουθώντας, γίνεται η άντληση από το κοινό δοχείο ανάμειξης λιπασμάτων-νερού και γίνεται η τροφοδοσία των φυτών με το θρεπτικό διάλυμα, με αντλίες επιφανειακού τύπου ανάλογα με το πρόγραμμα άρδευσης. Η μονάδα αραίωσης των πυκνών διαλυμάτων είναι εξοπλισμένη με διάφορα όργανα μίας τυπικής κεφαλής του συστήματος άρδευσης, όπως φίλτρα για καθαρισμό του θρεπτικού διαλύματος, μετρητές ροής, βαλβίδες αντεπιστροφής, ρυθμιστές πίεσης, πιεσόμετρα, αεροβαλβίδες.

3. Σύστημα μεταφοράς και εφαρμογής θρεπτικού διαλύματος

Για τη διακίνηση του θρεπτικού διαλύματος σε καλλιέργειες όπου χρησιμοποιούνται υποστρώματα, όπως ορυκτοβάμβακας ή κοκκοφοίνικας, χρησιμοποιείται δίκτυο αγωγών πάνω στο οποίο τοποθετείται το σύστημα άρδευσης (π.χ. σταγόνες). Οι αγωγοί μεταφοράς, όπως σε κάθε αρδευτικό δίκτυο, είναι οι μεγαλύτεροι σε διάμετρο αγωγοί που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του νερού, από τη διαθέσιμη πηγή νερού (υδροληψία, δεξαμενή) στην υδροπονική κεφαλή. Αποτελούνται συνήθως από αγωγούς πολυαιθυλενίου (PE) υψηλής πυκνότητας, ή πολυβινυλοχλωρίου (PVC). Οι δευτερεύοντες αγωγοί που χρησιμεύουν για την τροφοδοσία με θρεπτικό διάλυμα των γραμμών άρδευσης, είναι μικρότερης διαμέτρου από τους κύριους αγωγούς, και αποτελούνται από PE υψηλής πυκνότητας, για να αντέχουν στις υψηλές πιέσεις. Τέλος, οι γραμμές άρδευσης είναι οι μικρότεροι σε διάμετρο αγωγοί και συνήθως αποτελούνται από PE, οπότε είναι εύκαμπτοι. Πάνω σε αυτούς τοποθετείται το σύστημα άρδευσης (π.χ. σταγόνες, σταλάκτες τύπου μικροσωλήνα-spaghetti tubes).

Συνήθης πρακτική είναι οι γραμμές άρδευσης να τοποθετούνται σε επίπεδο χαμηλότερο από τα υποστρώματα, ώστε με το πέρας της άρδευσης και λόγω της κλίσης του εδάφους του θερμοκηπίου ή των υποστρωμάτων (μέγιστη επιτρεπτή κλίση 1,5%), να σταματά και η τροφοδοσία με νερό των φυτών, ιδιαίτερα αυτών που είναι τοποθετημένα προς το τέλος της γραμμής άρδευσης (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Γραμμές άρδευσης και διανεμητές σε καλλιέργεια ντομάτας σε ορυκτοβάμβακα.

Η χρήση ρυθμιστών πίεσης στην αρχή κάθε τομέα και η χρήση αυτορυθμιζόμενων σταλακτών μπορούν να δώσουν εξαιρετική ομοιομορφία στην άρδευση (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Χρήση ρυθμιστών πίεσης και αυτορυθμιζόμενων σταλακτών σε υδροπονική καλλιέργεια φράουλας.

Όσον αφορά το σύστημα εφαρμογής χρησιμοποιούνται σταγόνες χαμηλής παροχής 2-4 λίτρα/ώρα. Για τον σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτορυθμιζόμενη σταγόνα πολλαπλών εξαγωγών, και η διάθεση του νερού στα σημεία φύτευσης να γίνει με την τοποθέτηση εύκαμπτων πλαστικών σωλήνων μικρής διαμέτρου (μακαρονιών/ spaghetti tubes) ιδίου μήκους, όπου να τερματίζουν σε σταγόνες λαβυρίνθου με στήριγμα (Εικόνα 5).

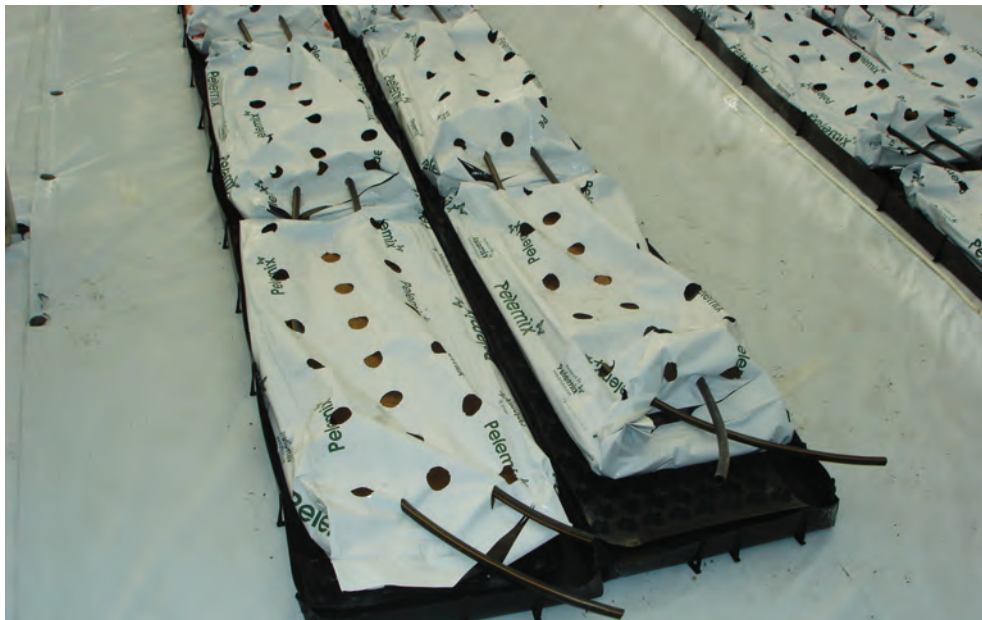


Εικόνα 5. Τοποθετημένοι σταλάκτες τύπου μακαρόνι (spaghetti tubes) σε υπόστρωμα.

Σε περιπτώσεις όπου η τοποθέτηση του υποστρώματος γίνεται σε κανάλια με υπόστρωμα ενιαίο, μπορεί να τοποθετηθεί λάστιχο με ενσωματωμένες αυτορυθμιζόμενες σταγόνες (Εικόνα 6). Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι για την άρδευση λαχανοκομικών φυτών σε υποστρώματα χρησιμοποιείται μία σταγόνα για κάθε φυτό, ενώ για ανθοκομικές καλλιέργειες, όπου η φύτευση τους μπορεί να γίνει σε μεγαλύτερα φυτοδοχεία, είναι δυνατή και η εφαρμογή δεύτερης σταγόνας ανάλογα με το είδος του φυτού.

4. Δίκτυο συλλογής θρεπτικού διαλύματος

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία μιας υδροπονικής μονάδας είναι η τοποθέτηση συστήματος συλλογής του θρεπτικού διαλύματος, που αποστραγγίζει με την κατασκευή δικτύου από κανάλια και αγωγούς (Εικόνα 6). Για τον σκοπό αυτό, πρέπει κατά μήκος των γραμμών φύτευσης να παρουσιάζεται κλίση μεταξύ 0,5-1,5%, για να είναι δυνατή η κίνηση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος προς την εκβολή των καναλιών. Τα κανάλια συλλογής του θρεπτικού διαλύματος συχνά χρησιμοποιούνται και ως υποδοχείς του υποστρώματος.



Εικόνα 6. Λάστιχο άρδευσης με ενσωματωμένες σταγόνες μέσα στο υπόστρωμα και κανάλια για τη συλλογή του θρεπτικού διαλύματος της απορροής.

Προβλήματα, όπως η δημιουργία πράσινης άλγης στο κανάλι συλλογής του διαλύματος απορροής (Εικόνα 7), επιλύονται με την κάλυψη τους με πλαστικό, για την αποφυγή της εισόδου του ηλιακού φωτός.



Εικόνα 7. Δημιουργία άλγης στο κανάλι συλλογής του θρεπτικού διαλύματος.

5. Δεξαμενή συγκέντρωσης απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος

Το διάλυμα από τα κανάλια συλλογής της απορροής συλλέγεται σε δεξαμενή η οποία πρέπει να έχει αρκετή χωρητικότητα, ώστε να μην υπερχειλίζει, όταν συγκεντρώνεται όλη η περίσσεια θρεπτικού διαλύματος και να είναι κατασκευασμένη από ανθεκτικό υλικό, μη τοξικό στα φυτά. Στα κλειστά συστήματα καλλιέργειας, το διάλυμα απορροής από τη δεξαμενή θα οδηγηθεί στο σύστημα απολύμανσης (Εικόνα 8) και στη δεξαμενή αποθήκευσης. Η περαιτέρω αξιοποίηση του θρεπτικού διαλύματος από τους παραγωγούς αποτελεί ίσως το κλειδί στη βιωσιμότητα των γεωργικών υδροπονικών εκμεταλλεύσεων. Η επαναχρησιμοποίηση του στην υδροπονική καλλιέργεια, παρά τις δυσκολίες διαχείρισης που παρουσιάζει, θα αποτελεί ίσως στο μέλλον τη μοναδική εναλλακτική χρήση του. Στο παρόν στάδιο η διάθεσή του σε γειτνιάζουσα καλλιέργεια, όπως για παράδειγμα λαχανοκομικές φυτείες, είναι η συνήθης πρακτική που ακολουθείται μειώνοντας το κόστος χρήσης λιπασμάτων στη φυτεία.



Εικόνα 8. Σύστημα απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος με UV.

6. Υποδοχείς υποστρωμάτων

Οι υποδοχείς των υποστρωμάτων μπορούν να είναι σάκοι, υδρορροές (ανοιχτοί αγωγοί), γλάστρες ή και άλλες ειδικές κατασκευές, που περιέχουν το υπόστρωμα και τοποθετούνται, είτε απευθείας στο καλυμμένο έδαφος του θερμοκηπίου, είτε σε πάγκους καλλιέργειας (Εικόνες 9, 10 και 11). Συνήθως το μήκος των σάκων ανέρχεται στο 1 m με πλάτος 15-20 cm, για φύτευση σε μονή σειρά ή περισσότερο και έχουν σχήμα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Το ύψος κυμαίνεται από 5-25 cm, ανάλογα με το υπόστρωμα που περιέχει.



Εικόνα 9. Σάκοι που περιέχουν συμπιεσμένο υπόστρωμα κοκκοφοίνικα.



Εικόνα 10. Κατασκευή για τοποθέτηση υποστρώματος χύδην μέσα σε κανάλια.



Εικόνα 11. Καλλιέργεια νάνας πορτοκαλιάς σε φυτοδοχεία.

Θρεπτικά διαλύματα

Απαραίτητη προϋπόθεση στην επιτυχία μιας υδροπονικής καλλιέργειας είναι η χρήση κατάλληλων θρεπτικών διαλυμάτων. Πιο κάτω, αναλύονται οι αρχές και τα βήματα που ακολουθούνται για τον καθορισμό της σύνθεσης των διαλυμάτων και τον υπολογισμό των απαραίτητων ποσοτήτων λιπασμάτων.

1. Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων

Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται πλήρη θρεπτικά διαλύματα, δηλαδή υδατικά διαλύματα που περιέχουν όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, εκτός από τον άνθρακα που προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα ως CO₂. Το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι συστατικά του νερού, ενώ οξυγόνο προσλαμβάνεται και από τον ατμοσφαιρικό αέρα για τις ανάγκες της αναπνοής. Ορισμένα στοιχεία κατά την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος προστίθενται σε μεγαλύτερες ποσότητες (N, P, S, K, Ca και Mg) και ονομάζονται μακροστοιχεία, ενώ τα υπόλοιπα προστίθενται σε πολύ μικρότερες ποσότητες (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo και το Cl) και ονομάζονται ιχνοστοιχεία. Το χλώριο εμπεριέχεται πάντοτε σε επαρκείς ποσότητες στο αρδευτικό νερό, καθώς επίσης και στις προσμίξεις των λιπασμάτων και για τον λόγο αυτό δεν προστίθεται. Επομένως, μόνο τα 12 από τα 16 απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών χημικά στοιχεία πρέπει να προστίθενται στο νερό, κατά την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος. Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και η χημική μορφή με την οποία απαντώνται στα θρεπτικά διαλύματα και απορροφούνται από τη ρίζα, φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Μορφές θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα.

Μακροστοιχείο	Χημική μορφή	Ιχνοστοιχείο	Χημική μορφή
άζωτο (N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	σίδηρος (Fe)	Fe ²⁺
φώσφορος (P)	H ₂ PO ₄ ⁻	μαγγάνιο (Mn)	Mn ²⁺
θείο (S)	SO ₄ ²⁻	ψευδάργυρος (Zn)	Zn ²⁺
κάλιο (K)	K ⁺	χαλκός (Cu)	Cu ²⁺
ασβέστιο (Ca)	Ca ²⁺	βόριο (B)	H ₃ BO ₃
μαγνήσιο (Mg)	Mg ²⁺	μολυβδαίνιο (Mo)	MoO ₄ ²⁻

2. Χρησιμοποιούμενα λιπάσματα

Για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται απλά υδατοδιαλυτά λιπάσματα, ορισμένα οξέα, ενώ ειδικά ο σίδηρος προστίθεται σε μορφή χηλικών ενώσεων, για την αποφυγή ιζημάτων (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων στην υδροπονία.

Λίπασμα	Χημικός τύπος	Θρεπτικά στοιχεία (%)	Μοριακό Βάρος
Νιτρικό αμμώνιο	NH_4NO_3	N: 35	80,0
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
Νιτρικό κάλιο	KNO_3	N: 13, K: 38	101,1
Νιτρικό μαγνήσιο	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	N: 11, Mg: 9	256,3
Νιτρικό οξύ	HNO_3	N: 22	63,0
Φωσφορικό μονοαμμώνιο	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	N: 12, P: 27	115,0
Φωσφορικό μονοκάλιο	KH_2PO_4	P: 23, K: 28	136,1
Φωσφορικό οξύ	H_3PO_4	P: 32	98,0
Θειικό κάλιο	K_2SO_4	K: 45, S: 18	174,3
Θειικό μαγνήσιο	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mg: 9,7, S: 13	246,3
Χηλικός σίδηρος	διαφόρων τύπων	Fe: 6-13	-
Θειικό μαγγάνιο	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Mn: 32	169,0
Θειικός ψευδάργυρος	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Zn: 23	287,5
Θειικός χαλκός	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cu: 25	249,7
Βόρακας	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	B: 11	381,2
Βορικό οξύ	H_3BO_3	B: 17,5	61,8
Οκταβορικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	B: 20,5	412,4
Μολυβδαινικό αμμώνιο	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mo: 54	1163,3
Μολυβδαινικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mo: 40	241,9

3. Χαρακτηριστικά των θρεπτικών διαλυμάτων

Στα θρεπτικά διαλύματα, εκτός από τη συγκέντρωση ενός εκάστου ανόργανου στοιχείου και τις μεταξύ τους αναλογίες, μας ενδιαφέρει ακόμη το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity = EC). Τα δύο αυτά μεγέθη μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα και γρήγορα με απλά φορητά όργανα (αγωγιμόμετρο, πεχάμετρο) (Σχήμα 1) και γι' αυτό χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον καθημερινό έλεγχο της καταλληλότητας και της ποιότητας των θρεπτικών διαλυμάτων.



Σχήμα 1. Φορητό όργανο μέτρησης της EC και του pH.

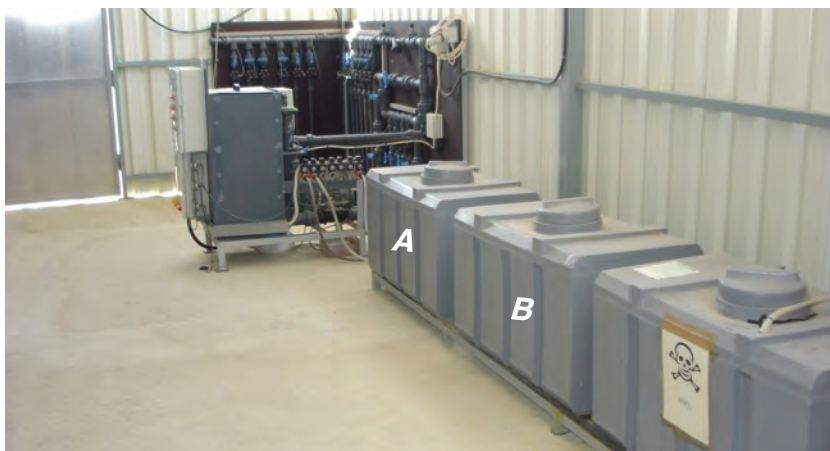
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) δεν μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων, που είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα, αλλά μόνο για τη συνολική τους συγκέντρωση. Παρόλα αυτά όμως, στην πράξη η αγωγιμότητα χρησιμοποιείται σαν βασικό μέγεθος αναφοράς, τόσο κατά την παρασκευή, όσο και κατά τον έλεγχο της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων, λόγω της ευκολίας με την οποία μετράται. Πρέπει να τονιστεί ότι η EC επηρεάζεται πρακτικά μόνο από τις συγκεντρώσεις των κύριων θρεπτικών στοιχείων και όχι από τα ιχνοστοιχεία, λόγω της πολύ μικρότερης συγκέντρωσής τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η EC να μην παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων. Μονάδα μέτρησης της EC έχει καθιερωθεί διεθνώς το dS/m. Για τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά η EC των θρεπτικών διαλυμάτων κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2,5 dS/m. Τιμές EC χαμηλότερες ενδεχομένως, υποδηλώνουν ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων, ενώ μεγαλύτερες αλατούχο καταπόνηση. Όχι σπάνια, όταν το νερό άρδευσης περιέχει ιόντα σε υψηλά επίπεδα όπως Cl^- , Na^+ , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} ή SO_4^{2-} τότε η EC του νερού είναι αυξημένη με αποτέλεσμα το θρεπτικό διάλυμα που προκύπτει να έχει υπερβολικά υψηλή EC. Η συνολική συγκέντρωση αλάτων στο διάλυμα (C; meq/l) σχετίζεται κατά προσέγγιση με την EC (dS/m), με τη βοήθεια της σχέσης: $C \approx EC \times 10$.

Το pH (οξύτητα) του θρεπτικού διαλύματος αποτελεί μέτρο της περιεκτικότητας του σε ιόντα υδρογόνου και είναι μέγεθος καθοριστικής σημασίας για την καταλληλότητά του. Για τα περισσότερα είδη φυτών θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 5,5-5,8 στο διάλυμα τροφοδοσίας και 5,5-6,3 στην περιοχή της ρίζας. Πολλά θρεπτικά στοιχεία καθίστανται δυσδιάλυτα (π.χ. P, Fe, Mn) σε αλκαλικό pH ($\text{pH} > 7$), οπότε η απορρόφησή τους από τα φυτά δυσχεραίνεται, ενώ σε πολύ όξινο pH ($\text{pH} < 5$) καθίστανται πιο ευδιάλυτα

με κίνδυνο φυτοτοξικότητας (π.χ. Μn, Al). Το pH του αρδευτικού νερού, συνήθως λόγω της περιεκτικότητας όξινων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg), είναι αλκαλικό, και έτσι για να μειωθεί στα επιθυμητά επίπεδα στα θρεπτικά διαλύματα, απαιτείται η προσθήκη κάποιου οξέος. Επίσης, η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα επηρεάζεται πολύ περισσότερο από τις μεταβολές του pH, σε σχέση με τα μακροστοιχεία.

4. Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Αρχικά, για να αποφευχθεί η συχνή παρασκευή θρεπτικού διαλύματος, παρασκευάζονται πυκνά διαλύματα (μητρικά διαλύματα), τα οποία είναι 100-200 φορές πυκνότερα (Εικόνα 1) από το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Το διάλυμα που φτάνει στα φυτά, προκύπτει από την αραίωση των πυκνών διαλυμάτων (ισόποσα) με το νερό άρδευσης. Πρέπει απαραίτητα να χρησιμοποιούνται δύο τουλάχιστον δοχεία πυκνών διαλυμάτων, όπου στο πρώτο δοχείο Α προστίθεται το νιτρικό ασβέστιο, το νιτρικό αμμώνιο, ένα μέρος του νιτρικού καλίου και ο χηλικός σίδηρος. Στο δεύτερο δοχείο Β προστίθεται το θειικό κάλι, το θειικό μαγνήσιο, το φωσφορικό μονοαμμώνιο, το φωσφορικό μονοκάλιο, το φωσφορικό οξύ και τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία εκτός του σιδήρου. Το νιτρικό μαγνήσιο (αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί) μπορεί να προστεθεί σε οποιοδήποτε από τα δύο δοχεία πυκνών διαλυμάτων. Κύριος στόχος είναι η αποφυγή πρόσμειξης του ασβεστίου με τα φωσφορικά και τα θειικά και η δημιουργία αδιάλυτων ενώσεων. Συνήθως, χρησιμοποιείται και ένα τρίτο δοχείο για το νιτρικό οξύ για τον έλεγχο του pH του θρεπτικού διαλύματος, ώστε αυτό να συγκρατείται μεταξύ 5,5 και 6,0.



Εικόνα 1. Δοχεία πυκνών διαλυμάτων και μονάδα αυτόματης αραίωσης.

5. Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων

Όταν πρόκειται να παρασκευαστεί ένα θρεπτικό διάλυμα, το πρώτο ζήτημα που τίθεται είναι η επιλογή της κατάλληλης σύνθεσης, η οποία θεωρείται παράγοντας πρωταρχικής σημασίας για την επιτυχία μιας υδροπονικής καλλιέργειας. Οι συνθέσεις των θρεπτικών διαλυμάτων που προτείνονται από διάφορους ερευνητές (Sonneveld and Straver, 1994; De Kreij et al., 1999; Adams, 2002; Sonneveld and Voogt, 2009; Σάββας, 2012), θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως ενδεικτικές για τις συνιστώμενες για κάθε φυτό αμοιβαίες αναλογίες των θρεπτικών στοιχείων. Θα πρέπει πριν χρησιμοποιηθούν να εξατομικεύονται για την κάθε καλλιέργεια, ανάλογα με τη σύσταση του χρησιμοποιούμενου νερού. Όταν το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων προέρχεται από γεωτρήσεις, φράγματα ή φυσικές πηγές, είναι σίγουρο ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες ανόργανων ιόντων. Συγκεκριμένα, από τα μακροστοιχεία το νερό περιέχει ασβέστιο (Ca^{2+}), μαγνήσιο (Mg^{2+}), θειικά (SO_4^{2-}), και σπανιότερα άζωτο (NO_3^-) σε σημαντικές ποσότητες, ενώ από τα ιχνοστοιχεία, εκτός από το χλώριο (Cl^-), μπορεί να υπάρχουν ο σίδηρος (Fe; δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, καταβυθίζεται με την προσθήκη φωσφορικών), το μαγγάνιο (Mn^{2+}), ο ψευδάργυρος (Zn^{2+}), ο χαλκός (Cu^{2+}) και το βόριο (B). Άλλα ιόντα που περιέχονται στο νερό και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος, είναι το νάτριο (Na^+) και τα οξυανθρακικά (HCO_3^-). Γι' αυτό, από τις ποσότητες λιπασμάτων που ενδείκνυται να προστεθούν, θα πρέπει να αφαιρούνται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στο χρησιμοποιούμενο νερό. Επομένως, για να παρασκευαστεί ένα θρεπτικό διάλυμα με μια δεδομένη σύνθεση, είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η χημική σύσταση του αρδευτικού νερού.

Συνήθως, οι ποσότητες των διαφόρων θρεπτικών μονάδων (ιόντων) που χρησιμοποιούνται στα θρεπτικά διαλύματα, εκφράζονται σε γραμμομόρια (mmol/l) ή σε γραμμοϊσοδύναμα (meq/l), για να διευκολύνονται οι υπολογισμοί των σχέσεων και των ισοζυγίων. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων συνήθως δίνονται σε $\mu\text{mol/l}$ ή mg/l (ppm) και δεν χρειάζεται να μετατραπούν σε meq/l, για την εκτέλεση των υπολογισμών. Η ιοντική ισορροπία του διαλύματος επιβάλλει ότι η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος θα πρέπει να είναι ισοσκελισμένη ως προς τις συγκεντρώσεις των ανιόντων και κατιόντων των κύριων θρεπτικών στοιχείων (συμπεριλαμβανομένων και των ιόντων υδρογόνου, όταν στη σύνθεση προβλέπεται και η προσθήκη οξέος για τη ρύθμιση του pH), εκφρασμένα σε meq/l. Θα πρέπει δηλαδή να ισχύει η ισότητα:

$$\Sigma(\text{meq/l κατιόντων}) = \Sigma(\text{meq/l ανιόντων}) = C (\text{meq/l})$$

$$[\text{NH}_4^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{NO}_3^-] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{SO}_4^{2-}] = C$$

όπου C είναι η συνολική συγκέντρωση κατιόντων ή ανιόντων.

Η συνολική συγκέντρωση των ιόντων (C) σε meq/l στο διάλυμα τροφοδοσίας υπολογίζεται εμπειρικά, ότι είναι κατά προσέγγιση $C \approx EC \times 10$ όπως έχει ήδη αναφερθεί. Επομένως, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μπορεί να προσδιορίζεται κατά προσέγγιση από τη σχέση: $EC = C/10$, σε dS/m.

Επιγραμματικά αναφέρεται ότι κατά την κατάρτιση της βασικής σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

1. Το είδος του καλλιεργούμενου φυτού, το στάδιο ανάπτυξης και οι καιρικές συνθήκες.
2. Η συνολική συγκέντρωση αλάτων (EC), η οποία πρέπει να έχει καθορισμένη τιμή και το pH να κυμαίνεται εντός δεδομένων ορίων.
3. Τα επίπεδα ή οι αμοιβαίες αναλογίες των θρεπτικών στοιχείων.

6. Βασικές συνθέσεις θρεπτικού διαλύματος (συνταγές παρασκευής θρεπτικού διαλύματος)

Από τις επιστημονικές έρευνες οι οποίες έχουν διεξαχθεί, με αντικείμενο τον καθορισμό των κατάλληλων επιπέδων των θρεπτικών στοιχείων, αλλά και των αμοιβαίων αναλογιών μεταξύ τους στο διάλυμα, έχουν καταρτιστεί βασικές συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων για τα κυριότερα καλλιεργούμενα εκτός εδάφους φυτά (De Kreij et al., 1999; Adams, 2002; Sonneveld and Voogt, 2009; Σάββας, 2012). Οι συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων που προτείνονται σε διάφορες βιβλιογραφικές πηγές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες, μόνο στην περίπτωση που το νερό έχει πρακτικά μηδενική συγκέντρωση αλάτων. Στους πιο κάτω πίνακες δίνονται οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα τροφοδοσίας, αλλά και αντίστοιχα στο θρεπτικό διάλυμα στον χώρο των ριζών σε διάφορα στάδια ανάπτυξης στην ντομάτα (Πίνακες 3 και 4) και στο αγγούρι (Πίνακες 5 και 6) (Σάββας, 2009), οι οποίες είναι οι βασικότερες καλλιέργειες που καλλιεργούνται στην υδροπονία στην Κύπρο. Ενδεικτικές συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων για διάφορες υδροπονικές καλλιέργειες δίνονται στο κεφάλαιο Πρακτικές συμβουλές.

Στην περίπτωση των ανοιχτών υδροπονικών συστημάτων, η σύσταση του διαλύματος με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά δεν είναι η ίδια με αυτή του θρεπτικού διαλύματος στον χώρο των ριζών. Είναι επομένως σημαντικό να ελέγχεται τακτικά η σύσταση, η EC και το pH του θρεπτικού διαλύματος στον χώρο των ριζών, αφού αυτό είναι το διάλυμα με το οποίο έρχονται σε άμεση επαφή οι ρίζες και αντλούν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία.

Πίνακας 3. Συνιστώμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται σε υδροπονική καλλιέργεια ντομάτας (ανοιχτά συστήματα), σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

		Διαβροχή	Ταξιανθία 1-3	Ταξιανθία 3-5	Ταξιανθία 5-10	Ταξιανθία 10-
EC	dS/m	2,80	2,50	2,40	2,40	2,20
pH opt,		5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
[K]	mmol/l	7,25	7,75	7,00	7,50	6,50
[Ca]	mmol/l	6,50	4,25	5,00	4,75	4,25
[Mg]	mmol/l	2,50	2,75	2,00	2,00	2,00
[NH₄]	mmol/l	0,75	1,25	1,00	1,00	1,00
[NO₃]	mmol/l	15,5	15,0	12,0	12,0	10,7
[SO₄]	mmol/l	4,50	3,00	4,10	4,10	3,75
[H₂PO₄]	mmol/l	1,00	1,50	1,30	1,30	1,30
[Fe]	μmol/l	15	15	15	15	15
[Mn]	μmol/l	10	10	10	10	10
[Zn]	μmol/l	4	4	4	4	4
[Cu]	μmol/l	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
[B]	μmol/l	40	30	30	30	30
[Mo]	μmol/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Πίνακας 4. Συνιστώμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα στον χώρο των ριζών, σε υδροπονική καλλιέργεια ντομάτας (ανοιχτά συστήματα), σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

		Ταξιανθία 1-3	Ταξιανθία 3-5	Ταξιανθία 5-10	Ταξιανθία 10-
EC	dS/m	3,1-3,5	3,2-3,5	3,4-3,6	3,5-3,7
pH opt,		5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,6	5,5-6,8
[K]	mmol/l	7,00	9,00	8,50	8,00
[Ca]	mmol/l	8,00	7,50	8,00	8,75
[Mg]	mmol/l	3,50	3,50	3,75	3,75
[NH₄]	mmol/l	<0,8	<0,4	<0,4	<0,4
[Na]	mmol/l	<6,0	<8,0	<9,0	<10,0
[SO₄]	mmol/l	4,50	6,00	6,50	7,50
[NO₃]	mmol/l	20,0	18,0	18,0	17,0
[H₂PO₄]	mmol/l	1,00	1,00	1,00	1,00
[Cl]	mmol/l	<6,0	<8,0	<10,0	<12,0

Πίνακας 5. Συνιστώμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται σε υδροπονική καλλιέργεια αγγουριού (ανοιχτά συστήματα), σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

		Διαβροχή	Μέχρι Κορυφολ.	Κορυφολ.-Τέλος
EC	dS/m	2,50	2,20	2,00
pH opt,		5,60	5,60	5,60
[K]	mmol/l	7,10	7,00	6,00
[Ca]	mmol/l	4,25	3,50	3,35
[Mg]	mmol/l	2,25	1,50	1,25
[NH₄]	mmol/l	1,00	1,25	1,00
[NO₃]	mmol/l	14,6	14,0	12,20

[SO ₄]	mmol/l	2,50	1,25	1,25
[H ₂ PO ₄]	mmol/l	1,00	1,25	1,00
[Fe]	μmol/l	15	15	15
[Mn]	μmol/l	10	10	10
[Zn]	μmol/l	4	4	4
[Cu]	μmol/l	0,7	0,7	0,7
[B]	μmol/l	35	25	25
[Mo]	μmol/l	0,5	0,5	0,5

Πίνακας 6. Συνιστώμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα στον χώρο των ριζών, σε υδροπονική καλλιέργεια αγγουριού (ανοιχτά συστήματα), σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

		Μέχρι Κορυφολ.	Κορυφολ.-Τέλος
EC	dS/m	2,5-2,8	2,6-3,0
pH opt,		5,5-6,5	5,5-6,5
[K]	mmol/l	7,00	7,00
[Ca]	mmol/l	5,50	6,00
[Mg]	mmol/l	3,00	3,00
[NH ₄]	mmol/l	<0,8	<0,4
[Na]	mmol/l	<5,0	<8,0
[SO ₄]	mmol/l	3,50	3,00
[NO ₃]	mmol/l	16,0	18,0
[H ₂ PO ₄]	mmol/l	1,00	1,00
[Cl]	mmol/l	<6,0	<8,0

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στα κλειστά συστήματα καλλιέργειας με ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, το θρεπτικό διάλυμα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με χαμηλότερες ποσότητες ασβεστίου (Ca²⁺), μαγνησίου (Mg²⁺) και θεικών (SO₄²⁻) συγκριτικά με τα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα, γιατί τα στοιχεία αυτά συνήθως απορροφούνται δυσκολότερα, συσσωρεύονται στο νερό της ανακύκλωσης και έτσι δεν διατηρείται η σωστή αναλογία ιόντων. Για τη θρέψη στα κλειστά συστήματα γίνεται εκτενέστερη αναφορά σε σχετικό κεφάλαιο.

7. Διαδικασία Υπολογισμού των Λιπασμάτων

Εφόσον έχει καθορισθεί ποια θα είναι η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος, υπολογίζονται οι ποσότητες λιπασμάτων, που θα πρέπει να προστεθούν σε συγκεκριμένο όγκο νερού γνωστής περιεκτικότητας σε ανόργανα ιόντα για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος. Η διαδικασία υπολογισμού περιγράφεται μέσω συγκεκριμένων παραδειγμάτων, όταν η σύνθεση δίνεται σε μονάδες μοριακότητας (mmol/l) (Παράδειγμα I), και όταν η σύνθεση δίνεται σε μονάδες κανονικότητας (meq/l) (Παράδειγμα II).

Λόγω των δυσκολιών που ενδεχομένως παρουσιάζει ο υπολογισμός των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων από τον μη ειδικό έχουν δημιουργηθεί κατάλληλα προγράμματα Η/Υ τα οποία επιτρέπουν τον εύκολο και γρήγορο υπολογισμό των λιπασμάτων που απαιτούνται. Σε ένα τέτοιο επιστημονικά τεκμηριωμένο (Savvas and Adamidis, 1999; Savvas, 2001) υπολογιστικό πρόγραμμα, υπάρχει ελεύθερη πρόσβαση στο διαδίκτυο, μέσω της ιστοσελίδας του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (<http://www.ekk.aua.gr/excel/index.htm>).

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Ι

Διαδικασία υπολογισμού των θρεπτικών στοιχείων (λιπασμάτων) εκφρασμένα σε μονάδες μοριακότητας (mmol/l)

Α. Παρακάτω στον Πίνακα 1, αναφέρεται ένα παράδειγμα υπολογισμού των μακροστοιχείων του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας, χρησιμοποιώντας βρόχινο νερό (<http://http://www.aua.gr/~maurog/calc.html>).

Πίνακας 1. Σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος για καλλιέργεια αγγουριάς για νερό που δεν περιέχει ιόντα.

A/A	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		mmol/l	NO ₃ ⁻ 11,75	H ₂ PO ₄ ⁻ 1,25	SO ₄ ²⁻ 1,00	NH ₄ ⁺ 0,50	K ⁺ 5,50	Ca ²⁺ 3,50	Mg ²⁺ 1,00
2	Ca(NO ₃) ₂	3,5	7					3,5	
3	MgSO ₄	1			1				1
4	Mg(NO ₃) ₂	-	-						-
5	K ₂ SO ₄	-			-		-		
6	NH ₄ NO ₃	0,50	0,50			0,50			
7	H ₃ PO ₄	-		-					
8	KH ₂ PO ₄	1,25		1,25			1,25		
9	KNO ₃	4,25	4,25				4,25		
10	HNO ₃	-	-						

Στην 1^η γραμμή του Πίνακα 1, δίνεται η βασική σύνθεση σε ιόντα (ποσότητες σε mmol/l) ενός θρεπτικού διαλύματος κατάλληλου για την καλλιέργεια της αγγουριάς. Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η βασική σύνθεση στην παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων, θα πρέπει το άθροισμα των αρνητικά φορτισμένων ιόντων σε meq/l να είναι ίσο με το άθροισμα των θετικά φορτισμένων ιόντων σε meq/l. Σε αυτή την περίπτωση:

$$(11,75 \text{ mmol/l NO}_3^- \times 1) + (1,25 \text{ mmol/l H}_2\text{PO}_4^- \times 1) + (1,00 \text{ mmol/l SO}_4^{2-} \times 2) = (0,5 \text{ mmol/l NH}_4^+ \times 1) + (5,5 \text{ mmol/l K}^+ \times 1) + (3,50 \text{ mmol/l Ca}^{2+} \times 2) + (1,00 \text{ mmol/l Mg}^{2+} \times 2) = 15 \text{ meq/l}$$

Στην 1^η στήλη αναγράφονται με σειρά τα λιπάσματα που είναι διαθέσιμα για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος, αρχίζοντας από αυτά που είναι μοναδικά, όπως το νιτρικό ασβέστιο και ακολουθούν αυτά του μαγνησίου, των θειικών, της αμμωνίας, των φωσφορικών, του καλίου και του νιτρικού οξέος. Στις στήλες κάτω από κάθε ιόν αναγράφεται η ποσότητα του ιόντος που θα καλυφθεί από το κάθε λίπασμα. Στη 2^η στήλη του Πίνακα 1 αναγράφεται η προκύπτουσα ποσότητα σε mmol/l του κάθε λιπάσματος που απαιτείται.

Η διαδικασία υπολογισμών είναι η εξής:

- 1) Συνήθως ξεκινούμε τους υπολογισμούς με την απαιτούμενη προσθήκη ασβεστίου, που σχεδόν πάντα προστίθεται με τη μορφή νιτρικού ασβεστίου. Τα mmol/l νιτρικού ασβεστίου που προστίθενται, είναι όσα τα mmol/l Ca^{2+} , που απαιτούνται και αναγράφονται στη 2^η γραμμή, 2^η στήλη. Στη 2^η γραμμή, 8^η στήλη, αναγράφονται τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), που θα προστεθούν από αυτή την ποσότητα λιπάσματος στο διάλυμα (3,5 mmol/l). Παράλληλα, με τα ιόντα ασβεστίου που προστίθενται στο διάλυμα με το λίπασμα αυτό, προστίθενται και νιτρικά ιόντα (NO_3^-). Η προσθήκη νιτρικών σε mmol/l είναι διπλάσια από των mmol/l ασβεστίου. Στη 2^η γραμμή, 3^η στήλη, αναγράφονται και τα ιόντα νιτρικών που προστίθενται από αυτό το λίπασμα (7 mmol/l).
- 2) Ακολουθεί κατά τον ίδιο τρόπο ο υπολογισμός της προσθήκης μαγνησίου, με τη μορφή θειικού μαγνησίου (3^η γραμμή, 2^η στήλη). Παράλληλα, με τα ιόντα μαγνησίου που προστίθενται στο διάλυμα, με το λίπασμα αυτό προστίθενται και θειικά ιόντα. Στην περίπτωση αυτή, όσα είναι τα mmol/l Mg^{2+} που προστίθενται, άλλα τόσα είναι και τα mmol/l SO_4^{2-} (1 mmol/l).
- 3) Όταν η επιθυμητή συγκέντρωση Mg^{2+} σε mmol/l είναι μεγαλύτερη αυτής των SO_4^{2-} σε mmol/l, τότε προστίθενται τόσα mmol/l θειικού μαγνησίου, όσα και τα απαιτούμενα mmol/l SO_4^{2-} , ενώ το υπόλοιπο μέρος της συγκέντρωσης Mg^{2+} προστίθεται με τη μορφή νιτρικού μαγνησίου (4^η γραμμή, 2^η στήλη). Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί νιτρικό μαγνήσιο, το λίπασμα περιέχει εκτός του μαγνησίου και νιτρικά, τα οποία σε mmol/l είναι διπλάσια των mmol/l μαγνησίου.
- 4) Αντίθετα, όταν η επιθυμητή συγκέντρωση SO_4^{2-} υπερβαίνει αυτήν των ιόντων μαγνησίου, τότε προστίθενται τόσα mmol/l θειικού μαγνησίου, όσα και τα απαιτούμενα mmol/l Mg^{2+} , ενώ το υπόλοιπο μέρος της συγκέντρωσης SO_4^{2-} προστίθεται με τη μορφή θειικού καλίου (5^η γραμμή, 2^η στήλη). Στην περίπτωση του θειικού καλίου η προσθήκη K^+ σε mmol/l, είναι διπλάσια των mmol/l SO_4^{2-} .
- 5) Η διαδικασία συνεχίζεται με την προσθήκη των ιόντων αμμωνίου με τη μορφή νι-

τρικής αμμωνίας (6^η γραμμή, 2^η στήλη) και σπανιότερα με τη μορφή φωσφορικού αμμωνίου. Παράλληλα, με τα ιόντα αμμωνίου που προστίθενται στο διάλυμα (6^η γραμμή, 6^η στήλη), με το λίπασμα της νιτρικής αμμωνίας προστίθενται και νιτρικά ιόντα (6^η γραμμή, 3^η στήλη). Όσα είναι τα mmol/l NH_4^+ που προστίθενται, άλλα τόσα είναι και τα mmol/l NO_3^- (0,5 mmol/l).

- 6) Έπεται η προσθήκη του φωσφόρου. Όπου είναι δυνατόν, για να καλυφθούν οι απαιτήσεις σε φωσφόρο, προτιμάται η μορφή του φωσφορικού οξέος (7^η γραμμή, 2^η στήλη), γιατί το φωσφορικό οξύ είναι η φθηνότερη πηγή φωσφόρου. Στην πράξη θεωρούμε ότι όσα mmol/l H_2PO_4^- προστίθενται, άλλα τόσα mmol/l H^+ προστίθενται, τα οποία θα εξουδετερώσουν αντίστοιχες ποσότητες όξινων ανθρακικών, που περιέχονται στο αρδευτικό νερό. Στην περίπτωση όπου η περιεκτικότητα του νερού σε όξινα ανθρακικά είναι μηδενική ή πολύ χαμηλή, ο φώσφορος δίνεται με τη μορφή φωσφορικού μονοκαλίου (KH_2PO_4 ; 8^η γραμμή, 2^η στήλη). Στην περίπτωση του KH_2PO_4 πλύν του φωσφόρου γίνεται και προσθήκη K^+ , η συγκέντρωση του οποίου σε mmol/l είναι όση και των H_2PO_4^- (1,25 mmol/l).
- 7) Ακολουθεί η προσθήκη καλίου με τη μορφή νιτρικού καλίου (9^η γραμμή, 2^η στήλη). Τα mmol/l νιτρικού καλίου που πρέπει να προστεθούν (4,25 mmol/l), είναι όσα τα mmol/l K^+ που απαιτούνται (9^η γραμμή, 7^η στήλη), αφού αφαιρεθούν οι συγκεντρώσεις K^+ που τυχόν έχουν χορηγηθεί προηγουμένως, με τη μορφή φωσφορικού μονοκαλίου (1,25 mmol/l) και θειικού καλίου. Παράλληλα, με τα ιόντα καλίου που προστίθενται στο διάλυμα, προστίθενται και νιτρικά ιόντα (9^η γραμμή, 3^η στήλη). Όσα τα mmol/l K^+ που προστίθενται, άλλα τόσα είναι και τα mmol/l NO_3^- (4,25 mmol/l).
- 8) Τέλος, συμπληρώνεται η συγκέντρωση των νιτρικών με την προσθήκη νιτρικού οξέος (10^η γραμμή). Τα mmol/l νιτρικού οξέος που πρέπει να προστεθούν, είναι όσα τα mmol/l NO_3^- που απαιτούνται, αφού αφαιρεθεί η συγκέντρωση των NO_3^- , που έχουν χορηγηθεί υπό μορφή νιτρικού ασβεστίου, νιτρικού μαγνησίου, νιτρικής αμμωνίας και νιτρικού καλίου.
- 9) Μετά τη συμπλήρωση του πίνακα αθροίζονται οι τιμές της κάθε στήλης, όλων των ιόντων, για να γίνει η επαλήθευση με τις τιμές της βασικής σύνθεσης (1^η γραμμή).
- 10) Από τα meq/l που υπολογίστηκαν προηγουμένως για τη βασική σύνθεση, μπορεί να γίνει η εκτίμηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), που πρέπει να έχει το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας, ώστε τα απαιτούμενα ιόντα να βρίσκονται στις επιθυμητές συγκεντρώσεις: $\text{EC} = 15 \text{ meq l}^{-1} / 10 \approx 1,5 \text{ dS/m}$.

Β. Υπολογισμός ενός θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας για νερό που περιέχει ιόντα

Στο προηγούμενο παράδειγμα θεωρήθηκε ότι το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για το θρεπτικό διάλυμα είναι βρόχινο και δεν περιέχει ιόντα. Στην πράξη, επειδή συνήθως τα νερά που προέρχονται από γεωτρήσεις περιέχουν διάφορες ποσότητες ιόντων, η ποσότητα των ιόντων που θα προστεθεί τελικά, από τα λιπάσματα στο νερό, είναι αυτή που θα προκύψει μετά τη διόρθωση της βασικής σύνθεσης.

Στον Πίνακα 2 δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού ενός θρεπτικού διαλύματος για την καλλιέργεια ντομάτας ($EC = 1,65 \text{ dS/m}$). Στους υπολογισμούς έχει ληφθεί υπόψη ότι το νερό περιέχει 3 mmol/l HCO_3^- , 1 mmol/l Ca^{2+} και $0,5 \text{ mmol/l Mg}^{2+}$.

Πίνακας 2. Σχήμα για τον υπολογισμό θρεπτικού διαλύματος ντομάτας για νερό, που περιέχει ιόντα HCO_3^- , Ca^{2+} και Mg^{2+} .

Λίπασμα	mmol/l	NO_3^- 10,50	H_2PO_4^- 1,50	SO_4^{2-} 2,25	H_3O^+ -	NH_4^+ 0,50	K^+ 7,00	Ca^{2+} 3,50	Mg^{2+} 1,00
Νερό	Διόρθωση				3,0			1,0	0,5
	Προσθήκη								
		10,50	1,50	2,25	3,0	0,50	7,00	2,50	0,50
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	2,5	5,0						2,5	
MgSO_4	0,5			0,5					0,5
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	-								
K_2SO_4	1,75			1,75			3,5		
NH_4NO_3	0,5	0,5				0,5			
H_3PO_4	1,5		1,5		1,5				
KH_2PO_4									
KNO_3	3,5	3,5					3,5		
HNO_3	1,5	1,5			1,5				

- 1) Στην 1^η γραμμή του Πίνακα 2 δίνεται η βασική σύνθεση ιόντων (ποσότητες σε mmol/l) ενός θρεπτικού διαλύματος κατάλληλου για την καλλιέργεια της ντομάτας.
- 2) Στην 2^η γραμμή αναφέρονται οι αντίστοιχες ποσότητες των ιόντων που περιέχονται στο νερό (ποσότητες σε mmol/l).
- 3) Όπως και στη περίπτωση της βασικής σύνθεσης, έτσι και στην περίπτωση του νερού θα πρέπει να υπάρχει ισορροπία ιόντων, δηλαδή το άθροισμα των αρνητικά φορτισμένων ιόντων του νερού σε meq/l, να είναι ίσο με το άθροισμα των θετικά φορτισμένων ιόντων.
- 4) Από τις ποσότητες των ιόντων της βασικής σύνθεσης (1^η γραμμή) αφαιρούνται οι αντίστοιχες ποσότητες των ιόντων που περιέχονται στο νερό (2^η γραμμή).
- 5) Κάτω από τον τίτλο Προσθήκη αναγράφονται οι διαφορές μεταξύ των ιόντων της βασικής σύνθεσης και αυτών του νερού, και είναι αυτές που απαιτούνται για να παρασκευαστεί το επιθυμητό θρεπτικό διάλυμα.
- 6) Συνεχίζουμε τους υπολογισμούς όπως στο πρώτο παράδειγμα.

Υπολογισμός των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων

ι. Διαδικασία υπολογισμού των μακροστοιχείων

Ο υπολογισμός των συγκεκριμένων λιπασμάτων σε Kg/m³ γίνεται μέσω της μετατροπής των mmol/l της συγκέντρωσης σε μονάδες βάρους (πολλαπλασιασμός με το γραμμομόριο του άλατος- λιπάσματος) και αναγωγής στον συγκεκριμένο όγκο διαλύματος, που πρέπει να παρασκευαστεί, όπως φαίνεται στο παράδειγμα που ακολουθεί:

- 1) Από τον Πίνακα 2 βρίσκουμε ότι η συγκέντρωση του KNO₃ πρέπει να είναι 3,50 mmol/l, τότε το βάρος του λιπάσματος θα είναι: $KNO_3 = 3,50 \text{ mmol/l} \times 101,1 \text{ g/mol (g/mol; Πίνακας 3)} = 354 \text{ mg/l ή } 354 \text{ g/m}^3$ διαλύματος τροφοδοσίας. Για την παρασκευή μητρικού διαλύματος $354 \text{ g/m}^3 \times 100 \text{ φορές πυκνότερο} = 35400 \text{ g/m}^3$ ή 35,4 Kg λιπάσματος/m³.
- 2) Στην περίπτωση του MgSO₄ η συγκέντρωση πρέπει να είναι 0,50 mmol/l, το βάρος του λιπάσματος θα είναι: $0,50 \text{ mmol/l} \times 246,3 \text{ g/mol} = 123,2 \text{ mg/l ή } 123,2 \text{ g/m}^3$. Για την παρασκευή 100 φορές πιο πυκνού μητρικού διαλύματος $123,2 \text{ g/m}^3 \times 100 = 12320 \text{ g/m}^3$ ή 12,3 Kg λιπάσματος/m³.
- 3) Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους πιο πάνω υπολογισμούς για τα δεδομένα του Πίνακα 2, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ποσότητες λιπασμάτων για την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας και πυκνού θρεπτικού διαλύματος μακροστοιχείων.

Λίπασμα	Λίπασμα	g/mol	mmol/l	Θρεπτικό Διάλυμα τροφοδοσίας mg/l	Πυκνό Διάλυμα Kg/m ³
Νιτρικό ασβέστιο	Ca(NO ₃) ₂	181,0	2,50	453	45,3
Θειικό μαγνήσιο	MgSO ₄	246,3	0,50	123,2	12,3
Θειικό κάλι	K ₂ SO ₄	174,3	1,75	305	30,5
Νιτρική αμμωνία	NH ₄ NO ₃	80,0	0,50	40	4,0
Φωσφορικό οξύ	H ₃ PO ₄	98,0	1,50	147	14,7
Νιτρικό κάλι	KNO ₃	101,1	3,50	354	35,4
Νιτρικό οξύ	HNO ₃	63,0	1,50	94,5	9,45

ii. Διαδικασία υπολογισμού των ιχνοστοιχείων

- 1) Για να υπολογιστούν οι ποσότητες των λιπασμάτων που περιέχουν ιχνοστοιχεία, ώστε να παρασκευαστεί δεδομένος όγκος πυκνού διαλύματος ιχνοστοιχείων, πρέπει απλώς να πολλαπλασιαστεί η επιζητούμενη συγκέντρωση του εκάστοτε ιχνοστοιχείου (μmol/l) με το μοριακό βάρος του λιπάσματος και να αναχθεί στον συγκεκριμένο όγκο διαλύματος που πρέπει να παρασκευαστεί.
- 2) Σε περίπτωση που οι απαιτούμενες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων δίνονται σε mg/l ή ppm, οι υπολογισμοί γίνονται χρησιμοποιώντας την εκατοστιαία περιεκτικότητα του εκάστοτε λιπάσματος στο δεδομένο ιχνοστοιχείο.
- 3) Παρακάτω στον Πίνακα 4 αναφέρεται ένα παράδειγμα υπολογισμού των απαιτούμενων ιχνοστοιχείων του θρεπτικού διαλύματος, χρησιμοποιώντας τη βασική σύνθεση ιχνοστοιχείων του αγγουριού.

Πίνακας 4. Υπολογισμός ιχνοστοιχείων θρεπτικού διαλύματος, όταν το νερό περιέχει 0,5 $\mu\text{mol/l}$ Zn και 2 $\mu\text{mol/l}$ B.

Λίπασμα	Απαιτήσεις						
	$\mu\text{mol/l}$	Fe 35,0	Mn 20,0	Zn 4,0	B 20,0	Cu 0,5	Mo 0,5
Νερό	Διόρθωση						
				-0,5	-2,0		
	Προσθήκη						
		35,0	20,0	3,50	18,0	0,5	0,5
Fe-DTPA (9% Fe)	35,0	35,0					
MnSO ₄ ·H ₂ O (32%Mn)	20,0		20,0				
ZnSO ₄ ·7H ₂ O (23%Zn)	3,5			3,50			
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O (11%B)	4,5				18,0		
CuSO ₄ ·5H ₂ O (25%Cu)	0,5					0,5	
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O (40%Mo)	0,5					0,5	

35 $\mu\text{mol/l}$ Fe = $35 \times 621 \text{ g/mol Fe-DTPA}$ (Πίνακας 5) = $21735/1000 = 21,74 \text{ mg/l Fe-DTPA}$ (9% Fe). Τα $21,74 \text{ mg/l} = 21,74 \text{ g/m}^3$. Το 100 φορές συμπυκνωμένο πυκνό μητρικό διάλυμα ανά m^3 περιέχει $21,74 \text{ g/m}^3 \times 100 = 2174 \text{ g/m}^3$ Fe-DTPA (9% Fe). Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζονται και τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία.

Σημειώνεται ότι, 1 mol Na₂B₄O₇·10H₂O (βόρακα) δίνει 4 mol B. Έτσι για 18 μmol B απαιτούνται: $\frac{1}{4} \times 18 = 4,5 \text{ } \mu\text{mol Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Δηλαδή $4,5 \text{ } \mu\text{mol} \times 381,2 \text{ } \mu\text{g/l} = 1715/1000 = 1,72 \text{ mg/l} = 1,72 \text{ g/m}^3$ Na₂B₄O₇·10H₂O. Το 100 φορές συμπυκνωμένο πυκνό μητρικό διάλυμα ανά m^3 περιέχει $1,72 \text{ g/m}^3 \times 100 = 172 \text{ g/m}^3$ βόρακα.

- 4) Οι ποσότητες των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή του διαλύματος των ιχνοστοιχείων όπως έχει περιγραφεί αναφέρονται στο Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Υπολογισθέντα λιπάσματα για την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας και πυκνού διαλύματος ιχνοστοιχείων.

Λίπασμα	Χημικός τύπος	g/mol	μmol/l	Θρεπτικό Διάλυμα mg/l	Πυκνό Διάλυμα g/m ³
Χηλικός σίδηρος	Fe-DTPA (9% Fe)	621,0	35	21,74	2174
Θειικό μαγγάνιο	MnSO ₄ ·H ₂ O (32%Mn)	169,0	20	3,38	338
Θειικός ψευδάργυρος	ZnSO ₄ ·7H ₂ O (23%Zn)	287,5	3,5	1,01	101
Βόρακας	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O (11%B)	381,2	18/4	1,72	172
Θειικός χαλκός	CuSO ₄ ·5H ₂ O (25%Cu)	249,7	0,5	0,12	12
Μολυβδενικό νάτριο	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O (40%Mo)	241,9	0,5	0,12	12

Γ. Υπολογισμός ενός θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας με υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα

- 1) Αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε υψηλότερης αγωγιμότητας θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας από αυτό που προκύπτει με τη βασική σύνθεση, τότε αυξάνουμε κατά το αντίστοιχο ποσοστό την ποσότητα των ιόντων της βασικής σύνθεσης και μετά υπολογίζεται η ποσότητα των λιπασμάτων που απαιτούνται για να δημιουργηθεί το διάλυμα.
- 2) Γενικά, όταν χρησιμοποιείται υψηλότερη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα τροφοδοσίας, είναι καλό να μην αυξάνεται αντίστοιχα η ποσότητα των φωσφορικών και των αμμωνιακών, διότι μεγάλες συγκεντρώσεις θεωρείται ότι έχουν αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών.
- 3) Σε αυτή την περίπτωση το ποσοστό αύξησης των αμμωνιακών προστίθεται στα νιτρικά, ώστε να μην μεταβληθεί η σχετική αναλογία του αζώτου στο διάλυμα. Για να γίνει εξισορρόπηση των meq/l ανιόντων κατιόντων, λόγω των λιγότερων φωσφορικών και αμμωνιακών, αυξάνονται όσο χρειάζεται τα θειικά, ώστε τα meq/l των ανιόντων να είναι όσα και αυτά των κατιόντων.

Παράδειγμα (Πίνακας 6):

- 1) Για παράδειγμα η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) που πρέπει να έχει ένα θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας, υπολογίστηκε σε 1,50 dS/m.
- 2) Στις συνθήκες που γίνεται η καλλιέργεια μας, πρέπει να τροφοδοτήσουμε τα φυτά με θρεπτικό διάλυμα υψηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας π.χ. 2,08 dS/m.
- 3) Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τις ποσότητες των στοιχείων της βασικής σύνθεσης (πλην των φωσφορικών και των αμμωνιακών), με τον συντελεστή διόρθωσης: $2,08 / 1,50 = 1,4$.
- 4) Η συγκέντρωση των νιτρικών θα αυξηθεί επιπλέον και με το ποσοστό που έπρεπε να αυξηθούν τα αμμωνιακά. Επίσης, η ποσότητα των θειικών θα αυξηθεί επιπλέον, τόσο όσο το άθροισμα σε meq των ανιόντων να γίνει ίσο με αυτό των κατιόντων.
- 5) Συνεχίζουμε τη διαδικασία υπολογισμού των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως.

Πίνακας 6. Υπολογισμός ενός θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας με υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα.

EC (dS/m)	mmol/l	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1.50		11,75	1,25	1,00	0,50	5,50	3,50	1,00
EC (dS/m)	Διόρθωση για υψηλότερη EC							
2.08	mmol/l	16,65	1,25	1,45	0,50	7,70	4,90	1,40

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ II

Διαδικασία υπολογισμού των θρεπτικών στοιχείων (λιπασμάτων) εκφρασμένα σε μονάδες κανονικότητας meq/l

Στον πιο κάτω στον πίνακα αναφέρεται ένα παράδειγμα υπολογισμού των μακροστοιχείων του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας για τριαντάφυλλο. Σχετικό υπολογιστικό πρόγραμμα υπάρχει σε ηλεκτρονική μορφή στον ιστοχώρο <http://www.ekk.aua.gr/excel/index.htm>, το οποίο βασίζεται στους αλγόριθμους που αναπτύχθηκαν από τους Savvas and Adamidis (1999) και Savvas (2001).

Πίνακας 1. Τροποποιημένη σύνθεση θρεπτικού διαλύματος για τριαντάφυλλο σε μακροστοιχεία και υπολογισμός των απαιτούμενων δοσολογιών λιπασμάτων. Όλες οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε meq/l.

A/A	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		Σύνθεση διαλ/τος (κατιόντα)	Σύνθεση νερού (κατιόντα)	Προσθήκη λιπασμάτων (κατιόντα)	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
2	Σύνθεση διαλ/τος (ανιόντα)	19,16			2,72	13,12	0,99	0,50	1,83
3	Σύνθεση νερού (ανιόντα)		7,83		0,33	0,06	0,00	5,61	1,83
4	Προσθήκη λιπασμάτων (ανιόντα)			16,44	2,39	13,06	0,99	0,00	0,00
5	Ca ²⁺	8,49	4,30	4,19		4,19			
6	Mg ²⁺	2,55	1,80	0,75	0,75				
7	K ⁺	5,94	0,10	5,84	1,64	4,20			
8	NH ₄ ⁺	0,55	0,00	0,55		0,55			
9	Na ⁺	1,63	1,63	0,00					
10	H ⁺	0,00	0,00	5,11		4,12	0,99		

1. Τοποθέτηση των συγκεντρώσεων στον πίνακα

- 1) Στη 2^η γραμμή και 2^η στήλη του Πίνακα 1, δίνεται η σύνθεση ενός θρεπτικού διαλύματος για τριαντάφυλλο σε ανιόντα και κατιόντα αντίστοιχα. Στο Cl^- και στο Na^+ τοποθετούνται οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις του νερού άρδευσης.
- 2) Στην 3^η γραμμή και 3^η στήλη δίνεται η σύσταση του χρησιμοποιούμενου νερού σε ανιόντα και κατιόντα αντίστοιχα [αν οι συγκεντρώσεις των ιόντων δίνονται σε ppm (mg/l) διαιρούνται με το χημικό ισοδύναμο του ιόντος, οπότε μετατρέπονται σε meq/l].
- 3) Ως συγκέντρωση των ιόντων HCO_3^- αναγράφεται η τιμή 0,50 meq/l, η οποία αντιστοιχεί κατά προσέγγιση σε τιμή pH 5,5.
- 4) Στη συνέχεια αφαιρώντας τις συγκεντρώσεις της 3^{ης} στήλης από αυτές της 2^{ης} στήλης και της 3^{ης} γραμμής από αυτές της 2^{ης} γραμμής, προκύπτουν οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων, που πρέπει να προστεθούν μέσω των λιπασμάτων (4^η γραμμή και 4^η στήλη).

2. Ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων στον πίνακα γίνεται με μια ορισμένη σειρά

- 1) Συνήθως ξεκινούμε τους υπολογισμούς με την απαιτούμενη προσθήκη ασβεστίου, που σχεδόν πάντα προστίθεται με τη μορφή νιτρικού ασβεστίου. Τα meq/l νιτρικού ασβεστίου που προστίθενται, είναι όσα τα meq/l Ca^{2+} , που απαιτούνται και αναγράφονται στην 5^η γραμμή, 6^η στήλη.
- 2) Ακολουθεί η προσθήκη μαγνησίου με τη μορφή θειικού μαγνησίου. Όταν η επιθυμητή συγκέντρωση Mg^{2+} είναι μεγαλύτερη αυτής των SO_4^{2-} , τότε προστίθενται τόσα meq/l θειικού μαγνησίου όσα και τα απαιτούμενα meq/l SO_4^{2-} , ενώ το υπόλοιπο μέρος της συγκέντρωσης Mg^{2+} προστίθεται με τη μορφή νιτρικού μαγνησίου. Αντίθετα, όταν η επιθυμητή συγκέντρωση SO_4^{2-} υπερβαίνει αυτή των ιόντων μαγνησίου, τότε προστίθενται τόσα meq/l θειικού μαγνησίου, όσα και τα απαιτούμενα meq/l Mg^{2+} (6^η γραμμή, 5^η στήλη), ενώ το υπόλοιπο μέρος της συγκέντρωσης SO_4^{2-} προστίθεται με τη μορφή θειικού καλίου (7^η γραμμή, 5^η στήλη).
- 3) Η διαδικασία συνεχίζεται με την προσθήκη των ιόντων αμμωνίου με τη μορφή νιτρικής αμμωνίας (8^η γραμμή, 6^η στήλη) και σπανιότερα με τη μορφή φωσφορικού αμμωνίου. Όσα είναι τα meq/l NH_4^+ που προστίθενται, άλλα τόσα είναι και τα meq/l NO_3^- .
- 4) Το επόμενο βήμα είναι η προσθήκη του φωσφόρου. Όπου είναι δυνατόν, για να καλυφθούν οι απαιτήσεις σε φωσφόρο, προτιμάται η μορφή του φωσφορικού οξέος,

γιατί το φωσφορικό οξύ είναι η φθηνότερη πηγή φωσφόρου (10^η γραμμή, 7^η στήλη). Στην περίπτωση αυτή που στο νερό η περιεκτικότητα σε όξινα ανθρακικά δεν υπερβαίνει τα 2 meq/l, ο φώσφορος δίνεται με τη μορφή φωσφορικού μονοκαλίου (KH₂PO₄).

- 5) Ακολουθεί η προσθήκη καλίου με τη μορφή νιτρικού καλίου (7^η γραμμή, 6^η στήλη). Οι ποσότητες meq/l νιτρικού καλίου που πρέπει να προστεθούν είναι όσες και τα meq/l K⁺ που απαιτούνται, αφού αφαιρεθούν οι συγκεντρώσεις K⁺ που τυχόν έχουν χορηγηθεί προηγουμένως, με τη μορφή φωσφορικού μονοκαλίου και θειικού καλίου.
- 6) Τέλος, συμπληρώνεται η συγκέντρωση των νιτρικών με την προσθήκη νιτρικού οξέος (10^η γραμμή, 6^η στήλη). Τα meq/l νιτρικού οξέος που πρέπει να προστεθούν, είναι όσα τα meq/l NO₃⁻ που απαιτούνται, αφού αφαιρεθεί η συγκέντρωση των NO₃⁻, που έχουν χορηγηθεί υπό μορφή νιτρικού ασβεστίου, νιτρικού μαγνησίου, νιτρικής αμμωνίας και νιτρικού καλίου.

3. Υπολογισμός των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων

- 1) Ο υπολογισμός των συγκεκριμένων λιπασμάτων σε Kg/m³ γίνεται μέσω της μετατροπής των meq/l της συγκέντρωσης σε μονάδες βάρους (πολλαπλασιασμός με το χημικό ισοδύναμο του άλατος- λιπάσματος) και αναγωγής στον συγκεκριμένο όγκο διαλύματος που πρέπει να παρασκευαστεί.
- 2) Ειδικά για τα οξέα, επειδή ως υγρά οι ποσότητες τους υπολογίζονται συνήθως σε όγκο, για τη μετατροπή από μονάδες βάρους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πυκνότητά τους. Η πυκνότητα του νιτρικού οξέος είναι 1,40 Kg/l (νιτρικό οξύ 67%), ενώ αυτή του φωσφορικού οξέος είναι 1,70 Kg/l (φωσφορικό οξύ 85%).

Οι υπολογισμοί βασίζονται στη σχέση:

$$Wrs = \frac{[F]rs \times Ers \times Vrs \times Ars}{1000}$$

$$r = 1, \dots, 6, s = 1, \dots, 5,$$

- Η τιμή του r (1...6) υποδηλώνει κατά σειρά Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺, Na⁺, H⁺,
- Η τιμή του s (1...5) υποδηλώνει κατά σειρά SO₄²⁻, NO₃⁻, H₂PO₄⁻, HCO₃⁻, Cl⁻,
- Το Wrs συμβολίζει το βάρος του λιπάσματος rs σε Kg,
- Το [F]rs είναι η δοσολογία προσθήκης του λιπάσματος rs,

- Το Ers είναι το χημικό ισοδύναμο του rs λιπάσματος,
 - Το Vrs συμβολίζει τον όγκο του πυκνού διαλύματος rs και
 - Το Ars συμβολίζει τον βαθμό συμπύκνωσης του πυκνού διαλύματος που περιέχει το λίπασμα rs .
- 1) Εφόσον είναι πλέον γνωστές οι δοσολογίες των λιπασμάτων των μακροστοιχείων θα υπολογιστούν οι συγκεκριμένες ποσότητες, που είναι αναγκαίες για την παρασκευή 0,5 m³ πυκνών διαλυμάτων Α και Β, τα οποία θα αραιώνονται σε αναλογία 1:100 με νερό, για να δώσουν το επιθυμητό θρεπτικό διάλυμα.
 - 2) Από τον Πίνακα 1 βρίσκουμε ότι η συγκέντρωση του $Ca(NO_3)_2$ πρέπει να είναι 4,19 meq/l, το βάρος του λιπάσματος θα είναι: $Ca(NO_3)_2 = (4,19 \text{ meq} \times 108,05 \text{ g/eq (X.I, Πίνακας 2)} \times 0,5 \times 100) / 1000 = 22,626 \text{ Kg}$ λιπάσματος.
 - 3) Στην περίπτωση του $MgSO_4$ η συγκέντρωση πρέπει να είναι 0,75 meq/l, το βάρος του λιπάσματος θα είναι: $0,75 \text{ meq} \times 123,15 \text{ (X.I)} \times 0,5 \times 100 = 4,600 \text{ Kg}$ λιπάσματος.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους πιο πάνω υπολογισμούς αναφέρονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Τα χημικά ισοδύναμα (X.I) των λιπασμάτων εκφρασμένα σε γραμμάρια (g/eq) και ο υπολογισμός των ποσοτήτων για την παρασκευή 0,5 m³ πυκνών διαλυμάτων ($\times 100$) με σύνθεση αυτή που δίνεται στον Πίνακα 1.

Λίπασμα		g/eq (X.I)	meq/l	Πυκνό διάλυμα Kg
Νιτρικό ασβέστιο	$Ca(NO_3)_2$	(181,0) (M.B/10)	4,19	22,6
Θειικό μαγνήσιο	$MgSO_4$	123,15 (M.B/2)	0,75	4,60
Θειικό κάλι	K_2SO_4	87,15 (M.B/2)	1,64	7,15
Νιτρική αμμωνία	NH_4NO_3	80,0	0,55	2,20
Φωσφορικό οξύ	H_3PO_4	98,0	0,99	4,85
Νιτρικό κάλι	KNO_3	101,1	4,20	21,2
Νιτρικό οξύ	HNO_3	63,0	4,12	13,0

4. Διαδικασία υπολογισμού των ιχνοστοιχείων

Τα βάρη των λιπασμάτων των ιχνοστοιχείων που απαιτούνται για την παρασκευή ορισμένου όγκου θρεπτικού διαλύματος, υπολογίζονται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$W_j = \frac{[G]_j \times M_j \times V_j \times A_j}{1000n_j}$$

- Η τιμή του j (1...6) υποδηλώνει κατά σειρά Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo
- Το W_j συμβολίζει το βάρος του λιπάσματος j σε g,
- Το n_j υποδηλώνει τον αριθμό των ατόμων του j ιχνοστοιχείου στο μόριο του λιπάσματος
- Το [G]_j είναι η δοσολογία προσθήκης του λιπάσματος για το ιχνοστοιχείο j,
- Το M_j είναι το μοριακό βάρος του λιπάσματος του ιχνοστοιχείου j,
- Το V_j συμβολίζει τον όγκο του πυκνού διαλύματος που περιέχει το ιχνοστοιχείο j,
- Το A_j συμβολίζει τον βαθμό συμπύκνωσης του πυκνού διαλύματος που περιέχει το λίπασμα του ιχνοστοιχείου j.

Σε περίπτωση που οι απαιτούμενες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων δίνονται σε mg/l ή ppm, οι υπολογισμοί γίνονται αφού πολλαπλασιαστούν με 1000, για να μετατραπούν από mg σε μg και διαιρούνται με το μοριακό βάρος του αντίστοιχου ιχνοστοιχείου, για να μετατραπεί σε μmol. Στον Πίνακα 3 αναφέρεται ένα παράδειγμα υπολογισμού των απαιτούμενων ιχνοστοιχείων ενός θρεπτικού διαλύματος.

Πίνακας 3: Μοριακό βάρος (g/mol) των λιπασμάτων των ιχνοστοιχείων και παράδειγμα για τον υπολογισμό ιχνοστοιχείων θρεπτικού διαλύματος, όταν το νερό περιέχει 2,37 $\mu\text{mol/l}$ Mn, 1,38 $\mu\text{mol/l}$ Zn και 3,70 $\mu\text{mol/l}$ B.

Λίπασμα	Απαιτήσεις						
	$\mu\text{mol/l}$	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Νερό		15,0	10,0	5,0	30,0	0,75	0,5
	Διόρθωση						
			-2,37	-1,38	-3,70		
	Προσθήκη						
	g/mol	15,0	7,63	3,62	26,3	0,75	0,5
Fe-chelate (6% Fe)		15,0					
MnSO ₄ H ₂ O (32%Mn)	169,0		7,63				
ZnSO ₄ 7H ₂ O (23%Zn)	287,5			3,62			
Na ₂ B ₄ O ₇ 10H ₂ O (11%B)	381,2				26,3		
CuSO ₄ 5H ₂ O (25%Cu)	249,7					0,75	
Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O (40%Mo)	241,9						0,5

Ειδικά για τον υπολογισμό του χηλικού σιδήρου χρησιμοποιείται η σχέση:

$$W_{Fe} = \frac{[G]Fe \times 55,9 \times V_j \times A_j}{10P_{Fe}}$$

Το P_{Fe} είναι η εκατοστιαία περιεκτικότητα του λιπάσματος σε καθαρό σίδηρο.

Fe-chelate(6%)= 15 μmol Fe = $(15 \times 55,9 \times 0,5 \times 100) / (10 \times 6) = 698,75$ g.

MnSO₄ = $(7,63 \times 169 \times 0,5 \times 100) / 1000 = 64,50$ g.

ZnSO₄ = $(3,62 \times 287,5 \times 0,5 \times 100) / 1000 = 52,10$ g.

CuSO₄ = $(0,75 \times 249,7 \times 0,5 \times 100) / 1000 = 9,36$ g.

Na₂MoO₄ = $(0,5 \times 241,9 \times 0,5 \times 100) / 1000 = 6,05$ g.

Σημειώστε ότι 1 mol Na₂B₄O₇·10H₂O (βόρακα) δίνει 4 mol B. Έτσι, για 26,3 μmol B απαιτούνται: $(26,3 \times 381,2 \times 0,5 \times 100) / (1000 \times 4) = 125,3$ g.

Άρδευση – Τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος

Η ποσότητα (αρδευτική δόση) και η συχνότητα της άρδευσης είναι ίσως ένας από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για την άρτια διαχείριση των υδροπονικών καλλιέργειών (Lieth and Oki, 2008). Η άρδευση πέραν της αναπλήρωσης του νερού που χάνεται με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής, αποσκοπεί και στην τροφοδοσία με τα απαραίτητα για τη θρέψη στοιχεία των φυτών και την καλύτερη οξυγόνωση της ρίζας. Έτσι όταν λέμε άρδευση στις υδροπονικές καλλιέργειες, εννοούμε προσαγωγή του θρεπτικού διαλύματος στο φυτό.

Σε αδρές γραμμές η ποσότητα του νερού που πρέπει να χορηγηθεί σε μια καλλιέργεια εκτός εδάφους, συνήθως δεν διαφέρει σημαντικά συγκρινόμενη με τις ποσότητες που παρέχονται σε αντίστοιχες θερμοκηπιακές καλλιέργειες στο έδαφος, εφόσον και οι άλλοι παράγοντες είναι παρόμοιοι. Συχνά μάλιστα η κατανάλωση νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι μικρότερη, γιατί δεν υπάρχουν απώλειες λόγω εξάτμισης από το έδαφος.

Θεωρώντας ότι η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος είναι η ενδεδειγμένη, άρδευση με πολύ μεγάλη συχνότητα και ποσότητα έχει δυσμενή αποτελέσματα όσον αφορά την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, πέραν του γεγονότος ότι δημιουργούνται προβλήματα λόγω σπατάλης νερού και λιπασμάτων. Από την άλλη, συμπτώματα στρεσαρίσματος της καλλιέργειας μπορούν εύκολα να προκληθούν στις περιπτώσεις όπου η συχνότητα και η διάρκεια άρδευσης δεν είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες των φυτών.

Έτσι, σε κάθε εφαρμογή άρδευσης, το νερό που έχει καταναλωθεί μεταξύ δύο διαδοχικών ποτισμάτων πρέπει να αναπληρώνεται, ώστε το υπόστρωμα να φθάνει στην υδατοϊκανότητα του (μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει). Η διάρκεια της άρδευσης (αρδευτική δόση) δεν εξαρτάται από τα φυτά, αλλά κυρίως από τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος, ενώ η συχνότητα άρδευσης εξαρτάται από το φυτό και τις κλιματικές συνθήκες (π.χ. ηλιοφάνεια, θερμοκρασία). Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους αρδεύονται πολλές φορές στη διάρκεια της ημέρας, με ορισμένη συχνότητα βάσει του ρυθμού απορρόφησης του νερού από τα φυτά, για να καλυφθούν οι ημερήσιες ανάγκες της καλλιέργειας. Επειδή όμως ο ρυθμός απορρόφησης νερού από τα φυτά δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί στην πράξη, λαμβάνονται υπόψη ορισμένοι παράγοντες για την εκτίμηση της συχνότητας άρδευσης.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον προγραμματισμό της άρδευσης είναι οι εξής:

1. Άρδευση σε προκαθορισμένους χρόνους

Όταν η άρδευση γίνεται σε προκαθορισμένους χρόνους, οι παραγωγοί εφαρμόζουν συνήθως αρκετό νερό σε ένα σταθερό πρόγραμμα άρδευσης, για να διασφαλίσουν την επάρκεια

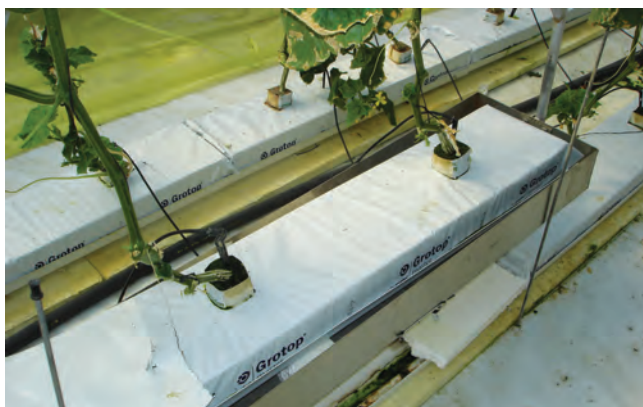
νερού στην καλλιέργεια από την εμπειρία τους. Ο τρόπος αυτός άρδευσης ενώ είναι εύκολος στην εφαρμογή του δεν λαμβάνει υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν τις μεταβολές των υδατικών αναγκών των φυτών, με αποτέλεσμα πολλές φορές να γίνεται υπεράρδευση και σπατάλη, ενώ άλλες φορές, και ειδικότερα ορισμένες ώρες της ημέρας, η άρδευση να είναι ελλειμματική.

2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα στο υπόστρωμα

Κατά τη μέθοδο αυτή γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στο υπόστρωμα, η οποία πρέπει να διατηρείται το πολύ μία με μιάμιση φορά πιο ψηλά από την EC του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας. Σε περίπτωση που η EC ξεπεράσει το πιο πάνω όριο, επιβάλλεται όπως αρχίσει η άρδευση. Για παράδειγμα, έστω ότι ποτίζουμε με EC 2 dS/m και η αγωγιμότητα η οποία μετρείται στο υπόστρωμα ξεπεράσει το 3-3,5 dS/m, πρέπει να ποτίσουμε ξανά.

3. Άρδευση με βάση την υγρασία στο υπόστρωμα

Η χρήση τασιμέτρων και των τιμών μύζησης στο υπόστρωμα δεν εφαρμόζεται με την ίδια επιτυχία, όπως γίνεται στις καλλιέργειες στο έδαφος. Η μέτρηση της υγρασίας στο υπόστρωμα μπορεί να γίνει και με διηλεκτρικούς αισθητήρες (TDR, FDR), μέσω της ανάκλασης ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος. Συνήθως ο έλεγχος της συχνότητας άρδευσης με τη χρήση τασιμέτρων ή αισθητήρων συνδυάζεται με ένα άλλο σύστημα ελέγχου της άρδευσης (π.χ. προκαθορισμένους χρόνους) για την περίπτωση δυσλειτουργίας του συστήματος. Ακριβής εκτίμηση της υδατικής κατάστασης του υποστρώματος μπορεί να γίνει με συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της μεταβολής του βάρους του υποστρώματος (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Συνεχής παρακολούθηση και καταγραφή της μεταβολής του βάρους του υποστρώματος.

4. Μέθοδος μέτρησης του θρεπτικού διαλύματος απορροής

Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ποσότητας και της διάρκειας άρδευσης. Σε κάθε άρδευση ποσοστό περίπου 20-30% της ποσότητας θρεπτικού διαλύματος που εφαρμόζεται, πρέπει να απορρέει έτσι ώστε να διασφαλίζεται η επάρκεια άρδευσης και να παραμένει η επιθυμητή σχέση των θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη κοινού σημείου συλλογής του θρεπτικού διαλύματος απορροής και η άμεση μέτρηση του μετά από κάθε πότισμα. Σε ημερήσια βάση, έλεγχος μπορεί να γίνει εάν από τον όγκο του διαλύματος τροφοδοσίας αφαιρέσουμε τον όγκο του διαλύματος απορροής στο δοχείο συλλογής (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Κοινό σημείο συλλογής του θρεπτικού διαλύματος απορροής.

5. Άρδευση με βάση την ηλιακή ενέργεια

Όταν η αθροιστική ηλιακή ενέργεια φθάσει σε ορισμένη τιμή αναφοράς, ενεργοποιείται η άρδευση και αρχίζει να αθροίζεται ξανά για την επόμενη άρδευση. Στη βιβλιογραφία (Schröder and Lieth, 2002) αναφέρονται ενδεικτικά τιμές αθροιστικής ηλιακής ακτινοβολίας της τάξης των 140-180 J/cm² (1 Wh/m² = 0,36 J/cm²). Η τιμή αναφοράς αναπροσαρμόζεται κατόπιν ελέγχου του κλάσματος απορροής και μπορεί να συνδυάζεται με ένα άλλο σύστημα ελέγχου της άρδευσης (π.χ. προκαθορισμένους χρόνους), ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, όπου επικρατεί χαμηλή ηλιοφάνεια και λειτουργεί σύστημα θέρμανσης ή ακόμη και τους θερμούς μήνες όπου ενδέχεται να διενεργείται πότισμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας.

6. Άρδευση με βάση τη διαπνοή

Το 99% του νερού που απορροφούν τα φυτά χάνεται με τη διαπνοή. Έτσι, αν η διαπνοή μπορεί να εκτιμηθεί, τότε η καλλιέργεια μπορεί να ποτίζεται αυτόματα, όταν ο όγκος νερού που απορροφούν τα φυτά γίνεται ίσος με την αρδευτική δόση μείον το κλάσμα της απορροής. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει με κατάλληλα προσομοιώματα (FAO, Penman-Monteith, Stanghellini), αλλά πολλές φορές η χρήση τους παρουσιάζει πρακτικές δυσκολίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις συστήνεται, όπως συνδυάζεται με ένα επικουρικό σύστημα ελέγχου της άρδευσης (π.χ. προκαθορισμένους χρόνους άρδευσης).

7. Άρδευση με βάση φυσιολογικές παραμέτρους

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια ελέγχου της άρδευσης μέσω συσχετισμού της υδατικής κατάστασης των φυτών με κάποιο ή συνδυασμό δεικτών της φυσιολογικής κατάστασης του φυτού (π.χ. διάμετρο βλαστού, ροή χυμού, αγωγιμότητα στομάτων, ανακλαστικότητα των φύλλων κ.α.). Στην πράξη η μέθοδος αυτή στο παρόν στάδιο παρουσιάζει αντικειμενικές δυσκολίες.

Σημαντικά σημεία στην άρδευση των καλλιεργειών

1. Για την εγκατάσταση ενός συστήματος άρδευσης, μόνιμη επιδίωξη είναι η εξασφάλιση ομοιόμορφης διανομής του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά. Το δίκτυο σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχει την ίδια πίεση σε κάθε σταλάκτη. Η χρήση σταλακτών αυτορυθμιζόμενης πίεσης, οι οποίοι έχουν επιπλέον τη δυνατότητα αυτόματου κλεισίματος με τη λήξη της άρδευσης, συμβάλλει πολύ στην ομοιομορφία κατανομής του νερού στα φυτά. Κατά κανόνα για την άρδευση των φυτών σε υποστρώματα χρησιμοποιείται το σύστημα των σταγόνων χαμηλής παροχής 2-4 λίτρα/ώρα. Γενικά, η τροφοδότηση των φυτών με θρεπτικό διάλυμα μέσω σταλακτών μικρής παροχής, μεγιστοποιεί την εκμετάλλευση του ενεργού χώρου του ριζοστρώματος. Γι' αυτό όσο πιο εύκολα στραγγίζει ένα υπόστρωμα, τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η παροχή των σταλακτών.
2. Οι σωλήνες τροφοδοσίας πρέπει να τοποθετούνται σε χαμηλότερο επίπεδο από τα κανάλια των υποστρωμάτων. Η χρήση ρυθμιστών πίεσης στην αρχή κάθε αγωγού άρδευσης και η χρησιμοποίηση σταλακτών αυτορυθμιζόμενης πίεσης, συμβάλλει σημαντικά στην ομοιομορφία της άρδευσης.
3. Η συχνότητα άρδευσης, η οποία εφαρμόζεται στα πορώδη υποστρώματα, βασίζεται κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα, σε αισθητήρια και μοντέλα άρδευσης. Τα κυριότερα είναι αισθητήρια υγρασίας, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μεταβολής βάρους του

φυτού και του υποστρώματος, μεταβολής της σπαργής των φύλλων ή προσδιορισμού του νερού που στραγγίζει. Η άρδευση με βάση κάποιο μοντέλο στην περίπτωση των θερμοκηπίων βασίζεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και τις παραμέτρους των φυτών. Η αρδευτική δόση όμως καθορίζεται από την υδατοϊκανότητα του υποστρώματος και την ποιότητα του νερού άρδευσης.

4. Γενικά, για την προσαγωγή του θρεπτικού διαλύματος στα πορώδη υποστρώματα θα πρέπει να προσδιορισθούν η αρδευτική δόση (ποσότητα που δίνεται κάθε φορά) και η συχνότητα άρδευσης. Οποιαδήποτε μέθοδος άρδευσης και αν επιλεγεί, πρέπει η αρδευτική δόση και η συχνότητα άρδευσης να προσαρμόζονται ώστε η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) στο υπόστρωμα να διατηρείται σταθερή και η συγκέντρωση οξυγόνου η μεγαλύτερη δυνατή.
5. Η άρδευση ξεκινά πριν η ποσότητα του νερού στον σάκο πέσει σε επίπεδα τα οποία δεν είναι εύκολα διαθέσιμα στα φυτά. Για τον υπολογισμό της αρδευτικής δόσης (λίτρα/σάκο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω ισότητα:

$$Q = \frac{N \times Ww \times Y}{1 - dr}$$

Όπου *N*: το ποσοστό του ευκόλως διαθέσιμου νερού (ΕΔΝ) του υποστρώματος το οποίο όταν καταναλωθεί πρέπει να αρχίσει η άρδευση (1/3 μέχρι το 1/4 του ΕΔΝ), *Ww*: περιεκτικότητα του υποστρώματος σε ΕΔΝ (περίπου στον ορυκτοβάμβακα είναι 85% και στον κοκκοφόνικα 58%), και *Y*: η υδατοϊκανότητα του υποστρώματος του σάκου (λίτρα/σάκο) και *dr*: επιθυμητό ποσοστό νερού στράγγισης (ένα ποσοστό απορροής 25-35% είναι ικανοποιητικό; το ποσοστό απορροής πρέπει να είναι μεγαλύτερο, όσο η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα είναι μεγαλύτερη).

Όσον αφορά την υδατοϊκανότητα (*Y*) είναι η ποσότητα του νερού που απομένει στο υπόστρωμα μετά τη στράγγιση. Για τον υπολογισμό της ζυγίζουμε τον σάκο με το υπόστρωμα και προσθέτουμε νερό, ώστε να διαβρεχτεί πλήρως και μετά τον κορεσμό ανοίγουμε οπές στον σάκο και αφήνεται να στραγγίσει (~6 ώρες). Τότε, προσδιορίζεται η υγρασία του ξαναζυγίζοντας τον σάκο με το υπόστρωμα (λίτρα/σάκο).

Η διάρκεια της άρδευσης ώστε να επιτευχθεί η αρδευτική δόση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t = \frac{Q}{n \times q} \times 3600$$

6. Όπου *t*: διάρκεια άρδευσης (δευτερόλεπτα.), *Q*: αρδευτική δόση (λίτρα/σάκο), *n*: αριθμός σταλακτών/σάκο, *q*: παροχή σταλακτών (λίτρα/ώρα).

7. Η συχνότητα της άρδευσης καθορίζεται από την εξατμισοδιαπνοή (η οποία εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και τις παραμέτρους των φυτών) και την αρδευτική δόση (εξαρτάται από το υπόστρωμα και την ποιότητα του νερού άρδευσης). Στην περίπτωση που η συχνότητα άρδευσης ελέγχεται από ολοκληρωτή ηλιακής ακτινοβολίας, το άθροισμα της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την έναρξη της άρδευσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Sigma Rad = \frac{\{Q \times \lambda \times (1 - dr)\}}{Kc \times etr}$$

Όπου ΣRad : άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας, Q : αρδευτική δόση, Kc : φυτικός συντελεστής ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης με τιμές 0.8-1, etr : ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας που αναλώνεται με την εξατμισοδιαπνοή με τιμές 0.3-0.9 (μέση τιμή ≈ 0.65), λ : λανθάνουσα θερμότητα εξατμισμού του νερού (2.45 MJ/Kg στους 20°C).

8. Στην υδροπονική πράξη ιδιαίτερη σημασία έχουν οι ιδιότητες του διαλύματος που βρίσκεται στον χώρο των ριζών, να μεταβάλλονται όσο το δυνατόν λιγότερο και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το pH στον σάκο να διατηρούνται σταθερά. Όλοι οι καλλιεργητικοί χειρισμοί πρέπει να συντείνουν προς αυτό τον στόχο. Αυτό προϋποθέτει συχνούς ελέγχους (κατά προτίμηση καθημερινά και την ίδια ώρα) και ρύθμιση της συγκέντρωσης των ιόντων στην περιοχή της ρίζας (κάθε 2-3 μήνες).
9. Σε ένα θρεπτικό διάλυμα που οδηγείται στη ρίζα των φυτών το ισοζύγιο της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων και ροής νερού είναι:

$$Cs \times Ws = (Cu \times Wu) + [(Ws - Wu) \times Cd]$$

Όπου Cs : η συγκέντρωση στο διάλυμα τροφοδοσίας, Cu : η συγκέντρωση απορρόφησης, Cd : η συγκέντρωση στο διάλυμα στράγγισης, Ws : η ποσότητα νερού που προσφέρεται στην καλλιέργεια, Wu : η ποσότητα νερού που απορροφήθηκε. Επομένως, μεταβολές και διορθώσεις στη σύσταση και τις ιδιότητες του διαλύματος στον χώρο των ριζών μπορούν να επιτευχθούν είτε μέσω της άρδευσης (αλλαγών στην ημερήσια συχνότητα και διάρκεια άρδευσης), είτε μέσω τροποποίησης σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος.

Ποιότητα του νερού άρδευσης

Η ποιότητα του νερού άρδευσης είναι αυτή η οποία καθορίζει το είδος της καλλιέργειας, καθώς επίσης και τον καθαρισμό της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος και τη δυνατότητα χρήσης του στην υδροπονία (Πίνακας 1). Όταν η συγκέντρωση οποιουδήποτε ιόντος στο νερό άρδευσης είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση απορρόφησης του από το φυτό, τότε παρατηρείται συσσώρευση αλάτων στο ριζικό περιβάλλον. Έτσι, η αλατότητα του νερού άρδευσης θέτει κάποια κατώτατα όρια αλατότητας, που μπορούν να επιτευχθούν στο περιβάλλον των ριζών.

Πίνακας 1. Καταλληλότητα του νερού άρδευσης.

Ποιότητα	EC (dS/m)	Νάτριο (Na, ppm)	Χλώριο (Cl, ppm)
1	<0,5	<30	<50
2	0,5-1,0	30-60	50-100
3	1,0-1,5	60-90	100-150

Το νερό ποιότητας 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα υδροπονικά συστήματα και σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες. Το νερό ποιότητας 2 είναι γενικά αποδεκτό αλλά μπορεί ορισμένες ευαίσθητες καλλιέργειες να αντιμετωπίσουν πρόβλημα, ενώ το νερό ποιότητας 3 έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υδροπονία και συστήνεται να αποφεύγεται στα κλειστά συστήματα.

Μια χημική ανάλυση νερού πρέπει να περιλαμβάνει τις συγκεντρώσεις όλων των ανόργανων διαλυτών συστατικών, που σχετίζονται με τη θρέψη του φυτού. Επιπρόσθετα πρέπει να προσδιορίζεται η συνολική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το pH του νερού. Τα συνηθέστερα ιόντα στα αλατούχα νερά είναι τα ιόντα Na^+ και Cl^- (Πίνακας 1), όμως πολλές φορές ιόντα όπως Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- όπως επίσης και το βόριο (B) μπορεί να περιέχονται σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Η συνολική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC; dS/m) αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση γενικής αλατότητας του νερού άρδευσης (Πίνακας 1). Υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες συγκεντρώσεις αλάτων στο τελικό θρεπτικό διάλυμα που προκύπτει μετά και την προσθήκη λιπασμάτων.

Το pH του νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Στις πλείστες περιπτώσεις για τα δεδομένα της Κύπρου το pH του νερού άρδευσης είναι μεγαλύτερο του 7 και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καταρτισμό του προγράμματος ετοιμασίας του θρεπτικού διαλύματος. Αυτό γιατί οι άριστες τιμές pH για βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγή βρίσκονται μεταξύ του ορίου 5,5 – 6,5. Τιμές πέραν του ορίου τούτου, έχουν ως αποτέλεσμα κάποια θρεπτικά στοιχεία να καθίστανται δυσδιάλυτα ή ευδιάλυτα, με αποτέλεσμα την ανομοιομορφία της θρέψης και την εμφάνιση τροφопενιών ή τοξικοτήτων.

Θρέψη φυτού

1. Συνολική συγκέντρωση των ιόντων (Ηλεκτρική αγωγιμότητα, EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) δεν μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων, τα οποία είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα, αλλά μόνο για τη συνολική τους συγκέντρωση. Παρ' όλα αυτά όμως στην πράξη η EC χρησιμοποιείται σαν βασικό μέγεθος αναφοράς, τόσο κατά την παρασκευή, όσο και κατά τον έλεγχο της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων, λόγω της ευκολίας με την οποία μετράται (Silber and Bar-Tal, 2008). Μέτρηση της EC πρέπει να διενεργείται καθημερινά ή τουλάχιστον κάθε 2-3 ημέρες σε 3-5 διαφορετικά σημεία της καλλιέργειας. Στον ορυκτοβάμβακα το δείγμα λαμβάνεται από τον χώρο των ριζών π.χ. με τη βοήθεια μιας σύριγγας, ενώ στην περίπτωση του κοκκοφοίνικα ή του περλίτη οι μετρήσεις γίνονται συνήθως στο διάλυμα απορροής, ώστε να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση η αγωγιμότητα στη ρίζα. Γενικά, η συγκέντρωση του διαλύματος που βρίσκεται σε ένα σάκο με υπόστρωμα (E_r), είναι ίση με τον μέσο όρο της συγκέντρωσης του αρχικού διαλύματος (E_t) και της συγκέντρωσης του διαλύματος στράγγισης (E_d):

$$E_r = (E_t + E_d) / 2$$

Τιμές EC χαμηλότερες από ένα κατώτερο όριο υποδηλώνουν ότι η περιεκτικότητα του διαλύματος σε ορισμένα τουλάχιστον θρεπτικά στοιχεία είναι ανεπαρκής. Αντίθετα, πολύ υψηλές τιμές του EC σημαίνουν ότι η συνολική περιεκτικότητα του διαλύματος σε άλατα (θρεπτικών στοιχείων και μη) είναι τόσο μεγάλη, ώστε τα φυτά υφίστανται αλατούχο καταπόνηση.

Ενδεικτικά, οι ανθοκομικές καλλιέργειες απαιτούν χαμηλότερη αγωγιμότητα (EC) από τις λαχανοκομικές καλλιέργειες. Για τα περισσότερα καλλιεργούμενα καρποδοτικά λαχανοκομικά φυτά η EC των θρεπτικών διαλυμάτων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2,5 dS/m, ενώ στο περιβάλλον των ριζών από 2,5 έως 3,5 dS/m. Πιο σπάνια, κατά τη διάρκεια των βλαστικών σταδίων ανάπτυξης ορισμένων καρποδοτικών λαχανικών, όπως η ντομάτα, η EC μπορεί να αυξηθεί και πάνω από 4 dS/m, με στόχο την αποφυγή μιας υπέρμετρης βλαστικής αύξησης των φυτών και συνεπώς την επίτευξη καλύτερης ισορροπίας μεταξύ βλάστησης και καρποφορίας και τη βελτίωση της ποιότητας. Για τα πλείστα ανθοκομικά φυτά η EC στη ρίζα δεν αφήνεται πέραν του 2,1 dS/m. Οι τιμές EC που συνιστώνται για το περιβάλλον των ριζών είναι περίπου ίδιες με αυτές που δίνονται ως ανώτατη επιτρεπτή τιμή αλατότητας (Πίνακας 1).

2. Έλεγχος της EC στη ρίζα

Συνήθως, η EC στη ρίζα τείνει να αυξάνει με την πάροδο του χρόνου σε σχέση με το διάλυμα τροφοδοσίας και αυτό οφείλεται στη συσσώρευση ορισμένων ιόντων (π.χ. δι-σθενή ιόντα και ιόντα νατρίου). Ο έλεγχος της EC στη ρίζα γίνεται μέσω:

- i. της σύνθεσης του διαλύματος τροφοδοσίας και
- ii. της συχνότητας χορήγησης του.

Η συγκέντρωση αλάτων στο διάλυμα στράγγισης υποδεικνύει περισσότερη άρδευση, ενώ οι υψηλοί ρυθμοί ροής μειώνουν τις διαφορές μεταξύ της συγκέντρωσης του αρχικού διαλύματος και της συγκέντρωσης του διαλύματος στράγγισης. Για παράδειγμα, αν η αγωγιμότητα στη ρίζα αυξηθεί, με αύξηση της συχνότητας άρδευσης αυξάνει το κλάσμα απορροής και μπορεί να διορθωθεί η αγωγιμότητα. Φυσικά, το αυξημένο κλάσμα απορροής (>40%) οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση λιπασμάτων και νερού επιτείνοντας την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της αγωγιμότητας στη ρίζα είναι η αναπροσαρμογή της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος με αραιότερο διάλυμα. Ορισμένες φορές μπορεί να μην είναι αρκετή μια απλή μείωση, οπότε θα πρέπει να εφαρμοστεί έκπλυση του υποστρώματος με νερό πολύ καλής ποιότητας (βρόχινο ή αφαλατωμένο με $EC < 0,2 \text{ dS/m}$). Πολύ σημαντικό είναι να ρυθμίζεται το pH στο νερό αυτό με νιτρικό οξύ μεταξύ 5,5 και 6. Όμως είναι προτιμότερο η έκπλυση να γίνεται με ένα ισορροπημένο αραιότερο θρεπτικό διάλυμα ($EC \sim 1 \text{ dS/m}$) ώστε να αποφεύγονται έντονες μεταβολές της αγωγιμότητας στη ρίζα, το οποίο μπορεί να προκαλέσει σχίσσιμο στους καρπούς (Σάββας, 2012).

Ακόμη για καλύτερο έλεγχο της EC, κάτω από συνθήκες έντονης ηλιοφάνειας, ζεστού καιρού και γενικά συνθήκες που ευνοούν υψηλούς ρυθμούς διαπνοής, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα πρέπει να τείνουν προς τα κατώτερα όρια, ενώ κάτω από συνθήκες χαμηλών ρυθμών διαπνοής (συννεφιά, υγρός καιρός κ.λπ.) ενδείκνυνται τιμές κοντά στα ανώτερα όρια, που συνιστώνται για το συγκεκριμένο φυτό και στάδιο καλλιέργειας.

Σε περίπτωση που είναι επιθυμητή μικρή αύξηση στην τιμή της EC, για έλεγχο της βλάστησης ή βελτίωση ορισμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών, θα πρέπει να επιτυγχάνεται μέσω ομοιόμορφης ανύψωσης της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων που εμπεριέχονται στο διάλυμα, έτσι ώστε οι μεταξύ τους αναλογίες να παραμένουν σταθερές.

Συνοψίζοντας, ο απαραίτητος έλεγχος των θρεπτικών στοιχείων στο ριζικό σύστημα και η διατήρηση της σωστής αναλογίας μεταξύ τους είναι παράγοντας κλειδί για την επιτυχία στην υδροπονία (Εικόνα 1).

Όταν αρδεύουμε, επιδιώκουμε πάντα ένα ποσοστό στράγγισης (20-30%) ώστε:

- i. να ελέγχεται καλύτερα το pH στο ριζικό σύστημα,
- ii. να απομακρύνονται ιόντα, τα οποία συσσωρεύτηκαν στη ρίζα ώστε να επανέλθει η σωστή αναλογία των στοιχείων,
- iii. να γίνεται καλύτερη οξυγόνωση του ριζικού συστήματος.

Αν χρειαστεί να μειώσουμε την αγωγιμότητα στη ρίζα:

- i. μπορούμε να ποτίσουμε με ειδικό θρεπτικό διάλυμα χαμηλότερης αγωγιμότητας (προτιμότερο), ή
- ii. να δώσουμε μεγαλύτερες ποσότητες διαλύματος, ώστε να επαναφέρουμε τη σωστή αναλογία των θρεπτικών στοιχείων στο υπόστρωμα (π.χ. αύξηση συχνότητας ποτισμάτων), ή
- iii. στην περίπτωση που το ξέπλυμα γίνεται με καθαρό νερό αυτό πρέπει να είναι βρόχινο ή πάρα πολύ καλής ποιότητας (από αφαλάτωση) με pH χαμηλότερο από 6,5.



Εικόνα 1. Καλλιέργεια αγγουριού και αρωματικών φυτών στην υδροπονία.

3. Περιεκτικότητα σε ιόντα υδρογόνου (pH)

Η περιεκτικότητα του περιβάλλοντος της ρίζας σε ιόντα υδρογόνου καθορίζει και την καταλληλότητα του περιβάλλοντος αυτού για την ανάπτυξη και τη λειτουργία της. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε αλλαγή του pH που λαμβάνει χώραν σε ένα θρεπτικό διάλυμα, προκαλεί μεταβολές στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων. Επίσης, πολύ χαμηλό pH (όξινο διάλυμα) ή πολύ υψηλό pH (αλκαλικό διάλυμα), μπορεί να προξενήσει καταστροφή των κυτταρικών τοιχωμάτων και καταστροφή των φυτών. Το pH του θρεπτικού διαλύματος καθορίζει και την καταλληλότητά του για την ανόργανη θρέψη των φυτών. Πολλά θρεπτικά στοιχεία, όπως P, Fe, Mn, Zn και Cu καθίστανται δυσδιάλυτα σε υψηλό pH και δεν είναι δυνατόν να απορροφηθούν από τα φυτά. Για παράδειγμα σε pH πάνω από 6,0 μπορεί να εμφανιστεί έλλειψη μαγγανίου (κιτρίνισμα των άκρων των φύλλων ή μεγάλες κίτρινες κηλίδες στα φύλλα). Αντίθετα, σε pH μικρότερο του 5,5, μπορεί να εμφανίζεται τοξικότητα μαγγανίου, ιδιαίτερα στα ευαίσθητα φυτά διότι διευκολύνεται η απορρόφηση του. Για τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά η τιμή του pH του διαλύματος ριζοστρώματος που ευνοεί περισσότερο την ανάπτυξη και την παραγωγή τους, κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 6,5. Όταν το pH στο περιβάλλον των ριζών είναι πάνω από 7 ή κάτω από 4,4-4,8 τα πιο πολλά φυτά αντιδρούν με μείωση της ανάπτυξης τους. Για να αποφευχθεί λοιπόν η αύξηση του pH στο περιβάλλον της ρίζας σε επίπεδα πάνω από 6,7-7, θα πρέπει το διάλυμα τροφοδοσίας να ρυθμιστεί στο 5,5-5,8, με προσθήκη οξέος και ένα μέρος του αζώτου της τάξης του 10-15% να παρέχεται σε αμμωνιακή μορφή (NH_4^+). Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αμμωνιακών μπορεί να επιδράσουν τοξικά στο φυτό ή να επηρεάσουν την απορρόφηση άλλων θρεπτικών στοιχείων π.χ. μείωση της πρόσληψης ασβεστίου (Ca^{2+}).

Στην πράξη το pH στο περιβάλλον των ριζών, σε σχέση με το pH στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας τείνει να αυξάνει, ως αποτέλεσμα της άνισης απορρόφησης ανιόντων και κατιόντων.

Για την καλύτερη ρύθμιση του pH στο περιβάλλον των ριζών (<6,5) πρέπει:

- i. όταν αρδεύουμε να επιδιώκουμε πάντα ένα ποσοστό στράγγισης (20-30%) με θρεπτικό διάλυμα του οποίου το pH ρυθμίζεται γύρω στο 5,5 και
- ii. να χορηγούμε ένα μέρος του αζώτου (σε ποσοστό από 5 έως 15%) σε αμμωνιακή μορφή ανάλογα με το καλλιεργούμενο είδος.

4. Τα θρεπτικά στοιχεία στο διάλυμα

Τα φυτά χρειάζονται και έχουν ανάγκη την προσθήκη χημικών στοιχείων στο διάλυμα, για να αναπτυχθούν και να παράγουν. Η ημερήσια απορρόφηση των θρεπτικών στοι-

χείων από την καλλιέργεια έχει σημαντικές διακυμάνσεις, που επηρεάζονται α) από τις συνθήκες καλλιέργειας β) από τις συνθήκες του περιβάλλοντος γ) από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και δ) από το μέγεθος της καρποφορίας. Έτσι, αυτή μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Η σύνθεση επομένως του θρεπτικού διαλύματος, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών αναπροσαρμόζεται, ανάλογα με το βλαστικό στάδιο των φυτών και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν.

5. Ρύθμιση συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα / αναπροσαρμογή συνταγών

Γενικά, τα φυτά απορροφούν τα μονοσθενή ιόντα (K^+ , $H_2PO_4^-$, NO_3^-) πιο αποτελεσματικά από τα δισθενή (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}), με αποτέλεσμα στα θρεπτικά διαλύματα στη ρίζα να απαιτούνται σχετικά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των δισθενών ιόντων, ώστε τα φυτά να αυξήσουν την απορρόφηση τους. Οι συγκεντρώσεις τους όμως στο διάλυμα τροφοδοσίας θα πρέπει να είναι χαμηλότερες από αυτές που επιδιώκονται στο ριζόστρωμα, ώστε να μην προκαλέσουν υπερβολική ανύψωση τους.

Δεδομένα τα οποία αφορούν επιθυμητές συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων, τόσο στο διάλυμα όσο και το ριζόστρωμα, όπως επίσης και συγκεντρώσεις απορρόφησης ενός σημαντικού αριθμού καλλιεργειών στα ελληνικά θερμοκήπια αναφέρονται αναλυτικά από τον Σάββα (2012).

Γενικά, για να ρυθμιστεί η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα πρέπει:

- i. να παρέχεται ένα κατάλληλο διάλυμα και
- ii. να ελέγχεται το διάλυμα στο ριζόστρωμα.

Ο έλεγχος συνίσταται στη μέτρηση της αγωγιμότητας (κατά προτίμηση κάθε μέρα) και των συγκεντρώσεων των στοιχείων, καθώς και στη σύγκριση τους με τις επιθυμητές τιμές. Αν η κατάσταση της καλλιέργειας είναι καλή και η EC στα επιθυμητά επίπεδα, η ανάλυση για τα θρεπτικά στοιχεία μπορεί να γίνεται κάθε 2-3 μήνες. Στην περίπτωση που δεν είναι εφικτό να ληφθεί δείγμα από το υπόστρωμα, μπορεί να ληφθεί δείγμα από την απορροή και έμμεσα να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις και η αγωγιμότητα στο υπόστρωμα, ως μέσος όρος των τιμών της απορροής και της τροφοδοσίας.

Γενικά, η αύξηση του κλάσματος της απορροής μικραίνει τις διαφορές των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων μεταξύ διαλύματος τροφοδοσίας και στράγγισης. Στην πράξη αυτό μπορεί να γίνει με αύξηση της συχνότητας και της διάρκειας άρδευσης, αλλά πολλές φορές οδηγεί σε σπατάλες νερού και λιπασμάτων.

Για την αναπροσαρμογή των επιθυμητών συγκεντρώσεων στο θρεπτικό διάλυμα, η πιο κάτω μαθηματική σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

$$C_{it} = C_{iu} + a(C_{id} - C_{iu})$$

Cit: Συγκέντρωση θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα τροφοδοσίας, *Cid*: Συγκέντρωση θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα απορροής, *Ciu*: Συγκέντρωση απορρόφησης θρεπτικού στοιχείου. Το *a* είναι το κλάσμα απορροής.

Για παράδειγμα, σε μια καλλιέργεια ντομάτας στο βλαστικό στάδιο η επιθυμητή τιμή *Cit* για το κάλιο (K) στο διάλυμα τροφοδοσίας είναι 7,50 mM (βιβλιογραφία). Χρησιμοποιώντας την τρέχουσα τιμή *Cid* (8,06 mM), την επιθυμητή *Cit* και ένα κλάσμα απορροής 30%, εκτιμάται η τρέχουσα τιμή *Ciu* από τον πιο πάνω τύπο, που είναι 7,26 mM. Ακολούθως, χρησιμοποιώντας την τρέχουσα τιμή *Ciu* και την τιμή-στόχο από τη βιβλιογραφία *Cid* (10,10 mM), εκτιμούμε την καινούργια τιμή στόχο για το κάλιο (K) *Cit* (8,11 mM) στο διάλυμα τροφοδοσίας. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται για όλα τα θρεπτικά στοιχεία κατά την αναπροσαρμογή της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος. Το καινούργιο αυτό διάλυμα χορηγείται στην καλλιέργεια, μέχρι να ανανεωθεί το διάλυμα ριζοστρώματος ($\approx$ 1 μήνα διάρκεια και επανερχόμαστε μετά από ανάλυση).

Στην περίπτωση των ιχνοστοιχείων Fe, Zn, Cu και B, τα στοιχεία αυτά συμπεριφέρονται όπως και τα δισθενή μακροστοιχεία, δηλαδή τείνουν να συσσωρεύονται στο περιβάλλον των ριζών, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις τους στο διάλυμα τροφοδοσίας να πρέπει να είναι χαμηλότερες από τις επιθυμητές στο ριζόστρωμα. Αντίθετη είναι η περίπτωση του Mn, το οποίο απορροφάται σχετικά εύκολα. Για τη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων καθοριστικός παράγοντας είναι το pH και ενδεχομένως παρατηρούνται φαινόμενα ανταγωνισμού μεταξύ τους ή και με τα μακροστοιχεία, όπως το παράδειγμα της μειωμένης απορρόφησης Zn με αυξημένο P στο διάλυμα. Επίσης, τα οργανικά υποστρώματα μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να δεσμεύουν τα ιχνοστοιχεία. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων πρέπει να παρακολουθούνται μέσω αναλύσεων. Αν για κάποιο λόγο δεν γίνονται συχνά αναλύσεις, τότε συνίσταται να δώσουμε μεγαλύτερες ποσότητες διαλύματος, ώστε να επαναφέρουμε τη σωστή αναλογία των θρεπτικών στοιχείων στο υπόστρωμα π.χ. για μια ημέρα.

Ο σχεδιασμός του προγράμματος λίπανσης, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, έχει στόχο την τροφοδοσία των φυτών με τα απαραίτητα μακρο και ίχνο-στοιχεία στην ιδανική για κάθε περίπτωση συγκέντρωση. Εκτός όμως από την ποσότητα του κάθε στοιχείου μάς ενδιαφέρουν και οι σχετικές αναλογίες μεταξύ τους, καθώς υπάρχει διαφορετική αποτελεσματικότητα απορρόφησης για το κάθε θρεπτικό στοιχείο, ώστε τελικά να παροσιάζονται αλληλεπιδράσεις.

6. Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων

Το 70% των ιόντων, τα οποία απορροφώνται από τα φυτά είναι νιτρικά και αμμωνιακά. Το ποιο από τα δύο προσφέρεται στο φυτό και γενικά η αναλογία απορρόφησης των κατιόντων-ανιόντων, επηρεάζει το pH του εξωτερικού διαλύματος.

- 1) Υπερβολική απορρόφηση ανιόντων (π.χ. NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) αυξάνει το pH του εξωτερικού διαλύματος ενώ υπερβολική απορρόφηση κατιόντων (π.χ. K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) το μειώνει.
- 2) Το N με τη μορφή NO_3^- ή NH_4^+ υφίσταται ανταγωνιστικές σχέσεις, όπως $\text{NH}_4 \times \text{Ca}$, $\text{NH}_4 \times \text{Mg}$, $\text{NH}_4 \times \text{K}$, $\text{NO}_3 \times \text{P}$ και $\text{NO}_3 \times \text{S}$.
- 3) Το K περιορίζει τον ρυθμό απορρόφησης των Ca και Mg, ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις το $\text{NH}_4\text{-N}$ ανταγωνίζεται το K. Γι' αυτό η διατήρηση μιας ισορροπημένης αναλογίας των μακροκατιόντων (K: Ca: Mg) μπορεί να ελαχιστοποιήσει την εμφάνιση φυσιολογικών ασθενειών, όπως της ξηρής σήψης της κορυφής στους καρπούς ντομάτας, πιπεριάς και στη φράουλα.
- 4) Το Mg ανταγωνίζεται το Mn, ενώ ομοίως ανταγωνιστική είναι η σχέση του Cu με το P, K και Fe.
- 5) Επιπρόσθετα, πρέπει να αποφεύγεται η υψηλή συγκέντρωση P στο διάλυμα σε περίπτωση αύξησης της EC, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα ή να δημιουργήσει έλλειψη Ca ή ιχνοστοιχείων όπως Zn.
- 6) Η χρήση μεγάλων ποσοτήτων θειικών (SO_4^{2-}) μέσω π.χ. του θειικού καλίου, μπορεί να δημιουργήσει αδιάλυτες ενώσεις Ca στις ρίζες.
- 7) Επίσης, ανταγωνισμός παρατηρείται μεταξύ NO_3^- και Cl^- όπου η απορρόφηση NO_3^- περιορίζεται από τα Cl^- .
- 8) Τα ιχνοστοιχεία και ειδικότερα τα Fe, Mn, Zn, Cu ανταγωνίζονται, τόσο μεταξύ τους, όσο και με τα μακροστοιχεία.
- 9) Παράλληλα, η επαρκής τροφοδότηση των φυτών με Ca μέσω του θρεπτικού διαλύματος, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιδράσεων της αλατότητας σε μια υδροπονική καλλιέργεια.
- 10) Συνήθως, όταν αναφέρονται οι βέλτιστες σχέσεις μεταξύ των στοιχείων, αυτές αφορούν τις σχέσεις τους στην περιοχή της ρίζας (στο υπόστρωμα). Για την ντομάτα αναφέρονται οι ακόλουθες σχέσεις: $\text{N:K} \approx 2$, $\text{K:Ca} \approx 1$ και $\text{Ca:Mg} \approx 2,2$ (mol/mol). Για να επιτευχθούν οι πιο πάνω αναλογίες στη ρίζα, στο διάλυμα τροφοδοσίας οι σχέσεις αυτές πρέπει να είναι: $\text{N:K} \approx 1,5$, $\text{K:Ca} \approx 1,6$ και $\text{Ca:Mg} \approx 3,5$, (mol/mol). Για το αγγούρι οι αναλογίες διαμορφώνονται ως εξής: $\text{N:K} \approx 2,25$, $\text{K:Ca} \approx 1,6$, $\text{K:Mg} \approx 5,5$, $\text{Ca:Mg} \approx 3,5$ και $\text{N:S} \approx 10\text{-}15$ (mol/mol).

7. Επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στην παραγωγή και στην ποιότητα

Από πειράματα έχει αποδειχθεί ότι στις υδροπονικές καλλιέργειες η παραγωγή μειώνεται γραμμικά όταν η αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος αυξάνει πάνω από ένα ορισμένο όριο, όπως συμβαίνει και στις καλλιέργειες των φυτών στο έδαφος (Maas and Hoffman, 1977). Η αυξημένη EC μπορεί να οφείλεται στο NaCl, σε θρεπτικά μακροστοιχεία ή σε συνδυασμό και των δύο. Η ανώτατη επιτρεπτή τιμή αλατότητας (STV) για λαχανοκομικά και ανθοκομικά φυτά σε υδροπονική καλλιέργεια, φαίνεται στον πιο κάτω Πίνακα (Σάββας, 2012).

Πίνακας 1. Ανώτατη επιτρεπτή τιμή αλατότητας (STV).

Καλλιέργεια	STV (dS/m)
Ντομάτα	2,5-2,9
Αγγούρι	2,3-3,5
Πιπεριά	2,8
Μελιτζάνα	1,9
Τριαντάφυλλο	2,1
Γαρίφαλο	4,3
Ζέρμπερα	1,5

Ενδεικτικά, οι τιμές EC που συνιστώνται συνήθως στο περιβάλλον των ριζών, είναι περίπου ίσες με τις τιμές STV. Στα καρποδοτικά λαχανικά και ειδικότερα στην ντομάτα οι τιμές EC στη ρίζα υπερβαίνουν τις πιο πάνω τιμές, από μισή μέχρι μιάμιση μονάδα, με στόχο τον περιορισμό της βλαστικής αύξησης προς όφελος της καρποφορίας και της βελτίωσης της ποιότητας. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που βελτιώνονται από την αύξηση της EC, είναι κυρίως τα σάκχαρα, η οξύτητα, το άρωμα, η περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία, η συνεκτικότητα της σάρκας, δηλαδή παράγοντες που γίνονται άμεσα αντιληπτοί από τους καταναλωτές. Στα αρνητικά σημειώνεται η μείωση του μέσου βάρους των καρπών, η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης φυσιολογικών ασθενειών, όπως η ξηρή σήψη κορυφής με αποτέλεσμα να μειώνεται η εμπορευσιμότητά τους.

8. Θρεπτική κατάσταση του φυτού

Η συγκέντρωση κάθε θρεπτικού στοιχείου είναι σημαντικός παράγοντας για τις θρεπτικές ανάγκες του φυτού. Η συγκέντρωση ενός θρεπτικού στοιχείου στα φύλλα εξαρ-

τάται από τα επίπεδα του στοιχείου στο θρεπτικό διάλυμα και της ξηρής ουσίας που συγκεντρώθηκε στα φύλλα. Συχνά, η τροφοδότηση ενός στοιχείου στο διάλυμα και η περιεκτικότητα του στοιχείου στο φύλλο, δεν ταυτίζονται με γραμμική συσχέτιση. Έτσι λοιπόν, όταν τα φυτά δεν ικανοποιούνται ή ικανοποιούνται μερικώς για ένα ή περισσότερα θρεπτικά στοιχεία, παρατηρούνται δυσλειτουργίες, τόσο στην ανάπτυξη, όσο και στην παραγωγή, με χαρακτηριστικά συμπτώματα τροφοπενιών. Ο όρος τροφοπενία αναφέρεται στη φυσιολογική κατάσταση που προκύπτει από την εκτεταμένη έλλειψη/εφοδιασμό ενός ή περισσότερων θρεπτικών στοιχείων.

Η ανεπάρκεια ενός θρεπτικού στοιχείου μπορεί να οφείλεται στη μειωμένη πρόσληψη, στην παρουσία του στοιχείου σε μη αφομοιώσιμη μορφή ή σε ακραίες συνθήκες, όπως υπερβολική ή ελλιπή υγρασία, ανεπαρκής αερισμός, ακραίες τιμές του pH. Ακόμη, παρουσιάζεται μια αδυναμία στη σύνθεση συστατικών στα οποία συμμετέχει το στοιχείο που βρίσκεται σε έλλειψη.

9. Σχέση περιεκτικότητας των φύλλων σε θρεπτικά συστατικά και της ανάπτυξης του φυτού

Φυλλοδιαγνωστική

Τρόπος για εκτίμηση της θρεπτικής κατάστασης της φυτείας είναι η δειγματοληψία φύλλων, όπου τα αποτελέσματα της αντικατοπτρίζουν τη θρεπτική κατάσταση της φυτείας τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Για τη λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος είναι απαραίτητο να τηρούνται κάποιες βασικές αρχές, όπως είναι:

- 1) Λήψη του κατάλληλου φυτικού μέρους, ανάλογα με το είδος της φυτείας, όπως: μίσχος, έλασμα, κορυφή ή άλλο τμήμα του φυτού.
- 2) Το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό και ο αριθμός των φυτών από όπου λήφθηκαν επαρκής.
- 3) Κατάλληλη χρονική περίοδος και στάδιο ανάπτυξης της φυτείας.
- 4) Το δείγμα θα πρέπει να προέρχεται από διάφορα φυτά της ίδιας ανάπτυξης, είδους, ποικιλίας και ποτέ δεν πρέπει να γίνεται ανάμειξη φύλλων συγγενικών ή ανόμοιων φυτειών.

Οι αναλύσεις φύλλων, ανάλογα με την περίπτωση είναι δυνατόν να αφορούν τα κύρια, δευτερεύοντα, ιχνοστοιχεία ή και συνδυασμό αυτών. Για σκοπούς ενημέρωσης και σωστής εφαρμογής της δειγματοληψίας φύλλων για ανάλυση σε λαχανικά, ακολουθεί σχε-

τικός πίνακας (Πίνακας 2). Η χρονική περίοδος μπορεί να διαφέρει και εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν.

- 1) Η χρονική περίοδος ανάπτυξης και παραγωγής των εποχιακών φυτειών είναι σχετικά μικρή, συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 3 και 6 μηνών περίπου. Γι' αυτό τα χρονικά περιθώρια, τα οποία προσφέρονται για δειγματοληψία φύλλων είναι περιορισμένα.
- 2) Τονίζεται ότι δεν πρέπει να λαμβάνονται δείγματα όταν η φυτεία είναι πολύ νεαρή ή όταν βρίσκεται στα τελευταία στάδια πριν το τέλος της.
- 3) Ειδικότερα για τις θερμοκηπιακές φυτείες (λαχανικά, άνηθ), όπου οι συνθήκες παραγωγής είναι ελεγχόμενες, απαιτείται άμεση επέμβαση, μόλις διαπιστωθεί οποιοδήποτε διατροφικό πρόβλημα.

Πίνακας 2. Δειγματοληψία φύλλων για ανάλυση σε λαχανικά.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΧΡΟΝΟΣ	ΣΗΜΕΙΟ/ΜΕΡΟΣ
ΛΑΧΑΝΙΚΑ	Αγγούρι, Ντομάτα, Μελιτζάνα, Πιπέρι κ.ά.: κατά την καλλιεργητική περίοδο	Έλασμα φύλλου, τέταρτο έως πέμπτο φύλλο από την κορυφή (25-40 φύλλα) ή σύνθετα φύλλα εκτός στελέχους το 4° - 6 ° πλήρως ανεπτυγμένο.

Επίσης, για να μπορεί η φυλλοδιαγνωστική να εφαρμοστεί στην πράξη θα πρέπει να υπάρχουν οι οριακές τιμές των θρεπτικών στοιχείων για κάθε καλλιέργεια. Ο πίνακας που ακολουθεί καθορίζει το εύρος άριστης επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων διαφόρων καλλιεργειών που καλλιεργούνται στο θερμοκήπιο (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Εύρος άριστης επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων διαφόρων θερμοκηπιακών καλλιεργειών.**ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Καλλιεργεία	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	B ppm	Mo ppm
Ντομάτα	3,5-5,0	0,35-0,75	3,5-6,5	2,0-4,0	0,35-0,8	80-200	30-100	100-300	7-20	30-80	>0,4
Αγγούρι	3,5-5,5	0,35-0,8	3,0-5,0	2,0-10,0	0,4-0,8	80-200	40-100	100-300	7-17	30-80	1,0-2,0
Μαρούλι	3,5-5,5	0,5-0,8	5,0-10,0	1,0-2,0	0,25-0,50	80-300	30-300	50-200	5-15	30-80	>0,15
Πιπεριά	3,0-5,0	0,2-0,7	3,5-4,5	1,3-2,8	0,3-1,0	60-300	20-200	50-250	6-25	25-75	0,2-1,0
Μελιτζάνα	4,0-5,0	0,29-0,6	3,5-5,0	1,0-2,5	0,3-1,0	50-300	20-250	40-250	5-10	25-75	-
Φράουλα	2,5-4,0	0,26-1,0	1,3-3,0	1,0-2,5	0,25-1,00	50-200	20-200	50-200	6-50	23-50	0,5-1,0
Φασολάκι	3,0-6,0	0,25-0,75	1,8-4,0	1,0-3,0	0,25-1,0	50-400	20-200	30-300	5-30	20-75	1-5
Κολοκυθάκια	4,0-6,0	0,3-0,5	3,0-5,0	1,2-2,5	0,3-1,0	50-200	20-200	50-250	10-25	25-75	-
Πεπόνι	4,09-5,0	0,25-0,8	3,6-5,0	2,3-3,2	0,35-0,80	50-300	20-200	50-250	7-30	25-60	-
Καρπούζι	2,5-4,5	0,25-0,7	2,5-4,5	2,0-3,5	0,5-1,0	40-200	20-100	50-250	5-12	30-80	0,5-1,0
Χρυσάνθεμο	3,5-5,5	0,3-0,8	3,5-6,0	1,0-2,5	0,25-1,0	80-200	30-300	50-300	7-20	30-80	>0,5
Γαρίφαλλο	2,5-3,8	0,2-0,4	2,5-4,5	1,2-1,8	0,25-0,5	75-150	25-100	50-300	5-20	30-80	>0,5

Πηγές: Benton Jones, 1997; Adams, 2002; Τσαπκούνης, 1997, Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2003.

10. Συμπτωματολογία των τροφοπενιών

Ανάλογα με τη θέση εμφάνισης των συμπτωμάτων στο φυτό οι τροφοπενίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- 1) Στις τροφοπενίες της πρώτης κατηγορίας τα συμπτώματα παρατηρούνται πρώτα στα φύλλα της βάσης του φυτού και με την πάροδο του χρόνου προχωρούν προς τα πάνω σε φύλλα της μέσης ή και της κορυφής. Τέτοιες είναι οι τροφοπενίες αζώτου, φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου.
- 2) Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι τροφοπενίες που τα συμπτώματα τους παρατηρούνται πρώτα στα φύλλα της κορυφής και στη συνέχεια προχωρούν προς τα κάτω. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι τροφοπενίες ασβεστίου, βορίου, μαγγανίου, χαλκού και σιδήρου.

Ανάλογα με την κινητικότητα τους μέσα στο φυτό τα στοιχεία κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- 1) ευκίνητα (άζωτο, κάλιο, νάτριο),
- 2) κινητά (φωσφόρος, χλώριο, θείο, μαγνήσιο),
- 3) μερικώς κινητά (ψευδάργυρος, χαλκός, μαγγάνιο, σίδηρος, μολυβδαίνιο) και
- 4) δυσκίνητα (βόριο, ασβέστιο).

Τροφοπενία αζώτου. Το φύλλωμα αρχικά έχει ανοικτό πράσινο χρώμα και αργότερα κιτρινοπράσινο ή κίτρινο με παρουσία νεκρώσεων στα κατώτερα φύλλα. Οι βλαστοί έχουν μικρή ανάπτυξη, είναι λεπτοί ενώ οι καρποί είναι μικρού μεγέθους.

Τροφοπενία φωσφόρου. Συνήθως δεν αναπτύσσονται χλωρωτικά φαινόμενα. Παρατηρείται αργός ρυθμός ανάπτυξης και αρχικά βαθύ πράσινο χρώμα στο φύλλωμα. Μερικές φορές εμφανίζονται ερυθροί ή πορφυροί μεταχρωματισμοί στους μίσχους και στην κάτω επιφάνεια των φύλλων. Τα συμπτώματα ως επί το πλείστον εντοπίζονται στα κατώτερα φύλλα (πιο ηλικιωμένα).

Τροφοπενία καλίου. Παρατηρούνται χλωρωτικές ή νεκρωτικές κηλίδες ακανόνιστου σχήματος στην κορυφή και στην περιφέρεια του ελάσματος. Αργότερα, τα φύλλα γίνονται κίτρινα και η περιφέρεια νεκρώνεται, κατά θέσεις ή συνολικά. Η χλώρωση προχωρεί μεσονεύρια και ακολουθεί καταστροφή και πτώση των κατώτερων φύλλων. Οι βλαστοί είναι αδύνατοι και το ριζικό σύστημα περιορισμένο με καστανή απόχρωση. Ο σχηματισμός των καρπών είναι ατελής και η ωρίμανση τους ανομοιόμορφη.

Τροφοπενία μαγνησίου. Αρχικά παρατηρείται περιφερειακή και αργότερα πλευρική ή μεσονεύρια χλώρωση των φύλλων.

Τροφοπενία μολυβδαινίου. Παρατηρείται χλώρωση, νέκρωση, καρούλιασμα των φύλλων και περιορισμός του ελάσματος, λόγω νεκρώσεων. Τα νεαρά φύλλα αρχικά είναι πράσινα, αλλά εμφανίζουν χλωρωτικές κηλίδες, όταν εκπτυχθούν πλήρως. Τα συμπτώματα εντοπίζονται ή είναι πιο έντονα στα νεαρά φύλλα και σε τμήματα των βλαστών. Μπορεί να παρουσιαστεί και νέκρωση των κορυφαίων οφθαλμών.

Τροφοπενία ασβεστίου: Παρατηρείται κάμψη και παραμόρφωση των νεαρών φύλλων στο άκρο του βλαστού. Τα νεαρά φύλλα εμφανίζουν χλώρωση και νέκρωση στην κορυφή ή την περιφέρεια του ελάσματος. Ο ακραίος οφθαλμός νεκρώνεται, καθώς και τα άκρα των ριζών, τα οποία παρουσιάζουν ελαφρά διόγκωση. Οι καρποί έχουν ξηρή κορυφή ή νεκρωτικές κηλίδες.

Τροφοπενία βορίου. Τα νεαρά φύλλα έχουν ανοικτό πράσινο και αργότερα κίτρινο χρώμα. Παρατηρείται μικροφυλλία, παραμόρφωση και βραχυγονάτωση στο ανώτερο τμήμα των βλαστών καθώς και νέκρωση του κορυφαίου οφθαλμού και έκπτυξη πλαγίων. Οι βλαστοί και οι μίσχοι γίνονται εύθρυπτοι. Το ριζικό σύστημα είναι περιορισμένης ανάπτυξης και καστανής απόχρωσης. Ο κορυφαίος οφθαλμός των βλαστών δεν νεκρώνεται συνήθως.

Τροφοπενία σιδήρου. Παρατηρείται λεπτό δίκτυο πράσινων νευρώσεων και σε προχωρημένο στάδιο γίνεται πλήρης αποχρωματισμός του ελάσματος (κίτρινο ή κιτρινό-λευκο). Σπάνια εμφανίζεται νέκρωση της κορυφής και της περιφέρειας του ελάσματος.

Τροφοπενία μαγγανίου. Παρατηρείται μεσονεύρια χλώρωση, η οποία δεν είναι τόσο έντονη, όσο στην τροφοπενία σιδήρου, ούτε εντοπίζεται στα κορυφαία φύλλα. Σε προχωρημένο στάδιο οι χλωρωτικοί ιστοί αποκτούν καστανωπή απόχρωση και εμφανίζουν διάσπαρτες νεκρωτικές κηλίδες.

Τροφοπενία ψευδαργύρου. Παρατηρείται μικροφυλλία και χλωρωτική κηλίδωση ή ομοιόμορφη ελάττωση του πράσινου χρώματος των φύλλων. Σπανιότερα, διαπιστώνονται νεκρώσεις του ελάσματος.

Ανακύκλωση Θρεπτικού διαλύματος

Η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος στις καλλιέργειες προϋποθέτει την ύπαρξη ενός δικτύου αγωγών που κλείνουν, ώστε να δημιουργείται τελικά ένα κλειστό σύστημα και να επαναχρησιμοποιείται το διάλυμα που απορρέει από τον χώρο των ριζών. Για τον λόγο αυτό συχνά αναφέρονται και «κλειστά υδροπονικά συστήματα». Το διάλυμα απορροής που συλλέγεται μετά από κάθε πότισμα συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία και επαναχρησιμοποιείται ως θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας της καλλιέργειας, χωρίς να απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Στην Κύπρο σήμερα τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες, στη συντριπτική πλειοψηφία τους είναι ανοιχτά. Στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η σπατάλη νερού θεωρείται σοβαρό μειονέκτημα, λόγω της ανεπάρκειας νερού άρδευσης, ενώ η διαφυγή λιπασμάτων μέσω του διαλύματος απορροής στο περιβάλλον αυξάνει το κόστος καλλιέργειας και επιβαρύνει το περιβάλλον με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα (Bar-Yosef, 2008). Αντίθετα όταν το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται:

- 1) Αποτρέπεται η διαφυγή λιπασμάτων στο περιβάλλον, οπότε αποφεύγεται η μόλυνση των επιφανειακών και υπόγειων νερών με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα.
- 2) Το κόστος της λίπανσης της καλλιέργειας ελαττώνεται σημαντικά. Οι μειώσεις των αναγκών σε θρεπτικά στοιχεία οδηγούν σε μια μέση ελάττωση της κατανάλωσης λιπασμάτων κατά 40%.
- 3) Τα παραπάνω οφέλη προκύπτουν χωρίς η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος να έχει δυσμενή επίπτωση στις αποδόσεις, όταν πριν την επαναχρησιμοποίηση του συμπληρώνεται με τις κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων (Savvas and Gizas, 2002).

Μολονότι η ανακύκλωση του πλεονάζοντος θρεπτικού διαλύματος στις καλλιέργειες εκτός εδάφους παρουσιάζει τα προαναφερθέντα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, η μέχρι σήμερα διάδοσή τους στις μεσογειακές συνθήκες είναι σχετικά περιορισμένη, κυρίως λόγω:

- 1) των δυσκολιών που παρουσιάζει η συμπλήρωση του διαλύματος απορροής με τις κατάλληλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων και
- 2) της αναγκαιότητας απολύμανσης του διαλύματος απορροής.

Τα τελευταία χρόνια τα κλειστά υδροπονικά συστήματα στηρίζονται μέσω διαφόρων κινήτρων σε όλα τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ σε ορισμένες χώρες (π.χ. Ολλανδία) η εφαρμογή τους είναι υποχρεωτική από τον νόμο.

Τεχνική της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος

1. Ανακύκλωση σε καλλιέργειες με υπόστρωμα

Η ανακύκλωση γίνεται είτε με την ανάμειξη του διαλύματος απορροής με νερό και ακολούθως το μείγμα εμπλουτίζεται με λιπάσματα, είτε το διάλυμα απορροής αναμιγνύεται με νωπό θρεπτικό διάλυμα. Η αναλογία ανάμειξης διαλύματος απορροής με νερό ή νωπό θρεπτικό διάλυμα σε ένα τέτοιο σύστημα, μεταβάλλεται με βάση προκαθορισμένη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στο εξερχόμενο μείγμα, ανάλογα με την περίπτωση (Εικόνα 1). Επομένως, απαιτείται μια προκαθορισμένη τιμή στόχος EC για το εξερχόμενο μείγμα, το οποίο είτε οδηγείται στην κεφαλή υδρολίπανσης, είτε συνιστά το τελικό θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται στα φυτά.



Εικόνα 1. Σύστημα ανάμειξης διαλύματος απορροής και νερού.

2. Ανακύκλωση σε καλλιέργειες χωρίς υπόστρωμα

Στα συστήματα χωρίς υπόστρωμα (Εικόνα 2) το ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα, είτε συμπληρώνεται με νερό και πυκνά λιπάσματα με βάση τις τιμές EC και pH, είτε συμπληρώνεται με νωπό θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης, το οποίο έχει δημιουργηθεί από την κεφαλή υδρολίπανσης και έχει αποθηκευτεί σε δεξαμενές. Το θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης βασίζεται στις μέσες συγκεντρώσεις απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων.



Εικόνα 2. Καλλιέργεια φυτών σε σύστημα χωρίς υπόστρωμα.

Στους Πίνακες 1 και 2 φαίνονται ενδεικτικές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων για διάφορες καλλιέργειες σε κλειστό υδροπονικό σύστημα.

Πίνακας 1. Βασική σύνθεση μακροστοιχείων.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	EC	pH	[NO ₃]	[H ₂ PO ₄]	[SO ₄]	[NH ₄]	[K]	[Ca]	[Mg]
	dS/m		mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l
ΑΓΓΟΥΡΙ	1,50	5,5-6,0	11,75	1,25	1,00	0,50	5,50	3,50	1,00
ΝΤΟΜΑΤΑ	1,65	5,5-6,0	10,50	1,50	2,25	0,50	7,00	3,50	1,00
ΜΕΛΙΤΖΑΝΑ	1,55	5,5-6,0	12,00	1,50	1,00	0,50	6,00	3,00	1,50
ΠΙΠΕΡΙΑ	1,60	5,5-6,0	12,25	1,25	1,25	-	6,50	3,50	1,25
ΜΑΡΟΥΛΙ	1,15	5,5-6,0	9,50	1,00	0,50	0,50	5,00	2,25	0,75
ΦΡΑΟΥΛΑ	1,25	5,5-6,0	9,25	1,25	1,00	0,50	4,50	2,75	1,00
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟ	1,35	5,5-6,0	10,5	1,50	0,75	0,25	5,75	3,00	0,75
ΓΑΡΥΦΑΛΟ	1,50	5,5-6,0	11,5	1,50	1,00	0,25	6,25	3,50	0,75
ΖΕΡΜΠΕΡΑ	1,20	5,5-6,0	9,00	1,00	1,00	0,75	5,75	2,00	0,75
ΧΡΥΣΑΝΘΕΜΟ	1,35	5,5-6,0	10,50	1,00	1,00	0,50	5,00	3,00	1,00

Πίνακας 2. Βασική σύνθεση ιχνοστοιχείων.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	[Fe]	[Mn]	[Zn]	[B]	[Cu]	[Mo]
	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
ΑΓΓΟΥΡΙ	35	20	4	20	0,5	0,5
ΝΤΟΜΑΤΑ	35	20	4	25	0,5	0,5
ΜΕΛΙΤΖΑΝΑ	30	20	4	20	0,5	0,5
ΠΙΠΕΡΙΑ	35	25	4	35	0,5	0,5
ΜΑΡΟΥΛΙ	40	10	3	20	0,5	0,5
ΦΡΑΟΥΛΑ	60	20	4	25	0,5	0,5
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΙΑ	120	40	3	20	0,5	0,5
ΓΑΡΥΦΑΛΙΑ	110	15	3	20	0,5	0,5
ΖΕΡΜΠΕΡΑ	170	20	3	15	1,0	0,5
ΧΡΥΣΑΝΘΕΜΟ	60	20	3	20	0,5	0,5

Θρέψη φυτών σε κλειστά υδροπονικά συστήματα

Οι ανάγκες των φυτών σε νερό και θρεπτικά στοιχεία είναι ίδιες, τόσο σε ανοιχτά όσο και σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, όταν τα επίπεδα στη ρίζα είναι παρόμοια. Αυτό που διαφοροποιεί τη θρέψη στα ανοιχτά από τα κλειστά συστήματα, είναι πως επιτυγχάνονται οι επιθυμητές τιμές των θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα, αφού στα μεν κλειστά ότι δεν απορροφάται συσσωρεύεται ενώ στα ανοιχτά ένα σημαντικό μέρος εκπλύνεται. Για τον λόγο αυτό τα δισθενή στοιχεία στα κλειστά συστήματα (π.χ. Ca^{2+} και Mg^{2+}), ορίζονται μέχρι και 10% σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που ισχύουν για τα ανοιχτά συστήματα.

Εκτίμηση λιπαντικών αναγκών στα κλειστά υδροπονικά συστήματα

Για να χρησιμοποιηθεί ξανά το διάλυμα απορροής στην ίδια καλλιέργεια, θα πρέπει πρώτα να εμπλουτιστεί με νερό και λιπάσματα (πυκνά διαλύματα), σε ποσότητες που θα καλύπτουν επαρκώς τις ανάγκες των φυτών, αλλά δεν θα περισσεύουν, ώστε να συσσωρεύονται στο κλειστό σύστημα. Το ιδανικό θα ήταν να υπολογίζονται και να προστίθενται αυτόματα οι ακριβείς ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που απορροφούν τα φυτά. Προς το παρόν όμως, αυτό δεν είναι εφικτό. Τα σύγχρονα αυτοματοποιημένα συστήματα ανακύκλωσης του διαλύματος απορροής βασίζονται στην αυτόματη μέτρηση της EC, σε συνδυασμό με την αυτόματη ρύθμιση της αναλογίας ανάμειξης νερού (πριν ή μετά την έγχυση των λιπασμάτων) με διάλυμα απορροής, με στόχο την επίτευξη μιας προκαθορισμένης τιμής EC (τιμή-στόχος). Μέσω αυτής της διαδικασίας επιδιώκεται η έγχυση θρεπτικών στοιχείων σε συγκεκριμένες δοσολογίες στο σύστημα, οι οποίες εκτιμάται ότι αντιστοιχούν στις ανάγκες των φυτών. Τα μοντέλα που εφαρμόζονται σήμερα, για την εκτίμηση των λιπαντικών αναγκών στα κλειστά συστήματα καλλιέργειας των φυτών, μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες (Σάββας, 2010):

- A. Η πρώτη κατηγορία στηρίζεται στη σύνθεση του διαλύματος απορροής και
- B. Η δεύτερη κατηγορία αποβλέπει στην παροχή θρεπτικών στοιχείων και νερού στην καλλιέργεια, σε ίσες αναλογίες με τις μέσες συγκεντρώσεις απορρόφησης.

A. Εκτίμηση λιπαντικών αναγκών με βάση το διάλυμα απορροής

Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε επιθυμητές τιμές συγκεντρώσεων θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον των ριζών. Οι τιμές των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα απορροής (Cid) μπορεί να εκτιμηθούν από τις τιμές στο διάλυμα τροφοδοσίας (Cit) και στη ρίζα

(Cir), ($Cid=2\ Cir - Cit$). Αρχικά οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα απορρόης θεωρούνται ότι αντικατοπτρίζουν τις συγκεντρώσεις στο διάλυμα της ρίζας ενώ ακολούθως μετρούνται ή υπολογίζονται. Στα κλειστά συστήματα καλλιέργειας τα λιπάσματα δεν προστίθενται σε καθαρό νερό άρδευσης όπως στα ανοιχτά συστήματα αλλά στο διάλυμα που προκύπτει από την ανάμειξη διαλύματος απορρόης και νερού.

Για να υπολογισθούν οι μάζες των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή διαλύματος τροφοδοσίας, είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα, που προκύπτει από την ανάμειξη νερού και διαλύματος απορρόης. Η συγκέντρωση Cim του εκάστοτε i θρεπτικού στοιχείου στο διάλυμα ανάμειξης ισούται με $Cim = \alpha\ Cid + (1-\alpha)\ Ciw$, όπου α είναι το κλάσμα του διαλύματος απορρόης το οποίο χρησιμοποιείται στην ανάμειξη, με Cid και Ciw τις συγκεντρώσεις στο διάλυμα απορρόης και στο νερό, αντίστοιχα. Για να υπολογιστεί η συγκέντρωση Cif για το εκάστοτε i θρεπτικό στοιχείο (που πρέπει να προστεθεί με το λίπασμα), πρέπει να είναι γνωστή από βιβλιογραφικές πηγές η συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στο τελικό διάλυμα τροφοδοσίας (Cit , ίδιες τιμές όπως και στα ανοιχτά συστήματα). Ακολούθως υπολογίζουμε, $Cif = Cit - Cim$.

Με βάση την πιο πάνω διαδικασία, η αυτόματη παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος ξεκινά με την ανάμειξη διαλύματος απορρόης με νερό σε μια αναλογία η οποία ρυθμίζεται αυτόματα μέσω ενός κατάλληλου μείκτη (Εικόνα 3), ώστε η EC του διαλύματος που προκύπτει από την ανάμειξη να ισούται με μια προκαθορισμένη σταθερή τιμή (Em). Η Em που ορίζεται ως τιμή-στόχος, υπολογίζεται μέσω της πιο κάτω σχέσης, χρησιμοποιώντας επιθυμητές τιμές για το κλάσμα απορρόης (α) και αρχικά την επιθυμητή τιμή EC του διαλύματος απορρόης (Ed) (βιβλιογραφικά δεδομένα) και την EC του αρδευτικού νερού (Ew).

$$Em = \alpha\ Ed + (1-\alpha)\ Ew$$



Εικόνα 3. Ανάμειξη διαλύματος απορρόης και νερού σε ρυθμιζόμενη αναλογία, για την επίτευξη μιας σταθερής και προκαθορισμένης τιμής EC (Em).

Η E_d και E_w μετρούνται εύκολα με ένα φορητό αγωγιμόμετρο. Αν η πραγματική τιμή της EC στο διάλυμα απορροής (E_d) αποκλίνει από την τιμή-στόχο, το κλάσμα απορροής που ανακυκλώνεται (α) τροποποιείται αυτόματα, ώστε και πάλι να προκύπτει η επιθυμητή τιμή E_m . Μέσω της παραπάνω διαδικασίας ανάμειξης νερού και διαλύματος απορροής, το σύστημα αυτόματης παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος παράγει συνεχώς ένα ενδιάμεσο θρεπτικό διάλυμα με μία σταθερή EC , ίση με E_m .

Ακολουθως, ο μείκτης διαλύματος απορροής και νερού είναι συνδεδεμένος με μία κεφαλή υδρολίπανσης, στην οποία εισάγεται μία σταθερή EC , ως τιμή-στόχος για το εξερχόμενο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας (E_t), όπως ακριβώς και στα ανοιχτά συστήματα. Η προσθήκη των πυκνών λιπασμάτων αποσκοπεί στην ανύψωση της EC του διαλύματος, που προκύπτει από την ανάμειξη νερού και διαλύματος απορροής από την τιμή E_m στην τιμή-στόχο για το διάλυμα τροφοδοσίας (E_t). Η τιμή της E_t καθορίζεται με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα και πρόκειται για την ίδια τιμή EC , που συνιστάται και για καλλιέργειες σε ανοιχτά υδροπονικά συστήματα (Σάββας, 2012). Με τον τρόπο αυτό, διατηρώντας σταθερές τις τιμές E_m και E_t διασφαλίζεται ένα σταθερό επίπεδο παροχής θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια.

Β. Εκτίμηση λιπαντικών αναγκών με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης

Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων αποτελούν μια καλή βάση για τον υπολογισμό των ενδεδειγμένων δοσολογιών προσθήκης θρεπτικών στοιχείων στα φυτά, που καλλιεργούνται σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Ο λόγος είναι γιατί παρουσιάζουν χρονική σταθερότητα (απορροφώμενες ποσότητες ανά μονάδα όγκου νερού), σε σχέση με τους ρυθμούς απορρόφησης (απορροφώμενες ποσότητες ανά μονάδα χρόνου). Με βάση λοιπόν τις συγκεντρώσεις απορρόφησης, οι οποίες έχουν προσδιορισθεί για τις περισσότερες καλλιέργειες θερμοκηπίου υπολογίζονται οι λιπαντικές ανάγκες και χορηγούνται αυτοματοποιημένα σε κλειστά υδροπονικά συστήματα (Εικόνα 4). Δηλαδή, για να διατηρηθούν οι επιθυμητές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα, οι ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων που εισάγονται στο σύστημα θα πρέπει να είναι ίσες με αυτές που απορροφώνται από τα φυτά.

Επομένως, αν οι μέσες αναμενόμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης για ένα συγκεκριμένο καλλιεργούμενο είδος φυτού είναι γνωστές από πειράματα, τότε αυτές είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την παρασκευή διαλύματος, το οποίο θα αναμειγνύεται με διάλυμα απορροής, με στόχο την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας. Συνεπώς, για να υπολογιστεί η ποσότητα προσθήκης, μέσω λιπασμάτων *Cif* για το εκάστοτε i θρεπτικό στοιχείο, εκτός από τη συγκέντρωση αυτού στο χρησι-

μποιούμενο νερό (C_{iw}), πρέπει να είναι γνωστή από βιβλιογραφικές πηγές και η συγκέντρωση απορρόφησής του (C_{iu}), με βάση την εξίσωση:

$$C_{if} = C_{iu} - C_{iw}$$

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται για αρκετά φυτά συγκεντρώσεις απορρόφησης C_{iu} (π.χ. Πίνακας 3), οι οποίες έχουν προσδιοριστεί πειραματικά (Adams, 2002; Sonneveld, 2002; Bar-Yosef, 2008; Σάββας, 2012).

Με τον τρόπο αυτό παρασκευάζονται πυκνά διαλύματα λιπασμάτων, τα οποία αν αραιωθούν με νερό άρδευσης (κεφαλή υδρολίπανσης) σε μια προκαθορισμένη αναλογία, θα οδηγήσουν στην παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος με συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων ίσες, με C_{iu} και EC ίση με E_u (διάλυμα συμπλήρωσης). Μετά την παρασκευή του, το διάλυμα συμπλήρωσης μεταφέρεται αυτόματα σε ένα μείκτη. Η αυτόματη ρύθμιση της αναλογίας ανάμειξης του διαλύματος συμπλήρωσης με διάλυμα απορρόφησης, αποσκοπεί στην επίτευξη μιας προκαθορισμένης σταθερής τιμής EC του διαλύματος τροφοδοσίας (E_t ; βιβλιογραφία). Η προκαθορισμένη τιμή E_t υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$E_t = aE_d + (1 - a)E_u, \text{ όπου:}$$

E_t = EC στο διάλυμα τροφοδοσίας,

E_d = επιθυμητή τιμή EC στο διάλυμα απορρόφησης ($E_d = 2E_r - E_t$; E_r = EC στη ρίζα) και

E_u = EC στο θρεπτικό διάλυμα απορρόφησης σε κλειστό σύστημα (διάλυμα συμπλήρωσης).



Εικόνα 4. Κλειστό σύστημα καλλιέργειας ντομάτας και μελιτζάνας με βάση τις συγκεντρώσεις απορρόφησης στο εκπαιδευτικό κέντρο υδροπονίας στο ΙΓΕ.

Πίνακας 3. Συγκεντρώσεις απορρόφησης (ίσες με C_{iu}), για τη δημιουργία διαλυμάτων συμπλήρωσης (EC ίση με E_u) σε κλειστά υδροπονικά συστήματα για ντομάτα, πιπεριά, αγγούρι και πεπόνι (Σάββας, 2009).

		Ντομάτα	Πιπεριά	Αγγούρι	Πεπόνι
EC	dS/m	1,80	1,80	1,80	1,80
pH opt.		5,6	5,6	5,6	5,6
[K]	mmol/l	6,50	5,75	6,50	6,50
[Ca]	mmol/l	2,75	3,50	2,75	2,75
[Mg]	mmol/l	1,00	1,12	1,00	1,00
[NH₄]	mmol/l	1,00	0,50	1,00	1,00
[NO₃]	mmol/l	10,75	12,50	11,75	11,75
[SO₄]	mmol/l	1,50	1,00	1,50	1,00
[H₂PO₄]	mmol/l	1,25	1,00	1,00	1,25
[Fe]	μmol/l	15	15	15	15
[Mn]	μmol/l	10	10	10	8
[Zn]	μmol/l	4	4	5	4
[Cu]	μmol/l	0,75	0,75	0,75	0,75
[B]	μmol/l	20	25	25	25
[Mo]	μmol/l	0,5	0,5	0,5	0,5

Φυτοϋγεία

Το έδαφος, ως γνωστόν, αποτελεί χώρο ανάπτυξης πολλών οργανισμών, αρκετοί από τους οποίους μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στα καλλιεργούμενα φυτά. Μεταξύ αυτών είναι διάφοροι μικροοργανισμοί (μύκητες, βακτήρια), έντομα εδάφους, νηματώδεις και ζιζάνια. Στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, λόγω της εντατικής μορφής εκμετάλλευσης του εδάφους, η ανάπτυξη υψηλών πληθυσμών παθογόνων, είναι σύννηθες φαινόμενο. Η υψηλή αυτή παρουσία παθογόνων στο έδαφος οδηγεί σε σημαντικές απώλειες της παραγωγής, παρά τα δαπανηρά μέτρα που λαμβάνονται κάθε χρόνο από τους παραγωγούς (απολύμανση εδάφους, εφαρμογή γεωργικών φαρμάκων στο ρίζωμα των φυτών). Αυτό αποτελεί έναν από τους κύριους λόγους για τους οποίους κάποιοι παραγωγοί θερμοκηπιακών καλλιεργειών καταφεύγουν σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, δηλαδή σε υδροπονικές καλλιέργειες.

Η προστασία γενικά των φυτών στις υδροπονικές καλλιέργειες παρουσιάζει πολλά κοινά, αλλά και μερικές ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις αντίστοιχες καλλιέργειες στο έδαφος. Αναφορικά με τους εχθρούς και τις ασθένειες του φυλλώματος τα μέτρα πρόληψης, αλλά και αντιμετώπισης τους, είναι τα ίδια και στα δύο συστήματα καλλιέργειας. Ο λόγος είναι ότι τόσο η ρύθμιση των συνθηκών περιβάλλοντος εντός του θερμοκηπίου, όσο και τα μέτρα υγιεινής που πρέπει να λαμβάνονται είναι τα ίδια και στις δύο περιπτώσεις. Βέβαια, εδώ να αναφερθεί ότι η κάλυψη του εδάφους με πλαστικό εδαφοκάλυψη, που αποτελεί μια συνηθισμένη πρακτική στις υδροπονικές καλλιέργειες, συμβάλλει στη μείωση της σχετικής ατμοσφαιρικής υγρασίας εντός του θερμοκηπίου, λόγω μειωμένης εξάτμισης νερού από την επιφάνεια του εδάφους. Επίσης η εδαφοκάλυψη παρεμποδίζει τη νύμφωση ορισμένων εντόμων (π.χ. θρίπας) στο έδαφος.

Όσον αφορά την προστασία των υδροπονικών καλλιεργειών από ασθένειες εδάφους, όπως Πύθιο και Φυτόφθορα (*Pythium* και *Phytophthora*), αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται βασικοί κανόνες φυτοϋγείας. Εδώ να τονιστεί ότι η ανάπτυξη μιας ασθένειας προϋποθέτει την ταυτόχρονη ύπαρξη τριών παραγόντων που είναι:

1. ύπαρξη αρχικού μολύσματος (νερό, υπόστρωμα, εργαλεία, φυτικό υλικό),
2. ευαισθησία ξενιστή (ασθενικά φυτά, ευαίσθητα είδη και ποικιλίες),
3. ύπαρξη ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης του παθογόνου (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, κ.ά.).

Όταν ένας από τους τρεις αυτούς παράγοντες δεν ισχύει, τότε δεν αναπτύσσεται οποιαδήποτε ασθένεια στα φυτά.

Με βάση τα πιο πάνω και όσον αφορά την προστασία των φυτών από παθογόνους οργανισμούς εδάφους, οι υδροπονικές καλλιέργειες παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Το υποστρώμα όπου αναπτύσσεται το ρίζωμα των φυτών είναι συνήθως απαλλαγμένο από παθογόνους οργανισμούς και ζιζάνια, κατά την πρώτη εγκατάστασή του.
2. Η διάρκεια ζωής του υποστρώματος είναι συνήθως περιορισμένη, πράγμα που δίνει τη δυνατότητα συχνής αντικατάστασης του.
3. Δυνατότητα ελέγχου και εφαρμογής ορθολογικής άρδευσης/λίπανσης, που συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη υγιών φυτών, με μεγαλύτερη αντοχή σε ασθένειες.
4. Πρέπει βέβαια να διευκρινιστεί, ότι η ανάπτυξη των φυτών σε υποστρώματα δεν αποτελεί εγγύηση μη εμφάνισης εδαφογενών ασθενειών στις υδροπονικές καλλιέργειες. Γενικά όμως, λόγω της σταθερής και συνεχούς απομόνωσης του ριζικού συστήματος των φυτών από το έδαφος, η πιθανότητα εμφάνισης εδαφογενών ασθενειών είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με αυτές που αναπτύσσονται στο έδαφος. Κατά συνέπεια, μειώνεται δραστικά και η εφαρμογή φυτοφαρμάκων.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες προβλήματα ασθενειών του ριζικού συστήματος μπορούν να εμφανιστούν κυρίως όταν:

1. Δεν λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα αποτροπής της εισόδου παθογόνων στο θερμοκήπιο.
2. Η απομόνωση του υποστρώματος από το έδαφος του θερμοκηπίου δεν είναι ικανοποιητική (όχι πλήρης καλή κάλυψη του εδάφους με πλαστικό ή άλλο υλικό).
3. Το νερό άρδευσης είναι έντονα μολυσμένο με κάποιο παθογόνο.

A. Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των ασθενειών στις υδροπονικές καλλιέργειες

- 1) Μέτρα υγιεινής όπως απολύμανση εργαλείων, χεριών, μηχανημάτων, υλικών συσκευασίας κ.τ.λ., που έχουν στόχο την αποφυγή μετάδοσης του μολύσματος.
- 2) Ύπαρξη προθαλάμου στην είσοδο του θερμοκηπίου, όπου τοποθετείται χαλί εμποτισμένο με απολυμαντικό για απολύμανση των υποδημάτων των εισερχομένων.
- 3) Υγιές πολλαπλασιαστικό υλικό (χρήση πιστοποιημένων σπόρων και σποροφύτων, από φυτώρια με κατάλληλες συνθήκες υγιεινής και ανάπτυξης των φυτών).
- 4) Χρήση υποστρώματος απαλλαγμένου από ασθένειες. Όπως έχει λεχθεί και προ-

ηγούμενως, τα υποστρώματα κατά την πρώτη εγκατάσταση τους είναι συνήθως απαλλαγμένα εδαφικών ασθενειών. Όμως, κατά την επαναχρησιμοποίηση τους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φυτοπαθολογικό ιστορικό της προηγούμενης καλλιέργειας. Σε περίπτωση όπου υπήρξαν προσβολές από σοβαρές ασθένειες, όπως η φουζαρίωση, τα υποστρώματα θα πρέπει να αντικαθίστανται ή να φυτεύονται σε αυτά πλέον, εμβολιασμένα φυτά.

- 5) Προγραμματισμός φύτευσης. Λαμβάνοντας υπόψη το μικροκλίμα της περιοχής και τη δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, προγραμματίζουμε την εποχή φύτευσης, έτσι ώστε να επιτύχουμε ικανοποιητική ανάπτυξη των φυτών και αποφυγή δημιουργίας καταπόνησης στα φυτά, καθώς και ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης των ασθενειών.
- 6) Καλή αποστράγγιση του υποστρώματος. Στην περίπτωση όπου στο σύστημα υδροπονίας χρησιμοποιούνται υποστρώματα σε σάκους (slabs), θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη δημιουργία σχισμών αποστράγγισης. Αυτές πρέπει να καταλήγουν στη βάση του σάκου, για αποφυγή κατακράτησης της περίσσειας του νερού.
- 7) Κατάλληλος τύπος υδρορροής στην οποία τοποθετείται το υπόστρωμα, έτσι ώστε να μην επιτρέπει την ανάπτυξη των ριζών εκτός του υποστρώματος. Σε αντίθετη περίπτωση, υπάρχει πιθανότητα μετάδοσης εδαφικών ασθενειών, κατά μήκος της γραμμής φύτευσης.
- 8) Έλεγχος συνθηκών περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Η δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας εντός του θερμοκηπίου συμβάλλει ουσιαστικά στον έλεγχο ασθενειών του φυλλώματος. Ταυτόχρονα, όμως, συμβάλλουν έμμεσα και στην αναστολή ανάπτυξης εδαφικών ασθενειών, λόγω μείωσης των ακραίων συνθηκών που δημιουργούν καταπόνηση στα φυτά.
- 9) Χρησιμοποίηση ανθεκτικών ποικιλιών. Το μέτρο αυτό συμβάλλει ουσιαστικά στην αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με άλλα προληπτικά μέτρα. Ο λόγος είναι ότι οι μικροοργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσονται με τον καιρό νέες επιζήμιες φυλές, πιο ανθεκτικές στα φυτοφάρμακα, με στόχο την επιβίωση τους.
- 10) Σε περίπτωση όπου παρά τη λήψη προληπτικών μέτρων παρουσιαστεί προσβολή φυτών από κάποια εδαφική ασθένεια, θα πρέπει αμέσως να ληφθούν επιπλέον θεραπευτικά μέτρα με στόχο την αποφυγή εξάπλωσης της ασθένειας και στα υπόλοιπα φυτά της καλλιέργειας.

Β. Θεραπευτικά μέτρα με στόχο την αποφυγή εξάπλωσης της ασθένειας

- 1) Γρήγορη και προσεκτική απομάκρυνση των προσβεβλημένων φυτών. Τα προσβεβλημένα φυτά μαζί με το μέρος του υποστρώματος, όπου αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα, θα πρέπει να απομακρύνονται από το θερμοκήπιο και να θάβονται στο έδαφος.
- 2) Ακριβής προσδιορισμός του παθογόνου με την αποστολή δείγματος, που αποτελείται από το προσβεβλημένο ριζικό σύστημα μαζί με το υπόστρωμα και τη βάση του στελέχους του φυτού σε εξειδικευμένο εργαστήριο. Η λήψη και η προετοιμασία του δείγματος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για αποφυγή δευτερογενών μολύνσεων. Αναγνώριση του παθογόνου γίνεται με επιφύλαξη και από τα συμπτώματα που εμφανίζουν τα προσβεβλημένα φυτά.
- 3) Εφαρμογή γεωργικών φαρμάκων διά μέσου των ριζών. Σε περίπτωση ασθένειας του ριζικού συστήματος, συστήνεται εφαρμογή κατάλληλου μυκητοκτόνου διαμέσου των ριζών (ριζοπότισμα). Στις υδροπονικές καλλιέργειες η δόση εφαρμογής του μυκητοκτόνου μειώνεται στο 1/5 της συνιστώμενης. Μεταξύ των δραστικών ουσιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σκοπό αυτό είναι οι εξής: Propamocarb-HCl, Fosetyl-Al, Metalaxyl-M, Thiophanate methyl. Εδώ πρέπει να τονιστεί η υποχρέωση εφαρμογής από όλους των κανόνων ορθής χρήσης των γεωργικών φαρμάκων (επιτρεπόμενες καλλιέργειες, χρόνος ασφάλειας, αριθμός μέγιστων εφαρμογών κλπ.).

Απολύμανση νερού και θρεπτικού διαλύματος

Νερό από λάκκους και λίμνες, από κανάλια, από δεξαμενές, βρόχινο νερό που συλλέγεται από την οροφή του θερμοκηπίου, μπορεί να είναι μολυσμένο από μικροοργανισμούς επιζήμιους για τα φυτά. Η χρήση μυκητοκτόνων για την απολύμανση του νερού δεν είναι η ενδεδειγμένη, γιατί απαιτούνται μεγάλες ποσότητες και γιατί σε μικρές συγκεντρώσεις τα μυκητοκτόνα δημιουργούν ανθεκτικές φυλές μυκήτων.

Νερό που μαζεύεται από επιφάνειες, όπως η οροφή του θερμοκηπίου, καθώς και αποθηκευμένα νερά σε ανοιχτές δεξαμενές, ενώ είναι διάφανα, συνήθως έχουν υψηλές συγκεντρώσεις από σπόρια των μυκήτων *Pythium* και *Fusarium*. Η χρήση του νερού αυτού ενδεχομένως να δημιουργήσει μολύνσεις στα φυτά και όταν τα συμπτώματα της προσβολής γίνουν ορατά, είναι πλέον αργά να δράσει κανείς, γιατί το μόλυσμα έχει διασπαρθεί σε μεγάλη κλίμακα. Η πρόληψη είναι ο καταλληλότερος τρόπος αντιμετώπισης.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση του νερού είναι: αργό φιλτράρισμα σε άμμο, οζονισμός, χρήση χημικών ουσιών (χλωρίνη, υπεροξείδιο του υδρογόνου, χαλκός), παστερίωση, φιλτράρισμα με μικροφίλτρα και λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας (Postma et al., 2008).

I. Απολύμανση νερού άρδευσης

Οι συνηθέστερες μέθοδοι απολύμανσης είναι με όζον, χλωρίωση και υπεριώδη ακτινοβολία.

1. Όζον

Το όζον χρησιμοποιείται ευρέως στην απολύμανση του πόσιμου νερού. Είναι αέριο, άχρωμο με μεγάλη διαβρωτική και τοξική δράση. Το όζον αποτελείται από 3 άτομα οξυγόνου, γι' αυτό είναι πολύ ασταθές και γρήγορα μετατρέπεται σε αέριο οξυγόνο και μία ελεύθερη ρίζα οξυγόνου η οποία είναι πολύ δραστική και οξειδώνει οργανικά σωματίδια, που βρίσκονται στο νερό π.χ. πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και χουμικά οξέα.

Έτσι, το όζον σε δόση 10 ppm για 1 ώρα (σε χαμηλό pH 4,7) είναι πολύ αποτελεσματικό εναντίον μυκήτων, βακτηρίων και ιών. Δεν έχει υπολειμματική δράση, αλλά οξειδώνει τον σίδηρο, το μαγγάνιο και σουλφίδια και μπορεί να αντιδράσει με μερικά λιπάσματα και να επιφέρει αλλαγές στο διάλυμα. Όμως, επειδή είναι επικίνδυνο σε υψηλές συγκεντρώσεις (καταστρέφει τους πνεύμονες), τοξικό και διαβρωτικό πρέπει να λαμβάνονται οι προφυλάξεις για τους εργαζόμενους, αλλά και για αποφυγή διαρροών.

2. Χλώριο

Το χλώριο χρησιμοποιείται ευρέως στην απολύμανση του πόσιμου νερού από το 1908. Το χλώριο αντιδρά με τα κύτταρα των μυκήτων και των βακτηρίων και πιθανόν αποσυνθέτει βιολογικά μόρια, όπως ένζυμα, νουκλεϊνικά οξέα και λιπίδια των μεμβρανών. Κατά κανόνα η χλωρίωση του νερού με στόχο τη μικροβιακή απολύμανση, γίνεται με προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) το οποίο είναι γνωστό με το όνομα χλωρίνη.

Το υποχλωριώδες νάτριο (χλωρίνη) αντιδρά στο νερό ως ακολούθως:

→ $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{HOCl}$. Πολύ καλό για γενική απολύμανση (80 cm³ χλωρίνης εμπορίου 4% σε ένα τόνο νερού).

II. Απολύμανση θρεπτικού διαλύματος

Το θρεπτικό διάλυμα που ανακυκλώνεται στα κλειστά υδροπονικά συστήματα έχει αυ-

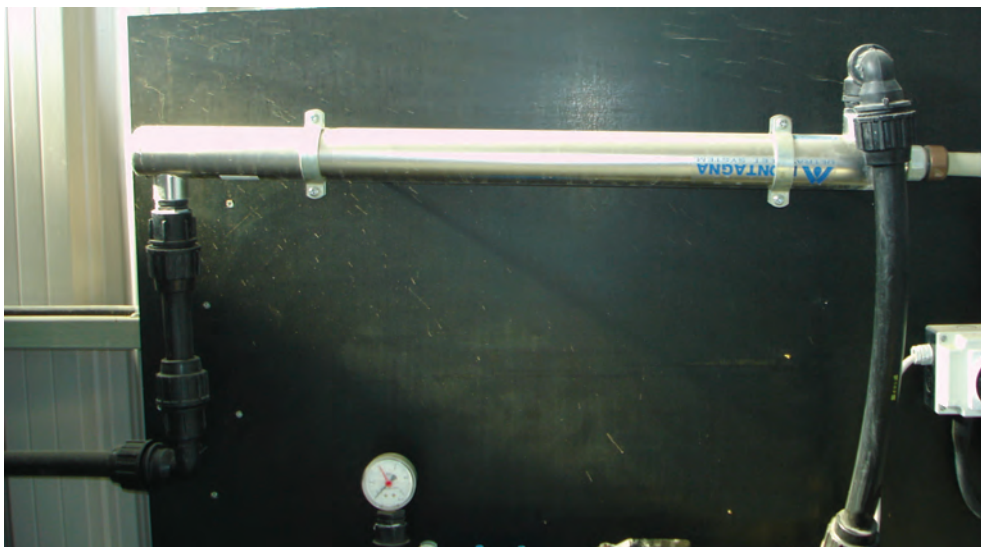
ξημένες πιθανότητες να έχει μολυνθεί από παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως *Rhizium*, *Fusarium*, που πιθανόν να μολύνουν τα φυτά. Αυτό προλαμβάνεται με απολύμανση του θρεπτικού διαλύματος.

1. Μέθοδος απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία (UV)

Εκπέμπεται ακτινοβολία 254nm από ειδικό λαμπτήρα υψηλής πίεσης UV, 250 mJ/cm², που βρίσκεται μέσα σε κλειστό χώρο (Εικόνα 1). Γύρω από τη λάμπα περνά το νερό ή το θρεπτικό διάλυμα, οπότε η UV ακτινοβολία διαπερνά τα κυτταρικά τοιχώματα των μικροοργανισμών, αντιδρά με το DNA και RNA τους και έτσι καταστρέφονται μύκητες, βακτήρια και ιοί.

Το αποτέλεσμα εξαρτάται από τη διάρκεια και την ένταση της ακτινοβολίας καθώς και την ταχύτητα με την οποία περνά το νερό από τον λαμπτήρα. Επίσης, διάφορα σωματίδια μέσα στο νερό αντανakλούν την ακτινοβολία και μειώνουν το αποτέλεσμα, γι' αυτό επιβάλλεται καλό φιλτράρισμα πριν την απολύμανση.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι δεν αλλάζει σημαντικά το pH τη θερμοκρασία του νερού, τη χημική σύνθεση, δεν έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον και δεν αφήνει υπολείμματα στο νερό. Μειονεκτήματα είναι ότι καταστρέφεται μέρος του χηλικού σιδήρου του θρεπτικού διαλύματος. Αν θα διατηρηθεί για μέρες το απολυμασμένο με UV νερό, θα πρέπει να χλωριωθεί. Η εναπόθεση αλάτων πάνω στη λυχνία συνεπάγεται μειωμένο αποτέλεσμα και η διάρκεια ζωής της λυχνίας UV είναι περιορισμένη.

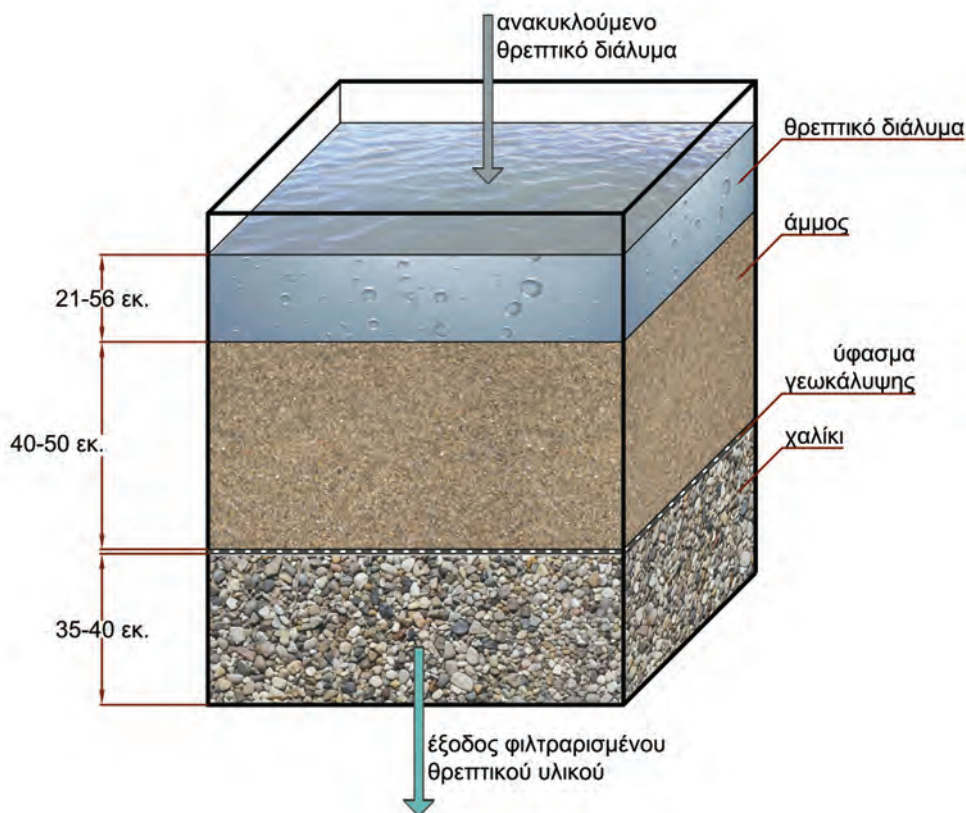


Εικόνα 1. Απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (λυχνία UV σε κλειστό φίλτρο απολύμανσης).

2. Μέθοδος απολύμανσης με αργό φιλτράρισμα με άμμο

Είναι μια βιολογική διαδικασία/μέθοδος. Πρακτικά, φιλτράροντας συνεχώς το 30% περίπου του ανακυκλούμενου διαλύματος στα κλειστά συστήματα όλο το εικοσιτράωρο, καταστέλλεται αποτελεσματικά μια προσβολή σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες. Η μέθοδος είναι εύκολα εφαρμόσιμη, περιβαλλοντολογικά ασφαλής και οικονομική.

Το σύστημα αποτελείται από μία στήλη άμμου ύψους τουλάχιστον 50 cm, αλλά καλύτερα ύψους 80-100 cm, ώστε όταν λερωθεί το πάνω μέρος και εμποδίζεται η ροή, να μπορεί να αφαιρείται το λεπτό στρώμα της άμμου. Καλύτερα είναι πριν το φιλτράρισμα από την άμμο το διάλυμα να περνά από σίτα /κόσκινο, που αφαιρεί τα χονδρά υλικά. Η στήλη άμμου τοποθετείται πάνω από στρώση χαλικιού ύψους 35-40 cm, με διαχωριστικό ύφασμα εδαφοκάλυψης (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Μέθοδος απολύμανσης με αργό φιλτράρισμα.

Με το πέρασμα του θρεπτικού διαλύματος η επιφάνεια των κόκκων της άμμου καλύπτεται με μια βιολογική μεμβράνη-ύφασμα γεωκάλυψης, δηλαδή ένα σύνθετο οικοσύστημα με ανταγωνιστική μικροχλωρίδα, το οποίο τρέφεται από την οργανική ύλη που υπάρχει στο θρεπτικό διάλυμα, συμπεριλαμβανομένων και των σπορίων των μυκήτων. Τα οργανικά σωματίδια περνώντας μέσα από το φίλτρο έλκονται από τους κόκκους, παγιδεύονται στην κολλώδη βιολογική μεμβράνη και καταναλώνονται από τα βακτήρια και πρωτόζωα που ζουν εκεί κοινώς ως “φάγοι”. Είναι αερόβια διαδικασία, παίρνει οξυγόνο από το θρεπτικό διάλυμα, γι’ αυτό είναι απαραίτητη η διαρκής ροή του θρεπτικού διαλύματος ή του νερού από το φίλτρο. Αν σταματήσει η ροή και το φίλτρο στεγνώσει παύει να δουλεύει. Απαιτούνται 3 μήνες για να αναπτυχθεί βιολογική μεμβράνη, άρα εγκαθίσταται το σύστημα άμμου 3 μήνες πριν τη φυτεία για να είναι έτοιμο για το βιολογικό φιλτράρισμα. Για το φιλτράρισμα 10-30 m³ ανακυκλούμενου διαλύματος το εικοσιτετράωρο απαιτείται μία διάμετρος φίλτρου 2,3 m. Η ταχύτητα ροής πρέπει να είναι 0,1-0,3m³/m²φίλτρου/ώρα. Η ροή βασίζεται στους νόμους βαρύτητας. Όσο καλύτερης ποιότητας είναι η άμμος, τόσο καλύτερη και ταχύτερη είναι η ροή. Προτιμάται η χαλαζιακή άμμος (χωρίς ανθρακικό ασβέστιο) με κοκκομετρία ομοιόμορφη 0,2-0,3 mm.

3. Μέθοδος παστερίωσης με θέρμανση

Για όλα τα παθογόνα, μύκητες, βακτήρια και ιούς, απαιτούνται θερμοκρασίες 95°C για 15 δεύτερα, ενώ για το φουζάριο και τον ιό του μωσαϊκού της ντομάτας-ΤοMV απαιτούνται 85°C για 3 λεπτά. Είναι αποτελεσματική μέθοδος ενάντια σε όλα τα παθογόνα (μύκητες, βακτήρια και ιούς), θεωρείται σχετικά απλή τεχνολογία, δεν προκαλεί φυτοτοξικότητα και μπορεί να συνδυαστεί με το σύστημα θέρμανσης. Μειονέκτημα είναι το ψηλό λειτουργικό κόστος.

4. Μέθοδος απολύμανσης με συσκευή παραγωγής ελεύθερων ιόντων χαλκού

Ένα μέρος του θρεπτικού διαλύματος πριν διοχετευθεί στα φυτά περνά από μια συσκευή, που με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, μέσω ηλεκτρόλυσης ηλεκτροδίων χαλκού εμπλουτίζει το διάλυμα με ελεύθερα ιόντα χαλκού. Τα ζωοσπόρια από το *Pythium* και *Phytophthora* καταστρέφονται με συγκεντρώσεις ελεύθερων ιόντων χαλκού από 8-24 μmol/l. Η υπερβολική συγκέντρωση ιόντων χαλκού στο θρεπτικό διάλυμα προκαλεί χλώρωση των φυτών, λόγω ανταγωνισμού με τον σίδηρο.

5. Μέθοδος απολύμανσης με υπεροξείδιο του υδρογόνου (H₂O₂)

Αν το H₂O₂ προστεθεί στο νερό, ελευθερώνει ενεργό οξυγόνο O[•]. Καταστρέφει την οργανική ουσία – άλη. Συστήνεται αντί του χλωρίου. Για θανάτωση του *F.oxysporum* (φουζάριο) απαιτούνται 50-100 ppm για 5 λεπτά, ενώ για τους ιούς του μωσαϊκού της ντομάτας-TMV απαιτούνται 400 ppm για 5 λεπτά. Μπορεί να αντιδράσει με μερικά λιπάσματα και να επιφέρει αλλαγές στο διάλυμα. Για απολύμανση υποστρώματος γίνεται

διαβροχή του για 5-24 ώρες με H_2O_2 , για να σκοτώσει τα παθογόνα. Το υπόστρωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως μετά για φύτευση.

6. Μέθοδος απολύμανσης με ιώδιο

Για θανάτωση του *F. oxysporum* (φουζάριο) απαιτούνται 0,7 ppm. ιωδίου. Το ιώδιο μπορεί να αποβεί τοξικό στα φυτά και μπορεί να αντιδράσει με μερικά λιπάσματα και να επιφέρει αλλαγές στο διάλυμα.

Απολύμανση υποστρωμάτων και εξοπλισμού

I. Απολύμανση υποστρωμάτων

1. Με βιολογική μέθοδο γίνεται διαβροχή τους για 5-24 ώρες με υπεροξείδιο του υδρογόνου- H_2O_2 , για να σκοτώσει τα παθογόνα. Τα υποστρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως μετά για φύτευση.
2. Με χημική μέθοδο π.χ. Propamocarb.

II. Απολύμανση εξοπλισμού

1. Απολύμανση θερμοκηπίου, στύλων κλπ. με φορμαλδεΐδη.
2. Απολύμανση εργαλείων με χλώριο.
3. Απολύμανση σταλακτήρων: Αφαιρούνται και τοποθετούνται σε λεκάνη με διάλυση υποχλωριώδους νατρίου (χλωρίνης). Καθαρίζονται και τα άλατα.
4. Απολύμανση σωλήνων με Tetrammonium chloride.
5. Αντιμετώπιση των αλγών (algae). Πρόληψη με κάλυψη του νερού με αδιαπέραστο ύφασμα, για να εμποδίζει το φως. Αντιμετώπιση με χαλκούχα και χλώριο.

Ασθένειες της ρίζας

Οι μύκητες και οι άλλοι μικροοργανισμοί που προσβάλλουν τη ρίζα και τη βάση του κορμού είναι σοβαρή απειλή και στις υδροπονικές καλλιέργειες. Ειδικότερα οι οργανισμοί που παράγουν ζωοσπόρια, όπως Πύθιο και Φυτόφθορα αναπτύσσονται πολύ συχνά, λόγω των υγρών συνθηκών στα υποστρώματα της υδροπονικής καλλιέργειας. Το συνηθέστερο φυτοπαθογόνο που εντοπίζεται, είτε στο θρεπτικό διάλυμα, είτε στο υπόστρωμα, είτε στη ρίζα του φυτού στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι κυρίως το Πύθιο (κατά 90%), αλλά και τα Φουζάριο, Φυτόφθορα και Βερτιτσίλιο. Επίσης δυνατό

να εντοπιστούν και νηματώδεις, που συνήθως προέρχονται από μολυσμένα νερά.

Οι προσβολές από Πύθιο προέρχονται από μολυσμένο νερό, από το υπόστρωμα, από τα εργαλεία και από το φυτικό υλικό. Απότομες αλλαγές στο περιβάλλον του φυτού, όπως το οξυγόνο της ρίζας (καλή οξυγόνωση του διαλύματος εμποδίζει την ανάπτυξη του μύκητα), το pH, η αλατότητα και το φως, έχουν επιπτώσεις στην ανάπτυξη του μύκητα. Γενικά, όταν οι παράγοντες του περιβάλλοντος ευνοούν την καλή ανάπτυξη του φυτού, τότε είναι δυσμενείς στην ανάπτυξη του Πύθιου.

Ο καλύτερος τρόπος προστασίας είναι η πρόληψη και οι προσβολές του ριζικού συστήματος από τους επιζήμιους μύκητες, που προλαμβάνονται με απολύμανση του θρεπτικού διαλύματος, ειδικά στα κλειστά υδροπονικά συστήματα.

Προστασία των φυτών με επεμβάσεις στο υπόστρωμα

I. Βιολογική φυτοπροστασία

Δίδεται μεγάλη σημασία στην ανάπτυξη της μικροχλωρίδας της ρίζας, η οποία δρα ανταγωνιστικά στα παθογόνα. Αυτό επιτυγχάνεται με την υποβοήθηση της ανάπτυξης της φυσικής μικροχλωρίδας της ρίζας ή με την προσθήκη επιλεγμένων ανταγωνιστών, που δρουν με διάφορους τρόπους, όπως μυκοπαρασιτικά, ανταγωνιστικά θρεπτικών στοιχείων, παράγοντας τοξικές ουσίες, διευκολύνοντας τους μηχανισμούς αντίστασης των φυτών, ευνοώντας την ανάπτυξη των φυτών κ.α. Τέτοια σκευάσματα είναι το Mycostop, Soil Guard, Root Shield ή Path Guard.

II. Προστασία με μυκητοκτόνα

Η προστασία γίνεται κυρίως στο στάδιο πολλαπλασιασμού και ανάπτυξης των νεαρών φυτών με εφαρμογή ορισμένων χημικών σκευασμάτων. Τέτοια σκευάσματα είναι:

1. Etridiazole για καταπολέμηση Πύθιου και Φυτόφθορας. Είναι ευαίσθητο σε υπεριώδη ακτινοβολία UV, περιορίζει τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών και σε μεγάλες δόσεις μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στα φύλλα.
2. Metalaxyl (έλεγχος για ανάπτυξη ανθεκτικότητας).
3. Propomocarb για καταπολέμηση Πύθιου και Φυτόφθορας ρίζας και λαιμού.
4. Fosetyl-Al για καταπολέμηση Πύθιου και Φυτόφθορας ρίζας και λαιμού. Διπλή διασυστηματική δράση από το φύλλο στη ρίζα και από τη ρίζα στο φύλλο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν φυτοφάρμακα με ειδική άδεια χρήσης για υδροπονικές καλλιέργειες. Δεν υπάρχει βέβαια κάποια διάταξη που να απαγορεύει ρητά τη χρήση των φυτοφαρμάκων σε υδροπονικές καλλιέργειες. Επομένως, όσα φυτοφάρμακα συνιστώνται για ριζοποτίσματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις εκτός εδάφους καλλιέργειες, με τους περιορισμούς που ισχύουν για τα μέγιστα αποδεκτά όρια υπολειμμάτων στα βρώσιμα τμήματα τους.

Παράρτημα

ΠΥΘΙΟ/ΦΥΤΟΦΘΟΡΑ/ΡΙΖΟΚΤΟΝΙΑ



Προσβάλλουν τα νεαρά φυτά, είτε στο λασάνι, είτε μετά τη μεταφύτευση. Το Πύθιο (που κατά 90% είναι το κύριο παθογόνο σε υδροπονικές καλλιέργειες) προκαλεί σάπισμα/λιώσιμο της βάσης του φυτού (λαιμό) και ρίζα. Ειδικά, αν το φυτό στρεσαριστεί, λόγω ψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μειωμένου οξυγόνου στη ρίζα, υψηλής θερμοκρασίας, αλλαγές στο pH, σε μεγάλα φυτά παρουσιάζεται αμέσως μάρανση και ξήρανση. Σε νεαρά φυτά υδροπονίας το Πύθιο τα καταστρέφει εντελώς, με μαύρισμα/καφέτιασμα της ρίζας (στην υδροπονία οι υγιείς ρίζες είναι άσπρες). Η είσοδος του παθογόνου στη ρίζα ευνοείται από μηχανική ζημιά/σπάσιμο ρίζας.

Οι προσβολές από Πύθιο προέρχονται από:

1. Νερό, ειδικά αυτό με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, ανοικτές δεξαμενές.
2. Υποστρώματα, ειδικά αυτά που δεν έχουν ζυμωθεί καλά σε υψηλές θερμοκρασίες π.χ. κοκκοφοίνικας.
3. Εργαλεία.
4. Φυτικό υλικό, μολυσμένος σπόρος, σπορόφυτα.

Καταπολέμηση:

Προληπτικά μέτρα για παρεμπόδιση μόλυνσης με μολυσμένο υπόστρωμα, καθαρά γεωργικά εργαλεία, απομάκρυνση φυτικών υπολειμμάτων από προηγούμενες καλλιέργειες, καθαρά υγιή σπορόφυτα, καλή αποστράγγιση, φύτευση ανθεκτικών ποικιλιών/εμβολιασμένων φυτών. Χημική καταπολέμηση/ριζοπότισμα μετά τη μεταφύτευση με μυκητοκτόνα.

ΦΟΥΖΑΡΙΑ/ΒΕΡΤΙΤΣΙΛΙΑ (κν. Αδρομυκώσεις)



ΦΟΥΖΑΡΙΑ, υπάρχουν 3 είδη Φουζαρίου (*Fusarium* sp.)/ΒΕΡΤΙΤΣΙΛΙΑ

Τα προσβεβλημένα σπορόφυτα ή τα μεγάλα φυτά μαραίνονται σιγά-σιγά, κιτρινίζουν τα παλιά φύλλα και μετά τα νέα. Ακολουθεί ξήρανση του υπέργειου τμήματος, που αρχίζει από τη βάση και προχωρεί προς τα πάνω, μαυρίζει το ριζικό σύστημα και προχωρεί μέχρι λίγο πάνω από το έδαφος. Σε κάθετη τομή του βλαστού εντοπίζεται καστανός μεταχρωματισμός των αγγείων.

Καταπολέμηση:

Προληπτικά μέτρα για παρεμπόδιση μόλυνσης του υποστρώματος, καθαρά γεωργικά εργαλεία, απομάκρυνση φυτικών υπολειμμάτων από προηγούμενες καλλιέργειες. Καθαρά σπορόφυτα / υγιές πολλαπλασιαστικό υλικό, όχι υπερβολικό άζωτο, καλή αποστράγγιση, φύτευση ανθεκτικών ποικιλιών/εμβολιασμένων φυτών, απολύμανση του υποστρώματος. Χημική καταπολέμηση/ριζοπότισμα μετά τη μεταφύτευση με μυκητοκτόνα.

Περιβάλλον Θερμοκηπίου

Με τον όρο συνθήκες περιβάλλοντος ενός θερμοκηπίου εννοούμε έναν αριθμό παραγόντων που επιδρούν στα φυτά και στην παραγωγή τους. Οι παράγοντες αυτοί είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα οι οποίοι επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών και την παραγόμενη ποσότητα, όπως και την ποιότητα παραγωγής δρώντας τόσο ανεξάρτητα, όσο και αλληλοεπιδρώντας μεταξύ τους. Με το ελεγχόμενο περιβάλλον στο θερμοκήπιο επιτυγχάνεται αύξηση της παραγωγής, με ταυτόχρονη μειωμένη χρήση των συντελεστών παραγωγής (νερό, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, ώρες εργασίας, κλπ.). Οι παράγοντες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου μπορούν να επιδράσουν σημαντικά στην απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων και τον καταμερισμό τους στο φυτό. Επίσης, στο περιβάλλον της ρίζας η θερμοκρασία, όπως και ο αερισμός, επιδρούν σημαντικά στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων. Η καλύτερη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων των θρεπτικών στοιχείων τόσο μεταξύ τους, αλλά και με άλλους παράγοντες του περιβάλλοντος είναι πολύ σημαντική, ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην καλλιέργεια.

Η καλλιέργεια φρέσκων λαχανικών στο θερμοκήπιο επιτρέπει σε σημαντικό βαθμό τον έλεγχο των συνθηκών του περιβάλλοντος, στο οποίο αναπτύσσονται, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων «εκτός εποχής», δηλαδή σε περιόδους που η καλλιέργεια των φυτών στον αγρό είναι αδύνατη ή προβληματική, λόγω των αντίξωων συνθηκών του φυσικού περιβάλλοντος και κυρίως της θερμοκρασίας.

Α. Θερμοκρασία

Η αύξηση των φυτών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, αφού σημαντικές φυσιολογικές λειτουργίες τους (φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή και γενικά ο μεταβολισμός), επηρεάζονται από την παράμετρο αυτή του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία επηρεάζει ανασταλτικά την ανάπτυξη των φυτών, όπως και την παραγωγή, όταν υπερβεί ή κατεβεί κάτω από κάποια όρια, ανάλογα με το είδος του καλλιεργούμενου φυτού. Θερμοκρασία ρίζας μέχρι τους 22 βαθμούς αυξάνει την απορρόφηση και τη μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα. Μεγαλύτερες θερμοκρασίες ρίζας τείνουν να μειώσουν την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων.

Τα περισσότερα λαχανικά που καλλιεργούνται στο θερμοκήπιο είναι ευπαθή στο ψύχος (0-12°C). Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 13°C τα φυτά δεν παράγουν ικανοποιητικά, τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα. Γενικά, η απαιτούμενη άριστη θερμοκρασία μειώνεται, καθώς αυξάνεται η ηλικία του φυτού. Για πρώιμη συγκομιδή διατηρείται η θερμοκρασία σε υψηλότερα επίπεδα.

Η θέρμανση του αέρα στο θερμοκήπιο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αερόθερμου, όπου διοχετεύει στον χώρο του θερμοκηπίου θερμό αέρα, με τη βοήθεια ανεμιστήρων ή καλύτερα με διάτρητο πλαστικό σωλήνα, ο οποίος συνδέεται με το αερόθερμο. Επίσης, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση λέβητα ζεστού νερού. Η διανομή του ζεστού νερού στο θερμοκήπιο, και κατ' επέκταση της θερμότητας, επιτυγχάνεται μέσω δικτύου επιδαπέδιων πλαστικών σωλήνων.

Η μείωση των απωλειών θερμότητας από τον χώρο του θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση θερμοκουρτίνων (κατασκευάζονται από μαύρο πλαστικό ή άλλο αδιαφανές υλικό ειδικής σύνθεσης), που τοποθετούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κάτω από την οροφή, με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν τον χώρο της καλλιέργειας των φυτών μόνο κατά τη νύχτα, ενώ κατά την ημέρα μαζεύονται για να μην εμποδίζουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης, μείωση των απωλειών θερμότητας επιτυγχάνεται με διπλή κάλυψη της στέγης ή και των πλαϊνών του θερμοκηπίου και, τέλος, με τη χρήση κατάλληλου θερμικού πλαστικού κάλυψης.

Για επέκταση του χρόνου χρήσης του θερμοκηπίου και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, περίοδος κατά την οποία δεν επαρκεί ο εξαερισμός για τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στα επιθυμητά επίπεδα, απαιτείται η εφαρμογή ορισμένων μεθόδων κλιματισμού (δροσισμού). Τέτοιες είναι το βάψιμο του υλικού κάλυψης, η εγκατάσταση κουρτίνας εξωτερικά ή εσωτερικά του καλύμματος για μείωση της περατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία και το σύστημα δροσισμού με εξάτμιση νερού. Εδώ αναφερόμαστε στο σύστημα ανεμιστήρων εξαγωγής αέρα (υγρή παρειά) και στο σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης.

B. Σχετική υγρασία

Η υγρασία του αέρα επηρεάζει τη λειτουργία της διαπνοής των φυτών και μέσω αυτής την υδατική τους οικονομία (σε συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασίας αέρα η διαπνοή των φυτών αυξάνεται, ενώ σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας αέρα η διαπνοή των φυτών μειώνεται). Έτσι, η σχετική υγρασία είναι πολλές φορές ένας σημαντικός παράγοντας για τον έλεγχο της κατανομής των θρεπτικών στοιχείων μέσα στο φυτό. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός υψηλής σχετικής υγρασίας και υψηλής συγκέντρωσης ασβεστίου στο θρεπτικό διάλυμα, μπορεί να αυξήσει το ασβέστιο στον καρπό. Αντίθετα, η πιο συχνή αιτία του καψίματος της κορυφής είναι οι μεγάλοι ρυθμοί διαπνοής σε χαμηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας, όταν επικρατεί θερμός καιρός.

Η υψηλή σχετική υγρασία επηρεάζει κυρίως την παραγωγή με την ανάπτυξη διαφόρων ασθενειών. Η υγρασία του αέρα ρυθμίζεται με τον καλό εξαερισμό του θερμοκηπίου και με τη σωστή άρδευση. Με τη ρύθμιση της υγρασίας στον αέρα του θερμοκηπίου

σε άριστα επίπεδα (60-80%), μειώνονται οι ανάγκες των φυτών σε νερό, ελέγχεται ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης και μειώνονται οι προσβολές των φυτών από ασθένειες.

Η μείωση της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί είτε με θέρμανση, είτε με εξαερισμό (για εισαγωγή αέρα με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία), ή καλύτερα με συνδυασμό θέρμανσης και εξαερισμού, που επιτυγχάνεται με τη χρήση των (μερικώς) ανοιχτών παραθύρων της οροφής (όταν υπάρχουν) από τα οποία βγαίνει έξω ο υγρός αέρας που ανεβαίνει προς τα επάνω όταν θερμανθεί.

Η αύξηση της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί με το σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης και με τη χρήση συστήματος δροσισμού, που ψύχει τον αέρα με εξάτμιση νερού.

Γ. Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει στα φυτά την απαραίτητη ενέργεια για τη φωτοσύνθεση και τις λοιπές φυσιολογικές λειτουργίες τους και εξασφαλίζει τη θέρμανση του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Γενικά, η απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας.

Ένα σημαντικό ποσοστό από την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοκηπίου δεν μπαίνει μέσα, γιατί ανακλάται ή απορροφάται από το υλικό κάλυψης, ή πέφτει στον σκελετό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σκιές στον χώρο καλλιέργειας των φυτών, ανάλογα και με τον τύπο κατασκευής του θερμοκηπίου. Η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο, ιδιαίτερα κατά το χειμώνα, είναι κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει την ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτών.

Η υψηλή ένταση της ακτινοβολίας κατά την καλοκαιρινή περίοδο έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική άνοδο της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο. Για τον λόγο αυτό εφαρμόζεται σκίαση με διάφορους τρόπους για να μειωθεί η περατότητα του υλικού κάλυψης, όπως η εφαρμογή μπογιάς λευκού χρώματος ή η εγκατάσταση κουρτίνας εξωτερικά ή εσωτερικά του καλύμματος.

Τονίζεται ότι στο εμπόριο υπάρχουν διάφοροι τύποι πλαστικού υλικού κάλυψης. Το πλαστικό κάλυψης πρέπει να αποκόπτει μεγάλο μέρος του φάσματος εκείνου του ηλιακού φωτός, που είναι υπεύθυνο για την άνοδο της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο πέραν από το επιθυμητό επίπεδο, χωρίς να επηρεάζει το φάσμα του φωτός που χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση των φυτών. Αντίθετα, τον χειμώνα επιδιώκεται αύξηση του φωτισμού, διατηρώντας τα πλαστικά κάλυψης καθαρά και χρησιμοποιώντας καλής ποιότητας πλαστικό.

Δ. Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα-CO₂ εντός του θερμοκηπίου

Όπως είναι γνωστό, το διοξείδιο του άνθρακα είναι απαραίτητο για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης των φυτών. Στο θερμοκήπιο συμβαίνουν σημαντικές διακυμάνσεις στη συγκέντρωση του αερίου αυτού, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου, λόγω του περιορισμένου (κλειστού) χώρου και των φυσιολογικών λειτουργιών των φυτών.

Για τη διατήρηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα 300 ppm περίπου, απαιτείται περιοδικός εξαερισμός του θερμοκηπίου, ο οποίος πρέπει να αρχίζει σχεδόν αμέσως μετά την ανατολή του ήλιου. Ο εξαερισμός πρέπει να γίνεται σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, με στόχο την επάρκεια CO₂ για τη φωτοσύνθεση.

Σε περιόδους όπου το θερμοκήπιο μένει κλειστό, κατά τη διάρκεια της ημέρας για μεγάλο χρονικό διάστημα, π.χ. λόγω χαμηλής εξωτερικής θερμοκρασίας, μπορεί να γίνει τεχνητός εμπλουτισμός του αέρα του θερμοκηπίου με CO₂.

Η κυκλοφορία (ανακίνηση) του αέρα στο εσωτερικό με τη βοήθεια των ανακυκλών/ανεμιστήρων που κρέμονται από την οροφή, εξασφαλίζει και την ανακατανομή του CO₂ στον αέρα και την αποφυγή δημιουργίας «θυλάκων» στο μικροπεριβάλλον των φύλλων με χαμηλή συγκέντρωση CO₂, λόγω της συνεχούς πρόσληψης του από τα φυτά.



Εικόνα 1. Έλεγχος συνθηκών περιβάλλοντος θερμοκηπίου.

Πρακτικές συμβουλές

i. Πριν την εγκατάσταση

1. Ανάλυση διαθέσιμου νερού. Η ηλεκτρική του αγωγιμότητα (EC) δεν πρέπει να ξεπερνά το 1,5 dS/m. Η περιεκτικότητα του νερού σε βόριο και τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία δεν πρέπει να ξεπερνούν το διπλάσιο της ιδανικής ποσότητας για τα φυτά.
2. Απαραίτητα να γίνεται ορθός σχεδιασμός του συστήματος άρδευσης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη παροχή σε όλα τα σημεία ενστάλαξης. Η ελάχιστη παροχή νερού ανά σταγόνα πρέπει να είναι 1,5 λίτρα / ώρα.
3. Το αρδευτικό σύστημα δεν πρέπει να περιλαμβάνει μεταλλικά μέρη, αφού το οξύ ενδέχεται να τα διαβρώσει και θα πρέπει να εγγυάται την ίδια παροχή νερού σε όλα τα σημεία του θερμοκηπίου.
4. Προστασία των κύριων αγωγών νερού από τις ακραίες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος (παράχωμα, απομόνωση, κ.τ.λ.) Η θερμοκρασία του νερού άρδευσης πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 15°C -30°C (βέλτιστη 20-25°C).
5. Η κλίση του εδάφους να είναι μικρότερη από 1,5% (βέλτιστη 0,5-1,0%). Το έδαφος καλύπτεται με πλαστικό εδαφοκάλυψη.
6. Ο παραγωγός πρέπει να είναι γνώστης της λειτουργίας του προγραμματιστή άρδευσης και των άλλων συστημάτων που χρησιμοποιεί στις υδροπονικές καλλιέργειες.
7. Καθαρισμός του αρδευτικού δικτύου μία φορά κάθε χρόνο με τη χρήση οξέος (νιτρικό οξύ 3-5%) ή χλωρίνης (όχι μαζί). Ακολουθεί ξέπλυμα με καθαρό νερό.
8. Απολύμανση του χώρου του θερμοκηπίου (π.χ. 1 μέρος χλωρίνη σε 9 μέρη νερού).
9. Υπολογισμός των υποστρωμάτων και των φυταρίων που θα χρειαστεί (π.χ. ντομάτα, 2600-4000; αγγούρι, 1400-2000; πιπεριά, 2500-2700; πεπόνι, 1700-2000; φασολάκι, 4000-9000; ζέρμπερα, 6000-7000; τριαντάφυλλο, 6000-10000 φυτά / δεκάριο).

ii. Πριν τη μεταφύτευση

1. Χρησιμοποίηση υγιούς πολλαπλασιαστικού υλικού. Οι σπόροι βλαστάνουν σε κύβους προβλάστησης. Στόχος η μεταφύτευση υγιών και δυνατών φυταρίων.
2. Στο πρώτο γέμισμα των υποστρωμάτων από πετροβάμβακα χορηγείται θρεπτικό διάλυμα με pH 5,0. Το χαμηλότερο pH νερού που μπορεί να χορηγηθεί είναι 4,5. Μετά το πρώτο γέμισμα το pH επανέρχεται στο 5,5. Τα υποστρώματα πρέπει να παρამεύουν γεμάτα για είκοσιτέσσερις ώρες.

3. Τα υποστρώματα πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η καλή αποστράγγιση τους. Οι δύο κάθετες τομές αποστράγγισης στο πλαστικό κάλυμμα των υποστρωμάτων πρέπει να ξεκινούν από το σημείο επαφής του υποστρώματος με το έδαφος και να έχουν μήκος 3-4 cm. Οι τομές δεν πρέπει να γίνονται κάτω από το φυτό.
4. Καλή διαβροχή τόσο του υποστρώματος όσο και των φυταρίων στους κύβους προβλάστησης πριν τη μεταφύτευση. Καλά ενυδατωμένα πρέπει να είναι και τα σημεία μεταφύτευσης στην επιφάνεια του υποστρώματος.
5. Αποφυγή μεταφύτευσης όταν επικρατούν ακραίες θερμοκρασίες. Αν αυτό πρέπει να γίνει να προηγείται σκληραγώγηση των φυτών.
6. Σε μεγάλα φυτάρια, πριν τη μεταφύτευσή, πρέπει να γίνεται αραίωμα για σκληραγώγηση.

iii. Μετά τη μεταφύτευση

1. Ελάχιστη παροχή ανά σταλάκτη ανά πότισμα → 150-180 ml.
2. Ποτέ δεν χρησιμοποιείται μόνο του νερό χωρίς θρεπτικό διάλυμα για πότισμα στις υδροπονικές καλλιέργειες. Η αρχή της άρδευσης είναι “λίγο και συχνά”. Κατά μέσο όρο η συχνότητα του ποτίσματος είναι κατά ελάχιστο κάθε 60 λεπτά και κατά μέγιστο κάθε 85 λεπτά.
3. Μην χρησιμοποιείτε τα υποστρώματα περισσότερα χρόνια από τις προδιαγραφές τους, διότι δεν μπορεί να ρυθμιστεί σωστά η EC και γίνεται σπατάλη λιπασμάτων λόγω αυξημένης απορροής.
4. Η απορροή του υποστρώματος πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη του 20% και αυξημένη τις μεσημβρινές ώρες. Για αυτό και τα ποτίσματα πρέπει να είναι πυκνότερα το μεσημέρι.
5. Η υγρασία στον πετροβάμβακα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 50% (βέλτιστη 60-75%). Όταν απαιτείται βλαστική ανάπτυξη, η υγρασία του πετροβάμβακα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 70-75%, ενώ για ανθοφορία 60-65%.
6. Οι μετρήσεις pH, EC, απορροής και υγρασίας στο υπόστρωμα έχουν αξία, όταν είναι συστηματικές, τηρούνται αρχεία και γίνεται αξιολόγησή τους. Η EC στο υπόστρωμα θα πρέπει να είναι το πολύ μια μονάδα μεγαλύτερη του διαλύματος του σταλάκτη και να μην έχει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.
7. Οι μετρήσεις που γίνονται στα υποστρώματα πρέπει να κατανέμονται σε όλο το χώρο του θερμοκηπίου, να γίνονται πάντοτε την ίδια ώρα (7:00-8:00 το πρωί), από

τα ίδια υποστρώματα κάθε φορά και σε συχνότητα τουλάχιστον τρεις φορές την εβδομάδα.

8. Τα αισθητήρια του pH και EC πρέπει να αντικαθίστανται και να ελέγχονται βάσει των προδιαγραφών τους.
9. Την καλοκαιρινή περίοδο λόγω της μεγάλης διαπνοής των φυτών καλό είναι να ελαττώνεται το EC του νερού άρδευσης. Υψηλότερες υγρασίες μέσα στα slabs τους καλοκαιρινούς μήνες.
10. Αν η τιμή του EC στο υπόστρωμα είναι χαμηλή, λόγω αυξημένων αναγκών των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία, αυξάνουμε ($\approx 10\%$) όλα τα θρεπτικά στοιχεία, εκτός των αμμωνιακών και φωσφορικών.
11. Το pH στο υπόστρωμα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5,5 – 6,5. Για να μειωθεί το pH στο υπόστρωμα, αυξάνουμε στο τριπλάσιο την ποσότητα θρεπτικού διαλύματος σε ένα πότισμα, κάνοντας το λεγόμενο “ξέπλυμα”.
12. Απαραίτητες είναι οι αναλύσεις θρεπτικού διαλύματος στα κρίσιμα στάδια της καλλιέργειας, που είναι στο μέγιστο του “φορτώματος” του φυτού και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, για τυχόν διορθώσεις. Το θρεπτικό διάλυμα το παίρνουμε πριν το πρώτο πότισμα.
13. Η συνταγή θρέψης γίνεται πάντοτε με βάση την ανάλυση του διαθέσιμου νερού ποτίσματος. Όταν η πηγή ή η σύσταση του νερού αλλάξει πρέπει να αλλάξει και η συνταγή θρέψης. Ελέγχεται αν η σύσταση των λιπασμάτων και ιχνοστοιχείων που χρησιμοποιείται είναι ίδιες με εκείνες των λιπασμάτων που αναγράφονται στη συνταγή. Προσοχή στην ετοιμασία των θρεπτικών διαλυμάτων.
14. Έναρξη και λήξη των αρδεύσεων σε αδρές γραμμές 1,0-1,5 ώρες μετά την ανατολή και πριν τη δύση του ηλίου.
15. Σε περιόδους υψηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας συνίσταται νυχτερινό πότισμα.
16. Η γενική οδηγία είναι να κρατηθούν τα φυτά σε ισορροπία (φύλλα / καρποί) και να αποφεύγονται απότομες αλλαγές στο ριζικό σύστημα.
17. Μια κανονική έως υψηλή EC μπορεί να προλάβει σκασίματα των καρπών (π.χ. ντομάτες) και να βελτιώσει την ποιότητα τους. Υψηλότερη EC οδηγεί εν μέρει σε μικρότερους καρπούς με μικρότερη ταχύτητα ανάπτυξης.
18. Ακανόνιστα ποτίσματα επηρεάζουν αρνητικά τόσο την παραγωγή όσο και την ποιότητα των καρπών.
19. Μεγάλες ποσότητες άρδευσης αυξάνουν το ρίσκο για μυκητολογικές προσβολές στον καρπό.

IV. Ενδεικτικές συγκεντρώσεις των ιόντων στα θρεπτικά διαλύματα

Χρήσιμες συνταγές για έναρξη, αν δεν υπάρχει άλλη πιο συγκεκριμένη (HORTIMED).

ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ meq/lt							
ΦΥΤΟ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Πιπεριά	11-12	1-1,25	2-4	0,5	5-6	6-8	2-4
Πεπόνι	9-16	1-1,25	2-4	0,5	5-8	6-8	2-4
Καρπούζι	11-12	1-1,25	2-4	0,5	7	8-10	2-4
Αγγούρι	12-13	1-1,25	2-4	0,5	5,5-6	7-8	2-4
Φασολάκι	10-14	1-1,25	2-3	0,5	6,5-8	6-10	3-4
Κολοκυθάκι	10-12,5	1,5-1,8	2,5	0,5	7-8	6-8	4-5
Ντομάτα	10-18	1-1,5	3-5	0,5	7-9	8-12	3-5
Ζέρμπερα	7,25	0,6	1,4	0,75	4,5	3,2	0,8
Τριαντάφυλλο	4,3	0,5	1	0,8	2,2	1,6	1,2
ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ppm							
ΦΥΤΟ	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻ S	NH ₄ ⁺ -N	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Πιπεριά	150-170	30-40	32-65	7	190-235	120-160	25-50
Πεπόνι	125-225	30-40	32-65	7	190-315	120-160	25-50
Καρπούζι	150-170	30-40	32-65	7	275	160-200	25-50
Αγγούρι	170-180	30-40	32-65	7	215-235	140-160	25-50
Φασολάκι	140-200	30-40	32-50	7	250-315	120-200	35-50
Κολοκυθάκι	140-175	45-55	40	7	270-315	120-160	50-60
Ντομάτα	140-250	30-46	50-80	7	270-350	160-240	35-60
Ζέρμπερα	100	18	22	10	175	64	10
Τριαντάφυλλο	62	15	16	11	85	32	15
ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ μmol/L							
ΦΥΤΟ	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	
Πιπεριά	10	10	4	25	0,5	0,5	
Πεπόνι	30	15	4	25	0,5	0,5	
Καρπούζι	10	10	4	20	0,5	0,5	
Αγγούρι	10	10	4	20	0,5	0,5	
Φασολάκι	16-30	14-16	2-3	14-16	1-1,5	0,5-1	
Κολοκυθάκι	16-30	14-16	2-3	14-16	1-1,5	0,5-1	
Ντομάτα	16-30	12-18	2-3	12-20	1-2	0,5-1,5	
Ζέρμπερα	25	5	3	20	0,5	0,5	
Τριαντάφυλλο	15	5	3	20	0,5	0,5	

Βιβλιογραφία

I. Ελληνική

Κουκουλάκης, Π.Χ., Παπαδόπουλος, Α.Η., 2003. Η Ερμηνεία της Φυλλοδιαγνωστικής. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

Σάββας, Δ., 2009. Υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών στο θερμοκήπιο. Ειδικά θέματα, Αθήνα.

Σάββας, Δ., 2010. Υδροπονικές καλλιέργειες. Ειδικά θέματα, Κύπρος.

Σάββας, Δ., 2012. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Αθήνα, Εκδόσεις ΑγρόΤύπος.

Τσαπικούνης, Φ., 1997. Θρέψη – Λίπανση των φυτών. Μέρος Β' & Δ'. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

II. Ξενόγλωσση

Adams, P., 2002. Nutritional control in hydroponics. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. (Savvas, D. and Passam, H.C., Eds.). Embryo Publications, Athens, Greece, 211-261.

Bar-Yosef, B., 2008. Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses. In: *Soilless Culture, Theory and Practise*. (Raviv, M. and Lieth, H.J., Eds.). Elsevier, Amsterdam, 341-424.

Benton Jones, J.Jr., 1997. Hydroponics. A practical guide for the soilless grower. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

De Kreij C., W. Voogt, R. Baas, 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Brochure 196. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG), Naaldwijk, The Netherlands.

HORTIMED. Sustainable water use in Mediterranean horticulture. INCO-MED: International Cooperation Contvace number: ICA3-1999-00009 (2000-2003).

Lieth, J.H., Oki, L.R., 2008. Irrigation in soilless production. In: *Soilless Culture, Theory and Practise*. (Raviv, M. and Lieth, H.J., Eds.). Elsevier, Amsterdam, 117-156.

Maas E.V., Hoffman, N., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig. Drainage Div., ASCE 103(IR2), 115-134.

Maloupa, E., 2002. Hydroponic systems. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. (Savvas, D. and Passam, H.C., Eds.). Embryo Publications, Athens, Greece, 117-156.

Postma, J., Van Os, E., Bonants, P.J.M., 2008. Pathogen detection and management strategies in soilless plant growing systems. In: *Soilless Culture, Theory and Practise*. (Raviv, M. and Lieth, H.J., Eds.). Elsevier, Amsterdam, 425-457.

Savvas, D., 2001. Nutritional management of vegetables and ornamental plants in hydroponics. In: *Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Crops*. Volume I: Quality Management (Dris, R., Niskanen, R. and Jain S.M., Eds.). Science Publishers, Enfield, N.H., U.S.A, 37-87.

Savvas, D., 2002. Nutrient solution recycling. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. (Savvas, D. and Passam, H.C., Eds.). Embryo Publications, Athens, Greece, 299-343.

Savvas, D., Adamidis, K., 1999. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. J. Plant Nutr. 22 (9), 1415-1432.

Savvas, D., Gizas, G., 2002. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. Sci. Hort. 96, 267-280.

Schröder F-G., Lieth, J.H., 2002. Irrigation control in hydroponics. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (Savvas, D. and Passam, H.C., Eds.). Embryo Publications, Athens, Greece, 263-298.

Silber, A., Bar-Tal, A., 2008. Nutrition of substrate-grown plants. In: *Soilless Culture, Theory and Practise*. (Raviv, M. and Lieth, H.J., Eds.). Elsevier, Amsterdam, 291-339.

Sonneveld, C., 2002. Composition of nutrient solution. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (Savvas, D. and Passam, H.C., Eds.). Embryo Publications, Athens, Greece, 179-210.

Sonneveld, C., Straver, N., 1994. Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates. 10th Edition. Serie: Voedingsoplossingen Glastuinbouw, No 8, Naaldwijk-P.B.G. Aalsmeer, The Netherlands.

Sonneveld, C., Voogt, W., 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York.

