

Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε.Γ.
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ (ΓΕ.Μ.Υ.Π.)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: «Υδροπονική καλλιέργεια σε τεχνητό υπόστρωμα
περλίτη ή πετροβάμβακα –Υδρολίπανση, σε θερμοκήπιο»



Σπουδάστρια:
Ζαγορίτη Αθηνά

Εισηγητής:
D_R. Λεωνίδας Παναγιωτόπουλος

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφαλαίο	Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
Κεφαλαίο 1^ο	
1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	12
1.1.1 ΓΙΑΤΙ ΠΡΟΤΙΜΑΤΑΙ Η ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ	18
1.1.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	23
1.1.3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ	26
Κεφαλαίο 2^ο	
2.1 Η ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	29
2.1.1 ΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΤΟ	29
2.1.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΤΟ	30
2.2 Η ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΦΥΤΟ	30
2.2.1 ΑΖΩΤΟ	31
2.2.2 ΘΕΙΟ	32
2.2.3 ΦΩΣΦΟΡΟΣ	33
2.2.4 ΜΑΓΝΗΣΙΟ	34
2.2.5 ΑΣΒΕΣΤΙΟ	35
2.2.6 ΚΑΛΙΟ	36
2.3 Η ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΦΥΤΟ	38
2.3.1 ΣΙΔΗΡΟΣ	38
2.3.2 ΜΑΓΓΑΝΙΟ	38
2.3.3 ΧΑΛΚΟΣ	39
2.3.4 ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ	39

2.3.5 ΜΟΛΥΒΔΑΙΝΙΟ	40
2.3.6 ΒΟΡΙΟ	41

Κεφαλαίο 3°

3.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	43
3.2 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΕΥΟΥΝ ΩΣ ΣΤΕΡΕΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	46
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	47
3.4 ΑΝΟΙΧΤΑ—ΚΛΕΙΣΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	51
3.5 ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΥΡΕΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	54
3.5.1 Ν.Φ.Τ. (NUTRIENT FILM TECHNIQUE)	54
3.5.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΑΜΜΟ	57
3.5.3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΧΑΛΙΚΙ	59
3.5.4 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ	59
3.5.5 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΤΥΡΦΗ	63
3.5.6 ΑΕΡΟΠΟΝΙΑ	65
3.5.7 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑ Ή ROCKWOOL CULTURE	67
3.5.8 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΕΡΛΙΤΗ	73
3.5.9 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΒΕΡΜΙΚΟΥΛΙΤΗ	75

Κεφαλαίο 4°

4.1 ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ	78
4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	79
4.3 ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΣΗ	80
4.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	82
4.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ	

ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	87
4.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑ Α/Β ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ	87
4.5.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ	
ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	88
4.5.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΝΑΜΙΚΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ	88
4.5.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗ	89
4.6 ΔΙΑΝΟΜΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ	90
Κεφαλαίο 5°	
5.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗΣ	96
5.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	96
5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΗ	98
5.2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	98
5.2.2 ΡΗ	99
5.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	99
5.4 ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	101
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πλατιά έννοια του όρου, «υδροπονία ή ανέδαφος καλλιέργεια» είναι η χρήση οποιασδήποτε καλλιέργειας φυτών που δεν έχει σχέση με το φυσικό έδαφος ή με ειδικά μίγματα εδάφους. Αναφέρεται μερικές φορές και ως χημική καλλιέργεια, τεχνητή καλλιέργεια, ανέδαφος γεωργία και υδροκαλλιέργεια. Ο πιο γνωστός όμως και διαδεδομένος όρος διεθνώς, είναι η ελληνική λέξη υδροπονία.

Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε αδρανή υποστρώματα, στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα, είτε σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα.

Γενικά, για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών είναι απαραίτητο στη ρίζα τους να υπάρχει άφθονο οξυγόνο και ταυτόχρονα άφθονο νερό, που να έχει διαλυμένα τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στη σωστή τους αναλογία. Στη συμβατική καλλιέργεια εδάφους, είναι δύσκολο να επιτευχθεί ο συνδυασμός αυτός. Στο φυσικό έδαφος, στις περισσότερες περιπτώσεις, όσο περισσότερο νερό υπάρχει τόσο λιγότερο οξυγόνο μένει και αντίθετα, με αποτέλεσμα τότε το ένα και τότε το άλλο να βρίσκεται σε έλλειψη. Στο έδαφος επίσης σημαντικό είναι και το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων για τη ρίζα του φυτού. Μπορεί να προστίθενται ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος, αλλά αυτά δεν είναι πάντα αμέσως διαθέσιμα στη ρίζα, γιατί δεσμεύονται στα συστατικά του εδάφους ή δύσκολα μετακινούνται στην περιοχή της ρίζας. Με τις υδροπονικές καλλιέργειες τα προβλήματα αυτά λύνονται με τη ρύθμιση της τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος και τη χρησιμοποίηση (σε όσες περιπτώσεις χρησιμοποιείται στερεό υπόστρωμα) υλικών με πολύ υψηλό πορώδες και χημικά αδρανών.

Σήμερα η υδροπονική καλλιέργεια είναι μια διαρκώς επεκτεινόμενη δραστηριότητα, διότι με τη βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνει αυξάνονται οι αποδόσεις των φυτών και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Εκτός αυτών όμως παρέχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές με πολύ κακής ποιότητας εδάφη (πολύ αλατούχα, πολύ συνεκτικά κλπ) ή σε θέσεις χωρίς καθόλου φυσικό έδαφος.



Εικ.1 Νεαρά φυτά Χρυσάνθεμου σε υδροπονική καλλιέργεια

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής χρήση του εδάφους σε εντατική μορφή και με το ίδιο είδος φυτού, όπως συμβαίνει στα θερμοκήπια, αλλά και πολλές φορές στις υπαίθριες καλλιέργειες, δημιούργησε παθογενείς καταστάσεις και έλλειψη των περισσότερων από τα αναγκαία θρεπτικά στοιχεία. Αυτό οδήγησε στην ανάγκη για καθιέρωση των δαπανηρών και επιβλαβών για το περιβάλλον απολυμάνσεων του εδάφους, αλλά και στη χρήση συστημάτων πλήρους τροφοδοσίας θρεπτικών στοιχείων και ρύθμισης της οξύτητας, των γνωστών συστημάτων υδρολίπανσης. Ταυτόχρονα, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς για παραγωγή ποιοτικών προϊόντων οδήγησαν στην αύξηση του κόστους παραγωγής και στη βαθμιαία μείωση του κέρδους για τον παραγωγό.

Ως εκ τούτου, κρίνεται επιτακτική η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών και καλλιεργητικών μεθόδων, που αποσκοπούν στην παραγωγή ποιοτικών προϊόντων, στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και στην προετοιμασία του περιβάλλοντος.

Η χρήση της *υδροπονικής καλλιέργειας* των φυτών σε θερμοκήπια, είναι δυνατόν να οδηγήσει στην επίτευξη των παραπάνω στόχων. Για παράδειγμα στην Ολλανδία, όπου η υδροπονία αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο τρόπο καλλιέργειας φυτών υπό κάλυψη, η παραγωγή τομάτας υπερβαίνει τους 60 τόνους ανά στρέμμα. Στην Ελλάδα, με την παραδοσιακή μέθοδο καλλιέργειας τομάτας, η απόδοση των 20 τόνων ανά στρέμμα θεωρείται επιτυχημένη.

Συγχρόνως, με την υδροπονία αυξάνεται και η αποδοτικότητα της χρήσης του νερού. Από 12-15 κιλά τομάτας ανά κ.μ. νερού με τον παραδοσιακό τρόπο, με την υδροπονία η απόδοση μπορεί να ανέλθει στα 60-70 κιλά, κάτι σημαντικό για την εξοικονόμηση νερού.

Για τη διάδοση της υδροπονία στην Ελλάδα είναι απαραίτητη η διάχυση της τεχνογνωσίας και η ενημέρωση των παραγωγών για τα πλεονεκτήματα και τις οικονομικές προοπτικές και δυνατότητές της.



Εικ.2 Καλλιέργεια τομάτας σε πετροβάμβακα

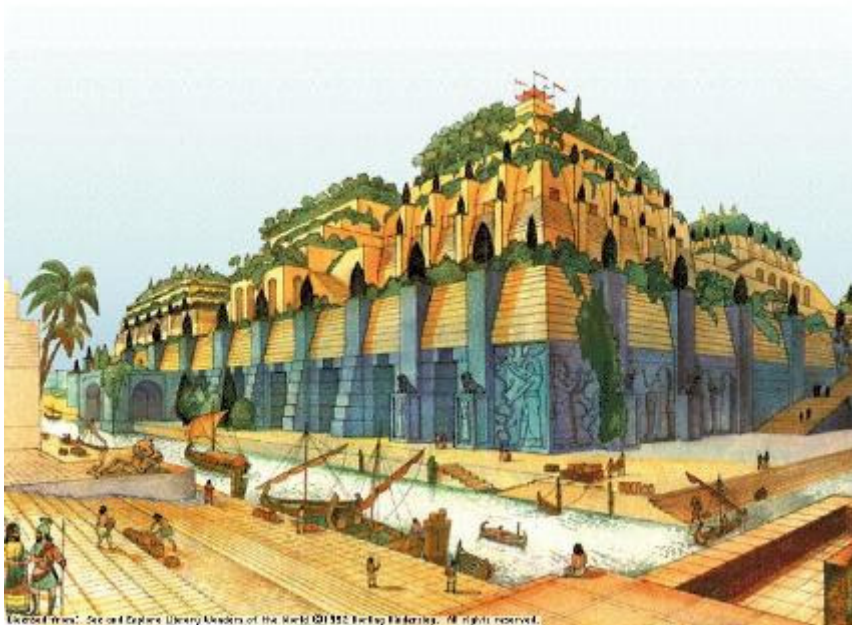
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφαλαίο 1^ο

1.1	ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	12
1.1.1	ΓΙΑΤΙ ΠΡΟΤΙΜΑΤΑΙ Η ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	18
1.1.2	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	23
1.1.3	ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ	26

1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Η υδροπονία εφαρμόζεται από τα προχριστιανικά χρόνια στην Αίγυπτο, στην Κίνα και στην Ινδία όπου χρησιμοποιούνταν διαλυμένες κοπριές για την καλλιέργεια αγγουριού, πεπονιού και άλλων λαχανοκηπευτικών σε αμμώδης όχθες ποταμών (υδροπονία σε πορώδες μέσο και καλλιέργεια σε άμμο). Μετά ονομάστηκε **παραποτάμια καλλιέργεια**. Η πρώτη γραπτή αναφορά σε υδροπονική καλλιέργεια αφορά τους κρεμαστούς κήπους της Βαβυλώνας, όπου καλλιεργούνταν φυτά με νερό που έρεε συνεχώς.



Εικ.3 Οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας

Οι επιπλέοντες κήποι του Κασμίρ, αλλά και η καλλιέργεια φυτών σε λίμνες πάνω σε σχεδίες, από τους Αζτέκους στο Μεξικό αποτελούν επίσης παραδείγματα υδροπονίας από το παρελθόν.

Αργότερα, όταν οι φυσιολόγοι άρχισαν να αναπτύσσουν φυτά με ειδικά θρεπτικά στοιχεία για πειραματικούς σκοπούς, ονόμασαν τη

μέθοδο καλλιέργειας **καλλιέργεια με θρεπτικά στοιχεία (nutri-culture)**. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν όροι όπως **υδροκαλλιέργεια (water-culture)**, **καλλιέργεια σε διάλυμα (solution culture)**, **καλλιέργεια σε στρώμα χαλικιών (gravel bed culture)** κ.α., προερχόμενοι από την εμπειρία των ερευνητών που παρουσίαζαν τα ευρήματά τους.

Οι περισσότεροι ειδικοί επιστήμονες όμως, χρησιμοποιούν τον όρο υδροπονία (hydroponics) ως απόλυτο συνώνυμο με τον χαρακτηρισμό «καλλιέργεια εκτός εδάφους» (soiless culture). Ο βασικός λόγος γι' αυτό είναι το γεγονός ότι η λέξη υδροπονία έχει πλέον καθιερωθεί εδώ και μισό αιώνα σε όλο τον κόσμο και στις περισσότερες γλώσσες, ως όρος που υπονοεί το σύνολο των μεθόδων και συστημάτων καλλιέργειας φυτών χωρίς τη χρήση εδάφους. Στην ελληνική γλώσσα οι δύο αυτοί όροι συνήθως χρησιμοποιούνται ως απολύτως συνώνυμοι. Στην ελληνική βιβλιογραφία όμως έχει καθιερωθεί κυρίως ο όρος υδροπονία, χάρις τη συντομία αλλά και την περιγραφική δύναμη που τον χαρακτηρίζει (δεδομένης της ελληνικής του προέλευσης).

Ο όρος «**υδροπονία**» όπως χρησιμοποιείται σήμερα υιοθετήθηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 1920 από τον καθηγητή Dr. W.F.Gericke από την Καλιφόρνια. Αυτός εμπνευσμένος από τις έρευνες Γερμανών επιστημόνων (Sachs, 1860 και Knor, 1861 και 1865) ανέπτυξε μια τεχνική για καλλιέργεια φυτών σε εμπορική κλίμακα. Οι Sachs και Knor ήταν μεταξύ των επιστημόνων του 19^{ου} αιώνα οι οποίοι ερευνούσαν τη θρέψη των φυτών και αναζητούσαν ένα διάλυμα το οποίο θα έλυne τα προβλήματα που εμφανιζόντουσαν σε προηγούμενες προσπάθειες υδροπονικής καλλιέργειας.

Η καλλιέργεια «χωρίς έδαφος», ήταν γνωστή από το 1699 όταν ο Woodward στην Αγγλία πραγματοποίησε πειράματα με τα οποία προσπάθησε να προσδιορίσει αν το νερό ή το στερεό μέρος του εδάφους

ευθυνόταν για την ανάπτυξη των φυτών. Οι τεχνολογίες της υδροπονίας αναπτύχθηκαν περαιτέρω τη δεκαετία του 30 και 40 στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ιαπωνία, χάρη σε επινοήσεις από τη δουλειά του Gericke.

Οι βασικές ερευνητικές εργασίες που έγιναν μέχρι να καθιερωθεί η μέθοδος, διάρκεσαν περίπου εκατό χρόνια (1860-1960) και επέτρεψαν στο διάστημα αυτό να γίνουν γνωστά τα μακροστοιχεία που χρησιμοποιούν τα φυτά για την ανάπτυξή τους, καθώς επίσης και οι συνθήκες που απαιτούνται (π.χ. pH, συγκέντρωση ιόντων, ανταγωνισμός ιόντων, όριο αλατώσεων, όριο τοξικότητας ιόντων, κ.λ.π.). Η εργαστηριακή αυτή τεχνική των υδροπονικών καλλιεργειών ακόμη και σήμερα είναι σημαντικό εργαλείο στα χέρια των ερευνητών για μελέτες σε διάφορους τομείς, όπως π.χ. στις καλλιέργειες φυτών στο διάστημα χωρίς βαρύτητα ή ακόμα και στις μελέτες συμβίωσης φυτών και ψαριών.



Εικ. 4 Πολλαπλασιασμός γλαστρικών φυτών υδροπονικά

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ο αμερικάνικος στρατός χρησιμοποιούσε την υδροπονία για την παραγωγή φρέσκων προϊόντων, για τα στρατεύματα που ήταν σταθμευμένα σε άγονα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού. Το 1950 υπήρχαν ήδη στην Αμερική, Ευρώπη, Αφρική και Ασία βιώσιμες εμπορικές επιχειρήσεις που ασχολούνταν με την υδροπονία. Από το 1960 έως το 1975 με τη σύγχρονη ανάπτυξη της βιομηχανίας πλαστικών, των ηλεκτρονικών συστημάτων και των αυτοματοποιημένων αναλυτικών μεθόδων εμφανίζονται στην αγορά βελτιωμένα συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών για την παραγωγή κηπευτικών και ανθέων. Το 1981 η αυστραλιανή εταιρεία CSR Ltd άρχισε να παράγει πετροβάμβακα για ανθοκομικές και λαχανοκηπευτικές καλλιέργειες με την επωνυμία «growool». Αυτός έγινε άμεσα αποδεκτός και βρήκε μεγάλη εφαρμογή στις αυστραλιανές επιχειρήσεις δρεπτών ανθέων.

Σήμερα η υδροπονία χρησιμοποιείται σε εμπορική κλίμακα για την καλλιέργεια λαχανοκηπευτικών, ανθέων, φρούτων και αρωματικών φυτών από επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο.

Η τεχνολογία την υδροπονίας εξελίχθηκε σημαντικά ανά τους αιώνες. Η χρονική σειρά των γεγονότων που επηρέαζαν την πορεία της υδροπονίας παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

<u>ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ</u>	
ΠΡΟ ΧΡΙΣΤΟΥ	Διάλυμα κομπόστας/κοπριάς χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια πεπονιών και άλλων κηπευτικών στις όχθες ποταμών το καλοκαίρι, στην Αραβία, Βαβυλώνα, Κίνα, Αίγυπτο, Ινδία και Περσία.
1492	Τα φυτά χρειάζονται ανόργανα στοιχεία (Leonardo de Vinci/Γαλλία)
1666	Τα φυτά αναπτύσσονται σε νερό σε γυάλινα δοχεία (Robert Boyle/Ιρλανδία)
1699	Τα θρεπτικά στοιχεία απορροφούνται με ανταλλαγή ιόντων (Woodward/Αγγλία)
1804	Μελέτες θρέψης φυτών (Nicholas de Saussure/Γαλλία)
1850	Καλλιέργεια σε άμμο/χαλαζία/λιγνίτη (Jean Baussingault/Γαλλία)
1860	Καλλιέργεια σε υδατικό διάλυμα (Sachs and Knop/Γερμανία)
1920	Προσδιορισμός σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος (Hoagland/Η.Π.Α.)
1940	Στατικά συστήματα υδροπονίας σε πορώδη μέσα (Gericke/Η.Π.Α.)
1945	Έρευνες πάνω στη θρέψη των καλλιεργειών με θρεπτικά στοιχεία (Withers and Withers/Η.Π.Α.)
1960	Τεχνική θρεπτικού φιλμ (NFT) (Alan Cooper/Αγγλία)
1960 & 1970	Εμπορικές επιχειρήσεις με υδροπονικές καλλιέργειες αναπτύσσονται στο Abu Dhabi, Αριζόνα, Βέλγιο, Καλιφόρνια, Δανία, Γερμανία, Ολλανδία, Ιράν, Ιταλία, Ιαπωνία, Ρωσία και άλλες χώρες.
1965	Τεχνική άρδευσης με σταγόνες (Cornell University/Η.Π.Α.)

1970	Αεροπονία (Massantini/Ιταλία)
1970	Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (Hanger/Δανία)
1975	Επιπλέοντα συστήματα υδροπονίας (Farnworth/Η.Π.Α.)
1980	Raceways Hydroponics-τεχνική ροής βαθιάς στρώσης (Deep Flow Technique, DFT/Η.Π.Α.)
1980	Μεγάλος αριθμός αυτοματοποιημένων γεωργικών εκμεταλλεύσεων υδροπονίας εγκαθίσταται παγκοσμίως
1990	Ερασιτεχνικά συστήματα υδροπονίας για το σπίτι γίνονται δημοφιλή στην Αυστραλία, Ιαπωνία, Σιγκαπούρη και Ταϊβάν.
1992	Ταξινόμηση των υδροπονικών τεχνικών και μεθόδων (Mallick/Σιγκαπούρη)



Εικ. 5 Υδροπονική καλλιέργεια ζέρμπερας

1.1.1 ΓΙΑΤΙ ΠΡΟΤΙΜΑΤΑΙ Η ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Το έδαφος είναι «απρόβλεπτο» με προβλήματα καθότι αλλάζει θερμοκρασία, υδατοϊκανότητα, διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, ενώ συχνά εμφανίζει προβλήματα αερισμού των ριζών και ελέγχου των εχθρών και ασθενειών. Η υδροπονία μειώνει τα φυσικά προβλήματα του εδάφους, δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα στους καλλιεργητές να ελέγχουν με ακρίβεια τη θρέψη των φυτών. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το πρώτο και προφανέστερο πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η ριζική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες οι μεταδιδόμενες μέσω του εδάφους ασθένειες. Πρέπει βέβαια να διευκρινισθεί ότι προβλήματα με ορισμένα μεταδιδόμενα μέσω του εδάφους παθογόνα, όπως το πύθιο, η φυτόθφορα, το φρουζάριο, κ.λ.π. δεν είναι απίθανο να εμφανισθούν ακόμη και στις υδροπονικές καλλιέργειες, μολονότι η πιθανότητα είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος.
- Εφόσον στις υδροπονικές καλλιέργειες το χώμα δεν έρχεται καθόλου σε επαφή με το φυτό και ιδιαίτερα με τις ρίζες του, δεν υφίσταται ανάγκη για απολύμανση του εδάφους. Αποφεύγεται επομένως η εφαρμογή χημικών απολυμαντικών υψηλής τοξικότητας, όπως το βρωμιούχο μεθύλιο, η χρήση των οποίων εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για τη υγεία τόσο των παραγωγών όσο και των καταναλωτών. Παράλληλα, μειώνεται δραστικά η ανάγκη εφαρμογής φυτοφαρμάκων για την αντιμετώπιση των εδαφογενών ασθενειών.
- Υπάρχει δυνατότητα καλλιέργειας σε περιοχές με προβληματικά εδάφη ή και ανυπαρξία γεωργικής γης.

■ Μέσω της μεταπήδησης στην υδροπονία λύνεται ριζικά το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας, που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω υπερεντατικής εκμετάλλευσης και μονοκαλλιέργειας (κόπωση εδαφών), είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (π.χ. πολύ βαριά ή πολύ ελαφρά εδάφη με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, εναλατωμένα εδάφη, κ.λ.π.). Σε τέτοιες περιπτώσεις η υδροπονία αποτελεί πιο ριζική και πιο αποτελεσματική λύση από την βελτίωση και την ανάπλαση του προβληματικού εδάφους.

■ Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η υδροπονία όταν το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (ηλεκτρική αγωγιμότητα πάνω από 1-1,5 dS/m). Στις περιπτώσεις αυτές η υδροπονία είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχημένης αντιμετώπισης του προβλήματος. Πρέπει όμως να διευκρινισθεί ότι, όταν υφίσταται πρόβλημα υψηλής αλατότητας του νερού άρδευσης, λύση αποτελεί μόνο η καλλιέργεια σε ανοικτά υδροπονικά συστήματα. Αντίθετα, τα κλειστά υδροπονικά συστήματα στα οποία εφαρμόζεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα όταν η περιεκτικότητα του νερού άρδευσης σε ανόργανα άλατα είναι υψηλή και συνεπώς σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να αποφεύγεται η υιοθέτησή τους.

■ Στις υδροπονικές καλλιέργειες το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο. Όπως είναι γνωστό, η εξάτμιση νερού συνοδεύεται πάντοτε από κατανάλωση ενέργειας υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Σε ένα θερμοκήπιο που καλλιεργείται υδροπονικά όμως, η εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του εδάφους είναι πρακτικά αμελητέα, δεδομένου ότι αυτό είναι καλυμμένο με πλαστικά φύλλα. Συνεπώς οι ανάγκες σε ενέργεια για τη θέρμανση του αέρα μειώνονται. Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω ελαχιστοποίησης της εξάτμισης

νερού από το έδαφος, μειωμένες δαπάνες για θέρμανση προκύπτουν και από το γεγονός ότι η καλλιέργεια παύει να εξαρτάται από τη θερμοκρασία του εδάφους. Γενικά, η διατήρηση της θερμοκρασίας του εδάφους του θερμοκηπίου σε ικανοποιητικά επίπεδα το χειμώνα είναι δύσκολη και απαιτεί τη διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών στον εναέριο χώρο ή (εναλλακτικά) την εγκατάσταση επιδαπέδιου ή υπόγειου συστήματος θέρμανσης του εδάφους. Στην υδροπονία αντίθετα, οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα στον περιορισμένο όγκο των υποστρωμάτων ή των θρεπτικών διαλυμάτων, τα οποία μάλιστα είναι τοποθετημένα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, χωρίς να έρχονται σε επαφή με το χώμα. Κατά συνέπεια, η ανύψωση της θερμοκρασίας στο χώρο του ριζοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί γρηγορότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας και με χαμηλότερη δαπάνη για καύσιμα.

■ Έχει αποδειχθεί ότι η καλλιέργεια τόσο σε υποστρώματα όσο και σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα (π.χ. NFT) επιφέρει σημαντική πρωίμιση. Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλότερες θερμοκρασίες που διαμορφώνονται στο χώρο του ριζοστρώματος όταν τα φυτά καλλιεργούνται εκτός εδάφους.

■ Στις υδροπονικές καλλιέργειες η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και με μεγαλύτερη αξιοπιστία και επίσης μπορεί, να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει διαπραχθεί κάποιο λάθος. Στην υδροπονία όλα τα θρεπτικά στοιχεία παρέχονται σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις και αναλογίες μεταξύ τους, μέσω του θρεπτικού διαλύματος. Κατά συνέπεια, μία σειρά από μεταβλητές του εδάφους που επηρεάζουν την τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, όπως π.χ. η μηχανική του σύσταση, η δομή του, η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία, η ανταλλακτική του ικανότητα, κ.λ.π. αλλά και

άλλοι παράγοντες, όπως π.χ. αυτοί που επηρεάζουν την ταχύτητα ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας, δεν ασκούν πλέον καμία επίδραση στην καλλιέργεια, με τελικό αποτέλεσμα, η σχεδίαση ενός κατάλληλου σχήματος θρέψης των φυτών να καθίσταται πολύ πιο εύκολη.

■ Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση, κ.λ.π.) με αποτέλεσμα, αφενός μεν να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά και αφετέρου, να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης. Αυτή η τελευταία δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη όταν το θερμοκήπιο αξιοποιείται όλο το χρόνο με περισσότερες από μία καλλιέργειες ανά ημερολογιακό έτος (π.χ. διαδοχικές καλλιέργειες μαρουλιού, χρυσάνθεμων, κ.λ.π.).

■ Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά τη διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους, έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων. Σύμφωνα με τις μαρτυρίες αρκετών ερευνητών που έχουν ασχοληθεί με το θέμα αυτό, οι αποδόσεις των υδροπονικών καλλιεργειών είναι κατά μέσο όρο στο 15-20% υψηλότερες, συγκρινόμενες με καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα σε γόνιμα, καλής ποιότητας εδάφη. Όταν όμως το έδαφος του θερμοκηπίου παρουσιάζει προβλήματα, όπως εδαφογενείς ασθένειες, κόπωση λόγω μονοκαλλιέργειας, χαμηλή γονιμότητα, αλατότητα, κ.λ.π., τότε η αύξηση της παραγωγής που επιτυγχάνεται στην υδροπονία είναι υψηλότερη και όχι σπάνια μπορούν να ληφθούν διπλάσιες αποδόσεις.

■ Η αριστοποίηση της θρέψης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της μεταπήδησης στη υδροπονία αλλά και η αποφυγή μιας σειράς

προβλημάτων, τα οποία έχουν ήδη εκτεθεί πιο πάνω, έχει σαν συνέπεια τα παραγόμενα στις υδροπονικές καλλιέργειες καλλωπιστικά φυτά να είναι καλύτερης ποιότητας (μεγαλύτερο μέγεθος, καλύτερο χρώμα φυλλώματος, αύξηση του χρόνου διατήρησης των ανθέων, κ.λ.π.).

■ Τελευταίο στη σειρά αναφοράς αλλά όχι και σε σπουδαιότητα πλεονέκτημα της υδροπονίας, είναι η δυνατότητα αποτελεσματικότερης προστασίας του περιβάλλοντος όταν η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Χάρη τη δυνατότητα συνεχούς ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, όλα τα λιπάσματα που χορηγούνται στην καλλιέργεια αξιοποιούνται από τα φυτά με συνέπεια να μην διαφεύγουν κάποιες ποσότητες στο περιβάλλον και το επιβαρύνουν. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές, στις οποίες το πόσιμο νερό είναι επιφανειακό ή προέρχεται από μικρό βάθος, με συνέπεια να μολύνεται εξαιτίας της έκπλυσης ενός μέρους των λιπασμάτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις δημιουργείται σοβαρό πρόβλημα κυρίως με τα αζωτούχα λιπάσματα, τα οποία είτε είναι είτε μετατρέπονται στο έδαφος σε νιτρικά άλατα, με συνέπεια η περιεκτικότητα του πόσιμου νερού σε νιτρικά άλατα να αυξάνεται πάνω από τα ανώτερα επιτρεπτά όρια και να δημιουργούνται κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία. Στις περιπτώσεις αυτές, η καλλιέργεια των φυτών θερμοκηπίου σε κλειστά υδροπονικά συστήματα είναι η μόνη λύση η οποία μπορεί να παράσχει αποτελεσματική προστασία στο πόσιμο νερό, χωρίς να καθίσταται αναγκαία η εφαρμογή περιορισμών στην καλλιέργεια φυτών με υψηλές λιπαντικές απαιτήσεις, όπως είναι οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

1.1.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

■ Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης μιας υδροπονικής μονάδας είναι σημαντικό. Το κόστος αυτό συνίσταται κυρίως στη δαπάνη αγοράς των πάγιων εγκαταστάσεων παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος, καθώς και στα έξοδα προμήθειας του υποστρώματος καλλιέργειας (εφόσον χρησιμοποιείται υπόστρωμα). Το καθαρό κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση μιας υδροπονικής μονάδας είναι βέβαια χαμηλότερο από το άθροισμα των παραπάνω δαπανών, δεδομένου ότι παράλληλα εξοικονομούνται τα έξοδα προετοιμασίας, κατεργασίας και απολύμανσης του εδάφους. Επιπλέον, ένα σύστημα παρασκευής και διανομής θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητο και στις καλλιέργειες εδάφους για την εφαρμογή υδρολίπανσης.

■ Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού είναι πιο γρήγορη και συχνά πιο έντονη στις υδροπονικές καλλιέργειες. Στην προκειμένη περίπτωση, σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος η υδροπονία χαρακτηρίζεται από ταχύτερη αντίδραση σε ορισμένους καλλιεργητικούς χειρισμούς, ιδιότητα η οποία άλλοτε μεν αποτελεί πλεονέκτημα (όταν πρόκειται για επιθυμητούς χειρισμούς που αποσκοπούν σε συγκεκριμένο θετικό αποτέλεσμα), άλλοτε δε μειονέκτημα (όταν πρόκειται για λανθασμένους ή άστοχους χειρισμούς).

■ Η εφαρμογή της υδροπονίας σε μία θερμοκηπιακή μονάδα προϋποθέτει ότι ο επικεφαλής της επιχείρησης θα πρέπει να διαθέτει ένα ελάχιστο μορφωτικό επίπεδο. Η ισχύς αυτής της προϋπόθεσης είναι σχετική, δεδομένου ότι όταν υπάρχει η κατάλληλη τεχνική υποστήριξη από ειδικευμένο σύμβουλο-γεωπόνο, η εφαρμογή υδροπονίας είναι δυνατή ακόμη και από έναν επιμελή αγρότη με στοιχειώδες επίπεδο γραμματικών γνώσεων.

■ Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα υφίσταται κίνδυνος εύκολης εξάπλωσης μίας μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος εφόσον προσβληθεί ένα φυτό. Στην πράξη βέβαια ο κίνδυνος αυτός είναι σχετικά μικρός. Από την πρακτική εμπειρία όσο και από σχετικά πειράματα έχει αποδειχθεί ότι, ακόμη και αν μολυνθούν κάποια φυτά η υπόλοιπη καλλιέργεια συνήθως δεν μολύνεται εφόσον αυτά απομακρυνθούν αμέσως από την υδροπονική εγκατάσταση. Η ύπαρξη μικρής ποσότητας μολύσματος (σπόρια, κ.λ.π.) μέσα στο θρεπτικό διάλυμα δεν οδηγεί αυτόματα στην προσβολή των υπολοίπων φυτών εφόσον δεν συντρέχουν και ορισμένες άλλες προϋποθέσεις, όπως η ύπαρξη πληγών στις ρίζες, κ.λ.π. Άλλωστε η έγκαιρη εφαρμογή ενός ριζοποτίσματος αμέσως μόλις διαγνωσθεί έστω και σε ένα μόνο φυτό ασθένεια, συνήθως μειώνει ακόμη περισσότερο τις πιθανότητες μιας εκτεταμένης προσβολής λόγω μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος. Παρόλα αυτά, ο κίνδυνος γρήγορης εξάπλωσης τυχόν μολύνσεων δεν θα πρέπει να αγνοείται και γι' αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις που λειτουργεί κλειστό υδροπονικό σύστημα, το διάλυμα που συλλέγεται ως απορροή μετά από κάθε εφαρμογή άρδευσης, πριν ανακυκλωθεί, είναι σκόπιμο να απολυμαίνεται.

■ Ορισμένοι παραγωγοί παραπονούνται ότι στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση λιπασμάτων είναι αυξημένη σε σύγκριση με το έδαφος. Είναι γεγονός ότι στην υδροπονία, ο καλλιεργητής θα πρέπει να χορηγεί όλα τα θρεπτικά στοιχεία στα φυτά ενώ αντίθετα, στις καλλιέργειες εδάφους, ορισμένα θρεπτικά στοιχεία όπως, το ασβέστιο και τα περισσότερα ιχνοστοιχεία χορηγούνται σπάνια μέσω της λίπανσης, δεδομένου ότι περιέχονται σε επαρκείς ποσότητες στο χώμα. Οι ποσότητες των ιχνοστοιχείων που χορηγούνται στα φυτά στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι πολύ μικρές, ενώ χορήγηση

μαγνησίου συνηθίζεται και στις καλλιέργειες εδάφους, ιδιαίτερα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Επίσης οι χορηγούμενες στην υδροπονία ποσότητες αζώτου, φωσφόρου και καλίου σε γενικές γραμμές δεν ξεπερνούν τις αντίστοιχες ποσότητες που απαιτούνται σε μία καλλιέργεια εδάφους, δεδομένου ότι και στις δύο περιπτώσεις ισχύει η γενική αρχή ότι οι προστιθέμενες ποσότητες θα πρέπει να ισούνται με το ύψος της κατανάλωσης από τα φυτά, συν τις απώλειες μέσω έκπλυσης, ακινητοποίησης, κ.λ.π. Επομένως, στην πραγματικότητα, οι μόνες άξιες λόγου ποσότητες λιπασμάτων που είναι αναγκαίες ειδικά στις υδροπονικές καλλιέργειες, ενώ στο έδαφος εξοικονομούνται, είναι αυτές που αφορούν τα λιπάσματα ασβεστίου (κατά κανόνα υδατοδιαλυτό νιτρικό ασβέστιο). Όμως και οι ποσότητες λιπασμάτων ασβεστίου που απαιτούνται, συνήθως δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες γιατί, στις περισσότερες περιπτώσεις, το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων περιέχει ασβέστιο σε σημαντικές συγκεντρώσεις.

Στην πραγματικότητα, υπαρκτό πρόβλημα υπερβολικής κατανάλωσης λιπασμάτων υφίσταται μόνο σε ανοιχτά υδροπονικά συστήματα και μόνο όταν το χορηγούμενο νερό άρδευσης είναι αρκετά περισσότερο από τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας. Συνεπώς, το μειονέκτημα αυτό της υδροπονίας δεν είναι απόλυτο αλλά σχετικό και μπορεί να αντιμετωπισθεί ικανοποιητικά μέσω προσαρμογής του προγράμματος άρδευσης στις ανάγκες της καλλιέργειας.

1.1.3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ

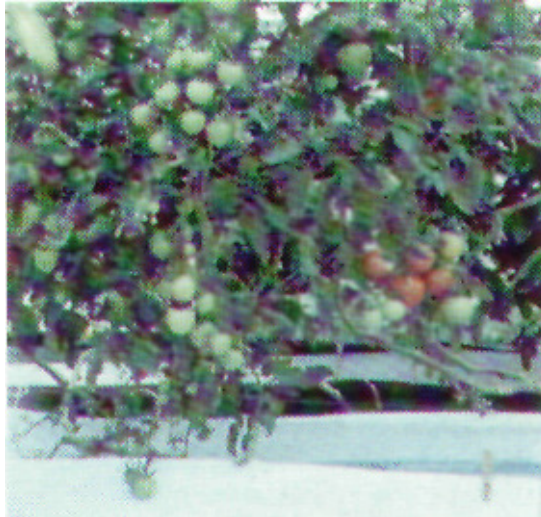
Η υδροπονική καλλιέργεια φυτών έχει γίνει σήμερα δημοφιλής σε πάρα πολλές περιοχές του κόσμου. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Ολλανδία, περίπου 6.000 στρέμματα κατά την περίοδο 1981-1982, έφθασαν πάνω από 70.000 στρέμματα κατά το 1991-1992. Κατ'εκτίμηση του ISOSC, η καλλιεργούμενη έκταση στις άλλες χώρες σήμερα είναι:

Ολλανδία	70.000 στρέμματα	
Μ.Βρετανία	8.000	>>
Ιταλία	5.000	>>
Βέλγιο	5.000	>>
Δανία	5.000	>>
Ιαπωνία	90.000	>>
Αυστραλία	4.000	>>
Καναδάς	3.000	>>
Ισραήλ	3.500	>>

Η καλλιεργούμενη έκταση στην Ελλάδα είναι περίπου 350 στρ. και γίνεται με τη μέθοδο πετροβάμβακα, μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος και σάκων περλίτη.

Η συνολική έκταση σε όλο τον κόσμο εκτιμάται σε κάπως μικρότερη από 200.000 στρέμματα. Τα κυριότερα εμπορικά συστήματα καλλιέργειας είναι: καλλιέργεια σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (Rockwool Culture), καλλιέργεια σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος (NFT) και καλλιέργεια σε σάκους τύρφης. Άλλα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε σημαντικό βαθμό, είναι η καλλιέργεια σε άμμο (κυρίως σε τοπική άμμο, π.χ. στο Ισραήλ), καλλιέργεια σε υπόστρωμα από πριονίδι (π.χ. στον Καναδά), καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη, οριζόντιους ή κάθετους (κυρίως στην Αγγλία, Ιταλία και Ελλάδα).

Περιπτώσιακά χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο και η καλλιέργεια σε χαλίκι μικρής διαμέτρου (φυσικό ή τεχνητό).



Εικ.6 Καλλιέργεια τομάτας σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT)

Κεφαλαίο 2^ο

2.1	Η ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	29
2.1.1	ΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΤΟ	29
2.1.2	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΤΟ	30
2.2	Η ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΦΥΤΟ	30
2.2.1	ΑΖΩΤΟ	31
2.2.2	ΘΕΙΟ	32
2.2.3	ΦΩΣΦΟΡΟΣ	33
2.2.4	ΜΑΓΝΗΣΙΟ	34
2.2.5	ΑΣΒΕΣΤΙΟ	35
2.2.6	ΚΑΛΙΟ	36
2.3	Η ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΦΥΤΟ	38
2.3.1	ΣΙΔΗΡΟΣ	38
2.3.2	ΜΑΓΓΑΝΙΟ	38
2.3.3	ΧΑΛΚΟΣ	39
2.3.4	ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ	39
2.3.5	ΜΟΛΥΒΔΑΙΝΙΟ	40
2.3.6	ΒΟΡΙΟ	41

2.1. Η ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

2.1.1 Τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και η απορρόφηση τους από το φυτό

Αναγκαία στοιχεία για τη θρέψη των φυτών.

Κριτήρια για την αναγκαιότητα ενός ανόργανου στοιχείου στην ανάπτυξη φυτών είναι:

- Το φυτό δεν μπορεί να συμπληρώσει το βιολογικό του κύκλο με την έλλειψη του στοιχείου.
- Η επίδραση του στοιχείου δεν μπορεί να υποκατασταθεί από κάποιο άλλο στοιχείο.
- Το στοιχείο πρέπει να σχετίζεται άμεσα με το μεταβολισμό του φυτού, π.χ. αποτελεί δομικό στοιχείο ενός ενζύμου ή απαιτείται η παρουσία του για μια ενζυματική αντίδραση (Arnon and Atout, 1939).

Απαραίτητα σήμερα θεωρούνται τα στοιχεία (N, P, O, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, Bo, Mo, Co). Όσο οι αναλυτικές μέθοδοι γίνονται ακριβέστερες και παράγονται καθαρότερες χημικές ουσίες, πιθανόν να αυξάνεται και ο κατάλογος, όπως π.χ. τελευταία βρέθηκε ότι για ορισμένα φυτά απαραίτητα είναι και το νάτριο, το πυρίτιο και πιθανόν το χλώριο. Τα απαραίτητα στοιχεία τα διακρίνουμε σε ιχνοστοιχεία και σε μακροστοιχεία. Τα περισσότερα ιχνοστοιχεία δρουν ως συστατικά του μορίου των ενζύμων και χρειάζονται επομένως σε πολύ μικρές ποσότητες. Αντίθετα, τα μακροστοιχεία αποτελούν συστατικά οργανικών ενώσεων, όπως πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα κλπ., ή δρουν ρυθμίζοντας τα οσμωτικά φαινόμενα. Η διαφορά στη λειτουργικότητα δημιουργεί και την ανάγκη για μεγαλύτερη συγκέντρωση στο φυτό. Οποσδήποτε η συγκέντρωση που είναι αναγκαία για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών,

διαφέρει ανάλογα με το είδος του φυτού και τη συγκέντρωση των άλλων στοιχείων.

2.1.2 Μηχανισμοί απορρόφησης των ιόντων από το φυτό

Υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της συγκέντρωσης ιόντων στο εδαφικό διάλυμα και των ιόντων που απαιτεί το φυτό. Ο μηχανισμός απορρόφησης επομένως θα πρέπει να είναι επιλεκτικός. Η επιλεκτικότητα αυτή φαίνεται πολύ καλά στα άλγη, όπου το εξωτερικό διάλυμα από αυτό εντός του χυμοτοπίου του κυττάρου ξεχωρίζουν μόνο από δυο μεμβράνες, την κυτταρική μεμβράνη και τον τονοπλάστη. Επίσης στα θαλάσσια φυτά, το κάλιο μέσα στα κύτταρα είναι υψηλότερης συγκέντρωσης, ενώ το νάτριο χαμηλότερης απ' ότι στο θαλάσσιο διάλυμα. Γενικά, η απορρόφηση ιόντων χαρακτηρίζεται από τα εξής:

1. Επιλεκτικότητα. Μερικά ιόντα προτιμούνται και απορροφώνται, ενώ άλλα όχι.
2. Συσσώρευση. Η συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων στα κύτταρα μπορεί να είναι υψηλότερη από αυτήν του εξωτερικού διαλύματος.
3. Κληρονομικότητα. Υπάρχουν συγκεκριμένες διαφορές μεταξύ των διαφόρων ειδών φυτών στην απορρόφηση ιόντων.

2.2 Η ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΦΥΤΟ

Οι κυριότερες λειτουργίες των αμετάλλων αζώτου, θείου και φωσφόρου είναι ότι χρησιμοποιούνται ως συστατικά των πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων.

Το μαγνήσιο και τα ιχνοστοιχεία ως συστατικά διαφόρων οργανικών ενώσεων, κυρίως των μορίων των ενζύμων όπου τα στοιχεία αυτά

σχετίζονται είτε άμεσα ή έμμεσα με την καταλυτική λειτουργία του ενζύμου.

Το κάλιο και πιθανόν το αμέταλλο-χλώριο, είναι τα μόνα ανόργανα στοιχεία που δεν αποτελούν συστατικά των οργανικών ενώσεων. Η κύρια λειτουργία τους είναι:

- ⊕ η ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης,
- ⊕ η διατήρηση του ηλεκτροχημικού ισοζυγίου στα κύτταρα και τα όργανα τους και
- ⊕ η ρύθμιση της ενζυματικής δραστηριότητας

Φυσικά τα ιχνοστοιχεία λόγω της πολύ μικρής τους συγκέντρωσης δεν θα μπορούσαν να παίζουν ένα άμεσο ρόλο ούτε στη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης ούτε στη διατήρηση του ηλεκτροχημικού ισοζυγίου.

2.2.1 Άζωτο

Οι μεγαλύτερες πηγές ανόργανου αζώτου για τα φυτά είναι τα νιτρικά και αμμωνιακά ιόντα, που απορροφώνται από τη ρίζα.

Η αμμωνία είναι τοξική και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις μέσα στο κύτταρο, γι' αυτό σχηματίζονται αμινοξέα και αμίδια, ώστε να μην υπάρξει τοξικότητα. Συνήθως σχηματίζεται πρώτα το γλουταμινικό οξύ και από αυτό τα άλλα.

Τα ανώτερα φυτά δεν έχουν την ικανότητα να επανοξειδώνουν άζωτο που έχει χρησιμοποιηθεί και δημιουργήσει οργανικές ενώσεις, ώστε να μπορούν να το ξαναχρησιμοποιήσουν σε καταστάσεις πενίας. Γι' αυτό οι μικρού μοριακού βάρους ενώσεις με άζωτο, που χρησιμεύουν ως ενδιάμεσο για παραγωγή άλλων ενώσεων, είναι πολύ χρήσιμες για εξουδετέρωση αμμωνίας και μείωση των νιτρικών και αποθήκευσή τους στο φυτό για περαιτέρω χρήση.

Σε ένα καλά αναπτυσσόμενο φυτό το άζωτο αποτελεί 2-5% της ξηράς του ουσίας.

Σε περιορισμό του αζώτου κάτω του άριστου επιπέδου τότε:

- η αύξηση επιβραδύνεται,
- το άζωτο μετακινείται στα ώριμα φύλλα και ξαναμετακινείται στις περιοχές ανάπτυξης.

Τυπικό σύμπτωμα έλλειψης αζώτου είναι και η επιτάχυνση της γήρανσης των παλαιών φύλλων.

Η έλλειψη αζώτου επιδρά στη μείωση της παραγωγής πρωτεϊνών και επομένως και χλωροπλαστών, γι' αυτό με την έλλειψη εμφανίζεται ένα γενικό κιτρίνισμα των φύλλων.

- Η συγκέντρωση αζώτου στο διάλυμα πάνω από το άριστο επίπεδο επιβραδύνει τη γήρανση,
- επιταχύνει την αύξηση,
- προκαλεί επιμήκυνση του βλαστού,
- επιδρά αρνητικά στην επιμήκυνση της ρίζας,
- το πλάτος των φύλλων αυξάνει, αλλά το πάχος τους μειώνεται.

Κατά την αποθήκευση ή την επεξεργασία των τροφίμων μετά τη συλλογή, συχνά σχηματίζονται νιτρώδη από τα νιτρικά που με την εισαγωγή τους στον ανθρώπινο οργανισμό με την τροφή, έχουν πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

2.2.2 Θείο

Το θείο αποτελεί συστατικό των αμινοξέων κυστεΐνη και μεθειονίνη και επομένως των πρωτεϊνών συνενζύμων και άλλων συστατικών του φυτού.

Τα ανώτερα φυτά έχουν τη δυνατότητα να δεσμεύουν και να χρησιμοποιούν το SO₂ που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Η κύρια όμως πηγή θείου είναι το έδαφος, απ' όπου αποσπάται με τις ρίζες. Η κυστεΐνη

είναι το πρώτο σταθερό προϊόν αναγωγής του θείου, από αυτό γίνονται τα άλλα. Αντίθετα όμως από τα νιτρικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς αναγωγή σε ουσιώδεις οργανικές κατασκευές, όπως σουλφολιπίδια, σε μεμβράνες ή πολυσακχαρίτες. Αντίθετα επίσης από το άζωτο, το θείο μπορεί να επανοξειδωθεί κάτι που γίνεται με την αποδόμηση των πρωτεϊνών στα γηρασμένα φύλλα. Σε αυτή την αντίδραση το θείο της κυστεΐνης που έχει αναχθεί, μετατρέπεται σε θειικό.

Σε τροφοπενία θείου μειώνεται η παραγωγή πρωτεϊνών και επειδή στα φύλλα αυτές κατά το πλείστον βρίσκονται στους χλωροπλάστες, γι' αυτό μειώνεται η χλωροφύλλη και τα φυτά φαίνονται χλωρωτικά. Αντίθετα με το άζωτο, η χλώρωση είναι ομοιόμορφη μεταξύ νέων και παλαιών φύλλων.

Η απαιτούμενη ποσότητα θείου για άριστη ανάπτυξη μεταξύ ποικίλει 0,2 - 0,5% του ξηρού βάρους του φυτού.

2.2.3 Φώσφορος

Αντίθετα από το άζωτο, το οξείδιο του φωσφόρου δεν ανάγεται στο φυτό, αλλά παραμένει στην πιο οξειδωμένη μορφή του.

Ο φωσφόρος απορροφάται σε φυσιολογικά PH υπό μορφή $H_2PO_4^-$ και είτε: α) παραμένει ως ανόργανος φωσφόρος, ή β) στερεοποιείται μέσω μιας υδροξυλικής ρίζας (C-O-P) ως απλός φωσφορικός εστέρας (π.χ. sugar phosphate), ή γ) συνδέεται με άλλον ένα φωσφόρο, με τον υψηλής ενέργειας πυροφωσφορικό δεσμό.

85-95% του ανόργανου φωσφόρου αποθηκεύεται στο χυμοτόπιο.

Η απαιτούμενη ποσότητα φωσφόρου για άριστη ανάπτυξη κυμαίνεται από 0,3 - 0.5% ξηρού βάρους κατά τη βλαστική ανάπτυξη.

Η έλλειψη φωσφόρου έχει αποτέλεσμα:

- ✘ Επιβράδυνση στην ανάπτυξη

✘ Βιολετί χρωματισμό λόγω της επιτάχυνσης σχηματισμού ανθοκυανών

✘ Μερικά φυτά αποκτούν ένα σκουρότερο πράσινο χρώμα απ' ότι το κανονικό, διότι η μείωση στις διαστάσεις των οργάνων είναι μεγαλύτερη απ' ότι στη δημιουργία χλωροπλαστών. Η απόδοση όμως ανά μονάδα χλωροφύλλης είναι μικρότερη.

✘ Παρουσιάζεται μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα της ρίζας.

✘ Επειδή ο φώσφορος επιδρά στην ισορροπία του φυτοχρώματος, η έλλειψη φωσφόρου σχετίζεται με τον μειωμένο αριθμό των ανθέων στην ταξιανθία και την επιβράδυνση της διαφοροποίησης των οφθαλμών.

2.2.4 Μαγνήσιο

Το Μαγνήσιο είναι ένα μικρό, ισχυρά ηλεκτροθετικό δισθενές κατιόν. Ο ρυθμός απορρόφησης του μπορεί να περιορισθεί πολύ από άλλα κατιόντα, όπως τα K^+ , NH^+ , Ca^{++} , Mn^{++} , καθώς και H^+ (που παρατηρείται σε πολύ χαμηλό PH).

Η έλλειψη μαγνησίου στο φυτό που οφείλεται σε ανταγωνιστικά κατιόντα είναι αρκετά σύνηθες φαινόμενο, αν και η μείωση μαγνησίου στα φύλλα είναι συνήθως αποτέλεσμα υπερβολικής λίπανσης με K^+ , δεν σημαίνει κατ' ανάγκη μείωση (μπορεί ακόμα και να αυξηθεί) μαγνησίου στους καρπούς ή τους κονδύλους.

Η σημαντικότερη λειτουργία του μαγνησίου είναι ο ρόλος του ως κεντρικό άτομο του μορίου της χλωροφύλλης. Παρόλα αυτά σε ένα φυτό με άριστο εφοδιασμό σε μαγνήσιο 10-20% του συνολικού μαγνησίου στα φύλλα βρίσκεται στους χλωροπλάστες και λιγότερο από το μισό από αυτό είναι συνδεδεμένο με τη χλωροφύλλη.

Το μαγνήσιο είναι επίσης αναγκαίο για εξουδετέρωση των οργανικών οξέων, των φωσφορολυομάδων των φωσφορολιπιδίων και ιδιαίτερα των νουκλεϊκών οξέων.

Κατά μέσον όρο οι απαιτήσεις σε μαγνήσιο για μια άριστη ανάπτυξη του φυτού είναι 0.5% του ξηρού βάρους των βλαστικών μερών. Στην έλλειψη μαγνησίου το πιο φανερό σύμπτωμα είναι η χλώρωση των πλήρως ανεπτυγμένων φύλλων.

Στην έλλειψη μαγνησίου:

- Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης αλλά και αναπνοής είναι μικρότερος από τα κανονικά φυτά,
- Παρουσιάζεται συσσώρευση αμύλου στα φύλλα, λόγω μείωσης της μεταφοράς που οφείλεται σε πρόβλημα ενέργειας,
- Η μείωση του ρυθμού αύξησης της ρίζας είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του βλαστού.

Στις εντατικές καλλιέργειες είναι απαραίτητη η λίπανση με μαγνήσιο.

2.2.5 Ασβέστιο

Το ασβέστιο είναι ένα σχετικά μεγάλο δισθενές κατιόν. Το ασβέστιο συνδέεται με μορφή που μπορεί να ανταλλάσσεται εύκολα στα κυτταρικά τοιχώματα και την εξωτερική πλευρά των κυτταρικών μεμβρανών.

Το ασβέστιο είναι μη τοξικό στοιχείο ακόμα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις και είναι πολύ αποτελεσματικό στην αποτοξικοποίηση υψηλών συγκεντρώσεων άλλων ανόργανων στοιχείων στα φυτά.

Με έλλειψη ασβεστίου παρουσιάζονται διαρροές του μικρού μοριακού βάρους διαλυτών από τα κύτταρα. Σε ισχυρότερη έλλειψη καταστρέφεται η ακεραιότητα της κατασκευής των μεμβρανών. Επίσης αυξάνεται ο ρυθμός αναπνοής, με την έλλειψη ασβεστίου λόγω διαρροής στοιχείων από το χυμοτόπιο στο πρωτόπλασμα που επιταχύνουν την αναπνοή.

Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο των διαφόρων φυτών ποικίλει από 0,1 - 5,0% ξηράς ουσίας, εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης, το είδος και το όργανο. Το απαιτούμενο ασβέστιο για άριστη ανάπτυξη είναι πολύ λιγότερο στα μονοκοτυλήδονα απ' ό,τι στα δικοτυλήδονα (π.χ. 2,5 για το ρύζι, 100 για την τομάτα). Η άριστη συγκέντρωση ασβεστίου εξαρτάται και από την παρουσία άλλων στοιχείων που ανταγωνίζονται τις θέσεις του στις μεμβράνες. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις των άλλων στοιχείων απαιτείται και υψηλότερη συγκέντρωση ασβεστίου. Αύξηση στη συγκέντρωση ασβεστίου στο εξωτερικό διάλυμα έχει αποτέλεσμα αύξηση και στη συγκέντρωση ασβεστίου στα φύλλα, όχι όμως και στα μικρής διαπνοής όργανα όπως καρποί ή κόνδυλοι. Τα όργανα αυτά απαιτούν ασβέστιο για την αύξηση των κυττάρων και υψηλή περατότητα των μεμβρανών τους, γι' αυτό συχνά παρουσιάζονται συμπτώματα έλλειψης (ιδιαίτερα σε περιβάλλον με υψηλή σχετική υγρασία). Η χαμηλή δε συγκέντρωση ασβεστίου επιδρά σημαντικά στη γρήγορη γήρανση και τη μείωση της διατήρησής τους μετά τη συλλογή.

2.2.6 Κάλιο

Το Κάλιο είναι μονοσθενές κατιόν. Σε αντίθεση με το μαγνήσιο και το ασβέστιο που έχουν σημαντικές λειτουργίες στη δομή, το κάλιο δρα κυρίως ως φορέας φορτίων μεγάλης κινητικότητας και σχηματίζει μόνο ασθενή σύνθετα, στα οποία είναι εύκολα ανταλλάσσιμο.

Η υψηλή συγκέντρωση του καλίου στο πρωτόπλασμα και στους χλωροπλάστες απαιτείται για την εξουδετέρωση των διαλυτών (ανιόντα οργανικών οξέων και ανόργανα ανιόντα), των αδιάλυτων ανιόντων μακρομορίων και για να σταθεροποιεί το PH μεταξύ 7 και 8 σε αυτά τα τμήματα, που είναι το άριστο για τις περισσότερες ενζυματικές αντιδράσεις (π. χ. μείωση του PH από 7,7 στο 6,5 σχεδόν σταματά την αναγωγική δραστηριότητα στα Νιτρικά).

Ενώ στο κυττόπλασμα και τους χλωροπλάστες συμμετέχει πολύ στην οσμωτική πίεση, σαν μονοσθενές κατιόν δεν ανταγωνίζεται τις θέσεις που απαιτούν δισθενή κατιόντα (π.χ. Mg^{++}).

Με την έλλειψη καλίου συμβαίνει συσσώρευση υδατανθράκων, μείωση του αμύλου και συσσώρευση των διαλυτών συνθέσεων του αζώτου (αμινοξέα, αμίνες, νιτρικά), διότι τα ρυθμιστικά ένζυμα εξαρτώνται πολύ από το κάλιο π.χ. το ένζυμο που καταλύει τη μεταφορά γλυκόζης στα όρια του αμύλου. Σε υπερβολική συγκέντρωση καλίου μπορεί επίσης να μειωθεί η περιεκτικότητα σε άμυλο (π.χ. πατάτα).

Το κάλιο είναι απαραίτητο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών σχεδόν σε όλα τα στάδια.

Με την έλλειψη καλίου αυξάνει η αναπνοή, ενώ μειώνεται ο ρυθμός φωτοσύνθεσης και φωτοαναπνοής.

Το απαιτούμενο κάλιο για άριστη ανάπτυξη είναι 2-5% της ξηράς ουσίας των βλαστικών μερών, χυμωδών καρπών και κονδύλων. Στην έλλειψη καλίου η ανάπτυξη επιβραδύνεται και μετακινείται κάλιο από τα ώριμα φύλλα και βλαστούς, σε έντονη έλλειψη τα όργανα αυτά γίνονται χλωρωτικά και ξηραίνονται. Σε έλλειψη καλίου υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία στον παγετό λόγω μικρότερης ποσότητας νερού στο φυτό.

Σε υπερβολική ποσότητα καλίου πιθανόν να παρουσιαστούν ανταγωνιστικά φαινόμενα με το μαγνήσιο και το ασβέστιο .

2.3 Η ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΦΥΤΟ

2.3.1 Σίδηρος

Στα υποστρώματα, με παρουσία του ατμοσφαιρικού αέρα και με ΡΗ φυσιολογικού εύρους, οι συγκεντρώσεις των ιόντων τρισθενούς και δισθενούς σιδήρου (Fe^{+++} και Fe^{++}) είναι πολύ μικρές (10-20 Μ ή μικρότερες).

Ο ρυθμός απορρόφησης σιδήρου είναι υψηλότερος στο ακραίο απ' ό,τι στο βασικό τμήμα της ρίζας, ιδιαίτερα όταν ο σίδηρος βρίσκεται σε έλλειψη.

Η υψηλή συγγένεια του σιδήρου με τα οργανικά οξέα και ανόργανα φωσφορικά, καθιστούν απίθανο τα τρισθενή ή δισθενή ιόνια του σιδήρου να μην έχουν καμιά σπουδαιότητα στη μεταφορά του σιδήρου μέσα στο φυτό, για κοντινές ή μακρινές αποστάσεις, ή ότι τα ιόντα αυτά σχετίζονται με αντιδράσεις μέσα στα κύτταρα.

Το οριακό επίπεδο έλλειψης του σιδήρου από τα φύλλα είναι μεταξύ 50-150 χιλιοστογραμμαρίων ανά κιλό ξηρού βάρους.

Είναι πολύ συνήθης η έλλειψη σε ασβεστούχα εδάφη. Σύμπτωμα σύνηθες είναι η χλώρωση του φύλλου εκτός των νεύρων. Σε έντονη έλλειψη τα νεαρά φύλλα είναι χλωρωτικά και κατόπιν ξηραίνονται.

2.3.2 Μαγγάνιο

Το μαγγάνιο απορροφάται κυρίως ως δισθενές ιόν (Mn^{++}) και μετακινείται κυρίως ως ελεύθερο δισθενές κατιόν στα ξυλώδη αγγεία (από τη ρίζα στον βλαστό). Από τα κυκλοφορούντα ιχνοστοιχεία (Mn, Fe, Cu, Zn, Mo), το μαγγάνιο σχηματίζει τους ασθενέστερους δεσμούς.

Το οριακό επίπεδο έλλειψης κυμαίνεται μεταξύ 10-20 χιλιοστών του γραμμαρίου ανά γραμμάριο ξηρού βάρους στα ώριμα φύλλα. Στα

δικοτυλήδωνα η χλώρωση των νεαρότερων φύλλων στο κέντρο είναι το πιο ορατό σύμπτωμα. Εμφανίζεται μετά από πολλές βροχές γιατί εκπλύνεται από το έδαφος ή σε εδάφη με υψηλό ΡΗ.

2.3.3 Χαλκός

Το δισθενές ιόν του χαλκού (Cu^{++}) συνδέεται ισχυρά, στο έδαφος, με τα χουμικά και φουλβικά οξέα, σχηματίζοντας σύμπλοκα χαλκού-οργανικής ύλης. Στο εδαφικό διάλυμα μέχρι 98% του χαλκού είναι σύμπλοκα μικρού μοριακού βάρους οργανικές συνθέσεις. Στα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονικών καλλιεργειών προστίθεται συνήθως ως θειικός χαλκός. Οι περισσότερες λειτουργίες του χαλκού ως ανόργανο θρεπτικό στοιχείο των φυτών βασίζονται στη συμμετοχή του ενζυματικά συνδεδεμένου χαλκού στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.

Στο σύστημα οξειδοαναγωγής των τελικών οξειδώσεων, τα ένζυμα του χαλκού αντιδρούν κατευθείαν με το μοριακό οξυγόνο. Ως εκ τούτου οι τελικές οξειδώσεις στα ζώντα κύτταρα καταλύονται από τον χαλκό και όχι από τον σίδηρο.

Το όριο έλλειψης είναι για τα βλαστικά μέρη 3-5 μικρογραμμάρια ανά γραμμάριο ξηρού βάρους. Τα συμπτώματα είναι μείωση μεσογονατίων, κακοσχηματισμός νεαρών φύλλων, νέκρωση του επάκριου μεριστώματος και ξάσπρισμα των νεαρών φύλλων.

2.3.4 Ψευδάργυρος

Ο ψευδάργυρος απορροφάται κατά προτίμηση ως δισθενές κατιόν (Zn^{++}). Σε υψηλότερα pH απορροφάται ως μονοσθενές κατιόν (ZnOH^+). Υψηλές συγκεντρώσεις άλλων δισθενών κατιόντων, όπως Ca^{++} , περιορίζουν κάπως την απορρόφηση του ψευδαργύρου.

Η απορρόφηση του ψευδαργύρου και η μετακίνηση του στους βλαστούς περιορίζεται πολύ από υψηλές συγκεντρώσεις HCO_3 .

Στα φυτά ο ψευδάργυρος δεν οξειδώνεται ή ανάγεται. Η λειτουργία του ως ανόργανου θρεπτικού στοιχείου βασίζεται κυρίως στις ιδιότητές του ως δισθενούς κατιόντος με μια ισχυρή τάση να σχηματίζει τετράεδρες συνθέσεις.

Ο ψευδάργυρος δρα ως μεταλλικό πρόσθετο των ενζύμων, ως λειτουργικός, δομικός και ρυθμιστικός παράγοντας ενός μεγάλου αριθμού ενζύμων.

Σε έλλειψη ψευδάργυρου επομένως οι αλλαγές στον μεταβολισμό είναι πολυσύνθετες. Συμπτώματα είναι: σμίκρυνση μεσογονάτιων διαστημάτων, μεγάλη μείωση μεγέθους φύλλου, συχνά συνδυάζονται με χλώρωση, συχνά συγχέεται στα δικοτυλήδονα με ιώσεις. Όριο έλλειψης είναι από 15-20 mg Zn ανά κιλό ξηράς ουσίας φύλλων.

2.3.5 Μολυβδαίνιο

Αν και το μολυβδαίνιο είναι μέταλλο, στα διαλύματα βρίσκεται κυρίως ως MoO_4^- στην πιο οξειδωμένη του μορφή (Mo VI). Οι ιδιότητες του σχετίζονται με αυτές των μη μετάλλων και άλλων δισθενών ανόργανων ανιόντων.

Ο ρυθμός απορρόφησης από τη ρίζα είναι πολύ συνδεδεμένος με τη μεταβολική δραστηριότητα.

Η μορφή που μετακινείται το μολυβδαίνιο δεν είναι πλήρως γνωστή, αλλά φαίνεται από τις χημικές του ιδιότητες ότι πιο πιθανά μετακινείται σαν MoO_4^- παρά σε συνδεδεμένη μορφή.

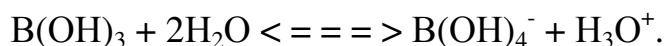
Οι απαιτήσεις του φυτού σε μολυβδαίνιο είναι οι μικρότερες από όλα τα άλλα στοιχεία.

Η λειτουργία του μολυβδαίνιου ως ανόργανου θρεπτικού στοιχείου σχετίζεται με τις αλλαγές σθένους. Αυτό λειτουργεί ως μεταλλικό πρόσθετο των ενζύμων.

Το οριακό επίπεδο έλλειψης μολυβδαινίου κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1,0 μικρογραμμάρια ανά γραμμάριο ξηρού βάρους φύλλων. Συνηθέστερο σύμπτωμα είναι το ακανόνιστο της περιφέρειας του φύλλου, που οφείλεται σε μη ανάπτυξη ιστών. Έλλειψη εμφανίζεται συνήθως σε όξινα εδάφη.

2.3.6 Βόριο

Σε διαλύματα το βόριο συναντάται κυρίως ως βορικό οξύ H_3BO_3 ή $B(OH)_3$. Είναι ένα πολύ ασθενές οξύ, που περισσότερο παίρνει OH^- παρά δίνει H^+ .



Σε pH μικρότερα από 8 συναντάται κυρίως στη μη δισταμένη μορφή του βορικού οξέως.

Αυτή η μορφή επίσης προτιμάται και κατά την απορρόφηση από τη ρίζα. Η ρύθμιση της απορρόφησης και μεταφοράς του βορίου στο φυτό είναι αρκετά περιορισμένη σε σύγκριση με τα άλλα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Η μεταφορά του εντοπίζεται στους ξυλώδεις σωλήνες και γίνεται με τη μεταφορά της μάζας του νερού.

Η έλλειψη βορίου είναι συχνό φαινόμενο και κυρίως μετά από υψηλές βροχοπτώσεις. Η διαθεσιμότητα του μειώνεται με την αύξηση του pH, ιδιαίτερα στα ασβεστούχα εδάφη. Ανταγωνισμός μεταξύ άλλων ιόντων δεν φαίνεται να είναι μεγάλης σημασίας.

Συμπτώματα έλλειψης είναι εμφανή στους ακραίους οφθαλμούς και στα νεαρότερα φύλλα που αποχρωματίζονται και τελικά ξηραίνονται. Επίσης μπορεί να εμφανισθεί χλώρωση μεταξύ των νεύρων, κακόσχημα φύλλα και πτώση οφθαλμών, ανθέων και καρπών. Στα φυλλώδη λαχανικά μπορεί επίσης να εμφανισθούν υδατώδεις και νεκρωτικές κηλίδες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1	ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	43
3.2	ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΕΥΟΥΝ ΩΣ ΣΤΕΡΕΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	46
3.3	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	47
3.4	ΑΝΟΙΧΤΑ—ΚΛΕΙΣΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	51
3.5	ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΥΡΕΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	54
3.5.1	N.F.T. (NUTRIENT FILM TECHNIQUE)	54
3.5.2	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΑΜΜΟ	57
3.5.3	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΧΑΛΙΚΙ	59
3.5.4	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΕΛΑΦΡΟΠΕΤΡΑ	59
3.5.5	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΤΥΡΦΗ	63
3.5.6	ΑΕΡΟΠΟΝΙΑ	65
3.5.7	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑ Ή ROCKWOOL CULTURE	67
3.5.8	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΕΡΛΙΤΗ	73
3.5.9	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΒΕΡΜΙΚΟΥΛΙΤΗ	75

3.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Στις υδροπονικές καλλιέργειες, το υπόστρωμα αποτελεί ένα υποκατάστατο του εδάφους και επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να επιτελεί όλες τις λειτουργίες που γίνονται από το χώμα και μάλιστα με καλύτερο τρόπο. Μόνο όταν εκπληρώνεται αυτή η προϋπόθεση είναι οικονομικά σκόπιμη η χρήση υποστρώματος αντί της καλλιέργειας στο έδαφος.

Η χρησιμότητα του εδάφους για τα φυτά συνίσταται στην εξασφάλιση της ανόργανης θρέψης τους και στην παροχή μηχανικής στήριξης σε αυτά. Πρόβλημα στήριξης των φυτών όμως, δεν υφίσταται στις υδροπονικές καλλιέργειες στις οποίες γίνεται χρήση υποστρώματος, εφόσον αυτές λαμβάνουν χώρα στο θερμοκήπιο. Τα φυτά που αναπτύσσονται αρκετά σε ύψος (χρυσάνθεμο, γαρύφαλλο, τριαντάφυλλο, κ.λ.π.) προσδένονται και υποστυλώνονται, με συνέπεια να μην έχουν ανάγκη την στήριξη που τους παρέχει το έδαφος, ενώ τα χαμηλής ανάπτυξης (π.χ. ζέρμπερα) στηρίζονται ικανοποιητικά από το υπόστρωμα. Επομένως, η βασική λειτουργία την οποία καλούνται να επιτελέσουν επιτυχώς τα υποστρώματα είναι η εξασφάλιση καλής και ισορροπημένης θρέψης στα φυτά.

Ο προφανέστερος τρόπος εξασφάλισης καλής και ισορροπημένης θρέψης στα φυτά στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι η χρησιμοποίηση υποστρωμάτων που συμπεριφέρονται όπως ένα πολύ καλό και γόνιμο έδαφος. Σύμφωνα με αυτή τη προσέγγιση του προβλήματος, τα χρησιμοποιούμενα υποστρώματα θα πρέπει να έχουν πολύ καλή και ομοιόμορφη δομή, υφή και σύσταση και να διαθέτουν υψηλό επίπεδο ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων. Θα πρέπει δηλαδή να μπορούν να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ιόντων όταν αυτά υπάρχουν σε περίσσεια στο εδαφικό διάλυμα και αντίστοιχα, να μπορούν άμεσα να απελευθερώσουν αξιόλογες ποσότητες από αυτά όταν στον χώρο του

ριζοστρώματος δημιουργούνται συνθήκες ανεπάρκειας. Τα υποστρώματα αυτά συνήθως περιέχουν οργανική ουσία είτε σε μορφή τύρφης, είτε σε κάποια άλλη μορφή και μπορούν να χαρακτηρισθούν ως **χημικώς ενεργά υποστρώματα**. Στην πραγματικότητα τα υποστρώματα αυτά υπερτερούν μόνο χάρις στην ομοιομορφία τους και στην επιλογή των πλέον κατάλληλων υλικών για την παρασκευή τους σε σύγκριση με τα περισσότερα φυσικά εδάφη. Παράλληλα όμως μειονεκτούν σε σύγκριση με το χώμα λόγω του πολύ μικρότερου όγκου υποστρώματος ανά φυτό. Από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, γίνεται προφανές ότι η καλλιέργεια φυτών σε χημικώς ενεργά υποστρώματα κατά βάση προσομοιάζει πολύ με τις κοινές καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος με συνέπεια οι δυνατότητες αριστοποίησης της θρέψης να είναι περιορισμένες αφού όπως και στο έδαφος η θρέψη δεν είναι πλήρως ελεγχόμενη.

Όπως είναι γνωστό, ο ρόλος του εδάφους στην θρέψη των φυτών είναι πολύπλευρος και συνίσταται τόσο στην παροχή θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα και μέσω αυτού στα φυτά όσο και στη ρύθμιση της διαθεσιμότητας των υπάρχοντων θρεπτικών στοιχείων. Η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους οφείλεται κυρίως στην ανταλλακτική του ικανότητα η οποία του επιτρέπει να εναποθηκεύει ένα μέρος των θρεπτικών στοιχείων όταν αυτά βρίσκονται σε αφθονία και να τα απελευθερώνει ξανά όταν οι συγκεντρώσεις τους στο εδαφικό διάλυμα μειώνονται λόγω απορρόφησης από τα φυτά ή έκπλυσης. Οι ιδιότητες αυτές του εδάφους καθιστούν τα φυτά ανεξάρτητα από την εξωτερική χορήγηση θρεπτικών στοιχείων. Για τα καλλιεργούμενα φυτά, αυτό σημαίνει ότι μπορούν να επιβιώνουν και να αναπτύσσονται ως ένα βαθμό ακόμη και όταν η χορήγηση λιπασμάτων στην καλλιέργεια αποκλίνει σημαντικά από τις ποσότητες που απορροφώνται από αυτή. Από την άλλη πλευρά όμως, η έντονη αυτή εξάρτηση της προσφοράς θρεπτικών

στοιχείων στα φυτά από το έδαφος αποτελεί μειονέκτημα για την καλλιέργεια, δεδομένου ότι λόγω της ετερογένειας του εδάφους και των δυσχερειών στην πρόβλεψη των συνθηκών περιβάλλοντος είναι δύσκολο να εκτιμηθεί πώς ακριβώς θα συμπεριφερθεί αυτό από άποψη θρέψης σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Επομένως η κατάρτιση ενός ισόρροπου σχήματος λίπανσης και θρέψης της καλλιέργειας δυσχεραίνεται ενώ και η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου σχήματος λίγο έως πολύ περιορίζεται αφού η τροφοδότηση των φυτών με θρεπτικά στοιχεία δεν εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τις χορηγούμενες ποσότητες λιπασμάτων αλλά και από τις εκάστοτε ιδιότητες του εδάφους. Γι' αυτούς τους λόγους μία άλλη προσέγγιση στην επιλογή κατάλληλων για υδροπονία υποστρωμάτων, είναι αυτή η οποία απορρίπτει την ιδέα της χρησιμοποίησης ενός υλικού που θα ρυθμίζει την θρέψη των φυτών με τον ίδιο τρόπο όπως το έδαφος. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, το υπόστρωμα θα πρέπει να μην ασκεί καμία ρύθμιση στην προσφορά θρεπτικών στοιχείων στα φυτά με συνέπεια να είναι δυνατός ο πλήρης έλεγχος της θρέψης μέσω της λίπανσης και μόνο. Τα υλικά αυτά δηλαδή, θα πρέπει να μη συγκρατούν αλλά και να μην αποδίδουν ανόργανα ιόντα στο περιεχόμενο σε αυτά θρεπτικό διάλυμα. Τα υλικά που χαρακτηρίζονται από μία τέτοια συμπεριφορά ονομάζονται **χημικώς αδρανή υποστρώματα** και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην υδροπονία. Για να είναι σε θέση ένα υπόστρωμα να επιτελεί με το καλύτερο τρόπο το ρόλο για τον οποίο προορίζεται θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. σταθερή δομή, ώστε να μην αποσυντίθεται εύκολα
2. ικανοποιητική αναλογία μεταξύ νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας
3. ομοιομορφία στη σύσταση, στην εμφάνιση και στη συμπεριφορά από άποψη θρέψης

4. απαλλαγμένο από παθογόνα, ζωικούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων
5. εύκολο στη χρήση του και γενικά στους καλλιεργητικούς χειρισμούς
6. σχετικά χαμηλό κόστος.

Εκτός από αυτά τα χαρακτηριστικά ένα καλό υπόστρωμα θα πρέπει ή να είναι χημικά αδρανές ή να διαθέτει μεγάλη ανταλλακτική ικανότητα και κατάλληλο pH εφόσον είναι χημικά ενεργό.

Τα πλέον διαδεδομένα υποστρώματα υδροπονικών καλλιεργειών διεθνώς είναι ο πετροβάμβακας, η τύρφη, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα, το κοκκόχωμα και σε μικρότερο βαθμό η διογκωμένη άργιλος, ο ζεόλιθος και η άμμος.

3.2 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΕΥΟΥΝ ΩΣ ΣΤΕΡΕΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για τον πολλαπλασιασμό ή την ανάπτυξη των φυτών διακρίνονται ανάλογα με την προέλευση του υλικού σε ανόργανα, οργανικά, φυτικής προέλευσης και συνθετικά υλικά. Στα **ανόργανα υλικά** ανήκουν:

- Τα φυσικά υλικά: τύρφη, άχυρο, φλοιός κωνοφόρων κ.α.
- Υπολείμματα των γεωργικών βιομηχανιών: υπολείμματα από διαδικασία παραγωγής λαδιού ή κρασιού.
- Κομπόστες από ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω υλικά.

Στα συνθετικά υποστρώματα ανήκουν διάφορα πολυμερή, όπως το διογκωμένο πολυστερένιο και η διογκωμένη πολυουθεράνη.

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Υδροπονικές αποκαλούμε τις καλλιέργειες που πραγματοποιούνται εκτός εδάφους. Ένα υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας είναι συνεπώς ένα σύνολο εξοπλισμών και καλλιεργητικών τεχνικών που επιτρέπουν την πραγματοποίηση μιας καλλιέργειας εκτός εδάφους.

Η λειτουργία των υδροπονικών συστημάτων βασίζεται στην εύρεση τρόπων αντικατάστασης των βασικών λειτουργιών του εδάφους:

- στήριξη των φυτών
- παροχή νερού και των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων στις ρίζες των φυτών.

Τα βασικά μέρη ενός υδροπονικού συστήματος καλλιέργειας είναι:

- Τα φυτά
- Το θρεπτικό διάλυμα
- Εξοπλισμός στήριξης ή μέσο ανάπτυξης
- Εξοπλισμός παροχής θρεπτικού διαλύματος και αέρα στις ρίζες
- Εξοπλισμός απορροής – στράγγισης
- Εξοπλισμός ελέγχου και ρύθμισης της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος

Όταν το θρεπτικό διάλυμα απορρέει, ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται (**κλειστό κύκλωμα**) τότε απαιτούνται συμπληρωματικά:

- Εξοπλισμός ανακύκλωσης
- Εξοπλισμός καθαρισμού και απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος.

Πάρα πολλά συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα, σε όλο τον κόσμο. Τα συστήματα αυτά μπορεί να ταξινομηθούν σε έξι (6) κύριες κατηγορίες:

- Καλλιέργεια σε θρεπτικό διάλυμα (χωρίς αδρανές υπόστρωμα, π.χ. N.F.T.).
- Καλλιέργεια σε άμμο, κροκάλες ή άλλα φυσικά αδρανή υλικά.
- Καλλιέργεια σε διογκωμένα ορυκτά (π.χ. περλίτης, πετροβάμβακας).
- Καλλιέργεια σε διογκωμένα συνθετικά οργανικά υλικά (π.χ. πολυστερίνη, ουριοφορμαλδεΰδη).
- Διάφορες άλλες καλλιεργητικές τεχνικές που δεν σχετίζονται με το φυσικό έδαφος (π.χ. ψεκασμός θρεπτικού διαλύματος στη ρίζα που ονομάζεται και αεροπονία).
- Καλλιέργεια σε οργανικά υποστρώματα (τύρφη, φλοιοί δένδρων κλπ).



Εικ. 7 Εσωτερικό του καναλιού νεαρών φυτών τομάτας σε σύστημα μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος



Εικ. 8 Καλλιέργεια Ζέρμπερας σε πετροβάμβακα

Η τελευταία κατηγορία δεν συμπεριλαμβάνεται από πολλούς ερευνητές στην υδροπονία (επειδή το οργανικό υπόστρωμα δεν είναι αδρανές) αλλά θεωρείται ως ιδιαίτερο σύστημα καλλιέργειας.

Κάθε κατηγορία υποδιαιρείται σε υποκατηγορίες ή μεθόδους, που σκοπό έχουν τη βελτίωση της αποδοτικότητας, κάτω από ορισμένες συνθήκες. Γενικά στην επιχειρηματική παραγωγή μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει ένα σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας που να δίνει το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα σε όλες τις περιπτώσεις. Το βέλτιστο σύστημα καλλιέργειας για μια συγκεκριμένη περιοχή εξαρτάται από παράγοντες όπως: κλίμα, κόστος πρώτων υλών, ενέργειας, εργασίας, επίπεδο γνώσεων κλπ.

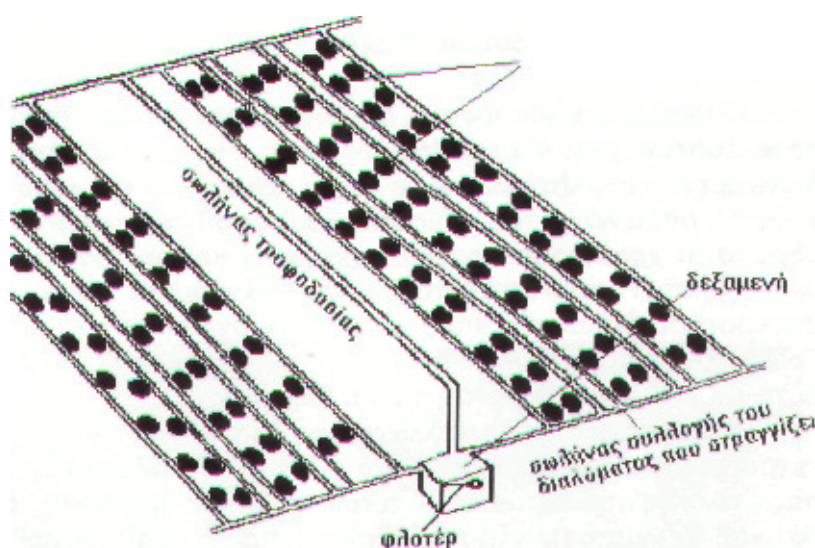


Εικ. 9 νεαρά φυτά τριανταφυλλιάς σε πετροβάμβακα

Οι κατηγορίες που εφαρμόζονται περισσότερο σε επιχειρηματικά θερμοκήπια σήμερα είναι: καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (Rockwool Culture), καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT) και καλλιέργεια σε σάκους τύρφης. Άλλα συστήματα που καλλιεργούνται σε σημαντικό βαθμό, είναι η καλλιέργεια σε άμμο, (κυρίως σε τοπική άμμο, όπως στο Ισραήλ), καλλιέργεια σε υπόστρωμα από πριονίδι (κυρίως στον Καναδά), αναπτύσσεται επίσης αρκετά στην Ελλάδα, Ιταλία και Αγγλία η καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη, οριζόντιους ή κάθετους. Περιπτώσιακά χρησιμοποιείται σε αρκετές περιοχές σε όλο τον κόσμο και η καλλιέργεια σε χαλίκι, μικρής διαμέτρου.

3.4 ΑΝΟΙΧΤΑ – ΚΛΕΙΣΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ένα υδροπονικό σύστημα ονομάζεται ανοιχτό, όταν το μέρος του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει ως πλεονάζων από το χώρο των ριζών δεν συλλέγεται αλλά αφήνεται να χαθεί στο περιβάλλον (συνήθως απορροφάται από το έδαφος του θερμοκηπίου). Κλειστό αντίθετα καλείται ένα υδροπονικό σύστημα όταν το πλεονάζων θρεπτικό διάλυμα που απομακρύνεται από το χώρο των ριζών συλλέγεται, ανανεώνεται, συμπληρώνεται και με τη βοήθεια μιας αντλίας οδηγείται ξανά στα φυτά προς επαναχρησιμοποίηση. Στα κλειστά συστήματα έχουμε δηλαδή ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει.



Εικ. 10 Κάτοψη ενός συστήματος με ανακύκλωση

Ένας τρόπος επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος απορροής είναι η συνεχής τροφοδοσία και επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος, όπως π.χ. γίνεται στο σύστημα NFT. Ο δεύτερος τρόπος ανακύκλωσης αφορά υδροπονικά συστήματα στα οποία η παροχή θρεπτικού διαλύματος (πότισμα) είναι συχνή αλλά διακοπτόμενη και μικρής διάρκειας. Σε αυτού του είδους τα κλειστά υδροπονικά συστήματα το διάλυμα απορροής που συλλέγεται μετά από κάθε πότισμα

συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία και χρησιμοποιείται ξανά. Οι ποσότητες θρεπτικού διαλύματος που απορρέουν από το ριζόστρωμα και επαναχρησιμοποιούνται αφού πρώτα συμπληρωθούν με νερό και λιπάσματα είναι τελείως διαφορετικές σε κάθε μία από τις προαναφερόμενες τεχνικές ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος. Για παράδειγμα, σε μία καλλιέργεια τομάτας, όταν εφαρμόζεται συνεχής επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που επανακυκλοφορεί κυμαίνεται γύρω στα 200 m³ ανά στρέμμα και ημέρα ενώ όταν η άρδευση βασίζεται σε συνεχή, διακοπτόμενα ποτίσματα, το θρεπτικό διάλυμα που συλλέγεται και ανακυκλώνεται δεν υπερβαίνει τα 6-8 m³ ανά στρέμμα και ημέρα.

Η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει απορρέει από το ριζόστρωμα μετά από κάθε εφαρμογή άρδευση, συμβάλλει τόσο στην εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων όσο και στον περιορισμό της μόλυνσης του περιβάλλοντος με νιτρικά και άλλα λιπάσματα. Πρόκειται δηλαδή για μία κατεξοχήν φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο καλλιέργειας φυτών. Η εφαρμογή ανακύκλωσης όμως εμπεριέχει κινδύνους γρήγορης εξάπλωσης μολύνσεων στην καλλιέργεια όταν το διάλυμα απορροής δεν απολυμαίνεται πριν επαναχρησιμοποιηθεί. Οι κυριότερες μέθοδοι απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος είναι η παστερίωση με θέρμανση, η έκθεσή του σε υπεριώδη ακτινοβολία και η αργή διήθηση μέσω άμμου. Η χρήση χημικών απολυμαντικών όπως O₃, H₂O₂ και I₂ περικλείει κινδύνους φυτοτοξικότητας, ενώ η διήθηση μέσω μικροφίλτρων παρουσιάζει προβλήματα απόφραξης.

Τα περισσότερα συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών μπορούν να λειτουργούν τόσο ως κλειστά όσο και ως ανοιχτά. Για να λειτουργήσει όμως ως κλειστό ένα υδροπονικό σύστημα θα πρέπει να υπάρχουν κατάλληλες εγκαταστάσεις, ώστε να είναι δυνατή η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος. Εκτός από τον επιπλέον εξοπλισμό, η

ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος απαιτεί και διαφορετικούς χειρισμούς όσον αφορά την τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικό διάλυμα και γενικά τη θρέψη της καλλιέργειας. Το πρόβλημα της συμπλήρωσης του διαλύματος απορροής συνίσταται στον καθορισμό των απαραίτητων ποσοτήτων νερού και πυκνών διαλυμάτων που πρέπει να προστεθούν σε αυτό ώστε το διάλυμα που θα προκύψει από αυτή τη διαδικασία να έχει την επιθυμητή σύνθεση. Όπως είναι γνωστό, ο ρυθμός απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και στάδιο ανάπτυξης του φυτού (έκταση φυλλικής επιφάνειας), τα κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιοφάνεια, κ.λ.π.) που επικρατούν σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, κ.λ.π. Επομένως, ο όγκος θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει και απομακρύνεται από το ριζόστρωμα μετά τη χορήγησή του στα φυτά καθώς και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται σε αυτό διαφέρουν κάθε φορά. Κατά συνέπεια, οι ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν στα διάλυμα απορροής δεν είναι σταθερές και γι' αυτό δεν μπορούν να καθοριστούν εκ των προτέρων. Σε κάθε περίπτωση όμως, για να είναι εφικτή από τεχνική και οικονομική άποψη η ανακύκλωση του διαλύματος απορροής, η συμπλήρωσή του με τις κατάλληλες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων θα πρέπει να γίνεται αυτόματα με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού. Οι στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοστούν για τη συμπλήρωση του διαλύματος απορροής με τις αναγκαίες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων εξαρτώνται από τον διατιθέμενο εξοπλισμό και μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής τρεις (3) κατηγορίες:

1. Συμπλήρωση με προεπιλεγόμενη αναλογία μείξης διαλύματος απορροής νερού.
2. Συμπλήρωση με αυτόματα ρυθμιζόμενη αναλογία ανάμειξης απορροής νερού.

3. Συμπλήρωση με αυτόματα μεταβαλλόμενη αναλογία έγχυσης λιπασμάτων.

3.5 ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΥΡΕΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.5.1 NFT

Το σύστημα NFT (Nutrient Film Technique – Τεχνική λεπτής θρεπτικής στοιβάδας) είναι μία υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας φυτών, στην οποία δε γίνεται καθόλου χρήση στερεού υποστρώματος. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα σε μακριά αδιάβροχα κανάλια, όπου ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα (2-3mm) ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος. Η ρίζα αναπτύσσεται πάνω στο διάλυμα, χωρίς να υπάρχει κανένα άλλο υπόστρωμα, δημιουργείται έτσι ένα παχύ πλέγμα ριζών, στο οποίο συμπλέκονται οι ρίζες απ’ όλα τα φυτά του καναλιού και το οποίο αποτελεί το κάτω στήριγμα του φυτού. Το NFT είναι ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα, δεδομένου ότι το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται συνεχώς και επαναχρησιμοποιείται.

Μία εγκατάσταση NFT αποτελείται από ένα σύστημα παράλληλα τοποθετημένων υδρορροών (καναλιών), μέσα στις οποίες κυλάει θρεπτικό διάλυμα με ρυθμό ροής περίπου 2-3 l/h, από το σύστημα παρασκευής και διανομής του θρεπτικού διαλύματος στις υδρορροές, καθώς και από τις εγκαταστάσεις συλλογής του διαλύματος από τις υδρορροές και ανακύκλωσής του.



*Εικ. 11 Καλλιέργεια τομάτας σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT).
Τα κανάλια όπου ρέει το θρεπτικό διάλυμα έχουν κατασκευασθεί στο
τσιμεντένιο πάτωμα.*

Μέσα σε κάθε υδρορροή τοποθετούνται τα φυτά σε καθορισμένες αποστάσεις μεταξύ τους. Οι υδρορροές συνήθως είναι κατασκευασμένες από σκληρό πλαστικό πολυαιθυλένιο, ή από PVC, ή από άλλη πλαστική ύλη ή ακόμη και από γαλβανισμένο μέταλλο.

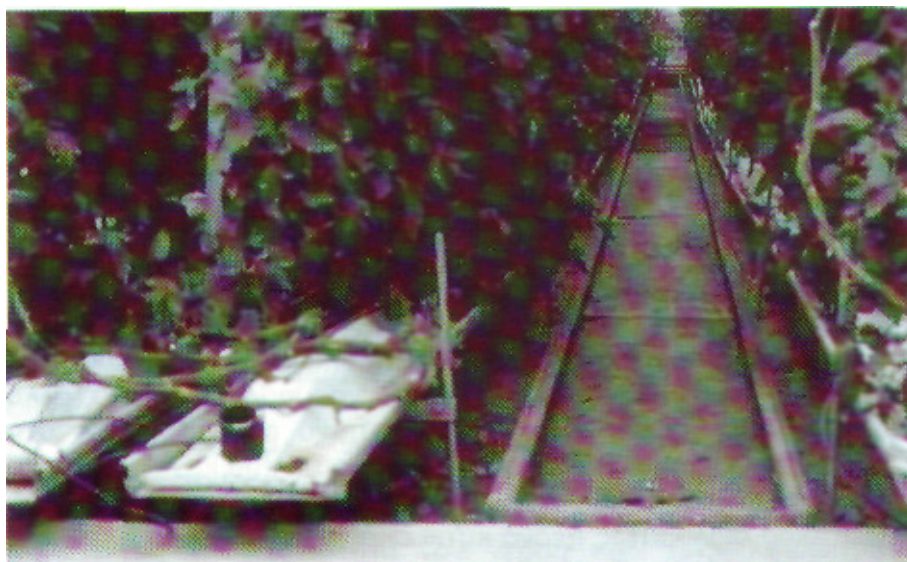
Έχουν πλάτος 15-30 cm ανάλογα με το είδος του καλλιεργούμενου φυτού. Οι αποστάσεις μεταξύ των παράλληλα τοποθετημένων υδρορροών αντιστοιχούν στις αποστάσεις μεταξύ των γραμμών φύτευσης που επιλέγονται να εφαρμοσθούν στην εκάστοτε καλλιέργεια. Για να είναι δυνατή η ροή του διαλύματος μέσα στις υδρορροές, αυτές θα πρέπει να έχουν μία κλίση γύρω στο 1,5-2,0% κατά μήκος.

Το θρεπτικό διάλυμα, από την κεντρική εγκατάσταση παρασκευής του μεταφέρεται αρχικά στο χώρο ανάπτυξης των φυτών μέσω σωλήνων κατάλληλης διατομής (Φ50, Φ60) και στη συνέχεια διανέμεται σε μικρότερους σωλήνες οι οποίοι το οδηγούν στην αρχή κάθε υδρορροής. Αφού εισαχθεί στις υδρορροές, χάρις στην κλίση τους το διάλυμα αρχίζει

να ρέει μέσα στην κοίτη τους. Κατά τη διάρκεια της ροής του το διάλυμα βρέχει τις ρίζες των φυτών και ένα μέρος του απορροφάται από αυτές. Το υπόλοιπο μέρος του διαλύματος διατρέχει όλη την υδροροή κατά μήκος και αφού φθάσει στο τέλος της, απορρέει και μέσω ειδικά τοποθετημένων σωλήνων ή υδροροών συλλέγεται και συγκεντρώνεται όλο μαζί σε κάποιο ειδικό δοχείο συγκέντρωσης. Από το δοχείο αυτό το διάλυμα οδηγείται ξανά στην κεντρική μονάδα παρασκευής και διανομής του διαλύματος, είτε μέσω μίας αντλίας, είτε μέσω ελεύθερης ροής, εφόσον υπάρχει υψομετρική διαφορά. Εκεί, το συλλεγόμενο διάλυμα συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία ώστε να αποκτήσει ξανά τις επιθυμητές τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ξαναχρησιμοποιείται.

Το κλειδί της επιτυχίας για τη μέθοδο αυτή είναι:

- Ομοιόμορφη κλίση του καναλιού για ομοιόμορφη ροή του νερού, χωρίς τοπικές ανωμαλίες.
- Η παροχή του νερού να μην είναι υπερβολικά μεγάλη, για να μην υψώνεται η στάθμη του στο χαμηλό σημείο.
- Το πλάτος του καναλιού να είναι αρκετό, ώστε το νερό να ρέει ομοιόμορφα σε όλο το μήκος.
- Η βάση του καναλιού να είναι τελείως επίπεδη και οριζόντια.



Εικ. 12 Μεταλλική κατασκευή για την καλλιέργεια σε μεμβράνη Θρεπτικού διαλύματος (N.F.T.)

3.5.2 Καλλιέργεια σε άμμο

Συνήθως χρησιμοποιείται κρυσταλλική άμμος προερχόμενη από την κοίτη ποταμών, η οποία έχει περιεκτικότητα άνω του 50% σε διοξείδιο του πυριτίου και μηδενική πρακτικά ανταλλακτική ικανότητα. Η άμμος τοποθετείται σε ατομικά ή ομαδικά φυτοδοχεία, σε σάκους ή σε υδρορροές, σε ποσότητα 15-20 λίτρα ανά φυτό. Εναλλακτικά, η άμμος μπορεί να διασκορπιστεί σε ολόκληρη την καλλιεργούμενη επιφάνεια του θερμοκηπίου, αν υπάρχει σε αφθονία στην περιοχή που λαμβάνει χώρα η καλλιέργεια. Σε αυτή την περίπτωση, το έδαφος του θερμοκηπίου αφού ισοπεδωθεί επικαλύπτεται με ένα πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου εφοδιασμένο με ανοίγματα αποστράγγισης, ομοιόμορφα κατανομημένα σε όλη του την επιφάνεια, πάνω στο οποίο απλώνεται η άμμος σε πάχος περίπου 5-10 cm.

Τα φυτά τροφοδοτούνται με θρεπτικό διάλυμα μέσω ενός συνηθισμένου συστήματος στάγδην άρδευσης. Η παροχή του διαλύματος στα φυτά γίνεται είτε με μικροσωλήνες (spaghetti tubes) είτε με ενσωματωμένους

σταλάκτες εφόσον η άμμος είναι απλωμένη στην επιφάνεια του θερμοκηπίου ή κατά μήκος υδρορροών. Συνήθως υπάρχει ένας σταλάκτης ανά φυτό. Συχνή όμως είναι και η χρησιμοποίηση δύο σταλακτών ανά φυτό με στόχο την καλύτερη διαβροχή του υποστρώματος αλλά και την προστασία από αποφράξεις σταλακτών.

Το θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται στην άμμο διηθείται κατακόρυφα προς τα κάτω δια μέσου του υποστρώματος. Ένα μικρό μέρος του διαλύματος παραμένει στο πορώδες της άμμου, ενώ το υπόλοιπο στραγγίζει και τελικά απορρέει από το χώρο των ριζών μέσω οπών ή σχισμών που έχουν ανοιχθεί στον πυθμένα του δοχείου, του σάκου ή του πλαστικού επιστρώματος που περιέχουν ή υποστηρίζουν την άμμο. Το διάλυμα που απορρέει μέσω των σχισμών αποστράγγισης μπορεί να συλλέγεται και να επαναχρησιμοποιείται, οπότε το σύστημα λειτουργεί ως κλειστό.

Εξαιτίας της χαμηλής ικανότητας συγκράτησης υγρασίας η άμμος πρέπει να ποτίζεται πολύ τακτικά (πολλές φορές κατά τη διάρκεια μιας ημέρας) για να διατηρείται συνεχώς αρκετά υγρή για την ανάπτυξη των ριζών. Αυτό όμως συνεπάγεται σημαντικές απώλειες σε θρεπτικό διάλυμα και νερό σε περίπτωση που το διάλυμα δεν ανακυκλώνεται.

Τα πλεονεκτήματα της άμμου ως υποστρώματος υδροπονίας είναι ο καλός αερισμός του ριζικού συστήματος, το φθινό κόστος κτήσης της και η θεωρητικά απεριόριστη διάρκεια ζωής της. Για την αποφυγή εξάπλωσης εδαφογενών ασθενειών όμως η άμμος θα ήταν καλύτερα να απολυμαίνεται πριν από την έναρξη κάθε νέας καλλιεργητικής περιόδου. Η απολύμανση της άμμου μπορεί να γίνει εύκολα και αποτελεσματικά με ατμό.

3.5.3 Καλλιέργεια σε χαλίκι

Το χαλίκι είναι ένα χονδρόκοκκο υπόστρωμα. Η χημική του σύσταση ποικίλει και εξαρτάται από το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχεται. Η διάμετρος των διαφόρων κοκκομετριών χαλικιού που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία κυμαίνεται μεταξύ 5-20 mm. Σαν υπόστρωμα έχει πρακτικά μηδενική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και αμελητέα ικανότητα συγκράτησης νερού (πολύ πιο μικρή από την αντίστοιχη της άμμου). Γι' αυτό η καλλιέργεια σε χαλίκι συνιστάται μόνο ως κλειστό υδροπονικό σύστημα.

Η τεχνική της εγκατάστασης μιας υδροπονικής καλλιέργειας σε χαλίκι είναι σε γενικές γραμμές ανάλογη με αυτή που ακολουθείται στις καλλιέργειες σε άμμο. Ανάλογα επίσης με αυτά της άμμου είναι και τα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις υδροπονικές καλλιέργειες σε χαλίκι. Σαν μειονέκτημα, εκτός από την έλλειψη ικανότητας συγκράτησης νερού πρέπει ακόμη να αναφερθεί και το υψηλό ειδικό βάρος το οποίο καθιστά τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις προβληματική και στους χειρισμούς κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας δύσκολη και επίμονη και επομένως αρκετά δαπανηρή.

3.5.4 Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα είναι το κοινό όνομα του ορυκτού κιζιρίτης. Πρόκειται για ένα αργιλοπυριτικό ηφαιστειογενές ορυκτό το οποίο δεν έχει τη συμπαγή υφή άλλων πετρωμάτων αλλά φέρει εκτεταμένο πορώδες σε όλη του τη μάζα. Η ύπαρξη ενός τόσο εκτεταμένου πορώδους καθιστά την ελαφρόπετρα ένα πέτρωμα με χαμηλό ειδικό βάρος. Σε αυτή ακριβώς τη φυσική της ιδιότητα οφείλει και το όνομά της. Στη φύση η ελαφρόπετρα συναντάται σε μορφή μεγάλων πλακών ή τεμαχίων. Για να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια φυτών θα πρέπει να θρυμματίζεται σε

λατομεία σε μικρούς κόκκους μεγέθους μέχρι 4 ή το πολύ 8 mm. Στην Ελλάδα υπάρχουν εκτεταμένα κοιτάσματα ελαφρόπετρας στα νησιά του Αιγαίου (Κυκλάδες, Δωδεκάνησα) από τα οποία τα σημαντικότερα βρίσκονται στη Νίσυρο.



Εικ. 13 Κάθετη καλλιέργεια μαρουλιού σε ελαφρόπετρα

Το μεγάλο πλεονέκτημα που έχει η ελαφρόπετρα είναι η πολύ χαμηλή τιμή της η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη ακόμη και από αυτή του περλίτη (2-3 φορές χαμηλότερη). Σε σύγκριση μάλιστα με το κόστος αγοράς διαφόρων εισαγόμενων υποστρωμάτων (πετροβάμβακας, διογκωμένη άργιλος, κ.λ.π.) η δαπάνη αγοράς ελαφρόπετρας είναι θεαματικά μικρότερη, Εκτός όμως από την χαμηλή τιμή της η ελαφρόπετρα έχει επιδείξει άριστη καλλιεργητική συμπεριφορά στις δοκιμές και τα πειράματα που έχουν γίνει σήμερα με τομάτες, τριαντάφυλλο, γαρύφαλλο, χρυσάνθεμο, κ.λ.π. Γι' αυτούς τους λόγους,

τα τελευταία χρόνια η ελαφρόπετρα έχει καταστεί ένα πολύ ενδιαφέρον υπόστρωμα για υδροπονικές καλλιέργειες, τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς.



Εικ. 14 υδροπονική καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα



Εικ. 15 υδροπονική καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα υδροπονίας είτε ως έχει, είτε μετά από κοσκίνισμα (ώστε να απομακρυνθεί το κονιοποιημένο κλάσμα), είτε μετά από ξέπλυμα. Από τα μέχρι σήμερα δεδομένα που έχουν προκύψει τόσο από την έρευνα όσο και από την καλλιεργητική τεχνική φαίνεται ότι τόσο το κοσκίνισμα όσο και το ξέπλυμα δεν βελτιώνουν την καλλιεργητική συμπεριφορά της ελαφρόπετρας ενώ αυξάνουν το κόστος εγκατάστασης της καλλιέργειας.

Η ελαφρόπετρα έχει χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων με συνέπεια να συμπεριφέρεται σχεδόν ως χημικά αδρανής.

Εκτός από τη χαμηλή τιμή και την πολύ καλή καλλιεργητική συμπεριφορά η ελαφρόπετρα διαθέτει και ένα ακόμα πλεονέκτημα. Είναι ένα υλικό το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αρκετές φορές. Σε περίπτωση επαναχρησιμοποίησής της όμως, πριν την εγκατάσταση νέας καλλιέργειας συνιστάται να απολυμαίνεται. Η ελαφρόπετρα μπορεί να απολυμανθεί εύκολα και αποτελεσματικά με ατμό.



Εικ. 16 Καλλιέργεια ανθέων σε ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα μπορεί να τοποθετηθεί σχεδόν σε κάθε είδους υποδοχείς υποστρωμάτων. Κατά κανόνα όμως τοποθετείται είτε σε φυτοδοχεία (συνήθως γλάστρες), είτε σε σάκους καλλιέργειας. Τόσο οι γλάστρες όσο και οι σάκοι μπορούν να είναι διαφόρων μεγεθών, ανάλογα με το είδος του καλλιεργούμενου φυτού. Ο όγκος υποστρώματος ανά φυτό σε γενικές γραμμές συνιστάται να είναι ο ίδιος ή ελαφρώς μεγαλύτερος (μέχρι περίπου 20%) με αυτόν που συνιστάται για καλλιέργειες σε πετροβάμβακα.

3.5.5 Καλλιέργεια σε τύρφη

Το πιο συνηθισμένο οργανικό υπόστρωμα που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους είναι η τύρφη.

Η τύρφη είναι φυσικό υλικό, το οποίο προέρχεται από την αποδόμηση της υδροχαρούς βλάστησης που φύεται σε ελώδεις περιοχές και γενικότερα σε υγρότοπους.

Γενικά υπάρχουν δύο τύποι τύρφης, η ξανθιά και η μαύρη τύρφη.

Η **ξανθιά τύρφη** έχει ινώδη υφή και δομή σταθερότερη από αυτή της μαύρης δεδομένου ότι η υδροχαρής βλάστηση από την οποία προέρχεται είναι νεώτερης ηλικίας σε σύγκριση με την τελευταία και συνεπώς έχει υποστεί αποσύνθεση (χουμοποίηση) σε μικρότερο βαθμό από αυτή. Το φαινόμενο ειδικό βάρος της κυμαίνεται μεταξύ 50-100 gr/l. Προέρχεται κυρίως από τη Ρωσία και τις Βαλτικές χώρες αλλά και από αρκετές άλλες χώρες της Βόρειας Ευρώπης. Έχει εκτεταμένο πορώδες (90-95% του όγκου της) με καλή αναλογία μεταξύ μικρών και μεγάλων πόρων με συνέπεια να διακρίνεται από μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και αέρα. Διαβρέχεται όμως δύσκολα και γι' αυτό θα πρέπει να ποτίζεται με νερό τουλάχιστον 1-2 ημέρες πριν τη χρησιμοποίησή της. Η ξανθιά τύρφη, πριν χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους είτε αμιγής είτε σε μίγματα, θα πρέπει απαραίτητα να αναμειγνύεται με μία μικρή ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) σε ποσότητα 4-6 Kgr/m^3 για τη ρύθμιση του pH της.

Η **μαύρη τύρφη** βρίσκεται σε πιο προχωρημένο στάδιο αποσύνθεσης από τη ξανθιά τύρφη και γι' αυτό δεν έχει τόσο σταθερή δομή. Σε σύγκριση με τη ξανθιά τύρφη έχει μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος (120-200 gr/l) και πιο περιορισμένης έκτασης πορώδες, με συνέπεια η ικανότητα συγκράτησης νερού να είναι ελαφρώς μικρότερη και η αεροπερατότητά της σαφώς χαμηλότερη. Κοιτάσματα μαύρης τύρφης

υπάρχουν και στην Ελλάδα, με πιο σημαντικά αυτά των Φιλιππων στην Ανατολική Μακεδονία.

Ένα άλλο οργανικό υλικό που άρχισε τελευταία να χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα είναι το κοκκόχωμα (γνωστό και ως cocosoil). Το κοκκόχωμα στην πραγματικότητα είναι ένα φυτόχωμα που προέρχεται από την αποσύνθεση των περιβλημάτων της ινδικής καρύδας. Είναι πλούσιο σε οργανική ουσία και παρουσιάζει πολύ καλή συμπεριφορά τόσο όσον αφορά τις φυσικές του ικανότητες (ικανότητα συγκράτησης νερού, αεροπερατότητα, κ.λ.π.) όσο και όσον αφορά τη θρέψη των φυτών. Σε αυτό το τελευταίο συμβάλλει κυρίως το γεγονός ότι έχει χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων με συνέπεια, πρακτικά να συμπεριφέρεται ως αδρανές υπόστρωμα. Κατά συνέπεια, όταν η κοκκοτύρφη τροφοδοτείται με ένα πλήρες θρεπτικό διάλυμα, η θρέψη των φυτών δεν επηρεάζεται σημαντική από άλλους, μη προβλέψιμους και αστάθμητους παράγοντες. Το μειονέκτημά του είναι ότι κάποια στιγμή και μετά αρχίζει σιγά-σιγά να αποσυντίθεται και επομένως αρχίζει να συμπεριφέρεται ως ένα χημικά πολύ ενεργά υλικό.

Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους γεμάτους τύρφη που έχει εμπλουτισθεί με βραδείας απελευθέρωσης λιπάσματα. Απαιτείται όμως και πρόσθετη χρήση διαλυτών λιπασμάτων, καθώς και ιχνοστοιχείων κατά το πότισμα. Στην περίπτωση των οργανικών υποστρωμάτων, επειδή δημιουργείται μικροβιακή δράση στο υπόστρωμα, υπάρχει κατά συνέπεια και αξιόλογη επίδραση στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.

Η μέθοδος αυτή με τις τύρφεις, ενώ βοήθησε τα πρώτα χρόνια να αποφευχθούν οι ασθένειες εδάφους και έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα στην παραγωγή, παρουσιάζει συχνά προβλήματα στην άρδευση, γιατί η διαχείριση του νερού είναι σχετικά δύσκολη και απαιτεί μεγάλη προσοχή ιδίως το καλοκαίρι (όταν στεγνώσει η τύρφη δεν απορροφά ομοιόμορφα

σε όλη τη μάζα της το νερό που πέφτει από το σταλακτήρα). Δεν εφαρμόζεται ανακύκλωση του διαλύματος με τη μέθοδο αυτή.



Εικ.17 Καλλιέργεια σε οργανικό υπόστρωμα (σάκους τύρφης)

Χρησιμοποιείται κυρίως σε ανθοκομικές καλλιέργειες παραγωγής δρεπτών ανθέων, όπως το τριαντάφυλλο και η ζέρμπερα.

3.5.6 Αεροπονία

Η αεροπονία είναι μία παραλλαγή της υδροπονίας σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα χωρίς τη χρήση υποστρώματος. Στις αεροπονικές μεθόδους καλλιέργειας το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται με ακροφύσια πάνω στο αναπτυσσόμενο μέσο σε κενά κιβώτια ή φυτοδοχεία ριζικό σύστημα, έτσι ώστε ο χώρος να είναι συνεχώς κορεσμένος σε υγρασία. Κατ' αυτόν τον τρόπο η ρίζα του φυτού παραμένει συνεχώς υγρή και μπορεί να απορροφά από το διάλυμα που ψεκάζεται πάνω της τόσο νερό όσο και θρεπτικά στοιχεία. Το θρεπτικό διάλυμα που δεν απορροφάται από τις ρίζες των φυτών αλλά αποστραγγίζει μετά από κάθε ψεκασμό, συνήθως συλλέγεται και ανακυκλώνεται. Η ύπαρξη ανοιχτών αεροπονικών συστημάτων είναι επίσης δυνατή. Στην περίπτωση αυτή όμως είναι αναπόφευκτη η σπατάλη νερού και λιπασμάτων. Η συλλογή του

απορρέοντος διαλύματος γίνεται με τη βοήθεια υδρορροών, οι οποίες το οδηγούν σε μία κεντρική δεξαμενή συγκέντρωσης. Από εκεί μπορεί να επαναπροωθείται απευθείας στα φυτά αφού πρώτα συμπληρωθεί με νερό και θρεπτικά στοιχεία. Μπορεί επίσης αρχικά να επιστρέφει στην κεντρική μονάδα παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος και να συμπληρώνεται εκεί με νερό και θρεπτικά στοιχεία.

Εφόσον εφαρμόζεται ανακύκλωση, η αεροπονία έχει όλα τα μειονεκτήματα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων, δηλαδή αναγκαιότητα συχνών αναλύσεων και εκτεταμένων αναπροσαρμογών στη σύνθεσή του μετά από κάθε ανάλυση, συσσώρευση ιόντων Na και Cl σε περίπτωση που το χρησιμοποιούμενο νερό έχει αυξημένη περιεκτικότητα στα δύο ατά ιόντα, κ.λ.π. Όπως και με το σύστημα NFT, η έλλειψη ενός στερεού υποστρώματος αυξάνει σημαντικά το ρίσκο της καταστροφής της καλλιέργειας σε περίπτωση που είτε η αντλία, είτε ο μίκτης λιπασμάτων είτε κάποια ακροφύσια ψεκασμού παρουσιάσουν βλάβη με συνέπεια να διακοπεί για σημαντικό χρονικό διάστημα ο ψεκασμός των ριζών των φυτών με θρεπτικό διάλυμα. Όπως σε όλα τα κλειστά υδροπονικά συστήματα έτσι και στην αεροπονία είναι αυξημένος ο κίνδυνος εξάπλωσης παθογόνων σε όλη την καλλιέργεια μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος σε περίπτωση που προσβληθεί έστω και ένα φυτό από κάποιο παθογόνο. Γι' αυτό το λόγο, όταν τα φυτά καλλιεργούνται σε αεροπονικό σύστημα στο οποίο εφαρμόζεται ανακύκλωση, είναι σκόπιμη η χρησιμοποίηση κάποιας εγκατάστασης για την απολύμανση του επαναχρησιμοποιούμενου θρεπτικού διαλύματος.

3.5.7 Καλλιέργεια σε Πετροβάμβακα ή Rockwool Culture

Ο πετροβάμβακας είναι το πλέον διαδεδομένο διεθνώς υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών. Είναι ένα ανόργανο ινώδες υλικό το οποίο παράγεται με θερμική επεξεργασία ενός μείγματος που αποτελείται κατά 60% από διαβάση, 20% από ασβεστόλιθο και 20% από άνθρακα. Το μείγμα αυτό θερμαίνεται στους 1600 °C. Ο άνθρακας χρησιμεύει κυρίως σαν καύσιμη ύλη για επίτευξη αυτής της θερμοκρασίας. Σε αυτή τη θερμοκρασία, το μείγμα ρευστοποιείται και οδηγείται σε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο από τον χώρο του οποίου εξέρχεται σε μορφή λεπτών βελόνων πάχους 6-8 μικρών (μ), δηλαδή 0,005 mm και μήκους 3 mm. Στη συνέχεια οι λεπτές αυτές βελόνες συμπλέκονται και συγκολλώνται μεταξύ τους σε μια χαλαρή πλέξη με τη βοήθεια μιας συνδετικής ρητινικής ουσίας που ονομάζεται βακελλίτης, οπότε προκύπτει ένα προϊόν ελαφρύ και πορώδες με βαμβακώδη εμφάνιση. Το υλικό αυτό έχει περίπου 92-96% πορώδες, ειδικό βάρος γύρω στα 60-100 Kgr/m³ και μπορεί να λάβει οποιοδήποτε σχήμα.



Εικ. 18 Σάκοι πετροβάμβακα

Η συνήθης χημική σύνθεση του πετροβάμβακα είναι: SiO 47%, CaO 16%, Al₂O₃ 14%, MgO 10%, FeO 8%, Na₂O 2%, TiO 1%, MnO 1%, K₂O 1%.

Τα Ca, MgO, FeO και MnO σε μικρή ποσότητα μπορεί να αποσπασθούν από τα φυτά.

Για χρήση στη γεωργία συνήθως χρησιμοποιούνται ορθογώνιες πλάκες (για καλλιέργεια των φυτών μετά την μεταφύτευση).

Για γεωργική χρήση ο πετροβάμβακας διατίθεται τόσο σε μορφή κύβων (για προβλάστηση και παραγωγή πολλαπλασιαστικού υλικού) όσο και σε μορφή ορθογώνιων πλακών με διαστάσεις ανάλογες με το είδος του φυτού που πρόκειται να καλλιεργηθεί πάνω τους. Επιπλέον, το μήκος και το πλάτος των πλακών και των κύβων επιλέγεται και ανάλογα με τη διάταξη των φυτών στο θερμοκήπιο και κυρίως ανάλογα με τον επιζητούμενο όγκο υποστρώματος ανά φυτό. Το ύψος όμως τόσο των πλακών όσο και των κύβων εκλέγεται κυρίως με βάση τις υδραυλικές ιδιότητες του υλικού.

Χημικά ο πετροβάμβακας συνίσταται από οξείδια διαφόρων ανόργανων στοιχείων και κυρίως του πυριτίου, του ασβεστίου, του σιδήρου, του μαγνησίου και του αργιλίου. Παρακάτω δίνεται ενδεικτικά η χημική σύνθεση δύο διαφορετικής προέλευσης τύπων πετροβάμβακα. Τα οξείδια που συμμετέχουν στη σύνθεση του πετροβάμβακα είναι πρακτικά αδιάλυτα όταν το pH του θρεπτικού διαλύματος κυμαίνεται μεταξύ 5,5-6,5.



Εικ. 19 Υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς σε πετροβάμβακα

Εκτός αυτού, κανένα από τα προαναφερθέντα οξείδια δεν φέρει θέσεις ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων όπως τα κολλοειδή του εδάφους και επομένως ο πετροβάμβακας στερείται ανταλλακτικής ικανότητας. Γι' αυτό το λόγο ο πετροβάμβακας θεωρείται ότι είναι ένα χημικά αδρανές υλικό. Έτσι η θρέψη των φυτών μπορεί να ελέγχεται και να ρυθμίζεται πλήρως μέσω της χορήγησης θρεπτικού διαλύματος κατάλληλης σύστασης.

Μολονότι ο πετροβάμβακας σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας συμπεριφέρεται ως ένα χημικά αδρανές υλικό, κατά την αρχική του διαβροχή με θρεπτικό διάλυμα η τιμή του pH ανυψώνεται κατά 1-2 μονάδες. Γι' αυτό το λόγο η τιμή του pH του θρεπτικού διαλύματος κατά την αρχική διαβροχή των πλακών του πετροβάμβακα θα πρέπει να είναι χαμηλότερη (pH περίπου 4,5-5,0) από την τιμή που θα έχει αργότερα (5,5-5,7), όταν δηλαδή τοποθετηθούν τα φυτά πάνω του. Με τον τρόπο

αυτό, η τιμή του pH μέσα στις πλάκες του πετροβάμβακα γίνεται κατορθωτό να συγκρατηθεί μεταξύ 6,0-6,5.

Η καλλιέργεια σε πετροβάμβακα μπορεί να γίνει ή με τη μέθοδο της μη ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος ή με αυτή της ανακύκλωσης.



Εικ. 20 Νεαρή φυτεία τομάτας σε πετροβάμβακα

Όταν η καλλιέργεια γίνεται με τη μέθοδο χωρίς ανακύκλωσης του διαλύματος, μεγάλη σημασία έχει να ισοπεδωθεί το έδαφος του θερμοκηπίου πριν αρχίσει η εγκατάσταση. Η κλίση κατά μήκος δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,3%. Όταν το έδαφος είναι έτοιμο, όλη η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου καλύπτεται με φύλλο λευκού πλαστικού πάχους 0,2 -0,8 mm, ή διπλής όψεως λευκό επάνω και μαύρο στην κάτω επιφάνεια. Η τοποθέτηση του πλαστικού φύλλου αποσκοπεί στην απομόνωση του εδάφους από το χώρο καλλιέργειας ώστε να:

- αποτραπεί η ανάπτυξη ζιζανίων στο χώρο του θερμοκηπίου
- δημιουργηθεί καθαρό περιβάλλον και να αποφευχθούν οι μολύνσεις από ασθένειες εδάφους
- βελτιωθεί ο φυσικός φωτισμός των κατωτέρων φύλλων με την ανάκλαση του φωτός.

Στο έδαφος επάνω στο πλαστικό φύλλο τοποθετούνται λωρίδες από πλάκες πολυστερίνης (όπως και στην Εικ.18) πλάτους 15εκ. (ή 20-25εκ αν καλλιεργηθεί αγγούρι) και πάχους 2-3 εκ. Η απόσταση μεταξύ των λωρίδων πολυστερίνης είναι ίση με αυτή των γραμμών φύτευσης των φυτών. Κατά μήκος, δημιουργείται ένα αυλάκι στις πλάκες πολυστερίνης, μέσα στο οποίο τοποθετείται ο πλαστικός σωλήνας θέρμανσης, διαμέτρου 1,6 εκ., ώστε να θερμαίνεται η ρίζα.

Επάνω στις γραμμές της πολυστερίνης τοποθετείται φύλλο λευκού πλαστικού, πλάτους 45 εκ. (ή 75εκ) και επάνω του ο πετροβάμβακας, σε τεμάχια μήκους 1,25 μ., πάχους 7,5 εκ. και πλάτους 15 εκ. για την τομάτα (για το αγγούρι χρησιμοποιείται συνήθως πλάτος 25 εκ., μικρότερο πλάτος απαιτεί πολύ ακριβή ρύθμιση των ποτισμάτων με περισσότερους σταλάκτες). Ανά 1-2 μ. διακόπτεται η συνέχεια του καναλιού που σχηματίζεται με τράβηγμα λίγο προς τα επάνω του πλαστικού φύλλου. Μετά γυρίζονται οι άκρες του πλαστικού φύλλου ώστε να καλύπτουν τον πετροβάμβακα και συγκρατούνται στη θέση τους με αγαλβάνιστες καρφίτσες.

Στο εμπόριο σήμερα κυκλοφορούν έτοιμα τυλιγμένο από πλαστικό φύλλο τεμάχια πετροβάμβακα διαφόρων διαστάσεων.

Στην επάνω πλευρά του πετροβάμβακα και στις επιθυμητές διαστάσεις κόβεται ένα τμήμα του πλαστικού φύλλου που τον καλύπτει, ώστε να μπορέσουν οι ρίζες των νεαρών φυταρίων που θα τοποθετηθούν αργότερα επάνω του να εισχωρήσουν μέσα στον πετροβάμβακα.



Εικ. 21 Καλλιέργεια Αγγουριού σε υπόστρωμα πετροβάμβακα

Τοποθετούνται οι γραμμές άρδευσης παράλληλα με τις γραμμές του πετροβάμβακα και τοποθετούνται οι σταλάκτες με τα σωληνάκια τους ένας σε κάθε θέση φύτευσης. Μετά από αυτό γίνεται πότισμα με θρεπτικό διάλυμα. αγωγιμότητας 3-6 mS και pH 5-5.5 και αφήνονται γεμάτοι, οι σάκοι που έχουν σχηματισθεί, τουλάχιστον 24 ώρες πριν να γίνει η φύτευση.

Τα νεαρά φυτάρια αναπτύσσονται στο φυτώριο σε κύβους πετροβάμβακα, διαστάσεων συνήθως 10X10 εκ.

Κατά τη φύτευση τοποθετείται σε κάθε θέση φύτευσης ενός κύβος πετροβάμβακα που φέρει το νεαρό φυτάριο του φυτωρίου. Δυο με τρεις ημέρες μετά τη φύτευση γίνονται με το μαχαίρι σχισμές στράγγισης στις πλευρές στο μέσον μεταξύ των θέσεων άρδευσης.

Στην περίπτωση που η καλλιέργεια γίνεται με ανακύκλωση του διαλύματος, κατά μήκος των καναλιών δίνεται κλίση στα έδαφος 1,5-2%. Οι πλάκες πολυστερίνης εδώ έχουν πλάτος τόσο όσο να εξυπηρετούν δυο γραμμές φύτευσης, έχουν κεκλιμένη επιφάνεια έτσι ώστε το διάλυμα που

περισεύει κατά το πότισμα να μαζεύεται στο χώρο μεταξύ δυο γραμμών πετροβάμβακα, από όπου μετακινείται με τη βαρύτητα στο χαμηλότερο σημείο της γραμμής, και επιστρέφει πάλι στο δοχείο του θρεπτικού διαλύματος.



Εικ. 22 Σύστημα με ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος

3.5.8 Καλλιέργεια σε περλίτη

Ο περλίτης είναι ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει και κρυσταλλικό νερό σε ποσοστό 2-6%. Το πρωτογενές ορυκτό, όταν θερμανθεί για σύντομο χρόνο στους 1200-1300°C, διογκώνεται και σχηματίζει μία αφρώδη μάζα δεκαπλάσιου έως εικοσαπλάσιου περίπου όγκου από τον αρχικό. Η ιδιότητά του αυτή χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία για τη δημιουργία ενός κοκκώδους υλικού με πλούσιο πορώδες, το οποίο έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού. Το νερό συγκρατείται κυρίως στους μικρούς πόρους, ενώ στους μεγαλύτερους που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων του περλίτη παραμένει αέρας και μετά τη διαβροχή του υλικού. Στην Ελλάδα υπάρχουν σημαντικά κοιτάσματα περλίτη στα νησιά Μήλο, Αντίπαρο, Νίσυρο, Κω, κ.λ.π. Σήμερα ο ελληνικός περλίτης προέρχεται κυρίως από τη Μήλο. Το μέγεθος των κόκκων που συνιστάται για υδροπονία είναι 0-3 mm (διάμετρος). Το ολικό πορώδες του περλίτη ανέρχεται στο 95%, η ικανότητα συγκράτησης νερού σε 200-450% του βάρους του (ανάλογα με την κοκκομετρική του σύσταση) και το ειδικό βάρος στα 40-150 Kgr/m³.



Εικ. 23 Καλλιέργεια τομάτας σε σάκους περλίτη

Ο περλίτης, μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε σάκους, είτε σε γλάστρες, είτε σε άλλου τύπου φυτοδοχεία. Μπορεί επίσης να απλωθεί μέσα σε υδρορροές οι οποίες στη συνέχεια καλύπτονται από πάνω με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου. Το τελευταίο αυτό σύστημα όμως παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, κυριότερο από τα οποία είναι η ανάγκη χρησιμοποίησης μεγαλύτερων ποσοτήτων περλίτη ανά φυτό.

Η διαμόρφωση της καλλιέργειας μπορεί να γίνει όπως στον πετροβάμβακα, με τη διαφορά ότι αντί για πετροβάμβακα, επάνω στις πλάκες πολυστερίνης τοποθετούνται πλαστικοί σάκοι (λευκού χρώματος), γεμάτοι περλίτη. Και σε αυτή τη μέθοδο η καλλιέργεια μπορεί να γίνει με ανακύκλωση του διαλύματος (Εικ.19,20,21) ή χωρίς ανακύκλωση (Εικ.18). Το μέγεθος των σάκων (στις ετήσιες καλλιέργειες) υπολογίζεται έτσι ώστε για κάθε φυτό να αντιστοιχούν 9 λίτρα περλίτη.



Εικ. 24 Κατακόρυφη καλλιέργεια φράουλας σε περλίτη

3.5.9 Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη

Ο Φυτοκομικός βερμικουλίτης έχει την άριστη ιδιότητα της βελτίωσης του εδαφολογικού αερισμού διατηρώντας την υγρασία και τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες για τη τροφοδοσία των ριζών, μοσχευμάτων και σπόρων για γρηγορότερη ανάπτυξη.

Όπως ο περλίτης, ο φυτοκομικός βερμικουλίτης είναι μόνιμος, καθαρός, άοσμος, μη τοξικός και αποστειρωμένος. Δεν φθείρεται, δε μουχλιάζει και δεν αποσυντίθεται. Το pH του βερμικουλίτη είναι ουσιαστικά ουδέτερο (7,0-9.5) αλλά εξ αιτίας της παρουσίας σχετικών ενώσεων ανθρακικού άλατος η αντίδραση είναι κανονικά αλκαλική. Επίσης ποικίλει (γίνεται πιο αλκαλικός) με τις αλλαγές στις τεχνικές επεξεργασίας, το χρόνο, και με την παρουσία υγρασίας. Το pH, το χρώμα και η χημική σύνθεση του βερμικουλίτη επίσης ποικίλουν από ορυχείο σε ορυχείο.

Ο βερμικουλίτης κατέχει τις ιδιότητες ανταλλαγής κατιόντων κατά συνέπεια μπορεί να κρατήσει και να κάνει διαθέσιμο στο αναπτυσσόμενο φυτό αμμώνιο, κάλιο, ασβέστιο και μαγνήσιο.

Όταν αναμιγνύεται με τύρφη, φλοιούς δένδρων, οργανικό μείγμα, ή φυσικά χώματα, ο βερμικουλίτης όπως ο περλίτης βοηθά τη γρηγορότερη ανάπτυξη της ρίζας, και δίνει γρήγορη σταθεροποίηση στις νέες ρίζες. Τα μίγματα αυτά βοηθούν τη διατήρηση του αέρα, της θρέψης των φυτών και την υγρασία και τα απελευθερώνει όπως απαιτούνται από τα φυτά.

Επειδή ο βερμικουλίτης είναι πολύ ελαφρύς και εύκολος στη χρήση, αναμιγνύεται εύκολα με το χώμα, την τύρφη, το φλοιό πεύκων και άλλα οργανικά υλικά, λιπάσματα, φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1	ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ	78
4.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	79
4.3	ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΣΗ	80
4.4	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	82
4.5	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	87
4.5.1	ΣΥΣΤΗΜΑ Α/Β ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ	87
4.5.2	ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	88
4.5.3	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΝΑΜΙΚΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ	88
4.5.4	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗ	89
4.6	ΔΙΑΝΟΜΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ	90

4.1 ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

Καθώς σήμερα με τον όρο «σύγχρονο θερμοκήπιο» ο περισσότερος κόσμος αντιλαμβάνεται και σύγχρονες τεχνικές καλλιέργειες, όπως είναι η υδροπονική καλλιέργεια, είναι σκόπιμο να γίνει μία σύντομη αναφορά και στον απαραίτητο εξοπλισμό για την εφαρμογή της υδροπονίας.

Για την πραγματοποίηση μιας υδροπονικής καλλιέργειας είναι απαραίτητος ο εξοπλισμός του θερμοκηπίου με τα κατάλληλα υλικά και μηχανήματα. Τα υλικά μπορεί να είναι: κανάλια (υδρορροές) και υποστρώματα υδροπονίας, σωληνώσεις άρδευσης, δεξαμενές πυκνών διαλυμάτων κ.λ.π. Τα απαραίτητα μηχανήματα είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές άρδευσης – λίπανσης και επιλέγονται σύμφωνα με:

- Την έκταση της καλλιέργειας.
- Το σύστημα υδροπονίας που ακολουθείται (ανοικτό ή κλειστό σύστημα).
- Τον αριθμό των καλλιεργειών μέσα στο ίδιο θερμοκήπιο.
- Την οικονομική ευχέρεια του παραγωγού.

Βέβαια βασική προϋπόθεση για υδροπονική καλλιέργεια αποτελεί η ύπαρξη νερού καλής ποιότητας και σε ποσότητες ικανές να καλύψουν τις ανάγκες της καλλιέργειας.

4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η ποιότητα του νερού καθορίζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), αλλά και από τα επιμέρους στοιχεία που υπάρχουν κατά περίπτωση και προσδιορίζεται με χημική ανάλυση, η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- ✚ pH
- ✚ EC (ηλεκτρική αγωγιμότητα)
- ✚ HCO₃ (όξινα ανθρακικά)
- ✚ N-NO₃ (νιτρικό άζωτο)
- ✚ P (φώσφορος)
- ✚ K (κάλιο)
- ✚ Ca (ασβέστιο)
- ✚ Mg (μαγνήσιο)
- ✚ Na (νάτριο)
- ✚ Cl (χλώριο)
- ✚ SO₄ (θείο)
- ✚ Fe (σίδηρος)
- ✚ Mn (μαγγάνιο)
- ✚ B (βόριο)

Οι τακτικές μετρήσεις του pH και της EC στο διάλυμα άρδευσης και στο υπόστρωμα (τουλάχιστον μία φορά ανά δεύτερη ημέρα) είναι απαραίτητες και αποτελούν σημαντική ένδειξη των συνθηκών στη ριζόσφαιρα. Επίσης αποτελούν ασφαλιστική δικλείδα ελέγχου σε ότι αφορά τη λειτουργία του αρδευτικού συστήματος, την ορθότητα του προγραμματισμού άρδευσης και την ορθότητα της λιπαντικής πρακτικής. Πλήρεις αναλύσεις του διαλύματος στο υπόστρωμα χρειάζονται μία φορά κάθε 8-12 εβδομάδες, ενώ του νερού άρδευσης δύο φορές το χρόνο. Οι

αναλύσεις θα πρέπει να γίνονται συχνότερα στα κλειστά συστήματα υδροπονίας όπου γίνεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος.

4.3 ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΣΗ

Για να μπορεί να σχεδιαστεί και να δουλέψει καλά ένα πρόγραμμα λίπανσης θα πρέπει τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία να είναι από αδρανή υλικά και τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία να προστίθενται με το σύστημα άρδευσης. Ποτέ δεν αρδεύουμε με νερό, αλλά πάντα με θρεπτικό διάλυμα. Η αρχή της άρδευσης είναι «λίγο και συχνά». Ο ιδανικός τρόπος άρδευσης είναι να ποτίζουμε όταν το υπόστρωμα έχει χάσει το 20% της υδατοϊκανότητάς του (η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατεί το υπόστρωμα). Γενικά ο αριθμός ποτισμάτων, όπως και η διάρκεια του κάθε ποτίσματος εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας, το μέγεθος του φυτού και τις κλιματικές συνθήκες.

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

- ⊕ Το ποσοστό του διαλύματος που απορρέει (σε κάθε πότισμα θα πρέπει το 15% της ποσότητας του διαλύματος που εφαρμόζεται να απορρέει).
- ⊕ Η EC στο υπόστρωμα θα πρέπει να είναι το πολύ 1-1,5 mS/cm μεγαλύτερη του διαλύματος που ποτίζουμε.
- ⊕ Οι ανάγκες του φυτού για νερό. Όσο καλύτερες είναι οι κλιματολογικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, θερμοκρασία), τόσο η εξατμισοδιαπνοή είναι εντονότερη και οι ανάγκες του φυτού για νερό μεγαλύτερες.

Η απορροή κατά τη διάρκεια κάθε ποτίσματος είναι απαραίτητη γιατί με τον τρόπο αυτό παραμένει η επιθυμητή σχέση των θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας. Αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχει απορροή μέσα στο υπόστρωμα τότε θα συμβούν τα εξής:

Η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων που τα φυτά απορροφούν σε μεγαλύτερη ποσότητα, όπως $N-NO_3$, PO_4 , K , θα ελαττωθεί μέσα στο υπόστρωμα. Ταυτόχρονα, η συγκέντρωση στοιχείων που απορροφούνται σε μικρότερο ποσοστό ή με μεγαλύτερη δυσκολία, όπως τα SO_4^{-2} , Na , Cl θα αυξάνεται. Η συνέχιση της διαδικασίας αυτής θα έχει ως αποτέλεσμα:

1. Τη μη ισορροπία του θρεπτικού διαλύματος στο υπόστρωμα.
2. Την αύξηση της EC καθότι θα συσσωρεύονται στοιχεία που το φυτό αδυνατεί να απορροφήσει.
3. Την αύξηση της συγκέντρωσης στοιχείων που μπορεί να δημιουργήσουν φυτοτοξικότητα, όπως Na , Zn , B , κ.λ.π.

Στην υδροπονία η έννοια λίπανση είναι ταυτόσημη με την άρδευση, αφού αρδεύουμε πάντα με θρεπτικό διάλυμα. Η εφαρμογή μόνο νερού είναι σχεδόν απαγορευτική, γιατί τα υποστρώματα είναι αδρανή, δηλαδή δεν εκλύουν θρεπτικά στοιχεία, με αποτέλεσμα να αλλάζει η ισορροπία των διαλυμένων ιόντων (άλλα συσσωρεύονται στο θρεπτικό διάλυμα και άλλα απορροφώνται από τα φυτά). Η αλλαγή αυτή μπορεί συχνά να οδηγήσει σε **θρεπτικό stress** (τροφοπενίες ή τοξικότητες).

Τα φυτά, ανεξάρτητα αν καλλιεργούνται στο χώμα ή σε υδροπονία έχουν τις ίδιες θρεπτικές ανάγκες. Αυτό που διαφοροποιεί τη λιπαντική πρακτική στην υδροπονία είναι το μέσο καλλιέργειας (αδρανές υπόστρωμα) και οι φυσικοχημικές του ιδιότητες που ορίζουν το περιβάλλον της ρίζας. Γι' αυτό και προϋπόθεση για την επιτυχία της υδροπονίας είναι η ακρίβεια στη δοσομέτρηση των λιπασμάτων.

Σε ότι αφορά τα λιπάσματα, στην υδροπονία συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται υδατοδιαλυτά λιπάσματα, όπως νιτρικό κάλιο, νιτρικό

ασβέστιο, θειικό μαγνήσιο, κ.λ.π. Για την κατάρτιση των προγραμμάτων λίπανσης στην περίπτωση των υδροπονικών καλλιέργειών θα πρέπει να έχουμε υπόψη:

- ✦ Τα ιδανικά επίπεδα για τα θρεπτικά στοιχεία της καλλιέργειας.
- ✦ Τη συγκέντρωση των ιόντων στο νερό.
- ✦ Την επιθυμητή τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και του pH του διαλύματος.

Ο σχεδιασμός του προγράμματος λίπανσης έχει ως στόχο τη συνεχή προσφορά των απαραίτητων για τα φυτά μακρο- και ίχνο-στοιχείων, στην ιδανική κατά περίπτωση (είδος καλλιέργειας, στάδιο ανάπτυξης, κλιματικές συνθήκες κ.λ.π.) αναλογία. Εκτός από την ολική ποσότητα του κάθε στοιχείου μας ενδιαφέρουν και οι σχετικές αναλογίες μεταξύ τους. Όσον αφορά τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται η ποικιλία είναι μεγάλη, αλλά η εκλογή γίνεται ανάλογα με το κόστος, τη διαλυτότητα και τη σύνθεσή τους.

4.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ

Περιλαμβάνει:

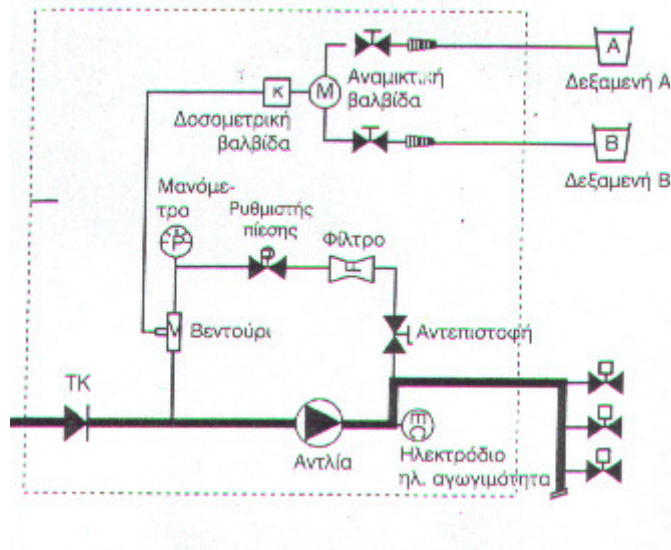
1. Την εγκατάσταση παροχής νερού [πηγάδι (γεώτρηση), σύνδεση με αρδευτικό δίκτυο, κ.λ.π.]. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την έναρξη της καλλιέργειας είναι το νερό άρδευσης να έχει καλή ποιότητα, καθώς επίσης μεγάλη και σταθερή ποσότητα. Τα υλικά της εγκατάστασης (σωληνώσεις κ.λ.π.) να μην απελευθερώνουν στο νερό ουσίες ή ιόντα (π.χ. Zn) σε συγκεντρώσεις που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στην καλλιέργεια.
2. Τις συσκευές καθαρισμού του νερού (φίλτρα νερού). Τα φίλτρα καθαρισμού νερού είναι απαραίτητα για τον καθαρισμό του νερού

από στερεά σωματίδια, όπως άμμος, άργιλος, σπόροι φυτών, μικροοργανισμοί, κ.λ.π., που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στο σύστημα παροχής του διαλύματος στα φυτά.

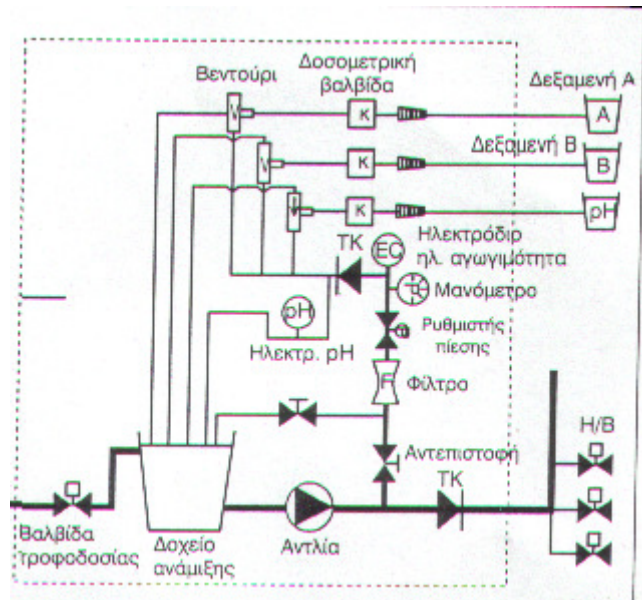
3. Τα δοχεία (δεξαμενές) πυκνών ή μητρικών διαλυμάτων (τουλάχιστον δύο), μέσα στα οποία διαλύονται αρχικά τα λιπάσματα με νερό. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά, αρχικά τοποθετούνται σε μεγάλα δοχεία χωρητικότητας 50-1.000 λίτρων (ή και μεγαλύτερων ορισμένες φορές). Μέσα στα δοχεία αυτά προστίθεται φυσικό νερό από την πηγή άρδευσης σε ποσότητα ανάλογη της χωρητικότητάς τους. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία είναι πλήρως υδατοδιαλυτά με συνέπεια να διαλύονται πλήρως μέσα στο νερό και να προκύπτει έτσι ένα διάλυμα λιπασμάτων. Οι ποσότητες των λιπασμάτων που τοποθετούνται μέσα στο δοχείο όμως είναι πολλαπλάσιες (συνήθως 100πλάσιες ή 200πλάσιες) από αυτές που απαιτούνται για να προκύψουν οι επιθυμητές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων μέσα στο δοχείο μετά το γέμισμά του με νερό. Επομένως το διάλυμα λιπασμάτων που προκύπτει στο δοχείο είναι ένα πυκνό διάλυμα με συγκεντρώσεις στοιχείων πολλαπλάσιες από αυτές που ενδείκνυται για τη θρέψη των φυτών και κατά συνέπεια πριν αποσταλεί στα φυτά θα πρέπει να αραιώνεται. Για το λόγο αυτό τα διαλύματα των λιπασμάτων που σχηματίζονται μέσα στα δοχεία αυτά ονομάζονται πυκνά ή μητρικά διαλύματα και τα δοχεία που τα περιέχουν, δοχεία πυκνών ή μητρικών διαλυμάτων. Για να επιτευχθεί ο κατάλληλος συνδυασμός συγκεντρώσεων θρεπτικών στοιχείων κατά την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος κατάλληλου για τη θρέψη της καλλιέργειας είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση περισσότερων του ενός λιπασμάτων.

Ορισμένα λιπάσματα όμως δε μπορούν να τοποθετηθούν μαζί μέσα στο ίδιο δοχείο πυκνών διαλυμάτων και να αναμειχθούν μεταξύ τους (π.χ. νιτρικά με θειικά-φωσφορικά). Γι' αυτό το λόγο απαιτούνται τουλάχιστον δύο δοχεία πυκνών διαλυμάτων (δοχείο Α και δοχείο Β), ενώ κατά κανόνα υπάρχει και ένα τρίτο στο οποίο τοποθετείται συνήθως νιτρικό οξύ, για τη ρύθμιση του pH του διαλύματος. Τα δοχεία των πυκνών διαλυμάτων είναι κατασκευασμένα από πλαστικό για να αποφεύγεται η διάβρωση και η οξειδωση που μπορεί να δημιουργηθούν από τα πυκνά διαλύματα. Είναι εφοδιασμένα με σύστημα ανάδευσης για την καλύτερη διάλυση των λιπασμάτων και για εκ νέου ομογενοποίηση σε περίπτωση δημιουργίας ιζήματος. Η χωρητικότητα των δοχείων (δεξαμενών) των πυκνών διαλυμάτων επιλέγεται με βάση το διαθέσιμο χώρο στο σημείο που είναι εγκατεστημένο το σύστημα παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος, όπως και με την έκταση της καλλιέργειας. Γενικότερα, τα δοχεία πυκνού διαλύματος θα πρέπει να έχουν αρκετά μεγάλη χωρητικότητα, έτσι ώστε τα πυκνά διαλύματα που παρασκευάζονται κάθε φορά να επαρκούν για αρκετές ημέρες. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η περιττή σπατάλη εργατικών για συχνή παρασκευή πυκνών διαλυμάτων.

4. Το σύστημα αραιώσης των πυκνών διαλυμάτων με το νερό της άρδευσης και παροχής του αραιωμένου διαλύματος στα φυτά. Η αραιώση των πυκνών διαλυμάτων γίνεται αυτόματα μέσω της κεντρικής μονάδας ελέγχου θρεπτικών διαλυμάτων.



Εικ. 25 Σύστημα κατευθείαν έγχυσης του θρεπτικού διαλύματος στο δίκτυο άρδευσης (direct system injection)



Εικ. 26 Σύστημα με ανάμιξη σε κάδο πριν την τροφοδοσία του δικτύου άρδευσης (mixing tank principle)

Η ανάμιξη των λιπασμάτων με το νερό μπορεί να γίνει είτε σε κάδο ανάμιξης και μετά να μεταφερθεί στα φυτά είτε με κατευθείαν έγχυση στο δίκτυο (σχ.6). Για την αραιώση των πυκνών διαλυμάτων, μονάδα περιλαμβάνει:

- Κάδο ανάμιξης χωρητικότητας 150 λίτρων, στον οποίο γίνεται η ανάμιξη του νερού με τα πυκνά διαλύματα (σε περίπτωση που ακολουθείται το σύστημα αυτό).
- Αντλίες που τροφοδοτούν το σύστημα παρασκευής του διαλύματος με νερό, αλλά και το έτοιμο διάλυμα στο σύστημα παροχής του διαλύματος προς τα φυτά.
- Σωλήνα που εισάγει το νερό του δικτύου στον κάδο ανάμιξης.
- Σωλήνες εισαγωγής των πυκνών διαλυμάτων στον κάδο ανάμιξης ή στο δίκτυο σε ίσο αριθμό με τον αριθμό των δοχείων μητρικών διαλυμάτων.
- Δοσομετρικές βαλβίδες για τον έλεγχο εισαγωγής των πυκνών διαλυμάτων στον κάδο ανάμιξης, από μία για κάθε σωλήνα εισαγωγής.
- Βεντούρι για την έγχυση των λιπασμάτων στον κάδο ανάμιξης.
- Ηλεκτρόδια για τη μέτρηση του pH και της EC του διαλύματος κατά την έξοδό του από τον κάδο ανάμιξης, μέσω του σωλήνα εξαγωγής του έτοιμου διαλύματος.
- Σωλήνα εξαγωγής του έτοιμου διαλύματος.

Για τη μεταφορά του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά είναι απαραίτητη μία αντλία, η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη στη μονάδα αραίωσης των λιπασμάτων και είναι συνδεδεμένη με την έξοδο του αραιού διαλύματος από τον κάδο ανάμιξης. Η μεταφορά του διαλύματος στα φυτά γίνεται μέσω ενός δικτύου εύκαμπτων σωλήνων από μαύρο πλαστικό πολυαιθυλένιο κατάλληλης διατομής. Ο κεντρικός αγωγός που ξεκινάει από τη μονάδα ανάμιξης λιπασμάτων συνδέεται μέσω κατάλληλων μεσαγωγών με πλευρικούς αγωγούς (Φ20-Φ25). Κάθε πλευρικός αγωγός τροφοδοτεί με διάλυμα δύο γραμμές φυτών. Οι πλευρικοί αυτοί αγωγοί φέρουν μικροσωλήνες (spaghetti tubes) σε κάθε θέση φυτού, μέσω των οποίων γίνεται η διανομή του διαλύματος σε αυτά.

4.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος μπορεί εύκολα να καθοριστεί αφού υπάρχουν προτεινόμενες «συνταγές» από πολλούς ερευνητές και μελετητές ανάλογα με το καλλιεργούμενο φυτό. Παρόλα αυτά όμως, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες, αφού σε αυτές το νερό που χρησιμοποιείται είναι απιονισμένο ή βρόχινο, ενώ στις καλλιέργειες χρησιμοποιείται νερό από γεωτρήσεις, φράγματα ή φυσικές πηγές, όπου περιέχεται μεγάλος αριθμός ιόντων. Επίσης οι κλιματολογικοί παράγοντες, το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται κ.λ.π., παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων επομένως και στη σύνθεση του διαλύματος.

4.5.1 Σύστημα A/B δεξαμενών

Είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα στις μέρες μας, αποτελείται από δύο δεξαμενές A και B, οι οποίες περιέχουν θρεπτικά διαλύματα 100 φορές μεγαλύτερης συγκέντρωσης από αυτή που χρειάζονται τα φυτά. Η χρήση δύο διαφορετικών δεξαμενών οφείλεται στην ανάγκη για διαχωρισμό των θεικών και των φωσφορικών από το ασβέστιο και το χηλικό σίδηρο. Ο διαχωρισμός αυτός πρέπει να γίνει, προκειμένου να εμποδιστεί η δημιουργία ιζήματος, από την αντίδραση των λιπασμάτων μεταξύ τους, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των διαλυμάτων. Μια τρίτη δεξαμενή περιέχει οξύ ή βάση για τη ρύθμιση του pH.

4.5.2 Σύστημα δεξαμενών μεμονωμένων θρεπτικών στοιχείων

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τόσες δεξαμενές, όσα είναι τα βασικά θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά, συν μία επιπλέον για τα μικροστοιχεία (τα στοιχεία που απαιτούνται σε μικρότερες ποσότητες για τη θρέψη των φυτών).

Το σύστημα δοσομέτρησης και προετοιμασίας του διαλύματος άρδευσης μπορεί να λειτουργήσει με διάφορους εξοπλισμούς:

- ☀ **Σύστημα Venturi.** Σχετικά απλό σύστημα, χαμηλού κόστους, δεν παρέχει όμως βεβαιότητα ως προς την τελική σύνθεση.

- ☀ **Σύστημα υποπίεσης με αντλία.**

- ☀ **Σύστημα με μετρητικές αντλίες.**

Οι αντλίες πρέπει να είναι ανοξείδωτες και είναι υψηλού κόστους. Παρέχουν όμως απόλυτη ασφάλεια και ακρίβεια ως προς την τελική σύνθεση. Η αραίωση των διαλυμάτων, η ανάμιξη μεταξύ τους και η προσαρμογή του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του τελικού διαλύματος, μπορεί να γίνει είτε με τη βοήθεια ανάμικτης δεξαμενής (σύστημα με ανάμικτη δεξαμενή), είτε απευθείας στη γραμμή άρδευσης (σύστημα απευθείας παροχής).

4.5.3 Σύστημα με ανάμικτη δεξαμενή

Στα συστήματα με ανάμικτη δεξαμενή, όλες οι παροχές θρεπτικών στοιχείων και νερού (καθαρό νερό άρδευσης ή ανακυκλούμενο νερό, σε περίπτωση κλειστού συστήματος) καταλήγουν στην ανάμικτη δεξαμενή. Η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων στις δεξαμενές A/B ή η σχετική αναλογία των θρεπτικών στοιχείων μεταξύ τους είναι συγκεκριμένη για κάθε φυτό (ανάλογα με το είδος του φυτού, το στάδιο ανάπτυξης και τις κλιματικές συνθήκες). Το σύστημα αυτό λειτουργεί διαδοχικά (batch flow), δηλαδή πρώτα γίνεται προετοιμασία του διαλύματος και μετά η άρδευση.

Τα συστήματα με ανάμικτη δεξαμενή έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι λιγότερο ευαίσθητα στις διακυμάνσεις, γιατί η αναμικτική δεξαμενή δρα σαν «εξισορροπιστής». Έχει όμως το μειονέκτημα, ότι για την παρασκευή διαλύματος διαφορετικής σύνθεσης, η δεξαμενή θα πρέπει να εκκενωθεί αρχικά και να ξανασυμπληρωθεί με βάση τη νέα σύνθεση του διαλύματος. Αυτό είναι μειονέκτημα, όταν πρέπει να γίνει σύνθεση διαφόρων διαλυμάτων από μία εγκατάσταση, για περισσότερα από ένα είδη.

4.5.4 Σύστημα με απευθείας παροχή

Η παροχή θρεπτικών στοιχείων και νερού γίνεται απευθείας (on-line) στη γραμμή του αρδευτικού συστήματος που πηγαίνει στα φυτά. Λόγω του ότι δε μεσολαβεί αναμικτική δεξαμενή, η ανάμιξη γίνεται στους σωλήνες του αρδευτικού συστήματος με τη βοήθεια στατικού μίκτη.

Το σύστημα της άμεσης παροχής θρεπτικών στοιχείων στη γραμμή άρδευσης είναι πολύ ευαίσθητο στις διακυμάνσεις. Οποιαδήποτε αλλαγή στη ροή, έχει άμεση συνέπεια στην παροχή των θρεπτικών διαλυμάτων. Επίσης τα δικαυβονικά που υπάρχουν στο ανακυκλούμενο νερό κλειστών συστημάτων αντιδρούν με τα προστιθέμενα θρεπτικά στοιχεία. Αυτή η διαδικασία απαιτεί κάποιο χρόνο, με αποτέλεσμα το pH του διαλύματος στα τριχοειδή να διαφέρει από το pH που έχει το διάλυμα ακριβώς μετά την προσθήκη των θρεπτικών στοιχείων στο αρδευτικό σύστημα. Το γεγονός αυτό μπορεί πολύ εύκολα να οδηγήσει σε προβλήματα, με συνέπεια ακόμα και την καταστροφή όλης της καλλιέργειας.

4.6 ΔΙΑΝΟΜΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Γενικά η διανομή λιπασμάτων μέσω του νερού άρδευσης γίνεται με:

- Δοσομετρικές αντλίες: Ενδείκνυται για απευθείας διοχέτευση υγρού λιπάσματος στο αρδευτικό σύστημα και είναι φθηνή λύση, αλλά όχι ιδιαίτερα αξιόπιστη.
- Μηχανικούς αναμίκτης: Παρέχουν τη δυνατότητα ανάμιξης περοσσοτέρων του ενός αποθηκευμένων διαλυμάτων και ελέγχουν τη συγκέντρωση του διαλύματος.
- Αναμίκτης ελεγχόμενος από υπολογιστή: Παρέχουν τη δυνατότητα ανάμιξης περισσότερων αποθηκευμένων διαλυμάτων και ελέγχουν τη συγκέντρωση του διαλύματος, την οξύτητα για καθένα συνδυασμό αποθηκευμένων διαλυμάτων και την αναλογία των λιπασμάτων.

Έτσι, οι αναμίκτης αυτοί είναι οι μόνοι που έχουν την ικανότητα να μειώνουν την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυτόματα, σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία. Η σύνθεση του λιπάσματος παραμένει η ίδια αλλά μειώνεται η ποσότητα των διαφόρων λιπασμάτων στο διάλυμα.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω είναι φανερό ότι με τη χρησιμοποίηση των ελεγχόμενων από ηλεκτρονικό υπολογιστή (H/Y) αναμικτών, εξασφαλίζεται η δημιουργία βέλτιστου θρεπτικού διαλύματος για κάθε καλλιέργεια και κάθε χρονική στιγμή. Τα βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έναντι των άλλων μεθόδων διανομής λιπασμάτων είναι τα εξής:

- ✦ **Ρύθμιση της αγωγιμότητας.** Το εξελιγμένο σύστημα τροφοδοσίας των αναμικτών αυτών εξασφαλίζει τη ρύθμιση των τιμών EC σε όσο το δυνατό μικρότερο χρονικό διάστημα. Η βέλτιστη τιμή της αγωγιμότητας αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, η τιμή της αγωγιμότητας πρέπει να ελαττωθεί. Πρέπει δηλαδή να μειώνεται ή να αυξάνεται η

συγκέντρωση του λιπάσματος. Η εκτίμηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται από αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας που συνεργάζεται με το μηχάνημα.

✦ **Έλεγχος του pH.** Η τιμή του pH μας δείχνει πόσο όξινο ή βασικό είναι το θρεπτικό διάλυμα. Όταν η τιμή του pH είναι πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή, πολλά λιπάσματα δεν μπορούν να απορροφηθούν από τα φυτά. Σε πολύ χαμηλό pH για παράδειγμα τα φυτά παρουσιάζουν μεγάλη έλλειψη σε ασβέστιο, κάλιο και μολυβδαίνιο, ενώ σε πολύ υψηλό επίπεδο η έλλειψη είναι μεγαλύτερη σε φώσφορο, μαγγάνιο και βόριο. Με λανθασμένη λοιπόν τιμή pH είναι αναγκαία η δοσολογία περισσότερου λιπάσματος για να εξασφαλιστεί ότι τα φυτά προσλαμβάνουν όλες τις θρεπτικές ουσίες που χρειάζονται. Η σωστή τιμή του pH εξοικονομεί λίπασμα και προς αυτή την κατεύθυνση εργάζονται οι αναμίκτες αυτοί.

✦ **Διαχείριση των αρδευτικών κύκλων.** Σε μεγάλες θερμοκηπιακές καλλιέργειες είναι απαραίτητη η ύπαρξη προγραμματιστή άρδευσης, που θα διαχειρίζεται την άρδευση βάσει προγράμματος που έχει εισάγει ο παραγωγός. Πολλοί αναμίκτες που απευθύνονται σε μεγάλες καλλιέργειες είναι εξοπλισμένοι με ηλεκτρονικό προγραμματιστή άρδευσης, ώστε να εξασφαλίζεται απόλυτα ακριβής άρδευση. Ο παραγωγός ορίζει τη σειρά των ηλεκτροβανών, το χρόνο άρδευσης και τις συνθήκες έναρξης της άρδευσης (δηλαδή άρδευση βάσει καθορισμένης ώρας, κατόπιν εκτίμησης της ηλιακής ακτινοβολίας, της εξάτμισης, κ.λ.π.) φυσικά του δίνεται η δυνατότητα και χειροκίνητης άρδευσης. Οι αναμίκτες μπορούν εκτός από τις ηλεκτροβάνες, να διαχειρίζονται και ηλεκτροβάνες υδρονέφωσης με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

✦ **Ευελιξία.** Οι ηλεκτροβάνες μπορούν να χωριστούν σε ομάδες με σκοπό την άρδευση – υδρονέφωση με διαφορετικό θρεπτικό διάλυμα

για κάθε ομάδα. Το κάθε θρεπτικό διάλυμα (συνταγή) μπορεί να παραχθεί από ανεξάρτητες δεξαμενές θρεπτικών διαλυμάτων. Οι ρυθμίσεις κάθε βάνας μπορεί να είναι διαφορετικές από άλλη βάνα ακόμα και της ίδιας ομάδας.

✦ **Σωστή σύνθεση θρεπτικού διαλύματος.** Οι αναμίκτες μπορούν να τροφοδοτούν διαφορετικού είδους καλλιέργειες ή καλλιέργειες του ίδιου φυτού σε διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης. Ανάλογα με το είδος του αναμίκτη μπορούμε να έχουμε έναν αριθμό διαφορετικών συνταγών λίπανσης. Μετά την ολοκλήρωση ενός αρδευτικού κύκλου είναι απαραίτητη η έκπλυση του κάδου ανάμιξης των λιπασμάτων, ώστε να απομακρύνονται υπολείμματα θρεπτικού διαλύματος που δεν είναι κατάλληλα για την άρδευση της επόμενης καλλιέργειας. Φυσικά αυτό γίνεται αυτόματα με την άρδευση για μικρό χρονικό διάστημα της καλλιέργειας με καθαρό νερό (π.χ. 1 λεπτό). Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνονται τα υπολείμματα και από την αντλία του μηχανήματος, τους σωλήνες διανομής, κ.λ.π. και αποφεύγεται πιθανή διάβρωση μεταλλικών μερών του συστήματος, στερεοποίηση στοιχείων, με αποτέλεσμα φράξιμο των σωλήνων, κ.λ.π.

✦ **Συναγερμοί.** Οι αναμίκτες είναι εφοδιασμένοι με σειρά συναγερμών, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή άρδευση των καλλιεργειών. Έτσι σε κάθε απόκλιση από τις τιμές που ο παραγωγός έχει ορίσει, εμφανίζεται συναγερμός. Με αυτόν τον τρόπο, η καλλιέργεια δεν τροφοδοτείται με θρεπτικό διάλυμα που δεν ανταποκρίνεται απόλυτα στις επιθυμητές τιμές pH και EC. Επίσης, η ύπαρξη συναγερμών προστατεύει και το ίδιο το σύστημα από πιθανές ζημιές. Εξασφαλίζεται λοιπόν, η άρδευση των καλλιεργειών μόνο με το βέλτιστο (κατά περίπτωση) θρεπτικό διάλυμα και μόνο στη περίπτωση που η άρδευση θα έχει επίσημα επίδραση στα φυτά διακόπτεται εντελώς η τροφοδότηση του θρεπτικού διαλύματος. Και

σε αυτήν την περίπτωση δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρακάμψει τον αναμίκτη και να αρδεύσει με καθαρό νερό (by pass).

✦ **Ρύθμιση άρδευσης μέσω των κλιματολογικών συνθηκών.** Σε εγκαταστάσεις, όπου το κλίμα ελέγχεται με υπολογιστή, οι αναμίκτες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες του χώρου. Έτσι η αγωγιμότητα του νερού της άρδευσης μπορεί να ρυθμίζεται ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία. Σε υψηλή ακτινοβολία, ο αναμίκτης μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να μειώνει την αγωγιμότητα αναλογικά με την αυξανόμενη ακτινοβολία.

✦ **Ανακύκλωση.** Οι αναμίκτες είναι ιδανικοί για τη χρησιμοποίησή τους σε εγκαταστάσεις όπου οι απαιτήσεις σε ρύθμιση pH και EC είναι μεγάλες, π.χ. N.F.T. Στις υδροπονικές καλλιέργειες με ανακύκλωση, όπου επαναχρησιμοποιείται το πλεονάζων νερό, το σύστημα ελέγχου λαμβάνει αυτόματα υπόψη όλες τις καταχωρημένες τιμές pH και EC του ανακυκλωμένου διαλύματος και προσθέτει τις αναγκαίες ποσότητες λιπασμάτων και οξέος, ώστε να προκύψει διάλυμα με τις επιθυμητές τιμές pH και EC. Αυτή η διαδικασία ανακύκλωσης εξοικονομεί λίπασμα και νερό. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού αποστράγγισης, είναι αποδεδειγμένα η πιο οικολογική λύση στις υδροπονικές καλλιέργειες, με την προϋπόθεση ότι ο αναμίκτης μπορεί να τροφοδοτηθεί και από δεξαμενές συγκέντρωσης του νερού αποστράγγισης. Έρευνες που έχουν γίνει παρουσιάζουν εξοικονόμηση νερού άρδευσης της τάξης 30% και λιπασμάτων της τάξης του 50%.

✦ **Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα μηχανήματα.** Αποτελώντας ένα μόνο κομμάτι μιας ολοκληρωμένης εγκατάστασης, οι αναμίκτες μπορούν να συνδεθούν με άλλα μέρη του συστήματος με σκοπό τη διευκόλυνση της διαχείρισης της καλλιέργειας. Έτσι μπορούν να συνδεθούν με ηλεκτρονικό υπολογιστή (PC) μέσω ειδικών προγραμμάτων, με σκοπό τον έλεγχο, ρύθμιση και εποπτεία από

απόσταση των κλιματολογικών συνθηκών, της ανάμιξης και της άρδευσης, αλλά και συλλογή και επεξεργασία των συλλεχθέντων στοιχείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗΣ	96
5.1.1	ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	96
5.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΗ	98
5.2.1	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	98
5.2.2	ΡΗ	99
5.3	ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	99
5.4	ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	101

5.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΕΨΗΣ

Το περιβάλλον της ρίζας των φυτών αποτελείται από το νερό, τον αέρα τα θρεπτικά στοιχεία και τους οργανισμούς σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η επιτυχημένη διαχείριση του ριζικού περιβάλλοντος σημαίνει τη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη του φυτού. Η συνεχής παρακολούθηση και καταγραφή του επιπέδου των θρεπτικών στοιχείων και των αναλογιών τους, του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των πιθανών ανόργανων τοξινών, όπως νάτριο, χλώριο και θειικά είναι απαραίτητη για τη διαχείριση του περιβάλλοντος της ρίζας.

5.1.1 Επιλογή υποστρώματος

Τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος (κοκκομετρία και πορώδες) επηρεάζουν το βάρος του, την ποσότητα αέρα και νερού στο ριζικό περιβάλλον και την παροχή θρεπτικών στοιχείων στα φυτά. Οι πόροι του υποστρώματος εξαρτώνται από το μέγεθος των κόκκων. Όσο μειώνεται το μέγεθος, τόσο μειώνεται και το κενό και αντίθετα. Μειωμένο πορώδες σημαίνει αυξημένη αντίσταση στη ροή του νερού και συνεπώς αυξημένη δυνατότητα συγκράτησης νερού.

Το νερό που συγκρατείται στο υπόστρωμα, ανάλογα με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται με τα τεμαχίδια του υποστρώματος, διαχωρίζεται στο νερό που απορρέει, λόγω βαρύτητας, αμέσως μετά την άρδευση, στο νερό που είναι δεσμευμένο στους κόκκους του υποστρώματος και δεν είναι διαθέσιμο στα φυτά και στο νερό των τριχοειδών, που είναι διαθέσιμο στα φυτά.

Στα πλαίσια ελληνικού προγράμματος χρηματοδοτούμενου από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας με θέμα «Ανάπτυξη Υδροπονικού Συστήματος Τριανταφυλλιάς – ΑΣΥΤ» το εργαστήριο

Γ.Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών ξεκίνησε πείραμα, με σκοπό τη διερεύνηση της καλλιέργειας σε διάφορα υποστρώματα (ελαφρόπετρα, περλίτης και cocosoil). Τακτικές μετρήσεις της απορροής για κάθε υπόστρωμα ξεχωριστά έδειξαν ότι η ελαφρόπετρα και ο περλίτης έχουν μικρότερη δυνατότητα συγκράτησης θρεπτικού διαλύματος, με αποτέλεσμα να απαιτούν συχνές αρδεύσεις μικρών δόσεων, ενώ αντίθετα το cocosoil έχει μεγαλύτερη υδατοϊκανότητα, οπότε απαιτεί ένα πρόγραμμα άρδευσης αραιότερων αλλά μεγαλύτερων δόσεων. Σε κάθε γραμμή άρδευσης τοποθετήθηκε μετρητικός μηχανισμός της απορροής. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται άμεση εποπτεία της ποσότητας του νερού που δίνεται και της ποσότητας του νερού που απορρέει από τις τριανταφυλλίες.

Έτσι, για την ελαφρόπετρα και τον περλίτη διαπιστώθηκε ότι 4-5 δόσεις των 80 cm³ (ανά φυτό) είναι αρκετές για το χειμώνα και 9-10 δόσεις για το καλοκαίρι. Αντίστοιχα για το cocosoil είναι αρκετές 3 δόσεις των 115 cm³ για το χειμώνα και 6 δόσεις για το καλοκαίρι. Με τις δοσολογίες αυτές επιτυγχάνεται με αρκετή ακρίβεια ποσοστό αποστράγγισης περίπου 30%. Στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα σήμερα στην Ελλάδα γίνεται ουσιαστικά υπάρδευση, με ποσοστά απορροής που πλησιάζουν και το 90% του παρεχόμενου διαλύματος. Με στόχο ένα ποσοστό αποστράγγισης περίπου 30% της δόσης άρδευσης, όμως επιτυγχάνεται μεγάλη οικονομία σε λιπάσματα και νερό, ενώ οι ποσότητες του νερού που είναι πλούσιο σε νιτρικά και καταλήγει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα είναι μικρότερες.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι όλα τα υποστρώματα, με τη σωστή προσαρμογή της άρδευσης στις ιδιαιτερότητές τους δίνουν υψηλές αποδόσεις. Απαραίτητη κρίνεται η συνέχιση των πειραμάτων.

5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΗ

5.2.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η συνολική συγκέντρωση αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα ονομάζεται ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του μίγματος και είναι καθοριστική για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών. Εάν είναι πολύ χαμηλή τα φυτά, δεν προσλαμβάνουν αρκετό λίπασμα, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση της ανάπτυξης, την κακή ποιότητα και την ανάπτυξη ασθενειών στην καλλιέργεια. Εάν η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι πολύ υψηλή, τα φυτά δεν μπορούν να απορροφήσουν αρκετό νερό για τη διαπνοή, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το κλείσιμο των στοματίων και την αναστολή της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, δηλαδή ανικανότητα παραγωγής οργανικής ύλης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει χλώρωση (κιτρίνισμα), μάρανση, κάψιμο των φύλλων ή αργή ανάπτυξη. Στην αρχή της καλλιέργειας (όταν τα φυτά είναι μικρά) είναι επιθυμητή χαμηλή αγωγιμότητα. Όταν η αγωγιμότητα είναι υψηλή στο υπόστρωμα, είναι απαραίτητο να γίνεται έκπλυση με καθαρό νερό, προκειμένου να μειωθεί η αλατότητα.

Τα αίτια αύξησης της αγωγιμότητας μπορεί να είναι:

- Υπερλίπανση. Η εφαρμογή επεμβάσεων υψηλής συγκέντρωσης προκαλεί τη γρήγορη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Συχνές επεμβάσεις πιο χαμηλής συγκέντρωσης είναι πιο επιθυμητές από την εφαρμογή αραιών επεμβάσεων υψηλής συγκέντρωσης.
- Υπολείμματα λιπασμάτων. Στοιχεία όπως νάτριο, χλώριο, θειικά, που υπάρχουν σε λιπάσματα, αλλά δε χρησιμοποιούνται από τα φυτά μπορεί να συγκεντρωθούν στο υπόστρωμα.
- Ποιότητα του νερού άρδευσης. Υπάρχει περίπτωση το νερό να έχει μεγάλες ποσότητες νατρίου και ή χλωρίου.

- Εφαρμογή άρδευσης. Τα ποτίσματα πρέπει να γίνονται, ώστε κάθε φορά να υπάρχει αποστράγγιση, προκειμένου να μην έχουμε συσσώρευση αλάτων στο υπόστρωμα.

5.2.2 pH

Η οξύτητα ή η αλκαλικότητα του διαλύματος είναι σημαντικός παράγοντας στην πρόσληψη από τα φυτά των θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξή τους. Όταν η τιμή του pH είναι υψηλή, μειώνεται για παράδειγμα η πρόσληψη του φωσφόρου, μαγνησίου και βορίου, ενώ η χαμηλή τιμή επηρεάζει την πρόσληψη ασβεστίου και μολυβδαινίου. Στην περίπτωση που η τιμή του pH είναι πολύ υψηλή ή χαμηλή, είναι απαραίτητη η μείωση των λιπασμάτων, για να διασφαλίσουμε την πρόσληψη από τα φυτά όλης της εφαρμοζόμενης ποσότητας θρεπτικών στοιχείων, ώστε να έχουμε οικονομία στο λίπασμα. Η βέλτιστη τιμή pH κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 7,0, με την τιμή αυτή να διαφέρει από φυτό σε φυτό.

5.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Σ' ένα ανοιχτό υδροπονικό σύστημα είναι πολύ σημαντική η ρύθμιση της συχνότητας και διάρκειας της παροχής θρεπτικού διαλύματος, προκειμένου από τη μία να η γίνεται συγκέντρωση αλάτων στο υπόστρωμα (αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας) και από την άλλη να μη γίνεται μεγάλη απορροή, που σημαίνει μεγάλες απώλειες λιπασμάτων και συνεπώς αύξηση του κόστους της καλλιέργειας στα ανοιχτά συστήματα. Σε μία υδροπονική καλλιέργεια με υποστρώματα, η ρύθμιση της άρδευσης μπορεί να γίνει:

- **Με μοντέλα φυτών.** Με τα μοντέλα φυτών υπάρχει δυνατότητα πρόγνωσης των αναγκών των φυτών, λαμβάνοντας υπόψη τις καιρικές

συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης. Με τον τρόπο αυτό, προσαρμόζεται η άρδευση (εφαρμογή θρεπτικών διαλυμάτων) σύμφωνα με τις ανάγκες των φυτών, όπως αυτές φαίνονται από το μοντέλο. Τα μοντέλα είναι διαφορετικά για κάθε φυτό και τις περισσότερες φορές ανταποκρίνονται με μικρή ακρίβεια στην πραγματικότητα. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν για όλα τα φυτά.

- **Με μέτρηση της αποστράγγισης.** Σε μία υδροπονική καλλιέργεια με υποστρώματα, η εφαρμογή θρεπτικού διαλύματος (άρδευση) θα πρέπει να δίνει μία ημερήσια αποστράγγιση τουλάχιστον 20% του ποσού άρδευσης, προκειμένου να μην υπάρξει συσσώρευση αλάτων στα υποστρώματα.

Η μέτρηση λοιπόν της αποστράγγισης συμβάλει στη ρύθμιση της άρδευσης. Η μέτρηση της αποστράγγισης μπορεί να γίνει:

- Με μέτρηση της αποστράγγισης κατά σειρά. Στο τέλος κάθε σειράς καλλιέργειας γίνεται η μέτρηση της ποσότητας του διαλύματος που απορρέει από τους σάκους ή τις γλάστρες της σειράς.

- Με ενδεικτική μέτρηση ορισμένων μόνο σάκων. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν κάποιοι σάκοι με φυτά από τους οποίους μετράται η αποστράγγιση και με βάση αυτή τη μέτρηση προσαρμόζεται η άρδευση για όλη την καλλιέργεια, με την προϋπόθεση ότι οι σάκοι-δείγματα έχουν το ίδιο υπόστρωμα με τους υπόλοιπους σάκους της καλλιέργειας και τα φυτά είναι του ίδιου σταδίου ανάπτυξης.

Η μέτρηση της αποστράγγισης μπορεί να γίνει είτε με τη συγκέντρωση της ημερήσιας αποστράγγισης σε βαρέλια (το κανάλι της αποστράγγισης να καταλήγει σε βαρέλι), είτε πιο σύγχρονα με τη βοήθεια του μετρητή (tipping bucket), που βρίσκεται στο τέλος του καναλιού αποστράγγισης και όταν γεμίσει αδειάζει. Έτσι, γνωρίζοντας τη χωρητικότητά του και πόσες φορές άδειασε (στοιχείο που καταγράφεται στον ηλεκτρονικό

υπολογιστή), μπορεί να υπολογιστεί η αποστράγγιση της σειράς. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η αυτόματη (on line) προσαρμογή της άρδευσης, ενώ με τη μέθοδο των βαρελιών θα πρέπει ο καλλιεργητής κάθε φορά να ελέγχει την ποσότητα αποστράγγισης στο βαρέλι και να αλλάζει από μόνος του το πρόγραμμα άρδευσης, όταν χρειάζεται.

5.4 ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Απαραίτητη προϋπόθεση για το σωστό έλεγχο και λειτουργία υδροπονικής καλλιέργειας είναι ένα σωστό σύστημα αυτόματου ελέγχου. Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος με τίτλο «Διαχείριση και έλεγχος θερμοκηπίου» («Management and Control for Quality of greenhouse»/MACQU) που συντόνιζε το Εργαστήριο Γ.Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κατασκεύασε σύστημα αυτόματου ελέγχου περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, στα πλαίσια ενός νέου προγράμματος της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΑΣΥΤ), το σύστημα αυτό προσαρμόστηκε, ώστε να υποστηρίζει και να ελέγχει υδροπονική καλλιέργεια. Έχει τη δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης της σύνθεσης του τελικού διαλύματος που παρέχεται στα φυτά, με βάση τα χαρακτηριστικά που έχει ορίσει ο χρήστης – παραγωγός μέσω του προγράμματος. Επιπλέον, κάνει συνεχή έλεγχο της υδρολίπανσης, προκειμένου να μην παρεκκλίνουν οι παράμετροι (ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH) από τα όρια που έχουν οριστεί και να διορθώνονται αυτόματα.

Για παράδειγμα, υπάρχουν οθόνες με διάλογους, μέσω των οποίων ο χρήστης επικοινωνεί και θέτει τα όρια σε διάφορες παραμέτρους ή προσδιορίζει τις παραμέτρους άρδευσης. Ο χρήστης ορίζει ποιες θα πρέπει να είναι οι αναλογίες των πυκνών διαλυμάτων, για να σχηματιστεί το επιθυμητό τελικό θρεπτικό διάλυμα που πηγαίνει στα φυτά. Επίσης,

ορίζει τα όρια (ανώτατο, κατώτατο) της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH του τελικού διαλύματος, πέρα από τα οποία το σύστημα θα πρέπει να απορρίπτει το διάλυμα και να μην το στέλνει στα φυτά, μέχρι να το διορθώσει. Ακόμη μπορεί να ορίσει τις ώρες έναρξης της άρδευσης για τις διάφορες ημέρες της εβδομάδος.

Τέλος, το σύστημα αυτό έχει δυνατότητα με έξυπνες διαδικασίες να μαθαίνει από τα λάθη του και να αυτοδιορθώνεται. Επίσης, εάν ο χρήστης επιθυμεί μπορεί να συναρτήσει διάφορες παραμέτρους, όπως την ηλεκτρική αγωγιμότητα με τις κλιματικές συνθήκες και έτσι τα επιθυμητά επίπεδα να διορθώνονται με βάση τις καιρικές συνθήκες.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Η είσοδος της χώρας μας στις υδροπονικές καλλιέργειες και η σωστή διαχείρισή τους έχει μεγάλη σπουδαιότητα προκειμένου να μπορέσει να συμβαδίσει με τους συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς των απαιτήσεων της αγοράς και τον ανταγωνισμό.

Η Ελλάδα έχει άριστες κλιματικές προϋποθέσεις για ανάπτυξη του τομέα των θερμοκηπιακών υδροπονικών καλλιεργειών. Η ετήσια ηλιοφάνεια και θερμοκρασία βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, που επιτρέπουν την εφαρμογή καλλιεργειών με περιορισμένες απαιτήσεις σε θέρμανση. Τεχνητός φωτισμός δεν είναι απαραίτητος στις δικές μας συνθήκες, με εξαίρεση τα φυτά με ιδιαίτερες απαιτήσεις. Επίσης μπορούν να αξιοποιηθούν εγχώριες πρώτες ύλες (ελαφρόπετρα) ή προϊόντα (περλίτης) σαν υποστρώματα υδροπονικών καλλιεργειών.

Τα στοιχεία αυτά είναι πολύ σημαντικά γιατί μπορούν να φέρουν την Ελλάδα ανταγωνίσιμη σε ποιότητα, ποσότητα αλλά και σε τιμή προϊόντων με άλλες χώρες, οι οποίες έχουν σήμερα το προβάδισμα λόγω σωστής διαχείρισης και εντατικοποίησης των υδροπονικών καλλιεργειών, ενώ μειονεκτούν σε κλιματικές συνθήκες. Οι βόρειες ευρωπαϊκές χώρες, με χρήση υδροπονικών συστημάτων επιτυγχάνουν υπερδιπλάσια παραγωγή και καλό χρονισμό παραγωγής, ενώ έχουν απαλλαγεί από προβλήματα απολύμανσης του εδάφους, τα οποία αυξάνουν το κόστος, μειώνουν την παραγωγή και υποβαθμίζουν την ποιότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία:

1. Υδροπονικές καλλιέργειες και θρεπτικά διαλύματα, Γεώργιος Μαυρογιαννόπουλος
2. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. “Water and Nutrient Management for Greenhouses” NRAES-56.
3. Stanghellini C. Model the relationship of environmental conditions and nutrition with product quality: Final Report of MACQU Project (Management and control for quality in greenhouse- CT: AIR3-CT93-1603)
4. www.aquamist.com/hydroponics
5. www.hhydro.com
6. www.archimedes.galilei.com
7. www.growingedge.com
8. www.hydroponics.com/
9. www.howtohydroponics.com/
10. www.hydrmall.com/
11. www.hydroponics.net/
12. www.greenhousesolutions.com/
13. www.hydroponicsearch.com
14. www.wvu.edu/
15. <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00512.html>
16. <http://www.ipipotash.org/presentn/rtifohc.html>
17. <http://www.itrc.org/Chemigation/basics.pdf>
18. http://www.sardi.sa.gov.au/pages/horticulture/ofc/hort_ofc_fertigation.htm
19. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/environment/irrigation/special.htm>