ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ & ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ

ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
&
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

ΤΟΜΑΤΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2004

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Υδροπονία είναι κάθε μέθοδος καλλιέργειας και ανάπτυξης φυτών εκτός εδάφους, με χορήγηση θρεπτικών διαλυμάτων για την κάλυψη των αναγκών των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία και νερό. Η ανάπτυξη των φυτών γίνεται σε τεχνητά υποστρώματα ή κανάλια συνεχούς ροής θρεπτικού διαλύματος.

Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε αδρανή υποστρώματα στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα ή 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 που γίνεται στο έδαφος, είναι δύσκολο να επιτευχθεί ο συνδυασμός αυτός. Στο φυσικό έδαφος τις περισσότερες φορές παρουσιάζεται το εξής φαινόμενο, όσο περισσότερο νερό υπάρχει στο έδαφος τόσο λιγότερο οξυγόνο μένει και αντίθετα, με αποτέλεσμα πότε το ένα και πότε 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 με τα συστατικά του εδάφους και 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 υλικών, χημικά αδρανών με πολύ υψηλό πορώδες.

Σήμερα η υδροπονική καλλιέργεια είναι μια διαρκώς επεκτεινόμενη δραστηριότητα, διότι με τη βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνεται 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 κακή ποιότητα εδαφών όπως είναι τα πολύ αλατούχα και τα πολύ συνεκτικά ή σε θέσεις που το έδαφος για καλλιέργεια δεν επαρκεί.

Οι λόγοι ανάπτυξης της υδροπονικής καλλιέργειας δεν είναι μόνο οι παραπάνω. Ασκείται διότι παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα που είναι σημαντικά τόσο για το κέρδος του παραγωγού όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος οι λόγοι παρουσιάζονται παρακάτω

- Οικονομία νερού κατά την άρδευση της καλλιέργειας με αποτέλεσμα την διαφύλαξη του νερού του υδροφόρου ορίζοντα από την υπεράντληση.
- Βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου καρπού εφόσον μας δίνεται η δυνατότητα να παρέχουμε θρεπτικά στοιχεία την στιγμή που πραγματικά τα χρειάζεται το φυτό.
- Οικονομία λιπασμάτων. Επιτυγχάνεται με την τροφοδοσία του φυτού σε θρεπτικά στοιχεία την ώρα που θεωρούνται απαραίτητα και στην σωστή αναλογία.
- Αύξηση παραγωγής. Αυξάνεται η παραγωγή επειδή το φυτό λαμβάνει ότι χρειάζεται στην κατάλληλη στιγμή και το αξιοποιεί αμέσως.
- Προστασία περιβάλλοντος. Εν μέρει πετυχαίνουμε να προστατέυουμε το περιβάλλον από την υπεράντληση του νερού από τους υδροφόρους ορίζοντες εφόσον εδώ γίνεται ανάκυκλωση, και από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων.
- Μειωμένη χρήση φυτοφαρμάκων.
- Πλήρης έλεγχος και αυτοματοποίηση της παραγωγής.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας είναι :

- Ριζική αντιμετώπιση των ασθενειών των θερμοκηπιακών καλλιεργειών οι οποίες μεταδίδονται μέσω του εδάφους όπως το (fusarium sp, Verticilium sp, Pythium sp, Pyrinochaeta sp, έντομα εδάφους, νηματώδης, ορισμένα βακτήρια και φυτοϊοί, κ.λ.π.).
- Δεν απαιτείται η ανάγκη για καταπολέμηση των ζιζανίων που ανταγωνίζονται τα καλλιεργούμενα φυτά όπως γίνεται σε άλλη θερμοκηπιακή καλλιέργεια και στον αγρό.
- Δεν απαιτείται απολύμανση του εδάφους με συνέπεια να αποφεύγεται η εφαρμογή χημικών απολυμαντικών υψηλής τοξικότητας όπως το βρωμιούχο μεθύλιο, η χρήση των οποίων εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους τόσο για την υγεία των παραγωγών και των καταναλωτών αλλά και για το περιβάλλον.

- Μείωση των συνεχών χημικών ψεκασμών με συνεπώς την ανάπτυξη υγιέστερων φυτών με υψηλή θρεπτική περιεκτικότητα.
- Αντιμετώπιση των προβλημάτων χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου λόγω υπερβολικής εκμετάλλευσης είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (όπως τα πολύ βαριά ή πολύ ελαφρά εδάφη, και τα εναλαπτωμένα εδάφη κ.λ.π.).
- Μας δίνεται η δυνατότητα να διατηρούμε την ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία στον χώρο του ριζικού συστήματος ευκολότερα και με χαμηλότερο κόστος εφόσον οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα στον περιορισμένο όγκο των υποστρωμάτων ή των θρεπτικών διαλυμάτων, τα οποία μάλιστα βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
- Η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και με μεγαλύτερη αξιοπιστία και μπορεί να διορθώνεται άμεσα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει διαπραχθεί κάποιο λάθος.
- Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον παραγωγό από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όπως είναι το όργωμα, το φρεζάρισμα, και η βασική λίπανση) με αποτέλεσμα, να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά χέρια και αφετέρου να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης.
- Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζικό σύστημα κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων στις υδροπονικές καλλιέργειες.
- Η υδροπονική καλλιέργεια μπορεί να περιλαμβάνει και ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, με συνέπεια την ελαχιστοποίηση ή και τον μηδενισμό των προβλημάτων νιτρορύπανσης και ευτροφισμού τα οποία προκαλούνται από υπολείμματα λιπασμάτων από θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας είναι :

- ✓ Απαιτούνται αρκετά μεγάλες δαπάνες επένδυσης για την όλη εγκατάσταση.

- ✓ Είναι σχετικά ευαίσθητο σύστημα καλλιέργειας χωρίς μεγάλες ανοχές λαθών.
- ✓ Απαιτούνται περισσότερες γνώσεις από τον καλλιεργητή ή να υπάρχει κάποιος υπεύθυνος να επιτηρεί και να συντηρεί το υδροπονικό σύστημα.

Η υδροπονική καλλιέργεια, ειδικά όταν γίνεται στο θερμοκήπιο, όπως συνήθως συμβαίνει απαιτεί μεγάλο βαθμό τεχνικής επιδεξιότητας και καλή γνώση της θρέψης των φυτών.

Οι περιπτώσεις των φυτών που καλλιεργούνται υδροπονικά διαφέρουν από αυτές των φυτών που καλλιεργούνται στο έδαφος ως προς τη δημιουργία του περιβάλλοντος της ρίζας, είναι όμως ίδιες ως προς τη δημιουργία του περιβάλλοντος της κόμης, καθώς και στις καλλιεργητικές εργασίες όπως το κλάδεμα, τη γονιμοποίηση και τις καταπολεμήσεις παρασίτων της κόμης.

Τα προϊόντα της υδροπονικής καλλιέργειας, δεν διαφέρουν σε γεύση και άρωμα από αυτά που καλλιεργούνται με τον συνηθισμένο τρόπο στο έδαφος, μάλιστα περιέχουν ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες ακριβώς στην ίδια ποσότητα με τα υψηλής ποιότητας προϊόντα που παράγονται από φυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τομάτα είναι μια από τις καλλιέργειες στην οποία εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια η υδροπονική καλλιέργεια. Η καλλιέργεια της τομάτας έχει προσλάβει σημαντικές διαστάσεις τόσο σε διεθνές, όσο σε ευρωπαϊκό αλλά και εθνικό επίπεδο, λόγω της εξαιρετικής οικονομικής σημασίας της. Η παγκόσμια παραγωγή, καλύπτει περίπου 3 εκατομμύρια εκτάρια και οι αποδόσεις ανέρχονται στα 85 εκατομμύρια τόνους, αντιπροσωπεύοντας έτσι το 17% του συνόλου των κηπευτικών, το 70% προορίζεται στη νωπή κατανάλωση και το 30% στη μεταποίηση.

Η χώρα μας καταλαμβάνει μια ξεχωριστή θέση στο σύνολο της κοινοτικής παραγωγής αφού παράγει πάνω από 6 εκ. τόνους. Ένα μεγάλο ποσοστό παράγεται από τις υπό κάλυψη καλλιέργειες (θερμοκηπιακές) οι οποίες βρίσκονται κυρίως στην Κρήτη. Αν και παράγουμε στον Ελλαδικό χώρο μεγάλες ποσότητες και καλής ποιότητας καρπό, η εμπορική δυναμικότητά μας δεν είναι καλή. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη στρατηγικών δομών για την προώθηση της παραγωγής που οδηγεί μεγάλα ποσοστά της παραγωγής στην καταστροφή. Η αύξηση του τουρισμού ευτυχώς έχει σαν αποτέλεσμα ένας μεγάλος όγκος του προϊόντος να καταναλώνεται στη χώρα μας.

Ανάμεσα στους βασικούς παράγοντες που υπογραμμίζονται σήμερα από μια μεγάλη μερίδα τεχνικών, ως προαπαιτούμενα για την καθιέρωση της χωρίς έδαφος καλλιέργειας, είναι οι ολοένα πιο περιοριστικές νομοθετικές ρυθμίσεις της Ε.Ε που αφορούν την απολύμανση του εδάφους.

Το αυξανόμενο κόστος παραγωγής και ο μεγάλος εμπορικός ανταγωνισμός υποχρεώνουν τους καλλιεργητές θερμοκηπίων σε μια όλο και πιο ολοκληρωμένη εξειδίκευση, εφόσον εκ των πραγμάτων οδηγούνται στην εντατικοποίηση της καλλιέργειας, δηλαδή στην αναπόφευκτη επανάληψη της καλλιέργειας στον ίδιο χώρο, με συνέπεια την γρήγορη υποβάθμιση της γονιμότητας του εδάφους έχουμε την εμφάνιση παθογόνων στο έδαφος που βλάπτουν το ριζικό σύστημα των φυτών και είναι όλο και πιο δύσκολο να ελεγχθούν, αν δεν χρησιμοποιηθούν «σκληρά» απολυμαντικά εδάφους. Με αυτό το σκεπτικό, οι υδροπονικές καλλιέργειες έχουν την δυνατότητα και πρέπει να συντελέσουν στον περιορισμό αυτών των φαινομένων αφού προς το παρόν αποτελούν τη μόνη εναλλακτική λύση μιας και η συνεχής ανανέωση του υποστρώματος δεν μας αναγκάζει να προβούμε στις παραδοσιακές αμειψισπορές, για να ξεπεράσουμε τα προβλήματα που προκύπτουν από την κούραση του εδάφους.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι οι χωρίς έδαφος καλλιέργειες αποτελούν μια αξιόπιστη λύση σε όλες εκείνες τις περιπτώσεις όπου η δυνατότητα παροχής και διάθεσης ενός γόνιμου εδάφους αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τις υπό κάλυψη καλλιέργειες. Είναι μια διαπίστωση που αντικατοπτρίζει ωστόσο, μερικώς τη σημερινή πραγματικότητα.

Ξέχωρα από τις ανάγκες που διαμορφώνονται μέσα από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες ή τους περιοριστικούς κανονισμούς της Ε.Ε παραμένει πάντα το γεγονός ότι, οι επιλογές του παραγωγού έχουν και θα πρέπει πάντα να έχουν στόχο το κέρδος. Η βελτίωση της ποιότητας τόσο της εμπορικής όσο και της θρεπτικής καθώς και η αύξηση των αποδόσεων, αν συνδυαστούν με την άριστη διαχείριση, παράλληλα τον περιορισμό του κόστους παραγωγής, σημαίνει για τον παραγωγό μεγαλύτερο κέρδος. Αυτό από μόνο του αποτελεί το μόνο πραγματικό κίνητρο που μπορεί να τον ωθήσει αποφασιστικά στην εφαρμογή των νέων τεχνικών από τους καλλιεργητές

Σήμερα ένα σύστημα υδροπονίας στοιχίζει λιγότερο από τη συμβατική καλλιέργεια στο έδαφος, μειώνοντας το κόστος παραγωγής ανά kg παραγωγής.

Σε μια υδροπονική καλλιέργεια όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή θα πρέπει να βρίσκονται κάτω από τον απόλυτο έλεγχο του παραγωγού. Με την επιλογή του σωστού τύπου θερμοκηπίου και του άριστου υποστρώματος καθώς και του καλού συστήματος υδρολίπανσης όπως φίλτρα, δοσομετρητές, μακαρονάκι, και κατάλληλης ποικιλίας στο συγκεκριμένο περιβάλλον αποτελούν βασικό εμπορικό στόχο και είναι το πρώτο και βασικότερο βήμα, όμως είναι απαραίτητη η παρουσία του παραγωγού και η στενή παρακολούθηση του συστήματος, για να διορθώνει και να προσαρμόζει συνεχώς τον κλιματισμό, και για να συλλέγει και να ερμηνεύει τα θρεπτικά δεδομένα, ώστε να «διαβάζει» τις ανάγκες του φυτού και να εφαρμόζει έγκαιρα τις καλλιεργητικές επιλογές ώστε να προχωράει στις επεμβάσεις φυτοπροστασίας.

2. Η ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

2.1. Αναγκαία στοιχεία για τη θρέψη των φυτών.

Τα κριτήρια για την αναγκαιότητα ενός ανόργανου στοιχείου στην ανάπτυξη των φυτών είναι :

- ✓ Από την δυνατότητα του φυτού να συμπληρώσει τον βιολογικό του κύκλο με την έλλειψη του στοιχείου.
- ✓ Από την επίδραση του στοιχείου στο φυτό αν δεν μπορεί να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο θρεπτικό στοιχείο.
- ✓ Το στοιχείο θα πρέπει να σχετίζεται άμεσα με το μεταβολισμό του φυτού, όπως να αποτελεί δομικό στοιχείο ενός ενζύμου ή απαιτείται η παρουσία του για μια ενζυματική αντίδραση.

Σήμερα στην γεωργία απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία θεωρούνται τα στοιχεία(N, P, C, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, Bo, Mo, Co). Όσο οι αναλυτικές μέθοδοι γίνονται ακριβέστερες και παράγονται καθαρότερες χημικές ουσίες, υπάρχει η πιθανότητα ο κατάλογος να αυξάνεται όπως τα τελευταία χρόνια βρέθηκε για ορισμένα φυτά ότι για την ανάπτυξή τους, απαραίτητα είναι και το Na, το πυρίτιο και πιθανόν το Cl.

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 είναι οι πρωτεΐνες, και τα νουκλεϊκά οξέα. Επίσης η δράση τους χαρακτηρίζεται από την δυνατότητα να ρυθμίζουν τα οσμωτικά φαινόμενα στο φυτό. Έτσι ανάλογα με την λειτουργικότητα, δημιουργεί την ανάγκη για μεγαλύτερη συγκέντρωση στο φυτό ή για μικρότερη. Οπωσδήποτε η συγκέντρωση που είναι αναγκαία για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών, δεν είναι ίδια για όλα τα φυτά εξαρτάται από το είδος του φυτού και τη συγκέντρωση των άλλων στοιχείων που υπάρχουν στο έδαφος ή στο ίδιο το φυτό.

2.2 Μηχανισμοί απορρόφησης των ιόντων από το φυτό.

Υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της συγκέντρωσης ιόντων στο εδαφικό διάλυμα και των ιόντων που απαιτούνται από το φυτό. Ο μηχανισμός απορρόφησης του φυτού επομένως θα πρέπει να είναι επιλεκτικός.

Η επιλεκτικότητα αυτή φαίνεται πολύ καλά στα άλγη, όπου το εξωτερικό διάλυμα που υπάρχει εντός του χυμοτοπίου του κυττάρου ξεχωρίζουν μόνο από δύο μεμβράνες, την κυτταρική μεμβράνη και τον τονοπλάστη. Επίσης στα θαλάσσια φυτά, το K^+ βρίσκεται σε χαμηλότερη συγκέντρωση στα φυτά απ' ότι στο θαλάσσιο διάλυμα.

Η δυνατότητα απορρόφησης των ιόντων από το φυτό εξαρτάται :

1. Από την *επιλεκτικότητα* του φυτού. Μερικά ιόντα προτιμούνται και απορροφώνται, ενώ άλλα όχι.
2. Από την *συσσώρευση*. Η συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων στα κύτταρα μπορεί να είναι υψηλότερη από αυτήν του εξωτερικού διαλύματος.
3. Από την *κληρονομικότητα*. Υπάρχουν συγκεκριμένες διαφορές μεταξύ των διαφόρων ειδών φυτών στην απορρόφηση ιόντων.

2.3 Πρόσληψη και μεταφορά του νερού στα φυτά.

Το πιο άφθονο συστατικό σ' ένα ζωντανό φυτικό κύτταρο είναι το νερό. Το νερό συμμετέχει σε ποικίλες βιοχημικές διαδικασίες του κυττάρου αφού αποτελεί :

1. Τη βασικότερη ουσία για τη σύνθεση των οργανικών του συστατικών
2. Το μέσο διασποράς των κολλοειδών ουσιών του πρωτοπλάσματος, στο οποίο παίρνουν μέρος όλες οι ζωικές αντιδράσεις.
3. Το μέσο δια του οποίου διαλυμένες ουσίες κινούνται απο κύτταρο σε κύτταρο
4. Πηγή της σπαργής στα φυτικά κύτταρα και τέλος
5. Τον κύριο ρυθμιστικό παράγοντα του φυτικού σώματος.

Επιπλέον υπάρχουν και μερικές χρήσεις του νερού που αποδίδινται αποκλειστικά και μόνο στα πράσινα φυτά, όπως για παράδειγμα οτι το νερό είναι ο τροφοδότης πρωτονίων, που θα προκαλέσουν την αναγωγή των προϊόντων δέσμευσης του CO_2 στη φωτοσύνθεση.

2.4 Χαρακτηριστικά της απορρόφησης ιόντων

Ο ρυθμός μεταφοράς των ιόντων εξαρτάται από τις δυναμικές ιδιότητες των μεμβρανών και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ιόντων και των άλλων διαλυτών, όπως διάμετρος και το σθένος, που γενικά προσδιορίζουν το ρυθμό μεταφοράς διαμέσου της μεμβράνη. Για τα ιόντα με το ίδιο σθένος υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού απορρόφησης και της διαμέτρου του ιόντος, όπως Li και K^+ . Στην περίπτωση K^+ και Cs, παρότι έχουν σχεδόν την ίδια διάμετρο, η απορρόφηση του Cs είναι μικρότερη, που πιθανώς να οφείλεται στην μικρότερη συνάφεια της μεμβράνης με τους μεταφορείς. Επειδή οι μεμβράνες αποτελούνται από συστατικά που περιέχουν ομάδες ηλεκτρικά φορτισμένες, όπως είναι το φώσφορο, τα θειολιπίδια και οι πρωτεΐνες, τα ιόντα αντιδρούν με τις ομάδες αυτές και κατά γενικό κανόνα ισχύει ότι όσο μεγαλύτερο σθένος έχουν, τόσο μικρότερο ρυθμό απορρόφησης έχουν. Επίδραση στην απορροφητικότητα έχει και η αύξηση του μεγέθους του ιόντος με την ενυδάτωση όσο αυξάνει το σθένος.

Η μεταβολική δραστηριότητα των κυττάρων επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στο ρυθμό απορρόφησης, γιατί τροφοδοτεί με ενέργεια τη διαδικασία της ενεργού μεταφοράς. Έτσι όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αναπνοή των κυττάρων, επηρεάζουν και την απορρόφηση των ιόντων είναι οι εξής :

- ✓ Το οξυγόνο
- ✓ Η θερμοκρασία
- ✓ Οι Υδατάνθρακες
- ✓ Το φως
- ✓ Το pH
- ✓ Αλληλεπίδραση ανιόντων και κατιόντων
- ✓ Η συγκέντρωση του θρεπτικού διαλύματος εξωτερικά της ρίζας

Το οξυγόνο O_2, και η θερμοκρασία έχοντας μια μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 10°C, αλλάζει η χημική αντίδραση με έναν συντελεστή 2, η οποία στις ενζυματικές αντιδράσεις συχνά είναι μεγαλύτερη από 2, υδατάνθρακες, φως(ένα μέρος της απαιτούμενης ενέργειας μπορεί να προέρχεται κατ' ευθείαν από φωτοφοσφωριλίωση ανεξάρτητα αναπνοής π.χ. στα πράσινα άλγη). Το φως στα βασικά φύλλα των

ανωτέρων φυτών επηρεάζουν την απορρόφηση, μια και η τροφοδοσία της ρίζας με υδατάνθρακες επηρεάζεται κυρίως από τα βασικά φύλλα.

2.5 Ο ρόλος του PH

Το pH παίζει σημαντικό ρόλο στην απορροφητικότητα των ιόντων.
Έτσι καθαρή απορρόφηση K^+ σε pH πολύ όξινο μειώνεται λόγω ανταγωνισμού για τις θέσεις εισόδου της πλασμομεμβράνης με το H^+.

Στα ανιόντα το χαμηλό pH επιδρά μάλλον ευνοϊκά στην απορρόφηση. Κατεβάζοντας το pH από το 7 στο 4 αυξάνουμε την απορρόφηση NO_3^- , ενώ μειώνεται η απορρόφηση NH_4^+ . Σε περιβάλλον χαμηλού pH μέσα στο κύτταρο, και έτσι εξηγείται τουλάχιστον ως ένα βαθμό η αρνητική επίδραση της NH_4 στην απορρόφηση των ιόντων K^+, Mg^{++},Ca^{++}.

2.6 ΣΥΝΕΡΓΙΣΜΟΣ

Θετική επίδραση στην απορρόφηση κατιόντων έχει η απορρόφηση ανιόντων και το αντίστροφο, από την ανάγκη να διατηρηθεί η ισορροπία του ηλεκτρικού φορτίου μέσα στα κύτταρα.

Το Ca^{++} ευνοεί την απορρόφηση του K^+ στα χαμηλά pH. Ένδειξη ότι το Ca^{++} αντιδρά με τα H^+ που δείχνουν αρνητική επίδραση στην απορρόφηση του K^+, με την καλή λειτουργία της μεμβράνης. Το Ca^{++} ως δισθενές ιόν αντιδρά με τις αρνητικά φορτισμένες φωσφορικές ρίζες των φωσφορολιπιδίων των μεμβρανών και τις σταθεροποιεί. Το Ca^{++} επομένως επηρεάζει τις φυσικοχημικές ιδιότητες των μεμβρανών.

Επειδή το Ca^{++} μπορεί να απομακρυνθεί από τις θέσεις του στις μεμβράνες με χειλικούς παράγοντες ή υψηλές συγκεντρώσεις H^+ και μεταλλικών κατιόντων (π.χ. αλουμινίου), η απαιτούμενη συγκέντρωση Ca++ στο εξωτερικό διάλυμα, για να διατηρηθεί η ακεραιότητα και επιλεκτικότητα της μεμβράνης, εξαρτάται από το pH και τη συγκέντρωση των ανταγωνιστικών κατιόντων.

Στα αλατούχα νερά το Ca^{++} βελτιώνει την ανάπτυξη των φυτών, διότι ευνοεί την απορρόφηση του K^+ αντί του Na^+. Η απουσία Ca^{++} κάνει τις μεμβράνες να μην

λειτουργούν καλά και επομένως και όλος ο μηχανισμός απορρόφησης. Οι μεμβράνες σ' αυτή την περίπτωση γίνονται λιγότερο επιλεκτικές.

2.7 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ-ΑΝΙΟΝΤΩΝ

Η απορρόφηση των κατιόντων και των ανιόντων ρυθμίζεται από διαφορετικούς μηχανισμούς και γι' αυτό στα αραιά διαλύματα η απορρόφηση των κατιόντων δεν επηρεάζει αναγκαστικά και την απορρόφηση των ανιόντων.

Σε διαλύματα υψηλής πυκνότητας, βρέθηκε ότι τα ιόντα με χαμηλό ρυθμό απορρόφησης όπως το SO^{--}_4 και Ca^{++}_2 επιδρούν αρνητικά στην απορρόφηση του K^+ και Cl^- αντίστοιχα.

Το K^+ που περνά γρήγορα τη μεμβράνη περιορίζει το ρυθμό απορρόφησης των Ca_2^{++} και Mg_2^{++}, όχι με ανταγωνισμό στους μηχανισμούς μεταφοράς, αλλά με την εξουδετέρωση των μηχανισμών μεταφοράς ηλεκτρικού φορτίου στο κυττόπλασμα και το χυμοτόπιο. Η μεγάλη απορρόφηση κατιόντων έχει αποτέλεσμα την αύξηση του pH στον κυτταρικό χυμό. Η ισορροπία επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση ενζύμων λόγω μεταβολής του pH και παραγωγή οργανικών οξέων και μεταφορά των ανιόντων των οργανικών οξέων και κατιόντων στο χυμοτόπιο. Αντίθετα υπερβολική απορρόφηση ανιόντων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του pH στον κυτταρικό χυμό, λόγω του μηχανισμού πρωτονίων και ανιόντων στην κυτταρική μεμβράνη. Για τη διατήρηση της ηλεκτρικής ισορροπίας γίνεται δραστηριοποίηση του μελεϊκού ενζύμου για αποκαρβοξυλίαση του μελεϊκού οξέως. Η απορρόφηση όμως των κατιόντων και των ανιόντων δεν επηρεάζει μόνο το pH του κυτταρικού χυμού αλλά και του εξωτερικού διαλύματος. Η υπερβολική απορρόφηση των ανιόντων αυξάνει το pH του εξωτερικού διαλύματος, ενώ υπερβολική απορρόφηση κατιόντων το μειώνει.

Το μεγαλύτερο ποσοστό ιόντων που απορροφάται από τα φυτά είναι τα νιτρικά και τα αμμωνιακά που φθάνουν το 70%. Το ποιο από τα δύο θα απορροφήσει το φυτό ή θα προσθέσουμε εξαρτάται από το pH του εξωτερικού διαλύματος, και από την περιεκτικότητα των κυττάρων σε οργανικά οξέα. Η αναγωγή των νιτρικών μέσα στο κύτταρο έχει αποτέλεσμα την παραγωγή OH^- που εξουδετερώνει το H^+.

Η συγκέντρωση του θρεπτικού (εξωτερικού) διαλύματος.

Στις χαμηλές συγκεντρώσεις ο ρυθμός απορρόφησης ιόντων όπως το K^+ περιγράφεται από την εξίσωση της κινητικής κορεσμού :

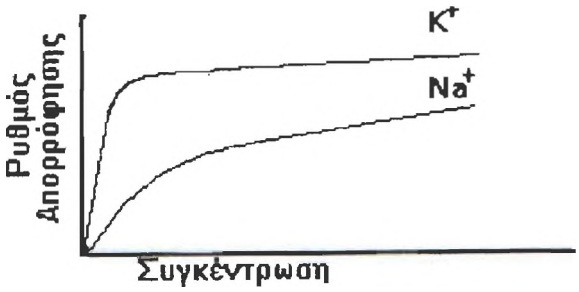
$$V = Vmax \frac{Cs}{KM + Cs}$$

V = ρυθμός μεταφοράς

Vmax = ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς (όλες οι θέσεις μεταφοράς πλήρεις με το ιόν)

KM = σταθερά ίση με τη συγκέντρωση ιόντος στο υπόστρωμα που δίνει το ήμισυ του μεγίστου ρυθμού μεταφοράς.

Cs = Δοθείσα συγκέντρωση ιόντος στο υπόστρωμα

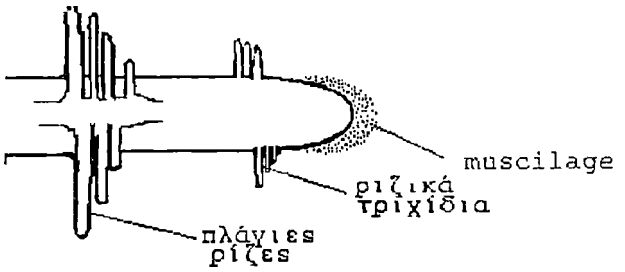


Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι στις υψηλές συγκεντρώσεις (όπως μεγαλύτερη από 1 M K^+) η απορρόφηση γίνεται λιγότερο επιλεκτική και εξακολουθεί να αυξάνει αλλά με μικρότερο ρυθμό για το K^+ και το φώσφορο. Για το Na^+ ο ρυθμός απορρόφησης είναι πιο γραμμικός με τη συγκέντρωση, γιατί το Na^+ έχει χαμηλή συνάφεια με τις θέσεις εισόδου. Παρόμοια με το Na^+ παρουσιάζεται και η απορρόφηση Ca_2^+ και Mo_2^+.

2.8. Το ριζικό σύστημα και η απορρόφηση ιόντων και ανιόντων

Η απορρόφηση των ιόντων και των ανιόντων από το εδαφικό περιβάλλον γίνεται με την ρίζα.

Οι αναπτυσσόμενες ρίζες ποικίλουν και φυσιολογικά και ανατομικά κατά μήκος του άξονά τους όχι μόνο από φυτό σε φυτό αλλά και από το ίδιο το φυτό. Ο ρυθμός απορρόφησης των ιόντων διαφέρει στις διάφορες θέσεις της ρίζας. Γενικά υπάρχει η τάση ο ρυθμός απορρόφησης ανά μονάδα μήκους να μειώνεται όσο η απόσταση από το ακραίο σημείο αυξάνει. Το ίδιο παρατηρείται και στην απορρόφηση νερού.



Τρεις κυρίως παράγοντες επηρεάζουν αυτή τη συμπεριφορά :

1. Η αύξηση του σχηματισμού suberin στην παλαιότερη ενδοδερμίδα.
2. Ο σχηματισμός δευτερευούσης και τριτευούσης ενδοδερμίδας και επομένως παρεμπόδιση της ακτινωτής μεταφοράς.
3. Η μερική αποδιοργάνωση των κυττάρων του κέντρου cortical sols και ο σχηματισμός κενών (αερέγχυμα).

Παρ' όλες τις ανατομικές διαφορές, η βασική ζώνη έχει σημαντική ικανότητα απορρόφησης ιόντων και σε μερικές περιπτώσεις πολύ σημαντική. Διαφορά στην απορρόφηση υπάρχει επίσης και μεταξύ των ιόντων. Για το ασβέστιο και μαγνήσιο η μείωση στην απορρόφηση είναι πολύ πιο απότομη απ' ότι στο κάλιο και το φώσφορο. Η διαφορά στην απορρόφηση οφείλεται και από τις θρεπτικές ανάγκες του φυτού.

Η διαφορά στο ρυθμό απορρόφησης κατά μήκος της ρίζας δεν σημαίνει κατ' ανάγκη και ανάλογη διαφορά στη συνεισφορά του διαλύματος που πάει στους βλαστούς, γιατί τα ακραία μεριστώματα αποτελούνται από έντονα πολλαπλασιαζόμενα κύτταρα και έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις ανόργανων θρεπτικών στοιχείων για την αύξησή τους και έτσι, σε σχέση με τη μεγαλύτερη απορρόφηση, η συνεισφορά των ακραίων μεριστωμάτων της ρίζας στη μεταφορά ανόργανων στοιχείων στους βλαστούς είναι μικρή. Τα άκρα της ρίζας όχι μόνο προωθούν λιγότερο κάλιο στους βλαστούς, αλλά συχνά ανταγωνίζονται με τους βλαστούς για το κάλιο που απορροφάται από τη

βασική ζώνη, το αντίθετο συμβαίνει με την αποθήκευση και μεταφορά ασβεστίου προς τους βλαστούς, που είναι σημαντική από τα άκρα.

Η περατότητα των κυτταρικών μεμβρανών στο νερό είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή στα ιόντα. Τα φυσικά κύτταρα επομένως και οι ρίζες δρουν ως ωσμότερα. Η απελευθέρωση ιόντων στους μεσοκυττάριους χώρους του κέντρου αυξάνει και το οσμωτικό δυναμικό του νερού αρνητικές τιμές. Επομένως για να έχουμε εξισορρόπηση στο ριζικό σύστημα έχουμε ροή νερού από το εξωτερικό διάλυμα προς το κέντρο. Έτσι και το οσμωτικό δυναμικό του νερού μειώνεται, ενώ η υδροστατική πίεση ή πίεση αρπαγής των κυττάρων αυξάνει. Εξαιτίας της υδροστατικής πίεσης στο κέντρο του ριζικού συστήματος έχει ως αποτέλεσμα την μετακίνηση ενός όγκου νερού με τους διαλυτές μέσω των ξυλωδών σωλήνων προς τους βλαστούς. Λόγω αυτής της πίεσης στη ρίζα, συχνά νωρίς το πρωί με υψηλή σχετική υγρασία, στις άκρες των φύλλων εμφανίζονται σταγόνες χυμού, ή όταν κοπεί ένας βλαστός, ο χυμός εξακολουθεί να εξέρχεται. Η πίεση που αναπτύσσεται στο ριζικό σύστημα έχει μεγάλη σημασία διότι σε αυτήν οφείλεται η κίνηση του χυμού στα ξυλώδη αγγεία ακόμα και σε συνθήκες χαμηλής διαπνοής, όπως αυτές εμφανίζονται στα μικρά φυτά τη νύχτα. Και επιπλέον η σπουδαιότητα έγκειται στο ότι βοηθά τη μεταφορά του Ca^{++} σε ιστούς με μικρή διαπνοή, όπως είναι οι καρποί.

Η πίεση που αναπτύσσεται στο ριζικό σύστημα και έχει πάρα πολύ μεγάλη σημασία για το φυτό, εξαρτάται και επηρεάζεται από κάποιους εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι οι παρακάτω:

Α) Εξωτερική συγκέντρωση

Μια αύξηση στη συγκέντρωση ιόντων στο εξωτερικό διάλυμα που περικλείει το ριζικό σύστημα, έχει αποτέλεσμα αύξηση στη συγκέντρωση των ιόντων που εγχύονται στα ξυλώδη αγγεία. Η ενέργεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα, η σχετική συγκέντρωση να μικραίνει όσο η εξωτερική συγκέντρωση αυξάνεται, στην περίπτωση μάλιστα του Ca μπορεί να μειωθεί με σχέση κάτω του 1.

Ο όγκος νερού που εγχύεται παίρνει τη μέγιστη τιμή σε εξωτερική συγκέντρωση 1 μΜ. Σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις η ροή περιορίζεται λόγω της μικρής συγκέντρωσης ιόντων στα ξυλώδη αγγεία. Αντίθετα, σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις η ροή περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα του νερού όπως είναι το υψηλό

δυναμικό του νερού στο εξωτερικό διάλυμα και τη μικρή διαφορά συγκέντρωσης που υπάρχει μεταξύ του εξωτερικού διαλύματος και του διαλύματος στα ξυλώδη αγγεία. Η μεταφορά στοιχείων λοιπόν μέσω της πίεσης στη ρίζα μπορεί να μειωθεί σε υψηλές εξωτερικές συγκεντρώσεις του εδαφικού διαλύματος.

Β) Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι ένας εξωτερικός παράγοντας ο οποίος καθορίζει το ρυθμό που τα ιόντα εκκρίνονται στα ξυλώδη αγγεία όταν το νερό μετακινείται σύμφωνα με τη διαφορά που υπάρχει στο δυναμικό του νερού. Η αύξηση της θερμοκρασίας της ρίζας έχει μεγαλύτερη επίδραση στον όγκο των ιόντων που εκκρίνονται, παρά στη συγκέντρωση ιόντων.

Έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο ριζικό σύστημα αυξάνει τη συγκέντρωση K^+, αλλά μειώνει τη συγκέντρωση Ca_2^{++}. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη μεταβολή της επιλεκτικής ικανότητας της μεμβράνης με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Γ) Αναπνοή

Υπάρχει μια στενή σχέση ανάμεσα στην αναπνοή του ριζικού συστήματος και στο ρυθμό απελευθέρωσης ιόντων στα ξυλώδη αγγεία

Έχει παρατηρηθεί ότι η έλλειψη οξυγόνου μειώνει σημαντικά τον όγκο ροής, αλλά όχι τη συγκέντρωση στο κέντρο. Δεν επηρεάζει επίσης την αναλογία K^+/Ca^{++}.

Δ. Συνοδεύοντα ιόντα

Η διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ των κατιόντων και των ανιόντων είναι αναγκαία για την απελευθέρωση ιόντων στα ξυλώδη αγγεία. Επίσης το συνοδεύον ιόν παίζει ρόλο, όπως όταν στο εξωτερικό διάλυμα διαλύεται KNO_3, ο όγκος ροής του K^+ είναι σχεδόν διπλάσιος απ' ότι όταν διαλύεται K_2SO_4 στην ίδια συγκέντρωση.

Ε) Ποσότητα υδατανθράκων

Η απελευθέρωση ιόντων στα ξυλώδη αγγεία και οι αντίστοιχες αλλαγές στην πίεση του ριζικού συστήματος σχετίζεται με την κατάσταση των υδατανθράκων που υπάρχουν

στη ρίζα. Το μήκος της φωτοπεριόδου επιδρά στους υδατάνθρακες και αυτοί στο ρυθμό και τη διάρκεια της ροής στα ξυλώδη αγγεία. Μεταβάλλεται επίσης η ροή αυτή κατά τη διάρκεια της ημέρας και λόγω μεταφοράς άλλων ουσιών, όπως οργανικών οξέων και φυτορμονών, που μεταφέρονται από τους βλαστούς και δρουν στην αναγωγή των Νιτρικών και το ηλεκτρικό δυναμικό.

2.9 Συγκέντρωση στο εσωτερικό του κυττάρου και θρεπτική κατάσταση.

Παρατηρείται ότι όσο η συγκέντρωση στο εσωτερικό του κυττάρου ενός συγκεκριμένου ιόντος αυξάνεται, ο ρυθμός απορρόφησης μειώνεται και αντίστροφα. Η υψηλή συγκέντρωση των ιόντων K^{++} και φωσφόρου μέσα στο κύτταρο περιορίζει την είσοδο άλλων ιόντων. Για ιόντα που μεταβολίζονται μέσα στο κύτταρο, όπως SO_4^{--}, αλλά και τα νιτρικά που ανάγονται, ο μηχανισμός που περιορίζει την είσοδο μπορεί να λειτουργεί με την επίδραση των μεταβολητών, π.χ. κυστίνη και μεθιοδίνη για τα θειϊκά. Η συγκέντρωση των ιόντων στο χυμοτόπιο, έχει βρεθεί ότι μπορεί να επιδρά στην απορρόφηση. Οι βλαστοί με το χυμό που στέλνουν στη ρίζα είναι δυνατό να επηρεάζουν την απορρόφηση, οπωσδήποτε μέσω των υδατανθράκων, αλλά και μέσω των ιόντων που επιστρέφουν ή των ορμονών ή διαφόρων μεταβλητών.

Ο σίδηρος κατά την απορρόφηση στη μεμβράνη ανάγεται από Fe(III) σε Fe(II), πιθανόν με το ένζυμο Ρεδουκτάση που βρίσκεται στη μεμβράνη.

Όταν ο εφοδιασμός του φυτού με Fe είναι κάτω από το κανονικό, τότε έχουμε επίπτωση στη φυσιολογική λειτουργία της ρίζας και την ανατομία της. Παρατηρείται ωστόσο σε μερικά φυτά η συγκέντρωση Fe στη ρίζα το οποίο απελευθερώνεται σε διάλυμα φαινολικών συνθέσεων που βοηθούν στη διαλυτοποίηση του σιδήρου. Η ρίζα του φυτού εξάγει πρωτόνια με μεγαλύτερο ρυθμό που αυξάνει την οξύτητα του εξωτερικού διαλύματος. Τα gramineae συμπεριφέρονται διαφορετικά στην έλλειψη σιδήρου απελευθερώνοντας από τη ρίζα αμινοξέα μη πρωτεϊνικής προέλευσης που διαλυτοποιούν ανόργανο σίδηρο Fe(III) και τον μετατρέπουν σε χειλικό Fe(III).

2.10. Τα μακροστοιχεία και η επίδρασή τους στο φυτό

Οι κυριότερες λειτουργίες των αμέταλλων στοιχείων όπως το άζωτο, το θείο και το φώσφορο είναι ότι χρησιμοποιούνται ως συστατικά των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων.

Το μαγνήσιο και τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία αποτελούν συστατικά διαφόρων οργανικών ενώσεων και κυρίως των μορίων των ενζύμων είναι τα στοιχεία αυτά τα οποία σχετίζονται είτε άμεσα είτε έμμεσα με την καταλυτική λειτουργία των ενζύμων.

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

- ➔ Να ρυθμίζουν την οσμωτική πίεση
- ➔ Να διατηρούν το ηλεκτροχημικό ισοζύγιο στα κύτταρα και στα ανόργανα στοίχεια.
- ➔ Να ρυθμίζουν την ενζυματική δραστηριότητα

Τα ιχνοστοιχεία λόγω της πολύ μικρής τους συγκέντρωσης δεν μπορούν να παίζουν ένα άμεσο ρόλο ούτε στη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης ούτε στη διατήρηση του ηλεκτροχημικού ισοζυγίου.

Άζωτο

Το άζωτο είναι ένα από τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του φυτού.

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

Η αμμωνία ως στοιχείο είναι τοξική και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις μέσα στο κύτταρο, γι' αυτό το σκοπό το φυτό διαθέτει μηχανισμό που την μετατρέπει σε αμινοξέα και ώστε να μην υπάρξει τοξικότητα. Συνήθως σχηματίζεται πρώτα το γλουταμινικό οξύ και έπειτα από αυτό τα υπόλοιπα.

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

Όταν το άζωτο περιοριστεί ή υπάρχει έλλειψη τότε δεν έχουμε σωστή ανάπτυξη του φυτού και παρατηρείται

- ⇨ Επιβράδυνση της αύξησης
- ⇨ Μετακίνηση του αζώτου από τα ώριμα φύλα στις περιοχές του φυτού που αναπτύσσονται, και το άζωτο ως στοιχείο είναι απαραίτητο

Η έλλειψη αζώτου οδηγεί στην γρήγορη γήρανση των παλαιών φύλλων.

Η έλλειψη αζώτου επιδρά με μείωση στην παραγωγή πρωτεϊνών και επομένως και χλωροπλαστών. Έτσι, όταν σ' ένα φυτό υπάρχει έλλειψη αζώτου παρατηρείται γενικά το κιτρίνισμα των φύλλων του.

Όταν η συγκέντρωση του αζώτου στο εδαφικό διάλυμα είναι πάνω από το άριστο επίπεδο τότε στα φυτά παρατηρείται :

- Επιβράδυνση της γήρανσης του φυτού
- Ταυτόχρονα έχουμε γρήγορη ανάπτυξη του φυτού
- Προκαλείται επιμήκυνση του βλαστού,
- Υψηλά ποσοστά αζώτου έχουν ως αποτέλεσμα η ρίζα να είναι επιφανειακή και να μην έχουμε σωστή επιμήκυνση του ριζικού συστήματος
- Αυξάνεται το πλάτος των φύλλων αλλά έχουμε ταυτόχρονη μείωση του πάχους του φύλλου.

Οι μεγάλες ποσότητες πάνω από τα φυσιολογικά επίπεδα έχει ως αποτέλεσμα ορισμένα φυτά, ιδιαίτερα τα φυλλώδη λαχανικά όπως το σπανάκι και το μαρούλι, να αποθηκεύουν πολλά νιτρικά στα χυμοτόπια των φύλλων. Αποτέλεσμα αυτής της συγκέντρωσης είναι ότι κατά την αποθήκευση ή την επεξεργασία των τροφίμων μετά τη συλλογή, να σχηματίζονται νιτρώδη από τα νιτρικά που έχουν συσσωρεύσει στο φύλλο με την εισαγωγή τους στον ανθρώπινο οργανισμό με την τροφή, έχουν πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Θείο.

Το θείο αποτελεί συστατικό των αμινοξέων της κυστεϊνης και της μεθιονίνης και επομένως των πρωτεϊνών συνενζύμων και άλλων συστατικών του φυτού. Έχουν τη δυνατότητα να δεσμεύουν και να χρησιμοποιούν το SO_2 που βρίσκεται στην

ατμόσφαιρα. Η κύρια όμως πηγή θείου είναι το έδαφος, απ' όπου αποσπάται με την βοήθεια της ρίζας.

Το θείο αποτελεί συστατικό μερικών πτητικών ουσιών, όπως isothiocynates και sulfoxides, που δίνουν την χαρακτηριστική οσμή στο κρεμμύδι, σκόρδο και μουστάρδα. Το θείο επίσης, όταν δεν έχει αναχθεί, αποτελεί συστατικό των σουλφολιπιδίων που είναι δομικό στοιχείο όλων των βιο-μεμβρανών.

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

Φώσφορος

Ο Φώσφορος αντίθετα από το άζωτο, το οξείδιο του φωσφόρου δεν ανάγεται από το φυτό σε κάποια άλλη μορφή αλλά παραμένει στην πιο οξειδωμένη μορφή του.

Ο φώσφορος που απορροφάται σε φυσιολογικά pH υπό μορφή $H_2P\ O_4^-$ αξιοποιείται από το φυτό είτε, α) παραμένει στο φυτό ως ανόργανος φώσφορος, β) στερεοποιείται από το φυτό μέσω μιας υδροξυλικής ρίζας(C – O – P) ως απλός φωσφορικός εστέρας(όπως sugar phospate), γ) συνδέεται από το φυτό με άλλον ένα φώσφορο, ο οποίος έχει υψηλή ενέργεια με πυροφωσφορικό δεσμό, P – P(όπως ATP).

Η απαιτούμενη ποσότητα φωσφόρου για την άριστη ανάπτυξη του φυτού κυμαίνεται από 0,3 έως 0,5% του ξηρού βάρους κατά τη βλαστική ανάπτυξη.

Η έλλειψη φωσφόρου στο φυτό έχει ως αποτέλεσμα:

- Να επιβραδύνεται η ανάπτυξη
- Το φύλλο του φυτού να παίρνει βιολετί χρωματισμό λόγω της επιτάχυνσης σχηματισμού ανθοκυανών
- Σε μερικά φυτά παρατηρείται ένα σκουρότερο πράσινο χρώμα απ' ότι το κανονικό, διότι έχουμε μείωση ατις διαστάσεις των οργάνων του φυτού και είναι μεγαλύτερη απ' ότι η δημιουργία χλωρωπλαστών. Η απόδοση όμως ανά μονάδα χλωροφύλλης είναι μικρότερη.
- Παρουσιάζεται μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα στο ριζικό σύστημα
- Παρατηρείται μειωμένος αριθμός ανθέων στην ταξιανθία και επιβράδυνση της διαφοροποίησης των οφθαλμών που οφείλεται στην

επίδραση της έλλειψης του φωσφόρου στην ισορροπία του φυτοχρώματος.

Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο είναι ένα μικρό, ισχυρά ηλεκτροθετικό δισθενές κατιόν. Η ακτίνα του ενυδατωμένου ιόντος είναι 0,428mm. Έχει πολύ υψηλή ενέργεια ενυδάτωσης 1908 J/Mol. Ο ρυθμός απορρόφησής του μπορεί να περιορισθεί πολύ από άλλα κατιόντα, όπως το K^+ , το NH^+ , το Ca^+ , το Mn^{++} , καθώς και το 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 κατά ανάγκη μείωση μαγνησίου στους καρπούς ή τους κονδύλους.

Οι λειτουργίες του Mg^{++} στο φυτό σχετίζονται με :

- Την κινητικότητά του μέσα στα κύτταρα.
- Την ικανότητά του να αντιδρά με ισχυρούς nucleophilic lignads(όπως οι φωσφορυλοομάδες) μέσω ιονικών δεσμών.
- Τη δράση του ως στοιχείο γέφυρας.
- Τη δυνατότητα που έχει να σχηματίζει διάφορες σταθερότητες.
- Ένα μεγάλο ποσοστό Mg^{++} από το συνολικό Mg^{++} σχετίζεται με τη ρύθμιση του pH και την ισορροπία κατιόντων και ανιόντων μέσα στο κύτταρο.

Η σημαντικότερη λειτουργία του μαγνησίου είναι η δράση του ως κεντρικό άτομο του μορίου της χλωροφύλλης. Παρ' όλα αυτά σ' ένα φυτό με άριστο εφοδιασμό σε Μαγνήσιο το 10 – 20% του συνολικού μαγνησίου που βρίσκεται στα φύλλα βρίσκεται στους χλωροπλάστες και λιγότερο από το μισό από αυτό είναι συνδεδεμένο με τη χλωροφύλλη. Παρόμοια είναι και η αναλογία του K^+ που βρίσκεται στους χλωροπλάστες, ενώ η αναλογία του Ca^{++} είναι πολύ χαμηλότερη.

Το μαγνήσιο είναι επίσης αναγκαίο στοιχείο για την εξουδετέρωση των οργανικών οξέων, των φωσφορολυομάδων και των φωσφορολιπιδίων και ιδιαίτερα των

νουκλεϊκών οξέων. Το μαγνήσιο απαιτείται για τη RNA πολυμεράση και επομένως για το σχηματισμό RNA στον πυρήνα.

Κατά μέσο όρο οι απαιτήσεις σε Mg για μια άριστη ανάπτυξη του φυτού είναι 0,5% επί του ξηρού βάρους των βλαστικών μερών.

Τα φυτά στην έλλειψη μαγνησίου με :

- Μείωση της αναπνοής σε σχέση με την αναπνοή που παρουσιάζουν τα φυσιολογικά φυτά.
- Μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε σχέση με τα φυσιολογικά φυτά
- Παρουσιάζεται συσσώρευση αμύλου στα φύλλα, που οφείλεται στην μείωση της μεταφοράς που οφείλεται σε πρόβλημα ενέργειας.
- Παρατηρείται μείωση του ρυθμού αύξησης του ριζικού συστήματος όπου ο ρυθμός μείωσης είναι μεγαλύτερος από αυτόν του βλαστού του φυτού.

Στις εντατικές καλλιέργειες είναι απαραίτητη η λίπανση με μαγνήσιο για να μπορέσει το φυτό να αναπτύξει σωστό ριζικό σύστημα και να απορροφήσει όλα τα θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος και να τα αξιοποιήσει για την αύξηση του φυτού και την μέγιστη απόδοση είτε σε καρπό είτε σε βιομάζα.

Ασβέστιο

Το ασβέστιο είναι ένα σχετικά μεγάλο δισθενές κατιόν. Η ακτίνα του ενυδατωμένου ιόντος είναι 0,412mm και η ενέργεια ενυδάτωσής του είναι 1577J/Mol. Το ασβέστιο συνδέεται σε μορφές από το φυτό ώστε να μπορεί να ανταλλάσσεται εύκολα ανάμεσα στα κυτταρικά τοιχώματα και την εξωτερική πλευρά των κυτταρικών μεμβρανών.

Ο ρυθμός απορρόφησής του από το πρωτόπλασμα είναι πολύ περιορισμένος και πολύ λίγο σχετίζεται με τη μεταβολική διαδικασία. Η κινητικότητα του Ca^{++} από κύτταρο σε κύτταρο και στον ηθμό είναι πολύ μικρή. Είναι το μόνο ανόργανο στοιχείο, που κυρίως λειτουργεί έξω από το πρωτόπλασμα. Οι περισσότερες δραστηριότητές του σχετίζονται με την ικανότητά του για συνεργασία, με την οποία προσφέρει σταθερές αλλά και αναστρεφόμενες μοριακές δομές, κυρίως στα κυτταρικά τοιχώματα και τις κυτταρικές μεμβράνες. Αυτές οι μοριακές δομές που προέρχονται από το Ca^{++} είναι

αποτέλεσμα τοπικών αλλαγών του περιβάλλοντος και αποτελούν μέρος του ρυθμιστικού μηχανισμού της ανάπτυξης του φυτού.

Το ασβέστιο είναι μη τοξικό στοιχείο ακόμα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις και είναι πολύ αποτελεσματικό στην μείωση της τοξικότητας που προέρχεται από την υψηλή συγκέντρωση άλλων ανόργανων στοιχείων στα κύτταρα του φυτού.

Οι μεγαλύτερες ποσότητες Ca^{++} στο κύτταρο παρουσιάζονται:

- Στην εξωτερική πλευρά των κυτταρικών μεμβρανών.
- Στο χυμοτόπιο μαζί με οργανικά ανόργανα οξέα
- Στα μιτοχόνδρια
- Ελάχιστες ποσότητες Ca^{++} στο φυτικό κύτταρο παρουσιάζονται στο πρωτόπλασμα.

Το ασβέστιο είναι στοιχείο ανταλλάξιμο με τις πηκτίνες. Η πολυγαλακτουρονάση είναι το ένζυμο που αποδομεί τις πηκτίνες, η οποία αδρανοποιείται από την υψηλή συγκέντρωση Ca.

Η υψηλή συγκέντρωση ασβεστούχου πηκτίνης στα κυτταρικά τοιχώματα είναι σημαντική διότι προσδιορίζει την ευαισθησία στις μυκητολογικές προσβολές, καθώς και τον ρυθμό ωρίμανσης των φρούτων. Οι παρενέργειες που παρουσιάζονται στο φυτό με την έλλειψη τροφοδοσίας σε Ca^{++} στο εξωτερικό διάλυμα, είναι η παύση της ανάπτυξης της ρίζας μέσα σε λίγες ώρες. Ο ρόλος του Ca^{++} στην αύξηση των κυττάρων δεν είναι πλήρως γνωστός, θεωρείται όμως ότι απαιτείται για την ενσωμάτωση των υλικών μέσα στο κυτταρικό τοίχωμα. Ο βλαστικός σωλήνας της γύρης εξαρτάται επίσης από την παρουσία Ca^{++} στο υπόστρωμα και η κατεύθυνση της ανάπτυξης του σωλήνα ρυθμίζεται χημιοτροπικά από τη διαβάθμιση του εξωτερικού Ca^{++}.

Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο των διαφόρων φυτών ποικίλει από 0,1 και 5,0% της ξηράς ουσίας, και εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης, το είδος του φυτού και το όργανο. Το απαιτούμενο ασβέστιο για άριστη ανάπτυξη είναι πολύ λιγότερο στα μονοκοτυλήδονα απ' ότι στα δικοτυλήδονα. Η άριστη συγκέντρωση Ca^{++} εξαρτάται και από την παρουσία άλλων στοιχείων που ανταγωνίζονται τις θέσεις του Ca^{++} στις μεμβράνες.

Αύξηση στη συγκέντρωση Ca^{++} στο εξωτερικό διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση και στη συγκέντρωση του Ca^{++} στα φύλλα, όχι όμως και στα όργανα μικρής διαπνοής όπως είναι οι καρποί ή οι κόνδυλοι. Τα όργανα αυτά απαιτούν ασβέστιο για

την αύξηση των κυττάρων και υψηλή περατότητα των μεμβρανών τους, γι' αυτό συχνά παρουσιάζονται συμπτώματα έλλειψης όπως είναι η γήρανση και η μείωση του χρόνου αποθήκευσης μετά την συλλογή τους.

Κάλιο

Το Κάλιο είναι μονοσθενές κατιόν. Η ακτίνα του ενυδατωμένου ιόντος είναι 0,331 και η ενέργεια ενυδάτωσης είναι 314 J/Mol. Η απορρόφησή του είναι πολύ επιλεκτική και συνδέεται πολύ με τη μεταβολική δραστηριότητα. Χαρακτηρίζεται από υψηλή κινητικότητα σε όλα τα επίπεδα μέσα στα κύτταρα, τους ιστούς, τα ξυλώδη αγγεία και τα ηθμώδη. Το κάλιο είναι το κατιόν που βρίσκεται στη μεγαλύτερη αφθονία μέσα στο πρωτόπλασμα και τα άλατά του συμμετέχουν πάρα πολύ στη ρύθμιση του οσμωτικού δυναμικού των κυττάρων των μη αλοφύτων. Σχεδόν σ' όλες τις περιπτώσεις η συγκέντρωση του K^+ στο πρωτόπλασμα διατηρείται σε σχετικά μικρό εύρος 100 έως 120MM. Οι διάφορες λειτουργίες του K^+ σχετικά με την σπαργή των κυττάρων σχετίζονται με τη μεταβολή της συγκέντρωσης του K^+ στο χυμοτόπιο.

Η υψηλή συγκέντρωση του K^+ που παρουσιάζεται στο πρωτόπλασμα και τους χλωροπλάστες απαιτείται για την εξουδετέρωση των διαλυτών είτε πρόκειται για ανιόντα οργανικών οξέων και ανόργανα ανιόντα, καθώς των αδιαλύτων ανιόντων των μακρομορίων και για να σταθεροποιεί το PH μεταξύ 7 και 8 σε αυτά τα επίπεδα, που είναι το άριστο για τις περισσότερες ενζυματικές αντιδράσεις.

Με την έλλειψη K^+ παρατητρείται συσσώρευση υδατανθράκων, μείωση του αμύλου και συσσώρευση των διαλυτών συνθέσεων του αζώτου που μπορεί να είναι αμινοξέα, αμίνες και νιτρικά επειδή τα ρυθμιστικά ένζυμα εξαρτώνται πολύ από το K^+ όπως το ένζυμο που διασπά τη γλυκόζη στα μόρια του αμύλου. Σε υπερβολική συγκέντρωση K^+ μπορεί επίσης να έχουμε τη μείωση της περιεκτικότητας σε άμυλο όπως συμβαίνει με την πατάτα.

Στα πράσινα φύλλα περίπου η μισή ποσότητα RNA και η μισή ποσότητα πρωτεΐνης βρίσκονται στους χλωροπλάστες.

Έτσι το K^+ αποτελεί ένα στοιχείο απαραίτητο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών σχεδόν σ' όλα τα στάδια.

Για την επιμήκυνση του κυττάρου απαιτείται αύξηση της εκτατικότητας του κυτταρικού τοιχώματος, που πιθανόν γίνεται με το IAA και την συσσώρευση άλατος για να δημιουργηθεί ένα εσωτερικό οσμωτικό δυναμικό.

Έτσι το K^+ είναι το στοιχείο που αυξάνει το οσμωτικό δυναμικό, στο χυμοτόπιο και ταυτόχρονα σταθεροποιεί το pH στο κυττόπλασμα.

Κάθε κίνηση οργάνων που οφείλεται σε σπαργή ρυθμίζεται από το K^+. Το απαιτούμενο K^+ για άριστη ανάπτυξη του φυτού είναι 2 –5 % επί της ξηράς ουσίας των βλαστικών μερών, χυμωδών καρπών και κονδύλων. Στα αλόφυτα το K^+ μπορεί να είναι πολύ λιγότερο. Με την έλλειψη K^+ η ανάπτυξη επιβραδύνεται και παρατηρείται μετακίνηση K^+ από τα ώριμα φύλλα και βλαστούς, σε όργανα που έχουν έλλειψη ενώ αυτά γίνονται χλωρωτικά και ξηραίνονται. Σε έλλειψη K^+ υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία στον παγετό λόγω μικρότερης ποσότητας νερού στο φυτό.

Με την έλλειψη K^+ παρατηρούνται αλλαγές στην δραστηριότητα των ενζύμων και των οργανικών συνθέσεων που είναι υπεύθυνα για τη μεγαλύτερη ευαισθησία του φυτού στις μυκητολογικές αρρώστιες. Επίσης επηρεάζουν και την ποιότητα των προϊόντων μετά τη συλλογή, όπως είναι η ομοιομορφία του καρπού τον βαθμό ωρίμανσης του καρπού της τομάτας και την ποιότητα κονδύλων πατάτας.

Σε υπερβολική ποσότητα K^+ παρουσιάζονται ανταγωνιστικά φαινόμενα με το Mg^{++} και Ca^{++}.

2.11 Η δράση των ιχνοστοιχείων στο φυτό

Σίδηρος

Στα υποστρώματα, με παρουσία του ατμοσφαιρικού αέρα και με pH φυσιολογικού εύρους, οι συγκεντρώσεις των ιόντων Fe^{+++} και Fe^{++} είναι πολύ μικρές(10 – 20 M ή μικρότερες. Οι χειλικές μορφές επομένως του Fe και καμιά φορά Fe(II) είναι οι επικρατούσες μορφές διαλυτού σιδήρου στα θρεπτικά διαλύματα της υδροπονικής καλλιέργειας αλλά και στο έδαφος. Κατά κανόνα η μορφή Fe(II) απορροφάται. Η μορφή Fe(III) επομένως πρέπει να αναχθεί σε Fe(II) στην επιφάνεια της ρίζας πριν μεταφερθεί στο πρωτόπλασμα.

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

Ο σίδηρος συγγενεύει με τα οργανικά οξέα και τα ανόργανα φωσφορικά. Το γεγονός αυτό κάνει τα τρισθενή ή δισθενή ιόντα του σιδήρου να μην έχουν καμιά σπουδαιότητα ως προς τη διακίνηση του σιδήρου μέσα στο φυτό. Είτε πρόκειται για κοντινές ή μακρινές αποστάσεις είναι αδύνατο τα ιόντα αυτά επίσης να σχετίζονται με αντιδράσεις μέσα στα κύτταρα.

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

Έλλειψη σιδήρου παρατηρείται σε ασβεστούχα εδάφη. Τα συμπτώματα της ελλείψεως του σιδήρου στο φυτό είναι η χλώρωση του φύλλου εκτός των νεύρων. Σε έντονη έλλειψη σιδήρου τα νεαρά φύλλα είναι χλωρωτικά τα οποία κατόπιν ξηραίνονται.

Μαγγάνιο

Το μαγγάνιο απορροφάται κυρίως ως Mn^{++} και μετακινείται κυρίως ως ελεύθερο δισθενές κατιόν στα ξυλώδη αγγεία από τη ρίζα προς τον βλαστό. Από τα κυκλοφορούντα ιχνοστοιχεία(Mn, Fe, Cu, Zn, Mo), το μαγγάνιο έχει τον μικρότερο συντελεστή σταθερότητας όταν ενώνεται με άλλα στοιχεία και αυτό διότι σχηματίζει ασθενείς δεσμούς. Παρ' όλα αυτά, μπορεί να αντικαταστήσει το Mg^{++} σε πολλές αντιδράσεις, όπως την περίπτωση που παίρνει τον ρόλο ως γέφυρας μεταξύ ATP και ενζύμων.

Η χρησιμότητα του Mn ως ανόργανου θρεπτικού στοιχείου σχετίζεται κυρίως στους σφιχτούς δεσμούς για τον σχηματισμό μεταλλοπρωτεϊνών, όπου το Mn δρα ως ένα δομικό συστατικό, ως ένα μέρος με δραστικό δεσμό, ή όπως ο σίδηρος ως ένα οξειδωτικοαναγωγικό σύστημα (Mn(II) = Mn(III).

Το οριακό επίπεδο έλλειψης κυμαίνεται μεταξύ 10-20 χιλιοστών του γραμμαρίου ανά γραμμάριο ξηρού βάρους στα ώριμα φύλλα. Στα δικοτυλήδονα η χλώρωση των νεαρότερων φύλλων στο κέντρο είναι το πιο ορατό σύμπτωμα. Το φαινόμενο εμφανίζεται μετά από πολλές βροχές διότι εκπλύνεται το Mn από το έδαφος ή παρατηρείται σε εδάφη με υψηλό pH.

Χαλκός

Το δισθενές ιόν του χαλκού(Cu^{++}) συνδέεται ισχυρά, στο έδαφος, με τα χουμικά και φουλβικά οξέα, σχηματίζοντας σύμπλοκα χαλκού και οργανικής ύλης. Στο εδαφικό διάλυμα μέχρι και το 98% του χαλκού είναι σύμπλοκο σε οργανικές συνθήκες με μικρό μοριακό. Δεν είναι πλήρως ξεκαθαρισμένο ακόμη αν ο χαλκός απορροφάται ως Cu^{++} ή ως χηλικός χαλκός. Στα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονικών καλλιεργειών προστίθεται συνήθως ως θειϊκός χαλκός. Λόγω της υψηλής συγγένειας του με τον Cu^{++} με αμινοξέα, με φαινολικά και με συνθετικούς χηλικούς παράγοντες, ακόμα και στα θρεπτικά διαλύματα Cu^{++} που προστίθεται μπορεί γρήγορα να συμπλεχθεί.

Η απορρόφηση του Cu^{++} είναι μεγαλύτερη για διαλύματα με περιεκτικότητα σε Cu^{++} ίση με mol απ' ότι σε διάλυμα χηλικού χαλκού (EDTA ή DTPA).

Στο χυμό της ρίζας καθώς και των ξυλωδών αγγείων πάνω από το 99% του χαλκού βρίσκεται σε συμπλοκή μορφή. Στο χυμό που ρέει στα ξυλώδη αγγεία και στους ιθμούς συνήθως ο Cu^{++} ως σύμπλοκο με αμινοξέα και άλλες σχετικές ενώσεις.

Ο δισθενής χαλκός ανάγεται αμέσως σε μονοσθενή, που είναι ασταθής. Από αυτή την πλευρά ο χαλκός είναι όμοιος με τον σίδηρο.

Οι περισσότερες λειτουργίες του χαλκού ως ανόργανο θρεπτικό στοιχείο στα φυτά είναι η συμμετοχή σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής σε ενζυματικές ενώσεις συνδεδεμένες με τον χαλκό.

Στο σύστημα οξειδοαναγωγής των τελικών οξειδασών, τα ένζυμα του χαλκού αντιδρούν κατ' ευθείαν με το μοριακό οξυγόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι τελικές ενώσεις της οξεείδωσης στα ζωντανά κύτταρα να 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 που παρουσιάζονται στα φυτά από την έλλειψη Cu^{++} είναι η μείωση των μεσογονατίων διαστημάτων, ο κακοσχηματισμός των νεαρών φύλλων, η νέκρωση του επάκριου μεριστώματος και το ξάσπρισμα των νεαρών φύλλων.

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 μεταφορά του ψευδαργύρου σε μεγάλες αποστάσεις γίνεται κυρίως μέσω των ξυλωδών αγγείων, όπου ο ψευδάργυρος είναι είτε συνδεδεμένος με οργανικά οξέα ή υπάρχει ως ελεύθερο δισθενές κατιόν. Η απορρόφηση του Zn και η μετακίνησή του στους βλαστούς περιορίζεται πάρα πολύ από τις υψηλές συγκεντρώσεις του HCO_3.

Στα φυτά ο ψευδάργυρος δεν οξειδώνεται αλλά ούτε ανάγεται. Η λειτουργία του ως ανόργανου θρεπτικού στοιχείου στηρίζεται κυρίως στις ιδιότητες που έχει ως δισθενές κατιόν με μια ισχυρή τάση να σχηματίζει τετράεδρες συνθέσεις.

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

Η έλλειψη Zn στα φυτά, 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.

Μολυβδαίνιο

Αν και το μολυβδαίνιο είναι μέταλλο, συναντάται στα διαλύματα κυρίως ως μολυβδαινικό οξειανιόν $Mo\ O_4^{-}$ στην πιο οξειδωμένη του μορφή (Mo VI). Οι ιδιότητές του σχετίζονται με αυτές των μη μετάλλων και άλλων δισθενών ανόργανων ανιόντων.

Σε χαμηλό pH τα φωσφορικά και μολυβδαινικά ανιόντα συμπεριφέρονται όμοια ως προς την απορρόφηση τα θειϊκά και τα μολυβδαινικά είναι ανταγωνιστικά ανιόντα. Τα μολυβδαινικά είναι ασθενή οξέα τα οποία με τη μείωση του pH από 6,5 στο 4,5 και κάτω η διάσταση μειώνεται και ο σχηματισμός πολυανιόντων ευνοείται.

Ο ρυθμός απορρόφησης από τη ρίζα είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη μεταβολική δραστηριότητα του φυτού.

Η κινητικότητα του μολυβδαινίου στα ξυλώδη αγγεία είναι σχετικά καλή. Η κινητικότητά του επίσης στα ηθμώδη αγγεία αποδεικνύεται από τη διαφυλλική εφαρμογή.

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 μολυβδαινίου ως ανόργανου θρεπτικού στοιχείου σχετίζεται με τις αλλαγές του σθένους. Το στοιχείο λειτουργεί ως μεταλλικό πρόσθετο των ενζύμων. Στην οξειδωμένη μορφή του υφίσταται ως Mo (VI), και ανάγεται σε Mo(V) και τελικά σε Mo(IV).

Το οριακό επίπεδο έλλειψης μολυβδαινίου κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1,0 μικρογραμμάρια ανά γραμμάριο ξηρού βάρους φύλλων. Το συνηθέστερο σύμπτωμα στα φυτά από την έλλειψη του μολυβδαινίου είναι το ακανόνιστο σχήμα της περιφέρειας των φύλλων, που οφείλεται στη μη σωστή ανάπτυξη των ιστών. Η έλλειψη του στοιχείου εμφανίζεται συνήθως σε όξινα εδάφη.

Βόριο

Σε διαλύματα το βόριο συναντάται κυρίως ως βορικό οξύ H_3BO(ή $B(OH)_3$ και είναι ένα πολύ ασθενές οξύ, που περισσότερο παίρνει OH^- παρά δίνει H^+.

Σε pH μικρότερα από 8 χρησιμεύει κυρίως στη μη διισταμένη μορφή του βορικού οξέως. Αυτή η μορφή είναι που απορροφάται από το ριζικό σύστημα.

Η ρύθμιση της απορρόφησης και της μεταφοράς του βορίου στο φυτό είναι αρκετά περιορισμένη σε σύγκριση με τα άλλα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Εν τούτοις υπάρχουν έντονες διαφορές μεταξύ των φυτών, που οφείλονται στο διαφορετικό γονότυπο. Μεταξύ των φυτών της τομάτας π.χ. υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Η μεταφορά του εντοπίζεται στους ξυλώδεις αγωγούς του φυτού και γίνεται με τη μεταφορά της μάζας του νερού.

Δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι το βόριο αποτελεί συστατικό των ενζύμων. Υπάρχουν όμως μικρές ενδείξεις ότι βοηθάει ή αναστέλλει ενζυματικές αντιδράσεις.

Το βόριο είναι από τα λιγότερο γνωστά στοιχεία ως προς τη δράση του στον μεταβολισμό. Παρ' όλα αυτά οι απαιτήσεις σε βόριο στο θρεπτικό διάλυμα με βάση το MoI είναι υψηλότερες από τα λοιπά ιχνοστοιχεία.

Έλλειψη είναι συχνό φαινόμενο και κυρίως μετά από υψηλές βροχοπτώσεις. Η διαθεσιμότητα του στοιχείου μειώνεται με την αύξηση του pH και ιδιαίτερα στα ασβεστούχα εδάφη. Ο ανταγωνισμός μεταξύ άλλων ιόντων δεν φαίνεται να έχει μεγάλη σημασία.

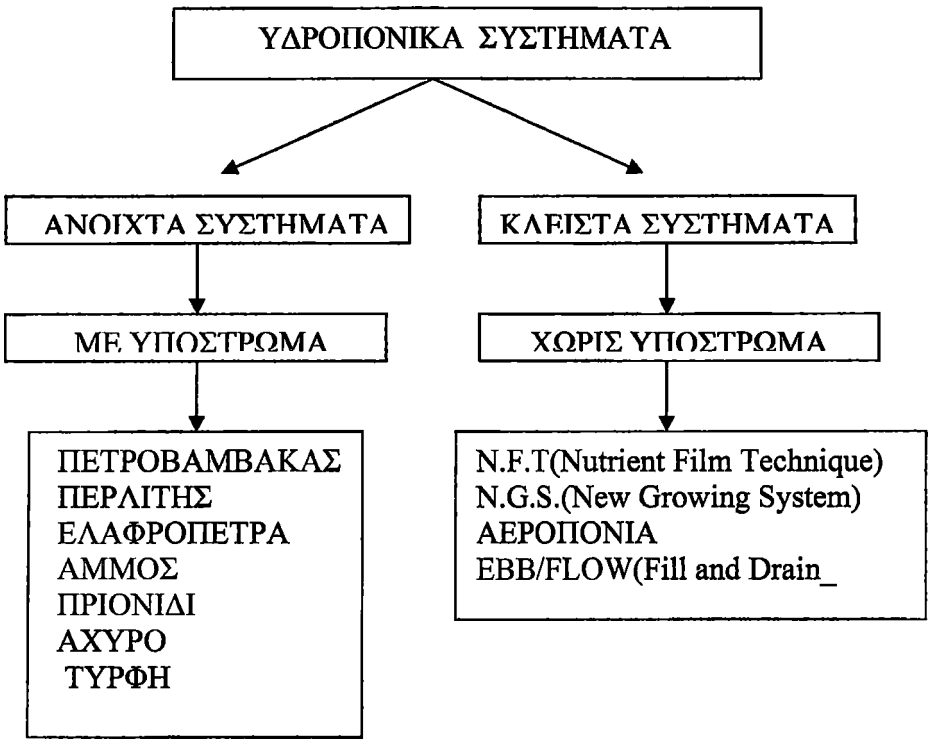
Τα συμπτώματα της έλλειψης του βορίου Bo που εμφανίζονται στα φυτά είναι :

- Έχουμε αποχρωματισμό των οφθαλμών και των ακραίων φύλλων που οδηγεί τελικά στην ξήρανση.
- Τα μεσογονάτια διαστήματα είναι μικρότερα από το κανονικό δίνει στο φυτό την εμφάνιση ροζέτας θάμνου.
- Μπορεί να έχουμε χλώρωση των φύλλων μεταξύ των νεύρων.
- Κακοσχηματισμένα φύλλα.
- Πτώση οφθαλμών, των αθέων και του καρπού.
- Στα φυλλώδη λαχανικά όπως το μαρούλι μπορεί να έχουμε την εμφάνιση της υδατώδης και νεκρωτικής κηλίδας.

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο παραγωγός όταν αποφασιστεί ότι πρέπει να γίνει και να αναπτυχθεί μια καλλιέργεια δίχως έδαφος, είναι η επιλογή του συστήματος.

Και αυτό διότι υπάρχουν πάρα πολλά συστήματα καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα σε ολόκληρο τον κόσμο.



3.1 Υδροπονικά Συστήματα

Μέχρι και σήμερα τα υδροπονικά συστήματα ήταν είτε ανοικτά όπου μέρος του θρεπτικού διαλύματος δεν συλλεγόταν αλλά απορριπτόταν στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την σπατάλη λιπασμάτων και την ρύπανση το εδάφους, είτε ήταν κλειστά όπου το θρεπτικό διάλυμα συλλεγόταν σε δεξαμενές για επαναχρησιμοποίηση. Δεδομένου ότι οι κανονισμοί σχτικά με την μόλυνση του εδαφολογικού περιβάλλοντος έχουν γίνει πιο αυστηροί, έχει υπάρξει μια κοινή κίνηση προς την χρήση μόνο των κλειστών συστημάτων.

Τα ανοικτά συστήματα όπως ο πετροβάμβακας, από το οποίο το υπερβολικό θρεπτικό διάλυμα επιτρέπεται να σπαταληθεί, είναι οι ευκολότερες μορφές υδροπονικής καλλιέργειας που μπορεί να διαχειριστεί κάποιος. Επιπλέον, τα θρεπτικά επίπεδα στην ζώνη της ρίζας αποκαθίστανται από την συχνή άρδευση και η ρύθμιση του εφαρμοζόμενου διαλύματος δεν είναι συχνά απαραίτητη εκτός κατά τους θερμούς μήνες. Επίσης είναι δυνατό να κατακλιθεί ο όγκος του διαλύματος που κρατιέται στην πλάκα πετροβάμβακα και να αντικατασταθεί με νέο εάν προκύψει ανάγκη. Οι θρεπτικές συγκεντρώσεις στο εφαρμοζόμενο διάλυμα είναι συνήθως χαμηλότερες από εκείνες στην ζώνη της ρίζας, που εμφανίζονται όταν υπερβαίνει η λήψη του νερού την λήψη θρεπτικών στοιχείων.

Στα κλειστά συστήματα όπως το N.F.T., όλα τα ιόντα που εισάγονται στο σύστημα είτε απορροφώνται από τις ρίζες των φυτών είτε παραμένουν στο διάλυμα και αυξάνεται η αλατότητα. Αυτό σημαίνει ότι ένα κλειστό σύστημα απαιτεί μια καθαρότερη πηγή νερού από ένα ανοικτό, δεδομένου ότι οι ακαθαρσίες δεν διυλίζονται αλλά συσσωρεύονται. Για τον ίδιο λόγο, η καθαρότητα των χρησιμοποιούμενων χημικών ουσιών είναι σημαντική. Λόγω της πιθανής συσσώρευσης των θρεπτικών ουσιών, είναι απαραίτητο στα κλειστά συστήματα να γίνεται συχνότερα έλεγχος. Εάν η αναλογία των μη ουσιαστικών ιόντων γίνεται πάρα πολύ υψηλή, ένα μέρος ή όλο το διάλυμα πρέπει να αντικατασταθεί. Αυτό πρέπει να αποφευχθεί εάν είναι δυνατό λόγω του προβλήματος της μόλυνσης του περιβάλλοντος από τις θρεπτικές ουσίες των αποβλήτων.

Μια άλλη σημαντική διαφορά μεταξύ μερικών κλειστών συστημάτων, είναι ο βαθμός στον οποίο το θρεπτικό διάλυμα που περιβάλλει τις ρίζες μπορεί να μειωθεί. Μ' ένα επανακυκλοφορούμενο διάλυμα σ' ένα κλειστό σύατημα δεν υπάρχει ουσιαστικά καμία μείωση κοντά στην επιφάνεια της ρίζας, υπό τον όρο ότι το ποσοστό ροής είναι επαρκές. Σ' ένα σύστημα όπως τον πετροβάμβακα με πότισμα κατά διαλείμματα, ο βαθμός μείωσης του διαλύματος γύρω από τις ρίζες εξαρτάται από την συχνότητα της άρδευσης σε σχέση με το ποσοστό του νερού. Η απάντηση σε μια εδομένη θρεπτική συγκέντρωση σε οποιοδήποτε υδροπονικό σύστημα πρέπει να είναι η ίδια, υποθέτωντας ότι υπάρχει ελάχιστη ή καμία μείωση στο θρεπτικό διάλυμα γύρω από τις ρίζες. Δεδομένου ότι το επίπεδο μείωσης ποικίλει μεταξύ των συστημάτων, αυτό μπορεί να είναι ένας λόγος για τη διαφορά στις απαντήσεις που βρίσκονται συχνά μεταξύ των συστημάτων υδροπονίας χρησιμοποιώντας τα ίδια θρεπτικά διαλύματα.

Οι θρεπτικές συγκεντρώσεις που βρίσκονται στον πετροβάμβακα είναι παρόμοιες με εκείνες που συστήνονται για τις τομάτες στο σύστημα N.F.T.

Με την τρέχουσα έμφαση στην αποφυγή της περιβαλλοντικής μόλυνσης, είναι πιθανό ότι τα ανοικτά συστήματα θα εξαφανιστούν στο κοντινό μέλλον. Κατόπιν, οι καλλιεργητές-παραγωγοί θα πρέπει να χρησιμοποιούν τα κλειστά συστήματα, η αποδοτικότητα των οποίων θα εξαρτηθεί από την χρήση νερού καλής ποιότητας.

3.2 Συστήματα υδροπονίας χωρίς υπόστρωμα.

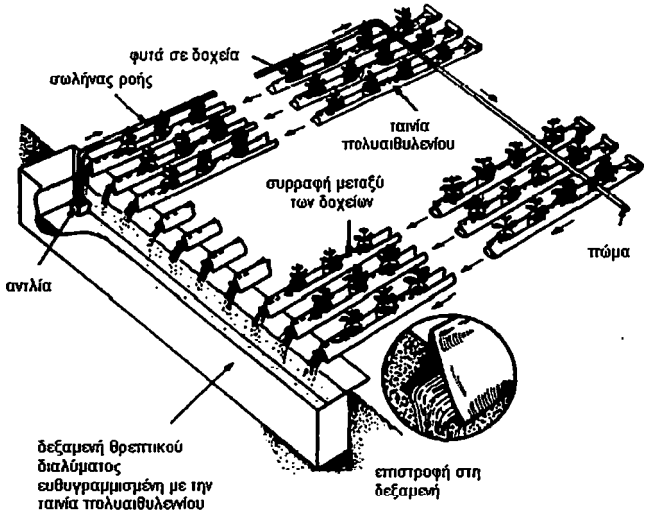
Τα συστήματα υδροπονίας χωρίς υπόστρωμα είναι:

1. Καλλιέργεια σε θρεπτικό διάλυμα N.F.T.
2. Το σύστημα NGS .
3. Αεροπονία.

3.2.1. Σύστημα N.F.T.

Η θρεπτική τεχνική ταινιών (NFT) είναι ένα νέο υδροπονικό σύστημα βασισμένο στην απλή αρχή της κυκλοφορίας του ρηχού ρεύματος, ή ταινίας θρεπτικού διαλύματος προς τις ρίζες των αναπτυσσόμενων φυτών, ώστε να υπάρχει συνεχώς θρεπτικό διάλυμα και επαρκής ανεφοδιασμός με νερό, θρεπτικών ουσιών και οξυγόνο του ριζικού συστήματος

Αν και υπάρχουν πολλές εκδόσεις αυτού του συστήματος που χρησιμοποιούνται σήμερα, τα βασικά συστατικά μιας τυπικής εγκατάστασης ενός συστήματος NFT είναι τα παρακάτω :

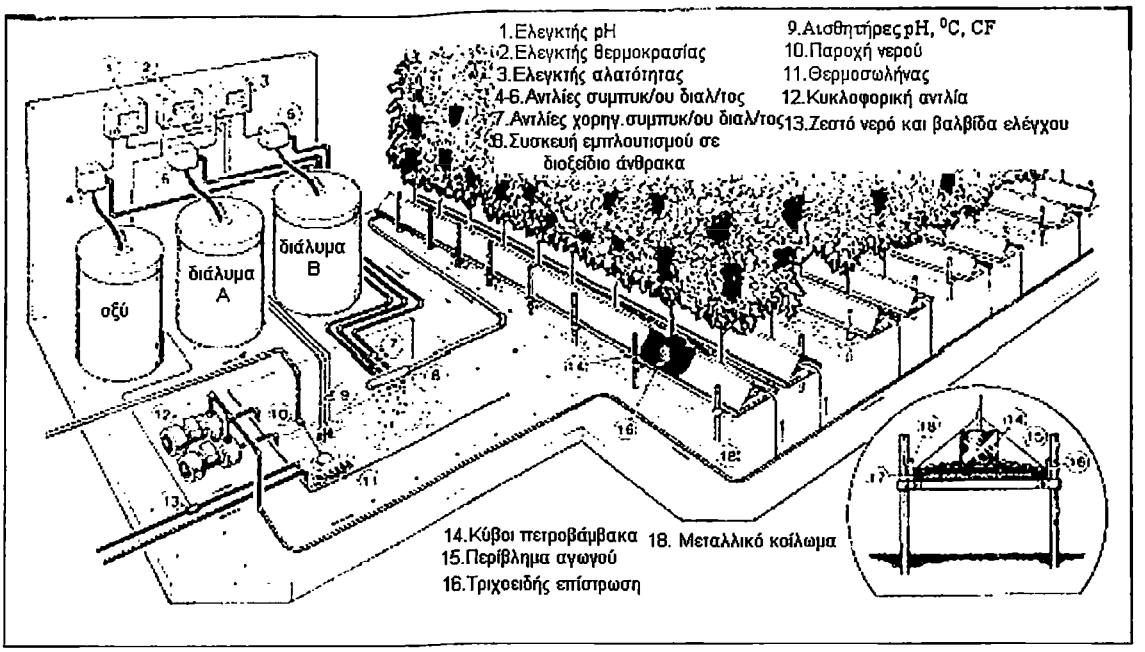


Εικ.1 Το σύστημα NFT σαν γενική έννοια

1. Παράλληλοι αγωγοί ή δοχεία στα οποία τα φυτά αναπτύσσονται.
2. Μια δεξαμενή συλλογής που περιέχει το θρεπτικό διάλυμα όπου προστίθενται λιπάσματα, νερό και οξύ.
3. Μια αντλία κυκλοφορίας, μεταφέρει το διάλυμα από τη δεξαμενή συλλογής και την διανέμει μέχρι το υψηλότερο άκρο των δοχείων.
4. Ένας σωλήνας συλλογής από τον οποίο τα δοχεία εξάγουν το διάλυμα και τελικά βρίσκει διέξοδο στη δεξαμενή συλλογής.
5. Το λίπασμα και η δεξαμενή αποθήκευση που παρέχει οξύ.
6. Ο εξοπλισμός παρακολούθησης και ελέγχου διατηρεί τις θρεπτικές συγκεντρώσεις(συμπεριλαμβανομένου του συνολικού ποσού αλάτων), pH και της στάθμης του νερού.

Ένας ελεγκτής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και ένας ελεγκτής του pH χρησιμοποιούνται συνήθως για να ρυθμίζουν τη λειτουργία των δοσομετρικών αντλιών ή των σωληνοειδών βαλβίδων. Αυτές οι αντλίες και οι βαλβίδες ελέγχουν τη μεταφορά των λιπασμάτων και του οξέος στη δεξαμενή συλλογής. Στη δεξαμενή συλλογής το νερό θα πρέπει να έχει σταθερή στάθμη για να είναι εύκολα εφικτό να αποκτηθεί από τη μηχανική βαλβίδα ροής ή από ποικίλους ηλεκτρονικούς ελέγχους.

Το γενικό σχεδιάγραμμα μιας εγκατάστασης NFT, με τα διάφορα συστατικά του όπως περιγράφηκε παραπάνω, φαίνεται παρακάτω.



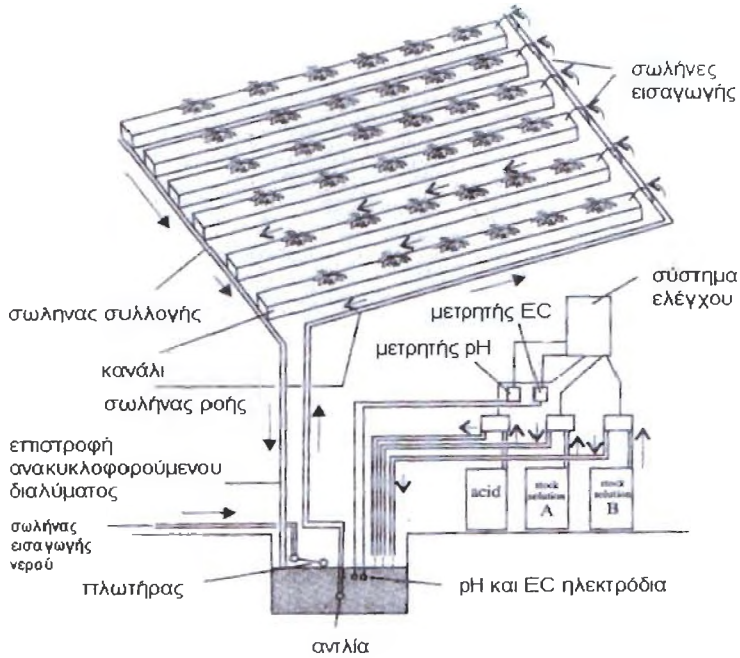
Εικ. 2 Γενικό Σχεδιάγραμμα ενός συστήματος NFT

Το σύστημα αυτό έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα παραγωγής. Παρουσιάζει απλότητα κατά την κατασκευή, έχει χαμηλό κόστος και έχει αξιοπιστία, ελέγχει απόλυτα το περιβάλλον του ριζικού συστήματος. Η άρδευση γίνεται πολύ απλά και εξασφαλίζει ένα ομοιόμορφο θρεπτικό ανεφοδιασμό στο ριζικό σύστημα ολόκληρης της καλλιέργειας.

Η θερμοκρασία του ριζικού συστήματος είναι δυνατόν να αυξηθεί εύκολα. Για αυτό το σκοπό απαιτείται μόνο η θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος το οποίο μπορεί να κυκλοφορεί συνεχώς ή περιοδικά για να συντηρήσει περισσότερο την θερμική ενέργεια και για να γίνεται έλεγχος στην φυτική αύξηση των νέων χειμωνιάτικων αναπτυσσόμενων φυτών. Έχουμε την δυνατότητα να κάνουμε γρήγορη ανακύκλωση του υδατικού διαλύματος μεταξύ των διαδοχικών συγκομιδών. Μας δίνεται η δυνατότητα να γίνει αποδοτικότερη η χρήση των θερμοκηπίων λόγω της δυνατότητας της γρήγορης απομάκρυνσης παλιάς καλλιέργειας και την γρήγορη εγκατάσταση των φυτών της νέας καλλιέργειας. Έχουμε και αποδοτική χρήση του νερού διότι όσο νερό δεν απορροφάται από το ριζικό σύστημα του φυτού συλλέγεται και ξαναπροωθείται στο ριζικό σύστημα αφού πρώτα υποστεί κάποια επεξεργασία. Θεωρητικά προσφέρει την υψηλότερη δυνατότητα παραγωγής, και οι πρακτικές δοκιμές το επιβεβαιώνουν αυτό το αξίωμα που έχει το υδροπονικό σύστημα NFT.

Εικ. 3 Καλλιέργεια Τομάτας σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT). Τα κανάλια όπου ρέει το θρεπτικό διάλυμα έχουν κατασκευασθεί στο τσιμεντένιο πάτωμα

Όμως, πολλά από τα πλεονεκτήματα που έχει η καλλιέργεια φυτών σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος(N.F.T.), τα έχουν άλλες μεθόδοι και τεχνικές καλλιέργειας εκτός εδάφους και ειδικότερα η μέθοδο υδροπονικής καλλιέργειας με πετροβάμβακα. Η καλλιέργεια σε σύστημα N.F.T. δεν έχει διαδοθεί ευρέως διότι απαιτεί από τον παραγωγό να είναι γνώστης της υψηλής τεχνικής ικανότηταςπου απαιτεί, ή να έχει κάποιον ειδικευμένο τεχνολόγο για να επιβλέπει και να ρυθμίζει το σύστημα. Το μειονέκτημα που παρουσιάζει το σύστημα αυτό είναι η πιθανή εμφάνιση ασθενειών στο σύστημα από την αναδιανομή του θρεπτικού διαλύματος με συνέπειες την καταστρεπτική και απώλειες της καλλιέργειας με οικονομικό κόστος. Στην πράξη δεν υπάρχουν τεκμηριωμένες αποδείξεις για την καταστροφή και απώλεια καλλιεργειών από ασθένεια που να οφείλεται σε αναδιανομή του διαλύματος που αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα. Μόνο μεμονωμένα περιστατικά θανάτου ριζικών συστημάτων έχουν παρουσιαστεί και αυτό έχει δώσει το ερέθισμα στους ερευνητές για να κάνουν έρευνα εάν υπάρχει δυνατότητα εμφανίσεων ασθενειών που να οφείλεται στο διάλυμα που χρησιμοποιεί το N.F.T.



Εικ. 4 Σχηματική παρουσίαση συστήματος N.F.T. με συνεχή κτκλοφορία Θρεπτικού διαλύματος

Στο σύστημα αυτό τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια, όπου ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα (2-3mm) θρεπτικού διαλύματος το οποίο είναι ανακυκλώσιμο.Η ρίζα αναπτύσσεται επάνω στο θρεπτικό διάλυμα, χωρίς να υπάρχει κανένα άλλο υπόστρωμα. Έτσι δημιουργείται ένα παχύ πλέγμα ριζών, στο οποίο συμπλέκονται οι ρίζες από όλα τα φυτά του καναλιού και το οποίο αποτελεί το κάτω στήριγμα των φυτών. Το ρηχό ρεύμα του θρεπτικού διαλύματος περνά κάτω από το ριζικό πλέγμα, ενώ το επάνω μέρος του ριζικού πλέγματος, αν και είναι υγρό, βρίσκεται στον αέρα που επιτρέπει στο ριζικό σύστημα να γίνεται πολύ καλή οξυγόνωση.

Τα κανάλια στα οποία βρίσκονται οι ρίζες των φυτών έχουν συνήθως πλάτος 0,25-0,30 cm, με κλίση 1,5- 2% και είναι είτε από λαμαρίνα που στερεώνεται επάνω σε σιδερένιο σκελετό, είτε από διογκωμένη πολυστερίνη που τοποθετείται σε διαμορφωμένο έδαφος με κλίση 1,5 % είτε διαμορφωμένα κανάλια σε τσιμεντένιο πάτωμα.

Σε όλες τις περιπτώσεις το αδιάβροχο των καναλιών πετυχαίνεται με πλαστικό φύλλο συνήθως πολυαιθυλενίου πάχους 1,5mm τουλάχιστον, που ανανεώνεται σε κάθε καλλιέργεια. Το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοτείται στο υψηλότερο σημείο της εγκατάστασης για να έχει την δυνατότητα της ελεύθερης ροής. Το θρεπτικό διάλυμα

οδηγείται με σωληνώσεις από την δεξαμενή θρεπτικού διαλύματος στο ψηλότερο σημείο της εγκατάστασης.

Τα λιπάσματα και το οξύ προστίθενται κανονικά στη δεξαμενή συλλογής. Οι δοσομετρικές αντλίες χρησιμοποιούνται για να εγχύουν θρεπτικές ουσίες στην δεξαμενή συλλογής.

Οι δύο θρεπτικές αντλίες που χρησιμοποιούνται για την έγχυση του λιπάσματος θα πρέπει να είναι ρυθμισμένες έτσι ώστε να είναι σε θέση να διανέμουν τον ίδιο όγκο υγρού. Η λειτουργία των αντλιών του λιπάσματος και η έγχυση οξέος είναι ρυθμισμένες από τους αντίστοιχους ελεγκτές τους. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις μπορεί να είναι πιο οικονομική η αντικατάσταση των δοσομετρικών αντλιών με σωληνοειδής βαλβίδες που ελέγχουν τη ροή δια της βαρύτητας του αποθηκευμένου διαλύματος.

Σήμερα στο εμπόριο υπάρχουν διαθέσιμα πλήρη προγράμματα χορήγησης θρεπτικών ουσιών σε συσκευασίες. Παρόλα αυτά οι καλλιεργητές μπορούν εύκολα να συνθέσουν τα κατάλληλα συστήματα που να ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες της καλλιέργειας σε στοιχεία επειδή τα περισσότερα από τα αναγκαία συστατικά είναι ευρέως διαθέσιμα. Εκτός από τρεις δοσομετρικές αντλίες και τους ελεγκτές αλατότητας και pH το σύστημα απαιτεί έναν ελεγκτή αλατότητας για τον έλεγχο της συγκέντρωσης αλάτων στο διάλυμα. Αυτό γίνεται με μια συσκευή που ελέγχει την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του διαλύματος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή ότι ο ηλεκτρισμός που μεταδίδεται με δύο ηλεκτρόδια που βυθίζονται σε μια σταθερή απόσταση (συνήθως 1cm) σ' ένα διάλυμα, είναι ανάλογος προς την συνολική ιοντική (αλατισμένη) συγκέντρωση σ' αυτό το διάλυμα. Ο ελεγκτής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ελέγχει και εμφανίζει την αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση των δοσομετρικών αντλιών.

Τα κύτταρα (αισθητήρες) που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις αγωγιμότητας έχουν πλαστικό περίβλημα, το οποίο τους καθιστά εύρωστους, απαιτώντας ελάχιστη συντήρηση. Δύο κύριοι τύποι κυττάρων αγωγιμότητας είναι διαθέσιμοι : ένα κύτταρο εμβύθισης το οποίο είναι κατάλληλο για μικρές εγκαταστάσεις και ο τύπος κυττάρου ροής το οποίο είναι ενσωματωμένο στον αγωγό.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος αυξάνεται περίπου 2% για κάθε βαθμό Κελσίου που αυξάνεται η θερμοκρασία. Ο ελεγκτής της αγωγιμότητας πρέπει επομένως να εξοπλιστεί με αυτόματη αντιστάθμιση της θερμοκρασίας, μια τυποποιημένη επιλογή στους περισσότερους ελεγκτές αγωγιμότητας. Μια γενική σύσταση για τη βέλτιστη

αγωγιμότητα που τίθεται ο ελεγκτής αλατότητας, είναι δύσκολο να παρέχεται γιατί οι ρυθμίσεις ποικίλουν σύμφωνα με την ποικιλία που αναπτύσσεται κάθε εποχή, το στάδιο της ανάπτυξης, και την ποιότητα του νερού.

Μερικές γενικές συστάσεις που είναι διαθέσιμες για τη βέλτιστη συγκέντρωση των θρεπτικών ουσιών στο διάλυμα του NFT συνοψίζονται στον πίνακα 20.

Βάσει της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά της παροχής νερού, δύο σημαντικές συστάσεις είναι διαθέσιμες σχετικά με τη σύνθεση του NFT. Το λίπασμα και οι όξινες των οποίων οι συγκεντρώσεις περιέχονται στο διάλυμα. Οι συμπυκνώσεις λιπάσματος που λαμβάνονται υπόψη, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 1.

Πίνακας 1. Θρεπτικά επίπεδα διαλυμάτων για NFT καλλιέργεια τομάτας

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ (Ph 5.5 EC 1800 μS)	ΒΕΛΤΙΣΤΟ (pH 6.0 EC 200-2500 μS)	ΜΕΓΙΣΤΟ (pH 6.5 EC 3500 μS)
Νιτρικό άλας αζώτου	50	150-200	300
Νιτρική αμμωνία	5	10-15	20
Φώσφορος	20	50	200
Κάλιο	100	300-500	800
Ασβέστιο	125	150-300	400
Μαγνήσιο	25	50	100
Σίδηρος	1,5	6	12
Μαγγάνιο	0.5	1	2,5
Χαλκός	0,005	0,1	1
Ψευδάργυρος	0,005	0,5	2,5
Βόριο	0,1	0,3-0,5	1,5
Μολυβδαίνιο	0,01	0,05	0,1
Νάτριο	+	+	250
Χλώριο	+	+	400
Θείο	-	5-200	-

Όταν από την ανάλυση του διαλύματος που ρέει δούμε ότι το ασβέστιο έχει συσσωρευτεί στο διάλυμα, τότε πιθανός να είναι απαραίτητο για να μειωθεί το ποσό του, να γίνει προσθήκη νιτρικού ασβεστίου στο διάλυμα. Για κάθε χιλιόγραμμο νιτρικού ασβεστίου που παραλείπεται από το διάλυμα, αυξάνεται το νιτρικό κάλιο κατά ο,86kg, και το θειϊκό κάλιο κατά 0,74kg, για να αντισταθμιστεί η αύξηση του καλίου επειδή προστέθηκε περισσότερο νιτρικό κάλιο.

Στην περίπτωση που το παροχετευόμενο νερό περιέχει αρκετό ασβέστιο, δηλαδή περισσότερα 120 ppm, τότε αποκλείεται η προσθήκη νιτρικού ασβεστίου. Σε περιοχές όπου η παροχή νερού έχει μια αλκαλικότητα λιγότερη από 100ppm ανθρακικού ασβεστίου, το νιτρικό ασβέστιο στο διάλυμα πρέπει να αυξηθεί. Ο τύπος λιπάσματος που λαμβάνουμε έπειτα έχει μια νέα μορφή η οποία φαίνεται στον πίνακα 22.

Ο πίνακας 2 και 3 είναι ένα καλό παράδειγμα για το πώς η σύνθεση των θρεπτικών συμπυκνώσεων μπορεί να ποικίλει για κάποιους ιδιαίτερους σκοπούς. Προφανώς όλα τα εμπορικά προϊόντα είναι πιθανό να γίνουν και να εφαρμοστούν σε γενικές εφαρμογές που μπορεί να μην είναι και η ιδανική επιλογή για κάθε καλλιέργεια αλλά δίνουν καλά αποτελέσματα. Εντούτοις οι καλλιεργητές που ασχολούνται επαγγελματικά με την καλλιέργεια με μια σημαντική έκταση καλλιέργειας τομάτας με υδροπονικό σύστημα NFT πρέπει να κάνουν κάθε προσπάθεια για να πετύχουν τα βασικά λιπάσματα και την μίξη τους για να παρέχουν στα φυτά το καλύτερο θρεπτικό μίγμα σύμφωνα με αποτελέσματα των τελευταίων ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί. Ο πίνακας 4 μας υποδεικνύει τις τελευταίες συστάσεις για την χορήγηση λιπάσματος σε μια καλλιέργεια τομάτας με υδροπονικό σύστημα NFT.

Πίνακας 2. Σύσταση Λιπάσματος για χρήση NFT στις περιοχές υψηλής αλατότητας		
Συμπυκνωμένο Διάλυμα 1 (Συνολικός Όγκος 1000L)	Συμπυκνωμένο Διάλυμα 2 (Συνολικός Όγκος 1000L)	Συμπυκνωμένο Διάλυμα 3 (ΣυνολικόςΌγκος 1000L)
50 kg Νιτρικό Ασβέστιο	80 kg Νιτρικό Κάλιο	54L Νιτρικό οξύ (67)
	40 kg Θειϊκό άλας Καλίου	24L Φωσφορικό οξύ
	60 kg Θεϊκό άλας Μαγν.	
	0.6 kg Νιτρικό αμμώνιο	
	3.0 kg Χηλική Ένωση Σιδ.	
	0.4 kg Θειϊκό άλας Μαγγ	
	0.2 kg Βορικό Οξύ	
	80 gr Θειϊκό άλας Χαλκού	
	40 gr Θειϊκό άλας Ψευδ	
	10 gr Αμμώνιο Μολυβδ.	

Πίνακας 3. Σύσταση Λιπάσματος για χρήση NFT σε περιοχές χαμηλής αλατότητας		
Συμπυκνωμένο Διάλυμα 1 (Συνολικός Όγκος 1000L)	Συμπυκνωμένο Διάλυμα 2 * (Συνολικός Όγκος 1000L)	Συμπυκνωμένο Διάλυμα 3 (Συνολικός Όγκος 1000L)
7.5kg Νιτρικό ασβέστιο	90.0kg Νιτρικό Κάλιο	7.9 L Νιτρικό οξύ (85%)
	30 kg Φωσφορικό άλας καλ.	
	60kg Θεϊκό άλας Μαγνησίου	
	3kgΧηλ.Ένωση Σιδ(15%FE)	
	0.4kg Θεϊκό άλας Μαγγ.	
	0.24kg Βορικό οξύ	
	80gr Θεϊκό άλας Χαλκού	
	40gr Θειϊκό άλας Ψευδ	
	10gr Αμμώνιο Μολυβδ.	

* Μπορεί να υπάρξει η απαίτηση για ελαφρά οξεοποίηση του συμπυκνωμένου διαλύματος 2 μ' ένα μικρό ποσό νιτρικού οξέος(20mL), για να γίνει παρεμπόδιση της καθίζησης αλάτων όπως το φωσφορικό άλας Μαγνησίου.

Εάν υποθέσουμε μια αναλογία αραιής διάλυσης 1:100 για τα συμπυκνωμένα διαλύματα 1 και 2, οι θεωρητικές συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών στο κυκλοφορούν αραιό διάλυμα στο NFT είναι η ακόλουθη σε μέρη στο εκατομμύριο. :

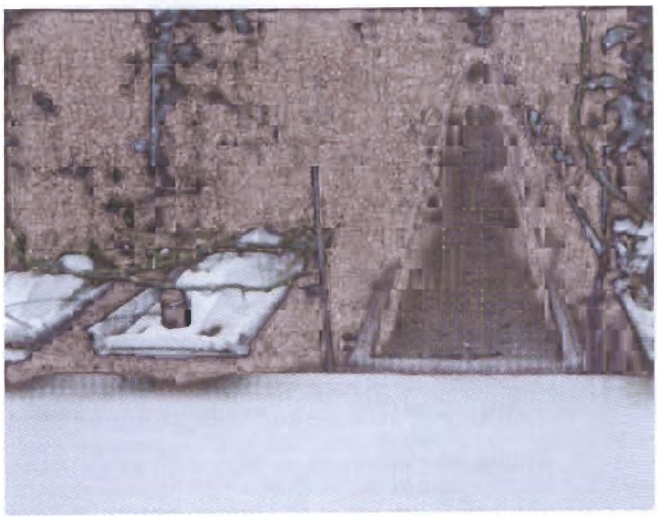
Άζωτο *	214
Φώσφορο	68
Κάλιο	434
Μαγνήσιο	59
Ασβέστιο +	128
Σίδηρος	4,5
Μαγγάνιο	0,4
Βόριο	0,2
Χαλκός	0,09
Ψευδάργυρος	0,09
Μολυβδαίνιο	0,09

* Η προσθήκη αζώτου γίνεται με την χορήγηση νιτρικού οξέος που προέρχεται από το συμπυκνωμένο διάλυμα 3, εντούτοις το ποσό είναι μικρό επειδή το ποσό στο οξύ που απαιτείται για να ελεγθεί το pH του μαλακού νερού είναι πολύ λιγότερο από αυτό που απαιτείται για το σκληρό νερό.

+ Έπειτα η περιεκτικότητα ασβεστίου του χορηγούμενου νερού, πρέπει να μην ληφθεί υπόψη.

Πίνακας 4. Συνιστώμενο θρεπτικό Διάλυμα για τομάτες του συστήματος NFT (ποσό από το λίπασμα ανά 1000l συμπυκνωμένου διαλύματος).	
Συμπυκνωμένο Διάλυμα 1 (Συνολικός Όγκος 1000L)	Συμπυκνωμένο Διάλυμα 2 * (Συνολικός Όγκος 1000L)
99.0kg Νιτρικό Ασβέστιο	49,7 Θειϊκό άλας Μαγνησίου
65.8kg Νιτρικό Κάλιο	27.2kg monopotassium phosphate
	3kg Χηλική Ένωση Σιδήρου
	0.5kg Θειϊκό άλας Μαγνησίου
	180.0gr Βορικό οξύ
	30.0gr Θειϊκό άλας Χαλκού
	35.0gr Θειϊκό άλας Ψευδαργύρου
	8.0 gr Αμμώνιο Μολυβδαινίου

- Η προετοιμασία του τελικού διαλύματος γίνεται με την προσθήκη ίσου όγκου νερού και από τα 2 διαλύματα μέχρι να επιτευχθεί η συνιστώμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα(EC) του διαλύματος των 2200μS/cm. Έπειτα ακολουθεί ρύθμιση του pH στο 6.2 προσθέτοντας φωσφορικό οξύ (ελαφρώς χαμηλές συνθήκες) ή νιτρικό οξύ (ελαφρώς υψηλότερες συνθήκες). Τα συμπυκνωμένα διαλύματα αναμιγνύονται ιδανικά και το pH αυτόματα είναι ρυθμισμένο από τους ελεγκτές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH.
- Κατά την έναρξη μιας καλλιέργειας αρχίζουμε με μια ηλεκτρική αγωγιμότητα EC 1500μS/cm και προοδευτικά αυξάνεται μέχρι 2200 μS/cm κατά τη διάρκεια κάθε εβδομάδας.
- Ένα υπόβαθρο της EC της τάξης του 300-600μS/cm από την παροχή νερού είναι υποθετικό.



Εικ. 5 Μεταλλική κατασκευή για την καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT)

Για να έχει επιτυχία ένα σύστημα N.F.T. πρέπει να έχουν :

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

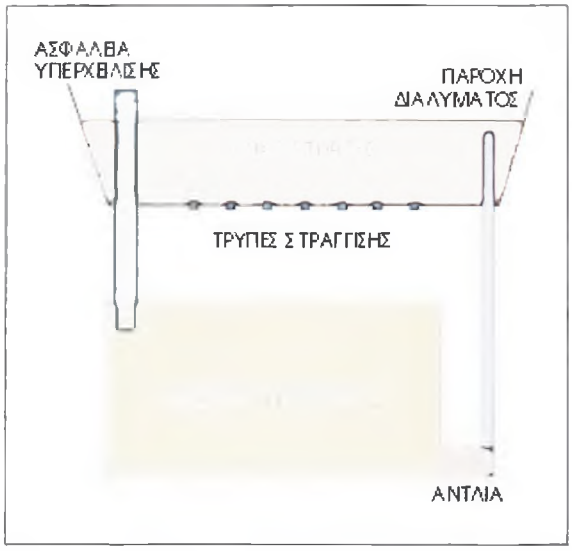
3.2.1.1 Χορήγηση θρεπτικού διαλύματος.

Το θρεπτικό διάλυμα στο σύστημα αυτό ρέει κάτω από ένα κανάλι που καταλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών. Δεδομένου ότι η απόσταση από το σημείο της εισαγωγής αυξάνεται, τα χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος θα αλλάξουν σημαντικά. Επομένως το μήκος της εκροής είναι κρίσιμο. Καθώς η μάζα της ρίζας αυξάνεται, το θρεπτικό διάλυμα τείνει να ρέει παραπάνω από τη μάζα της ρίζας, κάτι το οποίο θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση των φυτών με τον χρόνο.

3.2.2. EBB/FLOW (Fill & Drain – Γέμισμα και Άδειασμα)

Ένα άλλο σύστημα που πήρε τ' όνομά του και από τον τρόπο λειτουργίας του. Η διαφορά είναι πως σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται υλικό στήριξης.

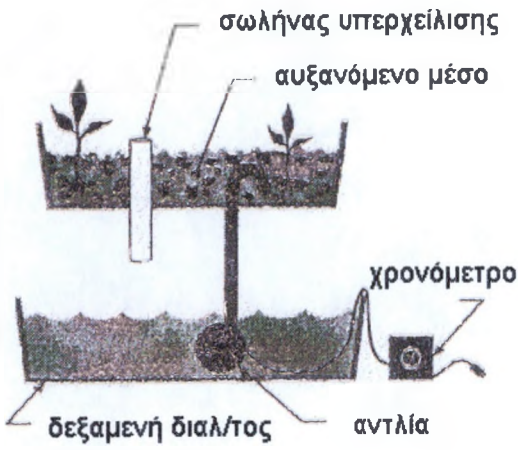
Τα δοχεία είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε να εξυπηρετούν την λειτουργία του συστήματος. Έχουν λοιπόν(όπως βλέπουμε στο σχήμα) τρύπες στράγγισης στο κάτω μέρος τους μια παροχή θρεπτικού διαλύματος στο επιθυμητό ύψος ενώ μια ακόμα τρύπα πιο ψηλά μας εξασφαλίζει από περίπτωση υπερχείλισης.



Εικ. 6 Σχηματική παράσταση συστήματος EBB/FLOW

Η παροχή στο σύστημα αυτό γίνεται μόνο με αντλία σε αντίθεση με το N.F.T. που μπορεί να λειτουργεί και με βαρύτητα.

Σε τακτά χρονικά διαστήματα η αντλία στέλνει θρεπτικό μείγμα στο δοχείο έως ότου φτάσει στην επιθυμητή στάθμη και μετά σταματά. Το θρεπτικό διάλυμα διαφεύγει από τις τρύπες στράγγισης σιγά-σιγά και επιστρέφει στο δοχείο συγκέντρωσης.



Εικ. 7 Ένα τυπικό σύστημα EBB - FLOW

Όσο το θρεπτικό διάλυμα βρίσκεται μέσα στο δοχείο τα φυτά απορροφούν στοιχεία. Η διαφυγή του νερού όμως προς τα κάτω προκαλεί την είσοδο αέρα από την επάνω πλευρά. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται και ο αερισμός των ριζών.

Στη φωτογραφία παρακάτω φαίνεται ένα EBB/Flow σύστημα στο οποίο διακρίνονται όλα όσα περιγράψαμε έως τώρα εκτός του υλικού στήριξης των φυτών.

Εικ.8 Σύστημα EBB/FLOW

Οι υπόλοιπες λειτουργίες όπως η ανακύκλωση, εμπλουτισμός και θέρμανση του διαλύματος είναι ίδιες με το N.F.T. γίνονται δηλαδή μέσα στο δοχείο συγκέντρωσης και το διάλυμα ξαναχρησιμοποιείται.

3.2.2.1 Χορήγηση Θρεπτικού Διαλύματος

Το θρεπτικό διάλυμα αντλείται από μια δεξαμενή στο αυξανόμενο μέσο, που το πλυμμηρίζει με το διάλυμα για μια μικρή χρονική περίοδο και έπειτα γίνεται η επιστροφή του στην δεξαμενή όπως φαίνεται στο πρακάτω σχήμα.

Αυτή η εκροή του θρεπτικού διαλύματος από το μέσο αύξησης μεταφέρει αέρα στο στρώμα της ρίζας που παρέχει μια πηγή οξυγόνου. Από το υγρό αυτό τα φυτά είναι σε θέση να λάβουν νερό και θρεπτικά στοιχεία. Ωστόσο σ' ένα τέτοιο σύστημα χορήγησης του θρεπτικού διαλύματος, οι ρίζες δοκιμάζουν ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον, το οποίο μπορεί να μην είναι ιδανικό για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών, αν και η απόδοση των φυτών είναι συνήθως ικανοποιητική.

3.2.3. Σύστημα NGS

Το υδροπονικό σύστημα NGS (New Growing System) είναι ένα πρωτοποριακό σύστημα στο χώρο των υδροπονικών καλλιεργειών,το οποίο είναι απόλυτα προσαρμοσμένο στις ανάγκες της σύγχρονης θερμοκηπιακής επιχείρησης.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας του NGS είναι δυνατόν να λυθούν προβλήματα όπως :

i. Της έλλειψης νερού που αντιμετωπίζουν σήμερα οι παραγωγοί στο ευρύτερο Ελλαδικό χώρο.
ii. Των παθογόνων που προέρχονται από το έδαφος όπως το φουζάριο
iii. Την δυνατότητα αύξησης της παραγωγής
iv. Βελτίωση της ποιότητας
v. Επίτευξη πρωϊμότητας στην παραγωγή
vi. Μείωση του κόστους
vii. Δυνατότητα ελέγχων για προσαρμογή του παραγωγικού κύκλου σύμφωνα με τις ανάγκες της αγοράς.

Τα NGS προέρχεται από την Αλμερία της Ισπανίας, μία από τις πιο αναπτυγμένες τεχνολογικά περιοχές σε σύγχρονα θερμοκηπιακά προϊόντα.

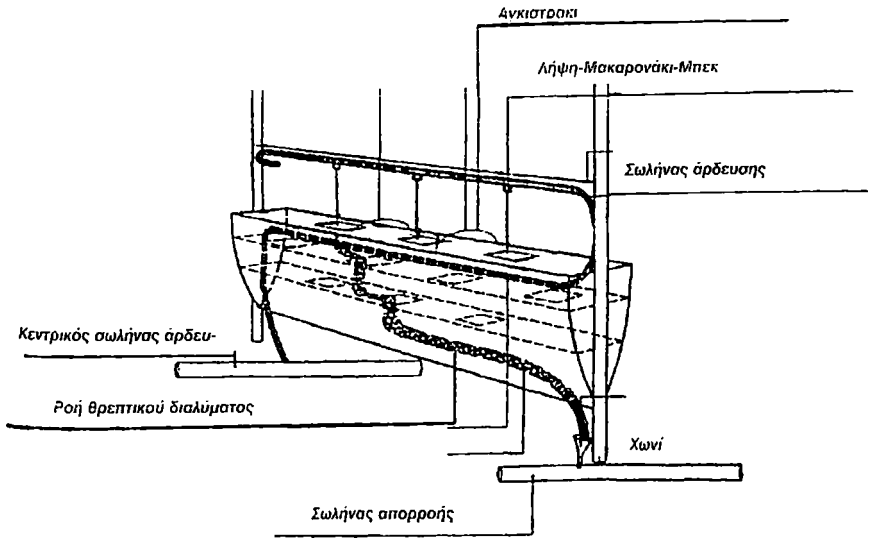
Το σύστημα μελετήθηκε από εξειδικευμένους επιστήμονες και τέθηκε σε εφαρμογή από νεωτεριστές παραγωγούς με εντυπωσιακά αποτελέσματα σε σύγκριση

με την κλασική μέθοδο καλλιέργειας στο έδαφος. Τα αποτελέσματα αυτά κατέστησαν το NGS ως το πλέον σύγχρονο, αξιόπιστο και παραγωγικό σύστημα καλλιέργειας.

Το NGS είναι ένα σύστημα καλλιέργειας χωρίς υπόστρωμα. Ανήκει στη κατηγορία των κλειστών υδροπονικών συστημάτων(ανακύκλωσης). Αυτό σημαίνει ότι το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα με το οποίο ποτίζονται τα φυτά, απορρέει από το χώρο των ριζών, συλλέγεται, συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία και οδηγείται ξανά στην καλλιέργεια για να ξαναχρησιμοποιηθεί.

Το NGS είναι κατασκευασμένο από PE, λευκό εξωτερικά και μαύρο εσωτερικά. Αποτελείται από τέσσερα παράλληλα μεταξύ τους φύλλα πλαστικού. Το πάνω φύλλο (1ο) καθώς και τα δύο ενδιάμεσα εξωτερικά φύλλα (2ο, 3ο) φέρουν τρύπες σε καθορισμένες αποστάσεις και σε ενδιάμεσες μεταξύ τους θέσεις. Στο τέταρτο (4ο) φύλλο συγκεντρώνεται το θρεπτικό διάλυμα που πέφτει από τις τρύπες του 1ου, 2ου, και 3ου φύλλου με τη δύναμη της βαρύτητας για να οδηγηθεί στην απορροή. Τα νεαρά φυτά τοποθετούνται στις τρύπες του 1ου φύλλου. Στα ενδιάμεσα φύλλα PE αναπτύσσεται ελεύθερα το ριζικό σύστημα των φυτών.

Το κανάλι του NGS στηρίζεται πάνω σε δύο τεντωμένα σύρματα που είναι παράλληλα μεταξύ τους. Η τοποθέτηση του NGS πάνω στα σύρματα γίνεται πολύ απλά με τη βοήθεια ενός συρραπτικού. Τα σύρματα στηρίζονται σε δύο γαλβανιζέ πασσάλους διαμέτρου 60mm. Οι πάσσαλοι είναι τοποθετημένοι ο ένας στη μια άκρη και ο άλλος στην άλλη άκρη της καλλιεργητικής γραμμής, κάθετα στο έδαφος του θερμοκηπίου. Η κλίση που έχουν τα σύρματα και συνεπώς το κανάλι είναι περίπου 2%. Για να εξασφαλιστεί αυτή η κλίση τοποθετούνται πασσαλάκια ύψους 1m κατά μήκος του καναλιού, δεξιά και αριστερά του, σε αποστάσεις 1,5 – 2,0m. Αντί για πασσαλάκια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν αγκιστράκια στηριγμένα την οροφή.



Εικ. 9 Σύστημα NGS

Τα φυτά ποτίζονται και λιπαίνονται ταυτόχρονα με σταγόνα. Το αρδευτικό σύστημα αποτελείται από ένα κεντρικό σωλήνα που φέρνει το θρεπτικό διάλυμα και από τον οποίο ξεκινούν πλευρικοί σωλήνες διατομής 16 ή 20, ένας για κάθε γραμμή καλλιέργειας. Οι πλευρικοί σωλήνες ξεκινούν από τη μια άκρη της καλλιεργητικής γραμμής και αφού περάσουν πρώτα από το εσωτερικό του καναλιού, συγκεκριμένα μεταξύ του 1ου και του 2ου φύλλου πλαστικού, στρέφονται ξανά προς τη γραμμή καλλιέργειας και πάνω από αυτή όπου και στηρίζονται. Από εκεί ξεκινούν σωληνάκια διατομής 4 (μακαρονάκια) που στην άκρη τους φέρουν σταλάκτες (μπεκ) των 2-4lt/h, έναν για κάθε φυτό. Η τοποθέτηση του σωλήνα άρδευσης μεταξύ του 1ου και του 2ου φύλλου πλαστικού γίνεται για να εξασφαλίζει την κατάλληλη και ομοιόμορφη θερμοκρασία στην περιοχή του ριζικού συστήματος με την θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος που τον διαρρέει. Έτσι πετυχαίνεται εξοικονόμηση μεγάλων ποσών ενέργειας αφού δεν χρειάζεται να θερμαίνουμε όλο το θερμοκήπιο.

Το διάλυμα οδηγείται με αποστράγγιση από τη χαμηλότερη άκρη του καναλιού κάθε καλλιεργητικής γραμμής σε αποχετευτικό δίκτυο που αποτελείται από σωλήνες PVC και καταλήγει σε δεξαμενή συγκέντρωσης. Στη συνέχεια, το θρεπτικό διάλυμα πηγαίνει με τη βοήθεια αντλίας στο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου. Εκεί εμπλουτίζεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία και διορθώνεται το pH και η EC(ηλεκτρική αγωγιμότητα) και ξαναστέλνεται στο αρδευτικό σύστημα για να ξαναχρησιμοποιηθεί.

Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου έχει την δυνατότητα να κάνει 1) διορθώσεις των στοιχείων στο διάλυμα, 2) να ελέγχει πλήρως τη θερμοκρασία, 3) την υγρασία, 4) τον αερισμό (άνοιγμα και κλείσιμο παραθύρων), 5) τον τεχνητό φωτισμό 6) σκίαση, 7) τη λειτουργία του αρδευτικού συστήματος, κ.λ.π.

Ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου θερμοκηπίου που κατασκευάζεται από Έλληνες τεχνικούς και ανταποκρίνεται στην ελληνική πραγματικότητα και συνεργάζεται άριστα με το NGS είναι το σύστημα ελέγχου ΔΗΜΗΤΡΑ 1. Εκτός των άλλων, το ΔΗΜΗΤΡΑ 1 δίνει τη δυνατότητα στον παραγωγό για ταυτόχρονο έλεγχο πολλών θερμοκηπιακών μονάδων, ελέγχου εξ' αποστάσεως μέσω fax-modem και επίσης διαθέτει σύστημα αυτοελέγχου για συνολική προστασία από οποιοδήποτε τυχόν πρόβλημα παρουσιαστεί.

3.2.4. Αεροπονία

Ένα άλλο σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι και η αεροπονία όπου το θρεπτικό διάλυμα χωρίς την χρήση υποστρώματος. Στις αεροπονικές μεθόδους καλλιέργειας το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται με ακροφύσια πάνω στο αναπτυσσόμενο ριζικό σύστημα έτσι ώστε ο χώρος να είναι συνεχώς κορεσμένος από υγρασία. Κατ' αυτόν τον τρόπο η ρίζα του φυτού παραμένει συνεχώς υγρή και μπορεί ν' 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 μια 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 στην σύνθεσή του μετά από κάθε ανάλυση,

συσσώρευση ιόντων Na και Cl σε περίπτωση που το χρησιμοποιούμενο νερό έχει αυξημένη περιεκτικότητα στα δύο αυτά 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 μείκτης των 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 σ' 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.

3.2.4.1 Χορήγηση θρεπτικού διαλύματος

Στο σύστημα αυτό, οι ρίζες «βαπτίζονται» περιοδικά από το θρεπτικό διάλυμα, με μια λεπτή υδρονέφωση του θρεπτικού διαλύματος. Όσο λεπτότερη είναι η υδρονέφωση, τόσο καλύτερη απόδοση φυτών έχουμε. Η ανεπάρκεια σε οξυγόνο δεν είναι πρόβλημα, αλλα η συχνότητα της ομίχλης πρέπει να είναι επαρκής και να παρέχεται στις ρίζες αρκετό νερό για να καλύπτεται η ανάγκη της υδρονέφωσης των φυτών.

3.3 Υδροπονική καλλιέργεια σε υποστρώματα

Τα συστήματα υδροπονίας με ανόργανα υποστρώματα αποτελούν την πλειοψηφία των υδροπονικών εγκαταστάσεων και βρίσκουν ευρεία προτίμηση από τους Έλληνες παραγωγούς. Και αυτό γιατί τα εξής πλεονεκτήματα : 1) Με την εγκατάσταση υποστρώματος τμηματικά σε σάκους του 1 μέτρου, σε κάθε ένα από τους οποίους τοποθετούνται τρία φυτά, επιτυγχάνεται ο εγκλωβισμός πιθανής προσβολής από τις ασθένειες εδάφους όπως φουζικλάδιο, που μεταδίδονται στο ριζικό σύστημα σε ένα μόνο σάκο αποφεύγοντας κατά αυτό τον τρόπο την εξάπλωσή τους στο θερμοκήπιο. 2) Τα υποστρώματα συνίσταται για την ομοιομορφία των φυσικών ιδιοτήτων τους με

ευεργετικά αποτελέσματα στο περιβάλλον της ρίζας αφού το υπόστρωμα χρησιμοποιείται μόνο για την στήριξη του φυτού και η θρέψη του γίνεται με την παροχή διαλύματος, 3) μπορούμε πολύ πιο εύκολα να ρυθμίσουμε την θερμοκρασία στην περιοχή του ριζικού συστήματος για την βέλτιστη της απορρόφησης των στοιχείων. 4) Η περιοδική τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικό διάλυμα επιτρέπει την δημιουργία καλύτερων συνθηκών για την σωστή ανάπτυξή τους με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον, σε μια εποχή που οι συνεχείς λιπάνσεις του εδάφους, οι οποίες είναι κατά ένα ποσοστό μόνο χρησιμοποιήσιμες από τα φυτά, οδηγούν στη μόλυνση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων, πολλές φορές σε ανησυχητικό βαθμό.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες με το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται θα πρέπει να αποτελεί ένα υποκατάστατο του εδάφους και επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να επιτελεί όλες τις λειτουργίες που γίνονται από το κανονικό έδαφος 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 έγκειται στην εξασφάλιση της ανόργανης θρέψης τους και στην παροχή της μηχανικής στήριξης σε αυτά. Πρόβλημα στήριξης των φυτών όμως δεν υπάρχει στις υδροπονικές καλλιέργειες στις οποίες γίνεται χρήση υποστρώματος και εφόσον αυτές γίνονται εντός θερμοκηπίου. Τα φυτά που αναπτύσσονται αρκετά σε ύψος όπως το χρυσάνθεμο, το γαρίφαλο, και το τριαντάφυλλο, προσδένονται και υποστηλώνονται, με συνέπεια να μην έχουν ανάγκη για στήριξη από το έδαφος, ενώ τα φυτά χαμηλής ανάπτυξης όπως η ζέρμπερα στηρίζονται ικανοποιητικά από το υπόστρωμα. Επομένως, η βασική λειτουργία την οποία καλούνται να επιτελέσουν επιτυχώς τα υποστρώματα είναι η εξασφάλιση καλής και ισόρροπης θρέψης στα φυτά.

Ο προφανέστερος τρόπος εξασφάλισης της καλής και ισόρροπης θρέψης των φυτών στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι η χρησιμοποίηση υποστρωμάτων που συμπεριφέρονται όπως ένα πολύ καλό και γόνιμο έδαφος. Σύμφωνα με τα παραπάνω θα πρέπει τα χρησιμοποιούμενα υποστρώματα να έχουν 1) πολύ καλή και ομοιόμορφη δομή, 2) πολύ καλή υφή και καλή σύσταση 4) 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 όταν 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 έδαφος επειδή έχουν πολύ μικρότερο όγκο υποστρώματος ανά φυτό. Από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται σαφές ότι η καλλιέργεια φυτών σε χημικώς ενεργά υποστρώματα κατά βάση προσομοιάζει πολύ με τις κοινές καλλιέργειες που γίνονται στο έδαφος με συνέπεια οι δυνατότητες αριστοποίησης της θρέψης να είναι περιορισμένες αφού όπως και στο έδαφος η θρέψη δεν είναι πλήρως ελεγχόμενη. Αυτό συμβαίνει διότι το έδαφος στην θρέψη των φυτών έχει πολύπλευρο ρόλο και έγκειται τόσο στην παροχή θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα και μέσω αυτού στα φυτά όσο και στην ρύθμιση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων που υπάρχουν. 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 σε κανονικό έδαφος 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, επειδή το έδαφος δεν είναι ομοιόμορφο πάντοτε και επειδή η πρόβλεψη των συνθηκών που επικρατούν στο περιβάλλον είναι δύσκολη. Επίσης υπάρχει δυσκολία στην εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους από άποψη θρέψης σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Επομένως η κατάρτιση ενός ισόρροπου σχήματος λίπανσης και θρέψης της καλλιέργειας αποτελεί ένα πάρα πολύ δύσκολο θέμα και η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου σχήματος λίγο ως 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. Για αυτούς τους λόγους στην υδροπονία η επιλογή κατάλληλων υποστρωμάτων δεν στηρίζεται στη

χρησιμοποίηση ενός υλικού που θα ρυθμίζει την θρέψη των φυτών με τον ίδιο τρόπο όπως το έδαφος. Αλλά 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 δεν θα πρέπει να συγκρατούν αλλά και να μην αποδίδουν ανόργανα ιόντα στο 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 τον καλύτερο τρόπο τον ρόλο για τον οποίο προορίζεται θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Σταθερή δομή, ώστε να μην αποσυντίθεται εύκολα
- Ικανοποιητική αναλογία μεταξύ νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας
- Ομοιομορφία στην σύσταση, στην εμφάνιση και στην συμπεριφορά από άποψη θρέψης
- Απαλλαγμένο από παθογόνα, ζωϊκούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων
- Εύκολο στην χρήση του και γενικά στους καλλεργητικούς χειρισμούς
- Σχετικά χαμηλό κόστος.
- Θα πρέπει να είναι χημικά αδρανές.
- 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.

Τα πιο σημαντικά ανόργανα υποστρώματα είναι τα εξής:

1. Πετροβάμβακας (rockwool).
2. Περλίτης
3. Ελαφρόπετρα
4. Άμμος.
5. Πριονίδι
6. Άχυρο

7. Χαρτοπολτός
8. Επεξεργασμένη ιλύς
9. Φύκια
10. Κοκοτύρφη (cocosoil)
11. Αλεσμένοι φλοιοί δένδρων
12. Τύρφη

Η τύρφη καθώς επίσης και οι φλοιοί δένδρων δεν συμπεριλαμβάνεται από πολλούς ερευνητές στην υδροπονία επειδή το οργανικό υπόστρωμα δεν είναι αδρανές, αλλά θεωρείται ως ιδιαίτερο σύστημα καλλιέργειας.

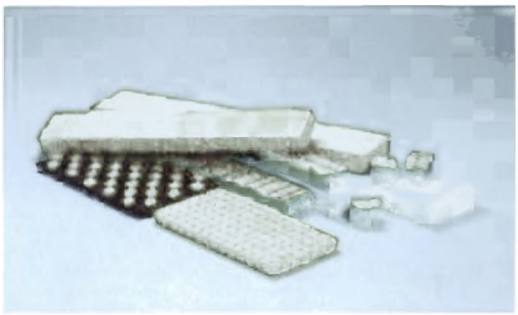
Κάθε κατηγορία υποδιαιρείται σε υποκατηγορίες ή μεθόδους, που σκοπό έχουν την βελτίωση της αποδοτικότητας κάτω από ορισμένες συνθήκες. Στην πραγματικότητα στο εμπόριο δεν υπάρχει ένα σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας που να δίνει το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα σε όλες τις περιπτώσεις. Διότι ακόμα και αν θεωρήσουμε ότι έχουμε το καλύτερο σύστημα υδροπονίας, η απόδοσή του εξαρτάται από κάποιους παράγοντες όπως είναι : το κλίμα, το κόστος πρώτων υλών, η ενέργεια, η εργασία, το επίπεδο γνώσεων.

Οι κατηγορίες υδροπονικών καλλιεργειών που εφαρμόζονται περισσότερο σε θερμοκήπια που οι παραγωγοί ασχολούνται επαγγελματικά με την καλλιέργεια σήμερα είναι : 1) καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (rockwool culture), 2) καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT) όπως περιγράφτηκε παραπάνω και 3) καλλιέργεια σε σάκους τύρφης.

Άλλα υδροπονικά συστήματα που εφαρμόζονται σε σημαντικό βαθμό αλλά όχι ευρέως, είναι 1) η καλλιέργεια σε άμμο, (κυρίως τοπική άμμο, όπως στο Ισραήλ), 2)καλλιέργεια σε υπόστρωμα από πριονίδι (κυρίως στον Καναδά), αναπτύσσεται επίσης αρκετά και στην χώρα μας, στην Ιταλία καθώς επίσης και στην Αγγλία 3) η καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη, οριζόντιους ή κάθετους, 4) περιπτωσιακά χρησιμοποιείται σε αρκετές περιοχές σε όλο τον κόσμο και η καλλιέργεια σε χαλίκι, μικρής διαμέτρου.

3.4. Καλλιέργεια σε Πετροβάμβακα (GRODAN)

Ο πετροβάμβακας GRODAN είναι ένα υλικό που πρώτη του ύλη είναι το πέτρωμα βασάλτης, το οποίο λιώνει στους 1600-1800 °C. Περνάει από περιστρεφόμενο τύμπανο όπου παίρνει ινώδη μορφή και μορφοποιείται σε κύβους ή υποστρώματα, ανάλογα με τη χρήση. Στην τομάτα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μορφή πλάκας διαστάσεων 100x15x7,5cm, σε πλαστικούς σάκους. Η σπορά γίνεται σε κύπελλα με διαστάσεις των 2x2,5cm και η πρώτη μεταφύτευση σε κύβους ακμής των 4-6,5cm.



Εικ. 10 Υποστρώματα πετροβάμβακας και κύβοι πετροβάμβκα

Η μεγάλη εξάπλωση αυτού του υποστρώματος ωφείλεται στο ότι έχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα όπως είναι :

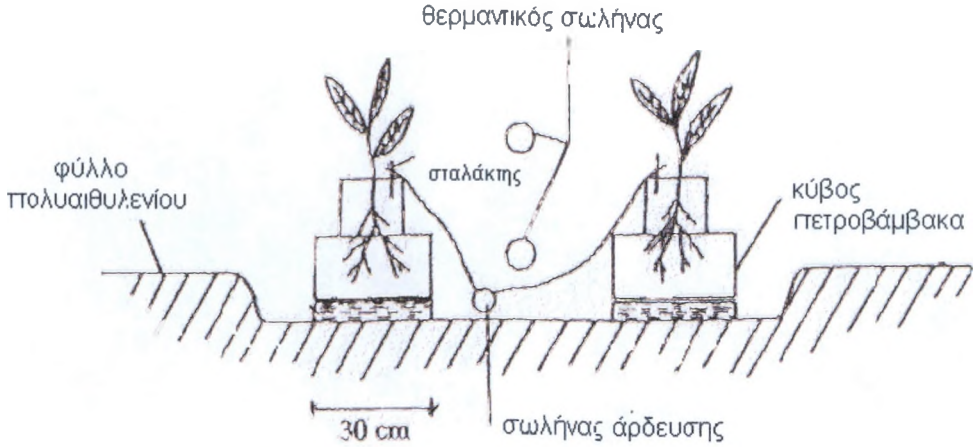
1. Παρουσιάζει αντοχές σε ακραίες αντίξοες συνθήκες
2. Ομοιόμορφη κατανομή του θρεπτικού διαλύματος σ' όλο τον όγκο των υποστρωμάτων.
3. Απρόσκοπτη απορρόφηση του θρεπτικού διαλύματος από το ριζικό σύστημα έχοντας άμεσο αποτέλεσμα στην γρήγορη ανάκαμψη των φυτών και καλύτερη ανάπτυξη.
4. Δεν υπάρχει κατακράτηση θρεπτικών στοιχείων από το υπόστρωμα.
5. Εξασφάλιση χώρου για τον αέρα ώστε να οξυγόνωνται και να μην σαπίζουν οι ρίζες του φυτού.
6. Εύκολη ρύθμιση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).
7. Αναλογικά μεγάλη κατακράτηση θρεπτικού διαλύματος σε σχέση με τον μικρό όγκο του υποστρώματος

8. Μικρότερη κατανάλωση νερού (θρεπτικού διαλύματος) τόσο σε σχέση με το έδαφος όσο και με οποιοδήποτε άλλο υπόστρωμα.
9. Καλή θερμοχωρητικότητα ώστε να μην επηρεάζονται εύκολα από τις ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος τα φυτά και το ριζικό σύστημα.
10. Σταθερή αναλογία αέρα / νερού στο υπόστρωμα
11. Το νερό (θρεπτικό διάλυμα) είναι εύκολα διαθέσιμο στο φυτό.

Εικ. 11 Καλλιέργεια τομάτας σε πετροβάμβακα

Στην τομάτα αποδείχτηκε ότι μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για περισσότερους του ενός κύκλους, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τις δαπάνες της κάθε καλλιέργειας.

Στο σύστημα GRODAN μπορούμε να ελέγξουμε τη θρέψη απευθείας στη ριζόσφαιρα του φυτού. Υπάρχει και είναι αποκλειστικότητα του συστήματος, ειδικό όργανο μέτρησης της υγρασίας, της EC, της θερμοκρασίας στο υπόστρωμα. Μετρήσεις μπορεί να γίνουν και μ' ένα απλό αγωγιμόμετρο και phμετρο.



Εικ. 12 Σύγχρονη εμπορική παραγωγή τομάτας σε πετροβάμβακα

Για τα υδροπονικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν εδαφικό υπόστρωμα GRODAN, για να έχουμε σωστή λειτουργία και αποδοτικότητα της χρήσης του, ως προς τη λειτουργία του και ως προς την απόδοσή του σε παραγωγή, θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις :

1. Το νερό θα πρέπει να είναι καλής ποιότητας. Νερό με EC μεγαλύτερη του 15 είναι ακατάλληλο ειδικά για Ζέρμπερα, όπως επίσης νερό με υψηλή συγκέντρωση Cl(μεγαλύτερη από 150ppm) ή Na(μεγαλύτερη από 100ppm) είναι επισφαλές. Αλλά και σ' αυτές τις περιπτώσεις με κατάλληλο χειρισμό της άρδευσης μπορούν να ξεπεραστούν τα προβλήματα και να έχουμε καλή παραγωγή.
2. Αναγκαία είναι η χρήση δοσομετρητή λιπασμάτων ανάλογα με το μέγεθος της επιχείρησης, μπορεί να είναι δύο δοσομετρητές με προγραμματιστή άρδευσης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις πρέπει ο παραγωγός να ελέγχει το pH και την EC του θρεπτικού διαλύματος, κάθε φορά που αρδεύει χειροκίνητα. Ακόμα τα ηλεκτρονικά μηχανήματα υδρολίπανσης θα πρέπει να ελέγχουν το pH και την EC του θρεπτικού διαλύματος αυτόματα.
3. Αξιόπιστο αρδευτικό σύστημα(αυτορυθμιζόμενα μπεκάκια με ελάχιστη παροχή 1,5 –2 lt ανά φυτό, να έχουν ομοιόμορφη παροχή σ' όλο το θερμοκήπιο).
4. Όργανα μέτρησης για το pH και την EC, έτσι ώστε ο παραγωγός να μπορεί να ελέγχει τις συνθήκες στη ριζόσφαιρα ανά πάσα στιγμή, επίσης είναι απαραίτητη η καταγραφή όλων των μετρήσεων των προαναφερόμενων παραγόντων, όπως

και των υπολοίπων συντελεστών της καλλιέργειας έτσι ώστε να είναι πιο αποτελεσματική η τεχνική υποστήριξη.

3.4.1 Άρδευση στο σύστημα GRODAN

ο πετροβάμβακας *GRODAN* είναι αδρανές υλικό και τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία προστίθενται με το θρεπτικό διάλυμα. Η άρδευση δεν γίνεται ποτέ με καθαρό νερό αλλά πάντα με θρεπτικό διάλυμα. Η αρχή της άρδευσης με διάλυμα στηρίζεται στην χορήγηση συγκεκριμένης ποσότητας(100-120ml ανά φυτό) αρκετές φορές την ημέρα. Η χορηγούμενη ποσότητα καθώς και ο αριθμός αρδεύσεων την κάθε ημέρα εξαρτάται από :

1. Το στάδιο ανάπτυξης του φυτού
2. Τις κλιματικές συνθήκες
3. Το ποσοστό του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει
4. Την ηλεκτρική αγωγιμότητα στο υπόστρωμα

Η κατανομή της άρδευσης θα πρέπει να είναι συχνότερη τις ώρες της ημέρας που οι απαιτήσεις για νερό είναι μεγαλύτερες (μεταξύ 12:00 και 17:30). Η απορροή κατά την διάρκεια κάθε ποτίσματος είναι απαραίτητη διότι με τον τρόπο αυτό παραμένει η επιθυμητή σχέση των θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας.

3.4.2 Μελέτη - Εγκατάσταση υδροπονικού συστήματος GRODAN

Πριν την εγκατάσταση του συστήματος υδροπονίας GRODAN είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες εργασίες προετοιμασίες του θερμοκηπίου. Αυτές οι εργασίες είναι οι ακόλουθες :

→ Ακριβής υπολογισμός της καλλιεργούμενης έκτασης. Διότι ανάλογα με την περιοχή που εξελίσσεται η καλλιέργεια, το είδος της καλλιέργειας, και τους αυτοματισμούς που διαθέτει το θερμοκήπιο, έχουμε και τον ανάλογο

αριθμό φυτών που μπορούμε να βάλουμε, έτσι ώστε να εξασφαλιστούν ικανοποιητικές συνθήκες φωτισμού, υγρασίας, και αερισμού.

- → Σχεδιασμός του δικτύου άρδευσης(κάθε φυτό και ένας σταλάκτης), με στόχο την ομοιομορφία της παροχής θρεπτικού διαλύματος σ' όλα τα φυτά.
- → Ισοπέδωση και κάλυψη του εδάφους με λευκό πανί εδαφοκάλυψης για να γίνει αύξηση της φωτεινότητας, και περιορισμός των ζιζανίων, και των εχθρών της καλλιέργειας.
- → Επιλογή και εγκατάσταση του συστήματος στήριξης. Στη χώρα μας έχουν χρησιμοποιηθεί για τη στήριξη του συστήματος υδροπονίας GRODAN πέρα από το ολλανδικής προέλευσης σύστημα που χρησιμοποιεί πλαστικοποιημένη λαμαρίνα, αρκετές ιδιοκατασκευές, που κάνουν χρήση φενιζόλ είτε χρήση γαλβανισμένης λαμαρίνας καλυμμένης με πλαστικό. Ανεξάρτητα απ' το σύστημα στήριξης η απόδοση είναι το ίδιο καλή.
- → Εγκατάσταση του αρδευτικού συστήματος και του συτήματος θέρμανσης.
- → Τοποθέτηση των πλακών.
- → Πριν την φύτευση αφού έχουν ανοιχθεί οπές φύτευσης «γεμίζεται» η πλάκα με θρεπτικό διάλυμα με pH=5 έπειτα από 24 ώρες ανοίγονται οι οπές απορροής.

Πριν γίνει η τοποθέτηση των πλακών ανάπτυξης θα πρέπει να γίνει απολύμανση στην περιοχή του δαπέδου του θερμοκηπίου. Η επιφάνεια του εδάφους θα πρέπει να ισοπεδωθεί. Τα υποστρώματα αποτελούνται από δύο πλάκες πετροβάμβακα 30 – 45 cm. Το χώμα ή η άμμος κάνει το καλύτερο δάπεδο γιατί μπορεί να διαμορφώνεται εύκολα για να έχει καλή στράγγιση. Όλη η περιοχή του δαπέδου του θερμοκηπίου είναι καλυμένη μ' ένα άσπρο πάνω από το μαύρο φύλλο πολυαιθυλένιο πάχους 6 mm για να παρέχει ελαφριά αντανάκλαση και καλή υγιεινή. Εάν οι συνθήκες στράγγισης στο θερμοκήπιο είναι κακές, είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί ένας σωλήνας αποστράγγισης.

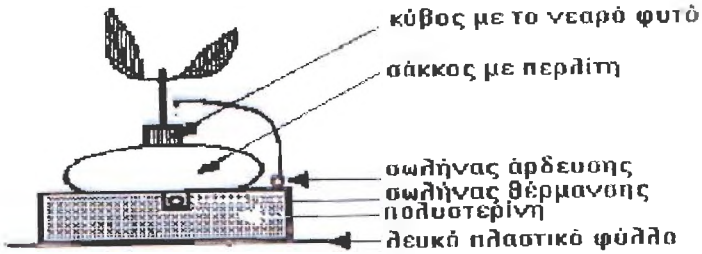
Εάν το υπέδαφος του θερμοκηπίου επιχωματώνεται με μια βάση ή αμμοχάλικου υψηλής διείσδυσης, οι πλάκες πετροβάμβακα θα μπορούσαν να τοποθετηθούν άμεσα στο δάπεδο χωρίς φύλλο πολυαιθυλενίου. Οι υπερβολικές θρεπτικές ουσίες θα πήγαιναν γρήγορα και η αύξηση ζιζανίων θα προωθούνταν σε τέτοιες περιπτώσεις, στις περιοχές δίπλα στις πλάκες ανάπτυξης.

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

3.4.3 Σύστημα χωρίς ανακύκλωση 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- 0,8mm, 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 :

1. Αποτραπεί η ανάπτυξη των ζιζανίων στο χώρο του θερμοκηπίου
2. Διατηρεί καθαρό περιβάλλον του θερμοκηπίου ώστε να αποφευχθούν οι μολύνσεις από ασθένειες που προέρχονται απ' το έδαφος.
3. Βελτιώνεται ο φυσικός φωτισμός των κατωτέρων φύλλων με την ανάκλαση του φωτός.



Εικ. 13 Σύστημα χωρίς ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος

Στο έδαφος επάνω στο πλαστικό φύλλο τοποθετούνται λωρίδες από πλάκες πολυστερίνης (όπως φαίνεται στην εικόνα 11) πλάτους 15cm(ή 20 ή 25cm, αν καλλιεργηθεί αγγούρι) και πάχους 2-3cm. 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 cm, ώστε να θερμαίνεται η ρίζα.

Επάνω στις γραμμές της πολυστερίνης τοποθετείται φύλλο λευκού πλαστικού, πλάτους 45cm(ή 75cm), και επάνω του ο πετροβάμβακας, σε τεμάχια

Εικ. 14 Καλλιέργεια Τομάτας σε πετροβάμβακα χωρίς ανακύκλωση

μήκους 1,25m, πάχους 7,5cm και πλάτους 15cm για την τομάτα . Ανά 1-2 m 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 τυλιγμένα στο 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. 15 Εγκατάσταση πετροβάμβακα

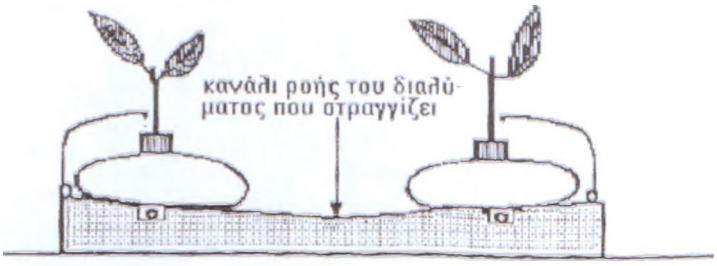
Τοποθετούνται οι γραμμές άρδευσης παράλληλα με τις γραμμές του πετροβάμβακα και τοποθετούνται οι σταλάκτες με τα σωληνάκια τους ένας σε κάθε θέση φύτευσης.

Μετά από αυτό γίνεται πότισμα με θρεπτικό διάλυμα, αγωγιμότητας 3-6mS και pH 5-5,5 και αφήνονται γεμάτοι, οι σάκοι που έχουν σχηματισθεί, τουλάχιστον 24 ώρες πριν να γίνει η φύτευση.

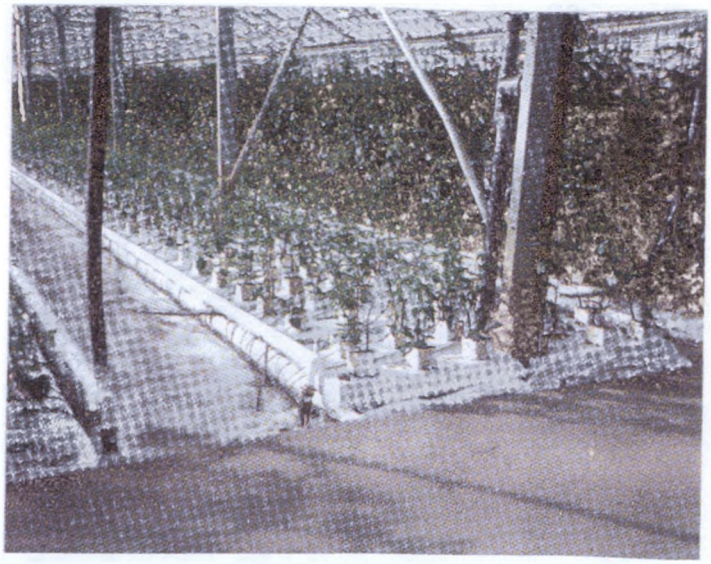
Τα νεαρά φυτάρια αναπτύσσονται στο φυτώριο σε κύβους πετροβάμβακα διαστάσεων συνήθως 10x10cm. Κατά την φύτευση τοποθετείται σε κάθε θέση φύτευσης ένας κύβος πετροβάμβακα που φέρει το νεαρό φυτάριο του φυτωρίου. Δύο με τρείς μέρες μετά τη φύτευση γίνονται με το μαχαίρι οι σχισμές στράγγισης στις πλευρές και στο μέσο μεταξύ των θέσεων άρδευσης.

3.4.4 Σύστημα με ανακύκλωση του διαλύματος

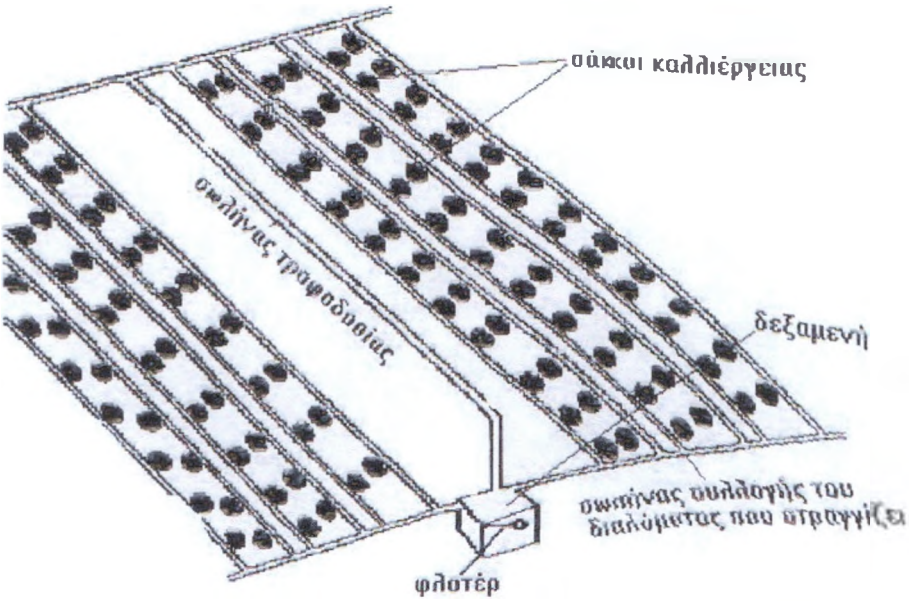
Σε αυτή την περίπτωση, κατά μήκος των καναλιών δίνει την κλίση στο έδαφος 1,5-2%. Οι πλάκες πολυστερίνης εδώ έχουν πλάτος τόσο όσο να εξυπηρετούν δύο γραμμές φύτευσης, έχουν κεκλιμένη επιφάνεια έτσι ώστε το διάλυμα που περισσεύει κατά το πότισμα να μαζεύεται στο χώρο μεταξύ δύο γραμμών πετροβάμβακα, απ' όπου μετακινείται με τη βαρύτητα στο χαμηλότερο σημείο της γραμμής, και επιστρέφει πάλι στο δοχείο του θρεπτικού διαλύματος.



Εικ. 16 Σύστημα με ανακύκλωση θρεπτικού διαλύματος



Εικ. 17 Καλλιέργεια σε ανακυκλούμενο σύστημα πετροβάμβακα



Εικ. 18 Κάτοψη ενός συστήματος με ανακύκλωση

3.4.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Πετροβάμβακα

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Υπάρχει μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης και διάδοσης ασθενειών στην καλλιέργεια.
2. Έχουμε ενιαία εφαρμογή θρεπτικών ουσιών στα φυτά.
3. Μπορεί να παρέχει την κατώτατη θερμοκρασία.
4. Γρήγορη εναλλαγή των καλλιεργειών με ελάχιστο κόστος εργασίας.
5. Παρέχει καλό αερισμό των ριζών.
6. Υπάρχει μικρότερος κίνδυνος αποτυχίας των καλλιεργειών λόγω μηχανικής βλάβης στο σύστημα απ' ότι σ' ένα σύστημα N.F.T.
7. Απαιτεί μικρότερο κόστος για εξοπλισμό και εγκατάσταση σε σύγκριση με άλλα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Ο πετροβάμβακας είναι σχετικά ακριβός στις χώρες που δεν κατασκευάζεται.
2. Η συσσώρευση των ανθρακικών αλάτων και το νάτριο μπορούν να εμφανιστούν στις πλάκες πετροβάμβακα, στις περιοχές που έχουν υψηλά άλατα στο πρωτογενή νερό. Σε τέτοιες περιοχές θα ήταν απαραίτητος ένας εξαγνυστής νερού.

3.5 Καλλιέργεια σε σάκους με Περλίτη

Ο περλίτης είναι ένα ουδέτερο υλικό και βρίσκεται στην αγορά (ακόμα και στην Ελληνική) σε μορφή λευκών κόκκων συσκευασμένο σε σάκους. Κατασκευάζεται από ηφαιστειακά πετρώματα με κατεργασία σε πολύ υψηλή θερμοκρασία.

Λόγω της πορώδους υφής του είναι ιδανικός για υδροπονική χρήση γιατί μπορεί να συγκρατήσει νερό σε ποσότητα πολύ μεγαλύτερης του βάρους του. Επίσης λόγω της χημικής ουδετερότητάς του δεν επηρεάζει τα θρεπτικά διαλύματα. Χρησιμοποιείται

ευρέως στην υδροπονία για την στήριξη των φυτών όπως βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα.

Εικ. 16 Καλλιέργεια τομάταςσε Περλίτη

Μπορούμε να τον προμηθευτούμε τόσο από γεωπονικά καταστήματα όσο και από οικοδομικά υλικά.

Στην περίπτωση του περλίτη όπως βλέπουμε και στην φωτογραφία που ακολουθεί, Τα φυτά τοποθετούνται σε τρύπες που ανοίγονται στην πάνω πλευρά των σάκων.

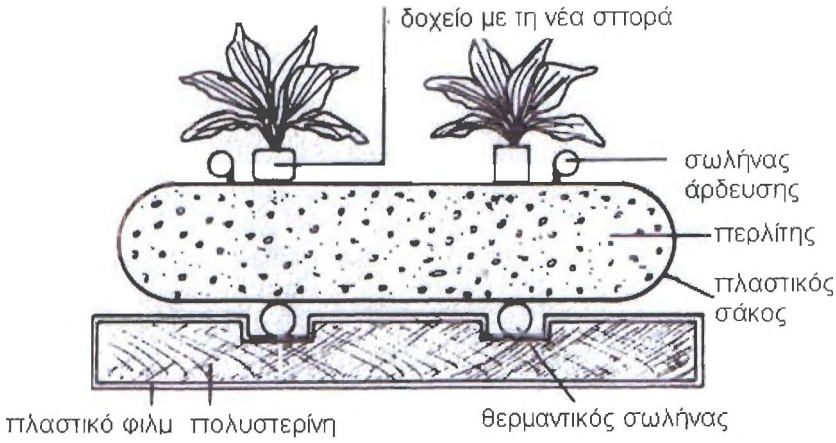
Εικ. 19 Τοποθέτηση των φυτών στις διανοιγόμενες τρύπες

Το θρεπτικό διάλυμα φτάνει σε κάθε φυτό ξεχωριστά είτε με αντλίες, είτε με βαρύτητα και για την σωστή ποσότητα φροντίζουν ρυθμιζόμενοι σταλάκτες. Ο περλίτης συγκρατεί όσο από το διάλυμα χρειάζεται , και το υπόλοιπο διαφεύγει από την κάτω πλευρά του σάκου όπου έχουν γίνει τρύπες αποστράγγισης.

Στην περίπτωση που το σύστημα είναι ανακυκλώσιμο το περισσευούμενο διάλυμα συγκεντρώνεται και αφού αναμειχθεί με νέο διοχετεύεται και πάλι στα φυτά ενώ στην περίπτωση του μη ανακυκλώσιμου συστήματος με κανάλια οδηγείται εκτός του χώρου και τροφοδοτεί εδαφικές καλλιέργειες.

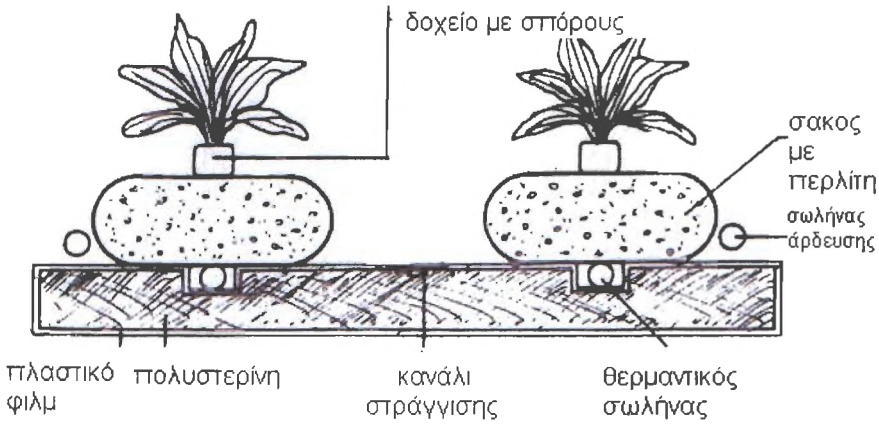
Εικ. 20 Καλλιέργεια τομάτας σε σάκους περλίτη

Το τελικό προϊόν που παράγεται είναι αυστηρά συγκεκριμένης κοκκομετρίας, απαλλαγμένο από λεπτά κλάσματα(σκόνης) και παρουσιάζει ξεχωριστές ιδιότητες σε σύγκριση με το κοινό αγροτικό περλίτη (Perloflor).



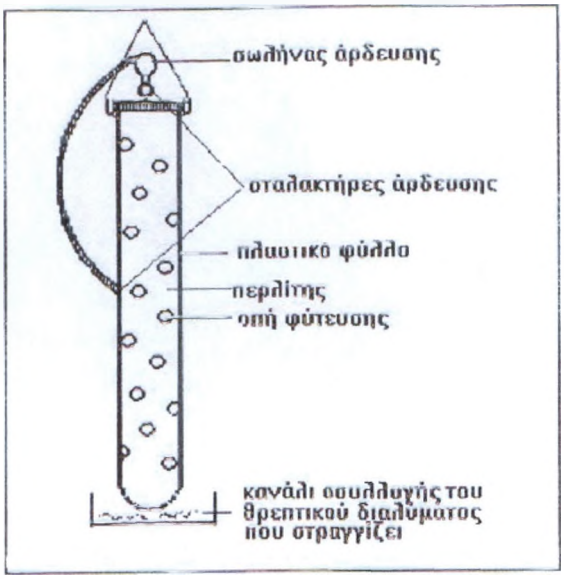
Εικ. 21α Γενικό σχεδιάγραμμα καλλιέργειας σε περλίτη

Ο υδροπονικός περλίτης PerloflorHydro αποτελείται από κόκκους διαμέτρου 0,5-2,5mm. Είναι πολύ ελαφρύς (60-80 kg/m^3), και έχει πολύ υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού. Είναι χημικώς και βιολογικώς εντελώς αδρανής, με την ιοντοεναλλακτική του ικανότητα να είναι μηδενική(δεν κατακρατά ούτε αποδεσμεύει δηλαδή στα φυτά καμιά



Εικ. 21β Γενικό σχεδιάγραμμα καλλιέργειας σε περλίτη

ποσότητα ιόντων). Αυτό σημαίνει ότι τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία πρέπει να προστίθεται μέσω του νερού άρδευσης.



Εικ. 22. Σάκος με περλίτη για κατακόρυφη καλλιέργεια

Η διαμόρφωση της καλλιέργειας μπορεί να γίνει όπως στον πετροβάμβακα, με την διαφορά ότι αντί για πετροβάμβακα, επάνω στις πλάκες πολυστερίνης τοποθετούνται πλαστικοί σάκοι(λευκού χρώματος), γεμάτοι περλίτη. Και σ' αυτή τη μέθοδο η καλλιέργεια μπορεί να γίνει με ανακύκλωση. Το μέγεθος των σάκων (στις ετήσιες καλλιέργειες) υπολογίζεται έτσι ώστε για κάθε φυτό να αντιστοιχούν 9 λίτρα περλίτη.

3.6. Καλλιέργεια σε σάκους τύρφης

Η τύρφη με την γενική έννοια περιγράφεται ως οργανικό υλικό που αποτελείται από μερικώς αποδομημένα υπολείμματα φυτών.

Προέρχεται από την αποδόμηση της υδροχαρούς βλάστησης που φύεται σε ελώδεις περιοχές και γενικά σε υγρότοπους. Σε τέτοιες περιοχές, με την πάροδο του χρόνου έχουν σχηματισθεί ολόκληρα κοιτάσματα, από τα οποία η τύρφη εξορύσσεται.Η τύρφη εφόσον εξορυχθεί επεξεργάζεται. Η επεξεργασία περιλαμβάνει την απολύμανση, το άλεσμα και την ομογενοποίηση του υλικού. Έπειτα συσκευάζεται σε βιομηχανική κλίμακα. 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 μαύρη τύρφη. Αυτό έχει ως συνέπεια να έχει υποστεί αποσύνθεση

(χουμοποίηση) σε μικρότερο βαθμό. Το φαινόμενο ειδικό βάρος της κυμαίνεται μεταξύ 50 –100 g/l. Προέρχεται κυρίως από την Ρωσία και τις βαλτικές χώρες αλλά και από αρκετές άλλες βορειοευρωπαϊκές χώρες. Έχει εκτεταμένο πορώδες (90 – 95% του όγκου της) με καλή αναλογία μεταξύ μικρών και μεγάλων πόρων με συνέπεια να διακρίνεται από την μεγάλη ικανότητα συγκράτησης του νερού και του αέρα. Διαβρέχεται δύσκολα και γι' αυτό θα πρέπει να ποτίζεται με νερό τουλάχιστον 1-2 μέρες πριν την χρησιμοποίησή της. Έχει ικανοποιητική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, όμως στην φυσική της κατάσταση τα αρνητικά φορτία των κολλοειδών είναι κορεσμένα κυρίως με ιόντα υδρογόνου, με συνέπεια να είναι φτωχή σε θρεπτικά στοιχεία και να έχει χαμηλό pH(3,5- 4,0). Γι' αυτό η ξανθιά τύρφη, πριν χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους είτε αμιγής είτε σε μείγματα, θα πρέπει απαραίτητα να αναμειγνύεται με μια μικρή ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) σε ποσότητα 4 –6 kg/m^3 για την ρύθμιση του pH της.

Η μαύρη τύρφη βρίσκεται σε πιο προχωρημένο στάδιο αποσύνθεσης από την ξανθιά τύρφη και γι' αυτό δεν έχει τόσο σταθερή δομή. Σε σύγκριση με την ξανθιά τύρφη έχει μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος (120 – 200 g/l) και πιο περιορισμένης έκτασης πορώδες, με συνέπεια η ικανότητα συγκράτησης νερού να είναι ελαφρώς μικρότερη και η περατότητα του αέρα πολύ χαμηλότερη. Αντίθετα, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων της μαύρης τύρφης είναι πολύ μεγάλη (300 – 500 meq/l). Κοιτάσματα μαύρης τύρφης υπάρχουν στην Ελλάδα, με πιο σημαντικά αυτά των Φιλίππων στην Ανατολική Μακεδονία.

Ένα άλλο οργανικό υλικό που άρχισε τελευταία να χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα, είναι το κοκκόχωμα (γνωστό 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 στις φυσικές του ιδιότητες την ικανότητά του να συγκρατήσει το νερό και ν' αφήνει τον αέρα να περνά εύκολα, όσο την 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 σημαντικά από άλλους, μη προβλέψιμους και αστάθμητους παράγοντες. Το μειονέκτημά του είναι ότι από κάποια στιγμή και μετά αρχίζει σιγά – σιγά να αποσυντίθεται και επομένως αρχίζει να

συμπεριφέρεται ως ένα χημικά πολύ ενεργό υλικό. Χρησιμοποιείται κυρίως σε ανθοκομικές καλλιέργειες παραγωγής, δρεπτών ανθέων , όπως το τριαντάφυλλο και η ζέρμπερα.

Εικ. 23 Καλλιέργεια σε οργανικό υπόστρωμα (μπάλες αχύρου)

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.

Εικ. 24 Καλλιέργεια σε οργανικό υπόστρωμα (σάκους τύρφης)

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται οργανικά υποστρώματα για την καλλιέργεια, έχουμε το φαινόμενο να παρουσιάζεται μικροβιακή δράση στο

υπόστρωμα. Αυτό συνεπάγεται και αξιόλογη επίδραση στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.

Η μέθοδος αυτή με τις τύρφες, 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 διότι στεγνώνει η τύρφη και δεν απορροφά ομοιόμορφα σ' όλη τη μάζα της το νερό που πέφτει από τον σταλακτήρα. Δεν εφαρμόζεται ανακύκλωση του διαλύματος με τη μέθοδο αυτή.

4. Υδροπονική Καλλιέργεια της Τομάτας

Οι καλλιεργητικές τεχνικές όσον αφορά την τομάτα εξετάζεται στο περιβάλλον, στην βασική σύνθεση θρεπτικού διαλύματος, στις διάφορες εργασίες και στους εχθρούς καθώς επίσης και στις ασθένειες.

4.1 Περιβάλλον

Η άριστη θερμοκρασία της ρίζας είναι 20-25 °C για όλη την περίοδο καλλιέργειας και επιτυγχάνεται με τη χρήση του σωλήνα θέρμανσης κάτω από το υπόστρωμα καλλιέργειας.

Όταν η θερμοκρασία της ρίζας αφήνεται να πέσει χαμηλότερα από 15°C, αυτό έχει αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας προσβολής από είδη μυκητών Pythium και Phytophtora, να έχουμε τροφοπενία φωσφόρου και μαγνησίου και γενικά τη μείωση της παραγωγής.

Το επίπεδο της θερμοκρασίας που πρέπει να διατηρείται στο χώρο του θερμοκηπίου εξαρτάται από την ποικιλία και την ένταση του φωτισμού. Όταν υπάρχει χαμηλή ένταση φωτισμού η θερμοκρασία την ημέρα και την νύχτα θα πρέπει να είναι χαμηλή ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη ασθενών ανθοταξιών ή αδύνατης βλάστησης, ιδιαίτερα στα νεαρά φυτά. Επίσης κατά τη μεταφύτευση θα πρέπει η σχετική υγρασία του χώρου να μην είναι πολύ χαμηλή.

Την περίοδο της γονιμοποίησης , θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 20 °C το μεσημέρι ευνοούν τη γονιμοποίηση των ανθέων, όπως επίσης και η μείωση της σχετικής υγρασίας με τον εξαερισμό.

Μετά την έναρξη της συγκομιδής οι θερμοκρασίες μπορεί να είναι κατώτερες, αλλά επιδιώκεται ένας καλός εξαερισμός του θερμοκηπίου την περίοδο αυτή που τα φυτά είναι πια μεγάλα ώστε να μειωθεί η σχετική υγρασία και να βελτιωθεί ο ρυθμός διαπνοής των φυτών. Αυτό βοηθά στη διατήρηση ενός υγιεινού περιβάλλοντος για τα φυτά αλλά και της ισορροπίας μεταξύ βλαστικής και αναπαραγωγικής ανάπτυξης.

Γενικά η θερμοκρασία ημέρας επιδιώκεται να είναι 20-26 °C,ενώ η θερμοκρασία νύχτας 12-16 °C.

Ο εμπλουτισμός του χώρου του θερμοκηπίου με CO_2 σε μια συγκέντρωση 500-900ppm όταν τα παράθυρα είναι κλειστά, θεωρείται ότι έχει θετικό οικονομικό αποτέλεσμα.

4.2 Βασική Σύνθεση Θρεπτικού Διαλύματος

Τι θα πρέπει να προσέχει ο παραγωγός ή ο τεχνικός όταν πρόκειται για καλλιέργεια σε πετροβάμβακα.

Επιθυμητό pH 5,5-6,5. Όταν το pH υψωθεί πάνω από το 6,5 η περιεκτικότητα σε φώσφορο θα μειωθεί πάρα πολύ γρήγορα λόγω της μείωσης της διαλυτότητάς του.

Θα πρέπει ο παραγωγός να προσέχει ώστε κατά το στάδιο της ανάπτυξης των νεαρών φυτών στο θρεπτικό διάλυμα να μην προστεθεί NH_4 διότι περιορίζεται ο ρυθμός ανάπτυξης του ριζικού συστήματος.

Κατά την διάρκεια της καρποφορίας η σχέση καλίου προς άζωτο στο θρεπτικό διάλυμα, επιδιώκουμε να διατηρείται περίπου 2:1. Προς το τέλος της παραγωγικής ζωής καλά είναι να αυξάνεται λίγο η αναλογία του αζώτου σε σχέση με το κάλιο ώστε να βελτιώνεται η ζωηρότητα του φυτού.

Η βασική σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος για καλλιέργεια σε άλλα υποστρώματα ή NFT διαφέρει μόνο ως προς τη συγκέντρωση του Mn που είναι διπλάσια και τη συγκέντρωση του Fe που είναι τετραπλάσια από αυτήν του πετροβάμβακα.

4.3 Εχθροί και Ασθένειες

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός εντόμων και ασθενειών που μπορεί να ζημιώσουν σημαντικά την παραγωγή.

Τα έντομα που δημιουργούν σημαντικά προβλήματα είναι ο αλευρώδης, ο τετράνυχος, οι αφίδες, ο θρύπας και φυλλοφάγος.

Όπου είναι δυνατό, χρησιμοποιείται η βιολογική καταπολέμηση για την προστασία από τα έντομα, με καλά αποτελέσματα. Όταν χρειασθεί να γίνει χημική καταπολέμηση, θα πρέπει τα φυτοφάρμακα να συνδυάζονται με τη βιολογική καταπολέμηση.

Οι συνηθέστερες ασθένειες στελέχους και φύλλων είναι ο Βοτρύτης, η Διδυμέλα και το Ωίδιο. Οι ρίζες μπορεί να προσβληθούν από τα είδη των Phythium και Phytophtora.

Για να αποφευχθούν οι ασθένειες στελεχών και φύλλων, θα πρέπει στο χώρο του θερμοκηπίου να επικρατούν οι σωστές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας και ποτέ το φύλλωμα των φυτών να μην παραμένει βρεγμένο τη νύχτα.

Είναι απαραίτητο η καταπολέμηση των ασθενειών να γίνεται μόλις εμφανισθούν με τα κατάλληλα φυτοφάρμακα.

4.4 Άρδευση

Σε όλα τα υδροπονικά συστήματα που αναφέρθηκαν, η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά γίνεται με σταλάκτες, ένας σταλάκτης παροχής 1-2 λίτρων την ώρα για κάθε φυτό. Για να αποφευχθούν τα φραξίματα στους σταλάκτες είναι απαραίτητο να έχει τοποθετηθεί στην αρχή του δικτύου ένα πολύ καλό σύστημα φιλτραρίσματος του διαλύματος.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε όλα τα συστήματα της υδροπονίας για το σύστημα τροφοδοσίας, όπως σωλήνες, εξαρτήματα, αντλίες, δεξαμενές κ.λ.π., θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στα οξέα, γι' αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται τα κατασκευασμένα από πλαστικό.

Η άρδευση ελέγχεται συνήθως με χρονοδιακόπτη ή με πιο ακριβή μέσα, όπως ολοκληρωτές ηλιακής ακτινοβολίας ή όργανα μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής. Σε όλες τις περιπτώσεις είναι αναγκαίος ο έλεγχος κατά τακτά χρονικά διαστήματα και η ρύθμιση των οργάνων αυτών, ώστε η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο σάκο να κρατιέται σταθερή. Γι' αυτό 3 φορές την εβδομάδα λίγο πριν την επόμενη άρδευση παίρνεται διάλυμα από αυτό που έχουν οι σάκοι σε 5-6 θέσεις ανά στρέμμα και μετράται η ηλεκτρική αγωγιμότητά του. Γενικά η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος στο σάκο πρέπει να βρίσκεται 100-300 μS υψηλότερα από αυτή του διαλύματος τροφοδοσίας, όταν αυτή υπερβαίνει το πάνω όριο σημαίνει ότι πρέπει να αυξηθεί η συχνότητα του ποτίσματος, ενώ όταν είναι κάτω από το κάτω όριο να μειωθεί.

Καθημερινός έλεγχος απαιτείται επίσης και στους σταλάκτες για να διαπιστωθεί ότι δεν έχουν βουλώσει από αδιάλυτα άλατα ή άλλα σώματα που μπορούν να υπάρξουν στο νερό.

Η σωστή ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος στο σάκο εξαρτάται από την ένταση του φωτισμού, σε μικρές εντάσεις φωτισμού είναι προτιμότερο να υπάρχει υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα στο σάκο γιατί έτσι αποφεύγεται η υπερβολική

βλαστική ανάπτυξη του φυτού, ενώ με υψηλές εντάσεις φωτισμού οι χαμηλότερες αγωγιμότητες είναι επαρκείς.

Τις θερμές ηλιόλουστες ημέρες η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος τροφοδοσίας καλά είναι να κυμαίνεται μεταξύ 2.0 2.5mS. Σε μικρές εντάσεις φωτισμού μπορεί να φτάσει μέχρι και 3.5 αν χρειασθεί. Το pH του διαλύματος τροφοδοσίας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5.0 και 6.0.

Το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος τροφοδοσίας ελέγχονται και αυτά κάθε μέρα την ίδια ώρα σε 5-10 δείγματα ανά στρέμματα ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του διαλύματος.

Στο σύστημα καλλιέργειας που γίνεται με χωρίς ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, κάθε φορά ένα μέρος του διαλύματος που δίνεται για την άρδευση των φυτών(5-30% ανάλογα με την αλατότητα του νερού που χρησιμοποιείται) πρέπει να στραγγίζει έξω από τον σάκο ως πλεονάζον διάλυμα, για να αποφεύγεται η συσσώρευση αλάτων στην περιοχή της ρίζας.

5. ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ

5.1 Γενικά

Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται πλήρη θρεπτικά διαλύματα, δηλαδή υδατικά διαλύματα που περιέχουν όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, εκτός από τον άνθρακα τον οποίο η καλλιέργεια τον προσλαμβάνει από την ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι συστατικά του νερού ενώ οξυγόνο προσλαμβάνεται και από τον ατμοσφαιρικό αέρα για τις ανάγκες της αναπνοής. Το χλώριο εμπεριέχεται σχεδόν πάντοτε σε επαρκείς ποσότητες ως χλωριούχο ανιόν στο νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του διαλύματος καθώς επίσης και στις προσμίξεις των λιπασμάτων. Επομένως μόνο τα 12 από τα 16 απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών χημικά στοιχεία, δηλ. τα μακροστοιχεία N, P, S, K, Ca και Mg και τα ιχνοστοιχεία Fe, Mn, Zn, Cu, B, και Mo πρέπει να προστίθενται στο νερό από τον παρασκευαστή του θρεπτικού διαλύματος.

Στα συστήματα με ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, το διάλυμα που τροφοδοτεί τα φυτά βρίσκεται σε μια δεξαμενή καλυμένη εσωτερικά από υλικό το οποίο αντέχει το οξύκαι να μην καταστρέφεται το υλικό. Η χωρητικότητα της δεξαμενής αναλογεί σε περιεκτικότητα διαλύματος περίπου 2-3m^3/στρέμμα. Όσο μικρότερη είναι η δεξαμενή, τόσο συντομότερα πρέπει να γίνεται έλεγχος της σύνθεσης του διαλύματος της δεξαμενής και πιο τακτικά να απορρίπτεται και να αντικαθίσταται από νέο. Η δεξαμενή γεμίζει αυτόματα με νερό και η στάθμη της διατηρείται σταθερή με διακόπτη στάθμης.

Τα θρεπτικά στοιχεία που απαιτούνται για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών ρίχνονται στη δεξαμενή από άλλα δοχεία που βρίσκονται σε μορφή πυκνών διαλυμάτων και ονομάζονται Μητρικά ιαλύματα). Τα Μητρικά διαλύματα παρασκευάζονται έτσι ώστε τα διάφορα ιόντα που απαιτούνται για την ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών να βρίσκονται στην απαιτούμενη αναλογία μεταξύ τους. Η αραίωση γίνεται με το νερό της δεξαμενής.

Οι στοιχειώδεις οντότητες πρέπει να καθορίζονται και μπορεί να είναι άτομα, μόρια, ιόντα, ηλεκτρόνια και άλλα σωματίδια ή καθορισμένες ομάδες σωματιδίων.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες, για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται συνήθως οι αναφερόμενες στον παρακάτω πίνακα μονάδες και βάρη. Τα ατομικά βάρη που

ενδιαφέρουν για τους υπολογισμούς και αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα, προέκυψαν από το διεθνή πίνακα ατομικών βαρών στρογγυλοποιημένα στο ένα δεκαδικό ψηφίο. Η στρογγυλοποίηση αυτή δεν μειώνει σημαντικά την ακρίβεια των υπολογισμών μας.

5.2 Έλεγχος Θρεπτικού Διαλύματος

Σε όλα τα συστήματα διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος είτε είναι ανοιχτά είτε είναι κλειστά, θα πρέπει να γίνεται ακριβής έλεγχος της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος, ώστε η συγκέντρωση των στοιχείων να μπορεί να μεταβάλλεται και στα δύο συστήματα, στα φυσιολογικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. Στην αρχή είναι καλό να έχουμε την σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος ύστερα από την ανάλυση στο εργαστήριο. Η ανάλυση του εργαστηρίου μας εξασφαλίζει ότι όλα τα θρεπτικά στοιχεία στο θρεπτικό διάλυμα είναι στην επιθυμητή συγκέντρωση.

Σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα όπου έχουμε επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος, είναι απαραίτητη η προσθήκη νερού στο θρεπτικό διάλυμα ώστε να διατηρείται η αρχική σύνθεση. Η διατήρηση του οποίου είναι πολύ σημαντική. Κάποια από τα στοιχεία θα μετακινηθούν συμπαρασυρόμενα από το νερό.

Μια συνηθισμένη πρακτική για τη μέτρηση του θρεπτικού διαλύματος είναι με την χρήση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), και είναι μια τεχνική η οποία δίνει καλά αποτελέσματα.

Τα στοιχεία που είναι πλέον πιθανά να παρουσιάσουν μέγιστη αλλαγή στο θρεπτικό διάλυμα με την χρήση, είναι το άζωτο(N) και το κάλιο(K). Μια εμπειροτεχνική μέθοδος θα ήταν να αραιωθεί ο αρχικός τύπος θρεπτικού διαλύματος για τα σημαντικότερα στοιχεία μόνο, και να προστεθεί ως συνθετικό νερό που κάνει αυτό το διάλυμα δυνατότερο του αρχικού διαλύματος.

Τα μικροστοιχεία δεν πρέπει ποτέ να περιληφθούν στην σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο πιθανός κίνδυνος υπερβολών. Ο φώσφορος (P) είναι επίσης ένα στοιχείο που πρέπει ενδεχομένως να αποκλειστεί από την σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί είναι τα στοιχεία τα οποία μένουν πίσω στις ρίζες των φυτών. Η ποσότητα θα ποικίλει ανάλογα με την σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος, την συχνότητα της επανακυκλοφορίας και τα χαρακτηριστικά

των ριζών. Μια σημαντική μέτρηση που συστήνεται με μερικά αυξανόμενα συστήματα είναι να ληφθεί περιοδικά ένα υποπολλαπλάσιο του διαλύματος από τα ενδιάμεσα των ριζών και να καθοριστεί η ηλεκτρική αγωγιμότητά της (EC).

Σε κάποια καθορισμένη ανάγνωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα ενδιάμεσα των ριζών θα διαλυθούν έπειτα με το νερό για να αφαιρεθούν τα συσσωρευμένα άλατα.

5.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα θρεπτικού διαλύματος

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity=EC) σαν φυσικό μέγεθος είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, έχει δηλαδή διαστάσεις ηλεκτρικής αντίστασης ανά μονάδα μήκους. Στην πραγματικότητα πρόκειται για την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έχει επικρατήσει όμως να ονομάζεται απλώς ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σήμερα, σαν μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει καθιερωθεί διεθνώς το dS/m (σε ορισμένα κείμενα χρησιμοποιείται και η μονάδα το mS/cm).

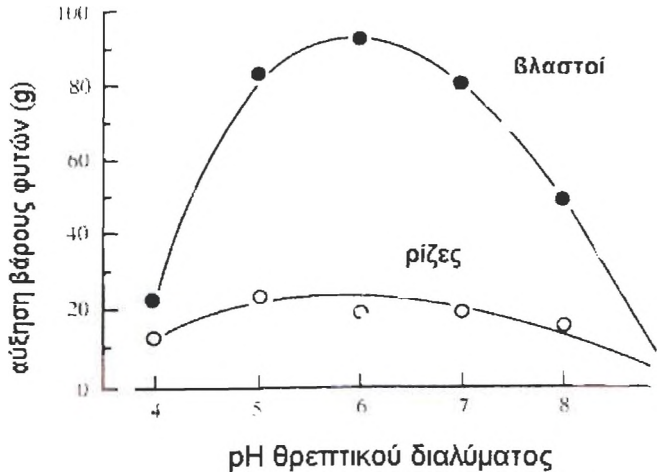
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων που βρίσκονται διαλυμένα σε αυτό. Έτσι, στην περίπτωση των νερών άρδευσης και των θρεπτικών διαλυμάτων αποτελεί μέτρο της περιεκτικότητας τους σε θρεπτικά στοιχεία κι άλλα ανόργανα άλατα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων που είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα, αλλά μόνο για την συνολική τους συγκέντρωση. Παρ' όλα αυτά όμως στην υδροπονία, η αγωγιμότητα χρησιμοποιείται τόσο κατά τον καθημερινό έλεγχο της κατάστασης του θρεπτικού διαλύματος στον χώρο του ριζικού συστήματος, όσο και για την πιστοποίηση της καταλληλότητας των νεοπαρασκευασθέντων διαλυμάτων, λόγω της ευκολίας με την οποία προσδιορίζεται.

Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας χαμηλότερες από ένα κατώτερο όριο υποδηλώνουν ότι η περιεκτικότητα του διαλύματος σε ορισμένα τουλάχιστον θρεπτικά στοιχεία είναι ανεπαρκής. Ανάλογα, πολύ υψηλές τιμές πάνω από ένα ανώτατο όριο μας δείχνουν ότι η συνολική περιεκτικότητα του διαλύματος σε άλατα των θρεπτικών στοιχείων και μη είναι τόσο μεγάλη, ώστε τα φυτά υφίστανται αλατούχο καταπόνηση ανάλογη με αυτή στην οποία είναι εκτεθειμένα όταν καλλιεργούνται σε αλατούχα εδάφη.

5.4 Το pH των θρεπτικών διαλυμάτων

Το pH θρεπτικού διαλύματος είναι πιθανώς καλύτερα να κυμαίνεται μεταξύ 6.0 και 6.5 αν και τα περισσότερα θρεπτικά διαλύματα όταν αρχικά συντάσσονται έχουν ένα pH μεταξύ 5.0 και 6.0. Είναι ευρέως γνωστό ότι εάν το pH του θρεπτικού διαλύματος είναι κάτω από 5.0 ή πάνω από 7.0 η ανάπτυξη των φυτών μπορεί να επηρεαστεί. Οι επιστήμονες Ikeda και Osawa, το 1981 είχαν παρατηρήσει ότι 20 διαφορετικά φυτικά είδη παρουσίασαν παρόμοια προτίμηση πηγής αζώτου (NO^-_3) είτε αμμώνιο (NH^+_4) όταν το pH του θρεπτικού διαλύματος κυμαινόταν μεταξύ 5.0 και 7.0. Παρόμοια πειράματα πρέπει να πραγματοποιηθούν για τα άλλα απαραίτητα στοιχεία για να καθοριστεί η επίδραση του θρεπτικού διαλύματος του pH για τη στοιχειώδη πρόσληψή του απ' τα φυτά. Επομένως, ο προσεκτικός έλεγχος του pH είναι σημαντικός, προκειμένου να διατηρηθούν όλα τα απαραίτητα στοιχεία στο διάλυμα και να αποτραπεί η τοξικότητα λόγω της υπερβολικής πρόσληψης. Μια άλλη έννοια του ελέγχου για ελαχιστοποίηση του pH και των άλλων επιδράσεων, είναι να χρησιμοποιηθούν χηλικές ενώσεις μικροστοιχείων.

Θεωρείται ότι το pH του θρεπτικού διαλύματος είναι λιγότερο κρίσιμο σε μια καλλιέργεια που χρησιμοποιεί σύστημα όπου το θρεπτικό διάλυμα ρέει από ότι σ' ένα στατικό σύστημα όπου το pH παραμένει μεταξύ 5.0 και 7.0. Επομένως, ο έλεγχος του pH στα συστήματα όπου ρέει το θρεπτικό διάλυμα είναι ουσιαστικά λιγότερο απαιτητικός.



Οι ημερήσιες διακυμάνσεις του ph εμφανίζονται ως αποτέλεσμα της μεταβαλλόμενης διαλυτότητας του διοξειδίου του άνθρακα στο θρεπτικό διάλυμα, εντούτοις, εντούτοις αυτές οι αλλαγές δεν είναι συνήθως ικανοποιητικού μεγέθους για να επιτρέψουν την καθημερινή ρύθμιση.

Το pH του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να ρυθμιστεί ελέγχοντας τις εκπομπές του pH συνεχώς ή με την πρόσθεση οξέως ή αλκαλίου ανάλογα με την κάθε περίπτωση για την μείωση ή την αύξηση του pH μετά την κάθε περίοδο χρήσης. Η κοινή διαδικασία είναι να ελέγχεται συνεχώς το pH και να εγχύεται οξύ ή αλκάλι στο ρεύμα ροής του θρεπτικού διαλύματος. Τα διαλύματα είτε νατρίου είτε υδροξειδίου καλίου είναι κατάλληλα αλκάλια για την αύξηση του pH. Το υδροξείδιο του αμμωνίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί, εντούτοις είναι περισσότερο δύσκολο να χειρισθεί χωρίς κίνδυνο και η πρόσθεση του ιόντος αμμωνίου στο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να μην είναι επιθυμητή. Τα νιτρικά, θειϊκά και υδροχλωρικά οξέα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση του pH και το φωσφορικό οξύ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί; αλλά η χρήση του θα πρόσθετε φώσφορο ο οποίος μπορεί να μην είναι επιθυμητός.

Εκείνα τα οξέα και αλκάλια που περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα από τα απαραίτητα στοιχεία είναι λιγότερο επιθυμητά για τη χρήση από εκείνα που δεν περιλαμβάνουν τέτοια στοιχεία. Κατά συνέπεια το υδροξείδιο του Νατρίου (NaOH) είναι προτιμότερο και επίσης είτε θειϊκό οξύ (H_2SO_4) είτε υδροχλωρικό οξύ (HCl) είναι προτεινόμενα οξέα.

Μερικά θα μειώσουν αποτελεσματικά το pH του διαλύματος στην περιοχή των ριζών τους. Αυτή η όξυνση ενισχύει τη δυνατότητά τους ν' απορροφήσουν ορισμένα στοιχεία όπως ο σίδηρος (Fe). Εάν το θρεπτικό διάλυμα προσαρμόζεται συνεχώς προς τα πάνω σ' ένα ουδέτερο pH, μπορεί να παρεμποδίσει τη φυσική δυνατότητα των φυτών που είναι η ιονική απορροφητική ικανότητα αυτών. Επομένως, μερικοί έχουν προτείνει ότι το pH του θρεπτικού διαλύματος δεν πρέπει να ρυθμίζεται συνεχώς, αλλά αντί αυτού πρέπει να επιτραπεί για να επιδιώξει το επίπεδό του φυσικά. Αυτή μπορεί να είναι μια επιθυμητή πρακτική με εκείνα τα είδη των φυτών που είναι ευαίσθητα στο σίδηρο όταν καλλιεργούνται υδροπονικά.

Ο έλεγχος του pH του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να είναι συγγενική διαδικασία με το φιλτράρισμα του θρεπτικού διαλύματος. Μπορεί να ισχύει ότι, όσο περισσότερος έλεγχος έχει γίνει στο pH και την πιθανή επίδρασή του στα φυτά παρά να δικαιολογηθεί στην πραγματική εμπειρία. Επομένως η απαίτηση για τον έλεγχο του pH γίνεται μια

καθοριστική απόφαση ισορροπώντας τα οφέλη που αποκομίζονται σε σύγκριση με τα έξοδα του ελέγχου.

5.5 Θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος

Η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος δεν πρέπει ποτέ να είναι λιγότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, ιδιαίτερα στα συστήματα όπου οι ρίζες των φυτών που είναι ακάλυπτες στην έκχυση κατά διαλείμματα ενός μεγάλου όγκου θρεπτικού διαλύματος. Τις θερμές μέρες, όταν οι απαιτήσεις των φυτών είναι υψηλές, η επαφή της ρίζας με το θρεπτικό διάλυμα κάτω από την περιβαλλοντική θερμοκρασία οδηγεί στην βλάστηση των φυτών κάτι το οποίο είναι ανεπιθύμητο για τα φυτά. Οι ρίζε των φυτών που κάθονται σε δροσερό θρεπτικό διάλυμα δεν μπορούν να απορροφήσουν ικανοποιητικές ποσότητες νερού και στοιχείων που απαιτούνται λόγω του θερμού αέρα και της ηλιοφάνειας. Η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε δροσερό θρεπτικό διάλυμα οδηγεί στην ανάπτυξη των φυτών κάτω από τα αναμενόμενα επίπεδα και αποδεικνύεται από την κακή ποιότητα καθώς επίσης και την καθυστερημένη ωριμότητα. Σε τέτοιες καταστάσεις πιθανώς να είναι απαραίτητη η θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος επάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος κάτι το οποίο δεν συστήνεται και μπορεί να κάνει ζημιά στην συγκομιδή.

5.6. Θρεπτικό διάλυμα στη ρίζα

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος στο ριζικό σύστημα δεν αντιστοιχεί πάντα με αυτή του βασικού διαλύματος. Θρεπτικά στοιχεία που απορροφώνται εύκολα από το ριζικό σύστημα μπορεί να εμφανίζονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις στο θρεπτικό διάλυμα γύρω από τη ρίζα, ενώ αυτά που απορροφώνται δύσκολα μπορεί να εμφανίζονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

Στον παρακάτω πίνακα δίδονται οι μέσες και οριακές τιμές του θρεπτικού διαλύματος από τις οποίες όταν παρουσιάζεται παρέκκλιση τότε απαιτείται διόρθωση) των στοιχείων στο ριζικό σύστημα.

Πίνακας 6. *Επιθυμητές μέσες τιμές και οριακές τιμές των στοιχείων στο ριζικό σύστημα της τομάτας (ανάλυση διαλύματος πετροβάμβακα).*

Μονάδες		Μέση τιμή	Τιμές ορίων
EC	$mS.cm^{-1}$	2.5	2.0 – 3.0
PH		5.5	5.0 – 6.0
NH_4^+	$mmol.l^{-1}$	< 0.5	
K^+	$mmol.l^{-1}$	5.0	4.0 – 7.0
Na^+	$mmol.l^{-1}$	<1.0	4.0
Ca^{++}	$mmol.l^{-1}$	5.0	4.0 – 7.0
Mg^{++}	$mmol.l^{-1}$	2.0	1.0 – 3.0
NO_3	$mmol.l^{-1}$	9.0	6.0 – 5.0
Cl^-	$mmol.l^{-1}$	<1.0	4.0
SO_4^{--}	$mmol.l^{-1}$	2.0	1.0 – 5.0
HCO_3^-	$mmol.l^{-1}$	<1.0	1.0
P	$mmol.l^{-1}$	1.0	0.5 – 1.5
Fe	$\mu mol.l^{-1}$	15	7 – 20
Mn	$\mu mol.l^{-1}$	7	3 – 15
Zn	$\mu mol.l^{-1}$	5	3 – 10
B	$\mu mol.l^{-1}$	40	20 – 70
Cu	$\mu mol.l^{-1}$	0.6	0,3 – 1.0

Όταν η ανάλυση του διαλύματος στην περιοχή του ριζοστρώματος δείξει ότι η συγκέντρωση των στοιχείων διαφέρει από την επιθυμητή όπως αυτή παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα, τότε το διάλυμα θα πρέπει να διορθώνεται ανάλογα.

Συνήθως δεν συνιστάται η εφαρμογή διορθωμένων διαλυμάτων για πάνω από δύο εβδομάδες. Εξαίρεση γίνεται για το διάλυμα του Β που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για 4-6 εβδομάδες, ιδιαίτερα όταν αναπτύσσονται τα φυτά το χειμώνα, μέχρι την εμφάνιση των πρώτων καρπών.

Μια δεύτερη εξαίρεση αποτελεί το διάλυμα του F με αυξημένο άζωτο και κάλιο. Το διάλυμα αυτό χρησιμοποιείται προς το τέλος της καλλιέργειας.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ορισμένες τιμές των στοιχείων του θρεπτικού διαλύματος (για την περίπτωση της τομάτας) όταν απαιτείται υψηλότερη ή χαμηλότερη συγκέντρωση διαφόρων στοιχείων.

Πίνακας 7. *Διορθωμένα θρεπτικά διαλύματα σε mmol/l.*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
NO_3^-	10.5	13.5	12.5	10.5	10.5	13.5	11.0	10.5	10.5	10.5
$H_2PO_4^-$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	1.5
SO_4^{--}	2.5	2.5	1.5	1.5	2.5	2.0	2.5	2.25	2.25	2.75
NH^+	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
K^+	7.0	7.0	7.0	7.0	8.0	9.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Ca^{++}	3.75	5.25	3.75	3.75	3.25	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Mg^{++}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	1.25

A) Βασική σύνθεση θρεπτικού διαλύματος της τομάτας.

B) Αυξημένο άζωτο και ασβέστιο. Το Β διάλυμα γίνεται με την προσθήκη 27.2 kg νιτρικού ασβεστίου στο βασικό διάλυμα Α.

C) Αυξημένο άζωτο. Το C διάλυμα γίνεται με την προσθήκη 20.2 kg νιτρικού καλίου και την αφαίρεση 17.4 κιλών θειϊκού καλίου από το βασικό διάλυμα.

D) Μειωμένο κάλιο. Το D διάλυμα περιέχει 8.7 kg λιγότερο θειϊκό κάλιο από το βασικό διάλυμα.

E) Αυξημένο κάλιο. Το E διάλυμα περιέχει 10.1 kg περισσότερο νιτρικό κάλιο και 9 kg λιγότερο νιτρικό ασβέστιο από το βασικό διάλυμα.

F) Αυξημένο άζωτο και κάλιο. Το F διάλυμα περιέχει 30.3kg περισσότερο νιτρικό κάλιο και 8.7kg λιγότερο θειϊκό κάλιο από το βασικό διάλυμα.

G) Μειωμένος φώσφορος. Το G διάλυμα περιέχει 6.8 kg μονοφωσφορικό κάλιο λιγότερο και 5.1 kg νιτρικό κάλιο περισσότερο. Αν η σύνθεση δεν περιλαμβάνει μονοφωσφορικό κάλιο αλλά φωσφορικό οξύ τότε περιλαμβάνει 13.2 kg λιγότερο φωσφορικό οξύ από το βασικό διάλυμα και 8.5 kg περισσότερο νιτρικό οξύ.

H) Αυξημένος φώσφορος. Το διάλυμα Η περιέχει 6.9 kg μονοφωσφορικό κάλιο περισσότερο του βασικού διαλύματος και 4.4 kg λιγότερο θειϊκό κάλιο.

I) Μειωμένο μαγνήσιο. Το διάλυμα I περιέχει 6.2 kg λιγότερο μαγνήσιο απ' ότι το βασικό διάλυμα.

K) Αυξημένο μαγνήσιο. Το διάλυμα K περιέχει 6.2 kg περισσότερη μαγνήσιο από το βασικό διάλυμα.

Οι μεταβολές στα ιχνοστοιχεία επιτυγχάνονται με την αύξηση ή μείωση κατά 25% των αντίστοιχων στοιχείων.

5.7 Δοσομετρικά και συστήματα παροχής

Το δοσομετρικό σύστημα και το σύστημα παροχής είναι επίσης σημαντικά για μια υδροπονική καλλιέργεια διότι καθορίζουν την ποσότητα και τον τρόπο χορήγησης του θρεπτικού διαλύματος. Όταν πλέον γίνει ανάλυση στο νερό που διαθέτει η γεωργική εκμετάλλευση, το οποίο μπορεί να περιέχει όλο το ασβέστιο, το μαγνήσιο και τα θειούχα που χρειάζεται η καλλιέργεια, και αφού θα καθοριστεί ο τύπος του διαλύματος μέσα από τον οποίο θα προέρχονται τα στοιχεία εκείνα που λείπουν, θα πρέπει να προετοιμάσουμε τα μητρικά διαλύματα τα οποία με τη σειρά τους θα διαλύονται στο νερό της άρδευσης.

Το περισσότερο διαδεδομένο σύστημα προβλέπει τη χρήση ενός κορμού για το οξύ ξεχωριστά (που συνήθως πρόκειται για το νιτρικό) ώστε να διορθωθεί το pH και δύο κορμούς για τα υπόλοιπα άλατα: στον έναν αντιστοιχούν συνήθως το ασβέστιο και ο χηλικός σίδηρος, στον άλλο τα φωσφορικά, τα θειϊκά και τα ιχνοστοιχεία. Ο στόχος είναι να γίνει διαχωρισμός του ασβεστίου (κορμός Α) από τα φωσφορικά και τα θειϊκά (κορμός Β), για την αποφυγή σχηματισμού αδιάλυτων ενώσεων οι οποίες καθιζάνουν. Εάν το νερό περιέχει χαμηλά και σταθερά ποσοστά διττανθρακικών μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο δύο κορμούς, τοποθετώντας το νιτρικό οξύ στον κορμό Β. Αυτή η διάταξη όμως εμποδίζει την δυνατότητα αλλαγής της EC που διαμορφώνεται.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν πολυάριθμα δοσομετρικά συστήματα. Διαφοροποιούνται ωστόσο σημαντικά και διαχωρίζονται 1) σε μηχανικά, με απευθείας ψεκασμό (μέσω αντλιών τύπου Βεντούρι ή δοσομετρικών ηλεκτρικών αντλιών) 2) ηλεκτρονικά, τα οποία διαθέτουν αισθητήρες για τον αυτόματο έλεγχο του pH και της EC και 3) σε ανοιχτό δοχείο ανάμιξης. Αυτά τα τελευταία είναι ασφαλώς πιο αποτελεσματικά, αλλά και πιο ακριβά. Συχνά, διαθέτουν και λειτουργίες τέτοιες που ρυθμίζουν καλύτερα τη συχνότητα και τη διάρκεια της άρδευσης. Εδώ δίνεται η δυνατότητα να έχουμε αποτελεσματικότητα του συστήματος με χαμηλό κόστος, όταν στα υδροπονικά συστήματα τοποθετηθούν ηλεκτρονικά κέντρα με μηχανικά συστήματα. Αυτό απαιτεί να γίνει πιο προσεκτική εγκατάσταση των αγωγών της υδροπονικής καλλιέργειας.

Η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών υπολογιστών, μολονότι πρόκειται για πιο ακριβά και σύνθετα συστήματα δεν απαλλάσσει τον παραγωγό από τους καθημερινούς επιτόπιους ελέγχους ορισμένων παραμέτρων ιδίως του pH,της EC και της υγρασίας του υποστρώματος μέσω απλών οργάνων τα οποία χειρίζονται με το χέρι. Η καταγραφή και η ερμηνεία αυτών των στοιχείων απαιτεί ελάχιστα λεπτά καθημερινά αλλά είναι βασικής σημασίας για την προσεκτική και επιμελημένη διαχείριση της καλλιέργειας. Για τη χορήγηση των θρεπτικών διαλυμάτων με στάγδην συστήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως στην τομάτα, απαιτούνται σταλάκτες παροχής των 2-2,5 l/ώρα. Δεν επιτρέπονται παροχές κάτω του 1.5 l/ώρα, λόγω του ότι παρατηρούνται εμφράγματα στο σύστημα ή και αποκλίσεις από τις επιτρεπτές αναλογίες και πάνω από 4l/ώρα, που συνήθως οδηγεί σε ανεπαρκή ανανέωση του διαλύματος στο υπόστρωμα.

Στην περίπτωση που υπάρχει μια κλίση, στις γραμμές άρδευσης, πάνω από 1% συστήνεται η χρήση των αυτοκαθαριζόμενων σταλακτών. Μιας και στην τομάτα πραγματοποιούνται, κατά μέσο όρο, αρδεύσεις 150ml περίπου, κάθε φορά, με μακαρονάκι των 2l/ώρα, αυτό απαιτεί η διάρκεια της επέμβασης να είναι των 5 λεπτών. Επειδή κατά τις κρίσιμες ημέρες θα πρέπει να κάνουμε άρδευση με θρεπτικό διάλυμα στο ίδιο φυτό κάθε 40 - 60 λεπτά, θα πρέπει να χωριστεί το θερμοκήπιο σε τμήματα πάνω από 8 - 10, ανεξάρτητα από το μέγεθός τους. Είναι απαραίτητο η εγκατάσταση να διαθέτει τα απαιτούμενα φίλτρα, έτσι ώστε να προλαμβάνονται τυχόν επικίνδυνα φαινόμενα εμφράγματος των σταλακτών και ιδίως όταν υπερβαίνουμε τα όρια της γεωργικής εκμετάλλευσης, σε ότι αφορά το ηλεκτρικό ρεύμα, και τη δεξαμενή συγκέντρωσης του νερού, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν ενδεχόμενα ηλεκτρικά και υδατικά black-out.

6. Τύποι Θερμοκηπίου και κλιματισμός

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η υδροπονική καλλιέργεια της τομάτας μπορεί να εφαρμοστεί πρακτικά, σε όλους τους τύπους θερμοκηπίου. Στην Ολλανδία εφαρμόζεται σε γυάλινα θερμοκήπια μεγάλης επιφάνειας, ευρύχωρα (μέχρι $4m^3/m^2$) και πλήρως κλιματιζόμενα τα οποία διαθέτουν συστήματα θέρμανσης, λίπανσης και εμπλουτισμού διοξειδίου του άνθρακα.

Στην Αλμερία της Ισπανίας χρησιμοποιούνται θερμοκήπια με πλαστικό και επίπεδη οροφή, ύψους 4-5m περίπου, που μόνο τώρα τελευταία χρησιμοποιούν ανοίγματα οροφής και εγκατάσταση θέρμανσης.

Στην Ελλάδα τα θερμοκήπια που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα είναι σύγχρονα και ευρύχωρα. Είναι γεγονός ότι όσο η κατασκευή αυξάνει σε κόστος και εξοπλίζεται περισσότερο, τόσο και οι αποδόσεις ανεβαίνουν.

6.2 Τύποι και Κλιματικές συνθήκες.

Οι καλλιέργειες χωρίς έδαφος απαιτούν μεγάλες δαπάνες για αρχική εγκατάσταση, οι οποίες είναι πολύ μεγαλύτερες από τις παραδοσιακές καλλιέργειες και αφορά τους υδρολιπαντήρες, τα υποστρώματα, και τα συστήματα άρδευσης. Το πλεονέκτημα που δίνεται είναι ότι οι αποδόσεις μπορούν να ξεπεράσουν κατά πολύ τους μέσους όρους της καλλιέργειας αν και εφόσον τηρηθούν οι όροι της καλής λειτουργίας του συστήματος.

Οι βασικές παράμετροι που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι το ύψος, ο συνολικός όγκος και η ύπαρξη ανοιγμάτων αερισμού. Εάν για την εφαρμογή δύο μικρών κύκλων των 5-6 μηνών (Γενάρης – Ιούνης και Ιούλης – Δεκέμβρης) με κορυφολόγημα στον 7° - 8° σταυρό, αρκούν 1,8 – 2,2m ύψους στις πλευρές και 2,3 – 2,6 m^3/m^2, για την εφαρμογή του μεγάλου κύκλου απαιτούνται τουλάχιστον 2,7 – 3m στα πλαϊνά και το ιδανικό είναι 3 – 3,5m (4- 4,3 m^3/m^2). Ωστόσο ο αερισμός είναι απαραίτητος μιας και στο περιβάλλον το δικό μας(μεσογειακό είναι πιο σημαντικό να ανανεώνουμε τον αέρα και να δροσίζουμε από ότι να θερμαίνουμε. Το ιδανικό τελικά, θα ήταν η κάλυψη με διπλό φουσκωτό φιλμ, για να περιοριστεί όσο γίνεται περισσότερο η διαφυγή της θερμοκρασίας το χειμώνα και η συγκράτησή της χαμηλά το καλοκαίρι. Το κόστος αυτών

των θερμοκηπίων μπορεί να είναι μεγαλύτερο, έτσι όμως συντελείται πιο αποτελεσματικά η τεχνική της καλλιέργειας μεγάλου κύκλου (Ιανουάριος – Δεκέμβριος) ή και Αύγουστος (Ιούνιος) με συνεχή συλλογή για 8 μήνες.

Εάν ο διπλός «μικρός κύκλος» επιλέγεται κυρίως για να έχουμε στη διάθεσή μας νεαρά φυτά χωρίς τον κόπο της τεχνητής γονιμοποίησης κατά την πιο κρύα περίοδο (Γενάρη – Φλεβάρη), και την πιο ζεστή (Ιούλιο), για να αποφύγουμε την χρήση υψηλών θερμοκηπίων και με αυτόματα ανοίγματα και με θέρμανση, για τον «μεγάλο κύκλο» είναι σκόπιμο να λάβουμε υπόψη ότι θα χρειαστεί σίγουρα θέρμανση. Η χρήση της θέρμανσης απαιτείται μόνο για 30-60 ημέρες για να υποστηριχθεί το ξεκίνημα της καλλιέργειας και να εξασφαλιστεί η πρωϊμηση της ωρίμανσης (μέσα Μαΐου) και στα νότια (Δεκέμβρης – Γενάρης) για να εμποδιστεί η παρατεταμένη διακοπή της παραγωγής (ή και ανεπανόρθωτες ζημιές) και για την αποφυγή σχηματισμού υψηλών υγρασιών και περιορισμό των ασθενειών. Συνίσταται συνήθως σε απλές γεννήτριες που εκπέμπουν θερμό αέρα.

Για την δροσιά το καλοκαίρι, η ευρυχωρία, τα ανοίγματα οροφής και το άσπρισμα με ασβέστη αρκούν για να διατηρήσουν χαμηλές τις θερμοκρασίες. Η εφαρμογή πιο σύνθετων και δαπανηρών συστημάτων όπως το fog-system είναι πολλές φορές περιττό αλλά και αντιπαραγωγικό.

6.3. Ποικιλίες - Υβρίδια

Σε ότι αφορά τον τύπο τομάτας (στρογγυλός, επιμήκης, κερασάκι) και τις ποικιλίες και υβρίδια δεν υπάρχουν περιορισμοί στην χωρίς έδαφος καλλιέργεια και μπορούν να καλλιεργηθούν όλοι οι τύποι και τα υβρίδια. Όλα προσαρμόζονται εύκολα, συνεπώς εκείνο που μένει να επιλέξουμε είναι η εμπορική προοπτική, δηλαδή την ποικιλία εκείνη και τον τύπο που προτιμάει η κατανάλωση.

Η επιλογή των κατάλληλων υποστρωμάτων και διαλυμάτων λίπανσης μπορεί να μας δώσει τη δυνατότητα της μέγιστης απόδοσης και της ανάδειξης των ιδιαίτερων ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της κάθε ποικιλίας και υβριδίου: αύξηση της αλατότητας για να μας δώσει χρώμα και υψηλό ζαχαρικό τίτλο στο κερασάκι, σωστή και άριστη διαχείριση της υδρολίπανσης για να βελτιώσουμε το μέγεθος και το αστραφτερό χρώμα του σταυρού και υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα γενικά για να αυξήσουμε το ζαχαρικό τίτλο.

Χρήσιμη είναι η υδροπονική καλλιέργεια στη διατήρηση παραδοσιακών ποικιλιών που είναι ευαίσθητες στις ασθένειες των ριζών.

6.4 Πυκνότητα φύτευσης και ο τρόπος καλλιέργειας

Μέσα από πολλές δοκιμές υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας προέκυψε ότι Η ιδανική πυκνότητα φύτευσης είναι 2,5 φυτά/ m^2 περίπου (25.000 φυτά/ha) με ένα ελάχιστο 2.2 και ένα μέγιστο όριο 3. Με δεδομένο ότι στις χωρίς έδαφος καλλιέργειες αποφεύγουμε τους ανταγωνισμούς του ριζικού συστήματος χάρη στην πλούσια διάθεση θρεπτικών στοιχείων, στο παρελθόν υπήρξε η σκέψη ότι θα μπορούσαν να αυξηθούν οι αποδόσεις καταφεύγοντας σε μια μεγαλύτερη πυκνότητα φύτευσης. Η εμπειρία απέδειξε, ωστόσο, ότι άλλες είναι οι συνιστώσες που οδηγούν στην αύξηση των αποδόσεων στις χωρίς έδαφος καλλιέργειες :

1. Το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτών που επιβιώνει και φθάνει μέχρι το τέλος του κύκλου χάρη στον περιορισμό των ασθενειών του ριζικού συστήματος.
2. Ο μεγαλύτερος αριθμός σταυρών και καρπών ανά φυτό αφού η καλλιέργεια διατηρείται «ζωντανή» (ζωηρή, νεανική), για μεγάλο χρονικό διάστημα.
3. Το μεγαλύτερο ειδικό βάρος των καρπών, χάρη στην κανονική και ισορροπημένη συγκέντρωσης ξηράς ουσίας.

Το βασικό σχήμα καλλιέργειας είναι :

- Η διπλή σειρά με 3 φυτά στη γραμμή φύτευσης μονοστέλεχα, τα οποία όταν φθάσουν στην ορόφή γυρίζουν και ακουμπούν στο έδαφος
- Σε σχήμα "V" με 6 φυτά/m^2 και κορυφολόγημα στον 7° – 8° σταυρό, που χρησιμοποιείται στο μικρό κύκλο.
- Το διστέλεχο φυτό, τυπικό στο κερασάκι. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται για τη στήριξη των φυτών σπάγκοι που δένονται σε σύρμα το οποίο βρίσκεται κατά μήκος της οροφής.

7. Ποιότητα Νερού Άρδευσης

Σημαντικό στοιχείο για την υψηλή παραγωγή στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι η καλή ποιότητα του χρησιμοποιούμενου νερού. Η υψηλή συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου στο νερό επιδρά σημαντικά στη μείωση της παραγωγής ή την καθιστά αδύνατη. Υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου, ψευδαργύρου ή βορίου, έχει αποτέλεσμα την ακαταλληλότητα του νερού, ενώ τα καλύτερα αποτελέσματα δίνει το βρόχινο ή αφαλατωμένο νερό.

Γενικά, όσο καλύτερης ποιότητας είναι το νερό που χρησιμοποιούμε, τόσο μεγαλύτερη παραγωγή μπορούμε να αναμένουμε. Νερό κατάλληλο για άρδευση στον αγρό δεν είναι απαραίτητα κατάλληλο και στην υδροπονική καλλιέργεια (όταν αποσκοπούμε σε υψηλές αποδόσεις).

Στα υπόγεια νερά βρίσκονται πάρα πολλά ιόντα, τα πιο ενδιαφέροντα όμως είναι τα : Νάτριο (Na^+), Χλώριο (Cl^-), Ασβέστιο (Ca^{++}), Μαγνήσιο (Mg^{++}), Διανθρακικά (HCO_3) και Θειϊκά (SO_4^-).

Η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Ε.C.) για το νερό άρδευσης είναι ένα μέσο μέτρησης της συνολικής ποσότητας των ιόντων που περιέχει. Δεν δίνει καμία ένδειξη για το ποια ιόντα βρίσκονται μέσα σ' αυτό. Συνήθως στο νερό η Ε.C. αφορά το Νάτριο και το Χλώριο.

Αν η συγκέντρωση των ιόντων στο νερό έχει κάποια ισορροπία, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εκτίμηση για την ποιότητα του νερού άρδευσης στο θερμοκήπιο :

Πίνακας 8. *Ποιότητες νερού άρδευσης*

Ποιότητα	E.C. mS cm^{-1}(25 ^{0}C	Na^+ Mmol l^{-1}	Cl^- Mmol l^{-1}
1	< 25	< 1.5	< 1.5
2	0.5 – 1.0	1.5 – 3.0	1.5 – 3.0
3	1.0 – 1.5	3.0 – 4.5	2.0 – 4.5

Το νερό ποιότητας 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις υδροπονικές καλλιέργειες και για την άρδευση οποιασδήποτε καλλιέργειας στο έδαφος με πολύ καλά αποτελέσματα. Το νερό ποιότητας 2 δεν συνιστάται πολύ για υδροπονικές καλλιέργειες

ή για άλλες καλλιέργειες με περιορισμένο όγκο ριζικού συστήματος όπως αυτές σε γλάστρα. Το νερό ποιότητας 3 δεν είναι καθόλου κατάλληλο για ευαίσθητα φυτά στα άλατα και γι' αυτά που έχουν περιορισμένο ριζικό σύστημα.

Νερό με μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα και συγκεντρώσεις Na^+ και Cl^- (ακόμη και μεγαλύτερη από όση αναφέρεται στην ποιότητα 3), δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά ότι η χρησιμοποίησή του μειώνει σημαντικά την παραγωγή και μάλιστα τόσο περισσότερο μειώνεται η παραγωγή, όσο περισσότερο αυξάνει η συγκέντρωση των αλάτων.

Σχετικά με την σκληρότητα του νερού, ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις :

Σκληρότητα ανθρακικού : 2,8 * mmol HCO_3^-

Συνολική σκληρότητα : 5,6 * mmol (Ca^{++} + Mg^{++})

Για να κριθεί η καταλληλότητα του νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες αλλά και για να γίνει δυνατή η προσαρμογή των θρεπτικών διαλυμάτων στη συγκεκριμένη ποιότητα νερού, θα πρέπει να προσδιορισθούν πλην της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH και ο συγκεντρώσεις : Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, NH_4^+, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{--} , HCO_3^-, Mn, Zn, B, Cu, Mo, καθώς και ο συνολικός Fe.

Από τον προσδιορισμό των προαναφερθέντων στοιχείων μπορούμε να δούμε την ιονική ισορροπία. Η συνολική ποσότητα των πρώτων 5 πρέπει να είναι περίπου ίδια με την ποσότητα των επόμενων 4.

Ο συνολικό σίδηρος δεν ενδιαφέρει τόσο για τον υπολογισμό του θρεπτικού διαλύματος, αλλά κυρίως γιατί δημιουργεί εναποθέσεις στο σύστημα κυκλοφορίας του διαλύματος και ιδιαίτερα στα φίλτρα και τους σταλακτήρες.

Η επιθυμητή και ανεκτή συγκέντρωση των στοιχείων αυτών στο νερό αναφέρεται στον πίνακα 8.

Πίνακας 9. *Επιθυμητή και ανεκτή συγκέντρωση στοιχείων στο νερό*

	Επιθυμητή Συγκέντρωση		Ανεκτή συγκέντρωση αλλά με αρνητική επίδραση στην παραγωγή
Cl^-	< 50 mg/l		50 –100 mg/l
Na^+	< 30 mg/l		30 – 60 mg/l
HCO_3^-	< 4.0 mg/l	Περισσότερο από	4.0 mg/l
Fe^{++}	< 1.0 mg/l	Λιγότερο από	1.0 mg/l
Mn	< 0.5 mg/l	>> >>	1.0 mg/l
B	< 0.3 mg/l	>> >>	0.7 mg/l
Zn^{++}	< 0.5 mg/l	>> >>	1.0 mg/l

Υψηλές συγκεντρώσεις Cl^-, Na^+, Mn^{++}, Zn^{++}, B, απαιτούν διόρθωση, επι πλέον στράγγιση και απόρριψη κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, ώστε να αποτραπεί η συσσώρευσή τους. Πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις δρουν τοξικά.

Υψηλή συγκέντρωση HCO_3^- απαιτεί διόρθωση με μεγάλες ποσότητες οξέων, φωσφορικού και νιτρικού.

Η αντίδραση είναι :

$$HCO_3^- + H^+ \text{-----}> H_2CO_3 \begin{cases} CO_2 \\ H_2O \end{cases}$$

Επομένως με την παρουσία ιόντων HCO_3^- αποσπώνται ιόντα H^+ από το διάλυμα και η αλκαλικότητα αυξάνει. Γι' αυτό όσο μεγαλύτερη συγκέντρωση HCO_3^-, τόσο περισσότερο οξύ απαιτείται για διόρθωση.

Αναλύσεις νερού θα πρέπει να γίνονται πολλές φορές το χρόνο για να διαπιστωθεί αν οι συγκεντρώσεις είναι μεταβλητές.

Αναλυτικότερα για τα στοιχεία που περιέχονται στο νερό μπορούμε να αναφέρουμε και τα ακόλουθα :

Άζωτο, Φώσφορος, και Κάλιο.

Σε κανονικές συνθήκες οι συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων είναι μηδενικές ή της τάξεως του δεκάτου mmol/l. Συγκεντρώσεις υψηλότερες σημαίνει μάλλον μόλυνση της περιοχής από χημικές ενώσεις που προέρχονται είτε από υπερβολικές λιπάνσεις στη γεωργία ή από την ρίψη αποβλήτων κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων ή από βιομηχανικά απόβλητα.

Τα στοιχεία αυτά δεν είναι επιβλαβή για τα φυτά, αποτελούν μάλιστα χρήσιμα στοιχεία γι' αυτά όταν είναι σε λογικά όρια, καλό είναι όμως να ερευνηθεί η πηγή της προέλευσής τους.

Ασβέστιο και Μαγνήσιο

Είναι θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά. Όταν η συγκέντρωσή τους είναι μεγαλύτερη από αυτήν που απορροφούν τα φυτά, τότε αυξάνουν τη συγκέντρωση των στοιχείων αυτών στο θρεπτικό διάλυμα.

Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι 0,5 ως 1 mmol/l Mg^{++} και 2 ως 3mmol/l Ca^{++} είναι αναγκαία συγκέντρωση για τη διατροφή των φυτών.

Υψηλότερες συγκεντρώσεις στο νερό συνήθως αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού, με αποτέλεσμα να μειώνεται η δυνατότητα προσθήκης άλλων αναγκαίων ανόργανων θρεπτικών στοιχείων.

Θείο

Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις τα νερά περιέχουν μικρές ποσότητες θειϊκών ιόντων. Τα θειϊκά ιόντα είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών μόνο σε μικρές ποσότητες. Υψηλότερες συγκεντρώσεις παρ' όλο που δεν είναι βλαπτικές άμεσα για τα φυτά, αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος.

Σε μεγάλες συγκεντρώσεις θειϊκών στο νερό, μπορεί να παρατηρηθεί καθίζηση θειϊκού ασβεστίου στους σωλήνες άρδευσης. Η απομάκρυνση του άλατος που έχει καθιζίσει είναι πολύ δύσκολη, γιατί δύσκολα επαναδιαλύεται.

Για τα περισσότερα φυτά 0.5-1 mmol/l θειϊκών θα ήταν αρκετή για τη θρέψη τους. Σε παρόμοιες συγκεντρώσεις στις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρειάζεται να προστεθεί άλλη ποσότητα στο θρεπτικό διάλυμα.

Δισανθρακικά

Βρίσκονται σχεδόν σε όλα τα υπόγεια νερά. Η ύπαρξη δισανθρακικών στο νερό έχει αρκετά μειονεκτήματα. Πρώτο είναι η δημιουργία ιζήματος με το Ασβέστιο και το Μαγνήσιο. Άλλο μειονέκτημα είναι η αύξηση του pH στο διάλυμα. Ένα τρίτο είναι η κακή εμφάνιση των φυτών όταν το ίδιο νερό χρησιμοποιείται στην υδρονέφωση. Η αύξηση του pH του υποστρώματος και ο υποβιβασμός της εμφάνισης των φυτών στην υδρονέφωση γίνονται σε σημαντικό βαθμό, ακόμα και όταν το νερό περιέχει μόνο λίγα mmol/l HCO_3.

Θα μπορούσε να λεχθεί ότι για τα δισανθρακικά ισχύει η σχέση :

Ποσότητα mmol HCO_3^- < = 2 * ποσότητα mmol (Ca^{++} + Mg^{++})

Σε περιορισμένης έκτασης ριζικό σύστημα η αύξηση του pH εμφανίζεται ακόμα γρηγορότερα, ιδιαίτερα όταν το υπόστρωμα έχει χαμηλή ικανότητα αδράνειας (buffer-capacity).

Για να αποφευχθεί η αύξηση του pH μπορεί να προστεθεί οξύ. Τότε γίνεται η παρακάτω αντίδραση :

$$HCO_3^- + H_3O^+ \rightarrow 2H_2O + CO_2$$

Το οξύ πρέπει να προστίθεται στο δυσανθρακικό σε ίσες ποσότητες. Για τις περισσότερες καλλιέργειες συνιστάται η προσθήκη νιτρικού οξέως και φωσφορικού οξέως.

Για εξουδετέρωση 1mmol/l HCO_3^- υπολογίζεται ότι προστίθενται 63 mg HNO_3 ή 98 mg H_3PO_4 (100%).

Νερό στο οποίο έχει προστεθεί οξύ για την εξουδετέρωση του δισανθρακικού, παραμένει διαβρωτικό για μακρύ χρονικό διάστημα, γι' αυτό θα πρέπει να έρχεται σε επαφή μόνο με υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση.

Η διαβρωτικότητα προέρχεται από το ανθρακικό οξύ που σχηματίζεται και το οποίο αποσυντίθεται αργά. Το αποτέλεσμα είναι η καταστροφή της ισορροπίας:

$$K = \frac{[H_3O^+] \cdot [HCO_3^-]}{[CO_2]}$$

Με την προσθήκη του οξέως αποφεύγεται κατά το μεγαλύτερο μέρος και ο σχηματισμός ανθρακικών πάνω στα φύλλα των φυτών στην υδρονέφωση. Αν το νερό περιέχει μεγάλες ποσότητες θειϊκών, μπορεί να εμφανισθούν κηλίδες που οφείλονται στην καθίζηση του θειϊκού ασβεστίου.

pH

Στις περισσότερες περιπτώσεις στη χώρα μας το pH κυμαίνεται μεταξύ 6.5 και 8.5. Το pH του νερού θα πρέπει πάντα να εκτιμάται σε συνδυασμό με την ικανότητα αδράνειας(buffer) του νερού. Τα στοιχεία που δημιουργούν την αδράνεια (buffer) στο νερό είναι ο φώσφορος, τα χουμικά οξέα και τα δισανθρακικά .

Στο φυσικό νερό, τα φωσφορικά και χουμικά δεν βρίσκονται σε τόσο σημαντικές ποσότητες. Τα δισανθρακικά όμως δίνουν μια σημαντική αδράνεια για pH μεταξύ 5.5 και 7.5, λόγω της γνωστής αντίδρασης :

$$HCO_3^- + H_3O^+ \rightarrow 2\,H_2O + CO_2$$

Τα ιόντα H_3O^+

Υψηλό pH στο νερό βρίσκεται στις περιπτώσεις που αναπτύσσονται βρύα μέσα σ' αυτό. Αυτό γίνεται με την αφαίρεση CO_2 από το νερό. Το CO_2 που περιέχεται σ' αυτό το νερό δεν βρίσκεται πλέον σε ισορροπία με την περιεκτικότητα του αέρα.

Νερό στο οποίο δεν έχει αποκατασταθεί η ισορροπία του με την περιεκτικότητα του CO_2 του αέρα, όταν αναδευτεί μεταβάλλει σιγά σιγά το pH. Σε χαμηλό ή υψηλό εφοδιασμό, το pH θα αυξηθεί ή θα μειωθεί αντίστοιχα.

Το κανονικό pH κυμαίνεται μεταξύ 6.5 και 8.5. Σε χαμηλά pH το νερό γίνεται πολύ διαβρωτικό στα μέταλλα.

Σίδηρος

Ο σίδηρος είναι ένα θρεπτικό στοιχείο και δεν είναι τοξικός για τα φυτά. Όταν υπάρχει στο νερό της άρδευσης όμως, δημιουργεί ίζημα σιγά-σιγά, με την παρουσία του οξυγόνου, στις σωληνώσεις. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να συμβεί τέτοια μείωση του pH (ως αποτέλεσμα της ιζηματοποίησης που μπορεί να δημιουργήσει εγκαύματα στα φύλλα.

Τα όρια της συγκέντρωσης του σιδήρου στο νερό, για να θεωρηθεί ικανοποιητικό, διαφέρουν αρκετά. Από τη μια μεριά οι απαιτήσεις διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση, από την άλλη η ταχύτητα ιζηματοποίησης του σιδήρου διαφέρει πάρα πολύ.

Πολλές φορές χρησιμοποιείται νερό στο θερμοκήπιο με συγκέντρωση μέχρι και 100 mmol/l. Όταν δεν ενδιαφέρει η ιζηματοποίηση του σιδήρου και το λέρωμα των φυτών όταν ψεκάζονται με αυτό το νερό, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί νερό και με υψηλότερη συγκέντρωση από 100 mmol/l. Στην πράξη, όταν χρησιμοποιείται στάγδην άρδευση, και σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 100 mmol/l παρατηρείται οι σταλάκτες να κλείνουν σιγά-σιγά από το ίζημα. Παρατηρήθηκε επίσης ότι νερό που περιέχει αρκετά κάτω από 100mmol/l σίδηρο, αλλά περιέχει και μερικά mmol αμμωνία, μπορεί να δημιουργήσει τοξικά εγκαύματα στα φύλλα των φυτών.

Μια συγκέντρωση 10 ως 20 mmol θεωρείται υποφερτή αν το νερό είναι πλούσιο σε οργανικά υλικά. (Ο διαθέσιμος σίδηρος θα συνδεθεί με την οργανική ύλη και δύσκολα θα σχηματίσει ίζημα). Περίπου ίδιες απαιτήσεις υπάρχουν και για το νερό που χρησιμοποιείται για ριζοβολία μοσχευμάτων στην υδρονέφωση.

Για την άρδευση με ψεκασμό φυτών γλάστρας ή πλατύφυλλων δένδρων που απαιτούν καλή εμφάνιση φύλλων, το νερό θα πρέπει να περιέχει τις ίδιες μικρές συγκεντρώσεις σιδήρου. Στις περισσότερες περιπτώσεις η περιεκτικότητα σιδήρου δεν πρέπει να ξεπεράσει τα 25-50 μmol.

Ιχνοστοιχεία

Μερικά ιχνοστοιχεία μπορεί να δημιουργήσουν μεγάλες ζημιές στα φυτά ιδιαίτερα στις υδροπονικές καλλιέργειες, όταν βρίσκονται στο νερό σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Τούτο γίνεται διότι σ' αυτές τις συγκεντρώσεις δρουν τοξικά για τα φυτά.

Βόριο

Γενικά είναι αποδεκτό ότι σε συγκεντρώσεις γύρω στα 100 μmol/l εμφανίζονται τοξικά σημάδια στις ρίζες. Δεν θα πρέπει στο νερό η συγκέντρωση να είναι μεγαλύτερη από 50 μmol/l.

Σε υδροπονική μέθοδο με ανακυκλούμενο διάλυμα, η συγκέντρωση στο διάλυμα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 25 μmol/l.

Φθόριο

Όταν γίνεται καλλιέργεια με περιορισμένης έκτασης ριζικό σύστημα, η περιεκτικότητα του νερού σε φθόριο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 25μmol/l για βολβώδη και ριζωματώδη φυτά και τα 50μmol/l για τα λοιπά.

Ψευδάργυρος

Ο ψευδάργυρος βρίσκεται συνήθως στο νερό όταν αυτό περνά από γαλβανισμένα υλικά ή της οροφής του θερμοκηπίου για το βρόχινο νερό ή από γαλβανισμένους σωλήνες κατά τη μεταφορά του. Σε υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, μπορεί να παρουσιασθούν εγκαύματα χλωρώσεις, ιδιαίτερα όταν ο ψευδάργυρος απορροφάται από τη ρίζα σε μεγάλες συγκεντρώσεις.

Για τη θρέψη των φυτών μια συγκέντρωση 2-4μmol/l είναι αρκετή. Υψηλότερες συγκεντρώσεις έχουν ως συνέπεια τη συσσώρευσή του στο υπόστρωμα ή στο διάλυμα. Για να αποφευχθεί η τοξικότητα, η συγκέντρωσή του θα πρέπει να συγκρατείται συνεχώς κάτω από 10μmol/l και μάλιστα στα συστήματα υδροπονίας με ανακύκλωση κάτω από 5μmol/l.

Στις καλλιέργειες εδάφους επειδή ένα μέρος του ψευδαργύρου δεσμεύεται στο έδαφος (μακροχρόνια δημιουργείται συσσώρευση), μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό μέχρι 25μmol/l. Εγκαύματα σε φυτά με καταιωνισμό δημιουργούνται σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις.

Χαλκός

Για τη θρέψη των φυτών δεν απαιτούνται πάνω από 0.5 – 1 μmol/l. Σε συγκέντρωση 2-3μmol/l στο νερό άρδευσης συνήθως τα φυτά δεν παρουσιάζουν συμπτώματα τοξικότητας.

Ο χαλκός απορροφάται ισχυρά από την άργιλο και το χώμα. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις στο νερό πρέπει να αποφεύγονται, πλην των άλλων, διότι αυξάνει η συγκέντρωση στο έδαφος.

Μαγγάνιο

Πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου εμφανίζονται κυρίως στα υπόγεια ύδατα. Η υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου είναι μικρότερης σημασίας του Zn, γιατί το μαγγάνιο οξειδώνεται σιγά-σιγά και κατακάθεται ως οξείδιο του μαγγανίου. Σε χαμηλό pH η οξείδωση επιβραδύνεται και σε πολύ χαμηλό σταματά.

Για τις υδροπονικές καλλιέργειες η συγκέντρωση του μαγγανίου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 20μmol/l. Υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου στο νερό άρδευσης για φυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος, έχει αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του μαγγανίου στο έδαφος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι χωρίς έδαφος καλλιέργειες μας παρέχουν τη δυνατότητα, και στην περίπτωση της τομάτας, της ποσοτικής αύξησης και ποιοτικής βελτίωσης του προϊόντος, αρκεί να εφαρμοστούν σωστά. Εάν παράλληλα συσκευαστεί κατάλληλα και προωθηθεί σύμφωνα με τους κανόνες εμπορίας και διακίνησης, μπορεί να αυξήσει το εμπορικό του βάρος στα εξαγωγικά κανάλια της Ευρώπης. Αποκλείει επίσης την περίπτωση «κούρασης» του εδάφους και τη χρησιμοποίηση της απολύμανσης με σκληρά απολυμαντικά. Άλλωστε η μελλοντική απαγόρευση αυτών των απολυμαντικών(μέχρι το 2010) καθιστά πλέον επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών λύσεων, περισσότερο αποτελεσματικών και ταυτόχρονα οικονομικών, με αποτέλεσμα η χωρίς έδαφος καλλιέργεια να αποτελεί προς το παρόν την μοναδική λύση. Αποτελεί πρόκληση για τους σύγχρονους και ενημερωμένους παραγωγούς οι οποίοι μέσα από αυτή την καλλιέργεια μπορούν να αναδείξουν τον επαγγελματισμό τους, να εκμεταλλευτούν την νέα τεχνολογία που διαθέτει η γεωργική τους εκμετάλλευση και ταυτόχρονα να αυξήσουν τα κέρδη τους.

Πολλά από τα πλεονεκτήματα που έχει το NFT, προσφέρονται και σε άλλες μεθόδους και τεχνικές υδροπονικής καλλιέργειας και ειδικότερα στη μέθοδο υδροπονικής καλλιέργειας με πετροβάμβακα. Πολύ σκεπτικισμός επομένως εμμένει για το μέλλον του NFT, επειδή γίνεται αντιληπτή γενικά σαν τεχνική που απαιτεί ένα υψηλό επίπεδο τεχνικής ικανότητας. Κάποιες ανησυχίες οι οποίες υπάρχουν έχουν να κάνουν με την πιθανότητα της ενίσχυσης των ασθενειών στο σύστημα από την αναδιανομή του θρεπτικού διαλύματος με συνέπειες τις καταστρεπτικές απώλειες των καλλιεργειών. Αν και ο φόβος των καταστρεπτικών αποτυχιών συγκομιδών δεν ήταν τεκμηριωμένος από τα γεγονότα, τα ανεξήγητα ξεσπάσματα κρουσμάτων θανάτων των ριζών που έχουν περιστασιακά εμφανισθεί και έχει βοηθήσει στο να γίνονται έρευνες σχετικά με τη δυνατότητα εμφάνισης των ασθενειών στο υδροπονικό σύστημα NFT.

Το σύστημα NFT έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συστήματα παραγωγής. Έχει σχεδιαστεί για την απλότητα, το χαμηλότερο κόστος και ειδικότερα την αξιοπιστία, δίνει τον απόλυτο έλεγχο του περιβάλλοντος της ρίζας. Το πότισμα είναι πολύ απλουστευμένο και εξασφαλίζεται ένας ομοιόμορφος θρεπτικός ανεφοδιασμός πέρα από ολόκληρη την καλλιέργεια.

Η θερμοκρασία της ρίζας μπορεί να αυξηθεί εύκολα όποτε απαιτείται μόνο, θερμαίνοντας το θρεπτικό διάλυμα το οποίο μπορεί να κυκλοφορεί συνεχώς ή περιοδικά για να συντηρήσει περαιτέρω την ενέργεια και για να ελέγξει την φυτική αύξηση των νέων χειμωνιάτικων αναπτυσσόμενων φυτών. Άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν μια γρήγορη ανακύκλωση μεταξύ των διαδοχικών συγκομιδών, η δυνατότητα για την αποδοτικότερη χρήση από το διάστημα θερμοκηπίων λόγω της δυνατότητας της κινητικότητας των φυτών και η δυνατότητα για την αποδοτική χρήση του νερού. Θεωρητικά προσφέρει την υψηλότερη δυνατότητα παραγωγής, και οι πρακτικές δοκιμές το επιβεβαιώνουν αυτό το αξίωμα που έχει το υδροπονικό σύστημα NFT.

Το σύστημα μελετήθηκε από εξειδικευμένους επιστήμονες και τέθηκε σε εφαρμογή από νεωτεριστές παραγωγούς με εντυπωσιακά αποτελέσματα σε σύγκριση με την κλασική μέθοδο καλλιέργειας στο χώμα. Τα αποτελέσματα αυτά κατέστησαν το NGS ως το πλέον σύγχρονο, αξιόπιστο και παραγωγικό σύστημα καλλιέργειας.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας του NGS έρχεται να λύσει προβλήματα όπως έλλειψης νερού, παθογόνων εδάφους, αύξησης της παραγωγής, σεβασμού στο περιβάλλον, βελτίωσης της ποιότητας και πρωϊμισης της παραγωγής, μείωσης του κόστους και της αναγκαιότητας για προσαρμογή του παραγωγικού κύκλου στις ανάγκες της αγοράς.

Όπως προαναφέρθηκε το GRODAN είναι αδρανές υλικό και τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία προστίθενται με το θρεπτικό διάλυμα. Ποτέ δεν αρδεύουμε με νερό αλλά πάντα με θρεπτικό διάλυμα. Η αρχή της άρδευσης είναι δόση συγκεκριμένης ποσότητας(100-120ml ανά φυτό) αρκετές φορές την ημέρα ανάλογα με:

1. Το στάδιο ανάπτυξης του φυτού
2. Τις κλιματικές συνθήκες
3. Το ποσοστό του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει
4. Την ηλεκτρική αγωγιμότητα στο υπόστρωμα

Η κατανομή των ποτισμάτων θα πρέπει να είναι συχνότερη τις ώρες της ημέρας που απαιτήσεις για νερό είναι μεγαλύτερες (μεταξύ 12:00 και 17:30). Η απορροή κατά την διάρκεια κάθε ποτίσματος είναι απαραίτητη διότι με τον τρόπο αυτό παραμένει η επιθυμητή σχέση των θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον της ρίζας.

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 στην ρύθμιση της διαθεσιμότητας των υπαρχόντων 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 πως 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 ως 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.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Π. Γιαγλάρας, Χ. Λύκας, Κ. Κίττας *(200) "Υδροπονικά συστήματα καλλιέργειας*

Ε. Δρίμτζιας *(1995) "Υδροπονική καλλιέργεια σε υπόστρωμα GRODAN"*

Ε. Δρίμτζιας *(1995) "Η χωρίς έδαφος καλλιέργεια της τομάτας"*

James Sholto Douglas *(1986) "Advanced Guide To Hydroponics" (σελ 45-58)*

Χ. Κατσάνος. *(1990) "Ο πετροβάμβακας στην Ελλάδα"*

Dudley Harris. *(1981) " Hydroponics Growing Plants without soi" l(σελ. 105 – 119)*

Merle H. Jensen.*(1989) " Department of plant sciences", University of Arizona, Tuscon, AZ 85721.*

J. Benton Jones, Jr.*(1991)"Hydroponics A Practica Guide for the soilless Grower" (σελ.79-87)*

Γ. Μαυρογιαννόπουλος *(1984). "Υδροπονικές καλλιέργειες στην Ελλάδα".Γεωργική Τεχνολογία, 28-31"*

Γ.Μαυρογιαννόπουλος *(1986). "Υδροπονική καλλιέργεια σε σάκους ΄ Περλίτη και η επίδραση του μεγέθους του σάκου στην παραγωγή τομάτας στο θερμοκήπιο". Γεωργική έρευνα.*

G.N. Mavrogianopoulos and J.C. Papadakis *(1987). "The effect of bag size on tomatoes in bags with perlite".*

Γ. Μαυρογιαννόπουλου *(1994) "Υδροπονικές Καλλιέργειες και θρεπτικά Διαλύματα"*

Χρίστου Μ. Ολυμπίου *(1988) "Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στο Θερμοκήπιο"*

Richard E. Nichols. *(1989) "Beginning Hydroponic Soiless"*

A.P. Papadopoulos *(1991) "Growing Greenhouse tomatoes in soil and soilless media."*

Howard M.Resh, Ph.D *(1990) "Hydroponic Food Production 5th edition"*

S. Richardson *(1991) "Hydroponics and nutrient film cultures. Fertilizer Science and technology".*

Ι. Σαχαρίδης *(1995. "Βασικές έννοιες και υπολογισμοί στα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονικών καλλιεργειών "Γεωργία και Ανάπτυξη"*

Π. Σαχαρίδης *(1995) "Γεωργία και Ανάπτυξη"*

D. Smith *(1998). "Growing in rockwool "*

D. Savvas. *(2001). "Management of vegetables and ornamental plants in hydroponics"*

D.Savvas and H. Passam(editors) *(2001) " Hydroponic Production of vegetables and ornamentals".*

S.H. Wittwer & S.Honma *(1992) " Greenhouse, tomatoes, lettuce"*

http : // www.agrek.gr.htm

http://www.arizona.edu/hydroponictomatoe/history.htm

http:// www.deedalus.match.uoi.gr/agrotica/anthokomia/anth/kef/4/433.htm

http:// www.daedalus.maloh.uoi.gr/agrotica/anthokomia/anto/kel/4/439.htm

http://www.embryopub.gr.htm

http://www.hydroponics.gr/default_old.htm

http://www.hydrogrow.org/gr.htm

http://www.hydroponics.com.au

http://www.hydrofarm.com.htm

http://hydroponicsequipment.com.htm

http://www-iob.bio.auth.gr/ceuo_bio/Labor_Bio_Nutr_P/bourania17.htm

http://www.nchydro.com

http://www.uada.gov

http://www.uth.gr/main/research/synachia/anakoinwsis/semCEC11.2002.htm

http://lath.uodavis.edu

http://lath.uodavis.edu/Extension/HAS/opframe.htm