ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΠΑΤΕΡΑΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΧΩΡΙΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΜΑΤΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

ΑΘΗΝΑ 2013

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΑΒΒΑΣ

ΧΑΡΟΛΝΤ-ΚΡΙΣΤΟΦΕΡ ΠΑΣΣΑΜ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗΣ

Ευχαριστίες

Στην ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης συνέβαλαν οι παρακάτω, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω, διότι χωρίς τη βοήθεια τους θα ήταν αδύνατη η πραγματοποίησή της:

- Ο Καθηγητής Δημήτριος Σάββας, για την εμπιστοσύνη και την στήριξη που μου έδειξε από την πρώτη στιγμή. Επίσης τον ευχαριστώ θερμά για τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης.

- Ο Ανδρέας Ροπόκης, μέλος Ε.Τ.Ε.Π., ο οποίος με καθοδήγησε και με βοήθησε να εξοικειωθώ με τις εργαστηριακές τεχνικές. Επίσης μου παρείχε χρήσιμες συμβουλές και σημαντική ψυχολογική στήριξη κατά τη διάρκεια της εργασίας μου.

- Η υποψήφια διδάκτωρ Γεωργία Ντάτση, που με επέβλεπε και υπήρξε μια εξαιρετική συνεργάτιδα προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μεταπτυχιακή μελέτη. Η βοήθεια της ήταν απαραίτητη τόσο στο πειραματικό μέρος, όσο και στην παροχή της σχετικής βιβλιογραφίας.

- Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλο το προσωπικό του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών για τις συμβουλές τους και το ευχάριστο περιβάλλον.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους όσους μου συμπαραστάθηκαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δυνατότητα ανάπτυξης περισσότερων καλλιεργειών στο χρόνο με την κατασκευή σύγχρονων θερμοκηπιακών μονάδων, δημιούργησε νέα δεδομένα στη χώρα μας προσεγγίζοντας ολοένα και περισσότερο το Ολλανδικό μοντέλο. Καλλιέργεια εκτός εδάφους σε σάκους υποστρωμάτων είναι διεθνώς η πιο διαδεδομένη μέθοδος ανάπτυξης φυτών σε υποστρώματα. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, μελετήθηκε η ανάπτυξη φυτών τομάτας σε εγχώρια και εισαγόμενα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες.

Αντικείμενο της μελέτης ήταν η σύγκριση και η αξιολόγηση της επίδρασης του κάθε υποστρώματος στη βλαστική ανάπτυξη, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και στη θρεπτική κατάσταση των φυτών. Πρόκειται για τα πέντε πιο συνηθισμένα υποστρώματα, πετροβάμβακας, περλίτης, κόκος, ελαφρόπετρα (2-10) και ελαφρόπετρα (0-8). Η ποικιλία τομάτας που χρησιμοποιήθηκε ήταν το υβρίδιο Primadonna, η οποία θεωρείται πολύ παραγωγική, εμβολιασμένη σε υποκείμενο Maxi-Fort.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο υαλόφρακτο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών. Για τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος παρασκευάστηκαν διαφορετικές ‘συνταγές’ σε βλαστικό στάδιο και στάδιο καρποφορίας, ενώ η συχνότητα και η ποσότητα των αρδεύσεων ήταν ίδια για όλα τα υποστρώματα, προσαρμοσμένη στις ανάγκες του φυτού και στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας επιλέχθηκαν τυχαία κάποια φυτά προκειμένου να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ των υποστρωμάτων. Συλλέχθηκαν δείγματα φύλλων και βλαστών για τη μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους, αλλά και του ποσοστού της ξηράς ουσίας. Φυτά που αναπτύχθηκαν σε πετροβάμβακα και κόκο σημείωσαν τη μεγαλύτερη βλαστική ανάπτυξη, ενώ σε πολύ χαμηλά επίπεδα κυμάνθηκαν στον περλίτη. Επίσης η μέτρηση του πλάτους των φύλλων και του ύψους των φυτών, βοήθησε στην εξαγωγή επιπλέον συμπερασμάτων για την εξέλιξη της βλάστησης σε κάθε υπόστρωμα. Στο τέλος της καλλιέργειας, συγκεντρώθηκαν

δείγματα βλαστού και φύλλων για τη μελέτη της θρεπτικής κατάστασης. Σημαντική ήταν η αύξηση της ποσότητας του μαγνησίου και του ασβεστίου στην ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 2-10 mm σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα.

Όσον αφορά τους καρπούς που συγκομίζονταν μετρήθηκε το συνολικό βάρος και ο αριθμός των καρπών του εκάστοτε υποστρώματος. Με βάση τα αποτελέσματα δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές, ενώ αυξημένο μέσο βάρος καρπού εντοπίστηκε σε δείγματα από τον κόκο. Επιπροσθέτως στις μετρήσεις που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο, αξιολογήθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Σημαντικές διαφορές σημειώθηκαν σε ολικά διαλυτά στερεά, με τον περλίτη και τον κόκο να έχουν εμφανώς αυξημένες συγκεντρώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα. Αντίθετα καρποί από ελαφρόπετρα (2-10) και περλίτη είχαν υψηλό βαθμό συνεκτικότητας.

Μολονότι διαφορές στη συνολική παραγωγή δεν εντοπίστηκαν, σημαντικά συμπεράσματα λήφθηκαν στις μετρήσεις που αφορούσαν την ποιότητα του καρπού και την κατάσταση θρέψης των φυτικών ιστών. Με την ελαφρόπετρα (2-10) που θεωρείται ένα χαμηλού κόστους υλικό να είναι εξίσου παραγωγικό όπως τα υπόλοιπα υποστρώματα. Πιθανή αύξηση της ποσότητας του θρεπτικού διαλύματος σε κάποια υποστρώματα, ίσως επηρέαζε διαφορετικά την εξέλιξη της καλλιέργειας.

ABSTRACT

The development of modern greenhouse complexes in our country and the capability to grow more than one cultivation per year, created new data, thus approaching the Dutch model even more. The most popular plant cultivation on substrates, is the off-field cultivation on bagged substrates. This post-graduate research examined the growth of tomato plants cultivated on both local and imported substrates, which are commonly used in the country during the last decades.

The subject of this research was the evaluation of each substrate's effect on plant growth and nutritious condition and on fruit quality characteristics. The five most commonly used substrates were examined: Rockwool, pearlite, coir, pumice (2-10) and pumice (0-8). The cultivated tomato variety was the 'Primadonna' hybrid, which is considered to be very productive, grafted onto 'Maxi-Fort' rootstock.

The experiment took place in the glass greenhouse of the Lab. Different 'recipes' of nutrient water-based solutions were tested on the plants, both during the growing and the reproductive stages of the plant. The irrigation frequency and quantity were the same for all the tested substrates and were adapted to the plant's needs and to the environmental conditions.

During the initial stages of the cultivation, a random plant selection took place, in order to compare the initial effects of the different substrates on the growing plants. Leaf and shoot samples were collected to be tested for their fresh and dry weight and their dry matter content percentage. The plants cultivated on rockwool and coir showed the best growth and those cultivated on pearlite the least. The leaf width and plant height measurements improved the results about the development of plant growth on each substrate. During the end of the cultivation, leaf and shoot samples were collected to be tested about their nutritious condition. Plants grown on rockwool (2-10) showed a significantly higher magnesium and calcium content, compared to the plants grown on the rest substrates.

The total fruit weight collected and the number of fruits per substrate were measured. The results did not show significant differences between the examined substrates, but fruit samples collected from plants grown on coir showed increased

weight. Moreover, during the tests that took place in the Lab, the quality characteristics of the fruits collected were examined. The tests showed significant differences considering the total solube solids content and fruit grown on pearlite and coir showed by far increased concentrations compared to fruit grown on the rest substrates. Fruit grown on pumice (2-10) and on pearlite were found to be highly firmness.

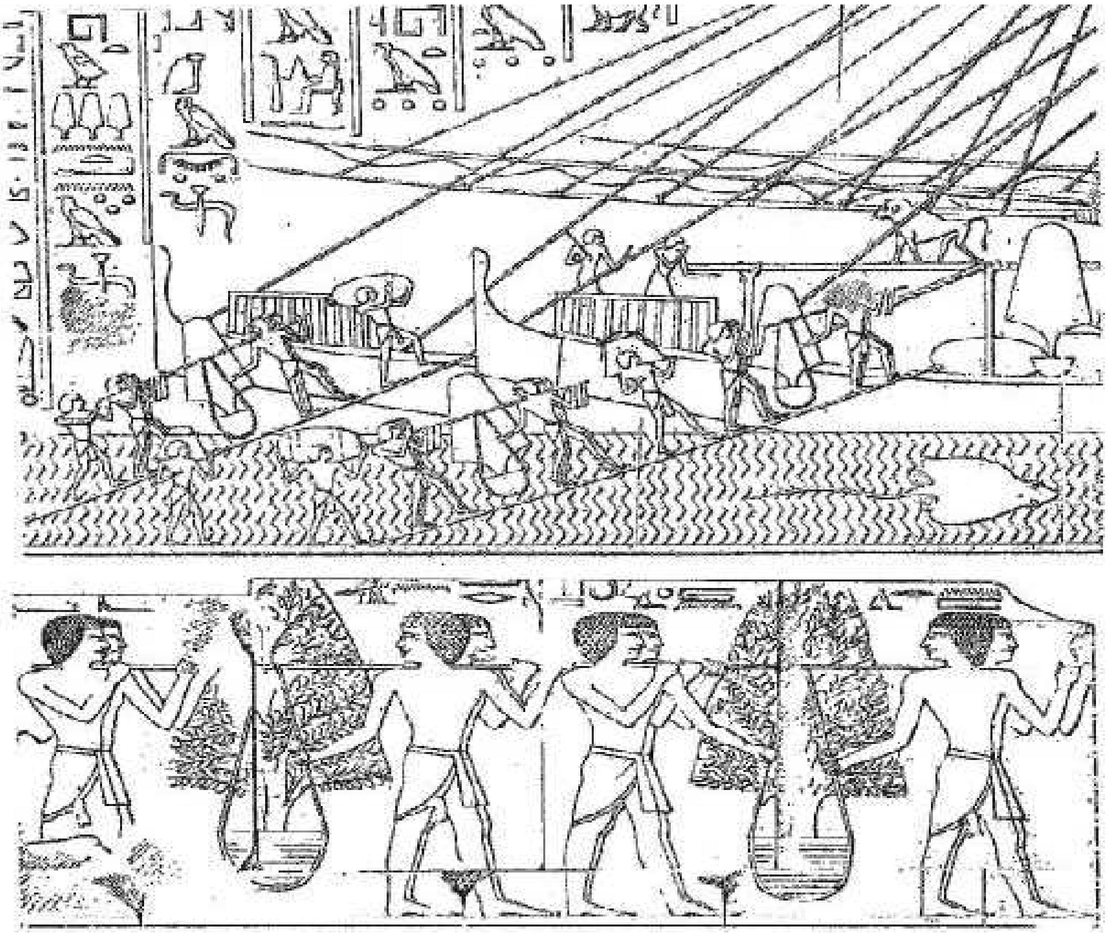
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Καλλιέργειες εκτός εδάφους (Soilles Culture)

1.1 ιστορικά στοιχεία

Μολονότι μέχρι σήμερα θεωρείται ως μια σύγχρονη μέθοδος σε ολόκληρο τον κόσμο, μια ανασκόπηση στο παρελθόν εντοπίζονται πολλά ενδιαφέροντα στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα στην Αίγυπτο 4000 χρόνια πριν, είχαν χρησιμοποιηθεί γλάστρες με κάποιο είδος υποστρώματος για την καλλιέργεια και μεταφορά δένδρων σε μεγάλες αποστάσεις (Εικόνα 1) (Raviv and Lieth, 2008). Επίσης οι αρχαίοι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας και αργότερα οι πλωτοί κήποι που δημιούργησαν οι Αζτέκοι στο Μεξικό ($14^{ο}$–$16^{ο}$ αιώνα μ.Χ.), ήταν καλλιέργειες που έφεραν κάποια από τα χαρακτηριστικά των σημερινών υδροπονικών καλλιεργειών. Στην περίπτωση των Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας τα φυτά αναπτύσσονταν πάνω σε αναβαθμίδες γεμισμένες με μείγμα άμμου και χώματος (Benton, 2005).

Τον $17^{ο}$ αιώνα χρησιμοποιούνταν κατασκευές που έμοιαζαν με θερμοκήπια, προκειμένου να διατηρούνται σε περιοχές με ψυχρά κλίματα, όπως συνέβη με κάποια εσπεριδοειδή στην Γερμανία. Η καλλιέργεια των φυτών σε δοχεία ολοένα και αυξανόταν για δύο λόγους (Raviv and Lieth, 2008). Ο ένας οφειλόταν στην κατανόηση των απαιτήσεων διατροφής τους και κυρίως το 1946 που Βρετανοί επιστήμονες ανέπτυξαν φυτά σε άμμο με χρήση θρεπτικών διαλυμάτων. Αργότερα βελτιώθηκε η σύσταση τους και μπόρεσαν να αυξήσουν την απόδοση των φυτών (Cooper, 1975? Verwer, 1976). Ένας δεύτερος λόγος ήταν η μείωση των ασθενειών και η ελαχιστοποίηση των εργασιών που απαιτούνται για την απολύμανση, σε σχέση με την καλλιέργεια στο έδαφος. Στην Αμερική τη δεκαετία 1950 και 1960 χρησιμοποιήθηκαν σε φυτώρια διάφορες αναλογίες από τύρφη, πριονίδι, άμμο και άλλες οργανικές ουσίες για τη διατήρηση των φυτών (Matkin and Chandler, 1957).



Εικόνα 1: Τοιχογραφίες από ναό της Αιγύπτου που απεικονίζουν την καλλιέργεια και τη μεταφορά φυτών σε δοχεία τα οποία περιέχουν κάποιο είδος υποστρώματος (Naville, 1913; Matkin et al., 1957).

Πολλοί ερευνητές αρχικά προσπάθησαν μέσω της υδροπονίας να μελετήσουν τον τρόπο λειτουργίας και θρέψης των ριζών. Η αυτοματοποίηση και γενικότερα ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια έδωσε νέα δεδομένα στην καλλιέργεια εκτός εδάφους. Σήμερα υπάρχουν διάφορα είδη συστημάτων στα οποία καλλιεργείται μεγάλη ποικιλία καλλωπιστικών και κηπευτικών φυτών (Raviv and Lieth, 2008). Οι κατηγορίες αυτών των συστημάτων περιλαμβάνουν καλλιέργεια σε αδρανή υποστρώματα, σύστημα επίπλευσης, καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος, καλλιέργεια σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος, αεροπονία (Raviv and Lieth, 2008).

Οι Γερμανοί φυσιολόγοι Sachs (1859, 1861) και Knop (1860) ήταν οι πρώτοι που καλλιέργησαν φυτά μέσα σε τεχνητό θρεπτικό διάλυμα, του οποίου η σύσταση σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία καθορίστηκε από τους παρασκευαστές του, με στόχο να συμφωνεί με τις ανάγκες θρέψης των φυτών και επιτεύχθηκε με προσθήκη συγκεκριμένων ποσοτήτων ανόργανων αλάτων σε μία ποσότητα φυσικού νερού. Γι αυτό και δίκαια σήμερα θεωρείται ότι οι Sachs και Knop είναι εκείνοι που έθεσαν τις επιστημονικές βάσεις της υδροπονίας.

Σημαντικές αναφορές έχουν γίνει για υδροπονικές καλλιέργειες που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Αμερικάνοι στρατιώτες που διέμεναν σε νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού, καλλιέργησαν φυτά εκτός εδάφους για την παραγωγή φρέσκων λαχανικών με μοναδικό σκοπό να εφοδιάζεται με τρόφιμα ο στρατός (Eastwood, 1947).

Από τις αρχές της δεκαετίας του '70, το ενδιαφέρον για την εφαρμογή της υδροπονίας σε επιχειρηματικές καλλιέργειες σε θερμοκήπια, αναζωπυρώνεται κυρίως στην Αγγλία και Ολλανδία. Στην Αγγλία ο Cooper (1975, 1979), εφαρμόζει με επιτυχία την τεχνική της λεπτής θρεπτικής στιβάδας (Nutrient Film Technique) που υιοθετείται από τους παραγωγούς σε μεγάλη κλίμακα. Στην Ολλανδία ανακαλύπτονται οι θαυμάσιες ιδιότητες του πετροβάμβακα (Verwer, 1976 και 1978) σαν αδρανές υπόστρωμα, το οποίο δίνει λύση στην έξαρση των εδαφογενών ασθενειών καθώς και τα προβλήματα που δημιουργούσαν οι συνεχείς απολυμάνσεις του εδάφους με βρωμιούχο μεθύλιο.

1.2 Η έννοια της υδροπονίας (hydroponics)

Η λέξη hydroponics προέρχεται από το συνδυασμό δυο Ελληνικών λέξεων, hydro που σημαίνει νερό και ponos που έχει την έννοια της εργασίας. Ο όρος καθιερώθηκε στη δεκαετία του 1930, στην Καλιφόρνια, από τον επιστήμονα Gericke (1929, 1937, 1940) για να χαρακτηρίσει την καλλιέργεια σε διάλυμα χωρίς τη χρήση υποστρώματος. Στα τέλη της δεκαετίας του 1920 ξεκίνησε να πειραματίζεται με υδροπονικές τεχνικές καλλιέργειας και το 1940 δημοσίευσε το πρώτο βιβλίο που αφορούσε την υδροπονία. Όμως δεν ανέφερε ότι πρόκειται για συστήματα που προορίζονται για υπό κάλυψη καλλιέργειες (Benton, 2005).

Αρχικά η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους χωρίς τη χρήση υποστρωμάτων, ονομάστηκε Υδροπονία. Όμως προς τα τέλη του 20^{ου} αιώνα υπήρξε μια σύγχυση σχετικά με τον ακριβή ορισμό της υδροπονίας. Το 1977 ο Harris πρότεινε έναν σύγχρονο ορισμό της λέξης, όπου αναφέρεται στην επιστήμη της ανάπτυξης φυτών σε ένα μέσο, εκτός χώμα, χρησιμοποιώντας μίγματα μονάχα των απαραίτητων στοιχείων, τα οποία είναι ευδιάλυτα στο νερό. Αργότερα σε κάποια λεξικά αναφερόταν ως η επιστήμη της καλλιέργειας φυτών σε διαλύματα πλούσια με θρεπτικά συστατικά ή σε αδρανή υλικά, ενώ σε άλλα οριζόταν ως η καλλιέργεια φυτών τοποθετώντας τις ρίζες σε θρεπτικά διαλύματα αντί στο έδαφος. Στην Encyclopedia Americana International Edition (2000) αναφερόταν ως η ανάπτυξη φυτών σε υγρό διάλυμα με ή χωρίς μηχανική στήριξη από κάποιο αδρανές υλικό. Σε άλλες περιπτώσεις συναντάται ως η ανάπτυξη των φυτών χωρίς χώμα. Ο Resh (1995) κατέληξε ότι είναι η επιστήμη της καλλιέργειας φυτών χωρίς χρήση εδάφους, αλλά με τη χρήση ενός αδρανούς υλικού όπως χαλίκια, άμμο, τύρφη, βερμικουλίτη, ελαφρόπετρα ή πριονίδι, στα οποία εφαρμόζεται θρεπτικό διάλυμα που παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη φυσιολογική ανάπτυξη του φυτού. Αντιθέτως ο Wignarjah (1995) αναφερόταν μόνο στην τεχνική καλλιέργειας φυτών χωρίς χώμα και εντός θρεπτικού διαλύματος. Σαν συμπέρασμα των παραπάνω ήταν ότι πρόκειται για καλλιέργεια χωρίς χώμα, με κάποια πηγή θρεπτικών στοιχείων, είτε σε θρεπτικό διάλυμα, είτε σε νερό εμπλουτισμένο με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία ή με στήριξη της ρίζας σε αδρανές μέσο (Benton, 2005).

Σήμερα η υδροπονία είναι μια μορφή καλλιέργειας εκτός εδάφους και οι ρίζες αναπτύσσονται σε σταθερό διάλυμα, στον αέρα με τον ψεκασμό θρεπτικού διαλύματος ή σε συνεχή ροή θρεπτικού διαλύματος. Η καλλιέργεια σε οργανικά ή ανόργανα υποστρώματα συνήθως αναφέρεται ως καλλιέργεια εκτός εδάφους και λιγότερο ως υδροπονία (Benton, 2005).

1.3 Εξάπλωση των υδροπονικών καλλιεργειών

Από το 1980 η συγκεκριμένη τεχνική καλλιέργειας ήταν πλέον γνωστή για την παραγωγή υψηλής αξίας κηπευτικών και ανθοκομικών φυτών. Πάνω από 60.000 στρέμματα, σε όλον τον κόσμο, θερμοκηπίων χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή λαχανικών σε υδροπονικά συστήματα. Αριθμός που συνεχώς αυξανόταν μέχρι το 1995, ενώ το 2004 καταγράφηκαν 55.000 στρέμματα σε παγκόσμιο επίπεδο (Benton, 2005).

Η συνολική έκταση στον κόσμο εκτιμάται κάπως μικρότερη από 600.000 στρέμματα. Οι κυριότερες εμπορικές μέθοδοι καλλιέργειας είναι: καλλιέργεια σε υπόστρωμα πετροβάμβακα (Εικόνα 2), καλλιέργεια σε σάκους κομποστοποιημένων φλοιών ινδικής καρύδας (κόκος), καλλιέργεια σε περλίτη και καλλιέργεια σε ρηχό ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (NFT). Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε σημαντικό βαθμό, είναι η καλλιέργεια σε άμμο (κυρίως σε τοπική άμμο) και καλλιέργεια σε πριονίδι (π.χ. στον Καναδά). Περιπτωσιακά χρησιμοποιείται σ’ όλο τον κόσμο και η καλλιέργεια σε χαλίκι μικρής διαμέτρου (φυσικό ή τεχνητό) (Μαυρογιαννόπουλος 2006).

Σε χώρες, στις οποίες σημαντικό μέρος των εδαφών παρουσιάζει προβλήματα, είτε λόγω της υπερεντατικής εκμετάλλευσης όπως για παράδειγμα στην Ολλανδία, είτε λόγω άρδευσης με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα όπως για παράδειγμα στο Ισραήλ, η αναγκαιότητα εισαγωγής της υδροπονίας στην παραγωγή είναι λογικό να είναι μεγαλύτερη. Το ίδιο ισχύει και για τις χώρες που ισχύουν αυστηροί περιορισμοί στην χρήση τοξικών χημικών απολυμαντικών του εδάφους και άλλων ισχυρών φυτοφαρμάκων. Για τους παραπάνω λόγους, στις ανεπτυγμένες τεχνολογικά χώρες που χαρακτηρίζονται από αντίξοες καιρικές συνθήκες για την παραγωγή κηπευτικών εκτός εποχής όπως για παράδειγμα στις βορειοευρωπαϊκές χώρες και στην Ιαπωνία, η μεταπήδηση στην υδροπονία ήταν και ευκολότερη και πλέον επιβεβλημένη (Σάββας, 2003).

Εικόνα 2: Υδροπονική καλλιέργεια τομάτας σε κλειστό σύστημα με σάκκους πετροβάμβακα(Ολλανδία). (Πηγή: http://www.hungrycitybook.co.uk)

Αντίθετα, η Μεσογειακή Ευρώπη είναι συνηθισμένη να παράγει λαχανικά και άνθη εκτός εποχής σε χαμηλού κόστους κατασκευές, κυρίως εκμεταλλευόμενη τις ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις χώρες αυτές, παρόλο που έτσι δεν διασφαλίζονται ούτε υψηλές αποδόσεις ούτε ικανοποιητική ποιότητα προϊόντων. Γι αυτό το λόγω στις χώρες τις Μεσογείου, οι παραγωγοί δεν είναι ιδιαίτερα πρόθυμοι να επενδύσουν εγκαθιστώντας σύγχρονο εξοπλισμό στα θερμοκήπιά τους και διστάζουν να πληρώσουν το κόστος της υδροπονίας. Γι αυτό το λόγο η εξάπλωση της υδροπονίας στις μεσογειακές χώρες της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας άρχισε με χρονική καθυστέρηση και βαίνει μέχρι σήμερα με σημαντικά πιο αργούς ρυθμούς (Σάββας, 2003).

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι η καλλιεργούμενη έκταση στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου στα 1.500 στρ. Το μεγαλύτερο μέρος καταλαμβάνει η καλλιέργεια τομάτας, ακολουθεί αυτή του αγγουριού με 450 στρ. ενώ η καλλιέργεια μαρουλιού φθάνει μόλις τα 50 στρ. Τέλος η καλλιέργεια ανθοκομικών ειδών και δη τριαντάφυλλων, ζέρμπερας κ.α. ανέρχεται μόλις στα 150 στρ. Τα κύρια υποστρώματα που χρησιμοποιούνται είναι ο πετροβάμβακας σε ποσοστό 75%, ο περλίτης 10%, το ΟΤΤ σε ποσοστό 10% ο κοκοφοίνικας 5%, η ελαφρόπετρας κ.λ.π. (Olympios, 2008).

1.4 Εξέλιξη των θερμοκηπίων

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες έχουν μεγάλη ιστορία και δεν έχει προσδιοριστεί ακόμα πότε κατασκευάστηκαν τα πρώτα θερμοκήπια. Υπάρχουν πολλές αναφορές για κτήρια με παράθυρα για την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας, στα οποία διατηρούνταν τα φυτά στη διάρκεια ακραίων καιρικών συνθηκών. Στις πρώτες κατασκευές που εμφανίστηκαν στη Βορειοδυτική Ευρώπη, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα με σκοπό ήταν η παραγωγή λαχανικών, φρούτων και ανθοκομικών φυτών. Παράλληλα ήταν σημαντική η ζήτηση της αγοράς για πρωίμιση κάποιων προϊόντων.

Αρχικά τα θερμοκήπια αναπτύσσονταν σε μέρη, όπως νησιά και παράκτιες περιοχές, που χαρακτηρίζονται από ήπιο κλίμα, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία. Μετά το τέλος του Β’ Παγκοσμίου Πολέμου με τη δημιουργία της

Ευρωπαϊκής ένωσης και τη βελτίωση των μεταφορών, η βιομηχανία των θερμοκηπιακών μονάδων σε χώρες όπως η Ολλανδία και η Αγγλία επηρεάστηκε από τις Μεσογειακές χώρες. Παράλληλα πλήθος αγροτικών προϊόντων εξάγονταν και από χώρες της Βόρειας Αμερικής. Έτσι προς το τέλος του $20^{ου}$ αιώνα οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες ήταν μια αναπτυσσόμενη επιχείρηση σε όλο τον κόσμο και η εξέλιξή της συνεχίζεται μέχρι και σήμερα (Sonneveld and Voogt, 2009).

1.5 Συστήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Στην υδροπονική ορολογία γίνεται διαχωρισμός των υδροπονικών συστημάτων σε δύο τύπους: στα ανοικτά και στα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Ως ανοικτό χαρακτηρίζεται ένα υδροπονικό σύστημα όταν το μέρος του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει ως πλεονάζον από το χώρο των ριζών δεν συλλέγεται αλλά αφήνεται να χαθεί στο περιβάλλον. Αντίθετα ως κλειστό χαρακτηρίζεται κάθε υδροπονικό σύστημα, στο οποίο το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα που απομακρύνεται από το χώρο των ριζών συλλέγεται, ανανεώνεται, συμπληρώνεται και οδηγείται ξανά στα φυτά για επαναχρησιμοποίηση. Υπάρχει δηλαδή μια συνεχής ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος. Με αυτόν τον τρόπο η ποσότητα του νέου διαλύματος που εισάγεται στο σύστημα ισούται με την ποσότητα που καταναλώνεται από τα φυτά, στο βαθμό τουλάχιστον που δεν υπάρχουν διαρροές και οι αγωγοί, μέσα από τους οποίους ρέει το διάλυμα, είναι καλυμμένοι οπότε οι απώλειες από εξάτμιση είναι αμελητέες.

Το δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό, με βάση το οποίο ταξινομούνται τα διάφορα υδροπονικά συστήματα είναι το χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα, εφόσον γίνεται χρήση κάποιου στερεού υποστρώματος. Διάκριση των υδροπονικών συστημάτων μπορεί να γίνει επίσης και με βάση τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως υποδοχείς υποστρωμάτων (φυτοδοχεία, υδρορροές, σάκκοι, κ.λπ.), με βάση τον τρόπο άρδευσης (στάγδην άρδευση και είδος σταλακτών, ροή του διαλύματος σε κανάλια, κ.λ.π.). Τέλος, διάκριση των υδροπονικών συστημάτων μπορεί να γίνει επίσης και με βάση την τεχνική λειτουργίας του συστήματος εφόσον αυτή διακρίνεται από κάποια ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά ή έναν ιδιαίτερο τρόπο λειτουργίας (π.χ. σύστημα NFT, plant plane hydroponics, κ.λπ.) Κάτωθι παρατίθεται ένα μεικτό σύστημα ταξινόμησης, το οποίο λαμβάνει υπόψη όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν ένα υδροπονικό σύστημα από τα υπόλοιπα. Κυρίαρχο ρόλο για την ταξινόμηση παίζει όμως το υπόστρωμα, δεδομένου ότι αυτό είναι το σπουδαιότερο συστατικό μέρος ενός υδροπονικού συστήματος, το οποίο το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα.

Συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών

I. Καλλιέργεια σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα
   i. Καλλιέργεια σε δοχεία γεμισμένα με θρεπτικό διάλυμα
   ii. Σύστημα NFT
   iii. Αεροπονία
   iv. Plant plane hydroponics (επιδαπέδια υδροπονία)
II. Καλλιέργεια σε κοκκώδη ανόργανα υποστρώματα
   i. Καλλιέργεια σε άμμο (sand culture)
   ii. Καλλιέργεια σε χαλίκι (gravel culture)
   iii. Καλλιέργεια σε διογκωμένο περλίτη
   iv. Καλλιέργεια σε διογκωμένη άργιλο
   v. Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα
   vi. Καλλιέργεια σε πλάκες ορυκτοβάμβακα
   vii. Καλλιέργεια σε πλάκες πετροβάμβακα
   viii. Καλλιέργεια σε πλάκες υαλοβάμβακα
III. Καλλιέργεια σε οργανικά ή μείγματα οργανικών – ανόργανων υλικών

Εικόνα 3: Εφαρμογή θρεπτικού διαλύματος μέσω ψεκασμού (αεροπονία) σε φυτά μαρουλιού. Το ριζικό σύστημα αιωρείται σε ένα χώρο που είναι συνεχώς κορεσμένος σε υγρασία.

(Πηγή: http://www.freshplaza.com/news_detail.asp?id=91613)

Εικόνα 4: Καλλιέργεια ανθοκομικών φυτών σε σύστημα επίπλευσης (Floating system). Τα φυτά τοποθετούνται πάνω σε πλάκες ενώ οι ρίζες έρχονται σε επαφή με το θρεπτικό διάλυμα μέσω οπών.

(Πηγή: http://float-garden.com/blog/?cat=13)

1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

1.6.1 Πλεονεκτήματα

- Τα φυτά μπορούν να καλλιεργηθούν σε περιοχές που δεν υπάρχει κατάλληλο έδαφος εξαιτίας, του άγονου χαρακτήρα του, την πιθανή προσβολή από ασθένειες ή της αυξημένης εκμετάλλευσης με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται μειωμένες αποδόσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις η υδροπονική καλλιέργεια είναι η ιδανική λύση.
- Αύξηση του αριθμού των καλλιεργειών, καθώς δεν απαιτείται χρόνο για την κατεργασία του εδάφους, απολύμανση και έτσι η μια καλλιέργεια διαδέχεται την άλλη. Αυτό συμβάλλει στην αύξηση του ετήσιου εισοδήματος.
- Η απολύμανση του εδάφους είναι μια δύσκολη, χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί υψηλό κόστος, κυρίως μετά και την απαγόρευση και του βρωμιούχου μεθυλίου. Χημικές μέθοδοι δημιουργούν αναθυμιάσεις και αυξάνουν την υπολειμματικότητα στο έδαφος. Βέβαια σε κλειστά συστήματα υδροπονίας, συνήθως λαμβάνονται μέτρα για την απολύμανση του διαλύματος.
- Οι μέγιστες αποδόσεις ενός υδροπονικού συστήματος, καθιστούν μια τέτοια επένδυση βιώσιμη ακόμα και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές
- Διατήρηση του νερού στα ελάχιστα δυνατά επίπεδα κυρίως σε συστήματα που το διάλυμα επανακυκλοφορεί. Στο NFT για παράδειγμα ελέγχεται πλήρως η παροχή του νερού, ενώ σε όσα εφαρμόζεται υπόγεια άρδευση μειώνεται τα εργατικά καθώς δεν απαιτούν συχνό έλεγχο των σταλακτήρων. Επίσης απώλειες από στράγγιση και εξάτμιση περιορίζονται αρκετά.
- Πλήρης έλεγχος της διατροφής των φυτών καθώς οι ποσότητες των χημικών σκευασμάτων υπολογίζονται με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας και αποφεύγεται η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων που εφαρμόζονται στο θρεπτικό διάλυμα προσαρμόζονται στις ανάγκες του φυτού. Εξασφάλιση ομοιομορφίας των θρεπτικών στοιχείων που προστίθενται.

- Στα κλειστά συστήματα περιορίζεται η ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων υδάτων (νιτρικά).
- Μείωση των προσβολών από εδαφογενείς ασθένειες και εχθρούς κυρίως με τη χρήση των κλειστών συστημάτων. Βέβαια σημαντικό ρόλο παίζει και ο είδος του συστήματος που θα εφαρμοστεί.
- Η καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους εξοικονομεί το χρόνο που απαιτεί για διάφορες καλλιεργητικές προετοιμασίες και φροντίδες, όπως η επανειλημμένη καλλιέργεια του εδάφους, η απολύμανση και η καταπολέμηση ζιζανίων
- Πλήρης έλεγχος του περιβάλλοντος ανάπτυξης των ριζών με την προσθήκη θρεπτικών στοιχείων και νερού με βάση τις ανάγκες τους.
- Νερό που περιέχει αυξημένες ποσότητες διαλυτών αλάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή. Αν οι συγκεντρώσεις του διαλυτού άλατος στο νερό είναι μεγαλύτερες από 500 ppm, προτιμάται η εφαρμογή ανοικτού συστήματος καλλιέργειας υπό την προϋπόθεση ότι θα γίνεται συχνά έκπλυση για την απομάκρυνσή τους.
- Δυνατότητα ελέγχου του ριζικού συστήματος με μεγαλύτερη ακρίβεια σχετικά με τη θερμοκρασία, τον εφοδιασμό με οξυγόνο και τη διατροφή.
- Πλήρης έλεγχος του pH και της αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος.

1.6.2 Μειονεκτήματα

- Το υψηλό κόστος κατασκευής ανά στρέμμα είναι αρκετά υψηλό, καθώς πέρα από τον εξοπλισμό του υδροπονικού συστήματος, είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός σύγχρονου, αυτοματοποιημένου θερμοκηπίου.
- Ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους με ανόργανα ή οργανικά υποστρώματα εμφανίζουν μεγάλη κατανάλωση νερού.
- Εκπαιδευόμενο προσωπικό θα πρέπει να ελέγχει τόσο τη λειτουργία του συστήματος όσο και τις ανάγκες θρέψης των φυτών, σε καθημερινή βάση.
- Πιθανή προσβολή εδαφογενών παθογόνων (pythium, Fusarium) ή νηματωδών μπορεί να εξαπλωθεί γρήγορα σε όλα τα φυτά καθώς μεταφέρεται το θρεπτικό διάλυμα.

- Η καλλιέργεια εκτός εδάφους δεν συγχωρεί λάθη που μπορούν να προκύψουν από τη θρέψη.
- Πιθανή μεταβολή του pH ή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να καταστρέψει την καλλιέργεια.
- Σε συστήματα με τρεχούμενο διάλυμα είναι πιθανή η δημιουργία ανοξικού περιβάλλοντος στις ρίζες, με αποτέλεσμα τη μειωμένη απορρόφηση ιόντων. Μονάχα σε συστήματα αεροπονίας το πρόβλημα παύει να υπάρχει και το O_2 μεταφέρεται στις ρίζες.
- Σε περίπτωση που προκύψει κάποιο μηχανικό πρόβλημα, πρέπει να έχει λάβει τα κατάλληλα μέτρα ο παραγωγός (π.χ. πιθανή διακοπή σε ρεύμα ή νερό)

1.7 Υποστρώματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Υλικά που χρησιμοποιούνται σε καλλιέργειες εκτός εδάφους (σάκκους ή χύμα) και μίγματα που τοποθετούνται σε γλάστρες, επιλέγονται για την ανάπτυξη των φυτών με βάση τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους (Raviv and Lieth, 2008). Όταν το αποτέλεσμα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του παραγωγού και δεν εμφανίζει μεγάλο κόστος λειτουργίας, συστήνεται η χρήση υποστρωμάτων αντί της καλλιέργειας στο έδαφος. Αποτελούν ένα υποκατάστατο του εδάφους και πρέπει να είναι σε θέση να επιτελεί όλες τις λειτουργίες που γίνονται από το χώμα και μάλιστα με καλύτερο τρόπο (Σάββας, 1998). Χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου και νερού στην περιοχή των ριζών (Raviv and Lieth, 2008).

Είναι αδύνατο να περιγραφούν όλοι οι τύποι υποστρωμάτων, καθώς συνεχώς γίνονται δοκιμές σε νέα υλικά. Τα περισσότερα έχουν φυσική προέλευση και με κατάλληλη βιομηχανική επεξεργασία, μπορούν χρησιμοποιηθούν, είτε σε σάκους, είτε γεμίζοντας τα κανάλια απευθείας στο χωράφι (Raviv and Lieth, 2008).

1.8.1 Χαρακτηριστικά Υποστρωμάτων

Διάφορα υποστρώματα με μεγάλη εμπορική χρήση χρησιμοποιούνται, όπως πετροβάμβακας, πολυουρεθάνη, περλίτης, βερμικουλίτης, ελαφρόπετρα, κόκκος και άμμος, είναι απαλλαγμένα από επιβλαβείς οργανισμούς και υπάρχει η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους αν απολυμανθούν. Είναι σημαντικό να προσεγγίζουν τα χαρακτηριστικά ενός πολύ γόνιμου εδάφους όπως ομοιόμορφη δομή, υφή, σύσταση και υψηλό επίπεδο ανταλλαγής κατιόντων (Σάββας, 1998). Παράλληλα τα υποστρώματα πρέπει να είναι πορώδη και να συγκρατούν νερό και θρεπτικά στοιχεία τα οποία να δεσμεύονται εύκολα από τα φυτά.(Raviv and Lieth, 2008). Υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου του pH και της αγωγιμότητας με τη χρήση του θρεπτικού διαλύματος, ώστε να γίνεται πιο εύκολη η αφομοίωση των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες. Προβλήματα στήριξης των φυτών δεν υφίστανται στις υδροπονικές καλλιέργειες στις οποίες γίνεται χρήση υποστρώματος, Τα φυτά που αναπτύσσονται αρκετά σε ύψος (ντομάτα, φασόλι, τριαντάφυλλο, κ.τ.λ.) προσδένονται και υποστυλώνονται, με συνέπεια να μην έχουν ανάγκη τη στήριξη που τους παρέχει το έδαφος, ενώ τα χαμηλής ανάπτυξης (μαρούλι, ζέρμπερα κ.τ.λ.) στηρίζονται ικανοποιητικά από το υπόστρωμα (Σάββας, 1998).

Συμπερασματικά 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:

i. Σταθερή δομή, ώστε να μην αποσυντίθεται εύκολα.
ii. Ικανοποιητική αναλογία μεταξύ νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας.
iii. Ομοιομορφία στη σύσταση, στην εμφάνιση και στην συμπεριφορά από άποψη θρέψης.
iv. Απαλλαγμένο από παθογόνα, ζωικούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων
v. Εύκολο στη χρήση του και στους καλλιεργητικούς χειρισμούς
vi. Σχετικά χαμηλό κόστος.
vii. pH ουδέτερο.
viii. Να επανακυκλώνεται ή να καταστρέφεται χωρίς προβλήματα.

Εκτός από αυτά τα χαρακτηριστικά ένα καλό υπόστρωμα θα πρέπει ή να είναι χημικά αδρανές ή να διαθέτει μεγάλη ανταλλακτική ικανότητα και κατάλληλο pH εφόσον είναι χημικά ενεργό (Σάββας 2003).

Σημαντικό μειονέκτημα των καλλιεργειών εκτός εδάφους είναι ότι όγκος της ρίζας περιορίζεται. Δημιουργείται μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ των ριζών στην πρόσληψη νερού, οξυγόνου και θρεπτικών στοιχείων, καθώς υπάρχει μεγάλος αριθμός ριζών ανά μονάδα όγκου του μέσου (Raviv and Lieth, 2008).

1.8.2 Χημικώς ενεργά και αδρανή υποστρώματα

Υποστρώματα που περιέχουν οργανική ουσία είτε σε μορφή τύρφης, είτε σε κάποια άλλη μορφή μπορούν να χαρακτηριστούν ως χημικών ενεργά υποστρώματα. Εκτός από τα οργανικά υποστρώματα (τύρφη, κόκκος, κομπόστα) που είναι χημικώς ενεργά, υπάρχουν και ανόργανα υποστρώματα όπως ο βερμικουλίτης και ο ζεόλιθος τα οποία είναι χημικώς ενεργά. Στην πραγματικότητα όλα αυτά τα υποστρώματα υπερτερούν χάρις στην ομοιομορφία τους και στην επιλογή των πλέον κατάλληλων υλικών για την παρασκευή τους, σε σύγκριση με τα περισσότερα φυσικά εδάφη. Βέβαια η καλλιέργεια σε χημικώς ενεργά υποστρώματα μοιάζει πολύ με τις κοινές καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος, με συνέπεια οι δυνατότητες αριστοποίησης της θρέψης ναι είναι περιορισμένες, αφού όπως και στο έδαφος η θρέψη δεν είναι πλήρως ελεγχόμενη (Σάββας, 1998).

Όπως είναι γνωστό, ο ρόλος του εδάφους στην θρέψη των φυτών είναι πολύπλευρος και συνίσταται τόσο στην παροχή θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα και μέσω αυτού στα φυτά όσο και στη ρύθμιση της διαθεσιμότητας των 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 μη εξαρτώμενα από την συχνή 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. Για αυτούς τους λόγους μία άλλη προσέγγιση στην επιλογή κατάλληλων για υδροπονία υποστρωμάτων είναι αυτή η οποία απορρίπτει την ιδέα της χρησιμοποίησης ενός υλικού που θα ρυθμίζει την θρέψη των φυτών με τον ίδιο τρόπο όπως το έδαφος. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, το υπόστρωμα θα πρέπει να μην ασκεί καμία ρύθμιση στην προσφορά θρεπτικών στοιχείων στα φυτά με συνέπεια να είναι δυνατός ο πλήρης έλεγχος της θρέψης μέσω της λίπανσης και μόνο. Τα υλικά αυτά δηλαδή θα πρέπει να μην συγκρατούν αλλά και να μην αποδίδουν ανόργανα ιόντα στο περιεχόμενο σε αυτά θρεπτικό διάλυμα. Τα υλικά που χαρακτηρίζονται από μία τέτοια συμπεριφορά ονομάζονται χημικώς αδρανή υποστρώματα και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην υδροπονία (Σάββας 1998).

1.8.3 Ανόργανα και οργανικά υποστρώματα καλλιέργειας εκτός εδάφους

1.8.3.1 Ανόργανα υποστρώματα

Τα ανόργανα υποστρώματα μπορούν να χωριστούν ως μη επεξεργασμένα φυσικά υλικά (άμμος, ελαφρόπετρα) και ως επεξεργασμένα υλικά (περλίτης, πετροβάμβακας, βερμικουλίτης). Από τις σημαντικές δραστηριότητες των υποστρωμάτων είναι η χημική δραστηριότητα και το επιφανειακό φορτίο. Συνεπώς τα υποστρώματα χωρίζονται σε δραστικά (τύρφη) ή ημιαδρανή (πετροβάμβακας, άμμος). Η διαφορά μεταξύ τους είναι ποσοτική και όχι ποιοτική. Στα φυσικά χαρακτηριστικά είναι η πυκνότητα, υδατοικανότητα και η υδραυλική αγωγιμότητα, ιδιότητες που είναι σημαντικές για τη διαχείριση των αρδεύσεων. Στα χημικά χαρακτηριστικά ανήκουν η σύνθεση, η σταθερότητα, το pH, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και η αγωγιμότητα (EC) (Raviv and Lieth, 2008).

Επεξεργασμένα κοκκώδη υλικά

Περλίτης

Ο περλίτης (Εικόνα 1) είναι ηφαιστειακό, υαλώδες, αργιλλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει και κρυσταλλικό νερό σε ποσοστό 2-6 % (Alkan and Dogan, 1998; Dogan and Alkan, 2004). Το πρωτογενές ορυκτό όταν θερμανθεί για σύντομο χρόνο στους 1200-1300 ^oC, διογκώνεται και σχηματίζει μια αφρώδη μάζα δεκαπλασίου έως εικοσαπλασίου περίπου του αρχικού όγκου. Η ιδιότητα του αυτή χρησιμοποιείται από την βιομηχανία για την δημιουργία ενός κοκκώδους υλικού με πλούσιο πορώδες, το οποίο έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού. Το νερό συγκρατείται κυρίως στους μικρούς πόρους, ενώ στους μεγαλύτερους παραμένει ο αέρας και μετά την διαβροχή του υλικού. Η ιδιότητά του αυτή, παράλληλα με τη χημική του αδράνεια (απουσία ανταλλακτικής ικανότητας), κάνουν τον περλίτη ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση ως υπόστρωμα καλλιέργειας.

Τα μεγαλύτερα αποθέματα περλίτη βρίσκονται σε Τουρκία και Ελλάδα. Υπάρχουν σημαντικά κοιτάσματα περλίτη στα νησιά Μήλο, Αντίπαρο, Νίσυρο, Κω, κ.λπ.. Σήμερα ο ελληνικός διογκωμένος περλίτης προέρχεται κυρίως από τη Μήλο.

Η ικανότητα συγκράτησης ύδατος είναι σχετικά χαμηλή ενώ ο κορεσμός του γίνεται πολύ γρήγορα, ανεξάρτητα από την αρχική του υγρασία. Σημαντικό ρόλο παίζει η διάμετρος των σωματιδίων του(Bures *et al*., 1997). Όσον αφορά τα χημικά χαρακτηριστικά του, είναι ουδέτερο με pH 7,0-7,5, αλλά δεν έχει καμία ρυθμιστική ικανότητα και δεν περιέχει θρεπτικά συστατικά. Όταν έχει χαμηλό pH υπάρχει κίνδυνος τοξικότητας στο θρεπτικό διάλυμα (Raviv and Lieth, 2008).

Η στερεά μάζα του περλίτη συνίσταται κατά τα 3/4 περίπου από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), ενώ το υπόλοιπο 1/4 είναι οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) σε ποσοστό 14%, καθώς επίσης και οξείδια του νατρίου, του καλίου, του σιδήρου, κ.λπ. σε μικρότερη ποσότητα. Το μέγεθος των κόκκων που συνιστάται για υδροπονία είναι 3-5 mm (διάμετρος). Το ολικό πορώδες του περλίτη ανέρχεται στο 95%, η ικανότητα συγκράτησης νερού σε 200-450% του βάρους του (ανάλογα με τη κοκκομετρική του σύσταση) και το ειδικό του βάρος στα 40-150 Kgr/m^3 (Σάββας, 2003).

Από πειράματα και από την μέχρι σήμερα καλλιεργητική εμπειρία έχει αποδειχθεί ότι μια ποσότητα 4-5L περλίτη ανά φυτό, είναι επαρκής για την καλλιέργεια των κυριότερων καρποδοτικών κηπευτικών (τομάτα, πιπεριά, αγγούρι κ.λπ.). Ο περλίτης μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε σάκκους, είτε σε γλάστρες, είτε σε άλλα φυτοδοχεία. Μπορεί επίσης να απλωθεί μέσα σε υδρορροές οι οποίες στη συνέχεια καλύπτονται από πάνω με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου. Το τελευταίο αυτό σύστημα όμως παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, κυριότερο από τα οποία είναι η ανάγκη χρησιμοποίησης μεγαλύτερων ποσοτήτων περλίτη ανά φυτό.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος καλλιέργειας κηπευτικών σε περλίτη είναι η προβλάστηση των σποροφύτων σε κύβους τύρφης ή πετροβάμβακα ή άλλου αποστειρωμένου υλικού και η τοποθέτηση τους κατά την μεταφύτευση πάνω στους σάκκους ή στα φυτοδοχεία με τον περλίτη. Φυτά τα οποία είναι ανθεκτικά στην μεταφυτρωτική διαταραχή όπως η τομάτα μπορούν εναλλακτικά να σπαρθούν ομαδικά σε κιβώτια σποράς με περλίτη και αργότερα, μόλις φθάσουν σε ηλικία κατάλληλη για μεταφύτευση, να μεταφυτευτούν μόνιμα πάνω στο υπόστρωμα που περιέχεται στους σάκκους ή στις γλάστρες. Αντίθετα, φυτά ευαίσθητα στην μεταφυτευτική διαταραχή όπως το αγγούρι, θα πρέπει κατά προτίμηση να σπέρνονται απευθείας σε ατομικά κυβάκια. Η παρασκευή και η παροχή του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά δεν παρουσιάζει καμία ιδιαιτερότητα σε σχέση με τα άλλα υδροπονικά συστήματα πάνω σε αδρανή υποστρώματα. Σημαντικό είναι βέβαια, κατά τον καθορισμό της ποσότητας και της συχνότητας παροχής θρεπτικού διαλύματος, να λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα συγκράτησης νερού του περλίτη σε συνδυασμό με την ποσότητα υποστρώματος ανά φυτό ώστε να μην διψούν τα φυτά στα μεσοδιαστήματα μεταξύ των ποτισμάτων με θρεπτικό διάλυμα (Raviv and Lieth, 2008).

Ο περλίτης δεν μπορεί κατά κανόνα να χρησιμοποιηθεί για δεύτερη και πολύ περισσότερο για τρίτη καλλιέργεια γιατί οι κόκκοι του γρήγορα θρυμματίζονται. Αυτό έχει σαν συνέπεια να υποβαθμίζεται το πορώδες του και να μειώνεται έτσι η υδατοχωρητικότητα και η αεροπερατότητά του. Σε γενικές γραμμές η συμπεριφορά του σαν υπόστρωμα για μια καλλιέργεια είναι ικανοποιητική, αρκεί το θρεπτικό διάλυμα να έχει την κατάλληλη σύνθεση. Το μεγάλο πλεονέκτημα του περλίτη όμως σε σχέση με τα άλλα υποστρώματα είναι το φθηνό κόστος του.

Εικόνα 5: Υπόστρωμα περλίτη που διατίθεται για υδροπονικές καλλιέργειες στην Ελληνική αγορά (κοκκομετρίας 0,5-2,5 mm). Εφαρμόζεται σε σάκους ή απευθείας σε κανάλια.

Τεχνητές ορυκτές ίνες

Πετροβάμβακας

Είναι ένα τεχνητό υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται για ηχομόνωση και θερμομόνωση, ενώ αρχικά χρησιμοποιήθηκε πολύ στις κατασκευές κτηρίων. Αρχικά παραγόταν στη Δανία από την εταιρεία I/S H.J. Henriksen and V. Kähler το 1909. Η ανάπτυξη και άλλων μορφών πετροβάμβακα τα οποία προορίζονταν ως υπόστρωμα σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, ξεκίνησε το 1969 στη Δανία (Smith, 1987). Αργότερα κατά τη δεκαετία του 1980 αναπτύχθηκε το Grodan, που χρησιμοποιείται πολύ σε μορφή πλακών, τεμάχια συγκολλημένων ινών ή σε κοκκώδη μορφή που προοριζόταν για γλάστρες. Παρασκευάζεται μετά από ανάμιξη και επεξεργασία τριών φυσικών υλών: 60% διαβάση, 20% ασβεστόπετρα και 20% κωκ. Αυτά τα υλικά τήκονται μαζί σε υψηλή θερμοκρασία, με το κοκ να ενεργεί ως καύσιμο και αναπτύσσονται θερμοκρασίες κοντά στους 1600 ^{o}C. Στη συνέχεια το υγρό μίγμα αφήνεται να πέσει σε περιστρεφόμενο με μεγάλη ταχύτητα τύμπανο, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό λεπτών ινών οι οποίες ψύχονται από ρεύμα αέρα. Οι ίνες θερμαίνονται με ορισμένα πρόσθετα (ρητίνη, παράγοντες διαβροχής) για να ενωθούν μαζί και να μειωθεί η υδρόφοβη φύση του υλικού. Στη συνέχεια συμπιέζεται σε πλάκες διαφόρων μεγεθών. Με περίπου παρόμοια διαδικασία παράγεται και ο υαλοβάμβακας. Ο πετροβάμβακας είναι πλέον από τα σημαντικότερα υποστρώματα θερμοκηπίου σε Ολλανδία, Βέλγιο, Γερμανία, Δανία, Αμερική και άλλες χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Είναι αποτελεσματικό μέσο στην ανάπτυξη κηπευτικών καλλιεργειών και ο παραγωγός μπορεί εύκολα να χειριστεί την αναλογία νερού προς αέρα αλλά και τα συστατικά του θρεπτικού διαλύματος στην περιοχή της ρίζας (Papadopoulos *et al.*, 1999).

Στα φυσικά χαρακτηριστικά, ο πετροβάμβακας είναι ένα ελαφρύ υπόστρωμα με χαμηλή πυκνότητα, περίπου 0,05-0,1 cm^{-3} και ο όγκος των πόρων κυμαίνεται μεταξύ 92 και 98% ανάλογα την προέλευση. Έχει υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού σε χαμηλής επιφανειακής τάσης νερό, ενώ αυτό μειώνεται καθώς η επιφανειακή τάση του νερού αυξάνεται. Ο όγκος του αέρα είναι χαμηλός στο κάτω μέρος, κοντά στο 4% σε ύψος 1cm από τη βάση, ενώ τα ανώτερα στρώματα είναι στεγνά. Το συνολικό ύψος της πλάκας μπορεί να φτάσει και τα 10 cm (Smith, 1987).

Οι Van der Gaag and Wever (2005) συνιστούν τη χρήση μεγαλύτερου ύψους πλακών όταν αναπτύσσονται αγγούρια ώστε να ελέγχουν πιθανές προσβολές από παθογόνα. Η υδραυλική αγωγιμότητα σε κορεσμένο υπόστρωμα είναι πολύ υψηλή, ενώ χαμηλές τιμές μπορούν να οδηγήσουν σε μειωμένη πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων. Ο πετροβάμβακας είναι ένα μαλακό και ελαστικό υλικό που συμπιέζεται όταν του ασκηθεί πίεση και το οποίο μετά τη χρήση γίνεται μαλακότερο και λιγότερο ελαστικό (Wever και van Leeuwen, 1995).

Το κύριο χημικό χαρακτηριστικό του είναι η αδρανή του συμπεριφορά, με εξαίρεση κάποιες επιδράσεις του pH. Το αρχικό του pH αρχικά ήταν υψηλό 7,0-8,0 ενώ σήμερα είναι 6,0-6,5. Επίσης δεν έχει καμία επίδραση στη θρέψη των καλλιεργειών και όλα τα απαραίτητα στοιχεία παρέχονται με τις αρδεύσεις. Στην τριανταφυλλιά και κάποια λαχανικά έχει αποδειχθεί ότι ένα σημαντικό ποσό του Fe μπορεί να ληφθεί από τον πετροβάμβακα. Επιπλέον οι Rupp and Dudley (1989) ανέφεραν ότι συγκεντρώσεις Fe, Mn, Cu και Zn μπορούσαν να εξαχθούν από τον πετροβάμβακα.

Υπάρχει η δυνατότητα αποστείρωσης και επαναχρησιμοποίησής του σε νέες καλλιέργειες. Η απολύμανση μπορεί να γίνει με ατμό, ενώ η χρήση του σε ένα κλειστό κύκλωμα περιορίζει το κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών. Μετά από μια ή δυο κύκλους καλλιέργεια το υπόστρωμα απορρίπτεται, με αποτέλεσμα την συγκέντρωση μεγάλου όγκου αποβλήτων. Αυτό θεωρείται και ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του συγκεκριμένου υποστρώματος, με εξαίρεση κάποιες χώρες που έχουν βρει λύση. Επίσης γίνονται προσπάθειες χρήσης τους με άλλα υποστρώματα (τύρφη ή κομπόστ), δημιουργία υποστρωμάτων για μανιτάρια ή την παραγωγή υλικών κατασκευής κτηρίων. Στη Νέα Ζηλανδία προορίζεται για εδαφοκάλυψη, προκειμένου να ελεγχθεί η ανάπτυξη των ζιζανίων σε καλλιέργειες αβοκάντο.

Εικόνα 6: Υπόστρωμα πετροβάμβακα ‘Grodan’ το οποίο εφαρμόζεται σε πλήθος καλλιεργούμενων κηπευτικών. Είναι το πιο εμπορικό υπόστρωμα σε υδροπονικές καλλιέργειες και χαρακτηρίζεται από πολύ καλές ιδιότητες.

Εικόνα 7: Υδροπονική καλλιέργεια τομάτας σε σάκους περλίτη και πετροβάβμακα.

Φυσικά υλικά μη επεξεργασμένα

Ελαφρόπετρα

Είναι προϊόν ηφαιστειακής δραστηριότητας και συνήθως έχει μορφή πυριτικής λάβας που αναπτύχθηκε σε 'rhyolitic' μάγμα πλούσιο σε αέρια και πτητικότητα (Challinor, 1996). Η γρήγορη απελευθέρωση της πίεσης κατά τη διάρκεια της έκρηξης του ηφαιστείου, οδηγεί σε επέκταση του φυσικού αερίου και το σχηματισμό χαμηλής πυκνότητας υλικών, που αποτελούνται από φυσαλιδώδες ηφαιστειακό γυαλί. Η ελαφρόπετρα είναι κοινή σε περιοχές με πλούσια ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως οι Αζόρες στην Πορτογαλία, Ελληνικά νησιά, Ισλανδία, Ιαπωνία, Νέα Ζηλανδία, Ρωσία, Σικελία, Τουρκία και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η πρώτη ύλη που εξορύσσεται από τα λατομεία, κοσκινίζεται και κατηγοριοποιείται με βάση τη διάμετρο σε 0-3 mm, 0-8 mm και 2-10 mm (Raviv and Lieth, 2008).

Εικόνα 8: Ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 0-8 mm που διατίθεται στην Ελληνική αγορά και παρουσιάζει πολύ καλές ιδιότητες.

Εικόνα 9: Ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 2-10 mm που κυκλοφορεί στην Ελληνική αγορά.

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του επηρεάζονται από το συνολικό μέγεθός του. Από τα Ρωμαϊκά χρόνια χρησιμοποιείται η ελαφρόπετρα στις κατασκευές, στην ένδυση και τον καθαρισμό μετάλλων, ξύλου και γυαλιού. Αποτελεί ένα ελαφρύ σύνολο με χαμηλή πυκνότητα 0,4-0,8 gr cm^{-3} και ένα συνολικό πορώδες 70-85%, ανάλογα πάντα και από την κοκκομετρική της σύσταση και την προέλευσή της. Η ελαφρόπετρα που διαθέτει μεγάλους πόρους, έχει μικρή ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό καθώς αυξάνεται η επιφανειακή τάση του νερού. Η υδατοικανότητα της ελαφρόπετρας είναι σχετικά χαμηλή σε σχέση με τον πετροβάμβακα, περλίτη ή άλλα οργανικά υποστρώματα, και μειώνεται η πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, κυρίως σε ζεστά κλίματα (Raviv *et al.*, 1999). Η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα της Ελληνικής ελαφρόπετρας μειώθηκε κατά 6 τάξης μεγέθους, αυξάνοντας την επιφανειακή τάση από 0 σε 10 kPa (Raviv *et al.*, 1999). Επομένως πολύ συχνή άρδευση είναι απαραίτητη για φυτά που καλλιεργούνται σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας. Επιπλέον δεν έχει ρυθμιστική ικανότητα και είναι αδρανές αργιροπυριτικό ορυκτό. Έχει πολύ χαμηλό επιφανειακό φορτίο, που προέρχεται κυρίως από ακαθαρσίες του ανθρακικού και από την περιεκτικότητα σε μέταλλα. Το υλικό είναι σταθερό ακόμη και σε ένα pH κοντά στο 2,5 (Raviv and Lieth, 2008)..

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και για επόμενες καλλιέργειες, αν γίνει σωστή απολύμανση. Είναι χημικά αδρανής και δεν περιέχει παθογόνα ή σπόρους ζιζανίων (Challinor, 1996). Τέλος, είναι φυσικό προϊόν και δεν επιβαρύνει το περιβάλλον (Raviv and Lieth, 2008).

1.7.3.2 Οργανικά υποστρώματα

Πρόκειται για διάφορα είδη οργανικής ουσίας που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων. Τελευταία τα οργανικά υποστρώματα έχουν αντικαταστήσει πλήρως το έδαφος στην καλλιέργεια κηπευτικών και ανθοκομικών φυτών. Από τα πλέον γνωστά υποστρώματα είναι η τύρφη, ο κόκος, φλοιός δένδρων (πεύκου), περιβλήματα ρυζιού, νοβοπάν, κοπριά, ίνες ξύλου, πριονίδι και προϊόντα κομποστοποίησης και βιομηχανιών ξυλείας. Η τύρφη τελευταία γίνεται προσπάθεια να περιοριστεί η χρήση της, καθώς είναι μη-ανανεώσιμος φυσικός πόρος και είναι σημαντική η διατήρηση της στο οικοσύστημα καθώς δεσμεύει το CO_2 (Raviv and Lieth, 2008). Σε κάποιες περιπτώσεις γίνεται ανάμιξη οργανικών και ανόργανων για καλύτερη αξιοποίηση των ιδιοτήτων και παραγωγή υψηλής ποιότητας κηπευτικών προϊόντων (Calkins *et al*., 1997).

<u>Κοκκοφοίνικας ή κόκος (coir)</u>

Παραγωγή

Το όνομα του προκύπτει από το ινώδες υλικό που περιβάλει το παχύ μεσοκάρπιο του καρπού της καρύδας. Ο φλοιός της καρύδας περιέχει περίπου 75% ίνες και 25% υψηλής ποιότητας υλικό, το λεγόμενο ‘ψίχα κοκκοφοίνικα’. Οι φλοιοί βρέχονται για να μαλακώσουν και να διευκολύνουν το άλεσμα. Όταν είναι υπό επεξεργασία η σκόνη του κόκκου διαχωρίζεται από τις ίνες. Οι μακριές ίνες προορίζονται για κατασκευή βιομηχανικών προϊόντων, ενώ η σκόνη από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται ως μέσο ή ως συστατικό ενός μέσου καλλιέργειας. Οι μεγαλύτερες ποσότητες παράγονται σε Σρι Λάνκα, Βιετνάμ, Ινδία, Φιλιππίνες, Μεξικό και Ακτή Ελεφαντοστού (Raviv and Lieth, 2008).

Επειδή είναι φυσικό προϊόν, οι συνθήκες καλλιέργειάς του κόκου μπορεί να έχουν επιπτώσεις στις χημικές ιδιότητές του. Όταν το νάτριο, χλώριο και κάλιο είναι σε υψηλά επίπεδα, πρέπει να εκπλένονται πριν χρησιμοποιηθεί για υπόστρωμα. Αρχικά αυτή η έκπλυση γινόταν με νερό, ενώ αργότερα βρέθηκε ότι ορισμένα από τα K και Na ήταν σε ανταλλάξιμη μορφή και σήμερα ξεπλένεται με νερό που περιέχει κάποιο κατιόν (νιτρικό ασβέστιο). Έτσι η περίσσεια των στοιχείων αυτών μειώνεται σημαντικά. Αυτό το υλικό αναφέρεται ως 'θεραπεία κοκκοφοίνικα' (de Kreij και van Leeuwen, 2001). Στην συνέχεια το προϊόν ξηραίνεται και συμπιέζεται σε τούβλα ή τσιμεντόλιθους ώστε να μειώνεται το κόστος μεταφοράς. Έτσι έγινε πιο εύκολη η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις. Υπάρχουν 3-4 διαφορετικά υποστρώματα που παράγονται από κόκο με βάση το μέγεθος των σωματιδίων του. Περιλαμβάνουν διάφορα μεγέθη που προκύπτουν από τον τεμαχισμό φλοιού σε κύβους, ινών σε διαφορετικά μήκη ή ανάμειξη με τη σκόνη κοκκοφοίνικα σε διάφορες αναλογίες ή σκέτη σκόνη κοκκοφοίνικα (Raviv and Lieth, 2008).

Εικόνα 10: Υπόστρωμα κοκοφοίνικα κοκκώδους μορφής (fiber dust coir).

Εικόνα 11: Υπόστρωμα κοκοφοίνικα ινώδους μορφής (Coir Fibre). (Πηγή: http://www.In diamart.com)

Χημικές και φυσικές ιδιότητες

Παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση τόσο στο pH, με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 4,8-6,9, όσο και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η EC εξαρτάται από την επεξεργασία που προηγήθηκε στο υπόστρωμα, είτε αυτό έχει πλυθεί σε αλατούχο διάλυμα ή σε νερό, είτε έχει διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα στην ύπαιθρο (απομάκρυνση Na, K Cl). Έτσι η αγωγιμότητα μπορεί να μειωθεί, ενώ η αυξημένη EC οφείλεται στις συγκεντρώσεις Na, Cl και K σε διαλυτή μορφή. Φαίνεται να υπάρχει μεγάλη διακύμανση σε διαλυτά και ανταλλάξιμα K και Na, ανάλογα την προέλευση του κόκου. Επίσης διαπιστώθηκε αργότερα ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ ανταλλάξιμων K και υδατοδιαλυτών K και η σχέση τους ήταν λογαριθμική σε μικρής διαλυτότητας K (Prasad, 1997). Οι ποσότητες σε φώσφορο είναι σχετικά μικρές. Τα επίπεδα του N είναι αρκετά χαμηλά, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχουν μετρηθεί έως και 5 mg/L. Αντιθέτως ασβέστιο, μαγνήσιο και χλώριο παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις τους. Δεν είναι ακόμα γνωστό αν οι υψηλές ποσότητες Ca υφίστανται ή είναι λόγω της εφαρμογής κάποιου κατιόντος ($CaNO_3$). Επιπλέον ο κόκος περιέχει μεγάλες ποσότητες ιχνοστοιχείων, τα οποία μπορεί να ποικίλουν ανάλογα την προέλευση και την επεξεργασία του υποστρώματος (Raviv and Lieth, 2008).

Όσον αναφορά τις φυσικές ιδιότητες, με βάση τα ως τώρα δεδομένα το πορώδες και το διαθέσιμο νερό στις ρίζες, παρουσιάζουν διάφορες τιμές. Σε αυτό οφείλεται το μέγεθος των σωματιδίων του κόκου και ειδικότερα όταν οι κόκκοι του έχουν μικρότερο από 1mm διάμετρο, καθώς επηρεάζεται έντονα ο αερισμός των ριζών και η υδατοϊκανότητα του υποστρώματος (Noguera *et al.*, 2003α, Prasad και Ní Chualáin, 2004). Η σχέση μεταξύ του αέρα και του μεγέθους των σωματιδίων είναι ιδιαίτερα σημαντική και διαφορετική από την τύρφη, καθώς ο κόκκος διατηρεί μεγαλύτερη ποσότητα αέρα για ένα συγκεκριμένο ποσοστό υλικού (Prasad and Ni Chualáin, 2004). Οι Fornes *et al.* (2003) ανέφεραν ότι οι διαφορές στις φυσικές ιδιότητες μεταξύ κόκου και τύρφης στη δομή και το πορώδες, με τα σωματίδια του κόκκου να έχουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα από την τύρφη. Η αποσύνθεση του κόκου ήταν ταχύτερη. Έκπλυση μερικών κλασμάτων του υλικού μείωσε την πυκνότητα και τη διαθεσιμότητα σε νερό, χωρίς να επηρεάσει την απόδοση της καλλιέργειας. Οι Nelson *et al.* έδειξαν ότι ο κόκος ήταν πιο σταθερός από την τύρφη.

Καλλιέργεια σε υπόστρωμα κοκκοφοίνικα

Ένας μεγάλος αριθμός φυτών έχει αναπτυχθεί στο συγκεκριμένο υπόστρωμα, έχοντας μοναδικό σκοπό να γίνουν συγκρίσεις με καλλιέργειες εδάφους. Οι Raviv *et al.* (2001) υποστήριξαν ότι καλλιέργεια τριανταφυλλιάς είχε 19% περισσότερα άνθη σε κόκο από ότι σε μίγμα εδάφους. Στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική η καλλιέργεια τριαντάφυλλων σε κόκκο συναντάται πολύ συχνά. Επίσης καρποί τομάτας είχαν καλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με καρπούς από υπόστρωμα πετροβάμβακα, κυρίως σε θερμοκρασίες στρες (30-35 ^oC) (Islam *et al.*, 2002). Επίσης εντοπίστηκε ταχύτερη ανάπτυξη των ριζών της τομάτας και απόδοση στον κόκο από τους Garcia και Deverde (1994). Σημαντική χρήση εμφανίζεται σε γλαστρικά φυτά όπως *Calendula officinalis*, *Solenostemon scutellarioides*, *Schefflera spp*, *Kalanchoe spp*, ζέρμπερα, μπιγκόνια και *Primula spp*. Σε κάποιες περιπτώσεις έχει καλύτερα αποτελέσματα και από την τύρφη. Επίσης φυτά φράουλας (*Fragaria* × *ananassa Duchense*) ήταν πιο αποδοτικά σε σχέση με την καλλιέργεια τους σε υπόστρωμα περλίτη (Lopez-Medina *et al.*, 2004).

1.8 Ποιότητα νερού

Σε όλα τα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους απαιτείται μεγάλη ποσότητα καθαρού νερού. Στις περισσότερες περιπτώσεις το νερό που χρησιμοποιείται στη γεωργία, περιέχει ουσίες και στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών (θετικά ή αρνητικά). Για παράδειγμα το βρόχινο νερό που συλλέγεται από το θερμοκήπιο μπορεί να περιέχει τόσο οργανικές όσο και ανόργανες ουσίες. Πολλά μέρη στον κόσμο αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης νερού ή χαμηλής ποιότητας εξαιτίας μόλυνσης από οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Έτσι είναι απαραίτητη η χημική ανάλυση του νερού πριν γίνει η εγκατάσταση της καλλιέργειας (Benton, 2005)..

Σε περιοχές που το νερό λαμβάνεται από φυσικές πηγές, μπορεί να περιέχει σημαντικές συγκεντρώσεις από σημαντικά στοιχεία θρέψης όπως Ca και Mg. Όταν το νερό προέρχεται από ασβεστόλιθο είναι συνηθισμένο να περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις Ca και Mg, περίπου 100 και 30 mg/L (ppm). Επίσης σε παράκτιες περιοχές λόγω της υπεράντλησης των υδάτων, παρουσιάζονται προβλήματα αλατότητας με αυξημένες ποσότητες Na, Cl^- και ανιόντων διττανθρακικού, όξινο ανθρακικού, θειικού. Ενώ και το βόριο συναντάται σε επαρκείς συγκεντρώσεις σε κάποιες περιπτώσεις. Επίσης η παρουσία σουλφιδίων κυρίως με το σίδηρο, δίνουν μια χαρακτηριστική οσμή στο νερό (Benton, 2005)..

Οι επιθυμητές αναλύσεις στο νερό προτάθηκαν από τους Verwer και Wellman (1980) ενώ οι Farnhand *et al*. (1985) θέσπισαν τα κριτήρια της καταλληλότητας του νερού με βάση την αλατότητα, μετρώντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Στον πίνακα 1 δίνονται πληροφορίες για την καταλληλότητα του νερού για υδροπονική χρήση.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ , *mg/L (ppm)*
ΒΟΡΙΟ (B)	<1
ΑΣΒΕΣΤΙΟ (Ca)	<200
ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ (CO_3)	<60
ΧΛΩΡΙΟ (Cl)	<70
ΜΑΓΝΗΣΙΟ (Mg)	<60
ΝΑΤΡΙΟ (Na)	<180
ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (Zn)	<1

Πίνακας 1: Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια στοιχείων του νερού για να είναι κατάλληλο στις υδροπονικές καλλιέργειες (Smith, 1999).

Νερό από λίμνες μπορεί να περιέχει παθογόνους οργανισμούς ή φύκια τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα, καθώς έχουν πολύ καλή ανάπτυξη σε υδροπονικά συστήματα. Είναι σημαντικό το φιλτράρισμα και γενικότερα η απολύμανση του νερού ώστε να μην εισέρχονται ανεπιθύμητοι οργανισμοί στην καλλιέργεια. Με το φιλτράρισμα απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια από το θρεπτικό διάλυμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κλινών άμμου ή φίλτρα μικρών πόρων (Benton, 2005). Επίσης υπάρχουν εξελιγμένα συστήματα που απομακρύνουν ιόντα μέσω ανταλλαγής ιόντων ή αντίστροφης όσμωσης (Anon., 1997). Οργανικές ουσίες, όπως φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών εάν βρίσκονται ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.

Γενικότερα οι όποιες ενέργειες γίνονται για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού θα πρέπει να προστίθενται στο συνολικό κόστος λειτουργίας του υδροπονικού συστήματος. Οι χημικές αναλύσεις είναι απαραίτητες για την εξέταση των συγκεντρώσεων όλων των στοιχείων, ώστε να προσαρμοστεί στο θρεπτικό διάλυμα στις ανάγκες του φυτού.

Το pH του νερού μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση στις μετρήσεις για μια συγκεκριμένη περιοχή και είναι δύσκολος ο προσδιορισμός του αν περιέχει πολλά ιόντα. Στο αποσταγμένο νερό το pH δεν είναι εύκολο να μετρηθεί καθώς αν είναι εκτεθειμένο στον αέρα, το pH του επηρεάζεται από την απορρόφηση CO_2. Η αναλογία κατιόντων προς ανιόντα, το είδος των ανιόντων και η συγκέντρωσή τους καθορίζουν τις τιμές τους. Ένα κορεσμένο διάλυμα σε $CaSO_4$ θα είναι όξινο επειδή είναι άλας μεταξύ ενός ισχυρού οξέος και μιας ισχυρής βάσης. Ένα διάλυμα με NaCl θα είναι κοντά σε ουδέτερο pH επειδή είναι άλας μεταξύ ενός ισχυρού οξέος και μιας ισχυρής βάσης. Νερό με μίγμα από ιόντα μπορεί να έχει μεγάλες διακυμάνσεις στο pH. Επίσης η ποσότητα του διαλυμένου CO_2 παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς είναι μειωμένο σε νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε ιόντα (Benton, 2005).

1.9 Θρεπτικό διάλυμα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Η λίπανση αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καλλιεργητικές φροντίδες από μέρους των παραγωγών για την ανάπτυξη των φυτών και την ποιοτική και ποσοτική βελτίωση των αποδόσεων τους. Το πρόβλημα της λίπανσης σήμερα επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν για την κάλυψη των αναγκών των φυτών, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος κυρίως σε ανοικτά συστήματα και το εισόδημα του παραγωγού (Τσαπικούνης, 1997).

Στις υδροπονικές καλλιέργειες εφαρμόζονται δυο τύποι κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος. Ο ένας περιλαμβάνει τα ανοικτά συστήματα στα οποία το θρεπτικό διάλυμα χρησιμοποιείται μια μόνο φορά, ακολουθεί μονόδρομη πορεία και η περίσσεια του θρεπτικού διαλύματος καταλήγει στο έδαφος. Συναντάται περισσότερο σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε υποστρώματα. Στο δεύτερο τύπο το διάλυμα επαναχρησιμοποιείται αφού συμπληρωθεί και απολυμανθεί, είναι τα λεγόμενα κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα, τα οποία έχουν και μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης. Σε όλα τα συστήματα, η διαχείριση και η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων μεταβάλλονται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, την παραγωγή και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

1.9.1 Χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος

Η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος εκτός βέβαια από την περιεκτικότητα στα επιμέρους θρεπτικά στοιχεία, εξαρτάται από το pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητά του (E.C.). Το pH είναι μέτρο της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (H^+) στο διάλυμα και η τιμή του επηρεάζει καθοριστικά την διαλυτότητα και συνεπώς την διαθεσιμότητα των περισσοτέρων ιόντων θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια. Αντίστοιχα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μέτρο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο διάλυμα και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βαθμού επάρκειας θρεπτικών στοιχείων σε αυτό. Τα δύο αυτά μεγέθη χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον καθημερινό έλεγχο της ποιότητας του διαλύματος χάρις στην δυνατότητα που υπάρχει να μετρώνται εύκολα και γρήγορα με απλά φορητά όργανα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του θρεπτικού διαλύματος σύμφωνα με τον Faulkner (1998) είναι:

- Εφαρμογή μιας σωστής ισορροπημένης λίπανσης στην περιοχή της ρίζας.
- Ρύθμιση του pH ώστε να επιτυγχάνονται ευνοϊκότερες συνθήκες στη ρίζα για την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων.
- Ο έλεγχος των ιόντων ώστε να μην υπάρχουν σε ποσότητες που καθίστανται τοξικές για τα φυτά ή επηρεάζουν τις ποσότητες άλλων ιόντων.
- Η συνολική συγκέντρωση των αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα να κυμαίνεται μεταξύ 1500 ppm και 4000 ppm.
- Εξασφάλιση καλού αερισμού (O_2) των ριζών και διατήρηση της θερμοκρασίας σε τιμές 18-24 ^oC στην περιοχή των ριζών.
- Σωστή οξυγόνωση των ριζών.

1.9.1.1 Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity - E.C.) 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 για συντομία όμως ονομάζεται απλώς ηλεκτρική αγωγιμότητα. Στην περίπτωση των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων εκφράζει την ικανότητα ενός διαλύματος ευρισκομένου εντός κύβου πλευράς μήκους ενός μέτρου να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, αν αυτό μέσω δύο ηλεκτροδίων τεθεί υπό διαφορά δυναμικού.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων που βρίσκονται διαλυμένα σε αυτό. Έτσι στην περίπτωση των νερών άρδευσης και των θρεπτικών διαλυμάτων είναι μέτρο της περιεκτικότητας τους σε θρεπτικά στοιχεία και άλλα ανόργανα άλατα. Βέβαια η ηλεκτρική αγωγιμότητα δε μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων, που είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα αλλά μόνο για την συνολική τους συγκέντρωση. Όταν επικρατεί ζεστός καιρός και ηλιοφάνεια και γενικά συνθήκες που ευνοούν υψηλούς ρυθμούς διαπνοής οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα πρέπει να τείνουν προς τα κατώτερα όρια, ενώ σε συνθήκες χαμηλών ρυθμών διαπνοής ενδείκνυται τιμές κοντά στα ανώτερα όρια που συνιστώνται για το συγκεκριμένο φυτό και στάδιο καλλιέργειας.

1.9.1.2 Το pH του θρεπτικού διαλύματος

Το pH του θρεπτικού διαλύματος που αποτελεί μέτρο της περιεκτικότητάς του σε ιόντα υδρογόνου, δηλαδή της ενεργού οξύτητάς του, είναι καθοριστικής σημασίας κριτήριο για την καταλληλότητα του θρεπτικού διαλύματος. Όταν το pH είναι ψηλότερο ή χαμηλότερο από κάποιες τιμές που θεωρούνται ως ανώτερα ή κατώτερα επιθυμητά όρια, πολλά θρεπτικά στοιχεία που είναι ευδιάλυτα μέσα σε ένα σχετικά στενό εύρος τιμών pH παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά, ενώ άλλα απορροφώνται ταχύτερα από ότι συνήθως, γιατί αυξάνεται η διαλυτότητα τους. Οι παραπάνω καταστάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση διαταραχών στη θρέψη των φυτών όπως τροφοπενίες και τοξικότητες. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αδυναμίας απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες και έτσι δεν καλύπτονται οι ανάγκες των φυτών.

1.9.1.3 Θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος

Γενικά η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα, ιδιαίτερα σε συστήματα όπου η ρίζα του φυτού εκτίθεται στο θρεπτικό διάλυμα. Σε ζεστές ημέρες αν η θερμοκρασία στις ρίζες είναι χαμηλότερη, προκαλεί καταπόνηση και μαρασμό των φυτών. Η συνεχόμενη έκθεση σε αυτές τις θερμοκρασίες, παρουσιάζει προβλήματα στην απόδοση και την παραγωγή, καθώς παρουσιάζουν μειωμένη καρπόδεση και αργή ωρίμανση. Έτσι είναι απαραίτητη η θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος για να αποφευχθούν συνθήκες στρες (Benton, 2005). Επιπλέον αν η θέρμανση αυξήσει τις θερμοκρασίες περισσότερο από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία μπορεί να έχει αρνητικά αποτελέσματα στην καλλιέργεια. Οι Tindall *et al*. (1990) διαπίστωσαν ότι υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, με 21 ^{o}C στο χώρο του θερμοκηπίου και 26,7 ^{o}C θερμοκρασία διαλύματος, σημείωσε τη μέγιστη απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων και τη μέγιστη ανάπτυξη ρίζας και βλαστών.

1.9.2 Διαδικασία παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος

Όταν μία καλλιέργεια φυτών τροφοδοτείται για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα με θρεπτικό διάλυμα, οι ποσότητες που θα χρειαστεί να καταναλωθούν μπορεί να είναι σχετικά μεγάλες. Στην περίπτωση αυτή, για να αποφευχθεί η συχνή παρασκευή θρεπτικού διαλύματος, παρασκευάζονται πυκνά διαλύματα τα οποία είναι 100-200 ή και περισσότερες φορές πυκνότερα από το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Τα πυκνά αυτά διαλύματα (γνωστά και ως μητρικά διαλύματα) στη συνέχεια αραιώνονται σε μία καθορισμένη αναλογία με το νερό άρδευσης, οπότε τελικά προκύπτει το κανονικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά. Πρέπει απαραίτητα να χρησιμοποιούνται διαφορετικά δοχεία πυκνών διαλυμάτων, γιατί το νιτρικό ασβέστιο δεν μπορεί να τοποθετηθεί στο ίδιο δοχείο με φωσφορικά και θειικά λιπάσματα σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις. Κάτι τέτοιο θα είχε σαν συνέπεια την κατακρήμνιση $Ca(H_2PO_4)_2$ και $CaSO_4$, λόγω της χαμηλής διαλυτότητας που έχουν αυτά τα δύο άλατα. Συνήθως χρησιμοποιείται και βαρέλι μητρικού διαλύματος, στο οποίο τοποθετείται αποκλειστικά και μόνο οξύ (κατά κανόνα HNO_3), για τον έλεγχο του pH του διαλύματος.

Τα δοχεία των πυκνών διαλυμάτων συνδέονται με ένα σύστημα μίξης, το οποίο αραιώνει (συνήθως στην ίδια αναλογία) τα πυκνά διαλύματα με νερό. Η αναλογία αραίωσης είναι τόση, όσες φορές πιο πυκνά έχουν παρασκευασθεί τα μητρικά διαλύματα αναφορικά με το αραιό διάλυμα, με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Το αραιό διάλυμα που προκύπτει οδηγείται στον χώρο ανάπτυξης των φυτών με την βοήθεια μιας αντλίας. Στη συνέχεια διοχετεύεται η απαιτούμενη κάθε φορά ποσότητα οξέως στο αραιό διάλυμα ώστε το pH να συγκρατείται μεταξύ 5,5 και 6,0 (Σάββας, 2005).

1.9.3 Κατάρτιση σύνθεσης θρεπτικών διαλυμάτων

Η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων διαφοροποιείται ανάλογα με το ύφος των συγκεντρώσεων των επιμέρους θρεπτικών στοιχείων αφενός και με τις αναλογίες μεταξύ των συγκεντρώσεων αυτών αφετέρου. Η διαφοροποίηση της σύνθεσης είναι αναγκαία δεδομένου ότι οι ανάγκες των διαφόρων φυτικών ειδών σε θρεπτικά στοιχεία διαφέρουν, ενώ παράλληλα ακόμη και το ίδιο φυτό έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του καθώς και άλλους εξωγενείς παράγοντες (κλιματικές συνθήκες, κ.λπ.).

Οι συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων που προτείνονται σε διάφορες βιβλιογραφικές πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες κατά τον υπολογισμό των απαιτουμένων ποσοτήτων λιπασμάτων μόνο στην περίπτωση που το νερό που χρησιμοποιείται είναι απιονισμένο ή βρόχινο με μηδενική πρακτικά συγκέντρωση αλάτων. Όταν όμως το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων προέρχεται από γεωτρήσεις, φράγματα ή φυσικές πηγές, είναι σίγουρο ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες ανόργανων ιόντων. Γι αυτό, από τις ποσότητες λιπασμάτων που θα έπρεπε να προστεθούν σε αποσταγμένο νερό για να προκύψει θρεπτικό διάλυμα μιας δεδομένης σύστασης θα πρέπει να αφαιρούνται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στο χρησιμοποιούμενο νερό. Όπως είναι γνωστό, σε όλα τα υδατικά διαλύματα ισχύει η αρχή της ηλεκτρικής ουδετερότητας (το σύνολο των θετικών φορτίων ισούται με το σύνολο των αρνητικών φορτίων των ιόντων). Επομένως, κάθε προτεινόμενη σύνθεση θρεπτικού διαλύματος για να είναι εφαρμόσιμη θα πρέπει να είναι ισοσκελισμένη ως προς τις συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων που δίνονται Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα δεν παίζουν πρακτικά κανένα ρόλο στο ύψος της συνολικής συγκέντρωση αλάτων σ' αυτά, γιατί, είναι αμελητέες σε σύγκριση με αυτές των μακροστοιχείων (η συνολική συγκέντρωση ιχνοστοιχείων είναι περίπου το 1/500 αυτής των μακροστοιχείων). Γι αυτό κατά τον καθορισμό της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων καθορίζονται ανεξάρτητα από αυτές των μακροστοιχείων (Σάββας, 2005).

Συνοπτικά, σύμφωνα με τον Benton (2005) οι συγκεντρώσεις των στοιχείων μπορούν να μεταβληθούν με βάση:

- Το στάδιο ανάπτυξης των φυτών (βλαστικό στάδιο, στάδιο καρποφορίας).
- Τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Τη συχνότητα εφαρμογής με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας.
- Αλλαγή των συνθηκών στρες των φυτών.
- Αλλαγές στο pH στην περιοχή της ρίζας.
- Την ανάγκη του φυτού να διαφοροποιεί τις συνθήκες θρέψης του.
- Την ανάγκη να μεταβληθεί η διατροφική κατάσταση του φυτού εξαιτίας των περιβαλλοντικών αλλαγών.

Για τον καθορισμό της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος έχουν αναπτυχθεί ειδικά προγράμματα Η/Υ για τον υπολογισμό των ποσοτήτων λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός συγκεκριμένου θρεπτικού διαλύματος. Ένα τέτοιο πρόγραμμα μαζί με οδηγίες χρήσης δίνεται στην ιστοσελίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (http://www.ekk.aua.gr/excel/index.htm). Το μαθηματικό πρότυπο πάνω στο οποίο στηρίζονται οι υπολογισμοί με το προαναφερόμενο πρόγραμμα Η/Υ έχει περιγραφεί από τους Savvas and Adamidis (1999) και Savvas (2001).

Treatment 1: Ca = 4 meq/L

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Καλλιεργητής: ΓΠΑ - ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ		
Καλλιέργεια: Τομάτα		
Πείραμα με Ca-salinitymodel		
Ημερομηνία: 07 Φεβρουαρίου 2007		
Σχήμα θρέψης: Διάλυμα συμπλήρωσης		
Δοχεία πυκνών διαλυμάτων	***V, m³***	***A***
Δοχείο A	0,1	100
Δοχείο B	0,1	100
Δοχείο Γ	0,1	100
Δοχείο Δ	0,1	100
Δοχείο Ε	0,1	100
Δοχείο ΣΤ	0,1	400

Calcuation of C_b

$[H_3O^+]_w$	2,34423E-08
B_w	22,42532971
$[CO_3^{2-}]+[HCO_3^-]+[H_2CO_3]$	0,003776081
$[H_3O^+]_{(n.s.)}$	2,63027E-06
$B_{(n.s.)}$	1,190549703

Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.

E_t	1,70	dS/m
pH opt.	5,58	
X: (K)	0,548	
Y: (Ca)	0,296	
Z: (Mg)	0,150	
R (N/K)	1,598	
N_r (NH_4/tot. N)	0,107	
P_r (P ratio)	0,090	
$[Ca]_w$	4,000	meq/L
$[Fe]_t$	15,00	μmol/l
$[Mn]_t$	10,00	μmol/l
$[Zn]_t$	3,50	μmol/l
$[Cu]_t$	0,50	μmol/l
$[B]_t$	20,00	μmol/l
$[Mo]_t$	0,50	μmol/l

Περιεκτικότητες λιπασμάτων

Καθαρ. HNO_3 %	68
Καθαρ. H_3PO_4 %	85
% Fe στον χη-λικό σίδηρο	6
Νιτρικό κάλιο σε Π.Δ. Α (%)	50
Νιτρικό κάλιο σε Π.Δ. Β (%)	50

Σύσταση νερού

			Calc. (kg)
E.C.	0,58	dS/m	
pH	7,63		
Ca^{2+}	3,80	meq/l	0,217
Mg^{2+}	1,30	meq/l	
K^+	0,05	meq/l	0,983
NH_4^+	0,00	meq/l	
Na^+	0,80	meq/l	
SO_4^{2-}	1,55	meq/l	
NO_3^-	0,00	meq/l	6,068
$H_2PO_4^-$	0,00	meq/l	
HCO_3^-	3,60	meq/l	0,002
Cl^-	0,80	meq/l	
Fe	0,00	μmol/l	
Mn^{++}	1,20	μmol/l	
Zn^{++}	0,15	μmol/l	
Cu^{++}	0,00	μmol/l	
B	2,78	μmol/l	
Mo	0,00	μmol/l	

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΠΥΚΝΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

	E.C.	1,71	dS/m
	pH	5,58	
ΔΟΧΕΙΟ Α		100	ΛΙΤΡΩΝ
1	Νιτρικό ασβέστιο	2,187	ΚΙΛΑ
ΔΟΧΕΙΟ Β		100	ΛΙΤΡΩΝ
2	Νιτρική αμμωνία	0,228	ΚΙΛΑ
ΔΟΧΕΙΟ Γ		100	ΛΙΤΡΩΝ
3	Χηλικός Fe (6%)	0,140	ΚΙΛΑ
ΔΟΧΕΙΟ Δ		100	ΛΙΤΡΩΝ
4	Νιτρικό κάλιο	0,952	ΚΙΛΑ
ΔΟΧΕΙΟ Ε		100	ΛΙΤΡΩΝ
5	Θειικό κάλιο	5,247	ΚΙΛΑ
ΔΟΧΕΙΟ ΣΤ		100	ΛΙΤΡΩΝ
6	Θειικό μαγνήσιο	3,442	ΚΙΛΑ
7	Νιτρικό μαγνήσι	0,000	ΚΙΛΑ
8	Φωσφορικό μονο	6,792	ΚΙΛΑ
9	Νιτρικό οξύ 68%	7,816	ΛΙΤΡΑ
10	Θειικό μαγγάνιο	59,5	ΓΡΑΜΜΑΡΙΑ
11	Θειικός ψευδάργ	38,5	ΓΡΑΜΜΑΡΙΑ
12	Θειικός χαλκός	5,0	ΓΡΑΜΜΑΡΙΑ
13	Solubor	35,5	ΓΡΑΜΜΑΡΙΑ
14	Μολυβδαινικό α	3,5	ΓΡΑΜΜΑΡΙΑ

CALCULATIONS

Ανιόντα/κατιόντ	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO_4^{2-}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	HCO_3^-	Cl^-
C.A.S.	15,30			2,25	10,45	1,25	0,60	0,80
C.A.W.		5,95		1,55	0,00	0,00	3,60	0,80
A.A.F.			12,39	0,70	10,45	1,25	0,00	0,00
Ca^{2+}	4,00	3,80	0,20	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
Mg^{2+}	2,00	1,30	0,70	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
K^+	7,30	0,05	7,25	0,00	6,00	1,25	0,00	0,00
NH_4^+	1,25	0,00	1,25	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00
Na^+	0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H^+	0,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00

HCO_3^-	0,03
SO_4^{2-}	0,03
N. Solution	
Σ_{cats}	15,35
Σ_{ans}	15,35
Water	
Σ_{catw}	5,95
Σ_{anw}	5,95
Fertilizers	
Σ_{catf}	12,39
Σ_{anf}	12,39

W.C. (L)	220
A (ml)	217
B (ml)	9483
Γ (ml)	2200
Δ (ml)	14022
E (ml)	1
ΣΤ (ml)	550

Πίνακας 2: Πρόγραμμα Η/Υ για τον υπολογισμό των ποσοτήτων λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή ενός συγκεκριμένου θρεπτικού διαλύματος.

1.10 Θρεπτικά στοιχεία που εφαρμόζονται σε διαλύματα καλλιεργειών εκτός εδάφους

Τα ανώτερα φυτά έχουν την ανάγκη από 16 χημικά στοιχεία για να είναι σε θέση να αναπτυχθούν και να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο. Από τα στοιχεία αυτά τα 9 είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες και ονομάζονται μακροστοιχεία ενώ τα υπόλοιπα 7 είναι απαραίτητα μόνο σε ίχνη, δηλαδή σε πολύ μικρότερες ποσότητες σε σχέση με τα μακροστοιχεία και γι’ αυτό ονομάζονται ιχνοστοιχεία. Τα μακροστοιχεία είναι ο άνθρακας, το οξυγόνο, το υδρογόνο, το άζωτο, ο φώσφορος, το θείο, το κάλιο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Τα ιχνοστοιχεία είναι ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, το βόριο, το μολυβδαίνιο και το χλώριο.

Εκτός από τον άνθρακα, όλα τα άλλα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στα φυτά περιέχονται σε διαλυμένη μορφή στο νερό και στη συνέχεια προσλαμβάνονται από τις ρίζες. Τα θρεπτικά διαλύματα πρέπει να περιέχουν όλα τα θρεπτικά στοιχεία που θεωρούνται απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών, εκτός από τον άνθρακα ο οποίος προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Επίσης το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι συστατικά του νερού, ενώ το οξυγόνο προσλαμβάνεται και από την ατμόσφαιρα. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως απλά υδατοδιαλυτά άλατα, υψηλής καθαρότητας, καθώς επίσης και ορισμένα οξέα, ενώ ειδικά ο σίδηρος χορηγείται σε μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων (Σάββας, 2012).

1.10.1 Μακροστοιχεία

1.10.1.1 Άζωτο (N)

Γενικά η περιεκτικότητα σε N είναι μεγαλύτερη κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης, σε σχέση με τα μεγαλύτερης ηλικίας φυτά. Είναι το στοιχείο που επηρεάζει περισσότερο την ανάπτυξη του φυτού, την απόδοση και την ποιότητα των παραγόμενων καρπών σε σχέση με τα υπόλοιπα μακροστοιχεία. Στα φύλλα παρουσιάζονται ποικίλες συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται 2-5% του ξηρού βάρους τους.

Συμπτώματα έλλειψης αζώτου εντοπίζονται στο χρώμα των φύλλων, το οποίο δεν έχει το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα. Αρχικά τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στα μεγαλύτερης ηλικία φύλλα, τα οποία παίρνουν ανοιχτό πράσινο χρώμα, στη συνέχεια γίνεται κίτρινο και νεκρώνονται. Επίσης παρατηρείται μειωμένη ανάπτυξη των φυτών, πρώιμη ανθοφορία, μειωμένη και χαμηλής ποιότητας παραγωγή και σύντομη ολοκλήρωση του βιολογικού τους κύκλου. Τα συμπτώματα είναι πολύ έντονα κατά τα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης. Σήμερα η για τη διάγνωση της συγκεκριμένης τροφοπενίας χρησιμοποιείται η μέθοδος της φυλλοδιαγνωστικής και χρήση οργάνου για τη μέτρησης της χλωροφύλλης (Wood *et al.*, 1993). Παράλληλα υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγή σε περιπτώσεις αυξημένης συγκεντρώσεις αζώτου. Περίσσεια N οδηγεί σε βλαστομανία και σκούρου χρώματος φύλλωμα, δημιουργώντας φυτά που προσβάλλονται εύκολα από παθογόνα, έντομα και είναι πιο ευαίσθητα σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης μειώνει τον αριθμό των ανθέων, την ανάπτυξη των φρούτων και την ποιότητα των καρπών (Benton, 2005).

Η μορφή με την οποία παρέχεται στα φυτά επηρεάζει το μεταβολισμό του φυτού (Raab and Terry, 1994; Gerendas *et al*., 1997) και την απορρόφηση και άλλων μακροστοιχείων λόγω ιοντικού ανταγωνισμού (Marschner, 1995). Η ταχύτερη απορρόφηση της μιας ή της άλλης μορφής εξαρτάται από το ίδιο το φυτό (βιοχημικές μεταβολές), το pH και τον τύπο του υποστρώματος ανάπτυξης, καθώς και διάφορους άλλους παράγοντες. Έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση της μορφής χορήγησης του αζώτου και των αλληλεπιδράσεων αυτής με διάφορους θρεπτικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες καταδεικνύουν την ευαισθησία της τομάτας στην χορήγηση αμμωνιακού αζώτου (Kirkby and Knight, 1977; Ganmore-Neumann and Kafkafi, 1980; Imas *et al*., 1997).

Στις ελληνικές θερμοκηπιακές συνθήκες (υδρολίπανση) τα λιπάσματα νιτρική αμμωνία, νιτρικό ασβέστιο και νιτρικό κάλιο, ανάλογα με το pH του εδάφους και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για προσθήκη αζώτου (Παναγιωτόπουλος, 1995α).

1.10.1.2 Φώσφορος (P)

Η συγκέντρωσή του στα νεαρά φυτά κυμαίνεται από 0,5 έως 1% και μειώνεται όσο φθάνουν στη γήρανση. Ο P παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά ενέργειας στα φυτά, ενώ πιθανή τροφοπενία επιβραδύνει σημαντικά την ανάπτυξη. Στα παλαιά φύλλα εντοπίζονται μεταχρωματισμοί, χρώματος πορφυρού, οι οποίοι μπορεί να οφείλονται και σε συμπτώματα από χαμηλές θερμοκρασίες είτε του μέσου ανάπτυξης είτε της ατμόσφαιρας. Πιθανόν η πρόσληψη του από τα φυτά ίσως επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από τη θερμοκρασία, ενώ τα συμπτώματα περιορίζονται όταν οι θερμοκρασίες επιστρέφουν στα κανονικά επίπεδα για την ανάπτυξη των φυτών. Τροφοπενία φωσφόρου μπορεί εύκολα να εντοπιστεί με τη διαδικασία της φυλλοδιαγνωστικής (Sonneveld and Voogt, 2009).

Μέχρι πρόσφατα η περίσσεια φωσφόρου δεν ήταν πρόβλημα σε κάποια καλλιέργεια. Ωστόσο, με βάση τις υπάρχουσες μελέτες έδειξαν ότι επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών. Υπάρχουν ενδείξεις ότι όταν στο φυτό υπερβαίνει το 1% του ξηρού βάρους παρουσιάζει συμπτώματα τοξικότητας (Jones 1998b). Αυτό έχει έμμεση επίδραση στις λειτουργίες των άλλων στοιχείων όπως Fe, Mn και Zn. Τα συμπτώματα είναι πιο έντονα σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, ενώ σε κάποια υποστρώματα ανάπτυξης η αρχική εφαρμογή λιπασμάτων P μπορεί να είναι αρκετή να ικανοποιήσει τις ανάγκες όλης της καλλιέργειας.

Στα περισσότερα συστήματα εκτός εδάφους εφαρμόζεται σε ποσότητες μεταξύ 30 και 50 mg/L , αν και υπάρχουν ενδείξεις ότι πρέπει να μειωθεί στα 10-20 mg/L. Βρίσκεται σε μορφή ανιόντος στο διάλυμα και σχετίζεται με το pH του διαλύματος. Επίσης ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσει ιζήματα κοντά στη ρίζα, με αποτέλεσμα τη δυσκολία απορρόφησής του P και άλλων στοιχείων που συγκεντρώνονται στα ιζήματα (Benton, 2005).

Η προσθήκη του γίνεται με φωσφορικό μονοαμμώνιο, φωσφορικό μονοκάλιο ή φωσφορικό οξύ. Το πρώτο είναι ευδιάλυτο λίπασμα το οποίο μειώνει αισθητά το pH του διαλύματος. Χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά και όχι ως αποκλειστική πηγή φωσφόρου. Μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική μορφή χορήγησης αμμωνίας όταν δεν είναι επιθυμητή ή δυνατή η προσθήκη νιτρικής αμμωνίας. Το δεύτερο κατά σειρά λίπασμα, είναι ευδιάλυτο άλας το οποίο μειώνει και αυτό ελαφρώς το pH λόγω των ιόντων που απελευθερώνει. Αποτελεί την πλέον συνηθισμένη πηγή φωσφόρου για τα θρεπτικά διαλύματα. Τέλος το φωσφορικό οξύ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα θρεπτικά διαλύματα αλλά θέλει προσοχή γιατί η προσθήκη του μειώνει σημαντικά το pH (Σάββας, 2012).

1.10.1.3 Κάλιο (K)

Είναι το κυρίαρχο ανόργανο στοιχείο στο φυτό και αποτελεί το 1,25-3% της ξηράς ουσίας του φυτού, αν και άλλα είδη έχουν απαιτήσεις περισσότερες από 10%. Καλλιέργειες τομάτας, αγγουριού, πιπεριάς έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε κάλιο. Η πρόσληψή του είναι πολύ σημαντική κατά τη βλαστική ανάπτυξη και μειώνεται αργότερα. Επίσης συμμετέχει στην ανάπτυξη των καρπών και των ανθοκομικών φυτών. Σε αντίθετη περίπτωση αν υπάρξει έλλειψη στο στάδιο ανάπτυξης των καρπών και των ανθέων, η ποιότητά τους είναι αρκετά χαμηλή. Επίσης επηρεάζει σημαντική τη μετασυλλεκτική διατήρηση των αγροτικών προϊόντων (Sonneveld and Voogt, 2009).

Είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της σωστής ισορροπίας ιόντων στο φυτών και πιθανών συμμετέχει στη σύνθεση και την κίνηση των υδατανθράκων. Συμμετέχει στην ενεργοποίηση πολλών ενζύμων για στο οσμωτικό δυναμικό των κυττάρων. Είναι βασικό στοιχείο των κυττάρων στα στομάτια, ενώ έλλειψη K οδηγεί σε κλείσιμο των στοματίων, μειώνει τη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση. Επίσης σε τροφοπενία K μειώνεται η σπαργή των φυτικών ιστών, με αποτέλεσμα την μάρανση και ξήρανση τους, ενώ παράλληλα επιβραδύνεται η ανάπτυξη του φυτού. Αρχικά τα συμπτώματα εντοπίζονται στα παλαιά φύλλα και σε προχωρημένο στάδιο έχουν την μορφή καψίματος γύρο από το έλασμα των φύλλων (Benton, 2005).

Στις περισσότερες υδροπονικές ‘συνταγές’ εφαρμόζεται σε ποσότητες 200mg/L και έχει τη μορφή κατιόντος. Το μεγαλύτερο ποσοστό του K στα θρεπτικά διαλύματα προστίθεται με το νιτρικό κάλιο, το οποίο έχει μικρή διαλυτότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται συμπληρωματικά το θειικό κάλιο, το οποίο είναι ευδιάλυτο (Σάββας, 2012).

1.10.1.4 Ασβέστιο (Ca)

Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο στα φύλλα ποικίλει μεταξύ 0,5 και 3% του ξηρού βάρους τους. Έχει βρεθεί ότι οι ανάγκες των φυτών είναι πολύ μικρές αλλά με την απαίτηση υψηλών συγκεντρώσεων εξαιτίας της παρουσίας κατιόντων και ιδιαίτερα μετάλλων (Wallace, 1971). Η πρόσληψή του εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του στην περιοχή της ρίζας και από τη διαπνοή. Κατά την ωρίμανση η μετακίνηση του ασβεστίου μειώνεται. Αποτελεί ένα σημαντικό δομικό στοιχείο του κυτταρικού τοιχώματος και έτσι διατηρείται η ακεραιότητα της μεμβράνης η οποία είναι πολύ σημαντική.

Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου εντοπίζονται σε φύλλα, αποκτώντας διαφορετικό σχήμα, μέγεθος και παρουσιάζουν καφέ μεταχρωματισμούς. Επίσης το ασβέστιο επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των ριζών, οι οποίος αποκτούν έντονο καφέ χρώμα. Από τα πιο συνηθισμένα συμπτώματα είναι στους καρπούς, το οποίο συνοδεύεται από σήψη. Συμμετέχει στην ανάπτυξη και το μεταβολισμό των κυττάρων. Αντιθέτως σε περιπτώσεις αυξημένης συγκεντρώσεις Ca, παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα στα φύλλα, ενώ πιθανόν επηρεάζει τις συγκεντρώσεις K και Mg (Sonneveld and Voogt, 2009).

Στο θρεπτικό διάλυμα εφαρμόζεται σε ποσότητες κοντά στα 200mg/L. Επίσης υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας ιζήματος στην περιοχή των ριζών εγκλωβίζοντας και άλλα στοιχεία. Το μοναδικό λίπασμα το οποίο μπορεί να προστεθεί το Ca στο θρεπτικό διάλυμα είναι το νιτρικό ασβέστιο και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις είναι δυνατή η συμπληρωματική χρησιμοποίηση του $CaCl_2$,σε περιορισμένη ποσότητα (Σάββας, 2012).

1.10.1.5 Μαγνήσιο (Mg)

Η περιεκτικότητα του στα φύλλα κυμαίνεται από 0,2-0,5% ενώ μπορεί να φτάσει και το 5% του ξηρού τους βάρους. Κάποια είδη είναι πολύ ευαίσθητα σε περιπτώσεις τροφοπενίας, επηρεαζόμενα από το στάδιο ανάπτυξης και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Είναι συστατικό της χλωροφύλλης και ενεργοποιεί μια σειρά από ένζυμα για τη μεταφορά ενέργειας. Πιθανή έλλειψή του επηρεάζει την ανάπτυξη, ενώ στα τύπου C_3 φυτά μειώνει τη σύνθεση υδατανθράκων. Η μετακίνησή του γίνεται τόσο μέσω των αγγείων του ξύλου όσο και μέσω του φλοιού.

Τροφοπενίες μαγνησίου παρουσιάζουν ποικίλα συμπτώματα, όπως χλώρωση στα μεγαλύτερης ηλικίας φύλλα. Επίσης μπορεί να διαταράξει τόσο την ισορροπία μεταξύ των ιόντων όσο και την απορρόφησή τους από τη ρίζα. Επίσης σε μειωμένη πρόσληψη Mg το φυτό προσλαμβάνει μεγαλύτερες ποσότητες Mn προκειμένου να μην επηρεαστεί η λειτουργία σημαντικών βιοχημικών διεργασιών για το φυτό, οδηγώντας στην κατάρρευση και το θάνατο των κυττάρων. Έχει επιβεβαιωθεί ότι πιθανή τροφοπενία μαγνησίου, αυξάνει την ευαισθησία του φυτού στα παθογόνα.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες βρίσκεται σε μια συγκέντρωση κοντά στα 50 mg/L, αν και θεωρείται αρκετά χαμηλή για κάποιες καλλιέργειες όπως τομάτας και αγγουριού. Επίσης έχει εντοπιστεί ότι κατακάθονται ποσότητες μαγνησίου σε μορφή ιζήματος κοντά στις ρίζες (Benton, 2005).

1.10.1.6 Θείο

Βρίσκεται στα φύλλα σε ποσοστά κοντά στο 0,15-1% της ξηρής ουσίας τους. Είναι συστατικό βασικών αμινοξέων, όπως θειαμίνη και κυστίνη. Φυτά των οικογενειών Cruciferae και Leguminosae έχουν μεγαλύτερες ανάγκες. Περιέχουν ενώσεις του S οι οποίες αναγνωρίζονται από την έντονη οσμή τους και τη γεύση. Συμπτώματα τροφοπενίας διαταράσσουν τη συνολική θρέψη των φυτών, μεταχρωματισμοί στα φύλλα εντοπίζονται σε προχωρημένο στάδιο. Επίσης σε κάποιες μελέτες τονίζουν τη σημασία της αναλογίας N/S στην ανάπτυξη των φυτών (Benton, 2005).

Στα υδροπονικά συστήματα το θείο εφαρμόζεται σε συγκεντρώσεις 50 mg/L, και έχει τη μορφή ανιόντος στο διάλυμα. Προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα με θειικό κάλιο και θειικό μαγνήσιο (Σάββας, 2012)

1.10.2 Μικροστοιχεία

Οι απαιτήσεις των φυτών είναι ελάχιστες σε μικροστοιχεία, αλλά πρέπει να εφαρμόζονται για τη διατήρηση της ισορροπίας στη θρέψη του φυτού. Οι εφαρμοζόμενες συγκεντρώσεις του είναι κοντά στο 1/10.000 της συγκέντρωσης των μακροστοιχείων. Είναι σημαντική η ικανότητα ελέγχουν και διαχείρισης των ποσοτήτων τους στο διάλυμα γιατί χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια. Αν εφαρμοστούν σε μικρότερες ή μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, κυρίως σε καλλιέργεια εκτός εδάφους, μπορούν να παρουσιάσουν συμπτώματα τροφοπενίας ή τοξικότητας αντίστοιχα. Συμπτώματα τα οποία θα είναι δύσκολο να περιοριστούν. Επίσης στοιχεία όπως ο Fe, Mn και Zn μπορούν να μεταβάλλουν το pH και τις συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα .

1.10.2.1 Βόριο (Β)

Εντοπίζεται σε συγκεντρώσεις 10-50 mg/kg του ξηρού βάρους στα φύλλα. Συσσωρεύεται κοντά στις νευρώσεις των φύλλων και είναι σημαντικό στη σύνθεση των υδατανθράκων, την ανάπτυξη και στη συμμετοχή στις λειτουργίες του κυττάρου. Πιθανή έλλειψη Β οδηγεί σε νανισμό, παρεμπόδιση της ανάπτυξης και μεταχρωματισμούς στα φύλλα. Επίσης η ανάπτυξη των καρπών είναι πολύ αργή έως ανύπαρκτη, ανάλογα και τις ανάγκες του φυτού. Περίσσεια βορίου μπορεί να δημιουργήσει συμπτώματα τοξικότητας. Έτσι είναι σημαντικός ο έλεγχος των συγκεντρώσεων του κατά την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος καθώς σε κάποιες περιοχής εντοπίζεται και στο νερό.

Το κλασικό λίπασμα που εφαρμόζεται είναι ο βόρακας, αλλά παρουσιάζει χαμηλή διαλυτότητα και περιεκτικότητα σε καθαρό βόριο. Επίσης στο θρεπτικό διάλυμα χρησιμοποιούνται το βορικό οξύ και το οκταβορικό νάτριο. Το δεύτερο είναι πιο ευδιάλυτο από τα άλλα και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποσότητα σε καθαρό βόριο, γι’ αυτό και έχει καθιερωθεί ως το πλέον συνηθισμένο λίπασμα Β για υδροπονική καλλιέργεια.

1.10.2.2 Σίδηρος (Fe)

Η περιεκτικότητα των φύλλων στα περισσότερα φυτά είναι από 50 έως 100 mg/kg της ξηράς ουσίας τους. Στα φυτά αποθηκεύεται ως φωσφοροπρωτεΐνη που ονομάζεται 'phytoferritin'. Προσπάθειες μέτρησης της συγκέντρωσής του έχουν γίνει από πολλούς, όπως η προσπάθεια υπολογισμού του 'ενεργού Fe' στα φύλλα από τον (Jones, 2001). Ο Fe πιθανόν παίζει σημαντικό ρόλο σε λειτουργίες που αφορούν τη μεταφορά ενέργειας, γεγονός που οφείλεται στην ευκολία αλλαγής σθένους. Επίσης συμμετέχει στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και στο σχηματισμό της χλωροφύλλης (Benton, 2005).

Το πιο συνηθισμένο σύμπτωμα αφορά την παρεμπόδιση του πράσινου χρώματος εξαιτίας της απώλειας χλωροφύλλης. Αυτό εμφανίζεται κυρίως στη νέα βλάστηση, διαφοροποιώντας κατά κάποιο τρόπο από τα συμπτώματα τροφοπενίας Mg. Γενικότερα η έλλειψη σιδήρου συσχετίζεται και με συμπτώματα άλλων στοιχείων όπως S, Mn Zn. Έτσι είναι απαραίτητη η εξέταση του ιστού στο εργαστήριο. Επίσης Μερικά είδη μπορεί να ανταποκριθούν σε συνθήκες έλλειψης Fe με την απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου δημιουργώντας μια όξινη περιοχή κοντά στη ρίζα. Η αντιμετώπιση των συμπτωμάτων αυτών και η δημιουργία νέας υγιούς βλάστησης, είναι πιο εύκολη να γίνει σε μια υδροπονική καλλιέργεια (Sonneveld and Voogt, 2009).

Από όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία μόνο ο σίδηρος προστίθεται σε χηλική μορφή στο θρεπτικό διάλυμα. Η αναγκαιότητα αυτή απορρέει από την ιδιότητα των ιόντων Fe να αντιδρούν με τα φωσφορικά ιόντα και να καταβυθίζονται με αποτέλεσμα να παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά (Σάββας, 2012).

1.10.2.3 Μαγγάνιο (Mn)

Η περιεκτικότητα του στα φύλλα είναι περίπου 20-100 mg/kg του ξηρούς βάρους τους. Συμπτώματα τροφοπενίας εντοπίζονται κοντά στις νευρώσεις των φύλλων, όπως επίσης και σε περιπτώσεις αυξημένης πρόσληψης εμφανίζονται τοξικότητες στην ίδια περιοχή. Πιθανή έλλειψη από το φυτό επηρεάζει τη λειτουργία του χλωροπλάστη, προκαλεί μεσονεύρια χλώρωση κυρίως στον αναπτυσσόμενο ιστό.

Προβλήματα που μπορούν εύκολα να αντιμετωπιστούν με την εφαρμογή διαφυλλικού ψεκασμού ή με ψεκασμό κοντά στη ρίζα. Σε περιπτώσεις τροφοπενίας ή περίσσειας Mn διαταράσσεται γενικότερα η θρέψη του φυτού. Στην υδροπονία εφαρμόζεται σε ποσότητες 0,5 mg/L και απορροφάται εύκολα από τα φυτά (Benton, 2005).

Το θειικό μαγγάνιο αποτελεί το κατά κανόνα χρησιμοποιούμενο λίπασμα Mn για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων (Σάββας, 2012).

1.10.2.4 Ψευδάργυρος (Zn)

Το εύρος των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου στα φύλλα κυμαίνεται μεταξύ 20 και 50 mg/kg της ξηρής ουσίας τους. Μικρές μεταβολές στην ποσότητά του μπορούν να προκαλέσουν φυσιολογικές διαταραχές και αυξημένη ευαισθησία σε ασθένειες. Συμμετέχει στην ενεργοποίηση και στη σωστή λειτουργία κάποιων ενζύμων. Παράλληλα η τροφοπενία Zn εμφανίζει χλωρώσεις και παραμορφώσεις στα φύλλα, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν και με συμπτώματα τροφοπενιών άλλων στοιχείων. Επιπλέον πολλά φυτά είναι ανθεκτικά σε μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου.

Βασική πηγή Zn στις υδροπονικές καλλιέργειες αποτελεί ο θειικός ψευδάργυρος και πιο συγκεκριμένα ο επταεδρικός θειικός ψευδάργυρος ο οποίος περιέχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καθαρό Zn (Σάββας, 2012).

1.10.2.5 Μολυβδαίνιο (Mo)

Οι απαιτήσεις των φυτών σε μολυβδαίνιο είναι ελάχιστες. Είναι συστατικό κάποιων ενζύμων, που εμπλέκονται στο μεταβολισμό του αζώτου. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και στην σωστή λειτουργία της σχέσης μεταξύ βακτηρίων και αζώτου. Τροφοπενίες Mo έχουν σαν αποτέλεσμα τη μειωμένη πρόσληψη και μεταβολισμό του αζώτου, παρόλο που οι συγκεντρώσεις του επαρκούν. Είδη της οικογένειας *Cruciferae* είναι περισσότερο ευαίσθητα στην έλλειψη μολυβδαινίου.

Κύρια λιπάσματα για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος είναι το επταμολυβδαινικό αμμώνιο και το μολυβδαινικό νάτριο (Σάββας, 2012).

1.10.2.6 Χαλκός (Cu)

Μέσα στο φυτό ο χαλκός συμμετέχει στις εξής φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες: α) είναι συστατικό πλαστοκυανίνης, β) ενεργοποιεί οξειδάσες (π.χ. οξειδάση κυτοχρώματος c), γ) συμμετέχει στον μεταβολισμό των λιπαρών οξέων, δ) είναι συστατικό του ενζύμου υπεροξυδισμουτάση. Επιπλέον ο χαλκός συμβάλλει στην πρωτεϊνοσύνθεση καθώς και την βιοσύνθεση σακχάρων (Σάββας, 2000).

1.10.2.7 Νάτριο (Na)

Το νάτριο βρίσκεται σε αφθονία στον στερεό φλοιό της γης. Υπολογίζεται ότι το 2,8% του στερεού φλοιού της γης συνίσταται από Na. Το αντίστοιχο ποσοστό για το κάλιο είναι 2,6%. Εντούτοις, ενώ το κάλιο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο το οποίο περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες στα φυτά, δεν συμβαίνει το ίδιο και με το νάτριο. Το νάτριο είναι τοξικό για την ζώσα ύλη και γι’ αυτό τα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς εκλεκτικής απέκκρισης του, είτε εκτός των ζωντανών κυττάρων, είτε εκτός συγκεκριμένων περιοχών αυτών όπου επιτελούνται ζωτικές βιοχημικές λειτουργίες, όπως π.χ. η φωτοσύνθεση. Επειδή όμως το νάτριο είναι άφθονο στη φύση, συνήθως δημιουργούνται προβλήματα έκθεσης των φυτών σε υπερβολικές συγκεντρώσεις του χημικού αυτού στοιχείου. Σε ορισμένα φυτά όμως φυτά το νάτριο ασκεί επωφελή δράση, ενώ για ορισμένες άλλες κατηγορίες φυτών το νάτριο θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο (C4, CAM, τεύτλο) (Σάββας, 2000).

1.11 Φυτοπροστασία σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους

Στο παρελθόν υπήρχε η εσφαλμένη αντίληψη ότι με την αλλαγή από καλλιέργεια στο έδαφος σε καλλιέργεια εκτός εδάφους, ήταν δυνατό να περιοριστούν κάποιες ασθένειες. Δυστυχώς οι περισσότερες ασθένειες του ριζικού συστήματος συναντώνται και στις υδροπονικές καλλιέργειες. Λόγω της απουσίας βιολογικών ανταγωνιστών στα υποστρώματα και στα καθαρά υδροπονικά συστήματα, τα παθογόνα τα οποία εισέρχονται στο σύστημα δεν βρίσκουν καμία αντίδραση και επομένως η εγκατάσταση, ο πολλαπλασιασμός και η διάδοσή τους γίνεται με μεγάλη ταχύτητα. Το πρόβλημα μπορεί να γίνει μεγαλύτερο σε σχέση με την καλλιέργεια στο έδαφος, καθώς στα κλειστά συστήματα το διάλυμα επανακυκλοφορεί και η προσβολή μπορεί να εξαπλωθεί γρήγορα σε όλο το κανάλι. Ασθένειες που οφείλονται σε ιούς, μύκητες και βακτήρια μεταδίδονται πολύ εύκολα και οφείλονται είτε με τη μεταφύτευση μολυσμένων φυτών, είτε με την απελευθέρωση παθογόνων στο θρεπτικό διάλυμα.

Χημικά σκευάσματα δεν εφαρμόζεται καθώς σε περίπτωση επαφής τους με τις ρίζες και το θρεπτικό διάλυμα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα φυτοτοξιότητας, τα οποία δεν συναντώνται σε καλλιέργεια εδάφους. Βιολογικά φίλτρα έχουν σχεδιαστεί για την απομάκρυνση των παθογόνων σε διαλύματα που ανακυκλώνονται, εφαρμόζοντας διήθηση και έκθεσή τους σε δυσμενής συνθήκες για την επιβίωσή τους. Αυτές περιλαμβάνουν ανταγωνιστική μικροχλωρίδα μέσα στο κλειστό υδροπονικό σύστημα η με διαλυμένο οξυγόνο στο μήκος των καναλιών (Raviv and Lieth, 2008). Οι Kramer *et al.* (2002) χρησιμοποίησαν ένα κλασικό φίλτρο άμμου με για τον καθαρισμό του διαλύματος με αργή διήθηση και ταχύτητα 0,2 mm/h. Με τη διήθηση είναι δυνατή η απομάκρυνση αδιάλυτων σωματιδίων που προκύπτουν κατά την ανάμειξη των λιπασμάτων. Άλλες τεχνικές είναι η χρήση όζοντος, το ενεργό υπεροξείδιο του υδρογόνου, η εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας και η παστερίωση με θέρμανση (Σάββας, 2012).

Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται υποστρώματα, εφαρμόζονται κάποιες τεχνικές για την επαναχρησιμοποίηση τους. Για παράδειγμα οι Van Assche Vangheed (1994) εξέτασαν την προσθήκη χημικών οξέων ή ανταγωνιστικών βακτηρίων, που μπορεί να περιορίσει η δράση των παθογόνων. Εφαρμογή ζεστού νερού ή ατμού (100-110 ^{o}C για 10 min) εντός των υποστρωμάτων στο τέλος της κάθε καλλιέργειας.

2. Η Τομάτα

2.1 Ιστορική αναδρομή

Από τη μια ήπειρο στην άλλη και ξεπερνώντας πολλές εθνικές προκαταλήψεις και εμπόδια, η τομάτα κατάφερε τελικά να καθιερωθεί ως κυρίαρχο, παγκόσμιο λαχανικό. Με παρουσία στην Ευρώπη μόλις λίγων εκατονταετηρίδων, κατέλαβε δεσπόζουσα θέση στο σύγχρονο διαιτολόγιο.

Η τομάτα είναι κανονικά ένα φρούτο, αλλά λόγω του τρόπου που χρησιμοποιείται συγκαταλέγεται στα λαχανικά, όπως συμβαίνει και με το κολοκύθι, το αγγούρι, τη μελιτζάνα και την πιπεριά. Μάλιστα μεταξύ των λαχανικών, η τομάτα καταναλώνεται σήμερα σε τέτοιες ποσότητες που στις περισσότερες χώρες έρχεται δεύτερη, με μόνο ανταγωνιστή της, την πατάτα, ενώ υπάρχουν και χώρες όπου η τομάτα κατέχει την πρώτη θέση σε κατανάλωση.

Σε διεθνή κλίμακα, η καλλιέργεια της τομάτας καταλαμβάνει την τρίτη σε έκταση θέση μετά την πατάτα και γλυκοπατάτα, ενώ στην Ελλάδα η επιτραπέζια τομάτα καταλαμβάνει τη δεύτερη σε έκταση θέση μετά την πατάτα. Η δημοτικότητα της τομάτας ποικίλλει στις διάφορες χώρες, αλλά είναι πολύ λίγες οι περιοχές της γης όπου η τομάτα δεν καλλιεργείται με κάποια από τις μορφές καλλιέργειας της. Καλλιεργείται για τον καρπό της, ο οποίος καταναλώνεται ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, σε άλμη, ακέραιος ή σε πολτό. Ακόμη και οι άωροι καρποί (τοξικοί, εάν καταναλωθούν νωποί) συντηρούνται σε άλμη ή ξύδι (τουρσί).

Η τομάτα είναι ένα από τα 8-10 πολύ συγγενικά είδη του γένους *Lycopersicon*, το οποίο ξεχωρίζει από το πολύ συγγενικό είδος *Solanum (*πιθανός πρόγονος), από τα χαρακτηριστικά διάρρηξης των ανθήρων και απελευθέρωσης της γύρης. Τα πλείστα είδη του γένους *Lycopersicon* είναι θάμνοι ετήσιοι, βραχείας διάρκειας, με βιολογικό κύκλο 5 ή και λιγότερους μήνες. Όλα τα είδη είναι ενδογενή φυτά της Ν. Αμερικής. Η άγρια μορφή της τομάτας *Lycopersicon esculentum var cerasiforme* έχει βρεθεί επίσης και στο Μεξικό, στην Κεντρική Αμερική και άλλες περιοχές της Ν. Αμερικής. Ο τόπος καταγωγής της τομάτας πιστεύεται ότι είναι η

Νότια Αμερική (ιδιαίτερα το Περού) όπου και σήμερα αυτοφύονται διάφορες παραλλαγές της άγριας τομάτας. Σύμφωνα με όλα τα στοιχεία, από το Περού η άγρια τομάτα μεταφέρθηκε, μάλλον ως ζιζάνιο με σπόρους καλαμποκιού, στην Κεντρική Αμερική, ιδιαίτερα στο Μεξικό, όπου άρχισε η καλλιέργεια και η χρήση της από τους Ινδιάνους και τους Αζτέκους πριν πάρα πολλά χρόνια.

Αν και αρχικά επικρατούσε η άποψη ότι χώρα καταγωγής της τομάτας είναι το Περού, σήμερα, με τις πληροφορίες (ιστορικές, αρχαιολογικές, εθνοβοτανικές) που έδωσε ο Jenkins (1948), γίνεται δεκτό ότι καταγωγή της καλλιεργούμενης τομάτας είναι το Μεξικό και μάλιστα η περιοχή Vera Cruz-Puebla.

Η τομάτα ανήκει βοτανικά στην οικογένεια των Σολανωδών (*Solanaceae*), τα μέλη της οποίας είναι γνωστό ότι περιέχουν (κυρίως στα φύλλα τους) το αλκαλοειδές σολανίνη που είναι τοξικό για τον άνθρωπο και τα ζώα. Η τομάτα περιέχει πράγματι στα φύλλα σολανίνη, στον ίδιο βαθμό που περιέχουν και τα φύλλα του καπνού, τα φύλλα της πατάτας (πρασινισμένοι κόνδυλοι της πατάτας περιέχουν βέβαια πολύ περισσότερη σολανίνη και είναι πιο επικίνδυνοι και άλλων φυτών της ίδιας οικογένειας. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις άγνωστες ιδιότητες των καρπών ενός «εξωτικού» είδους, όπως εθεωρείτο τα χρόνια εκείνα η τομάτα, απετέλεσαν ένα λόγο της επιφυλακτικότητας. Τον κυριότερο λόγο, όμως αποτέλεσε η μεγάλη ομοιότητα της τομάτας με το φυτό Άτροπος (ή μπελλαντόνα) της ίδιας οικογένειας, το οποίο ήταν γνωστό από την αρχαιότητα για τις φαρμακευτικές και δηλητηριώδεις ιδιότητές του. Το όνομα του φυτού αυτού (δόθηκε από το Θεόφραστο) παραπέμπει στη Μοίρα Άτροπο των αρχαίων Ελλήνων, εκείνη που κόβει τη νήμα της ζωής. Το φυτό, που οφείλει τις τοξικές ιδιότητες του στην ατροπίνη την οποία περιέχει σε όλα τα μέρη του, ήταν γνωστό στους περισσότερους λαούς και συνδεδεμένο με ιστορίες κακών μαγισσών, με δηλητηριάσεις στρατευμάτων, περίεργες επιδράσεις σε ανθρώπους κλπ. Έτσι η ομοιότητα του φυτού της τομάτας με την Άτροπο στάθηκε το εμπόδιο στην αξιοποίηση της για περίπου τρεις αιώνες (Ολύμπιος, 2001).

Λόγω των ιστοριών αυτών, για παράδειγμα την τομάτα στη Γερμανία την έλεγαν «ροδάκινο του λύκου», κάτι που κατέγραψε και ο Λινναίος, τον 18° αιώνα, όταν έδωσε το επιστημονικό όνομα στην τομάτα (*Lycopersicon esculentum* = δώδιμο ροδάκινο του λύκου).

Στην Ελλάδα η εισαγωγή της έγινε αρχικά στην Αθήνα περίπου το 1818. Όποια και να είναι η γεωγραφική καταγωγή της τομάτας, είναι σήμερα γενικά αποδεκτό, ότι άμεσος πρόγονος της καλλιεργούμενης τομάτας είναι η *var* *cerasiforme*, και με μοναδικό ίσως άλλο διεκδικητή (πρόγονο) την *L.pimpinellifolium*, που είναι πιθανό να είναι μάλλον παραπροϊόν, παρά μέλος της γενετικής σειράς.

2.2 Ποικιλίες-Υβρίδια τομάτας

Οι διάφοροι τύποι τομάτας που ήρθαν κατά καιρούς στην Ευρώπη απετέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία βελτιωμένων ποικιλιών με άριστα χαρακτηριστικά και κατάλληλες για διάφορες χρήσεις. Προς την κατεύθυνση αυτή υπήρχε μεγάλο ενδιαφέρον και έγιναν εντατικές προσπάθειες το 19° αιώνα, αρχικά στην Ευρώπη και λίγο αργότερα και στη Β. Αμερική. Όλα τα είδη του γένους *Lycopersicon* έχουν τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων (2η=24) και πολύ σπάνια έχουν αναφερθεί περιπτώσεις αυτοπολυπλοϊδίας. Το *Lycopersicon esculentum* Mill και οι στενοί συγγενείς, είναι γενικά αυτογονιμοποιούμενα είδη. Όπως αναφέρει ο Rick (1950), σταυρογονιμοποιούνται στις περιοχές που αυτοφύονται και σε μερικές άλλες υποτροπικές περιοχές, αλλά σε άλλα μέρη αυτογονιμοποιούνται πλήρως. Αντίθετα, τα άλλα είδη του γένους *Lycopersicon* είναι αυτόστειρα και επομένως σταυρογονιμοποιούνται πλήρως με διάφορα είδη μελισσών. Η τομάτα μπορεί να διασταυρωθεί με μικρή ή μεγάλη δυσκολία, με όλα τα άλλα είδη του γένους και να δημιουργήσει υβρίδια. Η διαδικασία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση τα τελευταία 50 χρόνια, με αποτέλεσμα αρκετά επιθυμητά χαρακτηριστικά (γόνοι), να έχουν μεταφερθεί και ενσωματωθεί στις καλλιεργούμενες ποικιλίες και υβρίδια. Είναι ποικιλίες που ξεχώρισαν ιδιαίτερα για τις γευστικές τους ιδιότητες, φυλάσσονται ως κόρες οφθαλμού από θιασώτες των παλιών καλών ποικιλιών και αναφέρονται διεθνώς ως τομάτες «κειμήλια». Η διατήρηση και η μεγάλη επιτυχία αυτών των ποικιλιών διευκολύνθηκε από το σημαντικό χαρακτηριστικό που έχουν τα άνθη της τομάτας να είναι αυτογονιμοποιούμενα. Λόγω αυτού του γεγονότος, στην τομάτα αυξάνει η ομοζυγωτία από γενεά σε γενεά και η ποικιλία αποκτά μεγάλη σταθερότητα στα χαρακτηριστικά της. Ο καλλιεργητής κρατάει σπόρο από τα φυτά και τα νέα φυτά θα είναι ακριβώς της ποικιλίας που καλλιέργησε.

Η ύπαρξη ομόζυγων σειρών στην τομάτα διευκόλυνε επίσης πάρα πολύ την περαιτέρω βελτίωση με υβριδισμό. Με τη διασταύρωση δηλαδή καθαρών (ομόζυγων) σειρών, από τις παραπάνω καλλιεργούμενες ποικιλίες ή και από τις άγριες σειρές που υπήρχαν στην περιοχή καταγωγής της τομάτας, παρήχθησαν, από τις αρχές του 20ου αιώνα υβρίδια που ήταν ανώτερα και από τους δύο γονείς, κάτι σαν 1+1=3. Λόγω μάλιστα του μεγάλου αριθμού ποικιλιών και υβριδίων που παράγονται σε σύντομο διάστημα, η αντικατάσταση ποικιλιών και υβριδίων με νέα, γίνεται με γρήγορο ρυθμό. Είναι γνωστό ότι η τομάτα είναι φυτό που εύκολα μπορεί να μεταχειριστεί κανείς τα άνθη του για διασταυρώσεις και παραγωγή υβριδίων. Επίσης, για παραγωγή υβριδίων χρησιμοποιούνται σήμερα και αρρενόστειρες σειρές (Γιαννοπολίτης, 2007).

2.3 Πλεονεκτήματα και προοπτικές από τη χρήση των υβριδίων

Οι πιο σημαντικές επιτυχίες που επιτεύχθηκαν με τη γενετική βελτίωση στην τομάτα είναι: α) αύξηση της παραγωγής με αύξηση του μεγέθους του καρπού και του αριθμού των καρπών, β) βελτίωση της ποιότητας, σχήμα, χρώμα, άρωμα, υφή, ομοιομορφία σε όλα τα χαρακτηριστικά, γ) οι συνήθειες του φυτού για διευκόλυνση καλλιεργητικών περιποιήσεων και συγκομιδής. Σημαντικό γεγονός αποτελεί η ανακάλυψη γενετικά ελεγχόμενης ανάπτυξης, δ) βελτίωση της αντοχής του καρπού στις μεταχειρίσεις και στην αποθήκευση, ε) πρωιμότητα στην παραγωγή, στ) δυνατότητα καρπόδεσης σε αντίξοες συνθήκες, ζ) αντοχή σε εχθρούς και ασθένειες, η) η δημιουργία υβριδίων των οποίων οι καρποί έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή (long life ή semi long life). Η καλλιέργεια των υβριδίων αυτών στο θερμοκήπιο έχει επεκταθεί σημαντικά σε πολλές χώρες της Μεσογείου, γιατί διευκολύνεται η μεταφορά των καρπών χωρίς προβλήματα σε αγορές που βρίσκονται σε μακρινές αποστάσεις. Η μεγάλη διάρκεια ζωής έχει εξασφαλιστεί με την ενσωμάτωση στις καλλιεργούμενες ποικιλίες και υβριδίων γόνων ανωριμότητας (non ripening genes). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ποιότητα των παραγομένων καρπών ενώ έχει άριστα χαρακτηριστικά όσον αφορά το σχήμα, το χρώμα, τη συνεκτικότητα, την ομοιομορφία, εν τούτοις, υστερεί όσον αφορά τη γεύση, το άρωμα και γενικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Καταβάλλονται, βέβαια, προσπάθειες από τους βελτιωτές, να επιλεγούν υβρίδια με βελτιωμένα και αυτά τα χαρακτηριστικά (Ολύμπιος, 2001).

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι με τη γενετική βελτίωση έχουν επιτευχθεί και σημαντικές αλλαγές στη μορφολογία του άνθους. Έτσι επιλέχτηκαν άνθη που από μακρόστυλα έγιναν κοντόστυλα, τα οποία εξυπηρετούν την αυτογονιμοποίηση και ευνοούν την καρπόδεση στα θερμοκήπια, όπου, ως γνωστόν, απουσιάζουν ο αέρας και τα έντομα (Ολύμπιος, 2001).

Η χρήση υβριδίων (F1) θα αυξηθεί, γιατί παρουσιάζουν πλεονεκτήματα. Μάλιστα, η μέθοδος της καλλιέργειας κυττάρων και η δυνατότητα υβριδισμού με ένωση κυττάρων (πρωτοπλαστών) φαίνεται να είναι προσιτή και να ανοίγει καινούργιες προοπτικές για βελτίωση στην τομάτα. Επίσης, γίνονται προσπάθειες να διαλευκανθεί η γενετική εξάρτηση του παράγοντα άρωμα, ο έλεγχος και η χρήση του για βελτίωση της ποιότητας. Πολύ κοντά στην πραγματοποίηση βρίσκεται η δημιουργία παρθενοκαρπικών υβριδίων, με όλα τα γνωστά πλεονεκτήματα για καλλιέργεια στα θερμοκήπια (Ολύμπιος, 2001).

Τα πλεονεκτήματα των υβριδίων για καλλιέργεια τομάτας σε εμπορική κλίμακα ήταν τόσο μεγάλα που πολύ σύντομα επεκράτησαν ολοκληρωτικά. Με την επικράτηση των υβριδίων δημιουργήθηκαν και ορισμένα προβλήματα. Λόγω του ότι με τον υβριδισμό επιδιώχθηκε κυρίως βελτίωση των καλλιεργητικών και εμπορικών χαρακτηριστικών της τομάτας, τα εξαίρετα ποιοτικά χαρακτηριστικά μπήκαν σε δεύτερη μοίρα και δεν είναι λίγοι εκείνοι που υποστηρίζουν ότι τα υβρίδια γενικά υστερούν στο άρωμα και στη γεύση των καρπών. Παράλληλα, οι καλλιεργητές έχασαν τη δυνατότητα να κρατάνε σπόρο από την καλλιέργεια τους για την επόμενη χρονιά. Θα πρέπει κάθε χρόνο να αγοράζουν νέο σπόρο, γιατί ο σπόρος από τις τομάτες υβριδίων δεν δίνει ποτέ ίδια φυτά και καρπούς (ετεροζυγωτία, όχι σταθερότητα) (Γιαννοπολίτης, 2007).

2.4 Βοτανικοί χαρακτήρες

2.4.1 Φυτό

Ποώδες, ετήσιο, διετές και σπανιότερα πολυετές.

2.4.2 Ρίζα

Το φυτό της τομάτας αναπτύσσει ευδιάκριτη κεντρική ρίζα, αρκετές δευτερεύουσες και ριζικά τριχίδια, όταν ο σπόρος σπέρνεται απευθείας στη μόνιμη θέση. Επειδή όμως, κατά κανόνα τουλάχιστον, στην καλλιέργεια στο θερμοκήπιο η τομάτα μεταφυτεύεται μια ή περισσότερες φορές, η κεντρική ρίζα κόβεται, καταστρέφεται και το φυτό αρχίζει να παράγει με "ευκολία" πολλές δευτερεύουσες πλευρικές ρίζες, ακόμη και από το λαιμό του φυτού, γεγονός που θεωρείται πλεονέκτημα, γιατί διευκολύνει τη μεταφύτευση του φυτού, ακόμη και με γυμνή ρίζα ή μπάλα χώματος, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτή είναι και η ενδεδειγμένη τεχνική της καλλιέργειας της τομάτας. Η τομάτα θεωρείται φυτό που μεταφυτεύεται εύκολα, γιατί γρήγορα παράγει νέες ρίζες και το τραυματισμένο ριζικό σύστημα απορροφά νερό και θρεπτικά στοιχεία, που του επιτρέπουν να αναλάβει γρήγορα από τη μεταφυτευτική διαταραχή. Τοποθέτηση βρεγμένης τύρφης ή χώματος στο κάτω μέρος του βλαστού κοντά στην επιφάνεια του εδάφους προκαλεί την ανάπτυξη δευτερογενών ριζών σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το γεγονός ότι το φυτό εύκολα παράγει νέες ρίζες από το λαιμό του βοηθά στη διαπίστωση των συνθηκών κάτω από τις οποίες ζει και αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα, π.χ. εάν παρατηρηθούν εξογκώματα ή εναέριες ρίζες στην περιοχή του λαιμού του φυτού, εμβάλλει σε υποψία ότι η κατάσταση στο ριζόστρωμα είναι προβληματική, π.χ. κακός αερισμός (έλλειψη O_2) λόγω υπερβολικής υγρασίας, συμπίεσης εδάφους, κ.α. (Ολύμπιος, 2001).

2.4.3 Βλαστός

Κατά το φύτρωμα και μετά την οριζοντιοποίηση των κοτυληδονόφυλλων από το αρχέφυτρο που βρίσκεται μεταξύ τους, και που μπορεί να το δει κανείς σε τομή στο μικροσκόπιο, παράγεται ο κεντρικός βλαστός. Ο κεντρικός βλαστός φέρει τα πραγματικά φύλλα, στις μασχάλες των οποίων υπάρχουν οφθαλμοί που δίνουν πλευρικούς βλαστούς. Η τομάτα έχει την τάση να σχηματίζει πολλούς βλαστούς. Πολλές φορές, οι πλευρικοί βλαστοί που βρίσκονται κοντά στην κορυφή του φυτού, είναι τόσο ζωηροί, που με δυσκολία μπορεί κανείς να ξεχωρίσει ποιος είναι ο κεντρικός βλαστός και ποιος ο πλευρικός. Είναι σημαντικό κατά το κλάδεμα να μπορεί να ξεχωρίσει ο χειριστής, τον κεντρικό από τον πλευρικό βλαστό. Το σχήμα του βλαστού είναι κυλινδρικό και εσωτερικά είναι πλήρης. Σε μερικές περιπτώσεις ο βλαστός εμφανίζεται με κενό στο εσωτερικό του, κατάσταση που δεν είναι φυσιολογική. Μεταξύ των αιτιών που προκαλούν "κούφωμα" του βλαστού στην τομάτα είναι η προσβολή από βακτήρια. Ο βλαστός στο πρώτο στάδιο της ανάπτυξης του ή, καλύτερα, αμέσως κάτω από το αρχέφυτρο, είναι τρυφερός, εύθραυστος, χυμώδης, μαλακός, αργότερα όμως γίνεται σταδιακά πιο σκληρός, αποκτά μηχανική αντοχή, χωρίς να ξυλοποιείται και είναι σχετικά εύθραυστος. Η ανάπτυξη του βλαστού, όσον αφορά το μήκος, καθορίζεται από γενετικούς παράγοντες και διακρίνονται ποικιλίες με απεριόριστη ανάπτυξη βλαστών ή με καθορισμένο μήκος. Αυτό το γεγονός είναι πιο έντονο, όταν κλαδεύεται η τομάτα σε μονοστέλεχο σύστημα (αφαίρεση πλαγίων), οπότε, στην πρώτη περίπτωση το μήκος του κεντρικού Βλαστού μπορεί να φθάσει και 10 ή περισσότερα μέτρα (Ολύμπιος, 2001).

2.4.4 Φύλλα

Τα πραγματικά φύλλα της τομάτας είναι σύνθετα. Κάθε φύλλο αποτελείται από ζεύγη φυλλαρίων και παραφύλλων, με ένα μόνο φυλλάριο στην άκρη. Ο αριθμός των ζευγών φυλλαρίων σε κάθε φύλλο ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία, και από τη θέση του φύλλου επί του βλαστού. Είναι δυνατόν να απαντηθούν ποικιλίες με 3, 4 ή 5 ζεύγη φυλλαρίων (Εικόνα 7). Τα πρώτα πραγματικά φύλλα μιας συγκεκριμένης ποικιλίας, έχουν μικρότερο αριθμό ζευγών. Εκτός από τον αριθμό των ζευγών και το μέγεθος των φύλλων (μήκος πλάτος), που είναι χαρακτηριστικό της κάθε ποικιλίας, επηρεάζεται και από τις συνθήκες καλλιέργειας. Συνήθως, οι μεγαλόκαρπες ποικιλίες έχουν πιο μακριά και πιο πλατιά φύλλα, ενώ στις μικρόκαρπες ποικιλίες οι διαστάσεις των φύλλων είναι μικρότερες. Το μέγεθος των φύλλων της ποικιλίας που θα καλλιεργηθεί θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καθορισμό των αποστάσεων φύτευσης των φυτών στο θερμοκήπιο. Τα φύλλα εμφανίζονται σε ελικοειδή διάταξη πάνω στο βλαστό. Η επάνω επιφάνεια των φύλλων έχει χρώμα λαμπερό βαθύ πράσινο και η κάτω ελαιώδες ανοικτό πράσινο.

2.4.5 Άνθη-Ταξιανθία

Τα άνθη της τομάτας εμφανίζονται σε ταξιανθίες από 2-3/ταξιανθία μέχρι 20 ή και περισσότερα. Ένας μέσος επιθυμητός αριθμός ανθέων ανά ταξιανθία που θα εξελιχθεί σε καρπούς είναι 6-8 άνθη. Οι ταξιανθίες εμφανίζονται επί των βλαστών του φυτού και διακλαδίζονται συμμετρικά ή ασύμμετρα, ανάλογα με την ποικιλία. Στο άκρο κάθε διακλάδωσης υπάρχει και ένα άνθος. Το άνθος φέρει πράσινο δερματώδη κάλυκα, που αποτελείται από 5 ή περισσότερα σέπαλα, στεφάνη κίτρινη με 5 ή περισσότερα ενωμένα πέταλα και 5 ή περισσότερους στήμονες, ενωμένους στη βάση τους με τη στεφάνη και ενωμένους κατά μήκος μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν κώνο γύρω από το στύλο, που είναι συνήθως πιο κοντός, εγκλωβισμένος από τους ανθήρες (Εικόνα 8). Η ωοθήκη είναι πολύχωρη (2-7 ή και περισσότερους χώρους) και κάθε χώρος έχει πολλά ωάρια.

2.4.6 Καρπός

Ο καρπός της τομάτας είναι πολύχωρος ράγα, με ποικίλα σχήματα. Ο καρπός ποικιλιών με δύο χωρίσματα (χώρους) είναι συνήθως στρογγυλός, ενώ αυτών με 3, 4, 5 ή περισσότερα χωρίσματα είναι πεπλατυσμένος και πιθανόν ακανόνιστος (Εικ. 9) (Ολύμπιος, 2001).

2.4.7.Σπόρος

Είναι ωοειδής, πεπλατυσμένος, χρώματος κίτρινο-καφέ χρυσαφένιο και η επιφάνεια του καλύπτεται με τριχοειδείς αποφύσεις, που του δίνουν μεταξώδη επιφάνεια (διαφορά από μελιτζάνα και πιπεριά) (Εικόνα 10). Το μέγεθος των σπόρων είναι μικρό, διαμέτρου 3-5 χλστ. Εσωτερικά ο σπόρος φέρει ένα κυρτό (σπειροειδές) έμβρυο, που περιβάλλεται από ένα μικρό ενδοσπέρμιο.

Ο σπόρος της τομάτας διατηρεί υπό κανονικές συνθήκες αποθήκευσης τη βλαστικότητά του για τουλάχιστον 4 χρόνια μετά τη συγκομιδή του, εάν όμως αποθηκευτεί σε χαμηλή θερμοκρασία και με χαμηλή περιεκτικότητα των σπόρων σε υγρασία, εύκολα διατηρεί τη βλαστικότητά του πάνω από 10 χρόνια. Ένα γραμμάριο "σπόρου" έχει 450 περίπου σπέρματα (Ολύμπιος, 2001).

2.5 Πολλαπλασιασμός τομάτας

Η τομάτα πολλαπλασιάζεται με σπόρο. Είναι επιβεβλημένο ο σπόρος πριν από την αποθήκευση ή πριν από τη σπορά να έχει απολυμανθεί ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών και παθογόνων δια του σπόρου.

2.6 Θρέψη και λίπανση της τομάτας

Η λίπανση της τομάτας αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καλλιεργητικές φροντίδες από μέρους των παραγωγών για την ανάπτυξη των φυτών και την ποιοτική και ποσοτική βελτίωση των αποδόσεων τους, καθώς και για την διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους. Το πρόβλημα της λίπανσης σήμερα επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν στο έδαφος για την κάλυψη των αναγκών των φυτών, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος, την αειφορία του εδάφους και το εισόδημα του παραγωγού (Τσαπικούνης, 1997).

2.6.1 Ο ρόλος του αζώτου

Μεγάλες αποδόσεις καρπών επιτυγχάνονται με σχετικά μεσαίες δόσεις αζώτου τόσο σε θερμοκηπιακές όσο και σε υπαίθριες καλλιέργειες τομάτας. Ειδικότερα, οι Τσικαλάς και Μανιός (1985) σε πείραμα που πραγματοποίησαν σε θερμοκηπιακή τομάτα, ανέφεραν ότι η μέγιστη παραγωγή επετεύχθη με χορήγηση 200 ppm N ενώ η αύξηση της συγκέντρωσης του σε 350 ppm, δεν επέφερε καμία ουσιαστική αύξηση στην παραγωγή. Η αύξηση της παραγωγής με τη χορήγηση αζώτου οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των συγκομισμένων καρπών και όχι στην αύξηση του βάρους των καρπών (Παναγιωτόπουλος, 1995α). Με τη χορήγηση μεγάλων δόσεων αζώτου, παρατείνεται η άνθηση και μειώνεται η καρπόδεση (Μπενάτος, 1994). Μικρές ποσότητες καλίου και μέση συγκέντρωση αζώτου προκαλεί το σχηματισμό μεγάλων καρπών, αλλά μειωμένης ποιότητας (Ολύμπιος, 2001).

Το άζωτο έχει πολύπλοκη δράση στο χρωματισμό του καρπού κατά την ωρίμανση. Ειδικότερα, το ποσοστό των καρπών τομάτας που παρουσιάζει ανομοιόμορφο χρωματισμό, είναι υψηλό σε μέσα επίπεδα αζώτου και μειώνεται όταν η ανάπτυξη των φυτών είναι μικρή από έλλειψη αζώτου, ή όταν η παραγωγή είναι μειωμένη από υπερβολική χορήγηση αζώτου (Παναγιωτόπουλος, 1995β). Ιδιαίτερα στις υπαίθριες καλλιέργειες η υπερβολική αζωτούχος λίπανση οδηγεί σε οψίμιση και κλιμάκωση της ωρίμανσης των καρπών, οι οποίοι γίνονται λιγότερο συνεκτικοί και ακατάλληλοι για μεταφορές. Η σωστή αζωτούχος λίπανση αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην περίπτωση της μηχανικής συγκομιδής σε καλλιέργειες βιομηχανικής τομάτας γιατί τότε επιζητείται σχεδόν ταυτόχρονη ωρίμανση των καρπών και σχηματισμός μικρόσωμων φυτών (Μπενάτος, 1994).

2.6.2 Ο ρόλος του φωσφόρου

Η αντίδραση της τομάτας στα χορηγούμενα λιπάσματα φωσφόρου εξαρτάται κυρίως από τα υπάρχοντα στο έδαφος σε διαθέσιμη μορφή ποσά φωσφόρου, την παρουσία οργανικής ουσίας και το pH του εδάφους. Η χορήγηση P σε συνθήκες έλλειψης οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης του φυτού (Groot *et al*., 2002). Η βλάστηση και η καρποφορία φυτών τομάτας εξαρτώνται άμεσα από τον επαρκή εφοδιασμό τους με φωσφόρο (Passam *et al*., 2007). Ειδικότερα, ο φωσφόρος επιταχύνει την αύξηση του ριζικού συστήματος, γι' αυτό κατά τη μεταφύτευση των νεαρών σποροφύτων ο εφοδιασμός τους με φωσφόρο θα πρέπει να είναι ικανοποιητικός (Παναγιωτόπουλος, 1995α). Ο εμπλουτισμός άλλωστε του φυλλώματος με P στα θερμοκήπια σύμφωνα με τους Chapagain και Wiesman (2004) προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης του K του P, του Mg και του Fe στα φύλλα, επιταχύνει τη διαδικασία της ωρίμανσης και επιδρά θετικά στην βλάστηση και την παραγωγή. Έλλειψη P επιδρά αρνητικά στη φωτοσύνθεση (Groot *et al*., 2001) και παράλληλα προκαλεί μείωση τη συγκέντρωσης του N στα φύλλα λόγω μείωσης των επιπέδων της κυτοκινίνης (Groot *et al*., 2002).

Η επίδραση του P στην αναπαραγωγή της τομάτας είναι επίσης σημαντική. Η ποιότητα και η ποσότητα επηρεάζεται θετικά από την αύξηση του P (Pouton *et al*., 2001). Παράλληλα αυξημένη τιμή του P μειώνει και τις αρνητικές επιδράσεις που προκαλεί η αυξημένη συγκέντρωση Co (Chatterjee and Chatterjee, 2002) και Zn (Kaya and Higgs, 2002). Επίσης, η σωστή φωσφορική λίπανση είναι πολύ σημαντική στην περίπτωση της μηχανικής συγκομιδής όπου επιζητείται σχεδόν ταυτόχρονη ωρίμανση των καρπών τομάτας (Μπενάτος *et al*., 1994). Αυξημένες δόσεις φωσφόρου όμως συμβάλλουν στην αύξηση του ποσοστού των καρπών τομάτας που παρουσιάζει ανομοιόμορφο χρωματισμό κατά την ωρίμανση τους, καθώς και στην υποβάθμιση της ποιότητας τους.

2.6.3 Ο ρόλος του καλίου

Οι απαιτήσεις της τομάτας σε κάλιο παρουσιάζονται ιδιαίτερα αυξημένες οφειλόμενες στην ταχύτατη ανάπτυξη του φυτού σε συνδυασμό με το αυξημένο φορτίο παραγωγής (Chapagain and Wiesman, 2004). Η ανάπτυξη μηχανισμών άμυνας για την αντιμετώπιση προβλημάτων λόγω έλλειψης Κ στο περιβάλλον των ριζών είναι χαρακτηριστική στην περίπτωση της τομάτας (Chen and Gabelman, 2000; Rubio *et al.*, 2006) μηχανισμοί οι οποίοι ελέγχονται από συγκεκριμένα γονίδια τα οποία εκφράζονται κάτω από αυτές τις συνθήκες (Wang *et al.*, 2002). Προσθήκη ακόμη NaCl δύναται να επιφέρει αποκατάσταση των προβλημάτων που προκαλεί η έλλειψη Κ στην ανάπτυξη φυτών τομάτας (Walker *et al.*, 2000).

Είναι γνωστό ότι μεγάλες αποδόσεις καρπών επιτυγχάνονται με σχετικά μεσαίες δόσεις καλίου (100-120 ppm) (Lingle *et al.*, 1969). Η χορήγηση μέσων ποσοτήτων καλίου μπορεί να οδηγήσει σε μέγιστη παραγωγή, όμως οι καρποί είναι μέτριοι ποιοτικά (χρωματισμός-γεύση). Συγκέντρωση μεγαλύτερων ποσοτήτων καλίου (200-300 ppm) έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση τους από τα φυτά, με συνέπεια τη βελτίωση όλων των παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα των καρπών. Συγκεκριμένα, η αυξημένη χορήγηση καλίου αυξάνει την ολική οξύτητα του χυμού και τα σάκχαρα των καρπών (Lacatus *et al.*, 1994), μειώνει το ποσοστό των καρπών με ανομοιόμορφο χρωματισμό και καλυτερεύει το σχήμα και τη συνεκτικότητα τους.

2.6.4 Ο ρόλος του ασβεστίου

Πρόσφατες έρευνες έχουν αποκαλύψει ότι η έλλειψη ασβεστίου αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης των φυτών τομάτας (del Amor and Marcelis, 2006). Επίσης, η ανεπαρκής χορήγηση ασβεστίου μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση της ξηρής σήψης της κορυφής (Blossom end rot, BER) (Εικόνα 11) που εμφανίζεται στους καρπούς της τομάτας, μειώνοντας έτσι την ποιότητα τους (Ho *et al.*, 1993; Grattan and Grieve., 1999). Προκαλείται από τοπική έλλειψη ασβεστίου στους καρπούς γεγονός ικανό να διαταράξει τη δομή των κυττάρων στο σημείο αυτό.

Είναι μια φυσιολογική ανωμαλία η οποία, επηρεάζεται από τις συγκεντρώσεις Ca, P, K, Mg, από αλατούχα ή υδατικά στρες από τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου στη ρίζα, από τη σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα (Ho *et al.*, 1993, Saure 2001, Navarro *et al.*, 2005). Εξαιτίας των τόσων παραγόντων που υπεισέρχονται στην αιτιολόγηση του φαινόμενου της ξηρής σήψης κορυφής ακριβή κριτική συγκέντρωση ασβεστίου συσχετιζόμενη με την εμφάνιση ή μη του φαινομένου αυτή είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Ο ψεκασμός με ασβέστιο νεαρών καρπών δύναται σύμφωνα με τους Ho and White (2005) να αποτρέψει την εκδήλωση του φαινομένου αυτού.

Εικόνα 12: Καρπός τομάτας με ξηρή σήψη κορυφής (BER) οφειλόμενη σε τοπική ανεπάρκεια ασβεστίου στο κορυφαίο τμήμα του καρπού.

2.6.5 Ο ρόλος του μαγνησίου

Ανεπαρκής εφοδιασμός του εδάφους με μαγνήσιο μπορεί να επιφέρει μείωση στην ανάπτυξη και την παραγωγή της τομάτας. Αντίθετα, η χορήγηση μαγνησίου βελτιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών (ομοιόμορφο χρωματισμό, καλό σχήμα κλπ.) (Παναγιωτόπουλος, 1995α). Σύμφωνα με τον Adams (2002) συγκέντρωση Mg περίπου 4 mM στην περιοχή της ρίζας τοματών ανεπτυγμένων σε

NFT οδήγησαν σε εκδήλωση τροφοπενιακών συμπτωμάτων ενώ συγκέντρωση 6 mM διατήρησε τα φυτά σε υγιεινή κατάσταση. Παρόμοια αποτελέσματα είχε και η καλλιέργεια τομάτας σε πετροβάμβακα (Hao and Papadopoulos, 2003,2004)

2.6.6 Ο ρόλος του βορίου

Τροφοπενία βορίου στην τομάτα επηρεάζει τη σύνθεση των υδατανθράκων και την εξέλιξη των οργάνων καρποφορίας (Σάββας, 2012).

2.6.7 Ο ρόλος του σιδήρου

Τροφοπενία σιδήρου είναι το πιο συχνό πρόβλημα θρέψης που παρουσιάζεται σε καλλιέργεια τομάτας όταν τα επίπεδα του pH στην περιοχή των ριζών είναι πολύ υψηλά κάτι που δεν εμφανίζεται σε pH από 6-7 (Islam *et al*., 1980; Akl *et al*., 2003) Ωστόσο χορήγηση αμμωνιακού αζώτου δίνεται να προκαλέσει μείωση της εμφάνισης χλωρωτικών συμπτωμάτων ειδικά σε υδροπονικές καλλιέργειες (Sonneveld, 2002). Χορήγηση χηλικού σιδήρου μέσω της άρδευσης ή με ψεκασμό φυλλώματος είναι ένας ακόμη αποτελεσματικός τρόπος για την αντιμετώπιση της τροφοπενίας σιδήρου (Fernandez and Ebert, 2005; He *et al*., 2005).

Χορήγηση χηλικού σιδήρου μέσω της άρδευσης ή με ψεκασμό φυλλώματος είναι ένας ακόμη αποτελεσματικός τρόπος για την αντιμετώπιση της τροφοπενίας σιδήρου (Fernandez and Ebert, 2005; He *et al*., 2005).

Εικόνα 13: Τροφοπενία σιδήρου σε φύλλα τομάτας.

2.6.8 Ο ρόλος του ψευδαργύρου

Μια αρίστη συγκέντρωση ψευδαργύρου στα φύλλα της τομάτας θεωρείται αυτή μεταξύ των 20 και 250 mg ανά kg (Mills & Joens, 1996). Τοξικότητα ψευδαργύρου στην τομάτα μπορεί να προκληθεί από ψεκασμό φυλλώματος με φώσφορο και Fe (Kaya and Higgs, 2002)

2.6.9 Ο ρόλος του χαλκού

Η τομάτα θεωρείται ιδιαίτερα ευαίσθητη στα χαμηλά pH στο περιβάλλον των ριζών (Akl *et al.*, 2003) η οποία εν μέρη μπορεί να αποδοθεί σε τοξικότητα χαλκού (Chaignon *et al.*, 2002) Συγκέντρωση χαλκού υψηλότερη από 5mg/l προκάλεσε μείωση της ανάπτυξης των ριζών σε κλειστό υδροπονικό σύστημα NFT. Επιπρόσθετα τοξικότητα χαλκού οδηγεί σε μείωση απορρόφησης σιδήρου από την τομάτα και την εκδήλωση εμφάνισης τροφοπενίας (Bergman, 1988).

2.6.10 Ο ρόλος του μαγγανίου

Η έλλειψη μαγγανίου προκαλεί διαταραχή θρέψης σε καλλιέργεια τομάτας. Υψηλή η χαμηλή συγκέντρωση στο περιβάλλον των ριζών περιορίζει την ανάπτυξη των φυτών της τομάτας (Shenker *et al.*, 2004) συμφώνα με τους Mils και Jones (1996) μια ασφαλή συγκέντρωση μαγγανίου στα φύλλα για την μη εκδήλωση τροφοπενιακών ή τοξικών φαινομένων θεωρείται αυτή των 250 mg ανά kg

2.8 Η καλλιέργεια της τομάτας στον κόσμο

Σήμερα η καλλιέργεια της τομάτας εκτείνεται από τις τροπικές περιοχές μέχρι και μερικές μοίρες από τον αρκτικό κύκλο και στις μεν περιοχές όπου η διάρκεια της θερμής περιόδου το επιτρέπει, η τομάτα καλλιεργείται στο ύπαιθρο, ενώ σε άλλες περιοχές και σε περιόδους "εκτός εποχής" καλλιεργείται σε θερμοκήπια και άλλες κατασκευές υπό προστασία. Η μορφή καλλιέργειας της τομάτας ποικίλει από την εκτατική (μεγάλες εκτάσεις σε γραμμική καλλιέργεια πλήρως μηχανοποιημένη, με εφάπαξ συγκομιδή με μηχανικά μέσα), έως την εντατική (καλλιέργεια σε θερμοκήπια, υποστύλωση, κλάδεμα, επαναλαμβανόμενη συγκομιδή με το χέρι κ.λπ.).

Η τομάτα είναι ένα από τα πιο εμπορικά οπωροκηπευτικά, αφού περιλαμβάνεται στα πέντε πρώτα σε διακινούμενες ποσότητες κατέχοντας μάλιστα τη δεύτερη θέση μετά τις μπανάνες, στο παγκόσμιο εμπόριο οπωροκηπευτικών. Συγκεκριμένα, με βάση τα στοιχεία 2002-2004, οι μπανάνες κατέχουν ένα μερίδιο γύρω στο 13% της παγκόσμιας αγοράς οπωροκηπευτικών και οι τομάτες ένα μερίδιο 8%, ενώ ακολουθούν τα μήλα (7,5%), τα σταφύλια (7,5%) και τα πορτοκάλια (5%). Οι τομάτες και τα σταφύλια έχουν τα τελευταία 20 χρόνια αυξήσει ελαφρά το μερίδιο τους, ενώ οι μπανάνες, τα μήλα και ιδιαίτερα τα πορτοκάλια έχουν χάσει έδαφος.

Την τελευταία 20ετία η παγκόσμια παραγωγή τομάτας διπλασιάσθηκε, όπως αναφέρθηκε. Τη μεγαλύτερη αύξηση είχε η Κίνα (από 6 εκατομμύρια τόνους το 1982-84 σε 28 εκατομμύρια τόνους το 2002-04), η οποία σήμερα κατέχει την πρώτη θέση από άποψη παραγωγής. Η Ευρωπαϊκή Ένωση των 15, που μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 κατείχε την πρώτη θέση, βρίσκεται τώρα στη δεύτερη θέση. Στις πέντε πρώτες χώρες από άποψη παραγωγής περιλαμβάνονται επίσης οι ΗΠΑ, η Τουρκία και η Ινδία.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ελλάδα καταλαμβάνει μια καλή θέση όσον αφορά την ετήσια παραγωγή τομάτας (επιτραπέζιας και βιομηχανικής). Με μέση ετήσια παραγωγή σταθερά γύρω στους δύο εκατομμύρια τόνους έρχεται τρίτη, αν και με σημαντική διαφορά μετά την Ιταλία και την Ισπανία Στην παραγωγή επιτραπέζιας τομάτας, την πρώτη θέση κατέχει η Ισπανία και ακολουθεί η Ιταλία, ενώ η Ελλάδα βρίσκεται και εδώ στην τρίτη θέση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ισπανία πραγματοποιεί σημαντικές εξαγωγές τομάτας και κυριαρχεί στις ευρωπαϊκές αγορές νωπών οπωροκηπευτικών. Σημαντικές εξαγωγές επιτραπέζιας τομάτας κάνει και η Ολλανδία. Εξαγωγικές, έστω και με μικρότερες ποσότητες, είναι επίσης η Ιταλία, το Βέλγιο - Λουξεμβούργο και η Γαλλία, αλλά όχι η Ελλάδα. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την ιδιαίτερα υψηλή κατανάλωση νωπής τομάτας στην Ελλάδα η οποία είναι ετησίως 60-80 χγρ/κάτοικο ενώ δεν υπερβαίνει τα 10-20 χγρ/κάτοικο στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες. Έτσι, η Ελλάδα έχει αυξημένες απαιτήσεις επιτραπέζιας τομάτας σε σύγκριση με τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες γι’ αυτό το παραγόμενο προϊόν διατίθεται στην εσωτερική αγορά, συνήθως σε καλές τιμές, οι πραγματοποιούμενες εξαγωγές είναι ασήμαντες ενώ γίνονται και κάποιες εισαγωγές ιδιαίτερα σε εναλλακτικούς τύπους τομάτας (κερασοτομάτες, μικρόκαρπες κ.λπ.) για τις οποίες δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία. Στην παραγωγή βιομηχανικής τομάτας, την πρώτη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατέχει η Ιταλία και τη δεύτερη η Ισπανία. Ακολουθεί η Ελλάδα με την Πορτογαλία και η Γαλλία. Η παραγωγή βιομηχανικής τομάτας στη χώρα μας, μετά μια ελαφρά αυξητική πορεία την περίοδο 1995-2000, παρουσιάζει στη συνέχεια πτωτική πορεία σε αντίθεση με άλλες χώρες στις οποίες παρατηρείται εντυπωσιακή αύξηση της παραγωγής. Έτσι, παίρνοντας σαν βάση την περίοδο 1978/79, είχαμε το 2005/06 στην Ελλάδα 83%, στην Ισπανία 486%, στην Ιταλία 239% και στην Τουρκία 361% (στοιχεία από το World Processing Tomato Council) (Γιαννοπολίτης, 2007).

Στην Ελλάδα η τομάτα καταλαμβάνει την πρώτη θέση ανάμεσα σε όλα τα καλλιεργούμενα λαχανικά, τόσο σε έκταση όσο και σε παραγωγή. Όπως σε όλες σχεδόν τις μεσογειακές χώρες, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής τομάτας προέρχεται από υπαίθριες καλλιέργειες. Από το σύνολο της καλλιεργούμενης στην Ελλάδα για παραγωγή νωπών καρπών τομάτας εκτιμάται ότι το 8-10% περίπου αντιστοιχεί σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, στην Ελλάδα το 2005 καλλιεργήθηκαν συνολικά 34.849 στρέμματα με τομάτα θερμοκηπίου, τα οποία έδωσαν συνολική παραγωγή 292.088 τόνους (Σάββας, 2007). Η παραπάνω έκταση κατανέμεται σε 28.392 στρέμματα με τομάτα ως κύρια καλλιέργεια και σε 6.457 στρέμματα στα οποία η τομάτα ήταν δεύτερη καλλιέργεια.

Η επιτραπέζια τομάτα στην Ελλάδα καλλιεργείται ως υπαίθρια σε μια έκταση περίπου 180.000 στρ και δίνει παραγωγή γύρω στους 580.000 τόνους (μέση στρεμματική απόδοση 3,2 τόνοι). Καλλιεργείται επίσης σε περίπου 32.000 στρ στο θερμοκήπιο με ετήσια παραγωγή 320.000 τόνους (μέση στρεμματική απόδοση 10 τόνοι). Η υπαίθρια καλλιέργεια είναι κατανεμημένη σε μικρά συνήθως αγροτεμάχια σ' όλη σχεδόν τη χώρα ενώ κύρια κέντρα θερμοκηπιακής καλλιέργειας είναι η Κρήτη, η ΝΔ Πελοπόννησος, η Πρέβεζα, Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική, Εύβοια κ.ά. Το σύνολο της επιτραπέζιας στη χώρα μας είναι κλασσικοί τύποι μεγάλοκαρπης τομάτας, με τους τύπους μικρόκαρπης τομάτας και κερασοτομάτας να βρίσκονται ακόμα σε ασήμαντες εκτάσεις και σε στάδιο δοκιμών.

Η βιομηχανική τομάτα στην Ελλάδα καλλιεργείται σε μια έκταση περίπου 130.000 στρ (στοιχεία 2005) και δίνει μέση στρεμματική απόδοση 6,5 τόνους προϊόντος. Οι εκτάσεις κατανέμονται κατά 25% στη Βόρεια Ελλάδα (Μακεδονία, Θράκη), κατά 60% στην Κεντρική Ελλάδα (Θεσσαλία, Βοιωτία) και 15% στην Πελοπόννησο. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας με μεταφύτευση έτοιμων σποροφύτων κερδίζει συνεχώς έδαφος (ποσοστό σήμερα 60% περίπου) έναντι της απευθείας σποράς (40%). Το ίδιο ισχύει και με τη μηχανική συγκομιδή (ποσοστό 70%) έναντι της συγκομιδής με το χέρι (30%). Στη χώρα μας υπάρχουν 25 εργοστάσια επεξεργασίας βιομηχανικής τομάτας, εκ των οποίων τα 4 επεξεργάζονται το 60% της παραγωγής (Γιαννοπολίτης, 2007).

2.9 Η υδροπονική καλλιέργεια της τομάτας

Η υδροπονική καλλιέργεια της τομάτας εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία σε πολλές χώρες, ενώ σε ορισμένες χώρες όπως η Ολλανδία αποτελεί σχεδόν την αποκλειστική μέθοδο καλλιέργειας του φυτού αυτού ήδη από την προηγούμενη δεκαετία (de Kreij, 1995). Εκτός από την υποκατάσταση της χημικής απολύμανσης του εδάφους, η υδροπονική καλλιέργεια της τομάτας καθιστά ευκολότερη και αποτελεσματικότερη την ολοκληρωμένη διαχείριση του συστήματος παραγωγής θερμοκήπιο - κλίμα - φυτά, με συνέπεια να συμβάλει σε σημαντικό βαθμό στην βελτίωση της ποιότητας του παραγομένου προϊόντος. Τέλος, η υδροπονική καλλιέργεια της τομάτας, αν εφαρμοσθεί σωστά, μπορεί να δώσει υψηλότερες αποδόσεις και πρωιμότερη παραγωγή κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους (Resh, 1997). Ο μόνος παράγοντας που περιορίζει την εξάπλωση της υδροπονικής καλλιέργειας της τομάτας στην Ελλάδα είναι η έλλειψη τεχνογνωσίας και η ανεπαρκής πληροφόρηση μεταξύ των αγροτών (Σάββας, 2008).

Τα πλέον συχνά χρησιμοποιούμενα υποστρώματα καλλιέργειας της τομάτας στην Ελλάδα είναι ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο κομποστοποιημένος φλοιός της ινδικής καρύδας (γνωστός και ως κοκκοχωμα ή κόκκος ή κοκκοτύρφη). Από τα παραπάνω υποστρώματα, το πλέον διαδεδομένο είναι ο πετροβάμβακας (Σάββας, 2007). Αν και είναι υλικό που εισάγεται, με αποτέλεσμα να έχει σχετικά υψηλό κόστος αγοράς, συχνά προτιμάται γιατί έχει πολύ καλές φυσικές ιδιότητες, με συνέπεια να επιτρέπει την διατήρηση άριστων συνθηκών υγρασίας και αερισμού στο ριζικό περιβάλλον. Πολύ καλά αποτελέσματα δίνει επίσης και η ελαφρόπετρα όταν χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα καλλιεργείς της τομάτας στο θερμοκήπιο (Οικονομάκης, 1995). Τα βιβλιογραφικά δεδομένα που υπάρχουν για την ελαφρόπετρα είναι σχετικά περιορισμένα. Από πειράματα με άλλα καλλιεργούμενα φυτά όμως προέκυψε ότι η καλύτερη κοκκομετρία για την ελαφρόπετρα είναι αυτή των 0-8 mm γιατί διακρίνεται από την πλέον ισόρροπη αναλογία μεταξύ νερού και αέρα (Gizas and Savvas, 2007).

Τα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας της τομάτας είναι τα εξής;

i. Καλλιέργεια σε πλάκες υποστρώματος σταθερού σχήματος (π.χ. πετροβάμβακας) συσκευασμένες σε σάκους,

ii. Καλλιέργεια σε πλάκες υποστρώματος σταθερού σχήματος τοποθετημένες σε κανάλια ή άλλα επιμήκη φυτοδοχεία,
iii. Καλλιέργεια σε σάκους γεμισμένους με κοκκώδη υποστρώματα (π.χ. περλίτης, κόκκος),
iv. Καλλιέργεια σε κανάλια ή άλλα επιμήκη φυτοδοχεία γεμισμένα με κοκκώδη υποστρώματα,
v. Καλλιέργεια σε ατομικά φυτοδοχεία για κάθε φυτό (π.χ. γλάστρες) γεμισμένα με κοκκώδη υποστρώματα, και
vi. Καλλιέργεια σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η συγκριτική μελέτη και αξιολόγηση των υποστρωμάτων υδροπονικής καλλιέργειας που χρησιμοποιούνται στην καλλιεργητική πράξη στην Ελλάδα, όσον αφορά την επίδρασή τους στην ανάπτυξη, τη θρέψη και την παραγωγή καρπών σε μία καλλιέργεια τομάτας. Τα φυτά τομάτας αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα περλίτη, πετροβάμβακα, κόκο και δυο τύπους ελαφρόπετρας με κοκκομετρική σύσταση 0-8 mm και 2-10 mm. Στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας μετρήθηκαν το ύψος και το πλάτος των φύλλων, προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές διαφορές στο βλαστικό στάδιο. Παράλληλα προσδιορίστηκαν και αξιολογήθηκαν τόσο τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, όσο και το συνολικό μέγεθος της παραγωγής καρπών, από τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο κάθε υπόστρωμα. Σε καρπούς με παραπλήσια μορφολογικά χαρακτηριστικά, η μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών και της συνεκτικότητας, έδωσε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των υποστρωμάτων στη γεύση και τη μετασυλλεκτική συμπεριφορά τους αντιστοίχως. Επίσης, για την διερεύνηση της επίδρασης των υποστρωμάτων στη θρεπτική κατάσταση των φυτών, σε μετρήσεις που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις μακροστοιχείων σε δείγματα φύλλων και βλαστών.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, από αρχές Μαρτίου έως και τέλος Ιουλίου του 2012. Το βασικό μέρος του πειράματος εκτελέστηκε σε υαλόφρακτο, πλήρως αυτοματοποιημένο, θερμοκήπιο ενώ παράλληλα έγιναν μετρήσεις στο χώρο του εργαστηρίου, αξιοποιώντας τα κατάλληλα όργανα.

3.1 Εκτέλεση του πειράματος στο θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο περιείχε όλες τις λειτουργίες και τα όργανα, καθιστώντας το σύγχρονο και πλήρως εξοπλισμένο. Η συνολική έκταση του διαμερίσματος που χρησιμοποιήθηκε για το παρόν πείραμα ανέρχεται στα 70 m^2. Το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με σύστημα αυτόματης διαχείρισης του κλίματος, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα, με βάση τις ανάγκες του εν λόγω πειράματος. Διαθέτει αυτόματο αερισμό με το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων και θέρμανση με κυκλοφορία ζεστού νερού εντός σωληνώσεων. Επίσης περιλαμβάνει όργανα μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας και ένταση ακτινοβολίας. Στα παράθυρα και στην είσοδο του θερμοκηπίου είχαν τοποθετηθεί εντομοστεγή δίχτυα για τον έλεγχο των εντόμων (αλευρώδης, αφίδες, τούτα).

3.1.1 Εγκατάσταση καναλιών και υποστρωμάτων

Για την εκτέλεση του πειράματος εφαρμόστηκε υδροπονικό σύστημα ανοιχτού τύπου, με πέντε διαφορετικά υποστρώματα σε σύστημα σάκκου (bag system). Χρησιμοποιήθηκαν 10 κανάλια, μήκους 6 m και πλάτους 35 cm το καθένα. Τα κανάλια τοποθετήθηκαν παράλληλα (Εικόνα 1) με την κλίση του εδάφους, προκειμένου το διάλυμα που απομακρύνεται από τα υποστρώματα (απορροή), να μεταφέρεται χαμηλότερα και στη συνέχεια να απομακρύνεται από το χώρο.

Εικόνα 14: Εγκατάσταση καναλιών για τη μεταφορά του διαλύματος απορροής έξω από το χώρο του θερμοκηπίου.

Μια μέρα πριν τη μεταφύτευση εγκαταστάθηκαν τα υποστρώματα, όπου κάθε κανάλι περιλάμβανε δυο πειραματικά τεμάχια. Το κάθε πειραματικό τεμάχιο αποτελούνταν από τρεις σάκκους του ίδιου υποστρώματος. Η εγκατάσταση των υποστρωμάτων στο θερμοκήπιο έγινε ακολουθώντας το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων. Έτσι τοποθετήθηκαν 60 υποστρώματα περλίτη, πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 0-8, ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 2-10 και κόκκος. Στο κάτω μέρος του κάθε υποστρώματος ανοίχτηκαν σχισμές για την απομάκρυνση της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος. Δυο στην περιοχή του σάκκου ανάμεσα στα φυτά και μια στην άκρη ώστε το διάλυμα να απορρέει και να μην υπάρξει αυξημένη συγκέντρωση αλάτων. Στο πάνω μέρος κάθε υποστρώματος ανοίχτηκαν τρύπες (περίπου 10x10 cm), μια στη μέση και δυο κοντά στα άκρα, για την εγκατάσταση των φυτών.

Εικόνα 15: Εγκατάσταση υποστρωμάτων στο χώρο του θερμοκηπίου.

3.1.2.Παρασκευή και διανομή θρεπτικού διαλύματος

Το θρεπτικό διάλυμα παρασκευάστηκε με βάση το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Στο πείραμα εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές συνταγές θρεπτικών διαλυμάτων, διάλυμα διαβροχής, βλαστικό στάδιο και στάδιο καρποφορίας Ι. Το διάλυμα διαβροχής εφαρμόστηκε στις 14/3/2012 μέχρι κορεσμού των υποστρωμάτων και πριν δημιουργηθούν οπές απορροής στα υποστρώματα, ενώ τα υπόλοιπα μετά τη μεταφύτευση. Αρχικά παρασκευάστηκαν πυκνά διαλύματα και στη συνέχεια γινόταν αραίωση 1/100 με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου για τη δημιουργία του αραιού, το οποίο μεταφέρθηκε σε βαρέλι που συνδέεται με την αντλία. Κατά την παρασκευή του τελικού διαλύματος που θα μοιραζόταν στα φυτά, ήταν απαραίτητη η μέτρηση και η ρύθμιση της αγωγιμότητας (αγωγιμόμετρο τύπου Crison Cm25) και του pH (πεχάμετρο τύπου Crison pH 25) με χρήση πυκνού οξέος (HNO_3) για καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων.

	Διάλυμα διαβροχής		Βλαστικό στάδιο		Στάδιο καρποφορίας I	
E_c	2,8	dS/m	2,6	dS/m	2,65	dS/m
pH opt.	5,6	mmol/l	5,6	mmol/l	5,6	mmol/l
[K]	8,4	mmol/l	7	mmol/l	8,5	mmol/l
[Ca]	11,5	mmol/l	5,1	mmol/l	4,5	mmol/l
[Mg]	5,5	mmol/l	2,4	mmol/l	2,5	mmol/l
[NO_3^-]	17	mmol/l	14,3	mmol/l	14,25	mmol/l
[NH_4]	1	mmol/l	1,5	mmol/l	1,5	mmol/l
[$H_2PO_4^-$]	1,25	mmol/l	1,5	mmol/l	1,5	mmol/l
[Fe]	20	μmol/l	15	μmol/l	15	μmol/l
[Mn]	10	μmol/l	10	μmol/l	10	μmol/l
[Zn]	5	μmol/l	5	μmol/l	6	μmol/l
[Cu]	0,7	μmol/l	0,8	μmol/l	0,8	μmol/l
[B]	40	μmol/l	35	μmol/l	35	μmol/l
[Mo]	0,5	μmol/l	0,5	μmol/l	0,5	μmol/l

Πίνακας 3: Σύσταση θρεπτικών διαλυμάτων διαβροχής, βλαστικό στάδιο και στάδιο καρποφορίας I.

Επιπλέον για τις ανάγκες του υδροπονικού συστήματος χρησιμοποιήθηκαν α) Πίνακας ελέγχου (μοντέλο Schneider CCT15720 IHP), από τον οποίο ελεγχόταν η συχνότητα των αρδεύσεων και η ποσότητα του διαλύματος που πήγαινε στην καλλιέργεια. Για τον ακριβή προσδιορισμό του διαλύματος που δεχόταν κάθε φυτό, προηγήθηκε ογκομέτρηση της ποσότητάς του στους σταλάκτες σε δεδομένο χρόνο (33ml διαλύματος σε 1min). β) Αντλία. Η αντλία παροχής διαλύματος τροφοδοτούσε άμεσα τα φυτά με θρεπτικό διάλυμα. γ) Πλαστικοί σωλήνες και σταλάκτες. Το διάλυμα μεταφερόταν από την αντλία με Φ25 στον κεντρικό σωλήνα τύπου Φ20 και στη συνέχεια διαμοιραζόταν στα κανάλια με σωλήνα μικρότερης διαμέτρου, Φ16. Στη συνέχεια το διάλυμα μεταφέρθηκε στους σταλάκτες με σωλήνα τύπου ‘μακαρόνι’ και παροχή 8 m^3/sec.

Μετά την εγκατάσταση των φυτών της τομάτας στο θερμοκήπιο ξεκίνησε άμεσα το πότισμα μέσω του συστήματος στάγδην άρδευσης. Λόγω του μικρού όγκου του υποστρώματος ανά φυτό, η καλλιέργεια ποτιζόταν αρκετές φορές στη διάρκεια της ημέρας (συνήθως 5-15). Οι ακριβείς ποσότητες νερού που καταναλώνει μία καλλιέργεια τομάτας εξαρτώνται από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Σάββας, 2007).

Εξαιτίας του μικρού όγκου του βαρελιού της αντλίας (200 lit), η πλήρωση του βαρελιού γινόταν τακτικά με τη χρήση υποβρύχιας αντλίας, η οποία μετέφερε θρεπτικό διάλυμα από βαρέλια 190 λίτρων. Αρχικά εφαρμόστηκαν τέσσερα ποτίσματα τη μέρα ενώ κατά τους θερινούς μήνες που οι θερμοκρασίες ήταν αυξημένες και τα φυτά είχαν αναπτυχθεί αρκετά εφαρμόζονταν 14 ποτίσματα τη μέρα των 5 min.

3.1.3 Εγκατάσταση της καλλιέργειας και δειγματοληψίες

Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ήταν το υβρίδιο Primadonna (*Solanum lycopersicum* L., cv. Primadonna F1), προέρχεται από το Ισραήλ και θεωρείται πολύ παραγωγικό. Τα φυτά ήταν εμβολιασμένα (selfgrafted) σε υποκείμενο Maxi-Fort, το οποίο είναι υβρίδιο και ανήκει στο γένος Solanum. Καλλιεργείται πολύ στην Αμερική κυρίως τους θερινούς μήνες και παρουσιάζει αυξημένη ζωηρότητα, ανθεκτικότητα σε Fusarium, σηψηριζίες και σε κάποιες ιώσεις (TMV). Στις 15/3/2012 έγινε η μεταφύτευση 180 φυτών τομάτας, τα οποία είχαν αναπτύξει 6-7 φύλλα. Στον πετροβάμβακα η μεταφύτευση έγινε πρώτα σε κύβο πετροβάμβακα και στη συνέχεια ο κύβος με το φυτό μεταφέρθηκε στο σάκο. Η καλλιέργεια παρέμεινε στο θερμοκήπιο μέχρι τις 20/7/2012.

Εικόνα 16: Μεταφύτευση και υποστύλωση φυτών ποικιλίας Primadonna.

Εικόνα 17: Φυτό τομάτας σε υπόστρωμα κοκοφοίνικα.

Εικόνα 18: Φυτό τομάτας σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας κοκκομετρίας 2-10 mm.

Εικόνα 19: Φυτό τομάτας σε υπόστρωμα ελαφρόπετρας κοκκομετρίας 0-8mm.

Εικόνα 20: Φυτό τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη.


Εικόνα 21: Φυτό τομάτας σε υπόστρωμα πετροβάμβακα.

Μετά τη μεταφύτευση επιλέχθηκαν τυχαία 20 φυτά, ένα από κάθε πειραματικό τεμάχιο, για τη λήψη περαιτέρω συμπερασμάτων μεταξύ των υποστρωμάτων. Κατά την διάρκεια της καλλιέργειας γίνονταν υποστύλωση των φυτών και αφαίρεση των πλάγιων βλαστών, τουλάχιστον μια φορά τη βδομάδα. Το σύστημα μόρφωσης ήταν μονοστέλεχο και διατηρήθηκε μέχρι τη $12^{η}$ ταξικαρπία. Παράλληλα, καθώς τα φυτά αναπτύσσονταν και όταν ωρίμασε η πρώτη ταξιανθία, ξεκίνησε η διαδικασία της αποφύλλωσης, για την απομάκρυνση όλων των φύλλων που βρίσκονταν κάτω από αυτή. Το ίδιο έγινε και για τις επόμενες. Στις πρώτες τρεις επεμβάσεις με τη χρήση ζυγαριάς ακριβείας μετρήθηκαν νωπό βάρος στα σημειωμένα φυτά. Τα δείγματα διατηρήθηκαν τρεις μέρες στους 65 ^{o}C για τη μέτρηση του ξηρού βάρους και του ποσοστού της ξηρής ουσίας. Επίσης στα επιλεγμένα φυτά, όταν βρίσκονταν ακόμα σε αρχικό στάδιο, μετρήθηκε το ύψος και το πλάτος των φύλλων τους.

Για καλύτερη επικονίαση των ανθέων και καρπόδεση γίνονταν δόνηση των ανθοταξιών με δονητή τρεις με τέσσερις φορές την εβδομάδα, σε κάθε άνθος. Από τις 16/5/2012 ξεκίνησε η συγκομιδή των καρπών μέχρι τις 19/7/2012 και γινόταν τρεις φορές τη βδομάδα. Οι καρποί από κάθε πειραματικό τεμάχιο ζυγίζονταν χωριστά σε ζυγαριά ακριβείας, προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση της συνολικής παραγωγής μεταξύ των πέντε υποστρωμάτων. Επιπλέον σε καρπούς που συγκομίστηκαν από όλα τα υποστρώματα μετρήθηκε νωπό και ξηρό βάρος.

Εικόνα 22: Καρποί τομάτας από υπόστρωμα περλίτη σε ζυγαριά ακριβείας.

Εικόνα 23 & 24:
Φυτά τομάτας ποικιλίας Primadonna στα οποία έχει γίνει αποφύλλωση και διατηρήθηκε μονοστέλεχο σύστημα μόρφωσης.

3.1.4 Λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των προσβολών

Κοντά στο ύψος των φυτών τοποθετήθηκαν κίτρινες και μπλε παγίδες για την παρακολούθηση των πληθυσμών αλευρώδη και θρίπα. Τους μήνες Απρίλιο-Μάιο τα φυτά είχαν προσβληθεί από το είδος *trialeurodes vaporariorum*. Ακολούθησε εξαπόλυση ωφέλιμων 500 *macrolophus caliginosus* (KOPPERT) πάνω στα φύλλα και αργότερα έγινε ψεκασμός με το μη διασυστηματικό εντομοκτόνο Oberon (δραστική ουσία: spirimesifen) εναντίον των προνυμφών τους. Επίσης φερομονικές παγίδες τοποθετήθηκαν ανάμεσα στα φυτά για τον έλεγχο του λεπιδοπτέρου *tuta absoluta*. Έντονα συμπτώματα από λυριόμυζα εντοπίστηκαν στα φύλλα κατά τους θερινούς μήνες. Τα ασθενή φύλλα μειώθηκαν με την εφαρμογή 4 gr από το εμπορικό σκεύασμα Trigard (δραστική ουσία: cyromazine) στο θρεπτικό διάλυμα με το οποίο ποτιζόταν τα φυτά (Patakioutas *et al.*, 2007).

Εικόνα 25: Προληπτικά μέτρα για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση εχθρών που εντοπίζονται σε καλλιέργειες τομάτας.

3.2 Μετρήσεις στο εργαστήριο

3.2.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών τομάτας

Στους καρπούς που συγκομίστηκαν στις 2/7/2012 μελετήθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (χρώμα, συνεκτικότητα, ολικά διαλυτά στερεά) στο εργαστήριο προκειμένου να εντοπιστούν διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων. Για κάθε υπόστρωμα επιλέχθηκαν 5-8 καρποί από όλα τα πειραματικά τεμάχια, περίπου στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης.

<u>Χρώμα</u>

Το εξωτερικό χρώμα μετρήθηκε με το χρωματόμετρο Minolta μοντέλο CR 200, που δίνει αριθμητικές τιμές για τρεις παραμέτρους μέτρησης του φωτός L*, a*, b* που αποτελούν καλές προσεγγίσεις των τιμών χ, y, z του διεθνούς συστήματος CIE. Η παράμετρος L* μετρά την φωτεινότητα σε μια κλίμακα από 0 (μαύρο) ως 100 (λευκό), η a* δηλώνει πράσινο χρώμα όταν έχει αρνητικές τιμές και κόκκινο για θετικές τιμές, ενώ η b* όταν έχει αρνητικές τιμές υποδηλώνει μπλε χρώμα ενώ με θετικές τιμές εκφράζεται το κίτρινο.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του οργάνου με μια λευκή πλάκα και στη συνέχεια σε κάθε καρπό γινόταν μια μέτρηση στο κέντρο του. Σε κάθε καρπό γινόταν μια μέτρηση και για κάθε υπόστρωμα σημειώθηκαν 5-8 μετρήσεις, ανάλογα των αριθμό των καρπών που είχαν συλλεχθεί.

<u>Συνεκτικότητα</u>

Η συνεκτικότητα των καρπών μετρήθηκε με επιτραπέζιο πενετρόμετρο Chatillon DFIS 10 προσαρμοσμένο στη βάση Chatillon Tcm 201, που είναι εφοδιασμένο με κωνική ακίδα διαμέτρου 6,3 mm, με ταχύτητα καθόδου της ακίδας 200 mm/min, και μετρά συμπίεση έως 50 N με ακρίβεια 0,1 N. Σε κάθε καρπό γινόταν μια μέτρηση με την ίδια ακίδα να εισέρχεται πλήρως εντός του καρπού κρατώντας τον από το σημείο πρόσφυσης του κάλυκα και το σημείο έκπτυξης του στύλου. Το σύνολο των μετρήσεων σε κάθε υπόστρωμα εξαρτιόταν από τον αριθμό των καρπών που είχαν συλλεχθεί. Όλες οι μετρήσεις έγιναν με τον ίδιο τρόπο, με σκοπό να μειωθούν να πειραματικά λάθη. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως δύναμη (σε μονάδες N) που απαιτείται για τη μετασυλλεκτική διατήρηση του καρπού.

Ολικά διαλυτά στερεά

Ολικά διαλυτά στερεά

Ο προσδιορισμός των διαλυτών στερεών έγινε με διαθλασίμετρο χειρός μοντέλο Schmidt & Haensch HR32B. Οι καρποί από κάθε υπόστρωμα τεμαχίζονταν με ανοξείδωτο μαχαίρι και ακολούθως πολτοποιούνταν με blender και με τη βοήθεια μεταλλικής σπάτουλας μεταφέρονταν μια σταγόνα χυμού στην ειδική υποδοχή του οργάνου. Ακολούθησε καταγραφή με ακρίβεια 0,2 Brix. Για κάθε δείγμα-πολτό σημειώνονταν τέσσερεις μετρήσεις και στο τέλος υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι. Λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας στις μετρήσεις των ολικών διαλυτών στερεών με το διαθλασίμετρο, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (δωματίου, 22^{o}C).

Εικόνα 26: Πολτοποιημένοι καρποί τομάτας για τη μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών.

3.2.2 Χημική ανάλυση σε φύλλα και βλαστούς τομάτας

Στις 20/7/2012, τα σημειωμένα φυτά απομακρύνθηκαν από το χώρο του θερμοκηπίου για τη μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους. Τα δείγματα διατηρήθηκαν στο φούρνο για χημική ανάλυση, προκειμένου να προσδιοριστεί η περιεκτικότητά τους στα εξής στοιχεία: K, Ca, Mg.

Μύλος για το άλεσμα των δειγμάτων

Φύλλα και βλαστοί αλέστηκαν στον μύλο, στον οποίο μπαίνουν τα δείγματα από ένα άνοιγμα στην κορυφή του. Μετά την εισαγωγή του το δείγμα ,αλέθεται λόγω της ύπαρξης λεπίδων στο εσωτερικό του μύλου και αφού περάσει από το κόσκινο που υπάρχει στο κάτω μέρος, συλλέγεται σε πλαστικά σακουλάκια και κλείνεται αεροστεγώς, προκειμένου να μην υπάρξει υψηλή υγρασία. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε κόσκινο με οπές διαμέτρου 0.5mm.

Πυραντήριο

Αρχικά ζυγίστηκαν 0.5 gr αλεσμένου δείγματος και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες κάψες πυραντηρίου. Οι κάψες τοποθετήθηκαν στο πυραντήριο για 8 ώρες στους 500^{o}C. Στην συνέχεια οι κάψες παρέμειναν για 24 ώρες να κρυώσουν μέσα στο πυραντήριο και μετά την εξαγωγή τους προστέθηκαν σε κάθε μια 10ml HCl 1N. Έπειτα και μετά από ανάδευση, έγινε διήθηση όλου του περιεχομένου της κάψας με χρήση διηθητικού φίλτρου και συλλέχθηκαν τα δείγματα σε ογκομετρικές φιάλες των 100ml,φροντίζοντας να ξεπλυθούν καλά οι κάψες με αποσταγμένο νερό. Τέλος αφού συμπληρώθηκαν τα φιαλίδια με αποσταγμένο νερό ως τα 100ml και αναδεύτηκαν, μεταφέρθηκε το περιεχόμενο της κάθε φιάλης σε αριθμημένα 40 πλαστικά φιαλίδια. Μετά από αυτή την διαδικασία έγινε αραίωση 1:100 στα δείγματα, μεταφέρθηκαν σε καινούρια φιαλίδια των 100 ml και ήταν έτοιμα για ανάλυση, με την χρήση του φλογοφωτόμετρου και του οργάνου της ατομικής απορρόφησης.

Εικόνα 17: Εξαγωγή δειγμάτων βλαστού από το πυραντήριο προκειμένου να γίνει χημική ανάλυση.

Φλογοφωτόμετρο

Για να υπολογιστεί η συγκέντρωση των δειγμάτων σε Κ χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο, του οποίου η αρχή λειτουργίας είναι η Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής (Atomic Emission Spectroscopy ή AES). Η Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής χρησιμοποιεί το φάσμα εκπομπής διεγερμένων ατόμων για την ποσοτικοποίηση συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων σε διαλύματα.

Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης

Για τον προσδιορισμό των στοιχείων Ca και Mg, εφαρμόστηκε η τεχνική της Φασματοφωτομετρίας Ατομικής Απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy ή AAS). Στο φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης κάθε φορά επιλέγονταν η κατάλληλη λυχνία με το χαρακτηριστικό μήκος κύματος για το κάθε στοιχείο.

Με την ατομική απορρόφηση γίνεται μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας από τα άτομα που βρίσκονται σε θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση. Οι χρησιμοποιούμενες πηγές ακτινοβολίας είναι ίδιες με το στοιχείο προς ανίχνευση ή/και μέτρηση. Η φλόγα χρησιμοποιείται για τον «καθαρισμό» του δείγματος και την δημιουργία οπτικής επαφής μεταξύ της πηγής της ακτινοβολίας και των στοιχείων προς μέτρηση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

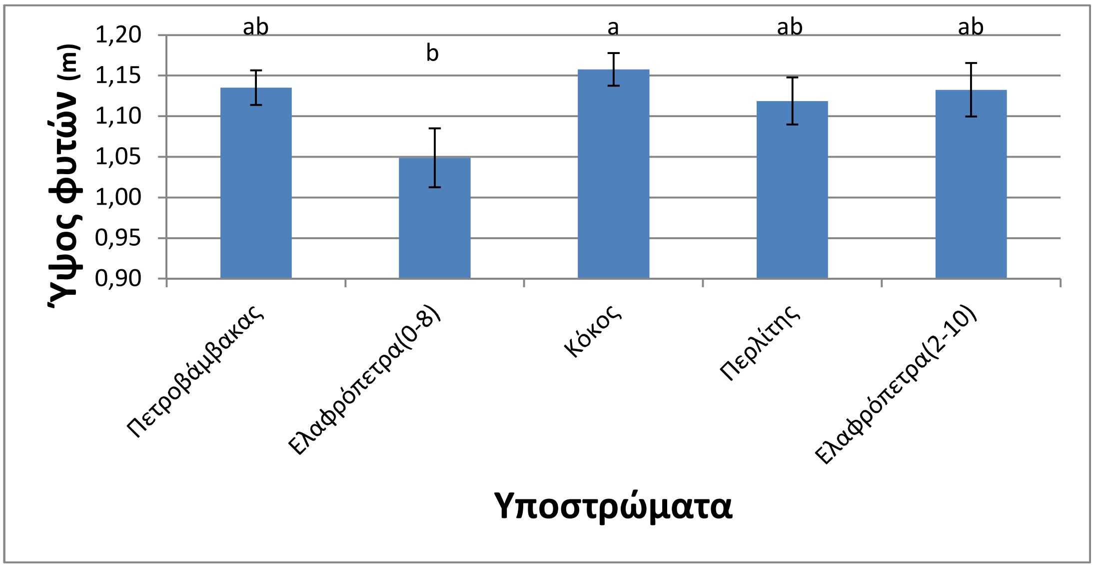
Τόσο για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων, όσο και για την δημιουργία των σχεδιαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης και γραφικών απεικονίσεων STATISTICA. Στα αποτελέσματα εφαρμόστηκε μονοπαραγοντικό εντελώς τυχαιοποιημένο σχέδιο προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση του κάθε υποστρώματος στο υβρίδιο τομάτας. Για τον εντοπισμό πιθανών διαφορών μεταξύ των υποστρωμάτων εφαρμόστηκε το κριτήριο Duncan, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

4.1 Υπολογισμός και σύγκριση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών

Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης επιλέχθηκαν τυχαία κάποια φυτά στα οποία μετρήθηκε το ύψος, η έκταση της φυλλικής επιφάνειας και ο αριθμός των φύλλων, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών. Η κάθε μέτρηση γινόταν σε μια μέρα, προκειμένου να περιοριστούν πιθανές απώλειες και να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια στις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων. Τα φυτά σε μια υδροπονική καλλιέργεια συγκεντρώνουν μεγαλύτερες ποσότητες ύδατος σε σχέση με μια καλλιέργεια εδάφους, εξαιτίας του περιβάλλοντος που αναπτύσσονται οι ρίζες. Στη διάρκεια του πειράματος συγκεντρώθηκαν δείγματα φύλλων και βλαστών από τα επιλεγμένα φυτά, προκειμένου να μετρηθεί νωπό και ξηρό βάρος και στη συνέχεια το ποσοστό (%) της ξηράς ουσίας.

4.1.1 Μέτρηση ύψους

Στις 27/4/2012 μετρήθηκε το ύψος των φυτών, επιλέγοντας δυο φυτά από κάθε πειραματικό τεμάχιο και στη συνέχεια κατανεμήθηκαν με βάση το υπόστρωμα. Οι μετρήσεις μεταφέρθηκαν στο Γράφημα 1, στο οποίο εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στην ελαφρόπετρα με κοκκομετρική σύσταση 0-8, το μέσο ύψος των φυτών ήταν αρκετά χαμηλό σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα. Αντιθέτως ο κόκος παρουσίασε τις μεγαλύτερες στατιστικά τιμές τη δεδομένη στιγμή, με ύψος που ξεπερνούσε τα 1,15 m, καταγράφοντας ένα αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης. Στα υπόλοιπα υποστρώματα τα φυτά σημείωσαν περίπου τις ίδιες τιμές.

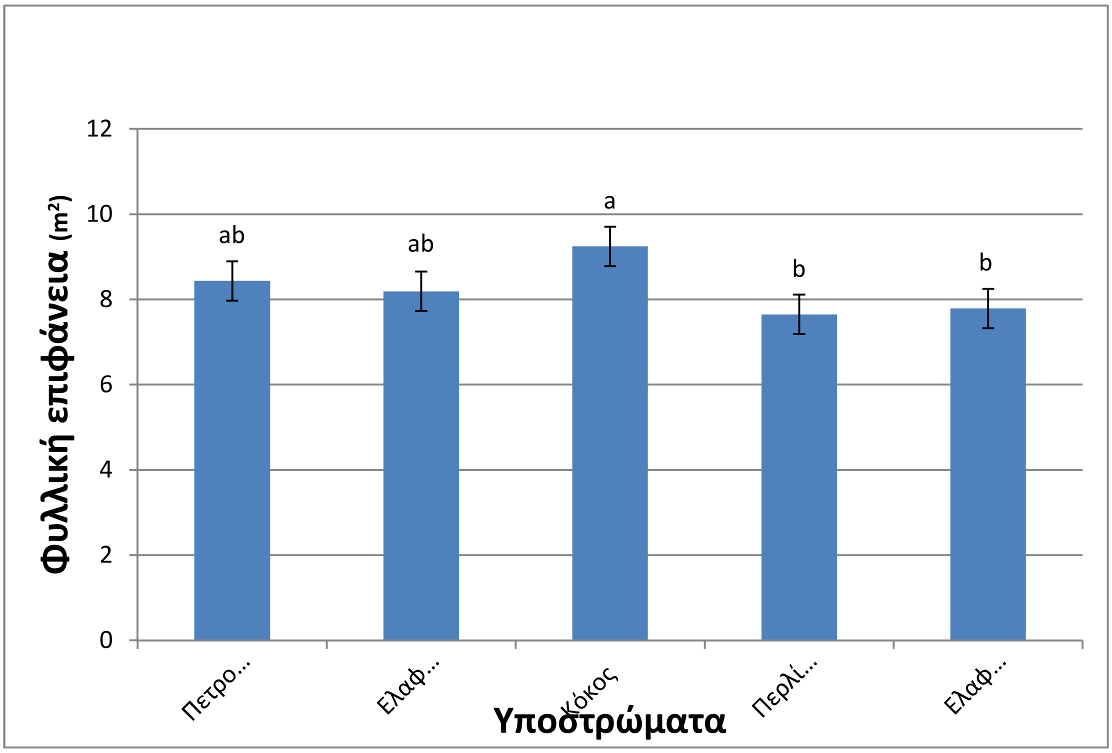


Γράφημα 1: Απεικόνιση του ύψους φυτών σε καλλιέργεια τομάτας, σε υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.1.2 Φυλλική επιφάνεια

Επίσης υπολογίστηκε το εμβαδόν της φυλλικής επιφάνειας με το Γράφημα 2 να εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με το κριτήριο Duncan. Το μεγαλύτερο στατιστικά εμβαδόν εντοπίστηκε στον κόκο με τιμές κοντά στα 9,3 m^2.

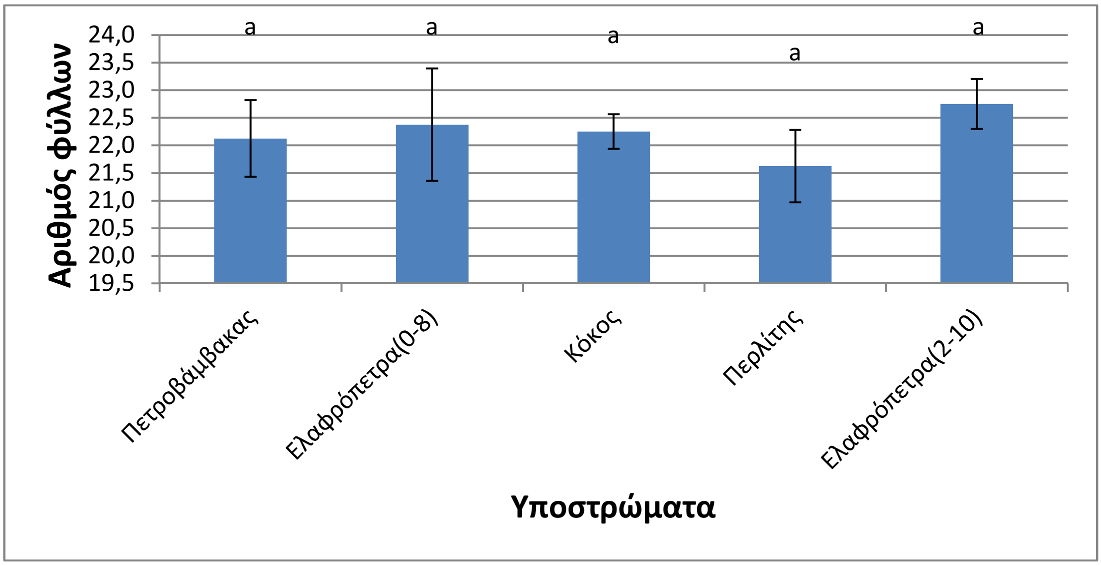
Τις χαμηλότερες τιμές σημείωσαν φυτά από τον περλίτη και την ελαφρόπετρα (2-10), ενώ στα υπόλοιπα υποστρώματα κυμάνθηκαν κάπου ενδιάμεσα.



Γράφημα 2: Απεικόνιση της έκτασης της φυλλικής επιφάνειας σε καλλιέργεια τομάτας, σε υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.1.3 Αριθμός φύλλων

Παράλληλα με τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας, καταγράφηκε ο αριθμός των φύλλων που έφεραν τα φυτά. Με βάση τα αποτελέσματα (Γράφημα 3) δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, παρουσιάζοντας μια ομοιομορφία στην έκπτυξη των φύλλων.

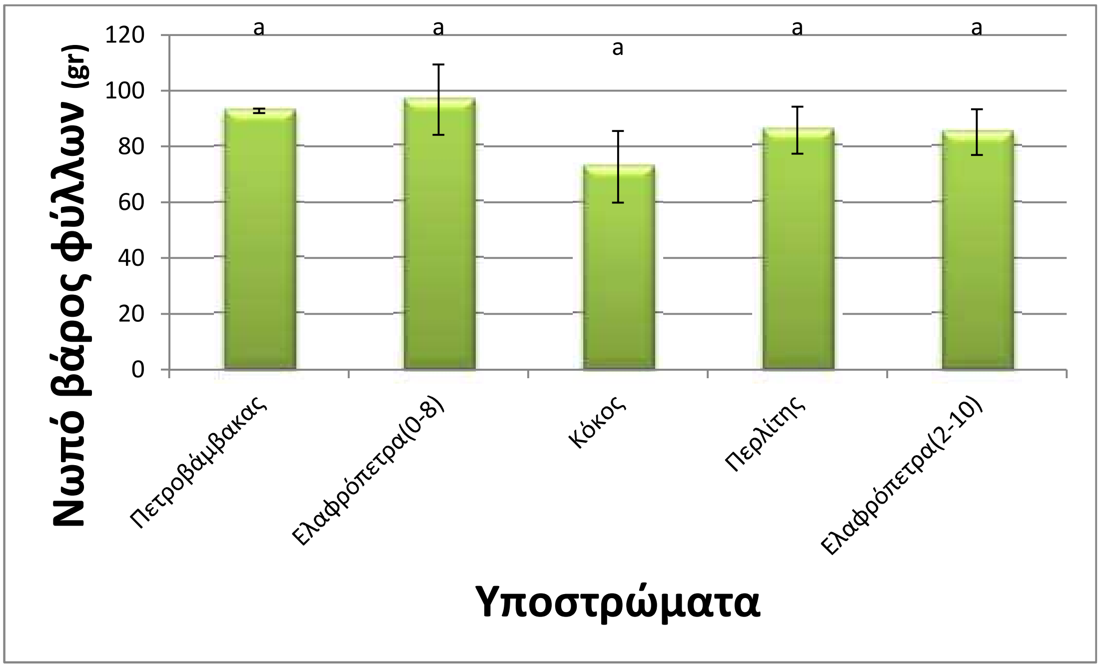


Γράφημα 3: Απεικόνιση του αριθμού των φύλλων σε καλλιέργεια τομάτας, σε υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.1.4 Νωπό και ξηρό βάρος φύλλων

Στο Γράφημα 4 απεικονίζεται το μέσο νωπό βάρος των φύλλων ανά υπόστρωμα, όπως μετρήθηκε στις 17/5/2012. Συνολικά έγιναν έξι δειγματοληψίες από την αρχή μέχρι και το τέλος της υδροπονικής καλλιέργειας. Σε καμία δεν σημειώθηκαν διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων, με εξαίρεση την πρώτη, όπου ο κόκος έδειξε να υπερτερεί. Όμως σε πολλά φυτά είχαν αποκοπεί οι κοτυληδόνες και δεν θεωρήθηκε αξιόπιστη.

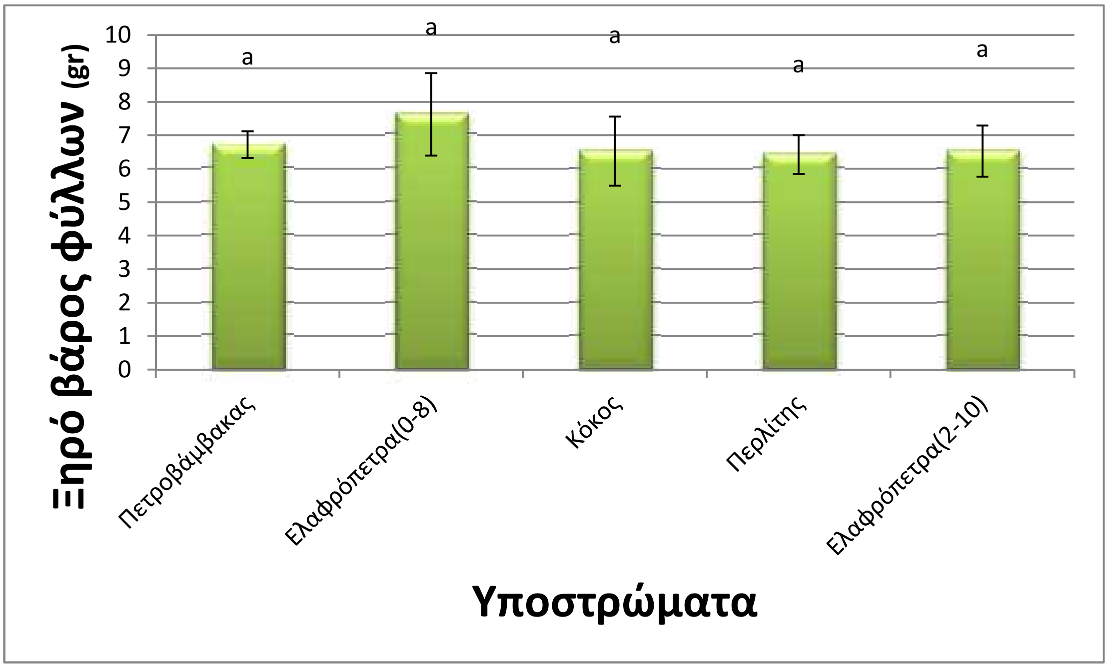
Με βάση το παρακάτω διάγραμμα, ο κόκος φάνηκε να συγκεντρώνει το μικρότερο νωπό βάρος, χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντικό. Γενικότερα όλες οι μετρήσεις του νωπού βάρους παρουσίασαν μια ομοιόμορφη κατάσταση, ενισχύοντας την άποψη ότι τα φυτά είχαν παρόμοια ανάπτυξη σε όλα τα υποστρώματα.



Γράφημα 4: Γραφική απεικόνιση του νωπού βάρους φύλλων που προήλθαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

Η μέτρηση του νωπού βάρους δεν είναι πάντα αξιόπιστη καθώς τα φυτά συγκεντρώνουν μεγάλες ποσότητες ύδατος στους ιστούς τους και επηρεάζονται πολύ από το περιβάλλον που βρίσκονται οι ρίζες. Εξαιτίας πιθανής ύπαρξης υγρασίας, αμέσως μετά την εξαγωγή των δειγμάτων από το φούρνο (65^{o}C), υπολογίστηκε το ξηρό βάρος τους. Το ξηρό βάρος αντικατοπτρίζει την περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, λίπη, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα βιταμίνες και αντιοξειδωτικά.

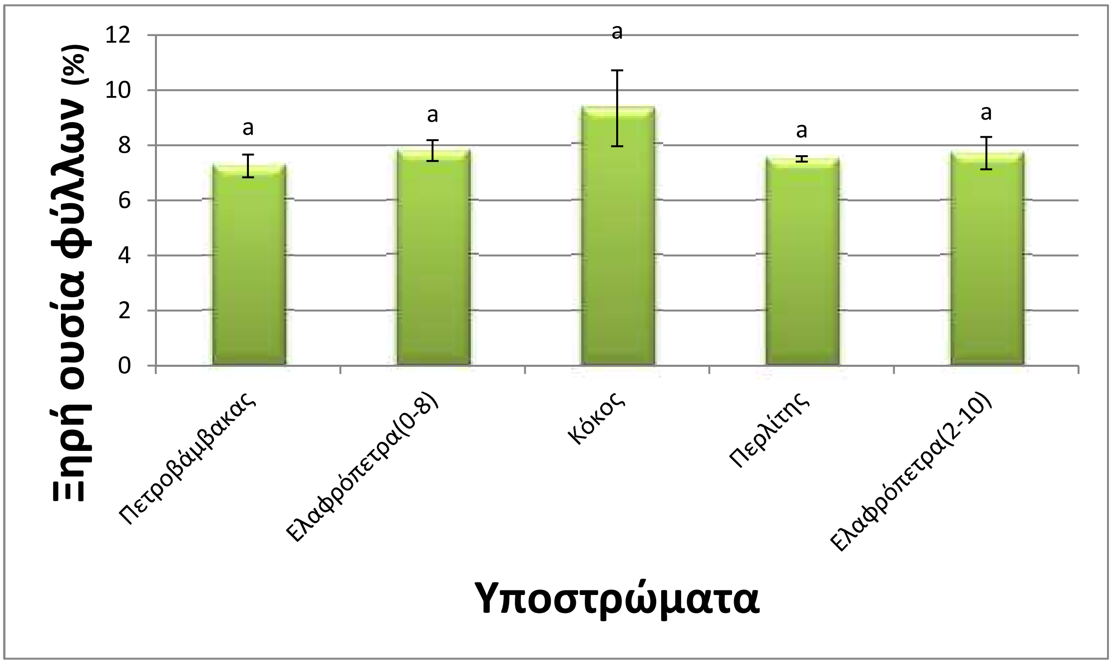
Σύμφωνα με το Γράφημα 5, οι διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων ήταν ελάχιστες με την ελαφρόπετρα (0-8) να παρουσιάζει μια μικρή άνοδο. Όμως η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε διαφορές επιβεβαιώνοντας την ομοιομορφία στο ρυθμό ανάπτυξης των φύλλων σε όλα τα υποστρώματα.



Γράφημα 5: Γραφική απεικόνιση του ξηρού βάρους φύλλων που προήλθαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.1.5 Ξηρή ουσία φύλλων

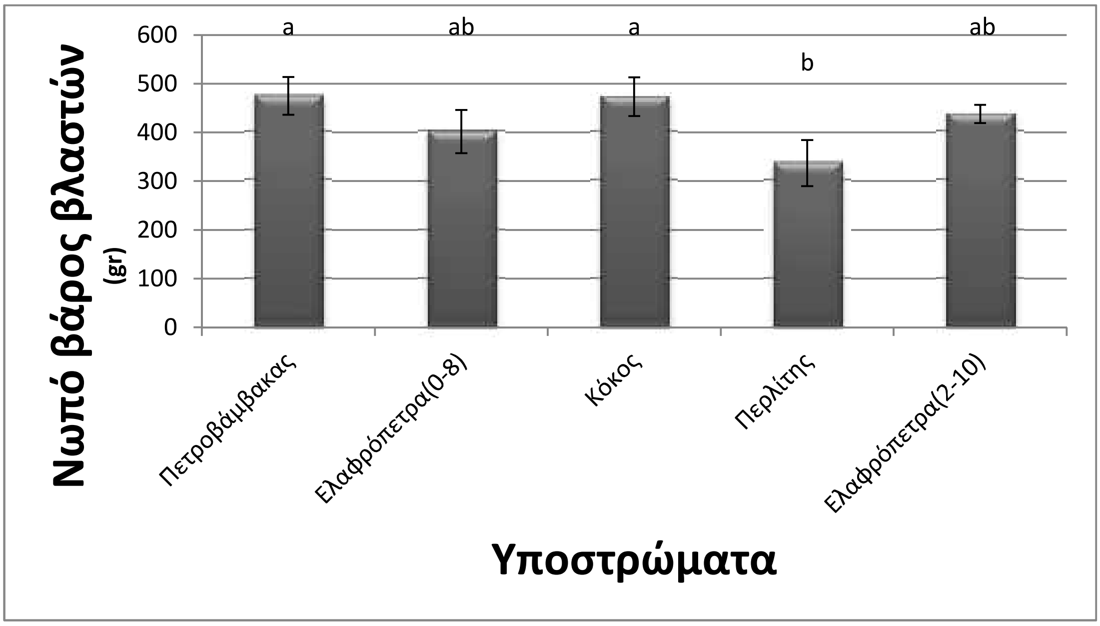
Πρόκειται για το επί τοις εκατό ποσοστό του ξηρού βάρος στο νωπό βάρος του ιστού. Στο Γράφημα 6 απεικονίζονται τα ποσοστά της ξηρής ουσίας των φύλλων που προέκυψαν από το σύνολο των υποστρωμάτων, με τον κόκο να έχει ελάχιστα μεγαλύτερες τιμές. Ωστόσο οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.



Γράφημα 6: Γραφική απεικόνιση του ποσοστού της ξηρής ουσίας φύλλων που προήλθαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

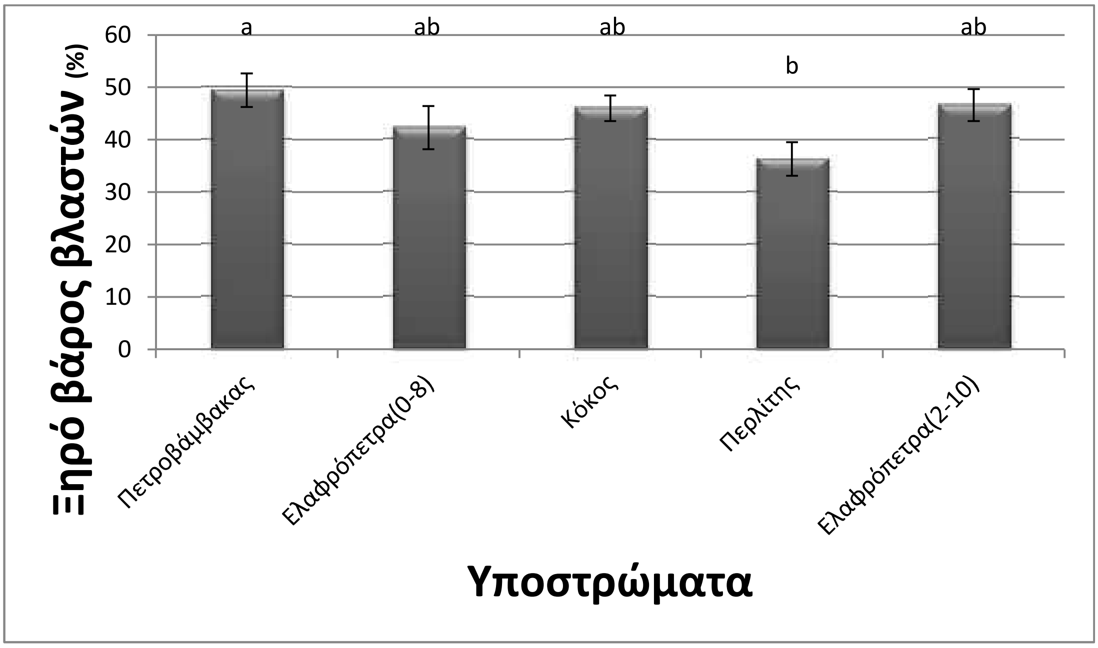
4.1.6 Νωπό και ξηρό βάρος βλαστών

Στο τέλος της καλλιέργειας δείγματα βλαστών συλλέχθηκαν για τη μέτρηση του νωπού βάρους. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Γράφημα 7, στο οποίο η στατιστική ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, σε πετροβάμβακα και κόκο το βάρος των βλαστών ήταν εμφανώς μεγαλύτερο από τα υπόλοιπα υποστρώματα, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα κυμάνθηκαν οι δύο τύποι ελαφρόπετρας και ο περλίτης. Έτσι φάνηκε ότι σε αντίθεση με τα φύλλα, οι βλαστοί είχαν διαφορετικό ρυθμό ανάπτυξης, με τον κόκο και τον πετροβάμβακα να αναπτύσσονται ταχύτερα.



Γράφημα 7: Γραφική αναπαράσταση νωπού βάρους βλαστών τομάτας που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

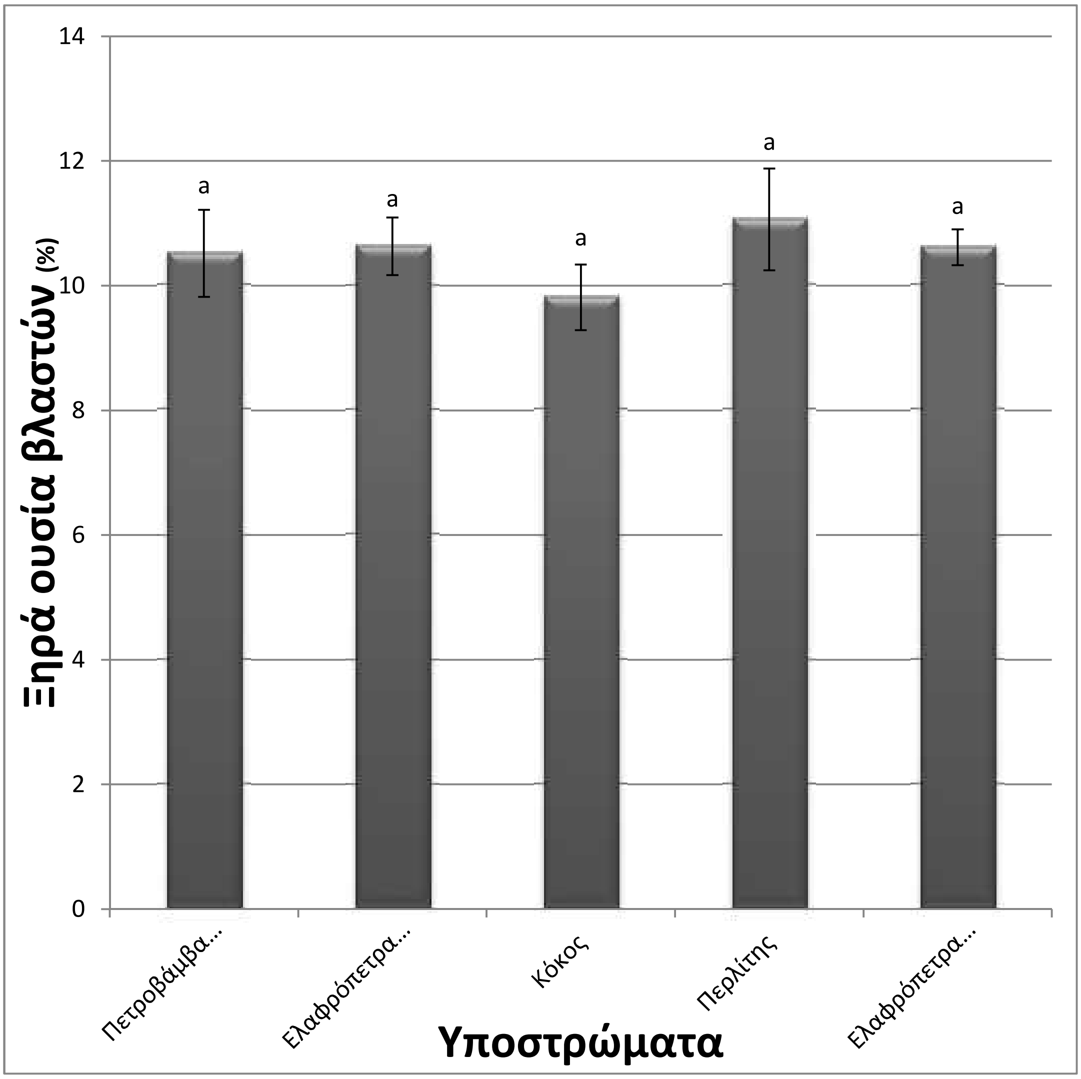
Διαφορές εντοπίστηκαν και στα ξηρά βάρη των βλαστών με βάση τη στατιστική ανάλυση. Στο Γράφημα 8 φάνηκε ότι ο πετροβάμβακας υπερτερεί και εδώ γεγονός που οφείλεται στη συγκέντρωση μεγαλύτερων ποσοτήτων υδατανθράκων, πρωτεϊνών και λιπών καθώς αποτελούν το 90% του ξηρού βάρους. Δείγματα από τους δυο τύπους ελαφρόπετρας και τον κόκο κυμάνθηκαν χαμηλότερα, ενώ ο περλίτης και εδώ σημείωσε τις χαμηλότερες στατιστικά τιμές.



Γράφημα 8: Γραφική αναπαράσταση του ξηρού βάρους βλαστών τομάτας που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.1.7 Ξηρή ουσία βλαστών

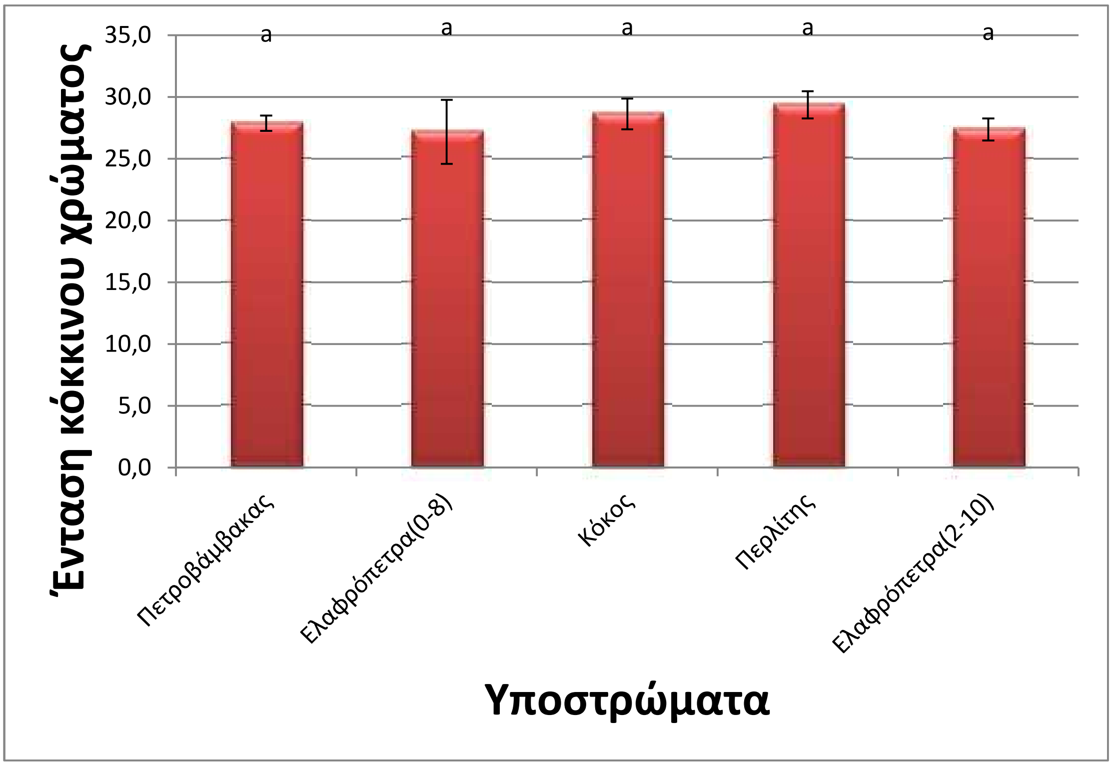
Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ποσοστό της ξηρά ουσίας για κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Γράφημα 9, στο οποίο η στατιστική ανάλυση δεν έδειξε διαφορές. Οι τιμές της ξηρής ουσίας κυμάνθηκαν μεταξύ 9,8% και 11% δημιουργώντας μια ομοιόμορφη κατανομή στις μετρήσεις. Μολονότι υπήρξαν διαφορές στην ανάπτυξη των βλαστών όπως προέκυψε από τα παραπάνω δεδομένα, η αναλογία ξηρού προς το νωπό βάρος τους παρέμεινε σταθερή για όλα τα υποστρώματα.



Γράφημα 9: Γραφική αναπαράσταση του ποσοστού (%) ξηρής ουσίας βλαστών τομάτας που αναπτύχθηκαν σε υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.2 Επίδραση των υποστρωμάτων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών

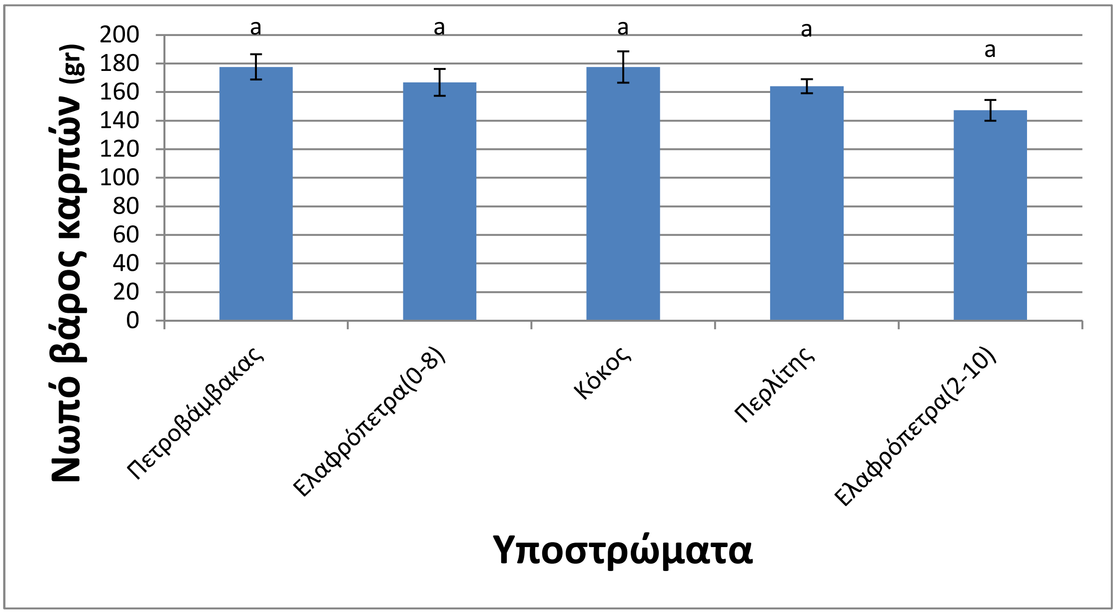
Καρποί τομάτας συλλέχτηκαν από όλα τα υποστρώματα για τη μέτρηση συνεκτικότητας, έντασης χρώματος (a*) και περιεκτικότητας σε ολικά διαλυτά στερεά. Σε όλες τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων στην ποιότητα των καρπών. Η ένταση του χρώματος έδειξε ότι οι καρποί βρίσκονταν στο ίδιο στάδιο ωρίμανσης (Γράφημα 10). Παράλληλα ο παράγοντας Duncan δεν παρουσίασε καμία διαφορά μεταξύ των καρπών στην ένταση του κόκκινου χρώματος, επιβεβαιώνοντας την οπτική παρατήρηση για την επιλογή ομοιόμορφων καρπών.



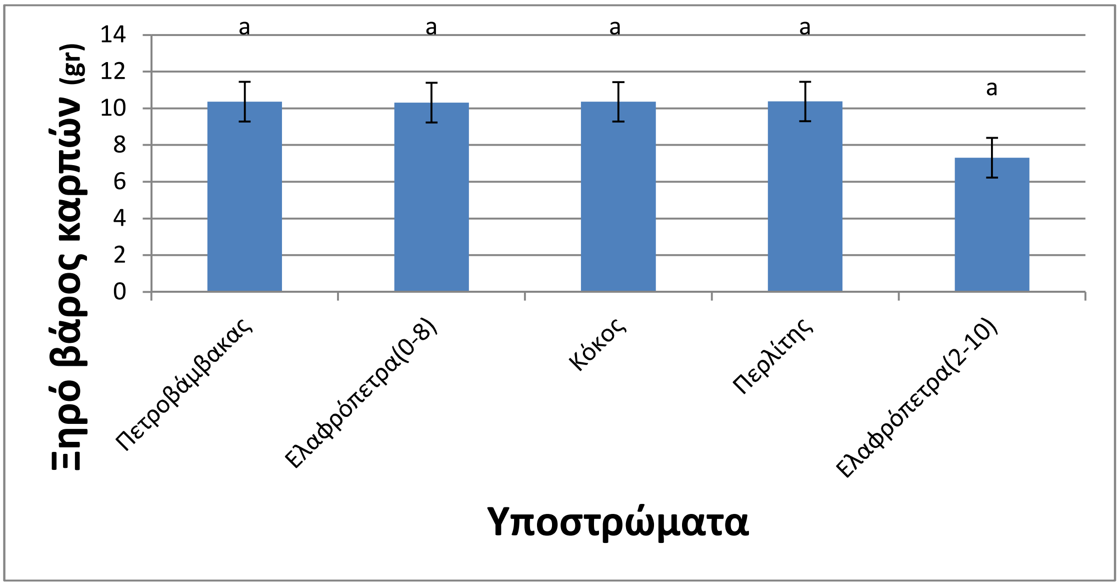
Γράφημα 10: Διαγραμματική απεικόνιση της έντασης του κόκκινου χρώματος (a*) σε καρπούς τομάτας από τα υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.2.1 Νωπό-Ξηρό βάρος σε καρπούς τομάτας

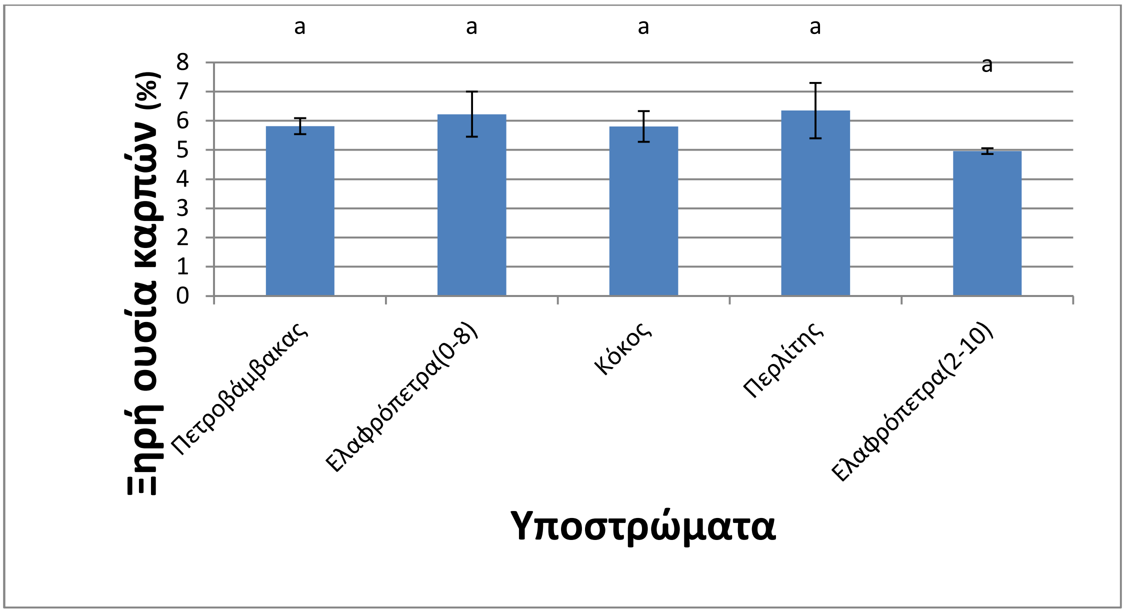
Την ίδια μέρα που έγιναν οι μετρήσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, μετρήθηκε το νωπό και αργότερα το ξηρό βάρος σε καρπούς από όλα τα υποστρώματα. Με βάση τα γραφήματα 11 και 12 δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Επίσης υπολογίστηκε η ξηρή ουσία στους καρπούς (%) όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 13. Η αναλογία ξηρού προς νωπό βάρος παρέμεινε ίδια, καταγράφοντας ίσες ποσότητες υδατοδιαλυτών στερεών σε όλα τα δείγματα.



Γράφημα 11: Γραφική απεικόνιση νωπού βάρους σε καρπούς τομάτας από τα υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.



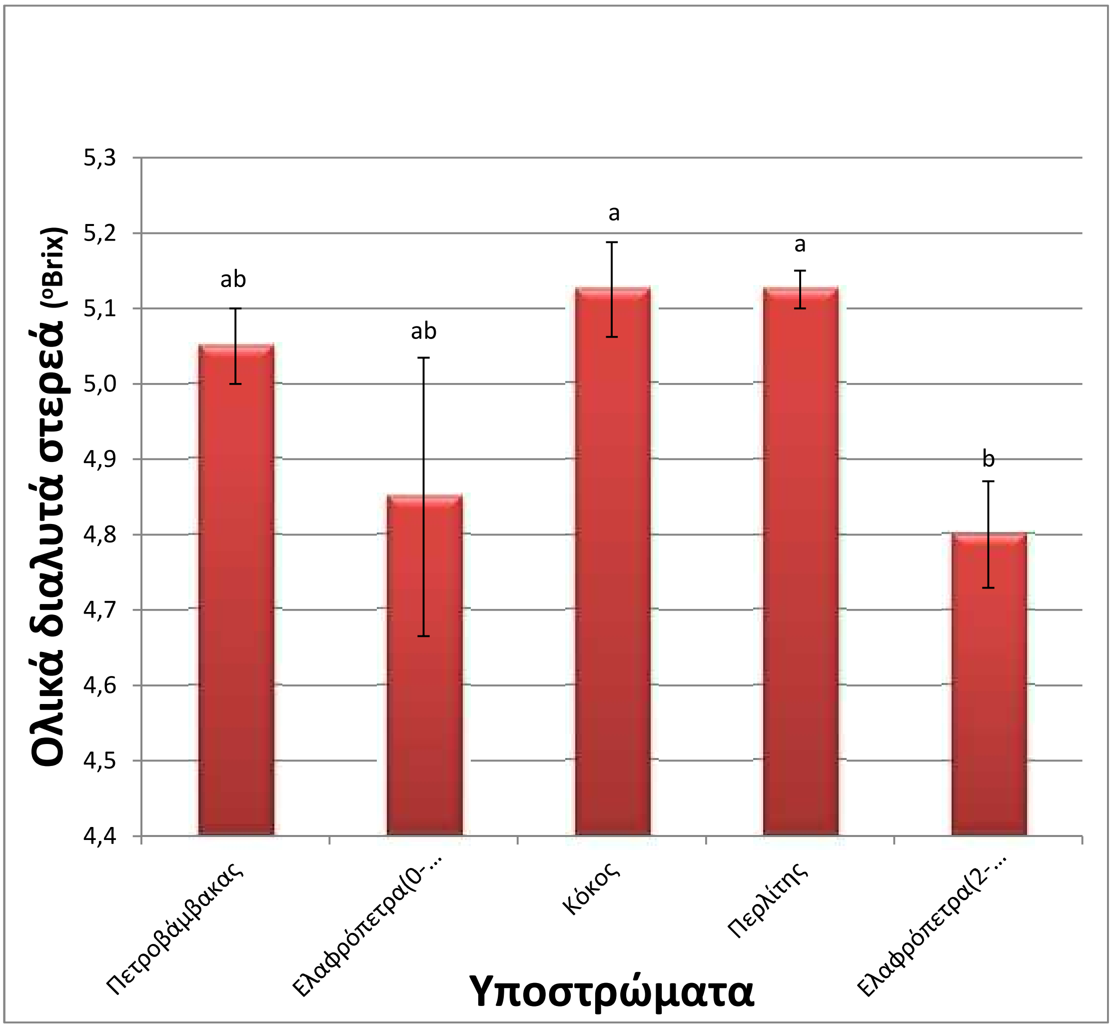
Γράφημα 12: Γραφική απεικόνιση ξηρού βάρους σε καρπούς τομάτας από τα υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.



Γράφημα 13: Γραφική απεικόνιση της ξηρής ουσίας σε καρπούς τομάτας από τα υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.2.2 Ολικά διαλυτά στερεά

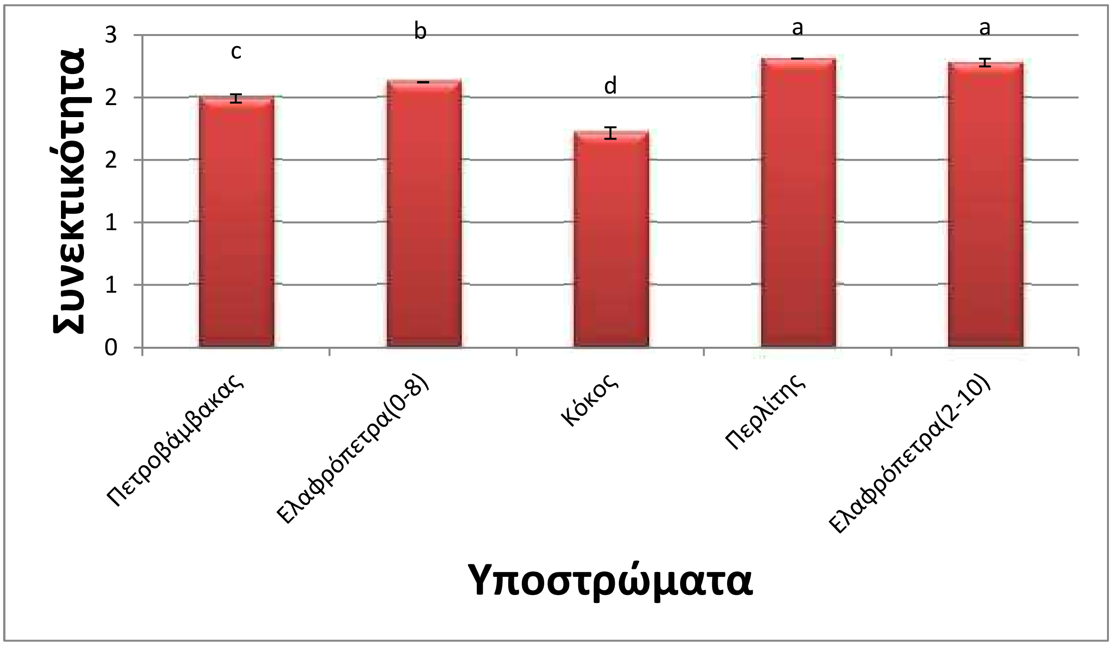
Στο Γράφημα 14 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά (^{o}Brix) των καρπών που συλλέχθηκαν από όλα τα υποστρώματα. Είναι μια μέθοδος για τη μέτρηση των σακχάρων, οργανικών οξέων, βιταμινών, αμινοξέων, αιθέρια έλαια και γλυκοζίτες σε ένα διάλυμα (Hardy, 2010), στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε χυμός τομάτας. Όλες οι μετρήσεις έγιναν στην ίδια θερμοκρασία και αμέσως μετά την πολτοποίηση του καρπού, καθώς έχουν καταγραφεί περιπτώσεις μείωσης των ^{o}Brix εξαιτίας της ανάπτυξης μικροοργανισμών (Seacheol *et al.*, 2002). Με βάση τα αποτελέσματα από τη στατιστική ανάλυση, ανιχνεύτηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων. Στους καρπούς που προήλθαν από περλίτη και κόκο εντοπίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις σε ολικά διαλυτά στερεά. Έτσι φάνηκε να υπερτερούν τα συγκεκριμένα υποστρώματα σε σάκχαρα έναντι των υπολοίπων Γενικότερα η αύξηση των σακχάρων και η υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικά οξέα βελτιώνει την ποιότητα των καρπών τομάτας (Davies and Hobson, 1981). Σε χαμηλότερα επίπεδα κυμάνθηκαν τα ολικά διαλυτά στερεά σε πετροβάμβακα και ελαφρόπετρα (0-8) με τιμές στο 5 και 4,8 αντιστοίχως, ενώ η ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 2-10 παρουσίασε τιμές κοντά στο 4,6. Στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν τη γεύση αλλά και γενικότερα την ποιότητα του προϊόντος.



Γράφημα 14: Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης των ολικών διαλυτών στερεών στους καρπούς τομάτας που αναπτύχθηκαν στα υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.2.3 Συνεκτικότητα

Στο Γράφημα 15 απεικονίζεται η συνεκτικότητα (N) καρπών από όλα τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία. Οι μετρήσεις έγιναν αμέσως μετά τη συγκομιδή σε σταθερή θερμοκρασία για τη διατήρηση της συνεκτικότητας τους (Artes *et al.*, 1999). Σημαντικές διαφορές προέκυψαν με βάση το κριτήριο Duncan, δίνοντας πληροφορίες σχετικά με τη μετασυλλεκτική συμπεριφορά των καρπών και θεωρείται από τα σημαντικότερα κριτήρια ποιότητας των καρπών (Najib *et al.*, 1997). Με μέση τιμή κοντά στο 2,3 N σε περλίτη και ελαφρόπετρα (2-10), οι καρποί ήταν πιο συνεκτικοί σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα, σημειώνοντας μεγαλύτερη αντοχή τόσο στους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς όσο και σε πιθανές προσβολές από παθογόνα. Σε ελάχιστα χαμηλότερα επίπεδα κυμάνθηκαν καρποί από υποστρώματα ελαφρόπετρας (0-8) και πετροβάμβακα, ενώ όσοι συγκομίστηκαν από τον κόκο σημείωσαν τις μικρότερες στατιστικά τιμές και παράλληλα τη μεγαλύτερη ευαισθησία στους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς.

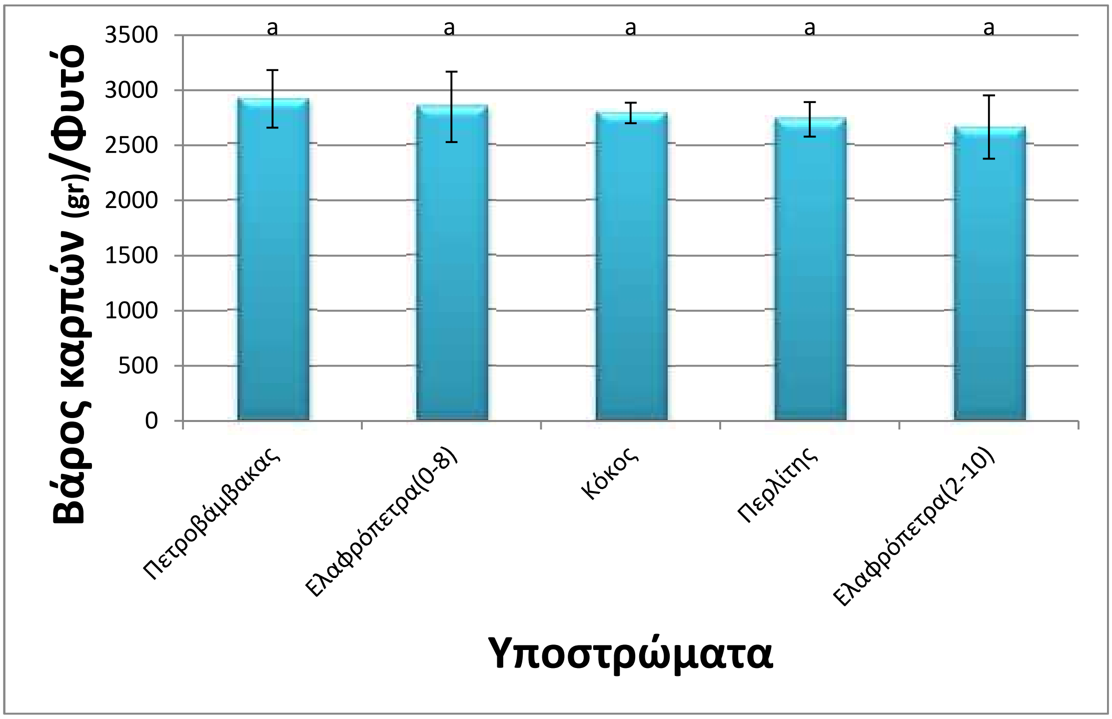


Γράφημα 15: Διαγραμματική απεικόνιση της συνεκτικότητας στο κέντρο των καρπών τομάτας, που προήλθαν από τα υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρας (0-8), ελαφρόπετρας (2-10), κόκου και περλίτη.

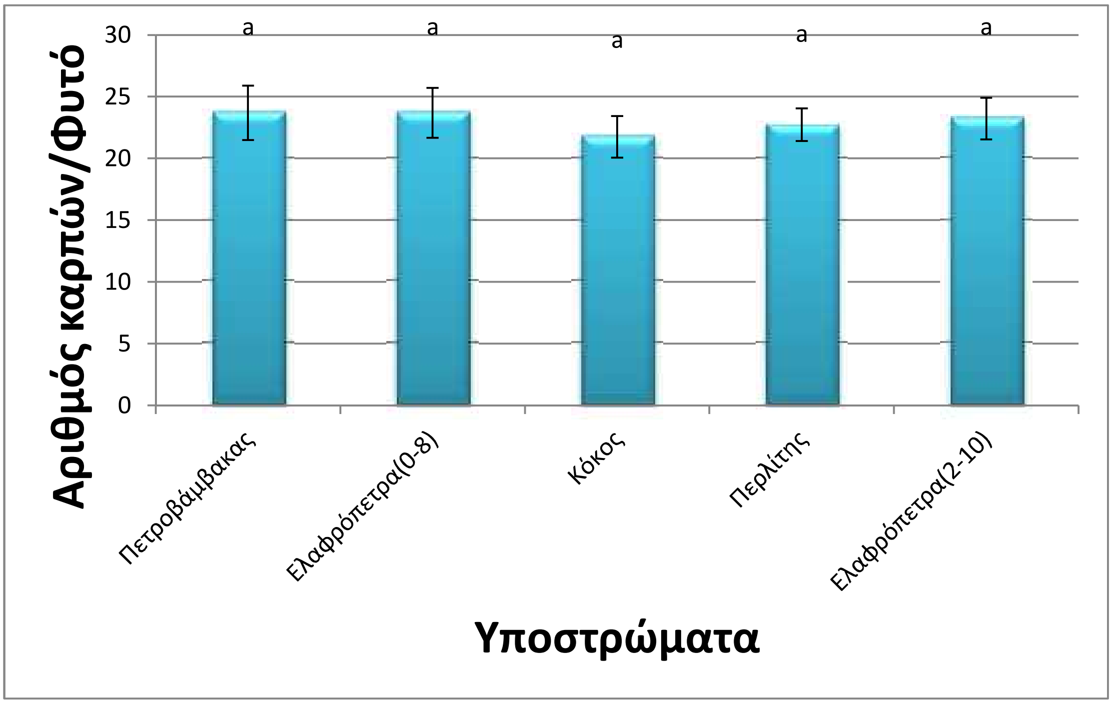
4.3 Επίδραση των υποστρωμάτων στην παραγωγή καρπών τομάτας

4.3.1 Συνολικό βάρος και αριθμός καρπών ανά φυτό τομάτας

Στη συνέχεια υπολογίστηκε το βάρος και ο αριθμός των καρπών ανά φυτό. Με βάση τα αποτελέσματα (Γράφημα 16 και 17) δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στην πρώτη περίπτωση το μέσο βάρος των καρπών κυμάνθηκε κοντά στα 3000 gr ενώ το κάθε φυτό παρήγαγε κατά μέσο όρο 23-24 καρπούς παρατηρώντας και εδώ μια ομοιομορφία στα δεδομένα.



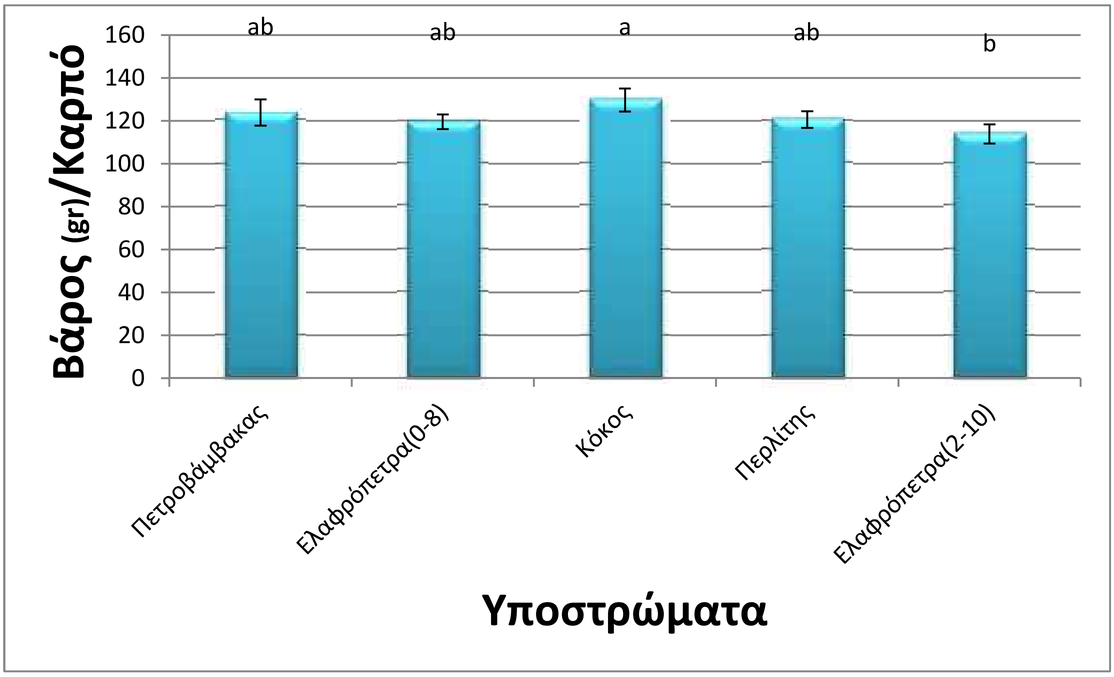
Γράφημα 16: Γραφική απεικόνιση του βάρους (gr) των καρπών ανά φυτό στα υδροπονικά υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρας (0-8), ελαφρόπετρας (2-10), κόκου και περλίτη.



Γράφημα 17: Γραφική απεικόνιση του αριθμού καρπών ανά φυτό στα υδροπονικά υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρας (0-8), ελαφρόπετρας (2-10), κόκου και περλίτη.

4.3.2 Μέσο βάρος καρπών

Στη συνέχεια υπολογίσθηκε το μέσο βάρος καρπών και ακολούθησε στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Όπως φαίνεται στο Γράφημα 18, εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορες μεταξύ των υποστρωμάτων. Καρποί που προήλθαν από το υπόστρωμα του κόκου είχαν στατιστικά μεγαλύτερο μέσο βάρος σε ώριμο στάδιο. Σε πετροβάμβαλα, ελαφρόπετρα (0-8) και περλίτη, οι τιμές διατηρήθηκαν στα ίδια επίπεδα, ενώ η ελαφρόπετρα (2-10) στατιστικά σημείωσε το μικρότερο μέσο βάρος καρπών, από τους οποίους πολλοί ήταν χαμηλής ποιότητας.

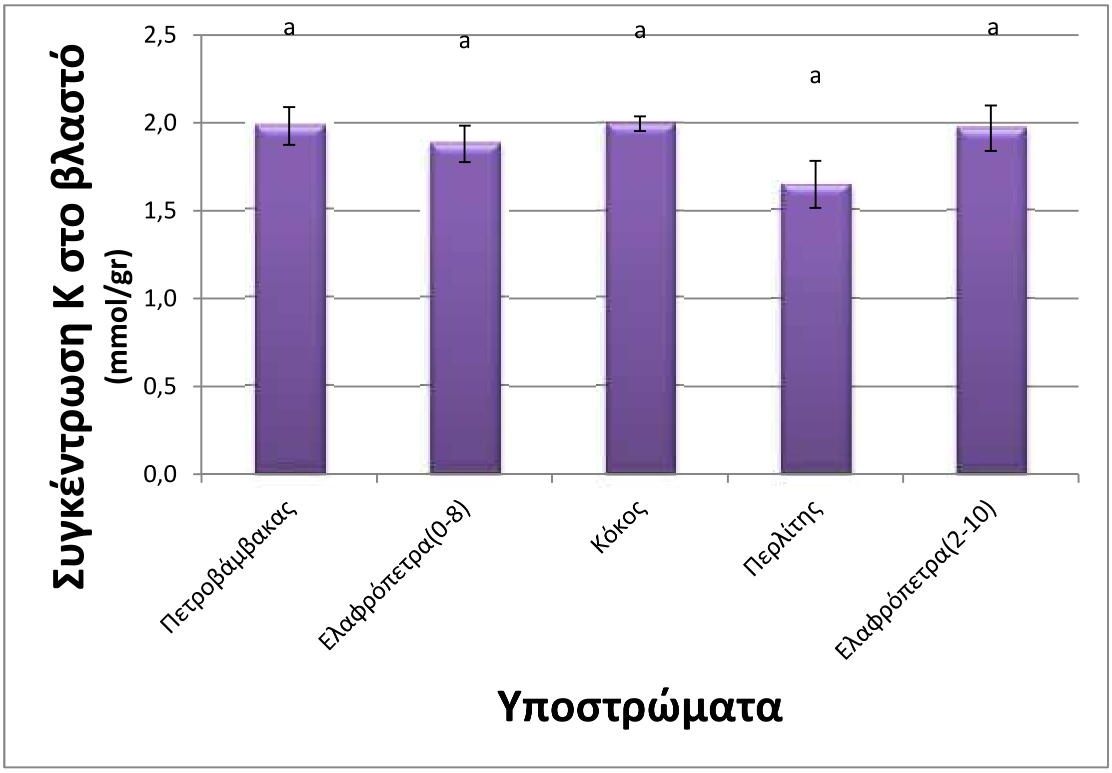


Γράφημα 18: Γραφική απεικόνιση του λόγου βάρος(gr)/καρπό στα υδροπονικά υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρας (0-8), ελαφρόπετρας (2-10), κόκου και περλίτη.

4.4 Μελέτη της θρεπτικής κατάστασης των βλαστών και των φύλλων

4.4.1 Συγκέντρωση Κ στους βλαστούς

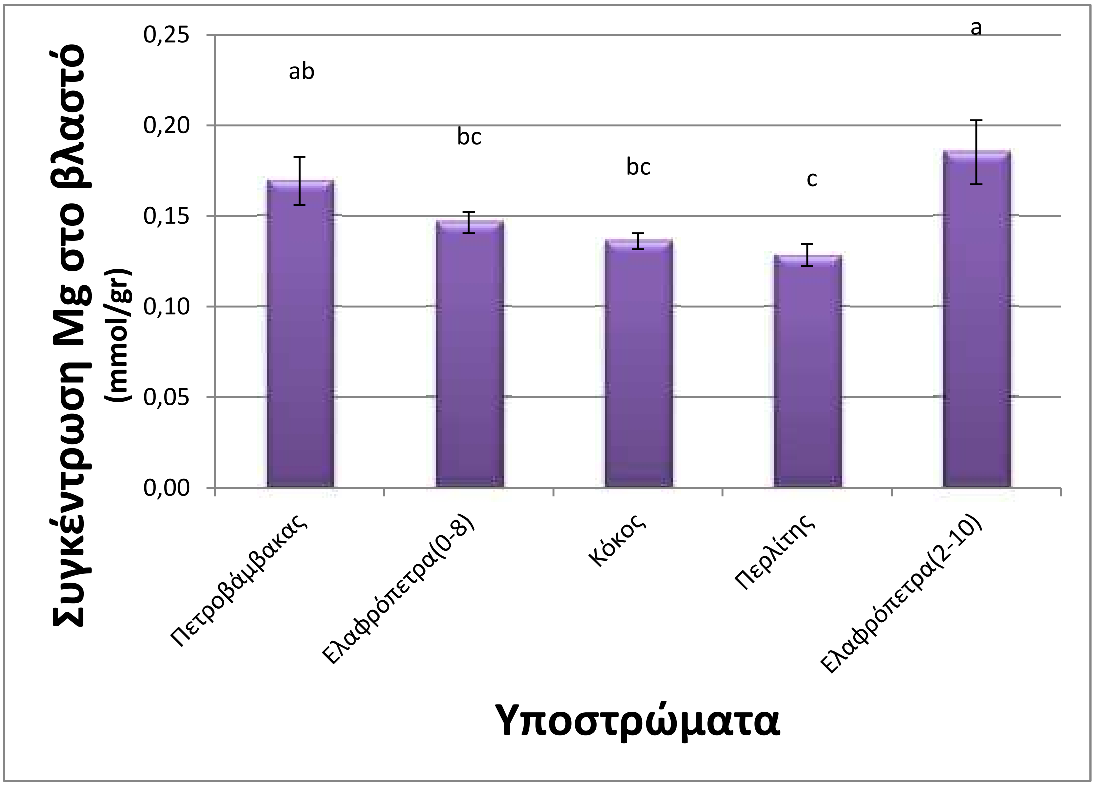
Στο Γράφημα 19 απεικονίζεται η συγκέντρωση του Κ που ανιχνεύτικε σε βλαστούς από διαφορετικά υποστρώματα. Μολονότι φάνηκαν όλα τα άλλα υποστρώματα να υπερτερούν της συγκέντρωσης που εντοπίστηκε στον περλίτη, η στατιστική ανάλυση με τη βοήθεια και του κριτηρίου Dancun, δεν έδειξε σημαντικές διαφορές.



Γράφημα 19: Απεικόνιση της συγκέντρωσης K σε βλαστούς τομάτας, που συλλέχθηκαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.4.2 Συγκέντρωση Mg στους βλαστούς

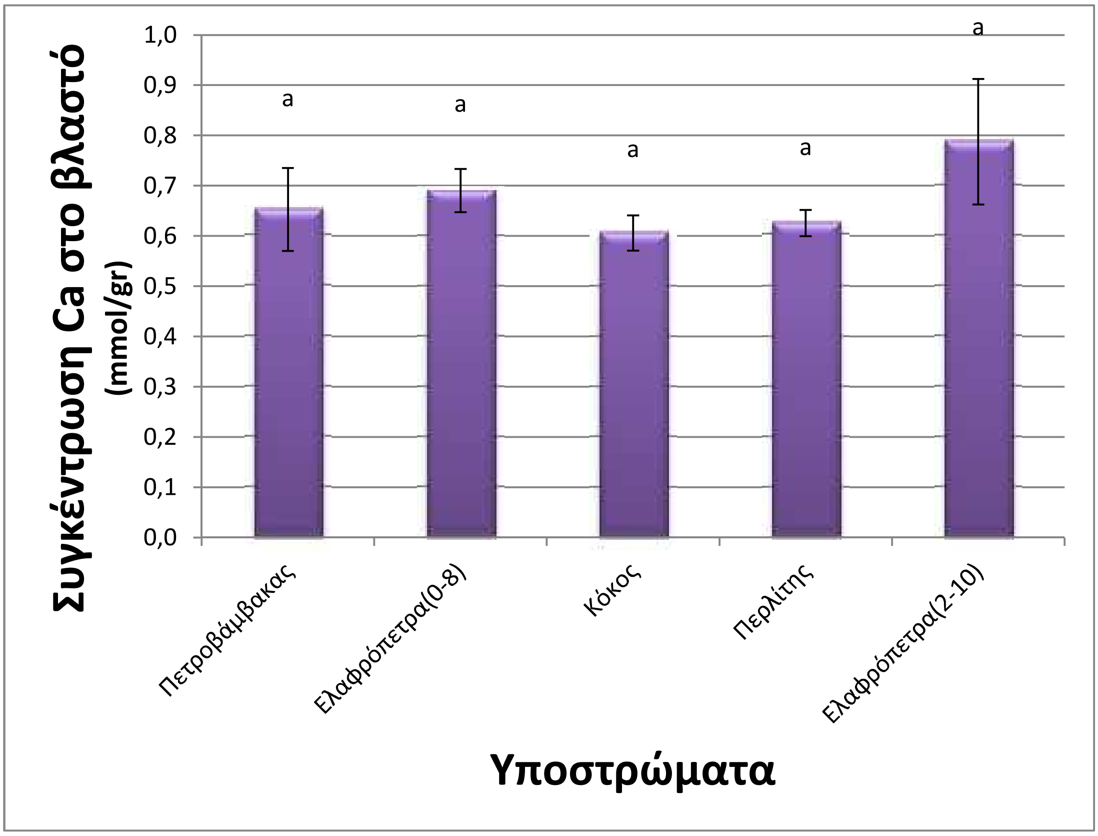
Οι συγκεντρώσεις του Mg στους βλαστούς είχαν μεγάλες διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων με βάση τα αποτελέσματα στο Γράφημα 20. Υψηλή ποσότητα φάνηκε να συγκεντρώνει η ελαφρόπετρα (2-10) έναντι των υπολοίπων υποστρωμάτων. Περίπου στις ίδιες τιμές κυμάνθηκαν οι βλαστοί που εξετάστηκαν στον πετροβάμβακα. Σε αρκετά χαμηλές τιμές εντοπίστηκε σε ελαφρόπετρα (0-8) και κόκο, ενώ στον περλίτη η στατιστική ανάλυση παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές.



Γράφημα 20: Απεικόνιση της συγκέντρωσης Mg σε βλαστούς τομάτας, που συλλέχθηκαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.4.3 Συγκέντρωση Ca στους βλαστούς

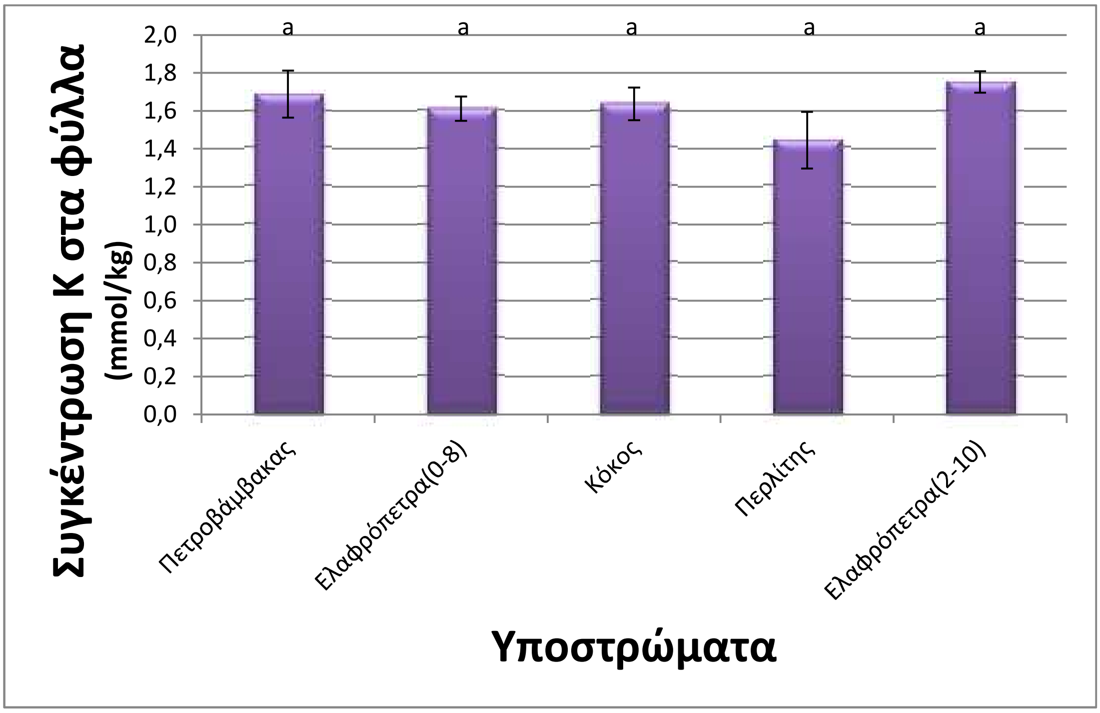
Το Γράφημα 21 απεικονίζει την συγκέντρωση του ασβεστίου που εντοπίστηκε σε βλαστούς τομάτας. Σχεδόν όλες οι τιμές βρίσκονταν σε ένα εύρος μεταξύ 0,6 και 0,8 mmol.kg, συμπεραίνοντας ότι οι διαφορές ήταν μικρές σύμφωνα και με την εφαρμογή του κριτηρίου Duncan.



Γράφημα 21: Απεικόνιση της συγκέντρωσης Ca σε βλαστούς τομάτα, που συλλέχθηκαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.4.4 Συγκέντρωση K στα φύλλα

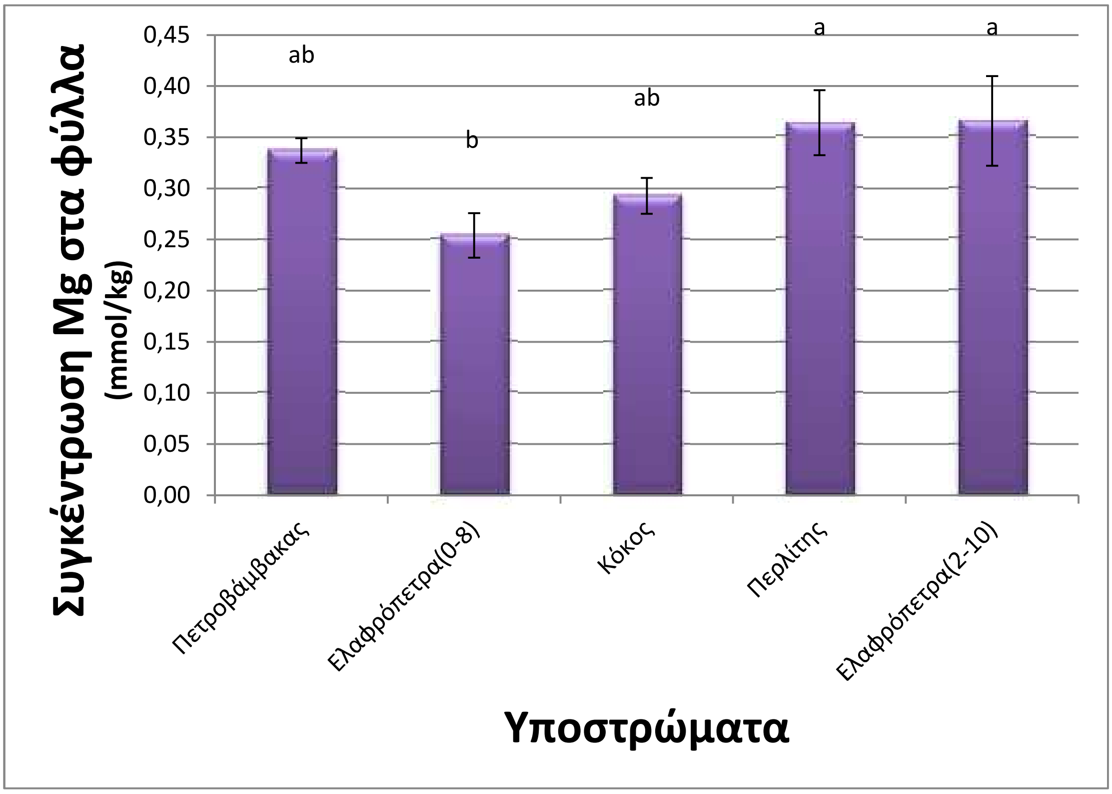
Όπως στο βλαστό, έτσι και στα φύλλα οι συγκεντρώσεις καλίου ήταν περίπου ίδιες για όλα τα υποστρώματα. Στο Γράφημα 22 παρουσιάζεται μια ομοιόμορφη κατανομή των δεδομένων μετά την στατιστική ανάλυση. Ένα χαρακτηριστικό του διαγράμματος είναι ότι οι συγκεντρώσεις στον περλίτη ήταν και εδώ, όπως και στο βλαστό, οι χαμηλότερες.



Γράφημα 22: Απεικόνιση της συγκέντρωσης K σε φύλλα τομάτα, που συλλέχθηκαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.4.5 Συγκέντρωση Mg στα φύλλα

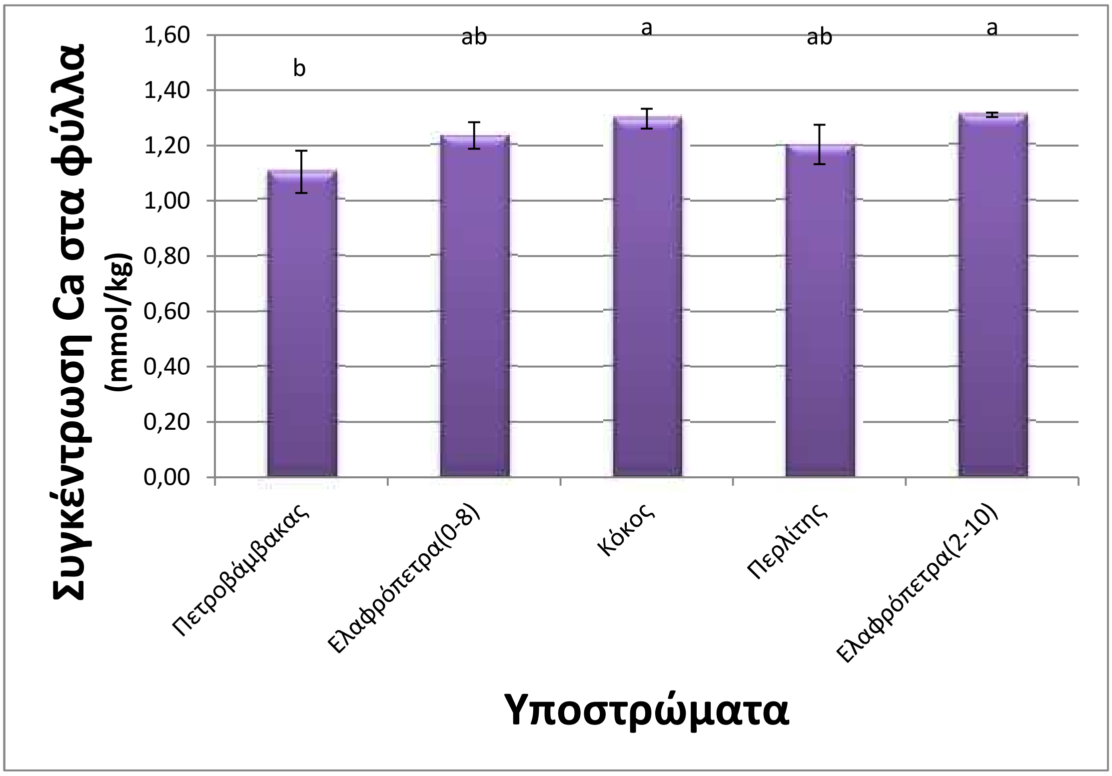
Οι συγκεντρώσεις του μαγνησίου που εντοπίστηκαν στα φύλλα απεικονίζονται στο Γράφημα 23. Με βάση τη στατιστικη παρατήρηση, οι διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων ήταν σημαντικές με την ελαφρόπετρα (2-10) και τον περλίτη να σημειώνουν τις μεγαλύτερες τιμές. Ο συγκεκριμένος τύπος ελαφρόπετρας είχε αυξημένες ποσότητες Mg και στο βλαστό. Αντιθέτως η ελαφρόπετρα (0-8) σημείωσε τις χαμηλότερες πόσοτητες, με τα υπόλοιπα υποστρώματα να κυμαίνονται κάπου ενδιάμεσα.



Γράφημα 23: Απεικόνιση της συγκέντρωσης Mg σε φύλλα τομάτα, που συλλέχθηκαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), κόκο και περλίτη.

4.4.6 Συγκέντρωση Ca στα φύλλα

Σημαντικές διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων εντοπίστηκαν στην παρουσία του ασβεστίου στα φύλλα (Γράφημα 24). Στην ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 2-10 διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα, γεγονός που συνέβη προηγουμένως και στο βλαστό. Παράλληλα υψηλές τιμές σημείωσαν δείγματα από τον κόκο, την ελαφρόπετρα (0-8) και τον περλίτη. Αντιθέτως, φύλλα από υποστρώματα πετροβάμβακα κατέγραψαν τις μικρότερες στατιστικά συγκεντρώσεις.



Γράφημα 24: Απεικόνιση της συγκέντρωσης Ca σε φύλλα τομάτα, που συλλέχθηκαν από υποστρώματα πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8), ελαφρόπετρα (2-10), και περλίτη.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες παρατηρείται μια συνεχόμενη εξέλιξη στον τομέα της θερμοκηπιακής παραγωγής στην Ελλάδα, με τις υδροπονικές καλλιέργειας να αυξάνονται με σταθερό ρυθμό από το 1990. Βασικός περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη τους είναι το υπάρχον επίπεδο τεχνογνωσίας στον συγκεκριμένο τομέα, καθώς απαιτεί ειδικές γνώσεις για να αποδώσει τα πλεονεκτήματα που διαθέτει. Τα τελευταία χρόνια η ερευνητική δραστηριότητα και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και καινοτομιών από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς στον συγκεκριμένο τομέα των υδροπονικών καλλιεργειών ήταν και συνεχίζει να είναι ορμητική. Η επικρατέστερη μέθοδος στην Ελλάδα, αλλά και διεθνώς, είναι η ανάπτυξη των φυτών σε οργανικά και ανόργανα υποστρώματα (Σάββας, 2012).

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία μιας καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι η τροφοδότηση των φυτών με θρεπτικό διάλυμα κατάλληλης σύστασης. Πολλές προσπάθειες γίνονται για τον προσδιορισμό της ‘συνταγής’ του θρεπτικού διαλύματος, καθώς δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες στη χώρα μας. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες το είδος του υποστρώματος και το είδος του φυτού. Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν πέντε διαφορετικά υποστρώματα συγκεκριμένης κοκκομετρικής σύστασης. Η ποσότητα του διαλύματος ήταν κοινή για όλα και επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη σχετικά βιβλιογραφικά δεδομένα με βάση τις ανάγκες του συγκεκριμένου φυτικού είδους (τομάτα) και τις καιρικές συνθήκες (χειμώνας στην Αττική).

Για την αξιολόγηση ενός υποστρώματος, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα τα χαρακτηριστικά του που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα νερού, αέρα και θρεπτικών στοιχείων στα φυτά. Παράλληλα υπάρχουν και άλλα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την φυτοϋγεία, την οικονομικότητα χρήσης τους και κάποιες γενικές ποιοτικές προδιαγραφές (Σάββας, 2012). Από τους τρόπους καλλιέργειας σε υποστρώματα η καλλιέργεια σε σάκους παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, καθώς υπάρχει καλύτερος έλεγχος του ριζικού συστήματος, ομοιομορφία, σταθερή δομή, πιο εύκολη μεταφορά, εγκατάσταση και απομάκρυνσή τους από τον αγρό. Επίσης ένα υπόστρωμα σε σάκο είναι πλήρως αποστειρωμένο και διατηρείται κλειστό, ενώ όταν εφαρμόζεται σε κανάλια απαιτούνται περισσότερα έξοδα σε εργατικά και απολύμανση (Bauerle, 1984).

Το ιδανικό υπόστρωμα είναι απαραίτητο να έχει αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού αλλά και ταυτόχρονα υψηλή αεροπερατότητα (πάνω από 15%), δημιουργώντας μια ισορροπία μεταξύ τους. Επιπλέον πρέπει το νερό που συγκρατεί να είναι εύκολα διαθέσιμο για τα φυτά. Υπάρχουν υποστρώματα που ενώ συγκρατούν ικανοποιητικά ποσά υγρασίας, αποδίδουν ένα μικρό μέρος στα φυτά και το υπόλοιπο το συγκρατούν με πολύ ισχυρές δυνάμεις (μύζηση), οι οποίες αυξάνονται όσο μειώνεται η υγρασία (Raviv *et al.*, 2002). Γενικότερα η υγρασία πρέπει να διατηρείται σε σχετικά υψηλά επίπεδα, προκειμένου η μύζηση που ασκείται στο νερό να είναι μικρότερη. Σε περιπτώσεις αδυναμίας λήψης του από το υπόστρωμα το φυτό θα αντιδράσει μειώνοντας τη διαπνοή και κλείνοντας τα στομάτια (Taiz and Zeiger, 2002). Παράλληλα θα πρέπει να υπάρχει επάρκεια αέρα ακόμα και μετά από ένα καλό πότισμα, δηλαδή όταν το υπόστρωμα περιέχει τη μέγιστη υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει, διατηρώντας έτσι μια ισορροπία μεταξύ του όγκου που καταλαμβάνει το νερό και του όγκου που καταλαμβάνει αέρας (Σάββας, 2012).

Η καλλιεργητική συμπεριφορά του κάθε υποστρώματος καθορίζεται από τις ιδιότητές του. Οι φυσικές ιδιότητες των υποστρωμάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την κοκκομετρική τους σύσταση, η οποία δεν διαφέρει μόνο μεταξύ των διαφόρων πορωδών υλικών αλλά και μεταξύ διαφόρων τύπων του ίδιου υλικού. Μικροί κόκκοι οι οποίοι σχηματίζουν ένα πορώδες μέσο, διατηρούν μεγαλύτερες ποσότητες ύδατος (Σάββας, 2012). Επιπλέον σχηματίζουν μεγαλύτερη συνολική επιφάνεια ανά μονάδα όγκου σε σύγκριση με ένα χονδρόκοκκο υλικό, έχοντας την ικανότητα να συγκεντρώνουν περισσότερο διάλυμα στα τοιχώματα των πόρων. Παρόλο που όσα υποστρώματα δεν είναι λεπτόκοκκα, χαρακτηρίζονται από μεγάλη πτώση της περιεκτικότητας σε νερό, σε κάποιες περιπτώσεις είναι περισσότερο πορώδη εξαιτίας της ύπαρξης πόρων που βρίσκονται εντός των κόκκων. Επίσης είναι πολύ σημαντική η αεροπερατότητα του υποστρώματος όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση υδατοϊκανότητας, προκειμένου να διασφαλίζει επάρκεια αερισμού το ριζικό σύστημα (Bunt, 1988).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη το μοναδικό οργανικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο **κόκος**. Χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στην υδροπονία, προσπαθώντας να περιοριστεί η υπερβολική κατανάλωση της τύρφης από το περιβάλλον. Εξαιτίας της προέλευσής του εμφανίζει ανταλλακτική ικανότητα ιόντων, ιδιότητα που χαρακτηρίζει και ένα γόνιμο έδαφος (Noguera *et al.*, 2000 ; Evans *et al.*, 1996). Είναι γνωστό ότι τα περισσότερα οργανικά υποστρώματα είναι χημικώς ενεργά.

Ο Prasad (1997) επιβεβαίωσε ότι τόσο η χημική σύσταση όσο και οι φυσικές ιδιότητες του κόκου δεν είναι σταθερά χαρακτηριστικά, αλλά μεταβάλλονται σημαντικά ανάλογα με την προέλευσής του και τον τρόπο κατεργασίας του. Έτσι διαφοροποιείται κατά κάποιο τρόπο από τα υπόλοιπα χημικώς αδρανή υποστρώματα της πειραματικής διαδικασίας. Σε πολλές περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί προβλήματα θρέψης κυρίως των Mg και Ca στα καλλιεργούμενα φυτά (Kreij and van Leeuwen, 2001 ; Noguera *et al.*, 1998), ενώ μπορεί να χρειαστεί ρύθμιση του pH πριν από τη χρήση του γιατί είναι ελαφρώς όξινο (Noguera *et al.*, 1998). Με βάση τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης στους βλαστούς τομάτας, το Ca και το Mg σημείωσαν χαμηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα. Χαρακτηριστική ήταν η μείωση της συγκέντρωσης του μαγνησίου και στα φύλλα. Αντιθέτως το κάλιο διατηρήθηκε σε υψηλότερα επίπεδα. Οι Savithri *et al.* (1993) παρατήρησαν ότι ο κόκος είναι πλούσιος σε K και σε πολλά ιχνοστοιχεία (Fe, Mn, Zn, Cu). Επίσης κατά την επεξεργασία του υποστρώματος δεν συνίσταται να εφαρμόζεται νερό που περιέχει άλατα, καθώς μπορεί να προκαλέσει αλατούχο καταπόνηση στην καλλιέργεια (Vavrina *et al.*, 1996). Όταν το υπόστρωμα περιέχει μικρού μεγέθους κόκκους (μικρότερους από 1 mm) παρουσιάζει πολύ καλές φυσικές ιδιότητες. Γενικά η αεροπερατότητα του κοκκώδους κόκκου κυμαίνεται μεταξύ 10-25% και το ολικό πορώδες του στα 86-94%. Το εύκολα διαθέσιμο νερό προσεγγίζει περίπου το 35% ενώ φαίνεται να συγκρατεί αρκετή υγρασία, υπερτερώντας της τύρφης (Prasad and Ni Chualáin, 2004). Όμως έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε εύκολα διαθέσιμο νερό σε σύγκριση με τον πετροβάμβακα (44%) και μικρό ολικό πορώδες (Noguera, 1998 ; Abad *et al.*, 2005).

Αντιθέτως τα περισσότερα ανόργανα υποστρώματα δεν επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων, έχοντας πλήρη έλεγχο της λίπανσης μέσο του θρεπτικού διαλύματος. Πρόκειται για τα χημικά αδρανή υποστρώματα τα οποία δεν παρουσιάζουν ανταλλακτική ικανότητα ιόντων και λόγω της προέλευσής τους δεν εντοπίζονται προβλήματα μεταφοράς ασθενειών. Στην πειραματική διαδικασία αξιολογήθηκαν τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα στην Ελλάδα, η ελαφρόπετρα, ο περλίτης και ο πετροβάμβακας.

Ο **πετροβάμβακας** στερείται ανταλλακτικής ικανότητας και η ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει τιμές 0,05-0,1 dS m^{-1}, με αποτέλεσμα η θρέψη του φυτού να ελέγχεται πλήρως από το θρεπτικό διάλυμα (Rijck and Schrevens (1998). Προβλήματα παρουσιάζονται σε pH μικρότερο του 5 όπου ορισμένα χημικά συστατικά αρχίζουν να διαλυτοποιούνται και η δομή του υποστρώματος να μεταβάλλεται. Ένα χαρακτηριστικό που εντοπίζεται και στον κόκο είναι ότι το φυτό έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει κάποιες μικρές ποσότητες μικροστοιχείων από το υπόστρωμα. Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί πλάκες πετροβάμβακα με πυκνότερη πλέξη στο ανώτερο τμήμα σε σχέση με το κατώτερο, βελτιώνοντας τις ιδιότητές του (Bougoul *et al.*, 2005). Στις φυσικές ιδιότητες το υψηλό πορώδες που παρουσιάζει (95-97%) και η υψηλή περιεκτικότητα σε εύκολα διαθέσιμο νερό (45%), τον κάνουν να υπερτερεί από τα υπόλοιπα υποστρώματα. Η αεροπερατότητα είναι 13-44% ανάλογα με το είδος του πετροβάμβακα. Επίσης η μύζηση αυξάνεται όταν η περιεκτικότητα σε νερό πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Fonteno and Nelson, 1990, Bonoit and Geustermans, 1996).

Ο **περλίτης** είναι χημικά αδρανής, έχει ουδέτερο pH, ενώ σε όξινο περιβάλλον μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα τοξικότητας. Δημιουργεί μια σταθερή κατανομή της υγρασίας στο υπόστρωμα ανεξάρτητα από τις κλιματικές συνθήκες. Ο τύπος που κυκλοφορεί στην Ελληνική αγορά παρουσιάζει πορώδες 85-95%, ανάλογα και από τη διάμετρο των κόκκων του, καθώς μικροί κόκκοι συγκρατούν περισσότερη υγρασία. Η αεροπερατότητα του είναι 40% και χαρακτηρίζεται από χαμηλή ικανότητα συγκράτηση ύδατος με τον κορεσμό του να επιτυγχάνεται πολύ γρήγορα, ενώ το εύκολα διαθέσιμο νερό είναι 20% (Σάββας, 2012).

Η **ελαφρόπετρα** είναι ένα υπόστρωμα με πολύ μεγάλο πορώδες σε όλη τη μάζα του και στην Ελληνική αγορά διατίθενται τρεις τύποι που διαφέρουν στο μέγεθος των κόκκων τους (0-3 mm, 0-8 mm και 2-10 mm), ενώ είναι αποτελεσματικοί σε πλήθος καλλιεργούμενων φυτών. Όσο αφορά τη χημική του σύσταση είναι ουδέτερο υλικό και σχεδόν αδρανές, καθώς ανάλογα την κοκκομετρική σύσταση μπορεί να παρουσιάσει μια ελάχιστη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Νικολετάκης, 2008). Το μεγαλύτερο μέρος των κατιόντων που προσφέρεται στα φυτά είναι το Ca, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τις υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου που εντοπίστηκαν σε φύλλα και βλαστό τομάτας.

Επιπλέον, η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε υδατικά εκχυλίσματα δείχνει να κυμαίνεται μεταξύ 0,1-0,2 dS m^{-1} ανάλογα με την προέλευση της (Boertje, 1995).

Δύο τύποι ελαφρόπετρας χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα οι οποίοι παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες. Το πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 70-75%, ενώ σε μικρής κοκκομετρικής σύστασης εντοπίζονται χαμηλότερες τιμές και μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη του φυτού (προβλήματα αερισμού των ριζών). Επίσης το εύκολα διαθέσιμο νερό είναι 2,27-0,57% και η αεροπερατότητα 20-40%. Γενικότερα το εύκολα διαθέσιμο νερό αυξάνεται όσο μειώνεται το μέσο μέγεθος των κόκκων του, ενώ στην ελαφρόπετρα 2-10 φτάνει στο 0,5% (Gizas and Savvas, 2007). Όπως συμβαίνει και στον περλίτη, δεν συγκρατεί μεγάλες ποσότητες διαλύματος για αυτό απαιτεί πιο συχνή άρδευση (Μπράτη & Αναστασίου, 2004). Ελαφρόπετρα μικρής κοκκομετρικής σύστασης παρουσιάζει καλύτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες με βάση τη βιβλιογραφία και σε πολλές περιπτώσεις αναμιγνύεται με την ελαφρόπετρα (2-10) (Maloupa *et al.*, 2000). Σε μία σειρά από πειράματα, οι Gizas και Savvas (2007) συνέκριναν τις καλλιεργητικές επιδόσεις των παραπάνω τύπων ελαφρόπετρας και προσπάθησαν να τις ερμηνεύσουν με βάση τις διαφορές τους όσον αφορά τις φυσικές τους ιδιότητες. Διαπιστώθηκε ότι οι πιο λεπτόκοκκοι τύποι ελαφρόπετρας έδιναν σημαντικά υψηλότερες παραγωγές στην γλάστρα λόγω του μεγαλύτερου ύψους υποστρώματος και συνεπώς της μεγαλύτερης αεροπερατότητας. Αντίθετα ο χονδρόκοκκος τύπος ελαφρόπετρας έδωσε καλύτερα αποτελέσματα όταν ήταν τοποθετημένος σε σάκους, πιθανόν λόγω μεγαλύτερης συγκράτησης υγρασίας όταν τοποθετείται σε στρώση χαμηλού ύψους (Σάββας, 2012).

Με βάση τα παραπάνω, εντοπίζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων όσον αφορά τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Με εξαίρεση τον κόκο ο οποίος ήταν το μοναδικό οργανικό υπόστρωμα στις μεταχειρίσεις που έγιναν, τα υπόλοιπα ήταν σχεδόν αδρανή έχοντας παραπλήσιες χημικές ιδιότητες. Εξαιτίας της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία (χουμικά οξέα), ο κόκος παρουσιάζει μια σημαντική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος. Μολονότι τα υπόλοιπα είναι χημικώς αδρανή υποστρώματα, κάποιες μελέτες αναφέρουν ότι ο πετροβάμβακας (μικροστοιχεία) και η ελαφρόπετρα (Ca, Mg) προσθέτουν στο διάλυμα μικρές ποσότητες στοιχείων χωρίς να επηρεάζουν τη σύστασή του. Επιπλέον στον κόκο το pH εξαρτάται από την προέλευσή του, ενώ συνήθως είναι ελαφρά όξινο. Στα υπόλοιπα υποστρώματα το pH παραμένει σταθερό, αλλά ο πετροβάμβακας και ο περλίτης σε όξινο περιβάλλον δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες για το φυτό. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα για όλα τα υποστρώματα πριν την εφαρμογή του θρεπτικού διαλύματος είναι σχεδόν μηδενική, με εξαίρεση τον κόκο που μπορεί να παρουσιάσει κάποιες ποσότητες αλάτων προερχόμενες από την διαδικασία της επεξεργασίας του (Raviv *et al.*, 2008).

Ένα ιδανικό υπόστρωμα πρέπει να συγκεντρώσει όσο το δυνατόν περισσότερη ποσότητα νερού και αέρα μετά από κάθε πότισμα. Διαφορές εντοπίζονται, τόσο μεταξύ υποστρωμάτων όσο και σε ίδια υποστρώματα διαφορετικής κοκκομετρίας, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Από τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ο πετροβάμβακας, ο περλίτης και η ελαφρόπετρα (2-10) σημειώνουν μεγαλύτερη αεροπερατότητα εξαιτίας του μεγέθους των πόρων. Στους δυο τύπους ελαφρόπετρας το εύκολα διαθέσιμο νερό και το πορώδες κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα, σε σύγκριση με τον κόκο, τον περλίτη και τον πετροβάμβακα. Εξαίρεση αποτελεί ο περλίτης που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα καθώς περιέχει πολύ χαμηλό ποσοστό σε εύκολα διαθέσιμο νερό.

Για μια συγκεκριμένη περιεκτικότητα υποστρώματος σε νερό, η μύζηση που ασκείται σε αυτό δεν είναι ίδια για όλα τα υποστρώματα. Οι τιμές επηρεάζονται πολύ από τις ιδιότητές τους και ιδιαίτερα από το πορώδες (Child, 1940). Σε κατάσταση κορεσμού η μύζηση είναι μηδενική, ενώ όταν αρχίσει να μειώνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία από ένα σημείο και μετά, οι τιμές της μύζησης μεταβάλλονται ανάλογα με το υπόστρωμα. Στον κόκο η αύξηση της μύζησης εντοπίζεται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα υγρασίας σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα, ενώ στον πετροβάμβακα η περιεκτικότητα σε υγρασία πρέπει να πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα για να αυξηθεί η μύζηση (Fonteno and Nelson, 1990). Προκύπτει λοιπόν ότι για τον ίδιο όγκο υποστρώματος όταν έχει μειωθεί αρκετά η περιεκτικότητά του σε νερό, ενώ η μύζηση για τον περλίτη και την κόκκο τείνει στο άπειρο, στον πετροβάμβακα υπάρχει νερό που είναι ακόμα διαθέσιμο για τα φυτά.. Παρόμοια αποτελέσματα εντοπίζονται και στην ελαφρόπετρα και κυρίως στην μικρής κοκομετρικής σύστασης (0-8) (Gizas and Savvas, 2007).

Μολονότι οι φυσικές και χημικές ιδιότητές τους διαφέρουν, το βασικό κριτήριο για έναν παραγωγό είναι το κόστος και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους. Η χρήση κόκου και πετροβάμβακα αυξάνει το κόστος παραγωγής λόγω της ανάγκης μεταφοράς τους από το εξωτερικό, σε αντίθεση με την ελαφρόπετρα και τον περλίτη που παράγονται στην Ελλάδα. Η ελαφρόπετρα παρουσιάζει το χαμηλότερο κόστος, καθώς δεν απαιτεί ιδιαίτερη επεξεργασία μετά την εξόρυξή της, πέρα από τον διαχωρισμό ξεχωριστών κοκομετρικών κατηγοριών με κοσκίνισμα. Διαδικασία που δεν εφαρμόζεται στην ελαφρόπετρα 2-10. Ένας από τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης είναι κατά πόσο το συγκεκριμένο υπόστρωμα μπορεί να είναι εξίσου παραγωγικό όσο και τα υπόλοιπα. Επίσης είναι σημαντικό μετά το τέλος της καλλιέργειας το εφαρμοζόμενο υδροπονικό υπόστρωμα να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να αξιοποιηθεί με κάποιο τρόπο χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον. Ο κόκος δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί αλλά μπορεί να μεταφερθεί στο έδαφος όπου διασπάται και βελτιώνει τις φυσικές και χημικές ιδιότητές του (Savithri and Khan, 1993). Συμβάλλει στη συγκράτηση υγρασίας, στην αύξηση της περιεκτικότητας σε θρεπτικά στοιχεία, στην αύξηση του συνολικού πορώδους και της υδραυλική αγωγιμότητας του εδάφους. Ούτε ο περλίτης μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί γιατί θρυμματίζεται με αποτέλεσμα να μειώνεται η υδατοχωρητικότητα και η αεροπερατότητα (Σάββας, 2012). Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ευκολία και το χαμηλό κόστος μεταφοράς. Μερικά υποστρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περισσότερες από μια καλλιέργειες (ελαφρόπετρα, πετροβάμβακας) αν απολυμανθούν σωστά. Συγκεκριμένα η ελαφρόπετρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αρκετές φορές εφόσον απολυμανθεί είτε με ατμό (Gunnlaugsson, 1995), είτε με χημικά μέσα όπως το χλώριο (Σάββας, 2012). Επιβάρυνση του περιβάλλοντος (ρύπους) παρουσιάζει ο πετροβάμβακας όταν απορρίπτεται στη φύση, με κάποιες χώρες να πετυχαίνουν την ανακύκλωσή του (Raviv *et al.*, 2002).

Πολλές μελέτες έχουν γίνει στο παρελθόν προκειμένου να εξεταστεί ο βαθμός που επηρεάζουν οι ιδιότητες των υποστρωμάτων την παραγωγή, την ανάπτυξη, τη θρεπτική κατάσταση των φυτών και την ποιότητα του παραγόμενου καρπού. Στην παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια να αξιολογηθεί και να συγκριθεί η βλαστική ανάπτυξη και η παραγωγικότητα φυτών τομάτας. Με βάση τα διαγράμματα που απεικονίζουν τη βλαστική ανάπτυξη, για συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σημαντικές διαφορές εντοπίστηκαν στην έκταση της φυλλικής επιφάνειας και στο ύψος των βλαστών. Ο κόκος φάνηκε και στις δυο περιπτώσεις να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων υποστρωμάτων, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη οργανικής ουσίας, παρέχοντας στο φυτό καλύτερη θρέψη και γρήγορη ανάπτυξη στα πρώτα στάδια. Αντιθέτως στα υπόλοιπα υποστρώματα ο ρυθμός ανάπτυξη ήταν ίδιος. Οι Vavrina *et al.* (1996) μελέτησαν το ρυθμό και την εξέλιξη της βλάστησης σε καλλιέργειας τομάτας σε κόκο. Με βάση και τα αποτελέσματα του πειράματος, διαπιστώθηκε ότι το ύψος και γενικότερα ο ρυθμός ανάπτυξης (φυλλική επιφάνεια και αριθμός φύλλων) του φυτού ήταν υψηλότερος σε σχέση με άλλα υποστρώματα.

Ένας επιπλέον τρόπος για την αξιολόγηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών ήταν η καταγραφή του νωπού και ξηρού βάρους φύλλων και βλαστών. Στα Γραφήματα 4 και 5 η μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους στα φύλλα παρουσίασε μια ομοιόμορφη κατανομή των τιμών από όλα τα υποστρώματα. Στο τέλος της καλλιέργειας έγιναν οι αντίστοιχες μετρήσεις στους βλαστούς, με τον κόκκο και τον πετροβάμβακα να σημειώνουν υψηλές τιμές, έναντι των άλλων υποστρωμάτων. Έτσι επιβεβαιώνεται και εδώ ότι τα φυτά που ήταν στον κόκο είχαν μεγαλύτερη ανάπτυξη. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ποσοστό της ξηρής ουσίας σε φύλλα και βλαστό, όπου οι διαφορές ήταν αμελητέες μεταξύ των υποστρωμάτων, διατηρώντας μια σταθερή αναλογία μεταξύ νωπού και ξηρού βάρος.

Επιπροσθέτως καταγράφηκε το βάρος και ο αριθμός των καρπών ανά φυτό τομάτας, στα οποία δεν εντοπίστηκαν διαφορές. Με την ίδια ποσότητα θρεπτικού διαλύματος η ελαφρόπετρα κοκκομετρίας 2-10, που είναι ένα φθηνό ακατέργαστο υλικό, ήταν εξίσου παραγωγική όπως ο πετροβάμβακας, ο κόκκος, ο περλίτης και η ελαφρόπετρα (0-8). Οι Vavrina *et al.* (1996) παρατήρησαν ότι στον κόκο ανοιξιάτικη καλλιέργεια τομάτας άργησε να παράγει καρπούς, γεγονός που συνέβη και στο παρόν πείραμα και μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη βλαστική ανάπτυξη σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα. Σε μια σύγκριση που έγινε από τους Gunnlaugsson *et al.* (1995) με φυτά τομάτας σε πετροβάμβακα και ελαφρόπετρα, επιβεβαιώνουν ότι δεν εντοπίστηκαν διαφορές στην παραγωγή μεταξύ των δυο υποστρωμάτων.

Σύμφωνα με τον Γράφημα 17, υπήρξαν αποκλίσεις μεταξύ των υποστρωμάτων σχετικά με το μέσο βάρος ανά καρπό. Καρποί από τον κόκκο είχαν μεγαλύτερο βάρος, σε σχέση με τον πετροβάμβακα, τον περλίτη και τους δυο τύπους ελαφρόπετρας. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στην προέλευση του κόκου καθώς είναι υπόστρωμα που περιέχει οργανική ουσία. Σύμφωνα με τους Rincon *et al.* (2004) οι οποίοι εφαρμόζοντας ανοιχτό σύστημα υδροπονίας σε κόκο, με περίπου τις ίδιες ποσότητες αρδεύσεων, κατέγραψαν ένα μέσο βάρος καρπών τομάτας κοντά στα 200 g και με EC στην απορροή 3-6 dS m^{-1}. Στη συνέχεια ο πετροβάμβακας, η ελαφρόπετρα (0-8) και ο περλίτης διατηρήθηκαν στα ίδια επίπεδα. Αντιθέτως η ελαφρόπετρα κοκκομετρία 2-10 σημείωσε το μικρότερο βάρος και μέγεθος ώριμων καρπών, από τους οποίους πολλοί ήταν χαμηλής ποιότητας.

Στο εργαστήριο αξιολογήθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, οι οποίοι βρίσκονταν στο ίδιο στάδιο ωρίμανσης και ήταν ίδιου χρώματος. Όσον αναφορά την περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά (σάκχαρα, βιταμίνες, αμινοξέα, οργανικά οξέα κ.α.), φάνηκε ότι ο κόκος και ο περλίτης υπερτερούν κατά πολύ έναντι του πετροβάμβακα και των δυο τύπων ελαφρόπετρας. Υψηλές τιμές σε καρπούς τομάτας από κοκοφοίνικα εντόπισαν και οι Muro *et al.* (2004), στα πλαίσια της εξέτασης των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους. Επίσης ο περλίτης με βάση τη βιβλιογραφία παράγει καρπούς πλούσιους σε σάκχαρα (Borji *et al.*, 2010). Μικρότερες ποσότητες ολικών διαλυτών στερεών εντόπισαν οι Alan *et al.* (1993) σε υποστρώματα ελαφρόπετρας και μίγμα ελαφρόπετρας-άμμου, τα οποία σημείωσαν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο Γράφημα 11. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις τους σε κάποιους καρπούς πιθανόν να οφείλονται και σε προβλήματα θρέψης (π.χ. φώσφορος, κάλιο) (Sonneveld and Voogt, 2009 ; Lacatus *et al.*, 1994). Επίσης οι Auerswald *et al.* (1999), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζει τις συγκεντρώσεις των σακχάρων.

Επιπροσθέτως στους καρπούς εξετάστηκε η συνεκτικότητά τους, γεγονός που δίνει πληροφορίες σχετικά με τη μετασυλλεκτική συμπεριφορά. Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση (Γράφημα 12), καρποί που συλλέχθηκαν από τον περλίτη και την ελαφρόπετρα (2-10) διατήρησαν σε μεγαλύτερο βαθμό την συνεκτικότητά τους. Οι Τζωρτζάκης και Οικονομάκης (2008), σε καλλιέργεια τομάτας εξέτασαν δείγματα από υποστρώματα περλίτη, ελαφρόπετρα και συμπέραναν ότι όλοι οι καρποί κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα συνεκτικότητας. Αντιθέτως δείγματα από πετροβάμβακα, ελαφρόπετρα (0-8) είχαν ελαφρώς μικρότερο βαθμό συνεκτικότητας ενώ στον κόκο σημείωσαν τις μικρότερες τιμές καταγράφοντας μεγαλύτερη ευαισθησία στους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς. Αυτό αντανακλά αλλαγές στη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων των ιστών τους με αποτέλεσμα να αποδομείται ο καρπός πιο εύκολα.

Στο τέλος της καλλιέργειας ακολούθησε χημική ανάλυση προκειμένου να εξεταστεί η θρεπτική κατάσταση σε φύλλα και βλαστούς. Οσον αφορά το κάλιο, με βάση τη στατιστική ανάλυση, οι συγκεντρώσεις του ήταν περίπου ίδιες για όλα τα υποστρώματα σε φύλλα και βλαστό. Ο περλίτης υστερούσε λίγο έναντι των υπολοίπων υποστρωμάτων, πράγμα που επηρεάζεται και από τη μικρή ικανότητα συγκράτησης του θρεπτικού διαλύματος.

Αντιθέτως η απορρόφηση μαγνησίου από τα φυτά φάνηκε να επηρεάστηκε από τη χρήση διαφορετικών υποστρωμάτων. Οι συγκεντρώσεις του στα φύλλα ήταν διαφορετικές, με φυτά από την ελαφρόπετρα (2-10) και τον περλίτη να σημειώνουν υψηλές τιμές, ενώ από πετροβάμβακα, κόκκο και ελαφρόπετρα (0-8) κυμάνθηκαν πιο χαμηλά. Παράλληλα στην ελαφρόπετρα (2-10) τα φυτά είχαν αυξημένη συγκέντρωση και στα βλαστό, συμπαιρένοντας ότι είτε η διατήρηση θρεπτικού διαλύματος ήταν μεγαλύτερη σε αντίθεση με τα υπόλοιπα υποστρώματα, είτε η ικαονότητα ανταλλαγης κατιόντων που εντοπίζεται στην ελαφρόπετρα συμμετείχε στη θρέψη του φυτού (Maloupa *et al.*, 2000). Σταθερά υψηλές ποσότητες μαγνησίου εντοπίστηκαν σε δείγματα από τον πετροβάμβακα.

Το ασβέστιο είναι ένα στοιχείο απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών τομάτας (del Amor and Marcelis, 2006), ενώ έλλειψη ασβεστίου μπορεί να προκαλέσει ξηρή σήψη στην κορυφή του καρπού (Ho *et al.*, 1993; Grattan and Grieve, 1999). Με βάση το Γράφημα 20, οι συγκεντρώσεις ασβεστίου στο βλαστό φάνηκαν να παραμένουν σταθερές ανεξαρτήτως υποστρώματος αλλά και εδώ παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση στην ελαφρόπετρα (2-10). Αντίθετα στα φύλλα εντοπίστηκαν διαφορετικές ποσότητες ανάλογα το υπόστρωμα, με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε ελαφρόπετρα (2-10) και κόκο να υπερτερούν έναντι των υπολοίπων. Ελάχιστα μικρότερες ποσότητες συγκέντρωσαν δείγματα από ελαφρόπετρα (0-8) και περλίτη, ενώ ακόμα χαμηλότερες ήταν στον πετροβάμβακα. Οι διαφορές αυτές μπορούν να οφείλονται στην οργανική φύση του κόκκου, στην καλύτερη διατήρηση του θρεπτικού διαλύματος ή στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Έχει αποδειχθεί στο παρελθόν ότι φυτά που αναπτύσσονται σε οργανικά υποστρώματα περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες Ca έναντι των ανόργανων υποστρωμάτων (Premuzic *et al.*, 1998). Επιπλέον ο Adams (2002) αναφέρει ότι η κατανομή του Ca στα φύλλα επηρεάζεται από τον ανταγωνισμό που αναπτύσσεται με τους καρπούς και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν (αύξηση διαπνοής).

Μολονότι σημαντικές διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων στην παραγωγή δεν εντοπίστηκαν, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά έδειξαν ότι ο περλίτης μπορεί να παράγει συνεκτικούς καρπούς τομάτας πλούσιους σε ολικά διαλυτά στερεά. Ο πετροβάμβακας και ο κόκος ενώ παράγουν καρπούς μικρής συνεκτικότητας, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά. Επιπλέον η ελαφρόπετρα (2-10), παρουσίασε μια αυξημένη παραγωγή η οποία μπορεί να ανταγωνιστεί εμπορικά υποστρώματα όπως ο περλίτης, ο πετροβάμβακας και ο κόκος, παράγοντας καρπούς με μεγάλο βαθμό συνεκτικότητας. Μια ακόμα σημαντική παρατήρηση, είναι οι υψηλές συγκεντρώσεις ορισμένων στοιχείων σε φυτικούς ιστούς που προήλθαν από την ελαφρόπετρα (2-10), εξαιτίας της αυξημένης ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων και των φυσικών της ιδιοτήτων, δημιουργώντας ικανοποιητικές συνθήκες θρέψης στις ρίζες. Ο συγκεκριμένος τύπος ελαφρόπετρας παρουσιάζει αρκετά χαμηλό κόστος και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης σε περισσότερες από μια καλλιέργειες αν απολυμανθεί σωστά. Βέβαια ένα σημαντικό μειονέκτημα ήταν η μικρή αναλογία βάρος/καρπό, καθώς είχε περισσότερους καρπούς χαμηλής ποιότητας έναντι των υπολοίπων υποστρωμάτων.

Πιθανόν κάποια υποστρώματα να είχαν μεγαλύτερες ή μικρότερες απαιτήσεις σε θρεπτικό διάλυμα λόγω των διαφορετικών φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Για παράδειγμα στους δυο τύπους ελαφρόπετρας και στον κόκο η EC στην απορροή έφτασε μέχρι 8-11 dS m^{-1}, δείχνοντας υπερβολική συγκέντρωση αλάτων. Η γνώση και η αξιοποίηση των χαρακτηριστικών του κάθε υποστρώματος, μπορεί να εξασφαλίσει καλύτερη θρέψη και ανάπτυξη για την εκάστοτε καλλιέργεια. Σήμερα πολλά πλεονεκτήματα παρουσιάζουν μίγματα υποστρωμάτων, είτε λόγω διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης, είτε με ανάμιξη οργανικού με ανόργανο υπόστρωμα, προκειμένου να αξιοποιηθούν καλύτερα οι ιδιότητές τους (Maloupa *et al.*, 2000). Επιπλέον δοκιμάζονται και μέθοδοι εμβολιασμού των φυτών με μύκητες ή βακτήρια, τα οποία θα συνεισφέρουν στην απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων για το φυτό (Raviv *et al.*, 2008). Κάθε νέα μέθοδος που εφαρμόζεται στην υδροπονία αποσκοπεί στη βελτίωση όσο το δυνατόν περισσότερο των συνθηκών ανάπτυξης του φυτού και συγκεκριμένα του ριζικού συστήματος, προκειμένου εκτός από το να ανταγωνίζεται να υπερτερεί των ιδιοτήτων ενός γόνιμου εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abad M. *et al.*, 1995. La fibra de coco, un nuevo substratto horticola para el cultivo sin suelo. VI Congreso de la Sociedad.
- Adams P., 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas D, Passam H, eds. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Athens, Greece: Embryo Publications, 211–261.
- Akl I.A., D. Savvas, N. Papadantonakis, N. Lydakis-Simantiris, P. Kefalas, 2003. Influence of ammonium to total nitrogen supply ratio on growth, yield and fruit quality of tomato grown in a closed hydroponic system. Europ. J. Hort. Sci, 68, 204-211.
- Allaire S.E., Caron J., Duchesne I., Parent L.-E., Rioux J.-A., 1996. Air-filled porosity, gas relative diffusivity, and turtuosity: Indices of Prunus X cistena sp. grown in peat substrates. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121:236–242.
- Anonymous, 1997a. Water: what's in it and how to get it out, Today's Chem. 6(1):1–19.
- Armitage A.M., 1993, Specialty cut flowers (Varsity Press/Timber Press, Portland, OR).
- B. Gunnlaugsson, S. Adalsteinsson, 1995. Pumice as environment friendly substrate a comparison with rockwool
- B. Gunnlaugsson, S. Adalsteinsson, 1995. Pumice as environment-friendly substrate-A comparison with rockwool.
- Baker K.F., 2001. Healthy Container-Grown Plants Through the Use of Clean Soil, Clean Stock, and Sanitation. University of California, Division of Agricultural Sciences, pp. 68–85.
- Batra S.K., 1985. Other long vegetable fibers. Handbook of Fiber Science and Technology #4.

- Bauerle W. L., 1984. "Bag culture productivity of greenhouse tomatoes." Special Circular 108. Columbus: Ohio State Univ.
- Bergmann W., 1988. Emahrvngsslomngen hei Kulturpflatcen, Oustav Fischer ferfag, Stuttgart, 380 pp.
- Boertje G.A., 1995. Chemical and physical characteristics of pumice as a growing medium. Acta Hort. 401:85–87.
- Bragg, 1991. Peat and its alternatives. Horticultural Development Council, Petersfield, England.
- Bunt A.C., 1988. Media and mixes for container-grown plants (Unwin Hayman, London).
- Bures S., Marfa O., Perez T., 1997. Measure of substrates unsaturated hydraulic conductivity. Acta Hort. (ISHS), 450, 297–304.
- C.S. Vavrina, K. Armbrester, Mireia Arenas and M. Pena Covonut coir as an alternative to peat media for vegetable transplant production. University of
- Calkins J.B., Jarvis B.R. and Swanson B.T., 1997. Compost and rubber tire chips as peat substitutes in nursery container media: growth effects.
- Cees Sonneveld and Wim Voogt, 2008. Plant Nutrition of Greenhouse Crops.
- Chaignon V., Bedin F., Hinsinger P., 2002. Copper bioavailability and rizosphere pH changes as affected by nitrogen supply for tomato and oilseed rape cropped on an acidic and a calcareous soil. Plant and Soil 243, 219-228.
- Challinor P.F., 1996 Proc., 5th Internat. Congr. Soilless Culture. ISOSC (Wageningen, The Netherlands), The use of pumice in horticulture, pp 101–104.
- Challinor P.F., 1996. The use of pumice in horticulture. In Proceedings of 9th International Congress.
- Challinor P.F., La Pivert J. and Fuller M.P., 1995. The production of standard carnation on nutrient.
- Chapagain BP., Wiesman Z., 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. Scientia Horticulturae 99,279-288.

- Chen J., Gabelman WH., 2000. Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium-acquisition efficiency. Scientia Horticulture 83, 213-225.
- Cooper A., 1979. The ABC of NFT. London, UK: Grower Books.
- Cooper A.J., 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. Sci. Hort., 3, 251–258.
- Cooper A.J., 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. Sci. Hort., 3, 251–258.
- Cop J. Muro, I. Irigoyen, P. Samitier, P. Mazuela, M.C. Salas, J. Soler and M. Urrestarazu, 2004. Wood Fiber as Growing Medium in Hydroponic.
- Da Silva F.F., Wallach R., Chen Y., 1993. Hydraulic properties of sphagnum peat moss and tuff (scoria) and their potential effects on water availability. Plant Soil 154:119–126.
- Davies J., Hobson G., 1981. The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition and genotype. In: Mcglasoon W. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 15: 205-281.
- De Groot CC., Marcelis LFM., van den Boogaard R., Lambers H., 2002. Interactive effects of nitrogen and irradiance on growth and partitioning of dry mass and nitrogen in young tomato plants. Functional Plant Biology 29. 1319-1328.
- De Groot CC., Mareelis LFM., van den Boogaard R., Lambers., 2001. Growth and dry-mass partitioning in lomato as affected by phosphorus nutrition and light. Plant, Cell and Environment 24, 1309-1317.
- De Kreij C. and van Leeuwen G.J.L., 2001. Growth of pot plants in treated coir dust as compared to peat. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 32, 2255–2265.
- De Kreij C., 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. Acta Hort., 408:47-61.
- De Kreij C., Voogt W., Baas R., 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures (Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG) Naaldwijk, The Netherlands) Brochure 196.

- Del Amor FM., Martinez V., Cerdα A., 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. HortScience 36: 1260–1263.
- Drsal M.S., Fonteno W.C., Cassel D.K., 1999. Pore fraction analysis: A new tool in substrate analysis. Acta Hort. 481:43–54.
- E. Maloupa, A. Abou Hadid, M. Prasad, CH. Kavafakis., 2000. Response of cucumber and tomato plants to different substrates mixtures of pumice in substrate culture.
- Eastwood T. 1947. Soilless Growth of Plants. 2nd Edition. Reinhold Publishing, New York.
- F. Artιs, M.A. Conesa, S. Hernαndez, M.I. Gil, 1999. Keeping quality of fresh-cut tomato Pages 153–162.
- Farnhand D.S., Hasek R.F. and Paul J.L., 1985. Water Quality. Division of Agricultural Science, Leaflet 2995, University of California, Davis, CA.
- Faulkner S.P., 1998a. The modified Steiner solution: A complete nutrient solution, The Growing Edge 9(4):43–49.
- Faulkner S.P., 1998b. Slow-release nutrient amendment mixes, The Growing Edge 10(1):87–88.
- Fernandez V. Ebert G., 2005. Foliar iron fertilization: A critical review. Journal of Plant Nutrition 28, 2113-2124.
- Fonteno W.C., 1996. In Water, media, and nutrition for greenhouse crops, Growing media: Types and physical/chemical properties, ed Reed D.W. (Ball Publishing, Batavia, IL), pp 93–122.
- Fornes F., Belda R.M., Abad M., 2003. The micro structure of coconut coir bust for use as alternative to peat soilless growing media. Aust. J. Exptl. Agric., 43, 1171–1179.
- Ganmore-Neumann R. and U. Kafkafi, 1980. Root temperature and percentage NO_3^-/NH_4^+ effect on tomato plants. I Morphology and growth. Agron. J. 72:758-761.
- Garcia M. and Deverde C., 1994. Le residu des fibres de coco a nouveau substrat pour la culture hors sol. PHM. Rev. Hortic., 348, 7–12.

- Gericke W.F., 1929. Aquaculture: a means of crop production, Am. J. Bot. 16:862.
- Gericke W.F., 1937. Hydroponics – crop production in liquid culture media. Science, 85, 177–178.
- Gericke W.F., 1937. Hydroponics crop production in liquid culture media, Science 85:177–178.
- Gericke W.F., 1940. Complete Guide to Soilless Gardening, Prentice Hall, New York.
- Gislerψd H.R., Kempton R.J., 1983. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. Sci. Hort. 23–33.
- Gizas G., Savvas D. Mitsios I., 1999. Availability of macrocations in perlite and pumice as influenced by the application of nutrient solutions having different cation concentration ratios. Acta Hort. 548:277–284.
- Grattan SR., Grieve CM., 1999. Salinity-mineral relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 78 127-157.
- Gunnlaugsson B., Adelsteinsson S., 1995. Pumice as environment-friendly substrate; a comparison with rockwool. Acta Hort. 401:131–136.
- H. Auerswald, D. Schwarza, C. Kornelson, A. Krumbein, B. Brueckner, 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. Scientia Horticulturae 82. 227±242.
- Hanan J., Olympios C., Pittas C., 1981. Bulk density, porosity, percolation and salinity control in shallow, freely draining potting soils. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106:742–746.
- Handreck K.A., 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. Commun. Soil & Plant Anal. 24:349-363.

- Handreck K.A., 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. Commun. Soil & Plant Anal. 24:349-363.

- Hao X., Papadopoulos AP. 2003. Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. Canadian Journal of Plant Science 83: 903–912.

- Hao X., Papadopoulos AP., 2004. Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. HortScience 39: 512–515.
- Harris D., 1977. Hydroponics: The Gardening without Soil, Pumell & Sons, Cape Town, South Africa.
- Hassan Borji, Ahmad Mohammadi Ghahsareh, Mehrdad Jafarpour. 2010. Effects of the Substrate on Tomato in Soilless Culture.
- He ZL, Yang Xe, Stoffella Pj, 2005, Trace elements in agroecosysterns and impacts on the environment. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 19, 125-140.
- Ho LC, Belda R, Brown M, Andrews J, Adams P. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. Journal of Experimental Botany 44: 509–51.
- Ho LC. 1998a. To quantify environmental and physiological factors controlling calcium uptake, transport and utilization on yield and quality of tomato and sweet peppers in glasshouses. Final report on MAFF project HH1309SPC.
- Ho L.M., Adams P. 1988. Effects of Diurnal Changes in the Salinity of the Nutrient Solution on the Accumulation of Calcium by Tomato Fruit Plant Physiology Department, AFRC Institute of Horticultural Research Littlehampton, West Sussex BN17 6LP, UK.
- Imas P., Bar-Yosef B., Kafka U., Ganmore-Neumann R. 1997. Phosphate induced carboxylate and proton release by tomato roots. Plant and Soil 191: 35±39.
- Islam M.S., Kahn T., Ito T., 2002. Characterisation of the physio-chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rock wool. J. Hort. Sci. Biotech., 77, 1462–1465.
- J. Amer, 1989a. Hydrology of horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media Soc. Hort. Sci. 114:48–52.
- J. Benton, Jones Jr., 2005. Hydroponics, A Practical Guide for the Soilless Grower.

- Jenkins J.A., 1948. The origin of the cultivated tomato Econ.Bot., 2Q379-392
- Jones J.B., 1998, Plant Nutrition Manual, CRC Press, Inc, Boca Raton, FL.
- Kaya C., Higgs D., 2002. Improvements in physiological and nutritional developments of tomato cultivars grown at high zinc by foliar application of phosphorus and iron. Journal of Plant Nutrition 25, 1881-1894.
- Kirkby EA., Knight AH., 1977. Influence of the level of nitratenutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation, and cation-anion balance in whole tomato plants. Plant Physiology 60, 349-53.
- Klieber A., Lin W.C., Jolliffe P.A., Hall J.W., 1993. Training systems affect canopy light exposure and shelf life of long English cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:786–790.
- L. Rincσn, A. Pιrez, A. Abadva and C. Pellicer, 2004. Yield, Water Use and Nutrient Uptake of a Tomato Crop Grown on Coconut Coir Dust.
- Lacatus V., Botez M., Chelu R., Mirghis R., Voican V., 1994. The influence of organic and mineral fertilizers on tomato quality for Horti. 276:329-332.
- Lingle J.C. and Lorenz A.O., 1969. Potassium nutrition of tomatoes. J. Amer. Hort. Sci. 94: 679-683.
- Lopez-Medina J., Perablo A. and Flores, F., 2004. Closed soilless system growing: A Sustainable Solution to Strawberry Crop in Huelva (Spain). Acta Hort. (ISHS), 649, 213–215.
- Majmudar A.M., Hudson J.P., 1957. The effects of different water regimes on the growth of plants under glass. II. Experiments with lettuces (Lactuca sativa Linn.) J. Hort. Sci. 32:201–213.
- Maloupa E., 2002. In Hydroponic production of vegetables and ornamentals, Hydroponic systems, eds Savvas D., Passam H.C. (Embryo Publications, Athens, Greece), pp 143–178.
- Maloupa E., Abou-Hadid A., Prasad M., Kavafakis C., 2001. Response of cucumber and tomato plants to different substrates mixtures of pumice in substrate culture. Acta Hort. 559:593–600.
- Manuel Abad, Fernando Fornes, Carolina Carriσn, Vcinte Noguera, 2005. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat.

- Marcel Dekker, Handbook of Plant and Crop Physiology, New York.
- Marschner H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, New York.
- Mass E.V., 1986. Salt tolerance of plants. Appl. Agric.Res 1:12-26.
- Matkin O.A. and Chandler P.A., 1957. The U.C.-type soil mixes. In The U.C. System for Producing.
- Maynard E.T., C.S. Vavrina and D. Scott., 1996. Containerized muskmelon transplants: cell volume effects on pretransplant development and subsequent yield. HortScience, 31:158-61.
- Michael Raviv and J. Heinrich Lieth, 2008. Soilless culture.
- Milks R.R., Fonteno W.C., Larson R.A., 1989b. Hydrology of horticultural substrates: III. Predicted air and water content of limited-volume plug cells. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:57–61.
- Mills HA., Jones .Ir., 1996. Plant Analysis Handbook II, MicroMacro Publishing Inc, Athens, GA, USA, 422 pp.
- Mills HA., Jones Ir., 1996. Plant Analysis Handbook II, MicroMacro Publishing Inc, Athens, GA, USA, 422 pp.
- N. G. Tzortzakis, C. D. Economakis, 2008. Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation
- Navarro JM., Flores P., Carvajal M., Martinez V., 2005. Changes in quality and yield of tomato fruit with ammonium, bicarbonate and calcium fertilisation under saline conditions. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 80, 351-357.
- Naville E.H., 1913. The Temple of Deir el-Bahari (Parts I–III), Vol. 16. London: Memoirs of the Egypt Exploration Fund. pp. 12–17.
- Nelson P.V., Oh Y.-M. and Cassel D.K., 2004. Changes in physical properties of coir dust substrates during crop production. Acta Hort. (ISHS), 644, 261–268.
- Noguera M., Abad R., Pucchades and Maquiera A., 2003a. Coconut coir waste, a new and viable ecologically friendly peat substitute. Acta Hort. (ISHS), 517, 279–286.

- Noguera P., Abad M., Puchades R., 2003b. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust in container medium. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 34, 593–605.
- Φ. Dóndar, M. Paksoy, K. Abak, 1995. Quality changes during cold storage of tomato fruits grow in different substrates.
- Olympios C.M., 1992. Soilless media under protected cultivation: rockwool, peat, perlite and other substrates. Acta Hort. (ISHS), 323, 215–234.
- Olympios C.M., 2008. Protected Cultivation in Greece 2nd Coordinating Meeting of the Regional FAO Working Group on Greenhouse Crop Production in the SEE Countries p:30
- P. Noguera, M. Abad, R. Puchades, V. Noguera, A. Maquieira J. Martinez, 1998. Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth.
- P.F. Martinez, M. Abad, 1992. Soileless culture of tomato in different mineral substrates.
- Papadopoulos A.P., Hao X., Tu J.C. and Zheng J., 1999. Tomato production in open or closed rockwool culture systems with NFT or rockwool nutrient feedings. Acta Hort. (ISHS), 481, 89–91.
- Pardossi A., Carmassi G., Diara C., Incrocci L., Maggini R., Massa D., 2011. Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture.
- Passam H.C., (Embryo Publications, Athens, Greece), pp 103–141.
- Passam H.C., Karapanos I.E., Bebeli PJ., Savvas D., 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. The European Journal of Plant Science and Biotechnology 1(1): 1-21.
- Patakioutas G., Savvas D., Matakoulis C., Sakellarides T., Albanis T., 2007. Application and fate of Cyromazine in a closed-cycle hydroponic cultivation of bean (Phaseolus vulgaris L.). J. Agric. Food Chem. 55, 9928-9935.
- Plaut Z., Zieslin N., Arnon I., 1973. The influence of moisture regime on greenhouse rose production in various growth media. Sci. Hort. 1:239–250.

- Prasad M. and Ni Chualain D., 2004. Relationship between particle size and airspace of growing media. Acta Hort. (ISHS), 648, 161–176.
- Prasad M., 1997a. Nitrogen fixation of various materials from a number of European countries by three nitrogen fixation tests. Acta Hort. (ISHS), 450, 353–362.
- Prasad M., 1997b. Physical, chemical and biological properties of coir dust. Acta Hort. (ISHS), 450, 21–30.
- Pryce S., 1990. Alternatives to peat. Pro.Hortic. 5:101-106.
- R. Alan, A. Zulkadir, H. Padem, 1993. The influence of growing media on growth, yield and quality of tomato grown under greenhouse conditions.
- R.L. Jackman, A.G. Marangoni and D.W., 1990. Stanley Measurement of Tomato Fruit Firmness. Hortscience 25(7):781-783.
- Raab TK., Terry N., 1994. Nitrogen-source regulation of growth and photosynthesis in Beta vulgaris L. Plant Physiol 105:1159-1 166.
- Raviv M., Wallach R., Silber A., Bar-Tal A., 2002. In Hydroponic production of vegetables and ornamentals, Substrates and their analysis.
- Raviv M., Wallach R., Silber A., Medina Sh., Krasnovsky A., 1999. The effect of hydraulic characteristics of volcanic materials on yield of roses grown in soilless culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124:205–209.
- Resh H.M., 1997. Hydroponic Food Production (5th Edition). Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California.
- Resh H.M., 1995. Hydroponic Food Production, 5th ed., Woodbridge Press Publishing, Santa Barbara, CA.
- Rick C.M., 1950. Pollination relations of Lycopersicon esculentum in native and foreign regions Evolution 4:110-122.
- Rubio L., Rosado A., Linares-Rue da A., Borsani O., Garcia-Sanchez M.J., Valpuesta V., Fernandez J.A., Botella M.A., 2004. Regulation of K7 transport in tomato roots by the TSS1 locus. Implications in salt tolerance. Plant Physiology 134, 452-459.
- Rupp L.A. and Dudley L.M., 1989. Iron availability in rockwool may affect rose nutrition. Hort. Science, 24, 258–260.

- Sammis T.W., Kratky B.A., Wu I.P., 1988. Effects of limited irrigation methods on lettuce and Chinese cabbage yields. Irrig. Sci. 9:187–198.
- Sandra Hardy, 2010. Citrus maturity testing.
- Saure MC., 2001. Blossom-end rot of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.)- a calcium- or a stress-related disorder. Scientia Horticulturae 90: 193–208.
- Savithri P. and H.H. Khan, 1993. Characteristics of coconut coir peat and its utilization in agriculture. Journal of plant crop. pp 22:1-18.
- Savithri P. and H.H. Khan, 1993. Characteristics of coconut coir peat and its utilization in agriculture. Journal of plant crop. 22:1-18.
- Savithri P., V. Murugappan and R. Nagarajan., 1993. Possibility of economizing K fertilization by composted coir peat application. Fert. News. 38:39-40.
- Savithri P., V. Murugappan, and R. Nagarajan., 1993. Possibility of economizing K fertilization by composted coir peat application. Fert. News. 38:39-40.
- Savvas D. and Adamidis K., 1999. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH and nutrient concentration ratios. J. Plant Nutr. 22(9): 1414-1432.
- Savvas D., 2001. Nutritional management of gerbera (Gerbera jamesoni) grown in a closed soilless culture system. Acta Hort. 554:175–182.
- Savvas D., Manos G., 1999. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. J. Agr. Eng. Res. 73:29–33.
- Savvas D., Passam H.C., 2003. (Embryo Publications, Athens, Greece), pp 25–101.
- Seacheol Min, Z. Tony Jin and Q. Howard Zhang, 2002. Commercial Scale Pulsed Electric Field Processing of Tomato Juice.
- Seeley J.G., 1987. In Roses. A manual of greenhouse rose production, Soil aeration, ed Langhans R.W. (Roses Incorporated, Haslett, MI), pp 39–42.
- Shenker M., Plessner OE., Tel-Or E., 2004. Manganese nutrition effects on tomato growth, chlorophyll concentration, and superoxide disrnutase activity. Journal of Plant Physiology 161. 197-202.

- Siddiqi MY., Mafhotra B., Min X., Glass ADM., 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 165, 191-197.
- Simon Chrιtien and Andrι Gosselin, 2005. High Electrical Conductivity and Radiation-based Water Management Improve Fruit Quality of Greenhouse Tomatoes Grown in Rockwool.
- Smith, D.L. 1987. Rockwool in Horticulture. London, UK: Grower Books.
- Sonneveld C., 1995. Proceedings of the Dahlia Greidinger International Symposium on Fertigation, Fertigation in the greenhouse industry (Technion–Israel Institute of Technology, Haifa, Israel), pp 121–140.
- St Helier, Jersey. ISOSC, Wageningen, 1996. Soilless Culture, The Netherlands. pp. 101–104.
- Sutton B.G., Merit N., 1993. Maintenance of lettuce root zone at field capacity gives best yields with drip irrigation. Sci. Hort. 56:1–11.
- Teo and Tan, 1993. Tomato production in cocopeat. Planter 69.
- Tindall J.A., Mills H.A., and Radcliffe D.E., 1990. The effect of root zone temperature on nutrient solution uptake of tomato, J. Plant Nutr. 13:939–956.
- Van der Gaag D.G. and Wever G., 2005. Conduciveness of different soilless growing media to Pythium root and crown rot of cucumber under near-commercial conditions. Eur. J. Pl. Pathol., 112, 31–41.
- Van Genuchten M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49:12–19.
- Van Genuchten M.T., Nielson D.R., 1985. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. Ann. Geophys. 3:615–628.
- Van Os E.A., Gieling T.H., Ruijs M.N.A., 2002. In Hydroponic production of vegetables and ornamentals, Equipment for hydroponic installations, eds Savvas D.
- Vavrina C.S. and W. Summerhill., 1992. Florida vegetable transplant survey, 1989-1990. HortTechnology, 2:480-483.

- Verwer F.L. and Wellman J.J.C., 1980. The possibilities of Grodan rockwool in horticulture, pp. 263–278 in Fifth International Congress on Soilless Culture, International Society for Soilless Culture, Wageningen, The Netherlands.
- Verwer, F.L.J.A., 1978. Research and results with horticultural crops grown in rockwool and nutrient film. Acta Hort. (ISHS), 82, 141–148.
- Verwer, F.L.J.A.W., 1976. Growing horticultural crops in rockwool and nutrient film. In Proc. 4th Inter.
- Walker DJ., Cerda A., Martinez V., 2000. The effects of sodium chloride on ion transport in potassium-deficient tomato. Journal of Plant Physiology 157, 195-200.
- Wallace A., 1971. Regulation of the Micronutrient Status of Plants by Chelating Agents and Other Factors, UCLA 34P5 1–33, Arthur Wallace, Los Angeles, CA.
- Wallach R., da Silva F.F., Chen Y., 1992. Hydraulic characteristics of tuff (Scoria) used as a container medium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117:415–422.
- Wang YH., Garvin DF., Kochian LV., 2002. Rapid induction of regulatory and transporter genes in response to phosphorus, potassium, and iron deficiencies in tomato roots. Evidence for cross talk and root/rhizosphere-mediated signals. Plant Physiology 130, 1361-1370.
- Wever G. and van Leeuwen A.A., 1995. Measuring mechanical properties of growing media and the influence of cucumber cultivation on these properties. Acta Hort. 401:27-34.
- Wigriarajah K., 1995. Mineral nutrition in plants, pp. 193–222, in M. Pessarakli (Ed.).
- Z. Premuzic, M. Bargiela, A. Garcia, Alicia Rendina, Alicia Lorio Calcium, 1998. Iron, potassium, phosphorus, and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. pp 33(2): 255-257.
- Zimet D. and C.S. Vavrina., 1995. Florida vegetable seedlings: concept, budgets, and cashflow. Fla. Coop. Ext. Serv. Bulletin 304.
- Γιαννοπολίτης Κ.Ν., 2007. Η ιστορία της τομάτας Γεωργία και Κτηνοτροφία Αφιέρωμα: Τομάτα 10:11-12.

- Καραμπουρνιώτης Γεώργιος Α., 2003, Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών, οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες, σελ 31-52.
- Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2006. Υδροπονικές εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.
- Μπενάτος Θ.Γ. και Πιστόλης Τ.Α., 1994. Λίπανση της βιομηχανικής τομάτας. Αφιέρωμα Λίπανση-Θρέψη, Γεωργική Τεχνολογία 1:147-148.
- Μπράτη Ν., 2004, Υδροπονία- Ανακύκλωση-Ποιότητα νερού.
- Νικολετάκης Μ., 2008. Πτυχιακή εργασία: Η τεχνική της υδροπονίας και η εφαρμογή της μέσα από διάφορα συστήματα.
- Οικονομάκης Κ., 1995. Ελαφρόπετρα και περλίτης. Η ελληνική πρόταση για την υδροπονία. Γεωργία - Κτηνοτροφία, 1/1995, σ.42-44.
- Οικονομάκης Κ., 1995. Ελαφρόπετρα και περλίτης. Η ελληνική πρόταση για την υδροπονία. Γεωργία - Κτηνοτροφία, 1/1995, σ.42-44.
- Ολύμπιος Χ., 2001, Η Τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Αθήνα, σελ. 345-424.
- Ολύμπιος Χ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη Α,Ε. Αθήνα.
- Ολύμπιος Χ., Σάββας Δ., Α. Γούμενου, Ι. Καραπάνος, 2007. Επίδραση τριών επιπέδων αλατότητας στην ανάπτυξη, την παραγωγή και την ποιότητα του καρπού του υβριδίου τομάτας εμβολιασμένου σε τρία υποκείμενα. 23° Συνέδριο Ε.Ε.Ε.Ο. Χανιά, 23-26 Οκτωβρίου 2007. Πρακτικά συνεδρίου.
- Παναγιωτόπουλος Λ.Ι., 1995β. Τομάτα θερμοκηπίου. Αφιέρωμα Λίπανση-Θρέψη, Γεωργική τεχνολογία, 94-95.
- Παναγιωτόπουλος, Λ.Ι., 1995α. Θρέψη και λίπανση της τομάτας. Αφιέρωμα ορθολογική λίπανση των καλλιεργειών, Γεωργία-Κτηνοτροφία 9: 241-248.
- Σάββας Δ., 1998. Υδροπονία Καλλωπιστικών Φυτών ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου.
- Σάββας Δ., 2000. Θρέψη Φυτών ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου.
- Σάββας Δ., 2003. Γενική Ανθοκομία,. ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου.

- Σάββας Δ., 2005. Θρεπτικά Διαλύματα,. ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου.
- Σάββας Δημήτριος., 2007. Εισαγωγή στις καλλιέργειες εκτός εδάφους.
- Σάββας Δημήτριος., 2009. Υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών στο θερμοκήπιο. Ειδικά θέματα, Αθήνα.
- Σάββας Δημήτριος., 2012. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: υδροπονία, υποστρώματα. Εκδόσεις Αγρότυπος.
- Τσαπικούνης Φ., 1997. Θρέψη-Λίπανση των φυτών. Μέρος Λ'. Λαχανικά-Βιομηχανικά φυτά, Φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Εκδόσεις Σταμούλης. Αθήνα.
- Τσικαλάς, Π.Ε. και Μανιός Β., 1974. Λίπανση τομάτας υπό κάλυψη σε καλλιέργεια groxth bags. Επίδραση στην παραγωγή. Γ. Έρευνα, 9: 279-289.
- Φανουράκη Αιμιλία., 2004. Πτυχιακή εργασία: Εναλλακτικοί μέθοδοι έναντι του Βρωμιούχου Μεθυλίου για την αντιμετώπιση των μυκητολογικών ασθενειών των κολοκυνθοειδών σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες.