

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

**«Βελτιστοποίηση ενός νέου συστήματος υδροπονικής εγκατάστασης
NDT (Nutrient Drip Technique) και συγκριτική αξιολόγηση με το
κλασικό σύστημα NFT (Nutrient Film Technique)»**



ΑΓΓΛΟΓΑΛΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ – ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2010

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

**«Βελτιστοποίηση ενός νέου συστήματος υδροπονικής εγκατάστασης
NDT (Nutrient Drip Technique) και συγκριτική αξιολόγηση με το
κλασικό σύστημα NFT (Nutrient Film Technique)»**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γεώργιος Μαυρογιαννόπουλος (Επιβλέπων Καθηγητής)
Χάρολντ – Κρίστοφερ Πάσσαμ (Καθηγητής)
Σταύρος Αλεξανδρής (Λέκτορας)

ΑΓΓΛΟΓΑΛΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ – ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
1.2 ABSTRACT.....	7
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
2.1 Υδροπονία.....	9
2.1.1 Ορισμός.....	9
2.1.2 Ιστορική αναδρομή.....	9
2.1.3 Υδροπονία – Έδαφος.....	12
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών.....	16
2.2.1 Αερισμός – Οξυγόνο στη περιοχή των ριζών.....	16
2.2.2 Θερμοκρασία στη περιοχή των ριζών.....	18
2.2.3 Ποιότητα του νερού άρδευσης.....	19
2.3 Συστήματα και μέθοδοι υδροπονικών καλλιεργειών.....	21
2.3.1 Μέθοδοι υδροπονικών καλλιεργειών.....	21
2.3.2 Συστήματα κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος.....	23
2.4 Χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων.....	26
2.5 Χρησιμοποιούμενα υποστρώματα.....	28
2.5.1 Καλλιέργεια σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα.....	28
2.5.1.1 Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (Rockwool culture).....	29
2.5.1.2 Καλλιέργεια σε περλίτη (Perlite culture).....	32
2.5.1.3 Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα (pumice culture).....	35
2.5.1.4 Καλλιέργεια σε άμμο (sand culture).....	36
2.5.1.5 Καλλιέργεια σε χαλίκι (gravel culture).....	38
2.5.1.6 Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη (vermiculite culture).....	39
2.5.2 Καλλιέργεια σε οργανικά πορώδη υποστρώματα.....	40
2.5.2.1 Καλλιέργεια σε τύρφη (peat culture).....	41
2.5.2.2 Καλλιέργεια σε ίνες καρύδας (coco soil culture).....	44
2.5.2.3 Καλλιέργεια σε φλοιό κωνοφόρων δένδρων (tree bark culture).....	45
2.5.2.4 Καλλιέργεια σε πριονίδι (sawdust culture).....	46
2.5.3 Καλλιέργεια χωρίς πορώδη υποστρώματα.....	47
2.5.3.1 Καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (Nutrient Film Technique – NFT).....	47
2.5.3.2 Καλλιέργεια με τη μέθοδο της αεροπονίας (aeroponic culture).....	52
2.6 Τοποθέτηση του θέματος.....	54
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	56
3.1 Χώρος διεξαγωγής του πειράματος.....	56
3.2 Γενετικό υλικό.....	56
3.3 Ανάπτυξη φυτών.....	56
3.4 Θρεπτικό διάλυμα.....	57
3.5 Σύστημα υδροπονίας Nutrient Drip Technique (NDT).....	60

3.6 Μετρήσεις ανάπτυξης.....	61
3.7 Μετρήσεις παραγωγής.....	61
3.8 Μετρήσεις διαλυμένου οξυγόνου.....	62
3.9 Χημική ανάλυση.....	62
3.10 Στατιστική ανάλυση.....	64
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	65
4.1 Συγκέντρωση οξυγόνου στη περιοχή της ρίζας.....	65
4.2 Αριθμός φύλλων.....	66
4.3 Μέσο μέγεθος φύλλων.....	67
4.4 Φυλλική επιφάνεια.....	68
4.5 Αριθμός και βάρος παραγόμενων καρπών.....	69
4.5.1 Παραγωγή καρπών.....	69
4.5.2 Αριθμός παραγόμενων καρπών.....	71
4.5.3 Κατανομή των παραγόμενων καρπών σε νωπό βάρος.....	73
4.6. Ξηρό βάρος φυτών.....	75
4.6.1 Ξηρό βάρος βλαστών.....	75
4.6.2 Ξηρό βάρος ριζών.....	76
4.6.3 Ξηρό βάρος καρπών.....	77
4.6.4 Συνολικό ξηρό βάρος φυτών.....	78
4.7. Χημική σύσταση των ιστών.....	79
4.7.1 Το Κάλιο (K^+).....	79
4.7.2 Το Ασβέστιο (Ca^{2+}).....	82
4.7.3 Το Άζωτο (N).....	85
4.8 Κατανάλωση νερού.....	86
4.9 Κατανάλωση λιπασμάτων.....	87
4.10 Αξιοποίηση λιπασμάτων.....	88
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	89
5.1 Συγκέντρωση οξυγόνου στη περιοχή της ρίζας.....	89
5.2 Αριθμός φύλλων.....	90
5.3 Μέσο μέγεθος φύλλων.....	91
5.4 Φυλλική επιφάνεια.....	92
5.5 Αριθμός και βάρος παραγόμενων καρπών.....	93
5.5.1 Παραγωγή καρπών.....	93
5.5.2 Αριθμός και μέσο βάρος παραγόμενων καρπών.....	93
5.6. Ξηρό βάρος φυτών.....	95
5.7. Χημική σύσταση των ιστών.....	96
5.7.1 Το Κάλιο (K^+).....	96
5.7.2 Το Ασβέστιο (Ca^{2+}).....	96
5.7.3 Το Άζωτο (N).....	97
5.8 Κατανάλωση νερού.....	97
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	115

1.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα νέο σύστημα υδροπονικής εγκατάστασης, ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος χωρίς πορώδες υπόστρωμα με σταγόνες (NDT) και πραγματοποιήθηκε σύγκριση με το κλασικό σύστημα NFT. Για το σκοπό αυτό φυτά τομάτας αναπτύχθηκαν στο νέο σύστημα καθώς και στο κλασικό σύστημα NFT, το οποίο αποτελούσε το μάρτυρα του πειράματος. Το πείραμα έλαβε χώρα σε θερμοκήπιο του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και διήρκησε 116 ημέρες.

Το νέο σύστημα αποτελείτο από ειδικά διαμορφωμένο κανάλι, τροποποιημένου W, το οποίο περιλάμβανε πλευρικούς πλαστικούς σωλήνες αποστράγγισης του θρεπτικού διαλύματος, καλυμμένους με λινάτσα πάνω στην οποία αναπτυσσόταν το ριζικό σύστημα των φυτών. Η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος γινόταν με σωλήνα κατά μήκος του καναλιού, ο οποίος έφερε σταλάκτες σταθερής παροχής. Δοκιμάστηκαν δυο επίπεδα παροχής θρεπτικού διαλύματος, η παροχή στη μια περίπτωση ήταν ίση με αυτή του NFT, ενώ στην άλλη ήταν περίπου διπλάσια. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ανάπτυξης των φυτών, παραγωγής καρπών, επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου στο θρεπτικό διάλυμα καθώς και χημικές αναλύσεις στους φυτικούς ιστούς.

Τα φυτά που αναπτύχθηκαν με την υψηλή παροχή στο νέο σύστημα ανέπτυξαν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, συγκριτικά με τη χαμηλή παροχή και το NFT, η οποία προέκυψε εξαιτίας του αυξημένου μεγέθους των φύλλων και του αριθμού των φύλλων ανά φυτό. Η απόδοση των φυτών σε νωπό βάρος καρπών αυξήθηκε σημαντικά στο νέο σύστημα, τόσο στη χαμηλή (κατά 18%) όσο και στην υψηλή (κατά 33%) παροχή θρεπτικού διαλύματος συγκριτικά με την απόδοση των φυτών στο NFT. Η αυξημένη απόδοση προέκυψε λόγω του αυξημένου μεγέθους καρπών, ενώ ο αριθμός των καρπών ανά φυτό δεν διέφερε σημαντικά.

Από τις μετρήσεις του οξυγόνου στο περιβάλλον της ρίζας των φυτών προκύπτουν υψηλότερες συγκεντρώσεις οξυγόνου και στις δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος συγκριτικά με το κλασικό σύστημα NFT.

Η συγκέντρωση των φύλλων σε K^+ παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της επέμβασης NFT και της επέμβασης NDT Υψηλής Παροχής. Η συγκέντρωση του Ca^{2+} δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT και της επέμβασης του NFT. Στη συγκέντρωση του N παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT, ενώ η επέμβαση του NFT δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές.

Η καλή απόδοση των φυτών της τομάτας που αναπτύχθηκαν στο νέο σύστημα NDT οφείλεται στη καλύτερη λειτουργία του ριζικού συστήματος, στο οποίο επικράτησαν εξαιρετικές συνθήκες στράγγισης και αερισμού καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, ενώ η επέμβαση του NFT παρουσίασε τα συνήθη προβλήματα, αφού αποτελεί ένα ευαίσθητο σύστημα που απαιτεί περισσότερη ακρίβεια και λεπτομέρεια στη ρύθμιση της παροχής του θρεπτικού διαλύματος σύμφωνα με τις ανάγκες των φυτών και τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες.

1.2 ABSTRACT

In the present work, a new closed hydroponic drip irrigated system without substrate NDT (Nutrient Drip Technique) was optimized and compared to the classic hydroponic NFT (Nutrient Film Technique) system. For this purpose tomato plants were grown both in new and NFT system, which was the control experiment. The experiment took place in a greenhouse of Agricultural Constructions laboratory and lasted 116 days. The new system consisted of a specially designed canal, modified W, which included lateral plastic pipes for the drainage of the nutrient solution, covered with burlap on which the root system of plants developed.

Two levels of nutrient solution supply were tested, in the first case the flow rate was equal to that of NFT and in the second case the flow rate was approximately twice as high. Plant growth, fruit production, levels of dissolved oxygen in nutrient solution and chemical analysis in plant tissues were measured.

In the treatment with the higher flow rate, a higher leaf area was developed, as a result of the bigger leaf size and number of leaves. The crop yield increased significantly in the new system, both at low (18%) and in high (33%) flow rate. The increased yield resulted because of increased fruit size, whereas the number of fruits per plant did not vary significantly.

The oxygen content in the new treatments was significantly higher in comparison with the control treatment NFT.

The K^+ concentration of the leaves vary significantly between NFT and NDT high flow rate treatment. The Ca^{2+} concentration of the leaves did not vary between treatments.

The total-N concentration of the leaves vary significantly between NDT treatments but there was no difference between NDT treatments

and NFT. The plant growth of the new NDT system was a result of the better root function and the excellent drainage and aeration conditions throughout the duration of the experiment. NFT treatment is a sensitive system that requires more precision and detail in handling.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 Υδροπονία

2.1.1 Ορισμός

Με τον όρο υδροπονία νοείται η χωρίς έδαφος καλλιέργεια, που χρησιμοποιεί μίγματα απαραίτητων για τα φυτά θρεπτικών στοιχείων που διαλύονται στο νερό. Ο όρος υδροπονία προέρχεται από το συνδυασμό δυο ελληνικών λέξεων, ύδωρ και "πόνος" (η εργασία) από τον Δρ. Gericke, ο οποίος κατεύθυνε πρόωρα τα εργαστηριακά πειράματα προς μια εμπορική κατεύθυνση στις αρχές του 1930 (Harris, 1988). Η υδροπονία αποτελεί μια τεχνολογία για την ανάπτυξη των φυτών μέσα σε θρεπτικά διαλύματα (νερό με ανόργανα στοιχεία), με ή χωρίς τη χρήση ενός τεχνητού μέσου (περλίτης, τύρφη κ.α) για τη παροχή μηχανικής στήριξης στα φυτά (Jensen και Collins, 1985).

2.1.2 Ιστορική αναδρομή

Ο όρος υδροπονία αρχικά εισήχθη από τον Δρ. Gericke το 1937, με σκοπό να περιγράψει όλες τις μεθόδους καλλιέργειας των φυτών σε υγρά μέσα για εμπορικούς λόγους. Ήταν επίσης ο πρώτος ερευνητής που προσπάθησε να αναπτύξει μια οικονομικά εφικτή μέθοδο παραγωγής φυτών στο νερό (θρεπτικό διάλυμα). Μέχρι εκείνη την περίοδο η καλλιέργεια των φυτών εκτός του εδάφους γινόταν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς και συγκεκριμένα για τη μελέτη των αναγκών των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία.

Σύμφωνα με τον Hewitt (1966), οι Knop (1860) και Sachs (1860) ήταν οι πρώτοι επιστήμονες που έφτιαξαν ένα τυποποιημένο θρεπτικό διάλυμα, με την προσθήκη διάφορων ανόργανων αλάτων στο νερό και το χρησιμοποίησαν για την ανάπτυξη φυτών εκτός του εδάφους, σε μια προσπάθεια να προσδιορίσουν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την

ανάπτυξη των φυτών. Η μελέτη της φυσιολογίας των φυτών στο επίπεδο των θρεπτικών αναγκών μελετήθηκε στη συνέχεια από πολλούς επιστήμονες (Schreiner και Skinner, 1910; Tottingham, 1914; Shive, 1915) που ανέπτυξαν διάφορες εναλλακτικές τεχνικές για να επιτύχουν καλύτερη ανάπτυξη των φυτών χωρίς τη χρήση υποστρώματος. Σε άλλες μελέτες (Hall et al, 1914; McCall, 1916; Robbins, 1928) χρησιμοποιήθηκε ένα υπόστρωμα για τη στήριξη και τον αερισμό του ριζικού συστήματος. Για να αποκλειστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών των θρεπτικών διαλυμάτων και των υποστρωμάτων, τα τελευταία έπρεπε να είναι χημικά ανενεργά (αδρανή). Η χαλαζιακή άμμος και το αμμοχάλικο (ελεύθερα από ασβεστόλιθο) ήταν τα δημοφιλέστερα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν εκείνη την εποχή στις μελέτες καλλιέργειας φυτών εκτός του εδάφους.

Εκτός από τον Gericke, προσπάθησαν πολλοί ερευνητές να αναπτύξουν καινοτόμες τεχνικές και μεθόδους ανάπτυξης φυτών χωρίς την παρουσία του εδάφους σε εμπορική κλίμακα κατά τη δεκαετία του '30 (Laurie, 1931; Eaton, 1936; Withrow και Biebel, 1936; Mullard και Shoughton, 1939; Hoagland και Arnon, 1950). Αυτές οι μελέτες συνέβαλαν αρκετά στην ανάπτυξη της υδροπονίας σε εμπορική κλίμακα.

Αν και τα επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα εκείνης της εποχής ήταν εντυπωσιακά για την επιτυχή ανάπτυξη των φυτών χωρίς έδαφος στα θερμοκήπια, ήταν ανεπαρκή για την οικονομική επιτυχία και τη βιωσιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος. Η ανεπαρκής γνώση των αναγκών των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία και νερό, τα προβλήματα αερισμού του ριζικού συστήματος, ο εξοπλισμός της άρδευσης και η περιορισμένη αυτοματοποίηση του συστήματος παροχής και ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος στα διάφορα συστήματα, ήταν οι κύριοι ανασταλτικοί παράγοντες επέκτασης της υδροπονίας σε εμπορική κλίμακα.

Ανεξάρτητα από τα απογοητευτικά αποτελέσματα, η υδροπονία έλκυσε το ενδιαφέρον του κόσμου, στην Αμερική και σε άλλες χώρες του πλανήτη (Hoagland και Arnon, 1950; Jones, 1982). Η ιδέα της ανάπτυξης φυτών και της παραγωγής φρούτων, λαχανικών και λουλουδιών εκτός εδάφους εντυπωσίασε πολλούς ερευνητές αλλά και απλούς αγρότες, οι οποίοι προσπάθησαν να παράγουν προϊόντα υδροπονικά. Το συνεχές ενδιαφέρον του κόσμου για περισσότερες πληροφορίες παρακίνησε τους Arnon και Hoagland το 1950 να συνοψίσουν σε μια απλουστευμένη αναθεώρηση τις αρχές και τις πρακτικές της υδροπονίας. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών '50 και '60, οι περιοχές που καλλιεργήθηκαν παγκοσμίως αυξήθηκαν ενώ παράλληλα άρχισαν να δημοσιεύονται μελέτες σχετικά με τη σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων (Jacobson, 1951; Steiner, 1961 και 1984; Hewitt, 1966). Το ενδιαφέρον για την εφαρμογή της υδροπονίας σε εμπορική κλίμακα αναβίωσε βαθμιαία μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '60. Αυτή η τάση εμφανίστηκε κυρίως στο Ην. Βασίλειο, στην Ολλανδία και σε μερικές Σκανδιναβικές χώρες.

Στο Ην. Βασίλειο το κύρια πιο διαδεδομένο υδροπονικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε και εφαρμόστηκε από τους καλλιεργητές ήταν το NFT (Nutrient Film Technique) (Cooper, 1975 και 1979). Συγχρόνως Ολλανδοί και Σκανδιναβοί καλλιεργητές θερμοκηπίων, που αντιμετώπιζαν σοβαρά προβλήματα λόγω της αδιάκοπης χρήσης του ίδιου εδάφους για πολλά έτη, δοκίμασαν τη πιθανότητα καλλιέργειας σε πετροβάμβακα, ως εδαφικό υποκατάστατο (Verwer, 1976 και 1978; Ottoson, 1977; Verwer και Welleman, 1980). Το αυξανόμενο ενδιαφέρον της άσκησης της υδροπονίας ενθάρρυνε την εντατική ερευνητική δραστηριότητα που εστίασε στην ανάπτυξη των σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών και εξοπλισμού που οδήγησαν στη διατύπωση νέων συνθέσεων θρεπτικών διαλυμάτων, που προσαρμόζονταν στις απαιτήσεις κάθε

φυτού, όπως αυτές που προτείνονται από τους Sonneveld και Straver (1944), De Kreij et al (1997, 1999), Hanan (1998).

Κατά αυτόν τον τρόπο, τα επόμενα χρόνια υπήρξε μια τεράστια επέκταση στη χρήση των αδρανών υποστρωμάτων, με κύριο τον πετροβάμβακα (rockwool culture), που αποδείχθηκε πως ήταν ένα ιδανικό μέσο παραγωγής φυτών με την υδροπονική μέθοδο, με άριστες υδραυλικές ιδιότητες και σήμερα έχει καταλήξει να είναι η δημοφιλέστερη μέθοδος καλλιέργειας στη Β. Ευρώπη (Savvas, 2002). Ο διεθνής οργανισμός International Society for the Soilless Culture (ISOSC), καθώς και πολλά εθνικά Ινστιτούτα ασχολούνται δραστήρια με το θέμα των υδροπονικών καλλιεργειών και προωθούν την έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

2.1.3 Υδροπονία – Έδαφος

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη παραγωγή και ανάπτυξη των φυτών με τη χρήση της υδροπονικής μεθόδου είναι διαφορετικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών στην καλλιέργεια του εδάφους. Η επανάσταση της μεθόδου οφείλεται στη δυνατότητα των συστημάτων να είναι ανεξάρτητα του εδάφους και όλων των σχετικών προβλημάτων του. Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές, η καλλιέργεια των φυτών στο έδαφος αποτελεί ένα σύστημα πολύπλοκο και εκτός έλεγχου, καθώς η ανόργανη, οργανική και βιολογική φύση του εδάφους, η αλληλεπίδραση του ριζικού συστήματος με εδαφικά σωματίδια συνεχώς τροποποιούνται και είναι δύσκολο να προσδιοριστούν (Jones, 2000).

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας συνοψίζονται στα εξής:

1. Σχετική ευαισθησία, χωρίς μεγάλες ανοχές λαθών.

2. Στα κλειστά συστήματα, ορισμένες ασθένειες μπορούν να εξαπλωθούν ταχύτατα σε όλα τα φυτά της καλλιέργειας.
3. Για ένα καλό αποτέλεσμα απαιτούνται περισσότερες από τις συνήθεις γνώσεις των καλλιεργητών.
4. Υψηλότερες δαπάνες επένδυσης και εγκατάστασης συστημάτων που απαιτούνται ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή και να βελτιστοποιηθεί η ποιότητα των προϊόντων.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα των υδροπονικών συστημάτων έναντι των συμβατικών στο έδαφος, αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Πλεονεκτήματα υδροπονικών συστημάτων έναντι του εδάφους.

Καλλιεργητικές Πρακτικές	Έδαφος	Υδροπονία
Θρέψη φυτών	Σε μεγάλο βαθμό μεταβλητή, τοπικές ελλείψεις, συχνά μη διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία στα φυτά εξαιτίας της φτωχής δομής και του pH, μεταβλητές συνθήκες, δυσκολία στη δειγματοληψία, στον έλεγχο και τη ρύθμιση.	Πλήρως ελεγχόμενη, σχετικά σταθερή, ομοιογενής σε όλα τα φυτά, εύκολα διαθέσιμη, καλός έλεγχος του pH, ευκολία στη δειγματοληψία, στη ρύθμιση και τον έλεγχο.
Ασθένειες και εδαφικοί εχθροί	Ασθένειες, νηματώδεις, έντομα και ζώα που προκαλούν ζημιές, ανάγκη αμειψισποράς ή αγρανάπαυση για λύση του προβλήματος.	Χωρίς ασθένειες, έντομα και ζώα εδάφους, καμία ανάγκη για αμειψισπορά ή αγρανάπαυση.
Νερό	Τα φυτά υπόκεινται σε υδατικό στρες εξαιτίας κακής εδαφικής δομής, χαμηλή ικανότητα συγκράτησης νερού στη ριζόσφαιρα. Τα αλατούχα νερά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Παρατηρείται μη	Μικρή πιθανότητα υδατικού στρες. Πλήρης αυτοματοποίηση με συσκευές που ελέγχουν την υγρασία στη περιοχή των ριζών και ρυθμιστικούς μηχανισμούς που ανατροφοδοτούν το σύστημα. Μείωση των εργατικών, μηδενικές απώλειες

	αποτελεσματική αξιοποίηση του νερού λόγω της διείσδυσης κάτω από τη ριζόσφαιρα και λόγω εξάτμισης του από το έδαφος	νερού από διείσδυση ή εξάτμιση. Με σωστούς χειρισμούς οι απώλειες του νερού μπορούν να είναι ίσες με τις απώλειες της εξατμισοδιαπνοής.
Λιπάσματα	Διάθεση μεγάλων ποσοτήτων στο έδαφος, ανομοιόμορφη διασπορά στα φυτά, ξέπλυμα πέρα από την περιοχή της ριζόσφαιρας. Ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα	Διάθεση μικρών ποσοτήτων, ομοιόμορφη διασπορά σε όλα τα φυτά, αποτελεσματική χρήση χωρίς ξέπλυμα πέρα από τη ριζόσφαιρα. Δεν ρυπαίνεται ο υδροφόρος ορίζοντας (ειδικά στα κλειστά συστήματα).
Αποστείρωση του μέσου	Με χρήση ατμού, χημικών απολυμαντικών, πολλά εργατικά, 2-3 εβδομάδες ελάχιστος χρόνος	Με χρήση ατμού, χημικά σε ορισμένα συστήματα, σε άλλα αρκεί απλή χρήση HCl. Ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος.
Διαθέσιμος χώρος φυτών	Περιορίζεται από την γονιμότητα και από το διαθέσιμο φωτισμό.	Περιορίζεται από το διαθέσιμο φωτισμό. Αύξηση των φυτών ανά μονάδα επιφάνειας με στόχο την αποτελεσματικότερη χρήση του διαθέσιμου χώρου, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας.
Έλεγχος ζιζανίων	Πολλά είδη που φυτρώνουν τακτικά.	Καθόλου ζιζάνια.
Περιβάλλον εργασίας	Σκληρή και ανθυγιεινή χειρωνακτική εργασία.	Ευχάριστο και καθαρό περιβάλλον με περιορισμένη χειρωνακτική εργασία.
Υγιεινή	Τα οργανικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται ως λιπάσματα σε φυτά που καταναλώνονται από τον άνθρωπο, οδηγούν σε πολλές ασθένειες.	Δεν χρησιμοποιούνται βιολογικά πρόσθετα στα θρεπτικά διαλύματα και έτσι δεν υπάρχει ο κίνδυνος για τη δημιουργία τέτοιου είδους ασθενειών στον άνθρωπο.
Συνδυασμός νερού-αέρα στο ριζικό σύστημα	Δύσκολη η επίτευξη του, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις όσο περισσότερο νερό τόσο λιγότερος αέρας και το αντίστροφο.	Επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος και τη χρήση υλικών με υψηλό πορώδες.
Μεταφύτευση	Ανάγκη προετοιμασίας εδάφους (όργωμα,	Δεν απαιτείται προετοιμασία πριν τη μεταφύτευση.

	σβάρνισμα), ξεριζώμα φυτών, δυσκολία ελέγχου εδαφικών θερμοκρασιών και των οργανισμών που μπορούν να προσβάλουν τα νεαρά φυτάρια	Το μεταφυτευτικό σοκ μειώνεται, η προσαρμογή στο νέο περιβάλλον είναι ταχύτερη και ευνοείται η ανάπτυξη των φυταρίων. Η θερμοκρασία του μέσου ανάπτυξης μπορεί να παραμείνει βέλτιστη με την κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος. Απουσία ασθενειών που μπορούν να προσβάλουν τα νεαρά φυτάρια.
Ωρίμανση φυτών		Με επαρκείς συνθήκες φωτισμού, τα φυτά ωριμάζουν γρηγορότερα από ότι στο έδαφος.
Διάρκεια ωφέλιμης ζωής του μέσου	Το έδαφος σε ένα θερμοκήπιο πρέπει να αλλάζει τακτικά γιατί η δομή και η γονιμότητα του μεταβάλλεται. Εκτός θερμοκηπίου πρέπει να παραμένει σε αγρανάπαυση για μεγάλο χρονικό διάστημα.	Όταν δεν χρησιμοποιείται υπόστρωμα η αλλαγή δεν είναι απαραίτητη. Σε περίπτωση χρήσης υποστρώματος, αυτό έχει χρόνο ωφέλιμης χρήσης που φτάνει τα 3 έως 5 χρόνια.
Ποιότητα προϊόντος	Συχνά παρατηρούνται μαλακοί και φουσκωμένοι καρποί λόγω τροφοπενίας Ca, K που οδηγεί σε μικρή διάρκεια ζωής των προϊόντων.	Οι καρποί είναι σφικτοί με μεγάλη διάρκεια ζωής, αυτό δίνει τη δυνατότητα κοπής ώριμων καρπών που μπορούν να μεταφερθούν σε μακρινές αποστάσεις χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις.
Παραγωγή	Ντομάτες θερμοκηπίου 6.8-9 kg/έτος/φυτό	Ντομάτες θερμοκηπίου 11.3-15.8 kg/έτος/φυτό

(Resh, 1997).

Με λίγα λόγια η υδροπονία χαρακτηρίζεται ως άριστη εναλλακτική λύση καλλιέργειας λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση των χημικών ουσιών για την απολύμανση των εδαφών είναι σχεδόν παντού απαγορευμένη. Σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε θερμοκήπια, μπορούν να παραχθούν προϊόντα υψηλής παραγωγής και καλής ποιότητας ακόμη και σε αλατούχα ή μη καλλιεργήσιμα εδάφη, φτωχής δομής. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η χρήση των συστημάτων σε περιοχές όπου δεν υπάρχει

διαθέσιμη καλλιεργήσιμη γη, η άριστη και ακριβής θρέψη των φυτών με θρεπτικά διαλύματα προσαρμοσμένα στις ανάγκες του κάθε φυτού και η αύξηση της πυκνότητας φύτευσης ανά μονάδα επιφάνειας. Η ανακύκλωση των θρεπτικών διαλυμάτων στα κλειστά συστήματα επιτρέπει μια σημαντική μείωση της ποσότητας των λιπασμάτων και περιορίζει σημαντικά την απόρριψη τους στο περιβάλλον.

Όσον αφορά την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι δεν υπάρχει αξιοσημείωτη διαφορά της ποιότητας των προϊόντων της υδροπονικής μεθόδου σε σχέση με τα προϊόντα συμβατικής καλλιέργειας (Schnitzler και Gruda, 2002).

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών

Ένα υπόστρωμα που χρησιμοποιείται σε υδροπονική καλλιέργεια, όπως το νερό, η άμμος, ο πετροβάμβακας, το πριονίδι, η τύρφη, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα, ο βερμικουλίτης, οι ίνες καρύδας θα πρέπει να εξασφαλίζει στο φυτό την απαιτούμενη μηχανική στήριξη, οξυγόνο, νερό και τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη του.

2.2.1 Αερισμός – Οξυγόνο στη περιοχή των ριζών

Ο αερισμός είναι ο παράγοντας που επηρεάζει το σύστημα των ριζών και την ανάπτυξη των φυτών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση του οξυγόνου είναι η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος, η μεταβολική δραστηριότητα του ριζικού συστήματος, η επίδραση των μικροοργανισμών και των άλγεων, η επίδραση της μεταχείρισης του διαλύματος (όπως η εισαγωγή ατμοσφαιρικού οξυγόνου) και ο ρυθμός διάχυσης του οξυγόνου στο θρεπτικό διάλυμα. Ο σημαντικότερος παράγοντας στη δυναμική μεταφορά οξυγόνου στο θρεπτικό διάλυμα είναι η θερμοκρασία (Morgan, 2000). Το οξυγόνο είναι σημαντικό για τη λειτουργία

και την αύξηση των κυττάρων και αν δεν είναι διαθέσιμο προκαλούνται ανωμαλίες στις λειτουργίες των φυτών που οδηγούν τελικά στη μάρανση.

Η ενέργεια που απαιτείται για την αύξηση των ριζών και την απορρόφηση των ιόντων παράγεται με τη διαδικασία της αναπνοής. Χωρίς επαρκές οξυγόνο για την υποστήριξη της αναπνοής, η απορρόφηση του νερού και των ιόντων μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της οσμωτικής πίεσης. Τα φυτά υπόκεινται σε υδατικό στρες (Rosen and Carlson, 1984) και αναστέλλονται οι μεταβολικές δραστηριότητες όπως η κυτταροδιαίρεση, με συνέπεια την αλλαγή της μορφολογίας του συστήματος των ριζών (Tachibana, 1988). Τα επίπεδα του οξυγόνου και οι πόροι του υποστρώματος επηρεάζουν την ανάπτυξη των ριζικών τριχιδίων, αν οι ανταλλαγές αέρα μεταξύ του υποστρώματος και του ατμοσφαιρικού αέρα μειωθούν, ή μειωθεί το διάστημα των πόρων λόγω συμπίεσης του υποστρώματος τότε η παροχή του οξυγόνου μειώνεται και η λειτουργία της ρίζας επηρεάζεται αρνητικά. Κατά γενικό κανόνα, αν το διάστημα των πόρων ενός υποστρώματος (χώμα, άμμος, τύρφη) καταλαμβάνεται εξίσου από νερό και αέρα, τότε η παροχή οξυγόνου είναι ικανοποιητική για την αύξηση και λειτουργία των ριζών (Bruce et al, 1980).

Η διαλυτότητα του οξυγόνου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, γι' αυτό είναι απαραίτητη η παροχή οξυγόνου με αντλία αέρα ή η έκθεση μέρους της επιφάνειας του θρεπτικού διαλύματος στον ατμοσφαιρικό αέρα (Vestergaard, 1984). Η συγκέντρωση του οξυγόνου, στο θρεπτικό διάλυμα εξαρτάται από τον τύπο άρδευσης του υδροπονικού συστήματος αλλά και τον τύπο του υποστρώματος. Για παράδειγμα, όταν το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται και επιστρέφει σε δεξαμενή συλλογής, αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κατά 50% λόγω της μηχανικής κίνησης του νερού και της ανατάραξης που υφίσταται (Schroder, 1992; Wever et al., 2001). Η νέκρωση των ριζών αποτελεί κοινό πρόβλημα των υδροπονικών συστημάτων και οφείλεται εν μέρει στην

έλλειψη επαρκούς αερισμού στο πλέγμα των ριζών που αναπτύσσεται στο κανάλι ανάπτυξης των φυτών.

Ένα μεγάλο και εκτενές σύστημα ριζών ίσως δεν είναι το ιδανικότερο για τα περισσότερα υδροπονικά συστήματα. Παρά το μέγεθος (μάζα) των ριζών, αυτό που ενδιαφέρει είναι οι αποτελεσματικά λειτουργικές ρίζες, δεδομένου ότι το θρεπτικό διάλυμα καλύπτει συνεχώς το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος των ριζών. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στο υδροπονικό σύστημα (NFT) καλλιέργειας τομάτας, είναι η ανάπτυξη μεγάλης μάζας ριζών στο κανάλι καλλιέργειας η οποία τελικά μειώνει τη συγκέντρωση του οξυγόνου και τη ροή του θρεπτικού διαλύματος (Antkowiak, 1993). Παρόμοια αύξηση ριζών παρατηρείται και σε υδροπονικά συστήματα που χρησιμοποιούνται υποστρώματα καλλιέργειας, αφού οι ρίζες περνούν από τις τρύπες στράγγισης του υποστρώματος στο εξωτερικό περιβάλλον.

2.2.2 Θερμοκρασία στη περιοχή των ριζών

Η θερμοκρασία είναι ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη των ριζών καθώς επίσης και την απορρόφηση του νερού και θρεπτικών στοιχείων (Nielson, 1974; Barber and Bouldin, 1984). Η βέλτιστη θερμοκρασία ρίζας ποικίλει στα διάφορα είδη φυτών, αλλά γενικά, θερμοκρασίες στη ρίζα κάτω των 20 °C επιφέρουν αλλαγές στην ανάπτυξη και τη διακλάδωση των ριζών. Η απορρόφηση του νερού και των ιόντων μειώνεται καθώς μειώνεται η περατότητα των κυτταρικών μεμβρανών όπως επίσης και η μετακίνηση των ιόντων μέσα και έξω από τη ρίζα. Αν η θερμοκρασία παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε χαμηλά επίπεδα, τα φυτά μαραίνονται τις μέρες με υψηλή ηλιοφάνεια, κατά τις οποίες επικρατεί υψηλή εξατμισοδιαπνοή και επομένως σταματά η φωτοσύνθεση. Η απορρόφηση των ιόντων φωσφόρου, σιδήρου και μαγγανίου φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τις χαμηλές θερμοκρασίες ρίζας, απ' ότι τα

άλλα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Οι ρίζες παρουσιάζουν ανοχή στις μικρές περιόδους υψηλής θερμοκρασίας, είναι πλήρως λειτουργικές στους 30 °C και μπορούν πιθανώς να αντισταθούν και σε θερμοκρασίες έως 35 °C (Savvas, 2002).

2.2.3 Ποιότητα του νερού άρδευσης

Η ποιότητα του νερού άρδευσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα ανάπτυξης των φυτών. Η αυξανόμενη ζήτηση για νερό, αλλά και ο φτωχός αρδευτικός σχεδιασμός, έχει ως αποτέλεσμα ένα μεγάλο ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση να είναι αυξημένης αλατότητας, η οποία πλην των άλλων οδηγεί και σε υποβάθμιση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους (Artiola and Walworth, 2009). Ειδικά στο έδαφος των θερμοκηπίων, όπου αναπτύσσονται οι πιο δυναμικές καλλιέργειες, το πρόβλημα της αλατότητας είναι πολύ μεγάλο, λόγω της έλλειψης βροχοπτώσεων (που προκαλούν μερική έκπλυση αλάτων) και των μεγάλων ποσοτήτων νερού και λιπασμάτων που προστίθενται.

Γενικά, στις καλλιέργειες εδάφους αλλά και στις υδροπονικές καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε πορώδη υποστρώματα, τα θρεπτικά στοιχεία και τα μη χρήσιμα άλατα που υπάρχουν στο νερό μεταφέρονται με την άρδευση σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις απαιτούμενες, γι' αυτό ένα πολύ μεγάλο μέρος συσσωρεύονται στην περιοχή της ρίζας. Η κύρια μέθοδος άρδευσης των καλλιεργειών αυτών είναι η στάγδην, η οποία εξοικονομεί αρκετές ποσότητες νερού, αλλά με κακό προγραμματισμό και εφαρμογή, μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιόμορφη κατανομή και υπερβολική συσσώρευση των αλάτων στη περιοχή της ρίζας (Sonneveld and de Kreij, 1999).

Η επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών αποδίδεται κυρίως σε δυο δράσεις: α) στην ανεπαρκή τροφοδοσία ύδατος λόγω της υψηλής οσμωτικής πίεσης στο διάλυμα, στη περιοχή της ρίζας των

φυτών, που καθιστά λιγότερο διαθέσιμο το νερό στα φυτά και β) στις άμεσες ιοντικές επιδράσεις των αλάτων του διαλύματος (ανισορροπία ιόντων, τοξικότητα). Στη περίπτωση των υδάτων που χαρακτηρίζονται από υψηλή συγκέντρωση Χλωριούχου Νατρίου συχνά δημιουργείται ανισορροπία ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα των φυτών.

2.3 Συστήματα και μέθοδοι υδροπονικών καλλιεργειών

2.3.1 Μέθοδοι υδροπονικών καλλιεργειών

Στις μέρες μας, η χρήση των διάφορων μεθόδων καλλιέργειας φυτών χωρίς τη χρήση του εδάφους, είναι αρκετά διαδεδομένη και εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου. Τα προβλήματα που έχουν προκύψει στην καλλιέργεια των φυτών στο έδαφος, όπως η απαγόρευση της χρήσης του βρωμιούχου μεθυλίου για την απολύμανση των εδαφών, η ανάγκη εξοικονόμησης νερού και χημικών λιπασμάτων, η υποβάθμιση των εδαφών λόγω υψηλής αλατότητας, έλλειψης γονιμότητας και συνεκτικότητας και η υποχρέωση μας για την προστασία των φυσικών πόρων (έδαφος, επιφανειακοί και υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες) από τη χημική ρύπανση, έχουν οδηγήσει σε εναλλακτικές μεθόδους καλλιέργειας, όπως είναι η υδροπονία, οι οποίες θεωρούνται πιο ασφαλείς, αποδοτικές, ανταγωνιστικές και πολλά υποσχόμενες (Maloupa, 2002).

Εφαρμόζονται πολλοί τρόποι για την καλλιέργεια φυτών με την υδροπονική μέθοδο, σε εμπορική κλίμακα σε όλο τον κόσμο. Ανάλογα με τη μέθοδο που υιοθετείται, τα υλικά και την απαιτούμενη τεχνολογία, οι υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορα συστήματα και μεθόδους. Σύμφωνα με πολλούς επιστήμονες (Μαυρογιαννόπουλος, 2006; Savvas, 2002; Resh, 1997) οι υδροπονικές καλλιέργειες ταξινομούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

1. Στις καλλιέργειες με χρήση πορώδους υποστρώματος
2. Στις καλλιέργειες χωρίς τη χρήση πορώδους υποστρώματος

Η ταξινόμηση των διάφορων μεθόδων υδροπονικής καλλιέργειας παρατίθενται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Μέθοδοι υδροπονικών καλλιεργειών.

Υπόστρωμα καλλιέργειας	Κατηγορία	Μέθοδος
Χωρίς πορώδες υπόστρωμα	Καλλιέργεια σε ρέον θρεπτικό διάλυμα	N.F.T N.G.S
	Καλλιέργεια σε ψεκαζόμενο θρεπτικό διάλυμα	Αεροπονία
Ανόργανο αδρανές πορώδες υπόστρωμα	Καλλιέργεια σε φυσικά αδρανή υλικά	Άμμος, κροκάλες, λάβα
	Καλλιέργεια σε διογκωμένα ορυκτά	Περλίτης, πετροβάμβακας, διογκωμένη άργιλος
Οργανικό πορώδες υπόστρωμα	Καλλιέργεια σε οργανικά υποστρώματα	Τύρφη, ίνες καρύδας, φλοιοί δένδρων
	Καλλιέργεια σε διογκωμένα συνθετικά οργανικά υλικά	Ουριοφορμαλδεύδη, πολυστερίνη

(Μαυρογιαννόπουλος, 2002)

Δεν υπάρχει συγκεκριμένη μέθοδος καλλιέργειας που να δίνει το καλύτερο δυνατό οικονομικό αλλά και αποδοτικό αποτέλεσμα. Το βέλτιστο σύστημα καλλιέργειας για μια συγκεκριμένη περιοχή εξαρτάται από παράγοντες όπως: κλίμα, κόστος πρώτων υλών, ενέργειας, εργασίας και το επίπεδο των γνώσεων (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Η μέθοδος που ηγείται σήμερα στα επιχειρηματικά θερμοκήπια στις χώρες της Βόρειας Ευρώπης αλλά και στις ΗΠΑ είναι η καλλιέργεια σε

πετροβάμβακα (Rockwool culture), ενώ σημαντική είναι και η εφαρμογή καλλιέργειών σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT), σε περλίτη και σε σάκους ινών καρύδας.

2.3.2 Συστήματα κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος

Γενικά, τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να χαρακτηριστούν ως ανοιχτά ή κλειστά συστήματα (Herbold, 1995)

1. Ανοιχτό σύστημα, στο οποίο το θρεπτικό διάλυμα μετά το πέρας της άρδευσης απορρίπτεται στο περιβάλλον.
2. Κλειστό σύστημα, στο οποίο το θρεπτικό διάλυμα μετά την άρδευση συλλέγεται σε δεξαμενή ανάμιξης, διορθώνεται ως προς την EC και το pH και επανακυκλοφορεί στις ρίζες των φυτών.

Συγκριτικές μελέτες ανοιχτών και κλειστών συστημάτων έχουν αποδείξει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο συστημάτων στη παραγωγή και την ποιότητα των προϊόντων, αλλά στα κλειστά συστήματα η εξοικονόμηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων ήταν της τάξης του 22-35% (Gul et al, 1999; Tuzel και Gul, 1999).

Στο ανοικτό σύστημα, ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που απορρίπτεται εξαρτάται από τη διαμόρφωση του συστήματος άρδευσης, τον τύπο ελέγχου και τις ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου υποστρώματος. Η απόρριψη μπορεί να κυμανθεί σε χαμηλά επίπεδα 0 – 10% αλλά και σε υψηλά, της τάξης του 90% του παρεχόμενου θρεπτικού διαλύματος, ανάλογα με την απαιτούμενη προσοχή που δίνεται κατά τη διάρκεια της άρδευσης (Lieth, 1996). Στη πράξη το ποσοστό απόρριψης είναι της τάξης του 25–30% ώστε να διατηρηθεί η EC του υποστρώματος

στα επιθυμητά επίπεδα. Δύο είναι οι λόγοι που απαγορεύουν τα υψηλά ποσοστά απόρριψης του παρεχόμενου θρεπτικού διαλύματος: η μόλυνση του πόσιμου νερού λόγω της διάθεσης στους επιφανειακούς και υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και η αύξηση του κόστους παραγωγής, αφού μεγάλο μέρος λιπασμάτων και νερού απορρίπτονται.

Το κύριο μειονέκτημα του ανοιχτού συστήματος είναι η μη οικονομικότητα του, λόγω των απωλειών νερού και αχρησιμοποίητων θρεπτικών στοιχείων, αφού η ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος είναι μεγαλύτερη από τις ανάγκες των φυτών με αποτέλεσμα να απορρίπτεται (Jones, 2000). Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η ευκολία χρήσης και λειτουργίας και το μειωμένο κόστος λόγω των απλουστευμένων εγκαταστάσεων που απαιτούνται.

Τα κλειστά συστήματα αναπτύχθηκαν ως αποτέλεσμα της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης του στραγγιζόμενου θρεπτικού διαλύματος. Ωστόσο, εξακολουθούν να υφίστανται ορισμένα άλτα προβλήματα. Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος αλλάζει σημαντικά όταν διέρχεται από τις ρίζες των φυτών, γι' αυτό απαιτούνται συχνές διορθώσεις τόσο ως προς την ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που εκφράζεται με την EC, όσο και ως προς το pH (Hurd et al., 1980). Η επαναχρησιμοποίηση του θρεπτικού διαλύματος οδηγεί σε συσσώρευση ορισμένων θρεπτικών στοιχείων και ιόντων με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται οι αναλογίες τους στο θρεπτικό διάλυμα. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιούνται ακριβά συστήματα που φέρουν αισθητήρες ευαίσθητους στα ιόντα και συστήματα ελέγχου. Τα συστήματα ελέγχου και οι απαιτήσεις των κλειστών συστημάτων ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος έχουν ερευνηθεί από τους Wilcox, 1991; Schon, 1992 ;Bugbee, 1995.

Ένα ακόμη μεγάλο πρόβλημα που παρουσιάζουν τα κλειστά συστήματα είναι η διάδοση των ασθενειών μέσα στο υδροπονικό σύστημα και αυτό γιατί τα σπόρια των μυκήτων που προσβάλουν ένα φυτό διαδίδονται με την επανακυκλοφορία και στα υπόλοιπα φυτά της καλλιέργειας. Από καλλιέργειες φυτών που έχουν αναπτυχθεί σε πλάκες πετροβάμβακα και σε άλλα παρόμοια υποστρώματα, έχει αποδειχθεί ότι τα παθογόνα των ριζών είναι δυνατόν να ξεπλυθούν από το νερό στράγγισης και να διαδοθούν σε ολόκληρο το σύστημα λόγω της επανακυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος (Amsing, 1995; Davies, 1981; McPherson et al., 1995; Ratting, 1983; Wohanka, 1992).

Γι' αυτό και η απολύμανση του θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητη σε όλα τα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Τα υφιστάμενα συστήματα δεν είναι πανάκεια λόγω του υψηλού κόστους αλλά και επειδή επηρεάζουν τα θρεπτικά στοιχεία που διαλύονται στο θρεπτικό διάλυμα. Τα διάφορα συστήματα απολύμανσης και τα χημικά σκευάσματα εστιάζουν στην απομάκρυνση του συγκεκριμένου παθογόνου και όχι στην πλήρη απολύμανση (αποστείρωση) ολόκληρου του θρεπτικού διαλύματος (Van Os, 1999).

Ορισμένες μελέτες αναφέρουν λιγότερες προσβολές μυκήτων στο επίπεδο των ριζών, στα κλειστά συστήματα σε σχέση με τα ανοιχτά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στους ωφέλιμους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στο πιο φυσικό περιβάλλον ριζών. Οι Postma και van Elsas (2000) παρατήρησαν πως σε καλλιέργεια αγγουριού σε υπόστρωμα πετροβάμβακα που πρώτα είχε αποστειρωθεί, προσβλήθηκε περισσότερο αφού εμβολιάστηκε σε *Pythium* από ότι σε καλλιέργεια αγγουριού σε πετροβάμβακα που δεν αποστειρώθηκε. Το φαινόμενο συνδέθηκε με την παρουσία *Actinomycetes* στο νερό της στράγγισης. Αυτά τα ευρήματα οδηγούν στο συμπέρασμα πως είναι δυνατός ο έλεγχος των ασθενειών των ριζών με την προσθήκη ωφέλιμων μικροοργανισμών (*Bacillus*

subtilis) στο θρεπτικό διάλυμα. Γι' αυτό και τα κλειστά συστήματα θεωρούνται σπάνια τελείως κλειστά (Van Os, 1999).

Σύμφωνα με τον Wohanka (2002) οι επικρατέστερες μέθοδοι απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος είναι:

1. Με θέρμανση (εναλλάκτες θερμότητας)
2. Με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV)
3. Με χρήση χημικών ουσιών (συσκευές όζον, χλωρίνη)
4. Με φιλτράρισμα (φίλτρο άμμου)

Κάθε μέθοδος απολύμανσης διαφέρει ως προς το αποτέλεσμα, την οικονομικότητα, το χειρισμό και την αξιοπιστία της. Η επιλογή της μεθόδου θα πρέπει να γίνεται με γνώμονα τις συνθήκες που επικρατούν, τις ανάγκες και τις δυνατότητες του κάθε παραγωγού.

2.4 Χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων

Μεταξύ των διαφόρων συστημάτων υδροπονικής καλλιέργειας, το πιο διαδεδομένο είναι αυτό στο οποίο το ριζικό σύστημα των φυτών αναπτύσσεται μέσα σε δοχεία, πλαστικούς σάκους ή γλάστρες που περιέχουν ένα είδος πορώδους υποστρώματος, που μπορεί να αποτελείται από ένα ή και περισσότερα υλικά (Sahin et al., 2002). Η επιλογή του κατάλληλου υποστρώματος καθορίζεται από πολλούς παράγοντες όπως:

1. Η διαθεσιμότητα του στην αγορά
2. Το χαμηλό κόστος και η διάρκεια χρήσης
3. Η ποιότητα των υλικών κατασκευής
4. Η αντοχή του στο χρόνο
5. Η σταθερότητα του, να μην συρρικνώνεται αλλά και να μην διογκώνεται. Μαλακά υλικά που αποσυνθέτονται εύκολα πρέπει να αποφεύγονται, γιατί χάνουν τη δομή τους, μειώνεται το

6. Η απαιτούμενη στήριξη των φυτών
7. Η ανυπαρξία τοξικών ουσιών
8. Η ανακύκλωση του ή η ασφαλής απόρριψη του στο περιβάλλον
9. Η εύκολη απολύμανση του

Η τάση που επικρατεί είναι να προτείνονται υποστρώματα στους παραγωγούς που να πληρούν αυτές τις απαιτήσεις. Ο Kipp et al (2000) περιέγραψαν πάνω από 14 είδη υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες παραλλαγές και παρουσίασαν διαφορετικές ιδιότητες. Το πριονίδι για παράδειγμα, παρουσιάζει συνήθως υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο, γι' αυτό και υπόκειται σε αναλύσεις και εμβαπτίζεται με γλυκό νερό ώστε να ξεπλυθεί. Το αμμοχάλικο και η ασβεστολιθική άμμος πρέπει να αποφεύγονται γιατί περιέχουν ανθρακικά άλατα σε υψηλές συγκεντρώσεις, τα οποία απελευθερώνονται στο θρεπτικό διάλυμα με αποτέλεσμα τη μεταβολή του pH.

Επίσης ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των υποστρωμάτων είναι η συγκράτηση του νερού, που καθορίζεται από το μέγεθος, τη μορφή των σωματιδίων του και το πορώδες. Το νερό διατηρείται στην επιφάνεια των μορίων και μέσα στους πόρους του υποστρώματος, όσο μικρότερα είναι τα μόρια, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των πόρων και τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκράτηση του νερού. Το υπόστρωμα πρέπει να συγκρατεί νερό αλλά και να στραγγίζει ικανοποιητικά, επομένως τα υπερβολικά λεπτά υλικά πρέπει να αποφεύγονται ώστε να αποτρέπεται η υπερβολική συγκράτηση νερού και η έλλειψη οξυγόνου στη περιοχή των ριζών (Jaenicke, 1999).

2.5 Χρησιμοποιούμενα υποστρώματα

2.5.1 Καλλιέργεια σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα

Σε αυτά τα συστήματα καλλιέργειας τα φυτά αναπτύσσονται σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα, με το θρεπτικό διάλυμα να εφαρμόζεται με πλημμυρικά γεμίσματα ή με στάγδην άρδευση. Ορισμένες από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες τους παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά ανόργανων υποστρωμάτων.

Υπόστρωμα	Χαρακτηριστικά
Πετροβάμβακας	Καθαρό, μη τοξικό, αποστειρωμένο, ελαφρύ όταν είναι στεγνό, υψηλή συγκράτηση νερού (80%), καλός αερισμός (17%), δεν παρουσιάζει ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ή ρυθμιστική ικανότητα, προσφέρει ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των ριζών σε καλλιέργειες μεγάλης διάρκειας
Βερμικουλίτης	Πορώδες, αποστειρωμένο, ελαφρύ, υψηλή ικανότητα απορρόφησης νερού (5 φορές το βάρος του), εύκολα γίνεται βαρύ, σχετικά υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων
Περλίτης	Πυριτικό, αποστειρωμένο, πολύ ελαφρύ, εύκολη στράγγιση, δεν παρουσιάζει ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ή ρυθμιστική ικανότητα, καλό υπόστρωμα ανάπτυξης όταν αναμιγνύεται με βερμικουλίτη, σε μορφή σκόνης μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος
Χαλίκι	Διάμετρος 5-15mm, εύκολη στράγγιση, χαμηλή

	ικανότητα συγκράτησης νερού, υψηλή πυκνότητα που μπορεί να είναι μειονέκτημα ή πλεονέκτημα, απαιτείται αποστείρωση πριν τη χρήση
Άμμος	Ιδανική διάμετρος 0.6-2.5mm, μπορεί να έχει αναμειχθεί με πηλό που πρέπει να αφαιρεθεί πριν τη χρήση, χαμηλή ικανότητα συγκράτησης νερού, υψηλή πυκνότητα, συχνά χρησιμοποιείται σε οργανικά υποστρώματα για την αύξηση της στράγγισης
Ελαφρόπετρα	Πυριτικό υλικό ηφαιστειακής προέλευσης, αδρανές, υψηλότερη συγκράτηση νερού από την άμμο, υψηλό πορώδες
Πλάκες πολυουρεθάνης	Νέο υλικό, με 75-80% πόρους, 15% ικανότητα συγκράτησης νερού

(Morgan, 2003)

2.5.1.1 Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (Rockwool culture)

Η καλλιέργεια σε πετροβάμβακα αποτελεί ένα από τα κυριότερα και πιο διαδεδομένα υδροπονικά συστήματα ανάπτυξης και παραγωγής φυτών τομάτας, αγγουριού και πιπεριάς (Bij, 1990; Morgan, 2003; Ryall, 1993). Σαν υπόστρωμα σε υδροπονικά συστήματα πρωτοεμφανίστηκε στη Δανία το 1969 και διαδόθηκε και στις υπόλοιπες χώρες (Smith, 1987). Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει άριστη ικανότητα συγκράτησης νερού, αποτελεί αδρανές υλικό και έχει αποδειχθεί ως άριστο υπόστρωμα για την παραγωγή των φυτών (Sonneveld, 1989). Ο πετροβάμβακας παρασκευάζεται μετά από την ανάμιξη και την επεξεργασία τριών φυσικών υλικών: 60% διαβάση (είδος του βασάλτη), 20% ασβεστόλιθος και 20% άνθρακα. Αυτά τα υλικά πυρακτώνονται και λιώνουν σε θερμοκρασία που ξεπερνά τους 1600 °C. Το μείγμα στη συνέχεια περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα με αποτέλεσμα να σχηματίζονται

λεπτές ίνες διαμέτρου 0.005mm, οι οποίες ψύχονται με ρεύμα κρύου αέρα. Οι ίνες υπόκεινται σε επεξεργασία με ειδική ρητίνη και συμπιέζονται σε πλάκες διαφόρων διαστάσεων. Οι πλάκες που παράγονται είναι καλυμμένες με φύλλο πολυαιθυλενίου και είναι ποικίλων διαστάσεων: 15-46cm πλάτος, 90cm μήκος και 5-10cm πάχος (Smith, 1987). Εκτός από τις πλάκες, σχηματίζονται και κύβοι από πετροβάμβακα που χρησιμοποιούνται για τον πολλαπλασιασμό και την ανάπτυξη των νεαρών φυταρίων.

Η συνήθης χημική σύνθεση του πετροβάμβακα είναι η ακόλουθη: SiO₂ 47%, Al₂O₃ 14%, CaO 16%, MgO 10%, Fe₂O₃ 8%, Na₂O 1%, K₂O 1%, MnO 1%, TiO₂ 1% (Raviv et al., 2002).

Ο πετροβάμβακας είναι χημικά αδρανής, με μόνη εξαίρεση την ελάχιστη επίδραση που έχει στο pH. Οι πλάκες πετροβάμβακα που κυκλοφορούν στο εμπόριο παρουσιάζουν τιμή pH που κυμαίνεται γύρω στο 7-8 που όμως είναι εύκολο να διορθωθεί με συγκεκριμένους χειρισμούς πριν την έναρξη της καλλιέργειας.

Στα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας, οι πλάκες τοποθετούνται στο έδαφος του θερμοκηπίου, αφού πρώτα έχει καλυφθεί με φύλλο πολυαιθυλενίου διπλής όψης (άσπρη-μαύρη πλευρά) ή πάνω σε ειδικά διαμορφωμένα κανάλια. Το διάστημα μεταξύ των πλακών, όπως επίσης και οι αποστάσεις μεταξύ των φυτών εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας. Συνήθως για την καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου χρησιμοποιούνται δίδυμες γραμμές καλλιέργειας. Στη χαμηλότερη άκρη κάθε πλάκας γίνονται σχισμές για τη στράγγιση του θρεπτικού διαλύματος, ενώ στο επάνω μέρος των πλακών τρύπες για να τοποθετηθούν τα φυτά. Η θρέψη των φυτών γίνεται από σωλήνα που φέρει σταλλάκτες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ανοιχτό και κλειστό υδροπονικό σύστημα. Επειδή η διάθεση των χρησιμοποιούμενων πλακών στο κόσμο αρχίζει να αποτελεί πρόβλημα, καταβάλλονται προσπάθειες

αντικατάστασης του πετροβάμβακα με άλλα υποστρώματα (Spillane, 2002). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του πετροβάμβακα είναι τα ακόλουθα:

1. Σε ανοιχτό σύστημα παρουσιάζει μικρότερη πιθανότητα διάδοσης ασθενειών στα φυτά της καλλιέργειας.
2. Η εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων είναι ενιαία, ενώ η θρέψη για κάθε φυτό γίνεται ξεχωριστά.
3. Δεδομένου ότι είναι ελαφρύ, η μεταχείριση του είναι εύκολη.
4. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αρκετές φορές, κατασκευαστικά έχει 3-4 χρόνια δομικής αντοχής.
5. Παρουσιάζει καλό αερισμό.
6. Μικρότερος κίνδυνος αποτυχίας λόγω διακοπής λειτουργίας, συγκριτικά με συστήματα χωρίς πορώδες υπόστρωμα.
7. Μπορεί εύκολα να αυτοματοποιηθεί. (Resh, 1997)

Ενώ τα κυριότερα μειονεκτήματα του είναι:

1. Έχει σχετικά υψηλό κόστος.
2. Παρουσιάζει συσσώρευση ανθρακικών αλάτων και νατρίου σε περιοχές με νερό υψηλής αλατότητας. (Ryall, 1993)
3. Απαιτεί ένα προσεκτικά σχεδιασμένο σύστημα κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος.
4. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αύξηση των ριζών είναι τέτοια που γεμίζει όλη την πλάκα του πετροβάμβακα, με αποτέλεσμα τη νέκρωση των ριζών και την ανάπτυξη των ριζών έξω από την πλάκα.
5. Ένα σημαντικό πρόβλημα στις καλλιέργειες μεγάλης διάρκειας, όπως είναι η τομάτα, αποτελεί το περιοδικό ξέπλυμα των πλακών από τα άλατα που συσσωρεύονται στις πλάκες του πετροβάμβακα. (Jones, 2000)

2.5.1.2 Καλλιέργεια σε περλίτη (perlite culture)

Ο περλίτης είναι ορυκτό ηφαιστειογενούς προέλευσης, το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται στις υδροπονικές καλλιέργειες ονομάζεται διογκωμένος περλίτης και λόγω της επεξεργασίας του σε υψηλές θερμοκρασίες (1000 °C) αποτελεί ένα αποστειρωμένο προϊόν. Ο φυσικός περλίτης περιέχει κρυσταλλικό νερό, που όταν υπερθερμανθεί μετατρέπεται σε ατμό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διόγκωση του κατά 4 με 20 φορές περισσότερο σε σχέση με τον αρχικό του όγκο (Raviv et al, 2002). Ο περλίτης αποτελεί ένα εξαιρετικό υπόστρωμα υδροπονικής καλλιέργειας καθώς συγκρατεί 3-4 φορές το βάρος του σε νερό, είναι αδρανές υλικό, έχει pH 6.0-8.0, δεν παρουσιάζει ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, δεν περιέχει κανένα ορυκτό θρεπτικό στοιχείο και μπορεί να δώσει εξαιρετικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη και παραγωγή φυτών. Ο περλίτης δεν είναι ανθεκτικός στη μηχανική συμπίεση, γι' αυτό μετατρέπεται σε σκόνη, επειδή όμως αποτελεί φυσικό υλικό δεν επιβαρύνει το περιβάλλον.

Οι κόκκοι μικρής διαμέτρου χρησιμοποιούνται στα σπορεία για τη βλάστηση των φυτών και την ανάπτυξη των μικρών φυταρίων ενώ οι κόκκοι μεγαλύτερης διαμέτρου αναμιγνύονται με τύρφη και άμμο για την ανάπτυξη των φυτών. Η συνήθης χημική σύσταση του περλίτη είναι η εξής: SiO₂ 73.1%, Al₂O₃ 15.3%, CaO 0.8%, MgO 0.05%, Fe₂O₃ 1.05%, Na₂O 3.65%, K₂O 4.5%. (Raviv et al., 2002).

Ο περλίτης συνήθως χρησιμοποιείται ως συστατικό σε μείγματα υποστρωμάτων ώστε να εξασφαλιστεί η καλή στράγγιση και ο αερισμός του υποστρώματος (D' Angelo και Titone, 1988). Το πιο διαδεδομένο σύστημα καλλιέργειας φυτών με χρήση περλίτη, για εμπορική παραγωγή είναι με τοποθέτηση του περλίτη σε σάκους και δοχεία (Gerhart και Gerhart, 1992; Morgan, 2003).

Στο σύστημα των σάκων, δημιουργούνται μικρές σχισμές κατά μήκος της κάτω άκρης του σάκου για τη στράγγιση του πλεονάζοντος θρεπτικού διαλύματος. Στην κορυφή του σάκου ανοίγονται τρύπες για τη φύτευση των φυτών, ενώ η θρέψη γίνεται με σωλήνα που τοποθετείται δίπλα από τα φυτά και φέρει σταλάκτες. Τα φυτά αρχικά αναπτύσσονται σε κύβους πετροβάμβακα και όταν αναπτυχθεί το ριζικό τους σύστημα τοποθετούνται στην τρύπα του σάκου με τον περλίτη. Το σύστημα μπορεί να είναι ανοικτό ή κλειστό.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του περλίτη σε σάκους είναι τα ακόλουθα:

1. Σχετικά απλό σύστημα
2. Χαμηλό κόστος υποστρώματος
3. Οι σάκοι με τον περλίτη στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν εφόσον δεν παρατηρείται μόλυνση, μέρος του ριζικού συστήματος μπορεί να αφαιρεθεί πριν τη νέα καλλιέργεια.
4. Απαιτεί ένα προσεκτικά σχεδιασμένο σύστημα κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος.

Συνοπτικά ορισμένα μειονεκτήματα του περλίτη είναι:

1. Μέρος των ριζών μπορεί να βγει από τις σχισμές στράγγισης του θρεπτικού διαλύματος και να αναπτυχθεί εκτός των σάκων.
2. Ένα σημαντικό πρόβλημα στις καλλιέργειες μεγάλης διάρκειας, όπως είναι η τομάτα, αποτελεί το περιοδικό ξέπλυμα από τα άλατα που συσσωρεύονται στους σάκους (Jones, 2000).

Ο πετροβάμβακας και ο περλίτης είναι τα δυο πιο δημοφιλή και παραγωγικά συστήματα. Στο σύστημα των δοχείων με περλίτη, τα νεαρά φυτάρια αναπτύσσονται σε κύβους πετροβάμβακα και μόλις αναπτυχθεί

το ριζικό τους σύστημα μεταφυτεύονται στα δοχεία. Η άρδευση γίνεται με σωλήνα που φέρει σταλλάκτες.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του περλίτη σε δοχεία είναι τα ακόλουθα:

1. Σχετικά απλό σύστημα
2. Χαμηλό κόστος υποστρώματος
3. Τα δοχεία με τον περλίτη στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν εφόσον δεν παρατηρείται μόλυνση, μέρος του ριζικού συστήματος μπορεί να αφαιρεθεί πριν τη νέα καλλιέργεια.
4. Απαιτεί ένα προσεκτικά σχεδιασμένο σύστημα κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος.

Συνοπτικά ορισμένα μειονεκτήματα του περλίτη είναι:

1. Υψηλό κόστος δοχείων.
2. Ένα σημαντικό πρόβλημα στις καλλιέργειες μεγάλης διάρκειας, όπως είναι η τομάτα, αποτελεί το περιοδικό ξέπλυμα από τα άλατα που συσσωρεύονται στους σάκους. (Jones, 2000)

Μια τελευταία παραλλαγή του συστήματος αποτελεί η χρήση κάθετων σάκων με τα φυτά να τοποθετούνται σε τρύπες στις πλευρές των σάκων. Το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοτείται από την κορυφή του σάκου μέχρι το κατώτερο σημείο. Τα ίδια προβλήματα που συνδέονται με το NFT ισχύουν και γι' αυτό το σύστημα, καθώς η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος τροποποιείται καθώς περνά κατά μήκος του σάκου (DeKorne, 1992 και 1993).

2.5.1.3 Καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα (pumice culture)

Η ελαφρόπετρα είναι προϊόν ηφαιστειακής δραστηριότητας που συνήθως σχηματίζεται από πυριτική λάβα που έχει αναπτυχθεί σε ηφαιστειακή γρανιτική λάβα, πλούσια σε αέρια και πτητικά αέρια (Challinor, 1996). Πρόκειται για ένα αργιλλοπυριτικό υλικό, το οποίο δεν έχει τη συμπαγή υφή των υπόλοιπων πετρωμάτων αλλά φέρει εκτεταμένο πορώδες σε όλη του τη μάζα. Στην ύπαρξη αυτού του πορώδους οφείλεται και το χαμηλό ειδικό βάρος της. Ο σχηματισμός των πόρων οφείλεται στη διαφυγή αερίων μέσα από τη μάζα της κατά τη διάρκεια ψύξης της λάβας. Η ελαφρόπετρα συναντάται σε περιοχές με έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως τα νησιά της Ελλάδας, η Ισλανδία, η Ιαπωνία, η Νέα Ζηλανδία, η Ρωσία, η Τουρκία και οι ΗΠΑ. Η συνήθης χημική σύσταση της ελαφρόπετρας όπως περιγράφεται από τον Raviv et al., 2002 είναι η εξής: SiO_2 70-75%, Al_2O_3 12-14%, CaO 1-3%, MgO 0.1-0.6%, Fe_2O_3 0.8-2.0%, Na_2O 3-6%, K_2O 4-5%. Η ελαφρόπετρα έχει χαμηλή φαινομενική πυκνότητα και πορώδες της τάξης του 70-85%, το pH είναι σχεδόν ουδέτερο και η ηλεκτρική αγωγιμότητα πολύ χαμηλή. Αποτελεί ένα ανόργανο, χημικά αδρανές υλικό, απαλλαγμένο από παθογόνα (Raviv et al., 2002).

Στα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας, η ελαφρόπετρα αποτελεί μια φθηνή εναλλακτική λύση σε σχέση με άλλα αδρανή υλικά όπως ο πετροβάμβακας και ο περλίτης. Η πιο κοινή καλλιέργεια είναι με χρήση σάκων, χρησιμοποιώντας ένα μείγμα διαφορετικών μεγεθών σωματιδίων με σκοπό την επίτευξη υψηλής ποιότητας και απόδοσης. Η εγκατάσταση του συστήματος σε σάκους είναι παρόμοια με αυτή του συστήματος με περλίτη. Έρευνες όπως αυτές του Verdonck et al., (1981, 1983) και του Verhagen (1997) σχετικά με τις φυσικές ιδιότητες των δύο υλικών, έδειξαν ότι το ολικό πορώδες της ελαφρόπετρας ήταν χαμηλότερο αλλά η φαινομενική πυκνότητα ήταν υψηλότερη από αυτή του περλίτη. Η μίξη

των μεγάλων σωματιδίων της ελαφρόπετρας, με σωματίδια μικρότερα των 5mm, οδήγησε σε υψηλότερη ικανότητα συγκράτησης του νερού, αυξημένη παραγωγή και ανάπτυξη των φυτών.

2.5.1.4 Καλλιέργεια σε άμμο (sand culture)

Η άμμος αποτελεί ένα ανόργανο υλικό χαμηλού κόστους (ιδιαίτερα στις περιοχές που είναι άμεσα διαθέσιμο). Αποτελείται από κόκκους διάφορων διαμέτρων και προέρχεται από την αποσάθρωση πετρωμάτων. Η φαινομενική της πυκνότητα είναι ιδιαίτερα υψηλή, το pH της είναι ουδέτερο και εξαρτάται από το μητρικό υλικό προέλευσης της (συνήθως είναι ο χαλαζίας) (Raviv et al., 2002).

Η καλλιέργεια σε υπόστρωμα άμμου ήταν ευρέως διαδεδομένη σε όλο τον κόσμο και ιδιαίτερα σε περιοχές με ερήμους, όπως η Μέση Ανατολή και η Βόρεια Αφρική (πλέον έχει αντικατασταθεί από συστήματα πετροβάμβακα και NFT, λόγω της επανακυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος στα κλειστά συστήματα). Πριν τη χρήση της άμμου απαιτείται ένα ξέπλυμα με άφθονο νερό για την απομάκρυνση των αλάτων και κάποια μέθοδος απολύμανσης. Η άμμος που προέρχεται από ασβεστόλιθους πρέπει να αποφεύγεται γιατί με το όξινο θρεπτικό διάλυμα των υδροπονικών καλλιεργειών, διαλυτοποιείται το ασβέστιο (Resh, 1997; da Silva, 1991; Wever et al, 1997). Η καλλιέργεια γίνεται συνήθως σε ανοιχτά συστήματα μέσα σε λεκάνες ή αυλάκια που δημιουργούνται στο έδαφος του θερμοκηπίου ή ακόμα και σε πλαστικούς σάκους (Maloupa, 2002). Από τα διάφορα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σήμερα, η χρήση της άμμου κοντεύει να εξαλειφθεί. Η χρήση της άμμου σε σάκους είναι προτιμότερη από τις λεκάνες άμμου και επιτυγχάνουν καλύτερη στράγγιση αλλά έχουν μεγάλο βάρος και

είναι δύσκολοι στο χειρισμό, στη μεταφορά, στη τοποθέτηση τους ακόμα και τη διάθεση τους μέσα στο θερμοκήπιο (Κουκί, 1999).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της άμμου ως υπόστρωμα καλλιέργειας σε σχέση με το χαλίκι είναι τα ακόλουθα:

1. Οι λεπτότεροι κόκκοι της άμμου επιτρέπουν τη πλευρική μετακίνηση του νερού, με αποτέλεσμα την ομοιομορφία ροής του θρεπτικού διαλύματος στη ζώνη των ριζών.
2. Με συνδυασμό άρδευσης με σταλλάκτες επιτυγχάνεται επαρκής αερισμός των ριζών.
3. Το κόστος κατασκευής είναι μικρότερο, το σύστημα είναι απλούστερο και ευκολότερο στη συντήρηση.
4. Λόγω του μεγέθους των κόκκων της άμμου, η συγκράτηση του νερού είναι υψηλότερη.
5. Το υπόστρωμα της άμμου ευνοεί την πλευρική αύξηση των ριζών. (Resh, 1997)

Τα μειονεκτήματα της άμμου ως υπόστρωμα καλλιέργειας σε σχέση με το χαλίκι είναι τα ακόλουθα:

1. Χρήση ανοιχτού συστήματος καλλιέργειας, το οποίο οδηγεί σε αύξηση του κόστους λόγω της μη επαναχρησιμοποίησης του νερού και θρεπτικών στοιχείων.
2. Απαιτείται απολύμανση μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων.
3. Από έρευνες έχει παρατηρηθεί ότι στο υπόστρωμα άμμου καταναλώνονται περισσότερα λιπάσματα και νερό συγκριτικά με ένα κλειστό σύστημα υποστρώματος χαλικιού.
4. Κατά την καλλιεργητική περίοδο εμφανίζεται υψηλή αλατότητα, λόγω της συσσώρευσης αλάτων. (Resh, 1997)

2.5.1.5 Καλλιέργεια σε χαλίκι (gravel culture)

Το χαλίκι που χρησιμοποιείται στις υδροπονικές καλλιέργειες προέρχεται κυρίως από γρανίτη 3-12mm. Δεν χρησιμοποιείται χαλίκι που προέρχεται από ασβεστόλιθο, γιατί διαλυτοποιείται το ασβέστιο από το όξινο θρεπτικό διάλυμα. Το σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας με χαλίκι ήταν από τα πρώτα χρησιμοποιούμενα (1940-1960), πλέον όμως τη θέση του έχουν πάρει συστήματα με άλλα υποστρώματα, όπως ο περλίτης και ο πετροβάμβακας. Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε λεκάνες με χαλίκι, η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος γίνεται με συνεχή πλημμυρικά γεμίσματα ενώ η συχνότητα της άρδευσης ρυθμίζεται ώστε η πλημμυρίδα να ξεκινά αμέσως μόλις τελειώσει η στράγγιση του θρεπτικού διαλύματος από τη λεκάνη (Μαυρογιανόπουλος, 2006).

Το σύστημα καλλιέργειας με λεκάνες χαλικιών παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα που όμως με τη πάροδο του χρόνου εξασθενούν:

1. Ομοιόμορφη άρδευση και θρέψη των φυτών.
2. Πλήρης αυτοματοποίηση.
3. Καλό αερισμό του ριζικού συστήματος.
4. Παρουσιάζει επιτυχία σε υπαίθριες αλλά και θερμοκηπιακού τύπου καλλιέργειες.
5. Ορθολογική χρήση νερού και λιπασμάτων λόγω της εφαρμογής κλειστού συστήματος. (Resh, 1997)

Συνοπτικά ορισμένα μειονεκτήματα των λεκανών με χαλίκι είναι:

1. Υψηλού κόστους κατασκευή, συντήρηση και επισκευή.
2. Φράξιμο βαλβίδων και συχνή αποτυχία εφαρμογής αυτοματισμών.

3. Με την πάροδο των ετών το χαλίκι θα πρέπει να καθαρίζεται από τις ρίζες και να εφαρμόζεται κάποιο σύστημα απολύμανσης. (Resh, 1997)

2.5.1.6 Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη (vermiculite culture)

Αποτελεί ένα διογκωμένο ανόργανο ορυκτό, που παρασκευάζεται παρόμοια με τον περλίτη, με θέρμανση σε θερμοκρασίες κοντά στους 1093 °C. Το νερό μετατρέπεται σε ατμό και δημιουργείται μια επιφάνεια που θυμίζει σφουγγάρι με μικρούς πόρους (Wright, 1989). Λόγω της διαδικασίας παρασκευής του είναι αποστειρωμένο, έχει χαμηλή φαινομενική πυκνότητα, το pH του είναι ουδέτερο και παρουσιάζει υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Όταν διογκώνεται είναι ιδιαίτερα ελαφρύ 96-160 kg/m³ (Verdonck, 1982). Η καλλιέργεια γίνεται συνήθως σε σάκους, ενώ τις περισσότερες φορές ο βερμικουλίτης χρησιμοποιείται ως συστατικό για τη δημιουργία μειγμάτων (Jaenicke, 1999). Η συνήθης χημική σύσταση του βερμικουλίτη είναι η εξής: SiO₂ 20-25%, Al₂O₃ 5-10%, MgO 35-40%, Fe₂O₃ 32-35% (Raviv et al., 2002).

Το 1959, ο Bently υποστήριξε ότι ο βερμικουλίτης αποτελεί άριστο υπόστρωμα για την υδροπονική καλλιέργεια, ωστόσο η απώλεια της δομής του κατά τη διάρκεια της παρατεταμένης χρήσης και η υψηλή ιοντοεναλλακτική ικανότητα του αποτελεί σοβαρό πρόβλημα και περιορίζει τη χρήση του.

2.5.2 Καλλιέργεια σε οργανικά πορώδη υποστρώματα

Σε αυτά τα συστήματα καλλιέργειας τα φυτά αναπτύσσονται σε οργανικά πορώδη υποστρώματα. Ορισμένες από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες τους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά οργανικών υποστρωμάτων.

Υπόστρωμα	Χαρακτηριστικά
Ίνες Καρύδας	Συνήθως σχηματίζεται σε λεπτές ίνες, παρουσιάζει υψηλή ικανότητα συγκράτησης του νερού και θρεπτικών στοιχείων, μπορεί να αναμιχθεί με περλίτη για το σχηματισμό υποστρώματος που μπορεί να διαφέρει ως προς την ικανότητα συγκράτησης του νερού.
Τύρφη	Χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα ανάπτυξη νεαρών φυταρίων και σε καλλιέργειες που χρησιμοποιούν δοχεία. Με την απορρόφηση του νερού αυξάνεται η συνεκτικότητα της και συνήθως αναμιγνύεται σε άλλα υλικά για την παρασκευή υποστρωμάτων διαφορετικών φυσικών και χημικών ιδιοτήτων.
Φλοιός κωνοφόρων δέντρων	Χρησιμοποιείται σε συστήματα που χρησιμοποιούν δοχεία, μπορεί να αντικαταστάσει την τύρφη, είναι διαθέσιμο σε σωματίδια διαφορετικών μεγεθών, πριν τη χρήση πρέπει να προηγηθεί η διαδικασία της ζύμωσης ώστε να μειωθεί η τοξικότητα συνήθως του Mn.
Πριονίδι	Παρουσιάζει ικανοποιητική ικανότητα συγκράτησης του νερού και αερισμό των ριζών, η προέλευση του συνήθως επηρεάζει τη χρήση του, Ικανοποιητικό υλικό

	για καλλιέργειες μικρής διάρκειας.
Λέπυρα ρυζιού	Είναι λιγότερο γνωστά και η χρήση τους είναι περιορισμένη, παρουσιάζει ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές του περλίτη, στραγγίζει εύκολα, ανάλογα την προέλευση τους μπορεί να περιέχουν υπολείμματα χημικών, συνήθως απαιτείται αποστείρωση πριν τη χρήση.

(Morgan, 2003).

2.5.2.1 Καλλιέργεια σε τύρφη (peat culture)

Η αξία της τύρφης στη κηπουρική και στην ανάπτυξη των φυτών αναγνωρίστηκε στις αρχές του 18^{ου} αιώνα (Perfect, 1759; Wooldridge, 1719). Η τύρφη αποτέλεσε θέμα μελέτης πολλών επιστημόνων, συμπεριλαμβανομένων των βοτανολόγων, εδαφολόγων, χημικών, μικροβιολόγων και άλλων. Η παραγωγή, οι ιδιότητες και η χρήση της τύρφης στη γεωπονία αναθερμάνθηκαν από τους Robinson και Lamb (1975), Ruustjarvi (1977) και Bunt (1988). Η τύρφη αποτελεί ένα οργανικό υλικό που χρησιμοποιείται εκτεταμένα ως υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών, όχι μόνο στις υδροπονικές καλλιέργειες αλλά και γενικότερα στη γεωπονία. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της, καθώς και η μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων που παρουσιάζει, την καθιστούν ένα εξαιρετικό υπόστρωμα καλλιέργειας των φυτών (Zaller, 2007). Τα διαφορετικά είδη τύρφης ποικίλουν ανάλογα με τον βαθμό της αποσύνθεσης τους και το βαθμό οξύτητας (Lucas et al, 1971; Von Post, 1937).

Τα διάφορα είδη των φυτικών υπολειμμάτων, το κλίμα της περιοχής και η ποιότητα του νερού καθορίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της τύρφης. Η υφή της τύρφης επηρεάζεται από την μέθοδο την οποία αυτή συλλέγεται και διαχειρίζεται. Η τεχνική της συλλογής, εξαρτάται από το

κλίμα και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέρους που σχηματίζεται η τύρφη, όπως για παράδειγμα η παρουσία φυτικών υπολειμμάτων από δένδρα. Σε γενικές γραμμές η τύρφη συλλέγεται είτε με υδραυλική εξόρυξη είτε με εξαγωγή συγκεκριμένων κομματιών της (block cutting) (Given και Dickinson, 1975). Εκτός από την ταξινόμηση βάσει του βαθμού αποσύνθεσης, υπάρχουν και τέσσερις ομάδες τύρφης που βασίζονται στην φυτοκομική της προέλευση.

Η sphagnum peat moss αποτελεί την λιγότερη αποδομημένη τύρφη και προέρχεται από τα φυτικά είδη sphagnum moss. Χαρακτηρίζεται από υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού, που φθάνει τις 10 φορές σε σχέση με το ξηρό βάρος της, υψηλή οξύτητα, το pH της κυμαίνεται μεταξύ του 3.8-4.5, περιέχει μικρή ποσότητα αζώτου (1%) και ελάχιστη ποσότητα φωσφόρου και καλίου (Resh, 1997; Heiskanen, 1993).

Hyrnum peat moss. Αυτό το είδος τύρφης αποτελείται από μερικώς αποδομημένα φυτικά υπολείμματα του είδους Hyrnum και άλλων ειδών της οικογένειας Hyranaceae. Χαρακτηρίζεται από χαμηλή φαινομενική πυκνότητα (0.08-0.16 gr cm⁻³), με ελαφρώς όξινο pH (5-7) και περιέχει μικρή ποσότητα αζώτου (2-3.5%). Παρόλο που αποτελεί φθηνότερο υλικό από την sphagnum peat, μειονεκτεί ως υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών γιατί δύναται να περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς και σπόρους ζιζανίων, εξαιτίας των συνθηκών παρασκευής της (Ravin et al, 2002).

Reed και sedge peat και Peat humus. Πρόκειται για περισσότερο αποδομημένα υλικά που χαρακτηρίζονται από υψηλή φαινομενική πυκνότητα (0.16-0.29% και 0.32-0.65% αντίστοιχα) και χαμηλό ολικό πορώδες. Το pH τους κυμαίνεται μεταξύ 4-7.5 και περιέχουν ποσότητα αζώτου της τάξης του 1.5-3.5%. Δεν συνίστανται ως κύριο συστατικό για τη δημιουργία υποστρώματος στις υδροπονικές καλλιέργειες.

Σε όλη την Ευρώπη και τις ΗΠΑ, η τύρφη αποτελεί ένα δημοφιλές υπόστρωμα καλλιέργειας φυτών και είναι εμπορικά διαθέσιμη σε μορφή σάκων με κάλυμμα πολυαιθυλενίου. Πολλές φορές η τύρφη αναμιγνύεται με άλλα υλικά, όπως ο περλίτης για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της. Συνήθως στα συστήματα καλλιέργειας οι σάκοι τοποθετούνται σε σειρές (δίδυμες γραμμές) και μεταξύ των σειρών δημιουργείται ένα αβαθές κανάλι στράγγισης του θρεπτικού διαλύματος (Olympios, 1996).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της τύρφης ως υπόστρωμα καλλιέργειας είναι τα ακόλουθα:

1. Το σύστημα είναι ανοιχτό, που σημαίνει μικρότερος κίνδυνος προσβολής και διάδοσης ασθενειών.
2. Δεν παρατηρείται φράξιμο των σωλήνων από τις ρίζες.
3. Καλή πλευρική μετακίνηση του θρεπτικού διαλύματος σε όλη τη ζώνη του ριζικού συστήματος.
4. Καλός αερισμός του ριζικού συστήματος.
5. Το σύστημα είναι απλό, εύκολο στη συντήρηση και την επισκευή.
6. Η υψηλή ικανότητα συγκράτησης του νερού μειώνει τον κίνδυνο υδατικού στρες. (Jones, 2000)

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της τύρφης ως υπόστρωμα καλλιέργειας είναι τα ακόλουθα:

1. Το υπόστρωμα απαιτεί απολύμανση μετά από κάθε καλλιεργητική περίοδο.
2. Η τύρφη, η ελαφρόπετρα και ο βερμικουλίτης έχουν υψηλότερο κόστος σε περιοχές που το πριονίδι ως υπόστρωμα βρίσκεται σε αφθονία.
3. Δεδομένου ότι η τύρφη προέρχεται από οργανικά υλικά, αποδομείται με την πάροδο του χρόνου.

4. Ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο βερμικουλίτης υπόκεινται σε μηχανική συμπίεση και χάνουν τη δομή τους. Γι' αυτό το λόγο τα μίγματα της τύρφης αντικαθίστανται μεταξύ των καλλιεργειών.
5. Αν η συμπίεση παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, περιορίζεται ο αερισμός, γι' αυτό απαιτούνται κατάλληλοι χειρισμοί του υποστρώματος από τον καλλιεργητή. (Jones, 2000)
6. Παρουσιάζει υδρόφοβη συμπεριφορά.

Γενικά, τα μίγματα τύρφης χρησιμοποιούνται σε καλλιέργειες φυτών σε δοχεία. Στις καλλιέργειες με χρήση λεκανών, η άμμος, το πριονίδι και τα λέπυρα του ρυζιού είναι τα καταλληλότερα. Ενώ στις καλλιέργειες με χρήση σάκων, η τύρφη, τα λέπυρα ρυζιού ή τα μίγματα με πριονίδι είναι καταλληλότερα λόγω του μικρότερου βάρους τους (Resh, 1997).

2.5.2.2 Καλλιέργεια σε ίνες καρύδας (coco soil culture)

Ένα υπόστρωμα που γίνεται όλο και πιο δημοφιλές είναι οι ίνες καρύδας, λόγω του πολύ καλού πορώδους. Χώρες παραγωγής είναι η Ινδονησία, οι Φιλιππίνες και η Νότια Αμερική. Στις τροπικές περιοχές αποτελεί ένα πολύ φθινό υπόστρωμα καλλιέργειας (Verdonck et al., 1983). Τα χαρακτηριστικά των ινών καρύδας αναθεωρήθηκαν πρόσφατα από τον Prasad (1997). Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους ή σε δοχεία. Οι ίνες καρύδας συμπιέζονται όταν είναι υγρές και στη συνέχεια αφού στεγνώσουν μεταφέρονται πιο εύκολα σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Πριν τη συμπίεση και τη χρησιμοποίηση ως υπόστρωμα στις υδροπονικές καλλιέργειες απαιτείται ξέπλυμα με άφθονο νερό για τον καθαρισμό και

την απομάκρυνση των αλάτων και για να μειωθεί ο λόγος C/N (Yau και Murphy, 2000). Η ζύμωση των ινών καρύδας τροποποιεί τις φυσικές ιδιότητες του υλικού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ολικό πορώδες, το ευκόλως διαθέσιμο νερό και το σχετικά διαθέσιμο νερό και να μειώνεται το πορώδες του αέρα (Mbah και Odili, 1998).

Οι φυσικές και οι χημικές ιδιότητες του υποστρώματος εξαρτώνται από την προέλευση του υλικού και το βαθμό ζύμωσης του. Η φαινομενική πυκνότητα των ινών καρύδας κυμαίνεται μεταξύ του 0.04-0.08 gr cm^{-3} , το συνολικό πορώδες φτάνει το 98% και το πορώδες του αέρα το 70% (Lemaire et al, 1998). Το pH είναι στο 5.6 ενώ η EC στο 1.7 dS/m (Shinohara et al., 1999). Ο λόγος του C/N είναι υψηλός και ίσος με 117, ενώ χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις ανόργανων στοιχείων όπως: Cl, Na, P, K (Evans et al., 1996).

2.5.2.3 Καλλιέργεια σε φλοιό κωνοφόρων δέντρων (tree bark culture)

Πρόκειται για ένα οργανικό υποπροϊόν της βιομηχανίας του ξύλου και του χαρτιού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα στις υδροπονικές καλλιέργειες, συνήθως σε μείγματα, με μεγάλη επιτυχία (Aaron, 1982; Pudelski, 1985; Miller και Jones, 1995). Η δομή του είναι ινώδης, το pH κυμαίνεται στο 5.6 και η EC είναι χαμηλή, της τάξης του 0.36Ms/cm^{-1} και ο λόγος C/N είναι περίπου ίσος με 90. Το συνολικό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 73-83%, ενώ η φαινομενική του πυκνότητα φτάνει το 0.1-0.3 gr cm^{-3} .

Ένα από τα μειονεκτήματα του φλοιού των δένδρων είναι ότι αποτελεί ένα υδρόφοβο υλικό και απαιτείται η λεπτομερής ενυδάτωση και η ζύμωση του, προτού χρησιμοποιηθεί για να εξουδετερωθούν οι τοξικότητες που πιθανόν να προκληθούν στα νεαρά φυτά (Michel και

Riviere, 1999). Στα συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα ο φλοιός του πεύκου.

2.5.2.4 Καλλιέργεια σε πριονίδι (sawdust culture)

Το πριονίδι είναι ένα υποπροϊόν της επεξεργασίας του ξύλου, αποτελεί φθινό, εύκολα διαθέσιμο και έτοιμο για χρήση υλικό, η χρήση των υποπροϊόντων του ξύλου ως υποστρώματα υδροπονικής καλλιέργειας έχει μελετηθεί από τους Riviere και Milhau (1984), Bunt (1988), Benoit και Ceustermans (1995). Το πριονίδι χαρακτηρίζεται από ικανοποιητική συγκράτηση νερού, καλές συνθήκες αερισμού και καλή πλευρική κίνηση του θρεπτικού διαλύματος μέσα στο υπόστρωμα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτοτελώς ή αναμιγνύεται με άλλα υλικά όπως την άμμο, μπορεί να τοποθετηθεί σε δοχεία, σάκους και σε κανάλια καλλιέργειας.

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζει το πριονίδι είναι η υψηλή περιεκτικότητα NaCl και αυτό γιατί συνήθως τα ξύλα τοποθετούνται στη θάλασσα για μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να απορροφούν θαλασσινό νερό και να αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ξεπλένονται με καθαρό νερό ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση του NaCl στα επιθυμητά επίπεδα (Resh, 1997).

2.5.3 Καλλιέργεια χωρίς πορώδη υποστρώματα

2.5.3.1 Καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (Nutrient Film Technique – NFT)

Το σύστημα υδροπονίας σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT) αναπτύχθηκε στα τέλη του 1960 από τον Dr.Allan Cooper στο Glasshouse Crops Research Institute του Ην. Βασιλείου. Στο σύστημα NFT ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος σε ειδικά διαμορφωμένα κανάλια. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται, περιπλέκονται μεταξύ τους και δημιουργούν ένα πλέγμα το οποίο αποτελεί και την κάτω στήριξη των φυτών. Το πλέγμα των ριζών αναπτύσσεται εν μέρει μέσα στο θρεπτικό διάλυμα και εν μέρει πάνω από αυτό. Η βασική προϋπόθεση λειτουργίας του συγκεκριμένου συστήματος είναι να εξασφαλιστεί ικανοποιητική συγκέντρωση οξυγόνου στο επίπεδο των ριζών.

Οι βασικές απαιτήσεις του συστήματος NFT περιγράφονται παρακάτω:

1. Να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη κλίση των καναλιών, για την ομοιόμορφη ροή του θρεπτικού διαλύματος χωρίς τοπικές αποκλίσεις, ούτε σε επίπεδο χιλιοστού.
2. Η παροχή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ρέει σημαντική ποσότητα θρεπτικού διαλύματος στο τέλος του καναλιού, χωρίς όμως να αυξάνεται σημαντικά η στάθμη του.
3. Το πλάτος των καναλιών πρέπει να είναι επαρκές ώστε να αποφεύγεται η παρεμπόδιση του θρεπτικού διαλύματος από το ριζικό σύστημα των φυτών.
4. Η βάση του καναλιού να είναι εντελώς επίπεδη και οριζόντια.

Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα του συστήματος συγκριτικά με άλλα είναι ότι απαιτείται μικρότερος όγκος θρεπτικού διαλύματος, ο οποίος είναι ευκολότερο να θερμανθεί κατά τη διάρκεια του Χειμώνα αλλά και να δροσιστεί κατά τη διάρκεια του Καλοκαιριού (Cooper, 1996). Το συγκεκριμένο υδροπονικό σύστημα δεν λύνει τα κοινά προβλήματα που δημιουργούνται στα περισσότερα υδροπονικά συστήματα, αυτό όμως δεν στάθηκε εμπόδιο για την ταχύτατη διάδοση και αποδοχή του σε πολλές χώρες.

Μια παραλλαγή στο σχεδιασμό του συστήματος που προτάθηκε από τον Cooper (1988), ήταν η αλλαγή του καναλιού ανάπτυξης των φυτών από U σε W, στο οποίο τα φυτά τοποθετούνταν στη κορυφή του W και οι ρίζες διαιρούνταν σε κάθε πλευρά του. Με τον επανασχεδιασμό του συστήματος ένα μέρος των ριζών βρίσκεται στον αέρα, ενώ το υπόλοιπο στην υγρή επιφάνεια ώστε να παρέχεται καλύτερη οξυγόνωση του ριζικού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο η μάζα των ριζών τοποθετείται σε δύο κανάλια με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα του παρελθόντος.

Στο σύστημα NFT το κανάλι καλλιέργειας τοποθετείται με κλίση 1%, ώστε το θρεπτικό διάλυμα που εισάγεται στη κορυφή να μπορεί να ρέει στο χαμηλότερο σημείο λόγω βαρύτητας. Η μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο επίπεδο των ριζών παρατηρείται από μειωμένο αερισμό, αργή κυκλοφορία θρεπτικού διαλύματος, υπερβολικό μήκος καναλιών, υψηλή θερμοκρασία θρεπτικού διαλύματος ή από την παρουσία μικροοργανισμών που πολλαπλασιάζονται ταχύτατα. Παροχή της τάξης του 2-3 l/min είναι αρκετή για τη διατήρηση ικανοποιητικής συγκέντρωσης οξυγόνου, κάτω από 2 l/min παρατηρούνται προβλήματα ασφυξίας των ριζών σε μήκος καναλιών που ξεπερνά τα 20 m (Maheer, 1977). Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι τα φυτά που αναπτύσσονται κοντά στο τέλος του καναλιού δεν υποφέρουν από μειωμένη

συγκέντρωση οξυγόνου, το μήκος των καναλιών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20 m (Winsor et al., 1979). Το μήκος και το πλάτος των καναλιών εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και τη μάζα των ριζών που αναπτύσσεται μέσα σε αυτά. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του συστήματος NFT είναι η ευκολία εγκατάστασης και το σχετικά χαμηλό κόστος των υλικών κατασκευής του. Τα κανάλια του NFT καλύπτονται από φύλλο πολυαιθυλενίου διπλής όψης, πάχους 6-10mm. Το πλαστικό φύλλο τοποθετείται με τη λευκή πλευρά στο πάνω μέρος ώστε να μειώνεται η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Η μόνωση με χρήση πλακών, αποτελεί συνηθισμένη πρακτική για τη μείωση των απωλειών θερμότητας από την κάτω πλευρά του καναλιού.

Τα περισσότερα κανάλια που χρησιμοποιούνται είναι κατασκευασμένα από πλαστικά υλικά υψηλής αντοχής στο πέρασμα του χρόνου και στην υπεριώδη ακτινοβολία, πρέπει όμως να αποφεύγονται υλικά που απελευθερώνουν φυτοτοξικές ουσίες στο θρεπτικό διάλυμα. Η έλλειψη σταθερότητας στο χρόνο και η αποδόμηση του υλικού κατασκευής, μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιομορφία στο κατώτερο σημείο του καναλιού με αποτέλεσμα τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Οι αποστάσεις των φυτών στο κανάλι καλλιέργειας είναι συγκεκριμένες και εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας. Εφαρμόζεται το κλειστό σύστημα και το θρεπτικό διάλυμα που ρέει στο τέλος του καναλιού συλλέγεται σε δεξαμενή συλλογής και επανακυκλοφορεί (Bugbee, 1995). Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η αντλία, αυτή πρέπει να είναι ικανή να διατηρεί μια σταθερή ροή θρεπτικού διαλύματος όλο το 24ωρο και για ολόκληρη τη καλλιεργητική περίοδο (Resh, 1997).

Η θερμοκρασία του θρεπτικού διαλύματος καθορίζει και τη διαλυτότητα του οξυγόνου και το ποσοστό αναπνοής των φυτών. Μια αύξηση της θερμοκρασίας από τους 20 στους 30 °C επιφέρει μείωση της

συγκέντρωσης του οξυγόνου από 9.62 σε 7.8 mg εκτιμώντας ότι το ποσοστό αναπνοής των ριζών ουσιαστικά διπλασιάζεται (Jackson, 1980). Μια γρήγορη μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου μπορεί να αποδοθεί σε άλγη που αναπτύσσονται στο θρεπτικό διάλυμα. Ο έλεγχος των ασθενειών είναι δύσκολος, όπως και στα υπόλοιπα κλειστά συστήματα, επειδή ένας παθογόνος μικροοργανισμός που εισάγεται στο σύστημα, διαδίδεται γρήγορα από φυτό σε φυτό και από το ένα κανάλι στο επόμενο. Επίσης, αύξηση του πληθυσμού των μικροοργανισμών μπορεί να εμφανιστεί λόγω της παρουσίας τραυματισμένων ή νεκρών ριζών και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον ανταγωνισμό οξυγόνου μεταξύ ριζών και μικροοργανισμών. Η αύξηση της θερμοκρασίας του θρεπτικού διαλύματος αποτελεί ακόμη ένα παράγοντα που αυξάνει το μεταβολισμό των μικροοργανισμών και τις απαιτήσεις σε οξυγόνο.

Η νέκρωση των ριζών αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα στο σύστημα NFT που συνδέεται με την έλλειψη οξυγόνου στο επίπεδο των ριζών (Antkowiak, 1993). Από μελέτες έχει παρατηρηθεί ότι η νέκρωση των ριζών είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο που παρουσιάζεται λόγω του ανταγωνισμού των φυτών για τους υδατάνθρακες. Σε περιόδους υψηλής ζήτησης υδατανθράκων, ποσοστό των ριζών νεκρώνονται και όταν περάσει το στρες, αναπτύσσονται καινούργιες. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται σε όλα τα συστήματα αλλά είναι πιο εμφανές στο NFT, επειδή δεν παρεμβάλλεται κάποιο οργανικό ή ανόργανο υπόστρωμα (Adams, 1981).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του συστήματος NFT συνοψίζονται στα παρακάτω:

1. Χαμηλό κόστος εγκατάστασης συγκριτικά με άλλα συστήματα καλλιέργειας.
2. Εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων με την εφαρμογή κλειστού συστήματος καλλιέργειας.

3. Γρήγορη επαναφύτευση μεταξύ των καλλιεργειών.
4. Παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου και ρύθμισης του θρεπτικού διαλύματος ανάλογα με τις συνθήκες (ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας), με χρήση αυτοματισμών.
5. Περιορισμός του υδατικού στρες των φυτών μεταξύ των κύκλων άρδευσης, λόγω της εφαρμογής συνεχούς άρδευσης. (Maloupa, 2002)

Τα κυριότερα μειονεκτήματα του συστήματος NFT συνοψίζονται στα παρακάτω:

1. Η έλλειψη κάποιου στοιχείου εκδηλώνεται άμεσα στα φυτά.
2. Μια μεταβολή στο ρυθμό διαπνοής των φυτών, που συνήθως οφείλεται στη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ή του μεγέθους της φυλλικής επιφάνειας, επιβάλλει τη ρύθμιση της παροχής, γιατί είναι πιθανό να μην επαρκεί ή να γίνει υπερβολική και να δημιουργήσει έλλειψη οξυγόνου. Η ρύθμιση της παροχής πρέπει να γίνεται συνεχώς και με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υψώνεται η στάθμη του διαλύματος στο τέλος των καναλιών.
3. Σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών θερμοκηπίου, αναπτύσσεται υψηλή θερμοκρασία στη περιοχή του ριζοστρώματος, με αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη και τη παραγωγή των φυτών.
4. Απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή από τον καλλιεργητή λόγω της απουσίας υποστρώματος και συγκράτησης νερού, γι' αυτό και έχει μεγάλη ευαισθησία στα λάθη και σε κακές ρυθμίσεις. (Maloupa, 2002)

2.5.3.2 Καλλιέργεια με τη μέθοδο της αεροπονίας (aeroponic culture)

Με τη μέθοδο της αεροπονίας, τα φυτά δεν τοποθετούνται σε κάποιο υπόστρωμα αλλά το ριζικό τους σύστημα βρίσκεται στον αέρα. Με αυτό τον τρόπο το ριζικό σύστημα των φυτών λούζεται απευθείας με ψεκαζόμενο θρεπτικό διάλυμα (Nichols, 2002). Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα συγκριτικά με το NFT είναι ο αυξημένος αερισμός των ριζών δεδομένου ότι αναπτύσσονται στον αέρα. Η μέθοδος στοχεύει στη μείωση των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων και νερού.

Οι βασικότερες απαιτήσεις του συστήματος είναι ο ψεκασμός του θρεπτικού διαλύματος με μικροσταγονίδια, η συχνότητα έκθεσης της ρίζας και η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος. Το σύστημα ελέγχεται από υπολογιστή και απαιτούνται για τη λειτουργία του, ειδική συσκευή ψεκασμού, ειδικού τύπου κανάλια και μια σειρά από αισθητήρια όργανα, γι' αυτό και σύμφωνα με τους Jensen και Collins (1985) δεν αποτελεί οικονομικά βιώσιμη μέθοδο. Η συνεχής έκθεση των ριζών στην υδρονέφωση, παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από τον ασυνεχή ψεκασμό. Στα περισσότερα αεροπονικά συστήματα, μια μικρή ποσότητα νερού παραμένει στο κατώτερο σημείο ώστε μέρος των ριζών να βρίσκεται συνεχώς σε υγρό περιβάλλον. Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος ρυθμίζεται σύμφωνα με το χρόνο και τη συχνότητα έκθεσης των ριζών στο θρεπτικό διάλυμα (Soffer, 1988).

Η αεροπονία έχει δοκιμαστεί σε μικρά φυτά, όπως είναι το μαρούλι, σκόρδο, ραδίκι και πιο πρόσφατα σε φράουλες, για την αντιμετώπιση της απαίτησης απολύμανσης του εδάφους με χημικά μέσα που τώρα έχουν απαγορευτεί, όπως το βρωμιούχο μεθύλιο. Αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα υποσχόμενη για αυτού του είδους καλλιέργειες (Abou Hadid και El – Behairy, 1999). Το αρχικό κόστος εγκατάστασης και το κόστος παραγωγής όμως είναι υψηλό, γι' αυτό και περιορίζεται η χρήση σε

εργαστηριακές μελέτες και σε πειράματα φυσιολογίας φυτών (Brooke, 1991).

2.6 Τοποθέτηση του θέματος.

Από αυτά που προαναφέρθηκαν, γίνεται κατανοητό πως οι υδροπονικές καλλιέργειες αποτελούν το μέλλον της απαιτητικής και ανταγωνιστικής γεωργίας. Στο σύνολο της, είναι μια προηγμένη τεχνολογία παραγωγής ανταγωνιστικών προϊόντων ποιοτικά αλλά και ποσοτικά. Η υδροπονία είναι η λύση που υιοθετείται από πολλούς παραγωγούς για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της διαρκώς αυξανόμενης αγοράς, της μείωσης του κόστους παραγωγής και πρώτων υλών και μεγιστοποίησης της παραγωγής τους.

Τα προϊόντα υδροπονίας δεν διαφέρουν σε γεύση και άρωμα από αυτά που καλλιεργούνται με το συνηθισμένο τρόπο στο έδαφος, μάλιστα από τα αποτελέσματα της επιστημονικής έρευνας αποδεικνύεται ότι περιέχουν ανόργανα στοιχεία και βιταμίνες ακριβώς στην ίδια ποσότητα με τα υψηλής ποιότητας προϊόντα εδάφους, ενώ το μέγεθος της παραγωγής αυξάνει σημαντικά και η ποιότητα τους βελτιώνεται.

Η ανάπτυξη των φυτών υδροπονικά, προϋποθέτει τη δημιουργία ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος στη περιοχή της ρίζας τους. Ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, για τη δημιουργία ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος στη περιοχή της ρίζας τους, οι υδροπονικές καλλιέργειες ταξινομούνται σε διάφορα συστήματα και μεθόδους που ο κάθε παραγωγός καλείται να επιλέξει ανάλογα με τις ανάγκες του, το είδος της καλλιέργειας, την περιοχή στην οποία δραστηριοποιείται αλλά και το επίπεδο των γνώσεων και της εμπειρίας που διαθέτει.

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα της υδροπονίας, είναι αυτά που χρησιμοποιούν κάποιο πορώδες υπόστρωμα, οργανικό ή ανόργανο, το οποίο αποτελεί το υποκατάστατο του εδάφους για την ανάπτυξη των φυτών. Τα πιο ευρέως διαδεδομένα υποστρώματα λόγω της ευκολίας μεταχείρισης τους και των υψηλών αποδόσεων που παρουσιάζουν, είναι

ο πετροβάμβακας, ο περλίτης και η τύρφη, τα οποία είναι αρκετά ογκώδη, έχουν υψηλό κόστος, μικρή διάρκεια χρήσης και δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα κατά τη διάθεση τους στο περιβάλλον (πετροβάμβακας) και κατά τη συγκομιδή τους (τύρφη) από αυτό.

Στην παρούσα εργασία έγινε η πρώτη προσέγγιση βελτιστοποίησης ενός νέου συστήματος υδροπονικής καλλιέργειας, χωρίς τη χρήση πορώδους υποστρώματος. Το νέο σύστημα υδροπονίας που αναπτύχθηκε (Nutrient Drip Technique – NDT), στοχεύει στην αποφυγή των μειονεκτημάτων των υφιστάμενων συστημάτων και στην απλούστευση των ρυθμίσεων λειτουργίας του, ώστε να είναι πιο ελκυστικό στον καλλιεργητή. Αποσκοπεί στην επίτευξη μικρότερου κόστους εγκατάστασης, στη μεγιστοποίηση, των παραγόμενων με αυτό το σύστημα, προϊόντων και στη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Τέλος εξετάστηκε η ανωτερότητα του σε σχέση με το σύστημα καλλιέργειας με μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT) και αξιολογήθηκε ως προς τα συγκριτικά αποτελέσματα του.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Χώρος διεξαγωγής του πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από τις 22/1/2009 έως τις 30/5/2009 σε θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών, του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής. Το θερμοκήπιο ήταν τύπου διπλής γραμμής, αμφικλινές, με πολυκαρβονικό υλικό κάλυψης (PC), ύψους 2.5 m στο επίπεδο της υδρορροής. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν καλυμμένο με πλαστικό διπλής όψης (λευκού χρώματος στη πάνω πλευρά και μαύρου στη κάτω πλευρά) ώστε να αποτραπεί η ανάπτυξη ζιζανίων, να αποφευχθούν οι μολύνσεις από ασθένειες εδάφους και να βελτιωθεί ο φωτισμός των κατώτερων φύλλων μέσω της ανάκλασης του φωτός. Στο χώρο του θερμοκηπίου λειτουργούσαν δυο ηλεκτρικά αερόθερμα ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία του αέρα τη νύχτα στους 15 °C, ενώ τα ηλεκτρικά παράθυρα οροφής που άνοιγαν σε θερμοκρασία ίση με 23 °C, εξυπηρετούσαν τη λειτουργία του παθητικού αερισμού.

3.2 Γενετικό υλικό

Χρησιμοποιήθηκαν νεαρά σπορόφυτα τομάτας (*Lycopersicon esculentum*, της οικ. Solanaceae), υβριδίου F1, με την εμπορική ονομασία Rally, του αγροτικού οίκου ΣΠΥΡΟΥ.

3.3 Ανάπτυξη φυτών

Τα σπορόφυτα της τομάτας, αρχικά βρίσκονταν σε πλαστικά ποτηράκια μιας χρήσεως σε υπόστρωμα μείγματος τύρφης – περλίτη. Τα φυτά μέχρι να αποκτήσουν το επιθυμητό μέγεθος (6 – 8 πραγματικά φύλλα), ποτίζονταν με θρεπτικό διάλυμα χωρίς αμμωνιακά (NH_4^+), ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\text{EC} = 1 \text{ dS m}^{-1}$). Κατά τη μεταφύτευση, τα

φυτά ήταν ομοιόμορφης ανάπτυξης, με ανεπτυγμένα 6 – 8 πραγματικά φύλλα και ανεπτυγμένο τον πρώτο ανθοφόρο οφθαλμό. Η μεταφύτευση πραγματοποιήθηκε στις 22/1/2009 σε δυο διαφορετικά συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας:

- 1) Σε ένα κανάλι NFT (Nutrient Film Technique), μήκους 7 m και πλάτους 0.3 m, σταθερής παροχής θρεπτικού διαλύματος, όπου τοποθετήθηκαν 24 φυτά τομάτας.
- 2) Σε ένα κανάλι NDT (Nutrient Drip Technique), μήκους 10 m και πλάτους 0.41 m, ίσης παροχής θρεπτικού διαλύματος σε σχέση με το NFT, όπου τοποθετήθηκαν 30 φυτά τομάτας.
- 3) Σε ένα κανάλι NDT (Nutrient Drip Technique), μήκους 10 m και πλάτους 0.41 m, διπλάσιας παροχής θρεπτικού διαλύματος σε σχέση με το NFT, όπου τοποθετήθηκαν 30 φυτά τομάτας.

Η πυκνότητα των φυτών ήταν 2,5 φυτά ανά τετραγωνικό μέτρο και κλαδεύονταν με τέτοιο τρόπο ώστε να αναπτυχθεί ένας μόνο βλαστός, ο οποίος υποστρώθηκε όπως περιγράφεται από τον Ολύμπιο (2004).

3.4 Θρεπτικό διάλυμα

Το θρεπτικό διάλυμα που τροφοδοτούσε τα φυτά παρασκευάστηκε με την προσθήκη στο νερό του δικτύου, των κατάλληλων ποσοτήτων χημικών λιπασμάτων. Η χημική σύσταση του νερού ήταν η ακόλουθη: Ca^{2+} 1.0 mmol l^{-1} , Mg^{2+} 0.2 mmol l^{-1} , K^{+} 0.0 mmol l^{-1} , Na^{+} 0.0 mmol l^{-1} , Cl^{-} 0.0 mmol l^{-1} , HCO_3^{-} 2.4 mmol l^{-1} , SO_4^{2-} 0.0 mmol l^{-1} και Zn 0.0 $\mu\text{mol l}^{-1}$.

Η προσθήκη των λιπασμάτων στο νερό του δικτύου έγινε έτσι ώστε η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος να έχει ως εξής: NO_3^{-} 15.44 mmol l^{-1} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ 1.5 mmol l^{-1} , SO_4^{2-} 4.03 mmol l^{-1} , NH_4^{+} 0.74 mmol l^{-1} , K^{+} 10.29 mmol l^{-1} , Ca^{2+} 5.51 mmol l^{-1} , Mg^{2+} 1.47 mmol l^{-1} , και για τα ιχνοστοιχεία : Fe 20 $\mu\text{mol l}^{-1}$, Mn 10 $\mu\text{mol l}^{-1}$, Zn 4 $\mu\text{mol l}^{-1}$, B 5 $\mu\text{mol l}^{-1}$, Cu 0.5 $\mu\text{mol l}^{-1}$, Mo

0.5 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Το θρεπτικό διάλυμα είχε αγωγιμότητα EC 2.5 dS m^{-1} και pH 5.5 - 6.0.

Εφαρμόστηκε το κλειστό σύστημα κυκλοφορίας θρεπτικού διαλύματος, το οποίο κυκλοφορούσε με το σύστημα της άρδευσης στα φυτά, το διάλυμα της αποστράγγισης επέστρεφε στη δεξαμενή ανάμιξης, διορθωνόταν ως προς το pH και EC (ηλεκτρική αγωγιμότητα) τουλάχιστον μια φορά την ημέρα και επανακυκλοφορούσε στις ρίζες των φυτών. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε δείγματα από τις δεξαμενές, τα οποία τοποθετούνταν σε πλαστικά δοχεία και με τη χρήση φορητού οργάνου, το οποίο επέτρεπε την παράλληλη μέτρηση των δυο τιμών (PC 10, Cyberscan), γίνονταν οι απαραίτητες διορθώσεις και καταγραφές. Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που οδηγείτο στη ρίζα των φυτών προέκυπτε από την αραίωση, με το νερό της άρδευσης, πυκνότερων διαλυμάτων που ήταν παρασκευασμένα ώστε να περιέχουν την απαιτούμενη αναλογία ανόργανων θρεπτικών στοιχείων. Τα πυκνά αυτά διαλύματα (μητρικά), ήταν 100 φορές πυκνότερα από το διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών και παρασκευάζονταν έτσι ώστε η αναλογία των θρεπτικών στοιχείων να είναι ίδια με αυτή του διαλύματος θρέψης των φυτών. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των μητρικών διαλυμάτων ήταν πλήρως διαλυτά, ώστε να μην αφήνουν ιζήματα, να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα αλλαγής της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος και τέλος το φράξιμο των σταλακτών. Έγινε προσπάθεια για μεγιστοποίηση της ακρίβειας των απαραίτητων ποσοτήτων λιπασμάτων και εφαρμογής της επιθυμητής σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια και διόρθωση ως προς τη σωστή αναλογία των ιόντων του. Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων από τα πυκνά διαλύματα πραγματοποιήθηκε χειρωνακτικά κατευθείαν στη δεξαμενή, χρησιμοποιώντας ογκομετρικό δοχείο.

Μετά από καθημερινή μέτρηση του pH και της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος, η δεξαμενή γέμιζε αυτόματα με νερό και η στάθμη της παρέμενε σταθερή με διακόπτη στάθμης (φλοτέρ). Όταν το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ήταν εκτός της επιθυμητής περιοχής τιμών τότε γινόταν επέμβαση και πάλι με πρόσθεση γνωστών ποσοτήτων οξέος και πυκνού διαλύματος. Το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του διαλύματος τροφοδοσίας ελεγχόταν κάθε μέρα την ίδια ώρα (12:00), παίρνοντας δείγματα από τις δεξαμενές, ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του διαλύματος.

Επομένως η σύνθεση στη δεξαμενή του θρεπτικού διαλύματος που οδηγείτο τελικά στις ρίζες των φυτών προέκυπτε από κατάλληλες ποσότητες των πυκνών διαλυμάτων, που περιείχαν την απαιτούμενη αναλογία των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων από τα δοχεία (A, B, O), μαζί με καθαρό νερό. Για να διατηρηθεί η επιθυμητή συγκέντρωση ιόντων στην περιοχή της ρίζας και να αποφευχθεί η συσσώρευση κάποιου στοιχείου καταστρέφοντας με αυτόν τον τρόπο την ισορροπία των λιπαντικών στοιχείων στο διάλυμα, γινόταν απόρριψη όλου του διαλύματος κάθε δύο εβδομάδες και αντικατάσταση του με νέο (λαμβάνοντας ταυτόχρονα δείγματα για τις αναλύσεις). Τις πρώτες εβδομάδες μετά την εγκατάσταση των πειραματικών επεμβάσεων η EC αυξανόταν σταδιακά, σύμφωνα με την ανάπτυξη των φυτών από το 1.5 dS m^{-1} και pH 5.5-6.0, στο 2.5 dS m^{-1} και pH 5.5-6.0 όπου και σταθεροποιήθηκε μέχρι το τέλος του πειράματος.

3.5 Σύστημα υδροπονίας Nutrient Drip Technique (NDT)

Το νέο σύστημα υδροπονίας αποτελείτο από ειδικά διαμορφωμένα κανάλια τροποποιημένου W. Στην επιφάνεια των καναλιών τοποθετήθηκε πλαστικό διπλής όψεως μαύρου χρώματος από την εσωτερική πλευρά και λευκού από την εξωτερική ώστε να αυξάνεται η ανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και να μειώνεται η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Από έρευνες που είχαν προηγηθεί στο εργαστήριο σε παλαιότερα πειράματα αλλά και από τη διεθνή βιβλιογραφία το NFT μειονεκτεί στον αερισμό των ριζών, αλλά και στην αδυναμία των ερευνητών και παραγωγών να ρυθμίζουν την παροχή στα κατάλληλα επίπεδα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να παρατηρείται ομοιόμορφη κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος. Για το λόγο αυτό, στο σύστημα NDT τοποθετήθηκαν πλευρικοί πλαστικοί σωλήνες PVC, καλυμμένοι με λινάτσα πάνω στην οποία αναπτυσσόταν το ριζικό σύστημα των φυτών, ώστε να διευκολύνεται η απορροή του θρεπτικού διαλύματος και να μην εμφανίζονται συμπτώματα νέκρωσης των ριζών από την έλλειψη αερισμού.

Η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος γινόταν με σωλήνα κατά μήκος του καναλιού, ο οποίος έφερε σταλάκτες σταθερής παροχής. Δοκιμάστηκαν δυο επίπεδα παροχής θρεπτικού διαλύματος:

- 1) Η παροχή στη μια περίπτωση ήταν ίση με αυτή του NFT, σε κάθε φυτό αντιστοιχούσε ένας σταλάκτης με ρυθμισμένη παροχή 9 lt/h θρεπτικού διαλύματος.
- 2) Ενώ στη δεύτερη περίπτωση ήταν διπλάσια του NFT, σε κάθε φυτό αντιστοιχούσαν δυο σταλάκτες, με συνολική παροχή 17 lt/h θρεπτικού διαλύματος.

Το σύστημα ήταν εφοδιασμένο με υπέργεια αντλία ικανή να διατηρεί σταθερή τη ροή του θρεπτικού διαλύματος, στις καθορισμένες

παροχές, όλο το εικοσιτετράωρο. Η αντλία μέσω πλαστικών σωληνώσεων οδηγούσε το θρεπτικό διάλυμα στους σταλάκτες των σωλήνων των καναλιών, έρεε ομοιόμορφα σε όλο το μήκος του καναλιού και κατέληγε στο κάτω μέρος όπου και φιλτραριζόταν στην απορροή από ένα συρμάτινο δίχτυ. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ανά τακτά χρονικά διαστήματα γίνονταν έλεγχοι στους σταλάκτες για να διαπιστωθεί η σωστή λειτουργία τους και να απομακρυνθούν τα άλατα ή άλλα σωματίδια που τυχόν βρίσκονταν στο θρεπτικό διάλυμα. Το νερό που χανόταν λόγω εξατμισοδιαπνοής, αναπληρωνόταν αυτόματα με νερό δικτύου με την βοήθεια ενός πλωτήρα. Με αυτό τον τρόπο ήταν εύκολος ο υπολογισμός του νερού που κατανάλωναν τα φυτά σε καθημερινή βάση σε σχέση με την παραγόμενη βιομάζα.

3.6 Μετρήσεις ανάπτυξης

Με τη μέθοδο της τυχαιοποίησης επιλέχθηκαν 11 φυτά ανά επέμβαση, στα οποία προσδιορίστηκε το ύψος των φυτών, ο αριθμός των κόμβων, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, ο αριθμός των φύλλων, το μέσο μήκος και πλάτος των φύλλων, ο αριθμός των ταξιανθιών και των ταξικαρπιών σε έντεκα (11) διαφορετικές ημερομηνίες από την εγκατάσταση των επεμβάσεων. Μέσω προγράμματος Η/Υ προσδιορίστηκε το εμβαδόν φύλλων γνωστών διαστάσεων (μήκος, πλάτος) και έτσι υπολογίστηκε η εξίσωση που δίνει το εμβαδόν του φύλλου συναρτήσει των διαστάσεων του. Γνωρίζοντας την εξίσωση, το μέσο μήκος και πλάτος, και τον αριθμό των φύλλων ήταν δυνατή η εκτίμηση της φυλλικής επιφάνειας κάθε φυτού.

3.7 Μετρήσεις παραγωγής

Σε κάθε επέμβαση γινόταν καταγραφή του αριθμού των καρπών ανά φυτό, καθώς και του νωπού βάρους τους με χρήση ηλεκτρονικής ζυγαριάς της εταιρείας SCALTEC, μοντέλο SBA32($\pm 0,1\text{gr}$). Σε κάθε περίοδο

συλλογής και με τυχαία επιλογή 3 – 4 φρεσκοσυγκομισμένοι καρποί από κάθε επέμβαση τοποθετούνταν για ξήρανση στον κλίβανο του εργαστηρίου στους 78 °C, συνήθως για 2 μέρες ώστε να απομακρυνθεί η περιεχόμενη υγρασία. Γνωρίζοντας το νωπό και ξηρό βάρος των καρπών, προσδιορίστηκε το ποσοστό σε ξηρή ουσία του κάθε καρπού.

3.8 Μετρήσεις διαλυμένου οξυγόνου

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, καταγράφονταν για διάφορες ημερομηνίες οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στο θρεπτικό διάλυμα, στη περιοχή των ριζών. Οι δειγματοληψίες αφορούσαν κάθε επέμβαση ξεχωριστά και τα δείγματα προέρχονταν από 4 διαφορετικές θέσεις κατά μήκος των καναλιών (στο ριζικό σύστημα) στην αρχή, στη μέση, στο τέλος των καναλιών και στην απορροή τους, πριν την απόρριψη στη δεξαμενή.

3.9 Χημική ανάλυση

Για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των φύλλων των φυτών, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 8 - 10 φύλλων μεταξύ του τρίτου και τέταρτου κόμβου από την κορυφή των φυτών από κάθε επέμβαση, από φυτά που δεν ανήκαν στο δείγμα που παίρνονταν οι άλλες μετρήσεις, για τέσσερις διαφορετικές ημερομηνίες (47, 55, 89, και 96 ημέρες μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας).

Κάθε δείγμα ζυγίστηκε χωριστά ώστε να ληφθεί το νωπό βάρος και στη συνέχεια τοποθετήθηκε στον κλίβανο στους 78 °C για τουλάχιστον 48 ώρες, για την απομάκρυνση της υγρασίας τους. Ακολούθησε ζύγιση για να ληφθεί το ξηρό βάρος των φύλλων. Έπειτα, τα φύλλα υπέστησαν άλεση σε μύλο, ώστε να κονιοποιηθούν. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κατιόντων (K^+ , Ca^{2+}) 0.5 gr κονιοποιημένου φύλλου τοποθετήθηκε στον κλίβανο στους 500 °C για ξηρή καύση. Η τέφρα εκχυλίστηκε με 20 ml

διαλύματος οξέος (HCl 1N) και στη συνέχεια ακολούθησε διήθηση του εκχυλίσματος με διηθητικό χαρτί (Whatman No 1) σε πλαστικά μπουκαλάκια των 50 ml, τα οποία διατηρούνταν στο ψυγείο.

Για τον προσδιορισμό αυτών των κατιόντων απαιτήθηκε αραιώση κατά 100 φορές. Οι αραιώσεις πραγματοποιήθηκαν σε γυάλινες ογκομετρικές φιάλες των 100 ml. Οι προσδιορισμοί όλων των κατιόντων πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης (VARIAN, SpectAA-200).

Για τον προσδιορισμό του ολικού (οργανικού) αζώτου (N), 0.5 gr δείγματος τριμμένου φύλλου τοποθετήθηκε σε φιάλη Kjeldahl μαζί με 20 ml πυκνού H₂SO₄ και μία ταμπλέτα καταλύτη (MERCK). Οι φιάλες αρχικά τοποθετήθηκαν στη συσκευή καύσης της Kjeldahl για μία ώρα, ενώ αφήνονταν να ψυχθούν για μισή ώρα περίπου. Ακολούθως, κάθε φιάλη χωριστά τοποθετούνταν στη συσκευή απόσταξης της Kjeldahl. Πριν την έναρξη της απόσταξης το H₂SO₄ που περιείχαν οι φιάλες της Kjeldahl εξουδετερωνόταν με διάλυμα NaOH 30%. Η απόσταξη διαρκούσε έξι (6) λεπτά. Το απόσταγμα της αμμωνίας συλλεγόταν σε κωνική φιάλη η οποία περιείχε 25 ml διαλύματος βορικού οξέος 2 %. Στο ληφθέν απόσταγμα προσθέτονταν 12 σταγόνες δείκτη, και στη συνέχεια ακολουθούσε τιτλοδότηση με διάλυμα HCl κανονικότητας 0.1N. Η τιτλοδότηση σταματούσε με την αλλαγή του χρώματος του διαλύματος και γινόταν μέτρηση της καταναλωθείσας ποσότητας του HCl.

Ο δείκτης παρασκευαζόταν ως εξής : 0.35 gr bromokresol green τοποθετούνται σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml μαζί με 10 ml αιθυλικής αλκοόλης. Ακολούθως γινόταν προσθήκη 10 ml NaOH 0.1N, περίπου 150 ml H₂O και 0.22 g ponceau 2R. Τέλος, διαλύουμε 0.75 g 4-nitrophenol σε 5 ml αιθυλικής αλκοόλης τα οποία προστίθονταν στη φιάλη. Όταν το διάλυμα είχε πλήρως ομογενοποιηθεί, συμπληρώνουμε μέχρι τη χαραγή και φυλασσόταν σε σκοτεινή φιάλη.

Η περιεκτικότητα του ολικού αζώτου (N) υπολογιζόταν με βάση τη σχέση:

$$\frac{\text{mmol N}}{\text{gr D.M.}} = \frac{\text{ml HCl} * 0.1 \text{ N}}{0.5 \text{ g}}$$

3.10 Στατιστική ανάλυση

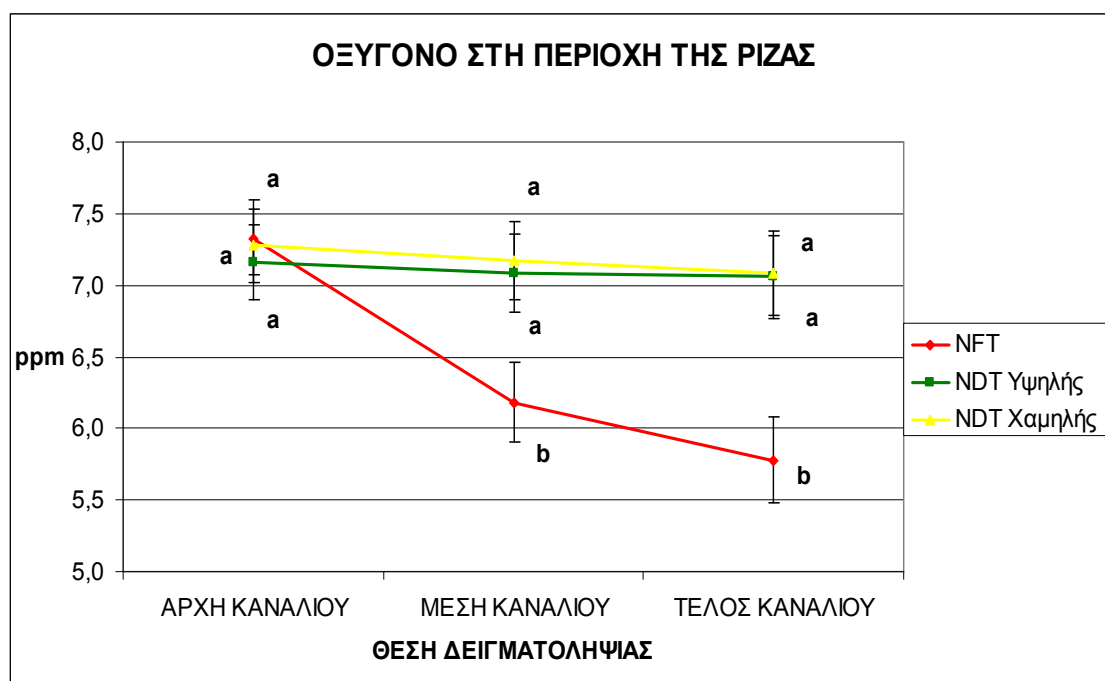
Στο σύνολο των μετρήσεων του πειράματος έγινε στατιστική επεξεργασία με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου Statistica (version 8.0), ενώ για τη δημιουργία των γραφικών παραστάσεων χρησιμοποιήθηκε και το πρόγραμμα Microsoft Office Excel 2003. Στα γραφήματα που ακολουθούν το κάθε σημείο αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των μετρήσεων για την εκάστοτε ημερομηνία. Οι ημερομηνίες ορίζονται με βάση την εγκατάσταση των φυτών στα κανάλια καλλιέργειας. Ως πρώτη ημερομηνία στα γραφήματα ορίζεται εκείνη κατά την οποία η παροχή του θρεπτικού διαλύματος στο νέο σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας NDT, έγινε ίση με αυτή του NFT για την δεύτερη επέμβαση (9 l H₂O/ φυτό) και σχεδόν διπλάσια από αυτή του NFT για την τρίτη επέμβαση (17 l H₂O/ φυτό). Η κάθετη μπάρα αναπαριστά το τυπικό σφάλμα, που υπολογίστηκε για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, ενώ τα μικρά γράμματα a, b, c αναπαριστούν τη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των σημείων σε κάθε περίπτωση.

Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, προσδιορίστηκαν με εφαρμογή του τεστ Duncan (Statistica 8) για διάστημα εμπιστοσύνης 95% ($\alpha = 0.05$).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Συγκέντρωση οξυγόνου στη περιοχή της ρίζας

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του οξυγόνου για τις τρεις επεμβάσεις σε συνάρτηση με τη θέση της δειγματοληψίας.



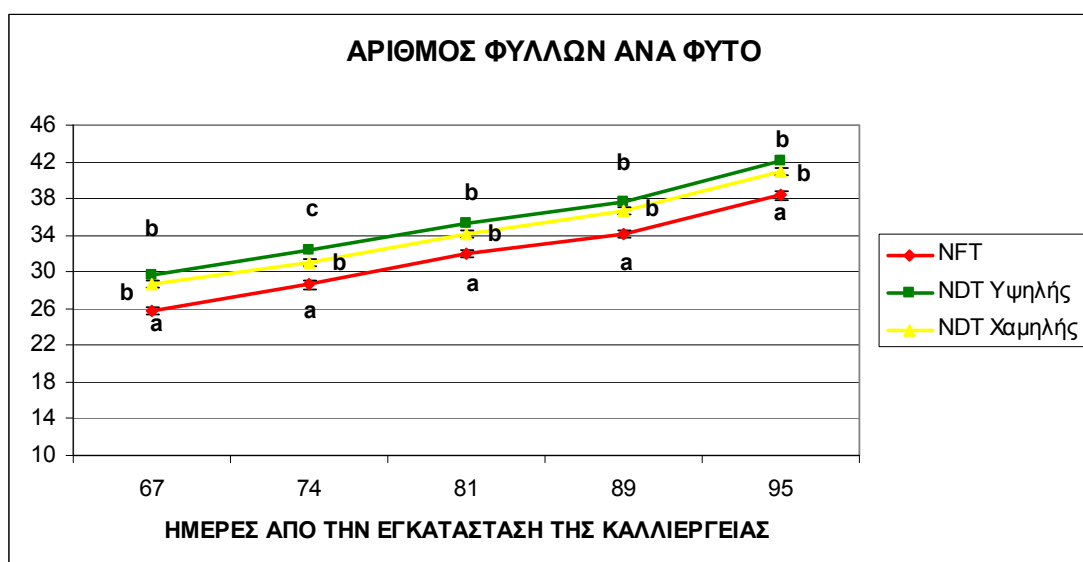
Διάγραμμα 1. Συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στη περιοχή της ρίζας συναρτήσει της θέσης δειγματοληψίας για τις τρεις επεμβάσεις.

Όπως διαπιστώνεται στο διάγραμμα 1 η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην αρχή των καναλιών δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στην επέμβαση του συστήματος NFT η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κατά μήκος του καναλιού μειώθηκε σημαντικά (κατά 21%). Αντίθετα, στο νέο σύστημα NDT η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου παρέμεινε σταθερή σε όλο το μήκος του καναλιού, ανεξάρτητα από το επίπεδο της παροχής του θρεπτικού διαλύματος. Στις δειγματοληψίες των δυο επεμβάσεων του

νέου συστήματος NDT δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Η διαφορά στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο μέσο των καναλιών ανάμεσα στην επέμβαση του NFT και το νέο σύστημα NDT ήταν της τάξης του 13.8% ενώ στο τέλος των καναλιών η διαφορά έφτασε το 18.5%.

4.2 Αριθμός φύλλων

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό των τριών επεμβάσεων σε συνάρτηση με τις ημέρες από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

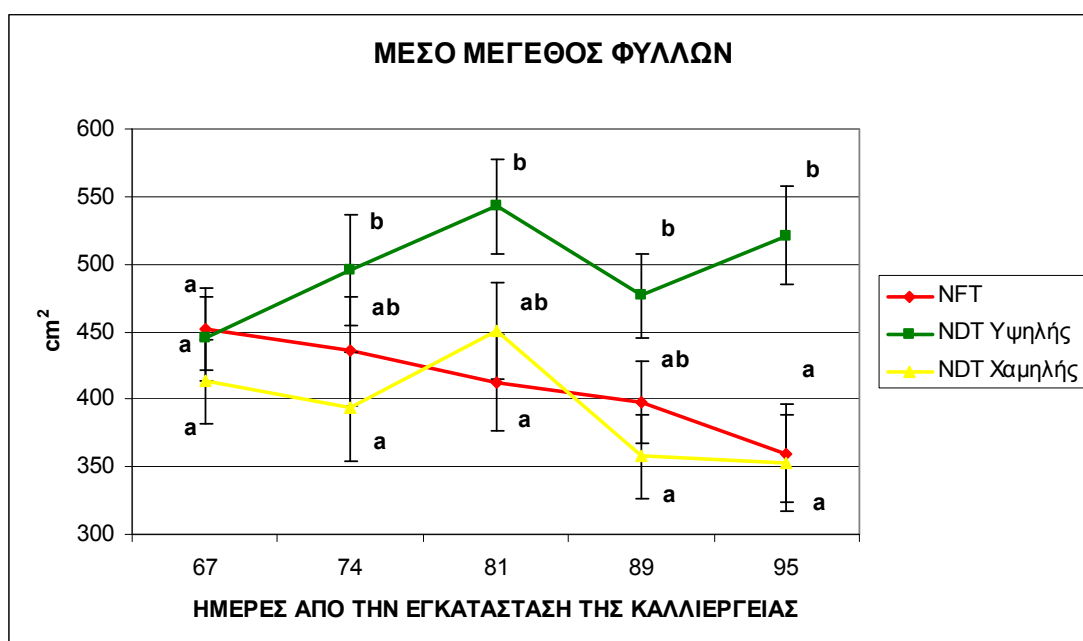


Διάγραμμα 2. Αθροιστικός αριθμός φύλλων των φυτών συναρτήσει των ημερών από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές της επέμβασης του NFT με την επέμβαση του NDT Υψηλής παροχής και με την επέμβαση του NDT Χαμηλής παροχής σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές

4.3 Μέσο μέγεθος φύλλων

Στο διάγραμμα 3 παρουσιάζεται το μέσο μέγεθος των φύλλων ανά φυτό των τριών επεμβάσεων σε συνάρτηση με τις ημέρες από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.



Διάγραμμα 3. Μέσο μέγεθος των φύλλων (cm²) των φυτών συναρτήσει των ημερών από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

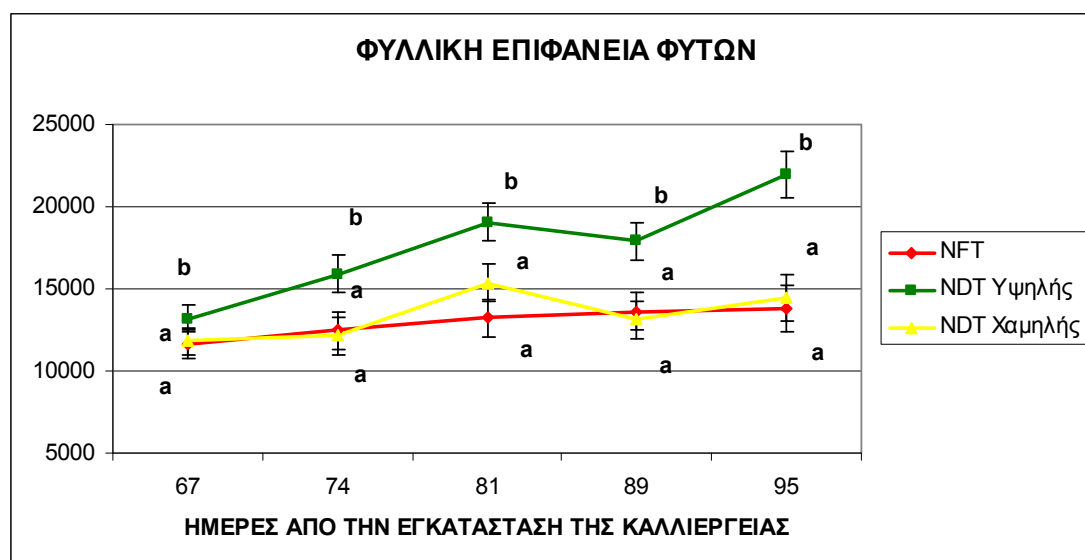
Στο σύνολο παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά στο μέσο μέγεθος των φύλλων της επέμβασης του NDT Υψηλής παροχής σε σχέση με την επέμβαση του NFT, ενώ η επέμβαση του NFT σε σχέση με την επέμβαση του NDT Χαμηλής παροχής δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές.

4.4 Φυλλική επιφάνεια

Η εξίσωση υπολογισμού της επιφάνειας του φύλλου (y) συναρτήσει του γινομένου του μήκους και του πλάτους (x), ήταν κοινή για τις τρεις επεμβάσεις και είναι της μορφής

$$y = 0.3289 * x - 40.273 \text{ με } R^2 = 0.9544$$

Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό των τριών επεμβάσεων σε συνάρτηση με τις ημέρες από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.



Διάγραμμα 4. Μέση φυλλική επιφάνεια (cm²) ανά φυτό συναρτήσει των ημερών από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε, δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της επέμβασης του NFT σε σχέση με την επέμβαση του NDT Χαμηλής παροχής ενώ παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της επέμβασης του NFT με την επέμβαση του NDT Υψηλής παροχής. Οι δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

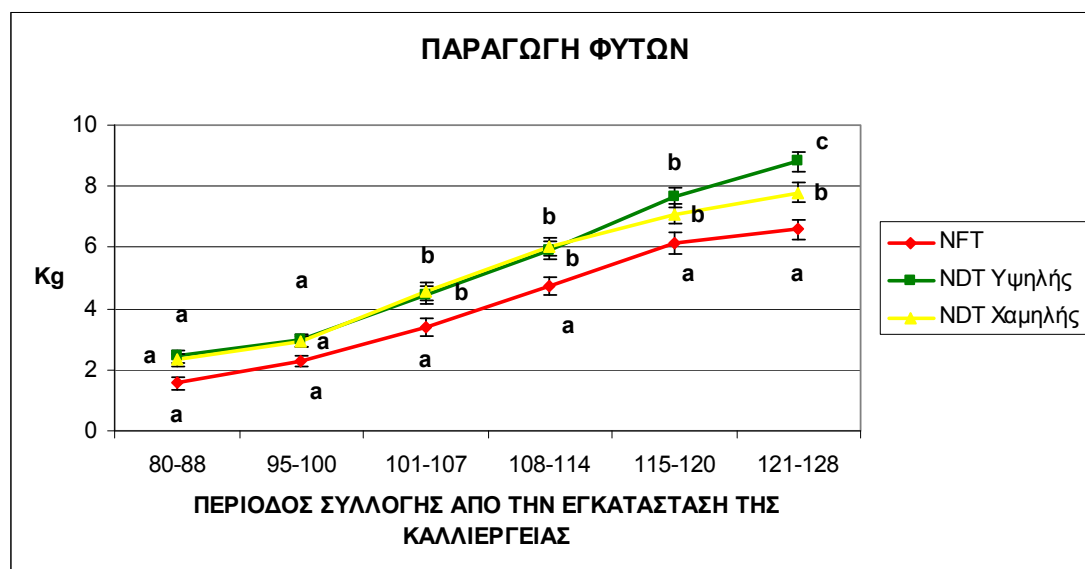
Πίνακας 5. Τελική φυλλική επιφάνεια και μέσο τελικό μέγεθος φύλλων.

Επεμβάσεις	Τελικός αριθμός φύλλων ανά φυτό	Μέσο μέγεθος φύλλων ανά φυτό (cm ²)
NFT	38.3a	359a
NDT Υψηλής	42.2b	521b
NDT Χαμηλής	40.9b	353a

4.5 Αριθμός και βάρος παραγόμενων καρπών

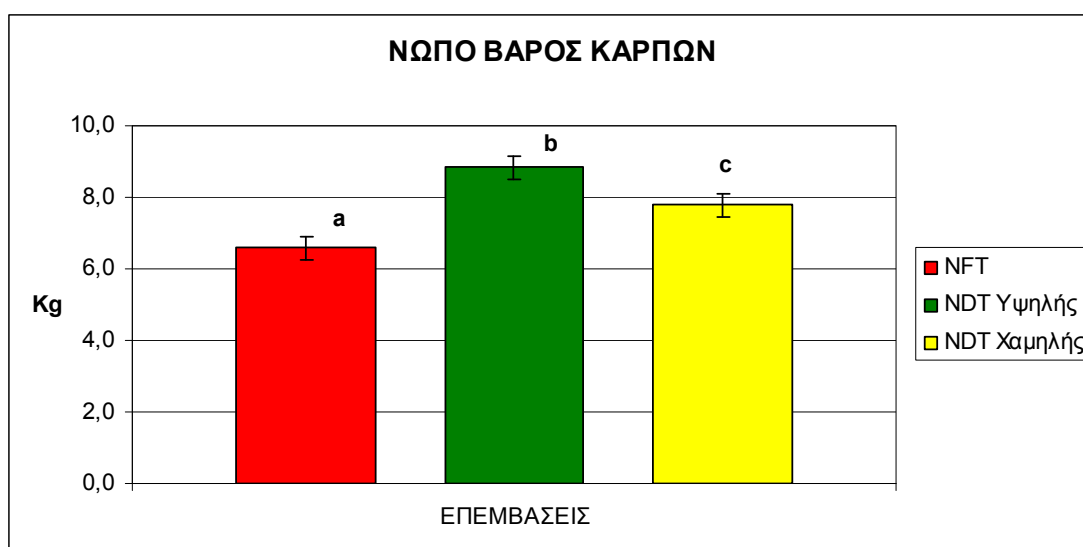
4.5.1 Παραγωγή καρπών

Στο διάγραμμα 5 παρουσιάζεται η παραγωγή των φυτών σε νωπό βάρος καρπών.



Διάγραμμα 5. Πορεία αθροιστικής παραγωγής καρπών σε νωπό βάρος ανά φυτό συναρτήσει των ημερών από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

Στο διάγραμμα 5 παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της επέμβασης του NFT και των επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT σε όλες τις περιόδους συλλογής εκτός από τις δυο πρώτες. Η επέμβαση του NFT παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά τόσο με την επέμβαση του NDT Υψηλής παροχής όσο και με την επέμβαση του NDT Χαμηλής παροχής. Οι δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με εξαίρεση την τελευταία περίοδο συλλογής όπου και οι τρεις επεμβάσεις διαφέρουν μεταξύ τους.



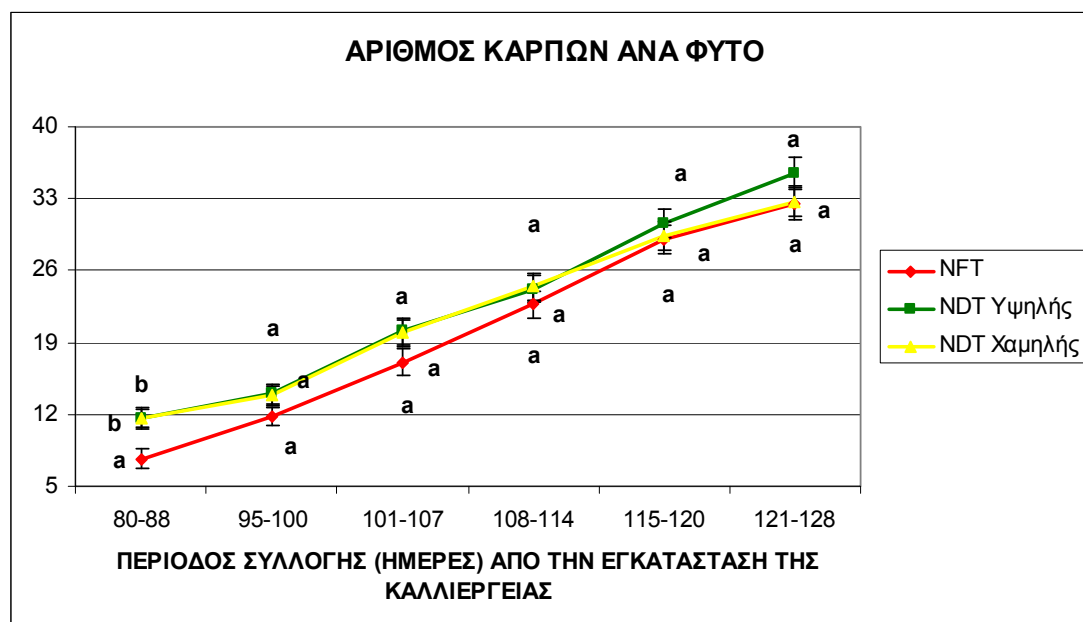
Ραβδόγραμμα 1. Τελική παραγωγή καρπών σε νωπό βάρος ανά φυτό στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

Στο ραβδόγραμμα 1 παρουσιάζεται η συνολική μέση παραγωγή ανά φυτό στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (σε μια περίοδο συλλογής 48 ημερών), όπου τα φυτά της επέμβασης του NDT Υψηλής παροχής απέφεραν μια συνολική μέση παραγωγή ανά φυτό ίση με 8.8 kg, η επέμβαση του NDT Χαμηλής παροχής 7.8 kg ενώ η αντίστοιχη για την επέμβαση του NFT ήταν 6.6 kg, ενώ όλες οι διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές.

Συνεπώς η απόδοση των φυτών σε νωπό βάρος καρπών αυξήθηκε σημαντικά στο νέο σύστημα, τόσο στην επέμβαση του NDT Χαμηλής παροχής (κατά 18%) όσο και στην επέμβαση του NDT Υψηλής (κατά 33%) παροχής θρεπτικού διαλύματος συγκριτικά με την απόδοση των φυτών στην επέμβαση του NFT. Αυτή η διαφορά διατηρήθηκε και μάλιστα στη λήξη του πειράματος βρέθηκε διαφορά στη παραγωγή και μεταξύ των επεμβάσεων του νέου συστήματος, όπου η υψηλή παροχή θρεπτικού διαλύματος έδωσε κατά 12,8% υψηλότερη παραγωγή σε σχέση με τη χαμηλή παροχή.

4.5.2 Αριθμός παραγόμενων καρπών

Στο διάγραμμα 6 παρουσιάζεται ο αριθμός των παραγόμενων καρπών (αθροιστικά) ανά φυτό.



Διάγραμμα 6. Αριθμός παραγόμενων καρπών (αθροιστικά) ανά φυτό συναρτήσει των ημερών από την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

Στο παραπάνω διάγραμμα 6 και σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ των επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT όσο και σε σχέση με την επέμβαση του NFT. Στο τέλος της συλλογής ο μέσος συνολικός αριθμός παραγόμενων καρπών για την επέμβαση του NDT Υψηλής παροχής ήταν 35.54, για την επέμβαση του NDT Χαμηλής παροχής 32.72, ενώ τέλος για την επέμβαση του NFT ήταν 32.45 καρποί.

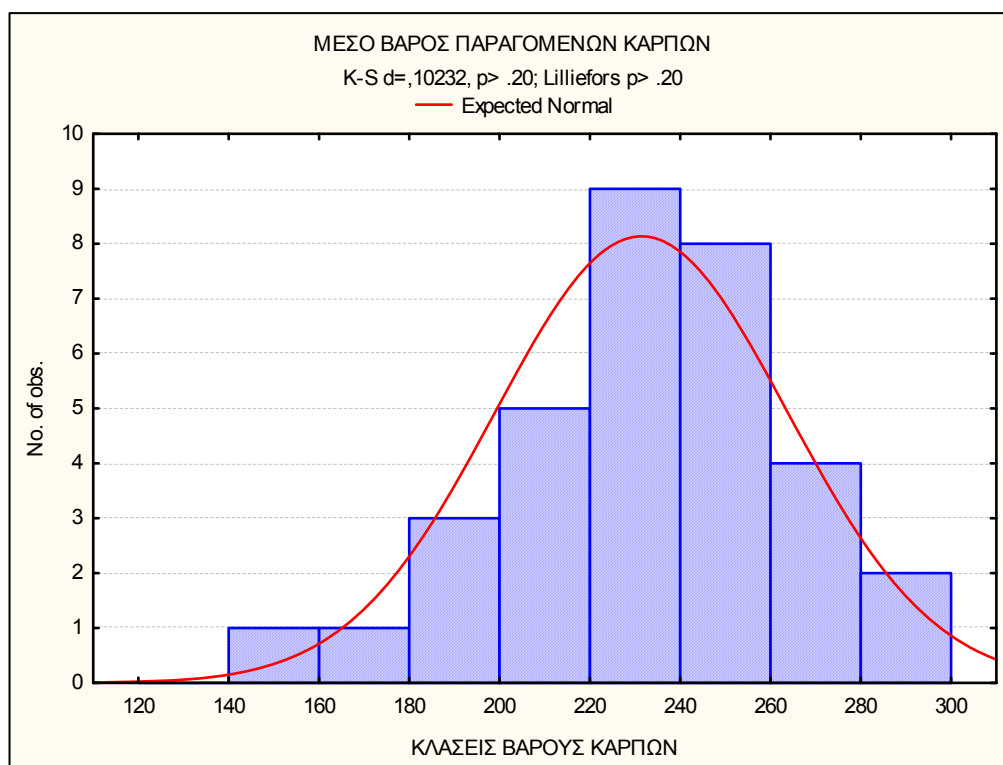
Από τα παραπάνω διαγράμματα, η αυξημένη απόδοση των φυτών όπως προέκυψε από τη στατιστική επεξεργασία προήλθε λόγω του αυξημένου μεγέθους καρπών και όχι από τον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά φυτό, που δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 6. Παραγωγή, αριθμός και μέσο βάρος νωπών καρπών τομάτας.

Επεμβάσεις	Συνολική παραγωγή καρπών (kg/φυτό)	Αριθμός καρπών ανά φυτό	Μέσο βάρος καρπών ανά φυτό (g/φυτό)
NFT	6,7a	32,5a	206,3a
NDT Υψηλής	8,9b	35,5a	249,7b
NDT Χαμηλής	7,8c	32,7a	238,2ab

4.5.3 Κατανομή των παραγόμενων καρπών σε νωπό βάρος

Στο διάγραμμα 7 παρουσιάζεται η κατανομή των παραγόμενων καρπών σε νωπό βάρος ανά φυτό.



Διάγραμμα 7. Κατανομή των παραγόμενων καρπών σε νωπό βάρος.

Στο διάγραμμα 7 παρατηρείται κανονική κατανομή του νωπού βάρους των παραγόμενων καρπών για επέμβαση του NFT και για τις επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT.

Πίνακας 7. Κλάσεις των παραγόμενων καρπών σε νωπό βάρος

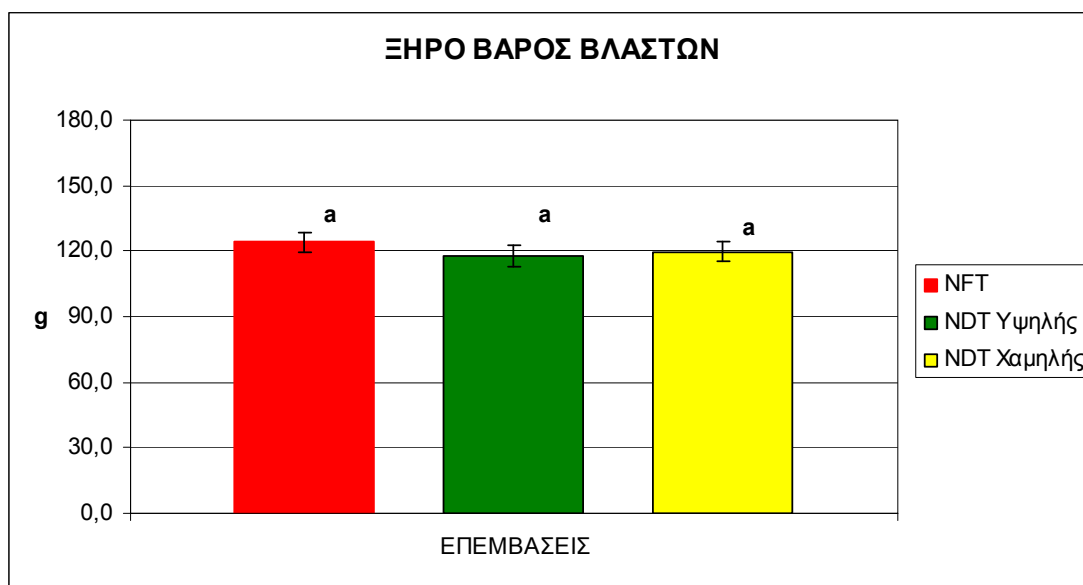
Frequency table: ΜΕΣΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΚΑΡΠΩΝ K-S d =,1						
Category	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
120,0000<x<=140,0000	0	0	0,00000	0,0000	0,00000	0,0000
140,0000<x<=160,0000	1	1	3,03030	3,0303	3,03030	3,0303
160,0000<x<=180,0000	1	2	3,03030	6,0606	3,03030	6,0606
180,0000<x<=200,0000	3	5	9,09091	15,1515	9,09091	15,1515
200,0000<x<=220,0000	5	10	15,15152	30,3030	15,15152	30,3030
220,0000<x<=240,0000	9	19	27,27273	57,5758	27,27273	57,5758
240,0000<x<=260,0000	8	27	24,24242	81,8182	24,24242	81,8182
260,0000<x<=280,0000	4	31	12,12121	93,9394	12,12121	93,9394
280,0000<x<=300,0000	2	33	6,06061	100,0000	6,06061	100,0000

Στο πίνακα 7 παρουσιάζονται οι κλάσεις των παραγόμενων καρπών σε νωπό βάρος, από τον οποίο προέκυψε ότι σχεδόν το σύνολο των παραγόμενων καρπών (88%) των τριών επεμβάσεων του πειράματος ήταν πλήρως εμπορεύσιμη, γεγονός που ενισχύει την αξιοποίηση του συστήματος NDT σε εμπορική κλίμακα. Τα ποσοστά των πολύ μικρών και μικρών καρπών ήταν 3% και 3% αντίστοιχα, ενώ το ποσοστό των πολύ μεγάλων καρπών δεν ξεπέρασε το 6%.

4.6 Ξηρό βάρος φυτών

4.6.1 Ξηρό βάρος βλαστών

Στο ραβδόγραμμα 2 παρουσιάζεται το μέσο ξηρό βάρος των βλαστών των φυτών στο τέλος του πειράματος.

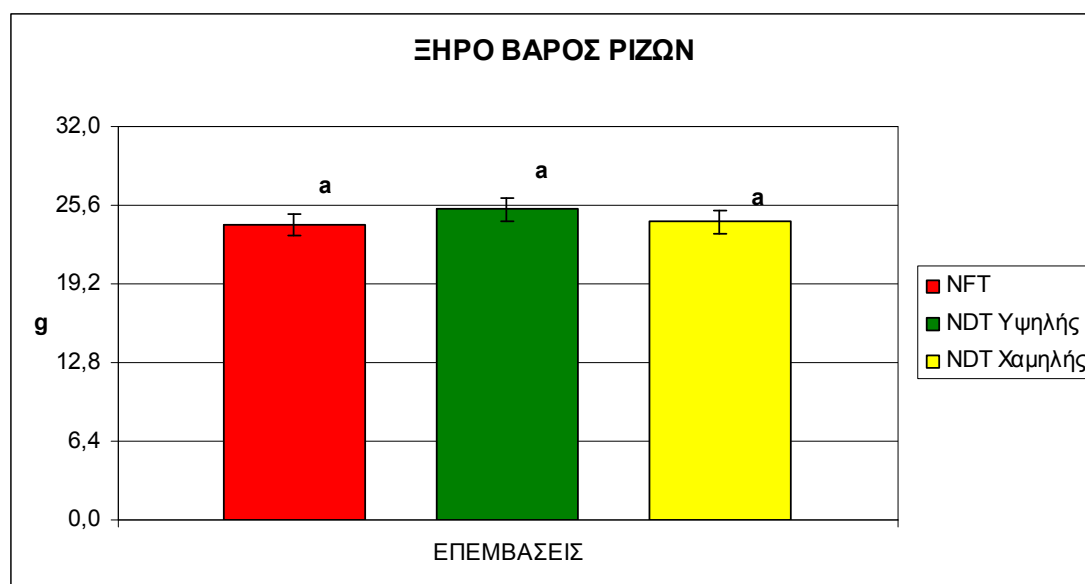


Ραβδόγραμμα 2. Μέσο ξηρό βάρος βλαστών στο τέλος του πειράματος συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

Στο ραβδόγραμμα 2 δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ της επέμβασης του NFT με τις επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT, όσο και μεταξύ των δυο επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT.

4.6.2 Ξηρό βάρος ριζών

Στο ραβδόγραμμα 3 παρουσιάζεται το μέσο ξηρό βάρος των ριζών των φυτών στο τέλος του πειράματος.

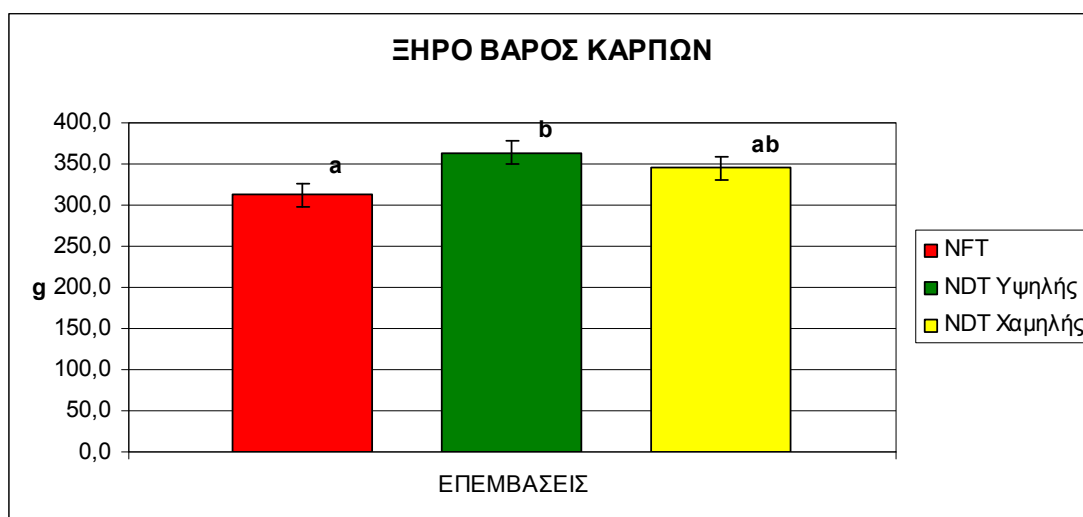


Ραβδόγραμμα 3. Μέσο ξηρό βάρος του συνόλου των ριζών στο τέλος του πειράματος συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

Στο ραβδόγραμμα 3 δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ της επέμβασης του NFT με τις επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT, όσο και μεταξύ των δυο επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT.

4.6.3 Ξηρό βάρος καρπών

Στο ραβδόγραμμα 4 παρουσιάζεται το μέσο ξηρό βάρος των καρπών που παρήχθησαν από τα φυτά στο τέλος του πειράματος.



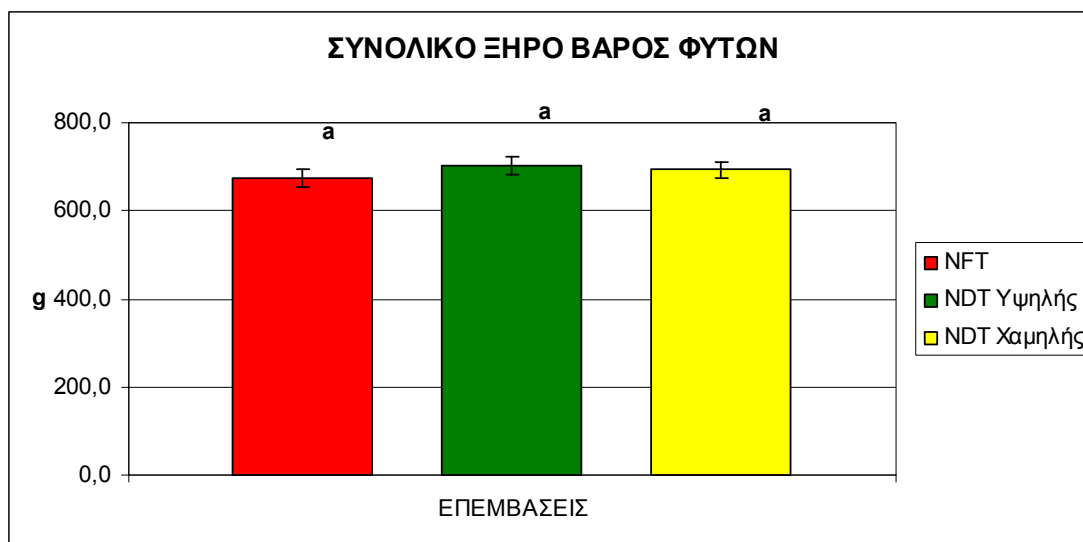
Ραβδόγραμμα 4. Μέσο ξηρό βάρος καρπών στο τέλος του πειράματος συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

Στο ραβδόγραμμα 4 και σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά της επέμβασης του NFT με την επέμβαση NDT Υψηλής παροχής, όχι όμως και με την επέμβαση NDT Χαμηλής παροχής. Οι δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Η αύξηση του μέσου ξηρού βάρους των καρπών ανά φυτό που παρατηρείται στην επέμβαση NDT Υψηλής παροχής σε σχέση με την επέμβαση του NFT είναι της τάξης του 16%, ενώ η αύξηση της επέμβασης NDT Χαμηλής παροχής σε σχέση με αυτή της επέμβασης του NFT είναι της τάξης του 10,5% αντίστοιχα.

4.6.4 Συνολικό ξηρό βάρος φυτών

Στο ραβδόγραμμα 5 παρουσιάζεται το μέσο συνολικό ξηρό βάρος των φυτών στο τέλος του πειράματος.



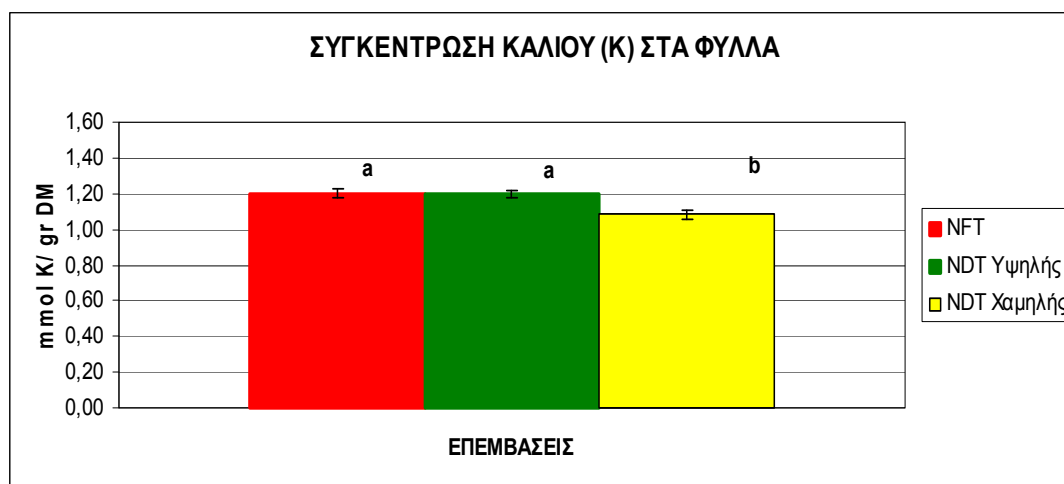
Ραβδόγραμμα 5. Συνολικό μέσο ξηρό βάρος φυτών στο τέλος του πειράματος συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

Στο ραβδόγραμμα 5 και σύμφωνα με τα προηγούμενα διαγράμματα για τα διάφορα μέρη των φυτών, μετά από τη στατιστική επεξεργασία δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ της επέμβασης του NFT με τις επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT, όσο και μεταξύ των δυο επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT.

4.7 Χημική σύσταση των ιστών

4.7.1 Το Κάλιο (K^+)

Στο ραβδόγραμμα 6 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του Καλίου (K^+) στα φύλλα των φυτών.

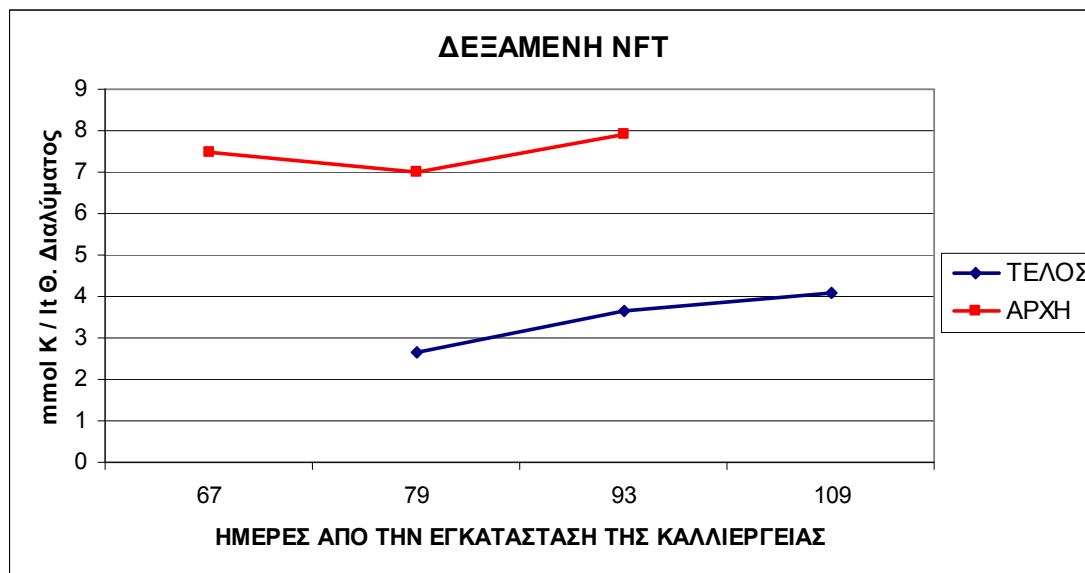


Ραβδόγραμμα 6. Μέση συγκέντρωση Καλίου (K^+) στα φύλλα των φυτών συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

Στο ραβδόγραμμα 6 και σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία, προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά της επέμβασης του NDT Χαμηλής παροχής τόσο με την επέμβαση του NFT, όσο και με την επέμβαση του NDT Υψηλής παροχής.

Στα 2 επόμενα διαγράμματα θα παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του στοιχείου στην κάθε δεξαμενή.

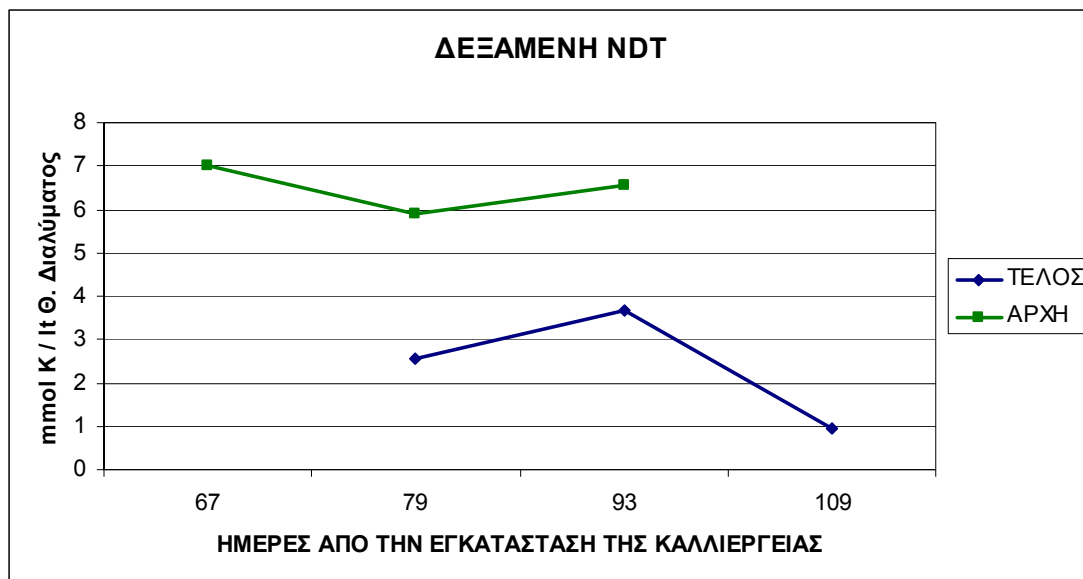
Στο διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του Καλίου (K^+) στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής της επέμβασης του NFT:



Διάγραμμα 8. Δεξαμενή του NFT.

Στη δεξαμενή της επέμβασης του NFT δεν παρατηρείται καμία συσσώρευση καλίου (K^+), αντίθετα υπάρχει απορρόφησή του σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Διάγραμμα 8). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα ήταν πάντα χαμηλότερες από το νέο.

Στο διάγραμμα 9 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του Καλίου (K^+) στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής της επέμβασης του NDT:

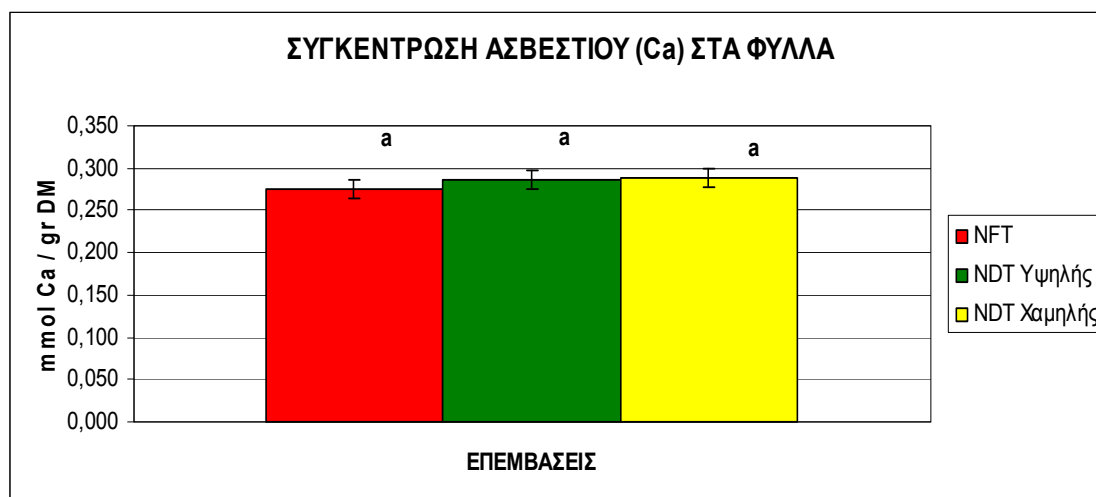


Διάγραμμα 9. Δεξαμενή του NDT.

Στη δεξαμενή της επέμβασης του NDT δεν παρατηρείται καμία συσσώρευση καλίου (K^+), αντίθετα υπάρχει απορρόφησή του σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Διάγραμμα 9). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα ήταν πάντα χαμηλότερες από το νέο και κυμαίνονταν από 0.94 έως 2.56 mmol K^+ /lt Θ. Διαλύματος.

4.7.2 Το Ασβέστιο (Ca^{2+})

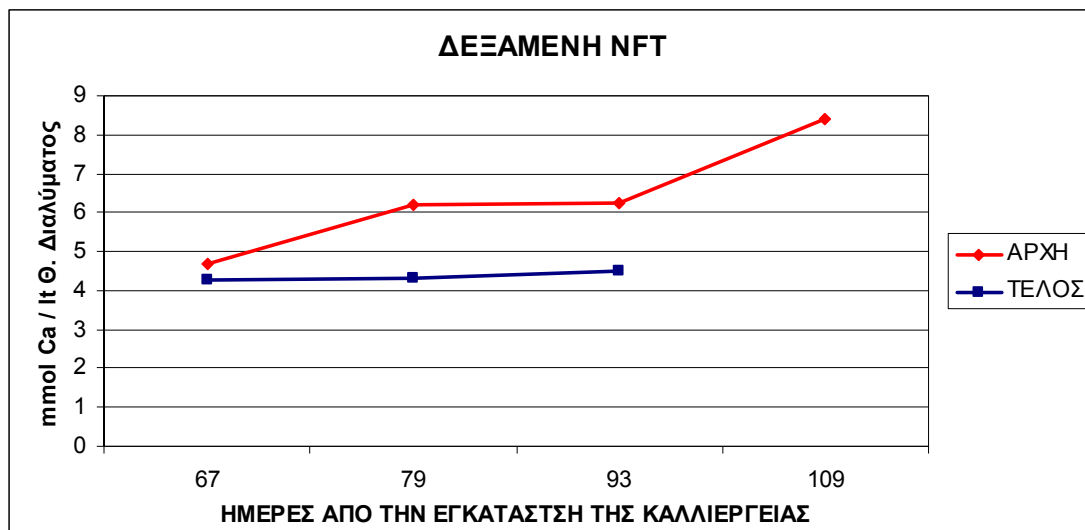
Στο ραβδόγραμμα 7 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του Ασβεστίου (Ca^{2+}) στα φύλλα των φυτών.



Διάγραμμα 7. Μέση συγκέντρωση Ασβεστίου (Ca^{2+}) στα φύλλα των φυτών συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

Στο ραβδόγραμμα 7 και μετά από τη στατιστική επεξεργασία, δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ της επέμβασης του NFT με τις επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT, όσο και μεταξύ των δυο επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT.

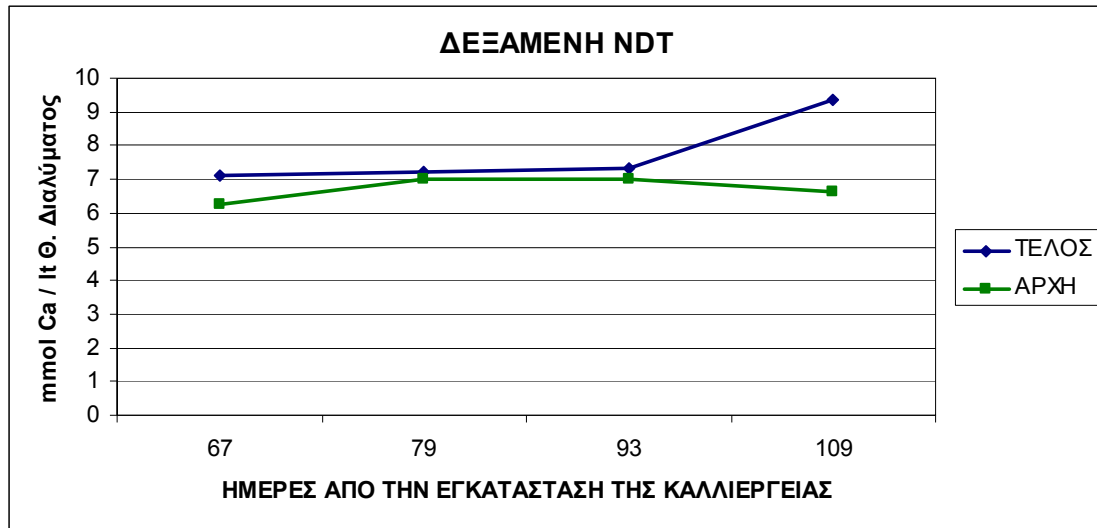
Στο διάγραμμα 10 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του Ασβεστίου (Ca^{2+}) στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής της επέμβασης του NFT:



Διάγραμμα 10. Δεξαμενή του NFT.

Στη δεξαμενή της επέμβασης του NFT παρατηρείται απορρόφηση ασβεστίου (Ca^{2+}), σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Διάγραμμα 10). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα ήταν πάντα υψηλότερες από το νέο.

Στο διάγραμμα 11 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του Ασβεστίου (Ca^{2+}) στο θρεπτικό διάλυμα της δεξαμενής της επέμβασης του NDT:

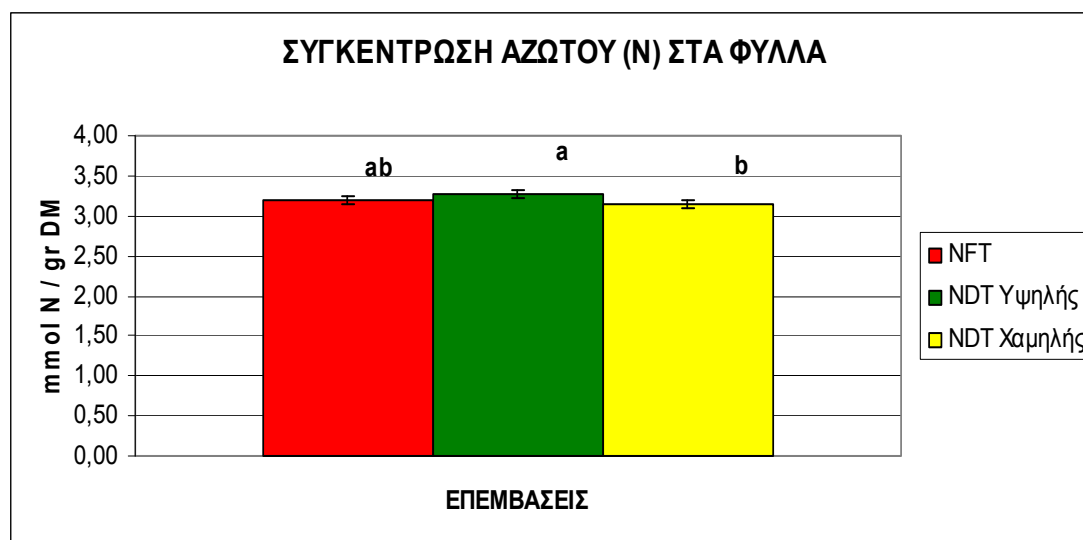


Διάγραμμα 11. Δεξαμενή του NDT.

Στη δεξαμενή της επέμβασης του NDT παρατηρείται συσσώρευση ασβεστίου (Ca^{2+}), δηλαδή ο ρυθμός απορρόφησης του στοιχείου ήταν μικρότερος συγκριτικά με την επέμβαση του NFT), σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Διάγραμμα 11). Οι τιμές του στοιχείου στο απορριπτόμενο διάλυμα ήταν πάντα υψηλότερες από το νέο.

4.7.3 Το Άζωτο (N)

Στο ραβδόγραμμα 8 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του Αζώτου (N) στα φύλλα των φυτών.



Ραβδόγραμμα 8. Μέση συγκέντρωση Αζώτου (N) στα φύλλα των φυτών συναρτήσει των τριών επεμβάσεων.

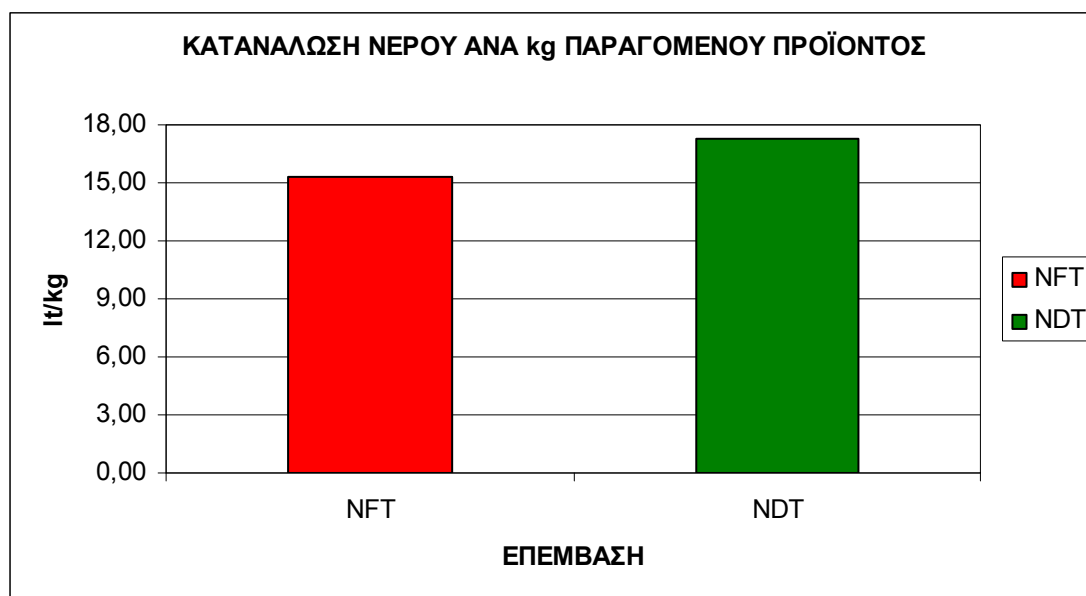
Από το ραβδόγραμμα 8 δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά της επέμβασης του NFT με τις επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT. Οι δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT μεταξύ τους παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 8. Συγκέντρωση του ολικού Αζώτου (%) στα φύλλα της τομάτας

Επεμβάσεις	Συγκέντρωση ολικού Αζώτου (%)
NFT	4.48ab
NDT Υψηλής παροχής	4.59a
NDT Χαμηλής παροχής	4.39b

4.8 Κατανάλωση νερού

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα 9 παρουσιάζεται η κατανάλωση του νερού για κάθε κιλό νεπού παραγόμενου προϊόντος.



Ραβδόγραμμα 9. Κατανάλωση νερού ανά κιλό νεπού παραγόμενου προϊόντος.

Από το ραβδόγραμμα 9 και σύμφωνα με τις μετρήσεις που λαμβάνονταν σε καθημερινή βάση, προέκυψε ότι στο νέο σύστημα NDT η κατανάλωση του νερού ήταν υψηλότερη από ότι στο κλασικό σύστημα NFT.

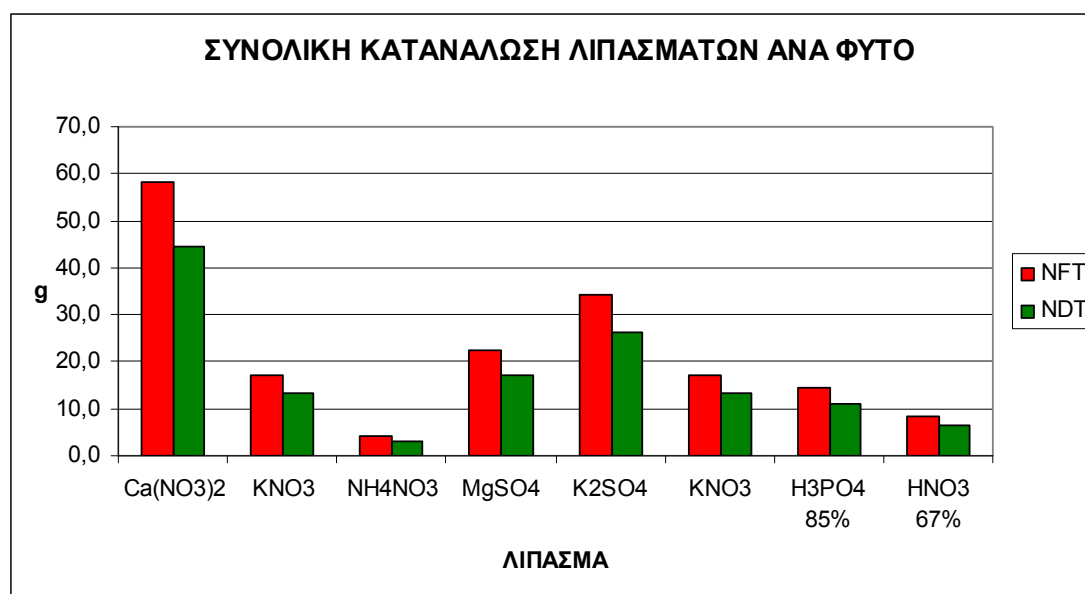
4.9 Κατανάλωση λιπασμάτων

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ενδεικτικά οι καταναλώσεις των λιπασμάτων του θρεπτικού διαλύματος των δεξαμενών για κάθε επέμβαση σε ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο:

Πίνακας 9. Συγκεντρωτικός πίνακας κατανάλωσης λιπασμάτων ανά φυτό για ολόκληρο το διάστημα της καλλιεργητικής περιόδου.

	g	g	g	g	g	g	ml	ml
ΕΠΕΜΒΑΣΗ	<i>Ca(NO₃)₂</i>	<i>KNO₃</i>	<i>NH₄NO₃</i>	<i>MgSO₄</i>	<i>K₂SO₄</i>	<i>KNO₃</i>	<i>H₃PO₄</i> 85%	<i>HNO₃</i> 67%
NFT	58,4	17,2	4,2	22,4	34,3	17,2	14,5	8,4
NDT	44,6	13,2	3,2	17,1	26,2	13,2	11,0	6,4

Στο διάγραμμα 12 που ακολουθεί παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση λιπασμάτων ανά φυτό και ανά επέμβαση για όλη την καλλιεργητική περίοδο.

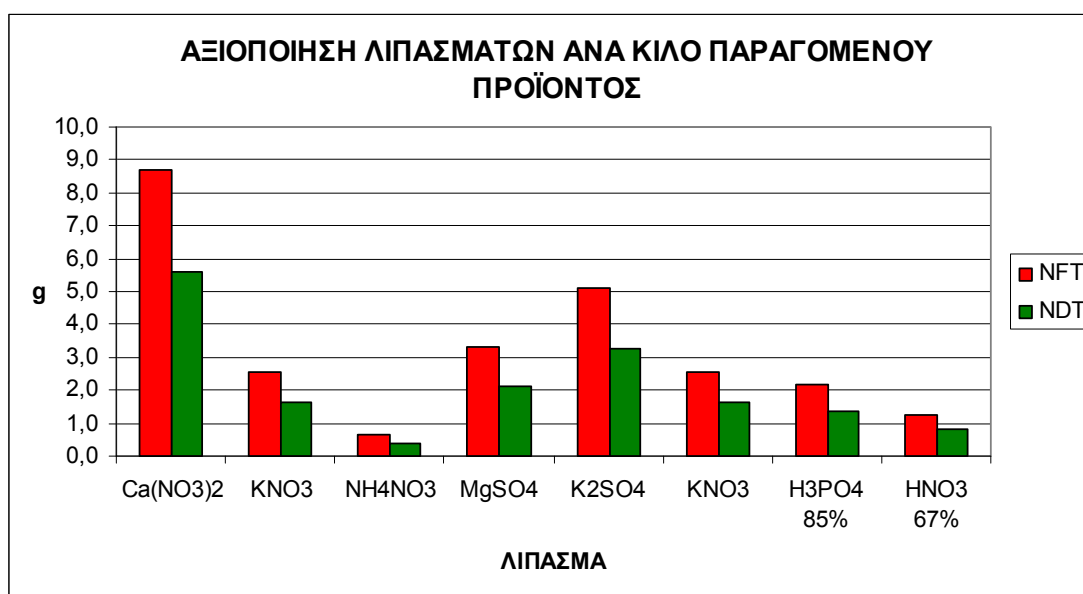


Διάγραμμα 12. Συνολική κατανάλωση λιπασμάτων (g ανά φυτό) για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο.

Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα 12 η συνολική κατανάλωση λιπασμάτων (g ανά φυτό), στην επέμβαση NFT ήταν υψηλότερη συγκριτικά με την επέμβαση του NDT.

4.10 Αξιοποίηση λιπασμάτων

Στο διάγραμμα 13 που ακολουθεί παρουσιάζεται η αξιοποίηση των λιπασμάτων ανά κιλό νωπού παραγόμενου προϊόντος, ανά επέμβαση για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο.



Διάγραμμα 13. Αξιοποίηση λιπασμάτων (g ανά φυτό) ανά κιλό νωπού παραγόμενου προϊόντος για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο.

Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα 13 η συνολική κατανάλωση λιπασμάτων ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος στην επέμβαση NFT ήταν υψηλότερη συγκριτικά με την επέμβαση του NDT.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Συγκέντρωση οξυγόνου στη περιοχή της ρίζας

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις τρεις επεμβάσεις προέκυψε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση του οξυγόνου μεταξύ των δυο επεμβάσεων του νέου συστήματος NDT, ενώ παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά του NFT και με τις δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT. Η μείωση της συγκέντρωσης που παρατηρήθηκε στο τέλος του καναλιού της επέμβασης του NFT συγκριτικά με τις δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος ήταν της τάξης του 18.5 %.

Στην παρούσα εργασία η συγκέντρωση του οξυγόνου στις 11:00 το πρωί για τις δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος διατηρήθηκε στα 7 ppm κατά μήκος του καναλιού σε σχέση με τη μέθοδο του NFT στην οποία παρατηρήθηκε μια μείωση από τα 7 ppm σε 5.5 στο τέλος του καναλιού καλλιέργειας (για μήκος καναλιού 7m). Αυτό αποδεικνύει ότι στο νέο σύστημα η μέθοδος άρδευσης με χρήση σωλήνα που έφερε σταλάκτες κατά μήκος του καναλιού λειτούργησε θετικά στον αερισμό στο επίπεδο των ριζών.

Σύμφωνα με τους Gislerod και Adams (1983), σε καλλιέργεια τομάτας με τη μέθοδο του NFT, η συγκέντρωση του οξυγόνου σε δείγματα θρεπτικού διαλύματος κατά μήκος των καναλιών, ήταν της τάξης των 8 ppm σε μετρήσεις που λαμβάνονταν κατά τις πρωινές ώρες και της τάξης των 6 ppm σε μετρήσεις που λαμβάνονταν το μεσημέρι και όπως έχει ήδη αναφερθεί αυτό είναι λογικό γιατί η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του διαλύματος. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονταν από 8,4 ppm για το φυτό που βρισκόταν στην αρχή του καναλιού έως 7.4 ppm για το φυτό που βρισκόταν στο τέλος του καναλιού πριν την απορροή σε μια θερμοκρασία της τάξης των 24.5° C. Συγκεντρώσεις της τάξης των 3 ppm,

ευθύνονται για τη βραδεία ανάπτυξη των φυτών και οφείλονται στον ανεπαρκή αερισμό στο επίπεδο των ριζών που δημιουργείται από την παροχή του διαλύματος κατά μήκος του καναλιού. Σύμφωνα με τους Savvas και Passam (2002), μια επιτυχής μέθοδος αερισμού σε καλλιέργεια αγγουριού ήταν η διοχέτευση μικρών ποσοτήτων υπεροξειδίου του υδρογόνου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας πριν αυτό ανακυκλωθεί. Σε μια άλλη ερευνητική εργασία από τον Adams, (1994) αναφέρθηκε ένα νέο σύστημα που ονομάζεται Super NFT, το οποίο χρησιμοποιεί σταλάκτες και ψεκάζει το θρεπτικό διάλυμα κατά μήκος του καναλιού μειώνοντας έτσι το πρόβλημα του ανεπαρκούς αερισμού. Έχει παρατηρηθεί ότι όπως αναπτύσσεται η ρίζα μέσα στο κανάλι καλλιέργειας δημιουργεί ένα πλέγμα που αναγκάζει το θρεπτικό διάλυμα να περάσει από μέσα του με αποτέλεσμα τη δραματική μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου της τάξης του 60 έως 100% στο τέλος του καναλιού (Gislerod και Kempton, 1983; Vestergaard, 1984; Goto et al., 1996; Yoshida et al., 1997).

Οι Ho et al., (1999) αναφέρουν ότι σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 3 ppm η συνολική αξιοποίηση του νερού και η απορρόφηση των N, P, K, Ca, Mg σε καλλιέργεια τομάτας μειώθηκε κατά 30% , με τον P να επηρεάζεται περισσότερο και το Mg λιγότερο.

5.2 Αριθμός φύλλων

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά της επέμβασης NFT συγκριτικά με την επέμβαση του NDT Υψηλής παροχής και την επέμβαση NDT χαμηλής παροχής. Μεταξύ τους οι δυο επεμβάσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά. Σε εργασία που παρουσίασαν οι Shinohara et al (1999), για την τομάτα, βρήκαν ότι ο αριθμός των φύλλων βρισκόταν στα ίδια επίπεδα, ανεξάρτητα από τη χρήση του υποστρώματος. Σύμφωνα με τους και Hao and Papadopoulos (2002), σε πείραμα καλλιέργειας με χρήση

πετροβάμβακα και 3 τρόπους άρδευσης (κλειστό, ανοιχτό σύστημα και άρδευση με σύστημα NFT), ο αριθμός των φύλλων δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά. Σύμφωνα με τον Al Harbi (1995), σε καλλιέργεια τομάτας με χρήση NFT και διακοπτόμενη άρδευση (10 λεπτά άρδευση - 10 λεπτά όχι και 10 λεπτά άρδευση - 5 λεπτά όχι) ο αριθμός των φύλλων των φυτών για μετρήσεις στις 82 και 152 μέρες δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά και μειονεκτεί κατά πολύ συγκριτικά με το πείραμα που εκτελέστηκε.

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το νέο σύστημα δεν παρουσιάζει αρνητικές επιδράσεις όσον αφορά τον αριθμό των φύλλων που ανέπτυξαν τα φυτά.

5.3 Μέσο μέγεθος φύλλων

Το μέγεθος των φύλλων στην επέμβαση NDT Υψηλής παροχής ήταν μεγαλύτερο από την επέμβαση του NFT αλλά και από την επέμβαση του νέου συστήματος NDT Χαμηλής παροχής, σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Αυτό το γεγονός υποδεικνύει ότι οι λειτουργίες της κυτταρικής διαίρεσης και της επιμήκυνσης (διόγκωσης) των κυττάρων των φύλλων ήταν: ικανοποιητική στην περίπτωση της επέμβασης NDT Υψηλής παροχής και ελλιπής στις περιπτώσεις των επεμβάσεων NFT και NDT Χαμηλής παροχής. Το μεγάλο μέγεθος του φύλλου αποδίδεται κυρίως στη διαφορά δυναμικού του νερού και στην καλή λειτουργία του ριζικού συστήματος λόγω της υψηλής συγκέντρωσης διαλυτού οξυγόνου. Τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα την παροχή των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων και ποσοτήτων νερού για την ανάπτυξη και την αύξηση των φύλλων των φυτών.

Το ριζικό σύστημα των φυτών στη περίπτωση της επέμβασης του NFT, είναι πιθανό να αντιμετώπισε προβλήματα έλλειψης νερού και

θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα οι λειτουργίες αύξησης των φύλλων να μην έφτασαν σε ικανοποιητικά επίπεδα συγκριτικά με το νέο σύστημα NDT. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Huevelink (1995), σε καλλιέργεια τομάτας 134 ημερών, το μέσο μέγεθος των φύλλων ήταν της τάξης των 493 cm². Στο πείραμα που εκτελέστηκε το μέσο μέγεθος των φύλλων στο NFT ήταν 359 cm² ενώ στην επέμβαση Υψηλής παροχής 521 cm² και στη Χαμηλής παροχής 353 cm².

5.4 Φυλλική επιφάνεια

Η φυλλική επιφάνεια των φυτών αφορά το γινόμενο του αριθμού και του μεγέθους των φύλλων. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν με τη μέθοδο του NDT για την επέμβαση Υψηλής παροχής παρουσίασαν μια τιμή φυλλικής επιφάνειας ίση με 21964 cm², ενώ η επέμβαση Χαμηλής παροχής μια τιμή ίση με 14448 cm² και η επέμβαση NFT 13812 cm² αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο μεγαλύτερο μέγεθος των φύλλων της επέμβασης Υψηλής παροχής συγκριτικά με την επέμβαση Χαμηλής Παροχής και την επέμβαση του NFT. Σύμφωνα με τον Al Harbi (1995), σε καλλιέργεια τομάτας με χρήση NFT και διακοπτόμενη άρδευση (10 λεπτά άρδευση - 10 λεπτά όχι και 10 λεπτά άρδευση - 5 λεπτά όχι) η φυλλική επιφάνεια και στα δυο συστήματα για μετρήσεις στις 82 και 152 μέρες δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά.

5.5 Αριθμός και βάρος παραγόμενων καρπών

5.5.1 Παραγωγή καρπών

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, στο τέλος της καρποφορίας, σε μια περίοδο 48 ημερών, τα φυτά της επέμβασης του NDT Υψηλής παροχής απέφεραν μια συνολική μέση παραγωγή ανά φυτό ίση με 8.8 kg, της επέμβασης του NDT Χαμηλής παροχής 7.8 kg. Ενώ η αντίστοιχη συνολική μέση παραγωγή ανά φυτό για την επέμβαση του NFT ήταν 6.6 kg.

Η διαφορά αυτή είναι στατιστικά σημαντική, οφείλεται στο μέσο μέγεθος των παραγόμενων καρπών και διατηρήθηκε μέχρι τη λήξη του πειράματος, όπου η υψηλή παροχή θρεπτικού διαλύματος έδωσε κατά 33% υψηλότερη παραγωγή σε σχέση με το NFT, ενώ η χαμηλή παροχή έδωσε κατά 18% υψηλότερη παραγωγή σε σχέση με το NFT.

Σε εργασία που παρουσίασαν οι Valenzano et al (2001) για παραγωγή τομάτας σε δυο διαφορετικά υδροπονικά συστήματα, NFT και πετροβάμβακα συγκριτικά με την καλλιέργεια εδάφους, παρατήρησαν επίδραση του χρησιμοποιούμενου συστήματος στη συνολική παραγωγή καρπών. Πιο συγκεκριμένα στο σύστημα NFT παρατηρήθηκε 4% υψηλότερη παραγωγή συγκριτικά με το σύστημα του πετροβάμβακα.

Σύμφωνα με τους Tzortzakis and Economakis (2008) σε καλλιέργεια τομάτας (*Belladonna*) που διήρκτησε 5 μήνες, με περίοδο συγκομιδής από αρχές Απριλίου μέχρι τα μέσα του Μαΐου, η συνολική παραγωγή σε νωπό βάρος καρπών κυμάνθηκε από 3.8 έως 5.5 kg ανά φυτό για διαφορετικά υποστρώματα καλλιέργειας (ελαφρόπετρα, περλίτης, συνδυασμοί μιγμάτων).

5.5.2 Αριθμός και μέσο βάρος παραγόμενων καρπών

Ο αριθμός των καρπών που αναπτύσσονται από τα φυτά της τομάτας στην καλλιέργεια του θερμοκηπίου εξαρτάται από πολλούς

παράγοντες, όπως είναι η καλλιεργούμενη ποικιλία, οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο του θερμοκηπίου (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, CO₂), οι καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζονται και η βλαστική ανάπτυξη και δυναμική των φυτών.

Στο πείραμα μας, όλες οι καλλιεργητικές φροντίδες ήταν οι ίδιες για όλες τις επεμβάσεις και όπως προκύπτει από τη στατιστική επεξεργασία ο αριθμός των παραγόμενων καρπών ανά φυτό δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές. Ο κύριος λόγος για την εμφάνιση της διαφοράς στην παραγωγή των φυτών που παρατηρήθηκε στις τρεις επεμβάσεις οφείλεται στο μέσο μέγεθος των παραγόμενων καρπών ανά φυτό. Η ανάπτυξη μεγαλύτερων καρπών οφείλεται κυρίως στη διαθεσιμότητα του νερού και στη συγκέντρωση του οξυγόνου στο περιβάλλον των ριζών, που επιδρά θετικά στη καλή λειτουργία των ριζών, στη μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια που ευνοεί τη μεγαλύτερη φωτοσυνθετική ικανότητα και συνεπάγεται υψηλότερη σύνθεση οργανικών προϊόντων για την τροφοδοσία των αναπτυσσόμενων καρπών και περισσότερα τροφικά αποθέματα για τη συνέχιση της ανάπτυξης και καρποφορίας των φυτών της τομάτας στις επεμβάσεις του NDT συγκριτικά με την επέμβαση του NFT. Όπως προκύπτει και από τους Morard and Silvester, 1996; Morard et al., 2000; Adams, 2002; Tesi et al., 2003, η συγκέντρωση του οξυγόνου στο περιβάλλον των ριζών έχει σημαντική επίδραση στη κατανάλωση του νερού, την απορρόφηση των στοιχείων και στη συνολική παραγωγή καρπών και βιομάζας των φυτών κάτω από διαφορετικές συνθήκες και συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τους Tzortzakis και Economakis (2008) σε καλλιέργεια τομάτας (*Belladonna*) που διήρκησε 5 μήνες, με περίοδο συγκομιδής από αρχές Απριλίου μέχρι τα μέσα του Μαΐου, το μέσο μέγεθος των καρπών

για τα διάφορα υποστρώματα κυμάνθηκε μεταξύ 192 έως 216 g, ενώ ο συνολικός αριθμός, μεταξύ 20.3 έως 26.6 καρποί ανά φυτό. Σε άλλη ερευνητική εργασία των Hao and Papadopoulos (2002), το μέσο μέγεθος των καρπών κυμάνθηκε μεταξύ 168,9 έως 173,6 g, ενώ ο συνολικός αριθμός, μεταξύ 36,2 έως 36,51 καρποί ανά φυτό χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

5.6 Ξηρό βάρος φυτών

Από το πείραμα μας εξήχθησαν τα παρακάτω:

Στη παραγωγή του ξηρού βάρους βλαστών, ριζών αλλά και στο σύνολο της παραγόμενης ξηρής βιομάζας των φυτών δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της επέμβασης του NFT με τις επεμβάσεις του νέου συστήματος. Αυτό αποδεικνύει ότι η διαφορετικότητα των υδροπονικών συστημάτων δεν άσκησε κάποια θετική ή αρνητική επίδραση στα χαρακτηριστικά των φυτών. Σύμφωνα με τους Hao and Papadopoulos (2002), το συνολικό ξηρό βάρος των φυτών τομάτας στο τέλος του πειράματος κυμάνθηκε μεταξύ 642 – 669g και το ξηρό βάρος της ρίζας 21.4g χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

5.7 Χημική σύσταση των ιστών

5.7.1 Το Κάλιο (K^+)

Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας στις δεξαμενές των επεμβάσεων NFT και NDT δεν παρουσιάστηκε συσσώρευση του Καλίου (K^+), αντίθετα παρατηρήθηκε απορρόφηση του σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η συγκέντρωση του Καλίου (K^+) στα φύλλα των φυτών της τομάτας παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της επέμβασης του NFT και της επέμβασης του NDT Χαμηλής παροχής.

Η απόκριση των φυτών της τομάτας στο Κάλιο (K^+) έχει ερευνηθεί για ένα εύρος μεταξύ 10 – 800 mg/ l στο σύστημα NFT. Σε συγκέντρωση 10 mg/ l αναπτύχθηκαν συμπτώματα τροφοπενίας στα φύλλα ενώ παρουσιάστηκε ανωμαλία στην ωρίμανση των καρπών σε ποσοστό 30%. Σε συγκέντρωση 20 – 400 mg/ l δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση στη συνολική παραγωγή καρπών, αν και ο αριθμός των καρπών αυξήθηκε (Adams και Grimmett, 1986).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας των Hao and Papadopoulos (2002), η συγκέντρωση του K^+ στο θρεπτικό διάλυμα τομάτας σε δυο συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας, πετροβάμβακα και NFT ήταν κατά μέσο όρο της τάξης των 390 ppm και 365 ppm αντίστοιχα, ενώ στην παρούσα εργασία για την επέμβαση NFT ήταν 293 ppm και για τις επεμβάσεις NDT 253 ppm.

5.7.2 Το Ασβέστιο (Ca^{2+})

Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας στις δεξαμενές των επεμβάσεων NFT και NDT παρουσιάστηκε συσσώρευση του Ασβεστίου (Ca^{2+}) σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η συγκέντρωση του Ασβεστίου (Ca^{2+}) στα φύλλα των φυτών της τομάτας

δεν παρουσίασε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών επεμβάσεων. Σύμφωνα με τους Masey et al. (1986), χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης Ασβεστίου (Ca^{2+}) στο σύστημα NFT δημιουργούν συμπτώματα τροφοπενίας στα φύλλα, μείωση παραγωγής και εμφάνιση ‘τάπας’.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας των Hao και Papadopoulos (2002), η συγκέντρωση του Ca^{2+} στο θρεπτικό διάλυμα τομάτας σε δυο συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας, πετροβάμβακα και NFT ήταν κατά μέσο όρο της τάξης των 231 ppm και 208 ppm αντίστοιχα, ενώ στην παρούσα εργασία για την επέμβαση NFT ήταν 174 ppm και για τις επεμβάσεις NDT 271 ppm.

5.7.3 Το Άζωτο (N)

Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα φύλλα της τομάτας παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων του νέου συστήματος, ενώ συγκριτικά με το NFT καμία διαφορά. Σύμφωνα με τους Winsor και Adams (1987), Masey και Winsor (1980) το εύρος μέσα στο οποίο θα πρέπει να κυμαίνεται η περιεκτικότητα το ολικού αζώτου στα φύλλα ώστε να θεωρείται ικανοποιητική είναι μεταξύ του 3.5 – 5.5%, με ελάχιστο όριο, στο οποίο παρουσιάζονται προβλήματα το 2.5%. Η περιεκτικότητα των φύλλων σε ολικό άζωτο σε όλες τις επεμβάσεις σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας κυμάνθηκε στα επιθυμητά επίπεδα.

5.8 Κατανάλωση νερού

Από οικονομικής πλευράς είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ποσότητα του νερού που καταναλώνεται για την παραγωγή ενός κιλού νωπού προϊόντος, από τη στιγμή που το κόστος του νερού επηρεάζει την τιμή του.

Σύμφωνα με τους Schroder et al., (1996) για την παραγωγή με τη μέθοδο NFT ενός κιλού τομάτας (νωπού βάρους) απαιτήθηκαν 36.7 λίτρα

νερού, ενώ στο πείραμα που εκτελέστηκε η επέμβαση NFT κατανάλωσε 15.2 λίτρα και οι επεμβάσεις του νέου συστήματος 17.3 λίτρα ανά κιλό παραγόμενου καρπού. Οι Schwarz και Kuchenbuch (1998) αναφέρουν ότι η κατανάλωση του νερού σε καλλιέργεια τομάτας με τη μέθοδο NFT σε κλειστό σύστημα εξαρτάται από την EC του θρεπτικού διαλύματος και όσο αυτή αυξάνεται τόσο μειώνεται ο αριθμός των παραγόμενων καρπών. Ωστόσο οι αλλαγές που παρατηρούνται στη βλαστική ανάπτυξη των φυτών, στη φυλλική επιφάνεια και στη κατανάλωση του νερού εξαρτώνται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και την EC του διαλύματος τροφοδοσίας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει των προαναφερομένων και λόγω των αποτελεσμάτων που λάβαμε είμαστε σε θέση να πούμε πως το νέο σύστημα υδροπονίας NDT συντέλεσε στην καλή ανάπτυξη των φυτών και δεν δημιούργησε δυσκολίες στη διεξαγωγή των φυσιολογικών λειτουργιών των φυτών, αφού από την κατασκευή του, κάμφθηκαν οι δυσκολίες ρύθμισης και οι συνεχείς τροποποιήσεις της παροχής του θρεπτικού διαλύματος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ιδανικών συνθηκών ανάπτυξης των φυτών σε ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο.

Από τις μετρήσεις του οξυγόνου στο περιβάλλον της ρίζας προέκυψαν υψηλότερες συγκεντρώσεις και στις δυο επεμβάσεις του νέου συστήματος, συγκριτικά με το κλασικό σύστημα NFT.

Τα φυτά που αναπτύχθηκαν με την υψηλή παροχή στο νέο σύστημα ανέπτυξαν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, συγκριτικά με το NFT. Οι επεμβάσεις του νέου συστήματος δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά.

Η απόδοση των φυτών σε νωπό βάρος καρπών αυξήθηκε σημαντικά στο νέο σύστημα, τόσο στη χαμηλή όσο και στην υψηλή παροχή θρεπτικού διαλύματος (18% και 33% αντίστοιχα), συγκριτικά με το NFT. Η πιθανότερη αιτία φάνηκε να ήταν η υψηλότερη συγκέντρωση Οξυγόνου στο περιβάλλον της ρίζας.

Το ξηρό βάρος των φυτών δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά.

Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στη χαμηλή παροχή είχαν μικρότερη συγκέντρωση Καλίου (K^+) στα φύλλα από ότι στο NFT και NDT υψηλής παροχής. Η συγκέντρωση του Ασβεστίου (Ca^{2+}) στα φύλλα δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων. Η συγκέντρωση του ολικού Αζώτου (N) στα φύλλα της υψηλής παροχής ήταν υψηλότερη συγκριτικά με το NFT και τη χαμηλή παροχή.

Τέλος η κατανάλωση του νερού των φυτών του νέου συστήματος ήταν υψηλότερη συγκριτικά με αυτή του NFT.

Κατά την εγκατάσταση του έχει ένα κόστος συγκρίσιμο με αυτό μιας σύγχρονης καλλιέργειας σε πορώδες υπόστρωμα. Παρουσίασε μικρότερη ευαισθησία σε λάθη και κακές ρυθμίσεις από τα αντίστοιχα συστήματα υδροπονίας χωρίς πορώδες υπόστρωμα, λόγω του πρωτότυπου συστήματος στράγγισης του θρεπτικού διαλύματος στο επίπεδο των ριζών. Και η συνολική παραγωγή καρπών που προέκυψε ήταν ανταγωνίσιμη πολλών ευρέως διαδεδομένων συστημάτων υδροπονίας.

Από τα προηγούμενα συνάγεται ότι το σύστημα αυτό θα μπορούσε να αντικαταστήσει πολλά από τα συστήματα με υποστρώματα ή χωρίς υποστρώματα με καλύτερα αποτελέσματα και με μεγαλύτερη προστασία των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος.

Ευχαριστίες

Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος βασίστηκε στην επιθυμία μου να ασχοληθώ με το περιβάλλον του θερμοκηπίου και την υδροπονική καλλιέργεια. Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία λόγω των δυσκολιών του θέματος θα ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθεί δίχως τη συμβολή και τη βοήθεια ορισμένων ατόμων.

Θα ήθελα πρώτα από όλους να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Μαυρογιαννόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα, για την επίβλεψη και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια του πειράματος, της ανάλυσης των πειραματικών δεδομένων και της συγγραφής της μελέτης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Χάρολντ – Κρίστοφερ Πάσσαμ και τον Λέκτορα κ. Σταύρο Αλεξανδρή για το χρόνο τους να μελετήσουν τα αποτελέσματα της εργασίας, για τις χρήσιμες συμβουλές και τις διορθώσεις τους.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα Ιωάννη Λυκοσκούφη και τον συνάδελφο Χαρίλαο Γιαννόπουλο για τη βοήθεια τους τόσο κατά την εκτέλεση του πειράματος όσο και κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Τη συνάδελφο Κατσογιάννη Αλεξάνδρα για την υπομονή της, την υποστήριξη της και τις υποδείξεις της τόσο κατά τη διάρκεια του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την υπερπροσπάθεια που έχουν καταβάλλει, για τις θυσίες, την ψυχική και υλική υποστήριξη τους, την υπομονή τους και για όλα αυτά που έχουν κάνει για μένα, που δεν περιγράφονται με λέξεις, ώστε να φοιτήσω και να προοδεύσω στην Επιστήμη της Γεωπονίας.

Ε. Π. Αγγλογάλλος

Αθήνα, 2/11/2010

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aaron J. R., 1982. Conifer bark: its properties and uses. Forestry Commission, UK. Forest Record No. 110, 22 pp.
- Abou Hadid A. F., and El-Behairy U. A., 1999. Soilless culture in Egypt. In: Regional working group greenhouse crop production in the Mediterranean region. Proc. 1th Meeting FAO Thematic Working Group Soilless Culture. Technical Publication No 3. Halkidiki, Greece, 2 September 1999:pp. 31-45.
- Adams P., 1981. Nutrient Film culture. *Agric. Water Manag.*, 4:471-478.
- Adams P., 1981. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. *Acta Hort.*, 361: 145 – 257.
- Adams P., and Grimmett M. M., 1986. Some responses of tomatoes to the concentrations of potassium in recirculating solutions. *Acta Hort.*, 178: 29-35.
- Al-Harbi A. R., 1999. Growth and productivity of tomato and cucumber as affected by intermittent flowing solution in nutrient film technique. *J. King Saud. Univ. vol 11, Agric Sci. (1):15-23.*
- Amsing J. J., 1995. *Gromonia radiculicola* and a *Phytophthora* species as casual agents of root rot on roses in artificial substrates. *Acta Hort.* 382:203-211.
- Antkowiak R. I., 1993. More oxygen for your NFT, *The Growing Edge* 4(3):59-63.
- Artiola, J. F., and Walworth J. L., 1999. Irrigation Water Quality Effects on Soil Carbon Fractionation and Organic Carbon Dissolution and Leaching in a Semiarid Calcareous Soil, *Soil Science*. 174(7):356-371.
- Barber S. A. and Bouldin D. R., 1984. Roots, nutrient and water influx and plant growth. ASA special publication 136. American society of agronomy, Madison, WI.

- Benoit F., and Ceustermans N., 1995. A decade of research on ecologically sound substrates. *Acta Hort.* 408:17-29.
- Bently M., 1959. *Commercial Hydroponics* (2th Edition). Benton Books. Johannesburg, 750 pp.
- Bij J., 1990. Growing commercial vegetables in rockwool. Pp 18-24 in S. Korney (Ed.) *Proceedings of the 11th Annual Conference of Hydroponics*, hydroponic Society of America, Concord, CA.
- Brooke L. L., 1991. Aero-hydroponics: the hydroponic method of the future, *The Growing Edge* 2(1):25-26, 65-66.
- Bruce R. R., Palls J. E., Harper L. A., and Jones J. B., 1980. Water and nutrient element regulation prescription in nonsoil media for greenhouse crop production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11(7):677-698.
- Bugbee, B., 1995. Nutrient management in recirculating hydroponics culture, pp. 15-30 in M. Bates (ed), *Proceedings of the 16th Annual Conference of Hydroponics*, hydroponic Society of America, San Ramon, CA.
- Bunt A. C., 1988. *Media and mixes for container grown plants*. Unwin Hayman, London.
- Challinor P. F., 1996. The use of pumice in horticulture. In: *Proc 9th Internat. Congres. Soiless culture*. ISOSC Wageningen, The Netherlands: pp 101-104.
- Cooper, A. J., 1975. Crop production in recirculating nutrient solution, *Sci. Hor.*, 3:251-158.
- Cooper, A. J., 1979. *The ABC of NFT*. Grower Books, London.
- Cooper A. J., 1988. *The ABC of NFT*. Grower Books, London.
- Cooper, A. J., 1996. *The ABC of NFT*. Casper Publications, NSW, Australia.

- D' Angelo G., and Titone P., 1988. Determination of the water and air capacity of 25 substrates employed for the cultivation of *Dieffenbachia amoena* and *Euphorbia pulcherrima*. *Acta Hort.*, 221:175-182.
- da Silva F. F., 1991. Static and dynamic characterization of container media for irrigation management. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture. The Hebrew University of Jerusalem (in English).
- Davies J. M. L. 1981. Alternative wilt controls. *Grower*, Jan. 15:19-21.
- De Korne, J. B. 1992-1993. An orchard of lettuce trees. Vertical NFT system. *The Growing Edge* 4(2):52-55.
- De Kreijl, C., W Voogt and R. Baas., 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Brochure 196. Research station for floriculture and glasshouse vegetables. Naaldwijk, The Netherlands.
- Evans M. R., Konduru S., Stamps R. H., 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortSci.*, 965-967.
- Gerhard H. A. and Gerhard R. C., 1992. Commercial vegetable production in a perlite system, Hydroponics society of America.
- Gericke, W. F., 1937. Hydroponics crop production in liquid culture media. *Science*, 85:177-178.
- Gislerod, H. R., and P. Adams, 1983. Diurnal variations in the oxygen content and acid requirement of recirculating nutrient solutions and in the uptake of water and potassium by cucumber and tomato plants. *Sci. Hort.*, 21: 311 – 321.
- Gislerod, H. R., and R. J., Kempton, 1983. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. *Sci. Hort.*, 20: 524 – 526.

- Given P. H., and Dickinson C. H., 1975. Biochemistry and microbiology of peats. Soil Biochemistry. Marcel Dekker Inc., N.Y., USA: pp.123-212.
- Goto E., A. J. Both, L. D. Albright, R. W. Langhans, and A. R. Leed, 1996. Effect of dissolved oxygen concentrations on lettuce growth in floating hydroponics. Acta. Hort., 440: 205 – 210.
- Gul A., Tuzel H. I., Tuncay O., Eltez R. Z., Zencirlikiran E., 1999. Soilless culture of cucumber in glasshouses: I. A comparison of open and closed systems on growth, yield and quality. Acta Hort., 486:389-393.
- Hanan J. J., 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected cultivation. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.
- Hao X., and Papadopoulos A. P. 2002. Growth, photosynthesis and productivity of greenhouse tomato cultivated in open or closed rockwool systems. Agriculture and Agri-Food Canada, Greenhouse and Processing Crops Research Centre, Harrow, Ontario, Canada N0R 1G0.
- Harris, D., 1988. Hydroponics: The Complete Guide to Gardening Without Soil. A Practical Handbook for Beginners, Hobbyist and Commercial Growers, for Beginners, Hobbyist and Commercial Growers, New Holland Publishers, London.
- Heiskanen J., 1993. Variation in water retention characteristics of peat growth media used in tree nurseries. Silva Fennica, 27:77-97.
- Herbold J., 1995. Bodenunabhängige Kulturverfahren in Gemusebau. Ulmer – Verlag, Stuttgart.
- Heuvelink E., 1995. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. Scientia Horticulturae 61 (1995) 77-99.
- Hewitt, E. J., 1966. Sand and Water Culture Methods in study of plant nutrition, Technical communication No. 22 (revised), Commonwealth

- agriculture Bureau of horticulture and plantation crops, East Malling, Maidstone, Kent, England.
- Ho, L. C., D. J. Hand., and M. Fussell, 1999. Improvement of tomato fruit quality by calcium nutrition. *Acta Hort.*, 463 – 473.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I., 1950. The water culture method for growing plants without soil, Circular 347, California agricultural experiment station, University of California, Berkeley, CA.
- Hurd R.G., Adams P., Massey D.M. and Price, D. (Eds), 1980. Symposium on research on recirculating water culture, *Acta Horticulture* No. 98. The Hague, The Netherlands.
- Issa M., Ouzounidou G., Maloupa E., and Konstantinidou E., 2000. Seasonal and diurnal photosynthetic responses of two gerberas varieties to different substrate and heating system. *Sci. Hort.*
- Jackson M. B., 1980. Aeration in the Nutrient Film Technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide. *Acta Hort.* 98:61-78.
- Jacobson, L., 1951. Maintenance of iron supply in nutrient solutions by a single addition in potassium ethylenediamine tetra-acetate. *Plant Physiol*, 26:241.
- Jaenicke H., 1999. Good tree nursery practices, Practical guidelines for research nurseries. International center for research in agroforestry (ICRAF). Nairobi, Kenya, pp. 30, 36.
- Jensen M. H. and Collins W. L., 1985. Hydroponic Vegetable Production. *Horticultural reviews*, vol 7: pp 483-558.
- Jones J. B., Jr., 1982. Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies. *J. Plant Nutr.* 5:1003-1030.
- Jones J. B., Jr., 2000. Hydroponics: A practical guide for the soilless grower. Copyright: CRC Press. LLC. Boca Raton, Florida, pp:9-10, 89, 92-93.

- Kipp J. A., Wever G., and de Kreij C., 2000. International substrate manual. Elsevier, The Netherlands.
- Kitchener H. M., 1981. Rockwool promise for wilt control. *Grower*, Jan 15:17-18.
- Kouki K., 1999. Protected cultivation in Tunisia. Soiless culture: Prospects and challenges. In: Regional working group greenhouse crop production in the Mediterranean region. Proc. 1th Meeting FAO Thematic Working Group Soiless Culture. Technical Publication No 3. Halkidiki, Greece, 2 September 1999:pp. 83-97.
- Lemaire F., Riviere L. M., Stievenard S., Marfa M., Geschwander S., Giuffrida F., 1998. Consequences of organic matter biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. *Acta Hort.* 469:129-138.
- Lieth J. H., 1996. Irrigation systems In Reed, D. W (ed) *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA.
- Lucas R. E., Riecke P. E., Farnham R. S., 1971. Peats and soil improvement and soil mixes. *Coop. Ext. Ser. Bull. No E-516*.
- McPherson G. M., Harriman M. R., Pattisson D., 1995. The potential for spread of root diseases in recirculating hydroponis systems and their control with disinfection. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.* 60/2b:371-379.
- Maher M. J., 1977. The use of hydroponics for the production of greenhouse tomatoes in Ireland. *Proceedings of the 4th Annual Conference of Hydroponics, Hydroponic Society of America, Las Palmas, 1976*, pp. 161-169.
- Maloupa E., 2002. Hydroponic Systems. In: *Hydroponic production of vegetables and ornamentals (Savvas, D. and Passam H., 2002.)*. Embryo public. Athens. Greece.

- Massey D. M., Adams P., Winsor G. W. 1980. Some responses of tomatoes to nitrogen in recirculating solutions. *Acta Hort.*, 98: 127-137.
- Massey D. M., and Winsor G. W., 1986. Five years work on NFT. *Grower*, 105, BGLA Supplement, 23 January 1986: pp 90, 93-94 and 97-99.
- Mbah B. N., and Odili P. N., 1998. Changes in moisture retention properties of five waste materials during short-term mesophilic composting. *Compost Sci. Utilization*, 6:67-73.
- Michel J. C., and Riviere L. M., 1999. La muillabilite des substrats organiques. *PHM-Revue-Horticole*, 406:72-74, 76.
- Miller J. H., Jones N., 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedling nurseries. World Bank Technical paper, No. 264, Washington DC, USA.
- Morard, P., Silvester, J., 1996. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review. *Plant Soil* 184, 243–254.
- Morard, P., Lacoste, L., Silvestre, J., 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. *J. Plant Nutr.* 23, 1063–1078.
- Morgan L., 2000. Are plants suffocating? *Practical hydroponics & Greenhouses*, May/ June 2000:50-64.
- Morgan L., 2003. Hydroponic Substrates, *The Growing Edge*. 15(2):54-66.
- Nichols M., 2002. Aeroponics: production systems and research tools, *The Growing Edge* 13(5):30-35.

- Nielson K. F., 1974. Roots and root temperature, pp. 253-333, in E.W Carlson., *The Plant root and its environment*, University press of Virginia, Charlottesville, VA.
- Olympios M. C., 1996. Overview of Soilless Culture: Advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. *Cahiers options Mediterranees*, vol 31:pp307-324.
- Papadopoulos P. A., 1994. Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media. *Agriculture and Agri-Food Canada Publications*, pp 8, 101-102, 114, 119.
- Perfect T., 1959. *The practice of gardening*. Baldwin, London.
- Postma J., M.J.E.I.M Willemsen- de Klein, van Elsas J. D., 2000. Effect of the indigenous microflora on the development of root and crown rot caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown in rockwool. *Phytopathology*, 90:125-133.
- Prasad M., 1997. Woodwaste composts as growing media for vegetables under protection. *Acta Hort.* 450:21-29.
- Pudelski T., 1985. Woodwaste composts as growing media for vegetables under protection. *Acta Hort.*, 172:67-74.
- Puustjarvi V., 1977. *Peat and its use in Horticulture*. Turveteollisuusliitto Ry, Publ. 3, Helsinki.
- Rattink W. Th., 1983. Spread and control of plant pathogens in drainwater from soilless cultures. In: *Proc 7th Internat. Congres. Soiless culture*. ISOSC Wageningen, The Netherlands: pp 429-443.
- Raviv M., Wallach R., Silber A. and Bar-Tal A., 2002. Substrates and their analysis. In: *Hydroponic production of vegetables and ornamentals* (Savvas, D. and Passam H., 2002.). Embryo public. Athens. Greece.
- Resh H. M., 1997. *Hydroponic food productios*. Woolbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California.

- Riviere L. M., and Milhau C., 1984. The use of wood waste composts in the making of substrates for container crops. *Acta Hort.*, 150:475-489.
- Robinson D. W., and Lamb J. G. D., 1975. *Peat in Horticulture*. Academic Press, London, UK.
- Rosen, C. J. And Carlson, R. M., 1984. Influence of root zone oxygen stress on potassium and ammonium adsorption by Myrobalan plum rootstock. *Plant. Soil*, 80:345-353.
- Ryall D., 1993. Growing greenhouse vegetables in a recirculating rockwool system. Proceedings of the 14th Annual Conference of Hydroponics, Hydroponic Society of America, Portland, Oregon, April 8-11, pp. 33-39.
- Sahin Ustan., Anapali Omer and Ercisli Sezai., 2002. Physico-Chemical and Physical properties of some Substrates used in horticulture, *Gartenbauwissenschaft*, vol 67(2):pp 55-60.
- Savvas, D. and Passam H., 2002. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo public. Athens. Greece.
- Schnitzler W. and Gruda N., 2002. Hydroponics and Production quality. In. *Hydroponic production of vegetables and ornamentals* (Savvas, D. and Passam H.). Embryo public. Athens. Greece.
- Schon M., 1992. Tailoring nutrient solution to meet the demands of your plants pp.1-7 in D. Schact (Ed.)), Proceedings of the 13th Annual Conference of Hydroponics, Hydroponic Society of America, San Ramon, CA.
- Schroder F. G., 1992. Plant plane hydroponics, *The Growing Edge* 3(1):52-55.
- Schroder F. G., D. Schwarz and R. Kuchenbuch, 1996. Balance sheets for water, potassium and nitrogen for tomatoes grown in two closed circulated hydroponic systems. *Gartenbauwissenschaft*, 61: 249-255.

- Shinohara Y., Hata T., Maruo T., Hohjo M. and Ito T., 1999. Chemical and physical properties of the coconut-fiber substrate and the growth and productivity of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Acta Horticulturae*, vol 481:pp 145-150.
- Smith D. L., 1987. *Rock wool in Horticulture*, Grower Publications Ltd, London.
- Soffer H., 1988. Research on aero-hydroponics, in *Proceedings of the 9th Annual Conference of Hydroponics*, Hydroponic Society of America, Concord, USA.
- Sonneveld, C., 1989. Rockwool as a substance in protected cultivation, *Crhonic. Hort.* 29(3):33-38.
- Sonneveld, C. and Straver, N., 1994. *Nutrient solutions for vegetables and flowers grown on substrates*. The Netherlands.
- Sonneveld, C. and De Kreij, C., 1999. Response of cucumber to an unequal distribution of salts in the root environment. *Plant and Soil* 209:47-56.
- Spillane M., 2002. Sustainable solutions from new technologies. *The Growing Edge* 14(2):32-39.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of certain desired composition, *Plant and Soil*. 15:134-154.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution, pp. 633-650, in *Proceedings sixth international congress of soilless culture methods*, *Soilless culture* 1(1):7-24.
- Schwarz D., and R. Kuchenbuch, 1998. Water uptake by tomato plants grown in closed hydroponic systems depending on the EC-level. *Acta Hort.*, 458: 323-328.
- Tachibana S., 1988. The influence of withholding oxygen supply to roots by day and night on the blossom end rot of tomatoes in water culture. *ISOSC Wageningen, The Netherlands*: pp 263-277.

- Tesi, R., Lenzi, A., Lombardi, P., 2003. Effect of salinity and oxygen level on lettuce grown in a floating system. *Acta Hort.* 609, 383–387.
- Tuzel Y., and Gul A., 1999. Soilless culture in Turkey. In: Regional working group greenhouse crop production in the Mediterranean Region. Proc. 1th Meeting FAO Thematic Working Group Soilless Culture. Technical Publication No 3. Halkidiki, Greece, 2 September 1999:pp. 98-110.
- Tzortzakis N. G., Economakis C. D., 2008. Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation.
- Valenzano V., Parente A., Serio F. and Santamaria P., 2001. Effect of growing system and cultivar on yield and water-use efficiency of greenhouse-grown tomato. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology* Vol. 83 No: 1
- Van Os, E. A., Nutrient cleaning – The Dutch approach. *Practical hydroponics and Greenhouses*. July/ August 1999:67-70.
- Verdonck O., Vleeschauwer D., De Boodt M., 1981. The influence of the substrates on plant growth. *Acta Hort.* 126:251-158.
- Verdonck O., 1982. Horticultural substrates. International course of vegetable growing. International Agricultural Centre. Wageningen – The Netherlands.
- Verdonck O., Penninck R., De Boodt M., 1983. The physical properties of horticultural substrates. *Acta Hort.* 150:155-160.
- Verhagen J. B., 1997. Particle size distribution to qualify milled peat: a prediction of air content of ultimate mixtures. *Peat in Horticulture* ed. G. Schmilewski, 53-57, International peat society, Jyska, Finland.
- Verwer, F. L., 1976. Growing horticultural crops in rockwool and nutrient film. In: Proc 4th Internat. Congres. Soilless culture. ISOSC Wageningen, The Netherlands: pp 107-119.

- Verwer, F. L., 1978. Research and results with horticultural crops in rockwool and nutrient film. *Acta Hort.*, 82:141-147.
- Verwer, F. L. and Welleman J. J. C., 1980. The possibilities of grodan rockwool in horticulture. In *Proc. 5th Internat. Congres. Soiless culture*. ISOSC Wageningen, The Netherlands: pp 263-277.
- Vestergaard B., 1984. Oxygen supply of roots in hydroponic systems. In: *Proc. 6th Internat. Congres. Soiless culture*. ISOSC Wageningen, The Netherlands: pp 723-738.
- Von Post L., 1937. The geographical survey of Irish bogs. *Irish Nat. J.*, 6:210-227.
- Wever G., van Leeuwen A. A., van der Meer M. C., 1997. Saturation rate and hysteresis of substrates. *Acta Hort.*, 450:287-295.
- Wever G., Baas R., Marques J. C., and Van Aanholt L. J., 2001. Gas concentration measurements in horticultural growing media. *Acta Hort.*, 554:149-156.
- Wilcox G. E., 1991. Nutrient control in hydroponic systems pp. 50-53. In S. Knight (ed.), *Proceedings of the 12th Annual Conference of Hydroponics*, hydroponic Society of America, Concord, CA.
- Winsor G. W., Hurd R. G. and Price D., 1979. *Growers bulletin No. 5: Nutrient Film Technique*. Glasshouse Crops Research Institute, Littlehampton, Great Britain, 48 pp.
- Winsor G. W., Hurd R. G. and Adams P., 1987. *Glasshouse crops, vol 3 in diagnosis of mineral disorders in plants*. H.M.S.O London.
- Wohanka W., 1992. Slow sand filtration and UV radiation; low cost techniques for disinfection of recirculating nutrient solutions or surface water. In: *Proc 8th Internat. Congres. Soiless culture*. ISOSC Wageningen, The Netherlands: pp 497-511.

- Wohanka W., 2002. Nutrient solution disinfection. In: Hydroponic production of vegetables and ornamentals (Savvas, D. and Passam H., 2002.). Embryo public. Athens. Greece.
- Woolbridge J., 1719. *Systema Horti-culturae* or The art of Gardening. Freeman, London, UK.
- Wright R., 1989. Evaluation of propagation mediums though rooting response *Hedera Helix* 'Ivalace'. *Ivy Journal*, 15:28-32.
- Yau P. Y., and Murphy R. J., 2000. Biodegraded cocopeat as a horticultural substrate. *Acta Hort.*, 517:275-278.
- Yoshida, S., M. Kitano, and H. Eguchi, 1997. Water uptake and growth on cucumber plants under control of dissolved oxygen concentrations in hydroponics. *Acta. Hort.* 440: 199 – 204.
- Zaller G. J., 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects of germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*, vol 112: pp 191-199.
- Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ., 2006. Υδροπονικές εγκαταστάσεις. Εκδόσεις: Σταμούλης, Αθήνα, Ελλάδα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



Εικόνα 1. Κατασκευαστική λεπτομέρεια καναλιού συστήματος NDT.



Εικόνα 2. Κατασκευαστική λεπτομέρεια σωλήνων απορροής και στράγγισης.



Εικόνα 3. Φυτά τομάτας σε νεαρό στάδιο.



Εικόνα 4. Ανάπτυξη ριζικού συστήματος στο νέο σύστημα NDT



Εικόνα 5. Σύστημα άρδευσης με σωλήνα και σταλάκτες κατά μήκος του καναλιού.



Εικόνα 6. Καρποφορία της επέμβασης NDT Υψηλής παροχής.



Εικόνα 7. Φυτά σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης στις επεμβάσεις του νέου συστήματος NDT.