

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΦΥΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

7.1. Υδροπονική καλλιέργεια τομάτας

7.1.1. Εισαγωγή

Στην Ελλάδα η τομάτα καταλαμβάνει την πρώτη θέση ανάμεσα σε όλα τα καλλιεργούμενα λαχανικά, τόσο σε έκταση όσο και σε παραγωγή (Σάββας, 2009). Όπως σε όλες σχεδόν τις μεσογειακές χώρες, το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής τομάτας προέρχεται από υπαίθριες καλλιέργειες. Από το σύνολο της έκτασης που καλλιεργείται στην Ελλάδα για παραγωγή νωπών καρπών τομάτας, εκτιμάται ότι το 8-10% περίπου αντιστοιχεί σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες (Σάββας, 2009). Η υδροπονική καλλιέργεια της τομάτας εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία σε πολλές χώρες, ενώ σε ορισμένες χώρες όπως η Ολλανδία αποτελεί σχεδόν την αποκλειστική μέθοδο καλλιέργειας του φυτού αυτού ήδη από την δεκαετία του 1990 (De Kreij, 1995). Στην Ελλάδα, η εκτός εδάφους καλλιέργεια της τομάτας προς το παρόν καταλαμβάνει ένα σχετικά μικρό μέρος της συνολικής έκτασης των θερμοκηπίων με τομάτα. Τα τελευταία χρόνια όμως, παρατηρείται μία συνεχής τάση διεύρυνσης των εκτάσεων με εκτός εδάφους καλλιέργειες τομάτας. Η τάση αυτή οφείλεται αφενός στην απαγόρευση της χρήσης βρωμιούχου μεθυλίου για απολύμανση του εδάφους και αφετέρου στην γενικότερη ανάγκη βελτίωσης του τεχνολογικού επιπέδου των θερμοκηπιακών μονάδων. Στην πράξη, ο βασικός παράγοντας που περιορίζει στην Ελλάδα τον ρυθμό εξάπλωσης των καλλιεργειών τομάτας υπό κάλυψη είναι η έλλειψη τεχνογνωσίας και η ανεπαρκής πληροφόρηση μεταξύ των αγροτών.

7.1.2. Συστήματα καλλιέργειας

Τα συστήματα καλλιέργειας της τομάτας εκτός εδάφους που εφαρμόζονται σε μικρότερη ή μεγαλύτερη έκταση σε παραγωγικά θερμοκήπια είναι τα εξής: α) καλλιέργεια σε πλάκες υποστρώματος σταθερού σχήματος (π.χ. πετροβάμβακας) συσκευασμένες σε σάκους, β) καλλιέργεια σε πλάκες υποστρώματος σταθερού σχήματος τοποθετημένες σε κανάλια ή άλλα

επιμήκη φυτοδοχεία, γ) καλλιέργεια σε σάκους γεμισμένους με κοκκώδη υποστρώματα (π.χ. περλίτης, κόκκος), δ) καλλιέργεια σε κανάλια ή άλλα επιμήκη φυτοδοχεία γεμισμένα με κοκκώδη υποστρώματα, ε) καλλιέργεια σε ατομικά φυτοδοχεία για κάθε φυτό (π.χ. γλάστρες) γεμισμένα με κοκκώδη υποστρώματα, ε) καλλιέργεια σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (DFT, NFT). Συνήθως η εκτός εδάφους καλλιέργεια της τομάτας πραγματοποιείται σε υποστρώματα. Τα πλέον συχνά χρησιμοποιούμενα υποστρώματα καλλιέργειας της τομάτας στην Ελλάδα είναι ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο κόκος (Σάββας, 2007). Η καλλιέργεια της τομάτας σε συστήματα αεροπονίας ή επίπλευσης, αν και πειραματικά έχει αποδειχθεί εφικτή (Leonì et al., 1994), στην πράξη δεν εφαρμόζεται γιατί παρουσιάζει υψηλό κίνδυνο αποτυχίας λόγω του μεγέθους και του βάρους των φυτών.

Από τα υποστρώματα που αναφέρονται παραπάνω, το πλέον διαδεδομένο για καλλιέργεια τομάτας είναι ο πετροβάμβακας. Οι πλάκες πετροβάμβακα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες τομάτας έχουν διαστάσεις $7,5 \times 15 \times 100$ cm. Οι σπόροι κατά κανόνα σπέρνονται σε κύβους πετροβάμβακα διαστάσεων $6 \times 7,5 \times 7,5$ cm. Μεγαλύτεροι κύβοι πετροβάμβακα ($6,5 \times 7 \times 10$ cm) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σποροφύτων τομάτας σε περίπτωση που για λόγους εξοικονόμησης καυσίμων τα φυτά προβλέπεται να μείνουν για πολύ καιρό στο σπορείο. Ορισμένοι παραγωγοί, αντί να αγοράζουν έτοιμους κύβους που κοστίζουν αρκετά ακριβά, προτιμούν να προμηθεύονται συνηθισμένες πλάκες καλλιέργειας διαστάσεων $7,5 \times 15 \times 100$ cm και να τις χωρίζουν σε κύβους διαστάσεων $6 \times 7,5 \times 7,5$ cm, αφού πρώτα τις έχουν διαβρέξει με θρεπτικό διάλυμα. Ο τεμαχισμός μίας πλάκας πετροβάμβακα με τις διαστάσεις που προαναφέρθηκαν δίνει συνολικά 34 κύβους.

Πριν τη σπορά, οι κύβοι ποτίζονται με θρεπτικό διάλυμα. Αμέσως μετά την σπορά, οι κύβοι τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλον και παραμένουν στο σπορείο ή σε ειδικό χώρο προβλάστησης, σε θερμοκρασία $23-25$ °C μέχρι να φυτρώσουν οι σπόροι. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, το φύτρωμα των σπόρων αναμένεται να ολοκληρωθεί μέσα σε 5-6 ημέρες. Μέχρι να φυτρώσουν οι σπόροι, οι κύβοι ποτίζονται τακτικά αλλά με πολύ μικρές ποσότητες θρεπτικού διαλύματος κάθε φορά. Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην χορηγούνται μεγάλες ποσότητες θρεπτικού διαλύματος στους κύβους γιατί η υπερβολική υγρασία στην περιοχή που βρίσκεται ο σπόρος είναι εξίσου βλαπτική για το φύτρωμα όσο και η ανεπάρκειά της. Η καλύτερη τακτική είναι η διατήρηση της υγρασίας των κύβων στην περιοχή που βρίσκεται ο σπόρος σε υψηλά επίπεδα αλλά όχι σε κατάσταση κορεσμού. Μετά το φύτρωμα η

θερμοκρασία στο χώρο που βρίσκονται οι κύβοι μειώνεται στους 18-21 °C την ημέρα και 16-18 °C την νύχτα. Η λίπανση και το πότισμα των σποροφύτων συνεχίζεται καθημερινά με χορήγηση θρεπτικού διαλύματος. Η χορηγούμενη ποσότητα διαλύματος θα πρέπει κάθε φορά να είναι τόση, ώστε η υγρασία των κύβων να διατηρείται στα ίδια ή σε ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα με εκείνα που επικρατούσαν και κατά την διάρκεια του φυτρώματος.

Μόλις αρχίσουν να εμφανίζονται οι ρίζες των σποροφύτων στην κάτω επιφάνεια των κύβων, έχει φθάσει η ώρα της μεταφύτευσης. Συνήθως τα φυτά σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης (Εικόνα 7.1) φέρουν 4-6 πραγματικά φύλλα. Το θερμοκήπιο θα πρέπει να έχει προετοιμαστεί κατάλληλα και να είναι έτοιμο για καλλιέργεια πριν αρχίσει η μεταφύτευση των σποροφύτων. Η μεταφύτευση συνίσταται στην τοποθέτηση των κύβων με τα σπορόφυτα πάνω στον πετροβάμβακα, στα ειδικά ανοίγματα των σάκων που έχουν δημιουργηθεί για τον σκοπό αυτό. Πριν την μεταφύτευση πρέπει να έχει προηγηθεί πότισμα των πλακών του πετροβάμβακα με θρεπτικό διάλυμα κατάλληλης σύστασης μέχρι να τον πλήρη κορεσμό. Μία ημέρα μετά την μεταφύτευση των σποροφύτων, στο κατώτερο μέρος της μίας πλάγιας πλευράς κάθε πλαστικού σάκου ανοίγονται 2-3 κάθετες σχισμές μήκους 3 cm περίπου για αποστράγγιση.

Η απόσταση από φυτό σε φυτό πάνω σε κάθε γραμμή φύτευσης μπορεί να ανέρχεται σε 50, 33 ή 25 cm, ανάλογα με τον αριθμό των φυτών που θα τοποθετηθούν πάνω σε κάθε πλάκα πετροβάμβακα μήκους 1 m. Συνήθως τοποθετούνται 2 ή 3 και σπανιότερα 4 κύβοι με ισάριθμα φυτά τομάτας ανά πλάκα πετροβάμβακα. Ο αριθμός των φυτών ανά πλάκα καθορίζει τον τρόπο υποστύλωσης που θα ακολουθηθεί. Όταν φυτεύονται 2 ή 3 φυτά ανά υπόστρωμα (Εικόνα 4.12), ακολουθείται το κλασσικό σύστημα με ένα σύρμα υποστύλωσης πάνω από κάθε γραμμή φυτών. Όταν όμως τα φυτά είναι 4 ανά πλάκα υποστρώματος, συνήθως εφαρμόζεται το σύστημα V (Εικόνα 7.2) το οποίο βασίζεται στην ύπαρξη δύο συρμάτων υποστύλωσης πάνω από κάθε γραμμή φύτευσης και την πρόσδεση των φυτών εναλλάξ ένα στο δεξί και ένα στο αριστερό σύρμα. Οι αποστάσεις φύτευσης που αναφέρθηκαν παραπάνω δίνουν μία πυκνότητα 2.500-3.600 φυτών ανά στρέμμα.

Όπως αναφέρεται παραπάνω, στην Ελλάδα η τομάτα δεν καλλιεργείται μόνο σε πετροβάμβακα αλλά και σε αδρανή υποστρώματα εγχώριας προέλευσης και ειδικότερα σε ελαφρόπετρα και περλίτη, τα οποία έχουν επιδείξει πολύ καλή καλλιεργητική συμπεριφορά (Οικονομάκης, 1995). Τα τελευταία χρόνια, ορισμένοι παραγωγοί έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν και τον κόκο ως υπόστρωμα καλλιέργειας της τομάτας με ικανοποιητικά

αποτελέσματα. Στην περίπτωση που η τομάτα καλλιεργείται σε κοκκώδη υποστρώματα τα οποία είναι τοποθετημένα μέσα σε σάκους (Εικόνες 3.19 & 3.31), σε κανάλια (Εικόνα 4.19), ή σε άλλα φυτοδοχεία (Εικόνες 3.29 & 4.15), οι αποστάσεις φύτευσης και η διαδικασία εγκατάστασης της καλλιέργειας είναι σε γενικές γραμμές παρόμοιες με αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω για την καλλιέργεια σε πλάκες πετροβάμβακα. Η μόνη σοβαρή διαφορά εντοπίζεται στον τρόπο προετοιμασίας των σποροφύτων τα οποία συνήθως δεν σπέρνονται σε κύβους πετροβάμβακα αλλά σε μείγματα υποστρωμάτων αποτελούμενα από τύρφη και περλίτη ή σε ανάλογα συνθετικά μείγματα σποράς κηπευτικών. Στην περίπτωση αυτή, η παραγωγή σποροφύτων γίνεται με τον ίδιο τρόπο που ακολουθείται όταν αυτά προορίζονται για καλλιέργειες στο έδαφος του θερμοκηπίου. Κατά τα λοιπά ισχύουν οι γενικότερες πληροφορίες που παρατίθενται στην Ενότητα 4.3.2.

Πειραματικά η τομάτα έχει καλλιεργηθεί με επιτυχία σε βαθύ ρεύμα θρεπτικού διαλύματος (Zeroni et al., 1983). Σε παραγωγικά θερμοκήπια όμως, αυτή η μέθοδος υδροκαλλιέργειας της τομάτας έχει βρει ελάχιστη εφαρμογή. Αντίθετα, η καλλιέργεια της τομάτας σε αβαθές ρεύμα ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος (NFT) έχει εφαρμοστεί με επιτυχία όχι μόνο σε πειραματικό επίπεδο αλλά και στην καλλιεργητική πράξη, τόσο στο εξωτερικό και ιδιαίτερα στην Αγγλία (Graves, 1983) όσο και στην Ελλάδα (Οικονομάκης, 2007). Μολονότι η καλλιέργεια της τομάτας σε σύστημα NFT απαλλάσσει τον παραγωγό από το πολύ σημαντικό κόστος της αγοράς υποστρώματος, μέχρι σήμερα δεν κατόρθωσε να εδραιωθεί στην καλλιεργητική πράξη διεθνώς και σήμερα εφαρμόζεται μόνο σε μικρή σχετικά έκταση. Ένας παράγοντας που περιορίζει την εφαρμογή του συστήματος NFT στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες τομάτας είναι το αναιμικό ενδιαφέρον από τις εμπορικές εταιρείες του κλάδου να το υποστηρίξουν τεχνικά. Ο βασικός όμως λόγος για την περιορισμένη χρήση του NFT για καλλιέργεια τομάτας είναι το υψηλό ρίσκο που συνεπάγεται η απουσία ενός μέσου συγκράτησης αποθεμάτων νερού και θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά (Van Os et al., 2002). Προφανώς, στην περίπτωση της καλλιέργειας φυτών μεγάλου μεγέθους, όπως η τομάτα, το μειονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σοβαρό. Προβλήματα στις καλλιέργειες τομάτας σε NFT προκαλεί επίσης και η πολύμηνη διάρκειά τους (παραμονή στο θερμοκήπιο για 5 έως 10 μήνες συνήθως). Το βασικό πρόβλημα που προκαλεί η μεγάλη διάρκεια της καλλιέργειας είναι η ανάπτυξη υπερβολικά εκτεταμένης ριζικής βιομάζας από κάποιο χρονικό σημείο και μετά η οποία δεν επιτρέπει την ροή του θρεπτικού διαλύματος με τη μορφή ενός αβαθούς ρεύματος. Το αποτέλεσμα είναι να

λιμνάζει το θρεπτικό διάλυμα μέσα στα κανάλια με τελική συνέπεια να μειώνεται δραστικά η διαθεσιμότητα οξυγόνου για τις ρίζες από κάποια ηλικία των φυτών και μετά. Ένα επιπλέον πρόβλημα που προκαλεί η μεγάλη διάρκεια της καλλιέργειας είναι η απελευθέρωση διαλυτών οργανικών ουσιών στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα από κάποιο χρονικό σημείο και μετά, λόγω της φυσιολογικής γήρανσης και αποσύνθεσης των ριζών μεγαλύτερης ηλικίας. Κάποιες από αυτές τις οργανικές ουσίες (π.χ. φαινόλες) φαίνεται ότι έχουν ανασταλτική δράση στην ανάπτυξη των φυτών όταν η συγκέντρωσή τους υπερβεί κάποια όρια (Sundin et al., 1997). Συνεπώς, η συνεχής ανακύκλωση ενός σχετικά μικρού όγκου θρεπτικού διαλύματος για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση τέτοιων οργανικών ουσιών σε τοξικά επίπεδα για τα φυτά. Γι' αυτό το λόγο, στις καλλιέργειες τομάτας σε NFT, το ανακυκλούμενο διάλυμα θα πρέπει να απορρίπτεται και να αντικαθίσταται τακτικά με νέο διάλυμα ιδιαίτερα από τον 4^ο μήνα της καλλιέργειας και μετά. Η πρακτική αυτή συμβάλλει και στην καλύτερη θρέψη της καλλιέργειας, δεδομένου ότι τα πλήρως ανεπτυγμένα φυτά τομάτας παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων με συνέπεια να επιταχύνουν την εμφάνιση ανισορροπιών στην σύσταση του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος.

7.1.3. Λίπανση και θρέψη της καλλιέργειας

Η τομάτα θερμοκηπίου είναι ένα ταχύτατα αναπτυσσόμενο φυτό το οποίο παράγει μεγάλο αριθμό καρπών με συνεκτική σάρκα και επομένως έχει αυξημένες θρεπτικές ανάγκες σε σύγκριση με τα περισσότερα άλλα φυτά θερμοκηπίου (Chapagain and Wiesman, 2004). Συνεπώς, ανάλογα αυξημένες πρέπει να είναι και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται στην τομάτα. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που χορηγείται στις καλλιέργειες τομάτας πρέπει να εξειδικεύεται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και την ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του. Στον Πίνακα 7.1 παρατίθενται επιθυμητές τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), επιθυμητές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, καθώς και αμοιβαίες αναλογίες μεταξύ των θρεπτικών μακροϊόντων K, Ca, Mg, NH₄-N και NO₃-N στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας για εκτός εδάφους καλλιέργειες τομάτας. Οι τιμές ισχύουν τόσο για τα ανοιχτά όσο και για τα κλειστά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους και εξειδικεύονται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Επιπλέον, στον Πίνακα 7.2 παρατίθενται οι μέσες αναμενόμενες συγκεντρώσεις απορρόφησης (mmol L⁻¹) θρεπτικών

στοιχείων σε καλλιέργειες τομάτας εκτός εδάφους σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών, καθώς και οι τιμές EC και οι αναλογίες μεταξύ των μακροστοιχείων που αντιστοιχούν στις συγκεκριμένες συγκεντρώσεις. Οι μέσες συγκεντρώσεις απορρόφησης του Πίνακα 7.2 χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων σε καλλιέργειες τομάτας στις οποίες το διάλυμα απορροής ανακυκλώνεται (βλέπε Παράγραφο 5.3.2.3). Τέλος, στον Πίνακα 7.3 παρατίθενται οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος οι οποίες είναι αναγκαίες για τον έλεγχο της θρεπτικής κατάστασης της καλλιέργειας (βλέπε Παράγραφο 5.3.3.2). Οι συστάσεις που παρατίθενται στους Πίνακες 7.1, 7.2 και 7.3 βασίζονται σε βιβλιογραφικά δεδομένα τα οποία εκτίθενται αναλυτικά παρακάτω, καθώς και σε επίσημες συστάσεις Ολλανδών Ερευνητών (Sonneveld and Straver, 1994, De Kreij et al., 1999) οι οποίες έχουν τροποποιηθεί με βάση πρόσφατα ερευνητικά δεδομένα από πειράματα που έχουν διεξαχθεί στην Ελλάδα (Akl et al., 2003, Ντάτση κ.ά., 2007, Λυκοκανέλλος κ.ά., 2009), ώστε να είναι κατάλληλες για τις Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες.

Η διαφοροποίηση της σύστασης των θρεπτικών διαλυμάτων ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών στους Πίνακες 7.1, 7.2 και 7.3 οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι αναλογίες συγκεντρώσεων μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων στα βλαστικά μέρη του φυτού (κυρίως στα φύλλα) διαφέρουν σημαντικά σε σύγκριση με αυτές που υφίστανται στους καρπούς. Ενώ στην αρχή η τομάτα σχηματίζει μόνο φύλλα, μετά την έναρξη της καρπόδεσης το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης φυτικής μάζας το συνιστούν προοδευτικά οι καρποί. Συνεπώς, οι αναλογίες απορρόφησης μεταβάλλονται σημαντικά όταν το φυτό περνά από την βλαστική στην αναπαραγωγική φάση ανάπτυξης. Στην περίπτωση του N και του K αυτό μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητό χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα σχετικά δεδομένα των Bar-Tal et al. (1995). Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά, οι συγκεντρώσεις N και K στα φύλλα της τομάτας ανέρχονται περίπου σε 30 και 38 mg g⁻¹ ή 2 και 1 mmol g⁻¹ ξηρού βάρους αντίστοιχα, και συνεπώς η αναλογία μεταξύ τους ανέρχεται σε 0,75 κατά βάρος ή 2 σε γραμμομοριακή βάση. Οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στους καρπούς της τομάτας από τους ίδιους ερευνητές ανέρχονται σε 22 και 40 mg g⁻¹ ή 1,5 και 1 mmol g⁻¹ ξηρού βάρους και επομένως η αναλογία N:K στους καρπούς κυμαίνεται γύρω στο 0,5 κατά βάρος ή 1,5 σε γραμμομοριακή βάση. Συνεπώς, εφόσον η αναλογία N:K στους καρπούς είναι μειωμένη σε σύγκριση με τα φύλλα, αντίστοιχα μειωμένα θα πρέπει να είναι αυτή και στο θρεπτικό διάλυμα, όταν τα φυτά μεταπηδούν από το βλαστικό στο αναπαραγωγικό στάδιο. Αυτό έχει διαπιστωθεί και

πειραματικά από τον Adams and Massey (1984), οι οποίοι υπολόγισαν ότι κατά το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης της τομάτας η αναλογία απορρόφησης μεταξύ N και K (N:K) ανερχόταν σε 0,86 και 0,81 τον Φεβρουάριο και τον Αύγουστο (2,40 και 2,25 σε γραμμομοριακή βάση) αλλά μειώθηκε σε 0,4-0,5 (1,1-1,4 σε γραμμομοριακή βάση) κατά την φάση της παραγωγής καρπών. Γι' αυτό τον λόγο η αναλογία N:K στον Πίνακα 7.1 είναι υψηλή στο βλαστικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών (μέχρι να αρχίσουν να μεγεθύνονται οι πρώτοι καρποί) ενώ στη συνέχεια μειώνεται.

Η αυξημένη συγκέντρωση K στο θρεπτικό διάλυμα κατά το στάδιο της καρποφορίας είναι πολύ σημαντική για την τομάτα όχι μόνο για την επίτευξη υψηλής παραγωγής αλλά και για την βελτίωση της ποιότητας των καρπών. Πραγματικά, έχει αποδειχθεί ότι η χαμηλή συγκέντρωση K στο περιβάλλον της ρίζας αυξάνει την συχνότητα εμφάνισης φυσιολογικών διαταραχών που σχετίζονται με την ωρίμανση και το χρώμα των καρπών, όπως η ανομοιόμορφη ωρίμανση, οι πράσινοι ώμοι, κ.λπ., ενώ μειώνει την οξύτητα του χυμού τους (Adams, 2002, Savvas et al., 2008). Από την άλλη πλευρά όμως, η συγκέντρωση K στο θρεπτικό διάλυμα δεν θα πρέπει να είναι υπερβολικά υψηλή γιατί μπορεί να μειώσει την απορρόφηση Ca με συνέπεια την αυξημένη συχνότητα εμφάνισης καρπών με ξηρή σήψη κορυφής (BER). Σύμφωνα με τους Bar-Tal and Pressman (1996), μία συγκέντρωση K ίση με 10 mmol L⁻¹ στο θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται στην τομάτα αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των καρπών με BER σε σύγκριση με 5 mmol L⁻¹. Οι αναλογίες N:K και οι συγκεντρώσεις K που δίνονται στους Πίνακες 7.1, 7.2 και 7.3 έχουν καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα αναμενόμενα οφέλη όσο και τα παραπάνω αναφερθέντα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει το υπερβολικό K στην τομάτα.

Η διατήρηση σχετικά χαμηλών αναλογιών N:K στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα στο στάδιο της καρποφορίας συμβάλλει θετικά στην ποιότητα των καρπών όχι μόνο επειδή συνεπάγεται σχετικά αυξημένα επίπεδα K αλλά και επειδή αποτρέπει την διαμόρφωση υπερβολικά υψηλών συγκεντρώσεων N στο περιβάλλον των ριζών. Γενικά η υπερβολική παροχή N στην τομάτα καθιστά τους καρπούς της πιο υδαρείς και ευαίσθητους στις ασθένειες, καθυστερεί την ωρίμανσή τους και μειώνει την περιεκτικότητά τους σε βιταμίνη C (Weichmann 1991). Επιπλέον, η υπερλίπανση με N μειώνει την οξύτητα του χυμού και την περιεκτικότητά του σε ολικά διαλυτά στερεά και ιδιαίτερα σε γλυκόζη και φρουκτόζη (Parisi et al., 2006).

Σημαντική επίπτωση παρουσιάζει η έναρξη της φάσης σχηματισμού καρπών τομάτας και στην απορρόφηση ασβεστίου λόγω των μεγάλων διαφορών που παρατηρούνται στη συγκέντρωση Ca μεταξύ καρπών και βλαστικών οργάνων. Γενικά οι καρποί της τομάτας

περιέχουν πολύ λιγότερο Ca από τα φύλλα. Προς επίρρωση αυτού αναφέρονται ενδεικτικά δεδομένα των [Bar-Tal and Pressman \(1996\)](#), οι οποίοι μέτρησαν 40-60 mg g⁻¹ Ca στα φύλλα της τομάτας αλλά μόλις 1-2 mg g⁻¹ Ca στους καρπούς. Γι' αυτό η συγκέντρωση Ca στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται στην τομάτα συνιστάται να μειώνεται μόλις τα φυτά αρχίσουν να σχηματίζουν καρπούς. Από την άλλη πλευρά όμως, η μείωση της συγκέντρωσης Ca στο στάδιο της καρποφορίας δεν θα πρέπει να είναι μεγάλη γιατί υπάρχει κίνδυνος αύξησης της συχνότητας εμφάνισης BER ([Nukaya et al., 1995](#), [Willumsen et al., 1996](#)). Σημαντική όμως για την τομάτα είναι και η συγκέντρωση Mg στο θρεπτικό διάλυμα, η οποία σύμφωνα με τον [Sonneveld \(1987\)](#) θα πρέπει να αντιστοιχεί στο 0,16 τουλάχιστον του συνόλου των μεταλλικών μακροκατιόντων. Σύμφωνα με τους [Adams \(2002\)](#) και [Hao and Papadopoulos \(2003\)](#), η συγκέντρωση Mg στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να υπερβαίνει τα 50 mg L⁻¹ (περίπου 2 mmol L⁻¹) και να προσεγγίζει τα 75 mg L⁻¹ (περίπου 3 mmol L⁻¹). Ειδικά τα εμβολιασμένα φυτά τομάτας έχουν ανάγκη από υψηλές συγκεντρώσεις Mg στο περιβάλλον των ριζών, γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην εμφάνιση τροφопενίας Mg ([Savvas et al., 2011](#)).

Η συγκέντρωση θεικών (SO₄²⁻) και η αναλογία τους με τα νιτρικά ιόντα στο θρεπτικό διάλυμα είναι επίσης σημαντική για την καλλιέργεια της τομάτας εκτός εδάφους. Ο [Steiner \(1966\)](#) διαπίστωσε ότι μία αναλογία NO₃⁻ : SO₄²⁻ ίση με 0,86 οδηγεί σε χαμηλότερη παραγωγή καρπών τομάτας σε σύγκριση με αναλογίες μεταξύ 0,67 και 0,36. Η επίδραση των ιόντων SO₄²⁻ στην τομάτα δεν φαίνεται όμως να εξαρτάται μόνο από την αναλογία τους ως προς τα νιτρικά, αλλά και από την απόλυτη συγκέντρωσή τους. Πραγματικά, όπως διαπιστώθηκε από τους [Nukaya et al. \(1991\)](#), η διαφοροποίηση της αναλογίας NO₃⁻ : SO₄²⁻ δεν είχε καμία επίδραση στην παραγωγή καρπών τομάτας όταν η ολική συγκέντρωση ιόντων στο θρεπτικό διάλυμα ήταν σταθερή (3,5 dS m⁻¹) και οι συγκεντρώσεις NO₃⁻ και SO₄²⁻ κυμάνθηκαν μεταξύ 6-16 και 5-10 mmol L⁻¹ αντίστοιχα. Γενικά φαίνεται ότι η τομάτα αντιδρά αρνητικά σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις SO₄²⁻ στο διάλυμα ριζοστρώματος, ενώ δεν επηρεάζεται από την αύξηση του SO₄²⁻ στο εύρος τιμών μεταξύ 5 και 20 mmol L⁻¹ ([Lopez et al., 1996](#)). Από πρακτική εμπειρία έχει διαπιστωθεί ότι συγκεντρώσεις SO₄²⁻ **στο διάλυμα τροφοδοσίας** υψηλότερες από 3,40 mmol L⁻¹ περίπου είναι επαρκείς για την διατήρηση ~~του επιπέδου~~ των θεικών σε ψηλότερα επίπεδα από 5 mmol L⁻¹ στο διάλυμα ριζοστρώματος. Συνεπώς, η συγκέντρωση SO₄²⁻ μπορεί να διαφοροποιείται μεταξύ 3,4 και 20 mmol L⁻¹ στα θρεπτικά διαλύματα που προορίζονται για τομάτα όταν απαιτείται ιοντική εξισορρόπηση λόγω μεταβολών των συγκεντρώσεων άλλων

μακροστοιχείων ή όταν επιδιώκεται αύξηση της EC, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ειδικής τοξικότητας S.

Όσον αφορά τον φώσφορο, η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές που παρατίθενται στον Πίνακα 7.1 γιατί υψηλά επίπεδα P στην περιοχή των ριζών μειώνουν την απορρόφηση Mn (Adams, 2002), Zn (Burleson et al., 1961) και B (Adams, 1986). Επιπλέον, υψηλές συγκεντρώσεις P στο περιβάλλον των ριζών μπορούν να οδηγήσουν στην δέσμευση σημαντικών ποσοτήτων Ca και Mg λόγω σχηματισμού ιζημάτων (De Rijck and Schrevens 1998). Από την άλλη πλευρά όμως, η συγκέντρωση P στο περιβάλλον των ριζών της τομάτας δεν θα πρέπει να πέφτει κάτω από 1 mmol L^{-1} (Πίνακας 7.3), γιατί η ανεπάρκεια P μπορεί να μειώσει τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα της γύρης της τομάτας, με συνέπεια να ελαττώνεται η καρπόδεση και συνεπώς και η συνολική παραγωγή (Poulton et al., 2001). Τέλος, Όσον αφορά τον P, πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η απορρόφησή του από τα φυτά περιορίζεται δραστικά όταν η θερμοκρασία στο περιβάλλον της ρίζας είναι χαμηλότερη από 14°C (Lingle and Davis 1959). Συνεπώς, για να διασφαλίζεται η θρέψη των φυτών με P κατά την ψυχρή εποχή του έτους, το θρεπτικό διάλυμα στο περιβάλλον της ρίζας δεν αρκεί μόνο να έχει επαρκή συγκέντρωση P αλλά και επαρκή θερμοκρασία ($> 14^{\circ}\text{C}$). Τέλος, πρέπει να τονιστεί αξίζει να αναφερθεί ότι η συγκέντρωση του φωσφόρου στο περιβάλλον των ριζών δεν επηρεάζει την ποιότητα των καρπών της τομάτας και ειδικότερα τον χρωματισμό τους, την περιεκτικότητά τους σε διαλυτά σάκχαρα και την οξύτητα του χυμού τους, εφόσον δεν φθάνει σε επίπεδα τροφопενίας ή τοξικότητας (Oke et al., 2005).

Οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων που παρατίθενται στους Πίνακες 7.1, 7.2 και 7.3 είναι κατάλληλες για αδρανή υποστρώματα όπως ο πετροβάμβακας και η ελαφρόπετρα. Βασίζονται κυρίως σε Ολλανδικά δεδομένα (Sonneveld and Straver, 1994) αλλά έχουν υποστεί μικρές τροποποιήσεις για να ταιριάζουν καλύτερα στους αυξημένους ρυθμούς διαπνοής που παρατηρούνται στις συνθήκες του Μεσογειακού κλίματος. Γενικά η τομάτα δεν παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στις διακυμάνσεις των επιπέδων Mn στο περιβάλλον των ριζών (Savvas et al., 2009a) και το ίδιο φαίνεται να ισχύει και με τα Fe, Zn, Cu και Mo. Σύμφωνα με τον Adams (2002), συγκεντρώσεις Fe μέχρι 15 mg L^{-1} (περίπου $300 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$) δεν είχαν κάποια δυσμενή επίδραση στην τομάτα, ενώ σαφείς τοξικότητες Zn και Cu παρουσιάστηκαν μόνο όταν οι συγκεντρώσεις τους έφτασαν τα 25 mg L^{-1} . Από άλλα πειράματα όμως προέκυψε ότι η εμφάνιση τοξικότητας χαλκού στην τομάτα είναι πιθανή σε συγκεντρώσεις Cu μεγαλύτερες από 5 mg L^{-1} .

(περίπου $80 \mu\text{mol L}^{-1}$) στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα (Liao et al., 2000). Οι μεγάλες διαφορές στα επίπεδα των συγκεντρώσεων τα οποία προκάλεσαν τοξικότητα Cu στην τομάτα οφείλονται πιθανότητα σε ανομοιοότητες στις συνθήκες καλλιέργειας. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν ότι για να είναι ασφαλής η καλλιέργεια της τομάτας σε κάθε περίπτωση, οι συγκεντρώσεις του Cu αλλά και των άλλων μεταλλικών ιχνοστοιχείων είναι σκόπιμο να μην υπερβαίνουν σημαντικά τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 7.3. Ταυτόχρονα, όμως δείχνουν ότι οι τιμές του Πίνακα 7.3, όσον αφορά τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, απεικονίζουν απλώς μία ιδανική κατάσταση, ενώ ακόμη και μία σημαντική υπέρβασή τους δεν συνδέεται οπωσδήποτε με την εμφάνιση τοξικότητας. Αντίθετα με τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, το επιθυμητό εύρος του B στο περιβάλλον των ριζών της τομάτας είναι στενό, αφού ακόμη και μία συγκέντρωση B ίση με 1 mg L^{-1} (περίπου $90 \mu\text{mol L}^{-1}$) μπορεί να προκαλέσει τοξικότητα (Massey et al., 1986), ενώ συγκεντρώσεις B κάτω από $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ (περίπου $10 \mu\text{mol L}^{-1}$) συνδέονται με μείωση της παραγωγής (Adams, 2002). Η τοξικότητα B προκαλεί κυρίως χλωρώσεις και νεκρώσεις τμημάτων των φύλλων, ενώ η τροφοπενία καθιστά τα φύλλα τραχιά και εύθραυστα με ωχρό πράσινο χρώμα (Smit and Combrink, 2004). Επιπλέον, χαμηλά επίπεδα B στο περιβάλλον της ρίζας οδηγούν σε μειωμένη καρπόδεση και απόπτωση μεγάλου μέρους των ανθέων, καθώς και στον σχηματισμό καρπών με ωχρό και θαμπό χρωματισμό, μειωμένη συνεκτικότητα και μειωμένη ικανότητα μετασυλλεκτικής συντήρησης (Smit and Combrink, 2004 & 2005). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η επαρκής τροφοδότηση της τομάτας με B συμβάλλει θετικά και στην απορρόφηση του K, αλλά σε μικρότερο βαθμό και του Ca (Davis et al., 2003).

Όσον αφορά τις υδροκαλλιέργειες στις οποίες δεν υπάρχει στερεό υπόστρωμα, ο Adams (2002) συνιστά αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe, Mn, Zn και Cu στο θρεπτικό διάλυμα από αυτές που δίνονται στους Πίνακες 7.1 και 7.2. Στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες όμως, οι συγκεντρώσεις που παρατίθενται στον Πίνακα 7.1 για το περιβάλλον των ριζών (έναρξη καλλιέργειας) και στον Πίνακα 7.2 για το διάλυμα συμπλήρωσης αποδείχθηκαν απολύτως επαρκείς για την θρέψη καλλιεργειών τομάτας σε συστήματα NFT (Savvas et al., 2009a, 2011).

Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης της τομάτας που παρατίθενται στον Πίνακα 7.2 αντιπροσωπεύουν μέσες τιμές με βάση διάφορες βιβλιογραφικές πηγές (Sonneveld, 1995, De Kreij et al., 1999, Adams, 2002, Λυκοκανέλλος κ.ά., 2009, κ.λπ.) και αδημοσίευτα πειραματικά δεδομένα του συγγραφέα. Ισχύουν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρασκευή διαλύματος συμπλήρωσης σε κλειστά συστήματα (βλέπε Παράγραφο 5.3.3.2) υπό την προϋπόθεση ότι οι

αντίστοιχες συγκεντρώσεις στο περιβάλλον των ριζών προσεγγίζουν τις τιμές του Πίνακα 7.3. Αν οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον των ριζών διαφέρουν αρκετά από αυτές του Πίνακα 7.3, τότε οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις απορρόφησης μπορούν να διαφοροποιούνται σημαντικά από αυτές του Πίνακα 7.2, δεδομένου ότι οι τελευταίες αποτελούν συνάρτηση των πρώτων (Sonneveld, 2002). Η επίδραση των συγκεντρώσεων που επικρατούν στο ριζικό περιβάλλον στις συγκεντρώσεις απορρόφησης φαίνεται από σχετικά αποτελέσματα του Sonneveld (1981) τα οποία παρατίθενται στον Πίνακα 5.12. Για το K για παράδειγμα, τα δεδομένα του Πίνακα 5.12 δείχνουν ότι, καθώς η συγκέντρωσή του στο διάλυμα ριζοστρώματος αυξάνεται από 4,8 σε 6,6 και 10,2 mmol L⁻¹, η συγκέντρωση απορρόφησης του ανυψώνεται από 4,6 σε 5,3 και 5,7 mmol L⁻¹ αντίστοιχα.

Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων διαφοροποιούνται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό κάτω από ανόμοιες συνθήκες περιβάλλοντος, οφειλόμενες είτε στην εποχή του έτους είτε στον τόπο καλλιέργειας (Sonneveld, 1995, Adams, 2002). Αυτός ο κανόνας ισχύει και για την τομάτα, η οποία παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων κάτω από συνθήκες χαμηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (Voogt, 1993). Γι' αυτό, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης που παρατίθενται στον Πίνακα 7.2 δεν πρέπει να θεωρούνται καθολικής ισχύος αλλά απλώς ως ενδεικτικές τιμές οι οποίες είναι σκόπιμο να εξειδικεύονται ανάλογα με την εποχή του έτους και το κλίμα της περιοχής στην οποία καλλιεργείται η τομάτα. Δημοσιευμένα δεδομένα σχετικά με τις συγκεντρώσεις απορρόφησης της τομάτας στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες υπάρχουν ελάχιστα. Στο Σχήμα 7.1 δίνονται συγκεντρώσεις απορρόφησης K για την τομάτα με βάση δεδομένα από πειραματική καλλιέργεια των Λυκοκανέλλου κ.ά. (2009) η οποία πραγματοποιήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών την περίοδο από τα μέσα Μαρτίου μέχρι τα τέλη Ιουνίου. Η συγκέντρωση απορρόφησης K που υπολογίσθηκε κυμαίνεται περίπου στα 5 mmol L⁻¹ στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας και ανεβαίνει σταδιακά στα 7-8 mmol L⁻¹ κατά το στάδιο της καρποφορίας. Η απότομη μείωση που παρατηρήθηκε κατά τις τελευταίες ημέρες της καλλιέργειας (Ιούνιος) οφείλεται στις ακραία υψηλές τιμές θερμοκρασίας που επικράτησαν την περίοδο εκείνη οι οποίες οδήγησαν σε αντίστοιχα έντονη αύξηση της διαπνοής όχι όμως και των αναγκών σε K. Επιπλέον, στο Σχήμα 7.2 δίνονται δεδομένα για τις συγκεντρώσεις απορρόφησης Ca²⁺, NO₃⁻ και SO₄²⁻ οι οποίες υπολογίσθηκαν με βάση δεδομένα από μία καλοκαιρινή καλλιέργεια τομάτας στην Άρτα (Ντάτση κ.ά, 2007). Προφανώς, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης Ca²⁺, NO₃⁻ και

SO_4^{2-} που φαίνονται στο Σχήμα 7.2 είναι σαφώς μικρότερες από αυτές που αναμένονται σε χειμερινές καλλιέργειες τομάτας στην Ελλάδα.

Η ολική συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων σε ένα θρεπτικό διάλυμα που προορίζεται για τομάτα είναι επαρκής από άποψη θρέψης όταν αντιστοιχεί σε μία ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) γύρω στο $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Sonneveld, 2000). Η παραπάνω τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας αντιστοιχεί σε ολική συγκέντρωση θρεπτικών ιόντων ίση περίπου με 14 meq L^{-1} . Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας χαμηλότερες από αυτό το όριο υποδηλώνουν ότι η περιεκτικότητα του διαλύματος σε ορισμένα τουλάχιστον θρεπτικά στοιχεία είναι ανεπαρκής. Αντίστοιχα, πολύ υψηλές τιμές EC, οι οποίες υπερβαίνουν ένα δεδομένο όριο, προκαλούν αλατούχο καταπόνηση στα φυτά με συνέπεια να μειώνεται η παραγωγή τους. Έχει διαπιστωθεί ότι η παραγωγή καρπών τομάτας μειώνεται γραμμικά όταν η EC του θρεπτικού διαλύματος υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο, υπό την προϋπόθεση ότι κανένα θρεπτικό στοιχείο δεν βρίσκεται σε επίπεδα τροφοπενίας ή τοξικότητας στο διάλυμα (Cuartero and Munoz, 1999). Η μέγιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο περιβάλλον της ρίζας της τομάτας που δεν προκαλεί μείωση της παραγωγής ανέρχεται σε $2,9 \text{ dS m}^{-1}$ περίπου (Sonneveld and Welles, 1988). Σύμφωνα με τους προαναφερόμενους ερευνητές, η παραγωγή καρπών τομάτας αναμένεται να μειωθεί με ρυθμούς που κυμαίνονται μεταξύ 2,3 - 7,2% ανά μονάδα αύξησης της EC πάνω από την τιμή-κατώφλι των $2,9 \text{ dS m}^{-1}$.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι μικρά έως μέτρια επίπεδα αλατότητας βλάπτουν περισσότερο το υπέργειο μέρος της τομάτας παρά την ρίζα (Perez-Alfocea et al., 1996, Mavrogianopoulos et al., 2002). Αντίθετα από ό,τι συμβαίνει με πολλά άλλα είδη καρποδοτικών κηπευτικών, στην τομάτα η αλατότητα περιορίζει περισσότερο την βλαστική ανάπτυξη παρά την παραγωγή καρπών (Ehret and Ho, 1986). Έχει αποδειχθεί ότι η έκθεση της τομάτας σε μέτρια επίπεδα αλατότητας περιορίζει κυρίως το μέσο βάρος του καρπού και όχι τον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά φυτό (Van Ieperen, 1996, Cuartero and Munoz, 1999). Σε σχετικά υψηλά επίπεδα αλατότητας όμως ($> 8 \text{ dS m}^{-1}$) περιορίζεται και ο αριθμός των καρπών ανά φυτό, προφανώς ως αποτέλεσμα της σημαντικής ελάττωσης της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών (Adams, 1991). Σε αντίθεση με το μέσο βάρος, η περιεκτικότητα των καρπών σε ξηρή ουσία αυξάνεται καθώς ανυψώνεται η αλατότητα στο περιβάλλον των ριζών (Ehret and Ho, 1986). Η αύξηση της περιεκτικότητας των καρπών τομάτας σε ξηρή ουσία σε συνθήκες αλατότητας οφείλεται στην ελάττωση της περιεκτικότητάς τους σε νερό λόγω προσαρμογής του ωσμωτικού τους δυναμικού σε αυτό της

ρίζας (Gaugh and Hobson, 1990).

Μέτρια επίπεδα αλατότητας βελτιώνουν την ποιότητα των καρπών της τομάτας (Cuartero and Munoz, 1999, Krauss et al., 2006). Ειδικότερα, οι θετικές επιδράσεις της αλατότητας στην ποιότητα του προϊόντος περιλαμβάνουν αυξήσεις στα παρακάτω ποσοτικά χαρακτηριστικά των καρπών: ξηρή ουσία (πιο συνεκτικοί και λιγότερο υδαρείς καρποί), συγκέντρωση ~~συγκεντρώσεις~~ σακχάρων, βιταμίνη C και καροτενοειδών, ογκομετρούμενη οξύτητα χυμού, καθώς και περιεκτικότητα σε πτητικές ουσίες που τους προσδίδουν άρωμα (Petersen et al., 1998, Auerswald et al., 1999, Savvas et al., 2011). Επιπλέον, η μετασυλλεκτική διάρκεια ζωής της τομάτας στο ράφι επιμηκύνεται με την αύξηση της αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος (Gaugh and Hobson, 1990, Cuartero and Munoz, 1999). Μία ακόμη θετική επίπτωση της ελεγχόμενης αύξησης της EC στο διάλυμα ριζοστρώματος είναι η μείωση του ποσοστού των καρπών τομάτας που παρουσιάζουν τις φυσιολογικές ανωμαλίες ανομοιόμορφη στικτή ωρίμανση (Sonneveld and Welles, 1988), χρυσιζουσες κηλίδες στον καρπό (Dorais et al., 2001) και εσωτερική καστάνωση καρπού (Sonneveld and van der Burg, 1991). Η εμφάνιση χρυσιζουσών κηλίδων στον καρπό όμως, οι οποίες οφείλονται σε υπερβολική εναπόθεση Ca, ευνοείται από τις υψηλές συγκεντρώσεις Cl στο περιβάλλον των ριζών, πιθανότατα επειδή το Cl ευνοεί την απορρόφηση Ca (Nukaya et al., 1991). Από την άλλη πλευρά, η ανύψωση της EC μέσω αύξησης της συγκέντρωσης των χλωριόντων σε επίπεδα μέχρι 8-10 mM στο θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος μειώνει το ποσοστό των καρπών τομάτας που παρουσιάζουν την φυσιολογική διαταραχή «ξηρή σήψη κορυφής» (BER) και συμβάλλει θετικά στην ποιότητά τους (Nukaya et al., 1991). Όταν όμως η ανύψωση της EC οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση Na⁺, η συχνότητα εμφάνισης BER αυξάνεται (Adams and Ho, 1992; Willumsen et al., 1996; Van Ieperen, 1996). Συνεπώς, τυχόν προσθήκη χλωρίου στο θρεπτικό διάλυμα με στόχο την αύξηση της ποιότητας των καρπών της τομάτας συνιστάται να γίνεται κατά ένα μέρος τουλάχιστον μέσω προσθήκης CaCl₂ και όχι NaCl.

Λόγω της θετικής επίδρασης της αλατότητας στην ποιότητα των καρπών της τομάτας, οι επιδιωκόμενες τιμές EC στο περιβάλλον των ριζών της είναι αρκετά μεγαλύτερες όχι μόνο από το ελάχιστο επίπεδο επάρκειας των 1,5 dS m⁻¹ αλλά και από την τιμή των 2,9 dS m⁻¹, πάνω από την οποία τα φυτά εκτίθενται σε αλατούχο καταπόνηση (Sonneveld, 1995). Ιδιαίτερα σε περιόδους με χαμηλή ηλιοφάνεια, η ενδεδειγμένη τιμή της EC στο περιβάλλον των ριζών είναι ακόμη μεγαλύτερη και μπορεί να ανέρχεται μέχρι και 3,5 dS m⁻¹ ή και παραπάνω ορισμένες

φορές. Η ανύψωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πάνω από το βασικό επίπεδο των $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ επιτυγχάνεται είτε με επιπλέον χορήγηση νιτρικών αλάτων καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου (συνήθως πρακτική) είτε με την προσθήκη NaCl ή CaCl_2 , είτε με συνδυασμένη προσθήκη όλων αυτών. Συνήθως η ανύψωση της EC στο θεραπευτικό διάλυμα μέσω NaCl εφαρμόζεται όταν είναι εκ των πραγμάτων επιβεβλημένη λόγω της παρουσίας NaCl στο νερό άρδευσης. Όταν η EC ανυψώνεται μέσω αύξησης των συγκεντρώσεων των κύριων θρεπτικών στοιχείων, συνήθως αυτές του H_2PO_4^- και του NH_4^+ δεν μεταβάλλονται, ενώ εκείνες των υπολοίπων μακροστοιχείων (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} και NO_3^-) ανυψώνονται αναλογικά (Sonneveld, 2002).

Το pH του θεραπευτικού διαλύματος στο περιβάλλον της ρίζας της τομάτας θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5,5 - 6,5. Τιμές pH μεταξύ 5 και 5,5 καθώς και μεταξύ 6,5 και 7 δεν αναμένεται να προκαλέσουν προβλήματα ανισορροπιών θρέψης. Γενικά, έχει αποδειχθεί ότι σε σύγκριση με άλλα φυτά η τομάτα είναι λιγότερο ευαίσθητη σε τιμές pH που υπερβαίνουν το 7 (Islam et al., 1980, Akl et al., 2003). Αντίθετα, είναι σχετικά ευαίσθητη στην πτώση του pH σε χαμηλότερα επίπεδα από 5, στα οποία αντιδρά με μειωμένη παραγωγή οφειλόμενη σε περιορισμό του μέσου βάρους των καρπών (Akl et al., 2003).

Η ενδεδειγμένη αναλογία αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο στα θεραπευτικά διαλύματα που χορηγούνται σε καλλιέργειες τομάτας κυμαίνεται γύρω στο $0,085 - 0,120$ ενώ σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,15. Σε απόλυτες τιμές, οι αναλογίες αυτές μεταφράζεται σε συγκεντρώσεις NH_4^+ μεταξύ $0,850$ και $1,50 \text{ mmol L}^{-1}$ στα θεραπευτικά διαλύματα που χορηγούνται στις καλλιέργειες τομάτας. Τα κατώτατα όρια συνιστώνται για χειμερινές καλλιέργειες και κυρίως για περιόδους με χαμηλή ηλιοφάνεια και μειωμένους ρυθμούς βλαστικής ανάπτυξης ενώ τα ανώτατα όρια για συνθήκες γρήγορης βλαστικής ανάπτυξης και έντονης ηλιοφάνειας. Σε περίπτωση όμως που η έντονη ηλιοφάνεια συνοδεύεται από υψηλές θερμοκρασίες αέρα, η αναλογία χορήγησης αμμωνιακού προς συνολικό άζωτο δεν θα πρέπει να είναι πολύ υψηλή γιατί κάτω από τέτοιες συνθήκες αυξάνεται ο κίνδυνος τοξικών επιδράσεων του αμμωνιακού αζώτου στην τομάτα (Ganmore-Neumann and Kafkafi, 1980).

7.2. Υδροπονική καλλιέργεια πιπεριάς

7.2.1. Γενικά

Η πιπεριά κατάγεται από το Νέο Κόσμο όπως και η τομάτα και συγκεκριμένα από την Κεντρική Αμερική. Η καλλιέργεια της πιπεριάς ως λαχανικού στην Ευρώπη άρχισε κατά τον 17^ο

αιώνα, αλλά έλαβε μεγάλη εξάπλωση μετά τον 19^ο αιώνα και ιδιαίτερα κατά τον 20^ο αιώνα, όταν δημιουργήθηκαν οι πρώτες ποικιλίες "γλυκιάς πιπεριάς", οι οποίες δεν περιέχουν την καυστική ουσία καψαϊκίνη. Σήμερα οι εκτάσεις με καλλιέργειες πιπεριάς καταλαμβάνουν διεθνώς ένα σημαντικό κομμάτι της συνολικής υπό κάλυψη έκτασης.

Η διαιτητική αξία της πιπεριάς ως λαχανικού οφείλεται στην δροσιστική, αρωματική και πικάντικη γεύση που προσδίδει στις σαλάτες και στα λοιπά νωπά ή μαγειρευμένα φαγητά στα οποία προστίθεται. Από άποψη θρεπτικής αξίας θα πρέπει να σημειωθεί η ιδιαίτερα αυξημένη περιεκτικότητα των νωπών καρπών πιπεριάς σε βιταμίνη C, η σημαντική περιεκτικότητα των κίτρινων και των κόκκινων καρπών σε προβιταμίνη A, λυκοπένιο και διάφορα άλλα καροτενοειδή και τέλος η υψηλή συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων και κυρίως καλίου στη σάρκα τους (Navarro et al., 2006).

7.2.2. Συστήματα καλλιέργειας

Η εκτός εδάφους καλλιέργεια της πιπεριάς κατά κανόνα λαμβάνει χώρα σε υποστρώματα. Η υδροκαλλιέργεια σε σύστημα NFT έχει επίσης δοκιμαστεί με επιτυχία (Tadesse et al., 1999) αλλά στην καλλιεργητική πράξη σπάνια εφαρμόζεται για τους ίδιους λόγους που περιορίζουν την εφαρμογή του και στις καλλιέργειες τομάτας (δες Παράγραφο 7.1.2). Τα ίδια με την τομάτα ισχύουν επίσης και όσον αφορά την καλλιέργεια της πιπεριάς σε άλλα συστήματα υδροκαλλιέργειας (σύστημα επίπλευσης, αεροπονία, κ.λπ.).

Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος καλλιέργειας της πιπεριάς εκτός εδάφους διεθνώς είναι η καλλιέργεια σε πλάκες πετροβάμβακα (Εικόνα 7.3). Κατά κανόνα η πιπεριά καλλιεργείται σε παρόμοιες πλάκες με αυτές που χρησιμοποιούνται και για την καλλιέργεια της τομάτας (7,5×15×100 cm) ενώ και οι λοιπές τεχνικές της καλλιέργειας (προετοιμασία σποροφύτων, τοποθέτηση πλακών πετροβάμβακα στο θερμοκήπιο, φύτευση, παροχή θρεπτικού διαλύματος) δεν διαφέρουν από αυτές που εφαρμόζονται στην τομάτα.

Εκτός από τον πετροβάμβακα, η πιπεριά καλλιεργείται με επιτυχία και σε άλλα υποστρώματα, όπως ο κόκος, η ελαφρόπετρα, ο περλίτης, η σκωρία, καθώς και σε διάφορα άλλα κοκκώδη υλικά που παράγονται τοπικά σε διάφορες χώρες. Η καλλιέργεια της πιπεριάς σε περλίτη και κόκο συνήθως πραγματοποιείται σε σάκους, ενώ η καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα και άλλα μη τυποποιημένα υποστρώματα συνήθως γίνεται είτε σε φυτοδοχεία είτε σε κανάλια (δες Ενότητα 4.3.2).

Η μόνη ουσιαστική διαφορά που παρουσιάζει η τεχνική της εκτός εδάφους καλλιέργειας πιπεριάς σε σύγκριση με αυτή της τομάτα αφορά στην πυκνότητα φύτευσης, λόγω διαφορών στον τρόπο υποστύλωσης των φυτών. Δύο είναι τα πιο συνηθισμένα συστήματα υποστύλωσης της πιπεριάς θερμοκηπίου, το σύστημα V το οποίο έχουν αναπτύξει οι Ολλανδοί και το σύστημα υποστύλωσης σε δικτυωτά πλέγματα που έχουν αναπτύξει οι Ισπανοί. Το σύστημα V, το οποίο απαιτεί την ύπαρξη δύο συρμάτων υποστύλωσης πάνω από κάθε γραμμή φυτών, βασίζεται στην ανάπτυξη δύο στελεχών ανά φυτό τα οποία προσδένονται εναλλάξ ένα στο δεξί και ένα στο αριστερό σύρμα (Bosland and Votava, 2000). Το σύστημα υποστύλωσης σε δικτυωτά πλέγματα δεν απαιτεί καθόλου κλάδεμα. Οι Jovicich et al. (2004) σύγκριναν το σύστημα υποστύλωσης σε σχήμα V με το σύστημα υποστύλωσης σε δίχτυ σε υδροπονική καλλιέργεια στην Φλόριντα των ΗΠΑ και διαπίστωσαν ότι κανένα από τα δύο δεν πλεονεκτούσε όσον αφορά την συνολική παραγωγή καρπών. Το σύστημα υποστύλωσης με δίχτυ όμως έδωσε μεγαλύτερο ποσοστό καρπών μεγάλου μεγέθους και μικρότερο αριθμό καρπών με «ξηρή σήψη κορυφής» ενώ επιπλέον απαιτούσε 75% λιγότερα εργατικά αφού τα φυτά δεν κλαδευόταν. Σύμφωνα με τους προαναφερόμενους συγγραφείς, η ενδεδειγμένη πυκνότητα φύτευσης της πιπεριάς όταν υποστυλώνεται σε δίχτυ χωρίς να κλαδεύεται είναι 3,8 φυτά/m². Η πυκνότητα αυτή επιτυγχάνεται συνήθως με την φύτευση 4 φυτών ανά πλάκα ή σάκο μήκους 1 m. Στην περίπτωση της καλλιέργειας σύμφωνα με το σύστημα V, συνήθως φυτεύονται 2 ή 3 φυτά ανά πλάκα ή σάκο μήκους 1 m και η συνολική πυκνότητα φύτευσης κυμαίνεται κατά κανόνα μεταξύ 2 -3 φυτών/m².

7.2.3. Λίπανση και θρέψη των καλλιεργειών πιπεριάς εκτός εδάφους

Στον Πίνακα 7.4 δίνονται συστάσεις για όλα τα θρεπτικά διαλύματα που εμπλέκονται στην διαχείριση της θρέψης των φυτών στις εκτός εδάφους καλλιέργειες πιπεριάς σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα, με εξειδίκευση ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Οι συστάσεις που παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες βασίζονται σε επίσημες συστάσεις Ολλανδών Ερευνητών (Sonneveld and Straver, 1994, De Kreij et al., 1999), καθώς και σε άλλα βιβλιογραφικά δεδομένα τα οποία εκτίθενται αναλυτικά παρακάτω.

Η πιπεριά μοιάζει με την αγγουριά ως προς την ανοχή της στην αλατότητα, η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή της τομάτας (Sonneveld and van der Burg, 1991). Σύμφωνα με τον Sonneveld (2000), η παραγωγή καρπών πιπεριάς μειώνεται κατά 7,6% περίπου για κάθε

μονάδα αύξησης της EC πάνω από το επίπεδο των 2,8 dS m⁻¹. Συνεπώς, οι καλλιέργειες πιπεριάς έχουν ανάγκη από χαμηλότερες τιμές EC σε σύγκριση με αυτές που συνιστώνται για την τομάτα, τόσο στο διάλυμα που τους χορηγείται όσο και στο περιβάλλον των ριζών (βλέπε Πίνακα 7.4).

Γενικά μία EC θρεπτικού διαλύματος ίση με 1,8-2,0 dS m⁻¹ στο περιβάλλον των ριζών είναι αρκετή για να καλύψει τις θρεπτικές ανάγκες της πιπεριάς, εφόσον η σύνθεση του διαλύματος σε θρεπτικά στοιχεία είναι ισορροπημένη (De Kreij, 1999). Τιμές EC μεταξύ 2,0 – 2,8 στο ριζικό περιβάλλον δεν επηρεάζουν δυσμενώς την παραγωγή καρπών πιπεριάς. Η αύξηση της EC στο περιβάλλον των ριζών σε υψηλότερα επίπεδα από 2,8 dS m⁻¹ μειώνει τόσο το μέσο βάρος όσο και τον αριθμό των παραγόμενων καρπών πιπεριάς ανά φυτό (Sonneveld and Van der Burg, 1991). Αρκετά υψηλότερες τιμές EC από 2,8 dS m⁻¹ στο ριζόστρωμα της πιπεριάς μειώνουν όχι μόνο την συνολική παραγωγή αλλά και τα ποσοστά των εμπορεύσιμων καρπών και των καρπών 1^{ης} ποιοτικής κατηγορίας, κυρίως επειδή αυξάνουν την συχνότητα εμφάνισης καρπών με BER, δηλαδή με ξηρή σήψη κορυφής (Navarro et al. 2002; Savvas et al. 2007a). Η δυσμενής επίδραση της υπερβολικά υψηλής EC στην συχνότητα εμφάνισης BER στην πιπεριά παρατηρείται ακόμη και όταν η αυξημένη EC οφείλεται κατά ένα μέρος σε συσσώρευση Ca στο περιβάλλον των ριζών (Sonneveld and Van der Burg 1991; Savvas et al. 2007a). Γενικά όμως η ανύψωση της EC λόγω συσσώρευσης Na στο ριζόστρωμα αυξάνει περισσότερο την συχνότητα εμφάνισης καρπών με BER σε σύγκριση με ανύψωση της EC οφειλόμενη στην συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων (Sonneveld and Van der Burg, 1991). Από την άλλη όμως, μία μικρή αύξηση της EC στο περιβάλλον των ριζών στις εκτός εδάφους καλλιέργειες πιπεριάς βελτιώνει την γεύση των καρπών και μειώνει την συχνότητα εμφάνισης ορισμένων άλλων φυσιολογικών διαταραχών των καρπών και ειδικότερα του σχισίματος και των λευκών ή πράσινων κηλίδων (De Kreij, 1995, Jovicich et al., 2007). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, οι τιμές EC που συνιστώνται για το θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος στις καλλιέργειες πιπεριάς είναι σαφώς υψηλότερες από το ελάχιστο επίπεδο επάρκειας που αναφέρθηκε παραπάνω (1,8 - 2,0 dS m⁻¹) με στόχο την βελτίωση της ποιότητας. Από την άλλη πλευρά όμως δεν θα πρέπει να υπερβαίνει και το επίπεδο των 2,8 – 3,0 dS m⁻¹ περίπου, για να μην μειώνεται η εμπορεύσιμη παραγωγή και το ποσοστό καρπών Α' ποιότητας.

Η πιπεριά αντιδρά θετικά με αύξηση της παραγωγής καρπών στις καλλιέργειες εκτός εδάφους όταν ανυψώνεται μέχρι κάποιο όριο η συγκέντρωση αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα (Schon et al., 1994). Επιπλέον η αύξηση της παροχής N μέχρι κάποιο όριο βελτιώνει την

εμπορική ποιότητα των καρπών και αυξάνει την συγκέντρωση ορισμένων συστατικών που συμβάλλουν στην οργανοληπτική τους ποιότητα και ειδικότερα του λυκοπενίου, του β-καροτενίου και του λιπόφιλου κλάσματος των αντιοξειδωτικών συστατικών (Flores et al., 2004). Από την άλλη πλευρά όμως, η υπερβολική παροχή αζώτου μέσω του θρεπτικού διαλύματος είναι επίσης βλαπτική για την πιπεριά δεδομένου ότι μπορεί να προκαλέσει υπέρμετρη βλαστική ανάπτυξη σε βάρος της παραγωγής και να καθυστερήσει την ωρίμανση των καρπών (Bosland and Votava, 2000). Οι Bar-Tal et al. (2001a) πειραματιζόμενοι με εκτός εδάφους καλλιέργειες πιπεριάς στο Ισραήλ διαπίστωσαν ότι τόσο η ποιότητα όσο και η ποσότητα της παραγωγής μεγιστοποιούνται με συγκεντρώσεις N στο θρεπτικό διάλυμα μεταξύ 8,3 - 9,3 mmol L⁻¹. Οι Ολλανδοί όμως συνιστούν αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις N (16,0 mmol L⁻¹) στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για την πιπεριά (De Kreij et al., 1999). Προφανώς οι διαφορές αυτές αντικατοπτρίζουν ανομοιότητες στους ρυθμούς απορρόφησης N οφειλόμενες στις πολύ διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο Ισραήλ σε σύγκριση με την Βόρεια Ευρώπη. Στην Ελλάδα έχουν ληφθεί πολύ καλά αποτελέσματα σε καλλιέργειες πιπεριάς με συγκεντρώσεις N μεταξύ 12-14 mmol L⁻¹ στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

Όσον αφορά την μορφή του αζώτου που παρέχεται στις καλλιέργειες πιπεριάς εκτός εδάφους, το μεγαλύτερο μέρος του δίνεται σε νιτρική μορφή, ενώ μόνο ένα μικρό μέρος του χορηγείται σε αμμωνιακή μορφή. Πειραματικά δεδομένα έχουν δείξει ότι η ανύψωση της συγκέντρωσης του NH₄-N μέχρι το επίπεδο των 1,8 mmol L⁻¹ συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής καρπών στην πιπεριά (Xu et al., 2002). Από την άλλη πλευρά όμως, συγκεντρώσεις NH₄-N μεγαλύτερες από 2 mmol L⁻¹ περιορίζουν τόσο την ολική παραγωγή όσο και την παραγωγή καρπών Α' ποιότητας (Bar-Tal et al., 2001a). Ήδη όμως συγκεντρώσεις NH₄-N μεγαλύτερες από 1 mmol L⁻¹ μειώνουν την απορρόφηση των υπόλοιπων μονοσθενών κατιόντων και κυρίως του K και του Ca (Marti and Mills, 1991; Xu et al., 2002; Bar-Tal et al., 2001b). Η μείωση της απορρόφησης Ca και κυρίως της μεταφοράς του στους καρπούς συνδέεται με αυξημένη εμφάνιση BER, στην οποία η πιπεριά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη (Bosland and Votava, 2000, Savvas et al., 2008). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, η συγκέντρωση NH₄-N στο θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται στην πιπεριά θα πρέπει κατά κανόνα να μην υπερβαίνει τα 1,3 mmol L⁻¹. Ειδικά όμως στο στάδιο της καρποφορίας της πιπεριάς, η συγκέντρωση NH₄-N στο διάλυμα τροφοδοσίας συνιστάται να διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα από 0,8 mmol L⁻¹ κατά τους θερμούς μήνες του έτους.

Η πιπεριά έχει παρόμοιες ανάγκες με την τομάτα σε Ca (Sonneveld, 1995), ενώ παράλληλα είναι εξίσου ή και ελαφρώς πιο ευαίσθητη από την τομάτα όσον αφορά την εμφάνιση BER στους καρπούς. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η BER στην πιπεριά οφείλεται σε τοπική έλλειψη Ca στους καρπούς. Συνεπώς η συγκέντρωση Ca πρέπει να είναι σχετικά αυξημένη στα θρεπτικά διαλύματα που παρέχονται στην πιπεριά, ώστε να μειώνεται η συχνότητα εμφάνισης BER. Κατά τα λοιπά, η πιπεριά φαίνεται ότι δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην αναλογία K:Ca:Mg στο θρεπτικό διάλυμα (Sonneveld and Voogt, 1985).

Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα είναι σημαντική για την πιπεριά. Χαμηλές συγκεντρώσεις σιδήρου στο διάλυμα ριζοστρώματος της τάξεως των 1 έως 3 μM έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν την ανάπτυξη της πιπεριάς ακόμη και όταν δεν προκαλούν ορατά συμπτώματα τροφοπενίας, ενώ η ανύψωσή τους σε επίπεδα 10 - 30 μM αυξάνει την παραγωγή καρπών (Anchondo et al., 2002). Όσον αφορά τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, αξίζει κατ' αρχήν να αναφερθεί η αξιοσημείωτη ευαισθησία της πιπεριάς σε τοξικότητες Zn και Cu (Cornillon and Palloix, 1997, Zheng et al., 2005). Τα σπορόφυτα της πιπεριάς φαίνεται να είναι σημαντικά πιο ευαίσθητα σε τοξικότητα Cu σε σύγκριση με τα πλήρως ανεπτυγμένα φυτά. Σύμφωνα με τους Zheng et al. (2005) τα σπορόφυτα της πιπεριάς μπορούν να εμφανίσουν συμπτώματα τοξικότητας χαλκού ακόμη και με συγκεντρώσεις Cu της τάξεως των 0,2 mg L^{-1} (3,2 $\mu\text{mol L}^{-1}$) στο διάλυμα ριζοστρώματος. Μετά την 11^η εβδομάδα της ζωής τους όμως, τα φυτά της πιπεριάς δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητα στην εμφάνιση τοξικότητας χαλκού όταν η συγκέντρωση Cu στο περιβάλλον των ριζών τους δεν υπερβαίνει το 1 mg L^{-1} (16,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ περίπου).

Σε σύγκριση με την τομάτα η πιπεριά παρουσιάζει παρόμοιες ή και υψηλότερες συγκεντρώσεις απορρόφησης N, Ca και Mg, αλλά χαμηλότερες συγκεντρώσεις απορρόφησης K, S, και P (Sonneveld, 1995). Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις απορρόφησης N και K επιβάλλουν υψηλότερες αναλογίες N/K στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται στην πιπεριά σε σύγκριση με την τομάτα (σύγκρινε Πινάκα 7.1 με Πινάκα 7.4). Σύμφωνα με τον Adams (2002), οι προαναφερόμενες διαφορές στις συγκεντρώσεις απορρόφησης αντικατοπτρίζουν το γεγονός ότι ο καρπός της τομάτας είναι πιο συμπαγής και όξινος ενώ αυτός της πιπεριάς είναι κοίλος εσωτερικά και έχει ουδέτερη αντίδραση.

7.3. Υδροπονική καλλιέργεια μελιτζάνας

7.3.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Ο τρόπος εγκατάστασης μίας καλλιέργειας μελιτζάνας εκτός εδάφους (Εικόνα 7.4) είναι σε γενικές γραμμές παρόμοιος με αυτόν που ακολουθείται στις καλλιέργειες τομάτας και πιπεριάς. Η μελιτζάνα μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχία τόσο σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (Savvas and Lenz, 2000a) όσο και σε στερεά υποστρώματα, όπως ο πετροβάμβακας (Savvas et al., 2010) και ο περλίτης (Kittas et al., 2006). Όταν χρησιμοποιούνται σάκοι μήκους 1 m που περιέχουν πλάκες πετροβάμβακα ή κοκκώδη υποστρώματα, συνήθως φυτεύονται δύο φυτά ανά σάκο. Πιο πυκνή φύτευση δεν ενδείκνυται γιατί τα πολύ μεγάλα φύλλα της μελιτζάνας αλληλοσκιάζονται με συνέπεια να ανταγωνίζονται έντονα μεταξύ τους για φως και να δημιουργούν συνθήκες που ευνοούν τις κρυπτογαμικές ασθένειες. Κατά κανόνα τα φυτά μορφώνονται ως διστέλεχα ή τριστέλεχα με στόχο την ανάπτυξη 4 - 6 βλαστών ανά m².

7.2.3. Λίπανση και θρέψη των καλλιεργειών μελιτζάνας εκτός εδάφους

Στον Πίνακα 7.5 παρατίθενται όλες οι αναγκαίες πληροφορίες για την παροχή και διαχείριση θρεπτικών διαλυμάτων στις εκτός εδάφους καλλιέργειες μελιτζάνας σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα, με εξειδίκευση ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Οι συστάσεις που παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες βασίζονται σε πειραματικά δεδομένα των Savvas and Lenz (1994a, 1995, 1996, 2000a, 2000b), Savvas et al. (2010), καθώς και σε επίσημες συστάσεις Ολλανδών Ερευνητών (Sonneveld and Straver, 1994, De Kreij et al., 1999).

Η μελιτζάνα είναι ένα αρκετά ευαίσθητο φυτό στην αλατότητα (Savvas and Lenz, 2000b). Από σχετικά πειράματα σε υδροπονικές καλλιέργειες διαπιστώθηκε ότι η παραγωγή καρπών μελιτζάνας μειώνεται κατά 8% περίπου για κάθε μονάδα αύξησης της EC του θρεπτικού διαλύματος ριζοστρώματος πάνω από το όριο των 2 dS m⁻¹ (Savvas and Lenz, 1994a). Επιπλέον, η ανύψωση της EC του θρεπτικού διαλύματος ριζοστρώματος αυξάνει την συχνότητα της φυσιολογικής διαταραχής «εσωτερική σήψη καρπών» η οποία, όπως και η BER, οφείλεται σε τοπική έλλειψη Ca στους καρπούς (Savvas and Lenz, 1994b). Συνεπώς, η EC του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται στις καλλιέργειες μελιτζάνας δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2,2 dS m⁻¹, με στόχο να διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα από 2,8 dS m⁻¹ στο περιβάλλον των ριζών.

Σε γενικές γραμμές, σε σύγκριση με την τομάτα η μελιτζάνα έχει ελαφρά χαμηλότερες απαιτήσεις σε κάλιο και ελαφρά υψηλότερες σε άζωτο (Sonneveld and Straver, 1994). Λόγω της μεγάλης έκτασης της φυλλικής της επιφάνειας όμως, η μελιτζάνα, κάτω από συνθήκες πλούσιας αζωτούχου λίπανσης και άφθονης τροφοδότησης με νερό, τείνει εύκολα στον σχηματισμό

υπερβολικά πλούσιας βλάστησης σε βάρος της καρποφορίας. Γι' αυτό στα θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες μελιτζάνας η σχέση N:K δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 7.5.

Από άποψη φυσιολογίας της ανάπτυξης, στην μελιτζάνα διακρίνονται δύο κυρίως στάδια που έχουν σημασία για την θρέψη της. Το πρώτο είναι το βλαστικό στάδιο που ξεκινάει αμέσως μετά το φύτευμα και φθάνει μέχρι την καρπόδεση στο πρώτο άνθος. Το δεύτερο στάδιο είναι το αναπαραγωγικό που ξεκινάει με το δέσιμο του πρώτου καρπού και συνεχίζει μέχρι το τέλος της καλλιέργειας. Κατά το πρώτο στάδιο ανάπτυξης, τα φυτά της μελιτζάνας σχηματίζουν με εντατικούς ρυθμούς νέα φυλλική επιφάνεια και νέους βλαστούς. Αντίθετα, με την έναρξη του σχηματισμού καρπών ο ρυθμός αύξησης της φυλλικής επιφάνειας μειώνεται σημαντικά, δεδομένου ότι οι καρποί έλκουν ισχυρότερα τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης, με συνέπεια το μεγαλύτερο μέρος των απορροφώμενων θρεπτικών στοιχείων και των προϊόντων της αφομοίωσης να διοχετεύεται σ' αυτούς (Lenz, 1970). Σύμφωνα με τους Savvas και Lenz (1996) η συγκέντρωση του K στα νέα φύλλα, τα παλιά φύλλα και τους καρπούς ανέρχεται σε 60, 75 και 40 mg g⁻¹ ξηράς ουσίας, ενώ αυτή του ολικού N (οργανικό και NO₃-N) ανέρχεται σε 62, 50 και 26 mg g⁻¹ ξηράς ουσίας. Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι η κατά βάρος αναλογία N:K στα νέα φύλλα, τα παλιά φύλλα και τους καρπούς ανέρχεται σε 1,03, 0,67 και 0,65 αντίστοιχα, ενώ η γραμμομοριακή αναλογία N:K ισούται με 2,88, 1,86 και 1,81 αντίστοιχα. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, με την έναρξη της παραγωγής καρπών και την αύξηση της ηλικίας ενός μέρους της φυλλικής επιφάνειας, η αναλογία N:K με την οποία τα δύο αυτά θρεπτικά στοιχεία παρέχονται στις καλλιέργειες μελιτζάνας θα πρέπει να μειώνεται. Συγκεκριμένα, κατά το αρχικό, δηλαδή το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης της μελιτζάνας, συνιστάται συνήθως μία αναλογία N:K ίση με 2,8 στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας, ενώ μετά την έναρξη της καρπόδεσης η αναλογία αυτή θα πρέπει να μειώνεται στο 2,35.

Η μελιτζάνα είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε μαγνήσιο (Sonneveld και Voogt, 1985) και επομένως οι αναλογίες συγκέντρωσης του Mg με τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία στο θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να είναι υψηλότερες από αυτές που συνιστώνται για τα υπόλοιπα σολανώδη. Συγκεκριμένα, στα θρεπτικά διαλύματα που προορίζονται για υδροπονικές καλλιέργειες μελιτζάνας η γραμμομοριακή αναλογία Ca:Mg συνιστάται να είναι ίση με 1,3 1,4 περίπου στο βλαστικό στάδιο και να μειώνεται ελαφρά αυξάνεται στο 1,35 περίπου στο στάδιο της καρποφορίας. Η αναλογία K:Ca συνήθως διατηρείται στο 1,7 1,6 στο βλαστικό στάδιο αλλά

αυξάνεται στο 2,10 στο στάδιο της καρποφορίας.

Όσον αφορά τον φώσφορο, δεν υπάρχει σημαντική διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ καρπών και νέων φύλλων μελιτζάνας, ενώ η συγκέντρωσή του στα παλιά φύλλα είναι ελαφρώς χαμηλότερη σε σύγκριση με τα νέα φύλλα και τους καρπούς (Savvas και Lenz, 1996). Συνεπώς η συγκέντρωση του P στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας δεν χρειάζεται να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Η συνιστώμενη συγκέντρωση H_2PO_4^- στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για υδροπονικές καλλιέργειες μελιτζάνας κυμαίνεται μεταξύ 1,2 και 1,3 mmol L⁻¹.

Η μελιτζάνα φαίνεται ότι είναι ευαίσθητη στην έλλειψη βορίου, στην οποία αντιδρά με χλώρωση του κορυφαίου τμήματος του φύλλου (De Kreij and Basar, 1997). Γι' αυτό η συγκέντρωση B τόσο στο διάλυμα τροφοδοσίας όσο και στο διάλυμα ριζοστρώματος πρέπει να είναι υψηλότερη από αυτή που συνιστάται για την τομάτα. Όσον αφορά τις ανάγκες της μελιτζάνας στα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, τα ερευνητικά δεδομένα που έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα είναι πολύ περιορισμένα (Savvas et al., 2008). Οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο διάλυμα τροφοδοσίας που παρατίθενται στον Πίνακα 7.5 βασίζονται σε Ολλανδικές συστάσεις (De Kreij et al., 1999), σε συνδυασμό με την εμπειρία από την εφαρμογή τους στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες (Savvas et al., 2010). Το ίδιο ισχύει και για τις συγκεντρώσεις απορρόφησης που δίνονται στον Πίνακα 7.11, με εξαίρεση αυτές των κύριων θρεπτικών στοιχείων κατά το στάδιο της καρποφορίας. Οι τελευταίες βασίζονται κυρίως σε πειραματικά δεδομένα των Savvas and Lenz (1995) τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 5.12.

7.4. Υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς

7.4.1. Γενικά

Η καλλιέργεια της αγγουριάς στο θερμοκήπιο είναι ευρύτατα διαδεδομένη σε όλο τον κόσμο. Μετά την τομάτα, το αγγούρι είναι το δεύτερο σε σπουδαιότητα καλλιεργούμενο λαχανικό θερμοκηπίου, τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς. Η έκταση που καταλαμβάνουν οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αγγουριού στην Ελλάδα κυμαίνεται στα 10.000 στρέμματα περίπου και αντιστοιχεί χονδρικά στο 20% της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνουν τα θερμοκήπια στη χώρα μας (Σάββας, 2009). Σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των αγγουριών θερμοκηπίου που παράγονται στην Ελλάδα εξάγεται στο εξωτερικό και κυρίως στην Βόρεια Ευρώπη (Γερμανία, κ.λπ.). Η εκτός εδάφους καλλιέργεια της αγγουριάς είναι ευρύτατα

διαδεδομένη σε άλλες χώρες και ιδιαίτερα στην Βόρεια Ευρώπη, ενώ στην Ολλανδία αποτελεί τον μοναδικό σχεδόν τρόπο παραγωγής αγγουριών στο θερμοκήπιο (Van Os et al., 2008). Στην Ελλάδα η εκτός εδάφους καλλιέργεια της αγγουριάς αντιστοιχεί σε πολύ μικρότερο ποσοστό του συνόλου της καλλιεργούμενης έκτασης στο θερμοκήπιο σε σύγκριση με την Βόρεια Ευρώπη, για τους ίδιους λόγους που ισχύουν και για την τομάτα. Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρείται μία συνεχής τάση επέκτασης της εκτός εδάφους καλλιέργειας της αγγουριάς στο πλαίσιο της γενικότερης τάσης εκσυγχρονισμού των Ελληνικών θερμοκηπίων.

7.4.2. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος καλλιέργειας της αγγουριάς εκτός εδάφους είναι η ανάπτυξη των φυτών σε υποστρώματα. Η καλλιέργεια σε ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα και ειδικότερα σε συστήματα NFT έχει δοκιμαστεί και εφαρμοστεί σποραδικά με σχετική επιτυχία (Gómez-López, et al., 2006). Στην καλλιεργητική πράξη όμως δεν έχει υιοθετηθεί σε αξιόλογη κλίμακα, τόσο λόγω των γενικότερων μειονεκτημάτων της τεχνικής NFT (βλέπε Παράγραφο 4.3.1.3), όσο και επειδή η αγγουριά είναι πιο επιρρεπής από την τομάτα στην έλλειψη οξυγόνου στο περιβάλλον της ρίζας, όταν καλλιεργείται σε συστήματα υδροκαλλιέργειας (Adams, 2002). Οι Gislerød and Kempton (1983) μέτρησαν την συγκέντρωση οξυγόνου στο θρεπτικό διάλυμα κατά μήκος ενός καναλιού σε καλλιέργεια αγγουριού σε σύστημα NFT. Διαπιστώθηκε ότι η διαφορά συγκέντρωσης O_2 μεταξύ του εισερχόμενου διαλύματος στην κορυφή του καναλιού και του απορρέοντος διαλύματος στο τέλος αυτού ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στο αγγούρι σε σύγκριση με την τομάτα. Ειδικότερα, στην καλλιέργεια αγγουριάς η συγκέντρωση O_2 στους $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ήταν $6,2\text{ mg L}^{-1}$ στην κορυφή του καναλιού αλλά μόνο $2,9\text{ mg L}^{-1}$ στο κατώτερο άκρο του, ενώ στην τομάτα οι αντίστοιχες τιμές ήταν $8,3$ και $7,5\text{ mg L}^{-1}$ (Gislerød and Kempton). Χαμηλότερες όμως συγκεντρώσεις O_2 από 3 mg L^{-1} στα θρεπτικά διαλύματα συνδέονται σαφώς με την εμφάνιση ~~ανεξίας~~ υποξίας στις υδροκαλλιέργειες (Adams, 2002). Η σημαντικά πιο αυξημένη κατανάλωση O_2 από τις ρίζες της αγγουριάς σε σύγκριση με την τομάτα κατά μήκος των καναλιών NFT αποδίδεται κατά ένα μέρος στο μεγαλύτερο μέγεθος του ριζικού της συστήματος. Σημαντικό ρόλο όμως φαίνεται να παίζουν και οι πολύ μεγαλύτεροι ρυθμοί απέκκρισης οργανικών ουσιών από τις ρίζες της αγγουριάς σε σύγκριση με την τομάτα. Η αυξημένη απέκκριση οργανικών ουσιών ευνοεί την ανάπτυξη μεγάλων πληθυσμών μικροοργανισμών στην ριζόσφαιρα οι οποίοι ανταγωνίζονται τις ρίζες ως προς την κατανάλωση του O_2 που βρίσκεται

διαλυμένο μέσα στο θρεπτικό διάλυμα (Adams, 2002). Οι άμεσα και έμμεσα αυξημένες ανάγκες των ριζών της αγγουριάς σε O_2 σε σύγκριση με την τομάτα την καθιστούν λιγότερο κατάλληλη για καλλιέργεια όχι μόνο σε συστήματα NFT αλλά και σε άλλα συστήματα υδροκαλλιέργειας.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος καλλιέργειας της αγγουριάς εκτός εδάφους είναι η καλλιέργεια σε πλάκες πετροβάμβακα (Εικόνα 7.5). Οι πλάκες που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια της αγγουριάς έχουν διαστάσεις $7,5 \times 15 \times 100$ ή $7,5 \times 20 \times 100$ cm. Λόγω της μικρότερης αποτελεσματικότητας της ρίζας της αγγουριάς όσον αφορά την πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων σε σύγκριση με την τομάτα, πλάκες με πλάτος 20 cm παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια στην καλλιέργεια και συνήθως δίνουν και ελαφρώς καλύτερες αποδόσεις. Μειονεκτούν όμως από άποψη κόστους αφού η δαπάνη αγοράς του υποστρώματος αυξάνεται αμέσως κατά 30% περίπου, με συνέπεια πολλοί παραγωγοί να προτιμούν τις πλάκες πετροβάμβακα πλάτους 15 cm. Στην Ελλάδα μάλιστα, αυτή η επιλογή είναι ο κανόνας.

Άλλοι τρόποι καλλιέργειας της αγγουριάς σε υποστρώματα που εφαρμόζονται στην Ελλάδα είναι η καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη ή ελαφρόπετρα ή κόκο (Εικόνα 7.6), καθώς και σε κανάλια γεμισμένα με κάποιο κοκκώδες υπόστρωμα, το οποίο συνήθως είναι η ελαφρόπετρα (Εικόνα 4.20). Η καλλιέργεια σε κανάλια γεμισμένα με ελαφρόπετρα έχει αρκετά χαμηλότερο κόστος από τους υπόλοιπους τρόπους καλλιέργειας σε υποστρώματα ενώ δίνει παρόμοιες παραγωγές και συνεπώς έχει πολύ καλές προοπτικές να επεκταθεί στο άμεσο μέλλον. Για να είναι επιτυχής όμως αυτός ο τρόπος καλλιέργειας της αγγουριάς, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για αποστράγγιση της ελαφρόπετρας, είτε με την χρήση διπλών καναλιών είτε με την τοποθέτηση μίας στρώσης χονδρόκοκκου υλικού στον πυθμένα των καναλιών (βλέπε Παράγραφο 3.3).

Η σπορά γίνεται σε κύβους πετροβάμβακα διαστάσεων $6 \times 7,5 \times 7,5$ cm, ή σε μικρότερους κύβους σε περίπτωση που τα σπορόφυτα δεν πρόκειται να μείνουν για πολύ καιρό στο σπορείο. Πριν τη σπορά οι κύβοι ποτίζονται με θρεπτικό διάλυμα. Αμέσως μετά, οι σπόροι του αγγουριού τοποθετούνται σε τρύπες που υπάρχουν ή ανοίγονται στην πάνω επιφάνεια των κύβων και στην συνέχεια καλύπτονται με λίγο περλίτη ή βερμικουλίτη. Αφού τελειώσει η σπορά, οι κύβοι ποτίζονται ξανά με λίγο θρεπτικό διάλυμα στην περιοχή που τοποθετήθηκαν οι σπόροι. Μέχρι να φυτρώσουν οι σπόροι οι κύβοι ποτίζονται τακτικά αλλά με πολύ μικρές ποσότητες θρεπτικού διαλύματος κάθε φορά. Θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να μην δημιουργείται υπερβολική υγρασία στην περιοχή που βρίσκεται ο σπόρος. Η λίπανση και η άρδευση των

σποροφύτων συνεχίζεται καθημερινά με χορήγηση των καταλλήλων ποσοτήτων θρεπτικού διαλύματος. Η χορηγούμενη ποσότητα διαλύματος θα πρέπει κάθε φορά να είναι τόση, ώστε η υγρασία των κύβων να διατηρείται στα ίδια ή σε ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα από εκείνα που επικρατούσαν κατά την διάρκεια του φυτρώματος.

Όταν η αγγουριά πρόκειται να καλλιεργηθεί σε κοκκώδη υποστρώματα τοποθετημένα σε σάκους ή φυτοδοχεία ή κανάλια, είναι δυνατή η χρήση σποροφύτων που παράγονται με τον κλασσικό τρόπο σε μείγματα υποστρωμάτων σποράς. Κατά κανόνα στην περίπτωση αυτή η σπορά γίνεται είτε σε δίσκους με ατομικές θέσεις φυτών είτε σε κύβους που παράγονται με συμπίεση του μείγματος μέσω αυτόματων μηχανών. Τα μείγματα των υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται για το γέμισμα των δίσκων σποράς ή την δημιουργία των κύβων συνήθως παρασκευάζονται με ανάμειξη τύρφης, κομπόστας ή άλλου οργανικού υποστρώματος με ένα ανόργανο κοκκώδες υλικό, όπως ο περλίτης, η ελαφρόπετρα ή ο βερμικουλίτης. Στις καλλιέργειες αγγουριάς σε κοκκώδη υποστρώματα, η χρήση σποροφύτων που έχουν σπαρθεί σε δίσκους σποράς ή σε κύβους προτιμάται έναντι αυτών που έχουν αναπτυχθεί σε κύβους πετροβάμβακα γιατί έχει χαμηλότερο κόστος για τον παραγωγό.

Ανεξάρτητα από το μέσο στο οποίο γίνεται η σπορά, οι κύβοι ή οι δίσκοι σποράς τοποθετούνται σε θερμοκρασία 25-28 °C μέχρι να φυτρώσουν οι σπόροι. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το φύτρωμα των σπόρων συντελείται μέσα σε 2-4 ημέρες. Μετά το φύτρωμα, η θερμοκρασία στο χώρο που βρίσκονται τα σπορόφυτα μειώνεται στους 20-23 °C την ημέρα και 18-20 °C την νύχτα.

Η πυκνότητα φύτευσης της αγγουριάς συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 1,6 – 2,2 φυτά/m². Στις καλλιέργειες αγγουριάς σε υποστρώματα, η προαναφερόμενη πυκνότητα φύτευσης κατά κανόνα επιτυγχάνεται με τοποθέτηση δύο φυτών ανά σάκο μήκους 1 m ή 2 φυτών ανά τρέχον μέτρο καναλιού. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των φυτών, καθώς και του αριθμού των σάκων ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας ρυθμίζεται κατάλληλα, ώστε να προκύπτει η επιθυμητή πυκνότητα φύτευσης. Όταν φυτεύονται δύο φυτά ανά σάκο ή τρέχον μέτρο καναλιού, η μόρφωση και το κλάδεμα της αγγουριάς κατά κανόνα βασίζεται στο σύστημα της ομπρέλας, όπως και στις συμβατικές καλλιέργειες στο έδαφος (Klieber et al., 1993, Ολύμπιος, 2001). Μία άλλη τεχνική κλαδέματος και υποστύλωσης της αγγουριάς στις εκτός εδάφους καλλιέργειες είναι το λεγόμενο V σύστημα το οποίο βασίζεται στην πρόσδεση των βλαστών όχι κάθετα αλλά λοξά προς τα πάνω (Σχήμα 7.3). Τα φυτά φυτεύονται είτε σε μονή είτε σε διπλή γραμμή. Στην

περίπτωση της φύτευσης σε διπλή γραμμή, οι δύο γραμμές κάθε ζεύγους είναι πολύ κοντά τοποθετημένες η μία με την άλλη. Όταν η φύτευση γίνεται σε μονή γραμμή, τοποθετούνται 4 φυτά ανά σάκο μήκους 1 m ή ανά τρέχον μέτρο καναλιού, ενώ όταν εφαρμόζεται διπλή γραμμή, ο αριθμός των φυτών ανά τρέχον μέτρο υποστρώματος ανέρχεται σε 2. Πάνω από κάθε μονή ή διπλή γραμμή φυτών υπάρχουν δύο σύρματα υποστύλωσης τα οποία αποκλίνουν μεταξύ τους. Οι βλαστοί των φυτών οδηγούνται εναλλάξ είτε προς το δεξί είτε προς το αριστερό σύρμα υποστύλωσης, οπότε σχηματίζεται ένα συνεχές V κατά μήκος της μονής ή της διπλής γραμμής φύτευσης. Όταν τα υποστρώματα διατάσσονται σε μονές γραμμές και φυτεύονται 4 φυτά ανά σάκο ή τρέχον μέτρο καναλιού, η πυκνότητα φύτευσης δεν μεταβάλλεται. Εκείνο που μεταβάλλεται είναι ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων σάκων ή ο όγκος υποστρώματος ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας, με συνέπεια το κόστος της αγοράς υποστρωμάτων να μειώνεται σημαντικά. Δεν θα πρέπει όμως σε αυτή την περίπτωση να παραβλέπονται οι κίνδυνοι που υφίστανται για την καλλιέργεια όταν ο όγκος υποστρώματος ανά φυτό μειώνεται τόσο πολύ. Στην περίπτωση της καλλιέργειας σε πετροβάμβακα οι κίνδυνοι αυτοί είναι σημαντικά μικρότεροι αν χρησιμοποιηθούν πλάκες πλάτους 20 cm αντί 15 cm.

Μία εναλλακτική εκδοχή του συστήματος V συνίσταται στην μόρφωσή διστέλεχων φυτών από την βάση τους και την υποστύλωση των δύο στελεχών κάθε φυτού σε διαφορετικά σύρματα, ώστε να λαμβάνουν σχήμα V (Hao et al., 2010). Σκοπός της εφαρμογής διστέλεχου σχήματος μόρφωσης είναι η μείωση του αριθμού των σποροφύτων που φυτεύονται ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας, ώστε να ελαττωθεί το κόστος παραγωγής. Η μείωση του αριθμού των φυτών αγγουριάς ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν χρησιμοποιούνται εμβολιασμένα σπορόφυτα.

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να εφαρμόζεται ένα εναλλακτικό σύστημα κλαδέματος και υποστύλωσης στις εκτός εδάφους καλλιέργειας αγγουριάς το οποίο μοιάζει με αυτό που εφαρμόζεται στην τομάτα. Οι βλαστοί δεν κορυφολογούνται όταν ξεπεράσουν το ύψος του σύρματος υποστύλωσης αλλά κάμπτονται κοντά στη βάση τους με συνέπεια το κατώτερο τμήμα τους να ακολουθεί σχεδόν οριζόντια κατεύθυνση και προσδένονται σε πιο μακρινό σημείο (Εικόνα 7.7). Αυτό επαναλαμβάνεται κάθε φορά που η κορυφή του φυτού ξεπερνά το σύρμα υποστύλωσης, με συνέπεια να είναι δυνατή η συνεχής κατά μήκος ανάπτυξη των βλαστών χωρίς περιορισμούς μέχρι το τέλος της καλλιέργειας.

7.4.3. Λίπανση και θρέψη των καλλιεργειών αγγουριάς εκτός εδάφους

Τα συνιστώμενα χαρακτηριστικά για τα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται σε εκτός εδάφους καλλιέργειες αγγουριάς καθώς και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για το διάλυμα ριζοστρώματος παρατίθενται στον Πίνακα 7.6. Οι βιβλιογραφικές πηγές και τα δεδομένα, πάνω στα οποία βασίσθηκε η κατάρτιση του Πίνακα 7.6, παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

Η αγγουριά είναι σαφώς πιο ευαίσθητο φυτό από την τομάτα στην αλατότητα (Adams, 2002). Σε ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα (Savvas et al., 2005a) υπολογίσθηκε ότι η παραγωγή αγγουριών στις καλλιέργειες εκτός εδάφους μειώνεται κατά 12% περίπου για κάθε μονάδα αύξησης της EC στο διάλυμα ριζοστρώματος πάνω από το επίπεδο των 3,0 dS m⁻¹. Τιμές EC όμως μεταξύ 1,4 - 3 dS m⁻¹ δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς την επίδρασή τους στην παραγωγή της αγγουριάς (Adams, 2002). Από την άλλη πλευρά, μία μικρή αύξηση της EC στο περιβάλλον των ριζών της αγγουριάς βελτιώνει την ποιότητα των καρπών μέσω: i) αύξησης της περιεκτικότητάς τους σε ολικά διαλυτά στερεά, ii) αύξησης της περιεκτικότητας του φλοιού τους σε χλωροφύλλη η οποία συμβάλλει στην βελτίωση του χρώματός τους και ii) αύξησης της μετασυλλεκτικής ζωής τους (Sonneveld and Van der Burg, 1991, Trajkova et al., 2006). Συνεπώς, η EC θα πρέπει να διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα από την κρίσιμη τιμή των 3,0 dS m⁻¹ στο περιβάλλον των ριζών της αγγουριάς αλλά δεν θα πρέπει να αφήνεται να πέσει και κάτω από 2,5 dS m⁻¹. Για να επιτυγχάνονται αυτά τα επίπεδα EC στο διάλυμα ριζοστρώματος, η EC στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 2,1 - 2,2 dS m⁻¹, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών (Πίνακας 7.6). Ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 2,2 dS m⁻¹ στο διάλυμα τροφοδοσίας συνιστούν και οι Ολλανδοί για το αγγούρι (Sonneveld and Straver, 1994, De Kreij et al., 1999).

Η σύγκριση δεδομένων από σχετικά πειράματα λίπανσης δείχνει ότι οι ανάγκες της αγγουριάς σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές της τομάτας για την παραγωγή ίσης ποσότητας καρπών (Ward, 1964, Ward, 1967). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι, ενώ τόσο η τομάτα όσο και το αγγούρι παράγουν περίπου ίσες ποσότητες ξηράς ουσίας ανά φυτό, το αγγούρι είναι ένα φυτό με πολύ υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό τόσο στους καρπούς του όσο και στα βλαστικά του όργανα. Σύμφωνα με τον Ward (1967), οι καρποί της αγγουριάς περιέχουν μόνο 4,4% ξηρά ουσία ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για ολόκληρο το φυτό ανέρχεται στο 4,9%. Οι αντίστοιχες περιεκτικότητες της τομάτας σε ξηρά ουσία είναι 6,6% στους καρπούς και 8,0% σε ολόκληρο το φυτό (Ward, 1964). Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας

των φυτικών ιστών της σε νερό, η αγγουριά παράγει αρκετά περισσότερη νωπή μάζα καρπών σε σύγκριση με την τομάτα, μολονότι η παραγόμενη ποσότητα ξηράς ουσίας ανά φυτό είναι περίπου η ίδια. Η εικόνα αυτή ενισχύεται ακόμη περισσότερο από το γεγονός ότι οι καρποί της αγγουριάς είναι πιο αποτελεσματικοί ανταγωνιστές των φύλλων στην κατανομή των προϊόντων της αφομοίωσης σε σύγκριση με τους καρπούς της τομάτας, με συνέπεια το 88% της συνολικά παραγόμενης νωπής μάζας από ένα φυτό αγγουριάς να είναι καρποί, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στην τομάτα είναι μόνο 79% (Ward, 1964, 1967).

Με βάση σχετικά δεδομένα των Trajkova et al. (2006) υπολογίζεται ότι η μοριακή αναλογία K:Ca:Mg στα νεαρά φύλλα της αγγουριάς ανέρχεται σε 0,48:0,36:0,16. Σε μία άλλη εργασία (Savvas et al., 2005b) στην οποία οι συγκεντρώσεις των μεταλλικών μακροκατιόντων στα νεαρά φύλλα μετρήθηκαν 4 φορές στη διάρκεια της καλλιέργειας, η μέση μοριακή αναλογία K:Ca:Mg ανήλθε σε 0,44:0,40:0,16. Στους βλαστούς της αγγουριάς όμως, των οποίων το ξηρό βάρος ανέρχεται περίπου στο μισό αυτού των φύλλων, η μέση μοριακή αναλογία K:Ca:Mg υπολογίζεται σε 0,66:0,23:0,12 (Ward, 1967). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, καθώς και ορισμένα αδημοσίευτα δεδομένα σχετικά με συγκεντρώσεις απορρόφησης της αγγουριάς στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες, η αναλογία K:Ca:Mg που συνιστάται για το διάλυμα τροφοδοσίας στο βλαστικό στάδιο ανάπτυξης της αγγουριάς ανέρχεται σε 0,46:0,38:0,16 0,52:0,35:0,13. Για τον καθορισμό της παραπάνω αναλογίας λαμβάνεται υπόψη μεταξύ άλλων και η μεγαλύτερη δυσκολία απορρόφησης Ca και Mg σε σύγκριση με το K (Sonneveld, 1981). Μετά την έναρξη του σχηματισμού καρπών, η αναλογία απορρόφησης K:Ca:Mg από την αγγουριά αλλάζει, δεδομένου ότι μεταβάλλεται σημαντικά η αναλογία των συγκεντρώσεων K, Ca και Mg στους καρπούς και στα παλιά φύλλα. Σύμφωνα με τα δεδομένα των Trajkova et al. (2006) η μοριακή αναλογία K:Ca:Mg στους καρπούς ανέρχεται σε 0,80:0,10:0,10 ενώ παρόμοια αναλογία (0,80:0,11:0,09) προκύπτει και από τα δεδομένα του Ward (1967). Στα παλιά φύλλα της αγγουριάς όμως η μοριακή αναλογία K:Ca:Mg ανέρχεται σε 0,25:0,62:0,13 (Trajkova et al., 2006), ενώ στο σύνολο της φυτικής μάζας ανέρχεται σε 0,63:0,26:0,11. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω καθώς και ορισμένα αδημοσίευτα δεδομένα, η αναλογία K:Ca:Mg που συνιστάται για το στάδιο της καρποφορίας στις καλλιέργειες αγγουριάς ανέρχεται σε 0,60:0,28:0,12.

Σε ένα πείραμα με αγγούρι σε σύστημα NFT ο Adams (1980) μέτρησε μία μέση αναλογία απορρόφησης N:K ίση με 2,26. Από τα δεδομένα του Ward (1967) υπολογίζεται ότι η

γραμμομοριακή αναλογία N:K στα φύλλα (μίσχοι και ελάσματα μαζί) είναι 2,25 ενώ στους καρπούς ανέρχεται σε 2,15. Στους βλαστούς της αγγουριάς η γραμμομοριακή αναλογία N:K ανέρχεται σε μόλις 0,96 ενώ στο σύνολο της φυτικής μάζας φθάνει το 2,07 (Ward, 1967). Από όλα τα παραπάνω, καθώς και από άλλα δημοσίευτα δεδομένα, προκύπτει ότι η αναλογία N:K στο διάλυμα τροφοδοσίας πρέπει να διατηρείται στο 2,8 2,6 κατά το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης της αγγουριάς και να μειώνεται στο 2,1 – 2,2 μετά την έναρξη της καρποφορίας.

Η αγγουριά αντιδρά θετικά με αύξηση της συνολικής παραγωγής καρπών όταν ένα μέρος του N της τάξεως του 8% - 13% παρέχεται σε μορφή $\text{NH}_4\text{-N}$ μέσω του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας, σε σύγκριση με παροχή αποκλειστικά και μόνο $\text{NO}_3\text{-N}$ (Sonneveld, 2002). Η ανύψωση της παραγωγής που προκαλεί η παροχή μέρους του N σε μορφή $\text{NH}_4\text{-N}$ οφείλεται στον καλύτερο έλεγχο του pH στη ριζόσφαιρα. Η διατήρηση ικανοποιητικών επιπέδων pH στο ριζόστρωμα αυξάνει την διαθεσιμότητα Fe, Mn, Zn και Cu με συνέπεια να μειώνεται η συχνότητα εμφάνισης χλωρώσεων στα φύλλα, στις οποίες το αγγούρι θεωρείται σχετικά ευαίσθητο (Sonneveld and Voogt, 1994). Η βέλτιστη αναλογία $\text{NH}_4\text{-N}$ /συνολικό-N στο διάλυμα τροφοδοσίας δεν είναι όμως δεδομένη σε όλες τις καλλιέργειες αγγουριού ούτε σε όλη την διάρκεια της ίδιας καλλιέργειας, δεδομένου ότι επηρεάζεται σοβαρά από τις εκάστοτε συνθήκες περιβάλλοντος (βλέπε Παράγραφο 5.2.3.2). Συνεπώς, η αναλογία $\text{NH}_4\text{-N}$ /συνολικό-N που εφαρμόζεται στις καλλιέργειες αγγουριάς θα πρέπει πάντοτε να καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη την εποχή του έτους καθώς και προηγούμενη εμπειρία και να επανεξετάζεται με βάση τις μετρήσεις του pH στο διάλυμα ριζοστρώματος ή απορρόφησης.

Γενικά η συγκέντρωση του P είναι ελαφρώς χαμηλότερη στους καρπούς της αγγουριάς σε σύγκριση με τα φύλλα. Για παράδειγμα, οι συγκεντρώσεις P που μέτρησε ο Ward (1967) στην αγγουριά ήταν 7 mg g^{-1} στα φύλλα και $5,6 \text{ mg g}^{-1}$ στους καρπούς. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το δεδομένο, καθώς και την γενική τάση μείωσης των συγκεντρώσεων απορρόφησης με την αύξηση της ηλικίας των φυτών, συνιστάται μία ελαφρά μείωση της συγκέντρωσης P στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας κατά το στάδιο της καρποφορίας της αγγουριάς.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η έλλειψη μεταλλικών ιχνοστοιχείων είναι πιθανή και μπορεί να προκαλέσει χλωρώσεις οι οποίες μειώνουν σημαντικά την παραγωγή αγγουριών, όταν επικρατούν υπερβολικά υψηλές τιμές pH στο περιβάλλον των ριζών. Όταν όμως το pH στο διάλυμα ριζοστρώματος κυμαίνεται σε κανονικά επίπεδα, η αγγουριά δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε τροφοπενίες Fe, Mn, Zn και Cu, ακόμη και όταν οι συγκεντρώσεις τους

στο ριζόστρωμα είναι σαφώς χαμηλότερες από αυτές του Πίνακα 7.6. Για παράδειγμα, σε ένα πείραμα με αγγουριά σε πετροβάμβακα στο οποίο το pH του ριζοστρώματος διατηρήθηκε εντός των φυσιολογικών ορίων που παρατίθενται στον Πίνακα 7.6, συμπτώματα τροφοπενιών Fe, Zn και Cu παρατηρήθηκαν μόνο όταν οι συγκεντρώσεις τους στο διάλυμα ριζοστρώματος ήταν 0, 2 και 0,05 μM αντίστοιχα, αλλά όχι και σε συγκεντρώσεις 1, 4 και 0,35 μM αντίστοιχα (Sonneveld and De Bes, 1984). Όσον αφορά το βόριο, όταν η συγκέντρωσή του στο διάλυμα ριζοστρώματος ανερχόταν σε 16 μM , τα φυτά δεν υπέφεραν από έλλειψη του συγκεκριμένου ιχνοστοιχείου αλλά η περαιτέρω πτώση του στο επίπεδο των 5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ μείωσε σημαντικά την παραγωγή αγγουριών (Sonneveld and De Bes, 1984). Αντίθετα με το B, η εμφάνιση έλλειψης μολυβδαινίου στις εκτός εδάφους καλλιέργειες αγγουριάς είναι ελάχιστα πιθανή και μπορεί να παρατηρηθεί μόνο σε περίπτωση μακροχρόνιας στέρησης του Mo από το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

Όσον αφορά την υπερδοσολογία ιχνοστοιχείων είτε λόγω λάθους είτε λόγω υπερβολικά υψηλών συγκεντρώσεων στο νερό άρδευσης, προβλήματα τοξικότητας μπορούν να προκληθούν κυρίως από το Mn, τον Zn, το Cu and το B. Εντούτοις, σύμφωνα με τους Tzerakis et al. (2011), η παραγωγή αγγουριών επηρεάζεται πολύ λίγο από την εμφάνιση συμπτωμάτων τοξικότητας Mn και Zn, ακόμη και όταν οι συγκεντρώσεις τους στο διάλυμα ριζοστρώματος υπερβαίνουν κατά πολύ τις τιμές-στόχους που δίνονται στον Πίνακα 7.6. Σε περίπτωση βέβαια μακρόχρονης επικράτησης υπερβολικά υψηλών συγκεντρώσεων Mn ή Zn στο περιβάλλον των ριζών, μεγάλο μέρος της χλωροφύλλης των φύλλων καταστρέφεται με συνέπεια την ανάσχεση του ρυθμού αύξησης των φυτών και την σημαντική μείωση της παραγωγής καρπών.

Στις καλλιέργειες αγγουριάς εκτός εδάφους, εκτός από τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, συχνή είναι και η χορήγηση πυριτίου (Voogt and Sonneveld, 2001) το οποίο φαίνεται να περιορίζει την έκταση των προσβολών ωιδίου και να αυξάνει την παραγωγή καρπών (Adatia and Besford, 1986). Σύμφωνα με τον De Kreij (1995) η συνιστώμενη συγκέντρωση Si στο διάλυμα τροφοδοσίας ανέρχεται σε 0,6 mmol L^{-1} . Οι Voogt and Sonneveld (2001) όμως συνιστούν μία πιο αυξημένη συγκέντρωση Si για το αγγούρι (0,75 mmol L^{-1}).

Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών μακροστοιχείων που δίνονται στον Πίνακα 7.6 για την αγγουριά βασίζονται σε δεδομένα των Sonneveld (2002) και Adams (2002), καθώς και σε αδημοσίευτα πειραματικά αποτελέσματα. Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, η συγκέντρωση απορρόφησης του B προέρχεται από τους De Kreij et al. (1999), ενώ αυτές των μεταλλικών ιχνοστοιχείων βασίζονται στους Tzerakis et al. (2011). Από την σύγκριση των δεδομένων του

Πίνακα 7.6 με αυτά του Πίνακα 7.2 προκύπτει ότι η αγγουριά σε σύγκριση με την τομάτα εμφανίζει υψηλότερες συγκεντρώσεις απορρόφησης N και Ca, αλλά χαμηλότερες όσον αφορά τα K, MgP και S.

7.5. Υδροπονική καλλιέργεια πεπονιάς

7.5.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Η καλλιέργεια της πεπονιάς (*Cucumis melo* L.) στο θερμοκήπιο αποσκοπεί στην κάλυψη των αναγκών της αγοράς με πεπόνια είτε την άνοιξη, από Απρίλιο μέχρι Ιούνιο, είτε αργά το φθινόπωρο μέχρι τις αρχές του χειμώνα (Οκτώβρης - Δεκέμβρης), δηλαδή τους μήνες που προηγούνται ή έπονται της εποχής παραγωγής τους σε υπαίθριες καλλιέργειες. Όταν επιδιώκεται πρώιμη παραγωγή πεπονιού την άνοιξη, η υδροπονική καλλιέργεια πλεονεκτεί ιδιαίτερα, γιατί συμβάλλει σε μεγαλύτερη πρωίμιση λόγω της επίτευξης ευνοϊκών θερμοκρασιών ρίζας με σημαντικά χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος.

Όταν η πεπονιά πρόκειται να καλλιεργηθεί σε πλάκες πετροβάμβακα, οι σπόροι φυτεύονται σε κύβους πετροβάμβακα διαστάσεων 7,5×7,5×6,5 cm, ανάλογα με τον χρόνο που προβλέπεται να παραμείνουν τα σπορόφυτα στο σπορείο. Όταν όμως πρόκειται για καλλιέργεια πεπονιάς που θα πραγματοποιηθεί σε κοκκώδη υποστρώματα (π.χ. περλίτης, ελαφρόπετρα, κόκος) τοποθετημένα σε σάκους, φυτοδοχεία, ή κανάλια, η σπορά και ανάπτυξη των σποροφύτων συνήθως γίνεται σε παρόμοια υποστρώματα και μέσα σποράς (π.χ. μείγμα τύρφης με περλίτη τοποθετημένο σε δίσκους σποράς) με αυτά που χρησιμοποιούνται και για τις καλλιέργειες στο έδαφος. Η πεπονιά είναι από τα πλέον απαιτητικά λαχανικά όσον αφορά την θερμοκρασία του μέσου σποράς κατά το φύτρωμα των σπόρων. Η άριστη θερμοκρασία φυτρώματος ανέρχεται στους 24-27 °C (Kurtar, 2010). Στη θερμοκρασία αυτή το φύτρωμα της πεπονιάς διαρκεί 7 ημέρες, ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ο χρόνος είναι πολύ μεγαλύτερος. Ήδη σε θερμοκρασία 20 °C ο χρόνος φυτρώματος διπλασιάζεται (περίπου 14 ημέρες). Σε θερμοκρασία κάτω από 12 °C οι σπόροι του πεπονιού δεν φυτρώνουν καθόλου (International Seed Testing Association, 2003). Η θερμοκρασία των 25-28 °C θα πρέπει να διατηρείται μέχρι την εμφάνιση των δύο κοτυληδόνων. Αμέσως μετά το φύτρωμα, η θερμοκρασία μειώνεται στους 20-22 °C την ημέρα και 18-20 °C την νύχτα. Χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές δεν ενδείκνυνται συνήθως, δεδομένου ότι το πεπόνι είναι έντονα θερμοαπαιτητικό λαχανικό. Σε περίπτωση διατήρησης χαμηλότερων θερμοκρασιών από τις προαναφερόμενες, η παραμονή των

σποροφύτων στο σπορείο μέχρι την ημέρα της μεταφύτευσης επιμηκύνεται ανάλογα.

Σε γενικές γραμμές, οι τεχνικές εγκατάστασης των καλλιεργειών πεπονιάς δεν διαφέρουν από αυτές που εφαρμόζονται στις καλλιεργείες αγγουριάς. Στις καλλιεργείες πεπονιάς σε πετροβάμβακα, τόσο οι διαστάσεις των πλακών του υποστρώματος όσο και οι πυκνότητες φύτευσης είναι παρόμοιες με αυτές που εφαρμόζονται και στο αγγούρι. Το ίδιο ισχύει και για τις καλλιεργείες πεπονιάς σε σάκους ή σε κανάλια με κοκκώδη υποστρώματα. Γενικά η πυκνότητα φύτευσης του πεπονιού στο θερμοκήπιο είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτές που εφαρμόζονται στις υπαίθριες καλλιεργείες και ανέρχεται γύρω στα 2-2,5 φυτά/m². Υπάρχουν όμως και ποικιλίες, για τις οποίες συνιστώνται ακόμη πυκνότερες φυτεύσεις, οι οποίες φθάνουν μέχρι και τα 3 φυτά/m². Η κάθε φορά εφαρμοζόμενη πυκνότητα φύτευσης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την καλλιεργούμενη ποικιλία (μέσο μέγεθος καρπού). Η διάταξη των φυτών στο θερμοκήπιο συνήθως γίνεται σε απλές ή διπλές γραμμές (Εικόνα 7.8) όπως στο αγγούρι.

Οι τεχνικές κλαδέματος και υποστύλωσης της πεπονιάς στις καλλιεργείες εκτός εδάφους διαφέρουν από εκείνες που εφαρμόζονται στην αγγουριά αλλά είναι ίδιες με αυτές που εφαρμόζονται στις καλλιεργείες πεπονιάς στο έδαφος του θερμοκηπίου (Ολύμπιος, 2001).

7.5.2. Λίπανση και θρέψη των καλλιεργειών πεπονιάς εκτός εδάφους

Τα συνιστώμενα χαρακτηριστικά για τα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται σε εκτός εδάφους καλλιεργείες πεπονιάς καθώς και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για το διάλυμα ριζοστρώματος παρατίθενται στον Πίνακα 7.7. Κατά την διάρκεια του βλαστικού σταδίου ανάπτυξης των φυτών πεπονιάς, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας συνιστάται να ανέρχεται σε 2,3 dS m⁻¹. Όπως έχει διαπιστωθεί από σχετικά πειράματα, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης σε αυτή την φάση ανάπτυξης είναι αυξημένες σε σχέση με το αναπαραγωγικό στάδιο, μολονότι οι απόλυτες ποσότητες που απορροφώνται ανά ημέρα είναι αρκετά χαμηλότερες (Pardossi et al., 2004). Μετά τον σχηματισμό των πρώτων καρπών που αφήνονται να ωριμάσουν πάνω στα φυτά, η EC στο διάλυμα τροφοδοσίας μειώνεται ελαφρώς. Λόγω όμως της μείωσης των συγκεντρώσεων απορρόφησης, η EC τείνει να ανυψώνεται στο διάλυμα ριζοστρώματος. Μία μικρή και ελεγχόμενη ανύψωση της EC στο περιβάλλον των ριζών κατά το στάδιο της μεγέθυνσης και ωρίμανσης των καρπών είναι επιθυμητή γιατί αυξάνει την περιεκτικότητα των καρπών τόσο σε ξηρά ουσία όσο και σε σάκχαρα με συνέπεια να βελτιώνει σημαντικά την οργανοληπτική τους ποιότητα (Bar-Yosef,

2008). Η αύξηση της EC όμως σε υψηλότερες τιμές από 3,0 - 3,2 dS m⁻¹ στο διάλυμα ριζοστρώματος θα πρέπει να αποφεύγεται, γιατί μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγωγής καρπών (Colla et al., 2006). Μικρή υπέρβαση των επιθυμητών τιμών EC στο διάλυμα ριζοστρώματος μειώνει μόνο το μέσο μέγεθος των καρπών ενώ τιμές EC πάνω από 5 dS m⁻¹ περιορίζουν τόσο το μέσο μέγεθος όσο και τον αριθμό των καρπών ανά φυτό (Mavrogianopoulos et al., 1999).

Γενικά η σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων που παρέχονται στις καλλιέργειες πεπονιού εκτός εδάφους είναι παραπλήσια με αυτή που εφαρμόζεται στις καλλιέργειες αγγουριού, με ορισμένες μικρές διαφορές. Η σημαντικότερη διαφορά έγκειται στις συγκεντρώσεις Ca και Mg, οι οποίες στις εκτός εδάφους καλλιέργειες πεπονιάς θα πρέπει να είναι υψηλότερες από τις συνιστώμενες τιμές για την αγγουριά (Bar-Yosef, 2008). Η ικανοποιητική παροχή Ca είναι ιδιαίτερα σημαντική στην πεπονιά κυρίως κατά το στάδιο της ανάπτυξης των καρπών. Ιδιαίτερα κρίσιμες για τους καρπούς είναι οι πρώτες δύο εβδομάδες μετά το δέσιμό τους, δεδομένου ότι τότε μεταφέρεται και συσσωρεύεται σε αυτούς το 80% του συνολικού Ca που περιέχουν (Bernadac et al., 1996). Κάτω από συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας Ca, η πεπονιά παρουσιάζει αυξημένη συχνότητα εμφάνισης καρπών με την φυσιολογική διαταραχή “υδαρής σάρκα» (water soaking) καθώς και καθυστέρηση στην ωρίμανση των καρπών (Madrid et al., 2004). Επιπλέον, η μειωμένη παροχή Ca ελαττώνει την περιεκτικότητα των καρπών σε σάκχαρα, με συνέπεια να βλάπτει και την οργανοληπτική τους ποιότητα (Navarro et al., 1999).

Όσον αφορά το άζωτο, η πεπονιά δεν έχει ανάγκη από πολύ υψηλές συγκεντρώσεις για να δώσει υψηλή παραγωγή και καλή ποιότητα καρπών. Για παράδειγμα, ο Bar-Yosef (1997) δεν βρήκε κάποια θετική επίπτωση στην παραγωγή ή την ποιότητα των καρπών όταν η συγκέντρωση N στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας αυξήθηκε από 10 σε 15 mmol L⁻¹. Αντίθετα, η μορφή του χορηγούμενου αζώτου στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται στην πεπονιά είναι σημαντική τόσο για την συνολική παραγωγή όσο και για την ποιότητα των καρπών. Από πειράματα έχει αποδειχτεί ότι η παροχή ενός μέρους του N σε αμμωνιακή μορφή, το οποίο όμως δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15% της συνολικής ποσότητας, αυξάνει την παραγωγή βιομάζας και δίνει υψηλότερη παραγωγή καρπών σε σύγκριση με την παροχή μόνο νιτρικού αζώτου (Ben-Oliel and Kafkafi, 2002). Αύξηση του κλάσματος του αμμωνιακού αζώτου σε υψηλότερα επίπεδα από 0,15 στις καλλιέργειες πεπονιάς εκτός εδάφους δεν συνίσταται γιατί περιορίζει την απορρόφηση K, Ca και Mg με συνέπεια να επηρεάζει δυσμενώς

τόσο την βλαστική αύξηση του φυτού όσο και την ποιότητά των καρπών (Chance et al., 1999). Επιπλέον, η αυξημένη παροχή $\text{NH}_4\text{-N}$ μπορεί να οδηγήσει και σε υπερβολικά χαμηλά επίπεδα pH στο περιβάλλον της ρίζας. Χαμηλές τιμές pH στο ριζόστρωμα θα πρέπει να αποφεύγονται στις εκτός εδάφους καλλιέργειες πεπονιάς, γιατί το φυτό αυτό είναι ευαίσθητο στην τοξικότητα μαγγανίου (Simon et al., 1986, Bar-Yosef, 1997). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στο στάδιο του σποροφύτου η πεπονιά φαίνεται να προτιμά υψηλότερη αναλογία $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας από τις τιμές που αναφέρονται παραπάνω. Όπως αποδείχθηκε από σχετικά πειράματα, η αύξηση του αμμωνιακού κλάσματος του N από 0,20 σε 0,25 αυξάνει σημαντικά την φυλλική επιφάνεια και την συνολική βιομάζα των σποροφύτων πεπονιάς (Giménez et al., 1997).

Σημαντική επίσης κατά την φάση της ανάπτυξης των καρπών της πεπονιάς είναι και η ικανοποιητική διαθεσιμότητα P και K, δεδομένου ότι τα δύο αυτά θρεπτικά στοιχεία έχουν κυρίαρχο ρόλο στην μεταφορά των σακχάρων από τα φύλλα στους καρπούς (Rinco, et al., 1998). Για τον φώσφορο για παράδειγμα, οι (Ben-Oliel and Kafkafi, 2002) αναφέρουν ότι η ανύψωση της συγκέντρωσής του στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας από 0,3 σε 0,5 - 1 mmol L⁻¹ αυξάνει την περιεκτικότητα των καρπών σε ολικά διαλυτά στερεά με συνέπεια να τους καθιστά πιο γλυκούς και πιο εύγευστους. Για το κάλιο όμως απαιτείται προσοχή, δεδομένου ότι η αυξημένη συγκέντρωσή του στο διάλυμα τροφοδοσίας έχει μεν θετική επίπτωση τόσο στο ύψος της παραγωγής όσο και στην ποιότητα, αλλά μόνο εφόσον δεν υπερβαίνει κάποιο ανώτατο όριο. Αν η συγκέντρωση K υπερβεί αυτό το όριο, η απορρόφηση ασβεστίου μπορεί να μειωθεί σημαντικά με δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα των καρπών του πεπονιού (Bar-Yosef, 1997). Τα ασφαλή επίπεδα K στα θρεπτικά διαλύματα που προορίζονται για καλλιέργειες πεπονιάς, καθώς και στο διάλυμα ριζοστρώματος, παρατίθενται στον Πίνακα 7.7.

7.6. Υδροπονική καλλιέργεια κολοκυθιάς

7.6.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Στο θερμοκήπιο η κολοκυθιά (*Cucurbita pepo* L.) καλλιεργείται για παραγωγή μικρών ανώριμων καρπών (κολοκυθάκι). Η εκτός εδάφους καλλιέργεια της κολοκυθιάς (Εικόνα 4.21) είναι αρκετά διαδεδομένη και φαίνεται να δίνει υψηλότερες αποδόσεις από τις καλλιέργειες στο έδαφος (Ruphael et al., 2005). Ο πιο συνηθισμένος τρόπος καλλιέργειας της κολοκυθιάς εκτός εδάφους είναι η καλλιέργεια σε πετροβάμβακα και ακολουθεί η καλλιέργεια σε κοκκώδη

υποστρώματα, όπως ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο κόκος (Ruphael et al., 2005), το πριονίδι (Shaw and Cantliffe, 2005), κ.λπ. Η υδροκαλλιέργεια της κολοκυθιάς είναι ελάχιστα διαδεδομένη, αν και έχει δοκιμαστεί με επιτυχία σε ορισμένα συστήματα, όπως η επιδαπέδια υδροπονία (Rumpela and Kaniszewskia, 1998). Λόγω όμως του σχετικά μικρού μεγέθους της και του σύντομου καλλιεργητικού της κύκλου, η κολοκυθιά μπορεί να καλλιεργηθεί πιο εύκολα σε συστήματα υδροκαλλιέργειας, όπως το NFT, σε σύγκριση με άλλα καρποδοτικά λαχανικά, όπως το αγγούρι και η τομάτα.

Όταν πρόκειται να καλλιεργηθεί σε πλάκες πετροβάμβακα, η κολοκυθιά σπέρνεται αρχικά στο σπορείο σε κύβους πετροβάμβακα. Στην περίπτωση της καλλιέργειάς της σε άλλα υποστρώματα, η σπορά της κολοκυθιάς στο σπορείο μπορεί να γίνει στα ίδια μέσα και με τους ίδιους τρόπους όπως και στις καλλιέργειες στο έδαφος. Η άριστη θερμοκρασία φυτρώματος της κολοκυθιάς ανέρχεται στους 20-30 °C (International Seed Testing Association, 2003). Η θερμοκρασία αυτή θα πρέπει να διατηρείται μέχρι την εμφάνιση των δύο κοτυληδόνων. Αμέσως μετά, η θερμοκρασία στο σπορείο μειώνεται στους 18-20 °C την ημέρα και 16-18 °C την νύχτα.

Τα σπορόφυτα της κολοκυθιάς είναι έτοιμα για μεταφύτευση περίπου τρεις εβδομάδες μετά την σπορά τους. Η πυκνότητα φύτευσης της κολοκυθιάς στο θερμοκήπιο ανέρχεται συνήθως σε 1,5 - 2,2 φυτά/στρέμμα. Για την επίτευξη αυτής της πυκνότητας φύτευσης, σε κάθε σάκο μήκους 1 m μεταφυτεύονται συνήθως 2 σπορόφυτα κολοκυθιάς. Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών των φυτών ρυθμίζονται ανάλογα, ώστε να προκύπτουν οι παραπάνω αναφερόμενες πυκνότητες φύτευσης. Στην περίπτωση που η κολοκυθιά καλλιεργείται σε κανάλια ή φυτοδοχεία γεμισμένα με υπόστρωμα, τα φυτά τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους πάνω σε κάθε γραμμή φύτευσης, οι οποίες κυμαίνονται από 40 - 80 cm. Οι γραμμές φύτευσης μπορούν να διατάσσονται είτε σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους είτε ανά ζεύγη. Στην τελευταία περίπτωση, οι αποστάσεις μεταξύ των δύο γραμμών κάθε ζεύγους συνήθως ανέρχονται σε 50 - 80 cm, ενώ το πλάτος των διαδρόμων που μεσολαβούν μεταξύ δύο ζευγών κυμαίνεται μεταξύ 100 - 150 cm.

7.6.2. Λίπανση και θρέψη της κολοκυθιάς στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Ακριβείς συστάσεις για την θρέψη της κολοκυθιάς στις καλλιέργειες εκτός εδάφους οι οποίες βασίζονται τόσο σε ολλανδικά δεδομένα (Sonneveld and Straver, 1994, De Kreij et al., 1999) όσο και σε δεδομένα από καλλιέργειες στην Ελλάδα (Savvas et al., 2009b), αλλά και σε άλλες μεσογειακές χώρες (Ruphael et al., 2004) παρατίθενται στον Πίνακα 7.8.

Η κολοκυθιά θεωρείται μέτρια ευαίσθητη στην αλατότητα (Graifenber et al., 1996, Roupheal et al., 2006). Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα (Savvas et al., 2009b), η αύξηση της EC στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας από 2,1 σε 6,2 dS m⁻¹ ανύψωσε την EC στο 8 dS m⁻¹ κατά μέσο όρο στο περιβάλλον της ρίζας και μείωσε την παραγωγή καρπών κατά 65% περίπου. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι στις μεσογειακές κλιματικές συνθήκες οι καλλιέργειες κολοκυθιάς είναι ευαίσθητες στην αλατότητα. Συνεπώς, όταν η κολοκυθιά καλλιεργείται εκτός εδάφους, η EC θα πρέπει να ρυθμίζεται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα τόσο στο διάλυμα τροφοδοσίας όσο και στο διάλυμα ριζοστρώματος. Οι Sonneveld and Straver (1994) συνιστούν για την κολοκυθιά παρόμοιες τιμές EC με αυτές που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες αγγουριάς τόσο για το διάλυμα τροφοδοσίας όσο και για το διάλυμα ριζοστρώματος.

Από τις συστάσεις που δίνουν οι De Kreij et al. (1999) προκύπτει ότι η κολοκυθιά σε γενικές γραμμές έχει παρόμοιες θρεπτικές ανάγκες με αυτές της αγγουριάς. Οι μικρές διαφορές που υπάρχουν εστιάζονται κυρίως στα μεταλλικά μακροκατίοντα και το βόριο. Ειδικότερα, όσον αφορά τα μακροστοιχεία, για την κολοκυθιά συνιστώνται ελαφρώς μικρότερες συγκεντρώσεις K και Ca και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Mg σε σύγκριση με αυτές που εφαρμόζονται στην αγγουριά. Η αυξημένη αναλογία απορρόφησης του Mg ως προς το K και το Ca προκύπτει και από την σύγκριση σχετικών δεδομένων των Roupheal et al. (2004) με αντίστοιχα δεδομένα για το αγγούρι που αναφέρονται στην Παράγραφο 7.4.2. Σύμφωνα με τα δεδομένα των Roupheal et al. (2004), η γραμμομοριακή αναλογία K:Ca:Mg στα φύλλα και τους βλαστούς της κολοκυθιάς ανέρχεται σε 0,43:0,31:0,26 και 0,61:0,17:0,22 αντίστοιχα, ενώ στους καρπούς σε 0,77:0,07:0,16. Τα παραπάνω δεδομένα υποδηλώνουν επιπλέον ότι κατά το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης της, η κολοκυθιά έχει σημαντικά μεγαλύτερες ανάγκες σε Ca και Mg και αντίστοιχα χαμηλότερες σε K, σε σύγκριση με το στάδιο της καρποφορίας. Ειδικά οι ανάγκες της κολοκυθιάς σε Ca μειώνονται εντυπωσιακά όταν το φυτό φέρει αυξημένο φορτίο καρπών. Οι ακριβείς αναλογίες K:Ca:Mg που συνιστώνται τόσο για το βλαστικό όσο και για το παραγωγικό στάδιο ανάπτυξης της κολοκυθιάς δίνονται στον Πίνακα 7.7.

Οι ανάγκες της κολοκυθιάς σε άζωτο είναι παρόμοιες με αυτές της αγγουριάς (De Kreij et al., 1999). Όπως όμως αναφέρθηκε παραπάνω, οι ανάγκες της κολοκυθιάς σε K είναι χαμηλότερες από αυτές της αγγουριάς. Συνεπώς η αναλογία παροχής N:K μέσω του θρεπτικού διαλύματος πρέπει να είναι υψηλότερη στις καλλιέργειες κολοκυθιάς σε σύγκριση με αυτές της

αγγουριάς. Σύμφωνα με τους **Με βάση δεδομένα των Rouphael et al. (2004)**, υπολογίσθηκαν οι γραμμομοριακές η αναλογίες N:K ~~α~~ **ανέρχεται σε 2,75 στα φύλλα και 2,85 στους καρπούς φυτών της κολοκυθιάς που καλλιεργήθηκαν σε χημικά αδρανή υποστρώματα.** Οι ~~παραπάνω~~ τιμές N:K **που προέκυψαν** (3,75 στα φύλλα και 3,20 στους καρπούς) είναι σαφώς υψηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στους αντίστοιχους φυτικούς ιστούς της αγγουριάς (βλέπε **Παράγραφο 7.4.2**). Συνεπώς, οι αναλογίες N:K στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για καλλιέργειες κολοκυθιάς πρέπει να είναι υψηλότερες από αυτές που συνιστώνται για την αγγουριά. ~~Οι προαναφερόμενες αναλογίες N:K στα φύλλα και τους καρπούς της κολοκυθιάς είναι παρόμοιες και συνεπώς η αναλογία N:K στο διάλυμα τροφοδοσίας δεν πρέπει να διαφοροποιείται σημαντικά με την έναρξη της καρποφορίας.~~ Τέλος, όσον αφορά το B, η συνιστώμενη συγκέντρωσή του τόσο στο θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος όσο και στο διάλυμα απορροής είναι μεγαλύτερη για το κολοκύθι σε σύγκριση με το αγγούρι (**Sonneveld and Straver, 1994**).

Η κολοκυθιά είναι ένα από τα φυτά που επωφελούνται σαφώς από την προσθήκη Si στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας (**Savvas et al., 2009b**). Σύμφωνα με τους **Voogt and Sonneveld (2001)**, η παροχή Si μέσω του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να αυξήσει την παραγωγή κολοκυθιών μέχρι και 10%. Οι **Savvas et al. (2009b)** διαπίστωσαν θετική επίπτωση του Si στην παραγωγή μόνο στην περίπτωση που τα φυτά ήταν εκτεθειμένα σε σχετικά υψηλές τιμές EC στο χώρο των ριζών, λόγω της συσσώρευσης NaCl. Σε κάθε περίπτωση όμως, το πυρίτιο περιορίζει σημαντικά την έκταση των προσβολών της κολοκυθιάς από ωίδιο (**Voogt and Sonneveld, 2001, Savvas et al., 2009b**).

7.7. Υδροπονική καλλιέργεια καρπουζιάς ~~α~~

7.7.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Στην Ελλάδα, καθώς και στις άλλες μεσογειακές χώρες που βρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό μήκος, το καρπούζι (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) καλλιεργείται κυρίως στην ύπαιθρο κατά την διάρκεια της θερμής εποχής του έτους. Η καλλιέργεια στο θερμοκήπιο λαμβάνει χώρα μόνο για εκτός εποχής παραγωγή και καταλαμβάνει μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής γεωργικής έκτασης που φυτεύεται με καρπούζι. Κατά βάση υπάρχουν δύο περίοδοι καλλιέργειας του καρπουζιού στο θερμοκήπιο με οικονομικό ενδιαφέρον. Η πρώτη περίοδος καλλιέργειας αποσκοπεί σε υπερπρώιμη παραγωγή την άνοιξη, πριν την έναρξη της παραγωγής

από υπαίθριες καλλιέργειες με χαμηλή κάλυψη. Η δεύτερη περίοδος καλλιέργειας καρπουζιού στο θερμοκήπιο εφαρμόζεται για όψιμη παραγωγή το φθινόπωρο, μετά την λήξη της παραγωγής σε υπαίθριες καλλιέργειες και μέχρι τα Χριστούγεννα. Από τις δύο αυτές περιόδους καλλιέργειας η πρώτη είναι η πιο συνηθισμένη γιατί η παραγωγή προηγείται της παραδοσιακής εποχής κατανάλωσης του καρπουζιού με αποτέλεσμα η ζήτηση και επομένως και η τιμή να είναι μεγαλύτερη.

Η υδροπονική καλλιέργεια του καρπουζιού έχει δοκιμαστεί πειραματικά τόσο στην Ελλάδα σε πετροβάμβακα (Εικόνα 7.9) όσο και σε άλλες μεσογειακές χώρες (π.χ. Colla et al., 2010) και έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα. Στην καλλιεργητική πράξη όμως, η εκτός εδάφους καλλιέργεια της καρπουζιάς δεν είναι πολύ διαδεδομένη, κυρίως επειδή η παραγωγή καρπουζιού σε ψηλά θερμοκήπια είναι γενικά περιορισμένη σε έκταση. Σε γενικές γραμμές η τεχνική της εκτός εδάφους καλλιέργειας της καρπουζιάς μοιάζει με αυτή που εφαρμόζεται στην πεπονιά, τόσο όσον αφορά την προετοιμασία των σποροφύτων καθώς και τις αποστάσεις και την πυκνότητα φύτευσης, όσο και σε σχέση με την υποστήλωση και το κλάδεμα (βλέπε Παράγραφο 7.5). Οι θρεπτικές ανάγκες της καρπουζιάς όμως δεν φαίνεται να είναι πολύ παρόμοιες με αυτές της πεπονιάς. Περισσότερα για την θρέψη της καρπουζιάς στις εκτός εδάφους καλλιέργειες εκτίθενται στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

7.7.2. Λίπανση και θρέψη της καρπουζιάς στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Στην διεθνή βιβλιογραφία δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες όσον αφορά τις θρεπτικές ανάγκες της καρπουζιάς και την σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων που πρέπει να της χορηγούνται όταν καλλιεργείται εκτός εδάφους. Από ορισμένα πρόσφατα δεδομένα των Colla et al. (2010) προκύπτει ότι η αναλογία K:Ca:Mg στα φύλλα του καρπουζιού ανέρχεται σε 0,46:0,30:0,24 ενώ η αναλογία N:K ανέρχεται σε 1,62. Παρόμοια αναλογία N:K στα φύλλα της καρπουζιάς προκύπτει και από άλλα πειραματικά δεδομένα (Rouphael et al., 2008). Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι η αναλογία K:Ca:Mg στα φύλλα της καρπουζιάς είναι παρόμοια με αυτή των φύλλων του κολοκυθιάς (βλέπε Παράγραφο 7.6.2). Επιπλέον, τα δεδομένα των Colla et al. (2010) υποδηλώνουν ότι η αναλογία N:K στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται στην καρπουζιά πρέπει να είναι χαμηλότερη από αυτές που συνιστώνται για τα υπόλοιπα κολοκυνθώδη θερμοκηπίου. Από τα δεδομένα των Colla et al. (2010) διαπιστώνεται επίσης ότι η καρπουζιά έχει σχετικά αυξημένες ανάγκες σε P και σχετικά χαμηλότερες ανάγκες σε Cu σε

σύγκριση με τα υπόλοιπα κολοκυνθώδη που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια. Στον Πίνακα 7.9.11 παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με την σύσταση των θρεπτικών διαλυμάτων τροφοδοσίας και ριζοστρώματος που συνιστώνται για την καρπουζιά. Τα δεδομένα αυτά βασίζονται σε πρακτική εμπειρία από καλλιέργειες καρπουζιάς εκτός εδάφους στην Ελλάδα σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που προκύπτουν από τις παραπάνω αναφερόμενες βιβλιογραφικές πηγές. ~~Δεδομένα σχετικά με τις συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων για καλλιέργειες καρπουζιάς δεν υπάρχουν προς το παρόν διαθέσιμα.~~

7.8. Υδροπονική καλλιέργεια φασολιάς

7.8.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Στο θερμοκήπιο το φασόλι (*Phaseolus vulgaris* L.) καλλιεργείται ως λαχανικό για παραγωγή νωπών λοβών (πράσινα φασολάκια). Το κυριότερο κέντρο παραγωγής νωπού φασολιού στον κόσμο είναι η Ευρώπη και ιδιαίτερα η Ιταλία και η Γαλλία και ακολουθούν οι χώρες της Ανατολικής Ασίας. Τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα (π.χ. Hinze, 1987, Savvas et al., 2007b, Urrestarazu and García, 2000) καθώς η εμπειρία που έχει αποκτηθεί μέχρι σήμερα δείχνουν ότι το φασόλι ευδοκimeί και αποδίδει πολύ καλά σε υδροπονική καλλιέργεια. Στις εκτός εδάφους καλλιέργειες στο θερμοκήπιο συνήθως χρησιμοποιούνται διάφορες ποικιλίες αναρριχώμενου φασολιού. Το αναρριχώμενο φασόλι έχει πολύ λίγες διακλαδώσεις και έχει την ικανότητα να αναρριχάται με δεξιόστροφη περιέλιξη πάνω στα υποστηρίγματα. Κατά καιρούς έχει δοκιμαστεί η καλλιέργεια του φασολιού σε διάφορα υποστρώματα καθώς επίσης και σε καθαρό διάλυμα χωρίς υπόστρωμα και ιδιαίτερα σε σύστημα NFT (Hinze, 1987). Στην πράξη όμως έχει επικρατήσει κυρίως η καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (Εικόνα 7.10) καθώς και σε ορισμένα χημικά αδρανή κοκκώδη υποστρώματα, όπως η ελαφρόπετρα (Εικόνα 7.11) και ο περλίτης.

Όταν το φασόλι προορίζεται για καλλιέργεια σε πετροβάμβακα, συνήθως σπέρνεται σε κύβους πετροβάμβακα διαστάσεων 7,5×7,5×6,5 cm. Στις καλλιέργειες σε κοκκώδη αδρανή υποστρώματα, τα σπορόφυτα προετοιμάζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και στις καλλιέργειες φασολιού στο έδαφος του θερμοκηπίου. Γενικά η σπορά του φασολιού είναι εύκολη, λόγω του μεγάλου μεγέθους και της υψηλής βλαστικότητας του σπόρου του. Από την άλλη πλευρά όμως, η σπορά του φασολιού στο σπορείο απαιτεί αρκετό κόπο και εργατικά λόγω του μεγάλου αριθμού φυτών που πρέπει να φυτευτούν ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας

θερμοκηπίου. Γι' αυτό, όταν η εγκατάσταση της καλλιέργειας γίνεται την θερμή εποχή του έτους, αρκετοί παραγωγοί προτιμούν να σπέρνουν το φασόλι απευθείας στο υπόστρωμα, οπότε αποφεύγουν το κόστος της μεταφύτευσης.

Το αναρριχώμενα φυτά της φασολιάς αναπτύσσονται κατακόρυφα και καταλαμβάνουν πολύ μικρή επιφάνεια γιατί εκπτύσσουν πολύ λίγους πλάγιους βλαστούς μικρού μήκους με συνέπεια να είναι σχεδόν μονοστέλεχα. Λόγω της μικρής επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε φυτό φασολιάς, θα πρέπει να φυτεύεται μεγάλος αριθμός φυτών ανά μονάδα επιφάνειας για να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου του θερμοκηπίου και να εξασφαλίζονται μεγαλύτερες αποδόσεις. Οι πυκνότητες φύτευσης που εφαρμόζονται στις εκτός εδάφους καλλιέργειες αναρριχώμενου φασολιού στο θερμοκήπιο κυμαίνονται μεταξύ 6 - 10 φυτών ανά m².

Στις υδροπονικές καλλιέργειες φασολιού σε πετροβάμβακα, οι διαστάσεις των πλακών που χρησιμοποιούνται είναι οι ίδιες με αυτές που έχουν επικρατήσει και στις καλλιέργειες του αγγουριού, δηλαδή είτε 7,5×15×100 είτε 7,5×20×100 cm. Σε κάθε πλάκα τοποθετούνται συνήθως δύο παράλληλες σειρές με κύβους, καθένας από τους οποίους φιλοξενεί ένα ή δύο φυτά. Στις πλάκες μήκους 1 m μπορούν να τοποθετηθούν τρεις κύβοι σε κάθε μία από τις δύο σειρές ή δύο κύβοι στην μία και τρεις στην άλλη σειρά. Όταν εφαρμόζεται αυτή η διάταξη φυτών, ο συνολικός αριθμός φυτών ανά πλάκα πετροβάμβακα ανέρχεται σε 5-6 αν κάθε κύβος φέρει ένα φυτό, ή 10-12 αν κάθε κύβος φιλοξενεί δύο φυτά φασολιάς. Όταν σπέρνονται δύο φυτά σε κάθε κύβο, συνιστάται η υποστήλωση των φυτών σε δύο σύρματα πάνω από κάθε γραμμή πλακών πετροβάμβακα σύμφωνα με το σύστημα V.

Στις καλλιέργειες της φασολιάς σε σάκους, φυτοδοχεία, ή κανάλια που περιέχουν κοκκώδη υποστρώματα τα φυτά συνήθως διατάσσονται σε δύο σειρές, με τον ίδιο τρόπο και την ίδια πυκνότητα φύτευσης, όπως και στις καλλιέργειες φασολιάς σε πετροβάμβακα. Οι σάκοι που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες φασολιάς έχουν συνήθως τις ίδιες διαστάσεις με αυτούς που χρησιμοποιούνται και για καλλιέργειες τομάτας ή αγγουριών.

7.8.2. Λίπανση και θρέψη των καλλιεργειών φασολιάς εκτός εδάφους

Συνθέσεις ~~Δεδομένα για την επιθυμητή σύνθεση του θρεπτικού~~ ~~διαλυμάτων~~ ~~τροφοδοσίας~~ ~~για~~ ~~στις καλλιέργειες φασολιάς~~ ~~εκτός εδάφους σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα,~~ καθώς και τιμές-στόχοι για το διάλυμα ριζοστρώματος ~~παρουσιάζονται στον~~ Πίνακα 7.10. ~~Οι βιβλιογραφικές πηγές και τα δεδομένα, πάνω στα οποία βασίσθηκε η κατάρτιση του~~ ~~Οι~~

συνθέσεις των θρεπτικών διαλυμάτων που παρατίθενται στον Πίνακα 7.10 βασίζονται σε συστάσεις Ολλανδών ερευνητών (De Kreij et al., 1999) αλλά έχουν τροποποιηθεί ελαφρώς λαμβάνοντας υπόψη σχετικά αδημοσίευτα όσο και σε δεδομένα προερχόμενα από παραγωγικές καλλιέργειες στην Ελλάδα, παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

Η φασολιά είναι πολύ ευαίσθητο φυτό στην αλατότητα (Seemann and Critchley, 1985, Brugnoli and Lauteri, 1991). Γι' αυτό η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για εκτός εδάφους καλλιέργειες φασολιάς πρέπει να είναι χαμηλή, ώστε να διατηρείται χαμηλή και στο διάλυμα ριζοστρώματος. Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας της φασολιάς στην αλατότητα, η καλλιέργειά της σε κλειστά υδροπονικά συστήματα συνιστάται μόνο όταν υπάρχει διαθέσιμο νερό καλής ποιότητας (Savvas et al., 2007b). Κατά την διάρκεια του βλαστικού σταδίου ανάπτυξης της φασολιάς, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος τροφοδοσίας θα πρέπει να ανέρχεται γύρω στο $1,9 - 2,0 \text{ dS m}^{-1}$ την θερμή εποχή του έτους ενώ κατά την ψυχρή εποχή και ιδιαίτερα όταν επικρατεί χαμηλή ηλιοφάνεια μπορεί να ανέρχεται μέχρι τα $2,1 \text{ dS m}^{-1}$. Αμέσως μετά το δέσιμο των πρώτων καρπών όμως η EC του διαλύματος τροφοδοσίας πρέπει να μειώνεται κατά $0,2-0,3 \text{ dS m}^{-1}$. Η μικρότερη μείωση της EC εφαρμόζεται κατά την διάρκεια των ψυχρών και φτωχών σε ηλιοφάνεια μηνών του έτους, ενώ η μεγαλύτερη σε συνθήκες σχετικά υψηλής ηλιοφάνειας και ζεστού καιρού. Για τις μεσογειακές συνθήκες κλίματος, η τιμή-στόχος της EC στο διάλυμα ριζοστρώματος ανέρχεται σε $2,45-2,6 \text{ dS m}^{-1}$. Όταν επικρατεί χαμηλή ηλιοφάνεια όμως, όπως συμβαίνει συνήθως στην Ολλανδία, η EC του διαλύματος ριζοστρώματος αφήνεται να φτάσει μέχρι και τα $2,8 \text{ dS m}^{-1}$ (de Kreij et al., 1999).

Όσον αφορά την αναλογία αζώτου προς κάλιο στα διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για καλλιέργειες φασολιάς, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι: α) τόσο τα φύλλα όσο και οι καρποί της φασολιάς περιέχουν K σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις (Tůma et al., 2004) και β) η συγκέντρωση N είναι ψηλότερη στα φύλλα της φασολιάς σε σύγκριση με τους λοβούς μπορεί να προσλάβει N και από τον ατμοσφαιρικό αέρα μέσω βιολογικής αζωτοδέσμευσης (Vadez et al., 1999). Για τους παραπάνω λόγους, η γραμμομοριακή αναλογία N:K στα θρεπτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται για την θρέψη της φασολιάς θα πρέπει να μειώνεται με την έναρξη κάθε νέου κύματος παραγωγής καρπών είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με αυτές που συνιστώνται για τα περισσότερα άλλα καρποδοτικά λαχανικά. Οι de Kreij et al. (1999), συνιστούν μία γραμμομοριακή αναλογία N:K ίση με $2,1$ η οποία αυξάνεται ελαφρώς σε $1,8$ μετά την έναρξη της καρπόδεσης. Όσον αφορά την αναλογία μεταξύ των

μακροκατιόντων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η συγκέντρωση του Ca είναι σχετικά υψηλή στα φύλλα της φασολιάς (για παράδειγμα οι Savvas et al., 2007c) βρήκαν συγκεντρώσεις Ca της τάξεως των 25 mg g^{-1} στην ξηρή ουσία), ενώ είναι σχετικά χαμηλή στους καρπούς (Pomper and Grusak, 2004). Γι' αυτό η αναλογία K:Ca θα πρέπει να είναι ήδη υψηλή στο βλαστικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών και να αυξάνεται κάθε φορά που ξεκινά ένα νέο κύμα παραγωγής ακόμη περισσότερο με την έναρξη της συγκομιδής καρπών. Σύμφωνα με τους De Kreij et al. (1999), η αναλογία K:Ca:Mg θα πρέπει να ισούται με 0,51:0,35:0,14:0,60:0,30:0,10 κατά τη διάρκεια των φάσεων βλαστικής ανάπτυξης της φασολιάς και να αναπροσαρμόζεται σε 0,61:0,28:0,11:0,65:0,24:0,11 κάθε φορά που ξεκινά ένα κύμα έντονης καρποφορίας λίγο μετά την έναρξη της συγκομιδής.

Το pH του διαλύματος ριζοστρώματος θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5,5 - 6,5. Το φασόλι όμως είναι μία σχετικά ευαίσθητη καλλιέργεια στο χαμηλό pH (Islam et al., 1980, Fageria and Baligar, 1999) και γι' αυτό θα πρέπει να δίνεται προσοχή, ώστε η οξύτητα του διαλύματος στον χώρο ανάπτυξης των ριζών να μην πέφτει κάτω από 5,5. Για να επιτευχθεί αυτό, το διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά θα πρέπει να έχει pH μεταξύ 5,5 και 5,7 και το κλάσμα του αμμωνιακού N ως προς το συνολικό N να ρυθμίζεται κατάλληλα, λαμβάνοντας υπόψη το pH στο διάλυμα ριζοστρώματος ή απορροής. Οι Valdez-Aguilar and Reed (2010) διαπίστωσαν ότι το φασόλι έδωσε την μέγιστη παραγωγή όταν το κλάσμα $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ ήταν 0,19, αλλά αυτό συνέβη κάτω από αλκαλικές συνθήκες και υψηλή συγκέντρωση HCO_3^- στο χώρο των ριζών. Οι Sonnevel and Straver (1994) συνιστούν μία τιμή ίση με 0,08 για το κλάσμα $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ στα θρεπτικά διαλύματα που παρέχονται σε καλλιέργειες φασολιάς. Σε ένα πείραμα όμως που πραγματοποιήθηκε το φθινόπωρο στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες (Savvas et al., 2007b), η διατήρηση του pH σε επίπεδα μεταξύ 5,8 και 6,5 επιτεύχθηκε όταν το κλάσμα $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ ανερχόταν σε 0,11. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω εκτιμάται ότι, στις καλλιέργειες φασολιάς εκτός εδάφους που πραγματοποιούνται στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες, η διατήρηση του pH μεταξύ 5,5 και 6,5 στο διάλυμα ριζοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί με τιμές $\text{NH}_4\text{-N}/\text{συνολικό-N}$ μεταξύ 0,07 - 0,12:0,10—0,15 στο διάλυμα τροφοδοσίας. Τέλος, όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, η φασολιά είναι λιγότερο ευαίσθητη από τα σολανώδη και τα κολοκυνθώδη στις τροφοπενίες μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε υψηλές τιμές pH (Islam et al., 1980). Γι' αυτό οι συγκεντρώσεις Fe, Mn, Zn, Cu στα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται στην φασολιά συνιστάται να είναι ελαφρώς χαμηλότερες από αυτές

που εφαρμόζονται στα σολανώδη και τα κολοκυνθώδη.

7.9. Υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού

7.9.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Το μαρούλι καλλιεργείται σε όλο τον κόσμο τόσο στην ύπαιθρο όσο και υπό κάλυψη. Το μαρούλι ως καλλιέργεια έχει πολύ μικρότερες απαιτήσεις σε θερμοκρασία σε σύγκριση με τα καρποδοτικά λαχανικά, όπως η τομάτα, το αγγούρι, κ.λπ., για να ευδοκιμήσει. Γι' αυτό η καλλιέργειά του στην ύπαιθρο στις μεν ψυχρότερες περιοχές της εύκρατης ζώνης (π.χ. κεντρική και βόρεια Ευρώπη) είναι δυνατή σε όλη την διάρκεια της θερμής εποχής (Μάρτιος έως Οκτώβριος), ενώ στις θερμότερες περιοχές της (π.χ. νοτιότερες περιοχές της μεσογειακής Ευρώπης) είναι δυνατή ακόμη και τον χειμώνα. Το μαρούλι είναι ένα ποώδες φυτό που δεν αναπτύσσεται σε ύψος και επομένως το μεγαλύτερο μέρος του όγκου του θερμοκηπίου παραμένει αναξιοποίητο όταν καλλιεργείται υπό κάλυψη. Γι' αυτούς τους λόγους, στην νότια Ευρώπη και επομένως και στην Ελλάδα η καλλιέργεια του μαρουλιού στο θερμοκήπιο είναι λιγότερο συχνή και παρουσιάζει λιγότερο ενδιαφέρον σε σύγκριση με την καλλιέργεια καρποδοτικών λαχανικών.

Σε αντίθεση με τα καρποδοτικά λαχανικά, το εμπορεύσιμο προϊόν στις καλλιέργειες μαρουλιού είναι ολόκληρο το υπέργειο μέρος του φυτού. Συνεπώς η συγκομιδή του μαρουλιού γίνεται μία φορά και αμέσως μετά θα πρέπει να ξαναφυτευτεί νέα καλλιέργεια. Δεδομένου ότι μία καλλιέργεια μαρουλιού συνήθως διαρκεί 5 - 7 εβδομάδες από την μεταφύτευση έως την συγκομιδή, είναι προφανές ότι η συνεχής εκμετάλλευση του θερμοκηπίου απαιτεί την διαδοχική φύτευση αρκετών καλλιεργειών στη διάρκεια ενός έτους. Σε ορισμένα θερμοκήπια όμως, το μαρούλι καλλιεργείται μόνο για ορισμένους μήνες τον χειμώνα, κατά την διάρκεια των οποίων αποφεύγεται η καλλιέργεια θερμοαπαιτητικών λαχανικών λόγω του πολύ υψηλού κόστους για θέρμανση. Στις περιπτώσεις αυτές, η κύρια καλλιέργεια είναι ένα θερμοαπαιτητικό καρποδοτικό λαχανικό (π.χ. αγγούρι ή τομάτα), ενώ το μαρούλι φυτεύεται ως δεύτερη καλλιέργεια.

Το μαρούλι μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχία τόσο σε υποστρώματα, όσο και σε συστήματα υδροκαλλιέργειας όπως το NFT, το σύστημα επίπλευσης, η επιδαπέδια υδροπονία και η αεροπονία (Van Os et al., 2002). Από τα παραπάνω, τα πιο συνηθισμένα συστήματα καλλιέργειας μαρουλιού εκτός εδάφους σε παραγωγικά θερμοκήπια είναι το NFT (Εικόνα 4.7) και το σύστημα επίπλευσης (Εικόνα 4.4). Χάρis στον σύντομο χρόνο που απαιτείται από την

μεταφύτευση μέχρι την συγκομιδή (περίπου 6-7 εβδομάδες) καθώς και στο μικρό μέγεθος των φυτών, η υδροκαλλιέργεια δεν παρουσιάζει τα προβλήματα που εμφανίζονται στις μακράς διάρκειας καλλιέργειες καρποδοτικών λαχανικών, όπως π.χ. η τομάτα (βαθμιαία εμφάνιση ανισορροπιών στην σύσταση του ανακυκλούμενου διαλύματος, αποσύνθεση παλιών ριζών, κ.λπ.). Αντίθετα, αξιοποιούνται όλα τα πλεονεκτήματα των υδροκαλλιεργειών και ιδιαίτερα η οικονομία σε νερό και λιπάσματα καθώς και η μηδενική δαπάνη για την αγορά υποστρωμάτων (με εξαίρεση το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή σποροφύτων στο σπορείο). Επιπλέον, η παραγωγή μαρουλιού σε συστήματα υδροκαλλιέργειας παρέχει αυξημένες δυνατότητες μηχανοποίησης των καλλιεργητικών εργασιών και της συγκομιδής (Van Os and Kuiken, 1984). Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του μαρουλιού που παράγεται σε συστήματα υδροκαλλιέργειας είναι η απουσία χώματος στη βάση του και στα κατώτερα τμήματα των φύλλων του (Fallovio et al., 2009). Τέλος, τα συστήματα υδροκαλλιέργειας δίνουν την δυνατότητα παραγωγής μαρουλιών με μεγαλύτερη ικανότητα μετασυλλεκτικής συντήρησης στο ράφι, δεδομένου ότι μπορούν να συγκομιστούν με τμήμα του ριζικού τους συστήματος.

Μολονότι η υδροπονική καλλιέργεια του μαρουλιού από τεχνική άποψη παρουσιάζει όλα τα προαναφερόμενα πλεονεκτήματα, από οικονομική άποψη συχνά δεν παρέχει κάποιο πλεονέκτημα στον παραγωγό σε σύγκριση με την καλλιέργεια στο έδαφος. Η πυκνότητα φύτευσης του μαρουλιού, η οποία συνήθως ανέρχεται στα 20 - 50 φυτά/m² (Van Os et al., 2008, Maboko and Du Plooy, 2009), είναι γενικά υψηλή και δύσκολα μπορεί να αυξηθεί περισσότερο μέσω της υδροπονικής καλλιέργειας. Από την άλλη πλευρά, το μαρούλι συνήθως πωλείται ανά τεμάχιο και όχι ανά κιλό. Συνεπώς, η παραγωγή που δίνει μία καλλιέργεια μαρουλιού εξαρτάται από την πυκνότητα φύτευσης και όχι από τον τρόπο καλλιέργειας, όταν το έδαφος δεν παρουσιάζει προβλήματα γονιμότητας, αλατότητας και εδαφογενών ασθενειών που μειώνουν τον αριθμό των εμπορεύσιμων φυτών. Αν όμως ο καλλιεργητής δεν αντιμετωπίζει τέτοια προβλήματα, τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα εκτός εδάφους παραγόμενα μαρούλια συχνά δεν είναι ικανά να υπερκαλύψουν το κόστος της υδροπονίας. Γι' αυτό το λόγο, το μαρούλι συνεχίζει ακόμη και σήμερα να καλλιεργείται στο έδαφος σε πολλά θερμοκήπια της βόρειας Ευρώπης, σε αντίθεση με τα καρποδοτικά λαχανικά, το τριαντάφυλλο και την ζέρμπερα που καλλιεργούνται σχεδόν αποκλειστικά σε εκτός εδάφους συστήματα (Van Os et al., 2008).

Για την εγκατάσταση καλλιέργειας μαρουλιού σε συστήματα NFT χρησιμοποιούνται σπορόφυτα που έχουν παραχθεί σε κύβους πετροβάμβακα, τύρφης, ή μειγμάτων υποστρωμάτων,

ακμής 3-4 cm. Η φύτευση του μαρουλιού σε συστήματα NFT συνήθως γίνεται σε κανάλια πλάτους 25 – 30 cm με τοποθέτηση των φυτών σε διπλή γραμμή (Εικόνα 4.7). Η καλλιέργεια του μαρουλιού σε συστήματα NFT δεν παρουσιάζει τα προβλήματα της ανεπάρκειας οξυγόνου στις ρίζες που παρατηρούνται ορισμένες φορές μετά από κάποια ηλικία των φυτών στις καλλιέργειες με μεγάλη διάρκεια συγκομιδής, όπως η τομάτα. Λόγω της βραχείας διάρκειας της καλλιέργειας του μαρουλιού, η ρίζα του δεν αποκτά τόσο μεγάλο μέγεθος, ώστε να παρεμποδίζει την ροή του αβαθούς ρεύματος θρεπτικού διαλύματος. Συνεπώς, το θρεπτικό διάλυμα δεν λιμνάζει κατά μήκος του καναλιού και επομένως δεν δημιουργούνται προβλήματα οξυγόνωσης της ρίζας. Επιπλέον, λόγω της μικρής διάρκειας της καλλιέργειας του μαρουλιού, η ρίζα του δεν αποκτά μεγάλο μέγεθος και επομένως οι ρυθμοί απορρόφησης οξυγόνου από το θρεπτικό διάλυμα παραμένουν σχετικά χαμηλοί. Συνεπώς, στις καλλιέργειες μαρουλιού σε NFT ο κίνδυνος εξάντλησης του οξυγόνου του θρεπτικού διαλύματος στην πορεία της ροής του από την κορυφή προς την βάση του καναλιού είναι πολύ μικρός. Λόγω του μικρού μεγέθους του μαρουλιού, έχουν αναπτυχθεί διάφορες εναλλακτικές τεχνικές καλλιέργειάς του σε συστήματα NFT με διαφοροποίηση της θέσης των καναλιών κατά ύψος, όπως π.χ. με τοποθέτησή τους σε κεκλιμένα επίπεδα (Εικόνα 4.6) ή σε σχήματα πυραμίδας. Ο βασικός στόχος αυτών των εναλλακτικών τεχνικών είναι η αύξηση της πυκνότητας φύτευσης και συνεπώς η καλύτερη αξιοποίηση του χώρου του θερμοκηπίου. Το πλεονέκτημα της αυξημένης πυκνότητας φύτευσης όμως θα πρέπει να αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη και το αυξημένο κόστος που συνεπάγεται η κατασκευή τέτοιων συστημάτων καλλιέργειας.

Το μαρούλι, όπως και πολλά άλλα φυλλώδη λαχανικά, είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για καλλιέργεια σε συστήματα επίπλευσης, λόγω του μικρού του βάρους και της βραχείας διάρκειας της καλλιέργειάς του, αλλά και επειδή δεν χρειάζεται κλάδεμα, πρόσδεση, και υποστύλωση. Συνεπώς, τόσο η εγκατάσταση της καλλιέργειας του μαρουλιού, όσο και η συγκομιδή του δεν παρουσιάζουν δυσκολίες στα συστήματα επίπλευσης. Επιπλέον, το μαρούλι αναπτύσσεται κανονικά στα συστήματα επίπλευσης, χωρίς να παρουσιάζει συμπτώματα υποξίας ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα οξυγόνου στο θρεπτικό διάλυμα. Ειδικότερα, από πειράματα έχει διαπιστωθεί ότι ακόμη και μία συγκέντρωση O_2 ίση με 1,5 - 2 mg L⁻¹ στο θρεπτικό διάλυμα είναι αρκετή για κανονική ανάπτυξη του μαρουλιού στα συστήματα επίπλευσης (Goto et al., 1996, Yoshida et al., 1997). Όπως όλα τα συστήματα υδροκαλλιέργειας, το σύστημα επίπλευσης επιτρέπει την παραγωγή καθαρού μαρουλιού με ελάχιστο μικροβιακό φορτίο, δεδομένου ότι τα φυτά δεν

έρχονται καθόλου σε επαφή με το έδαφος. Χάρης σε αυτή του την ιδιότητα, το σύστημα επίπλευσης είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για καλλιέργεια μαρουλιού που προορίζεται για παραγωγή κομμένης και τυποποιημένης σαλάτας (Scuderi et al., 2009). Το μόνο μειονέκτημα της καλλιέργειας του μαρουλιού σε συστήματα επίπλευσης είναι η δυσκολία ελέγχου της θερμοκρασίας του θρεπτικού διαλύματος τους θερμούς μήνες του έτους, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρό πρόβλημα έλλειψης οξυγόνου στις ρίζες.

Εκτός από τα δύο παραπάνω συστήματα, ενδιαφέρον για το μαρούλι παρουσιάζει και η καλλιέργειά του σε συστήματα αεροπονίας (Maršić and Osvald, 2002). Η αεροπονική καλλιέργεια του μαρουλιού (Εικόνα 4.9) έχει όλα τα πλεονεκτήματα των συστημάτων υδροκαλλιέργειας, ενώ επιπλέον παρέχει ιδανικές συνθήκες αερισμού της ρίζας. Το βασικό μειονέκτημα της παραγωγής μαρουλιού σε συστήματα αεροπονίας είναι το αυξημένο ρίσκο εκτεταμένης καταστροφής της καλλιέργειας σε περίπτωση βλάβης του συστήματος, λόγω απουσίας αποθεμάτων νερού στον χώρο ανάπτυξης των ριζών (Van Os et al., 2008).

Η παραγωγή μαρουλιού σε υποστρώματα όπως ο πετροβάμβακας (Εικόνα 7.12) και η ελαφρόπετρα (Εικόνα 7.13) είναι λιγότερο διαδεδομένη από την παραγωγή σε συστήματα υδροκαλλιέργειας. Η μειωμένη ελκυστικότητα της παραγωγής μαρουλιού σε υποστρώματα οφείλεται στον μικρό καλλιεργητικό κύκλο των φυτών και την συνεπακόλουθη ανάγκη για συχνές επαναφυτεύσεις, σε συνδυασμό με την πολύ υψηλή πυκνότητα φύτευσης, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να φτάσει μέχρι τα 50 φυτά/m². Η επανειλημμένη φύτευση νέων καλλιεργειών μαρουλιού (συνήθως 6 - 9 στην διάρκεια ενός έτους) ακυρώνει το πλεονέκτημα της έναρξης της καλλιέργειας με ριζικό σύστημα απαλλαγμένο από εχθρούς και ασθένειες. Σε περίπτωση καλλιέργειας του μαρουλιού σε υπόστρωμα, συνιστάται η υιοθέτηση συστημάτων με χαμηλό κόστος, όπως η παραγωγή σε κοκκώδη υποστρώματα τοποθετημένα σε κανάλια μεγάλου πλάτους (30-50 cm) με διπλό πυθμένα. Όταν ακολουθείται αυτή η μέθοδος καλλιέργειας του μαρουλιού, το υπόστρωμα θα πρέπει να απολυμαίνεται μία φορά τον χρόνο είτε με ατμό, είτε με διάλυμα υποχλωριώδους οξέως το οποίο μετά την εφαρμογή του θα πρέπει να ξεπλένεται καλά.

7.9.2. Λίπανση και θρέψη του μαρουλιού στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος που παρέχεται στο μαρούλι δεν διαφοροποιείται στην διάρκεια του καλλιεργητικού του κύκλου, λόγω της βραχείας διάρκειάς του και του γεγονότος

ότι αυτός περιορίζεται μόνο στην βλαστική φάση της ανάπτυξης των φυτών. Η συνιστώμενη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας για το μαρούλι καθώς και οι επιθυμητές συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα ριζοστρώματος παρατίθενται στον Πίνακα 7.11. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, όταν παρασκευάζεται θρεπτικό διάλυμα συμπλήρωσης για υδροκαλλιέργειες μαρουλιού, η σύστασή του πρέπει να αντιστοιχεί στις συγκεντρώσεις απορρόφησης του Πίνακα 7.11.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 7.11 προκύπτει ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα θρεπτικά διαλύματα που παρέχονται στις καλλιέργειες μαρουλιού πρέπει να κυμαίνεται γύρω στα 2,2 - 2,6 dS m⁻¹. Η ακριβής τιμή της EC στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας (ανοιχτό ή κλειστό), τις καιρικές συνθήκες, την εποχή του έτους και την περιεκτικότητα του νερού άρδευσης σε τις συγκεντρώσεις NaCl, Ca και Mg και SO₄²⁻ στο νερό άρδευσης, με στόχο την διατήρηση της EC στο διάλυμα ριζοστρώματος σε επίπεδα μεταξύ 2,5 - 2,7 dS m⁻¹. Το μαρούλι είναι σχετικά ευαίσθητο στην αλατότητα (Al-Maskri et al., 2010) και συνεπώς υψηλότερες τιμές EC από τα προαναφερόμενα επίπεδα μπορούν να μειώσουν σημαντικά την συνολική παραγωγή, όπως έχει διαπιστωθεί από σχετικά πειράματα (Tas et al., 2005, Ünlükara et al., 2008). Επιπλέον, η αύξηση της EC πάνω από τα προαναφερόμενα όρια μειώνει την ποιότητα του μαρουλιού και αυξάνει την συχνότητα εμφάνισης μίας φυσιολογικής διαταραχής που είναι γνωστή ως «κάψιμο της κορυφής των φύλλων» (Feigin et al., 1991, Fallovo et al., 2009). Από την άλλη πλευρά όμως, η EC στο διάλυμα ριζοστρώματος του διαλύματος τροφοδοσίας συνιστάται να μην μειώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από 2,2 dS m⁻¹, κυρίως γιατί τα μαρούλια που παράγονται σε χαμηλή EC έχουν βραχύτερη μετασυλλεκτική διάρκεια ζωής και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ουσίες που συμβάλλουν στην διατροφική τους αξία, όπως τα καροτενοειδή (Kim et al., 2008). Ειδικά όταν τα μαρούλια καλλιεργούνται σε συστήματα υδροκαλλιέργειας με στόχο την παραγωγή κομμένης και τυποποιημένης σαλάτας, είναι σκόπιμη η ανύψωση της EC στο ριζόστρωμα στα μέγιστα επίπεδα του προαναφερόμενου εύρους τιμών, γιατί έχει αποδειχθεί ότι δίνει προϊόν με πολύ καλύτερη συντηρησιμότητα και διατροφική αξία (Gonnella et al., 2003, Scuderi et al., 2011). Στην περίπτωση της καλλιέργειας του μαρουλιού σε υποστρώματα αντίθετα, οι τιμές-στόχος της EC που συνιστώνται στο διάλυμα τροφοδοσίας ριζοστρώματος είναι σκόπιμο να ορίζεται προσεγγίζον στα κατώτερα όρια του προαναφερόμενου εύρους τιμών Πίνακα 7.11, δεδομένου ότι η EC στο διάλυμα ριζοστρώματος τείνει να ανυψώνεται στα μεσοδιαστήματα

μεταξύ των ποτισμάτων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το μέσο βάρος των φυτών μαρουλιού δεν μειώνεται ακόμη και με χαμηλότερες τιμές EC στο διάλυμα τροφοδοσίας από τα προαναφερόμενα επίπεδα (Maruo et al., 2002). Συνεπώς, οι βασικοί λόγοι που επιβάλλουν την διατήρηση τιμών EC πάνω από $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ στο διάλυμα τροφοδοσίας είναι η ποιότητα και η μετασυλλεκτική συντηρησιμότητα του προϊόντος.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των κύριων θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας και τις αναλογίες μεταξύ τους, από τον Πίνακα 7.11 προκύπτει ότι το μαρούλι γενικά χαρακτηρίζεται από υψηλότερες συγκεντρώσεις απορρόφησης ~~απορροφά~~ K σε υψηλότερη αναλογία ως προς το Ca και κυρίως ως προς το Mg και το N, σε σύγκριση με τα περισσότερα καρποδοτικά λαχανικά. Κατά συνέπεια, Γενικά η συνιστώμενη αναλογία N/K στο διάλυμα τροφοδοσίας του μαρουλιού είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με αυτή που συνιστάται για το βλαστικό στάδιο των περισσότερων καρποδοτικών λαχανικών. Αυτό συμβαίνει γιατί το μαρούλι έχει αυξημένες ανάγκες σε K, όπως φαίνεται από τις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις K στα φύλλα του, οι οποίες συνήθως κυμαίνονται μεταξύ $70 - 100 \text{ mg g}^{-1}$ ξηρής ουσίας (Savvas et al., 2006, Fallovo et al., 2009). Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις Ca και Mg στα φύλλα του μαρουλιού είναι σχετικά χαμηλές (κατά μέσο όρο 10 και 4 mg g^{-1} ξηρής ουσίας για το Ca και το Mg αντίστοιχα), με συνέπεια η γραμμομοριακή αναλογία K:Ca:Mg σε αυτά να ανέρχεται σε $0,83:0,11:0,06$ ή $0,80:0,11:0,09$ σύμφωνα με τα δεδομένα των Savvas et al. (2006) ή Fallovo et al., 2009) αντίστοιχα. Παρόμοια γραμμομοριακή αναλογία K:Ca:Mg στα φύλλα του μαρουλιού με αυτή που προκύπτει από τα δεδομένα των Savvas et al. (2006) αναφέρει και ο Sonneveld (2002). Κατά συνέπεια, η συγκέντρωση K στο διάλυμα τροφοδοσίας ~~αλλά και στο περιβάλλον των ριζών~~ πρέπει να είναι ~~πολύ πιο αυξημένη~~ αρκετά υψηλότερη από αυτές του Ca και του Mg. Από την άλλη πλευρά όμως, η συγκέντρωση Ca στο διάλυμα ~~ριζοστρώματος τροφοδοσίας~~ δεν θα πρέπει να είναι ~~πολύ~~ χαμηλή γιατί η ανεπαρκής παροχή Ca στις καλλιέργειες μαρουλιού προκαλεί κάψιμο της κορυφής των φύλλων (Cresswell, 1991, Huett, 1994).

Σε αντίθεση με την αναλογία N:K, η απόλυτη συγκέντρωση του αζώτου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας δεν θα πρέπει να είναι χαμηλή γιατί το μαρούλι παρουσιάζει υψηλούς ρυθμούς απορρόφησης N. Αυτό φαίνεται και από την περιεκτικότητα των φύλλων του σε οργανικό N, η οποία στις περισσότερες ποικιλίες του είναι υψηλή, της τάξεως των 50 mg g^{-1} ξηρής ουσίας (Savvas et al., 2006, Fallovo et al., 2009). Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι η σχετικά χαμηλή αναλογία N:K στα φύλλα του μαρουλιού οφείλεται στην συγκριτικά πιο

αυξημένη συγκέντρωση Κ σε αυτά και όχι σε χαμηλή συγκέντρωση οργανικού Ν. Από την άλλη πλευρά όμως, πολύ υψηλές συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητη συσσώρευση νιτρικών στα φύλλα του μαρουλιού και θα πρέπει να αποφεύγονται (Linker and Johnson-Rutzke, 2005).

Το μαρούλι αντιδρά θετικά όταν ένα ποσοστό της τάξεως του 20% ή ακόμη και του 30% του συνολικού Ν χορηγείται σε μορφή $\text{NH}_4\text{-N}$ (Savvas et al., 2006). Όταν υπάρχει $\text{NH}_4\text{-N}$ στο θρεπτικό διάλυμα που περιβάλλει τις ρίζες του, το μαρούλι φαίνεται ότι το απορροφά κατά προτίμηση σε σύγκριση με το $\text{NO}_3\text{-N}$ (Maruo et al., 2002, Gent, 2003). Το ακριβές κλάσμα του $\text{NH}_4\text{-N}$ στο διάλυμα τροφοδοσίας εξαρτάται τόσο από το ύψος του συνολικού Ν όσο και από το pH σε αυτό και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ρυθμίζεται σε επίπεδα που δεν οδηγούν σε χαμηλότερες τιμές pH από 5 στο διάλυμα ριζοστρώματος. Η παροχή σημαντικού μέρους του Ν σε αμμωνιακή μορφή εξυπηρετεί και τον στόχο της παραγωγής μαρουλιού με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις NO_3^- στα φύλλα του. Η αύξηση της παροχής $\text{NH}_4\text{-N}$ κατά τις τελευταίες ημέρες πριν την συγκομιδή του μαρουλιού με αντίστοιχη μείωση του $\text{NO}_3\text{-N}$ και ηλεκτροχημική υποκατάστασή του τελευταίου με SO_4^{2-} και Cl^- μπορεί να συμβάλλει σε σημαντική μείωση της περιεκτικότητάς του σε νιτρικά (Van der Boon et al., 1990, Broadley et al., 2003).

Το μαρούλι έχει αυξημένες απαιτήσεις σε φώσφορο και γι' αυτό η συνιστώμενη συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας είναι σχετικά υψηλή ώστε να διατηρείται ένα επαρκές επίπεδο P στο διάλυμα ριζοστρώματος. Σύμφωνα με τους Sonneveld and Straver (1994), η συγκέντρωση P στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας που προορίζονται για καλλιέργειες μαρουλιού πρέπει να ανέρχεται σε 2 mmol L^{-1} , ώστε τα επίπεδα του P στο διάλυμα ριζοστρώματος να διατηρούνται κοντά στο 1 mmol L^{-1} .

Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, αξίζει να σημειωθεί η αυξημένη ευαισθησία πολλών ποικιλιών μαρουλιού στην τοξικότητα μαγγανίου (Sonneveld and Voogt, 1975). Η τοξικότητα Μn στο μαρούλι εκδηλώνεται στα παλιά φύλλα, είτε με νεκρωτικές κηλίδες που περιβάλλονται από χλωρωτικούς δακτυλίους (Williams and Vlamis, 1957), είτε με περιφερειακή χλώρωση σε πλάτος που εξαρτάται από την συγκέντρωση Μn στο ριζόστρωμα (Vlamis and Williams, 1973). Για να περιοριστεί ο κίνδυνος εμφάνισης τέτοιων προβλημάτων στις εκτός εδάφους καλλιέργειες του μαρουλιού, η συγκέντρωση Μn στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα $5 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, ενώ η συγκέντρωση Fe θα πρέπει να είναι σχετικά υψηλή, γύρω στα $20\text{--}40 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ (Sonneveld and Voogt, Straver (2009)1994). Ένας αποτελεσματικός

τρόπος προστασίας του μαρουλιού από τοξικότητα Mn είναι η προσθήκη πυριτίου σε συγκέντρωση γύρω στο 1,0-1,5 mmol L⁻¹ στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας (Voogt and Soneveld, 2001).

7.10. Υδροπονική καλλιέργεια φράουλας

7.10.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Η καλλιεργούμενη φράουλα (*Fragaria × ananassa* Duchesne) ανήκει στην οικογένεια Rosaceae. Σήμερα οι περισσότερες καλλιεργούμενες ποικιλίες προέρχονται από διασταύρωση των ειδών *F. chiloensis* και *F. virginiana* ή αυτών με άλλα είδη. Για καλλιεργητικούς σκοπούς η φράουλα πολλαπλασιάζεται αγενώς με στόλωνες, οι οποίοι είναι έρποντες βλαστοί παραγόμενοι από μητρικά φυτά σε συνθήκες μεγάλης ημέρας. Οι κόμβοι των στολώνων ριζοβολούν όταν έρχονται σε επαφή με υγρό χώμα, οπότε καθένας από αυτούς μπορεί να αναπτυχθεί ως ανεξάρτητο φυτό αν αποκοπεί από τους άλλους.

Σε γενικές γραμμές, η εκτός εδάφους καλλιέργεια της φράουλας (Εικόνα 3.23) οδηγεί σε αύξηση των αποδόσεων και συνεπώς μπορεί να παράσχει σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα (Van Os et al., 2002). Οι αποδόσεις της φράουλας εξαρτώνται από τον αριθμό των καρπών ανά φυτό, το μέσο βάρος των καρπών και την πυκνότητα φύτευσης. Οι καλύτερες συνθήκες που επιτυγχάνονται στον χώρο των ριζών στις καλλιέργειες εκτός εδάφους (έναρξη καλλιέργειας χωρίς παθογόνα, καλύτερες συνθήκες αερισμού, διαθεσιμότητας νερού και θερμοκρασίας ρίζας) αυξάνουν τόσο τον αριθμό όσο και το μέσο μέγεθος των καρπών. Επιπλέον, η καλλιέργεια της φράουλας σε συστήματα εκτός εδάφους επιτρέπει την εφαρμογή πυκνών φυτεύσεων με τοποθέτηση καναλιών σε διαφορετικά επίπεδα, όπως π.χ. τα συστήματα πυραμίδας (Εικόνα 7.14), με συνέπεια την επιπλέον αύξηση της παραγωγής (Van Os et al., 2008). Τέτοια συστήματα όμως μπορεί να έχουν σημαντικό αρχικό κόστος κατασκευής το οποίο συχνά δεν καλύπτεται από την αυξημένη παραγωγή (Mattas et al., 1997). Τέλος, στα συστήματα καλλιέργειας της φράουλας εκτός εδάφους τα φυτά μπορούν να τοποθετούνται πάνω σε πάγκους ή υπερυψωμένα κανάλια, με συνέπεια να διευκολύνονται οι καλλιεργητικές εργασίες και να μειώνονται τα εργατικά (Van Os et al., 2008). Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της καλλιέργειας της φράουλας σε πάγκους ή υπερυψωμένα κανάλια είναι η παραγωγή καρπών υψηλότερης ποιότητας λόγω της απουσίας επαφής τους με το έδαφος και την εδαφική υγρασία, καθώς και του καλύτερου αερισμού τους (Van Os et al., 2002). Οι συνθήκες αυτές επιτρέπουν την

παραγωγή καρπών που είναι απαλλαγμένοι από χόματα και άλλους ρύπους και προσβάλλονται σε μικρότερο βαθμό από προσυλλεκτικές ή μετασυλλεκτικές σήψεις οφειλόμενες σε βοτρυτή ή άλλους μικροοργανισμούς.

Η φράουλα εκκρίνει ουσίες με αυτοτοξική δράση από τις ρίζες της (Kitazawa et al., 2005). Συνεπώς, όταν η φράουλα καλλιεργείται σε κλειστά υδροπονικά συστήματα, το ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να απορρίπτεται τακτικά, ώστε αυτές οι ουσίες να μην συσσωρεύονται στο περιβάλλον των ριζών της (Asao et al., 2008).

Η φύτευση της φράουλας στις καλλιέργειες εκτός εδάφους γίνεται είτε σε σάκους είτε απευθείας σε κανάλια που περιέχουν κάποιο υπόστρωμα (συνήθως πετροβάμβακας, περλίτης, ελαφρόπετρα ή κόκος. Φύτευση της φράουλας σε κανάλια, υπερυψωμένα ή μη, γίνεται και όταν εφαρμόζεται υδροκαλλιέργεια με επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος, όπως π.χ. σε συστήματα NFT (Van Os et al., 2008). Λόγω του μικρού μεγέθους της, η φράουλα μπορεί να καλλιεργηθεί επιτυχώς σε αεροπονικά συστήματα, καθώς και σε συστήματα επίπλευσης. Η φύτευση της φράουλας μπορεί να γίνεται σε απλές, διπλές ή πολλαπλές γραμμές. Η τοποθέτηση των φυτών σε διπλές ή πολλαπλές γραμμές επιτρέπει την εφαρμογή υψηλότερης πυκνότητας φύτευσης και προτιμάται γιατί δίνει υψηλότερη παραγωγή. Η πυκνότητα φύτευσης της φράουλας κυμαίνεται γύρω στα 10 φυτά/m² όταν τα φυτά είναι τοποθετημένα στο ίδιο επίπεδο, ενώ η εφαρμογή συστημάτων κάθετης καλλιέργειας ή κεκλιμένων επιπέδων επιτρέπει πυκνότητες που φτάνουν τα 24 φυτά/m² (Mattas et al., 1997) ή και μεγαλύτερες.

7.10.2. Λίπανση και θρέψη της φράουλας στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Η φράουλα είναι ένα ευαίσθητο φυτό στην αλατότητα (Ehlig and Bernstein, 1958, Saied et al., 2005). Επιπλέον, η φράουλα δεν φαίνεται να αντιδρά με αύξηση της παραγωγής όταν αυξάνεται η παροχή αζώτου στο εύρος από 7,5 - 15 mmol L⁻¹ (Darnell and Stutte, 2001, Tagliavini et al., 2005). Συνεπώς, η φράουλα δεν χρειάζεται υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα όταν καλλιεργείται εκτός εδάφους. Σύμφωνα με τους Sonneveld and Straver (1994) μία ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 1,75 dS m⁻¹ στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας είναι αρκετή για την φράουλα, εφόσον διατηρεί την EC σε επίπεδα γύρω στα 2 dS m⁻¹ στο θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος.

Στα φυτά φράουλας το Ca συσσωρεύεται κυρίως στα φύλλα, ενώ οι καρποί περιέχουν πολύ λίγο ασβέστιο (Tagliavini et al., 2005). Αντίθετα από το Ca, το K και το N περιέχονται σε

υψηλότερες συγκεντρώσεις στους καρπούς, ενώ το Mg περιέχεται σε ίδιες συγκεντρώσεις τόσο στα φύλλα όσο και στους καρπούς. Γενικά οι συγκεντρώσεις των μακροκατιόντων είναι σχετικά χαμηλές στα φύλλα της φράουλας. Οι Palencia et al. (2010) αναφέρουν συγκεντρώσεις K, Ca και Mg ίσες με 1,94, 0,84 και 0,42 mg g⁻¹ ξηρής ουσίας αντίστοιχα στα φύλλα της φράουλας, οι οποίες δίνουν γραμμομοριακή αναλογία K:Ca:Mg ίση με 0,56:0,24:0,20. Όσον αφορά τους καρπούς της φράουλας, οι Yoon et al. (2009) αναφέρουν συγκεντρώσεις K, Ca και Mg ίσες με 3,47, 0,36 και 0,44 mg g⁻¹ ξηρής ουσίας αντίστοιχα, από τις οποίες υπολογίζεται μία γραμμομοριακή αναλογία K:Ca:Mg ίση με 0,76:0,08:0,16. Όσον αφορά την γραμμομοριακή αναλογία N:K, ενδεικτικά αναφέρεται ότι αυτή βρέθηκε ίση με 2,85 στα φύλλα με βάση δεδομένα των Palencia et al. (2010) και Darnell and Stutte (2001) και 1,85 στους καρπούς σύμφωνα με δεδομένα των Yoon et al. (2009). Οι παραπάνω διαφορές στις συγκεντρώσεις και αναλογίες θρεπτικών στοιχείων μεταξύ φύλλων και καρπών αντικατοπτρίζονται και στις συνθέσεις των θρεπτικών διαλυμάτων που χορηγούνται στην φράουλα κατά το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης και το στάδιο της καρποφορίας. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.12, η συγκέντρωση ασβεστίου είναι αυξημένη κατά το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης της φράουλας αλλά μειώνεται στο στάδιο της καρποφορίας, ενώ ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει με το K και σε μικρότερο βαθμό με το N. Όσον αφορά την Τέλος, η συγκέντρωση Mg, αυτή στο παρεχόμενο θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει επίσης να μειώνεται δεν διαφοροποιείται σημαντικά κατά την μετάβαση των φυτών από τη βλαστική φάση ανάπτυξης στο στάδιο της καρποφορίας.

Η παροχή μέρους του αζώτου σε αμμωνιακή μορφή δίνει υψηλότερη παραγωγή στις καλλιέργειες φράουλας εκτός εδάφους. Σύμφωνα με τους Yoon et al. (2009), η αύξηση του αμμωνιακού αζώτου σε ποσοστό μέχρι 20% του συνολικού N στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας αυξάνει σημαντικά την παραγωγή της φράουλας στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Μεγαλύτερη αύξηση της παροχής NH₄-N σε ποσοστό μέχρι 30% του συνολικού N όμως οδηγεί σε σημαντική μείωση της παραγωγής. Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι το NH₄-N μπορεί να προκαλέσει τοξικότητα στη φράουλα όταν η θερμοκρασία στο περιβάλλον της ρίζας είναι ψηλότερη από 28 °C (Ganmore-Neumann and Kafkafi, 1983). Γι' αυτό, όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, η παροχή NH₄-N πρέπει να διατηρείται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα από το 20% του συνολικού αζώτου.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η φράουλα επωφελείται από την παροχή πυριτίου μέσω του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας. Κατ' αρχήν, η παροχή Si αυξάνει την γονιμότητα της γύρης

της φράουλας και συνεπώς και την καρπόδεση, με συνέπεια να οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγή (Miyake and Takahashi, 1986). Επιπλέον, η παροχή Si στη φράουλα μέσω του θρεπτικού διαλύματος μειώνει σημαντικά τις προσβολές από οídio (Voogt and Sonneveld, 2001, Kanto et al., 2004). Από την άλλη πλευρά όμως, έχει αναφερθεί (Lieten et al., 2002) ότι η χορήγηση Si στο θρεπτικό διάλυμα σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα $0,55 \text{ mmol L}^{-1}$ (σε μορφή K_2SiO_3) μπορούν να αυξήσουν την συχνότητα εμφάνισης καρπών με αλμπινισμό (καρποί λευκού χρώματος). Για να αποφευχθεί αυτή η παρενέργεια, η συγκέντρωση Si στα θρεπτικά διαλύματα που παρέχονται στη φράουλα ~~α~~ συνιστάται να μην υπερβαίνει το επίπεδο των $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$.

7.11. Υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς

7.11.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Η καλλιεργούμενη τριανταφυλλιά είναι υβρίδιο διαφορετικών ειδών του γένους *Rosa* sp. της οικογένειας Rosaceae. Η τριανταφυλλιά είναι το πλέον διαδεδομένο καλλιεργούμενο καλλωπιστικό φυτό για παραγωγή δρεπτών ανθέων τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς. Στα θερμοκήπια η τριανταφυλλιά καλλιεργείται ως πολυετές φυτό. Στις επιχειρηματικές μονάδες παραγωγής δρεπτών ανθέων τα φυτά τριανταφυλλιάς διατηρούνται συνήθως για 4-6 έτη στην καλλιέργεια. Μετά την παρέλευση αυτού του χρόνου, το φυτικό υλικό ανανεώνεται ολοκληρωτικά. Η εγκατάσταση μίας νέας καλλιέργειας τριανταφυλλιάς γίνεται με φύτευση νεαρών φυτών. Τα νεαρά φυτά που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση μίας νέας καλλιέργειας μπορούν να είναι είτε έρριζα εμβολιασμένα μοσχεύματα, είτε αυτόρριζα μοσχεύματα.

Η εκτός εδάφους καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς στο θερμοκήπιο έχει βρει εκτεταμένη πρακτική εφαρμογή μεταξύ των παραγωγών δρεπτών ανθέων. Σε πολλές χώρες, όπως η Ολλανδία, η εκτός εδάφους καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς αποτελεί τον κανόνα, ενώ η καλλιέργεια στο έδαφος είναι η εξαίρεση. Η ευρύτατη αποδοχή της εκτός εδάφους καλλιέργειας μεταξύ των παραγωγών δρεπτού τριαντάφυλλου οφείλεται κατ' αρχήν στην πολύ καλή προσαρμοστικότητα του φυτού σε αυτόν τον τρόπο καλλιέργειας. Οφείλεται όμως και στο γεγονός ότι η τριανταφυλλιά καλλιεργείται ως πολυετές φυτό σε πυκνότητες φύτευσης που μπορούν να βελτιωθούν στα εκτός εδάφους συστήματα, με συνέπεια να λαμβάνεται υψηλότερη παραγωγή (Van Os et al., 2008).

Οι εκτός εδάφους καλλιέργειες της τριανταφυλλιάς είναι σχεδόν πάντοτε καλλιέργειες σε

υπόστρωμα. Τα συστήματα υδροκαλλιέργειας όπως το NFT είναι ακατάλληλα για πολυετείς καλλιέργειες, όπως η τριανταφυλλιά. Λόγω της μεγάλης διάρκειας της καλλιέργειας, το ριζικό σύστημα βαθμιαία αποκτά πολύ μεγάλο μέγεθος με συνέπεια να παρεμποδίζει την ροή του θρεπτικού διαλύματος. Επιπλέον, σε μία πολυετή καλλιέργεια όπως η τριανταφυλλιά, σοβαρά προβλήματα προκαλεί και η βαθμιαία αποδόμηση των παλαιότερων ριζών, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση τοξικών ουσιών στο ριζόστρωμα.

Το πιο συνηθισμένο υπόστρωμα καλλιέργειας της τριανταφυλλιάς είναι διεθνώς ο πετροβάμβακας και ακολουθούν ο κόκος και διάφορα ηφαιστειογενή υλικά, όπως η ελαφρόπετρα και η σκωρία (tuff). Στις καλλιέργειες τριανταφυλλιάς ο πετροβάμβακας κατά κανόνα χρησιμοποιείται σε μορφή πλακών που είναι τοποθετημένες σε σάκους (Εικόνα 7.15). Προτιμώνται πλάκες πετροβάμβακα πλάτους 20 cm. Σε κάθε πλάκα πετροβάμβακα φυτεύονται συνήθως 6-8 φυτά, κατά προτίμηση σε δύο γραμμές με τοποθέτηση ανά 12 – 16 cm κατ' εναλλαγή σε κάθε γραμμή, ώστε να προκύπτει μαιανδρική διάταξη. Παρόμοιος τρόπος φύτευσης εφαρμόζεται συνήθως και όταν η τριανταφυλλιά καλλιεργείται σε σάκους γεμισμένους με άλλα κοκκώδη υποστρώματα, όπως ο περλίτης ή ο κόκος (Εικόνα 7.16).

Επειδή η τριανταφυλλιά είναι πολυετές φυτό, είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για καλλιέργεια σε κανάλια γεμισμένα με κάποιο κοκκώδες υπόστρωμα, όπως η ελαφρόπετρα (Εικόνα 7.17) ή ο κόκος. Η φύτευση της τριανταφυλλιάς σε κανάλια, μέσα στα οποία τοποθετείται χύδην το υπόστρωμα, επιτρέπει την αύξηση του όγκου του υποστρώματος ανά φυτό με παράλληλη μείωση του συνολικού κόστους αγοράς του. Από την άλλη πλευρά όμως, η τοποθέτηση ενός υποστρώματος σε χύδην μορφή μέσα σε κανάλια απαιτεί περισσότερα εργατικά τα οποία θα πρέπει να συνυπολογίζονται στο συνολικό κόστος. Τέλος, ένας άλλος τρόπος καλλιέργειας της τριανταφυλλιάς εκτός εδάφους είναι η φύτευση σε γλάστρες ή άλλα φυτοδοχεία γεμισμένα με κάποιο υπόστρωμα (Εικόνα 3.22). Συνήθως χρησιμοποιούνται γλάστρες των 10-12 λίτρων και σε κάθε τέτοια γλάστρα φυτεύονται 2 φυτά (Εικόνα 4.17) ή ακόμη και 3 ορισμένες φορές.

Η συνιστώμενη πυκνότητα φύτευσης της τριανταφυλλιάς ανέρχεται σε 8 - 12 φυτά/m². Η τριανταφυλλιά, λόγω του τρόπου που κλαδεύεται σήμερα (λύγισμα μη παραγωγικών βλαστών προς τα κάτω), δεν απαιτεί πρόσδεση και υποστύλωση και δεν αναπτύσσεται πολύ σε ύψος. Συνεπώς, στις καλλιέργειες εκτός εδάφους τα φυτά τριανταφυλλιάς μπορούν να τοποθετούνται σε υπερυψωμένα κανάλια, ή φυτοδοχεία που φέρονται σε πάγκους, ώστε να διευκολύνονται οι καλλιεργητικές εργασίες και να μειώνονται τα εργατικά.

7.11.2. Λίπανση και θρέψη της τριανταφυλλιάς στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Στον Πίνακα 7.13 παρατίθενται συστάσεις θρεπτικών διαλυμάτων για καλλιέργειες τριανταφυλλιάς τόσο σε ανοιχτά όσο και σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. Τα συνιστώμενα χαρακτηριστικά για τα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται σε εκτός εδάφους καλλιέργειες τριανταφυλλιάς καθώς και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για το διάλυμα ριζοστρώματος. Οι βιβλιογραφικές πηγές και τα δεδομένα, πάνω στα οποία βασίσθηκε η κατάρτιση του Πίνακα 7.13 παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

Η τριανταφυλλιά είναι μέτρια ευαίσθητη στην αλατότητα, αλλά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις υψηλές συγκεντρώσεις NaCl στο περιβάλλον των ριζών (Massa et al., 2008). Σύμφωνα με τους Sonneveld et al. (1999), η μέγιστη ηλεκτρική αγωγιμότητα που δεν προκαλεί μείωση της παραγωγής στην τριανταφυλλιά ανέρχεται σε $2,1 \text{ dS m}^{-1}$, ενώ κάθε μονάδα αύξησης της EC πάνω από αυτό το επίπεδο μειώνει την παραγωγή ανθέων κατά 5,3%. Συνεπώς, η EC στο διάλυμα ριζοστρώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει το επίπεδο των $2,1 \text{ dS m}^{-1}$. Για να επιτευχθεί αυτό, η EC στο διάλυμα τροφοδοσίας πρέπει να είναι χαμηλότερη κατά $0,40,3 \text{ dS m}^{-1}$ περίπου από την προαναφερόμενη τιμή-στόχο για το διάλυμα ριζοστρώματος. Οι παραπάνω τιμές EC είναι αρκετά χαμηλές και στην πράξη στην Ελλάδα αρκετές φορές δεν μπορούν να επιτευχθούν, λόγω της παρουσίας αλάτων στο νερό άρδευσης τα οποία επίσης συμβάλλουν στην τελική τιμή της EC.

Όπως διαπιστώνεται από τον Πίνακα 7.13, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων που έχουν μετρηθεί σε καλλιέργειες τριανταφυλλιάς (Sonneveld, 2002) είναι πολύ χαμηλότερες από αυτές που αναφέρονται για καρποδοτικά λαχανικά όπως η τομάτα, το αγγούρι, κ.λπ. Σύμφωνα με δεδομένα του παραπάνω συγγραφέα, η αναλογία απορρόφησης των μακροκατιόντων (K:Ca:Mg) ανέρχεται σε 0,60:0,30:0,10 ενώ η αναλογία απορρόφησης N:K σύμφωνα με τους De Kreij et al. (1999) ανέρχεται σε $2,32$. Από δεδομένα προερχόμενα από Ελληνικά παραγωγικά θερμοκήπια προκύπτει ότι η αναλογία απορρόφησης N:K είναι ελαφρά υψηλότερη στις μεσογειακές κλιματικές συνθήκες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το K απορροφάται πολύ πιο εύκολα από το Ca και το Mg, καθώς και ότι η μετασυλλεκτική συντήρηση των ανθέων τριανταφυλλιάς επηρεάζεται θετικά από την επαρκή τροφοδότηση των φυτών με Ca (Starkey and Pedersen, 1997, Bar-Tal et al., 2001c), η αναλογία K:Ca:Mg στα διαλύματα τροφοδοσίας συνιστάται να ανέρχεται σε $0,48:0,36:0,16$ ή $0,50:0,35:0,15$. Η αναλογία

αυτή έχει δοκιμαστεί τόσο πειραματικά (Savvas et al., 2007d) όσο και στην καλλιεργητική πρακτική σε παραγωγικά θερμοκήπια κάτω από τις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες και έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα. Παρόμοια αναλογία K:Ca:Mg για τα διαλύματα τροφοδοσίας της τριανταφυλλιάς συνιστούν και οι De Kreij et al. (1999).

Η αναλογία N:K στα διαλύματα τροφοδοσίας της τριανταφυλλιάς θα πρέπει να είναι υψηλότερη από την κομμάινεται πολύ κοντά στην αντίστοιχη αναλογία απορρόφησής τους. Στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες, γραμμομοριακές αναλογίες N:K ίσες με 2,70 στο διάλυμα τροφοδοσίας και 2,40 στο διάλυμα συμπλήρωσης για κλειστά συστήματα έχουν αποδειχθεί ως οι πλέον κατάλληλες. Εκτός από την συνολική συγκέντρωση του N στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας, σημαντική επίσης είναι και η αναλογία του $\text{NH}_4\text{-N}$ προς το συνολικό N. Όπως προκύπτει από πειραματικά δεδομένα των Bar-Yosef et al. (2009), η τριανταφυλλιά αντιδρά θετικά στην αύξηση του αμμωνιακού κλάσματος μέχρι το 0,25 (25%) του συνολικού αζώτου. Στην πράξη όμως, τόσο υψηλές συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$ στο διάλυμα τροφοδοσίας απαιτούν αυξημένες τιμές EC οι οποίες δεν είναι επιθυμητές για την τριανταφυλλιά, ενώ επιπλέον μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολική μείωση του pH στο διάλυμα ριζοστρώματος (Bar-Yosef, 2008). Από την πρακτική εμπειρία φαίνεται ότι στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες η προσθήκη του 10—15 8% -12% του συνολικού N σε μορφή $\text{NH}_4\text{-N}$ είναι αρκετή για την διατήρηση του pH του θρεπτικού διαλύματος ριζοστρώματος σε ικανοποιητικά επίπεδα ($5,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$) στις καλλιέργειες τριανταφυλλιάς. Το ακριβές κλάσμα του $\text{NH}_4\text{-N}$ εξαρτάται και από την εποχή του έτους, ενώ μικρή επίδραση μπορούν να έχουν επιπλέον και το είδος του υποστρώματος, καθώς και η σύσταση του νερού άρδευσης. Σε κάθε περίπτωση όμως, το ακριβές κλάσμα του $\text{NH}_4\text{-N}$ στο διάλυμα τροφοδοσίας της τριανταφυλλιάς θα πρέπει να καθορίζεται και να αναπροσαρμόζεται όταν χρειάζεται, λαμβάνοντας υπόψη το pH του διαλύματος ριζοστρώματος.

Η τριανταφυλλιά ανήκει στα φυτά τα οποία επωφελούνται σημαντικά από την προσθήκη πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας όταν καλλιεργείται εκτός εδάφους (Voogt and Sonneveld, 2001). Η προσθήκη Si στο θρεπτικό διάλυμα φαίνεται ότι μειώνει την απορρόφηση του Na και αυξάνει τον αριθμό των εμπορεύσιμων ανθέων ανά φυτό (Savvas et al., 2007d), ενώ περιορίζει την έκταση των προσβολών από ωίδιο (Voogt and Sonneveld, 2001).

Τέλος όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις τους (Sonneveld and Straver, 1994) είναι σε γενικές γραμμές είτε ίδιες με αυτές που συνιστώνται για τα καρποδοτικά λαχανικά (B, Cu, Mo), είτε χαμηλότερες από αυτές (Mn, Zn). Εξαίρεση αποτελούνει ο σίδηρος

και το μολυβδοαίνιο, η συγκέντρωση των οποίων στην τριανταφυλλιά πρέπει να είναι υψηλότερη από την συνιστώμενη για τα καρποδοτικά λαχανικά.

7.12. Υδροπονική καλλιέργεια ζέρμπερας

7.12.1. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Η ζέρμπερα (*Gerbera jamesonii*) είναι ιθαγενές φυτό της Νότιας Αφρικής. Το φυτό έγινε για πρώτη φορά γνωστό στην Ευρώπη γύρω στα 1880, από τον R. Jameson, έναν σκωτσέζο άποικο, από τον οποίο πήρε και το βοτανικό του όνομα το είδος. Σήμερα η ζέρμπερα είναι ένα από τα πλέον γνωστά και διαδεδομένα δρεπτά άνθη τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και στην Ελλάδα, μολονότι η ιστορία της είναι τόσο βραχύχρονη. Την μεγάλη της εξάπλωση η ζέρμπερα την οφείλει στην απaráμιλλη ωραιότητα των ανθέων της τα οποία είναι μαργαρίτες μεγάλου μεγέθους σε ποικιλία χρωμάτων και φέρονται πάνω σε μακρούς και ισχυρούς μίσχους.

Στις καλλιέργειες σε πετροβάμβακα (Εικόνα 7.18) η ζέρμπερα συνήθως φυτεύεται σε διπλές γραμμές (Sonneveld, 1989), οι οποίες διαχωρίζονται μεταξύ τους με διαδρόμους πλάτους 60-80 cm. Η πυκνότητα φύτευσης κυμαίνεται από 6 - 8 φυτά/m², ανάλογα με τον αριθμό των γραμμών κάθε ομάδας, τις αποστάσεις φύτευσης πάνω σε κάθε γραμμή και το πλάτος των διαδρόμων. Παρόμοια διάταξη και πυκνότητα φύτευσης εφαρμόζεται και στις καλλιέργειες της ζέρμπερας σε άλλα υποστρώματα, είτε αυτά είναι τοποθετημένα σε σάκους είτε απευθείας σε κανάλια.

Η ζέρμπερα δεν σχηματίζει υπέργειο επίμηκες βλαστικό στέλεχος. Οι βλαστοί της ζέρμπερας είναι υπόγειοι (ριζώματα). Τα ριζώματα κάθε φυτού συνενώνονται στην περιοχή του λαιμού σχηματίζοντας έναν βλαστικό δίσκο. Όλα τα φύλλα του φυτού εκπτύσσονται ακτινοειδώς από τον βλαστικό αυτό δίσκο ο οποίος βρίσκεται στο ύψος της επιφάνειας του εδάφους, με αποτέλεσμα η ζέρμπερα να λαμβάνει την μορφή ενός ρόδακα (ροζέτας). Από την περιοχή του λαιμού του φυτού βλαστάνουν επίσης και τα ανθικά στελέχη τα οποία φέρουν επάκρια τα άνθη του φυτού. Αντίθετα με άλλα φυτά της οικογένειας Asteraceae που επίσης σχηματίζουν ρόδακα, όπως το μαρούλι, η ζέρμπερα διατηρεί την ροδακοειδή μορφή και μετά την έκπτυξη ανθικών στελεχών. Από τον βλαστικό δίσκο της ζέρμπερας εκπτύσσονται διαδοχικά πολλά ανθικά στελέχη τα οποία συγκομίζονται κάθε 2 ή 3 ημέρες. Η συγκομιδή των ανθέων ζέρμπερας στο θερμοκήπιο ξεκινάει 2-3 μήνες περίπου μετά την φύτευση των φυτών και η καλλιέργεια διατηρείται για 2 ή 3 χρόνια σε συνεχή παραγωγή. Τα άνθη της ζέρμπερας συγκομίζονται με κάμψη του μίσχου τους προς τα κάτω και τράβηγμα, ώστε να αποκολληθεί η βάση του από τον βλαστικό δίσκο του φυτού.

Η ζέρμπερα ανήκει στα παραγωγικά φυτά θερμοκηπίου τα οποία προσαρμόζονται πολύ καλά σε συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους (Maloupa and Gerasopoulos, 1999). Τα συστήματα υδροκαλλιέργειας δεν ενδείκνυνται για την καλλιέργεια της ζέρμπερας γιατί δεν παρέχουν την απαιτούμενη αντιστήριξη στο φυτό κατά την συγκομιδή των ανθέων, η οποία όπως προαναφέρθηκε γίνεται με το τράβηγμά τους. Η καλλιέργεια σε υποστρώματα είναι πολύ εύκολη δεδομένου ότι τα φυτά δεν αναπτύσσονται σε ύψος και δεν απαιτούν υποστήλωση, ούτε εκπύσσουν πλάγιους βλαστούς και επομένως δεν έχουν ανάγκη από κλάδεμα. Η ζέρμπερα δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις και συνεπώς μπορεί να ευδοκιμήσει σε οποιοδήποτε υπόστρωμα εφόσον τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του διασφαλίζουν ισόρροπη διαθεσιμότητα νερού και αέρα στη ρίζα (Pisanu et al., 1994). Στην Ελλάδα η ζέρμπερα καλλιεργείται κυρίως σε πετροβάμβακα, κόκο, ελαφρόπετρα και περλίτη. Για την καλλιέργεια σε πετροβάμβακα συνιστώνται πλάκες πλάτους 15 cm και ύψους 10 cm αντί του συνηθισμένου των 7,5 cm. Το αυξημένο ύψος της πλάκας αποσκοπεί στην διατήρηση χαμηλής υγρασίας στην ανώτερη επιφάνειά της, ώστε να αποφεύγονται οι προσβολές από τον μύκητα *Phytophthora cryptogea* στον οποίο ο λαιμός της ζέρμπερας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος (Sonneveld, 1989). Για την καλλιέργεια της ζέρμπερας σε κόκκο, ελαφρόπετρα ή περλίτη, το υπόστρωμα μπορεί να τοποθετείται είτε σε σάκους, είτε σε γλάστρες (Εικόνα 3.30), είτε χύδην μέσα σε κανάλια.

7.12.2. Λίπανση και θρέψη της ζέρμπερας στις καλλιέργειες εκτός εδάφους

Στον Πίνακα 7.14 παρατίθενται τα συνιστώμενα χαρακτηριστικά για τα θρεπτικά διαλύματα που χορηγούνται σε εκτός εδάφους καλλιέργειες ζέρμπερας καθώς και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για το διάλυμα ριζοστρώματος. Οι βιβλιογραφικές πηγές και τα δεδομένα, πάνω στα οποία βασίσθηκε η κατάρτιση του Πίνακα 7.13 παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

Η ζέρμπερα είναι πολύ ευαίσθητο φυτό στην αλατότητα. Σύμφωνα με τους Sonneveld et al. (1999), η μέγιστη τιμή EC στο διάλυμα ριζοστρώματος που δεν μειώνει την παραγωγή ανθέων ζέρμπερας ανέρχεται σε $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ ενώ για κάθε μονάδα αύξησης της EC πάνω από αυτό το όριο η παραγωγή μειώνεται κατά 9,8%. Άλλοι ερευνητές όμως (De Kreij and van Os, 1989) υπολόγισαν μία τιμή EC ίση με 2 dS m^{-1} ως μέγιστο επιτρεπτό όριο που δεν προκαλεί απώλεια παραγωγής στην ζέρμπερα (τιμή - κατώφλι αλατότητας). Η ακριβής τιμή που μπορεί να λάβει η EC χωρίς να μειωθεί η παραγωγή μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν κάθε εποχή και σε κάθε περιοχή (Sonneveld, 2000). Στην Ελλάδα, επειδή το

κλίμα είναι σχετικά θερμό και συνήθως ξηρό, είναι πιθανόν να υπάρχει κάποια μικρή μείωση της παραγωγής ζέρμπερας σε τιμές EC στο ριζόστρωμα μεταξύ 1,5 και 2 dS m⁻¹. Λόγω όμως των κινδύνων γρήγορης πτώσης της συγκέντρωσης κάποιου θρεπτικού στοιχείου σε επίπεδα ανεπάρκειας όταν η EC στον χώρο των ριζών είναι πολύ χαμηλή, στις καλλιέργειες ζέρμπερας η τελευταία είναι σκόπιμο να μην υπερβαίνει το επίπεδο των διατηρείται μεταξύ 1,8 και 2,2 dS m⁻¹. Η ακριβής τιμή εξαρτάται από την εποχή του έτους και την συγκέντρωση NaCl στο νερό άρδευσης. Όσον αφορά την EC στο διάλυμα τροφοδοσίας, οι Sonneveld and Straver (1994) συνιστούν για την ζέρμπερα μία τιμή ίση με 1,7 dS m⁻¹. Η παραπάνω τιμή EC όμως μπορεί να εφαρμόζεται μόνο όταν η συγκέντρωση Na⁺ στο νερό άρδευσης είναι ≤ 1 mmol L⁻¹. Αν η συγκέντρωση Na⁺ στο νερό άρδευσης είναι υψηλότερη από 1 mmol L⁻¹, η EC στο διάλυμα τροφοδοσίας της ζέρμπερας πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα. Στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες η ζέρμπερα έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα με EC 1,8 dS m⁻¹ στο διάλυμα τροφοδοσίας και 2,1-2,2 dS m⁻¹ στο διάλυμα απορροής (Savvas and Gizas, 2002, Savvas et al., 2003).

Συγκεντρώσεις απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων που έχουν μετρηθεί σε καλλιέργειες ζέρμπερας αναφέρονται από τον Sonneveld (2002) με βάση δεδομένα προερχόμενα από Ολλανδικά θερμοκήπια. Οι τιμές που δίνει ο Sonneveld (2002) για το N, τον P, το S, το K, το Ca και το Mg ανέρχονται σε 10,2, 0,7, 0,4, 7,0, 1,6 και 0,5 mmol L⁻¹. Οι περισσότερες από τις παραπάνω συγκεντρώσεις απορρόφησης, όταν εφαρμόστηκαν στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες για την παρασκευή διαλύματος συμπλήρωσης σε κλειστό υδροπονικό σύστημα (Savvas and Gizas, 2002), έδειξαν κάποιες αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές. Ειδικότερα, σε σύγκριση με τις τιμές που αναφέρει ο Sonneveld (2002), οι πραγματικές συγκεντρώσεις απορρόφησης στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες φάνηκε να είναι σχεδόν παρόμοιες για τον P, χαμηλότερες για το K και το N και υψηλότερες για τον P, το S, το Mg και το Ca. Οι συγκεντρώσεις απορρόφησης που παρατίθενται στον Πίνακα 7.14 βασίζονται κυρίως σε δημοσιευμένα και αδημοσίευτα πειραματικά δεδομένα από τα πειράματα των Savvas and Gizas, (2002). Από άλλα δεδομένα προερχόμενα από την ίδια πειραματική εργασία διαπιστώθηκε επίσης ότι η συγκέντρωση του NH₄-N στο διάλυμα συμπλήρωσης για καλλιέργειες ζέρμπερας σε κλειστά υδροπονικά συστήματα πρέπει να ανέρχεται γύρω στο 1,82 mmol L⁻¹. Το αμμωνιακό άζωτο όμως απορροφάται κατά προτίμηση από την ζέρμπερα, με συνέπεια η συγκέντρωση NH₄-N στο διάλυμα ριζοστρώματος να τείνει να μηδενίζεται (Savvas et al., 2003). Σε κάποιο βαθμό

βέβαια η ελαχιστοποίηση της συγκέντρωσης $\text{NH}_4\text{-N}$ στο διάλυμα ριζοστρώματος μπορεί να οφείλεται και σε νιτροποίηση (Bar-Yosef, 2008). Σε κάθε περίπτωση όμως, η συνιστώμενη συγκέντρωση $\text{NH}_4\text{-N}$ στο διάλυμα συμπλήρωσης για καλλιέργειες ζέρμπερας σε κλειστά συστήματα πρέπει να είναι υψηλότερη από αυτή που συνιστάται για το διάλυμα τροφοδοσίας (Savvas and Gizas, 2002). ~~μπορεί συμβατικά να θεωρηθεί ίση με την συγκέντρωση απορρόφησης.~~

Οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας που δίνονται στον Πίνακα 7.14 βασίζονται στους De Kreij et al. (1999) και Albino-Garduno et al. (2008), καθώς και σε σχετικά ερευνητικά δεδομένα προερχόμενα από καλλιέργειες στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες (Savvas and Gizas, 2002, Savvas et al., 2002, Savvas et al., 2003). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ζέρμπερα είναι ευαίσθητη στις υψηλές τιμές pH (> 6,5) στο ριζόστρωμα, στις οποίες αντιδρά με τροφοπενίες μεταλλικών ιχνοστοιχείων και κυρίως Mn και Cu (Sonneveld and Voogt, 1997, Savvas et al., 2003). Συνεπώς, στις εκτός εδάφους καλλιέργειες ζέρμπερας πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην συγκέντρωση $\text{NH}_4\text{-N}$ στο διάλυμα τροφοδοσίας με στόχο το pH στο διάλυμα ριζοστρώματος να μην υπερβαίνει ένα επίπεδο ασφαλείας το οποίο τοποθετείται γύρω στο 6,3 (Savvas et al., 2003). Σύμφωνα με τους Sonneveld and Voogt (1997), το άριστο pH για την ζέρμπερα στο διάλυμα ριζοστρώματος ανέρχεται σε 5,6. Η ευαισθησία στο χαμηλό pH εξαρτάται όμως και από την καλλιεργούμενη ποικιλία (Guba, 1994). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η ζέρμπερα επωφελείται από την προσθήκη Si στο διάλυμα τροφοδοσίας. Ειδικότερα, έχει διαπιστωθεί ότι η προσθήκη πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας της ζέρμπερας σε συγκέντρωση $1,25 \text{ mmol L}^{-1}$ αυξάνει σημαντικά το ποσοστό των ανθέων Α' ποιότητας καθώς και το πάχος των ανθικών στελεχών (Savvas et al., 2002). Επιπλέον, η προσθήκη Si στο διάλυμα τροφοδοσίας μειώνει την συχνότητα εμφάνισης ανθέων με κάμψη του στελέχους στη βάση της ανθοκεφαλής.

7.13. Υδροπονική καλλιέργεια χρυσάνθεμου

Το χρυσάνθεμο που καλλιεργείται στο θερμοκήπιο για παραγωγή δρεπτών ανθέων ανήκει στο γένος *Dendranthema*. Από τις καλλιεργούμενες ποικιλίες, άλλες ανήκουν στο είδος *D. grandiflora* και άλλες είναι υβρίδια μεταξύ αυτού του είδους και άλλων ειδών του γένους *Dendranthema*. Το χρυσάνθεμο είναι τυπικό φυτό βραχείας φωτοπεριόδου, το οποίο ανθίζει σε διάρκεια ημέρας μικρότερη από 12 ώρες (Dole and Wilkins, 1999). Για εκτός εποχής παραγωγή

χρυσανθέμου στο θερμοκήπιο η βραχεία φωτοπερίοδος επιτυγχάνεται με μαύρες κουρτίνες συσκοτίσης.

Στις εντατικές καλλιέργειες θερμοκηπίου η εγκατάσταση νέας φυτείας χρυσανθέμου γίνεται με φύτευση έρριζων μοσχευμάτων. Τα μοσχεύματα χρυσανθέμου είναι κορυφαία τμήματα βλαστών μήκους 8-10 cm προερχόμενα από φυτά που διατηρούνται σε συνθήκες μακράς φωτοπερίοδου ώστε να μην ανθίσουν. Το χρυσάνθεμο φθάνει στην άνθηση, οπότε ολοκληρώνει τον καλλιεργητικό του κύκλο, σε 3 μήνες περίπου από την ημέρα της φύτευσής του, ανάλογα και με την ποικιλία. Συνεπώς, στις εντατικές καλλιέργειες θερμοκηπίου γίνονται 4 φυτεύσεις χρυσανθέμου τον χρόνο. Η φύτευση του χρυσανθέμου στο θερμοκήπιο γίνεται σε ομάδες των 6-12 γραμμών (βραγίες) οι οποίες συνήθως απέχουν μεταξύ τους 12,5 cm. Η απόσταση από φυτό σε φυτό πάνω σε κάθε γραμμή ανέρχεται επίσης σε 12,5 cm, ενώ κάθε ομάδα γραμμών διαχωρίζεται από την επόμενη από έναν στενό διάδρομο πλάτους 20 – 30 cm. Η παραπάνω διάταξη οδηγεί σε υψηλές πυκνότητες φύτευσης της τάξεως των 40 φυτών/m² οι οποίες είναι εφικτές γιατί οι περισσότερες ποικιλίες χρυσανθέμου αναπτύσσουν μόνο ένα κεντρικό στέλεχος. Κατά την συγκομιδή του χρυσανθέμου, συλλέγεται ολόκληρο το φυτό το οποίο συνιστά μία εμπορεύσιμη ταξιανθία. Για λόγους εξοικονόμησης χρόνου και μείωσης του κόστους σε εργατικά, τα φυτά ξεριζώνονται ολόκληρα και οδηγούνται κατευθείαν στο συσκευαστήριο (Esher, 1996). Συνεπώς, για εκτός εδάφους καλλιέργεια χρυσανθέμου προτιμώνται κοκκώδη υποστρώματα, όπως ο κόκος ή η ελαφρόπετρα τα οποία επιτρέπουν την εκρίζωση ολόκληρου του φυτού κατά την συγκομιδή. Η εκρίζωση του φυτού κατά την συγκομιδή είναι εύκολη γιατί το χρυσάνθεμο είναι επιτολαιόριζο φυτό. Η καλλιέργεια του χρυσανθέμου σε ελαφρόπετρα έχει δοκιμαστεί στην Ελλάδα με πολύ καλά αποτελέσματα (Savvas and Manos, 1999, Savvas, 2002).

Λόγω της μεγάλης πυκνότητας φύτευσης στο θερμοκήπιο και της ανάγκης για τακτική εγκατάσταση νέας φυτείας κάθε 3 μήνες περίπου, η καλλιέργεια του χρυσανθέμου εκτός εδάφους δεν είναι πολύ συνηθισμένη ακόμη και στην Ολλανδία (Van Os et al., 2008). Για καλλιέργεια σε πετροβάμβακα, το χρυσάνθεμο συνήθως φυτεύεται σε πλάκες πλάτους 40 cm με τοποθέτηση 3 γραμμών φυτών ανά πλάκα. Πιο συνηθισμένος τρόπος καλλιέργειας του χρυσανθέμου εκτός εδάφους είναι η φύτευση σε λεκάνες καλλιέργειας βάθους 10-12 cm και πλάτους 75-100 cm, οι οποίες πληρούνται με ένα κοκκώδες υπόστρωμα ή μείγμα υποστρωμάτων, όπως π.χ. κόκος με περλίτη ή με ελαφρόπετρα (Εικόνα 7.19). Για την επιτυχία της καλλιέργειας χρυσανθέμου σε τέτοιες λεκάνες καλλιέργειας είναι σημαντικό να υπάρχουν

κατάλληλες οπές στον πυθμένα τους για αποστράγγιση. Σε κάθε λεκάνη καλλιέργειας δημιουργούνται 6-8 γραμμές με φυτά, ανάλογα με το πλάτος της. Λόγω του μικρού καλλιεργητικού κύκλου και της ανάγκης για συνεχή φύτευση νέας καλλιέργειας κάθε 3 μήνες περίπου, το χρυσάνθεμο είναι κατάλληλο και για υδροκαλλιέργεια σε συστήματα με επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος, όπως το NFT και η αεροπονία (Selmer-Olsen and Gislerød, 1980, Soffer et al., 1991, Molitor and Fischer, 1993).

Τα δημοσιευμένα ερευνητικά δεδομένα σχετικά με την θρέψη του χρυσανθέμου στις καλλιέργειες εκτός εδάφους είναι περιορισμένα, λόγω του σχετικά μικρού ενδιαφέροντος που υπάρχει για το θέμα αυτό μεταξύ των καλλιεργητών ακόμη και σε χώρες όπως η Ολλανδία. Από τις αναφορές που υπάρχουν στην διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει ότι το χρυσάνθεμο αναπτύσσεται καλύτερα και δίνει υψηλότερο μέσο βάρος ανθικού στελέχους σε χαμηλές τιμές pH (De Kreij and van der Hoeven, 1997). Σύμφωνα με την προαναφερόμενη ερευνητική εργασία, το μέσο βάρος του ανθικού στελέχους του χρυσανθέμου σε μία αεροπονική καλλιέργεια ήταν σημαντικά υψηλότερο όταν το pH στο χορηγούμενο θρεπτικό διάλυμα ήταν 4, ενώ καθώς το pH αυξανόταν από 4 σε 5, 6 και 7, το μέσο βάρος του ανθικού στελέχους μειωνόταν αναλογικά. Η ευνοϊκή επίδραση του χαμηλού pH στο χρυσάνθεμο οφειλόταν στην αυξημένη διαθεσιμότητα μεταλλικών ιχνοστοιχείων και κυρίως Fe και Mn και την συνεπακόλουθη μείωση των συμπτωμάτων χλώρωσης στα φύλλα. Άλλοι ερευνητές όμως δεν διαπίστωσαν σημαντική επίδραση του pH στις αποδόσεις του χρυσανθέμου (Alt et al., 1991, Molitor and Fischer, 1993). Σύμφωνα με τους Kramer and Peterson (1990), μία επιπλέον θετική επίδραση των χαμηλών τιμών pH στο θρεπτικό διάλυμα που παρέχεται στο χρυσάνθεμο είναι η αύξηση της διαθεσιμότητας P για τα φυτά. Από την σύνθεση όλων των παραπάνω προκύπτει ότι η διασφάλιση ικανοποιητικής θρέψης στις καλλιέργειες χρυσανθέμου επιτυγχάνεται με την διατήρηση του pH μεταξύ 5 και 6 στο διάλυμα ριζοστρώματος και την παροχή θρεπτικού διαλύματος με αυξημένες συγκεντρώσεις τόσο P όσο κυρίως Fe και Mn. Τιμές pH από 4 έως 5 στο διάλυμα ριζοστρώματος δεν συνιστώνται ακόμη και αν θεωρητικά είναι επωφελείς, γιατί εύκολα μπορούν να πέσουν σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα και να καταστούν βλαπτικές. Η διατήρηση του pH σε τιμές πάνω από 5 είναι ιδιαίτερα σημαντική στις καλλιέργειες του χρυσανθέμου σε υποστρώματα, δεδομένου ότι χαμηλότερες τιμές μπορούν να προκαλέσουν υπερβολική διαλυτοποίηση Al και Mn από το υπόστρωμα με συνέπεια να εμφανιστούν τοξικότητες.

Στον Πίνακα 7.15 παρατίθενται συστάσεις θρεπτικών διαλυμάτων για εκτός εδάφους καλλιέργειες χρυσανθέμου. Τα δεδομένα για τις συγκεντρώσεις απορρόφησης βασίζονται κυρίως στους Sonneveld and Straver (1994). Οι συστάσεις για τα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας και απορρόφησης στηρίζονται σε πειραματικά δεδομένα των De Kreij and van der Hoeven (1997) και Savvas (2002), καθώς και στην εμπειρία από καλλιέργειες χρυσανθέμου εκτός εδάφους στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.15, στις καλλιέργειες χρυσανθέμου εκτός εδάφους, η ολική συγκέντρωση αλάτων στο διάλυμα ριζοστρώματος συνιστάται να ανέρχεται σε $1,92,2 \text{ dS m}^{-1}$. Το χρυσάνθεμο είναι σχετικά ευαίσθητο στην αλατότητα (Gislerød and Selmer-Olsen, 1980) και γι' αυτό σε παλαιότερες βιβλιογραφικές πηγές (Sonneveld and Straver, 1994) δινόταν συστάσεις για χαμηλότερα επίπεδα EC στο διάλυμα ριζοστρώματος ($1,7 \text{ dS m}^{-1}$). Η διατήρηση όμως της EC στο επίπεδο των $1,9-2,02,2 \text{ dS m}^{-1}$ στο διάλυμα ριζοστρώματος διευκολύνει την διατήρηση σχετικά χαμηλών τιμών pH στο περιβάλλον των ριζών του χρυσανθέμου και διασφαλίζει καλύτερα την τροφοδότηση των φυτών με K και P (de Kreij and van der Hoeven, 1997).

7.14. Υδροπονική καλλιέργεια γαρυφαλλιάς

Η γαρυφαλλιά (*Dianthus caryophyllus*) είναι ποώδης και πολυετής φυτό. Υπάρχουν διάφορες ομάδες ποικιλιών γαρυφαλλιάς. Στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες όμως έχουν επικρατήσει πλήρως οι ποικιλίες αμερικάνικου τύπου (sim). Η εγκατάσταση μίας νέας καλλιέργειας γαρυφαλλιάς γίνεται με φύτευση έρριζων μοσχευμάτων. Η γαρυφαλλιά ανήκει στα ψυχροανθεκτικά φυτά, δεδομένου ότι μπορεί να επιζήσει σε θερμοκρασίες μέχρι και $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ χωρίς να υποστεί ζημιά από παγετό. Η άνθηση και η καλή ανάπτυξη των λουλουδιών όμως προϋποθέτει την επικράτηση θερμοκρασιών γύρω στους $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ στο εναέριο περιβάλλον των φυτών κατά την διάρκεια της ημέρας.

Η γαρυφαλλιά καλλιεργείται για παραγωγή δρεπτών ανθέων τόσο υπαίθρια όσο και στο θερμοκήπιο. Στην Ελλάδα η έκταση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών γαρυφαλλιάς είναι σε γενικές γραμμές συγκρίσιμη με αυτή των θερμοκηπίων με τριανταφυλλιά. Σημαντικό μέρος των παραγόμενων δρεπτών ανθέων γαρυφαλλιάς προέρχεται από υπαίθριες καλλιέργειες, δεδομένου ότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το φυτό έχει μέτριες απαιτήσεις σε θερμοκρασία για την παραγωγή ανθέων ενώ δεν επηρεάζεται από την φωτοπερίοδο. Για τους ίδιους λόγους, δρεπτά γαρύφαλλα μπορούν να παράγονται και σε απλά θερμοκήπια, χωρίς θέρμανση ακόμη και τον

χειμώνα. Η ευκολία και το χαμηλό κόστος παραγωγής δρεπτού γαρύφαλλου διατηρούν κατά κανόνα χαμηλά τις τιμές του προϊόντος με συνέπεια να αποθαρρύνουν την εισαγωγή σύγχρονων τεχνολογιών, όπως είναι η υδροπονία. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια υπάρχει ένα αυξημένο ενδιαφέρον για την εκτός εδάφους καλλιέργεια της γαρυφαλλιάς λόγω των προβλημάτων που προκαλούν οι εδαφογενείς ασθένειες και της αδυναμίας καταπολέμησής τους με βρωμιούχο μεθύλιο (Kazaz et al., 2009). Μεγαλύτερης έκτασης ενδιαφέρον υπάρχει για την εκτός εδάφους καλλιέργεια μητρικών φυτών γαρυφαλλιάς τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μοσχευμάτων. Γενικά, λόγω των σχετικά χαμηλών στρεμματικών αποδόσεων της γαρυφαλλιάς, οι παραγωγοί συνήθως ενδιαφέρονται για την καλλιέργειά της σε χαμηλού κόστους υποστρώματα, όπως η ελαφρόπετρα (Εικόνα 7.20) ή άλλα εγχώρια παραγόμενα υλικά. Η καλλιέργεια της γαρυφαλλιάς σε ελαφρόπετρα έχει δοκιμαστεί με επιτυχία τόσο στην Ελλάδα (Savvas and Manos, 1999), όσο και σε άλλες Μεσογειακές χώρες, όπου διαπιστώθηκε ότι δίνει κατά 20% περίπου αυξημένη παραγωγή σε σύγκριση με την καλλιέργεια στο έδαφος (Kazaz et al., 2009).

Τα δεδομένα που είναι αναγκαία για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων και τον έλεγχο της θρέψης της γαρυφαλλιάς σε εκτός εδάφους καλλιέργειες δίνονται στον Πίνακα 7.16. Η EC που δίνεται στον Πίνακα 7.16 ως Οι συνιστώμενες τιμές EC για τα θρεπτικά διαλύματα διαλύμα τροφοδοσίας ($2,3 \pm 0,1 \text{ dS m}^{-1}$) και ριζοστρώματος ($2,6 \text{ dS m}^{-1}$) έχει δοκιμαστεί σε πειραματική καλλιέργεια γαρυφαλλιάς σε ελαφρόπετρα στην Ελλάδα (Savvas and Manos, 1999) με πολύ καλά αποτελέσματα. Όταν η EC στο διάλυμα τροφοδοσίας ανέρχεται σε $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, η τιμή στόχος της EC στο διάλυμα ριζοστρώματος ανέρχεται σε $2,6 - 3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Οι τιμές αυτές είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από τις τιμές EC που συνιστούν οι Sonneveld and Straver (1994) τόσο για το διάλυμα τροφοδοσίας όσο και για το διάλυμα ριζοστρώματος στις καλλιέργειες γαρυφαλλιάς, οι οποίες ανέρχονται σε $1,8$ και $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ αντίστοιχα. Η γαρυφαλλιά είναι ένα αρκετά ανθεκτικό φυτό στην αλατότητα, όπως διαπιστώνεται από τον πολύ χαμηλό ρυθμό μείωσης της παραγωγής ανθέων καθώς αυξάνεται η αλατότητα στο περιβάλλον των ριζών της, ο οποίος ανέρχεται σε 3% ανά μονάδα αύξησης της EC πάνω από ένα μέγιστη επιτρεπτή όριο τιμή (Baas et al., 1995). Τα δεδομένα όμως που υπάρχουν για την μέγιστη επιτρεπτή τιμή EC στο περιβάλλον των ριζών της γαρυφαλλιάς (τιμή-κατώφλι αλατότητας) δεν είναι ξεκάθαρα, δεδομένου ότι σε ένα πείραμα υπολογίσθηκε μία τιμή ίση με $1,1 \text{ dS m}^{-1}$, ενώ σε άλλο πείραμα η αντίστοιχη τιμή EC που υπολογίσθηκε ανερχόταν σε $4,3 \text{ dS m}^{-1}$ (Sonneveld et

al., 1999). Σε κάθε περίπτωση, όπως αναφέρεται το παραπάνω αναφερόμενο, το ποσοστό μείωσης της παραγωγής γαρυφάλλου ανά μονάδα αύξησης της EC στο ριζόστρωμα (3%) είναι πολύ μικρό. Συνεπώς η διατήρηση της EC στο περιβάλλον των ριζών της γαρυφαλλιάς σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα από αυτά που συνηθίζονται σε άλλες καλλιέργειες άλλων δρεπτόν ανθέων είναι σκόπιμη γιατί διασφαλίζει επάρκεια θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά χωρίς να μειώνει ουσιαστικά την παραγωγή. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι η ποιότητα των ανθέων της γαρυφαλλιάς δεν επηρεάζεται θετικά από την αυξημένη EC στο ριζόστρωμα. Όπως διαπίστωσαν οι Baas et al. (1995), η μετασυλλεκτική διάρκεια ζωής του γαρύφαλλου στο ανθοδοχείο δεν επηρεάζεται από την EC στο διάλυμα ριζοστρώματος, ενώ το μήκος των ανθικών στελεχών του μειώνεται καθώς αυξάνεται η αλατότητα.

Από σχετικά δεδομένα των Baas et al. (1995) προκύπτει μία αναλογία K:Ca:Mg ίση με 0,64:0,26:0,10 και μία αναλογία N:K ίση με 1,7 (σε γραμμομοριακή βάση) στα ανθικά στελέχη της γαρυφαλλιάς. Όπως έδειξαν πειραματικά δεδομένα προερχόμενα από την Ολλανδία, η γαρυφαλλιά έχει αυξημένες ανάγκες σε Ca ενώ δεν επηρεάζεται πολύ από τις συγκεντρώσεις K και Mg στο περιβάλλον των ριζών της (Sonneveld and Voogt, 1986). Σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, διακυμάνσεις των γραμμομοριακών κλασμάτων του K και του Mg στο σύνολο των μεταλλικών κατιόντων μεταξύ 0,48-0,77 και 0,03-0,14 αντίστοιχα, δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγή γαρυφάλλων. Με βάση τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους, οι Sonneveld and Voogt (1986) συνιστούν μία γραμμομοριακή αναλογία K:Ca:Mg ίση με 0,55:0,35:0,10 στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας της γαρυφαλλιάς με στόχο την επίτευξη μίας αναλογίας K:Ca:Mg ίσης με 0,55:0,30:0,15 στο θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος. Με βάση τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα, οι Sonneveld and Straver (1994) συνιστούν συγκεντρώσεις K, Ca και Mg ίσες με 6,25, 3,75 και 1,0 mmol L⁻¹ στο διάλυμα τροφοδοσίας της γαρυφαλλιάς και γραμμομοριακή αναλογία N:K ίση με 2,25. Οι συστάσεις που δίνονται στον Πίνακα 7.16 είναι ελαφρώς τροποποιημένες, λαμβάνοντας υπόψη μεταγενέστερες συστάσεις Ολλανδών ερευνητών (De Kreij et al., 1999) καθώς και ορισμένα δημοσίευτα σχετικά δεδομένα από καλλιέργειες γαρυφαλλιάς στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες. Όσον αφορά τις επιθυμητές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα τροφοδοσίας και ριζοστρώματος που δίνονται στον Πίνακα 7.16, αυτές βασίζονται σε συστάσεις των De Kreij et al. (1999). Τέλος, οι συγκεντρώσεις απορρόφησης που δίνονται στον Πίνακα 7.16 βασίζονται σε συστάσεις των Sonneveld and Straver (1994) με ορισμένες τροποποιήσεις για να ληφθούν υπόψη οι Ελληνικές

κλιματικές συνθήκες. Οι τροποποιήσεις αυτές προέκυψαν από την αξιολόγηση αδημοσίευτων δεδομένων προερχόμενων από ένα πείραμα με κλειστή υδροπονική καλλιέργεια γαρυφάλλου σε ελαφρόπετρα (Savvas and Manos, 1999).

7.15. Υδροπονική καλλιέργεια γυσοφίλης

Οι ποικιλίες γυσοφίλης που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια για παραγωγή δρεπτών ανθέων ανήκουν στο πολυετές είδος *Gypsophylla paniculata* L. το οποίο αποκτά σχετικά μεγάλο μέγεθος και δίνει διακλαδιζόμενες ταξιανθίες αποτελούμενες από μικρά λευκά άνθη. Τα δρεπτά άνθη της γυσοφίλης χρησιμοποιούνται στην ανθοδετική για γέμισμα των ανθικών συνθέσεων γιατί είναι μικρά σε μέγεθος και συνοδεύονται από στενά και επιμήκη φύλλα. Συνεπώς, μπορούν να συμπληρώνουν διακριτικά τις ανθοδέσμες χωρίς να επισκιάζουν την παρουσία άλλων δρεπτών ανθέων με επιβλητική εμφάνιση, όπως π.χ. το τριαντάφυλλο. Στην Ελλάδα η παραγωγή δρεπτού άνθους γυσοφίλης είναι σχετικά περιορισμένη ενώ η ζήτηση στην εγχώρια αγορά καλύπτεται κυρίως με εισαγωγές από την Ολλανδία.

Οι νέες καλλιέργειες γυσοφίλης στο θερμοκήπιο εγκαθίστανται με φύτευση νεαρών φυταρίων που προέρχονται είτε από μοσχεύματα είτε από ιστοκαλλιέργεια. Η φύτευση της γυσοφίλης στο θερμοκήπιο κατά κανόνα γίνεται τμηματικά σε τομείς κάθε 10-15 ημέρες, ξεκινώντας κάποια συγκεκριμένη ημερομηνία την περίοδο από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο. Η φύτευση της γυσοφίλης κατά κανόνα γίνεται σε ζεύγη γραμμών που απέχουν μεταξύ τους 40-50 cm, ενώ κάθε ζεύγος γραμμών χωρίζεται από το διπλανό του από διάδρομο πλάτους 90 - 120 cm. Πάνω σε κάθε γραμμή φύτευσης τα φυτά τοποθετούνται σε απόσταση 40-50 cm. Οι παραπάνω αποστάσεις φύτευσης αντιστοιχούν σε πυκνότητα φύτευσης ίση με 2,8-3,6 φυτά/m².

Η γυσοφίλη καλλιεργείται με επιτυχία σε εκτός εδάφους συστήματα τόσο στο εξωτερικό (κυρίως στην Ολλανδία) όσο και στην Ελλάδα (Εικόνα 7.21). Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για παραγωγικές καλλιέργειες γυσοφίλης στο θερμοκήπιο είναι αυτά που συνηθίζονται και στα περισσότερα άλλα δρεπτά άνθη (κυρίως πετροβάμβακας, ελαφρόπετρα, περλίτης και κόκος). Αναφορές για παραγωγή γυσοφίλης σε συστήματα υδροκαλλιέργειας δεν υπάρχουν στην διεθνή βιβλιογραφία. Πολύ φτωχά όμως είναι και τα δημοσιευμένα ερευνητικά δεδομένα σχετικά με την καλλιέργεια της γυσοφίλης σε υποστρώματα. Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα με διάφορους κοκομετρικούς τύπους ελαφρόπετρας (0-2, 0-5 και 0-8 mm) διαπιστώθηκε ότι η γυσοφίλη αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε όλους τους

παραπάνω τύπους (Gizas and Savvas, 2007). Τόσο η βλαστική της ανάπτυξη όμως, όσο και η παραγωγή ανθέων αυξάνονται σημαντικά όταν το ύψος της στρώσης της ελαφρόπετρας μέσα στον υποδοχέα της (σάκος, φυτοδοχείο ή κανάλι) είναι σχετικά μεγάλο (17 cm σε σύγκριση με 8 cm), ειδικά όταν το φυτό καλλιεργείται στα λεπτόκοκα κλάσματα. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι η γυσοφίλη είναι ευαίσθητη σε συνθήκες φτωχού αερισμού στο περιβάλλον των ριζών της.

Όσον αφορά τις θρεπτικές ανάγκες της γυσοφίλης και την σύσταση των θρεπτικών διαλυμάτων που ταιριάζουν σε αυτές, τα μόνα δεδομένα που υπάρχουν είναι οι συστάσεις των Sonneveld and Straver (1994) και De Kreij et al. (1999). Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος για κλειστά συστήματα που συνιστούν οι De Kreij et al. (1999) για την γυσοφίλη εφαρμόστηκε σε πειραματική καλλιέργεια στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες από τους Gizas and Savvas (2007). Οι συνθέσεις των θρεπτικών διαλυμάτων που δίνονται στον Πίνακα 7.17 για την γυσοφίλη βασίζονται στην εμπειρία και τα δεδομένα που προέκυψαν από την παραπάνω ερευνητική εργασία, σε συνδυασμό με τις συστάσεις των Sonneveld and Straver (1994) και De Kreij et al. (1999).

7.16. Υδροπονική καλλιέργεια φρέζιας

Η φρέζια (*Freesia × hybrida*) είναι ένα βολβώδες καλλωπιστικό φυτό της οικογένειας Iridaceae. Μπορεί να πολλαπλασιαστεί και με σπόρο, αλλά κατά κανόνα πολλαπλασιάζεται αγενώς με κορμίδια, από τα οποία προκύπτουν φυτά που αναπτύσσονται βλαστικά για ένα έτος. Από κάθε τέτοιο φυτό λαμβάνεται ένας κορμοβολβός (corm) ο οποίος είναι σε θέση να ανθίσει το επόμενο έτος αν πριν την φύτευσή του εκτεθεί για 15 τουλάχιστον ημέρες σε θερμοκρασία 30 °C (Dole and Wilkins, 1999). Για να ανθίσουν όμως, τα φυτά που προκύπτουν από τους κορμοβολβούς πρέπει να είναι εκτεθειμένα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από 15 °C. Οι κορμοβολβοί φυτεύονται σε βάθος 5 cm (Armitage, 1993).

Η φρέζια φυτεύεται πολύ πυκνά. Στις εντατικές καλλιέργειες στο θερμοκήπιο κατά κανόνα φυτεύονται 80 - 120 κορμοβολβοί/m² (Escher, 1996). Η φύτευση γίνεται σε πολλαπλές γραμμές με τοποθέτηση των κορμοβολβών σε αποστάσεις 3-4 cm μεταξύ τους τόσο επί της γραμμής όσο και από γραμμή σε γραμμή. Λόγω του πολλαπλασιασμού με ένα υπόγειο βλαστικό όργανο (κορμοβολβοί), καθώς και της πολύ πυκνής φύτευσης, η εκτός εδάφους καλλιέργεια της φρέζιας γίνεται κατά κανόνα σε χαλαρά κοκκώδη υποστρώματα (νιφάδες πετροβάμβακα, περλίτης, μείγμα τύρφης με περλίτη, κρυσταλλική άμμος, κλπ.). Το υπόστρωμα τοποθετείται κατά κανόνα

σε μεγάλες λεκάνες βάθους τουλάχιστον 10 cm (Dole and Wilkins, 1999) οι οποίες επιτρέπουν την καλή στράγγιση. Εναλλακτικά, η φρέζια μπορεί να φυτεύεται σε μικρά ατομικά γλαστρίδια γεμισμένα με ένα από τα παραπάνω υποστρώματα ή με κάποιο άλλο πορώδες υλικό με παρεμφερείς ιδιότητες.

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα σχετικά με την σύνθεση των θρεπτικών διαλυμάτων που είναι κατάλληλα για εκτός εδάφους καλλιέργειες φρέζιας. Στον Πίνακα 7.18 δίνονται επιθυμητές συνθέσεις θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας καθώς και διαλύματος ριζοστρώματος, οι οποίες είναι κατάλληλες για εκτός εδάφους καλλιέργειες φρέζιας, οι οποίες βασίζονται κυρίως στις συστάσεις των προερχόμενες από τους Sonneveld and Straver (1994).

7.17. Υδροπονική καλλιέργεια λισιάνθου

Ο λισιάνθος (*Eustoma grandiflorum*, οικογένεια Gentianaceae) είναι μία πολυετής πόα με σχετικά επιμήκη φύλλα η οποία φτάνει τα 60-80 cm σε ύψος και σχηματίζει άνθη αποτελούμενα από 5 πέταλα χρώματος γαλάζιου, κόκκινου, ρόδινου, λευκού, ή πράσινου. Τα τελευταία χρόνια τα δρεπτά άνθη του λισιάνθου διακινούνται σε σταθερά αυξανόμενες ποσότητες στις διεθνείς αγορές λόγω της ποικιλίας των χρωμάτων τους και της πολύ μεγάλης διάρκειας ζωής τους στο ανθοδοχείο (Halevy and Kofranek, 1984). Στην Ελλάδα ο λισιάνθος (Εικόνα 7.22) άρχισε να καλλιεργείται πολύ πρόσφατα. Στα θερμοκήπια ο λισιάνθος καλλιεργείται ως ετήσιο φυτό με διάρκεια ζωής 4 μήνες περίπου από την ημέρα της φύτευσης μέχρι την ημέρα της συγκομιδής. Μετά την συγκομιδή των ανθέων, τα παλιά φυτά απομακρύνονται και φυτεύονται νέα. Η εγκατάσταση νέας καλλιέργειας λισιάνθου γίνεται με σπόρο ο οποίος φυτρώνει 10-14 ημέρες μετά την σπορά σε θερμοκρασία 20 °C την ημέρα και 15 °C την νύχτα. Τα φυτά είναι έτοιμα για μεταφύτευση 10-16 εβδομάδες μετά την σπορά τους. Η αναπαραγωγή του λισιάνθου μπορεί επίσης να επιτευχθεί και με παραγωγή έρριζων μοσχευμάτων τα οποία λαμβάνονται από κορυφαία τμήματα βλαστών.

Ο λισιάνθος φυτεύεται σε λωρίδες (αλίες) αποτελούμενες από 8-10 γραμμές φυτών. Μεταξύ των λωρίδων φύτευσης μεσολαβούν διάδρομοι πλάτους 35-40 cm. Οι αποστάσεις μεταξύ των φυτών από γραμμή σε γραμμή και πάνω σε κάθε γραμμή φύτευσης ανέρχονται κατά κανόνα σε 12,5×12,5 cm. Η παραπάνω διάταξη των φυτών δίνει μία πυκνότητα φύτευσης γύρω στα 30-45 φυτά/m², ανάλογα με το πλάτος των διαδρόμων που μεσολαβούν μεταξύ των λωρίδων

φύτευσης. Ο λισιάνθος είναι ένα φυτό μακράς ημέρας με ασθενή ποσοτική αντίδραση στην φωτοπερίοδο και επομένως ανθίζει οποιαδήποτε εποχή του έτους. Η ανάπτυξη και η παραγωγή του λισιάνθου σε εκτός εδάφους συστήματα καλλιέργειας είναι πολύ καλή (Fascella et al., 2009). Για καλλιέργεια εκτός εδάφους ο λισιάνθος φυτεύεται σε διάφορα υποστρώματα ή μείγματα υποστρωμάτων (π.χ. κόκος και ελαφρόπετρα) τα οποία είναι τοποθετημένα σε επιμήκη φυτοδοχεία ή λεκάνες καλλιέργειας βάθους τουλάχιστον 15 cm. Όπως προκύπτει από σχετικά ερευνητικά δεδομένα (Domingues Salvador and Minami, 2004), ο λισιάνθος έχει ανάγκη από καλό αερισμό του ριζικού του συστήματος. Γι' αυτό, όταν καλλιεργείται εκτός εδάφους, είναι σημαντικό να μην ποτίζεται υπερβολικά συχνά και να λαμβάνεται μέριμνα για καλή αποστράγγιση του υποστρώματος.

Ο λισιάνθος παρουσιάζει αξιόλογη ανεκτικότητα στην αλατότητα, όπως προκύπτει από τα ελάχιστα σχετικά ερευνητικά δεδομένα που έχουν δημοσιευτεί. Χαρακτηριστικά είναι τα πειραματικά αποτελέσματα των Shillo et al. (2002) από τα οποία προκύπτει ότι ο λισιάνθος όχι μόνο δεν βλάπτεται σε τιμές EC 6 dS m⁻¹, αλλά απεναντίας ωφελείται, τουλάχιστον όσον αφορά το μέσο βάρος των ανθικών στελεχών και τον αριθμό των ανθέων ανά ταξιανθία. Η παραπάνω αναφερόμενη τιμή της EC όμως είναι ιδιαίτερα υψηλή και δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη στην καλλιεργητική πράξη χωρίς να επιβεβαιωθεί, παρά μόνο ως γενική ένδειξη αυξημένης ανοχής του λισιάνθου στην αλατότητα. Όσον αφορά την θρέψη του λισιάνθου στις εκτός εδάφους καλλιέργειές του, πολύ σημαντικά είναι τα αποτελέσματα που προέκυψαν από σχετικά πειράματα των Van Labeke et al. (1995). Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, οι βέλτιστες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα που προορίζονται για τον λισιάνθο κινούνται στα όρια που αναφέρονται παρακάτω: K: 3,5 - 4,0 mmol L⁻¹, Ca: 5,0 - 5,5 mmol L⁻¹, Mg: 1,0 mmol L⁻¹, NO₃⁻: 11,0 - 11,5 mmol L⁻¹, H₂PO₄⁻: 1,4 - 2,0 mmol L⁻¹, SO₄²⁻: 1,5 - 1,75 mmol L⁻¹. Αν και οι Van Labeke et al. (1995) δεν συμπεριέλαβαν καθόλου αμμωνιακό N στα θρεπτικά διαλύματα που συνέκριναν, η προσθήκη NH₄-N σε συγκεντρώσεις γύρω στο 1 mmol L⁻¹ θεωρείται επιβεβλημένη με στόχο τον έλεγχο του pH στο θρεπτικό διάλυμα ριζοστρώματος. Η ακριβής συγκέντρωση NH₄-N όμως θα πρέπει να προσαρμόζεται κατάλληλα κάθε φορά, λαμβάνοντας υπόψη το pH στο θρεπτικό διάλυμα απορροής. Ενδιαφέρον έχουν επίσης και τα ευρήματα των Frett et al. (1988) τα οποία δείχνουν ότι συγκεντρώσεις N της τάξεως των 200-300 mg L⁻¹ (14 - 21 mmol L⁻¹) δίνουν μικρότερο μήκος ανθικών στελεχών και λιγότερα άνθη ανά ανθοταξία λισιάνθου σε σύγκριση με 100 mg L⁻¹ (7 mmol L⁻¹). Σύμφωνα με

τους ίδιους ερευνητές, το μέσο βάρος των ανθικών στελεχών και ο αριθμός των ανθέων ανά ταξιανθία μεγιστοποιήθηκε σε συγκέντρωση Ca ίση με $3,75 \text{ mmol L}^{-1}$ σε σύγκριση με $1,9$ ή $7,5 \text{ mmol L}^{-1}$.

7.18. Υδροπονική καλλιέργεια ανθούριου

Το ανθούριο (*Anthurium andreaeanum*) που καλλιεργείται για παραγωγή δρεπτών ανθέων είναι ένα πολυετές ποώδες φυτό το οποίο ανήκει στην οικογένεια Araceae (Escher, 1996). Το φυτό δεν αναπτύσσεται βλαστό πάνω από το έδαφος. Τα φύλλα του είναι καρδιόσχημα και εκπτύσσονται από τον λαιμό του φυτού. Το φυτό μπορεί να φθάσει τα 1-2 m σε ύψος. Τα άνθη του φέρονται πάνω σε έναν επιμήκη σπάδικα (σπάθη) ο οποίος από μόνος του δεν έχει ιδιαίτερη καλλωπιστική αξία. Στη βάση του σπάδικα όμως φέρεται ένα καρδιόσχημο βράκτειο φύλλο με στιλπνή επιφάνεια και έντονο κόκκινο, πορτοκαλί, ρόζ, σομόν, ή κρέμ χρώμα. Ο συνδυασμός του σπάδικα και του βράκτειου φύλλου με το έντονο χρώμα συνιστά το εμπορικό άνθος με την ιδιαίτερη καλλωπιστική του αξία. Το ανθούριο είναι ένα εξωτικό φυτό καταγόμενο από υγρά και θερμά κλίματα το οποίο στο φυσικό του περιβάλλον αναπτύσσεται ως επίφυτο. Αυτό σημαίνει ότι φυτρώνει πάνω σε κορμούς δένδρων ή βράχων, αναπτύσσει εναέριες ρίζες που δεν εισέρχονται μέσα στους φυτικούς ιστούς των φυτών που το φιλοξενούν. Το φυτό τρέφεται από το νερό της βροχής και τα θρεπτικά στοιχεία που διαλύονται σε αυτό καθώς έρχεται σε επαφή με σκόνη και νεκρή οργανική ουσία. Για να παραμένουν ζωντανές και μεταβολικά ενεργές οι εναέριες ρίζες, θα πρέπει να βρίσκονται σε ένα περιβάλλον όπου η ατμοσφαιρική υγρασία είναι συνεχώς υψηλή. Ένα τέτοιο περιβάλλον είναι το υγρό τροπικό δάσος.

Το ανθούριο καλλιεργείται αποκλειστικά στο θερμοκήπιο για παραγωγή δρεπτών ανθέων. Καλλιεργείται κυρίως στην Ολλανδία και σε διάφορες τροπικές χώρες, όπως η Σρι Λάνκα, η Ταϊβάν, η Ινδία, η Χαβάη, κ.λπ. Στην Ελλάδα η καλλιέργεια του ανθούριου είναι σχεδόν άγνωστη. Τα δρεπτά άνθη του ανθούριου που διατίθενται στα ανθοπωλεία εισάγονται. Το ανθούριο, επειδή είναι ένα επίφυτο, καλλιεργείται σχεδόν αποκλειστικά εκτός εδάφους σε φυτοδοχεία (Εικόνα 7.23) με χρήση οργανικών ή ανόργανων υποστρωμάτων ως μέσων καλλιέργειας. Τα πλέον συνηθισμένα οργανικά υποστρώματα για καλλιέργεια ανθούριου είναι η τύρφη, το κοκκόχωμα, οι φλοιοί δένδρων (Holcroft and Laing, 1995), κ.λπ. Όσον αφορά την καλλιέργεια του ανθούριου σε ανόργανα υποστρώματα, στην Ολλανδία έχει δοκιμασθεί με επιτυχία ο πετροβάμβακας (Escher, 1996), ενώ στην Πολωνία χρησιμοποιείται διογκωμένη

άργιλος κοκομετρίας 8-16 cm (Kleiber and Komosa, 2010). Πολύ θετικά αποτελέσματα έχει δώσει επίσης και η αεροπονική καλλιέργεια του ανθούριου (Fascella and Zizzo, 2007). Το φυτό καλλιεργείται ως πολυετές με διάρκεια παραγωγικής ζωής της καλλιέργειας τα 5-6 χρόνια. Μόλις αποκτήσει το κατάλληλο μέγεθος, το ανθούριο ανθίζει και παράγει συνεχώς νέα άνθη.

Το πολλαπλασιαστικό υλικό που χρησιμοποιείται για εγκατάσταση νέας καλλιέργειας ανθούριου για παραγωγή δρεπτών ανθέων προέρχεται από μεριστωματικό πολλαπλασιασμό. Μπορεί να πολλαπλασιαστεί επίσης και με σπόρο αλλά με τον τρόπο αυτό υπάρχει κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών. Τα φυτοδοχεία με τα φυτά ανθούριου τοποθετούνται σε ομάδες των 3-4 γραμμών, μεταξύ των οποίων μεσολαβούν διάδρομοι πλάτους 60-80 cm. Επιδιώκεται μία πυκνότητα φύτευσης γύρω στα 4-6 φυτά/m². Τα νεαρά φυτά αρχικά αναπτύσσονται σε μικρά γλαστρίδια μέχρι την ηλικία των 4 μηνών. Σε ηλικία 8 μηνών (ύψος 20-25 cm) μεταφέρονται σε γλάστρες διαμέτρου 9 cm ενώ σε ηλικία 12 μηνών (ύψος 30-40 cm) μεταφυτεύεται οριστικά σε μεγαλύτερη γλάστρα (συνήθως διαμέτρου 18 cm). Ανθίζει στους 16 μήνες από την ημέρα που μεταφέρεται στο θερμοκήπιο.

Συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων για το ανθούριο έχουν δημοσιεύσει οι Sonneveld and Voogt (1991), Sonneveld and Straver (1994), De Kreij et al. (1999) και Dufour and Guérin (2005). Όπως προκύπτει από τα δεδομένα των Sonneveld and Voogt (1991), το ανθούριο είναι ευαίσθητο στην αλατότητα και γι' αυτό απαιτεί χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στα διαλύματα τροφοδοσίας και ριζοστρώματος. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων και τις μεταξύ τους αναλογίες, υπάρχουν αρκετές διαφορές στις συστάσεις των Dufour and Guérin (2005) και αυτές των υπόλοιπων συγγραφέων. Στον Πίνακα 7.195 παρατίθενται ~~συνθέσεις~~ συστάσεις θρεπτικών διαλυμάτων για εκτός εδάφους καλλιέργειες ανθούριου οι οποίες βασίζονται κυρίως στα πειραματικά δεδομένα των Sonneveld and Voogt (1991) και τις συστάσεις των Sonneveld and Straver (1994) και De Kreij et al. (1999) προς τους Ολλανδούς καλλιεργητές.

Βιβλιογραφία

Ι. Ελληνική βιβλιογραφία

Λυκοκανέλλος, Γ., Δ. Σάββας, Η. Βαρλάγκας, Χ. Λιότσος, Ι. Καραπάνος, Ν. Συγριμής, 2009.

Επίδραση αλατότητας NaCl στην απορρόφηση Na, Cl και K σε κλειστή υδροπονική

- καλλιέργεια τομάτας. 23^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών, Χανιά, 23-26 Οκτωβρίου 2007, τόμος 13B, σ. 847-850.
- Ντάτση, Γ., Σάββας, Δ., Γκίζας, Γ., Μάντζος, Ν., Γκόλια, Ε., 2007. Επίδραση της συγκέντρωσης ασβεστίου στο νερό άρδευσης σε καλλιέργεια τομάτας σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. 23ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών, Χανιά, 23-26 Οκτωβρίου 2007. Περιλήψεις Ανακοινώσεων, σ. 42.
- Οικονομάκης, Κ. 1995. Ελαφρόπετρα και περλίτης. Η ελληνική πρόταση για την υδροπονία. Γεωργία – Κτηνοτροφία, 1/1995, σ. 42-44.
- Οικονομάκης, Κ., 2007. Καλλιέργεια τομάτας με το σύστημα NFT. Γεωργία & Κτηνοτροφία, 12/2007, σελ. 58-62.
- Ολύμπιος, Χ.Μ., 2001. Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Κηπευτικών στο Θερμοκήπιο. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Σάββας, Δ., 2007. Η υδροπονική καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο. Γεωργία & Κτηνοτροφία, 12/2007, σελ. 42-56.
- Σάββας, Δ., 2009. Πρόσφατες εξελίξεις και διαφαινόμενες τάσεις στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών. 23^ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών, Χανιά, 23-26 Οκτωβρίου 2007, τόμος 13B, σ. 741-748.

II. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Adams, P., 1980. Nutrient uptake by cucumbers from recirculating solution. *Acta Hort.* 98, 119-126.
- Adams, P., 1986. Mineral nutrition. In: Atherton, J.G. and J. Rudich (eds.). *The Tomato Crop*. Chapman and Hall, London: pp 281-334.
- Adams, P., 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hort. Sci.* 66, 201-207.
- Adams, P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas, D., Passam, H.C. (eds.). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 211-261.

- Adams, P., and D.M. Massey, 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. In: Proc. 6th Internat. Congr. Soilless Culture, Lunteren, 1984. ISOSC, Wageningen, pp. 71-80.
- Adams, P., and L.C. Ho, 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. J. Hort. Sci. 67, 827-839.
- Adatia, M.H., and Besford, R.T., 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solutions. Ann. of Bot. 58, 343-351.
- Akl, I.A., Savvas, D., Papadantonakis, N., Lydakis-Simantiris, N., Kefalas, P., 2003. Influence of ammonium to total nitrogen supply ratio on growth, yield and fruit quality of tomato grown in a closed hydroponic system. Europ. J. Hort. Sci. 68, 204-211.
- Albino-Garduno, R., Zavaleta-Mancera, H.A., Ruiz-Posadas, L.M., Sandoval-Villa, M., and Castillo-Morales, A., 2008. Response of gerbera to calcium in hydroponics. J. Plant Nutr. 31, 91-101.
- Al-Maskri, A., Al-Kharusi, L., and Al-Miqbali, H., 2010. Effects of salinity stress on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. Intern. J. Agric. Biol. 12, 377-380.
- Alt, D., Schreur, R., Ellmann, J., Krupp, J., 1991. Chrysanthemen in Aeroponic. Deutscher Gartenbau 45, 1012-1014.
- Anchondo, J.A., Wall, M.M., Gutschick, V.P., and Smith, D.W., 2002. Growth and yield of iron-deficient Chile peppers in sand culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127, 205-210.
- Armitage, A.M., 1993. Specialty Cut Flowers. Varsity/Timber Press, Portland, Oregon, USA.
- Asao, T., Kitazawa, H., Ban, T., Habibur, M., Pramanik, R., and Tokumasa, K., 2008. Electrodegradation of root exudates to mitigate autotoxicity in hydroponically grown strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants. HortScience 43, 2034-2038.
- Auerswald, H., D. Schwarz, C. Kornelson, A. Krumbein, and B. Brückner, 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. Sci. Hort. 82, 227-242.
- Baas, R., Nijssen, H.M.C., Van den Berg, T.J.M., and Warmenhoven, M.G., 1995. Yield and quality of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) and gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) in a closed nutrient system as affected by sodium chloride. Sci. Hort. 61, 273-284.

- Bar-Tal, A., Pressman, E., 1996. Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake, and blossom-end rot in greenhouse tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121, 649-655.
- Bar-Tal, A., Feigin, A., Sheinfeld, S., Rosenberg, R., Sternbaum, B., Rylski, I., Pressman, E., 1995. Root restriction and N-NO_3 solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. *Sci. Hort.* 63, 195-208.
- Bar-Tal, A., Aloni, B., Karni, L., Oserovitz, J., Hazan, A., Itach, M., Gantz, S., Avidan, A., Posalski, I., Tratkovski, N., and Rosenberg, R., 2001a. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. I. Effects of nitrogen concentration and $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ ratio on yield, fruit shape, and the incidence of blossom-end rot in relation to plant mineral composition. *HortScience* 36, 1244-1251.
- Bar-Tal, A., Aloni, B., Karni, L., Rosenberg, R., 2001b. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. *HortScience* 36, 1252–1259.
- Bar-Tal, A., Baas, R., and Ganmore-Neumann, R., 2001c. Rose flower production and quality as affected by Ca concentration in the flower. *Agronomie* 21, 393–402.
- Bar-Yosef, B., 1997. Greenhouse muskmelon response to K concentration in water and irrigation rate. *Proceedings, 9th Internat. Congr. Soilless Cult., ISOSC, Wageningen, The Netherlands*, pp. 35-50.
- Bar-Yosef, B., 2008. Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouses. In: Raviv, M., Lieth, H.J. (eds). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier, Amsterdam, pp. 341-424.
- Bar-Yosef, B., Mattson, N.S., and Lieth, H.J., 2009. Effects of $\text{NH}_4:\text{NO}_3:\text{urea}$ ratio on cut roses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Sci. Hort.* 122, 610–619.
- Ben-Oliel, G., and Kafkafi, U., 2002. Melon fruit quality as affected by timing, duration, and concentration of phosphate and nitrogen sources in recycled hydroponic system. *J. Plant Nutr.* 25, 1563–1583.
- Bernadac, A., Jean-Baptiste, I., Bertoni, G., Morard, P., 1996. Changes in calcium contents during melon (*Cucumis melo* L.) fruit development. *Sci. Hort.* 66, 181-189.

- Bosland, P.W., and Votava, E.J., 2000. Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. Crop Production Science in Horticulture Series (Vol 12). CABI Publishing, Oxon, UK.
- Broadley, M.R., Seginer, I., Burns, A., Escobar-Gutiérrez, A.J., Burns, I.G., White, P.G., 2003. The nitrogen and nitrate economy of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.). J. Exp. Bot. 54, 2081-2090.
- Brugnoli, E., Lauteri, M., 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C₃ nonhalophytes. Plant Physiol. 95, 628–635.
- Burleson, C.A., Dacus, A.D., and Gerard, C.J., 1961. The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 25: 365-368.
- Chance, W.O., III, Z.C. Somda, and H.A. Mills, 1999. Effect of nitrogen form during the flowering period on zucchini squash growth and nutrient element uptake. J. Plant Nutr. 22, 597-607.
- Chapagain, B.P., Wiesman, Z., 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. Sci. Hort. 99, 279-288.
- Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Massa, D., Salerno, A., and Rea, E. 2006. Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. J. Hort. Sci. Biotechn. 81, 146-152.
- Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., Salerno, A., Rea, E. 2010b. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. Environ. Exp. Bot. 68, 283-291.
- Cornillon, P., and Palloix, A., 1997. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. J. Plant Nutr. 20, 1085-1094.
- Cresswell, G.C., 1991. Effect of lowering nutrient solution concentration at night on leaf calcium levels and the incidence of tipburn in lettuce (var. Gloria). J. Plant Nutr. 14, 913-924.
- Cuartero, J., Muñoz, R.F. 1999. Tomato and salinity. Sci. Hort. 78, 83-125.
- Darnell, R.L., and Stutte, G.W., 2001. Nitrate concentration effects on NO₃-N uptake and reduction, growth, and fruit yield in strawberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125, 560–563.
- Davis, J.M., Sanders, D.C., Nelson, P.V., Lengnick, L., Sperry, W.J., 2003. Boron improves growth, yield, quality, and nutrient content of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128, 441-446.

- De Kreij, C., 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. *Acta Hort.* 408, 47-61.
- De Kreij, C., 1999. Production, blossom-end rot, and cation uptake of sweet pepper as affected by sodium, cation ratio, and EC of the nutrient solution. *Gartenbauwissenschaft* 64, 158-164.
- De Kreij, C., and P.C. Van Os, 1989. Production and quality of gerbera in rockwool as affected by electrical conductivity of the nutrient solution. In: *Proceedings, 7th Internat. Congress on Soilless Cult., ISOSC, Wageningen, The Netherlands*: pp. 255-264.
- De Kreij, C., Basar, H., 1997. Leaf tip yellowing in eggplant is caused by boron deficiency. *J. Plant Nutr.* 20, 47-53.
- De Kreij, C., and B. Van der Hoeven, 1997. Effect of humic substances, pH and its control on growth of chrysanthemum in aeroponics. In: *Proceedings, 9th International Congress on Soilless Culture. ISOSC, Wageningen, The Netherlands*: pp. 207-230.
- De Kreij, C., Voogt, W., Baas, R. 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Brochure 196. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG), Naaldwijk, The Netherlands.
- De Rijck, G., Schrevens, E., 1998. Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to precipitation reactions. *J. Plant Nutr.* 21, 2103-2113.
- Dole, J.M., Wilkins, H.F., 1999. *Floriculture. Principles and Species*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Domingues Salvador, E., and Minami, K., 2004. Evaluation of different substrates on *Lisianthus (Eustoma grandiflorum Shinn)* growth. *Acta Hort.* 644, 217-223.
- Dorais, M., Papadopoulos, A.P., and Gosselin, A., 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. A review. *Agronomie* 21, 367-383.
- Dufour, L., and Guérin, V., 2005. Nutrient solution effects on the development and yield of *Anthurium andreanum* Lind. in tropical soilless conditions. *Sci. Hort.* 105, 269–282.
- Ehlig, C.F., and Bernstein, L., 1958. Salt tolerance of strawberries. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 72, 198-206.
- Ehret, D.L., and Ho, L.C., 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hort. Sci.* 61, 361-367.
- Escher, F., 1996. *Schnittblumenkulturen*. Ulmer Verlag, Stuttgart, Germany.

- Fageria, N.K., and Baligar, V.C., 1999. Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an inceptisol. *J. Plant Nutr.* 22, 1495-1507.
- Falovo, C., Roupael, Y., Rea, E., Battistelli, A., Colla, G., 2009. Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. *acephala* in floating raft culture. *J. Sci. Food Agric.* 89, 1682–1689.
- Fascella, G., and Zizzo, G.V., 2007. Preliminary results of aeroponic cultivation of *Anthurium andreanum* for cut flower production. *Acta Hort.* 747, 233-240.
- Fascella, G., Agnello, S., Delmonte, F., Sciortino B., and Giardina, G., 2009. Crop response of lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Shinn.) hybrids grown in soilless culture. *Acta Hort.* 807, 559-563.
- Feigin, A., Pressman, E., Imas, P. and Miltau, O., 1991. Combined effects of KNO₃ and salinity on yield and chemical composition of lettuce and chinese cabbage. *Irrig. Sci.* 12, 223–230.
- Flores, P., Navarro, J.M., Garrido, C., Rubio, J.S., Martínez, V., 2004. Influence of Ca²⁺, K⁺ and NO₃⁻ fertilisation on nutritional quality of pepper. *J. Sci. Food Agric.* 84, 569-574.
- Frett, J.J., Kelly, J.W., Harbaugh, B.K., and Roh, M., 1988. Optimizing nitrogen and calcium nutrition of lisianthus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19, 13-24.
- Ganmore-Neumann, R., and Kafkafi, U., 1980. Root temperature and percentage NO₃/NH₄ effect on tomato plant development. I. Morphology and growth. *Agron. J.* 72, 758–761.
- Ganmore-Neumann, R., and Kafkafi, U., 1983. The effect of root temperature and NO₃⁻/NH₄⁺ ratio on strawberry plants. I. Growth, flowering and root development. *Agron. J.* 75, 941–947.
- Gaugh, C., and Hobson, G.E., 1990. A comparison of the productivity, quality, shelf-life characteristics and consumer reaction to the crop from cherry tomato plants grown at different levels of salinity. *J. Hort. Sci.* 65, 431-439.
- Gent, M., 2003. Solution electrical conductivity and ratio of nitrate to other nutrients affect accumulation of nitrate in hydroponic lettuce. *HortScience* 38, 222–227.
- Giménez, M., Guzmán, M., García, I.G., Sanchez, A., Urrestarazu, M., 1997. Preliminary studies on the influence of the nitrogen source in the nutrient solution on the quality of melon and watermelon seedlings in soilless culture. *Proceedings, 9th Internat. Congr. Soilless Cult., ISOSC, Wageningen, The Netherlands*, pp. 181-188.

- Gislerød, H.R., and Selmer-Olsen, A.R., 1980. The responses of chrysanthemum to variations in salt concentration when grown in recirculated nutrient solution. *Acta Hort.* 98, 201-209.
- Gislerød, H.R., and Kempton, R.J., 1983. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. *Sci. Hort.* 20, 23-33.
- Gizas, G., Savvas, D., 2007. Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience* 42, 1274-1280.
- Gómez-López, M.D., Fernández-Trujillo, J.P., Baille, A., 2006. Cucumber fruit quality at harvest affected by soilless system, crop age and preharvest climatic conditions during two consecutive seasons. *Sci. Hort.* 110, 68–78.
- Gonnella, M., Serio, F., Conversa, G., and Santamaria, P., 2003. Yield and quality of lettuce grown in floating system using different sowing density and plant spatial arrangements. *Acta Hort.* 614, 687-692.
- Goto, E., Both, A.J., Albright, L.D., Langhans, R.W., and Leed, A.R., 1996. Effect of dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics. *Acta Hort.* 440, 205-210.
- Graifenber, A., Botrini, L., Giustiniani, L., Lipucci Di Paola, M., 1996. Yield, growth, and element content of zucchini squash grown under saline-sodic conditions. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 71, 305-311.
- Graves, C.J., 1983. The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5, 1-44.
- Guba, W., 1994. The effect of pH in the root medium on the production and quality of gerbera grown in rockwool. *J. Fruit Ornamental Plant Res.* 2, 123–134.
- Halevy, A.H., and Kofranek, A.M., 1984. Evaluation of lisianthus as a new flower crop. *HortScience* 19, 845-847.
- Hao, X., Papadopoulos, A.P., 2003. Effects of calcium and magnesium on photosynthesis, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. *Can. J. Plant Sci.* 83, 903-912.
- Hao, X., Wen, G., Papadopoulos, A.P. and S. Khosla, 2010. A twin-head “V” high-wire greenhouse cucumber production system for reducing crop start-up cost. *HortTechnology* 20, 963-970.
- Hinze, J.C., 1987. Anbau, Wasserbedarf und Qualität von Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris* var. *vulgaris* L.) in Hydrokultursystemen. Διδακτορική διατριβή, πανεπιστήμιο Βόννης, Γερμανία.

- Holcroft, D.M., and Laing, M.D., 1995. Evaluation of pine bark as a substrate for Anthurium production in South Africa. *Acta Hort.* 401, 177–184.
- Huett, D.O., 1994. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. *Austral. J. Agric. Res.* 45, 251-267.
- International Seed Testing Association (ISTA), 2003. International rules for seed testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.
- Islam, A.K.M.S., Edwards, D.G., and Asher, C.J., 1980. pH optima for crop growth. Results of a flowing solution culture experiment with six species. *Plant Soil*, 54, 339-357.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J., and Stoffella, P.J., 2004. Fruit yield and quality of greenhouse grown bell pepper as influenced by density, container, and trellis system. *HortTechnology* 14, 507–513.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J., Stoffella, P.J., and Haman, D.Z., 2007. Bell pepper fruit yield and quality as influenced by solar radiation-based irrigation and container media in a passively ventilated greenhouse. *HortScience* 42, 642-652.
- Kanto, T., Miyoshi, A., Ogawa, T., Maekawa, K., Aino, M., 2004. Suppressive effect of potassium silicate on powdery mildew of strawberry in hydroponics. *J. Gen. Plant Pathol.*, 70, 207–211.
- Kazaz, S., Yilmaz, S., and Sayin, B., 2009. Comparison of soil and soilless cultivation of carnation in Isparta province. *Acta Hort.* 807, 547-551.
- Kim, H.J., Fonseca, J.M., Choi, J.H., Kubota, C., and Kwon, D.Y., 2008. Salt in irrigation water affects the nutritional and visual properties of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56, 3772–3776.
- Kitazawa, H., Asao, T. Ban, T. Pramanik, M.H.R., and Hosoki, T., 2005. Autotoxicity of root exudates from strawberry in hydroponic culture. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 80, 677–680.
- Kittas, C., Tchamitchian, M., Katsoulas, N., Karaiskou, P., Papaioannou, C., 2006. Effect of two UV-absorbing greenhouse-covering films on growth and yield of an eggplant soilless crop. *Sci. Hort.* 110, 30–37.
- Kleiber, T., and Komosa, A., 2010. Guide values for anthurium (*Anthurium cultorum* Birdsey) grown in expanded clay. *J. Plant Nutr.* 33, 1506–1518.

- Klieber, A., Lin, W.C., Jolliffe, P.A., Hall, J.W., 1993. Training systems affect canopy light exposure and shelf life of long English cucumber. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118, 786-790.
- Kramer, L.L., Peterson, J.C., 1990. Influence of water, pH alkalinity and acid additions on growth and nutrient relationships in *Chrysanthemum morifolium* 'Bright Golden Anne'. *J. Plant Nutr.* 13, 169-186.
- Krauss, S., Schnitzler, W.H., Grassmann, J., Woitke, M. 2006. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *J. Agric. Food Chem.* 54, 441-448.
- Kurtar, E.S., 2010. Modelling the effect of temperature on seed germination in some cucurbits. *African J. Biotechn.* 9, 1343-1353.
- Lenz, F., 1970. Einfluss der Früchte auf das Wachstum, den Wasserverbrauch und die Nährstoffaufnahme von Auberginen (*Solanum melongena* L. var. Lange Violette). *Gartenbauwissenschaft* 35, 281-292.
- Leoni, S., Pisanu, B., and Grudina, R. 1994. A new system of tomato greenhouse cultivation: high density aeroponic system (HDAS). *Acta Hort.* 361, 210–217.
- Liao, M.T., Hedley, M.J., Woolley, D.J., Brooks, R.R., and Nichols, M.A., 2000. Copper uptake and translocation in chicory (*Cichorium intybus* L. cv. Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Rony) plants grown in NFT system. I. Copper uptake and distribution in plants. *Plant Soil* 221, 135-142.
- Lieten, P., Horvath, J., and Asard, H., 2002. Effect of silicon on albinism of strawberry. *Acta Hort.* 567, 361–364.
- Lingle, J.C., and Davis, R.M., 1959. The influence of soil temperature and phosphorus fertilization on the growth and mineral absorption of tomato seedlings. *Proceed. Amer. Soc. Hort. Sci.* 73, 312-321.
- Linker, R., Johnson-Rutzke, C., 2005. Modeling the effect of abrupt changes in nitrogen availability on lettuce growth, root-shoot partitioning and nitrate concentration *Agric. Syst.* 86, 166-189.
- Lopez, J., Tremblay, N., Voogt, W., Dubé, S., and Gosselin, A., 1996. Effects of varying sulphate concentrations on growth, physiology and yield of the greenhouse tomato. *Sci. Hort.* 67, 207-217.
- Maboko, M.M., and Du Plooy, C.P., 2009. Effect of plant spacing on growth and yield of lettuce

- (*Lactuca sativa* L.) in a soilless production system. South African J. Plant Soil 26, 195-197.
- Madrid, R., Valverde, M., Alcolea, V., and Romojaro, F., 2004. Influence of calcium nutrition on water soaking disorder during ripening of Cantaloupe melon. Sci. Hort. 101, 69-79.
- Maloupa, E., and D. Gerasopoulos, 1999. Quality production of four cut gerberas in a hydroponics system of four substrates. Acta Hort. 491, 433-438.
- Maršić, N.K., Osvald, J., 2002. Effects of different nitrogen levels on lettuce growth and nitrate accumulation in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) grown hydroponically under greenhouse conditions. Gartenbauwissenschaft 67, 128-134.
- Marti, H.R., and Mills, H.A., 1991. Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form. J. Plant Nutr. 14, 1165-1175.
- Maruo, T., Shinohara, Y., Iwata, M., Ito, T., 2002. Effects of nutrient concentration on the absorption of N, P and K by lettuce cultured in NFT system. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 71, 675-682.
- Massa, D., Mattson, N.S., Lieth, H., 2008. An empirical model to simulate sodium absorption in roses growing in a hydroponic system. Sci. Hort. 118, 228-235.
- Mattas, K., Bentes, M., Paroussi, G., and Tzouramani, I., 1997. Assessing the economic efficiency of a soilless culture system for off-season strawberry production. HortScience 32, 1126-1129.
- Mavrogianopoulos, G.N., Spanakis, J., Tsikalas, P., 1999. Effect of carbon dioxide enrichment and salinity on photosynthesis and yield in melon. Sci. Hort. 79, 51-63.
- Mavrogianopoulos, G., Savvas D., and Vogli, V., 2002. Influence of NaCl-salinity imposed to half of the root system of hydroponically grown tomato on growth, yield, and tissue mineral composition. J. Hort. Sci. Biotechn. 77, 557-564.
- Miyake, Y., Takahashi, E., 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plant in a solution culture. Soil Sci. Plant Nutr. 32, 321-326.
- Molitor, H.D., Fischer, M., 1983. Effect of several parameters on the growth of chrysanthemum in aeroponics; root formation and root morphology. Proceedings, 8th Internat. Congr. Soilless Cult., ISOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 223-239.
- Navarro, J.M., Botella, M.A., Martinez, V., 1999. Yield and fruit quality of melon plants grown under saline conditions in relation to phosphate and calcium nutrition. J. Hort. Sci. Biotechn. 74, 573-578.

- Navarro, J.M., Garrido, C., Carvajal, M., and Martinez, V., 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 77, 52-57.
- Navarro, J.M., Flores, P., Garrido, C., Martinez, V., 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem.*, 96, 66-73.
- Nukaya, A., W. Voogt, and C. Sonneveld, 1991. Effects of NO₃, SO₄, and Cl ratios on tomatoes grown in recirculating system. *Acta Hort.* 294, 297-304.
- Nukaya, A., K. Goto, H. Jang, A. Kano, and K. Ohkawa, 1995. Effect of K/Ca ratio in the nutrient solution on incidence of blossom-end rot and gold specks of tomato fruit grown in rockwool. *Acta Hort.* 396, 123-130.
- Oke M, Ahn T, Schofield A, Paliyath G 2005. Effects of phosphorus fertilizer supplementation on processing quality and functional food ingredients in tomato. *J. Agric. Food Chem.* 53, 1531-1538.
- Palencia, P., Martinez, F., Ribeiro, E., Pestana, M., Gama, F., Saavedra, T., de Varennes, A., Correia, P.J., 2010. Relationship between tipburn and leaf mineral composition in strawberry. *Sci. Hort.* 126, 242–246.
- Pardossi, A., Falossi, F., Malorgio, F., Incrocci, L., and Bellocchi, G., 2004. Empirical models of macronutrient uptake in melon plants grown in recirculating nutrient solution culture. *J. Plant Nutr.* 27, 1261-1280.
- Parisi, M., Giordano I, Pantangelo A, D’Onofrio B, Villari G, 2006. Effects of different levels of nitrogen fertilization on yield and fruit quality in processing tomato. *Acta Hort.* 700, 129-132.
- Pérez-Alfocea, F., Balibrea, M.E., Santa-Cruz, A., and Estañ, M.T., 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant Soil* 180, 251–257.
- Petersen, K.K., J. Willumsen, and K. Kaack, 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J. Hort. Sci.* 73, 205-215.
- Pisanu, A.B., Carletti, G.M., and Leoni, S., 1994. *Gerbera jamesonii* cultivation with different inert substrates. *Acta Hort.* 361, 590–602.
- Pomper, K.W., Grusak, M.A., 2004. Calcium uptake and whole-plant water use influence pod calcium concentration in snap bean plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129, 890-895.

- Poulton, J.L., Koide, R.T., and Stephenson, A.G., 2001. Effects of mycorrhizal infection and soil phosphorus availability on in vitro and in vivo pollen performance in *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). *Amer. J. Bot.* 88, 1786-1793.
- Rinco, S.L., Saez, J., Perez, J.A., Madrid, R., Munoz, C.R., 1998. Growth and nutrient absorption by muskmelon crop under greenhouse conditions. *Acta Hort.* 458, 153–159.
- Rouphael, Y., Colla, G., Battistelli, A., Moscatello, S., Proietti, S., and Rea, E., 2004. Yield, water requirement, nutrient uptake and fruit quality of zucchini squash grown in soil and closed soilless culture. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 79, 423–430.
- Rouphael, Y., Colla, G., Cardarelli, M., Fanasca, S., Salerno, A., Rivera, C.M., Rea, A., Karam, F., 2005. Water use efficiency of greenhouse summer squash in relation to the method of culture: soil vs. soilless. *Acta Hort.* 697, 81-86.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A., Colla, G., 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agric. Water Manag.* 82, 99-117.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E. 2008b. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience* 43, 730-736.
- Rumpela, J., Kaniszewskia, S., 1998. Outdoor soilless culture of vegetables: status and prospects. *J. Veget. Crop Prod.* 4, 3-10.
- Saied, A.S., Keutgen, A.J., Noga, G., 2005. The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs ‘Elsanta’ and ‘Korona’. *Sci. Hort.* 103, 289–303.
- Savvas, D., 2002. Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. *Biosyst. Engineer.* 83, 225-236.
- Savvas, D., und F. Lenz, 1994a. Einfluss einer NaCl-Salzbelastung auf das vegetative und generative Wachstum von Aubergine (*Solanum melongena* L.) in Hydrokultur. *Gartenbauwissenschaft* 59, 172-177.
- Savvas, D., and F. Lenz, 1994b. Influence of salinity on the incidence of the physiological disorder "internal fruit rot" in hydroponically grown eggplants. *Angewandte Botanik* 68, 32-35.

- Savvas, D., und F. Lenz, 1995. Nährstoffaufnahme von Aubergine (*Solanum melongena* L.) in Hydrokultur. *Gartenbauwissenschaft* 60, 29-33.
- Savvas, D., and F. Lenz, 1996. Influence of NaCl salinity on the mineral composition of eggplants in sand culture. *Angewandte Botanik* 70, 124-127.
- Savvas, D., and Manos, G., 1999. Automated composition control of nutrient solution in soilless culture systems. *J. Agric. Engineer. Res.* 73, 29-33.
- Savvas, D., and F. Lenz, 2000a. Response of eggplants grown in recirculating nutrient solution to salinity exerted prior to the start of harvesting. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 75, 262-267.
- Savvas, D. and F. Lenz, 2000b. Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Sci. Hort.* 84, 37-47.
- Savvas, D. and G. Gizas, 2002. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Sci. Hort.* 96, 267-280.
- Savvas, D., G. Manos, A. Kotsiras, and S. Souvaliotis, 2002. Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality, and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. *J. Appl. Bot.* 76, 153-158.
- Savvas, D., V. Karagianni, A. Kotsiras, V. Demopoulos, I. Karkamisi and P. Pakou, 2003. Interactions between ammonium and pH of the nutrient solution supplied to gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture. *Plant Soil* 254, 393-402.
- Savvas, D., V.A. Pappa, G. Gizas and L. Maglaras, 2005a. Influence of NaCl concentration in the irrigation water on salt accumulation in the root zone and yield in a cucumber crop grown in a closed hydroponic system. *Acta Hort.* 697, 93-99.
- Savvas, D., A. Kotsiras, G. Meletiou, S. Margariti, I. Tsirogiannis, 2005b. Modeling the relationship between water uptake by cucumber and NaCl accumulation in a closed hydroponic system. *HortScience* 40, 802-807.
- Savvas, D., Nasi, E., Moustaka, E., Mantzos, N., Barouchas, P., Passam, H.C., Olympios, C., 2006. Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. *HortScience* 41, 1667-1673.
- Savvas, D., Stamati, E., Tsirogiannis, I.L., Mantzos, N., Barouchas, P.E., Kittas, K., Katsoulas, N., 2007a. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in a closed-loop hydroponic system. *Agric. Water Manage.* 91, 102-111.

- Savvas, D., Mantzos, N., Barouchas, P., Tsirogiannis, I., Olympios, C., Passam, H.C., 2007b. Modelling Salt Accumulation by a Bean Crop Grown in a Closed Hydroponic System in Relation to Water Uptake. *Sci. Hort.* 111, 311-318.
- Savvas, D., N. Mantzios, P. Barouchas, D. Kyrkas, H.C. Passam, and C. Olympios, 2007c. Effects of increasing salinity due to progressive NaCl accumulation in the nutrient solution on French beans grown in a closed hydroponic system. *Acta Horticulturae* 747, 531-538.
- Savvas, D., Gizas, G., Karras, G., Lydakis-Simantiris, N., Salahas, G., Papadimitriou, M., Tsouka, N., 2007d. Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *Europ. J. Hort. Sci.* 72, 73-79.
- Savvas, D., G. Ntatsi, H.C. Passam, 2008. Plant nutrition and physiological disorders in greenhouse grown tomato, pepper and eggplant. *Europ. J. Plant Sci. Biotechn.* 2, 45-61.
- Savvas, D., Papastavrou, D., Ntatsi, G., Ropokis, A., Olympios, C., Hartman, H., Schwarz, D., 2009a. Interactive effects of grafting and Mn-supply on growth, yield and nutrient uptake by tomato. *HortScience* 44, 1978-1982.
- Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M., Patakioutas, G., 2009b. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environ. Exp. Bot.* 65, 11-17.
- Savvas, D., Leneti, E., Mantzos, N., Kakarantza, L., Barouchas, P., 2010. Effects of enhanced NH_4^+ -N supply and concomitant changes in the concentrations of other nutrients needed for ion balance on the growth, yield, and nutrient status of eggplants grown on rockwool. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 85, 355–361.
- Savvas, D., Savva, A., Ntatsi, G., Ropokis, A., Karapanos, I., Krumbein, A., Olympios, C., 2011. Effects of three commercial rootstocks on mineral nutrition, fruit yield and quality in salinised tomatoes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 154-162.
- Schon, M.K., Compton, M.P., Bell, E., and Burns, I., 1994. Nitrogen concentrations affect pepper yield and leachate nitrate-nitrogen from rockwool culture. *HortScience* 29, 1139-1142.
- Scuderi, D., Giuffrida, F., Noto, G., 2009. Effects of nutrient solution EC on yield, quality and shelf-life of lettuce grown in floating system. *Acta Hort.* 807, 221-226.

- Scuderi, D., Restuccia, C., Chisari, M., Barbagallo, R.N., Caggia, C., Giuffrida, F., 2011. Salinity of nutrient solution influences the shelf-life of fresh-cut lettuce grown in floating system. *Postharvest Biol. Technol.* 59, 132–137.
- Seemann, J.R., Critchley, C., 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species *Phaseolus vulgaris* L. *Planta* 164, 151–162.
- Selmer-Olsen, A.R., and Gislerød, H.R., 1980. Nutrient solution of chrysanthemum grown in recirculating nutrient solution. *Acta Hort.* 98, 211-218.
- Shaw, N.L., Cantliffe, D.J., 2005. Hydroponic greenhouse production of “baby” squash: selection of suitable squash types and cultivars. *HortTechnology* 15, 722-728.
- Shillo, R., Ding, M., Pasternak, D., and Zaccai, M., 2002. Cultivation of cut flower and bulb species with saline water. *Sci. Hort.* 92, 41-54.
- Simon, J.E., Wilcox, G.E., Simini, M., Elamin, O.M., Decoteau, D.R., 1986. Identification of manganese toxicity and magnesium deficiency on melons grown in low-pH soils. *HortScience* 21, 1383-1386.
- Smit J.N., Combrink N.J.J., 2004. The effect of boron levels in nutrient solutions on fruit production and quality of greenhouse tomatoes. *South Afr. J. Plant Soil* 21, 188-191.
- Smit, J.N., Combrink, N.J.J., 2005. Pollination and yield of winter-grown greenhouse tomatoes as affected by boron nutrition, cluster vibration and relative humidity. *South Afr. J. Plant Soil* 22, 110-115.
- Soffer, H., Burger, D.W., and Lieth, J.H., 1991. Plant growth and development of *Chrysanthemum* and *Ficus* in aero-hydroponics: response to low dissolved oxygen concentrations. *Sci. Hort.* 45, 287-294.
- Sonneveld, C., 1981. Items for application of macro-elements in soilless culture. *Acta Hort.* 126, 187-195.
- Sonneveld, C., 1987. Magnesium deficiency in rockwool-grown tomatoes as affected by climatic conditions and plant nutrition. *J. Plant Nutr.* 10, 1591-1604.
- Sonneveld, C., 1989. Rockwool as a substrate in protected cultivation. *Chronica Hortic.*, 29: 33-36.

- Sonneveld, C., 1995. Fertigation in the greenhouse industry. In: Proc. of the Dahlia Greidinger Intern. Symposium on Fertigation. Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 25 March - 1 April 1995, pp. 121-140.
- Sonneveld, C., 2000. Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. PhD. Thesis. University of Wageningen, The Netherlands.
- Sonneveld, C., 2002. Composition of nutrient solutions. In: Savvas, D., Passam, H. (eds). Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 179-210.
- Sonneveld, C., and Voogt, W., 1975. Studies on the manganese uptake of lettuce on steam-sterilised glasshouse soils. *Plant Soil* 42, 49-64.
- Sonneveld, C. and S.S. De Bes, 1984. Micro nutrient uptake of glasshouse cucumbers grown on rockwool. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 15: 519-535.
- Sonneveld, C., and Voogt, W., 1985. Growth and cation absorption of some fruit-vegetable crops grown on rockwool as affected by different cation ratios in the nutrient solution. *J. Plant Nutr.*, 8: 585-602.
- Sonneveld, C., and Voogt, W., 1986. Supply and uptake of potassium, calcium and magnesium of spray carnations (*Dianthus caryophyllus*) grown in rockwool. *Plant Soil* 93, 259-268.
- Sonneveld, C., and Van der Burg, A.M.M., 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Netherlands J. Agric. Sci.* 39, 115-122.
- Sonneveld, C., and Voogt, W., 1991. The concentration of nutrients for growing *Anthurium andraeanum* in substrate. *Acta Hort.* 342, 61-67.
- Sonneveld, C., and Straver, N., 1994. Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates. 10th Edition. Serie: Voedingsoplossingen Glastuinbouw, No 8, 45 pp. P.B.G. Naaldwijk – P.B.G. Aalsmeer, The Netherlands.
- Sonneveld, C., and Voogt, W., 1994. Effects of calcium and ammonium on the appearance of secondary shoot chlorosis in rockwool grown cucumbers. *Proc. Sino Intern. Coll. Soilless Culture*, Hangzhou, China, 1994, pp. 88-94.
- Sonneveld, C., and Voogt, W., 1997. Effects of pH value and Mn application on yield and nutrient absorption with rockwool grown gerbera. *Acta Hort.* 450, 139-147.
- Sonneveld, C., and Welles, G.W.H., 1988. Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in EC-value and climatic conditions. *Plant Soil* 111, 37-42.

Sonneveld, C., and Voogt, W., 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York. 431 p.

Sonneveld, C., Baas, R., Nijssen, H.M.C., and De Hoog, J., 1999. Salt tolerance of flower crops grown in soilless culture. *J. Plant Nutr.* 22, 1033-1048.

Starkey, R.K., and Pedersen, A.R., 1997. Increased levels of calcium in the nutrient solution improve the post-harvest life of potted roses. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122, 863–868.

Steiner, A.A., 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant and Soil*, 24: 454-466.

Sundin, P., Waechter-Kristensen, B., Mari, S.Y., Gertsson, U.E., Hagtorn, U., Jensén, P., Lund, J., Knutsson, M., Jönsson, J.Å., Mathiasson, L., 1997. Phytotoxic organic compounds in the circulating nutrient solution of a closed hydroponic tomato culture. *Proc. 9th Int. Cong. Soilless Culture, ISOSC, Jersey, 1996*, pp. 523-533.

Tadesse, T., Nichols, M.A., Fisher, K.J., 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique 1. Yield and fruit quality. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* 27, 229-237.

Tagliavini, M., Baldi, E., Lucchi, P., Antonelli, M., Sorrenti, G., Baruzzi, G., Faedi, W., 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (*Fragaria*×*Ananassa* Dutch.) grown in soil and soilless culture. *Europ. J. Agron.* 23, 15–25.

Tas, G., Papadandonakis, N., and Savvas, D., 2005. Responses of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) grown in a closed hydroponic system to NaCl-, or CaCl₂-salinity. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 79, 136-140.

Trajkova, F., N. Papadandonakis, and Savvas, D., 2006. Comparative effects of NaCl- and CaCl₂-salinity on cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in a closed hydroponic system. *HortScience* 41 (2): 437-441.

Tůma, J., Skalický, M., Tůmová, L., Bláhová, P., Rosůlková, M., 2004. Potassium, magnesium and calcium content in individual parts of *Phaseolus vulgaris* L. plant as related to potassium and magnesium nutrition. *Plant, Soil Environ.* 50, 18-26 .

Tzerakis, K., Savvas, D., Sigrimis, N., 2011. Responses of cucumber grown in recirculating nutrient solution to gradual Mn and Zn accumulation in the root zone owing to excessive supply via the irrigation water. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* (accepted, in press).

- Ünlükara, A., B. Cemek, S. Karaman and S. Erşahin, 2008. Response of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) to salinity of irrigation water. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 36, 265–273.
- Urrestarazu, M., García, M., 2000. Modeling electrical conductivity management in a recirculating nutrient solution under semi-arid conditions. J. Plant Nutr. 23, 457-468.
- Vadez, V., Lasso, J.H., Beck, D.P., Drevon, J.J., 1999. Variability of N₂-fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under P deficiency is related to P use efficiency: N₂-fixation tolerance to P deficiency. Euphytica 106, 231-242.
- Valdez-Aguilar, L.A., Reed, D.W., 2010. Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium, potassium, and sodium. J. Plant Nutr. 33, 1472-1488.
- Van Ieperen, W., 1996. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. J. Hortic. Sci. 71, 99-111.
- Van Labeke, M.C., Dambre, P., Schrevens, E., and de Rijck, G., 1995. Optimisation of the nutrient solution for *Eustoma grandiflorum* in soilless culture. Acta Hort. 401, 401-408.
- Van Os, E.A. and Kuiken, J.C.J., 1984. Mechanization of lettuce growing in nutrient film technique. ISOSC Proceedings, 6th Internat. Congress on Soilless Culture, pp. 483–492.
- Van Os, E.A., Gieling, Th.H, Ruijs M.N.A., 2002. Equipment for hydroponic installations. In: Savvas, D., Passam, H.C. (Eds). Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications, Athens, Greece, pp 103-141.
- Van Os, E., Gieling, Th.H., Lieth, H.J., 2008. Technical equipment in soilless production systems. In: Raviv, M., Lieth, H.J. (eds). Soilless Culture: Theory and Practice. Elsevier, Amsterdam, pp. 157-207.
- Vlamiš, J., and D.E. Williams, 1973. Manganese toxicity and marginal chlorosis of lettuce. Plant Soil 39, 245-251.
- Voogt, W., 1993. Nutrient uptake of year round tomato crops. Acta Hort. 339, 99-112.
- Voogt, W., and Sonneveld, C., 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., and Korndörfer, G.H. (Eds). Silicon in Agriculture. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands, pp. 115-131.
- Ward, G.M., 1964. Greenhouse tomato nutrition - A growth analysis study. Plant Soil 21, 125 - 133.
- Ward, G.M., 1967. Greenhouse cucumber nutrition - A growth analysis study. Plant Soil 26, 324

- 332.

- Weichmann, J., 1991. Qualität und ernährungsphysiologischer Wert. In: Krug H (Ed). Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. 2 Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, Germany, pp 132-139.
- Williams, E., and J. Vlamis, 1957. Manganese toxicity in standard culture solutions. Plant Soil 8, 183-193.
- Willumsen, J., Petersen, K.K., and Kaack, K., 1996. Yield and blossom-end rot of tomato as affected by salinity and cation activity ratios in the root zone. J. Hort. Sci. 71, 81-98.
- Xu, G., Wolf, S., and Kafkafi, U., 2002. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. J. Plant Nutr. 25, 719-734.
- Yoon, H.S., Hwang, Y.H., An, C.G., Shim, J.S., Hwang, H.J., Shin, H.Y., 2009. Effect of NH_4^+ to NO_3^- ratio on growth, yield and albinism disorder of strawberry. Acta Hort. 842, 987-989.
- Yoshida, S., Kitano, M., Eguchi, H., 1997. Growth of lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) under control of dissolved O_2 concentration in hydroponics. Biotronics 26, 39-45.
- Zeroni, M., Gale, J., and Ben-Asher, J., 1983. Root aeration in a deep hydroponic system and its effect on growth and yield of tomato. Sci. Hort. 19, 213-220.
- Zheng, Y., Wang, L., and Dixon, M., 2005. Greenhouse pepper growth and yield response to copper application. HortScience 40, 2132-2134.