

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
“ΑΓΡΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ”
ΤΜΗΜΑ: ΧΗΜΕΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Επίδραση πυριτίου και αλατότητας στην ανάπτυξη, την παραγωγή και την θρέψη της κολοκυθιάς σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια εκτός εδάφους

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Σάββας Δημήτριος (επιβλέπων) Επίκουρος καθηγητής Γ. Π. Α.

Παπαδόπουλος Γεώργιος του Δημοσθένους Καθηγητής Τ. Ε. Ι. Ηλείου

Μάνος Γεώργιος Καθηγητής Τ. Ε. Ι. Ηλείου

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΓΙΩΤΗΣ

Άρτα 2008



Ευχαριστίες

Ευχαριστώ κατ' αρχάς τον κ. Σάββα Δημήτριο Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Φυτικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και πρώην Καθηγητή του τμήματος Α.Α.Τ. του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος της μεταπτυχιακής διατριβής, την καθοδήγηση που μου πρόσφερε και την κριτική διόρθωση του κειμένου. Η συνεχής βοήθειά του υπήρξε για μένα καθοριστικός παράγοντας για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Τον ευχαριστώ επίσης για την συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της θητείας του στο Τ.Ε.Ι. Ηπείρου και ελπίζω να συνεχιστεί και στο μέλλον.

Ευχαριστώ τα άλλα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Μάνο Γεώργιο και κ. Παπαδόπουλο Γεώργιο του Δημοσθένους, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσαν για τη μελέτη της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Ένα επίσης ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Γκίζα Γεώργιο, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Α.Α.Τ. για τις διευκολύνσεις που μου πρόσφερε κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων και τις συμβουλές του.

Ευχαριστώ επίσης τους σπουδαστές που βοήθησαν στην ολοκλήρωση των δυο πειραμάτων κ. Μπακέα Μαρία, Βαγγελάτο Γρηγόρη και Κραμβουσιανό Γρηγόρη.

Κλείνοντας θέλω να ευχαριστήσω εκτός από τη βοήθεια που μου προσέφεραν, για πολλούς και διάφορους λόγους τους φίλους και συνεργάτες μου στο Τμήμα Α.Α.Τ. του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, κ. Κύρκα Δημήτριο, Μάντζο Νικόλαο Ε.Τ.Π.του τμήματος Α.Α.Τ και το συνάδελφο γεωπόνο Φίλη Ευάγγελο.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε υδροπονική εγκατάσταση πραγματοποιήθηκαν 2 πειράματα στα οποία καλλιεργήθηκε κολοκύθι για νωπή κατανάλωση (*Cucurbita pepo* var. *giromontiina*) σε τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις. Στην πρώτη μεταχείριση, η οποία επέιχε θέση μάρτυρα, εφαρμόσθηκε θρεπτικό διάλυμα χαμηλής συγκέντρωσης πυριτίου (0,1 mM) σε συνδυασμό με χαμηλή αλατότητα (0,8 mM NaCl). Στη δεύτερη μεταχείριση εφαρμόσθηκε διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης πυριτίου (1 mM) και χαμηλή αλατότητα (0,8 mM NaCl), ενώ στην τρίτη και τέταρτη μεταχείριση είχαμε χαμηλή συγκέντρωση πυριτίου (0,1 mM) σε συνδυασμό με υψηλή αλατότητα (35 mM NaCl) και υψηλή συγκέντρωση πυριτίου (1 mM) σε συνδυασμό με υψηλή αλατότητα (35 mM NaCl), αντίστοιχα. Στο πρώτο πείραμα η παρασκευή των διαλυμάτων γινόταν με νερό βρόχινο για να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες ύπαρξης πυριτίου στις μεταχειρίσεις χωρίς Si, ενώ στο δεύτερο πείραμα χρησιμοποιήθηκε νερό άρδευσης. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε 12 ανεξάρτητα μεταξύ τους, ανοιχτά υδροπονικά συστήματα (τρεις επαναλήψεις σε κάθε μεταχείριση). Κάθε υδροπονικό σύστημα αποτελούνταν από δύο κανάλια καλλιέργειας και σε κάθε κανάλι εγκαταστάθηκαν 8 φυτά κολοκυθιάς. Η αυξημένη αλατότητα είχε σαν συνέπεια να περιοριστεί σημαντικά η βλαστική ανάπτυξη των φυτών, η παραγωγή καρπών (τόσο σε αριθμό όσο και στο μέσο βάρος), καθώς επίσης και η διαπνοή, η φωτοσύνθεση και η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων ως προς το CO₂, σε σύγκριση με το μάρτυρα. Η ανύψωση της συγκέντρωσης πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα, αύξησε σημαντικά το βάρος τόσο του υπέργειου βλαστού όσο και των καρπών ανά φυτό, εξαιτίας του σχηματισμού περισσότερων καρπών ανά φυτό. Παράλληλα, το Si αύξησε τους ρυθμούς καθαρής φωτοσύνθεσης στα φυτά που ήταν εκτεθειμένα στην αλατότητα ενώ μείωσε τις συγκεντρώσεις Na και Cl στους φυτικούς ιστούς της κολοκυθιάς. Το πυρίτιο αύξησε το ποσοστό των εμπορεύσιμων καρπών στα φυτά που δεν ήταν εκτεθειμένα σε αλατότητα ενώ δεν επηρέασε καθόλου την κατανομή τους σε ποιοτικές κατηγορίες όταν τα φυτά ήταν εκτεθειμένα σε αλατούχο καταπόνηση. Η χρησιμότητα όμως του πυριτίου φάνηκε στην μεταχείριση όπου είχαμε υψηλή αλατότητα, εξαιτίας του γεγονότος ότι το πυρίτιο μείωσε σε μεγάλο βαθμό τις συγκεντρώσεις Na και Cl στους φυτικούς ιστούς.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

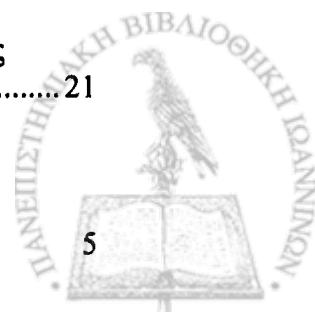
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	9
1.1. ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ.....	9
1.1.1. Η έννοια του όρου	9
1.1.2. Ιστορική ανασκόπηση.....	9
1.1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών	11
1.1.4. Συστήματα υδροπονίας.....	13
1.1.5. Υποστρώματα υδροπονίας.....	15
1.1.6. Περλίτης	15
1.1.7. Υδροπονικός περλίτης	17
1.1.8. Νερό άρδευσης	18
1.1.9. Θρεπτικά διαλύματα	19
1.1.10. Λιπάσματα	20
1.1.11. Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων	22
1.2. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ.....	25
1.2.1. Ορισμός	25
1.2.2. Πρόβλημα υψηλής αλατότητας	26
1.2.3. Φυτά και αλατότητα	27
1.2.4. Επίδραση της αλατότητας στη παραγωγή	28
1.3. ΠΥΡΙΤΙΟ	31
1.4. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΚΟΛΟΚΥΘΙΑΣ	33
1.4.1. Γενικά	33
1.4.2. Σημερινή εξάπλωση της καλλιέργειας	34
1.4.3. Βοτανικοί χαρακτήρες	35
1.4.4. Κλίμα και έδαφος	36
1.4.5. Πολλαπλασιασμός	37
1.4.6. Καλλιεργητικές φροντίδες στο σπορείο	38
1.4.7. Προετοιμασία του εδάφους	39
1.4.8. Βασική λίπανση	40
1.4.9. Αποστάσεις φύτευσης.....	41
1.4.10. Συνθήκες στο θερμοκήπιο - Περιποιήσεις.....	41
1.4.11. Συγκομιδή	44
1.4.12. Μετασυλλεκτικοί χειρισμοί.....	45
1.4.13. Ποικιλίες.....	46
1.4.14. Εχθροί και ασθένειες	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	51
3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	51
3.1.1. Το Θερμοκήπιο	51
3.1.2. Το υδροπονικό σύστημα.....	52
3.1.3. Το διάλυμα τροφοδοσίας.....	54
3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	57
3.2.1. Η καλλιέργεια	57
3.2.2. Ο σχεδιασμός του πειράματος.....	59
3.2.3. Διαδικασία προσδιορισμού συγκεντρώσεων K, Na, Ca, Mg, και Cl.	61
3.2.4. Μετρήσεις διαλυμάτων τροφοδοσίας και απορροής.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	63



4.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC).....	63
4.2. pH	64
4.3. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ	65
4.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na ⁺ και Cl ⁻ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ.....	67
4.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ .	69
4.6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na ⁺ και Cl ⁻ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ.....	73
4.6.1. Συγκεντρώσεις Na ⁺	73
4.6.2. Συγκεντρώσεις Cl ⁻	74
4.7. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K ⁺ , Ca ²⁺ ΚΑΙ Mg ²⁺ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ.....	76
4.7.1. Συγκεντρώσεις K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων 51 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.....	76
4.7.2. Συγκεντρώσεις K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.....	77
4.7.3. Συγκεντρώσεις K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων 83 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.....	78
4.7.4. Συγκεντρώσεις K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ στους φυτικούς ιστούς ριζών κολοκυθιού.	80
4.7.5. Συγκεντρώσεις K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ στους φυτικούς ιστούς στελεχών κολοκυθιού.	81
4.7.6. Συγκεντρώσεις K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ στους φυτικούς ιστούς παλαιών φύλλων κολοκυθιού.	82
4.8. ΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	84
4.8.1. Βλαστός.	84
4.8.2. Ρίζα.	84
4.9. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΡΠΩΝ	86
4.10. ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΩΝ ΚΑΡΠΩΝ(%)	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	89
5.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC).....	89
5.2. pH	90
5.3. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ	91
5.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na ⁺ και Cl ⁻ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ.....	92
5.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ .	93
5.6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na ⁺ και Cl ⁻ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ.....	93
5.7. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K ⁺ , Ca ²⁺ και Mg ²⁺ ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ.....	94
5.8. ΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	97
5.9. ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΩΝ ΚΑΡΠΩΝ(%).....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	102

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση στοιχείων περλίτη (Ολύμπιος, 1992).....	16
Πίνακας 2. Χημική σύσταση υδροπονικού περλίτη PerloflorHydro (ISOCON A.E.)	17
Πίνακας 3. Ανόργανα στοιχεία που περιέχονται σε ένα νερό καλής ποιότητας για χρήση σε υδροπονικές καλλιέργειες.....	18
Πίνακας 4. Μορφές ιόντων με τις οποίες συναντώνται τα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία στα διάφορα θρεπτικά διαλύματα.....	20
Πίνακας 5. Συνοπτική περιγραφή απλών υδατοδιαλυτών λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων στις υδροπονικές καλλιέργειες (Savvas, 2001).....	21



Πίνακας 6. Η καλλιεργούμενη έκταση και παραγωγή κολοκυθιάς κατά ηπείρους, στις χώρες της Ε.Ε. και οι 5 κυριότερες χώρες παραγωγής στον κόσμο για το 1998.	34
Πίνακας 7. Συνιστάμενες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα σε τρία διαφορετικά στάδια καλλιέργειας κατά την υδρολίπανση της κολοκυθιάς στο θερμοκήπιο.	43
Πίνακας 8. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.	56
Πίνακας 9. Σύσταση τυπικού θρεπτικού διαλύματος για κολοκύθι.....	61
Πίνακας 10. Αποτελέσματα επίδρασης αλατότητας και πυριτίου, στην επί τοις εκατό παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών νωπού κολοκυθιού αναπτυσσόμενου σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι τιμές αναφέρονται στους μέσους όρους 6 επαναλήψεων. Σε κάθε στήλη και επίπεδο αλατότητας, τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο επιπέδων συγκέντρωσης πυριτίου ($P \leq 0.05$).....	87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Το πρότυπο που εκφράζει τη σχέση μεταξύ της παραγωγής μιας καλλιέργειας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο μέσο ανάπτυξης (Savvas, 2001).	29
Σχήμα 2. Κάτοψη της εγκατάστασης του υδροπονικού συστήματος με τις 12 πειραματικές μονάδες και τον τρόπο τυχαιοποίησής τους (Μάντζος, 2006).....	52
Σχήμα 3. Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στο διάλυμα απορροής, σε καλλιέργεια κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο διαφορετικά επίπεδα NaCl σε βρόχινο νερό και σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι πυριτίου.	63
Σχήμα 4. Μέτρηση του pH στο διάλυμα απορροής, σε καλλιέργεια κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο διαφορετικά επίπεδα NaCl σε βρόχινο νερό και σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι πυριτίου.	64
Σχήμα 5. Αθροιστική κατανάλωση νερού ανά φυτό κατά τη διάρκεια καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.....	66
Σχήμα 6. Συγκεντρώσεις Na^+ στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.....	67
Σχήμα 7. Συγκεντρώσεις Cl^- στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.....	68
Σχήμα 8. Συγκεντρώσεις K^+ στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.....	70
Σχήμα 9 Συγκεντρώσεις Ca^{2+} στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.....	71
Σχήμα 10. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.....	72
Σχήμα 11. Συγκεντρώσεις Na^+ σε διάφορα μέρη φυτών κολοκυθιού σε υδροπονική καλλιέργεια κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας και σε συνδυασμό με χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.....	73

Σχήμα 12. Συγκεντρώσεις Cl^- σε διάφορα μέρη φυτών κολοκυθίου σε υδροπονική καλλιέργεια κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας και σε συνδυασμό με χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.....	74
Σχήμα 13. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων κολοκυθίου τα οποία συλλέχθηκαν 51 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.....	76
Σχήμα 14. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων κολοκυθίου τα οποία συλλέχθηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.....	78
Σχήμα 15. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων κολοκυθίου τα οποία συλλέχθηκαν 83 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.....	79
Σχήμα 16. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς ριζών κολοκυθίου τα οποία συλλέχθηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.....	80
Σχήμα 17. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς στελεχών κολοκυθίου τα οποία συλλέχθηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.....	82
Σχήμα 18. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς παλαιών φύλλων κολοκυθίου τα οποία συλλέχθηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.....	83
Σχήμα 19. Μέσος όρος νωπού βάρους (FW) και ξηρού βάρους (DW) του βλαστού και της ρίζας σε υδροπονική καλλιέργεια κολοκυθίου κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας σε συνδυασμό με τη χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.....	85
Σχήμα 20. Συνολική παραγωγή, μέσος όρος αριθμού καρπών ανά φυτό και μέσος όρος βάρους καρπών ανά φυτό σε υδροπονική καλλιέργεια κολοκυθίου κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας σε συνδυασμό με τη χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.....	86

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η εγκατάσταση των πειραματικών μονάδων του υδροπονικού συστήματος. Διακρίνονται τα μαύρα βαρέλια των διαλυμάτων τροφοδοσίας και τα κόκκινα βαρέλια συλλογής των διαλυμάτων απορροής.....	54
Εικόνα 2. Η εγκατάσταση αυτόματης παρασκευής θρεπτικών διαλυμάτων, όπου διακρίνονται: η μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου (Α), το δοχείο παρασκευής των θρεπτικών διαλυμάτων (Β), οι περισταλτικές αντλίες έκχυσης των λιπασμάτων (Γ) και τα βαρέλια με τα πυκνά διαλύματα των λιπασμάτων (Δ).	55
Εικόνα 3. Μεταφύτευση των νεαρών φυταρίων στο χώρο του θερμοκηπίου.....	58



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1. ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

1.1.1. Η έννοια του όρου

Υδροπονία καλείται κάθε μέθοδος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους, η οποία βασίζεται στη χορήγηση τεχνητά παρασκευασμένων, ανόργανων θρεπτικών διαλυμάτων για την κάλυψη των υδατικών και διατροφικών αναγκών των φυτών με/ή χωρίς τη χρήση κάποιου στερεού υποστρώματος ως μέσου ανάπτυξης των ριζών των φυτών (Σάββας, 1998).

Ο όρος υδροπονία (hydroponics), χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Αμερικανό καθηγητή του Πανεπιστημίου της Καλιфорνίας Gericke, το 1937, για να περιγράψει τις διάφορες μεθόδους ανάπτυξης των φυτών σε υγρό μέσο για εμπορικούς σκοπούς.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, συχνά οι όροι «υδροπονικές καλλιέργειες» και καλλιέργειες εκτός εδάφους (soiless culture)» χρησιμοποιούνται ως συνώνυμοι. Αρκετοί συγγραφείς όμως διαχωρίζουν αυτούς τους όρους. Συμφωνά με αυτούς τους συγγραφείς (Adams, 2002), ο όρος καλλιέργεια εκτός εδάφους χρησιμοποιείται για όλα τα είδη καλλιέργειας στα οποία το περιβάλλον των ριζών δεν περιέχει έδαφος. Αντίθετα, ο όρος «υδροπονία» χρησιμοποιείται μόνο για εκείνες τις καλλιέργειες εκτός εδάφους που αναπτύσσονται είτε σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα είτε σε χημικά αδρανή υποστρώματα. Επομένως, οι καλλιέργειες σε υποστρώματα τα οποία έχουν ανταλλακτική ικανότητα και επομένως δεν είναι χημικά αδρανή (π.χ. τύρφη, βερμικουλίτης, ζεόλιθος, κ.λπ.) είναι εκτός εδάφους αλλά δεν είναι υδροπονικές.

1.1.2. Ιστορική ανασκόπηση

Για πρώτη φορά η καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους αναφέρεται στην αρχαιότητα και αφορά τους Κρεμαστούς Κήπους της Βαβυλώνας. Άλλο ένα παράδειγμα είναι οι Κατακλυζόμενοι Κήποι των Αζτέκων στο Μεξικό.

Στα νεότερα χρόνια το 1600 πρώτος ο Βέλγος Jan Van Helmont καλλιέργησε μέσα σε φυτοδοχεία που περιείχαν χώμα, φυτά ιτιάς για διάστημα 5 ετών. Το μόνο



υλικό που ανανέωνε ήταν το νερό (Schwarz, 1995). Το 1666 ο Ιρλανδός Robert Boyle πέτυχε να αναπτύξει ορισμένα είδη φυτών, όπως το *Raphanus aquaticus*, σε φυτοδοχεία με μοναδικό μέσο για την ανάπτυξη των ριζών το νερό (Σάββας, 1998).

Ως καθοριστικός παράγοντας για την εφαρμογή της υδροπονικής καλλιέργειας με την πλήρη έννοιά της θεωρείται η ανάπτυξη της Χημείας. Έτσι, για πρώτη φορά, το 1860, οι Γερμανοί φυσιολόγοι Sachs και Knop παρασκεύασαν θρεπτικά διαλύματα με καθορισμένη σύσταση και έδειξαν ότι εκτός από τον άνθρακα, το υδρογόνο, το οξυγόνο και το άζωτο που ήταν ήδη γνωστό ότι περιεχόταν στους φυτικούς ιστούς, υπήρχαν και άλλα ανόργανα στοιχεία που ήταν απαραίτητα για την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου των φυτών (Hewitt 1966). Αυτά τα στοιχεία ήταν, ο φώσφορος, το θείο, το κάλιο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Στη συνέχεια με συνεχή πειράματα καθορίστηκε το σύνολο των ανόργανων στοιχείων τα οποία ήταν απαραίτητα για τα φυτά.

Από τη στιγμή που έγιναν γνωστά τα απαραίτητα ανόργανα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών οι διάφοροι ερευνητές πειραματιζόταν παρασκευάζοντας διάφορα θρεπτικά διαλύματα. Πρώτος ο Gericke το 1929 αξιοποίησε τη δυνατότητα θρέψης των φυτών αποκλειστικά με θρεπτικά διαλύματα για εμπορικούς σκοπούς. Ο νέος αυτός τρόπος παραγωγής δεν έτυχε ιδιαίτερης εκτίμησης λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας, ενώ και οι αποδόσεις δεν ήταν μεγαλύτερες από αυτές των τυπικών καλλιεργειών που γινόταν στο έδαφος.

Στη δεκαετία του 1930 πολλοί άλλοι επιστήμονες, κυρίως Αμερικανοί, ασχολήθηκαν με την υδροπονία και ανέπτυξαν νέα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους παραπλήσια με αυτά του Gericke. Μερικοί από αυτούς ήταν ο Laurie (1931), ο Eaton (1936), οι Shive και Robbins (1937), οι Mullard και Stoughton (1939), οι Arnon και Hoagland (1940) και πολλοί άλλοι.

Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου ο αμερικανικός στρατός χρησιμοποίησε την υδροπονική καλλιέργεια σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή νωπών λαχανικών σε ορισμένα άγονα νησιά του Ειρηνικού (Jones, 1982). Η έρευνα συνεχίστηκε και μετά τον πόλεμο, με την ανάπτυξη νέων τεχνικών υδροπονικών καλλιεργειών και την τελειοποίηση της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων. Εντούτοις σε εμπορική κλίμακα το ενδιαφέρον παρέμεινε μικρό και δεν υπήρξε σημαντική ανταπόκριση.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και σε χώρες όπως η Αγγλία και η Ολλανδία όπου άρχισαν να γίνονται ορατά τα προβλήματα από την συνεχή



υποβάθμιση των εδαφών, λόγω της συνεχόμενης μονοκαλλιέργειας και της έξαρσης των ασθενειών του εδάφους, διαπιστώθηκε η ανάγκη για επανεκτίμηση της χρήσης των υδροπονικών καλλιεργειών. Εν τω μεταξύ είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται νέες τεχνικές υδροπονικής καλλιέργειας, όπως το NFT στην Αγγλία (Cooper, 1979), καθώς και νέα υποστρώματα, όπως ο πετροβάμβακας στις Σκανδιναβικές χώρες και την Ολλανδία (Ottosson, 1977), τα οποία βελτίωσαν κατά πολύ τις μέχρι τότε επιδόσεις των εκτός εδάφους καλλιεργειών.

Σήμερα στις αρχές του 21^{ου} αιώνα και σε χώρες όπως το Ισραήλ, η Ιαπωνία αλλά και στις Βορειοευρωπαϊκές χώρες, οι υδροπονικές καλλιέργειες σε θερμοκήπια καταλαμβάνουν ένα τεράστιο μέρος της συνολικής καλλιέργειας, ενώ στην Ολλανδία το σύνολο σχεδόν της παραγωγής των καρποδοτικών λαχανικών στα θερμοκήπια προέρχεται από τέτοιου είδους καλλιέργειες.

1.1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών

Πολλοί συγγραφείς ασχολήθηκαν με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών σε σχέση με τις καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος. Μεταξύ των άλλων οι Schwarz (1995), Resh (1997), και Σάββας (2003) αναφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα

- ❖ Στα υδροπονικά συστήματα εφαρμόζεται πλήρως ελεγχόμενη θρέψη των φυτών. Το θρεπτικό διάλυμα είναι περίπου σταθερής σύνθεσης, άμεσα διαθέσιμο και η ποσότητά του ικανή για όλα τα φυτά. Ο έλεγχος του pH του διαλύματος γίνεται εύκολα και με ακρίβεια, ενώ η δειγματοληψία και ο έλεγχος του θρεπτικού διαλύματος δεν παρουσιάζουν καμία δυσκολία.
- ❖ Αποφυγή ασθενειών, εντόμων και ζιζανίων που αναπτύσσονται στο έδαφος. Η απολύμανση του υποστρώματος καθώς και του υπάρχοντος εξοπλισμού είναι εύκολη και με χαμηλό κόστος. Η επόμενη καλλιέργεια είναι σε θέση να εγκατασταθεί εντός 24 ωρών μετά την απολύμανση.

- ❖ Δεν απαιτούνται οι εργασίες προετοιμασίας του εδάφους για την εγκατάσταση της νέας καλλιέργειας με συνέπεια την μείωση του κόστους των εργατικών και του χρόνου εγκατάστασης της νέας καλλιέργειας μετά την απομάκρυνση της παλιάς.
- ❖ Μειωμένη κατανάλωση νερού, εξαιτίας της μικρότερης ποσότητας νερού που απαιτείται ανά μονάδα βάρους του παραγόμενου προϊόντος σε σχέση με αυτή που απαιτείται στις αντίστοιχες καλλιέργειες στο έδαφος, ιδιαίτερα σε ζεστές και ξηρές συνθήκες. Σημαντική μείωση της κατανάλωσης νερού επιτυγχάνεται κυρίως στα κλειστά υδροπονικά συστήματα.
- ❖ Η υδροπονική καλλιέργεια μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και σε περιοχές με υποβαθμισμένα ή μολυσμένα εδάφη.
- ❖ Απαιτείται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση του θερμοκηπίου λόγω του ότι στις υδροπονικές καλλιέργειες ελαχιστοποιείται η εξάτμιση του νερού από το έδαφος, ενώ είναι πιο εύκολο και απαιτείται λιγότερη δαπάνη ενέργειας για να αυξηθεί ή θερμοκρασία του ριζοστρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με το έδαφος.
- ❖ Πρωίμηση της παραγωγής λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο χώρο της ριζόσφαιρας.
- ❖ Αύξηση παραγωγής λόγω της επίτευξης καλύτερων συνθηκών στο περιβάλλον των ριζών και του ελέγχου του θρεπτικού διαλύματος. Επιπλέον μπορούν να καλλιεργηθούν περισσότερα φυτά ανά μονάδα επιφάνειας αφού ο μόνος περιοριστικός παράγοντας είναι το φως. Η αύξηση των αποδόσεων στις υδροπονικές καλλιέργειες κυμαίνεται από 15 έως 20% σε σχέση με καλλιέργειες που γίνονται σε γόνιμα, καλής ποιότητας εδάφη.

Μειονεκτήματα

- ❖ Υψηλότερο κόστος εγκατάστασης.
- ❖ Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό με γνώσεις πάνω στη θρέψη των φυτών, αλλά και των αναγκών της συγκεκριμένης κάθε φορά καλλιέργειας, ή κατάλληλη τεχνική υποστήριξη από εξειδικευμένο σύμβουλο γεωπόνου.
- ❖ Η μικρή ρυθμιστική ικανότητα του υποστρώματος, μπορεί από κάποιο λάθος να έχει ως αποτέλεσμα ακόμη και την καταστροφή της καλλιέργειας.
- ❖ Πιθανή δημιουργία προβλημάτων στο περιβάλλον αν τα υποστρώματα μετά την χρήση τους απορρίπτονται ανεξέλεγκτα σε πρόχειρες χωματερές



1.1.4. Συστήματα υδροπονίας

Δυο είναι τα συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας που χρησιμοποιούνται και ειδικότερα τα κλειστά, στα οποία το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει από το υπόστρωμα συλλέγεται ανανεώνεται, συμπληρώνεται και επαναχρησιμοποιείται και ανοιχτά, στα οποία το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα απορροής αποβάλλεται στο περιβάλλον (Adams, 2002).

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων είναι, ότι το διάλυμα απορροής το οποίο ανακυκλώνεται και αποτελεί συνήθως το 30 – 50% του συνολικού παρεχόμενου διαλύματος, παρέχει σημαντική μείωση σε κατανάλωση νερού και λιπασμάτων (Adams, 2002). Επιπλέον είναι πιο φιλικά στο περιβάλλον γιατί λόγω της συνεχούς ανακύκλωσης ελάχιστα νιτρικά και φωσφορικά ιόντα απελευθερώνονται στο περιβάλλον.

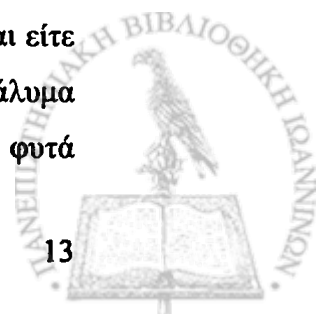
Ένα από τα σημαντικά μειονεκτήματα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων είναι το αυξημένο κόστος εξοπλισμού προκειμένου να είναι δυνατή η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος. Επίσης είναι απαραίτητη η απολύμανση του θρεπτικού διαλύματος πριν την επαναχρησιμοποίησή του για την αποφυγή εξάπλωσης μολύνσεων μέσω αυτού. Τέλος χρειάζεται καλής ποιότητας νερό και συνεχής έλεγχος του θρεπτικού διαλύματος γιατί η συνεχής ανακύκλωση του διαλύματος απορροής είναι δυνατό να οδηγήσει στην συσσώρευση ανόργανων ιόντων (κυρίως Na^+ και Cl^-) με δυσμενείς επιπτώσεις για τα φυτά (Sonneveld, 2002).

Τα συστήματα υδροπονίας διαχωρίζονται και με ένα δεύτερο τρόπο, ο οποίος έχει να κάνει με το αν τα φυτά αναπτύσσονται σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα ή αν αναπτύσσονται σε πορώδη στερεά υλικά, γνωστά ως υποστρώματα καλλιέργειας (Maloupa, 2002).

- Καλλιέργεια σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα

Στα υδροπονικά συστήματα αυτού του τύπου το μοναδικό μέσο ανάπτυξης των ριζών των φυτών είναι το θρεπτικό διάλυμα, ενώ το διάλυμα απορροής συνήθως ανακυκλώνεται (Resh, 1997, Maloupa, 2002). Τα κυριότερα από αυτού του είδους τα συστήματα είναι τα εξής:

Καλλιέργεια σε δοχεία γεμισμένα με θρεπτικό διάλυμα. Τα φυτά αναπτύσσονται είτε σε μικρά φυτοδοχεία είτε σε λεκάνες καλλιέργειας γεμισμένες με θρεπτικό διάλυμα κατάλληλης σύστασης. Το θρεπτικό διάλυμα που καταναλώνεται από τα φυτά



συμπληρώνεται σε τακτικά χρονικά διαστήματα (ή συνεχώς με κατάλληλο αυτοματισμό) μέσω προσθήκης νέου διαλύματος. Τέτοιου είδους συστήματα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως παλιότερα από τον Gericke (1929) καθώς και άλλους ερευνητές της εποχής εκείνης, Δεν βρήκαν όμως εφαρμογή στην γεωργική πράξη γιατί παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα, σπουδαιότερο από τα οποία είναι οι δυσκολίες αερισμού και οξυγόνωσης των ριζών (Σάββας, 1998).

Σύστημα NFT (Nutrient Film Technique = Τεχνική λεπτής θρεπτικής στοιβάδας).

Εδώ η καλλιέργεια των φυτών γίνεται με συνεχή τροφοδότηση των καναλιών των φυτών από μια λεπτή στρώση θρεπτικού διαλύματος.

Συστήματα αεροπονίας. Στα συστήματα αυτά το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται μέσω ακροφυσίων πάνω στις ρίζες των φυτών, οι οποίες βρίσκονται σε χώρους συνεχώς κορεσμένους από υγρασία.

Συστήματα επιδαπέδιας υδροπονίας (Plant plane hydroponics). Σ' αυτά τα συστήματα, το θρεπτικό διάλυμα ρέει σε μια μεγάλη επίπεδη επιφάνεια, όπως το δάπεδο του θερμοκηπίου, η οποία επιστρώνεται με ένα απορροφητικό υλικό με τριχοειδείς ιδιότητες. Έτσι, το θρεπτικό διάλυμα κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την οριζόντια επιφάνεια του θερμοκηπίου και καλύπτεται από φύλλο πολυαιθυλενίου.

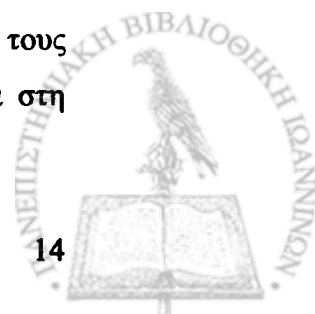
- Καλλιέργεια σε στερεά υποστρώματα

Ως υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών θεωρείται κάθε φυσικό ή προερχόμενο από βιομηχανική επεξεργασία πορώδες υλικό, εκτός από το φυσικό χώμα, το οποίο είναι σε θέση να συγκρατεί νερό (θρεπτικό διάλυμα) και αέρα σε κατάλληλες για την ανάπτυξη των φυτών αναλογίες, έτσι ώστε να μπορεί να υποκαθιστά το έδαφος στην καλλιέργεια των φυτών (Σάββας, 1998).

Στα συστήματα αυτού του τύπου το θρεπτικό διάλυμα διανέμεται μέσω του συστήματος άρδευσης στη ριζόσφαιρα των φυτών η οποία βρίσκεται σε κάποιο στερεό, πορώδες υλικό. Είναι δυνατό να έχουμε και ανοιχτού και κλειστού τύπου συστήματα, ενώ κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το εάν το θρεπτικό υπόστρωμα είναι αδρανές, ανόργανο υλικό (φυσικό ή συνθετικό), και εάν είναι οργανικό υλικό ή μείγματα οργανικών και ανόργανων υλικών.

Υλικά υποστρωμάτων υδροπονικών καλλιεργειών

Πάρα πολλά πορώδη υλικά έχουν εξετασθεί ως προς την καταλληλότητά τους για χρήση ως υποστρώματα υδροπονικών καλλιεργειών. Τα πιο συνηθισμένα στη γεωργική χρήση είναι τα εξής:



Ανόργανα υλικά: Άμμος, χαλίκι, περλίτης, βερμικουλίτης, διογκωμένη άργιλος, ελαφρόπετρα, ναλοβάμβακας, πετροβάμβακας, ζεόλιθος.

Οργανικά φυσικά υλικά: Τύρφη, κοκοτύρφη, πριονίδι, άχυρο, χαρτοπολτός, πυρηνόξυλο, αλεσμένα φυτικά υπολείμματα.

Οργανικά συνθετικά υλικά: Διογκωμένη πολυστερίνη, αφρός πολυουρεθάνης.

1.1.5. Υποστρώματα υδροπονίας

Ένα υπόστρωμα για να είναι σε θέση να επιτελεί με τον καλύτερο τρόπο το ρόλο για τον οποίο προορίζεται σε καλλιέργειες εκτός εδάφους θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Σάββας, 2003):

- ✓ Σταθερή δομή, ώστε να μην αποσυντίθεται εύκολα
- ✓ Ικανοποιητική αναλογία μεταξύ νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας
- ✓ Ομοιομορφία στη σύσταση, στην εμφάνιση και στη συμπεριφορά από άποψη θρέψης.
- ✓ Απαλλαγμένο από παθογόνα, ζωικούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων
- ✓ Εύκολο στη χρήση του και στους καλλιεργητικούς χειρισμούς
- ✓ Σχετικά χαμηλό κόστος.

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

1.1.6. Περλίτης

Ο ακατέργαστος περλίτης είναι ένα φυσικό ηφαιστειογενές ορυκτό με συμπαγή μάζα. Το υλικό που χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα καλλιέργειας φυτών ονομάζεται διογκωμένος περλίτης. Η διόγκωση του περλίτη και η δημιουργία πορώδους υφής επιτυγχάνεται με θέρμανση και τήξη του ορυκτού περλίτη στους 1100 °C η οποία ακολουθείται από ταχεία ψύξη με συνέπεια να παγιδεύεται αέρας στη μάζα του. Ο φυσικός περλίτης περιέχει μεταλλικό νερό, το οποίο μετατρέπεται σε αέριο στην υψηλότερη θερμοκρασία στον φούρνο υψηλής καύσεως. Αυτή είναι και η



αιτία για την οποία ο περλίτης διαστέλλεται 4 έως 20 φορές του αρχικού του όγκου με συνέπεια να επιτυγχάνεται ελαφρύ ειδικό βάρος και πορώδης υφή. Ο περλίτης συνήθως χρησιμοποιείται σε γλάστρες σαν μείγμα με άλλα υλικά και σαν μέσο βλάστησης σπόρων. Παράγεται σε διάφορες ποιότητες, εκ των οποίων οι πιο κοινές έχουν 0 – 2 και 1,5 – 3,0 mm διάμετρο. Οι διάφοροι τύποι περλίτη διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Φυσικά χαρακτηριστικά: Ο διογκωμένος περλίτης είναι πολύ ελαφρύς με φαινόμενο και πραγματικό ειδικό βάρος, 0.9 και 0.1 g cm⁻³, αντίστοιχα. Είναι πολύ πορώδης, έχει ισχυρή τριχοειδή δράση και μπορεί να δεσμεύσει 3 – 4 φορές το βάρος του σε νερό. Οι Bures et al. (1997a) αναφέρουν ότι το νερό συγκρατείται σε 10 kPa τα οποία είναι πολύ μεγαλύτερα κομμάτια (0,5 – 1,0 mm διάμετρο), από το κανονικά κομμάτια (0,25 – 0,5 mm διάμετρο) του διογκωμένου περλίτη, αλλά αυτό δεν εξηγείται από το βαθμό του εσωτερικού πορώδους μόνο. Στον εμπορικό περλίτη, με διάμετρο 0 – 4 mm, το διαθέσιμο και το μη διαθέσιμο νερό είναι 13,6% και 36,5% αντιστοίχως (Bures et al., 1997b). Η καμπύλη συγκράτησης του νερού του περλίτη δείχνει μέτρια υστέρηση (Bures et al., 1997b, Wever et al., 1997). Οι Wever et al. (1997) αναφέρουν ότι ο κορεσμός του περλίτη γίνεται ραγδαία, ανεξάρτητα με την αρχική του υγρασία. Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα εξαρτάται κατά ένα μέρος από τη διάμετρο των κόκκων του (Bures et al., 1997a). Για τον εμπορικό περλίτη με 0 – 4 mm διάμετρο, ο οποίος έχει το 50% των τεμαχιδίων του μικρότερα από 0,5 mm, το K είναι 0,3 cm min⁻¹ (Bures et al., 1997b). Μια μείωση κατά 2 τάξεις μεγέθους της υδραυλικής αγωγιμότητας παρατηρήθηκε καθώς η αναρρόφηση του νερού αυξήθηκε από 0 σε 30 cm νερού (Bures et al., 1997a).

Χημικά χαρακτηριστικά: Ο περλίτης είναι χημικά ουδέτερος με pH από 7,0 έως 7,5, αλλά δεν έχει ανταλλακτική ικανότητα και δεν περιέχει μεταλλικά στοιχεία σε διαθέσιμη για τα φυτά μορφή. Όταν το pH είναι χαμηλό υπάρχει ο κίνδυνος τοξικότητας Al που απελευθερώνεται στο διάλυμα. Η χημική ανάλυση των στοιχείων, όπως έχουν δημοσιευθεί από τον Ολύμπιο (1992) δίνεται στον παρακάτω πίνακα 1:

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση στοιχείων περλίτη (Ολύμπιος, 1992)

Υλικά	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
%	73,1	15,3	0,8	0,05	1,05	3,65	4,5



Αποστείρωση και υπολειμματική διάθεση: Ο περλίτης είναι αποστειρωμένο προϊόν το οποίο παράγεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Μετά τη χρήση του μπορεί να αποστειρωθεί με ατμό και να χρησιμοποιηθεί ξανά, ενώ η χημική του σταθερότητα δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από οξέα και μικροοργανισμούς. Χημικά, ο περλίτης είναι ένα σταθερό υλικό, το οποίο μπορεί να διαρκέσει για αρκετά χρόνια. Ο περλίτης είναι ευαίσθητος στη μηχανική συμπίεση, η οποία μπορεί να τον κονιορτοποιήσει. Είναι ένα αδρανές υλικό, και ο ανακυκλωμένος περλίτης προτείνεται χωρίς να προκαλεί προβλήματα στο περιβάλλον.

1.1.7. Υδροπονικός περλίτης

Ανεξάρτητα από τη χημική του σύσταση, ο υδροπονικός περλίτης είναι χημικώς και βιολογικώς αδρανής, με την ιοντοεναλλακτική του ικανότητα να είναι πρακτικά μηδενική (δεν κατακρατά, ούτε αποδεσμεύει δηλαδή στα φυτά, καμία ποσότητα ιόντων). Αυτό σημαίνει ότι όλα τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία πρέπει να προστίθενται μέσω του νερού άρδευσης. Έχει ουδέτερο pH (7,0) που παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.

Είναι εντελώς απαλλαγμένος ασθενειών και σπόρων ζιζανίων, δε σαπίζει, ούτε λιώνει και έχει θεωρητικά απεριόριστη διάρκεια ζωής. Ο υδροπονικός περλίτης που χρησιμοποιήθηκε στα δυο πειράματα της παρούσας ερευνητικής εργασίας σύμφωνα με την παρασκευάστρια εταιρία (ISOCON A.E.) έχει τις παρακάτω φυσικές και χημικές ιδιότητες: Αποτελείται από κόκκους διαμέτρου 0,5 – 2,5 mm, είναι πολύ ελαφρύς (ειδικό βάρος 60 – 80 kg/m³), και έχει πολύ υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού. Το ολικό πορώδες του είναι περίπου 95%. Η χημική του σύσταση παρουσιάζεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Χημική σύσταση υδροπονικού περλίτη PerloflorHydro (ISOCON A.E.)

Διοξείδιο του πυριτίου	SiO ₂	76,10%
Οξείδιο του αργιλίου	Al ₂ O ₃	13,78%
Οξείδιο του τιτανίου	TiO ₂	0,13%
Οξείδιο του σιδήρου	Fe ₂ O ₃	1,25%
Οξείδιο του ασβεστίου	CaO	1,20%

Οξείδιο του μαγνησίου	MgO	0,56%
Οξείδιο του νατρίου	Na ₂ O	3,76%
Οξείδιο του καλίου	K ₂ O	3,12%
Ολικό θείο	S	0,018%

1.1.8. Νερό άρδευσης

Το νερό άρδευσης, ανάλογα με την προέλευσή του μπορεί να περιέχει σημαντικές ποσότητες ιόντων ασβεστίου (Ca²⁺), μαγνησίου (Mg²⁺), όξινων ανθρακικών (HCO₃⁻), θεικών (SO₄²⁻), νατρίου (Na⁺) και χλωρίου (Cl⁻), καθώς και ορισμένες ποσότητες μεταλλικών ιχνοστοιχείων (Μαυρογιαννόπουλος 1994).

Η ποιότητα του νερού που παίρνει μέρος στην παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για τις υδροπονικές καλλιέργειες. Υψηλές συγκεντρώσεις HCO₃⁻, NaCl και ιχνοστοιχείων, καθώς και η ύπαρξη οργανικών συσσωματωμάτων υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού και αρκετές φορές το καθιστούν ακατάλληλο για χρήση.

Ένα νερό καλής ποιότητας για χρήση σε υδροπονικές καλλιέργειες με τις περιεκτικότητές του σε ανόργανα στοιχεία (Benoit, 1992) παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ανόργανα στοιχεία που περιέχονται σε ένα νερό καλής ποιότητας για χρήση σε υδροπονικές καλλιέργειες

ΙΟΝΤΑ	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ	
	mmol/l	mg/l
Ασβέστιο (Ca ²⁺)	2,0	80,2
Μαγνήσιο (Mg ²⁺)	0,5	12,2
Νάτριο (Na ⁺)	0,5	11,5
Χλώριο (Cl ⁻)	1,0	35,5
Θειικά (SO ₄ ²⁻)	0,5	48,1
Όξινα ανθρακικά (HCO ₃ ⁻)	4,0	244
	μmol/l	μg/l
Σίδηρος (Fe ²⁺)	0,5	28
Μαγγάνιο (Mn ²⁺)	10,0	549
Χαλκός Cu ²⁺)	1,0	63,5

Ψευδάργυρος (Zn^{2+})	5,0	327
Βόριο (B^{3+})	25,0	270
Φθόριο (F^-)	25,0	475
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	0,5 dS/m στους 25°C	

Ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο θα πρέπει να ξέρουμε την περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών είναι για να μπορούμε να υπολογίσουμε ακριβώς τις ποσότητες των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων. Χρειάζεται προσοχή στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, εξαιτίας την ανακύκλωσης, για την αποφυγή συσσώρευσης ιόντων που βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα στις καλλιέργειες.

1.1.9. Θρεπτικά διαλύματα

Τα ανώτερα σε εξέλιξη φυτά, για να αναπτυχθούν και να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο, έχουν ανάγκη από 16 χημικά στοιχεία. Από αυτά, τα 9 είναι απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες και ονομάζονται μακροστοιχεία: ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca) και το μαγνήσιο (Mg). Τα υπόλοιπα 7 είναι απαραίτητα μόνο σε πολύ μικρές ποσότητες και ονομάζονται ιχνοστοιχεία: ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), το βόριο (B), το μολυβδαίνιο (Mo) και το χλώριο (Cl).

Από τα προαναφερθέντα 16 στοιχεία, το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι συστατικά του νερού, με το δεύτερο να προσλαμβάνεται και από τον αέρα κατά την διαδικασία της αναπνοής, ενώ το χλώριο εμπεριέχεται σχεδόν πάντα σε ικανοποιητικές ποσότητες στο νερό. Αν σε αυτά προσθέσουμε τον άνθρακα ο οποίος προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) στα πλαίσια της φωτοσύνθεσης, τότε βλέπουμε ότι μόνο 12 ανόργανα θρεπτικά στοιχεία (N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo) είναι πρέπει να προστεθούν στο αρδευτικό νερό κατά την διαδικασία της παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος (Σάββας 2003).

Όλα τα θρεπτικά στοιχεία (εκτός του βορίου) απορροφώνται από τα φυτά με τη μορφή ιόντων. Οι μορφές υπό τις οποίες συναντώνται τα μακροστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία στα θρεπτικά διαλύματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Μορφές ιόντων με τις οποίες συναντώνται τα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία στα διάφορα θρεπτικά διαλύματα.

Μακροστοιχεία	Ιόντα	Ιχνοστοιχεία	Ιόντα
Άζωτο (N)	NO_3^- , NH_4^+	Σίδηρος (Fe)	Fe^{2+}
Φώσφορος (P)	H_2PO_4^-	Μαγγάνιο (Mn)	Mn^{2+}
Θείο (S)	SO_4^{2-}	Ψευδάργυρος (Zn)	Zn^{2+}
Κάλιο (K)	K^+	Χαλκός (Cu)	Cu^{2+}
Ασβέστιο (Ca)	Ca^{2+}	Βόριο (B)	H_3BO_3
Μαγνήσιο (Mg)	Mg^{2+}	Μολυβδαίνιο (Mo)	MoO_4^{2-}
		Χλώριο (Cl)	Cl^-

1.1.10. Λιπάσματα

Στις υδροπονικές καλλιέργειες τα θρεπτικά στοιχεία τα οποία παρέχονται στα φυτά μέσω των θρεπτικών διαλυμάτων, παρασκευάζονται με την προσθήκη απλών υδατοδιαλυτών αλάτων και ορισμένων οξέων σε νερό. Ειδικά ο σίδηρος χορηγείται με τη μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων οι οποίες είναι γνωστές ως χηλικές ενώσεις σιδήρου (Σάββας, 2003).

Πίνακας 5. Συνοπτική περιγραφή απλών υδατοδιαλυτών λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων στις υδροπονικές καλλιέργειες (Savvas, 2001).

Λίπασμα	Χημικός τύπος	Θρεπτικά στοιχεία (%)	Μοριακό βάρος	Διαλυτότητα (Kg/l, 0° C)
Νιτρικό αμμώνιο	NH_4NO_3	N: 35	80,0	1,18
Νιτρικό ασβέστιο	$5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$	N: 15,5, Ca:		
	NH_4NO_3	19	1080,5	1,02
Νιτρικό κάλιο	KNO_3	N: 13, K: 38	101,1	0,13
Νιτρικό μαγνήσιο	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	N: 11, Mg: 9	256,3	2,79 (20° C)
Νιτρικό οξύ	HNO_3	N: 22	63,0	—
Φωσφορικό μονοαμμώνιο	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	N: 12, P: 27	115,0	0,23
Φωσφορικό μονοκάλιο	KH_2PO_4	P: 23, K: 28	136,1	1,67
Φωσφορικό οξύ	H_3PO_4	P: 32	98,0	—
Θεικό κάλιο	K_2SO_4	K: 45, S: 18	174,3	0,12
Θεικό μαγνήσιο	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mg: 9,7, S: 13	246,3	0,26
Ανθρακικό μονοκάλιο	KHCO_3	K: 39	100,1	1,12
Χηλικός σίδηρος	διάφοροι τύποι	Fe: 6 – 13	—	—
Θεικό μαγγάνιο	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Mn: 32	169,0	1,05
Θεικός ψευδάργυρος	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Zn: 23	287,5	0,62
Θεικός χαλκός	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cu: 25	249,7	0,32
Βόρακας	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	B: 11	381,2	0,016
Βορικό οξύ	H_3BO_3	B: 17,5	61,8	0,050
Οκταβορικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	B: 20,5	412,4	0,045
Μολυβδαινικό αμμώνιο	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	Mo: 54	1235,9	0,43
Μολυβδαινικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mo: 40	241,9	0,56

Στην υδροπονία δε συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται σύνθετα, πλήρη υδατοδιαλυτά λιπάσματα, τα οποία αποτελούνται από ένα μείγμα απλών λιπασμάτων με δεδομένες για κάθε τύπο σκευάσματος αναλογίες θρεπτικών στοιχείων. Κατ' αρχήν τα σύνθετα υδατοδιαλυτά λιπάσματα αν και αποκαλούνται πλήρη δεν μπορούν να περιέχουν όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά. Συγκεκριμένα, εφόσον περιέχουν φώσφορο (P) και θείο (S) δεν είναι δυνατό να περιέχουν



συγχρόνως και ασβέστιο (Ca) και να είναι υδατοδιαλυτά σε μορφή πυκνών (μητρικών) διαλυμάτων.

Τα λιπάσματα που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι απλά (εξαιρέση αποτελεί το νιτρικό ασβέστιο), δηλαδή αποτελούνται από μια μόνο χημική ένωση, ώστε να είναι εύκολη η προσαρμογή της θρέψης στις απαιτήσεις της κάθε καλλιέργειας, αλλά και η εύκολη διεξαγωγή διορθωτικών παρεμβάσεων, αν κριθεί απαραίτητο, για την αποκατάσταση της ισορροπίας στη θρέψη. Ένα απαραίτητο προσόν το οποίο θα πρέπει να έχουν είναι η υψηλή διαλυτότητα ώστε να μπορούν να δίστανται πλήρως στο νερό και να μην καθιζάνουν (Resh, 1997).

Τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται ως πηγές μακροστοιχείων κατά την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων (Πίνακας 5), συνίστανται συνήθως από δύο ιόντα, ένα κατιόν και ένα ανιόν, τα οποία πρέπει και τα δύο ιόντα να είναι θρεπτικά στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η επιβάρυνση του θρεπτικού διαλύματος με μη θρεπτικά και συνεπώς ανεπιθύμητα ιόντα (Na^+ , Cl^- , HCO_3^-). Τέτοιο πρόβλημα δεν υφίστανται στην περίπτωση των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για την παροχή των ιχνοστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα, αφού αυτά προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες. Σε αυτή την περίπτωση είναι δυνατή η χρήση μιας χημικής ένωσης, όπως το μολυβδαινικό νάτριο, όπου το δεύτερο ιόν, το Na^+ , δεν αποτελεί θρεπτικό στοιχείο χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα στην καλλιέργεια.

1.1.11. Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων

Για να εξασφαλίζεται η καλή θρέψη και ανάπτυξη των φυτών στην υδροπονία, θα πρέπει αφ' ενός μεν η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος να είναι ακριβής, ενώ αφ' ετέρου η παροχή του στο χώρο ανάπτυξης του ριζικού συστήματος να είναι τακτική. Επομένως είναι απαραίτητο να ελέγχεται τακτικά η σύσταση και οι άλλες ιδιότητες του θρεπτικού διαλύματος στο χώρο των ριζών και όποτε υπάρχει ανάγκη τα μεγέθη αυτά να αναπροσαρμόζονται στα επιθυμητά αρχικά επίπεδα.

Από την άλλη πλευρά όμως, η αριστοποίηση της σύστασης του διαλύματος με το οποίο τρέφονται τα φυτά αλλά και η επέμβαση προς διόρθωση ανισορροπιών που τυχόν εμφανίζονται είναι πολύ πιο εύκολη στην υδροπονία, αφού σε κάθε φυτό αντιστοιχεί ένας μικρός όγκος ριζοστρώματος και θρεπτικού διαλύματος, με αποτέλεσμα το τελευταίο να μπορεί πολύ εύκολα και γρήγορα να ανανεώνεται.



Πριν γίνει συγκεκριμένη αναφορά στους ελέγχους και τις αναπροσαρμογές που πρέπει να γίνονται στα θρεπτικά διαλύματα ώστε να εξασφαλίζεται σε όλα τα στάδια της καλλιέργειας η ισόρροπη θρέψη και ανάπτυξη των φυτών θα πρέπει πρώτα να διευκρινισθεί ότι αυτό θα πρέπει να γίνεται τόσο στο νωπό θρεπτικό διάλυμα που φτάνει στα φυτά μέσω του συστήματος παροχής, όσο και σε αυτό που υπάρχει στο χώρο των ριζών.

Στην περίπτωση των ανοιχτών υδροπονικών συστημάτων, η σύσταση του διαλύματος με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά δεν είναι η ίδια με αυτή του διαλύματος που υπάρχει στον χώρο του ριζικού συστήματος, δηλαδή μέσα στο υπόστρωμα. Πράγματι, το διάλυμα που παρέχεται στα φυτά είναι καινούριο και στο βαθμό που παρασκευάζεται σωστά θα έχει γνωστές και δεδομένες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων και επομένως θα χαρακτηρίζεται από τις επιθυμητές τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Έτσι στα ανοιχτά συστήματα το μόνο που χρειάζεται να γίνεται για να εξασφαλίζεται η καλή ποιότητα του διαλύματος που παρέχεται στα φυτά, είναι να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα αν οι τιμές του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι αυτές που προβλέπονται από το σχήμα θρέψης που εφαρμόζεται. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται εύκολα και γρήγορα με απλά φορητά όργανα και αποσκοπούν στην έγκαιρη διάγνωση και διόρθωση ενδεχομένων λαθών ή βλαβών στο σύστημα μείξης και παροχής του διαλύματος.

Αντίθετα, τόσο οι συγκεντρώσεις σε θρεπτικά στοιχεία, όσο και οι τιμές του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος που βρίσκεται στο χώρο ανάπτυξης των ριζών δεν είναι ούτε δεδομένες ούτε σταθερές. Οι μεταβολές που υφίστανται προσδιορίζονται από τρεις παράγοντες:

- α) από το είδος και την ποσότητα του διαλύματος που φτάνει στο χώρο του ριζοστρώματος μέσω του συστήματος παροχής,
- β) από την πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων από το φυτό και
- γ) από την έκταση της απορροής διαλύματος από το χώρο των ριζών προς το έδαφος.

Στους παραπάνω παράγοντες δεν προστίθεται η εξάτμιση διαλύματος από το χώρο του ριζοστρώματος διότι σε ένα καλά εγκατεστημένο υδροπονικό σύστημα ο χώρος του ριζικού συστήματος καλύπτεται πλήρως με πλαστικό φύλλο, συνεπώς η εξάτμιση είναι πρακτικά πολύ μικρή.

Για την υδροπονική πράξη σημασία έχει, οι ιδιότητες του διαλύματος που βρίσκεται στο χώρο των ριζών να μεταβάλλονται όσο το δυνατόν πιο λίγο και πιο

αργά σε σχέση με αυτές του καινούργιου διαλύματος, με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά. Επομένως, όλοι οι καλλιεργητικοί χειρισμοί θα πρέπει να συντείνουν προς αυτό το στόχο. Για να γίνονται όμως έγκαιρα αντιληπτές οι ανεπιθύμητες μεταβολές στη σύσταση και τις άλλες ιδιότητες του διαλύματος που υπάρχει στο χώρο των ριζών σαν αποτέλεσμα των προαναφερθέντων παραγόντων, θα πρέπει το pH και η ηλεκτρική του αγωγιμότητα να μετρούνται τακτικά ενώ σε αραιότερα χρονικά διαστήματα θα πρέπει να προσδιορίζεται και η περιεκτικότητά του σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Αν οι τιμές του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή κάποιες περιεκτικότητες σε θρεπτικά στοιχεία αποκλίνουν σημαντικά από τις επιθυμητές τιμές που υφίστανται στο παρεχόμενο διάλυμα, θα πρέπει με κατάλληλους χειρισμούς αυτές να αναπροσαρμόζονται στα επιθυμητά επίπεδα.

1.2. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

1.2.1. Ορισμός

Αλατότητα είναι η υπερβολική συγκέντρωση διαλυτών αλάτων (ανόργανων ιόντων) στο διάλυμα που βρίσκεται στην περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών, είτε πρόκειται για εδαφικό είτε για τεχνητό θρεπτικό διάλυμα. Η αλατότητα είναι ένας πολύπλοκος περιβαλλοντικός παράγοντας καταπόνησης των φυτών που παρουσιάζει τρεις παραμέτρους:

- την ωσμωτική παράμετρο εξαιτίας της μείωσης του εξωτερικού υδατικού δυναμικού (Ψ_s) του εδάφους,
- την ιοντική παράμετρο, η οποία συνδέεται με τη συσσώρευση ιόντων που γίνονται τοξικά σε υψηλές συγκεντρώσεις και την
- τροφική παράμετρο με μείωση της απορρόφησης απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων όπως το κάλιο (K) και το ασβέστιο (Ca) ως συνέπεια του ανταγωνισμού που ασκούν τα ιόντα των αλάτων (Lafevre et al., 2001).

Τα ιόντα που βρίσκονται σε υπερβολική συγκέντρωση είναι συνήθως το Na^+ και το Cl^- , ενώ σε μικρότερο βαθμό υπεύθυνα για την δημιουργία συνθηκών αλατότητας μπορούν να είναι και τα ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} και HCO_3^- .

Η αλατότητα μπορεί να μετρηθεί με μονάδες που εκφράζουν άμεσα τη συνολική συγκέντρωση διαλυτών αλάτων στο διάλυμα (g/l ή mmol l^{-1} ή meq l^{-1}). Συνήθως όμως εκφράζεται σε μονάδες που δηλώνουν έμμεσα τη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων, όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία εκφράζεται σε μονάδες mmhos cm^{-1} ή dS m^{-1} , καθώς και το ωσμωτικό δυναμικό, το οποίο μετράται σε μονάδες πίεσης (bar ή kPa ή at). Λόγω της ευκολίας και της ακρίβειας μέτρησης, έχει καθιερωθεί να εκφράζεται ως ηλεκτρική αγωγιμότητα σε dS/m .

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων που βρίσκονται διαλυμένα μέσα σε αυτό. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, οποία διεθνώς συμβολίζεται ως EC από τα αρχικά του όρου στα Αγγλικά (Electrical Conductivity), δε μας δίνει καμιά πληροφορία για το είδος των αλάτων που περιέχονται στο νερό άρδευσης ή το θρεπτικό διάλυμα. Εντούτοις η EC χρησιμοποιείται ως βασικό μέγεθος αναφοράς, τόσο για την παρασκευή όσο και για τον έλεγχο της σύνθεσης των θρεπτικών

διαλυμάτων, λόγω της ευκολίας με την οποία μετράται επιτόπου στα θερμοκήπια από τους ίδιους τους παραγωγούς με χρήση φορητών οργάνων (Savvas, 2001).

1.2.2. Πρόβλημα υψηλής αλατότητας

Το πρόβλημα της υψηλής συγκέντρωσης αλάτων δεν περιορίζεται μόνο στις παραθαλάσσιες περιοχές, αλλά επεκτείνεται και σε καλλιεργούμενες εκτάσεις. Τα περισσότερα καλλιεργούμενα εδάφη στις ξηρές και θερμές περιοχές της γης είναι αρδευόμενα και τα διαλυμένα ιόντα που περιέχονται στο νερό μπορούν να συσσωρευτούν φτάνοντας σε επίπεδα που έχουν δυσμενή επίπτωση στην αύξηση και την παραγωγή των φυτών. Οι τρέχουσες εκτιμήσεις δείχνουν ότι 10 – 35% του παγκοσμίου γεωργικού εδάφους επηρεάζεται από την αλατότητα, με τα μισά από αυτά να είναι αρδευόμενα, ενώ σημαντικές περιοχές κρίνονται ακατάλληλες προς γεωργική χρήση κάθε χρόνο. Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών εκτιμά ότι, παγκοσμίως, περίπου το 20% της γεωργικής γης και το 50% των αρδευόμενων καλλιεργούμενων εδαφών έχουν σε κάποιο βαθμό υποβαθμιστεί λόγω της συσσώρευσης των αλάτων (Yokoi et al., 2002). Ακόμη περισσότερο, η διαφαινόμενη αλλαγή του κλίματος, η ολοένα μεγαλύτερη ανάγκη για νερό άρδευσης και η μη εμφάνιση νέων μεθόδων καλλιέργειας, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το πρόβλημα της εναλάτωσης των εδαφών θα καταστεί μεγαλύτερο στο μέλλον (Barrett-Lennard, 2003). Πρόκειται για ένα παγκόσμιο πρόβλημα, που είναι οξύτερο στην Κεντρική και Βόρεια Ασία, τη Νότια Αμερική και την Αυστραλασία.

Στις υδροπονικές καλλιέργειες, όπου το ριζικό σύστημα καταλαμβάνει μικρό όγκο σε σχέση με τις καλλιέργειες στο έδαφος, συσσώρευση αλάτων στο χώρο των ριζών μπορεί να συμβεί πολύ γρήγορα, όταν αυτά περιέχονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό άρδευσης (Sonneveld et al., 1999a). Ιδιαίτερα στα κλειστά υδροπονικά συστήματα, στα οποία το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται, παρατηρείται αύξηση της αλατότητας όταν οι συγκεντρώσεις των ιόντων που περιέχονται στο θρεπτικό διάλυμα είναι μεγαλύτερες από τις αναλογίες απορρόφησης ιόντων/νερό από τα φυτά (Carmassi et al., 2005, Savvas et al., 2005a).

Η υψηλή αλατότητα προκαλεί υψηλό ωσμωτικό στρες και υπερβολική συγκέντρωση ιόντων, με συνέπεια ακόμη και τον θάνατο των φυτών (Hasegawa et al. 2000). Υψηλή συγκέντρωση Na^+ συνοδεύεται συχνά από υψηλή συγκέντρωση Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , αλλά και NaCl . Το χαμηλό ωσμωτικό δυναμικό (Ψ_s) που



δημιουργείται στο έδαφος παρακρατεί το διαθέσιμο νερό, οπότε τα φύλλα πρέπει να αποκτήσουν ακόμη πιο αρνητικό Ψ_s για να διατηρήσουν τη διαβάθμιση υδατικού δυναμικού (Ψ_w) στο σύστημα έδαφος - ρίζα - φυτό.

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p \quad (1)$$

Όπου: Ψ_p είναι το δυναμικό πίεσης.

Υπ' αυτή την έννοια, η αντοχή στην ξηρασία και στην αλατότητα συσχετίζονται άμεσα (Κωνσταντινίδου, 2003).

Ένα μέρος από το νερό της άρδευσης εξατμίζεται, φαινόμενο πιο έντονο σε περιοχές με θερμό και ξηρό κλίμα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος απορροφάται από τα φυτά. Αποτέλεσμα της εξάτμισης και της διαπνοής είναι η συσσώρευση στο έδαφος ιόντων που δεν χρησιμοποιούν τα φυτά μέσω του μηχανισμού εκλεκτικής απορρόφησης και απέκκρισης θρεπτικών στοιχείων και άλλων ιόντων που περιέχονται στο νερό άρδευσης. Ο μόνος τρόπος απομάκρυνσης αυτών των ιόντων από το έδαφος είναι η παροχή μεγάλων ποσοτήτων νερού, ώστε το νερό να αρχίσει να διηθείται σε βαθύτερα στρώματα παρασύροντας μαζί του και τα συσσωρευμένα άλατα. Ο παραπάνω τρόπος όμως δεν είναι εφικτός σε περιοχές με ξηροθερμικό κλίμα, λόγω της ανεπάρκειας νερού επιδεινώνοντας έτσι σε μεγαλύτερο βαθμό το πρόβλημα. Επίσης η περιεκτικότητα του νερού άρδευσης σε άλατα εξαρτάται και από τα γεωλογικά δεδομένα μιας περιοχής τα οποία υπαγορεύουν σε μεγάλο βαθμό το είδος των αλάτων που έρχεται σε επαφή το νερό στην διαδρομή του.

1.2.3. Φυτά και αλατότητα

Η αλατότητα μπορεί να έχει επιπτώσεις σε οποιαδήποτε διαδικασία στον κύκλο ζωής των φυτών, με αποτέλεσμα την σημαντική μείωση της παραγωγής (Boyer, 1982). Όταν στο ριζόστρωμα των φυτών έχουμε υψηλή περιεκτικότητα διαλυτών αλάτων, τα φυτά απαντούν μέσω του μηχανισμού εκλεκτικής απέκκρισης στην απορρόφηση αλάτων με εντατικότερους ρυθμούς από αυτούς που είναι αναγκαίοι για την θρέψη τους με αποτέλεσμα να αδυνατούν να προσλάβουν νερό λόγω αυξημένου ωσμωτικού δυναμικού στο εδαφικό διάλυμα. Η δαπάνη μεταβολικής ενέργειας που απαιτείται για την απέκκριση των αλάτων, που μέσω της διάχυσης εισέρχονται στα κύτταρα, οδηγεί σε σημαντική ενεργειακή καταπόνηση του φυτού.

Υπάρχουν όμως και φυτά που επιτρέπουν την είσοδο μεγαλύτερων ποσοτήτων αλάτων, σε σύγκριση με αυτές που είναι απαραίτητες για την θρέψη τους, χωρίς να καταπονούνται ενεργειακά αφού αυτό γίνεται προς την κατεύθυνση της κλίσης του χημικού δυναμικού. Αποτέλεσμα της αυξημένης πρόσληψης αλάτων από τα κύτταρα είναι η ανύψωση του ωσμωτικού δυναμικού τους η οποία τους επιτρέπει να συνεχίσουν να απορροφούν νερό παρά το υψηλό ωσμωτικό δυναμικό στην περιοχή της ρίζας. Στην περίπτωση αυτή όμως έχουμε φαινόμενα τοξικότητας λόγω της υπερβολικής συγκέντρωσης ιόντων, όπως του Na^+ , που προκαλεί σημαντική μείωση της δραστηριότητας πολλών ενζύμων (Greenway and Muns, 1980).

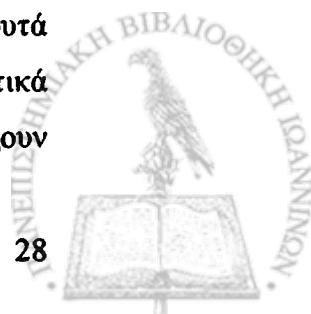
Τα φυτά ανταποκρίνονται στην αλατότητα υιοθετώντας την μία ή την άλλη στρατηγική, αναπτύσσοντας ειδικούς μηχανισμούς ανοχής των αντίστοιχων δυσμενών συνθηκών μέσω της ανάπτυξης ειδικών προσαρμοστικών μηχανισμών.

Μεταξύ υποχρεωτικών αλοφύτων (euhalophytes), δηλαδή φυτών που αναπτύσσονται άριστα μόνο σε πολύ αλατούχα εδάφη και γλυκοφύτων (glycophytes) δηλαδή φυτών που δεν επιβιώνουν σε αλατούχα εδάφη, υπάρχουν διαβαθμίσεις αντοχής (Σχήμα 1). Τα εσπεριδοειδή και το αβοκάντο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα, η τομάτα, η σόγια, το κρεμμύδι, το λάχανο και το φασόλι είναι ευαίσθητα, ενώ το βαμβάκι και το κριθάρι είναι ενδιάμεσα και τα σακχαρότευτλα ανθεκτικά. Εκπρόσωποι των αλοφύτων είναι τα *Suaeda maritime*, *Atriplex* sp., *Tamarix*, *Mesembryanthemum crystallinum* και άλλα περίπου 70 είδη ξυλωδών φυτών (μαγκροβίων) που αναπτύσσονται μέσα στο θαλασσινό νερό τροπικών ακτών. Ακόμη και τα γλυκόφυτα διαθέτουν μηχανισμούς προσαρμογής, οι οποίοι όμως είναι αποτελεσματικοί μόνο σε χαμηλά επίπεδα αλατούχου καταπόνησης.

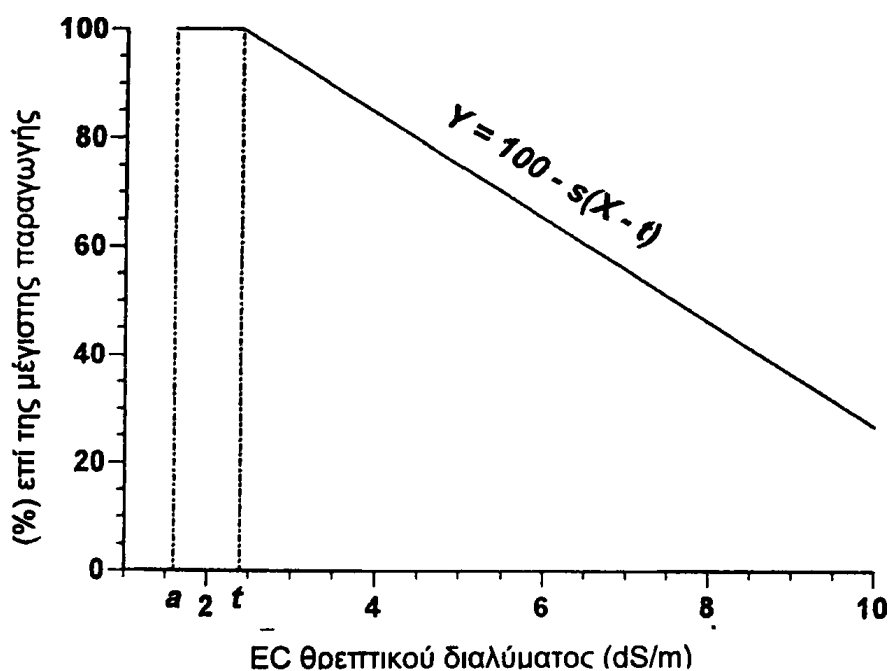
Συμπτώματα που εμφανίζονται στα φυτά κατά την διάρκεια της ανάπτυξης τους λόγω της αλατότητας είναι η χλώρωση, η νέκρωση και η πτώση των φύλων, η μείωση του ρυθμού ανάπτυξης και τέλος η νέκρωση του φυτού (Bethke and Drew, 1992; Jian -Kang Zhu, 2001).

1.2.4. Επίδραση της αλατότητας στη παραγωγή

Ο αποκλεισμός των αλάτων από τα μεταβολικά ενεργά φύλλα και τις κορυφές αύξησης, καθώς και η ωσμωτική προσαρμογή των κυττάρων, επιβάλλουν στα φυτά που αναπτύσσονται σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας ένα σημαντικά δυσμενέστερο ενεργειακό ισοζύγιο με αποτέλεσμα αυτά να παρουσιάζουν



χαμηλότερους ρυθμούς αύξησης. Τα καλλιεργούμενα φυτά που αντιμετωπίζουν με αυτό τον τρόπο την αλατότητα αντιδρούν με πτώση της παραγωγής σε βαθμό ανάλογο με την αύξηση της αλατότητας πάνω από ένα όριο (Maas and Hoffman, 1977). Η μείωση της παραγωγής εξαρτάται όχι μόνον από την ποσότητα των αλάτων στην ριζόσφαιρα, αλλά και από το είδος των αλάτων, το στάδιο ανάπτυξης, το είδος και την ποικιλία του φυτού, τον τρόπο άρδευσης, τις συνθήκες του περιβάλλοντος, καθώς και την διάρκεια έκθεσης των φυτού στην αλατότητα. Επίσης η μείωση της παραγωγής είναι γραμμική όταν η αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος αυξάνεται πάνω από το όριο t που είναι η οριακή τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για άριστη ανάπτυξη (Σχήμα 1), (Savvas, 2001).



Σχήμα 1. Το πρότυπο που εκφράζει τη σχέση μεταξύ της παραγωγής μιας καλλιέργειας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο μέσο ανάπτυξης (Savvas, 2001).

Η μείωση της παραγωγής από την καταπόνηση αλατότητας οφείλεται στις διάφορες φυσιολογικές επιπτώσεις που προκαλεί στα φυτά, όπως είναι η ανεπαρκής φωτοσύνθεση εξαιτίας του κλεισίματος των στομάτων, και η επακόλουθη μείωση στην αφομοίωση διοξειδίου του άνθρακα. Διαταράσσει επίσης την ομοίωση στο δυναμικό του νερού και την κατανομή των ιόντων, τόσο σε ολόκληρο το φυτό όσο

και σε κυτταρικό επίπεδο (Jian -Kang Zhu, 2001). Εκτός αυτού, η καταπόνηση μπορεί και άμεσα να αναστείλει την κυτταρική διαίρεση και ανάπτυξη. Ακόμη και ελαφριά καταπόνηση μπορεί να οδηγήσει στην επιβράδυνση της ανάπτυξης των φυτών και την μείωση της παραγωγικότητας (Jian -Kang Zhu, 2001).

Η υψηλή συγκέντρωση ανόργανων αλάτων στο υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών καθυστερεί την ανάπτυξή τους, επηρεάζοντας την κατανομή του ξηρού βάρους και τις βιοχημικές διαδικασίες όπως η αφομοίωση του N και του CO₂ και η σύνθεση των πρωτεϊνών (Greenway and Munns, 1980).

Η αλατότητα μειώνει την συνολική παραγωγή καρπών των καλλιεργούμενων λαχανικών, κυρίως λόγω της μείωσης του μεγέθους των καρπών και λιγότερο λόγω της μείωσης του αριθμού τους (Plaut, 1997). Ο αριθμός των καρπών της πιπεριάς είναι σταθερός σε μέτρια επίπεδα αλατότητας ενώ μειώνεται σημαντικά το μέσο βάρος τους (Chartzoulakis and Klaraki, 2000). Σε αυξημένα επίπεδα αλατότητας όμως, εκτός της μείωσης του νωπού βάρους των καρπών της πιπεριάς παρατηρείται και μεγάλη μείωση του αριθμού των καρπών ανά φυτό (Gomez et al. 1996). Η μείωση της παραγωγής στην μελιτζάνα που προκαλείται από την αλατότητα οφείλεται κυρίως στην μείωση του μέσου νωπού βάρους των καρπών (Savvas and Lenz, 2000). Η αλατότητα διαταράσσει την ομοιόσταση στο δυναμικό νερού και την κατανομή των ιόντων τόσο σε ολόκληρο το φυτό όσο και σε κυτταρικό επίπεδο, προκαλώντας ζημιές στην ανάπτυξη του φυτού και σε ακραίες περιπτώσεις τον θάνατο (Zhu, 2001).

1.3. ΠΥΡΙΤΙΟ

Το πυρίτιο είναι το δεύτερο σε περιεκτικότητα χημικό στοιχείο στο στερεό φλοιό της γης μετά το αργίλιο. Εν τούτοις μόνο ένα πολύ μικρό μέρος από αυτό το πυρίτιο διαλυτοποιείται και καθίσταται διαθέσιμο για τα φυτά. Το πυρίτιο της κρυσταλλικής άμμου είναι αυτό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση και την διαλυτοποίησή του και επομένως είναι το λιγότερο διαθέσιμο Si για τα φυτά. Το διαλυτό πυρίτιο περιέρχεται στο νερό του εδάφους σε μορφή αδιάστατου μορίου $\text{Si}(\text{OH})_4$ (πυριτικό οξύ). Η μορφή αυτή του πυριτίου αρχίζει να διίσταται μόνο όταν το pH γίνει μεγαλύτερο του 9,4. Δεδομένου όμως ότι τέτοιες τιμές pH δεν υφίσταται σε εδάφη πάνω στα οποία αναπτύσσεται βλάστηση, πρακτικά τα φυτά έρχονται σε επαφή και απορροφούν μόνο το αδιάστατο μόριο του πυριτικού οξέος.

Παρότι το πυρίτιο δεν συγκαταλέγεται στα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία (Arnon and Stout, 1939), τα τελευταία χρόνια πληθαίνουν οι μελέτες που υποστηρίζουν ότι ασκεί θετική επίδραση στην ανάπτυξη πολλών ανώτερων φυτών. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει πολλούς επιστήμονες στη διατύπωση της άποψης ότι το πυρίτιο (Si) πιθανότατα είναι απαραίτητο για τη θρέψη ορισμένων τουλάχιστον φυτικών ειδών (Erstein, 1999). Θεωρείται απαραίτητο για τα αγρωστώδη όπου η συγκέντρωσή του φτάνει το 16% του ξηρού βάρους στο ρύζι και το 1 - 4% στον αραβόσιτο. Η έλλειψη πυριτίου σ' αυτά τα φυτά προκαλεί μείωση της αύξησης των φύλλων, αύξηση της διαπνοής και πρόωρη πτώση των παλαιών φύλλων. Στο ρύζι και σε άλλα υδρόβια φυτά, ο σχηματισμός και η σταθερότητα του αερεγχύματος, εξαρτάται από την προσθήκη πυριτίου (Raskin and Kende, 1993).

Το πυρίτιο είναι ευεργετικό για την ανάπτυξη των φυτών βοηθώντας στην αντιμετώπιση των βιοτικών και αβιοτικών καταπονήσεων με την αύξηση της μηχανικής αντοχής των φυτικών ιστών. Η επίδραση αυτή του πυριτίου φαίνεται να οφείλεται στην εναπόθεση άμορφου $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ στο κυτταρικό τοίχωμα, σε διάφορα καλλιεργούμενα φυτά (Erstein, 1999). Σχηματίζει σύμπλοκα με τις πολυφαινόλες και έτσι προσφέρει μια εναλλακτική ουσία αντί της λιγνίνης στην ενίσχυση των κυτταρικών τοιχωμάτων (Τσέκος, 2003). Επίσης το πυρίτιο συμβάλει στη δημιουργία ορθοτενών φύλλων, φύλλων με τραχεία εμφάνιση, ισχυρών ανθικών στελεχών σε ανθοκομικά φυτά (ζέρμπερα), καθώς επίσης και βλαστών σιτηρών με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο πλάγιασμα. Έχει αποδειχθεί ότι η προσθήκη πυριτίου στα φυτά

συμβάλει στην αύξηση της ανθεκτικότητας ενάντια σε διάφορες ασθένειες και προσβολές εντόμων, (Ma, 2004; Epstein, 1999).

Έχει αποδειχτεί επίσης ότι το πυρίτιο προστατεύει τα φυτά από την τοξικότητα Mn όταν το τελευταίο βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο χώρο των ριζών (Williams and Vlamis, 1957). Η επίδραση αυτή του πυριτίου δε φαίνεται να οφείλεται σε βιοχημικούς παράγοντες αλλά στην πιο ομοιόμορφη κατανομή του μαγγανίου μέσα στους φυτικούς ιστούς παρουσία Si. Σύμφωνα με άλλα πειραματικά δεδομένα (Epstein, 1999), η προστατευτική αυτή επίδραση του πυριτίου δεν περιορίζεται μόνο στο μαγγάνιο αλλά επεκτείνεται και στο ψευδάργυρο, το χαλκό, το αργίλιο και το νάτριο. Σύμφωνα με ορισμένα πειραματικά δεδομένα, το πυρίτιο φαίνεται να αλληλεπιδρά με την αλατότητα απαλύνοντας τις δυσμενείς επιδράσεις που ασκεί η τελευταία στα φυτά (Liang, 1999). Η επίδραση αυτή φαίνεται να σχετίζεται κυρίως με το γεγονός ότι το πυρίτιο μειώνει τον ρυθμό απορρόφησης του νατρίου από τα φυτά. Αυτό σημαίνει ότι το πυρίτιο απαλύνει τα συμπτώματα της αλατότητας μόνο σε περίπτωση που αυτή οφείλεται σε NaCl ενώ δεν ασκεί κανένα προστατευτικό ρόλο έναντι υπερβολικών συγκεντρώσεων θρεπτικών στοιχείων. Φαίνεται επομένως ότι το πυρίτιο ασκεί προστατευτική επίδραση στα φυτά εξειδικευμένα έναντι του NaCl.

Το Si στη φύση αφθονεί και γι' αυτό η χορήγησή του μέσω λιπασμάτων στις καλλιέργειες που αναπτύσσονται στο έδαφος δεν έχει βρει μέχρι σήμερα αξιόλογη εφαρμογή στην πράξη. Η μόνη καλλιέργεια στην οποία η λίπανση με πυρίτιο (συνήθως πυριτικό κάλιο ή πυριτικό ασβέστιο) είναι συνηθισμένη είναι το ρύζι. Ενδεδειγμένη θεωρείται η λίπανση με πυρίτιο και στις υδροπονικές καλλιέργειες, δεδομένου ότι οι συγκεντρώσεις Si στο νερό είναι συνήθως χαμηλότερες από αυτές που έχει βρεθεί ότι ασκούν θετική επίδραση στην ανάπτυξη ορισμένων φυτών. Γι' αυτό τα τελευταία χρόνια, η προσθήκη πυριτίου, έχει αρχίσει να συνιστάται για ορισμένα τουλάχιστον από τα υδροπονικά καλλιεργούμενα φυτά και ειδικότερα για το τριαντάφυλλο και το αγγούρι (Sonneveld and Straver, 1994; Sonneveld, 2000).

Αναφορές υπάρχουν ακόμα και για μείωση στις δυσμενείς επιπτώσεις της αλατότητας στο περιβάλλον των ριζών παρουσία πυριτίου (MATOH et al., 1986; BARDBURY and AHMAN, 1990; AHMAD et al., 1992; LIANG et al., 1996). Παρόλα αυτά οι αναφορές της βιβλιογραφίας στην αλληλεπίδραση του πυριτίου και της αλατότητας είναι περιορισμένες.



1.4. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΚΟΛΟΚΥΘΙΑΣ

1.4.1. Γενικά

Η κολοκυθιά (*Cucurbita pepo* var. *giromontiina*) είναι φυτό της οικογένειας Cucurbitaceae, τάξη Cucurbitales, υποκλάση Dilleniidae, κλάση Magnoliatae, υποάθροισμα Magnoliophytina, άθροισμα Spermatophyta. Πατρίδα της κολοκυθιάς, θεωρείται η τροπική Αμερική (Whitaker & Davis, 1962) απ' όπου και έγινε η εισαγωγή της στην Ευρώπη, περίπου τον 16ο αιώνα. Το καλλιεργούμενο είδος *C. pepo* είναι πιο ανθεκτικό στις χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με άλλα είδη που ανήκουν στο ίδιο γένος. Γνωστά είδη είναι οι «κολοκύθες», τα «νεροκολόκυθα», οι «λούφες», που έχουν λαχανοκομική και καλλωπιστική αξία. Είδη κολοκύνθης ήταν γνωστά από αρχαιοτάτων χρόνων και στην Ευρώπη, και αναφέρονται από τον Θεόφραστο και τον Διοσκουρίδη σαν Σικύα ή Ινδική κολοκύνθη .

Το γένος *Cucurbita* περιλαμβάνει 10 είδη. Από αυτά, μόνο τα 5 έχουν κάποια οικονομική σπουδαιότητα ως καλλιεργούμενα φυτά. Τα είδη αυτά είναι το *C. ficifolia*, το *C. maxima*, το *C. moschata*, το *C. mixta* και το *C. pepo*.

Το *C. pepo* var. *giromontiina* είναι το είδος του γένους *Cucurbita* που δίνει τα γνωστά νωπά κολοκυθάκια. Το κολοκυθάκι συγκομίζεται όταν ακόμη είναι φυσιολογικά άωρος καρπός και μάλιστα πολύ νωρίς, συνήθως λίγο μετά την γονιμοποίηση του άνθους από το οποίο προέρχεται. Μερικές φορές μάλιστα, όταν το προϊόν προορίζεται για την τοπική αγορά και η ζήτηση είναι μεγάλη, η συγκομιδή γίνεται και νωρίτερα, δηλαδή πριν ακόμη γίνει η γονιμοποίηση του θηλυκού άνθους, οπότε από βοτανική άποψη το συγκομισθέν προϊόν δεν είναι καρπός αλλά η διογκωμένη ωοθήκη. Το κολοκυθάκι είναι το μόνο είδος του γένους *Cucurbita* που καλλιεργείται κατά την ψυχρή εποχή του έτους στο θερμοκήπιο, δεδομένου ότι, πρώτον, έχει αξιόλογη ζήτηση στην αγορά και δεύτερον, δεν διατηρείται παρά μόνον για λίγες ημέρες μετά την συγκομιδή του, σε αντίθεση με τις ώριμες κολοκύθες που όπως προαναφέρθηκε μπορούν να συντηρηθούν για μήνες μετά την συγκομιδή τους. Γι' αυτό, στη συνέχεια του παρόντος κειμένου γίνεται αναφορά μόνο στην καλλιέργεια του προαναφερθέντος είδους και επομένως στο εξής με τις λέξεις κολοκυθιά και κολοκύθι ή κολοκυθάκι θα υπονοούνται αντίστοιχα το φυτό *Cucurbita pepo* var. *giromontiina* και οι άωροι καρποί αυτού. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι

το *C. pepo* ορισμένες φορές καλλιεργείται και για την παραγωγή αρσενικών ανθέων τα οποία είναι επίσης βρώσιμα (ντολμάδες).

Η κολοκυθιά που καλλιεργείται για την παραγωγή άωρων καρπών (κολοκυθάκια), δηλαδή το είδος *Cucurbita pepo* var. *giromontiina*, είναι μονοετές λαχανικό και κάτω από φυσικές συνθήκες αναπτύσσεται είτε ως έρπον, είτε ως αναρριχώμενο, είτε ως θαμνώδες φυτό. Μολονότι υπάρχουν πολλές έρπουσες ή αναρριχώμενες ποικιλίες του *C. pepo* var. *giromontiina*, για θερμοκηπιακή καλλιέργεια προτιμώνται αυτές που εμφανίζουν ορθοτενή ανάπτυξη και λαμβάνουν θαμνώδη μορφή.

1.4.2. Σημερινή εξάπλωση της καλλιέργειας

Η καλλιεργούμενη έκταση και παραγωγή κολοκυθιάς κατά ηπείρους, στις χώρες της Ε.Ε. και οι 5 κυριότερες χώρες παραγωγής στον κόσμο για το 1998 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Η Ασία παράγει το 63% και η Αφρική το 10% της παγκόσμιας παραγωγής. Η Ινδία, η Κίνα και η Ουκρανία είναι οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή σε διεθνές επίπεδο και η Ιταλία, Ισπανία και Γαλλία σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Πίνακας 6. Η καλλιεργούμενη έκταση και παραγωγή κολοκυθιάς κατά ηπείρους, στις χώρες της Ε.Ε. και οι 5 κυριότερες χώρες παραγωγής στον κόσμο για το 1998.

	Έκταση ⁽¹⁾ 1000 στρ.	x Παραγωγή ⁽¹⁾ x 1000 ΜΤ*	% του συνόλου της παραγωγής
Παγκόσμια	11385	14125	100
Κατά Ήπειρο			
Αφρική	885	1433	10,1
Β. & Κ. Αμερική	799	524	3,7
Ν. Αμερική	619	814	5,8
Ασία	7293	8903	63,0
Ευρώπη	1605	2219	15,7
Ωκεανία	184	232	1,6
Κυριότερες χώρες παραγωγής			
1. Ινδία	3350	3200	22,7
2. Κίνα	1786	3071	21,7
3. Ουκρανία	450	1200	8,5

4. Αίγυπτος	300	575	4,1
5. Αργεντινή	290	400	2,8
6. Τουρκία	225	395	2,8
7. Μεξικό	420	350	2,5
8. Ιταλία	147	320	2,3
9. Ν. Αφρική	160	290	2,1
10. Ισπανία	65	250	1,8
Χώρες Ε.Ε.		Μέση απόδοση	
		(τον./στρ.)	
1. Ιταλία	147	320	2,2
2. Ισπανία	65	250	3,8
3. Γαλλία	44	160	3,6
4. Ελλάδα	40	80	2,0
5. Ολλανδία	1	9,5	9,5

Πηγή: FAO Production Yearbook (1998)

(1) Περιλαμβάνει την έκταση και παραγωγή τόσο της υπαίθριας καλλιέργειας όσο και της καλλιέργειας υπό κάλυψη η οποία είναι πολύ περιορισμένη

* ΜΤ: Μετρικοί Τόνοι

1.4.3. Βοτανικοί χαρακτήρες

Τα φυτά της κολοκυθιάς είναι μονοετή, ποώδη, έρποντα ή αναρριχόμενα (φέρουν έλικες) ή θαμνώδη και ορθοτενή. Η ρίζα τους είναι πασσαλώδης και αναπτύσσεται μέχρι και βάθος 1,20 m, αλλά το κυρίως ριζόστρωμα βρίσκεται μέχρι τα 40 – 50 εκ. Οι βλαστοί είναι συνήθως γωνιώδους διατομής, αλλά και κυλινδρικής, φέρουν τρίχες, τα μεσογονάτια διαστήματα είναι μικρά, δεν διακλαδίζονται και το μήκος τους φτάνει μέχρι μερικά μέτρα. Εσωτερικά είναι κοίλοι (κούφιοι) ενώ εξωτερικά είναι γωνιώδεις και φέρουν τρίχες. Τα φύλλα είναι απλά, μεγάλα, πεντάλοβα ή τρίλοβα με μεγάλες ή μικρές εγκολπώσεις και φέρουν μακριές τρίχες. Ο μίσχος τους είναι μακρύς και χονδρός, κούφιος εσωτερικά. Τα άνθη είναι μεγάλα, μασχαλιαία, με περιάνθιο πενταμερές και στεφάνη χοανοειδή έντονου κίτρινου χρώματος. Το φυτό είναι μόνοικο και δικλινές, δηλαδή φέρει αρσενικά και θηλυκά άνθη χωριστά πάνω στο ίδιο φυτό. Τα αρσενικά άνθη εμφανίζονται πρώτα στη βάση του βλαστού και αργότερα διάσπαρτα κατά μήκος του βλαστού, πάνω σε μακρύ,

λεπτό ποδίσκο, έχουν 5 στήμονες ελεύθερους, με ανθήρες ενωμένους. Τα θηλυκά άνθη εμφανίζονται μετά τα πρώτα αρσενικά πάνω στο βλαστό. Η στεφάνη των θηλυκών ανθέων στηρίζεται πάνω στην διογκωμένη αγονιμοποίητη ωοθήκη η οποία είναι τρίχωρη, έχει στύλο με 3 στίγματα δίλοβα και μοιάζει με υποτυπώδη καρπό. Το φυτό σταυρογονιμοποιείται κυρίως με τις μέλισσες αλλά και με άλλα έντομα, όπως τα μυρμήγκια. Φτωχή επικονίαση έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής και το σχηματισμό παραμορφωμένων καρπών.

Ο καρπός είναι ράγα ή πέπων με πολλά σπέρματα τα οποία είναι ορατά από το στάδιο του ώριμου καρπού. Το χρώμα του, κατά το στάδιο της συγκομιδής, είναι από σκούρο μέχρι ανοιχτό πράσινο, με κάποιες ρίγες σε αποχρώσεις του πράσινου και του λευκού. Εσωτερικά ή σάρκα του είναι λευκοκίτρινη. Το μέγεθος και το σχήμα του εξαρτώνται από την ποικιλία. Όταν ο καρπός ωριμάσει (κολοκύθα), εξωτερικά το χρώμα γίνεται από κίτρινο έως πορτοκαλί, ενώ το σχήμα του γίνεται πιο στρογγυλό.

Οι σπόροι που βρίσκονται στο εσωτερικό του καρπού είναι πεπλατυσμένοι, έχουν σχήμα ωοειδές και χρώμα από λευκό έως υποκίτρινο. Το μήκος τους ανέρχεται σε 8-12 mm και το πλάτος τους σε 6-8 mm. Το βάρος 1.000 σπόρων διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία και κυμαίνεται μεταξύ 80-200 g. Η ελάχιστη επιτρεπτή βλαστικότητα του σπόρου του κολοκυθιού ανέρχεται σε 75%. Οι σπόροι του κολοκυθιού, εφόσον αποθηκεύονται σε κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, μπορούν να διατηρήσουν την βλαστικότητά τους για 4 χρόνια τουλάχιστον (Harrington & Minges 1954, Lorenz & Maynard 1988).

1.4.4. Κλίμα και έδαφος

Είναι φυτό θερμής εποχής και πολύ ευπαθές στον παγετό. Υπό ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες το καλοκαιρινό κολοκυθάκι χρειάζεται 30 – 60 ημέρες από τη σπορά μέχρι την έναρξη της συγκομιδής. Αποδίδει καλά σε δροσερό και υγρό περιβάλλον. Η κολοκυθιά αναπτύσσεται καλά όταν η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 10-32^o C (Lorenz & Maynard, 1988), ενώ η γύρη της κολοκυθιάς βλαστάνει ακόμη και σε θερμοκρασία 8-10 °C (Liebig, 1986). Παρουσιάζει πάρα πολλές ομοιότητες στο κλίμα και το έδαφος με την αγγουριά, αλλά διαφέρει από αυτή στα εξής:

1. η κολοκυθιά είναι πιο ανθεκτική στις χαμηλές θερμοκρασίες χωρίς να αντέχει βέβαια στους παγετούς.
2. είναι πιο ανθεκτική στην ξηρασία και
3. είναι λιγότερο απαιτητική σε θρεπτικά στοιχεία.

Σχετικά με την αντίδραση της κολοκυθιάς στον φωτοπεριοδισμό, υπάρχουν και ουδέτερες αλλά και μακράς ημέρας ποικιλίες. Οι πιο συνηθισμένες, σήμερα, καλλιεργούμενες ποικιλίες και υβρίδια είναι ουδέτερες στον φωτοπεριοδισμό.

Τέλος, όσον αφορά την αμειψισπορά που θα πρέπει να γίνεται, αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον τριετής ή τετραετής, ενώ τα φυτά που ενδείκνυται να καλλιεργούνται στο μεσοδιάστημα αυτό πρέπει να μη συγκαταλέγονται στα συγγενικά είδη, όπως τα ψυχανθή, τα σολανώδη, κ.λπ.

Όσον αφορά το έδαφος κατάλληλο για την καλλιέργεια θεωρείται το μέσης σύστασης, γόνιμο, πλούσιο σε οργανική ουσία και με καλή στράγγιση. Ως ιδανικό pH θεωρείται αυτό μεταξύ 5,5-6,8. Η κολοκυθιά είναι φυτό σχετικά ανθεκτικό στα άλατα (Lorenz and Maynard, 1998).

1.4.5. Πολλαπλασιασμός

Η κολοκυθιά είναι φυτό που δύσκολα μεταφυτεύεται, γι' αυτό πρώτα η σπορά γίνεται είτε απευθείας στο κατάλληλα διαμορφωμένο έδαφος του σπορείου, είτε σε μεγάλα κιβώτια σποράς γεμισμένα με απολυμασμένο υπόστρωμα. Μετά το φύτευμα των σπόρων και συγκεκριμένα είτε στο στάδιο της εμφάνισης, είτε (το αργότερο) στο στάδιο της πλήρους έκπτυξης των κοτυληδόνων, τα νεαρά φυτάρια μεταφέρονται σε ατομικά γλαστράκια, ή κύβους εδάφους.

Ο σπόρος που θα χρησιμοποιηθεί συνιστάται να μην είναι μεγάλης ηλικίας (όχι παλαιότερος των 3 ετών) και φυσικά να είναι απολυμασμένος. Για την παραγωγή 1000 υγιών σποροφύτων κολοκυθιάς απαιτούνται 130-250 g σπόρου. Δεδομένου ότι η πυκνότητα φύτευσης της κολοκυθιάς στο θερμοκήπιο ανέρχεται στα 800-1.250 φυτά/στρέμμα, η απαιτούμενη ποσότητα σπόρου για την εγκατάσταση μίας θερμοκηπιακής καλλιέργειας ανέρχεται στα 100-300 g ανά στρέμμα. Η ακριβής ποσότητα σπόρου εξαρτάται από την συγκεκριμένη πυκνότητα φύτευσης που πρόκειται να εφαρμοσθεί και το βάρος χιλίων σπόρων της εκάστοτε χρησιμοποιούμενης ποικιλίας.

Πριν σπαρθεί ο σπόρος, θα πρέπει προηγουμένως να έχει διαβραχεί σε



καθαρό νερό για 24-48 ώρες. Η σπορά γίνεται είτε χύδην σε όλη την επιφάνεια του εδάφους ή του υποστρώματος, είτε σε γραμμές που απέχουν 3 cm περίπου μεταξύ τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τοποθέτηση των σπόρων με την μεγαλύτερη επιφάνειά τους στο έδαφος, δηλαδή όχι όρθια αλλά οριζόντια, βοηθάει καλύτερα στο φύτευμα. Το βάθος σποράς που συνιστάται για την κολοκυθιά είναι 2-3 cm.

Ιδανικές θερμοκρασίες για την βλάστηση των σπόρων θεωρούνται αυτές μεταξύ 20 – 25 °C με ελάχιστη αυτή των 15 °C (Harrington). Κάτω από θερμοκρασία 10 °C ο σπόρος δεν βλασταίνει. Σε περιπτώσεις που η θερμοκρασία είναι στα άριστα επίπεδα, ο σπόρος βλασταίνει σε 7 περίπου ημέρες (Grower Guide N° 26, 1982). Οι υπερβολικά ψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 32-35° C) προκαλούν επίσης σημαντικά προβλήματα στο φύτευμα, λόγω της υπερβολικής αύξησης της έντασης της αναπνοής των σπόρων κατά το φύτευμα. Όσο πιο κοντά στην άριστη θερμοκρασία βρίσκονται οι σπόροι κατά τη βλάστηση τόσο πιο γρήγορα βλασταίνουν και αυξάνει το ποσοστό βλαστικότητας.

Πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των σποροφύτων στο σπορείο παίζει επίσης και η θερμοκρασία του ριζοστρώματος η οποία σε καμιά περίπτωση δεν θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από τους 15° C. Η άριστη θερμοκρασία εδάφους είναι οι 18-21° C και η ανώτερη ανεκτή χωρίς δυσμενείς συνέπειες για τα σπορόφυτα οι 30° C.

Η θερμοκρασία των 20-25° C που συνιστάται κατά το φύτευμα θα πρέπει να διατηρείται μέχρι την εμφάνιση των δύο κοτυληδόνων. Αμέσως μετά, η θερμοκρασία μπορεί να μειωθεί στους 18-20° C την ημέρα και 14-16° C την νύχτα. Θερμοκρασίες κάτω από 11 – 13 °C θεωρούνται απαγορευτικές.

Η σχετική υγρασία (Σ.Υ.) στο σπορείο θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 65-75% περίπου. Σε πολύ υψηλές τιμές Σ.Υ. (από 90% και πάνω) αυξάνεται σημαντικά ο κίνδυνος καταστροφής των φυταρίων από τήξεις και άλλες ασθένειες που ευνοούνται από την υψηλή υγρασία.

1.4.6. Καλλιεργητικές φροντίδες στο σπορείο

Το πότισμα μετά το φύτευμα θα πρέπει να είναι τακτικό και αυτό γιατί εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους των φύλλων, η επιφάνεια διαπνοής είναι μεγάλη και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνονται οι ανάγκες του φυτού σε νερό.



Υπολογίζεται ότι η κατανάλωση των σποροφύτων σε νερό λίγο πριν αυτά μεταφυτευθούν ανέρχεται σε 0,2-0,3 l ανά φυτό και ημέρα περίπου.

Η άρδευση γίνεται είτε χειρωνακτικά χρησιμοποιώντας ποτιστήρι, είτε μέσω κάποιου αυτόματου συστήματος παροχής του νερού μέσω σωλήνων εφοδιασμένων με μικροεκτοξευτήρες (μπεκ) που μπορεί να είναι τοποθετημένοι στην οροφή του σπορείου ακριβώς πάνω από τους πάγκους με τα σπορόφυτα.

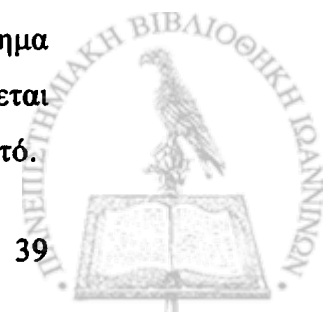
Τα σπορόφυτα της κολοκυθιάς αυξάνονται πολύ γρήγορα και σε 3 - 4 εβδομάδες μετά την σπορά τους είναι έτοιμα για μεταφύτευση, όταν αποκτήσουν 3 - 4 πραγματικά φύλλα. Δεδομένου λοιπόν ότι τα υποστρώματα σποράς συνήθως περιέχουν επαρκείς ποσότητες θρεπτικών στοιχείων για τις πρώτες 3 - 5 εβδομάδες μετά το φύτευμα, στα σπορεία κολοκυθιάς συνήθως δεν εφαρμόζεται λίπανση. Σε περίπτωση όμως που το υπόστρωμα σποράς δεν ήταν επαρκώς εφοδιασμένο με θρεπτικά στοιχεία ή για κάποιο λόγο η χορήγηση θρεπτικών στοιχείων στα σπορόφυτα κρίνεται αναγκαία, η παροχή αυτών συνιστάται να γίνεται μέσω υδρολίπανσης. Σε μία τέτοια περίπτωση ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι συγκεντρώσεις στο νερό της άρδευσης θα πρέπει να κυμαίνονται γύρω στα 120-160 mg/l N, 120-160 mg/l K και 30-40 mg/l Mg.

1.4.7. Προετοιμασία του εδάφους

Η εγκατάσταση των νεαρών φυταρίων κολοκυθιού εντός του θερμοκηπίου προϋποθέτει πρώτα την προετοιμασία του εδάφους η οποία περιλαμβάνει της εξής καλλιεργητικές εργασίες:

- ένα καλό όργωμα με αναστροφή σε βάθος 20-30 cm ή εναλλακτικά στην κατεργασία του με δισκάροτρο ή φρέζα,
- την προσθήκη οργανικής ουσίας,
- την απολύμανση,
- 1-2 φρεζαρίσματα για ψιλοχωματισμό και ισοπέδωση του εδάφους,
- την προσθήκη των ανόργανων λιπασμάτων (βασική λίπανση) και τέλος,
- ένα τελευταίο φρεζάρισμα για την ενσωμάτωση των λιπασμάτων στο χώμα.

Αφού το έδαφος έχει προετοιμασθεί, μπορεί να εγκατασταθεί το σύστημα άρδευσης και να χαραχθούν οι γραμμές φύτευσης. Στη συνέχεια το έδαφος ποτίζεται ώστε να διευκολυνθεί η μεταφύτευση και η αρχική εγκατάσταση των φυτών σε αυτό.



1.4.8. Βασική λίπανση

Οι ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που απορροφά μία καλλιέργεια κολοκυθιάς έκτασης 1 στρέμματος για την παραγωγή 4 τόνων καρπών ανέρχονται σε 16,5 kg N, 5 kg P₂O₅, 22 kg K₂O, 12 kg CaO και 3,5 kg MgO. Τα δεδομένα αυτά, αν συνδυαστούν και με αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης μπορούν να αποτελέσουν μια καλή βάση για τον υπολογισμό των ποσοτήτων λιπασμάτων που απαιτείται να χορηγηθούν συνολικά σε μία δεδομένη καλλιέργεια κολοκυθιάς. Αν από τις συνολικές ποσότητες που εκτιμήθηκε ότι απαιτείται να χορηγηθούν στην καλλιέργεια αφαιρεθούν οι ποσότητες που προγραμματίζεται να παρασχεθούν μετά την μεταφύτευση μέσω υδρολίπανσης, μπορούν να υπολογισθούν οι ποσότητες που είναι αναγκαίο να ενσωματωθούν στο έδαφος κατά την βασική λίπανση. Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι οι ποσότητες λιπασμάτων που χορηγούνται στην κολοκυθιά κατά την βασική λίπανση ποικίλλουν, ανάλογα με τα εκάστοτε δεδομένα της εδαφολογικής ανάλυσης και το εκτιμώμενο ύψος της παραγωγής ανά στρέμμα (ποικιλία-διάρκεια συγκομιδής). Γι' αυτό το λόγο δεν είναι δυνατόν να προταθεί η χορήγηση συγκεκριμένων ποσοτήτων λιπασμάτων με γενική ισχύ σε όλες τις περιπτώσεις. Για την διευκόλυνση της λήψης απόφασης σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση όμως, παρατίθεται στη συνέχεια ένα ενδεικτικό σχήμα βασικής λίπανσης.

Αζώτο. Συνιστάται η χορήγηση 10-12 kg αζώτου ανά στρέμμα. Αυτό μπορεί να γίνει π.χ. με προσθήκη ασβεστούχου νιτρικής αμμωνίας σε ποσότητα 40-45 kg/στρέμμα. Σε περίπτωση βέβαια που στο έδαφος έχει προστεθεί κοπριά και αμέσως ή λίγο μετά την μεταφύτευση πρόκειται να αρχίσει υδρολίπανση, η προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων αζώτου είναι καλύτερα να αποφεύγεται.

Φώσφορος. Είναι καλύτερα όλη η ποσότητα φωσφόρου που προγραμματίζεται να παρασχεθεί στην καλλιέργεια να χορηγείται κατά την βασική λίπανση και όχι μέσω υδρολίπανσης μετά την εγκατάσταση των φυτών στο έδαφος. Μία ποσότητα 20-30 kg P₂O₅/στρέμμα (περίπου 40-60 kg τριπλό υπερφωσφορικό ανά στρέμμα) είναι αρκετή για μία καλλιέργεια κολοκυθιάς. Όταν σε προηγούμενες καλλιέργειες το έδαφος έχει λιπανθεί πλούσια με φώσφορο ή τα αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης φανέρωσαν την ύπαρξη αποθεμάτων φωσφόρου, τότε η προαναφερθείσα ποσότητα P θα πρέπει να μειώνεται ανάλογα.

Κάλιο. Κάλιο θα πρέπει να χορηγείται σχεδόν πάντοτε κατά την βασική λίπανση



της κολοκυθιάς. Η χορήγηση 30-50 kg K₂O όταν δεν πρόκειται να εφαρμοστεί υδρολίπανση και 10-15 kg στην αντίθετη περίπτωση μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της κολοκυθιάς σε κάλιο. Για την χορήγηση αυτών των ποσοτήτων K₂O απαιτείται η προσθήκη 60-100 kg ή 20-30 kg κοκκώδους θειικού καλίου (0-0-48) αντίστοιχα.

Μαγνήσιο. Κατά κανόνα το μαγνήσιο δεν συμπεριλαμβάνεται στα θρεπτικά στοιχεία που ενσωματώνονται στο έδαφος κατά την βασική λίπανση της κολοκυθιάς. Εφόσον όμως θεωρηθεί σκόπιμη η χορήγηση Mg σε μία καλλιέργεια κολοκυθιάς κατά την βασική λίπανση, συνιστάται η προσθήκη 8-10 kg/στρέμμα MgO το οποίο αντιστοιχεί σε 20-30 kg κιζερίτη (μονοϋδρικό θειικό μαγνήσιο) ανά στρέμμα.

1.4.9. Αποστάσεις φύτευσης

Η πυκνότητα φύτευσης της κολοκυθιάς στο θερμοκήπιο ανέρχεται γύρω στα 800-1.250 φυτά/στρέμμα. Ο τρόπος και η πυκνότητα φύτευσης που εφαρμόζεται κάθε φορά εξαρτάται κυρίως από την καλλιεργούμενη ποικιλία (ορθοτενής ποικιλία ή αναρριχώμενη, μέσο μήκος μεσογονατίων, ζωηρότητα βλάστησης). Η διάταξη των φυτών στο θερμοκήπιο συνήθως γίνεται σε απλές γραμμές που απέχουν μεταξύ τους 1-1,3 m ενώ οι αποστάσεις μεταξύ των φυτών πάνω στις γραμμές φύτευσης κυμαίνονται μεταξύ 0,8-1,0 m.

1.4.10. Συνθήκες στο θερμοκήπιο - Περιποιήσεις

Η κολοκυθιά ανήκει στα θερμοαπαιτητικά λαχανικά. Είναι όμως λιγότερο απαιτητική σε υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα άλλα τρία καλλιεργούμενα στο θερμοκήπιο κηπευτικά φυτά της οικογένειας των κολοκυνθοειδών (αγγούρι, πεπόνι, καρπούζι). Στις μειωμένες απαιτήσεις της κολοκυθιάς σε υψηλές θερμοκρασίες για να ευδοκιμήσει στο θερμοκήπιο συμβάλλει και το γεγονός ότι η γύρη του *C. pepo* βλαστάνει ακόμη και σε θερμοκρασία 8-10° C (Liebig, 1986), με συνέπεια πρακτικά να μην υπάρχει πρόβλημα καρπόδεσης αν οι θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο είναι σχετικά χαμηλή. Εντούτοις χαμηλά επίπεδα θερμοκρασιών μέσα στο θερμοκήπιο και συγκεκριμένα τιμές κάτω από 14° C την

νόχτα και 17° C την ημέρα θα πρέπει να αποφεύγονται, γιατί διαφορετικά τόσο η ταχύτητα ανάπτυξης των φυτών όσο και η ευρωστία τους και επομένως και η παραγωγή καρπών μειώνονται σημαντικά.

Οι συνθήκες που συνιστώνται, εντός του θερμοκηπίου, όσον αφορά τη θερμοκρασία είναι:

Ημέρα:	άριστη 25 – 27 °C	Νύχτα:	άριστη 15 – 17 °C
	μέγιστη 30 – 32 °C		ελάχιστη βιολογική 10 °C
	ελάχιστη 8 – 10 °C		ελάχιστη θανατηφόρα 0–2 °C

Θερμοκρασία εδάφους: 15 – 17 °C

Ατμοσφαιρική υγρασία: 60 - 80% Σ.Υ.

Πότισμα

Η κολοκυθιά είναι φυτό πολύ απαιτητικό σε νερό, χωρίς να σημαίνει ότι το έδαφος θα πρέπει να είναι κορεσμένο σε υγρασία. Οι ανάγκες σε νερό ενός στρέμματος κολοκυθιάς σε θερμοκήπιο κυμαίνονται μεταξύ 350-500 m³.

Η συχνότητα άρδευσης ανέρχεται σε μία φορά ανά ημέρα όταν βρισκόμαστε σε εποχές με έντονη ηλιοφάνεια και μία φορά ανά 2 ή 3 ημέρες κατά την διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους. Η αρδευτική δόση ανέρχεται σε 2-3 m³ ανά ημέρα, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και την εποχή του έτους. Η παροχή νερού στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες κολοκυθιάς, όπως και στα περισσότερα άλλα λαχανοκομικά είδη που καλλιεργούνται στο θερμοκήπιο, γίνεται μέσω συστημάτων τοπικής άρδευσης και κυρίως μέσω εγκαταστάσεων στάγδην άρδευσης.

Επιφανειακή λίπανση

Η επιφανειακή λίπανση κατά κανόνα αφορά την παροχή θρεπτικών στοιχείων στα φυτά μέσω του νερού της άρδευσης (υδρολίπανση). Έτσι επιτυγχάνεται συνεχής εφοδιασμός της καλλιέργειας με θρεπτικά συστατικά και αναπληρώνονται άμεσα οι ποσότητες αυτών που απομακρύνθηκαν από το ριζόστρωμα είτε μέσω απορρόφησης των φυτών είτε μέσω έκπλυσης στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ενδεικτικά τα όρια των τιμών, μέσα στα οποία πρέπει να κυμαίνονται οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο νερό της άρδευσης κατά την εφαρμογή υδρολίπανσης στις καλλιέργειες κολοκυθιάς. Οι



συγκεντρώσεις αυτές αναφέρονται σε καθαρά θρεπτικά στοιχεία και όχι στα οξείδιά τους.

Πίνακας 7. Συνιστάμενες συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα σε τρία διαφορετικά στάδια καλλιέργειας κατά την υδρόλίπανση της κολοκυθιάς στο θερμοκήπιο.

Στάδιο καλλιέργειας	N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)
1ο: Μεταφύτευση - έναρξη καρπόδεσης	120-160	30-40	120-160	30-40
2ο: Έναρξη καρπόδεσης - συγκομιδή πρώτων καρπών	120-160	30-40	160-200	20-30
3ο: Έναρξη συγκομιδής - λήξη καλλιέργειας	100-130	-	150-180	20-30

Οι συγκεντρώσεις αυτές συνιστώνται για εδάφη μέτριας γονιμότητας στα οποία έχει εφαρμοσθεί περιορισμένης έκτασης βασική λίπανση. Είναι προφανές ότι σε κάθε συγκεκριμένη καλλιέργεια οι τιμές αυτές μπορούν να εξειδικεύονται ή ακόμη και να τροποποιούνται, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, δεδομένα εδαφολογικής ανάλυσης εφόσον υπάρχουν, άλλα καλλιεργητικά δεδομένα, κ.λπ.

Όπως φαίνεται στον παρατιθέμενο πίνακα, οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων που συνιστώνται για την κολοκυθιά διαφοροποιούνται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Η διαφοροποίηση αυτή είναι απαραίτητη κάθε φορά, δεδομένου ότι ο ρυθμός απορρόφησής των από τα φυτά μεταβάλλεται στα διάφορα στάδια που περιλαμβάνει ο βιολογικός κύκλος των φυτών.

Κλάδεμα

Στα φυτά της κολοκυθιάς δεν εφαρμόζεται κανένα ιδιαίτερο κλάδεμα. Θα πρέπει όμως να αφαιρούνται οι διπλές κορυφές όταν αυτές δημιουργούνται και να γίνεται αποφύλλωση των παλαιών γερασμένων φύλλων όταν αυτά χάσουν το πράσινο χρώμα τους. Η αφαίρεση των παλιών φύλλων γίνεται για να διευκολυνθεί ο αερισμός του θερμοκηπίου και να ελέγχεται η θερμοκρασία και η υγρασία, καθώς επίσης και να διευκολύνονται οι εργασίες περιποίησης των φυτών και της συγκομιδής του καρπού.

Υποστύλωση

Συνήθως δεν χρειάζεται, γιατί τα φυτά είναι θαμνώδη και ορθοτενή. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις (όπως στα συγκεκριμένα πειράματα) όπου τα φυτά δένονται στη βάση με σπάγκο ο οποίος περιελίσσεται κατά μήκος του κεντρικού στελέχους και αναρτώνται από το οριζόντιο σύρμα που βρίσκεται πάνω από τη γραμμή φύτευσης. Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται σήμερα στις καλλιέργειες που γίνονται σε ψηλά θερμοκήπια.

Άλλες περιποιήσεις

Τέλος, άλλες περιποιήσεις που πρέπει να γίνουν είναι η πρόληψη και η καταπολέμηση των εχθρών και ασθενειών των φυτών και ασφαλώς η διατήρηση του επιθυμητού κλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (θέρμανση, εξαερισμός, σκίαση κ.λ.π.).

1.4.11. Συγκομιδή

Η συγκομιδή γίνεται όταν οι καρποί αποκτήσουν εμπορεύσιμο μέγεθος, πάντοτε όμως όταν είναι φυσιολογικά άγουροι. Το συνηθισμένο μέγεθος κατά τη συγκομιδή είναι από 8 – 15 εκ., μερικές φορές μεγαλύτερο ή μικρότερο (baby papows), ανάλογα με τις προτιμήσεις του καταναλωτή. Το μέγεθος αυτό το κολοκυθάκι το αποκτά 10 μέρες μετά την εμφάνιση και 3-5 ημέρες μετά την γονιμοποίηση του θηλυκού άνθους από το οποίο προέρχεται. Το κολοκυθάκι δεν θα πρέπει να αφήνεται να αποκτήσει μήκος μεγαλύτερο από 25 cm πάνω στο μητρικό φυτό, γιατί από αυτό το στάδιο ανάπτυξης και μετά ο καρπός επιβαρύνει σημαντικά το φυτό με συνέπεια να επιβραδύνεται ο ρυθμός αύξησης του και να μειώνεται ο αριθμός των καρπών που δένει. Ένας ακόμη λόγος είναι ότι καρποί μήκους μεγαλύτερου από 30 cm δεν είναι εμπορεύσιμοι.

Η συχνότητα της συγκομιδής εξαρτάται από την εποχή του έτους (δηλαδή από τις συνθήκες περιβάλλοντος). Σε γενικές γραμμές, συγκομιδή γίνεται κάθε 2-4 ημέρες.

Ο καρπός κόβεται με τμήμα του ποδίσκου, γιατί δε χάνει εύκολα υγρασία από τη σκληρή και συμπαγή τομή του μίσχου, κι έτσι διατηρείται νωπός και δροσερός για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μετά τη συγκομιδή. Η κοπή του καρπού γίνεται με κοφτερό μαχαίρι. Κατά τη συγκομιδή καλό είναι να αποφεύγονται οι τραυματισμοί



(ιδιαίτερα όταν ο καρπός προορίζεται για εξαγωγή) και οι εργάτες να φορούν γάντια, γιατί δημιουργείται έκκριση ζελατινώδους υγρού από την πληγή, που στη συνέχεια στερεοποιείται. Από το σημείο τραυματισμού εύκολα και γρήγορα αρχίζει η φθορά του καρπού και η υποβάθμιση της ποιότητάς του.

Η συγκομιδή αρχίζει σε 30 – 60 ημέρες από τη σπορά, ανάλογα με τη ποικιλία και τις θερμοκρασίες που επικρατούν, που είναι συνάρτηση της περιοχής και της εποχής του έτους. Μετά το μάζεμα των πρώτων καρπών, τα 2-3 πρώτα φύλλα είναι σκόπιμο να αφαιρούνται, ιδιαίτερα στις ποικιλίες που αναπτύσσονται κατακόρυφα. Έτσι τα φυτά αερίζονται καλύτερα και η συλλογή των καρπών διευκολύνεται.

Η διάρκεια της συγκομιδής είναι περίπου 2 – 3 μήνες.

Στην Κρήτη, Ρόδο και γενικά στα νησιά της Ν. Ελλάδας είναι προσιτή η καλλιέργεια καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ στη Β. Ελλάδα συνήθως η παραγωγή ξεκινά την άνοιξη και συνεχίζεται το καλοκαίρι.

Υπολογίζεται ότι όταν η περίοδος συγκομιδής διαρκεί 3 μήνες, από κάθε φυτό μπορούν να ληφθούν περίπου 25-30 καρποί μέσου βάρους 100-150 g. Αυτό σημαίνει ότι από μία θερμοκηπιακή καλλιέργεια κολοκυθιού με πυκνότητα φύτευσης 1.000 φυτά/στρέμμα θα πρέπει να αναμένονται αποδόσεις της τάξεως των 3-5 τόνων/στρέμμα.

Μετά τη συγκομιδή οι καρποί μεταφέρονται στα συσκευαστήρια για διαλογή και συσκευασία και στη συνέχεια προωθούνται στην αγορά.

1.4.12. Μετασυλλεκτικοί χειρισμοί

Τα κολοκυθάκια αμέσως μετά την συγκομιδή τους είτε διοχετεύονται άμεσα στην τοπική αγορά (πρέπει να φτάσουν στον καταναλωτή μέσα σε 1 – 2 ημέρες γιατί δε διατηρούνται σε καλή κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα) είτε συσκευάζονται σε πλαστικά ή χάρτινα τελάρα για να μεταφερθούν στην αγορά για την οποία προορίζονται. Τα χάρτινα τελάρα θα πρέπει να προτιμώνται, ιδιαίτερα στην περίπτωση που τα κολοκυθάκια προορίζονται για εξαγωγή. Εκτός από την συσκευασία σε τελάρα, συχνές είναι και οι μικροσυσκευασίες των 0,5-2,0 κιλών σε μικρές χαρτονένιες ή πλαστικές θήκες περιτυλιγμένες με πλαστικό φιλμ (σελοφάν).

Καταρχήν οι καρποί, καθαρίζονται, διαλέγονται και συσκευάζονται κατάλληλα, ανάλογα με τον προορισμό τους. Η διαλογή γίνεται με ταξινόμηση σε κατηγορίες, ανάλογα:

- με το μήκος (από 7 έως 30 cm) ή
- το βάρος τους (από 50 έως 450 g).

Αν υπάρχει ανάγκη διατήρησης (μεταφορά σε μακρινές αποστάσεις, μειωμένη ζήτηση στην αγορά λόγω υπερπροσφοράς) τότε οι πιο κατάλληλες συνθήκες είναι:

Θερμοκρασία 7 – 8 °C

Παράταση της θερμοκρασίας αποθήκευσης για μερικές ημέρες κάτω από 10 °C προκαλεί ζημιές από ψύχος. (Στους -0,5 °C ο καρπός παγώνει).

Υγρασία: 90 - 95% Σ.Υ.

Χρόνος διατήρησης: 2 – 3 εβδομάδες

Ο καρπός είναι καλή πηγή βιταμίνης C και επίσης πλούσιος σε προβιταμίνη

A.

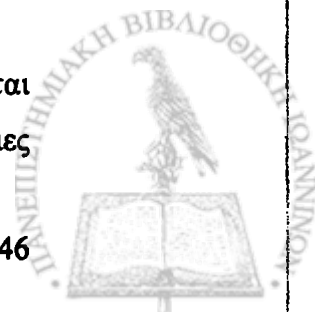
1.4.13. Ποικιλίες

Οι ποικιλίες κολοκυθιού είναι δυνατόν να διαφέρουν μεταξύ τους, στην ανάπτυξη, την παραγωγή, την πρωιμότητα, το σχήμα και το χρώμα των καρπών, κ.α.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των ποικιλιών ή των υβριδίων κολοκυθιάς που καλλιεργούνται για εκτός εποχής παραγωγή συνοψίζονται στα παρακάτω:

- 1) Η ποικιλία να είναι πρώιμη (χρόνος από σπορά μέχρι έναρξη συγκομιδής να είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομος.
- 2) Να είναι παραγωγική (δυνατότητα παραγωγής μεγάλου ποσοστού θηλυκών ανθέων).
- 3) Να είναι θαμνώδης και ορθόκλαδη, (δυνατότητα πυκνότερης φύτευσης με αποτέλεσμα τις ψηλότερες αποδόσεις).
- 4) Να έχει καλά χαρακτηριστικά καρπού, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς: χρώμα, σχήμα, γεύση, άρωμα.
- 5) Να υπάρχει ομοιογένεια στην ποικιλία (καθαρή).
- 6) Να είναι ανθεκτική στις ασθένειες.
- 7) Να είναι ανθεκτική στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Υπάρχουν μερικές «ντόπιες» ποικιλίες (πληθυσμοί) οι οποίες προτιμώνται στην αγορά και καλλιεργούνται για «εκτός εποχής» παραγωγή. Από τις ντόπιες



ποικιλίες οι πιο γνωστές είναι τα ντόπια λευκά, τα λευκά ιταλικά και τα ντόπια πράσινα.

Εκτός από τις ντόπιες ποικιλίες, υπάρχουν και πολλές εισαγόμενες οι περισσότερες από τις οποίες δίνουν υψηλές αποδόσεις. Μερικές από αυτές είναι :

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| α) "Black beauty" | στ) "Senator" |
| β) "Elysee F ₁ " | ζ) "President" |
| γ) "Black Jack" | η) "Green beauty" |
| δ) "Abondanja" | θ) "Prokor" |
| ε) "Seneca" | ι) "Ambassador". |

1.4.14. Εχθροί και ασθένειες

Οι σημαντικότεροι εχθροί και ασθένειες που μπορούν να προκαλέσουν ζημιές σε μια καλλιέργεια καλοκαιρινού κολοκυθιού είναι:

Έντομα

Η κόκκινη αράχνη	<i>Tetranychus urticae</i>
Ο αλευρώδης	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>
Οι αφίδες	<i>Aphis gossypii</i>
Φυλλορρόκτες	<i>Liriomyza</i> spp.

Μύκητες

Τήξεις των σπορίων	<i>Pythium</i> spp.
Σηψιριζιές	<i>Rhizoctonia solani</i>
Σήψεις του λαιμού	<i>Phytophthora</i> spp., <i>Fusarium</i> spp.
Βοτρυτής	<i>Botrytis cinerea</i>
Σκληρωτινίαση	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Ωίδιο	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>
Περνόςπορος	<i>Pseudoperonospora cubensis</i>

Ιώσεις

Μωσαϊκό της αγγουριάς, CMV (Cucumber Mosaic Virus).

Μωσαϊκό της καρπουζιάς, WMV, (Watermelon Mosaic Virus).

Κίτρινο μωσαϊκό της κολοκυθιάς, ZYMV, (Zucchini Yellow Mosaic Virus).



Για την αποφυγή ή τον περιορισμό των προσβολών από τις ιώσεις θα πρέπει οι σπόροι που χρησιμοποιούνται να είναι απαλλαγμένοι ιώσεων, να καταστρέφονται επιμελώς τα φυτά ξενιστές και να καταπολεμούνται οι αφίδες, οι αλευρώδεις και τα άλλα έντομα που μπορούν να μεταδώσουν τις ιώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη σημερινή κατάσταση που βρίσκεται ο πλανήτης, το διαθέσιμο νερό για άρδευση κατά πρώτον ολοένα και μειώνεται και κατά δεύτερο παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενη συγκέντρωση σε άλατα. Το πρόβλημα είναι συνηθέστερο στις περιοχές με ξηρό και θερμό κλίμα, λόγω χαμηλών βροχοπτώσεων, αλλά παρουσιάζεται εντονότερο στις πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές, δεδομένου ότι η πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα ευνοεί η μετακίνηση προς αυτόν του θαλάσσιου ύδατος. Αποτέλεσμα είναι η καταπόνηση των καλλιεργειών τόσο σε υπαίθριες όσο και σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες, γεγονός που έχει αρχίσει να παρατηρείται σε αρκετές περιοχές κυρίως της νησιωτικής αλλά και της ηπειρωτικής Ελλάδας.

Αρκετές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς σε καλλιεργούμενα φυτά έδειξαν ότι, το πυρίτιο, το δεύτερο σε περιεκτικότητα στοιχείο του στερεού φλοιού της γης μετά το αργίλιο, ασκεί επωφελή δράση στην ανάπτυξη εύρωστων φυτών, ιδιαίτερα όταν χορηγείται ως λιπαντικό στοιχείο μέσω του ριζικού συστήματος (Erstain, 1999). Επίσης πρόσφατες εργασίες έχουν δείξει ότι το πυρίτιο δρα θετικά στα φυτά που καταπονούνται είτε από βιοτικούς παράγοντες, όπως ασθένειες, είτε από αβιοτικούς (Ma, 2004). Η αλατότητα παρουσιάζεται σαν ένας από τους πιο βασικούς αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης των καλλιεργούμενων φυτών όπως προαναφέρθηκε. Το πυρίτιο βρίσκεται στα περισσότερα εδάφη σε περίσσια και επομένως η προσθήκη του στις καλλιέργειες συνήθως δεν οδηγεί σε ορατή αύξηση παραγωγής. Στις καλλιέργειες όμως εκτός εδάφους η επιπλέον χορήγηση πυριτίου στο περιβάλλον των ριζών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά αποτελέσματα, τόσο στη βλαστική ανάπτυξη και παραγωγή, όσο και στην ποιότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων. Ήδη το πυρίτιο συμπεριλαμβάνεται στα σχήματα θρέψης που συνιστώνται για υδροπονικές καλλιέργειες τριανταφυλλιάς και αγγουριού (Sonneveld, 2002).

Σε πολλά μέρη της γης, τα νερά που υπάρχουν διαθέσιμα για άρδευση, παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Το πρόβλημα είναι συνηθέστερο στις περιοχές με ξηρό και θερμό κλίμα, λόγω χαμηλών βροχοπτώσεων, αλλά καθίσταται ακόμα πιο έντονο στις πεδινές και παράκτιες περιοχές, δεδομένου ότι η πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού ανοίγει το δρόμο στην μετακίνηση θαλασσινού νερού



προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Έτσι, τα νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα έχουν δυσμενείς συνέπειες για τις καλλιέργειες, είτε είναι υπαίθριες είτε θερμοκηπιακές, πράγμα που γίνεται συχνά αντιληπτό σε πολλές περιοχές στον Ελλαδικό χώρο.

Σκοπός αυτής της ερευνητικής εργασίας, η οποία βασίστηκε σε δυο πειράματα, είναι η μελέτη της επίδρασης που ασκεί το πυρίτιο στο κολοκύθι θερμοκηπίου όταν το φυτό καλλιεργείται εκτός εδάφους, τόσο κάτω από κανονικές συνθήκες όσο και κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

3.1.1. Το Θερμοκήπιο

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε υαλόφρακτο, αυτοματοποιημένο θερμοκήπιο, που βρίσκεται εγκατεστημένο στο Αγρόκτημα της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου στην ευρύτερη κτηματική περιφέρεια του Δ.Δ. Κωστακίων Άρτας.

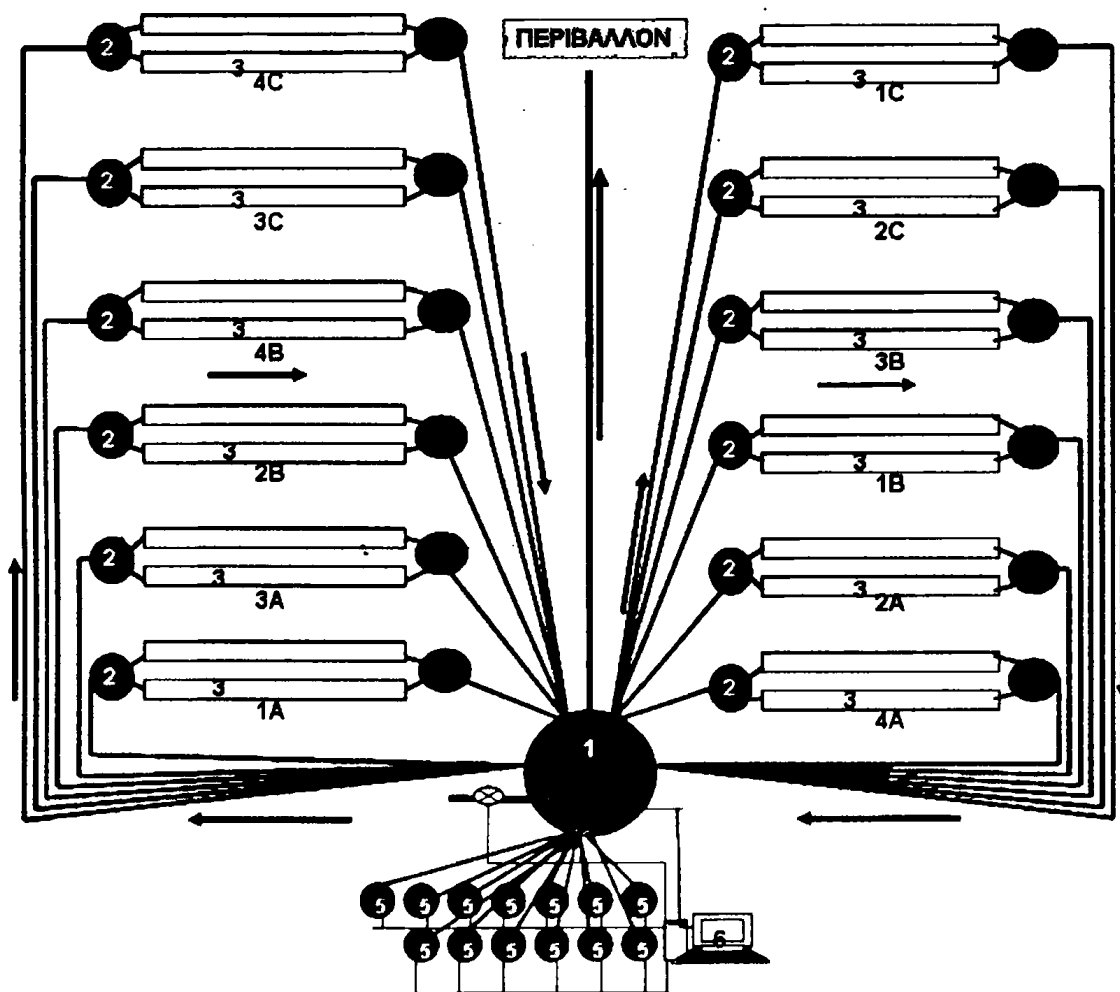
Το θερμοκήπιο είναι συνολικής έκτασης 700 m² (600 m² χώρος καλλιέργειας και 100 m² βοηθητικός χώρος) αμφίρρικτο πολλαπλό, καλυμμένο με υαλοπίνακες. Είναι θερμαινόμενο με κεντρικό σύστημα θέρμανσης και εξοπλισμένο με σύστημα αυτόματης διαχείρισης του κλίματος, της υδρολίπανσης και της ανακύκλωσης των απορροών. Ο χώρος καλλιέργειας χωρίζεται σε τρεις, ανεξάρτητους, μεταξύ τους τομείς, επιφάνειας 200 m² ο καθένας. Στο βοηθητικό χώρο είναι εγκατεστημένα τα συστήματα αυτόματης διαχείρισης του εσωτερικού κλίματος του θερμοκηπίου και της υδρολίπανσης.

Ο έλεγχος των αυτοματισμών και της παρασκευής των θρεπτικών διαλυμάτων πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος βρίσκεται στο βοηθητικό χώρο, και φέρει εγκατεστημένο λογισμικό της εταιρείας AUTONET, που έχει δημιουργηθεί ειδικά για τις ανάγκες αυτής της πειραματικής μονάδας με βάση πειραματικά δεδομένα και μοντέλα θρέψης που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων του τμήματος Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου (Savvas and Manos, 1999; Savvas and Adamidis, 1999; Savvas, 2002; Savvas et al., 2005b).



3.1.2. Το υδροπονικό σύστημα

Τα πειράματα έλαβαν χώρα στο μεσαίο τομέα του χώρου καλλιέργειας, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με 12 κλειστά, ανεξάρτητα μεταξύ τους υδροπονικά συστήματα (πειραματικές μονάδες) (Σχήμα 2, όπου διακρίνονται τα μέρη: 1. Δοχείο παρασκευής θρεπτικού διαλύματος. 2. Βαρέλια διαλύματος τροφοδοσίας. 3. Κανάλια καλλιέργειας. 4. Βαρέλια διαλύματος απορροής. 5. Δοχεία πυκνών διαλυμάτων λιπασμάτων. 6. Η/Υ ελέγχου του συστήματος). Κάθε τέτοιο υδροπονικό σύστημα αποτελείται από έναν πάγκο ύψους 1,2 m, ο οποίος φέρει δύο κανάλια καλλιέργειας μήκους 5 m και πλάτους 0,25 m. Η απόσταση μεταξύ των καναλιών είναι 0,4 m. Κάθε πάγκος είναι εφοδιασμένος με ένα ξεχωριστό βαρέλι τροφοδοσίας, ένα βαρέλι απορροής, μία αντλία και ένα σύστημα άρδευσης με σταλάκτες.



Σχήμα 2. Κάτοψη της εγκατάστασης του υδροπονικού συστήματος με τις 12 πειραματικές μονάδες και τον τρόπο τυχαιοποίησής τους (Μάντζος, 2006)

Κάθε φορά που στην κεντρική μονάδα αυτόματης διαχείρισης της υδρολίπανσης παρασκευαζόταν θρεπτικό διάλυμα για μία από τις 12 αυτόνομες πειραματικές μονάδες, αυτό στελνόταν και αποθηκευόταν στο βαρέλι τροφοδοσίας που εδράζεται κάτω από τον πάγκο (μαύρο βαρέλι στην Εικόνα 1). Από εκεί, κάθε φορά που το αυτόματο σύστημα έδινε εντολή για πότισμα των φυτών, το θρεπτικό διάλυμα μεταφερόταν με την βοήθεια της αντλίας στα κανάλια καλλιέργειας μέσω των σωλήνων άρδευσης και διανεμόταν στα φυτά μέσω σταλακτών παροχής 2,5 λίτρων ανά ώρα ($L h^{-1}$). Η παρασκευή θρεπτικού διαλύματος και η μεταφορά του στην εκάστοτε πειραματική μονάδα ενεργοποιείτο χειρωνακτικά κατόπιν μέτρησης της στάθμης του στο βαρέλι τροφοδοσίας και επομένως ήταν απολύτως ανεξάρτητη από την ενεργοποίηση της παροχής του στα φυτά (κύκλος άρδευσης) η οποία γινόταν αυτόματα με βάση την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια. Η περίσσεια θρεπτικού διαλύματος που δεν μπορούσε να συγκρατηθεί από το υπόστρωμα μετά από κάθε άρδευση (απορροή) στράγγιζε στον πυθμένα των καναλιών και μέσω της βαρύτητας κατέληγε στο βαρέλι συλλογής των απορροών (κόκκινο βαρέλι στην Εικόνα 1). Από εκεί επέστρεφε στην κεντρική δεξαμενή κατασκευής των θρεπτικών διαλυμάτων για να γίνει η μέτρηση του όγκου, του pH και της αγωγιμότητας της απορροής και τέλος απορριπτόταν (ανοιχτό υδροπονικό σύστημα). Η δοσολογία προσθήκης λιπασμάτων υπολογιζόταν μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο βασιζόταν στον καθορισμό συγκεκριμένων επιθυμητών τιμών για την EC, το pH, τις αναλογίες κύριων θρεπτικών στοιχείων και τις συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (Savvas and Adamidis, 1999).



Εικόνα 1. Η εγκατάσταση των πειραματικών μονάδων του υδροπονικού συστήματος. Διακρίνονται τα μαύρα βαρέλια των διαλυμάτων τροφοδοσίας και τα κόκκινα βαρέλια συλλογής των διαλυμάτων απορροής.

Η άρδευση γινόταν αυτόματα με τη συχνότητά της να εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία ανιχνευόταν από ένα πυρανόμετρο (Volmatic, SC 21B) και καταγραφόταν αθροιστικά μέσω του λογισμικού λειτουργίας της εγκατάστασης. Η διάρκεια της κάθε άρδευσης ρυθμιζόταν επίσης μέσω του Η/Υ.

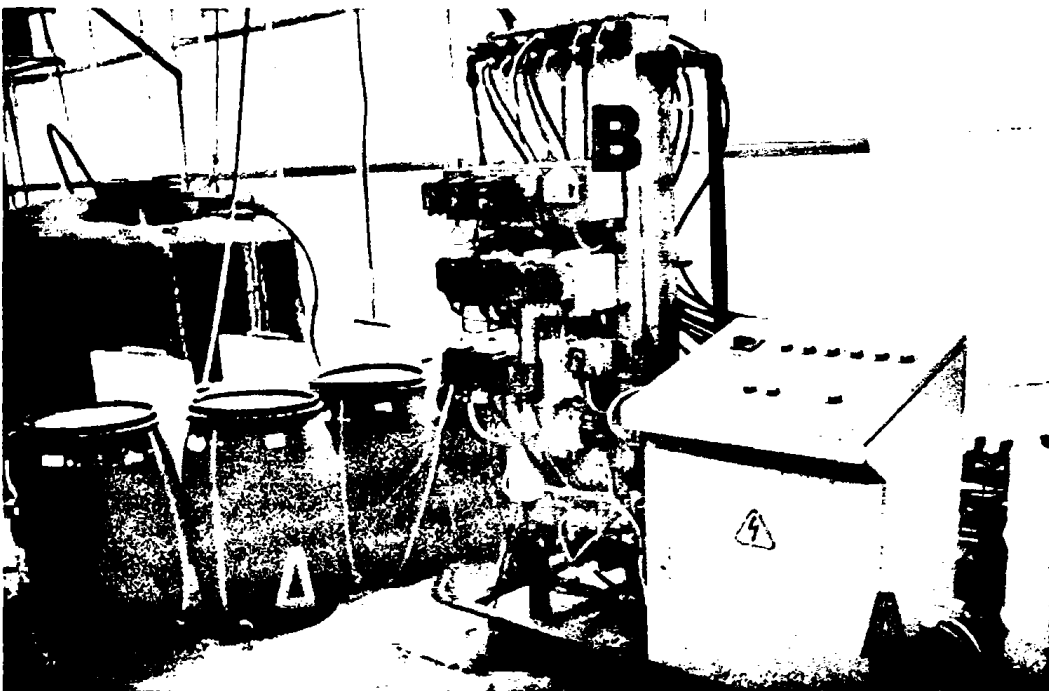
3.1.3. Το διάλυμα τροφοδοσίας

Το διάλυμα τροφοδοσίας παρασκευαζόταν αυτόματα μέσω του Η/Υ σε δεξαμενή χωρητικότητας 80 lt. Το διάλυμα απορροής από κάθε πειραματική μονάδα επέστρεφε μέσω μιας αντλίας στην κεντρική μονάδα όταν ο χρήστης έδινε εντολή παρασκευής νέου θρεπτικού διαλύματος. Στο παρόν πείραμα το διάλυμα απορροής μεταφερόταν εκτός θερμοκηπίου, ενώ το νέο θρεπτικό διάλυμα παρασκευαζόταν κάθε 2-3 ημέρες για τα φυτά χωρίς αλατότητα και κάθε 6-8 για αυτά με αλατότητα, ανάλογα με το μέγεθος των φυτών και τις καιρικές συνθήκες. Η διαδικασία παρασκευής νέων θρεπτικών διαλυμάτων ξεκινούσε από την αρχή κάθε φορά που

δινόταν εντολή για διάλυμα, με ανάμειξη νερού και λιπασμάτων και στη συνέχεια με αυτόματη αποστολή τους στο βαρέλι τροφοδοσίας. Τα λιπάσματα (Πίνακας 8) βρισκόταν σε βαρέλια με τη μορφή πυκνών διαλυμάτων (ξεχωριστό δοχείο για το κάθε λίπασμα) και από εκεί εγχέονται στο δοχείο παρασκευής μέσω περισταλτικών αντλιών με σταθερό ρυθμό έγχυσης (Εικ. 2).

Ο χρόνος λειτουργίας των αντλιών κάθε φορά που παρασκευαζόταν νέο διάλυμα τροφοδοσίας, και συνεπώς η αναπλήρωση των θρεπτικών στοιχείων, γινόταν μέσω ενός μοντέλου που αναπτύχθηκε για ανοικτά υδροπονικά συστήματα (Savvas and Adamidis, 1999, Sonneveld et al., 1999b) και επεκτάθηκε στη συνέχεια και στα κλειστά (Savvas, 2002b). Μέσω του μοντέλου αυτού είναι δυνατή η αυτόματη παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων οποιασδήποτε σύνθεσης, με την εισαγωγή σ' ένα κατάλληλο πρόγραμμα Η/Υ των απαιτούμενων χαρακτηριστικών του διαλύματος (EC, pH, αναλογίες θρεπτικών στοιχείων ή επιθυμητές συγκεντρώσεις), όταν είναι γνωστή η περιεκτικότητα του νερού σε θρεπτικά στοιχεία (Savvas, 2002b).

Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιήθηκε βρόχινο νερό με χαμηλή αγωγιμότητα το οποίο συλλέχθηκε σε δεξαμενή κατάλληλα διαμορφωμένη ώστε να δέχεται τα νερά της οροφής του θερμοκηπίου μέσω των υδρορροών, ενώ στο δεύτερο πείραμα χρησιμοποιήθηκε νερό άρδευσης.



Εικόνα 2. Η εγκατάσταση αυτόματης παρασκευής θρεπτικών διαλυμάτων, όπου διακρίνονται: η μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου (Α), το δοχείο παρασκευής των θρεπτικών διαλυμάτων (Β), οι περισταλτικές αντλίες έγχυσης των λιπασμάτων (Γ) και τα βαρέλια με τα πυκνά διαλύματα των λιπασμάτων (Δ).

Πίνακας 8. Τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

ΛΙΠΑΣΜΑ	ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΑΓΓΛΙΚΗ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
Νιτρικό αμμώνιο	Ammonium nitrate	NH_4NO_3
Νιτρικό ασβέστιο	Calcium nitrate	$5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]\text{NH}_4\text{NO}_3$
Νιτρικό κάλιο	Potassium nitrate	KNO_3
Νιτρικό μαγνήσιο	Magnesium nitrate	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Νιτρικό οξύ	Nitric acid	HNO_3
Φωσφορικό μονοκάλιο	Monopotassium phosphate	KH_2PO_4
Θεικό μαγγάνιο	Manganese sulphate	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Θεικό κάλιο	Potassium sulphate	K_2SO_4
Θεικό μαγνήσιο	Magnesium sulphate	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Θεικός χαλκός	Copper sulphate	CuSO_4
Θεικός ψευδάργυρος	Zinic sulphate	ZnSO_4
Μολυβδαινικό αμμώνιο	Ammonium heptamolybdate	$(\text{NH}_4)_8\text{Mo}_7\text{O}_{24}$
Οκταβορικό νάτριο	Sodium octaborate	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Χηλικός σίδηρος	Iron chelate	-
Πυριτικό κάλιο	Potassium silicate	K_3SiO_3
Χλωριούχο νάτριο	Sodium chloride	NaCl

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

3.2.1. Η καλλιέργεια

Πρώτο πείραμα

Σπόροι κολοκυθιού, ποικιλίας “Rival F1” του Ολλανδικού σπορο- παραγωγικού οίκου “Nickerson – Zwaan” αναπτύχθηκαν μέχρι το στάδιο του δεύτερου πραγματικού φύλλου, σε δίσκους σποράς 73 θέσεων και σε υπόστρωμα τύρφης – περλίτη σε αναλογία 1:1. Σε όλη τη διάρκεια της περιόδου αυτής τα φυτά δεχόταν τακτικά ποτίσματα μόνο με νερό άρδευσης. Στη συνέχεια τα νεαρά φυτάρια μεταφυτεύθηκαν στις οριστικές θέσεις φύτευσής τους σε γλάστρες χωρητικότητας 4 λίτρων, πάνω σε κανάλια καλλιέργειας μήκους 5 m, τα οποία είχαν προετοιμαστεί κατάλληλα. Σε κάθε κανάλι τοποθετήθηκαν γλάστρες οι οποίες περιείχαν υδροπονικό περλίτη. Οι γλάστρες καλύφθηκαν με αδιαφανές πλαστικό, για να αποφευχθούν τυχόν απώλειες νερού μέσω της εξάτμισης. Στο πλαστικό κάλυμμα ανοίχτηκαν τρύπες για τη δημιουργία των θέσεων φύτευσης. Τέλος, δύο ημέρες πριν τη μεταφύτευση ο περλίτης διαβρέχτηκε με κατάλληλο θρεπτικό διάλυμα. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 7 Δεκεμβρίου 2005 και η μεταφύτευση στις 28 Δεκεμβρίου του ίδιου έτους (Εικ. 3).



Εικόνα 3. Μεταφύτευση των νεαρών φυταρίων στο χώρο του θερμοκηπίου.

Σε κάθε πειραματική μονάδα μεταφυτεύθηκαν 16 νεαρά σπορόφυτα, 8 σε κάθε κανάλι καλλιέργειας και σε αποστάσεις 60 εκατοστών μεταξύ τους. Τέλος τα φυτά υποστρώθηκαν με πλαστικό σχοινί, το οποίο αναρτήθηκε σε σύρματα ύψους 2,2 m πάνω από τα κανάλια καλλιέργειας.

Δεύτερο πείραμα

Κατά τη διάρκεια του δεύτερου πειράματος επαναλάβουμε τις ίδιες εργασίες όπως και στο πρώτο. Σπόροι της ίδιας ποικιλίας κολοκυθίου του ίδιου σποροπαραγωγικού οίκου, αναπύχθηκαν μέχρι το στάδιο του δεύτερου πραγματικού φύλλου, σε δίσκους σποράς 73 θέσεων και σε υπόστρωμα τύρφης – περλίτη σε αναλογία 1:1. Κατά τη διάρκεια παραμονής τους στους δίσκους σποράς τα φυτάρια δεχόταν τακτικά ποτίσματα μόνο με νερό άρδευσης. Η μεταφύτευση πραγματοποιήθηκε στην ίδια πειραματική εγκατάσταση και με τις ίδιες πειραματικές επεμβάσεις. Η σπορά έγινε στις 28 Σεπτεμβρίου του 2006 και η μεταφύτευση στις 13 Οκτωβρίου του ίδιου έτους.

3.2.2. Ο σχεδιασμός του πειράματος

Εγκαταστάθηκαν τέσσερις πειραματικές επεμβάσεις (μεταχειρίσεις) οι οποίες ήταν οι ίδιες και στα δύο πειράματα. Κάθε μεταχείριση είχε τρεις επαναλήψεις, τυχαία κατανεμημένες στο χώρο του θερμοκηπίου. Στο πρώτο πείραμα και σε όλες τις μεταχειρίσεις χρησιμοποιήθηκε νερό βρόχινο το οποίο συλλέχθηκε από τις υδρορροές της σκεπής του θερμοκηπίου, ενώ στο δεύτερο, νερό ύδρευσης. Στην πρώτη μεταχείριση, για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου πυρίτιο και είχαμε επίπεδα χαμηλής αλατότητας. Δηλαδή εφαρμόστηκε ένα τυπικό θρεπτικό διάλυμα για κολοκύθι (Πίνακας 9) με ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $2,2 \text{ dS m}^{-1}$. Στη δεύτερη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε πυρίτιο σε συγκέντρωση 1 mM , σε επίπεδα χαμηλής αλατότητας με ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $2,2 \text{ dS m}^{-1}$. Στην τρίτη μεταχείριση δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου πυρίτιο αλλά είχαμε επίπεδα υψηλής αλατότητας τα οποία προέκυψαν ως αποτέλεσμα της προσθήκης 35 mM NaCl στο τυπικό διάλυμα για κολοκύθι (EC = $6,2 \text{ dS m}^{-1}$). Τέλος, στην τέταρτη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε πυρίτιο σε συγκέντρωση 1 mM , σε επίπεδα υψηλής αλατότητας σαν αποτέλεσμα και πάλι της προσθήκης 35 mM NaCl σε τυπικό διάλυμα για κολοκύθι (EC = $6,2 \text{ dS m}^{-1}$). Το pH και στις τέσσερις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 5-5,5 στην τροφοδοσία και 5,5-6,5 στην απορροή.

Η παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων γινόταν με την βοήθεια προγράμματος H/Y, μέσω της εγκατάστασης και της διαδικασίας που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.1.3 Κάθε φορά που παρασκευαζόταν θρεπτικά διαλύματα για μία πειραματική μονάδα, αυτά είχαν όγκο 80 lt . Σε όλες τις μεταχειρίσεις η συχνότητα και η διάρκεια άρδευσης ρυθμιζόταν με τέτοιο τρόπο ώστε, σε όλη την διάρκεια του πειράματος το διάλυμα απορροής που συλλεγόταν μετά το τέλος ενός κύκλου άρδευσης να αντιστοιχεί στο 35 – 45% του διαλύματος τροφοδοσίας ($\alpha = 0,4 \pm 0,05$). Δηλαδή, αμέσως μετά τη μεταφύτευση και για 20 μέρες περίπου τα φυτά ποτιζόταν όταν η συνολική ηλιακή ενέργεια που εισερχόταν στο θερμοκήπιο ανερχόταν σε 300 Wh m^{-1} , ενώ στη συνέχεια και μέχρι το τέλος του πειράματος η αθροιστική ηλιακή ενέργεια που απαιτείτο για να δοθεί το έναυσμα για νέο κύκλο ποτίσματος ορίσθηκε στις 200 Wh m^{-1} . Το πότισμα γινόταν με σύστημα στάγδην άρδευσης το οποίο ήταν εφοδιασμένο με δύο σταλάκτες τύπου μικροσωλήνα (spaghetti tube) ανά γλάστρα (δηλαδή ανά φυτό).

Η συγκομιδή για το πρώτο πείραμα ξεκίνησε την 6^η Φεβρουαρίου του 2006. Κατά τη διάρκεια της συγκομιδής μετρήθηκαν, η φωτοσύνθεση, η διαπνοή και η στοματική αγωγιμότητα σε νεαρά, πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα και συγχρόνως λαμβανόταν δείγματα με σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης Cl, Na, Ca, Mg, και K σε αυτά. Μερικές ημέρες μετά την έναρξη της συγκομιδής ελήφθησαν δείγματα ολόκληρων φυτών τα οποία διαχωρίστηκαν σε ρίζες, στελέχη, παλαιά φύλλα, νέα φύλλα και καρπούς. Στη συνέχεια, αφού ζυγίστηκε το νωπό βάρος των παραπάνω φυτικών τμημάτων, αυτά οδηγήθηκαν προς ξήρανση σε φούρνο ξήρανσης (Memmert, model 500), σε θερμοκρασία 80 °C. Μετά την αποξήρανση, επαναλήφθηκε η ζύγιση του ξηρού πλέον βάρους των συλλεχθέντων φυτικών τμημάτων και ακολούθησε η διαδικασία για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων Cl, Na, Ca, Mg, και K.

Η συγκομιδή συνεχιζόταν κανονικά, όταν, λόγω μιας τεχνικής βλάβης διακόπηκε πρόωρα την 22^η Φεβρουαρίου του 2006, χωρίς να υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την αξιολόγηση της επίδρασης των επεμβάσεων στην παραγωγή των καρπών. Για το λόγο που προαναφέραμε το ίδιο πείραμα επαναλήφθηκε στον ίδιο χώρο, στην ίδια πειραματική εγκατάσταση και με τις ίδιες πειραματικές επεμβάσεις. Συγκεκριμένα, σπορόφυτα κολοκυθίου ποικιλίας “Rival F1” του Ολλανδικού σποροπαραγωγικού οίκου “Nickerson – Zwaan” μεταφυτεύθηκαν κατά το στάδιο του 2^{ου} πραγματικού φύλλου στο θερμοκήπιο στις 13 Οκτωβρίου του 2006. Η συγκομιδή ξεκίνησε την 18^η Νοεμβρίου 2006 και ολοκληρώθηκε στις 9 Φεβρουαρίου του 2007. Καθ’ όλη τη διάρκεια της συγκομιδής γινόταν μετρήσεις φωτοσύνθεσης, διαπνοής και στοματικής αγωγιμότητας, σε νεαρά, πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα, ενώ στις 14 Νοεμβρίου 2006 και στις 13 Δεκεμβρίου 2006, έγινε λήψη δειγμάτων για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης Cl, Na, Ca, Mg, και K σε αυτά. Την 12^η Ιανουαρίου 2007 συγκομίστηκε ένα φυτό από κάθε πειραματική μονάδα και μετρήθηκε το νωπό και το ξηρό βάρος του υπέργειου βλαστού (χωρίς τους καρπούς).

Παράλληλα με τη συγκομιδή, το Δεκέμβριο του 2006, έγιναν αναλύσεις πάνω σε καρπούς από όλες τις μεταχειρίσεις και προσδιορίστηκαν ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, και ειδικότερα η συνεκτικότητα της σάρκας, η οξύτητα του χυμού και η περιεκτικότητά τους σε ολικά διαλυτά στερεά και βιταμίνη C.

Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} πειράματος χρησιμοποιήθηκε νερό ύδρευσης το οποίο περιείχε και μια μικρή ποσότητα πυριτίου η οποία ανερχόταν σε 0,1 mM. Επομένως, στις μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα, η



συγκέντρωση Si σε αυτό ήταν 0,1 mM, ενώ σε αυτές που προστέθηκε πυρίτιο η τελική συγκέντρωση Si ήταν ίση με 1 mM.

Πίνακας 9. Σύσταση τυπικού θρεπτικού διαλύματος για κολοκύθι

Μακροστοιχεία (mM)		Ιχνοστοιχεία (μM)	
Ca	3,5	Fe	15
Mg	1,5	Mn	12
K	7,25	Zn	5
NH ₄	1	Cu	1
SO ₄	2	B	3,5
NO ₃	13	Mo	0,5
H ₂ PO ₄	1,25		

3.2.3. Διαδικασία προσδιορισμού συγκεντρώσεων K, Na, Ca, Mg, και Cl.

Μετά την αποξήρανση των φυτικών δειγμάτων ακολούθησε ο θρυμματισμός και η ομογενοποίησή τους με ένα απλό multimixer και αμέσως μετά οδηγήθηκαν σε έναν ειδικό μύλο άλεσης φυτικών ιστών (Retsch, MM200). Στη συνέχεια, 500 mg της αλεσμένης ξηρής ουσίας από κάθε δείγμα ψήθηκε σε φούρνο υψηλών θερμοκρασιών (Linn High Therm) στους 550° C για 6 ώρες. Η στάχτη που προέκυψε εκχυλίστηκε με 10 ml διαλύματος HCl 1M και το εκχύλισμα διηθήθηκε μέσω φίλτρου Wattman 42. Τέλος, το διάλυμα αραιώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τον όγκο των 50 ml (Campbell and Plank, 1998). Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων Na, Ca, Mg και K τόσο στα φυτικά εκχυλίσματα όσο και στα δείγματα των διαλυμάτων απορροής και τροφοδοσίας έγινε με ένα φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin Elmer, AAnalyst 100.

Για τη μέτρηση του Cl⁻ στα φυτικά δείγματα, 250 mg ξηρής, αλεσμένης ουσίας εκχυλίστηκαν με 25 ml απιονισμένου νερού για μισή ώρα, ενώ ακολούθησε διήθηση σε φίλτρο Wattman 42 (Liu, 1998). Η μέτρηση της συγκέντρωσης του Cl⁻ στα φυτικά δείγματα, αλλά και στα διαλύματα απορροής και τροφοδοσίας, έγινε με ογκομέτρηση με AgNO₃ παρουσία K₂CrO₄ (Eaton et al., 1995).

3.2.4. Μετρήσεις διαλυμάτων τροφοδοσίας και απορροής

Κατά τη διάρκεια του πειράματος γίνονταν καθημερινές μετρήσεις της EC και του pH του διαλύματος απορροής με τη χρήση ενός φορητού αγωγιμόμετρου CyberScan 10 Con και ενός φορητού pH-μετρου CyberScan 10 pH. Ο όγκος, η EC και το pH του διαλύματος απορροής, λίγο πριν την απομάκρυνσή του, καθώς και του παρασκευαζόμενου διαλύματος τροφοδοσίας μετρούνταν on-line και οι μετρήσεις καταγράφονταν σε μια βάση δεδομένων Microsoft Access. Οι μετρήσεις του όγκου γίνονταν μέσω ενός αισθητήρα πίεσης WIKA Tronic line, της EC μέσω ενός αισθητήρα GLMU 020 και του pH μέσω ενός τρίτου αισθητήρα GPHU 014 ATC – EJ της GREISINGER Electronic.

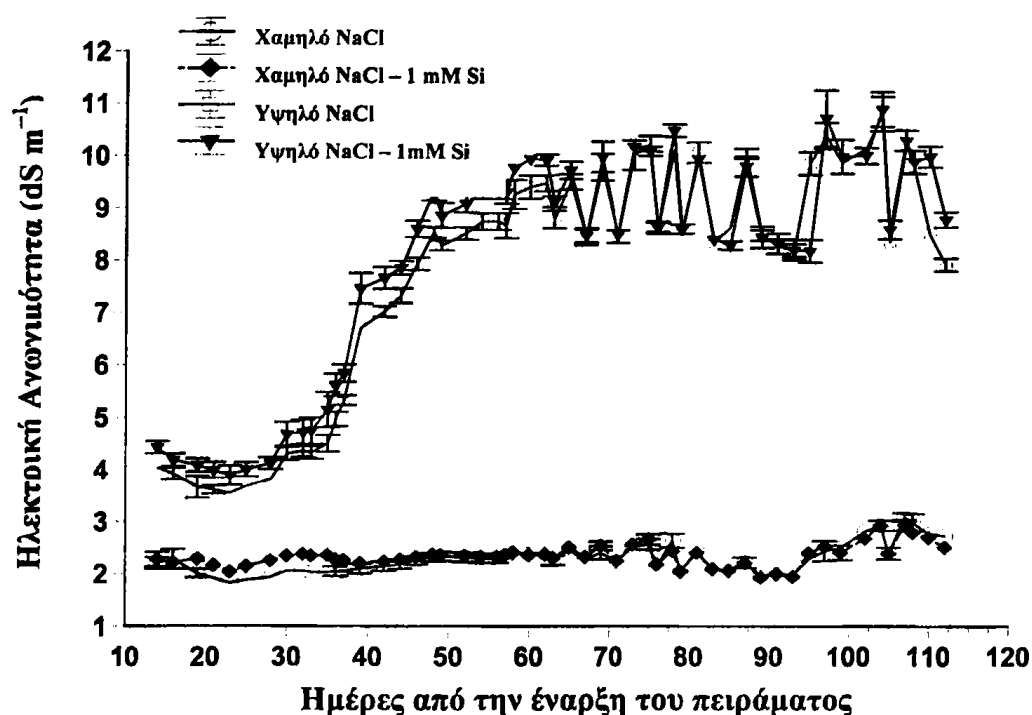
Για τον έλεγχο της σύνθεσης των θρεπτικών διαλυμάτων, πραγματοποιήθηκε στο πρώτο πείραμα μια δειγματοληψία κατά τη μεταφύτευση των φυταρίων στα διαλύματα τροφοδοσίας.

Κατά τη διάρκεια του πρώτου πειράματος, ελήφθησαν 5 δειγματοληψίες στα διαλύματα απορροής για τον έλεγχο της θρεπτικής σύνθεσης και την πορεία συσσώρευσης των ιόντων Na^+ και Cl^- στο διάλυμα απορροής, τις ημέρες 21, 44, 67, 91 και 112 από την μεταφύτευση. Οι δειγματοληψίες γινόταν όταν η στάθμη των θρεπτικών διαλυμάτων τροφοδοσίας, στα μαύρα βαρέλια, είχε σχεδόν εξαντληθεί και επρόκειτο να παρασκευαστούν νέα θρεπτικά διαλύματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, η πορεία της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC) στο διάλυμα απορροής και συνεπώς στο περιβάλλον των ριζών, σε συνάρτηση με τον χρόνο (ημέρες) από την έναρξη του πειράματος, ακολουθεί δυο διαφορετικές καμπύλες που έχουν σχέση με τα επίπεδα αλατότητας.



Σχήμα 3. Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στο διάλυμα απορροής, σε καλλιέργεια κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο διαφορετικά επίπεδα NaCl σε βρόχινο νερό και σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι πυριτίου.

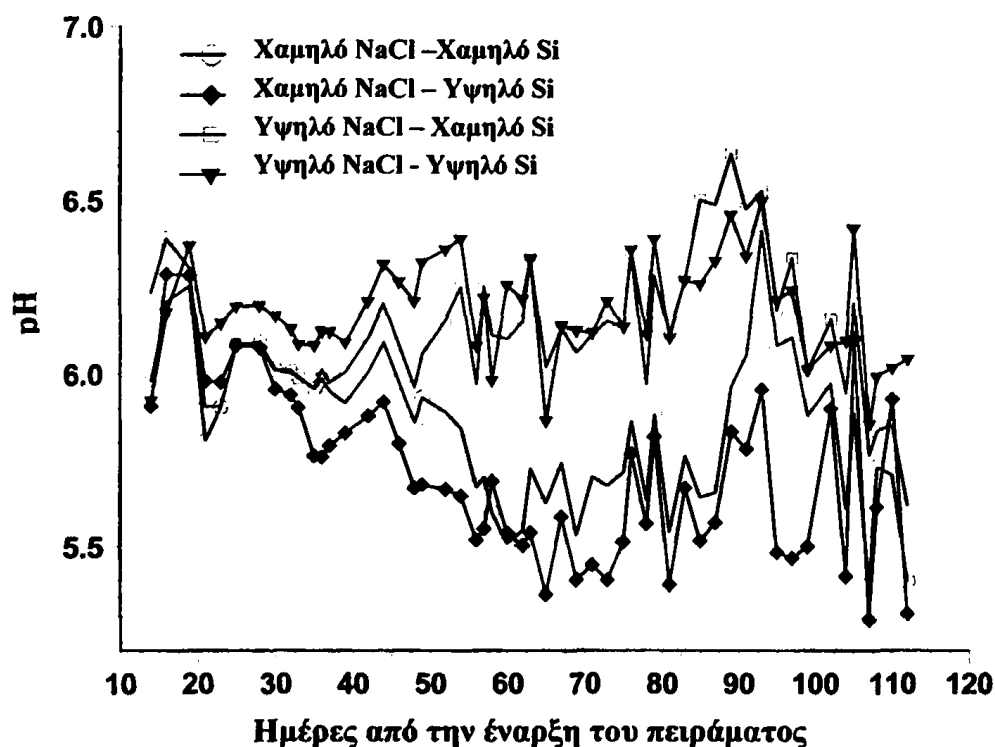
Στις δυο μεταχειρίσεις με αυξημένες συγκεντρώσεις NaCl (35 mM) στο θρεπτικό διάλυμα, έχουμε το πρότυπο της σιγμοειδούς καμπύλης. Μέχρι τις 22 ημέρες από την έναρξη του πειράματος υπήρξε μία μικρή μείωση (μέχρι την τιμή των $3,80 \text{ dS m}^{-1}$), ενώ στη συνέχεια είχαμε μια ραγδαία αύξηση (έως $9,50 \text{ dS m}^{-1}$), μέχρι τις 60 ημέρες από την έναρξη. Στη συνέχεια είχαμε μια συνεχή αυξομείωση (από 8 έως 11 dS m^{-1}), η οποία διατηρήθηκε έως το τέλος του πειράματος.

Στις άλλες δυο μεταχειρίσεις, χωρίς NaCl στο θρεπτικό διάλυμα, έχουμε μια σχεδόν σταθερή τιμή της EC σε όλη την πορεία του πειράματος με μικρές διακυμάνσεις στο εύρος μεταξύ 2 και 2,5 dS m⁻¹ περίπου.

4.2. pH

Στο σχήμα 4 παρατηρούμαι την πορεία της τιμής του pH στο διάλυμα απορροής, κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Γίνεται φανερό ότι στις μεταχειρίσεις με αυξημένα επίπεδα αλατότητας το pH ήταν ελαφρώς αυξημένο σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις χωρίς αλατότητα, η οποία διατηρήθηκε μέχρι την 95^η ημέρα του πειράματος, σε αντίθεση με τις μεταχειρίσεις με μειωμένη αλατότητα, στις οποίες υπήρχε μία τάση μείωσης της τιμής του pH στην πορεία εξέλιξης του πειράματος.



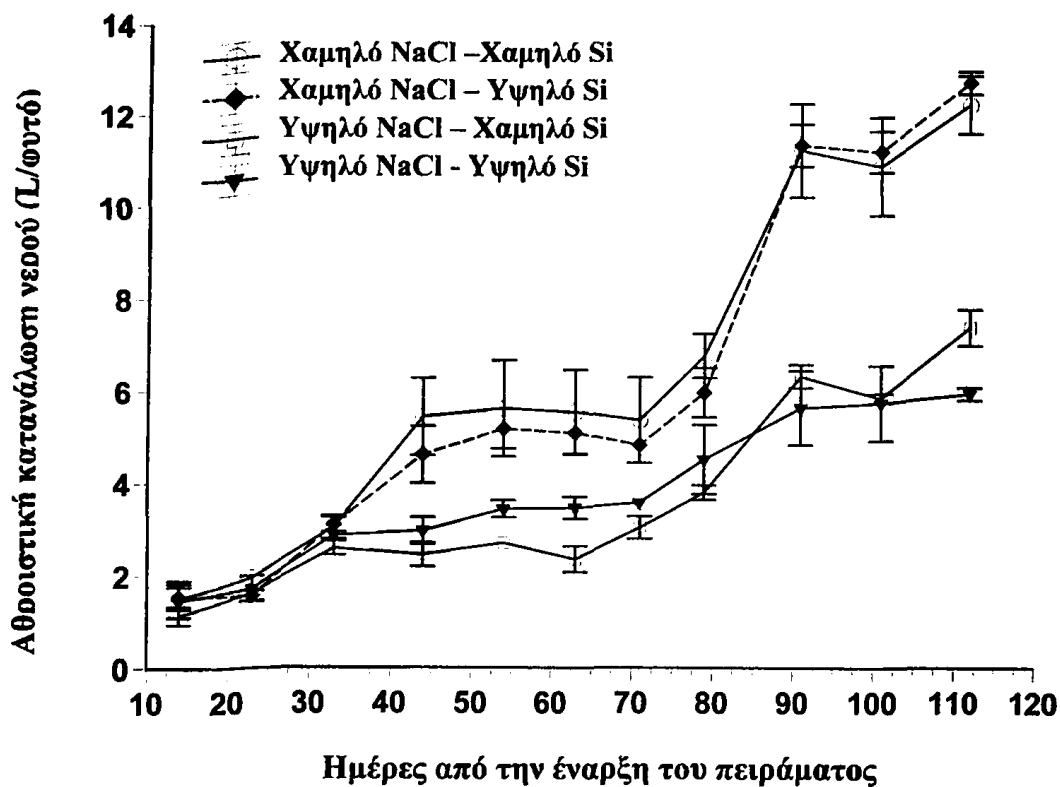
Σχήμα 4. Μέτρηση του pH στο διάλυμα απορροής, σε καλλιέργεια κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο διαφορετικά επίπεδα NaCl σε βρόχινο νερό και σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι πυριτίου.

Οι τιμές του pH που παρατηρήθηκαν στις μεταχειρίσεις με χαμηλή αλατότητα κυμάνθηκαν γύρω στο 6,2 περίπου κατά την έναρξη του πειράματος, παρουσίασαν μια μείωση μέχρι το 5,5 την 60^η ημέρα από τη μεταφύτευση και τέλος σταθεροποιήθηκαν έως το τέλος το πειράματος.

Στις μεταχειρίσεις με αυξημένη αλατότητα είχαμε μια αύξηση στις τιμές του pH, η οποία κυμάνθηκε από 5,5 στην αρχή του πειράματος έως τη μέγιστη τιμή 6,3, κατά την 95^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση. Στη συνέχεια εμφανίστηκε μια μείωση του pH μέχρι την τιμή 5,8 στα τελευταία στάδια του πειράματος.

4.3. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Ο συνολικός όγκος του νερού που καταναλωνόταν από τα φυτά υπολογιζόταν από την διαφορά μεταξύ του όγκου του διαλύματος τροφοδοσίας (80 l) και του όγκου του διαλύματος απορροής που είχε συλλεχθεί στο μεσοδιάστημα μεταξύ δύο ενάρξεων παρασκευής νέου θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας Αθροίζοντας τις διαφορές που προέκυπταν κάθε φορά προέκυπτε η αθροιστική κατανάλωση νερού η οποία ήταν κατά προσέγγιση ίση με τις απώλειες νερού μέσω της διαπνοής, δεδομένου ότι άλλες απώλειες νερού λόγω εξάτμισης ή διαρροών ήταν μηδαμινές. Η αθροιστική κατανάλωση νερού ανά φυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5 ως συνάρτηση του χρόνου.



Σχήμα 5. Αθροιστική κατανάλωση νερού ανά φυτό κατά τη διάρκεια καλλιέργειας κολοκυθίου σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.

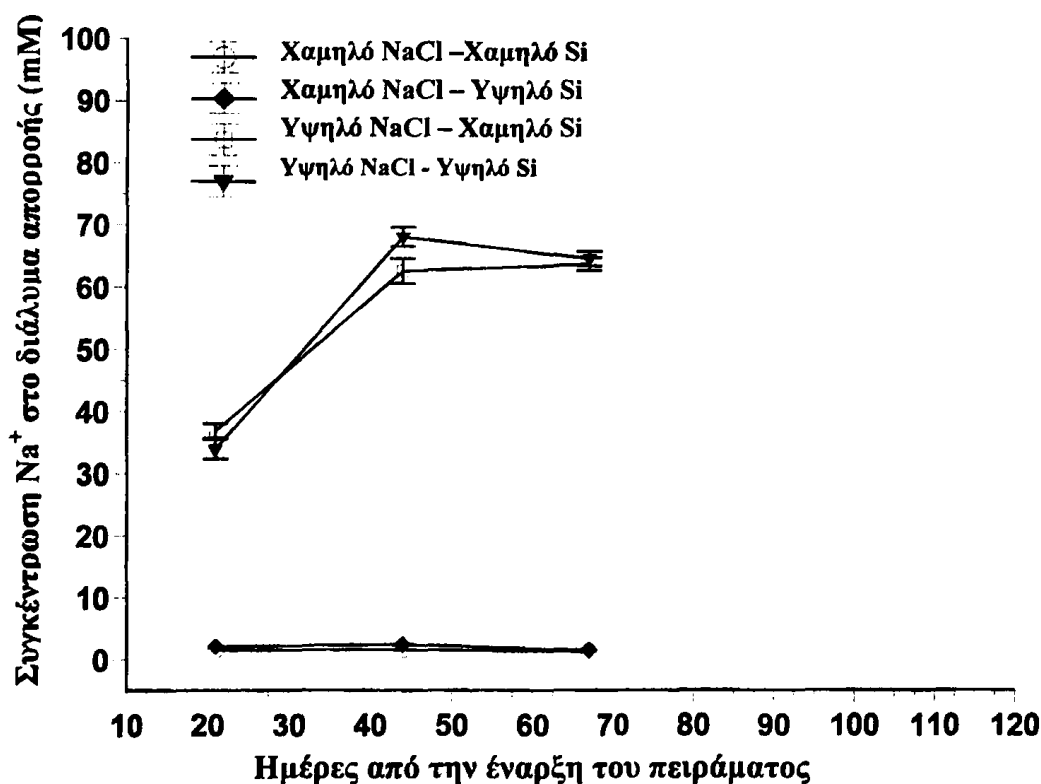
Από το Σχήμα 5 διαπιστώνεται ότι στις πρώτες 33 ημέρες η κατανάλωση νερού παραμένει ίδια ανεξάρτητα από τα επίπεδα αλατότητας και την προσθήκη ή όχι Si. Από την 34^η και μέχρι την 79^η ημέρα η κατανάλωση άρχισε να διαφοροποιείται στα δύο διαφορετικά επίπεδα αλατότητας. Ειδικότερα, στις μεταχειρίσεις με υψηλά επίπεδα αλατότητας η κατανάλωση νερού αυξάνεται με πιο αργό ρυθμό σε σύγκριση με αυτή που παρατηρήθηκε στα φυτά που αναπτυσσόταν σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας, ανεξάρτητα από το επίπεδο Si. Στη συνέχεια και για τις τελευταίες 40 ημέρες του πειράματος παρατηρείται μια επιτάχυνση στους ρυθμούς αύξησης της αθροιστικής κατανάλωσης νερού και στα δυο επίπεδα αλατότητας.

4.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na^+ και Cl^- ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ

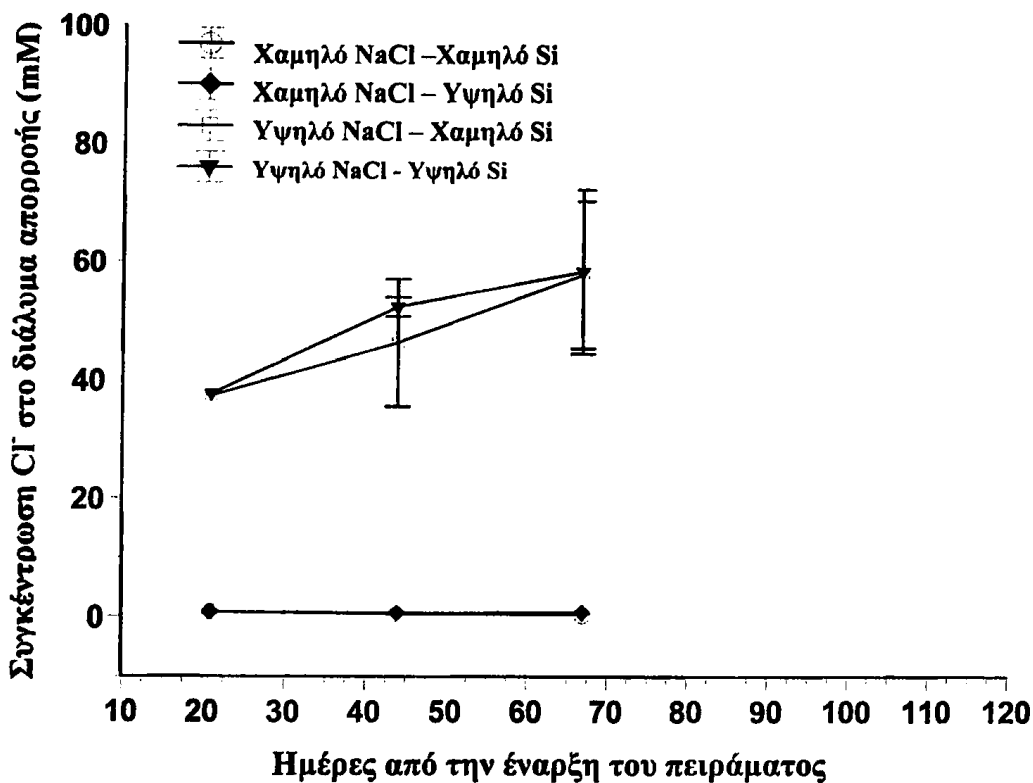
Οι συγκεντρώσεις Na^+ και Cl^- στο διάλυμα που περιέχεται στο υπόστρωμα (υδροπονικός περλίτης) θεωρούνται κατά προσέγγιση ίσες με αυτές που υφίστανται στο διάλυμα απορροής.

Σύμφωνα με το σχήμα 6 οι συγκεντρώσεις Na^+ στις μεταχειρίσεις χωρίς αλατότητα φαίνεται να παραμένουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα, σε αντίθεση με αυτές που παρατηρούνται στις μεταχειρίσεις με υψηλά επίπεδα αλατότητας.

Ειδικότερα οι μεταχειρίσεις με αυξημένα επίπεδα αλατότητας παρουσιάζουν μια αύξηση συγκεντρώσεων μέχρι την 2^η δειγματοληψία (44 ημέρες μετά τη μεταφύτευση). Στη συνέχεια οι συγκεντρώσεις αυτές διατηρούνται σταθερές για τις επόμενες 25 ημέρες.



Σχήμα 6. Συγκεντρώσεις Na^+ στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.



Σχήμα 7. Συγκεντρώσεις Cl^- στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.

Στο σχήμα 7 παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις Cl^- στο διάλυμα απορροής των μεταχειρίσεων με χαμηλά επίπεδα αλατότητας παρέμειναν σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα, ενώ οι συγκεντρώσεις στις μεταχειρίσεις με αυξημένη αλατότητα ήταν πολύ υψηλότερες. Ειδικότερα, κατά τις πρώτες 44 ημέρες από τη μεταφύτευση (2^η δειγματοληψία) είχαμε αύξηση η οποία συνεχίστηκε και κατά τις επόμενες 24 ημέρες (3^η δειγματοληψία) με μικρότερη όμως ένταση.

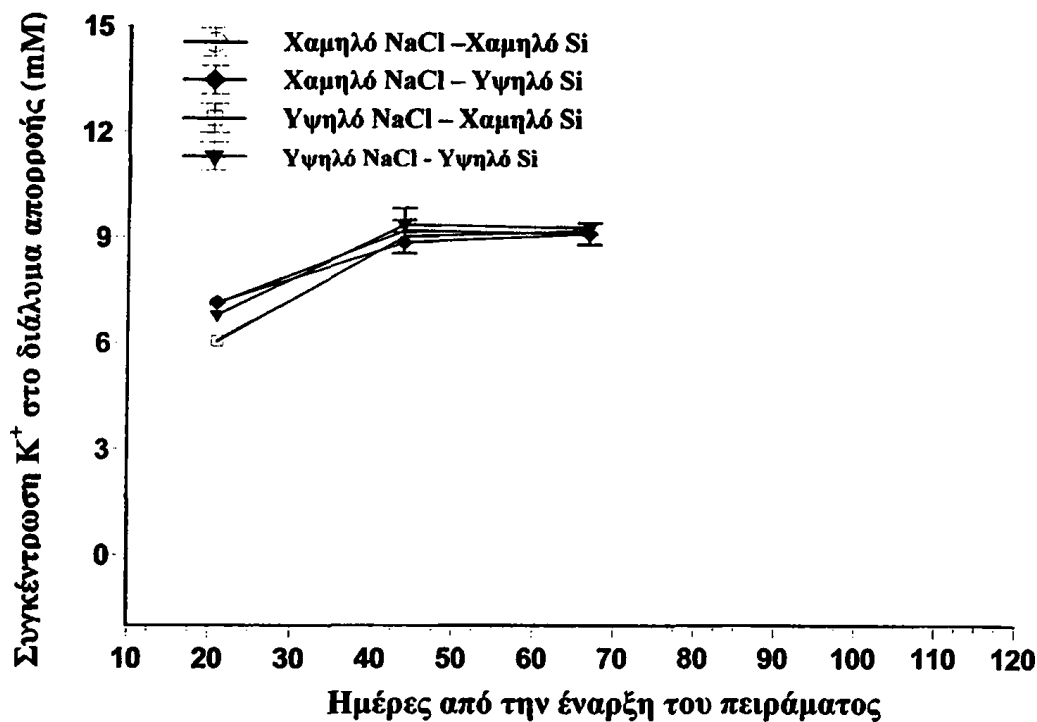
Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 5 δειγματοληψίες του διαλύματος απορροής. Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζονται μόνο οι 3, ενώ τα αποτελέσματα των άλλων 2 κρίθηκαν αναξιόπιστα λόγω τεχνικών προβλημάτων (απότομη εισροή νερού στο διάλυμα απορροής).

4.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ

Στα σχήματα 8, 9 και 10 παρουσιάζεται η πορεία των ιόντων K^+ , Ca^{+2} και Mg^{+2} στο περιβάλλον των ριζών στις τέσσερις επεμβάσεις του πειράματος, σε συνάρτηση με τις ημέρες από την έναρξη του πειράματος.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 8, οι συγκεντρώσεις του K^+ στα διαλύματα απορροής όλων των μεταχειρίσεων παρουσίασαν αυξητική τάση τις πρώτες 45 ημέρες από την έναρξη του πειράματος, ενώ διατηρήθηκαν σταθερές για τις επόμενες 25 ημέρες, έως την 3^η δειγματοληψία.

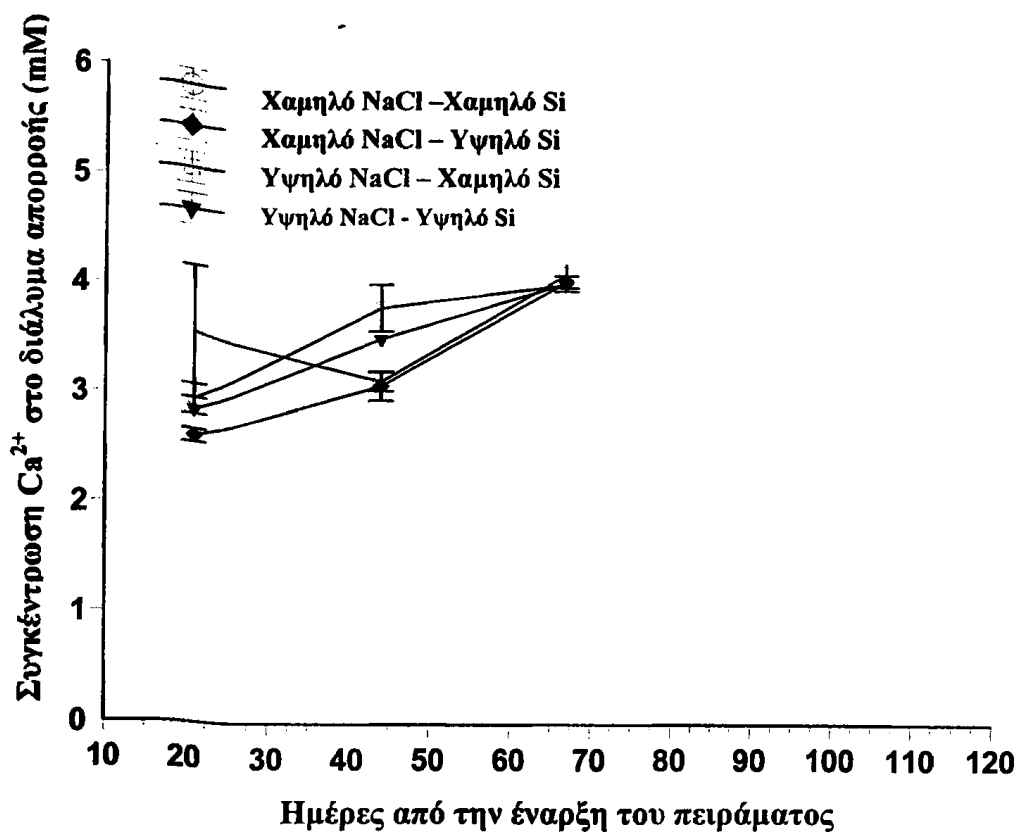
Οι μέγιστες συγκεντρώσεις K^+ που μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής ήταν 9,21 mM στη μεταχείριση με χαμηλή αλατότητα χωρίς προσθήκη Si (2^η δειγματοληψία), 9,12 mM στη μεταχείριση με χαμηλή αλατότητα και προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία), 9,21 mM στη μεταχείριση με υψηλή αλατότητα χωρίς προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία) και 9,38 mM σε αυτή με υψηλή αλατότητα και προσθήκη Si (2^η δειγματοληψία).



Σχήμα 8. Συγκεντρώσεις K^+ στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.

Από το σχήμα 9 φαίνεται μια αύξηση στις συγκεντρώσεις Ca^{2+} , σε όλες τις μεταχειρίσεις μέχρι την 3^η δειγματοληψία, με εξαίρεση αυτή όπου δεν προσθέσαμε Si και είχε χαμηλή αλατότητα, 68 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.

Οι μέγιστες συγκεντρώσεις Ca^{2+} που μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής ήταν 4,14 mM στη μεταχείριση με χαμηλή αλατότητα χωρίς προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία), 4,07 mM στη μεταχείριση με χαμηλή αλατότητα και προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία), 4,08 mM στη μεταχείριση με υψηλή αλατότητα χωρίς προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία) και 4,06 mM σε αυτή με υψηλή αλατότητα και προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία).

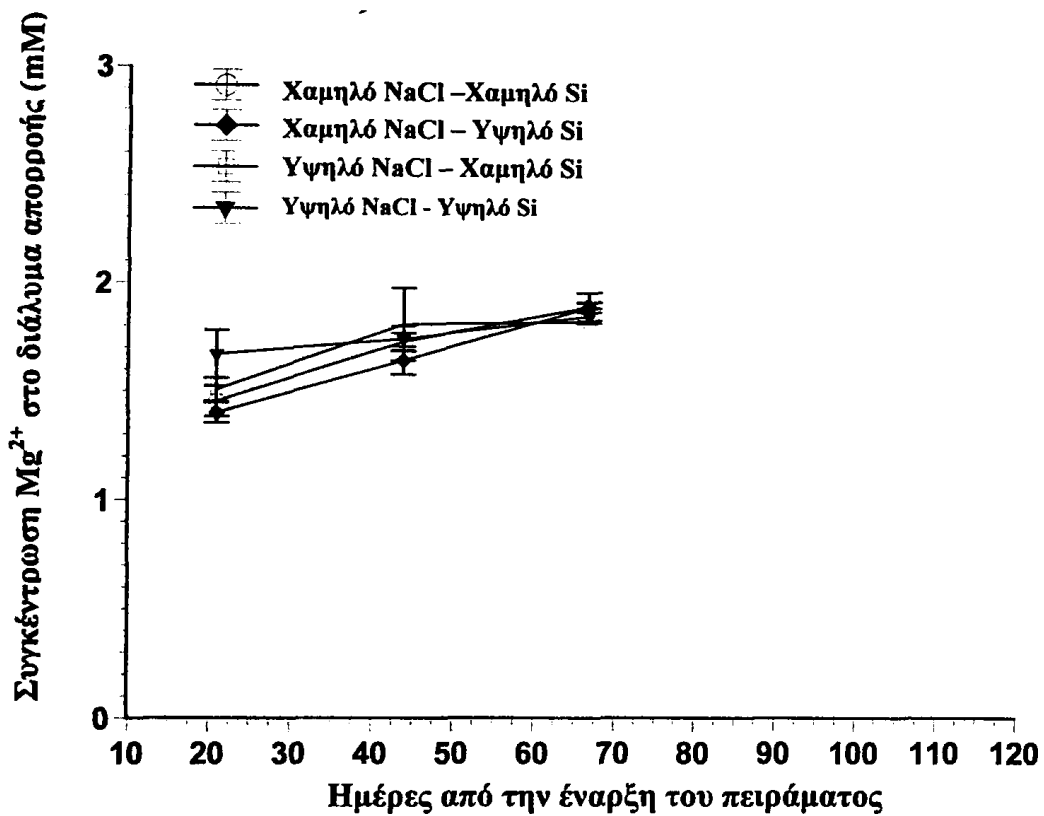


Σχήμα 9 Συγκεντρώσεις Ca²⁺ στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.

Από το σχήμα 10 φαίνεται μια αύξηση στις συγκεντρώσεις Mg²⁺, σε όλες τις μεταχειρίσεις, μέχρι την 3^η δειγματοληψία, 68 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.

Οι μέγιστες συγκεντρώσεις Mg²⁺ που μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής ήταν 1,89 mM στη μεταχείριση με χαμηλή αλατότητα χωρίς προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία), 1,89 mM στη μεταχείριση με χαμηλή αλατότητα και προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία), 1,84 mM στη μεταχείριση με υψηλή αλατότητα χωρίς προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία) και 1,85 mM σε αυτή με υψηλή αλατότητα και προσθήκη Si (3^η δειγματοληψία).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 5 δειγματοληψίες του διαλύματος απορροής. Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζονται μόνο οι 3, ενώ τα αποτελέσματα των άλλων 2 κρίθηκαν αναξιόπιστα λόγω τεχνικών προβλημάτων (απότομη εισροή νερού στο διάλυμα απορροής).

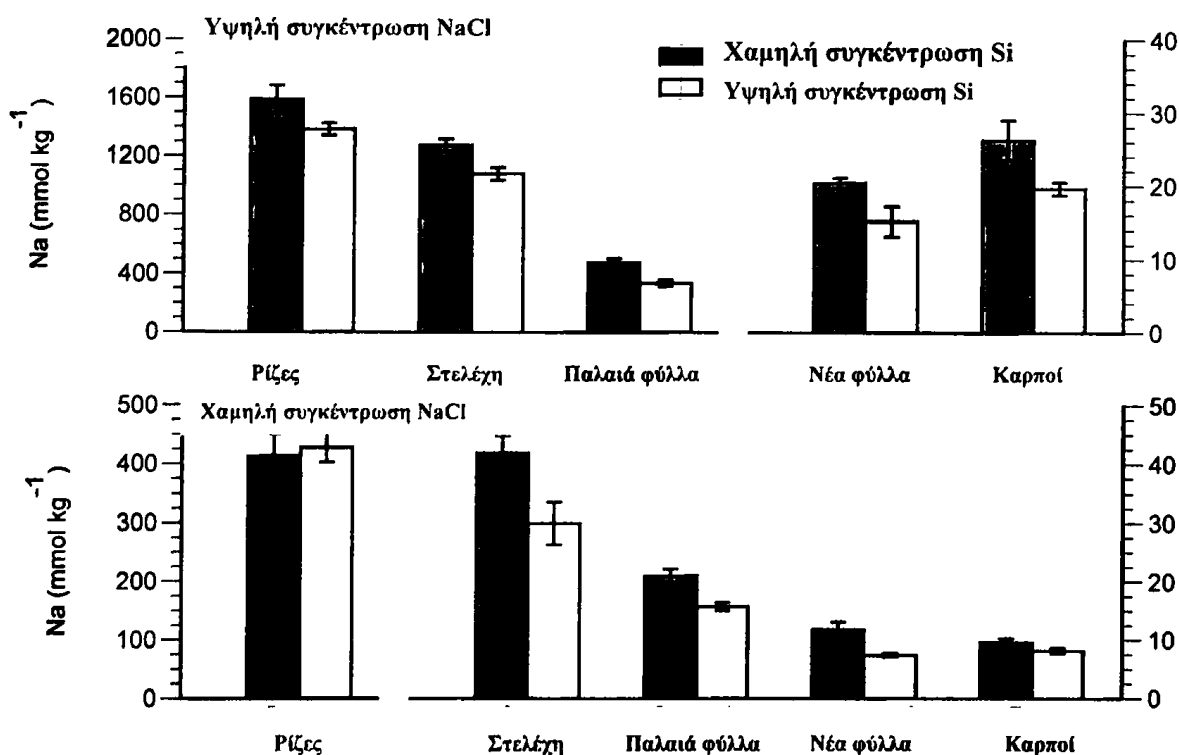


Σχήμα 10. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} στο διάλυμα απορροής καλλιέργειας κολοκυθιού σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα σε δυο επίπεδα αλατότητας και σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι Si.

4.6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na^+ και Cl^- ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

4.6.1. Συγκεντρώσεις Na^+ .

Η συγκέντρωση του Na αυξήθηκε αρκετά στις μετρήσεις που έγιναν σε όλα τα μέρη του φυτού όταν το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας περιείχε 35 mM NaCl σε σύγκριση με αυτό που περιείχε 0,8 mM NaCl, αλλά η αύξηση ήταν σημαντικά χαμηλότερη σε όλα τα μέρη του φυτού με την προσθήκη Si (Σχήμα. 11)



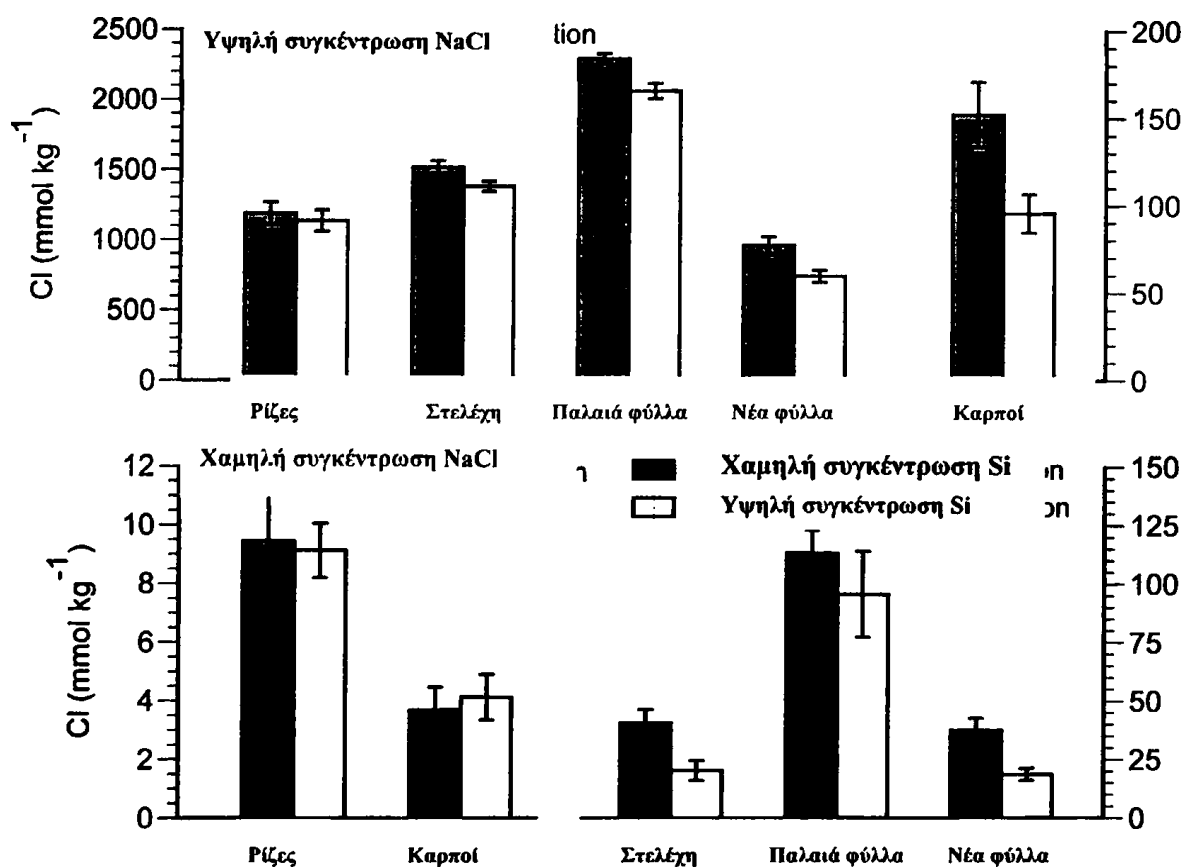
Σχήμα 11. Συγκεντρώσεις Na^+ σε διάφορα μέρη φυτών κολοκυθιού σε υδροπονική καλλιέργεια κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας και σε συνδυασμό με χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

Επιπλέον στο χαμηλό επίπεδο αλατότητας η προσθήκη Si μείωσε τις συγκεντρώσεις Na στα στελέχη, τα παλαιά και νέα φύλλα, καθώς επίσης και στους καρπούς, σε σύγκριση με τη μεταχείριση όπου δεν χρησιμοποιήθηκε Si. Σε χαμηλά εξωτερικά επίπεδα NaCl, οι συγκεντρώσεις Na στις ρίζες ήταν πολύ υψηλότερες από εκείνες που μετρήθηκαν στα στελέχη, τα φύλλα και τους καρπούς. Εντούτοις, όταν τα φυτά εκτέθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις NaCl τα επίπεδα Na στα στελέχη και, σε μικρότερη έκταση στα παλαιά φύλλα που μετρήθηκαν πλησίασαν αυτά των ριζών.

Αντίθετα, η επίδραση της υψηλής εξωτερικής αλατότητας NaCl στις συγκεντρώσεις Na στα νέα φύλλα και τους καρπούς ήταν πολύ μικρότερη.

4.6.2. Συγκεντρώσεις Cl⁻.

Η συγκέντρωση του Cl⁻ αυξήθηκε αρκετά σε όλους τους ιστούς των φυτών κολοκυθιάς όταν αυξήθηκε η συγκέντρωση NaCl στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας στα φυτά από 0,8 έως 35 mM (Σχήμα 12)



Σχήμα 12. Συγκεντρώσεις Cl⁻ σε διάφορα μέρη φυτών κολοκυθιού σε υδροπονική καλλιέργεια κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας και σε συνδυασμό με χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

Σε χαμηλά εξωτερικά επίπεδα NaCl, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Cl⁻ παρατηρήθηκαν στα παλαιότερα φύλλα, ακολούθησαν τα στελέχη και τα νέα φύλλα, ενώ οι συγκεντρώσεις Cl⁻ στις ρίζες ήταν πολύ χαμηλότερες.

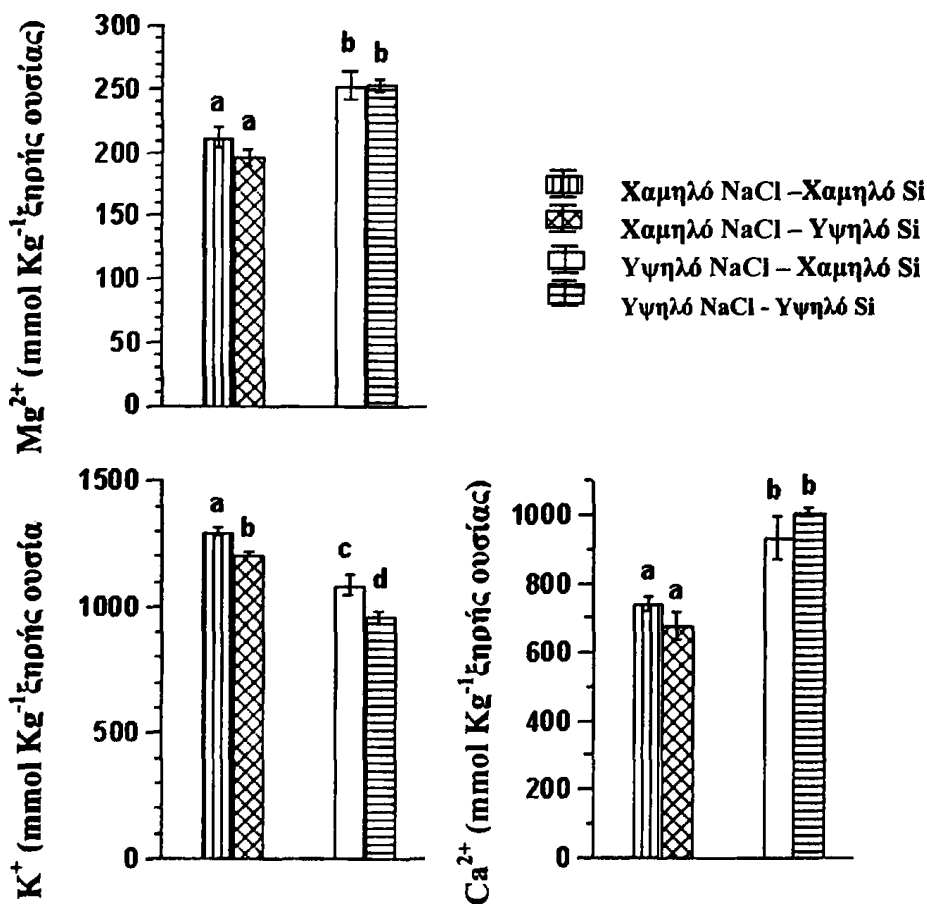
Σε υψηλά εξωτερικά επίπεδα NaCl οι συγκεντρώσεις Cl⁻ των ριζών αυξήθηκαν συγκριτικά με εκείνες που μετρήθηκαν στα στελέχη και τα νέα φύλλα. Η

προσθήκη 1 mM Si στο θρεπτικό διάλυμα περιορίσε τη δυνατότητα διακίνησης των Cl^- σε όλα τα μέρη των φυτών κολοκυθίου εκτός από τις ρίζες. Εντούτοις, στη χαμηλή εξωτερική αλατότητα NaCl, η προσθήκη Si περιορίσε τις συγκεντρώσεις Cl^- μόνο στα στελέχη και τα νέα φύλλα.

4.7. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K^+ , Ca^{2+} ΚΑΙ Mg^{2+} ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

4.7.1. Συγκεντρώσεις K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων 51 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.

Από το σχήμα 13 παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις και των τριών στοιχείων K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων 51 ημέρες μετά τη μεταφύτευση για τα δυο διαφορετικά επίπεδα αλατότητας ήταν διαφορετικές.



Σχήμα 13. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} ($mmol Kg^{-1}$ ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων κολοκυθιού τα οποία συλλέχθηκαν 51 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.

Στην περίπτωση του K^+ , παρατηρείται μια αύξηση των συγκεντρώσεων στους φυτικούς ιστούς των νεαρών φύλλων στα μειωμένα επίπεδα αλατότητας, ενώ φαίνεται ότι η προσθήκη πυριτίου είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης του K^+ και στα δυο επίπεδα αλατότητας.

Όσον αφορά το Mg^{2+} και το Ca^{2+} , φαίνεται ότι στα επίπεδα αυξημένης αλατότητας είχαμε αύξηση της συγκέντρωσής τους στους φυτικούς ιστούς των νεαρών φύλλων. Η προσθήκη πυριτίου δεν φαίνεται να είχε κάποια σημαντική επίδραση.

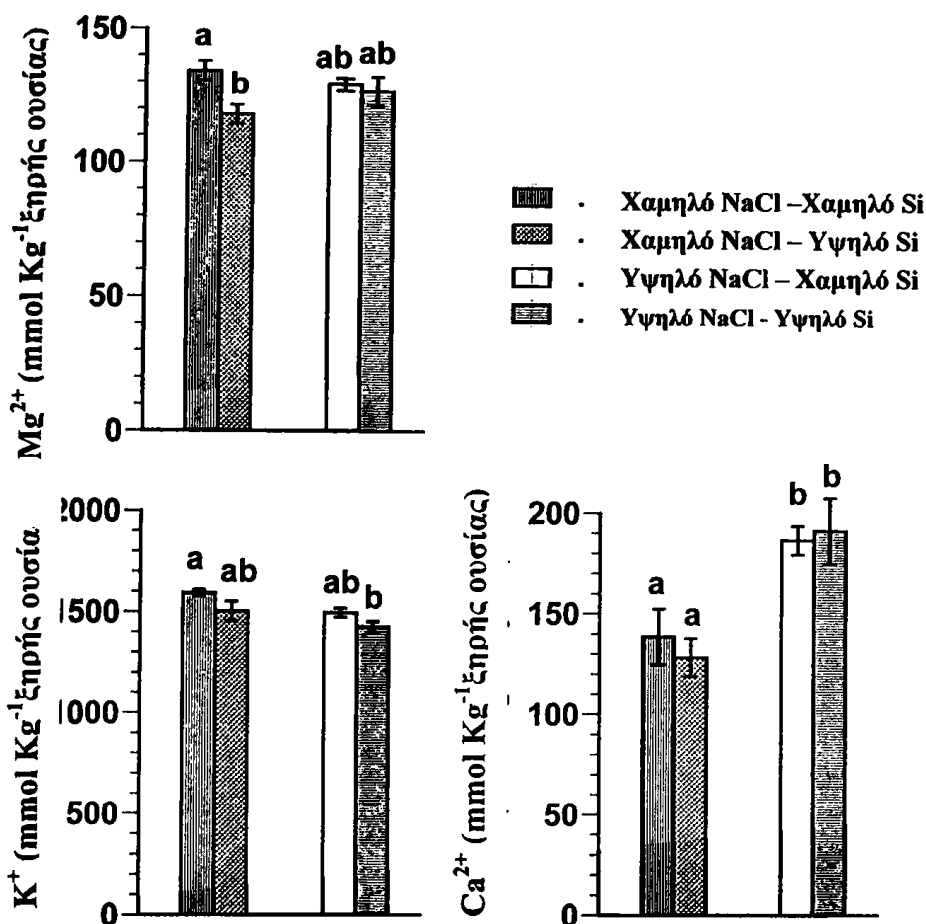
4.7.2. Συγκεντρώσεις K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.

Οι αναλύσεις που έγιναν σε νεαρά φύλλα κολοκυθιού, 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, έδειξαν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις των ιόντων K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στα διαφορετικά επίπεδα αλατότητας σε συνάρτηση με την προσθήκη ή όχι Si.

Συγκεκριμένα, όπως παρατηρούμε και από το σχήμα 14, το Mg^{2+} παρουσίασε αύξηση συγκέντρωσης στα χαμηλά επίπεδα αλατότητας και στη μεταχείριση όπου δεν χρησιμοποιήθηκε πυρίτιο στο θρεπτικό διάλυμα. Εκεί όπου είχαμε υψηλή αλατότητα, δεν είχαμε κάποια σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση ιόντων Mg^{2+} .

Όσον αφορά το K^+ , παρατηρούμε μικρή αύξηση συγκέντρωσης στη μεταχείριση με μικρή αλατότητα χωρίς προσθήκη Si, σε σχέση με αυτή όπου είχαμε αυξημένα επίπεδα αλατότητας και χορήγηση Si.

Τέλος, το Ca^{2+} , φαίνεται να παρουσιάζει σημαντική αύξηση συγκέντρωσης στα υψηλά επίπεδα αλατότητας, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις όπου δεν είχαμε αυξημένη αλατότητα. Η προσθήκη πυριτίου δεν φαίνεται να επηρέασε τις συγκεντρώσεις ιόντων Ca^{2+} .



Σχήμα 14. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} ($mmol\ Kg^{-1}$ ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων κολοκυθιού τα οποία συλλέχθηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.

4.7.3. Συγκεντρώσεις K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων 83 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.

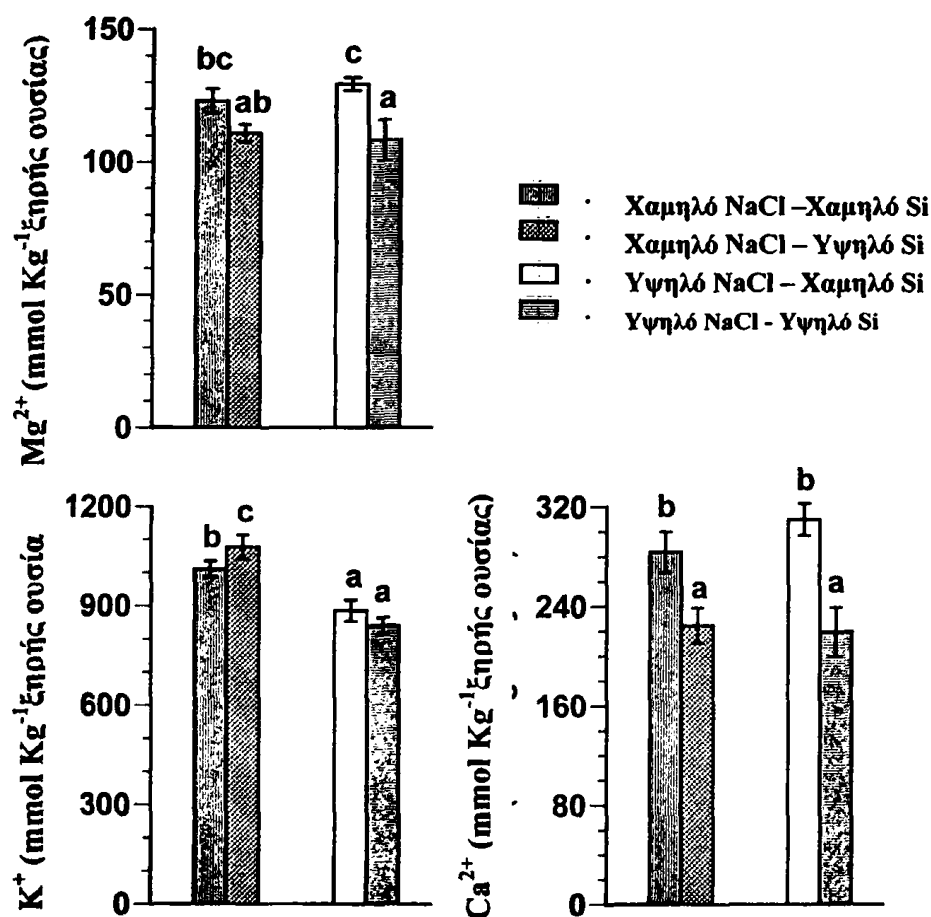
Όπως βλέπουμε από το σχήμα 15, οι συγκεντρώσεις των ιόντων K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων κολοκυθιού που συλλέχθηκαν 83 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, παρουσιάζουν αρκετές διαφορές στις 4 μεταχειρίσεις.

Οι συγκεντρώσεις Mg^{2+} , παρουσιάζουν μείωση στις μεταχειρίσεις όπου χορηγήθηκε Si, με μεγαλύτερη αυτή όπου παρατηρείται στα υψηλά επίπεδα

αλατότητας. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση ιόντων Mg^{2+} , παρουσιάστηκε εκεί όπου είχαμε υψηλή αλατότητα και απουσία Si.

Στο K^+ , οι διαφορές συγκεντρώσεων στις 4 μεταχειρίσεις, είναι πολύ μικρές. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, παρατηρήθηκαν στη μεταχείριση με χαμηλή αλατότητα και απουσία Si, ενώ μικρότερες σ' αυτή με υψηλή αλατότητα και προσθήκη Si.

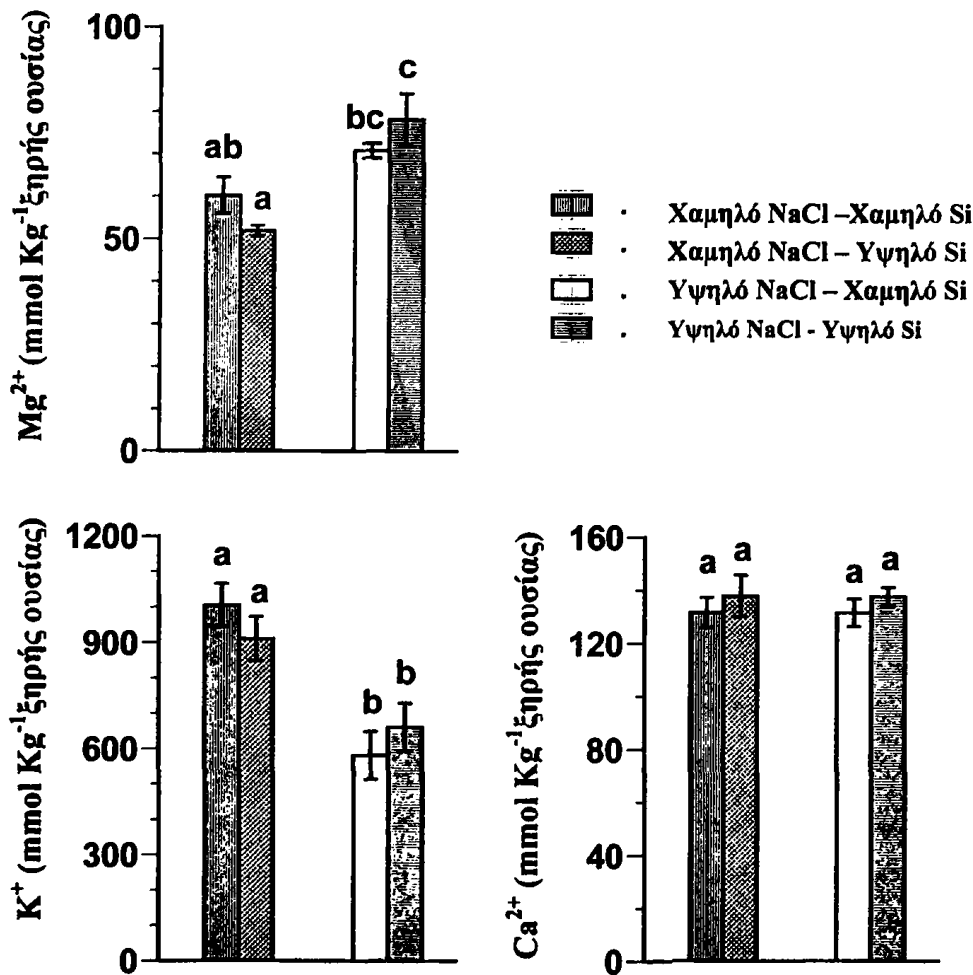
Όσον αφορά το Mg^{+2} , φαίνεται ότι ανεξάρτητα με τα επίπεδα αλατότητας είχαμε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσής του στις μεταχειρίσεις όπου χορηγήσαμε πυρίτιο.



Σχήμα 15. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} ($mmol Kg^{-1}$ ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς νεαρών φύλλων κολοκυθιού τα οποία συλλέχθηκαν 83 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.

4.7.4. Συγκεντρώσεις K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς ριζών κολοκυθιού.

Οι αναλύσεις που έγιναν στις ρίζες κολοκυθιού, 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, έδειξαν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις των ιόντων K^+ και Mg^{2+} στα διαφορετικά επίπεδα αλατότητας σε συνάρτηση με την προσθήκη ή όχι Si.



Σχήμα 16. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} ($mmol Kg^{-1}$ ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς ριζών κολοκυθιού τα οποία συλλέχθηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.

Από το σχήμα 16 βλέπουμε ότι το Mg^{2+} παρουσίασε αύξηση της συγκέντρωσής του στα επίπεδα υψηλής αλατότητας και σημαντική μείωση στις

μεταχειρίσεις με χαμηλή αλατότητα. Στην περίπτωση υψηλής αλατότητας, όπου είχαμε προσθήκη Si παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Mg^{2+} , ενώ στα επίπεδα χαμηλής αλατότητας η προσθήκη Si είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις K^+ , παρουσιάστηκαν αυξημένες στις μεταχειρίσεις με μειωμένα επίπεδα αλατότητας, σε σχέση με αυτές στις μεταχειρίσεις όπου είχαμε υψηλά επίπεδα αλατότητας. Η χορήγηση Si δεν φαίνεται να προκάλεσε στατιστικά σημαντικές διαφορές.

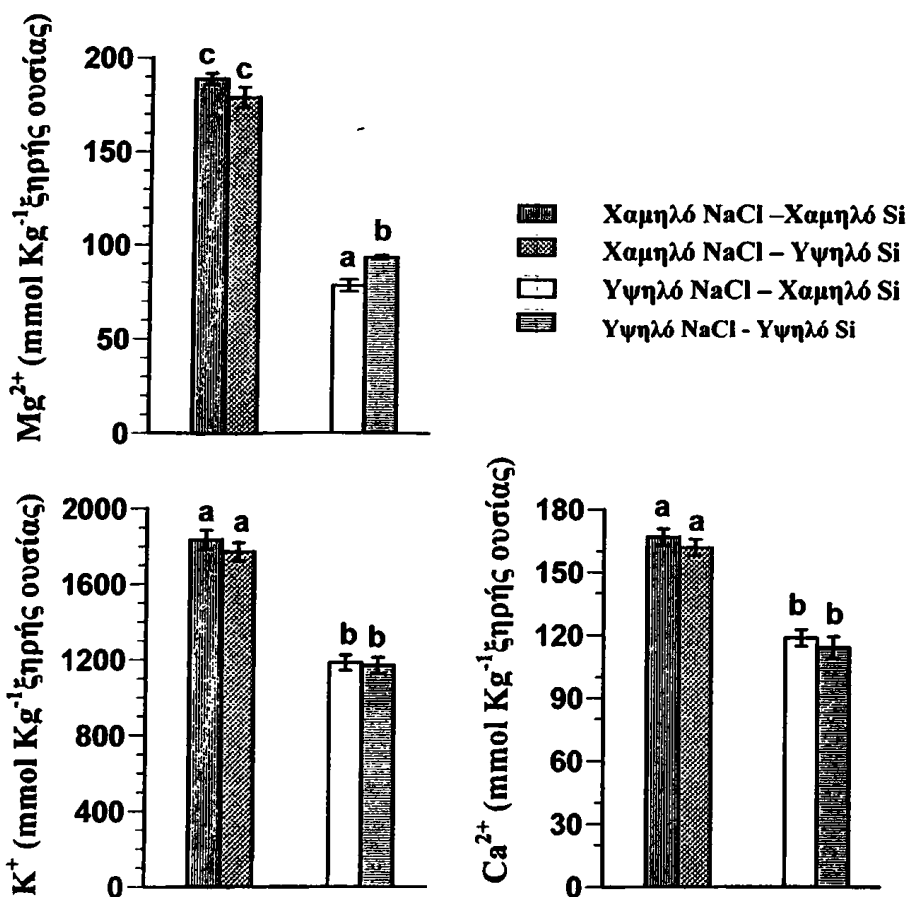
Τέλος, οι συγκεντρώσεις Ca^{2+} δεν παρουσίασαν κάποια μεταβολή στατιστικά σημαντική και στις 4 μεταχειρίσεις, ανεξάρτητα από την αλατότητα και την προσθήκη Si.

4.7.5. Συγκεντρώσεις K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς στελεχών κολοκυθιού.

Όπως βλέπουμε από το σχήμα 17, οι συγκεντρώσεις των ιόντων K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} στους φυτικούς ιστούς στελεχών κολοκυθιού που συλλέχθηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στα δυο επίπεδα αλατότητας.

Αναλυτικότερα στο Mg^{2+} παρατηρούμε διπλάσια συγκέντρωση στις μεταχειρίσεις με αυξημένη αλατότητα σε σχέση με αυτή που σημειώθηκε στις μεταχειρίσεις με χαμηλά επίπεδα αλατότητας. Η προσθήκη Si φαίνεται να επέδρασε θετικά στη συγκέντρωση Mg^{2+} μόνο στις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας.

Για τις συγκεντρώσεις K^+ και Ca^{2+} φαίνεται να είναι υψηλότερες στα επίπεδα χαμηλής αλατότητας, σε σχέση με αυτές στα επίπεδα υψηλής αλατότητας. Και για τα δυο αυτά στοιχεία η χορήγηση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα δεν φαίνεται να προκάλεσε καμία σημαντική μεταβολή στις συγκεντρώσεις τους.



Σχήμα 17. Συγκεντρώσεις Mg²⁺, K⁺ και Ca²⁺ (mmol Kg⁻¹ ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς στελεγχών κολοκυθιού τα οποία συλλέγησαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.

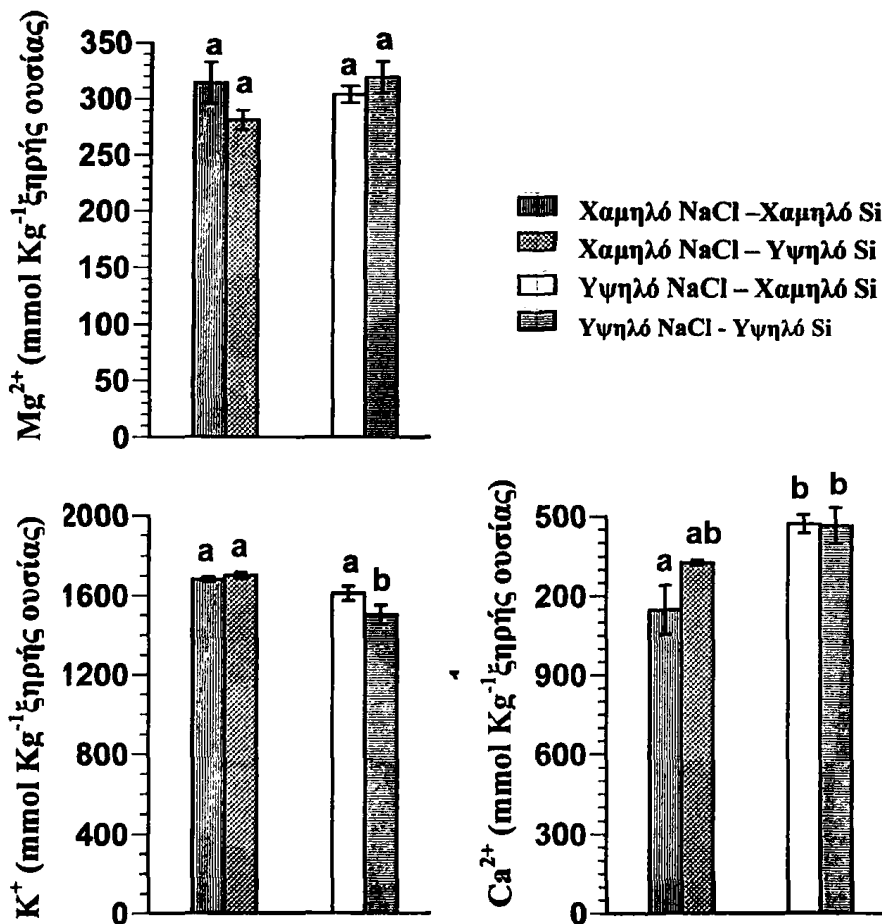
4.7.6. Συγκεντρώσεις K⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺ στους φυτικούς ιστούς παλαιών φύλλων κολοκυθιού.

Σύμφωνα με το σχήμα 18 οι συγκεντρώσεις των ιόντων K⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺ στους φυτικούς ιστούς παλαιών φύλλων κολοκυθιού που η συλλογή τους έγινε 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση παρουσιάζουν τις εξής μεταβολές:

Στο Mg²⁺ οι συγκεντρώσεις παραμένουν ίδιες ανεξάρτητα με τα επίπεδα αλατότητας και τη χορήγηση ή όχι Si.

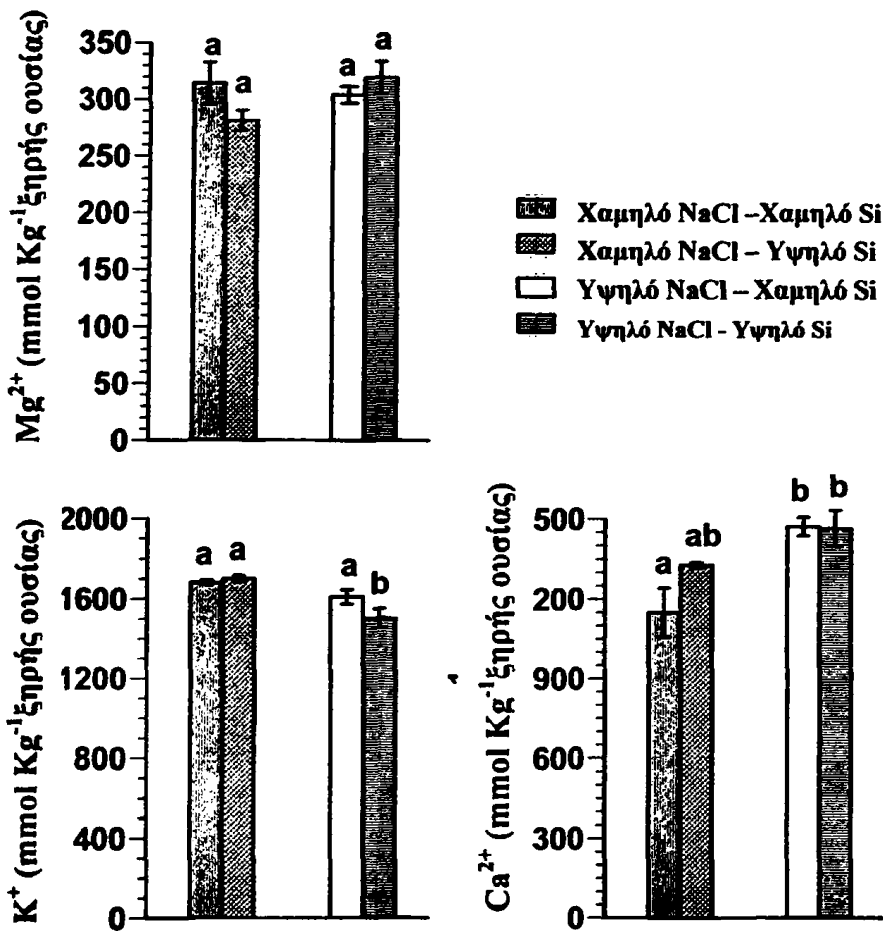
Για το K⁺ οι τιμές των συγκεντρώσεων δεν παρουσιάζουν αξιόλογη μεταβολή παρά μόνο στη μεταχείριση με αυξημένη αλατότητα και προσθήκη Si φαίνεται να υπάρχει μια μείωση αρκετά σημαντική.

Τέλος, στην περίπτωση του Ca^{2+} έχουμε μικρότερες συγκεντρώσεις στις μεταχειρίσεις με χαμηλά επίπεδα αλατότητας. Η προσθήκη Si φαίνεται να οδήγησε σε μεγαλύτερη μείωση.



Σχήμα 18. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς παλαιών φύλλων κολοκυθιού τα οποία συλλέγηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.

Τέλος, στην περίπτωση του Ca^{2+} έχουμε μικρότερες συγκεντρώσεις στις μεταχειρίσεις με χαμηλά επίπεδα αλατότητας. Η προσθήκη Si φαίνεται να οδήγησε σε μεγαλύτερη μείωση.



Σχήμα 18. Συγκεντρώσεις Mg^{2+} , K^+ και Ca^{2+} (mmol Kg^{-1} ξηρής ουσίας) στους φυτικούς ιστούς παλαιών φύλλων κολοκυθιού τα οποία συλλέγηκαν 65 ημέρες μετά τη μεταφύτευση σε περλίτη σε εξάρτηση από αλατότητα και συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα.

4.8. ΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

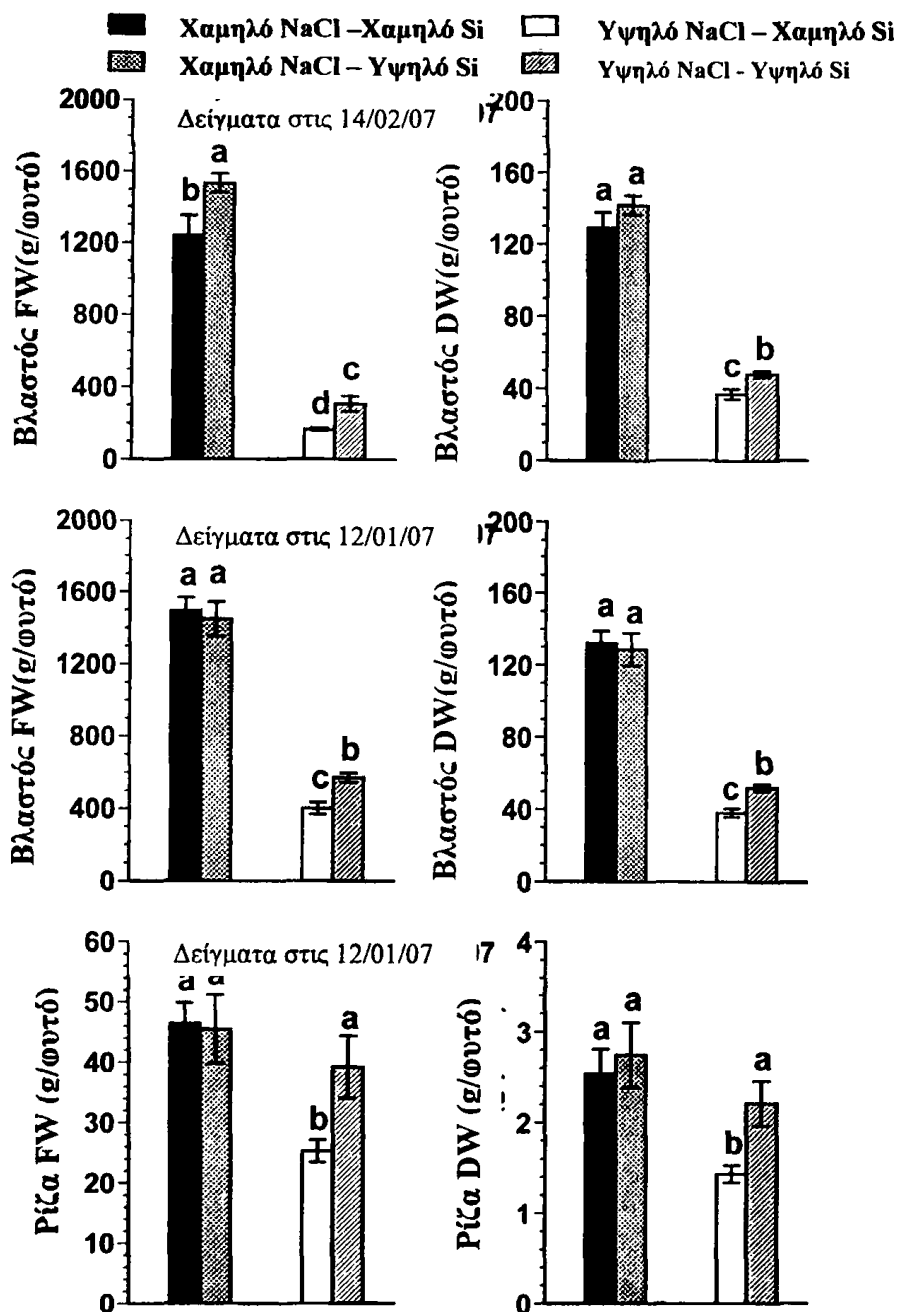
Η αύξηση της αλατότητας στο περιβάλλον των ριζών σε υδροπονική καλλιέργεια νωπού κολοκυθιού, κυμάνθηκε περίπου στα $8,1 \text{ dS m}^{-1}$ λόγω της προσθήκης 35 mM NaCl στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

4.8.1. Βλαστός.

Τα επίπεδα αυξημένης αλατότητας περιόρισαν σημαντικά το νωπό και το ξηρό βάρος του βλαστού (Σχήμα 17). Η προσθήκη Si με τη μορφή άλατος πυριτικού καλίου στο διάλυμα τροφοδοσίας βελτίωσε σημαντικά την αρνητική επίδραση της αλατότητας στο νωπό και ξηρό βάρος των βλαστών. Στις μεταχειρίσεις με χαμηλή αλατότητα η προσθήκη Si δεν παρουσίασε καμία σημαντική επίδραση στο νωπό και ξηρό βάρος των βλαστών κατά την πρώτη δειγματοληψία (12 Ιανουαρίου) αλλά οδήγησε σε σημαντικά μεγαλύτερο βάρος των βλαστών στο τέλος του πειράματος.

4.8.2. Ρίζα.

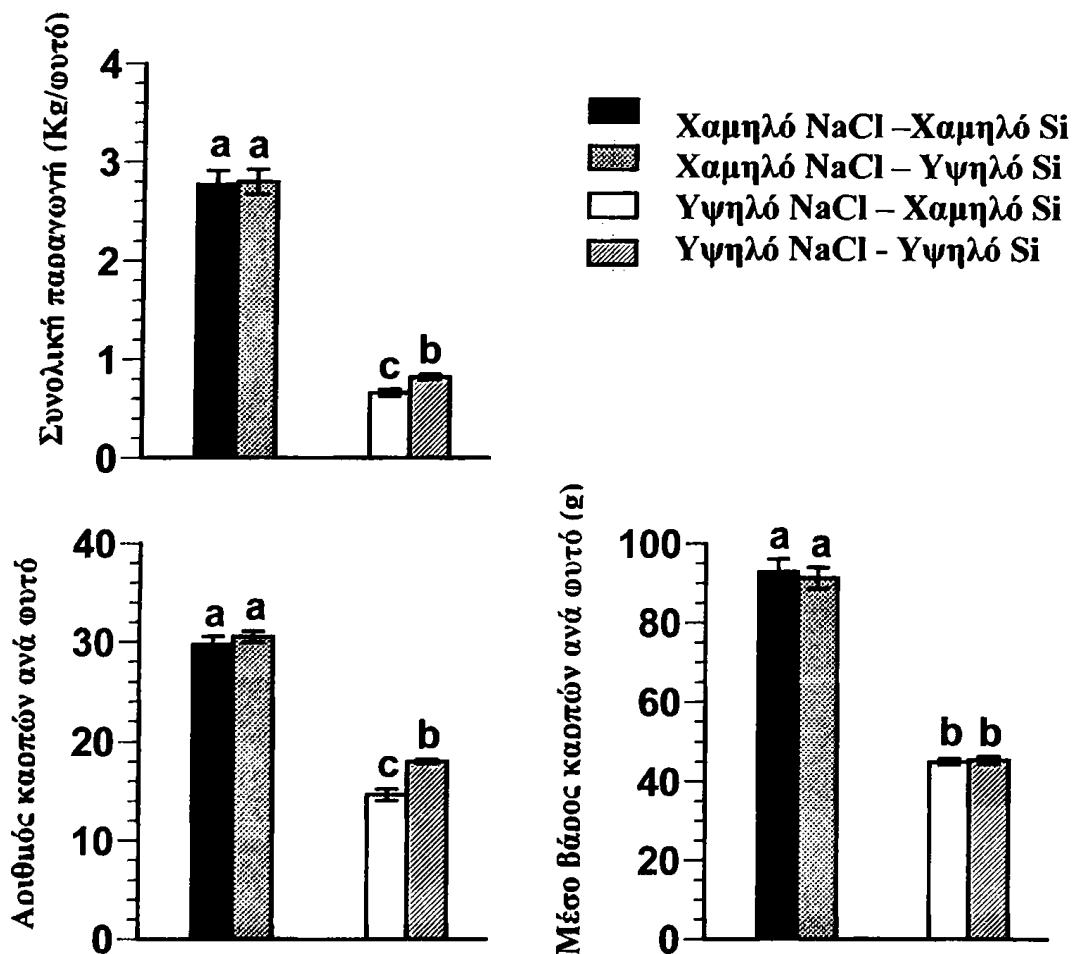
Όσον αφορά το νωπό και ξηρό βάρος των ριζών, μειώθηκε σημαντικά σε συνθήκες υψηλής αλατότητας όταν το Si ήταν χαμηλό. Αντίθετα όταν είχαμε συνδυασμό υψηλής αλατότητας και προσθήκης Si, η μείωση του νωπού και ξηρού βάρους των ριζών υπήρξε μικρή και ασήμαντη (Σχήμα 19).



Σχήμα 19. Μέσος όρος νεπού βάρους (FW) και ξηρού βάρους (DW) του βλαστού και της ρίζας σε υδροπονική καλλιέργεια κολοκυθίου κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας σε συνδυασμό με τη χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

4.9. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΡΠΩΝ

Στο σχήμα 20 παρατηρούμε ότι η αύξηση της αλατότητας στο περιβάλλον των ριζών εμποδίζει την παραγωγή καρπών λόγω της μείωσης του αριθμού και του μέσου βάρους των καρπών ανά φυτό (Σχήμα 18).



Σχήμα 20. Συνολική παραγωγή, μέσος όρος αριθμού καρπών ανά φυτό και μέσος όρος βάρους καρπών ανά φυτό σε υδροπονική καλλιέργεια κολοκυθιού κάτω από συνθήκες χαμηλής (0,8 mM NaCl) ή υψηλής (35 mM NaCl) αλατότητας σε συνδυασμό με τη χαμηλή (0,1 mM) ή υψηλή (1 mM) συγκέντρωση πυριτίου στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας.

Η προσθήκη Si στις μεταχειρίσεις με υψηλά επίπεδα αλατότητας μετρίασε σημαντικά τα αρνητικά αποτελέσματα στη συνολική παραγωγή καρπών ανά φυτό αλλά δεν φάνηκε να είχε καμιά επίδραση στην παραγωγή καρπών στα φυτά χωρίς αλατότητα. Η αύξηση του συνολικού βάρους των καρπών ανά φυτό στις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας με προσθήκη Si οφείλονταν σε μια σημαντική αύξηση του αριθμού καρπών ανά φυτό, ενώ το μέσο βάρος των καρπών δεν φάνηκε

να επηρεάστηκε από το Si. Επιπλέον, και η αλατότητα και το Si ενίσχυσαν το ξηρό βάρος των καρπών.

Παρατηρώντας το συνολικό νωπό βάρος των καρπών και της ξηρής ουσίας από τα δεδομένα του σχ. 18, διαπιστώνουμε ότι το Si ενίσχυσε το ξηρό βάρος των καρπών και στα δυο επίπεδα αλατότητας, ενώ η αύξηση ήταν μεγαλύτερη στις συνθήκες υψηλής αλατότητας.

4.10. ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΩΝ ΚΑΡΠΩΝ(%)

Στον πίνακα 10 παρουσιάζεται σε ποσοστό, ο συνολικός αριθμός και το συνολικό βάρος των εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό κολοκυθίου, από την έναρξη έως και το τέλος του δεύτερου πειράματος, σε 4 διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα επίδρασης αλατότητας και πυριτίου, στην επί τοις εκατό παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών νωπού κολοκυθίου αναπτυσσόμενου σε υδροπονική καλλιέργεια. Οι τιμές αναφέρονται στους μέσους όρους 6 επαναλήψεων. Σε κάθε στήλη και επίπεδο αλατότητας, τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο επιπέδων συγκέντρωσης πυριτίου ($P \leq 0.05$).

	Αριθμός εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό (% συνολικού αριθμού καρπών)	Βάρος εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό (% συνολικού βάρους καρπών)
Χαμ. NaCl, χαμ. Si	95.21±0.53 b	97.51±0.40 b
Χαμ. NaCl, υψ. Si	97.06±0.32 a	98.75±0.27 a
Υψ. NaCl, χαμ. Si	88.64±0.76 c	95.63±0.41 c
Υψ. NaCl, υψ. Si	88.95±1.11 c	95.46±0.46 c

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, υπάρχει σημαντική διαφορά στο ποσοστό του αριθμού των εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό στις μεταχειρίσεις με χαμηλή αλατότητα και σ' αυτές με υψηλή αλατότητα. Επίσης διαπιστώνουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές στις μεταχειρίσεις με χαμηλή αλατότητα μεταξύ αυτής η οποία δεν περιείχε πυρίτιο και αυτής με πυρίτιο. Τέλος, δεν φάνηκε να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις μεταχειρίσεις με υψηλή αλατότητα.

Όσον αφορά το ποσοστό του βάρους των εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό παρουσιάζεται σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο επιπέδων αλατότητας, ενώ έχουμε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων με χαμηλή αλατότητα και χαμηλή συγκέντρωση πυριτίου και αυτών με χαμηλή αλατότητα και υψηλή συγκέντρωση πυριτίου. Σε συνθήκες υψηλής αλατότητας δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)

Οι μηχανισμοί άμυνας που έχουν αναπτύξει τα γλυκόφυτα ενάντια στην αλατότητα βασίζονται κυρίως στον έλεγχο της εισόδου των ιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων της ρίζας (κυττόπλασμα) και τον ενεργό αποκλεισμό αυτών που δεν είναι χρήσιμα για την θρέψη του φυτού από τους αγωγούς ιστούς (κύτταρα ενδοδερμίδας - ταινία Κάσπαρι) καθώς και στην ενεργό εξαγωγή τους στο εξωτερικό διάλυμα (Greenway and Munns 1980, Κωνσταντινίδου, 2003). Με την άνοδο της συγκέντρωσης των ιόντων στο περιβάλλον των ριζών η περατότητα των κυτταρικών μεμβρανών αυξάνεται και η αποτελεσματικότητα των μηχανισμών άμυνας μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού εισόδου των ιόντων στα κύτταρα των φυτών (Sonneveld et al., 1999a, Savvas et al., 2005 a). Τα ιόντα που είναι κυρίως υπεύθυνα για την αύξηση της EC είναι το Na^+ και το Cl^- , ενώ σε μικρότερο βαθμό μπορούν να είναι και τα ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} και HCO_3^- (Σάββας, 2001). Προφανώς οι μηχανισμοί ενεργού αποκλεισμού των αλάτων από το εσωτερικό των κυττάρων του κολοκυθίου οδήγησαν στην συσσώρευσή τους στο εξωτερικό θρεπτικό διάλυμα και επομένως και στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο παρόν πείραμα (Σχ. 3). Η τάση συσσώρευσης των ιόντων Na και Cl στο εξωτερικό θρεπτικό διάλυμα φαίνεται σαφώς στα Σχ. 14 και 15.

Οι μέγιστες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρήθηκαν στις μεταχειρίσεις με αυξημένες συγκεντρώσεις NaCl (35 mM) στο θρεπτικό διάλυμα, στο πείραμα ήταν υψηλές (11 dS m^{-1}) και προκάλεσαν αλατούχο καταπόνηση στα φυτά, αν και σύμφωνα με τους Lorenz and Maynard (1998) η κολοκυθιά είναι φυτό μετρίως ανθεκτικό στην αλατότητα, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα καλλιεργούμενα κολοκυνθοειδή που είναι ευαίσθητα στις υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων.

Η αύξηση της EC οφείλεται στη συσσώρευση ιόντων στο περιβάλλον των ριζών, ενώ η σταθεροποίησή της σε ένα μέγιστο επίπεδο μετά από ένα χρονικό διάστημα συνεχούς ανόδου φαίνεται ότι οφείλεται σε εξίσωση των αναλογιών εισόδου ιόντων/νερό στο χώρο των ριζών μέσω του θρεπτικού διαλύματος με τις αντίστοιχες αναλογίες απορρόφησής τους από τα φυτά (Savvas et al., 2006, Carmassi et al., 2005).



Οι μέγιστες τιμές της EC, στις οποίες επέρχεται η σταθεροποίηση εξαρτώνται από τη συγκέντρωση του NaCl στο νερό άρδευσης. Η παραπάνω θεώρηση συμφωνεί με τα αποτελέσματα του πειράματος (Σχ. 3), ενώ παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και στο παρελθόν από τους, Savvas *et al.* (2005a,b) για το αγγούρι, τους Savvas *et al.* (2007a) για το φασόλι, τους Carmassi *et al.* (2005) για την τομάτα, καθώς και τους Savvas *et al.* (2007b) για την πιπεριά.

Επομένως τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι, σε περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις αλάτων είναι χαμηλές στο νερό άρδευσης δεν έχουμε αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο περιβάλλον των ριζών, ενώ σε περιπτώσεις αυξημένων συγκεντρώσεων, η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο περιβάλλον των ριζών αυξάνεται κατά πολύ μέχρι να σταθεροποιηθεί σε υψηλές συγκεντρώσεις.

5.2. pH

Όπως παρατηρούμε από τα αποτελέσματα του Σχ. 4, το pH διατηρείται σταθερό και σε χαμηλά σχετικά επίπεδα σε όλες τις μεταχειρίσεις. Φαίνεται ότι η χρησιμοποίηση βρόχινου νερού στην παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων έπαιξε σημαντικό ρόλο στην διατήρηση του pH σε σχετικά χαμηλά επίπεδα.

Σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων με pH 5,5 πρέπει να ειπωθούν τα εξής: Το βρόχινο νερό, αμέσως μετά την παρασκευή του έχει pH 7, αφού δεν περιέχει τίποτε άλλο εκτός από νερό. Μόλις όμως εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα, το CO₂ αντιδρά με ορισμένα μόρια νερού, με τελική συνέπεια την παραγωγή ιόντων υδρογόνου. Το αποτέλεσμα είναι, το pH να πέφτει γύρω στο 5,8. Όταν λοιπόν χρησιμοποιείται απιονισμένο ή βρόχινο νερό, είναι εύκολο να διατηρηθεί το pH στην τιμή αυτή ή και να μειωθεί λίγο ακόμη (Σάββας, 1998).

Σύμφωνα με τους Rourphael *et al.* (2006) το κολοκύθι απορροφά περισσότερο Cl απ' ότι Na όταν αυξάνεται η συγκέντρωση NaCl στο περιβάλλον των ριζών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωση ανιόντων σε σχέση με τα κατιόντα. Ένα μέρος της αυξημένης απορρόφησης του Cl σε αυξημένη αλατότητα εξισορροπείται με μείωση της απορρόφησης των NO₃. Φαίνεται όμως ότι κατά ένα μέρος η αυξημένη απορρόφηση Cl εξισορροπείται ηλεκτροχημικά από το φυτό με αυξημένη αποβολή ανιόντων και ειδικότερα OH⁻ και HCO₃⁻ τα οποία



συμπεριφέροντε ως βάσεις αυξάνοντας το pH του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον των ριζών (Savvas et al., 2006).

5.3. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Οι δυσμενείς επιδράσεις της αλατότητας στα φυτά οφείλονται στην τοξικότητα των αλάτων και την έλλειψη νερού. Το νερό είναι ζωτικής σημασίας για όλες τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών και η μειωμένη απορρόφηση νερού αποτελεί την πιο άμεση συνέπεια της αυξημένης αλατότητας στο περιβάλλον των ριζών τους (Shalhevet and Hsiao, 1986, Munns, 1993). Στην παρούσα εργασία, η μεγαλύτερη αθροιστική κατανάλωση νερού παρατηρήθηκε στα φυτά της μεταχείρισης με τη χαμηλότερη συγκέντρωση NaCl (0,8 mM) στο νερό άρδευσης (Σχήμα 5), γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει την μείωση της κατανάλωσης νερού από τα φυτά με την αύξηση του επιπέδου της αλατότητας. Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξαν στο παρελθόν και άλλοι συγγραφείς, μεταξύ των οποίων οι Martinez-Ballesta *et al.* (2004) για την πιπεριά, οι Sonneveld and Van Der Burg (1991) για την τομάτα, την πιπεριά και το αγγούρι, οι Romero-Aranda *et al.* (2001), Ehret and Ho (1986) και Reina-Sanchez *et al.* (2005) για την τομάτα, οι Savvas *et al.* (2005b) και Sonneveld and de Kreij (1999) για το αγγούρι, οι Therios and Misopolinos (1988) και Chartzoulakis (2005) για την ελιά και οι Savvas *et al.* (2007a) και Meiri and Poljiakoff-Mayber (1970) για το φασόλι.

Η μείωση της κατανάλωσης νερού από τα φυτά με την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στο περιβάλλον της ρίζας μπορεί να οφείλεται στη μείωση μορφολογικών και/ή φυσιολογικών παραμέτρων όπως η διαφορά του οσμωτικού δυναμικού μεταξύ ριζοστρώματος και κόμης του φυτού (Sheldon *et al.*, 2004, Therios and Misopolinos, 1988), το μέγεθος (φυλλική επιφάνεια) των φυτών (Schwarz and Kuchenbuch, 1998), καθώς και η διαπνοή και στοματική αγωγιμότητά τους (κλείσιμο στοματίων) (Martinez-Ballesta *et al.*, 2004, Navarro *et al.*, 2003, Raviv *et al.*, 2002, Romero-Aranda *et al.*, 2001).

Σύμφωνα με τον Sonneveld (2000), η ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν νερό και θρεπτικά στοιχεία εξαρτάται από το είδος του φυτού, καθώς επίσης και από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν κατά την ανάπτυξή τους.

Ο περιορισμός της πρόσβασής των φυτών στο διαθέσιμο εδαφικό νερό λόγω αύξησης της αλατότητας, οδηγεί σε απώλεια της σπαργής τους (Martinez-Ballesta *et*



al., 2004), γεγονός το οποίο συνεπάγεται μεταξύ άλλων, περιορισμό του ρυθμού εμφάνισης των φύλλων και της κυτταρικής αύξησης των φυτών και τελικά μείωση των ρυθμών φωτοσύνθεσης και αύξησής τους (Munns, 2002). Ο μηχανισμός παρεμπόδισης της αύξησης ποικίλει ανάλογα με το χρόνο. Έτσι, αρχικά οφείλεται στην οσμωτική καταπόνηση των φυτών (έλλειψη νερού), παρά στην επίδραση των τοξικών ιόντων. Οι αυξητικές παράμετροι που επηρεάζονται άμεσα από την μειωμένη κατανάλωση νερού από τα φυτά και αποτελούν δείκτες της υδατικής καταπόνησής τους, είναι το νωπό και ξηρό βάρος, η αναλογία N.B./Ξ.B., η επιμήκυνση του βλαστού και η αύξηση της φυλλικής επιφάνειας (Greenway and Munns, 1980).

Οι Lycoskoufis *et al.* (2005), ανέφεραν ότι, η έκθεση ολόκληρου ή μέρους του ριζικού συστήματος της πιπεριάς σε αλατούχο θρεπτικό διάλυμα, περιόρισε σε σημαντικό βαθμό την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας των φυτών, γεγονός το οποίο οφείλεται στη μείωση του αριθμού των φύλλων ανά φυτό και σε μικρότερο βαθμό στη μείωση του μεγέθους του φύλλου. Σύμφωνα επίσης με τους Schwarz and Kuchenbuch (1998), η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος από 1 σε 9 dS m⁻¹, προκάλεσε μείωση κατά 60% της κατανάλωσης νερού στα φυτά της τομάτας, γεγονός το οποίο ήταν αποτέλεσμα της μείωσης της φυλλικής επιφάνειας των φυτών σε ποσοστό 20%. Η ελάττωση της συνολικής διαπνεύουσας επιφάνειας και της αγωγιμότητας των στοματίων ως αποτέλεσμα υψηλής αλατότητας, αναφέρεται επίσης και από τους Chartzoulakis and Klaraki (2000) στην πιπεριά, τον Chartzoulakis (1994) και Sonneveld (2000) στο αγγούρι, τους Li and Stanghellini (2001) στην τομάτα και τους Savvas *et al.* (2007) στο φασόλι.

Τέλος, στην παρούσα εργασία φαίνεται ότι η προσθήκη Si στο θρεπτικό διάλυμα τροφοδοσίας σε συνθήκες υψηλής αλατότητας έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών και ως εκτούτου προκαλεί μεγαλύτερη κατανάλωση νερού σε σχέση με τα φυτά όπου δεν χορηγήσαμε Si.

5.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na⁺ και Cl ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ

Φαίνεται ότι το Na και το Cl αυξάνονται ελαφρώς στην πορεία ανάπτυξης των φυτών με την αύξηση της ηλικίας της καλλιέργειας. Αυτό είναι λογικό γιατί τα φυτά



τήνουν να αποκλείουν το Na και Cl από το εσωτερικό των κυττάρων με συνέπεια τη συσσώρευση τους στο περιβάλλον των ριζών (Bethke and Drew, 1992, Aktas *et al.*, 2006).

Επειδή όμως το σύστημα ήταν ανοιχτό και εφαρμόστηκε ένα κλάσμα έκπλυσης, δηλ. στο διάλυμα που χορηγούνταν στην καλλιέργεια περιλαμβανόταν και μια ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που αποσκοπούσε στην έκπλυση αλάτων. Επομένως επειδή ένα μεγάλο μέρος των αλάτων εκπλυνόταν ο ρυθμός συσσώρευσης ήταν χαμηλός.

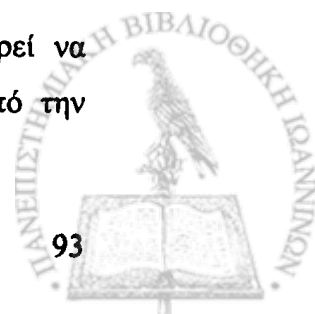
5.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΡΙΖΩΝ

Ο ρυθμός απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Adams and Massey, 1984), τα κλιματικά δεδομένα που επικρατούν σε μια δεδομένη χρονική στιγμή (Sonneveld and van den Bos, 1995) και την παρουσία αλάτων στο περιβάλλον των ριζών (Sonneveld, 2000). Στην παρούσα εργασία δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι στο παρόν πείραμα η απορρόφηση των μακροκατιόντων K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} , δεν επηρεάστηκε από την αυξημένη συγκέντρωση NaCl στο περιβάλλον των ριζών.

5.6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ Na^+ και Cl ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

Η υψηλή αλατότητα μπορεί να ζημιώσει τα φυτά λόγω συσσώρευσης Na^+ και Cl^- στους μεταβολικά ευαίσθητους φυτικούς ιστούς (Munns, 1993, 2002). Έχει αποδειχθεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ και Cl^- στο κυτταρόπλασμα δρουν τοξικά μειώνοντας την ενεργότητα ορισμένων ενζύμων (Greenway and Osmond, 1972; Greenway and Munns, 1980; Kuiper *et al.*, 1988) με τελικό αποτέλεσμα τη διατάραξη του μεταβολισμού και τη συγκέντρωση ενδιάμεσων τοξικών προϊόντων στο φυτό (Zhu, 2001).

Η προσθήκη πυριτίου παρουσιάζει μια σημαντική επίδραση που μπορεί να μετριάσει την μείωση της καθαρής απορρόφησης η οποία προκαλείται από την



αλατότητα. Αυτή είναι η μειωμένη δυνατότητα διακίνησης του Na και του Cl στα φωτοσυνθετικά ενεργά φύλλα των φυτών που περιέχουν Si σε σύγκριση με τα φυτά που δεν περιέχουν πυρίτιο. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα σχήματα 11 και 12 δείχνουν καθαρά μια ανασταλτική επίδραση του Si στη διακίνηση Na και του Cl στους βλαστούς των κολοκυθιών, σύμφωνα με παρόμοιες εκθέσεις που αφορούν το Na στο ρύζι (Matoh et al., 1986; Yeo et al., 1999; Gong et al., 2006), το σιτάρι (Ahmad et al., 1992), και το κριθάρι (Liang, 1999), όπως το Na και το Cl στην τριανταφυλλιά (Savvas et al., 2007). Από την άλλη μεριά, οι Romero-Aranda et al. (2006), δεν βρήκαν καμία άλλη επίδραση του πυριτίου στη λήψη του Na και Cl από την ντομάτα κάτω από συνθήκες υψηλής εξωτερικής συγκέντρωσης NaCl, αν και το Si μετρίασε σαφώς την ανασταλτική επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών. Οι Matoh et al., (1986) απέδωσαν τη μείωση της λήψης Na που προήλθε από το Si στο ρύζι στον περιορισμό της εφίδρωσης λόγω της απόθεσης πυριτίου στα κυτταρικά τοιχώματα των φύλλων. Εντούτοις, η σχετική με το Si μείωση της καθαρής διαπνοής δεν θα μπορούσε να μετρηθεί ούτε στην παρούσα εργασία, ούτε στην έρευνα των Yeo et al. (1999), και των Gong et al. (2006). Αντίθετα, στην παρούσα εργασία το Si βρέθηκε να αυξάνει το ποσοστό καθαρής διαπνοής στο κολοκύθι κάτω και από συνηθισμένες συνθήκες και από συνθήκες υψηλής αλατότητας. Επίσης μια παρόμοια περίπτωση στο Si παρατηρήθηκε επίσης στο ρύζι (Gong et al., 2006). Οι Yeo et al. (1999) και οι Gong et al. (2006) απέδωσαν τη μείωση της λήψης Na στα φυτών με Si, στον περιορισμό του ποσοστού του όγκου του εξατμιζόμενου ύδατος που διασχίζει τη ρίζα προς τα αγγεία του ξύλου ακολουθώντας αποπλασμική διαδρομή. Η τελευταία προσέγγιση, που επιβεβαιώθηκε από τις άμεσες μετρήσεις της transpirational bypass flow στα φυτά που προστέθηκε ή όχι Si (Gong et al., 2006), συμφωνεί με τα αποτελέσματά μας.

5.7. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} ΣΤΟΥΣ ΦΥΤΙΚΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

Γενικά, η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης των μακροκατιόντων στα φύλλα γλυκοφυτικών φυτών και της συγκέντρωσης του NaCl στο περιβάλλον των ριζών τους εξαρτάται τόσο από το είδος του φυτού, όσο και από το κατιόν και τον τρόπο



που αυτό αλληλεπιδρά με τα ιόντα Na^+ και Cl^- , αλλά και τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία (Greenway and Munns, 1980, Grattan and Grieve, 1999, Dorais et al., 2001). Ιδιαίτερα για το ιόν του K^+ αναφέρεται ότι, συνήθως, η αύξηση της αλατότητας και/ή του λόγου $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ στο περιβάλλον των ριζών οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσης του ιόντος στα φύλλα των φυτών λόγω ανταγωνισμού στην απορρόφηση μεταξύ των ιόντων K^+ και Na^+ . Παρόλα αυτά σε άλλα φυτά, και ιδιαίτερα σε φυτά ευαίσθητα στην αλατότητα που συσσωρεύουν Na^+ στους βλαστούς, το K^+ μπορεί να απορροφάται με έντονο ρυθμό παρά τη μεγάλη συγκέντρωση του Na^+ στο περιβάλλον των ριζών με αποτέλεσμα να παρατηρείται ακόμη και αύξηση της συγκέντρωσης του στα φύλλα (Greenway and Munns, 1980, Grattan and Grieve, 1999).

Υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ και Cl^- στο εδαφικό διάλυμα, προκαλούν χαμηλές ενεργότητες θρεπτικών ιόντων και ακραίες αναλογίες Na^+/Ca^+ , Na^+/K^+ , Ca^+/Mg^+ και $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ στους φυτικούς ιστούς, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θρεπτικών διαταραχών στα φυτά και την περαιτέρω μείωση της ανάπτυξης, παραγωγής και της ποιότητάς τους (Greenway and Munns, 1999, Flowers *et al.*, 1977). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι θρεπτικές ανισορροπίες στα καταπονημένα από αλατότητα φυτά, μπορούν να προκύψουν από την επίδρασή της στη διαθεσιμότητα, στην ανταγωνιστική απορρόφηση, στη μεταφορά ή κατανομή των θρεπτικών στοιχείων μέσα στο φυτό ή μπορούν να προκληθούν από τη φυσιολογική αδρανοποίηση ενός στοιχείου, προκαλώντας τη ζήτησή του από το φυτό (Grattan and Grieve, 1994). Δύο ή περισσότερες από αυτές τις διαδικασίες μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα, όμως το αν θα επηρεάσουν την απόδοση μιας καλλιέργειας ή την ποιότητα των προϊόντων εξαρτάται από το επίπεδο της αλατότητας, τη σύνθεση των αλάτων, το είδος της καλλιέργειας και κάποιους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Grattan and Grieve, 1999).

Για το ιόν του K^+ αναφέρεται συνήθως ότι, η αύξηση της αλατότητας και/ή του λόγου $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ στο περιβάλλον των ριζών οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσής του στους φυτικούς ιστούς (Lopez and Satti, 1996). Η διαπίστωση αυτή συμφωνεί με τα αποτελέσματα του πειράματός μας. Οι Lycoskoufis *et al.* (2005) παρατήρησαν ότι η συγκέντρωση του K^+ στα φύλλα της πιπεριάς μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων στη ρίζα, ενώ η έκθεση μέρους ή ολόκληρου του ριζικού συστήματος στην αλατότητα δεν είχε καμία επίπτωση στα επίπεδα του ιόντος. Για το



αγγούρι βρέθηκε ότι η μείωση του K^+ στα φύλλα των φυτών παρατηρήθηκε μόνο όταν οι συγκεντρώσεις NaCl στο εξωτερικό διάλυμα ήταν μεγαλύτερες από 30 mM (Savvas *et al.*, 2005b) χωρίς να είναι αποτέλεσμα της υποκατάστασής του από το Na^+ , ενώ σε άλλη εργασία αποδόθηκε σε αυτό το γεγονός (Stepien and Klobus, 2006). Επίσης, αύξηση της συγκέντρωσης NaCl οδήγησε σε μειωμένη συγκέντρωση K^+ στους καρπούς, τις ρίζες, τα νεαρά και παλιά φύλλα της αγγουριάς (Trajkova *et al.* 2006), καθώς και στις ρίζες και τα παλιά φύλλα της ελιάς (Chartzoulakis, 2005). Τέλος, οι Bayuelo-Jimenez *et al.* (2003) σε πείραμα που πραγματοποίησαν σε τέσσερα άγρια και δύο καλλιεργούμενα είδη φασολιάς, διαπίστωσαν μείωση της συγκέντρωσης του ιόντος στις ρίζες και τα στελέχη όλων των ειδών, καθώς και στα φύλλα των *P. acutifolius*, *P. vulgaris* και *P. vulgaris* (άγριο), ενώ στα υπόλοιπα είδη, η συγκέντρωσή του στα φύλλα μειώθηκε.

Παρόλα αυτά σε άλλα φυτά, και ιδιαίτερα σε φυτά ευαίσθητα στην αλατότητα που συσσωρεύουν Na^+ στους βλαστούς, το K^+ μπορεί να απορροφάται με έντονο ρυθμό παρά τη μεγάλη συγκέντρωση του Na^+ στο περιβάλλον των ριζών με αποτέλεσμα να παρατηρείται ακόμη και αύξηση της συγκέντρωσης του στα φύλλα (Seemann and Critchley, 1985, Greenway and Munns, 1980, Grattan and Grieve, 1999). Εντούτοις, οι De Pascale *et al.* (2003) και οι Chartzoulakis and Klapaki (2000), διαπίστωσαν ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο νερό άρδευσης δεν προκάλεσαν καμία σημαντική αλλαγή στη συγκέντρωση του K^+ στα φύλλα και τους καρπούς της πιπεριάς, καθώς και στα φύλλα, τους καρπούς και τις ρίζες της μελιτζάνας (Savvas and Lenz, 2000). Αυτά τα αντικρουόμενα αποτελέσματα είναι πιθανόν να οφείλονται σε διαφορές στο είδος ή την ποικιλία του φυτού, στην φυσιολογική ηλικία των εξετασθέντων φυτικών ιστών, καθώς και σε αλληλεπιδράσεις με άλλα θρεπτικά στοιχεία (π.χ. συγκέντρωση Ca και O_2 στο περιβάλλον των ριζών).

Για τα ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} έχει αναφερθεί ότι η υψηλή αλατότητα συνήθως προκαλεί μείωση στη συγκέντρωσή τους στους φυτικούς ιστούς διαφόρων φυτών (Grattan and Grieve, 1992, Savvas and Lenz, 1994, Sanchez-Raya and Delgado, 1996). Ειδικότερα, τα αυξημένα επίπεδα NaCl στο θρεπτικό διάλυμα προκαλούν μείωση των ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} στα φύλλα της πιπεριάς (Bethke and Drew, 1992, Gomez *et al.*, 1996, Martinez-Ballesta *et al.*, 2004). Σύμφωνα με τους Savvas *et al.* (2007b), οι συγκεντρώσεις των δύο ιόντων στα φύλλα της πιπεριάς παρουσίαζαν την ίδια εικόνα με αυτή του K^+ και μειώνονταν μόνο στη μεταχείριση με την υψηλή



συχνότητα άρδευσης. Επίσης, οι Cabanero et al. (2004, 2006) διαπίστωσαν μείωση της συγκέντρωσης Ca^{2+} στις ρίζες και τα φύλλα της πιπεριάς με την αύξηση της αλατότητας, ενώ οι De Pascale et al. (2003) μείωση του ιόντος στους καρπούς. Οι Lycoskoufis et al. (2005) υποστήριξαν ότι σε αυξημένη αλατότητα, οι συγκεντρώσεις του Ca^{2+} και του Mg^{2+} στα φύλλα της πιπεριάς μειώθηκαν, όμως η μείωση αυτή δεν προκάλεσε τροφοπενίες στα φυτά και ήταν πολύ πιο περιορισμένη όταν μέρος της ρίζας βρισκόταν μέσα σε καθαρό νερό. Όλα τα παραπάνω συμφωνούν σε γενικές γραμμές για το Ca^{2+} , καθώς και για το Mg^{2+} στους καρπούς, τις ρίζες και τα στελέχη των φυτών πιπεριάς (Χατζηευστρατίου 2007). Στο πείραμα μας διαπιστώσαμε στα νεαρά φύλλα κολοκυθιού, στις 3 δειγματοληψίες σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης και σε συνθήκες υψηλής αλατότητας έχουμε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Ca^{2+} και Mg^{2+} . Η προσθήκη Si φαίνεται να προκάλεσε μια μικρή μείωση στις παραπάνω συγκεντρώσεις προς το τέλος του πειράματος. Στους υπόλοιπους φυτικούς ιστούς παρατηρήθηκε επίσης αύξηση των συγκεντρώσεων Ca^{2+} και Mg^{2+} στις ρίζες και τα παλαιά φύλλα, ενώ αντιθέτως στα στελέχη παρουσιάστηκε σημαντική μείωση. Η προσθήκη Si δεν φαίνεται να επηρέασε τις συγκεντρώσεις στους παραπάνω φυτικούς ιστούς.

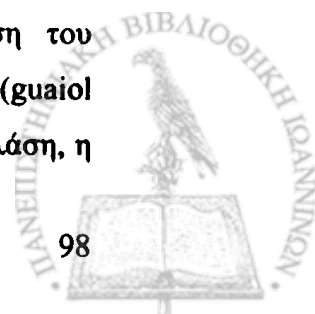
5.8. ΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Από τα αποτελέσματά μας, συμπεραίνουμε ότι η προσθήκη Si σε μια συγκέντρωση 1 mM μέσω του θρεπτικού διαλύματος τροφοδοσίας σε υδροπονική καλλιέργεια νωπού κολοκυθιού, μπορεί να μετριάσει τις αρνητικές επιπτώσεις της αυξημένης αλατότητας στη βλαστική ανάπτυξη αλλά και στην παραγωγή καρπών (Savvas et al., 2007). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με προηγούμενες αναφορές σχετικά με τις ευεργετικές επιδράσεις του Si στην ανάπτυξη και παραγωγή των διαφόρων καλλιεργούμενων φυτικών ειδών κάτω από συνθήκες στρες προερχόμενου από αυξημένη αλατότητα, όπως το ρύζι (Matoh et al., 1986), *Prosopis juliflora* (Bradbury and Ahmad, 1990), σιτάρι (Ahmad et al., 1992), κριθάρι (Liang et al., 1996), αγγούρι (Zhu et al., 2004), και τομάτα (Al-aghaby et al., 2004; Romero-Aranda, 2006). Στην υψηλή αλατότητα, η προσθήκη Si στο θρεπτικό διάλυμα αυξάνει



και την νωπή και την ξηρή μάζα σε όλα τα μέρη του φυτού, ειδικότερα στις ρίζες, τους βλαστούς και τους καρπούς, το οποίο συνεπάγεται ότι το Si βελτιώνει την καθαρή φωτοσύνθεση. Οι μετρήσεις της ανταλλαγής αερίων αποκαλύπτουν ότι το Si προκαλεί αύξηση της βιομάζας ολόκληρου του φυτού κάτω από συνθήκες έντονης καταπόνησης λόγω αυξημένης αλατότητας, εξαιτίας του βαθμού εμπλουτισμού της καθαρής απορρόφησης του CO₂. Παρόμοια αποτελέσματα εκθέτονται από τον Li et al. (2007) για τον αραβόσιτο. Μια μικρότερη παρεμπόδιση της καθαρής φωτοσύνθεσης από την αλατότητα παρατηρείται στα φυτά που αναπτύσσονται με Si, σε σύγκριση με τα φυτά που αναπτύσσονται στο ίδιο επίπεδο αλατότητας χωρίς Si. Η ίδια διαπίστωση έχει αναφερθεί επίσης για το κριθάρι (Liang, 1998), το ρύζι (Yeo et al., 1999), και την τομάτα (Romero-Aranda et al., 2006). Η αλατότητα μπορεί να περιορίσει την καθαρή απορρόφηση, είτε εξαιτίας της μείωσης του εμπλουτισμού σε CO₂ που προκύπτει από ένα μερικό κλείσιμο του ανοίγματος των στομάτων, είτε με την εξασθένιση του βιοχημικού μηχανισμού της δέσμευσης CO₂, ανεξάρτητα από τον διαφορετικό ρυθμό διάχυσης του CO₂, είτε και από τις δύο διαδικασίες μαζί (Greenway and Munns, 1980; Seemann and Critchley, 1985). Επιπλέον, μια πτώση και στην καθαρή φωτοσύνθεση και στην αγωγιμότητα των στομάτων χωρίς μια αντίστοιχη μείωση της μεσοκυττάριας συγκέντρωσης του CO₂ μπορεί να ερμηνευθεί ως άμεση επίδραση του NaCl στον μηχανισμό της δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα (Brugnoli and Lauteri, 1991). Στη παρούσα μελέτη η υποστομάτια συγκέντρωση του CO₂ δεν επηρεάστηκε ούτε από την αλατότητα ούτε από το Si, ενώ η αγωγιμότητα των στομάτων περιορίστηκε από την αλατότητα και αυτή η επίδραση ήταν εντονότερη στις μεταχειρίσεις που δεν περιείχαν επιπλέον Si. Ως εκ τούτου, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η μείωση της καθαρής απορρόφησης στα φυτά κολοκυθίου που εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα αλατότητας που κυμαίνονται κοντά σε 8 dS μ⁻¹ ή μεγαλύτερα, είναι τουλάχιστον εν μέρει ένα αποτέλεσμα της βιοχημικής παρεμπόδισης σε επίπεδο χλωροπλαστών, ενώ παρουσιάζεται επίσης και η βελτιωμένη δράση του Si σε εκείνο το επίπεδο.

Διάφοροι μηχανισμοί μπορούν να περιληφθούν στην καταπραυντική επίδραση του πυριτίου στην μείωση της ανταλλαγής αερίων κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας. Ένας πιθανός μηχανισμός μπορεί να είναι μια προστατευτική επίδραση του πυριτίου σε σημαντικά αντιοξειδωτικά ένζυμα όπως η δισμουτάση του υπεροξειδίου (superoxide dismutase), η υπεροξειδάση της γουαιόλης (guaiol peroxidase), η υπεροξειδάση του ασκορβικού (ascorbate peroxidase), η καταλάση, η



ρεδουκτάση της γλουταθειόνης (glutathione reductase), και η H^+ -ΑΤΡάση των ριζών (Liang et al., 2003; Al-aghabari et al., 2004; Liang et al., 2006). Σύμφωνα με τις παραπάνω αναφορές, το Si ενισχύει τη δραστηριότητα των αντιοξειδωτικών ενζύμων. Κατά συνέπεια, η περατότητα της κυτταρικής μεμβράνης (πλασμαλήματος) μειώνεται ενώ αυξάνεται η ακεραιότητα, σταθερότητα και λειτουργικότητά της, η λεπτή δομή των χλωροπλαστών βελτιώνεται και η υπεροξείδωση των λιπιδίων μειώνεται (Liang et al., 2005).

5.9. ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΩΝ ΚΑΡΠΩΝ(%)

Στην παρούσα εργασία, το μεγαλύτερο ποσοστό εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό παρατηρήθηκε στα φυτά της μεταχείρισης με επίπεδα χαμηλής αλατότητας με ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ και πυρίτιο σε συγκέντρωση 1 mM ($97,06 \pm 0,32$), ενώ στη μεταχείριση όπου είχαμε χαμηλή αλατότητα και απουσία πυριτίου το ποσοστό ήταν $1,90\%$ μικρότερο ($95,21 \pm 0,53$). Στις μεταχειρίσεις που είχαμε επίπεδα υψηλής αλατότητας (EC = $6,2 \text{ dS m}^{-1}$), το ποσοστό εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό ήταν σχεδόν ίδιο και στις δυο (σε αυτή χωρίς πυρίτιο και σε αυτή με συγκέντρωση πυριτίου 1 mM) χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στις μεταχειρίσεις με υψηλά επίπεδα αλατότητας η μείωση του ποσοστού υπήρξε αρκετά μεγάλη και κυμάνθηκε από $6,57\%$ έως και $8,68\%$.

Όσον αφορά το συνολικό βάρος καρπών ανά φυτό, η μεγαλύτερη τιμή ($98,75 \pm 0,27$) παρατηρήθηκε και πάλι στα φυτά της μεταχείρισης με επίπεδα χαμηλής αλατότητας με ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ και πυρίτιο σε συγκέντρωση 1 mM , ενώ στη μεταχείριση όπου είχαμε χαμηλή αλατότητα και απουσία πυριτίου το συνολικό βάρος καρπών ήταν $1,25\%$ μικρότερο ($97,51 \pm 0,40$). Στις μεταχειρίσεις που είχαμε επίπεδα υψηλής αλατότητας (EC = $6,2 \text{ dS m}^{-1}$), το συνολικό βάρος καρπών ανά φυτό ήταν σχεδόν ίδιο και στις δυο (σε αυτή χωρίς πυρίτιο και σε αυτή με συγκέντρωση πυριτίου 1 mM) χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στις μεταχειρίσεις με υψηλά επίπεδα αλατότητας η μείωση του βάρους καρπών ανά φυτό δεν υπήρξε αρκετά μεγάλη, αλλά κυμάνθηκε από $2,10\%$ έως και $3,16\%$.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το ποσοστό του αριθμού των εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό, μειώνεται με την αύξηση του επιπέδου της αλατότητας. Σύμφωνα

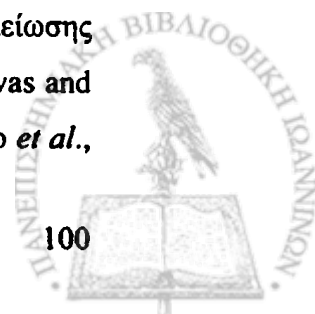


με βιβλιογραφικά δεδομένα, η κολοκυθιά μπορεί να καλλιεργηθεί χωρίς να σημειωθεί μείωση της παραγωγής της σε εδάφη που παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μέχρι και 4,7 dS/m στο εκχύλισμα κορεσμού τους, ενώ από εκεί και πάνω η παραγωγή μειώνεται γραμμικά με ρυθμό 9% ανά μονάδα αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Εντούτοις, φαίνεται ότι η αύξηση του επιπέδου της αλατότητας επηρεάζει αρνητικά το σχηματισμό εμπορεύσιμων καρπών με αποτέλεσμα την επιπλέον μείωση της παραγωγής. Ένας σημαντικός παράγοντας της μείωσης των ποσοστών εμπορεύσιμων καρπών είναι η έντονη καταπόνηση που δέχονται τα φυτά από τα υψηλά επίπεδα αλατότητας η οποία οδηγεί στον σχηματισμό λιγότερων εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό οι οποίοι επιπλέον έχουν και μικρότερο βάρος.

Η επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης αλάτων στην παραγωγή εξαρτάται κυρίως από τα καλλιεργούμενα είδη, τη συνολική συγκέντρωση αλάτων στο περιβάλλον των ριζών, το είδος των αλάτων, την ανθεκτικότητα του φυτικού είδους στην αλατότητα, τη διάρκεια έκθεσης των φυτών στην αλατότητα, τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες και τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος (Dorais *et al.*, 2001, del Amor *et al.*, 1999, 2000, Chartzoulakis and Klapaki, 2000, Cornillon and Palloix, 1997, Sonneveld, 1988).

Σύμφωνα με το μοντέλο των Maas and Hoffman (1977) η παραγωγή των καλλιεργούμενων φυτών μειώνεται γραμμικά όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα στην περιοχή της ρίζας αυξάνεται πάνω από ένα όριο t (οριακή τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για άριστη παραγωγή). Με βάση το μοντέλο αυτό έχουν προσδιοριστεί οι τιμές t και s (ποσοστό μείωσης παραγωγής ανά μονάδα αύξησης της EC πάνω από t) για μια σειρά λαχανοκομικών και ανθοκομικών ειδών, οι οποίες όμως ισχύουν για συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες (Sonneveld, 1988) και μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ηλιακή ακτινοβολία (Helal and Mengel, 1981, Sonneveld and Welles, 1988, Shannon and Grieve, 1998). Με βάση τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία είναι λογική μια μείωση της παραγωγής στα επίπεδα υψηλής αλατότητας, σε σχέση με αυτή στα επίπεδα χαμηλής αλατότητας.

Η αλατότητα ελαττώνει την απόδοση των καλλιεργούμενων κηπευτικών μέσω κυρίως της μείωσης του μέσου βάρους των καρπών και λιγότερο μέσω της μείωσης του αριθμού των καρπών ανά φυτό (Adams and Ho, 1989, Adams, 1991, Savvas and Lenz, 1994, Plaut, 1997, Sakamoto *et al.*, 1999, Del Amor *et al.*, 2001, Maggio *et al.*,



2004). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα μέτρια επίπεδα αλατότητας έχουν επιπτώσεις στο μέσο βάρος των καρπών, ενώ ο αριθμός των καρπών μειώνεται μόνο σε σχετικά υψηλά επίπεδα αλατότητας (Adams and Ho, 1989, Adams, 1991, Μαντρογιαννοπουλος *et al.*, 1999, Navarro *et al.*, 2002). Στο παρόν πείραμα όπου έχουμε συνθήκες υψηλής αλατότητας έχουμε και μείωση του αριθμού των καρπών ανά φυτό αλλά και μείωση του βάρους των καρπών ανά φυτό. Την ίδια διαπίστωση έκαναν και οι Savvas *et al.* (2006) και Trajkova *et al.* (2006) για το αγγούρι, ενώ ο Chartzoulakis (2000) παρατήρησε σταθερότητα σε μέτρια επίπεδα αλατότητας στον αριθμό των καρπών ανά φυτό και σημαντική μείωση του μέσου βάρους τους.

Το πυρίτιο βελτίωσε τόσο τον αριθμό όσο και το βάρος των εμπορεύσιμων καρπών ανά φυτό κυρίως στα επίπεδα χαμηλής αλατότητας. Δεν παρατηρείται όμως σχεδόν καμία μεταβολή στα ποσοστά του αριθμού και του βάρους των καρπών ανά φυτό στα επίπεδα υψηλής αλατότητας. Επομένως το ποσοστό του αριθμού και του βάρους των εμπορεύσιμων καρπών επηρεάζεται μόνο σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας από το επίπεδο παροχής Si στα φυτά μέσω του θρεπτικού διαλύματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams, P., Massey, D.M., 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. In: Proceedings, 6th Intern. Congr. Soilless Culture. ISOSC, Wageningen, The Netherlands, pp. 71-79.
- Adams, P., Ho, L.C., 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hort. Sci.* 64, 725-732.
- 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: D. Savvas and H.C. Passam (eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, p. 211 – 261.
- Ahmad R., Zaheer S. and Ismail S.1992: role of silicon on salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) *Plant Sci.* 85 (43-50).
- Aktas, H., Abak, K., Cakmak, I., 2006. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Sci. Hort.* 110, 260-266.
- Al-aghabary, K., Zhu, Z., Shi, Q, 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *J. Plant Nutr.* 12, 2101-2115.
- Barrett-Lennard, E. G., 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant and Soil*, 253: 35 – 54.

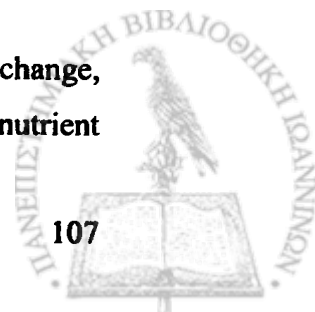
- Bayuelo-Jiménez, J.S., Debouck, D.G., Lynch, J.P., 2003. Growth, gas exchange, water relations and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. *Field Crops Research* 80, 207-222.
- Benoit, F., 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. European vegetable R&D center, Belgium, pp. 2 – 34.
- Bethke, P.C., Drew, M.C., 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. *Plant Physiol.* 99, 219-226.
- Boyer, J.S., 1982. Plant productivity and the environment. *Science* 218: 443-448
- Bradbury M. and Ahmad R. 1990: the effect of silicon on the growth of *Prosopis juliflora* growing in saline soil. *Plant soil* 125 (71-78).
- 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 non-halophytes. *Plant Physiol.* 95, 628-635.
- Cabañero, F.J., Martínez, V., Carvajal, M., 2004. Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants, or is it flux which determines calcium uptake? *Plant Sci.* 166, 443-450.
- Cabañero, F.J., Martínez-Ballesta, M.C., Teruel, J.A., Carvajal, M., 2006. New evidence about the relationship between water channel activity and calcium in salinity stressed pepper plants. *Plant cell Physiol.* 47, 224-233.
- Campbell, R.C. and Plank O.C., 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. In: Kalra, Y.P.(eds): *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 37 – 49.

- Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F. and Pardossi, A., 2005. Modelling salinity build-up in recirculating nutrient solution culture. *J. Plant Nutr.*, 28: 431 – 445.
- Chartzoulakis, K. S., 1994. Photosynthesis, water relations and leaf growth of cucumber exposed to salt stress. *Sci. Hort.* 59, 27 – 35.
- Chartzoulakis, K. and Klapaki, G., 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hort.*, 86: 247 – 260.
- Chartzoulakis, K.S., 2005. Salinity and olive: Growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. *Agricultural Water Management* 78, 108-121.
- Cooper, A.J., 1979. *The ABC of NFT*. Grower Books, London.
- Cornillon, P., Palloix, A., 1997. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *J. Plant Nutr.* 20, 1085-1094.
- De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., Maggio, A., 2003. Physiological response of pepper to salinity and drought. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128, 48-54.
- Del Amor, F.M., Martinez, V., Cerda, A., 1999. Salinity Duration and Concentration Affect Fruit Yield and Quality, and Growth and Mineral Composition of Melon Plants Grown in Perlite. *HortScience* 34, 1234 – 1237.
- Del Amor, F.M., Martinez, V., Cerda, A., 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *Hortiscience* 36, 1260-1263.
- Dorais, M., Papadopoulos, A., Gosselin, A., 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21, 367 – 383.

- Eaton, A.D., Clesceri, L.S. and Greenberg, A.E. (eds), 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed., American Public Health Association, Washington, USA.
- Ehret, D.L., Ho, L.C., 1986. The effect of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes growing in nutrient film culture. *J. Hort. Sci.* 61, 361-367.
- Epstein E. 1999: Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50 (641-664).
- Flowers, T.J., Troke, P.F., Yeo, A.R., 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28, 89-121.
- Gomez, I., Navvaro Pedreno, J., Moral, L., Iborra, M.R., Palacios, G. and J., Mataix, 1996. Salinity and nitrogen fertilization affecting the macro-nutrient content and yield of sweet pepper plants. *J. Plant Nutr.* 19: 353-359.
- Grattan, S.R., Grieve, C. M., 1992. Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environment. *Agr. Ecosyst. Environ.* 38, 275-300.
- Grattan, S.R., Grieve, C. M., 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hort.* 78, 127-157.
- Greenway, H., Osmond, C.B., 1972. Salt responses of enzymes from species differing in salt tolerance. *Plant Physiol.* 49, 256-259.
- Greenway, H. and H., Munns, 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J-K. and HJ., Bohnert, 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Ann.Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:463-499.

- Helal, H.M., Mengel, K., 1981. Interaction between light intensity and NaCl salinity and their effects on growth, CO₂ assimilation, and photosynthate conversion in young broad beans. *Plant Physiol.* 67, 999-1002.
- Hewitt, E. J., 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical communication No 22 (revised). Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Malling, Maidstone, Kent, U.K.
- Jian -Kang Zhu, 2001. Plant salt tolerance. Review Article *Trends in Plant Science* 6: 66-71.
- Jones, Jr. J. B., 1982. Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies. *J. Plant Nutr.*, 5: 1003 – 1030.
- Κωνσταντινίδου, Ε.Ι.Α., 2003. Φυσιολογία αβιοτικών καταπονήσεων. Στο: Ρουμπελάκη – Αγγελάκη, Κ.Α. (επιμέλεια): Φυσιολογία φυτών. Από το μόριο στο περιβάλλον. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, σ. 555 - 620.
- Kuiper, P.J.C., Kuiper, D., Schuit, J., 1988. Root functioning under stress conditions. An introduction. *Plant Soil* 111, 249-253.
- Lefevre, I., Gratia, E., Lutts, S., 2001. Discrimination between the ionic and osmotic components of salt stress in relation to free polyamine level in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Sci.* 161, 943-952.
- Li, Y. L., Stanghellini, C., 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Sci. Hort.* 89, pp. 9-21 .
- Li, Q.-F., Ma, C.-C., Shang, Q.-L., 2007. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. *Chinese J. Appl. Ecol.* 18, 531-536.
- Liang Y.C., Shen Q.R., Shen Z.G. and Ma T.S. 1996: Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *J. Plant Nutr.* 19 (173-183).

- Liang, Y.C., 1998. Effects of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity in barley under salt stress. *Pedosphere* 8, 289-296.
- Liang Y.C. 1999: Effects of silicin on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barely under salt stress. *Plant soil* 209 (217-224).
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., Ding, R., 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Plant Physiol.* 160, 1157-1164.
- Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q., Ding, R., 2005. Effects of silicon on tonoplast H⁺-ATPase and H⁺-PPase activity, fatty acid composition and fluidity in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environ. Exp. Bot.* 53, 29-37.
- Liang, Y.C., Sun, W.C., Si, J., Römheld, V., 2005. Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. *Plant Pathol.* 54, 678-685.
- Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q., Liu, Y., Ding, R., 2006. Effect of exogenous silicon (Si) on H⁺-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environ. Exp. Bot.* 57, 212-219.
- Liu, L., 1998. Determination of Chloride in Plant Tissue. In: Kalra, Y.P.(eds): *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 37 – 49.
- Lopez, M.V., Satti, S.M.E., 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Sci.* 114, 19-27.
- Lykoskoufis, I.H., D. Savvas, G. Mavrogianopoulos, 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annum* L.) grown in recirculating nutrient



solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Sci. Hort.*, 106: pp. 147-161

Maas, E. V. and Hoffman, G. J., 1977. Crop salt tolerance. Current assessment. *J. Irrig. Drainage*, 103: 115 – 134.

Maggio, A., De Pascale, S., Angelino, G., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2004. Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *Eur. J. Agron.* 21, 149-159.

Maloupa, E., 2002. Hydroponic Systems. In: D. Savvas and H.C. Passam (eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 143 – 178.

Μάντζος, Ν., 2006. Ανάπτυξη και έλεγχος αξιοπιστίας ενός μαθηματικού μοντέλου για την πρόβλεψη του ρυθμού συσσώρευσης αλάτων στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα σε μία καλλιέργεια φασολιού σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Άρτα.

Μαυρογιαννόπουλος, Ν. Γ., 1994. Υδροπονικές καλλιέργειες και θρεπτικά διαλύματα. Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Αθήνα – Πειραιάς.

Mavrogianopoulos, G., Spanakis, J., Tsikalas, P., 1999. Effect of carbon dioxide enrichment and salinity on photosynthesis and yield in melon. *Sci. Hort.* 79, 51-63.

Martínez -Ballesta, M.C., Martínez, V., Carvajal, M., 2004. Osmotic adjustment, water relations and gas exchange in pepper plants grown under NaCl or KCl. *Environmental and Experimental Botany* 52, 161-174.

Meiri, A., Mor, E., Poljakoff-Mayber, A., 1970. Effect of Time of exposure to salinity on growth, water status and salt accumulation in bean plants. *Annals of Botany* 34, 383-391.



- Munns, R., 1993. Physiological processes limiting growth in saline soil: some dogmas and hypothesis. *Plant, Cell and Environment* 16, 15-24.
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239-250.
- Navarro, J. M., Garrido, C., Carvajal, M., Martinez, V., 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *J. Hort. Sci. Biotech.* 77, 52-57.
- Navarro, J. M., Garrido, C., Martínez, V., Carvajal, M., 2003. Water relations and xylem transport of nutrients in pepper plants grown under two different salt stress regimes. *Plant Growth Regulation* 41, 237-245.
- Ολύμπιος, Χ. Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα, σ. 431 – 454.
- Ottosson, L., 1977. Vegetable production on mineral wool. *Acta Hortic.*, 58: 147-152.
- Plaut, Z., 1997. Irrigation with low-quality water: effects on productivity, fruit quality and physiological processes of vegetable crops. *Acta Horticultural* 449: 591-597.
- Raviv, M., R. Wallach, A. Silber and A. Bar-Tal. 2002. Substrates and their analysis. *In: Hydroponic Production of Vegetable and Ornamentals* (D. Savvas and H.C Passam. eds.). Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 25-101.
- Reina-Sánchez, A., Romero-Aranda, R., Cuartero, J., 2005. Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water. *Agricultural Water Management* 78, 54-66.
- Resh, M. H., 1997. *Hydroponic Food Production*. Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California, USA.

- Romero-Aranda, R., Soria, T., Cuartero, J., 2001. Tomato plant-water uptake and plant- water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci.* 160, 265-272.
- Rouphael Youssef, Cardarelli Mariateresa, Rea Elvira, Battistelli Alberto, Colla Giuseppe, 2005. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. Elsevier. *Agricultural Water Management* 111 – 114.
- Sakamoto, Y., Watanabe, S., Akashima, T., Okano, K., 1999. Effect of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 74, 690-693.
- Sanchez-Raya, A.J., Delgado, I.C., 1996. Mineral nutrient transport by sunflower seedlings grown under saline conditions (NaCl). *J. Plant. Nutr.* 19, 1463-1475.
- Σάββας, Δ., 1996. Σημειώσεις Λαχανοκομίας II. Τεύχος 1ο: Θεωρία. Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Σ.Τ.Ε.Γ., Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 1996. Σελ. 98.
- Σάββας, Δ., 1998. Υδροπονία καλλωπιστικών φυτών. Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα.
- Σάββας, Δ., 2001. Θρέψη φυτών (σημειώσεις). Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα.
- Savvas, D., 2001. Nutritional Management of Vegetables and Ornamental Plants in Hydroponics. In: Dris, R., Niskanen, R. and Jain, S. M. (Ed.). *Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Products. Volume I – Quality Management.* Science Publishers, Inc., Plymouth, UK, pp. 37 – 87.
- Savvas, D., 2002b. Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. *Bio. Eng.*, 83: 225 – 236.
- Σάββας, Δ., 2003. Γενική Ανθοκομία. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.

- Savvas, D. and Adamidis, K., 1999. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *J. Plant Nutr.*, 22: 1415 – 1432.
- Savas , D. and Manos, G.,1999. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. *J. Agric. Eng. Res.*, 73: 29 – 33.
- Savvas, D., Lenz, F., 1994. Influence of salinity on the incidence of the physiological disorder internal fruit rot in hydroponically-grown eggplants. *Angew. Bot.* 68, 32-35.
- Savvas, D. and Lenz, F., 2000. Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Sci. Hort.*, 84: 37 – 47.
- Savvas, D., Pappa, V.A., Gizas, G. and Kotsiras, A., 2005a. NaCl accumulation in a cucumber crop grown in a completely closed hydroponic system as influenced by NaCl concentration in irrigation water. *European J. Hort. Sci.*, 70: 217 – 223.
- Savvas, D., Kotsiras, A., Meletiou, G., Margariti, S. and Tsirogiannis, I., 2005b. Modeling the relationship between water uptake by cucumber and NaCl accumulation in a closed hydroponic system. *HortScience*, 40: 802 – 807.
- Savvas, D., H.C. Passam, Olympos C., Nasi E., Moustaka E., Mantzos N., Barouchas P., 2006. Effects of Ammonium Nitrogen on Lettuce Grown on Pumice in a Closed Hydroponic System. *HortScience*, 1670 - 1672.
- Σάββας, Δ., Ι.Λ. Τσιρογιάννης, Γ. Γκίζας, Ν. Πετρόπουλος και Ν. Συγριμής, 2006. Διερεύνηση ενός μοντέλου συσχέτισης της συγκέντρωσης NaCl με την κατανάλωση νερού σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. 11^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο. Άρτα, 4 - 7 Οκτωβρίου 2006. Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 245-254.

- Savvas, D. and Adamidis, K., 1999. Automated management of nutrient solutions based on target electrical conductivity, pH, and nutrient concentration ratios. *J. Plant Nutr.*, 22: 1415 – 1432.
- Savas , D. and Manos, G.,1999. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. *J. Agric. Eng. Res.*, 73: 29 – 33.
- Savvas, D., Lenz, F., 1994. Influence of salinity on the incidence of the physiological disorder internal fruit rot in hydroponically-grown eggplants. *Angew. Bot.* 68, 32-35.
- Savvas, D. and Lenz, F., 2000. Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Sci. Hort.*, 84: 37 – 47.
- Savvas, D., Pappa, V.A., Gizas, G. and Kotsiras, A., 2005a. NaCl accumulation in a cucumber crop grown in a completely closed hydroponic system as influenced by NaCl concentration in irrigation water. *European J. Hort. Sci.*, 70: 217 – 223.
- Savvas, D., Kotsiras, A., Meletiou, G., Margariti, S. and Tsirogiannis, I., 2005b. Modeling the relationship between water uptake by cucumber and NaCl accumulation in a closed hydroponic system. *HortScience*, 40: 802 – 807.
- Savvas, D., H.C. Passam, Olympos C., Nasi E., Moustaka E., Mantzos N., Barouchas P., 2006. Effects of Ammonium Nitrogen on Lettuce Grown on Pumice in a Closed Hydroponic System. *HortScience*, 1670 - 1672.
- Σάββας, Δ., Ι.Α. Τσιρογιάννης, Γ. Γκίζας, Ν. Πετρόπουλος και Ν. Συγριμής, 2006. Διερεύνηση ενός μοντέλου συσχέτισης της συγκέντρωσης NaCl με την κατανάλωση νερού σε κλειστά υδροπονικά συστήματα. 11^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο. Άρτα, 4 - 7 Οκτωβρίου 2006. Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 245-254.

Savvas, D., Gizas, G., Karras, G., Lydakis-Simantiris, N., Salahas, G., Papadimitriou, M., Tsouka, N., 2007. Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *Europ. J. Hort. Sci.* 72, 73-79.

Savvas, D., Mantzos, N., Barouchas, P., Tsirogiannis, I.L., Olympios, C., Passam, H.C., 2007a. 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., Stamati, E., Tsirogiannis, I.L., Mantzos, N., Barouchas, P.E., Katsoulas, N., Kittas, C., 2007b. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. *Agricultural Water Management* 92, 102-111.

Schwarz, M., 1995. *Soilless Culture Management*. Springer – Verlag, Heidelberg, Germany.

Schwarz, D., Kuchenbuch, R., 1998. Water uptake by tomato plants grown in closed hydroponic systems depending on the EC-level. *Acta Hort.* 458, 323-328.

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.

Shalhevet, J., Hsiao, T.C., 1986. Salinity and drought. *Irrig. Sci.* 7, 249-264.

Shannon, M.C. and C.M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hort.* 78, 5-38.

Sheldon A., Menzies N.W., Bing So H., Dalal R.: The effect of salinity on plant available water. SuperSoil. 3 rd Australian New Zealand Soils Conference, 5-9 December 2004, Univ. of Sydney, Australia. Published on CDROM.

Website www.regional.org.au/au/asssi/2004.



Sonneveld, C., Voogt, W. and L., Spaans, 1999. A universal algorithm for calculation of nutrient solutions. *Acta Horticulturae* 481: 331-339.

Sonneveld, C., 1988. The salt tolerance of greenhouse crops. *Netherlands J. Agric. Sci.* 36, 63-73.

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 and soil*, 111, 37-42.

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: D. Savvas and H.C. Passam (eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 179 – 210.

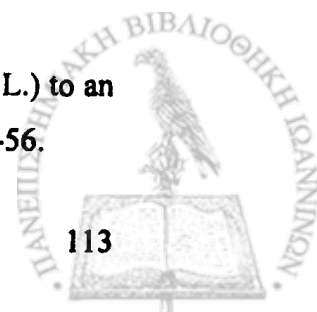
Sonneveld, C., Van Der Burg, A.M.M., 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Netherlands J. Agric. Sci.* 39, 115 – 122.

Sonneveld, C. and Straver, N., 1994. *Nutrient Solutions for Vegetables and Flowers Grown in Water or Substrates*, 10th Edition, Serie: Voedingsoplossingen Glastuinbouw, No. 8, P.B.G. Aalsmeer, The Netherlands.

Sonneveld, C., Van den Bos, 1995. Effects of nutrient levels on growth and quality of radish (*Raphanus sativus* L.) grown on different substrates. *J. Plant Nutr.* 18, 501-513.

Sonneveld, C., Voogt, W. and Spaans, L., 1999. A universal algorithm for calculation of nutrient solutions. *Acta Horticulturae*, 481: 331 – 339.

Sonneveld, C., de Kreijl, C., 1999b. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salts in the root environment. *Plant and Soil* 209, 47-56.



Stepień, P., Kłobus, G., 2006. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. Biol. Plant. 50, 610-616.

Therios, I.N., Misopolinos, N.D., 1988. Genotypic response to sodium chloride salinity of four major olive cultivars (*Olea europea* L.). Plant Soil 106, 105-111.

Trajkova, F., Papadantonakis, N., Savvas, D., 2006. Comparative effects of NaCl and CaCl₂ salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system. HortScience 41, 437-441.

Τσέκος, Ιωάννης, 2003. Φυσιολογία φυτών, Εκδόσεις Κυριακίδης Θεσσαλονίκη.

Yokoi, S., Bressan, R. A. and Hasegawa, P.M., 2002. Salt Stress Tolerance of Plants. JIRCAS Working Report, 25 – 33.

Zhu, J.K., 2001. Plant salt tolerance. Trends Plant Sci. 6, 66-71.

Yeo, A.R., Lee, K.S., Izard, P.J., 1991. Short and long term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). J. Expt. Bot. 42, 881-889.