



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΠΚΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΣΕ ΦΥΤΑ ΡΟΚΑΣ  
ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ**



**ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΣΑΡΑΝΤΟΥΛΑΚΗ ΠΕΛΑΓΙΑ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. ΓΚΟΥΜΑ ΣΟΦΙΑ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2012**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, κατ' αρχήν την εισηγήτρια μου Δρ. Γκούμα Σοφία, εργαστήριο Εδαφολογίας και Θρέψη φυτών στο Τ.Ε.Ι. Κρήτης, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το παρόν θέμα, για τις πολύτιμες γνώσεις, την τεχνογνωσία καθώς και την ανεκτίμητη βοήθειά της τόσο στο πειραματικό, όσο και στο θεωρητικό μέρος της πτυχιακής μου εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες στον Δρ. Τζωρζτάκη Νίκο, εργαστήριο Καλλιέργειες Εκτός Εδάφους, στο Τ.Ε.Ι. Κρήτης και στην Δρ. Παπαδάκη Αναστασία (Βιοκαλλιεργήτρια), εργαστήριο Θρέψης φυτών και Εδαφολογίας στο Τ.Ε.Ι. Κρήτης, για την δυνατότητα πραγματοποίηση του πειράματος καθώς και τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις ανάγκες της πτυχιακής μου εργασίας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους για την ηθική τους συμπαράσταση.

**Με εκτίμηση,**  
Σαραντουλάκη Πελαγία

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδες

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

6

### ΜΕΡΟΣ Α

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>7</b>
1.1	Συσώρευση αλάτων στο έδαφος	8
1.1.1	Χρήση χαμηλής ποιότητας νερού στην γεωργία	9
1.2	Επίδραση της αλατότητας στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών	10
1.3	Επίδραση της αλατότητας σε φυσιολογικούς παραμέτρους	13
1.4	Επίδραση της αλατότητας στη μορφολογία και ανατομία των φύλλων	14
1.5	Μηχανισμοί αντοχής στην αλατότητα	14
1.6	Τρόποι αντιμετώπισης αλατότητας	15
<b>2</b>	<b>ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ</b>	
2.1	Ιστορική αναδρομή υδροπονίας	16
2.2	Η σημασία της υδροπονίας	17
2.3	Υδροπονία- Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροπονίας	18
2.4	Συστήματα και υποστρώματα στην υδροπονία	21
2.4.1	Σύστημα υδροπονίας	21
2.4.2	Υποστρώματα υδροπονίας	24
2.5	Θρεπτικά διαλύματα υδροπονικών καλλιεργειών	26
2.6	Πρόσφατες μελέτες επίδρασης αλατότητας και υποστρώματος σε υδροπονικές καλλιέργειες	28
<b>3</b>	<b>ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΟΚΑΣ</b>	
3.1	Εισαγωγή	33
3.2	Βοτανικά χαρακτηριστικά	34
3.3	Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις	35
3.4	Τρόπος πολλαπλασιασμού και τρόπος καλλιέργειας	36
3.5	Καλλιεργητικές περιποιήσεις	36
3.6	Ασθένειες- Εχθροί και αντιμετώπιση	37
3.7	Χρήσεις του προϊόντος και μετασυσλευκτική διαχείριση του	37
3.8	Πρόσφατες ερευνητικές μελέτες σχετικά με τη ρόκα	38

## **ΜΕΡΟΣ Β**

### **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΙΚΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΣΕ ΦΥΤΑ ΡΟΚΑΣ(*Eruca sativa*) ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ**

<b>4</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>41</b>
4.1	Τρόπος και χρόνος διεξαγωγής του πειράματος	41
4.2	Υλικά- Προετοιμασία και τοποθέτηση σπορόφυτων ρόκας σε γλάστρες	41
4.3	Παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων	44
4.4	Περιγραφή διαλύματος αλατότητας και καλίου	45
4.5	Περιγραφή του πειράματος	45
4.6	Καλλιεργητικές φροντίδες	46
4.7	Μετρήσεις και προσδιορισμοί	47
4.7.1	Μέτρηση του αριθμού φύλλων	48
4.7.2	Μέτρηση του ύψους του φυτού	48
4.7.3	Μέτρηση νωπού βάρους και ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους	48
4.7.4	Μέτρηση pH και E.C.	49
4.7.5	Προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων σε φύλλα	49
4.7.5.1	Προσδιορισμός Καλίου (K) και νατρίου (Na)	51
4.7.6	Προσδιορισμός σύνθεση χλωροφύλλης στα φύλλα	53
4.7.7	Προσδιορισμός φθορισμού των φύλλων	54
4.7.8	Προσδιορισμός φωτοσύνθεσης ικανότητας, στοματικής αγωγιμότητας και εσωτερικής συγκέντρωσης CO <sub>2</sub> των φύλλων	55
4.7.9	Εμπορική αξιολόγηση εμφάνισης ρόκας	55
4.7.10	Μακροσκοπική αξιολόγηση εμφάνισης ρόκας	56
4.8.	Αποτελέσματα	57
4.8.1	Επίδραση του θεικού καλίου στην αύξηση/ανάπτυξη ρόκας σε συνθήκες αλατότητας	57
4.8.2	Επίδραση του θεικού καλίου στην εμπορευσιμότητα του φυτού ρόκας	62
4.8.3	Επίδραση του θεικού καλίου σε μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού ρόκας	63
4.8.4	Επίδραση του θεικού καλίου στη συγκέντρωση καλίου και	

νατρίου στα φύλλα ρόκας	65
4.8.5.1 Κάλιο (K)	65
4.8.5.2 Νάτριο (Na)	66
4.9 Συζήτηση-Συμπεράσματα	67
<b>5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>72</b>
<b>6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ</b>	<b>79</b>
6.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ - $\alpha$ , - $\beta$ και ΟΛΙΚΩΝ ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΩΝ	79
6.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΦΥΛΛΑ ΡΟΚΑΣ	80
6.2.1 ΚΑΛΙΟ	80
6.2.2 ΝΑΤΡΙΟ	81

# ΜΕΡΟΣ Α

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Ο όρος αλατότητα αναφέρεται στην ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων κατά κανόνα Na και Cl, κυρίως στο περιβάλλον της ρίζας. Αν και το νερό στην περιοχή της ρίζας μπορεί να βρίσκεται σε αφθονία, η υψηλή συγκέντρωση ιόντων στο εδαφικό διάλυμα έχει σαν αποτέλεσμα το νερό αυτό να μην είναι διαθέσιμο στο φυτό εξ αιτίας του χαμηλού υδατικού δυναμικού.

Η αλατότητα, ως παράγοντας καταπόνησης παρουσιάζεται σε εκτεταμένες περιοχές του πλανήτη. Συχνά τα προβλήματα από τα αλατούχα εδάφη είναι εντονότερα σε περιοχές με ημίξηρο και ξηρό κλίμα όπου η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη αλλά η περιορισμένη βροχόπτωση δεν επαρκεί για την έκλυση του εδάφους.

Οι παράγοντες που συντελούν στην αύξηση της αλατότητας στο εδαφικό διάλυμα είναι, τα άλατα που συγκεντρώνονται στο έδαφος από την αποσάθρωση πετρωμάτων και ορυκτών ή από αλμυρές λίμνες, το κακής ποιότητας αρδευτικό νερό, η υψηλή υπεδάφια στάθμη νερού, η κακή αποστράγγιση του εδάφους και η μικρή βροχόπτωση, η τοπογραφία, η ύπαρξη αδιαπέραστων στρωμάτων στο έδαφος και η υψηλή εξατμισοδιαπνοή.

Στα αλατούχα εδάφη η ύπαρξη σημαντικών ποσοτήτων διαλυτών αλάτων καθιστά πολύ δύσκολο στα φυτά να προσλάβουν νερό λόγω της αυξημένης οσμωτικής πίεσης (OP) του εδαφικού διαλύματος και της μειωμένης διαπερατότητας των ριζών στο νερό. Κανονικά εδάφη έχουν χαμηλή OP στο εδαφικό διάλυμα, ενώ πολύ αλατούχα έχουν OP περίπου -40 atm. Η συγκέντρωση αλάτων σ' αυτή την τιμή OP είναι 0,2-7% (2000-70.000 mg/L). Η υψηλή OP μειώνει την ικανότητα του φυτού να απορροφά νερό και το φυτό υποφέρει από έλλειψη νερού, με συχνά την εμφάνιση συμπτωμάτων μαρασμού. Συμβαίνει δηλαδή κάτι παρόμοιο με ένα ναυαγό που βρίσκεται στον ωκεανό και πεθαίνει από την δίψα. Οι ζημιές από τα άλατα επιτείνονται στα θερμά κλίματα. Αυτό όμως δεν μπορεί να γενικευτεί, γιατί όλα τα φυτά δε συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο, σε ίδιες κλιματικές συνθήκες.

Επίσης από τα διάφορα άλατα, αυτά που περιέχουν νάτριο (Na) είναι και τα πιο επιβλαβή. Το Na δρα δυσμενώς στη δομή του εδάφους, με αποτέλεσμα ο αερισμός

του εδάφους αλλά και η αύξηση των φυτών να μειώνονται. Λιπάσματα που περιέχουν νάτριο όπως το  $\text{NaNO}_3$ , μειώνουν κατά 41-86% τη διαπερατότητα του εδάφους, σε σχέση με λιπάσματα που δεν περιέχουν νάτριο, όταν χορηγηθούν επί σειρά ετών και σε ικανές ποσότητες καθώς και όταν το έδαφος δε περιέχει  $\text{CaCO}_3$  ή  $\text{CaSO}_4$  (Θεριός, 2005).

### **1.1.1 ΧΡΗΣΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η χώρα μας, σε ολοένα αυξανόμενη έκταση, είναι η δευτερογενής αλάτωση και αλκαλίωση των εδαφών, λόγω της κακής αποστράγγισης και της κακής ή μέτριας ποιότητας του νερού (υποβαθμισμένο νερό) άρδευσης (Θεριός, 2005).

Η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου πολλών περιοχών της χώρας μας εξαρτάται σε μεγάλη κλίμακα από τη γεωργία, που κατά αξιολογικό ποσοστό είναι αρδευόμενη, ενώ όσο αφορά τις λαχανοκομικές καλλιέργειες, είναι κυρίως αρδευόμενες. Επομένως η άρδευση καλλιεργειών με υποβαθμισμένης ποιότητας νερό μερικές φορές δημιουργεί προβλήματα αλατότητας.

Στην χώρα μας η οικονομική σημασία και τα προβλήματα από τη συσσώρευση αλάτων στα αρδευόμενα εδάφη δεν έτυχαν της δέουσας προσοχής. Απώλειες, όπως ποιοτική και ποσοτική μείωση της παραγωγής, μπορούν να παρουσιαστούν ακόμη και σε εδάφη με συγκέντρωση αλάτων μικρότερη από την κρίσιμη για μια καλλιέργεια. Αναμένεται ότι ο κίνδυνος από τα άλατα θα αυξηθεί, γιατί η τάση της σύγχρονης Γεωργίας είναι η χρησιμοποίηση όλου του διαθέσιμου νερού και η άρδευση όσο το δυνατό μεγαλύτερης έκτασης. Πολλές φορές οι παραγωγοί χρησιμοποιούν νερό αποστράγγισης (που κατά κανόνα έχει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων) στις χαμηλότερες και πλησιέστερες προς τη θάλασσα περιοχές, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση σ' αυτές περισσότερων αλάτων. Η συσσώρευση αλάτων στο έδαφος δημιουργεί προβλήματα στον άνθρωπο λόγω των δυσμενών δράσεών τους στα καλλιεργούμενα φυτά, που κατά πλειονότητα είναι ευπαθή στα άλατα.

Προβλήματα προκύπτουν από την ποικιλομορφία των αλατούχων εδαφών και τις καλλιεργητικές μεθόδους, που συντέλεσαν σε αύξηση της αλατότητας στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές. Τα προβλήματα όμως της δευτερογενούς αλατότητας είναι πιο σοβαρά, γιατί αντιπροσωπεύουν απώλειες εδάφους, που ήταν προηγούμενα

παραγωγικά. Τέτοιες απώλειες οφείλονται πρωταρχικά στην άρδευση. Το νερό άρδευσης πολλές φορές είναι κακής ποιότητας. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή οδηγεί στη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος. Επειδή μια τεχνολογική βελτίωση του προβλήματος είναι δύσκολη, εντονότερη ερευνητική προσπάθεια στο μέλλον, πρέπει να κατευθυνθεί κυρίως στη δημιουργία ανθεκτικών στα άλατα γενοτύπων (Θεριός, 2005).

Είναι γνωστό ότι τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της υπεράντλησης και της αλόγιστης χρήσης φυτοφαρμάκων σε πολλές περιοχές της Ελλάδας το νερό του υδροφόρου ορίζοντα έχει γίνει υφάλμυρο, έχει δηλαδή πολύ υψηλή αγωγιμότητα και είναι ακατάλληλο για άρδευση ευαίσθητων καλλιεργειών, ενώ σε αρκετές περιοχές έχει επίσης μολυνθεί από χημικά (Θεριός, 2005).

Τα κύρια προβλήματα που συνδέονται με τη χρήση του αλατούχου νερού άρδευσης είναι:

1. *Μειωμένη διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας:* Τα άλατα στο εδαφικό διάλυμα κατακρατούν μέρος του νερού προκαλώντας σημαντική μείωση του διαθέσιμου νερού για τα φυτά (οσμωτική επίδραση). Για να προσλάβει νερό από το έδαφος το φυτό θα πρέπει να υπερνικήσει εκτός από το μητρικό δυναμικό (matrix potential) και το οσμωτικό δυναμικό (osmotic potential) λόγω ύπαρξης των αλάτων.

2. *Προβλήματα τοξικότητας:* Ορισμένα ιόντα (νάτριο, χλώριο, βόριο) απορροφούνται και συσσωρεύονται στους φυτικούς ιστούς προκαλώντας τοξικές επιδράσεις. Τα συμπτώματα τοξικότητας συνήθως εμφανίζονται με ξήρανση της εξωτερικής άκρης του φύλλου, που προχωρεί σταδιακά προς το εσωτερικό μεταξύ των νεύρων του φύλλου, και τελικά προκαλεί πτώση των φύλλων και νέκρωση του βλαστού. Ο βαθμός της ζημιάς εξαρτάται από τον χρόνο της έκθεσης, τη συγκέντρωση των αλάτων, την ευαισθησία της καλλιέργειας και τη κατανάλωση νερού. Τα συμπτώματα τοξικότητας εμφανίζονται στις ευαίσθητες στην αλατότητα καλλιέργειες όταν το Cl στα φύλλα είναι πάνω από 0,30-0,50% (dry weight -d.w.), το Na υπερβαίνει 0,25-0,50% (d.w.) και το βόριο 250-300 mg/kg (d.w.).

3. *Τροφopenίες θρεπτικών στοιχείων:* Προκαλούνται από τη υπερβολική συγκέντρωση ορισμένων ιόντων ή τη παρεμπόδιση απορρόφησης άλλων στοιχείων λόγω ιονικού ανταγωνισμού (περιορισμένο Ca και K, περίσσεια NO<sub>3</sub>).

4. *Υποβάθμιση του εδάφους:* Η μη ορθολογική χρήση του υφάλμυρου νερού προκαλεί συσσώρευση αλάτων στη ζώνη του ριζικού συστήματος και την επιφάνεια του εδάφους, έτσι το έδαφος γίνεται αλατούχο. Όταν η περιεκτικότητα σε νάτριο



είναι σχετικά υψηλή έναντι άλλων κατιόντων (Ca και K, υψηλό SAR) το έδαφος γίνεται νατριωμένον με μείωση της περατότητας και της ταχύτητας διήθησης. Και οι δύο ιδιότητες συνδέονται με τη σταθερότητα της δομής του εδάφους. Τα προβλήματα που προκύπτουν είναι η δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια του εδάφους, η μειωμένη διαθεσιμότητα νερού στα φυτά, η μειωμένη ανάπτυξη σποροφύτων, η έλλειψη αερισμού και η ανάπτυξη ασθeneιών.

## 1.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Οι περιοριστικοί παράγοντες της αύξησης των φυτών που παρατηρούνται σε συνθήκες αλατότητας είναι τρεις, η *έλλειψη νερού*, η *τοξικότητα των ιόντων*, και η *ανισορροπία των ιόντων*. Συνήθως συνυπάρχουν και είναι δύσκολο να διαχωριστεί ο τρόπος δράσης του καθενός. Οι συγκεντρώσεις και η σύνθεση των αλάτων, η διάρκεια της έκθεσης, το φυτικό είδος, η ποικιλία, το υποκείμενο, το στάδιο ανάπτυξης και οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες παίζουν ρόλο στην ανθεκτικότητα των φυτών.

α) Έλλειψη νερού: Δημιουργείται από το χαμηλότερο υδατικό δυναμικό που έχει το εξωτερικό διάλυμα σε σχέση με την ρίζα. Το νερό παίζει σπουδαίο ρόλο στις φυσιολογικές λειτουργίες και στην επιβίωση των φυτών, αφού χρησιμοποιείται ως διαλύτης στις βιοχημικές αντιδράσεις. Στη φωτοσύνθεση ως μέσο για τη σταθεροποίηση και λειτουργία των βιολογικών μεμβρανών και ενζύμων και ως μέσο μεταφοράς ιόντων και προϊόντων μεταβολισμού. Επίσης συντελεί στη διατήρηση της σπαργής των κυττάρων. Στα ανώτερα φυτά το νερό απορροφάται με τις ρίζες από το έδαφος και μεταφέρεται μέσω του βλαστού στα φύλλα ως αποτέλεσμα της διαφοράς υδατικού δυναμικού, ριζικής πίεσης και διαπνοής. Η υδατική κατάσταση του φυτού σε μια δεδομένη στιγμή εξαρτάται από το ισοζύγιο απορρόφησης νερού και διαπνοής.

Όταν ο ρυθμός απώλειας νερού με τη διαπνοή είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό απορρόφησης από τις ρίζες, λόγω μειωμένης διαθεσιμότητας στο έδαφος, το υδατικό δυναμικό των φύλλων θα μειωθεί. Ως αποτέλεσμα, ο εφοδιασμός του φυτού με νερό και θρεπτικά στοιχεία μειώνεται και εφόσον το υδατικό έλλειμμα συνεχιστεί, τα φυτά θα ξεραθούν, εάν δεν διαθέτουν μηχανισμούς προσαρμογής. Η μειωμένη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη νερού ή στην

αδυναμία πρόσληψης νερού λόγω αλατότητας, και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζεται μια κοινή μορφή υδατικής καταπόνησης (οσμωτική καταπόνηση).

β) Τοξικότητα ιόντων: Το Cl είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για όλα τα φυτά ενώ το Na έχει ρόλο στην θρέψη των αλοφύτων και των C<sub>4</sub> φυτών. Όμως οι συγκεντρώσεις τους σε αλατούχα διαλύματα είναι πολύ υψηλές, με συνέπεια να δρουν τοξικά. Πολλά είδη αντιμετωπίζουν την τοξικότητα Na με απελευθέρωση του στο περιβάλλον με τη βοήθεια αδένων. Ωστόσο, κάτω από συνθήκες κακού αερισμού του εδάφους λαμβάνει χώρα μαζική μεταφορά Na και Cl στα φύλλα και τους βλαστούς που οδηγεί σε τοξικότητα.

Η τοξική δράση οφείλεται πιθανόν στην αναστολή των ενζυμικών αντιδράσεων καθώς και στην ελλιπή διαμερισματοποίηση μεταξύ κυτοπλάσματος και χυμοτοπίου. Ακόμη η συγκέντρωση των αλάτων στον αποπλάστη πιθανόν να οδηγεί σε αφυδάτωση, μείωση της σπαργής και θάνατο των κυττάρων και των ιστών (Δραγασάκη, 2008).

γ) Αλληλεπιδράσεις ιόντων: Τα αλατούχα διαλύματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές ενεργότητες θρεπτικών ιόντων και από υπερβολικά υψηλούς λόγους Na/Ca, Na/K, Ca/Mg και Cl/NO<sub>3</sub>. Όταν τα φυτά εκτεθούν σε συνθήκες αλατότητας, παρατηρούνται ανισορροπίες θρεπτικών στοιχείων. Οι ανισορροπίες αυτές διαφέρουν σε ένταση ανάμεσα στα διάφορα καλλιεργούμενα είδη όσο και στις ποικιλίες του ίδιου είδους. Συνήθως είναι οι ελλείψεις N, P, K, Ca, Mg, αλλά και η τοξικότητα P.

Η διαθεσιμότητα ενός ιόντος και η απορρόφηση του από τα φυτά εξαρτάται από την ενεργότητα του ιόντος στο διάλυμα που είναι συνάρτηση του pH και της συγκέντρωσής του καθώς και των περιβαλλοντολογικών συνθηκών (Lauchli and Epstein, 1990).

Φαίνεται ότι κάτω από συνθήκες αλατότητας το φυτό εισέρχεται σε κατάσταση αδράνειας, που εκφράζεται με ελάττωση της ταχύτητας αύξησης. Η είσοδος των φυτών σε κατάσταση αδράνειας χαρακτηρίζεται από αλλαγή των ιδιοτήτων του πρωτοπλάσματος. Αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών είναι ο διαχωρισμός του πρωτοπλάσματος από τα κυτταρικά τοιχώματα (πλασμόλυση). Πολλές φορές ο διαχωρισμός αυτός είναι μη αντιστρεπτός. Τα φυτά που καλλιεργούνται κάτω από αλατότητα ιόντων χλωρίου εισέρχονται σε βαθύτερη κατάσταση αδράνειας, σε σχέση με αυτά που καλλιεργούνται κάτω από αλατότητα θειικών ιόντων. Έτσι ο ρυθμός αύξησης και χρησιμοποίησης των θρεπτικών στοιχείων επιβραδύνεται περισσότερο σε φυτά που υφίστανται την επίδραση χλωριούχων ιόντων. Με την αποκατάσταση

κανονικών συνθηκών τα φυτά αξιοποιούν πιο γρήγορα τα θρεπτικά στοιχεία που δεν χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως και αυξάνονται ταχύτερα (Θεριός, 2005).

Τα φυτά είναι περισσότερο ευαίσθητα στην αλατότητα του εδάφους κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων αύξησης, απ' ό,τι αργότερα, επειδή δε γίνεται οσμωτική εξισορρόπηση. Κάτω από συνθήκες αλατότητας η ταχύτητα κινητοποίησης των αποθησαυριστικών ουσιών μειώνεται σημαντικά. Έτσι, όταν η περιεκτικότητα του εδάφους σε άλατα είναι χαμηλή, τότε επιταχύνεται η αύξηση των φυτών σε ύψος, η επιμήκυνση των ριζών και η δημιουργία πλάγιων ριζών. Όταν το περιεχόμενο του εδάφους σε άλατα φθάσει το 0,8% τότε η αύξηση και ανάπτυξη των φυτών επιβραδύνεται.

Στα αλατούχα εδάφη η αύξηση σταματά στο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο αρδεύσεων και ξαναρχίζει αμέσως μετά από άρδευση (λόγω καλύτερης εξισορρόπησης της οσμωτικής πίεσης). Πειραματικές μελέτες δείχνουν τις αρνητικές επιπτώσεις της αλατότητας στο φύτευμα σπόρων (πιπεριά, τομάτα κ.α.) (Miyamoto et al, 2004). Κάτω από συνθήκες αλατότητας το φύτευμα επιβραδύνεται, η αύξηση μειώνεται και δημιουργούνται νάνα φυτά (π.χ. φακή από τους Sidari et al, 2007).

Έχει διαπιστωθεί ότι, σε φυτά που αναπτύσσονται σε υψηλή συγκέντρωση Na, το Na ανταγωνίζεται το Ca με αποτέλεσμα την πιθανή έλλειψη του τελευταίου στο φυτό. Σε αυτές τις περιπτώσεις παρατηρείται μείωση της αύξησης στο μήκος της ρίζας και αύξηση του διαμέτρου της. Σε υψηλές συγκεντρώσεις Na στο εξωτερικό διάλυμα το Na μπορεί να αντικαταστήσει το Ca στις θέσεις πρόσδεσης του τελευταίου στο πλασμόλυμα των κυττάρων της ρίζας ή σε μεμβράνες οργανιδίων, αλλάζοντας την αρχιτεκτονική των κυττάρων και το ρόλο του Ca σαν δευτερογενές αγγελιοφόρο.

Το Ca ανταγωνίζεται ισχυρά το Mg για τις θέσεις πρόσδεσης στο πλασμόλυμα των ριζών. Για αυτό το λόγο υψηλές συγκεντρώσεις Ca στο θρεπτικό διάλυμα συνήθως έχουν σαν αποτέλεσμα την έλλειψη Mg στα φύλλα.

Όσον αφορά το Cl σε συνθήκες αλατότητας οι συγκεντρώσεις του στο εδαφικό διάλυμα ξεπερνούν κατά πολύ τις ανάγκες των φυτών και οδηγούν σε τοξικότητα. Χαρακτηριστικά συμπτώματα της τοξικότητας Cl είναι η μείωση της αύξησης, χαρακτηριστικές χλωρώσεις στην περιφέρεια του ελάσματος καθώς και οι νεκρώσεις στα παλαιότερα φύλλα.

Το ενδιαφέρον για την αντοχή στα άλατα των φυτών οικονομικής σημασίας αυξάνεται, όσο περισσότερα αλατούχα εδάφη φέρονται στην καλλιέργεια και όσο τα νερά που χρησιμοποιούνται για άρδευση προσθέτουν αθροιστικά στην αλατότητα των

καλλιεργούμενων εδαφών. Η έρευνα που σχετίζεται με την επιβίωση και αύξηση των φυτών που καλλιεργούνται σε εδάφη με πολλά υδατοδιαλυτά άλατα, έχει πολλά άλυτα προβλήματα (Θεριός, 2005).

### **1.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ**

Έρευνες έχουν δείξει ότι η αλατότητα επιδρά σημαντικά, πέρα από τα παραπάνω, και στις φυσιολογικές παραμέτρους του φυτού, οι οποίες είναι η αγωγιμότητα στομάτων και η φωτοσύνθεση και διαπνοή.

*Αγωγιμότητα στομάτων:* Η μείωση της στοματικής αγωγιμότητας των φυτών που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες αλατότητας οφείλεται τόσο στην οσμωτική επίδραση όσο και στην τοξική επίδραση του  $\text{Na}^+$ , όπως φαίνεται και από τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ περιεκτικότητας  $\text{Na}^+$  και αφομοίωσης  $\text{CO}_2$ , που αποδεικνύει την επίδραση του ιόντος στην μείωση της στοματικής αγωγιμότητας (Plaut, 1995).

Γενικά είναι παραδεκτό ότι στα περισσότερα φυτά η αγωγιμότητα των στομάτων δεν επηρεάζεται από τη μείωση του υδατικού δυναμικού των φύλλων μέχρι μίας οριακής τιμής, πέρα της οποίας η αγωγιμότητα των στομάτων μειώνεται γρήγορα.

*Φωτοσύνθεση και διαπνοή:* Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των γλυκοφύτων μειώνεται με την αύξηση της αλατότητας στη ριζόσφαιρα των φυτών (Tattini et al, 1995). Η μείωση της φωτοσύνθεσης αποδίδεται στην επίδραση της αλατότητας σε παράγοντες που έχουν σχέση με την συμπεριφορά των στομάτων ή και σε άλλους παράγοντες (Walker et al, 1981, 1982). Φαίνεται ότι η επίδραση της αλατότητας στη φωτοσύνθεση οφείλεται στην τοξικότητα ιόντων και όχι στην έλλειψη νερού, αφού μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσης  $\text{CO}_2$  στους μεσοκυττάριους χώρους παρατηρήθηκε σε συνθήκες αλατότητας παρά σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, παρόλο που το υδατικό δυναμικό των φύλλων ήταν ακριβώς το ίδιο (Plaut, 1995).

Η φωτοσύνθεση και η διαπνοή έχουν διαφορετική εξάρτηση από τη στοματική αγωγιμότητα. Δηλαδή υπό ευνοϊκές συνθήκες φωτισμού, υγρασίας και ήπιας υδατικής καταπόνησης, η στοματική αγωγιμότητα μπορεί να είναι πολύ μεγάλη και μερικό κλείσιμο των στομάτων θα μειώσει αρχικά τη διαπνοή, με μικρή επίδραση στη φωτοσύνθεση. Σε συνθήκες χαμηλότερης υγρασίας ή αυξημένης έλλειψης νερού, η

στοματική αγωγιμότητα θα είναι μικρότερη, και το κλείσιμο των στομάτων από αυτό το σημείο και μετά θα μειώσει το ίδιο τη διαπνοή και τη φωτοσύνθεση (Βενέτη, 2005).

#### **1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ**

Τα φύλλα των φυτών που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες αλατότητας είναι συνήθως παχύτερα, με μεγαλύτερο περιεχόμενο νερού (υδαρή) (Waisel, 1991, Shannon et al, 1994). Αυτή η υδαρότητα αποδίδεται στην οσμωρύθμιση των φυτών, καθώς αυξάνει την εσωτερική επιφάνεια στην οποία γίνεται διάχυση του CO<sub>2</sub> σε σχέση με την επιφάνεια του φύλλου, και μειώνει την εσωτερική αντίσταση του φύλλου στην απορρόφηση του CO<sub>2</sub>. Επίσης η αλατότητα αυξάνει τον αριθμό τριχών, μειώνοντας έτσι την απώλεια νερού μέσω διαπνοής. Η αλατότητα καταστρέφει τις μεμβράνες των κυττάρων και προκαλεί απέκκριση ενώσεων (Hautala et al, 1992). Το Ca<sup>+2</sup> εξουδετερώνει την επίδραση του NaCl, όσο αφορά την εκροή ιόντων (Cramer et al, 1985). Το NaCl προκάλεσε κατάρρευση των κυττάρων του μεσόφυλλου, διάσπαση της εφυμενίδας και των στομάτων, κατάρρευση των κυτταρικών τοιχωμάτων, καταστροφή των χλωροπλαστών (Kozlowski, 1997).

#### **1.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ**

Υπάρχουν δύο κατηγορίες μηχανισμών αντοχής στην αλατότητα

α) Ο αποκλεισμός των αλάτων (salt exclusion). Τα φυτά πρέπει να αναπτύξουν ταυτόχρονα μηχανισμούς αποφυγής της έλλειψης νερού.

β) Απορρόφηση και συγκέντρωσή τους στο φυτό (salt inclusion). Τα φυτά πρέπει να είναι ανθεκτικά στις υψηλές συγκεντρώσεις Na και Cl ή να αναπτύξουν μηχανισμούς διαμερισματοποίησης των αλάτων.

Στα αλόφυτα της οικογένειας Chenopodiaceae η αντοχή στην αλατότητα επιτυγχάνεται με συγκέντρωση των αλάτων στα χυμοτόπια των κυττάρων. Παρατηρείται σε αυτά ευχυμία, αύξηση δηλαδή του όγκου τους και του περιεχομένου σε νερό, διατήρηση της σπαργής και υποκατάσταση σε ορισμένες του K από το Na. Στα γλυκόφυτα, κατηγορία στην οποία ανήκουν τα περισσότερα καλλιεργούμενα

φυτά, ο αποκλεισμός των αλάτων είναι βασικός μηχανισμός προστασίας από την αλατότητα. Ο όρος είναι σχετικός και χρησιμοποιείται για να δείξει την μειωμένη απορρόφηση και μεταφορά αλάτων από την ρίζα προς τα φύλλα κυρίως της κορυφής και προς το ακραίο μερίστωμα.

Διαφορές στην αντοχή στα άλατα παρατηρούνται τόσο μεταξύ των διαφόρων ειδών όσο και μεταξύ ποικιλιών κάθε είδους. Επίσης ανατομικές διαφορές όπως παχύτερες λωρίδες caspary ή ο σχηματισμός δεύτερης ενδοδερμίδας έχουν παρατηρηθεί σε ορισμένα αλόφυτα και βοηθούν στον περιορισμό της εισόδου αλάτων με διάχυση από τη ρίζα.

## 1.6 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

Μια εναλλακτική λύση στο πρόβλημα της αλατότητας είναι να επιλεγθούν τα είδη φυτών που έχουν υψηλή ανθεκτικότητα σε NaCl.

Ένας άλλος τρόπος για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της αλατότητας είναι η χρήση διαφυλλικού ψεκασμού θρεπτικών στοιχείων, ή εμπλουτισμός θρεπτικών στοιχείων στο χώμα ή σε υδροπονική καλλιέργεια, για την αύξηση αντοχής των φυτών στην αλατότητα και την ελάττωση των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  που προκαλούν ζημιές στα φυτά (Pardossi et al, 1999a, Tzortzakis, 2009a,b). Μελέτες έδειξαν ότι η εφαρμογή των θρεπτικών ουσιών διαφυλλικά μείωσε τα επιβλαβή αποτελέσματα της αλατότητας και διόρθωσε τη θρεπτική αξία προκαλώντας αύξηση στην ανοχή της αλατότητας σε δημητριακά, όσπρια και φυτά τομάτας (El Fouly et al, 2002).

Ο εμπλουτισμός θρέψης των φυτών με κάλιο και νιτρικά άλατα είναι μια αποδοτική μέθοδος όπου εμποδίζει την εμφάνιση καταπόνησης (stress) που προκαλείται από τα ιόντα Na και Cl σε πολλές καλλιέργειες. Στη τομάτα (*Lycopersicon esculentum* L.), στο μαρούλι (*Lactuca sativa* L.), στο κινέζικο λάχανο (*Brassica rapa* L. var. *Chinensis*), το γλυκό καλαμπόκι (*Zeas mays* L. var. *Rugosa* Bonaf.) και το γκρέϊπφρουτ (*Citrus x paradise* Mact.) η εφαρμογή Multi-K (νιτρικό κάλιο) ήταν μια αποδοτική μέθοδος ενάντια στην καταπόνηση που προκαλεί η αλατότητα, βελτιώνοντας τη παραγωγή (Achilea, 2002). Άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι το K μειώνει τα επιβλαβή αποτελέσματα λόγω της συγκέντρωσης Na σε συνθήκες αλατότητας. Το κάλιο έχει επίσης εξαιρετικά σημαντικό και μοναδικό ρόλο στην ενεργοποίηση των ενζυμικών συστημάτων (Evans and Sorger, 1966).

Συμπερασματικά βλέπουμε ότι μετά από κατάλληλους χειρισμούς σε χαμηλής ποιότητας νερά και ειδικότερα σε νερά με υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων Na και Cl, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να αντικαταστήσουν μερικώς το πόσιμο νερό για τις αρδευτικές ανάγκες μιας καλλιέργειας. Βέβαια, επιπλέον μελέτες χρειάζονται για την βελτιστοποίηση των συνθηκών χρήσης υφάλμυρου νερού ανάλογα με το φυτικό είδος και την ποικιλία, την σύσταση του νερού της εκάστοτε περιοχής και την αυτοματοποίηση ή μη σε υδροπονικές καλλιέργειες φυτών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

### **2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ**

Η λέξη υδροπονία προέρχεται, από το «ύδωρ», που σημαίνει νερό και το «πόνος», με την έννοια της εργασίας. Η υδροπονία είναι μια μέθοδος καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους, σύμφωνα με την οποία οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε σε στερεά υποστρώματα εμποτισμένα με τεχνητό θρεπτικό διάλυμα είτε απευθείας στο θρεπτικό διάλυμα από το οποίο τα φυτά απορροφούν τις απαραίτητες για την ανάπτυξή τους ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων.

Η υδροπονία δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια καινούργια μέθοδος καλλιέργειας φυτών, αλλά είναι μια αρχαία μορφή γεωργίας που χρονολογείται στα 300 χρόνια μ.Χ.. Οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας, οι πλεούμενοι κήποι των Ατζέκων στο Μεξικό και οι κήποι στην Κίνα είναι παραδείγματα των πρώτων υδροπονικών καλλιεργειών. Μάλιστα, οι Κήποι της Βαβυλώνας, γνωστοί και ως Κήποι της SEMIRAMIS, παρουσιάζουν ένα ιδιαίτερο ιστορικό ενδιαφέρον καθώς θεωρούνται ως ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου και έχουν μεγάλη ιστορική σημασία και ως προς την έναρξη της υδροπονίας (Resh, Hydroponic food production).

Η σύγχρονη ιστορία της υδροπονίας στην πραγματικότητα αρχίζει στα 1627 στο δοκίμιο “Sylva Sylvarum” του Sir Francis Bacon που δημοσιεύτηκε μετά θάνατον. Ο Bacon, ένας Άγγλος φιλόσοφος και σύγχρονος του Σαίξπηρ αναφέρθηκε στην καλλιέργεια των χερσαίων φυτών χωρίς χώμα. Αν και ο Bacon πέθανε πριν μπορέσουν οι θεωρίες του να διερευνηθούν, υποστήριξε πρώτος την ιδέα της νέας κουλτούρας για το νερό που καθιερώθηκε ως πεδίο της επιστημονικής μελέτης καθ’ όλη την υπολειπόμενη διάρκεια του 17<sup>ου</sup> αιώνα.

Τη περίοδο από το 1860 έως το 1900 στη Γερμανία, η υδροπονική καλλιέργεια αποτέλεσε ένα γενικά αποδεκτό εργαλείο έρευνας. Την ίδια περίοδο μάλιστα, οι Γερμανοί βοτανολόγοι Julius von Sachs και Wilhelm Knor τελειοποίησαν την πρώτη σειρά θρεπτικών διαλυμάτων για καλλιέργεια χωρίς χώμα, δηλαδή τη σύγχρονη υδροπονική κηπουρική. Η πυκνότητα των διαλυμάτων κυμαινόταν από 0,1 – 0,6%. Την εποχή αυτή, προσδιορίστηκαν επίσης 10 από τα αναγκαία ανόργανα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 1994).

Η εμπορική ώθηση της υδροπονίας έγινε το 1916 στην Αμερική από τον Mc Call και αναδείχθηκαν τα πλεονεκτήματα στον αερισμό και τον εφοδιασμό που εξασφαλίζονται από την άμμο. Το 1928 ο Robins καλλιέργησε σε άμμο μια σειρά φυτών ενώ το 1931 ο Laurie υπέδειξε το εμπορικό ενδεχόμενο τέτοιων καλλιεργειών. Η πρώτη αρκετά εκτεταμένη εφαρμογή καλλιέργειας σε αδρανή υλικά ήρθε στη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου από την Ιαπωνία και τις ΗΠΑ με την χρήση άμμου και χαλκιού για παραγωγή φρέσκων λαχανικών.

## **2.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ**

Οι υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στη χώρα μας όπου τα εδάφη λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης έχουν αρκετά εξαντληθεί ή σε περιοχές που έχουν κατάλληλο μικροκλίμα για καλλιέργεια, αλλά το έδαφος είναι άγονο (νησιά – ορεινές και μειονεκτικές περιοχές), για την αύξηση του εισοδήματος των κατοίκων με σκοπό την αποτροπή ενός μεταναστευτικού ρεύματος προς τις μεγαλουπόλεις ή το εξωτερικό.

Οι εκτός εδάφους καλλιέργειες κατά κύριο λόγο πραγματοποιούνται μέσα σε θερμοκηπιακές κατασκευές και αποτελούν μια από τις περισσότερο εξελιγμένες μορφές επιχειρηματικών καλλιεργειών. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των καλλιεργειών ήταν η αποδέσμευσή τους από το έδαφος και τον παραδοσιακό τρόπο. Το έδαφος στις πρώτες εκτός εδάφους καλλιέργειες αντικαταστάθηκε από ορισμένα οργανικής προέλευσης υποστρώματα, με βασικό συστατικό την τύρφη, που και αυτά με την εξέλιξη αντικαταστάθηκαν από ανόργανα ή αδρανή υλικά (περλίτη, πετροβάμβακα κ.α), περνώντας καθαρά σε υδροπονικές καλλιέργειες. Περισσότερο εξελιγμένη μορφή υδροπονικών καλλιεργειών είναι το λεπτό στρώμα ροής θρεπτικού διαλύματος (N F T - Nutrient Film Technique ή Nutrient Flow Technique) με



κατάργηση της χρήσης ανόργανων υλικών, ενώ η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα με ταυτόχρονη εξασφάλιση της οξυγόνωσής της.

Τα είδη των καλλιεργειών στις οποίες εφαρμόζεται η εκτός εδάφους καλλιέργεια, περιορίζονται στις λαχανοκομικές και ανθοκομικές καλλιέργειες και στην ανάπτυξη καλλωπιστικών φυτών γλάστρας (Οικονομάκης, 1998).

## **2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ**

Η εγκατάσταση υδροπονικής καλλιέργειας αντί της καλλιέργειας στο έδαφος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά παράλληλα έχει και ορισμένα μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα είναι τα παρακάτω:

1. Το πρώτο και προφανέστερο πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η ριζική αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούν στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες οι μεταδιδόμενες μέσω εδάφους ασθένειες (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια και φυτοϊοί, κ.λ.π.). Πρέπει να σημειωθεί ότι προβλήματα με ορισμένα μεταδιδόμενα μέσω του εδάφους παθογόνα, όπως το πύθιο, η φυτόφθορα, το φουζάριο κλπ. δεν είναι απίθανο να εμφανιστούν ακόμη και στις υδροπονικές καλλιέργειες, μολονότι η πιθανότητα είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος. Συνήθως τέτοια προβλήματα στην υδροπονία μπορούν να εμφανιστούν μόνο όταν η απομόνωση του υποστρώματος ή του θρεπτικού διαλύματος από το έδαφος του θερμοκηπίου δεν είναι πλήρης ή όταν το νερό άρδευσης είναι έντονα μολυσμένο με κάποιο παθογόνο.
2. Δεν υφίσταται ανάγκη για απολύμανση του εδάφους αφού στις υδροπονικές καλλιέργειες το χώμα δεν έρχεται σε επαφή με το φυτό και ιδιαίτερα με τις ρίζες του. Παράλληλα μειώνεται δραστικά η ανάγκη εφαρμογής φυτοφαρμάκων για την αντιμετώπιση των εδαφογενών ασθενειών.
3. Λύνεται ριζικά το πρόβλημα της χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω υπερεντατικής εκμετάλλευσης και μονοκαλλιέργειας είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (π.χ. πολύ βαριά ή πολύ ελαφρά εδάφη,

εδάφη με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία κ.λ.π.). Σε τέτοιες περιπτώσεις η υδροπονία αποτελεί πιο ριζική και πιο αποτελεσματική λύση από την βελτίωση και την ανάπλαση του προβληματικού εδάφους.

4. Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η υδροπονία όταν το χρησιμοποιούμενο νερό άρδευσης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα ( $E.C. > 1-1,5 \text{ dS/m}$ ). Σε αυτές της περιπτώσεις η υδροπονία ίσως είναι ο μόνος τρόπος επιτυχημένης αντιμετώπισης του προβλήματος. Ένας τρόπος είναι ο εμπλουτισμός με κατιόντα π.χ.  $K$ , που δρουν ανταγωνιστικά του  $Na$ . Όμως όταν υφίστανται πρόβλημα με υπερβολικά υψηλής αλατότητας του νερού άρδευσης, λύση αποτελεί μόνο η καλλιέργεια σε ανοιχτά υδροπονικά συστήματα. Αντίθετα, τα κλειστά υδροπονικά συστήματα στα οποία εφαρμόζεται ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα όταν η περιεκτικότητα του νερού άρδευσης σε ανόργανα άλατα είναι υψηλή και συνεπώς σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να αποφεύγεται η υιοθέτησή τους.

5. Το κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο. Όπως είναι γνωστό η εξάτμιση νερού συνοδεύεται από κατανάλωση ενέργειας υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας.

6. Έχει αποδειχτεί ότι η καλλιέργεια τόσο σε υποστρώματα όσο και σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα (π.χ. NFT) επιφέρει σημαντική πρωίμιση. Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλότερες θερμοκρασίες που διαμορφώνονται στον χώρο του ριζοστρώματος όταν τα φυτά καλλιεργούνται εκτός εδάφους.

7. Επιπλέον η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και σε μεγαλύτερη αξιοπιστία και επίσης μπορεί να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει γίνει κάποιο λάθος.

8. Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση κ.λ.π.) με αποτέλεσμα, αφενός μεν να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά και αφετέρου να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης.

9. Οι αποδόσεις των υδροπονικών καλλιεργειών είναι κατά μέσο όρο γύρω στο 15-20% υψηλότερες, συγκρινόμενες με καλλιέργειες που λαμβάνουν χώρα σε γόνιμα, καλής ποιότητας εδάφη. Οι καλύτερες φυσιολογικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά την διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων.

10. Η αριστοποίηση της θρέψης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της μεταπήδησης στην υδροπονία αλλά και η αποφυγή μίας σειράς προβλημάτων τα οποία έχουν ήδη προαναφερθεί, έχει σαν συνέπεια τα παραγόμενα είδη στις υδροπονικές καλλιέργειες να είναι καλύτερης ποιότητας (μεγαλύτερο μέγεθος, ομοιομορφία προϊόντος, καλύτερο χρώμα φυλλώματος κτλ).

11. Τελευταίο στη σειρά αναφοράς αλλά όχι και σε σπουδαιότητα πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η δυνατότητα αποτελεσματικότερης προστασίας του περιβάλλοντος όταν η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε κλειστό υδροπονικό σύστημα. Χάρης στην δυνατότητα συνεχούς ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, όλα τα λιπάσματα που χορηγούνται στη καλλιέργεια αξιοποιούνται από τα φυτά με συνέπεια να μην διαφεύγουν κάποιες ποσότητες στο περιβάλλον και να το επιβαρύνουν. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές στις οποίες το πόσιμο νερό είναι επιφανειακό ή προέρχεται από μικρό βάθος, με συνέπεια να μολύνεται εξαιτίας της έκπλυσης ενός μέρους των λιπασμάτων όπως των αζωτούχων λιπασμάτων αυξάνοντας τη περιεκτικότητα στο νερό σε νιτρικά ιόντα με σοβαρούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

Όμως έχει και ορισμένα μειονεκτήματα:

1. Απαιτείται μεγάλη επένδυση κεφαλαίου για την αρχική εγκατάσταση μίας υδροπονικής μονάδας. Το κόστος αυτό συνίσταται κυρίως στη δαπάνη αγοράς των πάγιων εγκαταστάσεων παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος καθώς και στα έξοδα προμήθειας του υποστρώματος καλλιέργειας (στην περίπτωση που χρησιμοποιείται υπόστρωμα). Το καθαρό κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση μιας υδροπονικής μονάδας είναι βέβαια χαμηλότερο από το άθροισμα των παραπάνω δαπανών, δεδομένου ότι παράλληλα εξοικονομούνται τα έξοδα προετοιμασίας, κατεργασίας και απολύμανσης του εδάφους. Επιπλέον, ένα σύστημα παρασκευής και διανομής θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητο και στις καλλιέργειες εδάφους για την εφαρμογή υδρολίπανσης.

2. Η εμφάνιση των δυσμενών επιδράσεων ενός λανθασμένου χειρισμού είναι πιο γρήγορη και συχνά πιο έντονη στις υδροπονικές καλλιέργειες. Στη προκείμενη περίπτωση, σε σύγκριση με τις καλλιέργειες στο έδαφος η υδροπονία χαρακτηρίζεται από ταχύτερη αντίδραση σε ορισμένους καλλιεργητικούς χειρισμούς, ιδιότητα η οποία άλλοτε μεν αποτελεί πλεονέκτημα (όταν πρόκειται για επιθυμητούς χειρισμούς που αποσκοπούν σε συγκεκριμένο θετικό αποτέλεσμα) άλλοτε δε μειονέκτημα (όταν

πρόκειται για λανθασμένους ή άστοχους χειρισμούς). Είναι γενικότερα, ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο σύστημα καλλιέργειας χωρίς μεγάλες ανοχές λαθών.

3. Η εφαρμογή υδροπονίας σε μια θερμοκηπιακή μονάδα προϋποθέτει ότι ο επικεφαλής της επιχείρησης θα πρέπει να διαθέτει ένα ελάχιστο μορφωτικό επίπεδο, καθώς απαιτεί περισσότερες γνώσεις της φυσιολογίας των φυτών και της θρέψης τους. Η ισχύς αυτής της προϋπόθεσης είναι σχετική, δεδομένου ότι όταν υπάρχει η κατάλληλη τεχνική υποστήριξη από ειδικευμένο σύμβουλο-γεωπόνο, η εφαρμογή υδροπονίας είναι δυνατή ακόμη και από έναν επιμελή αγρότη με στοιχειώδες επίπεδο γραμματικών γνώσεων.

4. Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα υφίσταται κίνδυνος εύκολης εξάπλωσης μίας μόλυνσης μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος εφόσον προσβληθεί ένα φυτό. Στην πράξη βέβαια ο κίνδυνος αυτός είναι σχετικά μικρός εφόσον έχει αποδειχθεί ότι ακόμη και αν μολυνθούν κάποια φυτά η υπόλοιπη καλλιέργεια συνήθως δεν μολύνεται εφόσον αυτά απομακρυνθούν αμέσως από την υδροπονική εγκατάσταση.

5. Ορισμένοι παραγωγοί παραπονούνται ότι στα ανοιχτά υδροπονικά συστήματα η κατανάλωση λιπασμάτων είναι αυξημένη σε σύγκριση με το έδαφος. Είναι γεγονός ότι στην υδροπονία, ο καλλιεργητής θα πρέπει να χορηγεί όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στα φυτά ενώ αντίθετα, στις καλλιέργειες εδάφους, ορισμένα θρεπτικά στοιχεία όπως το ασβέστιο και τα περισσότερα ιχνοστοιχεία χορηγούνται σπάνια μέσω της λίπανσης, δεδομένου ότι περιέχονται σε επαρκείς ποσότητες στο χώμα. Οι ποσότητες των ιχνοστοιχείων που χορηγούνται στα φυτά στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι πολύ μικρές, ενώ χορήγηση μαγνησίου συνηθίζεται και στις καλλιέργειες εδάφους, ιδιαίτερα στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Επίσης, οι χορηγούμενες στην υδροπονία ποσότητες αζώτου, φωσφόρου και καλίου σε γενικές γραμμές δεν ξεπερνούν τις αντίστοιχες ποσότητες που απαιτούνται σε μία καλλιέργεια εδάφους, δεδομένου ότι και στις δύο περιπτώσεις ισχύει η γενική αρχή ότι οι προστιθέμενες ποσότητες θα πρέπει να ισούνται με το ύψος της κατανάλωσης από τα φυτά συν τις απώλειες μέσω έκπλυσης, ακινητοποίησης κ.λπ. Επομένως, στην πραγματικότητα, οι μόνες άξιες λόγου ποσότητες λιπασμάτων που είναι αναγκαίες ειδικά στις υδροπονικές καλλιέργειες, ενώ στο έδαφος εξοικονομούνται, είναι αυτές που αφορούν τα λιπάσματα ασβεστίου (κατά κανόνα υδατοδιαλυτό νιτρικό ασβέστιο). Όμως και οι ποσότητες λιπασμάτων ασβεστίου που απαιτούνται, συνήθως δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες γιατί, στις περισσότερες περιπτώσεις, το νερό που

χρησιμοποιείται για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων περιέχει ασβέστιο σε σημαντικές συγκεντρώσεις (Τζωρτζάκης και Μανιός, 2011).

Λαμβάνοντας λοιπόν, υπόψην όλα τα παραπάνω συμπεραίνει κανείς ότι η υδροπονία μπορεί να δώσει πραγματικά ουσιαστικές λύσεις στο σύγχρονο περιβάλλον που διαμορφώνεται. Δεν θα πρέπει όμως να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι η υδροπονία από μόνη της θα δώσει στον παραγωγό το επιθυμητό αποτέλεσμα. Χρειάζεται και η επιμέλεια του παραγωγού – επιχειρηματία, η εξοικείωση του με τα διάφορα συστήματα και η ακριβής εφαρμογή των κανόνων που πρέπει να εφαρμόζονται, και σαφώς απαιτείται η καλή συνεργασία με τους ειδικούς που γνωρίζουν και διαθέτουν την κατάλληλη τεχνογνωσία.

## **2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ**

### **2.4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ**

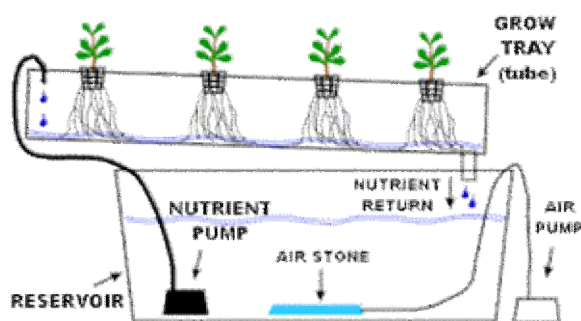
Χρόνια τώρα πολλές εταιρίες έχουν επενδύσει τεράστια κεφάλαια στην έρευνα και στον πειραματισμό σε υποστρώματα και συστήματα για την υδροπονία. Τα υποστρώματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να είναι τεχνητά υλικά τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία πετρωμάτων ή φυσικές πρώτες ύλες οι οποίες υπόκεινται σε ειδική επεξεργασία.

Τα είδη των συστημάτων μπορούν να ταξινομηθούν σε 6 κατηγορίες, όπως αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

- Καλλιέργεια σε θρεπτικό διάλυμα ή υδροκαλλιέργεια (χωρίς αδρανές υπόστρωμα, π.χ. NFT) (Σχήμα 2.1).
- Καλλιέργεια σε άμμο, χαλίκια ή άλλα φυσικά αδρανή υλικά.
- Καλλιέργεια σε διογκωμένα ορυκτά, όπως περλίτης, πετροβάμβακας κ.α.
- Καλλιέργεια σε διογκωμένα συνθετικά οργανικά υλικά (π.χ. πολυστερίνη, ουριοφοлмаδεύδη κ.α.).
- Άλλες καλλιεργητικές τεχνικές που δεν σχετίζονται με το φυσικό έδαφος, όπως είναι ο ψεκασμός της ρίζας του φυτού με θρεπτικό διάλυμα (Αεροπονία).
- Καλλιέργεια σε οργανικά υποστρώματα (τύρφη, φλοιοί δέντρων, άχυρο κ.α.).

Πολλοί ερευνητές δεν συμπεριλαμβάνουν την τελευταία κατηγορία στην υδροπονία και την εντάσσουν ως ένα ιδιαίτερο σύστημα καλλιέργειας, επειδή το οργανικό υπόστρωμα δεν θεωρείται αδρανές (Μαυρογιαννόπουλος, 1994), επομένως

συμβάλει θετικά ή αρνητικά στον εμπλουτισμό και στην διαθεσιμότητα των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα.



Σχήμα 2.1 Σύστημα N.F.T.

Καθεμία από αυτές τις έξι κατηγορίες συστημάτων, υποδιαιρείται σε υποκατηγορίες ή εναλλακτικά σε μεθόδους, που έχουν ως σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η επιλογή της τεχνικής της υδροπονικής καλλιέργειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι το κλίμα, η τοποθεσία, οι μετεωρολογικές συνθήκες, το κόστος των πρώτων υλών και της εργασίας, καθώς και το επίπεδο της τεχνογνωσίας.

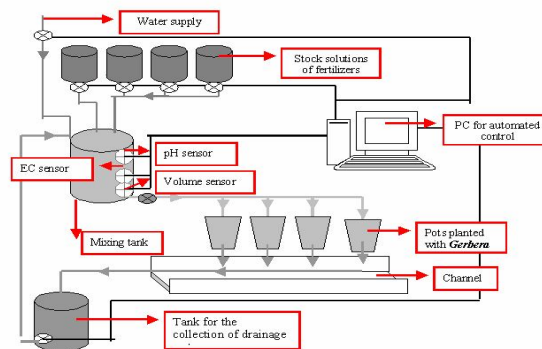
Τέλος με βάση τον τρόπο διαχείρισης απορροών, διακρίνεται σε ανοιχτά και κλειστά σύστημα καλλιέργειας εκτός εδάφους.

Ανοιχτά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι τα συστήματα όπου η περίσσεια θρεπτικού διαλύματος που απορρέει από τον χώρο των ριζών διαφεύγει στο περιβάλλον (Σχήμα 2.2).

Κλειστά συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους είναι τα συστήματα όπου η περίσσεια θρεπτικού διαλύματος που στραγγίζει και απομακρύνεται από το περιβάλλον της ρίζας μετά από την παροχή του στην καλλιέργεια συλλέγεται, συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία και ξαναχρησιμοποιείται (Σχήμα 2.3).



**Σχήμα 2.2** Καλλιέργεια σε σάκους με υπόστρωμα οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο δάπεδο του θερμοκηπίου με συνέπεια το απορρέον θρεπτικό διάλυμα να χάνεται στο έδαφος (ανοιχτό υδροπονικό σύστημα).



**Σχήμα 2.3** Απεικόνιση ενός κλειστού συστήματος καλλιέργειας εκτός εδάφους.

Σήμερα οι κατηγορίες συστημάτων υδροπονίας που εφαρμόζονται περισσότερο στα επιχειρηματικά – εμπορικά θερμοκήπια είναι η καλλιέργεια σε πετροβάμβακα (Rockwool Culture), η καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT) και η καλλιέργεια σε σάκους τύρφης. Στην Ελλάδα, ως τεχνητό υπόστρωμα χρησιμοποιείται κυρίως ο περλίτης, γιατί είναι ένα εθνικό προϊόν, φθηνό που έχει όλες τις απαραίτητες ιδιότητες για την υδροπονική καλλιέργεια, ενώ υπάρχουν και άλλα όπως η ελαφρόπετρα, ο βερμικουλίτης, η άμμος και το χαλίκι.

#### 2.4.2 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Το τεχνητό υπόστρωμα πρέπει να έχει μικρή εναλλακτική ικανότητα ιόντων, δηλαδή τη δυνατότητα να μη δεσμεύει τα θρεπτικά στοιχεία από το διάλυμα, αλλά να τα αφήνει ελεύθερα να απορροφούνται από το φυτό. Με τη μέθοδο αυτή η θρέψη του φυτού δεν βασίζεται στο χώμα, αλλά στο νερό και στα θρεπτικά στοιχεία που έχουν προστεθεί. Το υπόστρωμα που είναι αδρανές, το μόνο που προσφέρει είναι να στηρίζει την καλλιέργεια και να παρέχει χώρο για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, με τις επιθυμητές φυσικοχημικές ιδιότητες.

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι τα ακόλουθα:

1. **Πετροβάμβακας (rock wool, stone wool).** Ο πετροβάμβακας αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα παγκοσμίως. Παρασκευάζεται παραπάνω από 50 χρόνια και χρησιμοποιείται ως θερμομονωτικό και ηχομονωτικό υλικό (Donnan and Biggs, 1984 – αναφέρεται από τον Μανιός, 2006). Είναι ένα

αδρανές ινώδες υλικό το οποίο παράγεται από ένα μίγμα βασάλτη, ασβεστόπετρας και κωκ, λειωμένα στους 1500-2000 °C σε υψικάμνο (Γουμενάκη, 2004).

2. **Ελαφρόπετρα.** Η ελαφρόπετρα είναι ένα αργιλοπυριτικό ηφαιστειογενές ορυκτό το οποίο παράγεται στη χώρα μας και χρησιμοποιείται στη γεωργία, ουσιαστικά χωρίς καμία ιδιαίτερη επεξεργασία. Μια από τις χρήσεις της, είναι η παρασκευή υποστρωμάτων για τις εκτός εδάφους καλλιέργειες (Μανιός, 2006). Το pH της ελαφρόπετρας είναι περίπου 7,3. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει αλλά καλύτερα είναι να αφαιρείται η περιεχόμενη σκόνη (ξέπλυμα με νερό) και να κλασματώνεται η υπόλοιπη σε κλάσματα της επιθυμητής κοκκομετρικής σύνθεσης. Συνήθως, χρησιμοποιείται σε σάκους φύτευσης ή σε κανάλια καλλιέργειας. Μεγαλύτερη χρησιμοποίηση της γίνεται στην Κρήτη στην παρασκευή υποστρωμάτων ριζοβολίας των αμερικανικών υποκειμένων του αμπελιού (Μανιός, 2007).
3. **Άμμος.** Η άμμος σε σχέση με το μέγεθος των κόκκων της κατατάσσεται σε τρεις κατηγορίες: λεπτή άμμος: 0,02 – 0,2 mm, χοντρή άμμος: 0,20 – 2,0 mm και χαλίκια: > 2,0 mm. Η καλλιέργεια σε άμμο που αρδεύεται με θρεπτικό διάλυμα εξασφαλίζει καλύτερο αερισμό των ριζών, σε σύγκριση με την υδροκαλλιέργεια. Επιπλέον, η μορφολογία της ρίζας στην αμμοκαλλιέργεια είναι διαφορετική σε σύγκριση με την καλλιέργεια σε θρεπτικό διάλυμα (Θερίος, 2005). Η άμμος εφόσον είναι απαλλαγμένη από άργιλο, ανθρακικό ασβέστιο και χλωριούχα άλατα δεν έχει ουσιαστικά καμία επίδραση στις χημικές ιδιότητες των μειγμάτων στα οποία συμμετέχει. Αντιθέτως, η άμμος επηρεάζει τις φυσικές ιδιότητες (σχέσεις νερού και αέρα, υδατικές ιδιότητες) των μειγμάτων, και γι' αυτό το λόγο άλλωστε και χρησιμοποιείται. Η καλλιέργεια φυτών σε άμμο μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη με συστήματα καναλιών (Hydrocanal System) ή σάκων, όπου το θρεπτικό διάλυμα επανακυκλοφορεί (Θερίος, 2005) αλλά και σε διάφορους υποδοχείς (Μανιός, 2006).
4. **Περλίτης.** Στο υαλώδες αυτό ηφαιστειακό πέτρωμα δόθηκε το όνομα «περλίτης», από τη λάμψη του που είναι όμοια με εκείνη του μαργαρίτη (pearl) (Χαρίτος, 1989 - αναφέρεται από τον Μανιός, 2006). Ο υδροπονικός περλίτης προέρχεται από την επεξεργασία του ορυκτού ηφαιστειακού περλίτη που διαμορφώθηκε με την ταχύτατη ψύξη και στερεοποίηση της όξινης λάβας των ηφαιστειών. Ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία



αλλά και στη γεωργία. Για την δημιουργία του διογκωμένου περλίτη θερμαίνονται οι κόκκοι του ορυκτού στους 1000 °C, όπου λόγω του κρυσταλλικού νερού διογκώνονται 13 φορές σε όγκο περίπου και σχηματίζει ένα κοκκώδες λευκό υλικό που ζυγίζει 80 - 120 Kg/m<sup>3</sup>. Η επιφάνεια κάθε τεμαχίου καλύπτεται με μικρές κοιλότητες που δίνουν μια μεγάλη επιφάνεια. Οι επιφανειακές αυτές κοιλότητες συγκεντρώνουν νερό και το καθιστούν διαθέσιμο για το φυτό. Επίσης, λόγω του φυσικού σχήματος κάθε τεμαχίου του περλίτη, εξασφαλίζονται πόροι για τον καλό αερισμό των ριζών. Ο περλίτης είναι διαθέσιμος σε πολλά μεγέθη κόκκων. Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται διογκωμένοι κόκκοι διαμέτρου 1,5 έως 3mm. Η πυκνότητα τους είναι 128 Kg/m<sup>3</sup> και μπορεί να συγκρατήσουν 3πλάσιο ή 4πλάσιο νερό σε σχέση με τον όγκο τους. Το pH είναι 7,0 – 7,5, δεν έχει σημαντική ρυθμιστική ούτε και εναλλακτική ικανότητα και δεν περιέχει άλατα. Μια ποσότητα 2-5 λίτρων περλίτη ανά φυτό είναι επαρκής για την καλλιέργεια των κυριότερων φυτών. Ο περλίτης μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε σάκους είτε σε γλάστρες είτε σε άλλου τύπου φυτοδοχεία. Μπορεί επίσης να απλωθεί μέσα σε υδρορροές οι οποίες στη συνέχεια καλύπτονται από πάνω με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου. Το τελευταίο αυτό σύστημα όμως παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, κυριότερο από τα οποία είναι η ανάγκη χρησιμοποίησης μεγαλύτερων ποσοτήτων περλίτη ανά φυτό. Η χημική σύνθεση του περλίτη είναι: SiO<sub>2</sub> 73,1%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15,3%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,1%, CaO 0,8%, MgO 0,1%, K<sub>2</sub>O 4,5%, Na<sub>2</sub>O 3,6%.

5. **Χαλίκι.** Είναι ένα χονδρόκοκκο υπόστρωμα και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε μόνιμες κατασκευές στο θερμοκήπιο (καλλιέργεια σε αυλάκια ή κανάλια). Η χημική του σύσταση ποικίλλει και εξαρτάται από το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχεται. Η διάμετρος των διαφόρων κοκκομετριών χαλικιού που χρησιμοποιούνται στην υδροπονία κυμαίνεται μεταξύ 5-20 mm. Σαν υπόστρωμα έχει πρακτικά μηδενική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και αμελητέα ικανότητα συγκράτησης νερού (πολύ πιο μικρή από την αντίστοιχη της άμμου). Γι' αυτό η καλλιέργεια σε χαλίκι συνιστάται μόνο ως κλειστό υδροπονικό σύστημα. Η τεχνική της εγκατάστασης μίας υδροπονικής καλλιέργειας σε χαλίκι είναι σε γενικές γραμμές ανάλογη με αυτή που ακολουθείται στις καλλιέργειες σε άμμο.
6. **Τύρφη.** Είναι το πιο συνηθισμένο οργανικό υπόστρωμα που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια φυτών εκτός εδάφους είναι η τύρφη. Η τύρφη είναι φυσικό

υλικό και προέρχεται από την αποδόμηση της υδροχαρούς βλάστησης που φύεται σε ελώδεις περιοχές και γενικότερα σε υγρότοπους. Σε τέτοιες περιοχές, με την πάροδο του χρόνου έχουν σχηματισθεί ολόκληρα κοιτάσματα, από τα οποία η τύρφη εξορύσσεται, υφίσταται κάποια επεξεργασία (απολύμανση, άλεσμα, ομογενοποίηση, κ.λπ.) και συσκευάζεται σε βιομηχανική κλίμακα. Γενικά υπάρχουν δύο τύποι τύρφης, η ξανθιά και η μαύρη τύρφη.

7. **Coco soil.** Το Coco Soil είναι ένα νέο οργανικό υλικό όπου τα χαρακτηριστικά του το καθιστούν κατάλληλο για τον τομέα της γεωπονίας, και επιπλέον διεγείρει ένα οικολογικό τρόπο παραγωγής. Το coco – soil παράγεται από ίνες καρύδας και κοκκοφοίνικα. Το προϊόν παράγεται συγκριτικά σε μικρή χρονική περίοδο (μικρό κύκλο του C) άρα απαιτεί μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, απ' ότι η τύρφη που χρειάζεται μια αρκετά μεγαλύτερη περίοδο ωρίμανσης (μεγάλος κύκλος του C). Η περιεκτικότητα λιγνίνης του coco – soil είναι 45,5%, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το προϊόν να διατηρεί τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του (πολύ καλή αναλογία νερού/αέρα ) για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (το λιγότερο 4 χρόνια).

## 2.5 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται πλήρη θρεπτικά διαλύματα, δηλαδή υδατικά διαλύματα που περιέχουν όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, εκτός από τον άνθρακα τον οποίο η καλλιέργεια τον προσλαμβάνει από την ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι συστατικά του νερού ενώ οξυγόνο προσλαμβάνεται και από τον ατμοσφαιρικό αέρα για τις ανάγκες της αναπνοής. Το χλώριο εμπεριέχεται σχεδόν πάντοτε σε επαρκείς ποσότητες ως χλωριούχο ανιόν στο νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του διαλύματος καθώς επίσης και στις προσμίξεις των λιπασμάτων. Επομένως μόνο τα 12 από τα 16 απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών χημικά στοιχεία, δηλ. τα μακροστοιχεία N, P, S, K, Ca και Mg και τα ιχνοστοιχεία Fe, Mn, Zn, Cu, B, και Mo πρέπει να προστίθενται στο νερό από τον παρασκευαστή του θρεπτικού διαλύματος.

Για να προστεθούν τα θρεπτικά στοιχεία στο διάλυμα ως λιπάσματα χρησιμοποιούνται κυρίως απλά υδατοδιαλυτά άλατα καθώς επίσης και ορισμένα οξέα, ενώ ειδικά ο σίδηρος χορηγείται σε μορφή οργανομεταλλικών συμπλόκων

(χηλικές ενώσεις σιδήρου). Τα απλά υδατοδιαλυτά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται συνήθως κατά την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων για υδροπονικές καλλιέργειες συνίστανται μόνο από μία χημική ένωση (με εξαίρεση το νιτρικό ασβέστιο), συνοδευόμενη συνήθως και από νερό, είτε σε κρυσταλλική μορφή (άλατα), είτε ως διαλύτη (οξέα με περιεκτικότητα χαμηλότερη από 100%). Επομένως, επιλέγοντας κάθε φορά κατάλληλες αναλογίες ανάμειξης ορισμένων από αυτά τα λιπάσματα, είναι δυνατόν να παρασκευασθεί ένα πλήρες θρεπτικό διάλυμα με εξατομικευμένες σε μία δεδομένη καλλιέργεια αναλογίες και περιεκτικότητες σε θρεπτικά στοιχεία.

Εκτός από τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στην υδροπονική πράξη χρησιμοποιούνται ευρύτητα και δύο άλλα μεγέθη για να υποδηλώσουν την σύσταση και την θρεπτική αξία των θρεπτικών διαλυμάτων. Η ευρύτατη χρήση αυτών των μεγεθών στην καλλιεργητική πράξη οφείλεται στο γεγονός ότι μπορούν να μετρηθούν εύκολα και με ακρίβεια ακόμη και στο θερμοκήπιο χρησιμοποιώντας φορητά όργανα. Τα μεγέθη αυτά είναι η EC και το pH του θρεπτικού διαλύματος.

Η EC σαν φυσικό μέγεθος είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού. Σήμερα, σαν μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει καθιερωθεί διεθνώς το dS/m (σε ορισμένα κείμενα χρησιμοποιείται το mS/cm). Η EC ενός υδατικού διαλύματος σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων που βρίσκονται διαλυμένα σ' αυτό. Έτσι, στη περίπτωση των νερών άρδευσης και των θρεπτικών διαλυμάτων είναι μέτρο της περιεκτικότητας τους σε θρεπτικά στοιχεία κι άλλα ανόργανα άλατα. Η EC δεν μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων που είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα, αλλά μόνο για την συνολική τους συγκέντρωση.

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

Το pH του θρεπτικού διαλύματος (μέτρο της περιεκτικότητάς του σε ιόντα υδρογόνου, δηλ. της ενεργού οξύτητάς του) είναι καθοριστικής σημασίας κριτήριο για την καταλληλότητά του. Όταν το pH είναι ψηλότερο ή χαμηλότερο από κάποιες τιμές που θεωρούνται ως ανώτερα ή κατώτερα επιθυμητά όρια, πολλά θρεπτικά στοιχεία καθίστανται δυσδιάλυτα (κυρίως ο P, ο Fe, το Mn σε υψηλό pH), οπότε η

απορρόφησή τους από τα φυτά δυσχεραίνεται, ενώ άλλα απορροφώνται με ταχύτερους από τους συνήθεις ρυθμούς (π.χ. το Mn και το αργίλιο σε χαμηλό pH). Το αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται διαταραχές στην θρέψη των φυτών (τροφοπενίες, τοξικότητες κ.λ.π.).

## **2.6 ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ**

Η προσπάθεια και τάση χρήσεως και αξιοποίησης υποβαθμισμένης ποιότητας νερού (π.χ. αλατούχα νερά) για τις αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών σε συνδυασμό με την υποβάθμιση των υδάτινων πηγών γίνεται ολοένα και επιτακτικότερη, με υψηλό ερευνητικό ενδιαφέρον. Η υδροπονία, συνδυάζοντας την υψηλή τεχνολογία και τεχνογνωσία αλλά και τον ουσιαστικό και πλήρη έλεγχο της θρεπτικής κατάστασης των φυτών, αποτελεί το πλέον χρήσιμο εργαλείο για ερευνητικές μελέτες σχετικά με την επίδραση της αλατότητας στα φυτά. Η έκθεση φυτών σε συνθήκες αλατότητας (NaCl) επιδρά στη διαδικασία μεταφοράς νερού και ιόντων στα φυτά, όπου μπορεί να μεταβάλει τη θρεπτική κατάσταση και την ισορροπία των ιόντων καθώς επίσης και πολλές φυσιολογικές διεργασίες (Lauchli and Epstein, 1990).

Για να γίνουν περισσότερο αντιληπτά τα παραπάνω, παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα από πρόσφατες μελέτες σχετικά με την επίδραση της αλατότητας ή και υποστρώματος στην αύξηση-ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών:

- Σε υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας με σύστημα NFT, φυτεύτηκαν αυτόρριζα φυτά τομάτας ποικιλίας ‘Belladona’ F1 (Hazera) καθώς και φυτά εμβολιασμένα είτε στην ίδια την καλλιεργούμενη ποικιλία (Belladona) είτε σε τρία διαφορετικά εμπορικά υποκείμενα (‘Heman’, ‘Beaufort’, ‘Resistar’). Οι πέντε αυτές μεταχειρίσεις εμβολιασμού συνδυάστηκαν με 3 διαφορετικά επίπεδα αλατότητας (NaCl) 2,5, 5 και 7.5 dS/m, στο θρεπτικό διάλυμα του κλειστού υδροπονικού συστήματος. Αυτό που παρατηρήθηκε μέσα από αυτή την διαδικασία ήταν ότι: η αύξηση της αλατότητας του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος ελάττωσε την παραγωγή λόγω μείωσης του μέσου βάρους των καρπών, ενώ δεν επηρέασε τον αριθμό των καρπών ανά φυτό. Το pH μειώθηκε με την αυξημένη αλατότητα στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα (Ολύμπιος κ.α., 2007α).
- Προηγούμενες μελέτες ανέφεραν ότι τα επίπεδα αλατότητας πάνω από 2,0 και 2,6 dS m<sup>-1</sup> μείωσαν αντίστοιχα την παραγωγή μαρουλιού (*Lactuca sativa* L.) και την

ανάπτυξη των φυτών αλλά η ξηρά ουσία των φύλλων μαρουλιού αυξήθηκε κατά 24% όταν η αλατότητα αυξήθηκε σε 2,8 dS m<sup>-1</sup>. Ο αριθμός φύλλων των μαρουλιών δεν επηρεάστηκε από τα επίπεδα αλατότητας (Andriolo et al., 2005).

- Πρόσφατες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε φυτά αγγουριάς (υβρίδιο 722 Virginia RZ) εμβολιασμένα σε υποκείμενα Mamouth F<sub>1</sub> και Leon F<sub>2</sub> τα οποία αναπτύχθηκαν σε συνθήκες θερμοκηπίου εφαρμόζοντας τρία επίπεδα αλατότητας 2 dS/m (μάρτυρας), 3,5 dS/m και 5,5 dS/m με την προσθήκη NaCl στο νερό ύδρευσης και με το ίδιο επίπεδο λίπανσης έδειξαν ότι η αλατότητα επηρέασε στατιστικά σημαντικά την συνολική απόδοση, το μέσο βάρος, τον αριθμό, το μήκος των καρπών αλλά δεν επηρέασε την διάμετρο τους. Το υποκείμενο Mamouth F<sub>1</sub> σε μέτρια επίπεδα αλατότητας ήταν περισσότερο ανθεκτικό. Συγκεκριμένα στο επίπεδο αλατότητας των 3,5 dS/m δεν υπήρξε μείωση στη συνολική απόδοση σε αντίθεση με το επίπεδο αλατότητας 5,5 dS/m όπου υπήρξε σημαντική μείωση στη συνολική απόδοση κατά 31%, που προήλθε τόσο από τη μείωση του μέσου βάρους, όσο και από τη μείωση των καρπών. Η απόδοση των φυτών του υποκειμένου Leon F<sub>1</sub> παρουσίασε σημαντική μείωση με την αύξηση της αλατότητας οφειλόμενη αρχικά μόνο στη μείωση του αριθμού των καρπών, ενώ στο υψηλότερο επίπεδο αλατότητας η συνολική μείωση που ανήλθε στο 44% οφείλεται κύρια στη μείωση του αριθμού αλλά και του μέσου βάρους των καρπών. Στο επίπεδο αλατότητας των 2 dS/m το υποκείμενο Leon F<sub>1</sub> εμφάνισε υψηλότερη απόδοση (Ολύμπιος κ.α. 2009).
- Σε μια άλλη μελέτη που περιελάμβανε φυτά αγγουριάς (υβρίδιο 722 Virginia RZ) εμβολιασμένα σε υποκείμενα Mamouth F<sub>1</sub> και Leon F<sub>1</sub>, αναπτύχθηκαν σε συνθήκες θερμοκηπίου και 40 ημέρες μετά την σπορά του εμβολίου εφαρμόστηκαν τρία επίπεδα αλατότητας 2,0 dS/m (μάρτυρας), 3,5 dS/m και 5,5 dS/m με την προσθήκη NaCl στο νερό ύδρευσης και με το ίδιο επίπεδο λίπανσης. Η αλατότητα επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την συνολική απόδοση, το μέσο βάρος, τον αριθμό, το μήκος των καρπών, αλλά δεν επηρέασε την διάμετρο τους. Το υποκείμενο Mamouth F<sub>1</sub> σε μέτρια επίπεδα αλατότητας ήταν περισσότερο ανθεκτικό. Κατά την τελική δειγματοληψία (60 μέρες περίπου μετά την εφαρμογή της αλατότητας) το γενικό συμπέρασμα της μελέτης αυτής ήταν ότι: η περιεκτικότητα των καρπών σε Cl<sup>-</sup> και Na<sup>+</sup> αυξήθηκε με την αύξηση της αλατότητας (Ολύμπιος κ.α, 2007β).

- Επιπλέον η χρήση 1% NaCl στο αντίδι (*Cichorium endivia* L) και στο μάραθο (*Foeniculum vulgare* L.) μείωσε την εμπορεύσιμη παραγωγή κατά 60% περίπου (το αντίδι εμφανίζετε να είναι πιο ευαίσθητο σε εγκαύματα στην άκρη των φύλλων και στα νεκρωτικά συμπτώματα που εμφανίζονται στη συγκομιδή). Αυτά τα συμπτώματα μπορούν να αποδοθούν στη χαμηλή προσρόφηση ασβεστίου, στη μειωμένη μεταφορά ασβεστίου μέσω του ξυλώματος αλλά και στη διαταραχή της κατανομής των κατιόντων στο φυτικό ιστό σε υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου (Sonneveld, 1998).
- Η επίδραση χαμηλής αλατότητας (40 mM NaCl) δεν επέφερε αλλαγές στην ανάπτυξη της ρίζας ενώ η αλατότητα γενικότερα (40 mM NaCl και 120 mM NaCl) μείωσε την ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος σε φυτά μαρουλιού και το συνολικό βάρος του. Επιπλέον μείωση σημειώθηκε στην στοματική αγωγιμότητα των φύλλων που μπορεί να προκαλέσει μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων μαρουλιού (Tzortzakis, 2009b).
- Σε διαφορετική μελέτη ερευνήθηκαν οι επιπτώσεις της αλατότητας στην τομάτα όταν προέρχεται από υψηλή συγκέντρωση 100 mM NaCl που αντιστοιχεί σε αγωγιμότητα 12 dS/m. Η έκθεση των φυτών στην αλατότητα μείωσε σημαντικά το ύψος των φυτών και την φυλλική τους επιφάνεια. Η μείωση της φυλλικής επιφάνειας ήταν μεγαλύτερη στην επέμβαση με την αλατότητα NaCl (40%) συγκριτικά με την αλατότητα των μακροστοιχείων (15%). Μειώθηκε επίσης η αγωγιμότητα των στοματίων, η συγκέντρωση του μεσοκυττάρου CO<sub>2</sub>, και αυξήθηκε η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη. Η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος με την προσθήκη NaCl στο κανονικό θρεπτικό διάλυμα μείωσε σημαντικά το νωπό βάρος των καρπών ανά φυτό. Στην επέμβαση με την αλατότητα του NaCl η μείωση της απόδοσης, κατά 55% οφείλεται τόσο στο μικρότερο μέγεθος καρπών όσο και στο μικρότερο αριθμό καρπών ανά φυτό. Η απόδοση των φυτών σε ξηρό βάρος καρπών μειώθηκε σημαντικά (-26%) στην αλατότητα του NaCl. Επιπλέον, η αλατότητα NaCl προκάλεσε ισχυρότερη αρνητική επίπτωση στη συνολική παραγωγή ξηρού βάρους (περίπου -33%) (Λυκοσκούφης κ.α, 2007).
- Σε υδροπονική καλλιέργεια κολοκυθίου τροφοδοτήθηκε με θρεπτικό διάλυμα χαμηλής (0,1 mM) ή υψηλής (1 mM) συγκέντρωσης πυριτίου η οποία συνδυάστηκε με χαμηλή (0,8 mM NaCl) ή υψηλή (35 mM NaCl) αλατότητα. Η αυξημένη

αλατότητα περιόρισε σημαντικά την βλαστική ανάπτυξη των φυτών, την παραγωγή καρπών (τόσο τον αριθμό όσο και το μέσο βάρος), καθώς επίσης και την διαπνοή, την φωτοσύνθεση και την στοματική αγωγιμότητα των φύλλων. Όμως, η αυξημένη αλατότητα βελτίωσε ορισμένα χαρακτηριστικά ποιότητας των καρπών του κολοκυθιού και ειδικότερα τα ολικά διαλυτά στερεά και την περιεκτικότητά τους σε ξηρή ουσία. Σε συνθήκες υψηλής αλατότητας, η αυξημένη παροχή Si, μέσω του θρεπτικού διαλύματος, αύξησε το βάρος τόσο του υπέργειου μέρους όσο και των καρπών ανά φυτό (Σάββας κ.α, 2007).

- Σε πειραματική εγκατάσταση αποτελούμενη από 12 κλειστά, ανεξάρτητα μεταξύ τους υδροπονικά συστήματα με μερικώς αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης και πλήρη ανακύκλωση των απορροών, μελετήθηκε ο ρυθμός συσσώρευσης αλάτων σε καλλιέργεια πιπεριάς, όταν το νερό άρδευσης περιείχε 0,8 mM, 4 mM, 8 mM και 12 mM NaCl. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε νερό με συγκέντρωση NaCl 0,8 mM στο οποίο γινόταν προσθήκη NaCl σε ποσότητες που αντιστοιχούσαν στις παραπάνω συγκεντρώσεις. Όσον αφορά τις επιπτώσεις της αλατότητας στην καλλιέργεια, διαπιστώθηκε ότι η προοδευτική συσσώρευση NaCl στο περιβάλλον των ριζών της πιπεριάς μείωσε σημαντικά την βλαστική ανάπτυξη των φυτών. Ο περιορισμός της βλαστικής ανάπτυξης με την αύξηση της αλατότητας οφειλόταν εν μέρει τουλάχιστον σε μείωση των ρυθμών καθαρής φωτοσύνθεσης (Χατζηευστρατίου κ.α, 2007).
- Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η επίδραση χαμηλής αλατότητας (40mM NaCl) σε υδροπονική καλλιέργεια (NFT) μαρουλιού, δεν επέφερε αλλαγές στην ανάπτυξη της ρίζας ενώ η αλατότητα γενικότερα (40mM NaCl και 120mM NaCl) μείωσε την ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος σε φυτά μαρουλιού και το συνολικό βάρος του. Επιπλέον μείωση σημειώθηκε στην στοματική αγωγιμότητα των φύλλων που μπορεί να προκαλέσει μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων μαρουλιού (Tzortzakis, 2009a). Ο εμπλουτισμός K αλλά και ο διαφυλλικός ψεκασμός με Ca μείωσε τις αρνητικές επιδράσεις της αλατότητας, βελτιώνοντας μερικώς την παραγωγή και προφυλάσσοντας την καλλιέργεια μαρουλιού από σήψη κορυφής (κυρίως το Ca έπαιξε ουσιαστικότερο ρόλο σε αυτό, παρά το K). Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και σε άλλα φυλλώδη φυτά (αντίδι, σέλινο) ή και ποικιλίες μαρουλιού (ποικ. Beta) (Tzortzakis, 2009a, 2009b).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΟΚΑΣ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Εύζωμον το ήμερον (*Eruca sativa*), της οικογένειας των σταυρανθών (Brassicaceae ή Cruciferae), είναι ετήσιο φυτό, ιθαγενές της Ευρώπης κοινό στην Ελλάδα και τις παραμεσόγειες χώρες, γνωστό με την κοινή ονομασία ρόκα, ή αρώματος (στην Κρήτη). Είναι λαχανικό γνωστό μεταξύ εκείνων που ονομάζονταν «επίσπορα» κατά τον Θεόφραστο, δηλαδή αυτών που μπορούν να σπαρθούν πολλές φορές κατά την διάρκεια του έτους. Είναι συγγενές με το φυτό *Eruca langirostra* δηλαδή την άγρια ρόκα ή αζούματο που παλαιότερα φύτευε σε μεγάλες εκτάσεις, σαν σπαρτό, και θεωρείτο φυτό με μελισσοκομική αξία (Γενναδίου, 1959).

Η καταγωγή της είναι από τη Νοτιοανατολική Ασία. Επίσης καλλιεργείται στην Ιταλία, Νότια Γαλλία, Ελλάδα και στην Μικρή Ιταλία της Νέας Υόρκης (Ανώνυμος α, 2011, Christman, 2005).

Η ρόκα θεωρούταν πάντα ένα ισχυρό αφροδισιακό. Στην κλασική αρχαιότητα ήταν αφιερωμένο στον Πρίαπα και φυτεύτηκε στους Πρόποδες του αγάλματος της θεότητας αφιερωμένη στην αναπαραγωγική δυνατότητα των ανδρών. Ο Διοσκουρίδης προειδοποιεί ότι τρώγεται ωμή και διεγείρει τη σφοδρή επιθυμία και ότι οι σπόροι έχουν την ίδια δύναμη.

Ανεξάρτητα από αυτά τα αποτελέσματα η ρόκα είναι βασικά ως λαχανικό (όπου καταναλώνονται τα φύλλα) και ως καρύκευμα (όπου καταναλώνονται τα φύλλα μαζί με τους σπόρους). Οι Ισπανό-Άραβες γεωπόνοι αναφέρουν την καλλιέργειά της, για παράδειγμα ο Ibn Hayyay (τον 11<sup>ο</sup> αιώνα), ο Ibn wafid (τον 11<sup>ο</sup> και τον 12<sup>ο</sup> αιώνα) και φυσικά ο Ibn ol – Awwam (τον 12<sup>ο</sup> αιώνα). Ο τελευταίος συγγραφέας αναφέρει τη χρήση του φυτού ως άρτυμα για τα γλεύκη και τα σιρόπια (Ανώνυμος, 1994).

Λόγω της ισχυρής γεύση της η ρόκα είναι αρκετά δημοφιλής σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες καθώς επίσης και στις Η.Π.Α. Ήδη από τον Μεσαίωνα ήταν πολύ γνωστή σε όλη την εύκρατη Ευρώπη τόσο για τα αρωματικά φύλλα όσο και τους πικάντικους σπόρους της (Katzer, 2002).

Τα τελευταία χρόνια, υπήρξε μια σταθερή τάση να χρησιμοποιούν περισσότερο τα βότανα στην μαγειρική και κάθε χρόνο νέα βότανα γίνονται γνωστά και διαθέσιμα. Προς το παρόν η ρόκα, ο βασιλικός και το σκόρδο (το τελευταίο μόνο στην Κεντρική Ευρώπη), έχουν γίνει σύμβολα της καλής μαγειρικής που δύσκολα μπορεί να



αγνοηθούν από έναν σεφ και κανένας δεν μπορεί να αμφισβητήσει σοβαρά την μαγειρικά αξία των εν λόγω φυτών. Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για το σπόρο κολοκυθιάς (Katzner, 2002).

### 3.2 ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η ρόκα, *Eruca sativa*, είναι ένα ετήσιο ποώδες φυτό με διακλαδιζόμενους βλαστούς. Φτάνει σε ύψος έως και 80 cm. Ανήκει στην οικογένεια των Σταυρανθών. Συναντάται σε αρκετές περιοχές της Μεσογείου ως αυτοφυής (άγρια ρόκα) ή καλλιεργήσιμη. Στην αρχαία Ελλάδα ήταν γνωστή και ως «εύζωμον το ήμερον» (Αγγελίδης, 2011).

Τα φύλλα της βάσης είναι σε ρόδακα. Τα φύλλα είναι λοβωτά ή οδοντωτά με τέσσερα έως δέκα μικρούς πλευρικούς λοβούς και ένα μεγάλο λοβό (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Το σχήμα του φύλλου του φυτού *Eruca sativa*.

Τα άνθη έχουν διάμετρο 2-4 cm και σχηματίζουν ταξιανθίες. Τα πέταλα έχουν χρώμα κρεμώδες λευκό με μωβ φλέβες, οι στήμονες έχουν χρώμα κίτρινο. Τα σέπαλα πέφτουν πριν ανοίξει το άνθος (Εικόνα 3.2).



**Εικόνα 3.2** Άνθος του φυτού *Eruca sativa*.

Ο καρπός είναι μικρός 12-35mm και κωνικός, ραμφοειδής και περιέχει σπόρους με διάμετρο 1.5-2.5 mm. Οι σπόροι είναι εδωδιμοί έχουν σχήμα ωοειδές και χρώμα κίτρινο έως καφέ (Εικόνα 3.3). Η ρίζα του φυτού είναι πασσαλώδης (Ανώνυμος και Willey, 2011).

Η ανθοφορία της ρόκας ξεκινάει από τα μέσα του Απρίλη και συνεχίζει να ανθίζει μέχρι τα τέλη του Μαΐου στις πιο ζεστές περιοχές ενώ η ανθοφορία της μπορεί να παραταθεί μέχρι τα μέσα του Ιούνη στις πιο ορεινές και ψυχρές περιοχές.



**Εικόνα 3.3** Καρποί ρόκας.

### **3.3 ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ**

Η ρόκα είναι ένα πολύ ανθεκτικό φυτό που μπορεί να ευδοκιμήσει σε όλα τα είδη εδαφών. Είναι ανθεκτική στο κρύο και στο χιόνι αφού μπορεί να αντέξει μέχρι τους -3 °C χωρίς σημαντικές ζημιές με εξαίρεση την σκλήρυνση των φύλλων της (Αγγελίδης, 2011 και Willey, 2011).

Όμως χρειάζεται προστασία από ισχυρούς ανέμους και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρησιμοποίηση ανεμοφρακτών ή πλαστικών καλυμμάτων γύρω από την καλλιέργεια. Επίσης χρειάζεται προστασία και από υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες για την αποφυγή εγκαυμάτων αλλά και συμπτωμάτων μαρασμού.

Το χώμα σποράς πρέπει να είναι ελαφρύ, καλά δουλεμένο απαλλαγμένο από άλλους σπόρους αν δεν χρησιμοποιηθεί έτοιμο φυτόχωμα. Πρέπει να στραγγίζει καλά να μην κατακρατά υγρασία και σαπίσουν οι σπόροι. Προτιμά τα θερμά, ξηρά κλίματα, όμως σε θερμοκρασία πάνω από 25 °C έχει αυξημένες ανάγκες άρδευσης (Ανώνυμος, 2011 και Αγγελίδης, 2011).

### **3.4 ΤΡΟΠΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ**

Ο πολλαπλασιασμός γίνεται εγγενώς, όπου χρησιμοποιείται για την προώθηση της γενετικής ποικιλομορφίας και γίνεται με σπόρους είτε στο τέλος του καλοκαιριού είτε στις αρχές της Άνοιξης. Κάποιες φορές όταν το Φθινόπωρο είναι πολύ ήπιο τότε μπορεί να έχουμε παραγωγή και μέσα στο χειμώνα (Willey, 2011 και Αγγελίδης, 2011).

Η σπορά γίνεται σε γραμμές ή σε ρηγά αυλάκια με το χέρι (στα πεταχτά) νωρίς την άνοιξη με αρχές φθινοπώρου και με αποστάσεις μεταξύ των σειρών 15 cm και μεταξύ των σπόρων 20 cm. Σε μεγάλες καλλιέργειες η σπορά γίνεται με σπαρτικές μηχανές. Εάν η φύτευση γίνει το καλοκαίρι τότε θα αναπτυχθεί πιο γρήγορα το φυτό όμως παρατηρούνται αλλαγές όχι τόσο στην εμφάνιση αλλά στην γεύση και στην υφή του φυτού, δηλαδή τα φύλλα θα είναι πιο σκληρά και πιο πικρά από εκείνα τα φυτά που θα καλλιεργούνταν σε δροσερότερο καιρό. Η πικρή γεύση οφείλεται στην σύνθεση ορισμένων ουσιών ή/ και στις διαλυτές τανίνες που υπάρχουν στο φυτό.

Επίσης η φύτευση μπορεί να γίνει και σε γλάστρες με διάμετρο 20 cm. Όταν πλέον αποκτήσουν 2-3 πραγματικά φύλλα τότε τα φυτά μεταφυτεύονται σε νέες γλάστρες. Όταν τα φυτά φτάσουν τα 20 με 25 cm και έχουν τουλάχιστον 7 με 10 φύλλα τότε μπορεί να ξεκινήσει η πρώτη συγκομιδή (Αγγελίδης, 2011, Christman, 2005 και Willey, 2011).

### **3.5 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΔΕΣ**

Η ρόκα (*Eruca sativa*) είναι ένα φυτό το οποίο χρειάζεται πλήρη ηλιοφάνεια, με αποτέλεσμα να μπορεί να καλλιεργηθεί σε όλες τις ζώνες. Πρόκειται για μια ετήσια καλλιέργεια που μπορεί να ανεχθεί θερμοκρασία έως 25 °C. Εάν η θερμοκρασία αυξηθεί το καλοκαίρι τότε θα χρειαστεί σκίαση από το μεσημέρι και έπειτα (Christman, 2005) λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και της υψηλής θερμοκρασίας.

Οι ανάγκες του φυτού όσο αφορά τις καλλιεργητικές φροντίδες είναι ότι χρειάζεται κανονικό πότισμα, λίγη άρδευση και λίπανση (Willey, 2011), όταν η καλλιέργεια γίνεται στο έδαφος. Εάν η ρόκα καλλιεργείται σε εκτός εδάφους τότε θα χρειαστεί θρέψη και λίπανση με όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία [και με

φώσφορο (P) για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος] στο υπόστρωμα που θα χρησιμοποιηθεί.

Η συγκομιδή ξεκινάει στις 2 με 4 εβδομάδες από την ημέρα που έγινε η σπορά, ενώ τα φύλλα που αφαιρέθηκαν στην πρώτη συγκομιδή θα αντικατασταθούν από νέα φύλλα που παράγονται. Τα ώριμα φυτά συγκομίζονται 30 με 50 ημέρες από την σπορά και πωλούνται σε ματσάκια και συνήθως τρώγεται νωπή ή μαγειρεμένη (Willey, 2011 και Αγγελίδης, 2011).

### 3.6 ΕΧΘΡΟΙ – ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Η ρόκα δεν έχει πολλούς εχθρούς. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι οι αφίδες, τα σαλιγκάρια αλλά κυρίως η κιτρινόλευκη πεταλούδα (*Gonepteryx rhammi*). Από αυτούς μόνο η κιτρινόλευκη πεταλούδα προκαλεί σοβαρές ζημιές (Αγγελίδης, 2011).

Πρόσφατη μελέτη σε φυτά ρόκας που πραγματοποιήθηκε, το 2008 , στο ΤΕΙ Κρήτης αφορούσε μια βακτηριολογική ασθένεια (*Pseudomonas pv. alisalensis*). Τα συμπτώματα που παρατηρήθηκαν και στις δύο πλευρές του φύλλου, αρχικά ήταν μικρές κηλίδες που στην συνέχεια μεγαλώνουν με αποτέλεσμα να ενωθούν μεταξύ τους και δίνουν στα προσβεβλημένα φύλλα εμφάνιση νεκρωτική, ενώ τα προσβεβλημένα τμήματα συνήθως αποκτούν υφή παπυρώδη. Η έντονη προσβολή προκαλεί την καταστροφή και την έντονη ποιοτική υποβάθμιση των φύλλων (Bull et al, 2004).

Η αντιμετώπιση των βακτηριακών σήψεων (προσυλλεκτικών και μετασυλλεκτικών) του γένους *Pseudomonas* επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

1. Άμεση διάθεση των προϊόντων που προέρχονται από αγρούς μολυσμένους από το *X. campestris pv. campestris* (μαύρη σήψη).
2. Τα αποθηκευόμενα ή συσκευαζόμενα προϊόντα να είναι τελείως στεγνά.
3. Αποφυγή των πάσης φύσεως τραυματισμών των φυτών στον αγρό και των προϊόντων τους μετά τη συγκομιδή.
4. Με την εμφάνιση της ασθένειας στον αγρό συνιστώνται ψεκασμοί των φυτών με χαλκούχα σκευάσματα ή oxolinic acid κάθε 7-10 ημέρες.
5. Διατήρηση των προϊόντων στην αποθήκη και τις μεταφορές σε θερμοκρασίες λίγο μεγαλύτερες του 0 °C (Παναγόπουλος, 2000).

### **3.7 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΥΛΕΚΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ**

Η ρόκα χρησιμοποιείται από τα αρχαία χρόνια σε σαλάτες είτε μόνη της, είτε σε συνδυασμό με άλλα φυλλώδη λαχανικά και κυρίως με το μαρούλι, ως αφροδισιακό, αλλά και σαν καρύκευμα στην μαγειρική. Αποτελεί καλή πηγή *ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, βιταμινών του συμπλέγματος Β αλλά και βιταμίνης Α, C και Κ*. Επίσης περιέχει πρωτεΐνες 20-25% (Katzer, 2002).

Επίσης η τακτική κατανάλωση ρόκας διεγείρει τη γαστρεντερική οδό, βελτιώνει το μεταβολισμό, διεγείρει το ανοσοποιητικό σύστημα, βοηθά στη μείωση αλάτων, ενισχύει τα τοιχώματα των αιμοφόρων αγγείων, αυξάνει τα επίπεδα της αιμοσφαιρίνης και αντιστρόφως, χαμηλώνει την "κακή" χοληστερόλη στο αίμα ενώ ενισχύει το νευρικό σύστημα. Επιπλέον χρησιμοποιείται ως τονωτικό, διουρητικό, αντιβακτηριδιακό, έχει αντιοξειδωτική δράση, αλλά ενεργεί και κατά του διαβήτη όσο και της παχυσαρκίας (Αγγελίδης, 2011).

Έχει πλούσια, πικάντικη, έντονη γεύση ξεχωριστή απ' όλα τα άλλα φυλλώδη λαχανικά. Η άγρια ρόκα έχει πιο πιπεράτη γεύση και πιο έντονο άρωμα από την καλλιεργούμενη. Στην ιατρική τα φύλλα της ρόκας δεν χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κάποιου φαρμάκου, σε αντίθεση με τους σπόρους της που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαίου απαραίτητο για την φαρμακοποιία. Η ρόκα που χρησιμοποιείται για θεραπευτικούς σκοπούς, πρέπει να συγκομίζεται κατά την ανθοφορία του φυτού (Ανώνυμος, 2011).

Η κομμένη ρόκα δεν θέλει ιδιαίτερους χειρισμούς. Μπορεί να συντηρηθεί εύκολα στο ψυγείο για 4-5 μέρες χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα. Όμως μετά αρχίζει να κιτρινίζει (Αγγελίδης, 2011).

Αν θερμανθεί (βραστά ή στον ατμό) η ρόκα χάνει γρήγορα την πικρή γεύση της, και αποκτά μια χαρακτηριστική, μάλλον λεπτή γεύση που ταιριάζει καλά σε ορισμένα είδη νόστιμα φαγητά, για παράδειγμα, Ιταλικά ζυμαρικά και ριζότο. Σε τέτοιες εφαρμογές, ωστόσο, χρειάζεται πολλή ρόκα για να προσδώσουν αισθητή γεύση, και πρέπει κανείς να κρατήσει την περίοδο θέρμανσης όσο το δυνατόν συντομότερη (Katzer, 2002).

### **3.8 ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΡΟΚΑ**

Λίγες μελέτες αναφέρονται στην βιβλιογραφία, σχετικά με την αντοχή της ρόκας στην αλατότητα.

Εφαρμογή NaCl 100, 200 και 300 mol m<sup>-3</sup> σε φυτά ρόκας 4 εβδομάδων, επιλεγμένα από προϋπάρχουσα καλλιέργεια σε αλατούχο έδαφος αύξησε σημαντικά τα διαλυτά ζάκχαρα, την προλίνη και τα ελεύθερα αμινοξέα στα φύλλα και δείχνει να είναι αυτά ένας σημαντικός παράγοντας της αντοχής στην αλατότητα της ρόκας (Ashraf, 1994).

Σε άλλη μελέτη φυτά ρόκας αναπτυσσόμενα σε επίπεδα αλατότητας από 1,5 έως 9,5 dS m<sup>-1</sup> είχαν διαφορετικές συγκεντρώσεις σε ασκορβικό οξύ και φαινόλες (Hamilton and Fonseca, 2010).

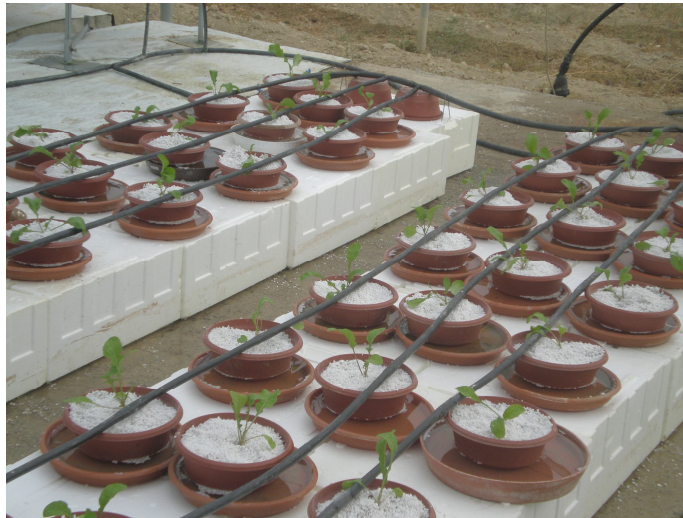
Οι Miceli et al (2003) αναφέρουν ότι η υψηλή αγωγιμότητα (10 dS m<sup>-1</sup>) καθυστερεί σημαντικά το φύτρωμα των σπόρων της ρόκας και του βασιλικού.

Επίδραση τεσσάρων επιπέδων αλατότητας στην ανάπτυξη φυτών ρόκας (*Eruca sativa* Miller) σε έδαφος ρυπασμένο με πέντε επίπεδα καδμίου σε καλλιέργεια που πραγματοποιήθηκε σε γλάστρες στο θερμοκήπιο έδειξε ότι το κάδμιο επίδρασε μόνο στο μήκος της ρίζας του φυτού ανεξάρτητα από συγκέντρωση NaCl στο νερό άρδευση. Καμία σημαντική επίδραση δεν υπήρξε στο ύψος των φυτών. Το νερό και ξηρό βάρος του φυτού δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη συνδυασμένη επίδραση NaCl και Cd, ενώ δεν παρατηρήθηκαν συμπτώματα τοξικότητας σε καμία μεταχείριση (Μπαρούχας κ.α., 2009).

Μια άλλη μελέτη που αφορούσε την επίδραση αζωτούχας και θειικής λίπανσης στην παραγωγή γλυκοσινολικών στους ιστούς ρόκας (*Eruca sativa*) και του μπρόκολου (*Brassica oleracea* var. *italica*) έδειξε ότι η αζωτούχα λίπανση επηρέασε την απόδοση τόσο της ρόκας όσο και του μπρόκολου στην παραγωγή βιομάζας. Τα κρίσιμα επίπεδα συγκέντρωσης N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> μεταβάλλονταν στους μίσχους των νεαρότερων πλήρως ανεπτυγμένων φύλλων ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Για την επίτευξη του 90% της σχετικής μέγιστης παραγωγής βιομάζας τα κρίσιμα επίπεδα συγκέντρωσης N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> στις 30, 50 και 70 ημέρες μετά τη μεταφύτευση των φυτών ήταν 10.29, 6.34 και 4,01mg/g ξ.β. για το μπρόκολο, ενώ για τη ρόκα 13.76, 6.52 και 1.21mg/g ξ.β., 15, 30 και 45 ημέρες μετά τη μεταφύτευση αντίστοιχα. Η συγκέντρωση των ΓΚΣ στα φύλλα του μπρόκολου και της ρόκας επηρεάστηκαν σημαντικά τόσο από το στάδιο ανάπτυξης όσο και από το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης. Ωστόσο η επίδραση του αζώτου ήταν διαφορετική για τα δύο είδη που εξετάστηκαν, αφού η συγκέντρωση των ΓΚΣ στη ρόκα μειώθηκε με την

αύξηση της ποσότητας της αζωτούχου λίπανσης ενώ στο μπρόκολο παρατηρήθηκε αύξηση συγκέντρωσης των ΓΚΣ με αύξηση της αζωτούχου λίπανσης. Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση του θείου στα φύλλα, αυτή αυξήθηκε με την αύξηση της αζωτούχου λίπανσης και στα δύο είδη, ενώ η συγκέντρωση των  $S-SO_4^{2-}$  στους μίσχους μειώθηκε υποδηλώνοντας μειωμένη μεταφορά του θρεπτικού στοιχείου. Επιπρόσθετα, φαίνεται ότι η αζωτούχος λίπανση επηρεάζει σημαντικά την αφομοίωση του θείου όταν αυτό βρίσκεται σε επάρκεια (Ομήρου, 2009).

## ΜΕΡΟΣ Β - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΙΚΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΣΕ ΦΥΤΑ ΡΟΚΑΣ (ERUCA SATIVA) ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ**

### **4.1 ΤΟΠΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

Η πειραματική εργασία αναφέρεται στην επίδραση του θεικού καλίου με διαφυλλικό ψεκασμό και με υδρολίπανση σε συνθήκες αλατότητας στην αύξηση και ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας ρόκας σε γλάστρες. Η υλοποίηση του πειράματος πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του ΤΕΙ Κρήτης, στο Ηράκλειο, στο θερμοκήπιο του εργαστηρίου “Καλλιέργειες Εκτός Εδάφους” της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας. Το πείραμα διήρκεσε περίπου 5 εβδομάδες και συγκεκριμένα από 10/11/2011 έως τις 14/12/2011. Μια βδομάδα πριν πραγματοποιήθηκαν, η προετοιμασία και η εγκατάσταση των υποδομών του πειράματος.

Όταν ολοκληρώθηκε το πείραμα πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις:

- Ο αριθμός των παραχθέντων φύλλων
- Το μήκος μεγαλύτερου φύλλου (ύψος φυτού)
- Ο φθορισμός των φύλλων
- Η χλωροφύλλη των φύλλων
- Η φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων
- Η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων
- Η εσωτερική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> των φύλλων
- Το pH του διαλύματος απορροής
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) του διαλύματος απορροής
- Το νωπό και ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους
- Η εμπορευσιμότητα των φυτών
- Μακροσκοπική αξιολόγηση των φυτών
- Το K και το Na στα φύλλα

### **4.2 ΥΛΙΚΑ - ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ ΡΟΚΑΣ ΣΕ ΓΛΑΣΤΡΕΣ**

Για τη διεξαγωγή του πειράματος στις 24/09/11, πραγματοποιήθηκε η σπορά για τη δημιουργία των σποροφύτων ρόκας σε σπορείο. Οι σπόροι φυτεύτηκαν σε υπόστρωμα τύρφης με περλίτη σε αναλογίες 9:1 κατ' όγκο, και τοποθετήθηκαν σε

δίσκους των σαράντα πέντε θέσεων. Σε κάθε θέση τοποθετήθηκαν 5-6 σπόροι, ενώ μετά την έκπτυξή τους, πραγματοποιήθηκε αραίωμα (ένα σπορόφυτο ανά θέση) (Εικόνα 4.1). Μετά την σπορά, ακολούθησε καθημερινό πότισμα των σπόρων, ενώ μετά την έκπτυξη των σποροφύτων πραγματοποιήθηκε έλεγχος για τυχόν προσβολές από έντομα. Δημιουργήθηκαν περισσότερα φυτά ρόκας για την κάλυψη των αναγκών του πειράματος αλλά και για τυχόν απώλειες κατά την διαδικασία μεταφύτευσης/εγκατάστασης των σποροφύτων στην τελική τους θέση. Μόλις απέκτησαν ικανοποιητικό μέγεθος (στα 3 πρώτα πραγματικά φύλλα) πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της μεταφύτευσης όπου τοποθετήθηκε ένα σπορόφυτο σε κάθε γλάστρα. Οι πλαστικές γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν χρώμα καφέ ενώ είχαν χωρητικότητα 1,5 λίτρα. Χρησιμοποιήθηκε περλίτης ως υπόστρωμα ανάπτυξης. Έπειτα δημιουργήθηκαν 6 μεταχειρίσεις με τρεις επαναλήψεις με πλήρως τυχαιοποιημένη διάταξη και αρίθμηση όπου η κάθε επέμβαση είχε ένα φυτό για κάθε γλάστρα (Εικόνα 4.2- 4.3).



**Εικόνα 4.1** Φυτά ρόκας στο σπορείο.



**Εικόνα 4.2** Πλαστική γλάστρα.

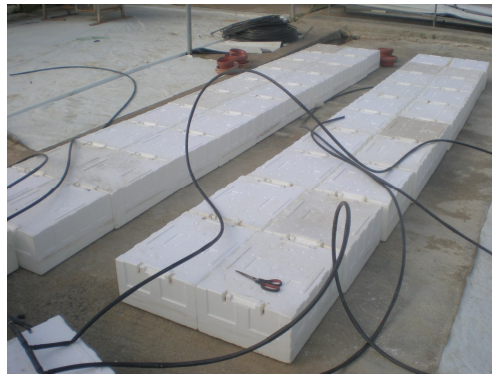


**Εικόνα 4.3** Αριθμημένη διάταξη γλαστρών με φυτά ρόκας.

Έγινε εγκατάσταση του συστήματος άρδευσης με αυτορυθμιζόμενους σταλάκτες (στάγδην άρδευση ΝΕΤΑΦΙΜ), ενώ η απόσταση των σταλακτών ήταν ανά 20 cm (ένας σε κάθε γλάστρα) και η παροχή των σταλακτών ήταν 1,60 L/h. Το σύστημα άρδευσης λειτούργησε για 1 εβδομάδα, πριν την μεταφύτευση των φυτών, ώστε να διαβραχεί πλήρως το υπόστρωμα που είχε τοποθετηθεί μέσα αλλά και να διαπιστωθούν τυχόν ανομοιομορφίες στην παροχή του νερού άρδευσης και αργότερα του θρεπτικού διαλύματος. Τοποθετήθηκε μια μετρίου ισχύος αντλία (0,5 HP) (Εικόνα 4.4) με ένα χρονοδιακόπτη και μια δεξαμενή μισού τόνου όπου προσθέτονταν σε εβδομαδιαία βάση (ή ανάλογα με τις ανάγκες του πειράματος) νερό, θρεπτικό διάλυμα και οξύ. Το χρονικό διάστημα και η ώρα όπου ο χρονοδιακόπτης (Εικόνα 4.7) ενεργοποιείται για να δώσει ρεύμα στην αντλία και αυτή με τη σειρά της να δώσει παροχή θρεπτικού διαλύματος ήταν συγκεκριμένος. Η διάρκεια των ποτισμάτων ήταν για 60 sec. Στην αρχή του πειράματος γινόταν 3 ποτίσματα ημερησίως ενώ στα μισά περίπου μειώθηκαν σε 2, πάντα όμως διατηρώντας επαρκή υγρασία στο υπόστρωμα και παροχή του θρεπτικού διαλύματος, για την ανάπτυξη των φυτών. Το αραιό θρεπτικό διάλυμα ξεκινούσε από την δεξαμενή όπου με ένα λάστιχο ( $\Phi_{15}$ ) μέσω της αντλίας το μετέφερε σε λάστιχο ( $\Phi_{13}$ ) όπου στη συνέχεια διακλαδιζόταν για να φτάσει σε όλες τις γλάστρες, παρέχοντας θρεπτικό διάλυμα στα φυτά. Για να ρυθμιστεί η πίεση των λάστιχων χρησιμοποιήθηκε ένα λάστιχο αντεπιστροφής που ξεκινούσε από την αντλία και επέστρεφε στη δεξαμενή όπου με μια βάνα (ανοιγοκλείνοντας) ελέγχονταν η πίεση των λάστιχων. Το υδροπονικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ανοιχτό ενώ το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα της απορροής χυνόταν σε συγκεκριμένο αποχετευτικό σύστημα.



**Εικόνα 4.4** Αντλία μεταφοράς του θρεπτικού διαλύματος στην καλλιέργεια.



**Εικόνα 4.5** Προετοιμασία εγκατάστασης καλλιέργειας ρόκας. Τοποθέτηση φελιζόλ και σύνδεση των σταλακτηφόρων λαστίχων.

### **4.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ**

Για τις θρεπτικές ανάγκες της καλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκε βασικό πυκνό (1\100) θρεπτικό υδροπονικό διάλυμα, το οποίο διαχωριζόταν σε δύο δοχεία, το δοχείο **A** και το δοχείο **B** χωρητικότητας 30 lit έκαστο. Σε ένα τρίτο δοχείο **C** υπήρχε νιτρικό οξύ (5% κ.ο) αραιωμένο σε νερό (Εικόνα 4.6).

Τα χημικά λιπάσματα ή στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή αυτού του θρεπτικού διαλύματος ήταν για το δοχείο **A**: Calcium nitrate (νιτρικό ασβέστιο), Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Ammonium nitrate (Νιτρικό αμμώνιο), και Fe-chelate (Χηλικός σίδηρος) ενώ για το δοχείο **B**: Potassium nitrate (Νιτρικό κάλιο), Magnesium sulphate (Θεικό μαγνήσιο), Magnesium nitrate (Νιτρικό μαγνήσιο), Phosphoric acid (Φωσφορικό οξύ – 86% κ.ο.), Manganese sulfate (Θεικό μαγγάνιο), Zinc sulphate (Θεικός ψευδάργυρος), Copper sulphate (Θεικός χαλκός), Boric acid (Βορικό οξύ), και Ammonium heptamolybdate (Μολυβδαινικό αμμώνιο). Το τελικό βασικό θρεπτικό διάλυμα είχε την παρακάτω σύσταση σε mmol·L<sup>-1</sup>: NO<sub>3</sub>-N=12,89, K= 7,63, PO<sub>4</sub>-P= 0,97, Ca=3,74, Mg=2,45, SO<sub>4</sub>-S= 0,56 και Na= 1,30 και

B=18,52, Fe=71,56, Mn=18,21, Cu=4,72, Zn=1,53 και Mo=0,52 με τιμή pH 5,9 και EC 2,17 dS/m.



Εικόνα 4.6 Βαρέλια με τα θρεπτικά διαλύματα.



Εικόνα 4.7 Αριστερά: Χρονοδιακόπτης. Δεξιά: Αντλία και δοχεία με θρεπτικά διαλύματα A & B.

#### 4.4 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ NaCl ΚΑΙ K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Σε ένα δοχείο 20 λίτρων διαλύθηκε 1755 gr αλάτι σε 20 λίτρα νερό για την δημιουργία πυκνού διαλύματος 1500 mM NaCl. Η συγκέντρωση του NaCl που χρησιμοποιήθηκε στην διεξαγωγή του πειράματος για δημιουργία αλατότητας ήταν 75 mM NaCl. Για την δημιουργία του διαλύματος αυτού χρησιμοποιήθηκε ποσότητα 249 ml από το πυκνό (stock) διάλυμα η οποία διαλυόταν σε 5 λίτρα νερό.

Για την δημιουργία του διαλύματος K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, χρησιμοποιήθηκαν 27,8 gr K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L νερό. Χρησιμοποιήθηκε αραιωμένο διάλυμα με τελική περιεκτικότητα K<sup>+</sup> ίση με 0,125% (100 ml από το πυκνό (stock) διάλυμα στα 900 ml H<sub>2</sub>O).

#### 4.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για να μελετηθεί η επίδραση της αλατότητας με ή χωρίς την χρήση εμπλουτισμού K, στην ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας ρόκας σε γλάστρες σε ανοιχτό σύστημα, σε περλίτη έγιναν οι εξής επεμβάσεις όπου κάθε επέμβαση είχε 3 επαναλήψεις.

1. Μάρτυρας (0 mM NaCl) – K
2. Μάρτυρας (0 mM NaCl) + K (Δ.)
3. Μάρτυρας (0 mM NaCl) + K (Υ.)

4.Αλατότητα (75 mM NaCl) - K

5.Αλατότητα (75 mM NaCl) + K (Δ.)

6.Αλατότητα (75 mM NaCl) + K (Υ.)

Στις επεμβάσεις 2 και 5 η προσθήκη καλίου γινόταν με διαφυλλική λίπανση (Εικόνα 4.8), ενώ στην 3<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> η προσθήκη καλίου γινόταν με υδρολίπανση (40 ml  $K_2SO_4$  0,125%). Στην 4<sup>η</sup>, 5<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> επέμβαση δημιουργήθηκαν συνθήκες αλατότητας με εφαρμογή με υδρολίπανση 100 ml NaCl συγκέντρωσης 75 mM.



Εικόνα 4.8 Εφαρμογή διαφυλλικού ψεκασμού με  $K_2SO_4$ .

#### 4.6 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΔΕΣ

Μετά την τελική εγκατάσταση των φυτών στο σύστημα υδροπονικής καλλιέργειας σε γλάστρες πραγματοποιούνταν ημερήσιος έλεγχος του pH και της EC του τελικού θρεπτικού διαλύματος με φορητό πεχάμετρο\αγωγιμόμετρο (Εικόνα 4.9). Συγκεκριμένα γίνονταν απαραίτητες διορθώσεις, δηλαδή προσθήκη νιτρικού οξέος (5% κ.ο.) για μείωση του pH, προσθήκη πυκνών θρεπτικών διαλυμάτων για να επιτευχθεί η επιθυμητή EC και συμπλήρωμα ή ξαναγέμισμα του ντεπόζιτου με νερό.

Κατά την διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας εφαρμόστηκαν φυτοπροστατευτικές ενέργειες για την βέλτιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας. Καταρχήν τοποθετήθηκαν κολλητικές χρωμοπαγίδες, μπλε και κίτρινου χρώματος για την παγίδευση εντόμων (Εικόνα 4.10).

Τα φυτά ψεκάστηκαν τρεις φορές στα σπορεία και μια στην τελική τους θέση προληπτικά με χαλκούχο διάλυμα για τυχόν προσβολή των φυτών από μύκητες καθώς δεν είχαν καμία προσβολή από ασθένειες. Τέλος, εφαρμόστηκε με την

εγκατάσταση της καλλιέργειας διαφυλλικός ψεκασμός με λίπασμα 20-20-20 (Εικόνα 4.11) κυρίως λόγω της έλλειψης φωσφόρου.



**Εικόνα 4.9** Φορητό πεχάμετρο και αγωγιμόμετρο (Hanna HI 98130).



**Εικόνα 4.10** Παγίδες εντόμων.



**Εικόνα 4.11** Λίπασμα 20-20-20.

#### **4.7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ**

Πραγματοποιήθηκαν στην αρχή δύο επεμβάσεις (στις 10/11/11 και 14/11/11) στα επιλεγμένα φυτά ως προς την επίδραση του καλιούχου λιπάσματος με προσθήκη 40ml  $K_2SO_4$  0,125% και 40 ml NaCl 75 mM για συνθήκες αλατότητας. Μετά από

δύο βδομάδες, πάρθηκε δείγμα από τα γλαστράκια, μετρήθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα και αυξήθηκε η ποσότητα NaCl στα 100 ml ενώ οι επεμβάσεις γίνονταν τρεις φορές την εβδομάδα. Με τη λήξη της καλλιέργειας μελετήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

#### **4.7.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΦΥΛΛΩΝ**

Η μέτρηση των φύλλων της ρόκας έγινε οπτικά, μετρώντας τα φύλλα κάθε φυτού, εκτός από τα πολύ μικρά φύλλα.

#### **4.7.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**

Για την μέτρηση αυτή χρησιμοποιήθηκε χάρακας 50cm και κλείνοντας το φυτό με το χέρι μετρήθηκε το μεγαλύτερο φύλλο (το ύψος του φυτού).

#### **4.7.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΟΥ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ**

Η μέτρηση του νωπού και του ξηρού βάρους υπέργειου μέρους πραγματοποιήθηκε την τελευταία ημέρα της πειραματικής μελέτης (5/12/11), και αφού είχαν ολοκληρωθεί όλες οι μετρήσεις. Τα φυτά αφαιρέθηκαν από το υπόστρωμα και ζυγίστηκαν αμέσως (για την αποφυγή τυχόν απώλειας υγρασίας) στον ηλεκτρονικό ζυγό για τη μέτρηση του νωπού βάρους (Εικόνα 4.12). Η μέτρηση (ζύγισμα) του ξηρού βάρους ολοκληρώθηκε δυο ημέρες μετά, αφού τα φυτά (μέσα σε αλουμινόχαρτο) τοποθετήθηκαν σε φούρνους για 48 ώρες, στους 75°C (Εικόνα 4.13), στο εργαστήριο Θρέψης φυτών.



**Εικόνα 4.12** Ηλεκτρονικός ζυγός.





Εικόνα 4.13 Φυτά ρόκας τοποθετημένα σε αλουμινόχατο κατά την διαδικασία ξήρανσης σε φούρνο.

#### 4.7.4 ΜΕΤΡΗΣΗ pH ΚΑΙ E.C. ΣΕ ΔΙΑΛΥΜΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Για τη μέτρηση του pH και της E.C. χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο και αγωγιμόμετρο (Εικόνα 4.14) τοποθετώντας τα σε κάθε πιατάκι που ήταν γεμάτο με το θρεπτικό διάλυμα απορροής.



Εικόνα 4.14 Φορητό πεχάμετρο-αγωγιμόμετρο για τη μέτρηση pH και E.C.

#### 4.7.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΦΥΛΛΑ

Μετά από την ξήρανση των φύλλων ακολούθησε άλεσμα σε ειδικό μύλο (Εικόνα 4.15). Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν κενές κωνικές φιάλες των 150ml και καταγράφηκε το βάρος τους. Έπειτα προστέθηκε περίπου 1gr φυτικών ιστών από το κάθε δείγμα (Εικόνα 4.16) χρησιμοποιώντας τον ηλεκτρονικό ζυγό. Οι κωνικές φιάλες, στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε πυριαντήριο για μια μέρα στους 104 °C (Εικόνα 4.17). Ακολούθως τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα, για πλήρη απομάκρυνση της υγρασίας (Εικόνα 4.18) και ζυγίστηκαν για ακόμη μια φορά λαμβάνοντας έτσι το μικτό ξηρό

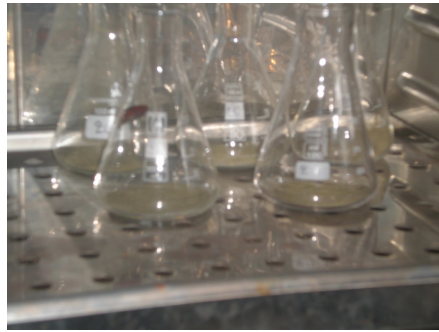
βάρος των δειγμάτων. Ακολούθησε στη συνέχεια υγρή καύση των φυτικών ιστών. Σε κάθε δείγμα προστέθηκαν 20ml μίγματος πυκνών οξέων (Νιτρικό, Θεικό και Υπερχλωρικό οξύ σε αναλογία 5:1:2) και τοποθετήθηκαν σε ειδική πλάκα θέρμανσης. Ο χρόνος παραμονής των δειγμάτων ήταν έως ότου αποκτήσαν διαυγές χρώμα και όγκο διαλύματος περίπου 3 ml. Κατά τη διάρκεια της υγρής καύσης παρατηρήθηκαν αλλαγές στο χρώμα των δειγμάτων (Εικόνα 4.19). Τέλος, πραγματοποιήθηκε διήθηση δειγμάτων (Εικόνα 4.20) και λήφθηκε το stock διάλυμα των 100ml στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι περαιτέρω αναλύσεις των θρεπτικών στοιχείων και συγκεκριμένα K, Na. Όπου ήταν απαραίτητο, έγινε αραίωση των διαλυμάτων με νερό, ώστε οι μετρήσεις να βρίσκονται εντός των ορίων υπολογισμού, με βάση τις ρυθμίσεις και τις καμπύλες αναφοράς που είχαν πραγματοποιηθεί.



**Εικόνα 4.15** Μύλος για άλεσμα φυτικών ιστών.



**Εικόνα 4.16** Ο αλεσμένος φυτικός ιστός.



**Εικόνα 4.17** Πυριαντήριο και τα δείγματα με 1gr φυτικού ιστού.



**Εικόνα 4.18** Ο ξηραντήρας με τα δείγματα.



**Εικόνα 4.19** Η ειδική πλάκα θέρμανσης και οι αλλαγές στο χρώμα κατά την διάρκεια παραμονής των δειγμάτων.



**Εικόνα 4.20** Πραγματοποίηση της διήθησης.

#### **4.7.5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΛΙΟΥ (K) ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΟΥ (Na):**

Ο προσδιορισμός K και Na έγινε με το φλογοφωτόμετρο JEENWAY (Εικόνα 4.21). Η χρησιμοποίηση της φλογοφωτομετρίας για ποσοτικό προσδιορισμό στοιχείων στηρίζεται στο γεγονός ότι η ένταση της χαρακτηριστικής ακτινοβολίας ενός στοιχείου είναι ανάλογη με τον αριθμό των διεγερμένων ατόμων στη φλόγα που και αυτά είναι ανάλογα με τη συγκέντρωση του στοιχείου στο υπό μέτρηση διάλυμα.

Για τον προσδιορισμό του καλίου χρησιμοποιήθηκε KCl (1,9068 gr KCl σε 1L νερό) για την δημιουργία διαλύματος 1000 ppm K από το οποίο με τις κατάλληλες αραιώσεις παρασκευάστηκαν standards διαλύματα 0, 10, 25, 50, 75 και 100 ppm K. Με τον ίδιο τρόπο παρασκευάστηκαν standards Na στις ίδιες συγκεντρώσεις χρησιμοποιώντας διάλυμα NaCl 1000 ppm (2,5422 gr NaCl σε 1L νερό). Στη συνέχεια ρυθμίστηκε το φλογοφωτόμετρο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή κατά τέτοιο τρόπο ώστε όταν μετριέται το 0 ppm K, (απιονισμένο νερό) η φωτεινή ένδειξη του οργάνου να δείχνει 0 και όταν μετριέται το 100 ppm η κλίμακα ρύθμισης του οργάνου να δείχνει 100. Η εργασία αυτή επαναλήφθηκε μερικές φορές μέχρις ότου να παίρνονται οι ενδείξεις 0 και 100 μετρώντας τα standards αυτά χωρίς καμία παραπέρα ρύθμιση του οργάνου. Στο σημείο αυτό μετρήθηκαν και τα υπόλοιπα standards και σημειώθηκαν οι ενδείξεις τους (Πίνακας 4.1. και 4.2.) με αποτέλεσμα τη δημιουργία της καμπύλης αναφοράς (Σχήμα 4.1. και 4.2.). Στη συνέχεια μετρήθηκαν τα άγνωστα δείγματα στη σειρά το ένα μετά το άλλο, κάνοντας περιοδικό έλεγχο του οργάνου, συνήθως κάθε 5 ή 10 δείγματα, χρησιμοποιώντας ένα standard (συνήθως το 50 ppm) (Τσικαλάς, 2003).

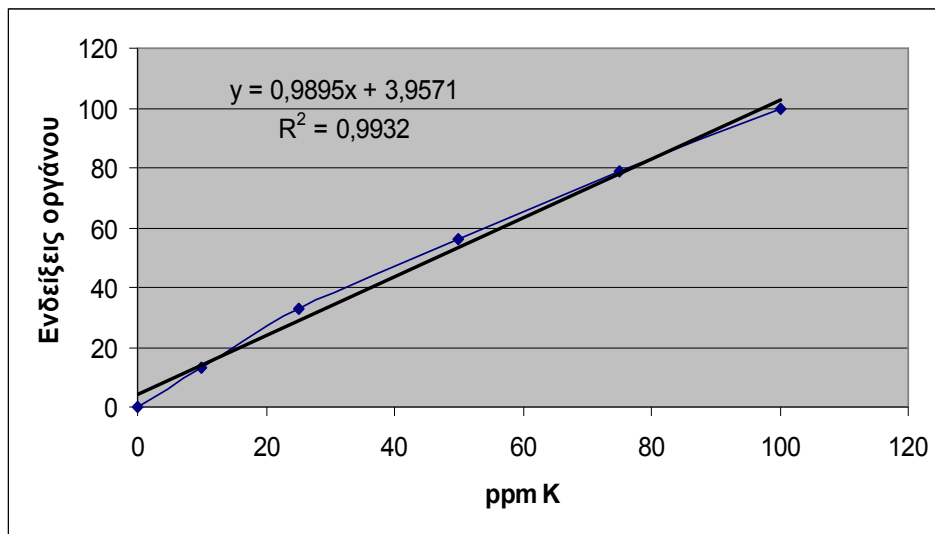
Κατά τη μέτρηση των δειγμάτων για προσδιορισμό καλίου οι ενδείξεις ήταν μεγαλύτερες του 100 της κλίμακας και έγινε αραιώση των δειγμάτων 1:4.



**Εικόνα 4.21** Φλογοφωτόμετρο JEENWAY.

**Πίνακας 4.1** Βαθμολόγηση φλογοφωτομέτρου με standards **K**.

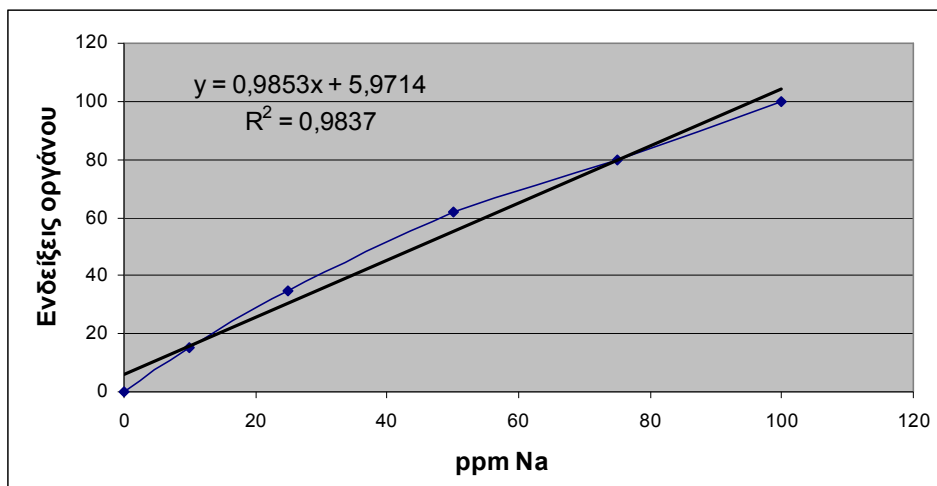
Standards (ppm)	Ενδείξεις
0	0
10	13
25	33
50	56
75	79
100	100



**Σχήμα 4.1** Η καμπύλη αναφοράς για τον υπολογισμό του **K**.

**Πίνακας 4** Βαθμολόγηση φλογοφωτομέτρου με standards **Na**.

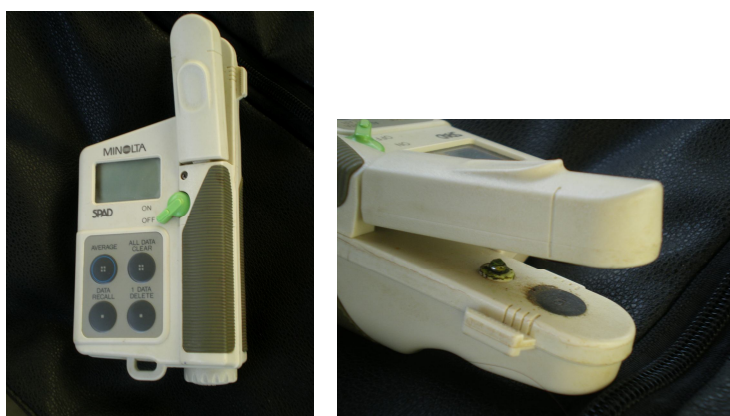
Standards (ppm)	Ενδείξεις
0	0
10	15
25	35
50	62
75	80
100	100



Σχήμα 4.2 Η καμπύλη αναφοράς για τον υπολογισμό του Na.

#### 4.7.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ

Η μέτρηση της περιεχόμενης χλωροφύλλης των φυτών έγινε με εξειδικευμένη συσκευή (Minolta SPAD) ενώ η ένδειξη εμφανίζονταν σε οθόνη LCD (Εικόνα 4.22).



Εικόνα 4.22 Το όργανο μέτρησης χλωροφύλλης Minolta SPAD.

#### 4.7.7 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ

Πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός πρακτικού οργάνου μέτρησης, του φθοριμέτρου, (opti-sciences OS-30p, UK) (Εικόνα 4.23). Το φθορίμετρο μπορεί να μετρήσει την ικανότητα της φωτοχημικής δράσης του φωτοσυστήματος II και να αποτελέσει αξιόπιστο δείκτη της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του φυτού. Αυτό συμβαίνει επειδή η χλωροφύλλη εκπέμπει ερυθρό φθορισμό σε μεγάλου μήκους κύματος από 680nm έως 720nm που μπορεί εύκολα να μετρηθεί χρησιμοποιώντας οπτικοηλεκτρονικό εξοπλισμό. Χρησιμοποιώντας ειδικά 'μανταλάκια' καλύφθηκε η επάνω επιφάνεια των φύλλων για 10 λεπτά (1 φύλλο από συγκεκριμένα φυτά).

Έπειτα χρησιμοποιώντας το φθορίμετρο, μετρήθηκε το  $F_0 - F_{max}$  στο πιο αντιπροσωπευτικό φύλλο κάθε φυτού.



Εικόνα 4.23 Το όργανο μέτρησης φθορισμού opti-sciences και τα ειδικά μανταλάκια φθορισμού.

#### 4.7.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ( $P_n$ ), ΣΤΟΜΑΤΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ( $g_s$ ) ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ $CO_2$ ( $C_i$ ).

Πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός πρακτικού οργάνου μέτρησης, της φορητής συσκευής υπέρυθρης ανάλυσης αερίων (model LI-6200, Li-Cor, Inc., Lincoln, NE) (Εικόνα 4.24). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το πρωί μεταξύ 9:00-12:30, με θερμοκρασία από 28-30°C, σε υγιή, άμεσα εκτεθειμένα στον ήλιο και πλήρως διαμορφωμένα φύλλα (ένα φύλλο από τα συγκεκριμένα φυτά που είχαν σημαδευτεί).



Εικόνα 4.24 Φορητή συσκευή υπέρυθρης ανάλυσης αερίων (model LI-6200, Li-Cor, Inc., Lincoln, NE).

#### 4.7.9 ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΡΟΚΑΣ

Παρατηρήθηκαν μακροσκοπικά τα φυτά ρόκας όσον αφορά την εμπορευσιμότητά τους. Για τον λόγο αυτό, ορίστηκε μια κλίμακα από το 1-5 με την οποία αξιολογήθηκε η εμφάνιση των φυτών.

**Πίνακας 4.3** Κλίμακα αξιολόγησης των φυτών

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Κακή	Μέτρια καλή	Καλή	Πολύ καλή	Άριστη

Εμφάνιση	Κλίμακα	Απεικόνιση
Κακή	1	
Μέτρια καλή	2	
Καλή	3	
Πολύ καλή	4	
Άριστη	5	

**Εικόνα 4.25** Φωτογραφική κλίμακα αξιολόγησης των φυτών.

#### **4.7.10 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΚΑΣ**

Η μακροσκοπική αξιολόγηση των φυτών ρόκας έγινε περίπου όπως και με την εμπορική αξιολόγηση. Μετρήθηκε η παρουσία μωβ φύλλων, τριχιδίων στα φύλλα όπως επίσης και η ύπαρξη εγκολπώσεων ή φαγωμάτων στα φύλλα.

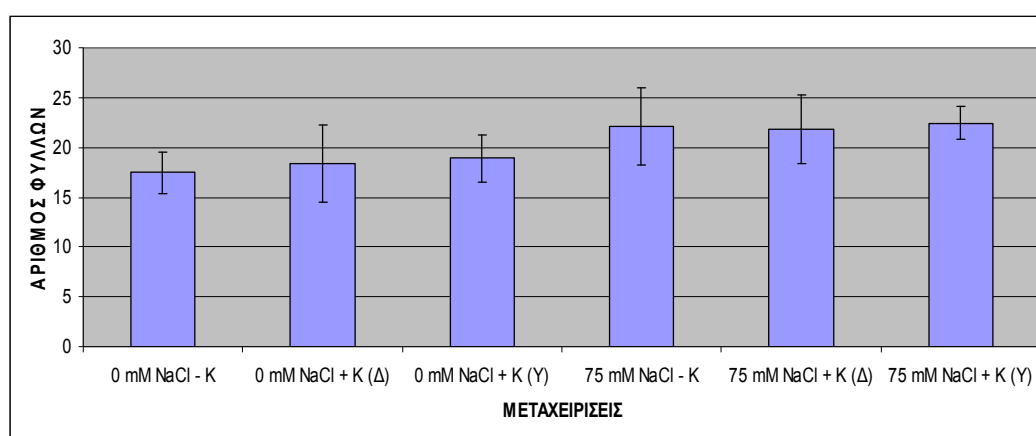




## 4.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

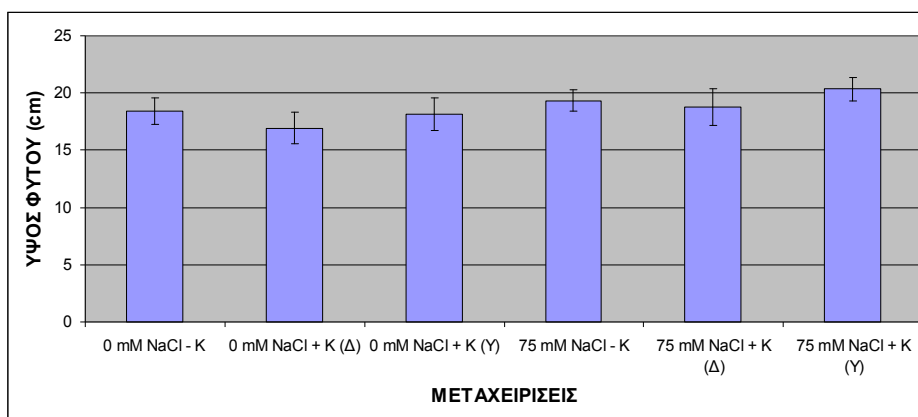
### 4.8.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΘΕΙΚΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ/ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΟΚΑΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στον αριθμό φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3. Στις επεμβάσεις με αλατότητα 75 mM NaCl, με η χωρίς προσθήκη καλίου αυξήθηκε ο αριθμός των φύλλων (κατά 5%) σε σχέση με τις επεμβάσεις (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K έχουν μειωθεί σε μικρό ποσοστό (κατά 2%) σε σχέση με την υδρολίπανση K.



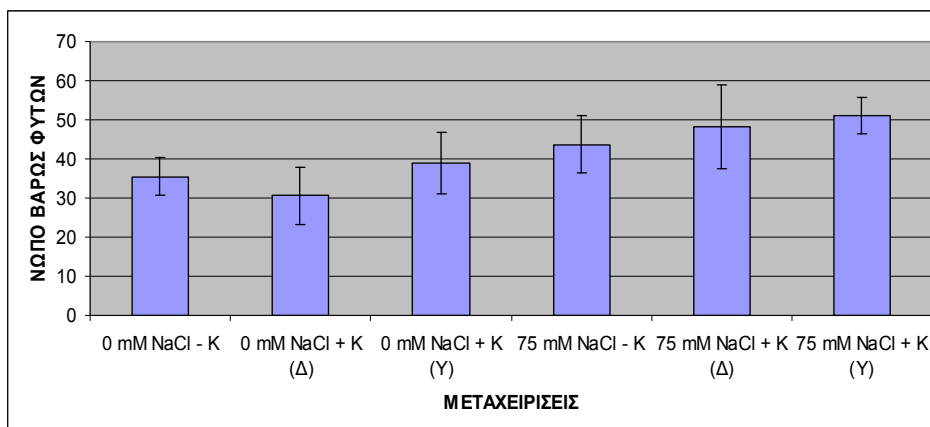
**Σχήμα 4.3** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στον αριθμό φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στο ύψος των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται μια μικρή άνοδος (κατά 2%) στο ύψος του φυτού σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K έχει μειωθεί (κατά 3%) σε σχέση με τις επεμβάσεις υδρολίπανσης K.



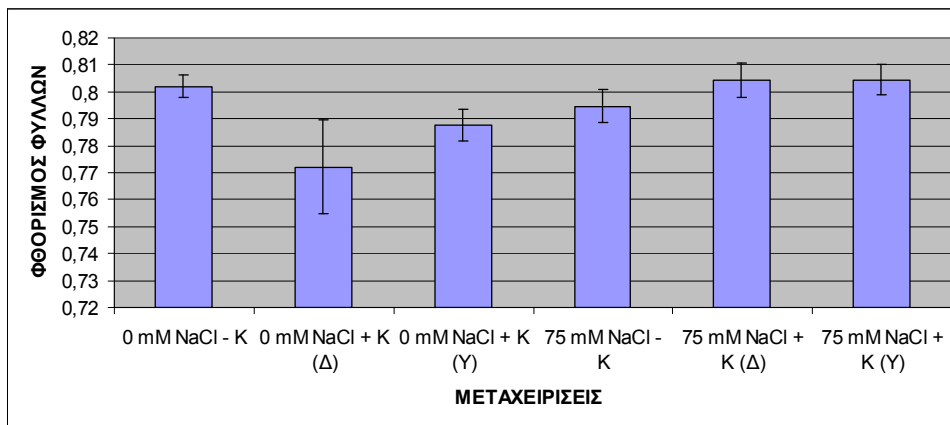
**Σχήμα 4.4** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στο ύψος φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στο νωπό βάρος των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται αύξηση (κατά 5%) στο νωπό βάρος σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Οι επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K έχει μειωθεί (κατά 2%) σε σχέση με τις επεμβάσεις υδρολίπανση K.



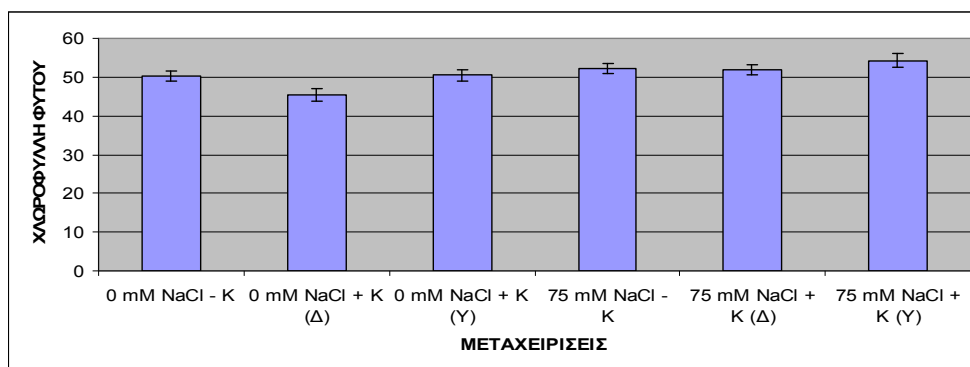
**Σχήμα 4.5** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στο νωπό βάρος του υπέργειου μέρους σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στο φορισμό των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) δεν έχει μεταβληθεί σε σχέση με τον μάρτυρα (0 mM NaCl -  $K_2SO_4$ ).



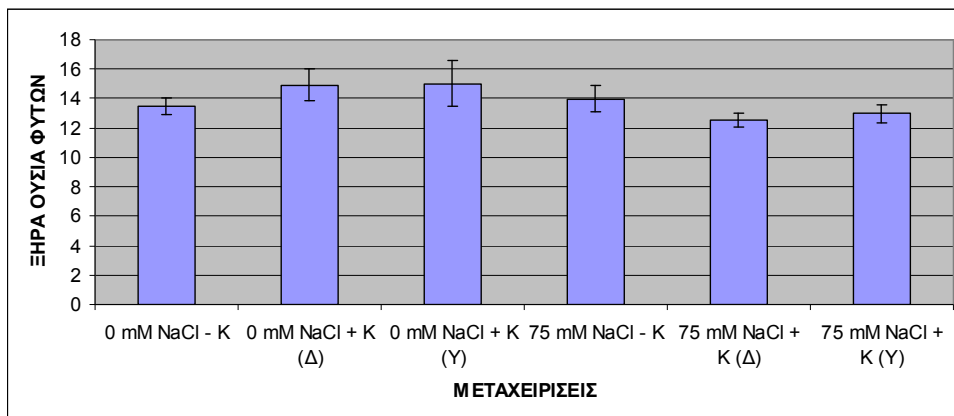
**Σχήμα 4.6** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στον φθορισμό των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην σύνθεση της χλωροφύλλης των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας φαίνεται στο Σχήμα 4.7. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) δεν παρουσιάζουν κάποια διαφορά με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Οι επεμβάσεις με υδρολίπανση K αυξήθηκε (κατά 2%) σε σχέση με τις διαφυλλικής λίπανσης K.



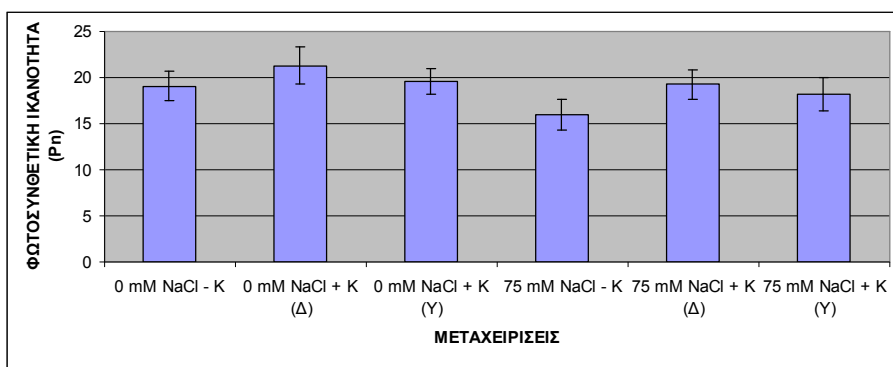
**Σχήμα 4.7** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην σύνθεση χλωροφύλλης των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην ξηρά ουσία των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.8. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) η ξηρά ουσία έχει μειωθεί (κατά 2%) σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K όσο και στις επεμβάσεις με υδρολίπανση K η ξηρά ουσία δεν διαφοροποιήθηκε.



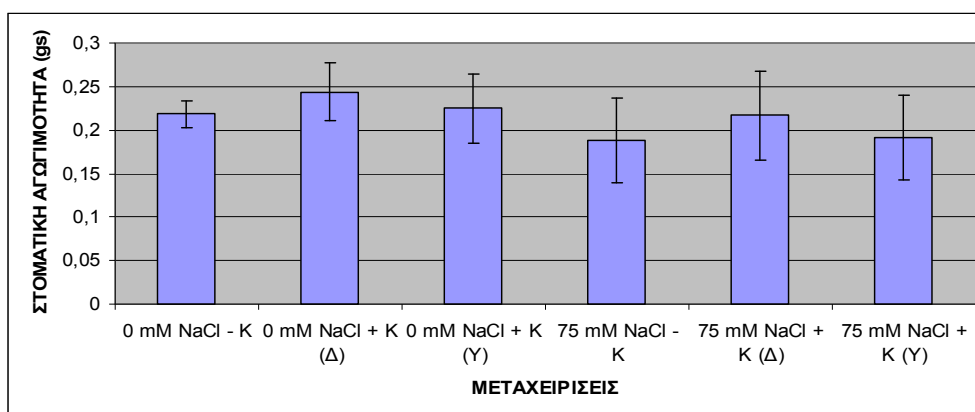
**Σχήμα 4.8** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην ξηρά ουσία των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην φωτοσυνθετική ικανότητα ( $P_n$ ) των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.9. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl χωρίς προσθήκη καλίου) έχει μειωθεί (κατά 2%) σε σχέση με όλες τις άλλες επεμβάσεις. Στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K παρατηρείται μια αύξηση (κατά 2%) σε σχέση με την υδρολίπανση K τόσο στην επέμβαση 0 mM NaCl όσο και στην 75 mM NaCl.



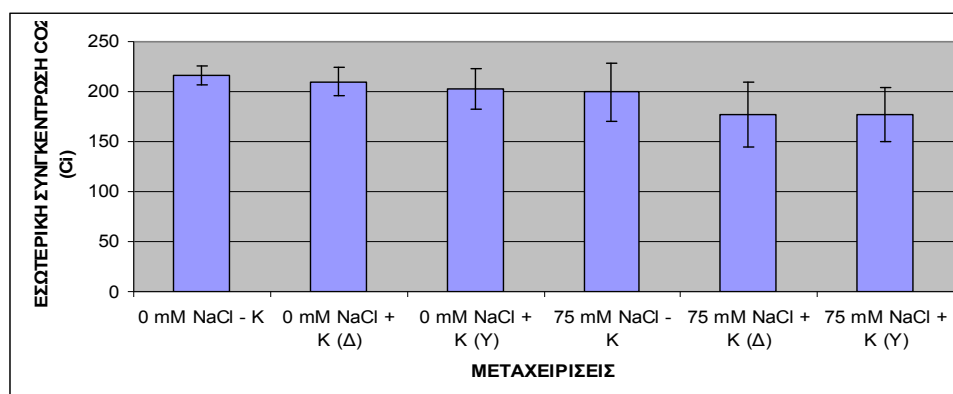
**Σχήμα 4.9** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην φωτοσυνθετική ικανότητα ( $P_n$ ) των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην στοματική αγωγιμότητα ( $g_s$ ) των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.10. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται μικρή μείωση (2%) σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K αυξήθηκε (κατά 2%) σε σχέση με την υδρολίπανση K.



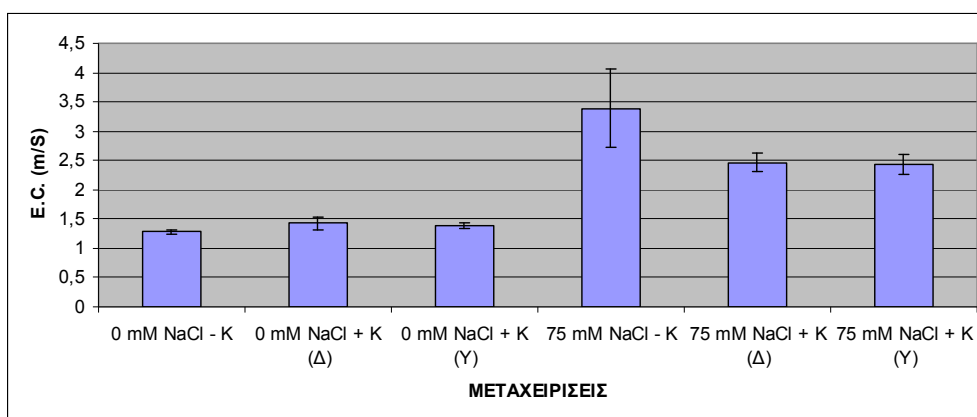
**Σχήμα 4.10** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην στοματική αγωγιμότητα (gs) των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην εσωτερική συγκέντρωση  $CO_2$  ( $C_i$ ) των φύλλων σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται μείωση (2%) σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K αυτή δεν μεταβλήθηκε σε σχέση με την υδρολίπανση K.



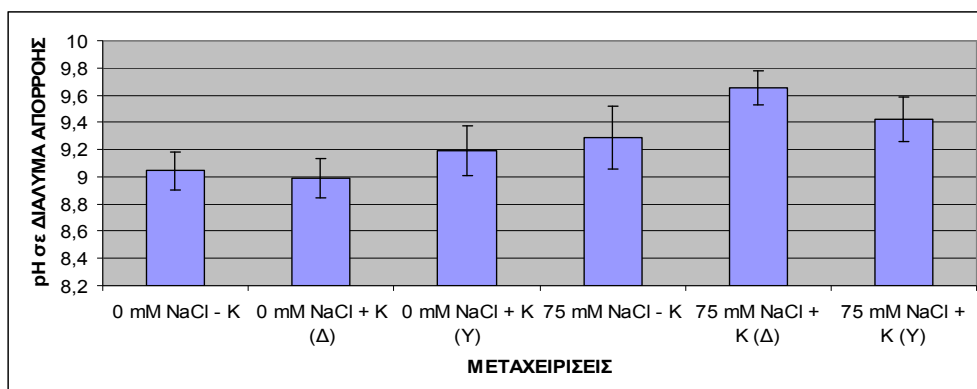
**Σχήμα 4.11** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην εσωτερική συγκέντρωση  $CO_2$  ( $C_i$ ) των φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην E.C. διαλύματος απορροής σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.12. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται τριπλάσια αύξηση σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Αξίζει να σημειωθεί η μείωση της E.C. στις επεμβάσεις με κάλι στις συνθήκες αλατότητας.



**Σχήμα 4.12** Επίδραση του θεικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην E.C. απορροής διαλύματος σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

Η επίδραση του θεικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στο pH του διαλύματος απορροής σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.13. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται αύξηση (κατά 20%) σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K παρουσιάζει μια αυξομείωση σε σχέση με τις επεμβάσεις υδρολίπανση K.

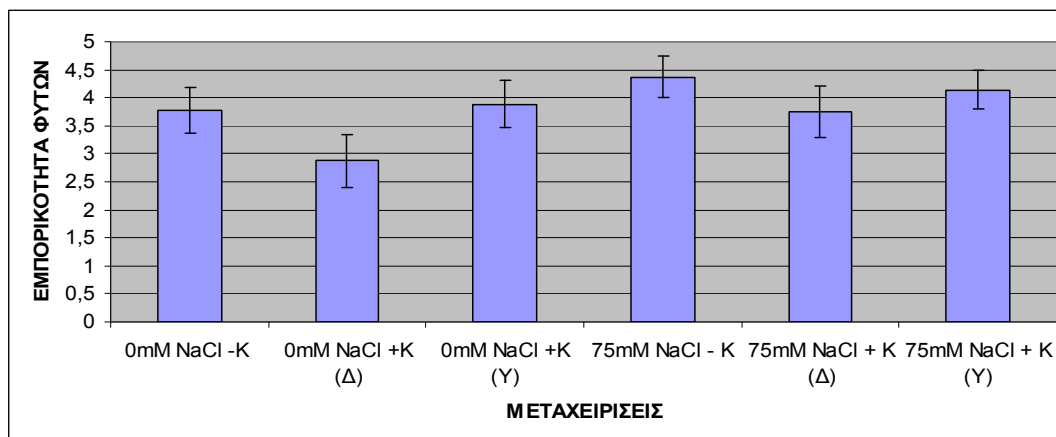


**Σχήμα 4.13** Επίδραση του θεικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στο pH απορροής διαλύματος σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο ( $\pm$  τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

#### 4.8.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΘΕΙΚΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ ΡΟΚΑΣ

Η επίδραση του θεικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην εμφάνιση του φυτού σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο σχήμα 4.14. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται καλύτερη εμφάνιση

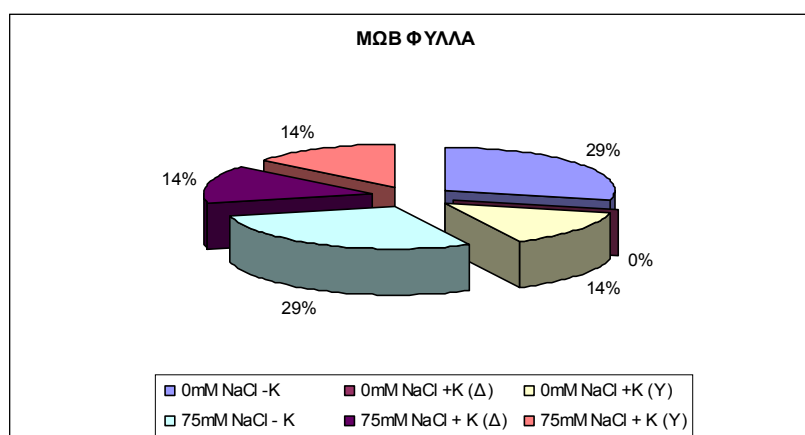
φυτών σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl ± K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Στις επεμβάσεις διαφυλλικής λίπανσης με θειικό κάλι παρατηρείται σαφής μείωση της εμπορευσιμότητας των φυτών ρόκας.



**Σχήμα 4.14** Επίδραση του θειικού καλίου (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην εμφάνιση του φυτού ρόκα σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα. Οι τιμές αναφέρονται στον μέσο όρο (± τυπική απόκλιση) σύμφωνα με το Duncan's Multiple Test (MRT).

#### 4.8.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΘΕΙΚΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΣΕ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ ΡΟΚΑΣ

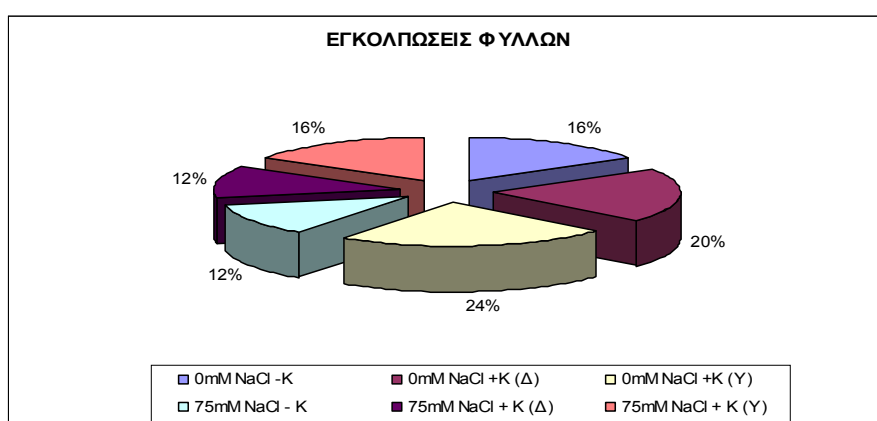
Η επίδραση του θειικού καλίου (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) σε συνθήκες αλατότητας στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού για τον μεταχρωματισμό, σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.15. Αισθητή μείωση στα μωβ φύλλα παρουσιάζεται στην επέμβαση 0 mM NaCl + K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (διαφυλλικά) σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Ενώ οι άλλες επεμβάσεις με θειικό κάλι παρουσιάζουν μείωση στον αριθμό των μωβ φύλλων (3%) σε σχέση με τους μάρτυρες.



**Σχήμα 4.15** Επίδραση του θειικού καλίου (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού ρόκα σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα, όσο αφορά των μεταχρωματισμό των φύλλων.

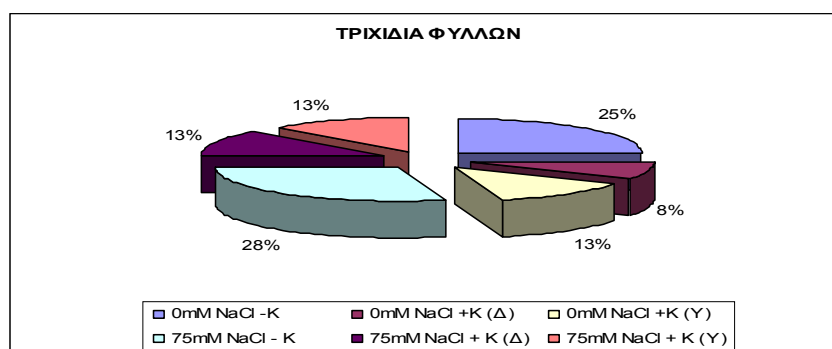


Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού για τις εγκολπώσεις των φύλλων, σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.16. Στις επεμβάσεις με αλατότητα (75 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ) παρατηρείται μείωση (κατά 5%) σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl  $\pm$   $K_2SO_4$ ). Ενώ οι επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις επεμβάσεις υδρολίπανση K.



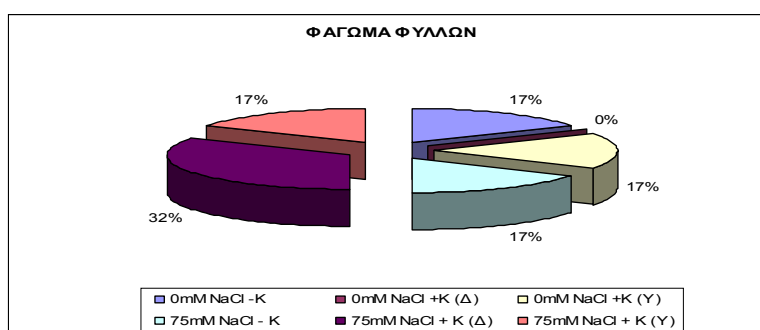
**Σχήμα 4.16** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού ρόκα σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα, όσο αφορά της εγκολπώσεις των φύλλων.

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού για τα τριχίδια των φύλλων, σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.17. Αισθητή μείωση (κατά 15%) στα τριχίδια των φύλλων παρατηρείται στην επέμβαση 0 mM NaCl +  $K_2SO_4$  (διαφυλλικά). Ενώ αύξηση (κατά 3%) παρατηρείται στην επέμβαση με αλατότητα χωρίς κάλι σε σχέση με τον μάρτυρα.



**Σχήμα 4.17** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού ρόκα σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα, όσο αφορά τα τριχίδια των φύλλων.

Η επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού για τα τριχίδια των φύλλων, σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.18. Αισθητή μείωση (κατά 100%) στο φάγωμα των φύλλων παρατηρείται στην επέμβαση 0 mM NaCl +  $K_2SO_4$  (διαφυλλικά) σε σχέση με τις άλλες επεμβάσεις. Ενώ αύξηση (κατά 20%) παρατηρείται στην επέμβαση αλατότητας με διαφυλλικό κάλι σε σχέση με τις άλλες επεμβάσεις.

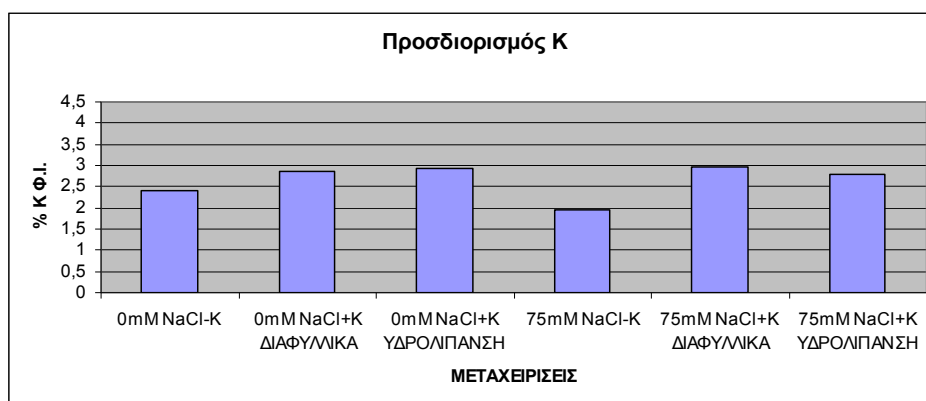


**Σχήμα 4.18** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην μακροσκοπική εμφάνιση του φυτού ρόκα σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα, όσο αφορά το φάγωμα των φύλλων (π.χ. σαλιγκάρια).

#### 4.8.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΘΕΙΙΚΟΥ ΚΑΛΙΟΥ ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΛΙΟΥ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΟΥ ΣΤΑ ΦΥΛΛΑ ΡΟΚΑΣ

##### 4.8.4.1 ΚΑΛΙΟ (K):

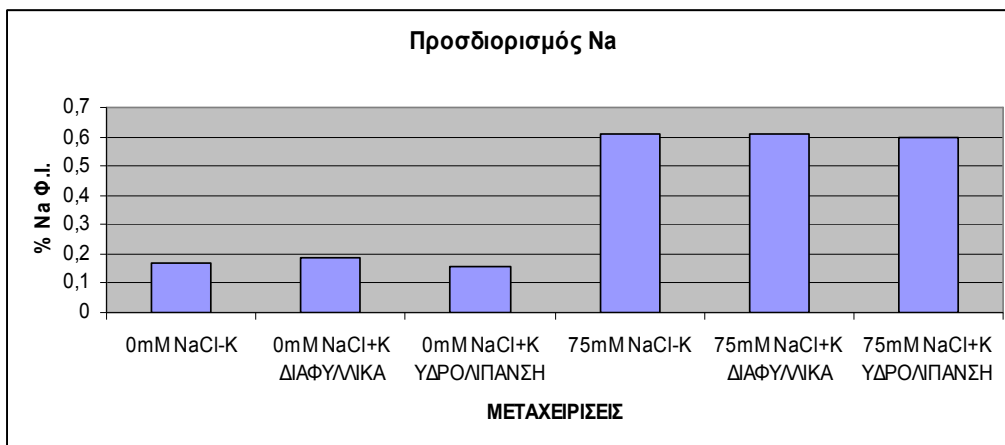
Η περιεκτικότητα K στα φύλλα φαίνεται στο Σχήμα 4.19. Προκύπτει ότι ο εμπλουτισμός  $K_2SO_4$  δεν επέφερε μεταβολές στην περιεκτικότητα σε κάλιο και φαίνεται ότι αυτό απορροφήθηκε εύκολα και σε συνθήκες αλατότητας (75 mM NaCl). Στην επέμβαση με αλατότητα (75 mM NaCl -K) η περιεκτικότητα σε K των φύλλων είναι ελαφρά μειωμένη (10%) σε σχέση με τον μάρτυρα (0 mM NaCl-K).



**Σχήμα 4.19** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην απορρόφηση K σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα.

#### 4.8.4.2 ΝΑΤΡΙΟ (Na):

Η περιεκτικότητα Na στα φύλλα φαίνεται στο Σχήμα 4.20. Όπου προκύπτει ότι ο εμπλουτισμός αλατότητας (75 mM NaCl ±  $K_2SO_4$ ) αύξησε (κατά 30%) την περιεκτικότητα των φύλλων σε Na χωρίς να επηρεάζεται από το θειικό κάλι σε σχέση με τους μάρτυρες (0 mM NaCl ±  $K_2SO_4$ ).



**Σχήμα 4.20** Επίδραση του θειικού καλίου ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας 0 και 75 mM NaCl στην απορρόφηση Na σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό σύστημα.

## 4.9 ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελέτες έχουν δείξει ότι το K και το Ca μειώνουν τα επιβλαβή αποτελέσματα της συγκέντρωσης Na στα φυτά όταν αναπτύσσονται σε συνθήκες αλατότητας. Το κάλιο έχει επίσης εξαιρετικά σημαντικό και μοναδικό ρόλο στην ενεργοποίηση των ενζυμικών συστημάτων (Evans and Sorger, 1966). Ο εμπλουτισμός της θρέψης των φυτών με κάλιο και νιτρικά άλατα είναι μια αποδοτική μέθοδος όπου εμποδίζει την εμφάνιση καταπόνησης (stress) που προκαλείται από τα ιόντα Na και Cl σε πολλές καλλιέργειες.

Όπως παρουσιάστηκε στα αποτελέσματα που προηγήθηκαν το θειικό κάλιο ( $K_2SO_4$ ) σε συνθήκες αλατότητας (75 mM NaCl) σε υδροπονική καλλιέργεια ρόκας σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα επηρέασε θετικά την ανάπτυξη του φυτού. Στα φυτά ρόκας που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες αλατότητας (με ή χωρίς κάλι) αυξήθηκε ο αριθμός των φύλλων σε σχέση με τον μάρτυρα 0 mM NaCl. Αντίθετα σε προηγούμενη μελέτη αναφέρεται ότι τα επίπεδα αλατότητας που ήταν μεγαλύτερα από 2,0 και 2,6 dS/m μείωσαν την παραγωγή και την ανάπτυξη στο μαρούλι (Andriolo et al, 2005). Επίσης σε άλλη μελέτη φαίνεται ότι η υψηλή αλατότητα μειώνει την ανάπτυξη των φύλλων, σε μεγάλο βαθμό λόγω της αναστολής της κυτταρικής διαίρεσης παρά την αναστολή της ανάπτυξης των κυττάρων (Chartzoulakis and Klapaki, 2000).

Το ύψος των φυτών ρόκας αυξήθηκε σε μικρό ποσοστό στις επεμβάσεις με αλατότητα σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ στις επεμβάσεις με διαφυλλική λίπανση K μειώθηκε σε σχέση με την υδρολίπανση K.

Η αύξηση που παρατηρείται στην αύξηση και ανάπτυξη του φυτού ρόκας οφείλεται στην ανοχή που παρουσιάζει η ρόκα στην αλατότητα με 75 mM NaCl όσο και την θετική επίδραση του θειικού καλίου. Αντίθετα σε προηγούμενη μελέτη της επίδρασης της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών, βρέθηκε ότι υπό συνθήκες αλατότητας το φυτό των φυτών φακής επιβραδύνεται, η αύξηση μειώνεται και δημιουργούνται νάνα φυτά (Sidari et al, 2007).

Με την ολοκλήρωση της καλλιέργειας η προσθήκη του θειικού καλίου σε συνθήκες αλατότητας αύξησε το νωπό βάρος της ρόκας (κατά 5%) σε σχέση με τις επεμβάσεις χωρίς αλατότητα. Οι επεμβάσεις με θειικό κάλιο (υδρολίπανση-διαφυλλικά) διαφέρουν μεταξύ τους σε πολύ μικρό ποσοστό. Αντίθετα στις επεμβάσεις με αλατότητα και κάλιο μειώθηκε η ξηρά ουσία της ρόκας σε σχέση με

τους μάρτυρες. Οι επεμβάσεις με θειικό κάλι δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Παλαιότερη έρευνα έδειξε πως η αυξημένη αλατότητα βελτίωσε ορισμένα χαρακτηριστικά ποιότητας των καρπών του κολοκυθίου και ειδικότερα τα ολικά διαλυτά στερεά και την περιεκτικότητα τους σε ξηρή ουσία. Σε συνθήκες υψηλής αλατότητας, η αυξημένη παροχή Si, μέσω του θρεπτικού διαλύματος αύξησε το βάρος τόσο του υπέργειου μέρους όσο και των καρπών ανά φυτό (Σάββας κ.α., 2007). Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες η επίδραση χαμηλής αλατότητας (40 mM NaCl) σε υδροπονική καλλιέργεια (NFT) μαρουλιού, δεν επέφερε αλλαγές στην ανάπτυξη της ρίζας ενώ η αλατότητα γενικότερα (40 mM NaCl και 120 mM NaCl) μείωσε την ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος σε φυτά μαρουλιού και το συνολικό βάρος του (Tzortzakis, 2009a). Σε άλλη έρευνα παρατηρήθηκε πως η απόδοση των φυτών τομάτας σε νωπό και ξηρό βάρος καρπών μειώθηκε σημαντικά (κατά 26%) στην αλατότητα του NaCl. Επιπλέον, η αλατότητα με NaCl προκάλεσε ισχυρότερη αρνητική επίπτωση στη συνολική παραγωγή ξηρού βάρους (περίπου 33%) (Λυκοσκούφης κ.α., 2007).

Όσον αφορά τον φθορισμό στα φύλλα των φυτών ρόκας παρατηρήθηκε μείωση στις επεμβάσεις με θειικό κάλι χωρίς αλατότητα (πολύ περισσότερο, στην επέμβαση διαφυλλικά), ενώ οι υπόλοιπες επεμβάσεις δεν παρουσιάζουν καμία διαφορά μεταξύ τους. Αντίθετα η σύνθεση της χλωροφύλλης στα φύλλα της ρόκας με την προσθήκη καλίου και πιο συγκεκριμένα με την διαφυλλική λίπανση K (0 mM και 75 mM NaCl) αυξήθηκε (κατά 7%), ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή μεταξύ των υπόλοιπων επεμβάσεων. Όταν μελετήθηκε η επίδραση της αλατότητας που προέρχεται από υψηλή συγκέντρωση NaCl (12 dS/m, 100 mM) ή από υψηλή αγωγιμότητα γενικότερα στην τομάτα, βρέθηκε αύξηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη σε συνθήκες αλατότητας (Λυκοσκούφης κ.α., 2007).

Η αντίδραση στην αλατότητα όσο αφορά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών είναι αποτέλεσμα διαφόρων διαδικασιών, συμπεριλαμβανόμενου της μείωσης της δέσμευσης του άνθρακα λόγω τοξικότητας ιόντων (Niu et al, 1995), μείωση της φωτοσύνθεσης λόγω του μερικού κλεισίματος των στοματίων και απώλειες ενέργειας κατά την διαδικασία της οσμωτικής ρύθμισης και περιορισμού της ανάπτυξης λόγω ισορροπίας θρεπτικών στοιχείων (Grattan and Grieve, 1999). Η επίδραση της αλατότητας με ή χωρίς κάλι μείωσε την φωτοσυνθετική ικανότητα (Pn) των φύλλων ρόκας σε σύγκριση με την επέμβαση 0 mM NaCl χωρίς κάλι, ενώ δεν παρουσιάστηκαν διαφορές σε όλες τις άλλες επεμβάσεις. Ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα ισχύουν και για την στοματική αγωγιμότητα των φύλλων αλλά και την

εσωτερική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> των φύλλων της ρόκας. Σε έρευνες του παρελθόντος αποδείχθηκε, ότι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των γλυκόφυτων μειώνεται με την αύξηση της αλατότητας στην ριζόσφαιρα των φυτών (Tattini et al, 1995). Η ανάπτυξη των φυτών σε συνθήκες αλατότητας μείωσε την αγωγιμότητα των στοματίων και τη συγκέντρωση του μεσοκυττάριου CO<sub>2</sub>, και αύξησε τη περιεκτικότητα των φύλλων τομάτας σε χλωροφύλλη (Λυκοσκούφης κ.α., 2007). Επιπλέον η μείωση της φωτοσύνθεσης αποδίδεται στην επίδραση της αλατότητας σε παράγοντες που έχουν σχέση με την συμπεριφορά των στομάτων ή και σε άλλους παράγοντες (Walker et al, 1984, 1982). Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες η επίδραση της αλατότητας γενικότερα (40 mM NaCl και 120 mM NaCl) μείωσε την στοματική αγωγιμότητα των φύλλων που μπορεί να προκαλέσει μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων μαρουλιού (Tzortzakis, 2009a).

Η επίδραση της αλατότητας (με ή χωρίς κάλι) επέφερε θετικά αποτελέσματα στην εμπορικότητα των φυτών σε σχέση με τους μάρτυρες. Επίσης, θετική επίδραση παρατηρείται και στις επεμβάσεις με υδρολίπανση K συγκριτικά με τις επεμβάσεις διαφυλλικής λίπανσης με K. Μακροσκοπικά παρατηρείται αισθητή μείωση στα συμπτώματα σε μωβ φύλλα, τριχίδια και φάγωμα των φύλλων στην επέμβαση με διαφυλλική λίπανση K χωρίς αλατότητα σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην ισόρροπη σχέση καλίου φωσφόρου αφού είναι γνωστό ότι έλλειψη P εμφανίζει το χαρακτηριστικό μωβ χρώμα στα φύλλα. Ο συνδυασμός αλατότητας με K μείωσε τα συμπτώματα των εγκολπώσεων των φύλλων στα φυτά ρόκας, πιθανόν να οφείλεται στην καλύτερη ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας λόγω της προσθήκη καλίου.

Τέλος όσο αφορά την στοιχειομετρική κατάσταση των φύλλων παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του K στα φύλλα της ρόκας σε συνθήκες αλατότητας 75 mM NaCl φαίνεται ελαφρά μικρότερη σε σχέση με τον μάρτυρα (0 mM NaCl). Η περιεκτικότητα των φύλλων σε κάλιο είναι αρκετά αυξημένη στις επεμβάσεις τόσο χωρίς αλατότητα όσο και στις επεμβάσεις με 75 mM NaCl. Αυτό σημαίνει ότι το επιπλέον κάλι που χορηγήθηκε απορροφήθηκε εύκολα παρά τα υψηλά επίπεδα εξωτερικού Na (75 mM NaCl).

Για τις περισσότερες καλλιέργειες φαίνεται ότι η συγκέντρωση του K<sup>+</sup> στους φυτικούς ιστούς μειώνεται καθώς η αλατότητα NaCl στο μέσο ανάπτυξης της ρίζας αυξάνεται (Shibli et al, 2007, Silberbush et al, 2005) ενώ ταυτόχρονα, άλλες έρευνες αποδεικνύουν ότι το K<sup>+</sup> μπορεί να απορροφάται και να μετακινείται εύκολα σε υψηλά

επίπεδα εξωτερικού Na (Grattan & Grieve, 1998). Σε άλλες μελέτες παρουσιάζεται ότι η περιεκτικότητα των φύλλων πιπεριάς σε  $K^+$ , σε συνθήκες αλατότητας, είτε δε μεταβάλλεται (Bethke & Drew, 1992, Chartzoulakis & Klapaki, 2000), είτε μειώνεται (Gomez et al, 1996, Cornillon & Palloix, 1997, Kaya et al, 2001). Η περιεκτικότητα των φύλλων της τομάτας σε  $K^+$ , σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας NaCl, είτε μειώνεται (Carvajal et al, 1999, Mavrogianopoulos et al, 2002), είτε παραμένει αμετάβλητη (Alpaslan & Gunes, 2001, Flores et al, 2001). Η συγκέντρωση του  $K^+$  στα φύλλα της τομάτας αυξάνεται σε συνθήκες αλατότητας που προκαλείται από υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων (Sonneveld & Welles, 1998). Η συγκέντρωση  $K^+$  στα φύλλα της αγγουριάς μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (Cerde & Martinez, 1988, Alpaslan & Gunes, 2001). Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η συγκέντρωση του K στους φυτικούς ιστούς κάτω από συνθήκες αλατότητας οφειλόμενης σε NaCl εξαρτάται από το είδος του φυτού, από το ύψος της αλατότητας και από τη συγκέντρωση άλλων ιόντων όπως το  $Ca^{+2}$ .

Στο νάτριο ( $Na^+$ ) παρατηρείται τριπλάσια αύξηση χωρίς να επηρεάζεται από το κάλιο. Σε άλλες έρευνες διαπιστώνεται ότι η υψηλή συγκέντρωση του NaCl στο θρεπτικό διάλυμα οδήγησε σε αυξημένη πρόσληψη νατρίου ( $Na^+$ ) από τα φυτά και στη μεγαλύτερη συσσώρευσή του στα φύλλα τομάτας (Parra et al, 2007, Debouba et al, 2006, Romero-Aranda et al, 2001).

Οι Kaya et al (2001) υποστηρίζουν ότι, η συγκέντρωση του νατρίου στους ιστούς της πιπεριάς και του αγγουριού μειώνεται σημαντικά, σε συνθήκες αλατότητας, αν εφαρμοστεί λίπανση με αυξημένα επίπεδα φωσφόρου και καλίου. Επίσης, η αύξηση των επιπέδων ασβεστίου σε θρεπτικό διάλυμα υψηλής αλατότητας λόγω NaCl, περιορίζει την αύξηση της συγκέντρωσης νατρίου στα φύλλα της αγγουριάς (Al-Harbi & Burrage, 1993a).

Ο εμπλουτισμός της θρέψης των φυτών με κάλιο και νιτρικά άλατα είναι μια αποδοτική μέθοδος που εμποδίζει την εμφάνιση καταπόνηση (stress) που προκαλείται από τα ιόντα Na και Cl σε πολλές καλλιέργειες. Η εφαρμογή με θειικό κάλι σε συνθήκες αλατότητας δεν παρουσίασε μεγάλη διαφορά στα φυτά ρόκας και αυτό οφείλεται στο ότι το φυτό αντέχει στην αλατότητα 75 mM NaCl.

Συνοψίζοντας η αλατότητα (75 mM NaCl) επηρέασε αρνητικά σε μικρό ποσοστό την φωτοσυνθετική ικανότητα, την στοματική αγωγιμότητα, την εσωτερική συγκέντρωση  $CO_2$  και την ξηρά ουσία του υπέργειου μέρους του φυτού. Ενώ ο

συνδυασμός αλατότητας (75 mM NaCl) με K (με υδρολίπανση-διαφυλλικά) έδωσε θετικά αποτελέσματα στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών όπως και στο νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος, καθώς και στην εμπορικότητα του φυτού. Τέλος όσο αφορά στην περιεκτικότητα των φύλλων σε κάλι φαίνεται ότι το επιπλέον κάλι απορροφήθηκε εύκολα παρά τα υψηλά επίπεδα εξωτερικού Na (75 mM NaCl). Η περιεκτικότητα του Na στα φύλλα τριπλασιάστηκε χωρίς να επηρεάζεται από το θεικό κάλι. Συμπερασματικά η ρόκα είναι ένα φυτό που μπορεί να αναπτυχθεί και να δώσει παραγωγή σε συνθήκες αλατότητας μέχρι 75 mM NaCl και να είναι εμπορεύσιμο προϊόν κατάλληλο για κατανάλωση.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- Αγγελίδης Γ., 2011. Ρόκα η πικάντικη. Deep Greece club. (<http://www.deergreece.com/> Ανακτημένο στις 8/10/2011).
- Ανώνυμος, 1994. Rocket (*Eruca sativa*), “Neglected crops: 1492 from a different perspective”. Agriculture and consumer protection. (<http://www.fao.org/docrep/t0646e/T0646E0s.htm#Rocket%20%28Eruca%20saliva%29> Ανακτημένο στις 8/10/2011).
- Ανώνυμος, 2011. *Eruca sativa*. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Eruca\\_sativa](http://en.wikipedia.org/wiki/Eruca_sativa). Ανακτημένο στις 8/10/2011).
- Ανώνυμος, 2011. Rocket (*Eruca sativa*). (<http://www.natureswonderland.com.au/articles/sprouting-seeds/rocket-arugula/> Ανακτημένο στις 8/10/2011).
- Βενέτη Γ.Α., 2005. Η επίδραση της αλατότητας στην κερασιά (*Prunus avium* L), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας (Διδακτορική Διατριβή), σελ. 1-154
- Γενιάδου Π.Γ., 1959. Λεξικόν Φυτοπαθολογικού. Β΄ Έκδοσης. Τόμος Α΄ και Β΄, Εκδ. Χρ. Μόσχου, σελ 1041.
- Γουμενάκη Ε., 2004. Καλλιέργεια εκτός εδάφους. Σημειώσεις Εργαστηρίου Γενικής Λαχανοκομίας. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Σελ. 36-49.
- Δραγασάκη Μ., 2008. Εφαρμοσμένη Φυσιολογία. Σημειώσεις Θεωρίας. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Σελ. 1-8.
- Θεριός Ι., 2005. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Γαρταγάνη, σελ. 177-185, 188-215.
- Λιονουδάκης Μ., 2006. Υδροπονική καλλιέργεια - Τα προτερήματα της χρησιμοποίησης υδροπονίας ([www.hydrofit.gr](http://www.hydrofit.gr). Ανακτημένο στις 20-10-2011).
- Λυκοσκούφης Ι., Παΐσιος Χ., Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2007. Η επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης NaCl και υψηλής συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων του θρεπτικού διαλύματος στην ανάπτυξη και τη παραγωγή της τομάτας. 23ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. Χανιά 23-26 Οκτωβρίου, Σελ. 831-834.
- Μανιός Β., 2005. Καλλιέργειες εκτός εδάφους. Σημειώσεις Θεωρίας. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Σελ. 65.

- Μανιός Θ., 2006. Εργαστήριο υποστρωμάτων και συστημάτων θερμοκηπιακών καλλιεργειών εκτός εδάφους Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Σελ. 119-127.
- Μανιός Β., 2007. Υποστρώματα και συστήματα Θερμοκηπιακών καλλιεργειών εκτός εδάφους Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, σελ 65-81.
- Μαυρογιαννόπουλος Γ.Ν., 1994. Υδροπονικές καλλιέργειες και θρεπτικά διαλύματα. Αθήνα, Εκδόσεις Α. Σταμούλη, Σελ. 54-62.
- Μπαρούχας Π., Κουλόπουλος Α., Καρακώστας Π., Λιόπα-Τσακαλίδη Α., Σάββας Δ., Παναγιωτόπουλος Α., Μουστάκας Ν., 2005. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη των φυτών ρόκας (*ErUCA sativa Miller*) σε έδαφος ρυπασμένο με κάδμιο. 22<sup>ο</sup> Συνέδριο της Ελληνικής εταιρείας Επιστήμης Οπωροκηπευτικών Πάτρα 19-21 Οκτωβρίου. Σελ. 225-228.
- Οικονομάκης Κ.Δ., 1998. Υδροπονικές καλλιέργειες. Κυριότερες εφαρμογές στην Ανθοκομία. 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Ανθοκομίας, Βόλος 27-28 Μαΐου 1998. Πρακτικά. Σελ. 1-6.
- Ολύμπιος Χ., Σάββας Δ., Σάββας Α., Γούμενου Α., Καραπάνος Ι., 2007a. Αλληλεπίδραση υποκειμένων εμβολιασμού και αλατότητας στην ανάπτυξη, την παραγωγή και την ποιότητα των καρπών τομάτας. 23<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. Χανιά 23-26 Οκτωβρίου. Σελ 763-766.
- Ολύμπιος Χ., Ψυχογιού Μ., Βιλανάκης Κ., Κερκίδης Π., 2007b. Επίδραση της αλατότητας και των υποκειμένων εμβολιασμού στην απόδοση και την ποιότητα καρπών αγγουριάς. 23<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. Χανιά 23-26 Οκτωβρίου. Σελ. 843-846.
- Όμηρου Μ.Δ., 2009. Επίδραση αζωτούχου και θεικής λίπανσης στην παραγωγή γλυκοσινολικών στους ιστούς της ρόκας (*ErUCA sativa*) και του μπρόκολου (*Brassica oleracea var. italica*) και επιπτώσεις της ενσωμάτωσης των υπολειμμάτων του μπρόκολου και των γλυκοσινολικών στις μικροβιακές κοινότητες του εδάφους. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής (Διδακτορική διατριβή), σελ. 1-132.
- Παναγόπουλος Χ.Γ., 2000. Ασθένειες Κηπευτικών Καλλιεργειών. Β' Έκδοση. Εκδ. Σταμούλης, Αθήνα, σελ. 217-218.

- Σάββας Δ., Γιώτης Δ., Μπακέα Μ., Καραπάνος Ι., Πάσσαμ Χ., 2007. Αλληλεπιδράσεις μεταξύ αλατότητας και πυριτίου σε υδροπονική καλλιέργεια κολοκυθίου στο θερμοκήπιο. 23<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. Χανιά 23-26 Οκτωβρίου. Σελ. 839-842.
- Τζωρτζάκης Ν., 2008. Καλλιέργειες εκτός εδάφους. Σημειώσεις θεωρίας. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Σελ. 152.
- Τζωρτζάκης Ν., 2009. Καλλιέργεια εκτός εδάφους. Σημειώσεις θεωρίας. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Σελ. 52.
- Τσικαλάς Ε.Π., 2003. Θρέψης φυτών και Γονιμότητας εδαφών. Σημειώσεις εργαστηρίου. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Ηράκλειο, Σελ. 54-61.
- Χατζηευστρατίου Ε., Σάββας Δ., Περβολαράκης Γ., Γκίζας Γ., Συγριμής Ν., 2007. Συσσώρευση αλάτων NaCl σε κλειστή υδροπονική καλλιέργεια πιπεριάς: μοντέλο πρόβλεψης και επιπτώσεις στα φυτά. 23<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών. Χανιά 23-26 Οκτωβρίου. Σελ. 851-854.

#### **ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

- Al- Harbi A.R., Burrage S.W., 1993a. Effect of NaCl salinity on growth of cucumber *Cucumis sativus* L. grown in N.F.T. Acta horticulturae 323, 39-50.
- Alpaslan M., Gunes A., 2001. Interactive effects of boron and salinity stress on the growth, membrane permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. Plant and soil 236 (1) 123-128.
- Andriolo JL, da Luz GL, Witter MH, Godoi RS, Barros GT, Bortolotto OC, 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. Hortic. Bras 23: 931-934.
- Ashraf M., 1994. Organic substances responsible for salt tolerance in *Eruca sativa*. Biologia Plantarum 36 (2): 255-259.
- Bethke P.C., Drew M.C., 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annum* during progressive exposure to NaCl salinity. Plant physiology 99 (1), 219-226.
- Bull CT, Goldman PH, Morris NC, Koike ST and Kobayashi DY, 2004. Expanded host and geographic range of *Pseudomonas syringae* pv. *alisalensis* (Abstr.). Phytopathology 94:512.

- Carvajal M., Martinez V., Cerda A., 1999. Influence of magnesium and salinity on tomato plants grown in hydroponic culture. *Journal of plant nutrition* 22 (1), 177-190.
- Cerda A., Martinez V., 1988. Nitrogen fertilization under saline conditions in tomato and cucumber plants. *Journal of horticultural science* 63 (3), 451-458.
- Chartzoulakis K, Klapaki G, 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* 86: 247-260.
- Christman S., 2005. *Eruca sativa*. ([http://www.floridata.com/ref/e/eruc\\_sat.cfm](http://www.floridata.com/ref/e/eruc_sat.cfm) Ανακτημένο στις 8/10/2011).
- Cornillan P., Palloix A., 1997. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *Journal of plant nutrition* 20 (9), 1085-1094.
- Cramer GR, Lauchli A, Polito VS, 1985. Displacement of Ca<sup>2+</sup> by Na<sup>+</sup> from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? *Plant physiology* 79: 207-211.
- Debouba M., Gouia H., Ghorbell M.H., 2006. NaCl effects growth, ions and water status of tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings. *Acta botanica gallica* 153 (3), 297-307.
- El Fouly MM, Mobarak ZM, Salama ZA, 2002. Micronutrient foliar application increases salt tolerance of tomato seedlings. *Acta Horticulturae* 573: 467-474.
- Evans HJ, Sorger GJ, 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Annual Review of Plants Physiology* 17: 47-77.
- Flores P., Carvajal M., Cerda A., Martinez V., 2001. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development nutrition, and metabolites. *Journal of plant nutrition* 24 (10) 1561-1573.
- Gomez I., Navarro J., Morai R., Iborra R., Palacions G., Mataix J., 1996. Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants. *Journal of plant nutrition* 19 (2), 353-359.
- Grattan S.R., Grieve C.M., 1998. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia horticulturae* 78 (1-4), 127-157.
- Hamilton J.M. and Fonseca J.M, 2010. Effect of Saline Irrigation Water on Antioxidants in Three Hydroponically Grown Leafy Vegetables: *Diplotaxis tenuifolia*, *Eruca sativa*, and *Lepidium sativum*. *Hortscience*, April, 45 (4): 546-552.

- Hautala EL, Wulff A, Oksanen J, 1992. Effects of deicing salt on visible symptoms, element concentrations and membrane damage in first-year needles of roadside. Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Ann. Bot. Fenn.* 29: 179-185.
- Katzer G., 2002. Rocket (*Eruca sativa* L.). ([http://www.uni-graz.at/~katzer/engl/Eruc\\_sat.html](http://www.uni-graz.at/~katzer/engl/Eruc_sat.html) Ανακτημένο στις 8/10/2011).
- Kava C., Kirnak H., Higgs D., 2001. Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). *Journal of plant nutrition* 24 (9), 1457-1471.
- Kozlowski TT, 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiol Monog.* No 1.
- Lauchli A, Epstein E, 1990. Plant responses to saline and sodic conditions p. 113-137. In: Tanjikk (ed.). *America Society of Civil Engineers*, New York, N.Y.
- Mavrogianopoulos G., Savvas D., Vogli V., 2002. Influence of NaCl-salinity imposed on half of the root system of hydroponically grown tomato on growth, yield, and tissue mineral composition. *Journal of horticultural science and biotechnology* 77 (5), 557-564.
- Miceli A., Moncada A., F. D'Anna, 2003. . Effect of water salinity on seeds-germination of *ocimum Basilicum L.*, *Eruca sativa L.* and *Petroselinum hortense hoffm.* . *ISHS Acta Horticulturae* 609: International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environmet.
- Nuez F, Hernandez Bermejo JE, 1995. Neglected Crops: 1492 from a Different Perspective. 1994. J.E. Hernando Bermejo and J. Leon (eds). *Plant Production and Protection Series* No. 26. *FAO*, Rome, Italy. p. 303-332. (<http://www.fao.org/docrep/to646e/T0646E05.htm> Ανακτημένο στις 8/10/2011).
- Pardossi A, Bagnolib G, Malorgiob F, Campiottic CA, Tognonib F, 199a. NaCl effects on celery (*Apium graveolens* L.) grown in NFT. *Scientia Horticulturae* 81: 229-242.
- Parra M., Albacete A., Martinez-Andujar C., Perez-Alfocea F., 2007. Increasing plant vigour and tomato fruit yield under salinity by inducing plant adaptation at the earliest seedling stage. *Environmental and experimental botany* 60 (1), 77-85.

- Plaut Z, 1995. Photosynthesis in plants/crops under water and salt stress. In "Handbook of Plant and Crop Physiology", M. Pessarakli (ed.), Marcel Dekker, New York, chapter 27, pp. 587-603.
- Resh HM, 1995. Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook of soil Less Food Growing Methods. Πέμπτη Έκδοση, Woodbridge Press, 1997 σελ 23.
- Resh HM, 1998. Hydroponics, Questions and Answers. Woodbringe Press, Santa Barbara, California.
- Romero-Aranda R., Soria T., Cuartero J., 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. Plant science 160 (2), 265-272.
- Shannon MC, Grieve CM, Francoins LE, 1994. Whole-plant response to salinity. In: Wilkinson RE(ed.) Plant Environment Interactions. Marcel Dekker, New York, pp. 199-244.
- Shibli R.A., Kushad M., Yousef G.G., Lila M.A., 2007. Physiological and biochemical responses of tomato microshoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. Plant growth regulation 51 (2), 159-169.
- Sidari M, Muscolo A, Anastasi U, Preiti G, Santonoceto C, 2007. Response of four genotypes of lentil to salt stress conditions. Seed Science and Technology 35: 497-503.
- Silberbush M., Ben-Asher J., Ephrath J.E., 2005. A model for nutrient and water flow and their uptake by plants grown in a soilless culture. Plant and soil 271, 309-319.
- Sonneveld C., Welles G.W.H., 1988. Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in E.C.-value and climatic conditions. Plant and soil 111 (1), 37-42.
- Sonneveld C., 1998. The salt tolerance of greenhouse crops. Netherland Journal of Agricultural Science 36: 63-73.
- Tattini M, Gucci R, Coradeschi MA, Ponzio C, Everard JD, 1995. Growth, gas exchange and ion content in *Olea europea* plants during salinity stress and subsequent relief. Physiol. Plant. 95: 203-210.
- Tzortzakis NG, 2009a. Alleviation of salinity induced stress in lettuce growth by potassium sulphate using Nutrient Film Technique. International Journal of Vegetable Science 15: 1-14.

- Tzortzakis NG, 2009b. Influence of NaCl and calcium foliar spray on lettuce and endive growth using nutrient film technique. *International Journal of Vegetable Science* 15: 1-13.
- Waisel Y, 1991. Adaptation to salinity In: "Physiology of Trees", As Raghavendra (ed.), Wiley, New York, pp. 359-383.
- Walker RR, Torokfalvy E, Steele Scott N, Kriedemann NE, 1981. An analysis of photosynthetic response to salt treatment in *Vitis vinifera* Aust J. Plant Physiol. 8: 358-374.
- Walker RR, Torokfalvy E, Downton WJ, 1982. Photosynthetic responses of citrus varieties Rangpur lime and Etgor Citron to salt treatment. *Aust J. Plant Physiol.* 9: 783-790.
- Wiley J. and Sons, 2011. Το φυτό ρόκα. Wiley online library.

## ΜΕΡΟΣ Γ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

#### 6.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ α-, β- ΚΑΙ ΟΛΙΚΩΝ ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΩΝ

Για να προσδιοριστεί το επίπεδο χλωροφύλλης α- (Chla), β- (Chlb) και των ολικών καροτενοειδών (Carotenoids) σε φύλλα ρόκας έγινε ανάλυση σύμφωνα με το πρωτόκολλο τον Porra, 2002. Αναλυτικά, πάρθηκε δείγμα από φυτικό ιστό (0,2 gr) που διατηρείτε σε κατάψυξη (-20<sup>0</sup>C) με την λήξη του πειράματος, τοποθετήθηκε σε πορσελάνινο γουδί ενώ προστέθηκε 5 ml ακετόνης (80%) και λειοτριβήθηκε. Έπειτα μεταφέρθηκε σε κιουβέτες (Εικόνα 6.1) προκειμένου να μετρηθεί η απορρόφηση του διαλύματος στα 470nm, 652nm και στα 663nm με την χρήση φασματοφωτόμετρου πολλαπλής ανάγνωσης (Εικόνα 6.2). Τέλος με τις παρακάτω εξισώσεις υπολογίστηκαν συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης α-, β- και των ολικών καροτενοειδών.

$$\text{Chla } (\mu\text{g}) = 12.21 * A_{663} - 2.81 A_{646}$$

$$\text{Chlb } (\mu\text{g}) = 12.13 * A_{646} - 5.03 * A_{663}$$

$$\text{Carotenoids } (\mu\text{g}) = (1000A_{470} - 3.27\text{Chla} - 104\text{Chlb})/198$$



**Εικόνα 6.1** Πορσελάνινο γουδί, κιουβέτες και 5ml ακετόνης 80%.





**Εικόνα 6.2** Φασματοφωτόμετρο πολλαπλής ανάγνωσης για την στοιχειομετρική ανάλυση της χλωροφύλλης  $\alpha$ -,  $\beta$ - και ολικών καροτενοειδών.

Τα αποτελέσματα όμως που πάρθηκαν από το φασματοφωτόμετρο πολλαπλής ανάλυσης δεν ήταν σωστά. Με αποτέλεσμα να μην μπορούν να γίνουν οι αναφερόμενοι παραπάνω προσδιορισμοί.

Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls *a* and *b*. *Photosynthesis Research* 73: 149 - 156.

## **6.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΦΥΛΛΑ ΡΟΚΑΣ:**

Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.7.5 υπολογίστηκε πρώτα το καθαρό βάρος της φιάλης (B.X.) στην συνέχεια λήφθηκε το μικτό ξηρό βάρος (B.M.Ξ.) όπου αφαιρώντας το από το ΒΜΞ από το ΒΧ βρίσκουμε το ξηρό βάρος του φυτικού ιστού και στη συνέχεια βρίσκουμε το μέσο όρο των δειγμάτων και στη συνέχεια βρίσκουμε το επί % ξηρό βάρος.

Π.χ.:

$$BX = 61,8357$$

$$BM\Xi = 62,7544$$

Όπου  $BM\Xi - BX = 62,7544 - 61,8357 = 0,9187$  το οποίο είναι το ξηρό βάρος του φυτικού ιστού

$$0,9187 * 1000 = 931,8333 \text{ το οποίο είναι το επί \% ξηρό βάρος.}$$

### **6.2.1 ΚΑΛΙΟ:**

Για των προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φύλλων σε κάλιο πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί:

Μετρήθηκαν τα standards K και λήφθηκε η καμπύλη αναφοράς του καλίου με την ανάλογη εξίσωση:

$$y = 0,9895x + 3,9571$$

όπου y: ενδείξεις φλογοφωτομέτρου

x: ppm K

λύνοντας προς x υπολογίζονται τα ppm K στη συνέχεια διαιρώντας με το 10 βρίσκουμε τα mg K στο διάλυμα του φυτικού ιστού έπειτα πολλαπλασιάζοντας με 500 (100 \* 5 λόγω αραιώσης 1:4) και διαιρώντας με το % ξηρό βάρος και έτσι βρίσκουμε την % K του φυτικού ιστού.

Π.χ.:

ενδείξεις φλογοφωτομέτρου = 48,66666667

$$X = (48,66666667 - 3,9571) / 0,9895 = 44,66758 \text{ ppm K}$$

$$44,66758 / 10 = 4,466757622 \text{ mg K διαλ. Φ.Ι.}$$

$$(4,466757622 * 100 * 5) / 931,8333 = 2,396757801 \% \text{ K Φ.Ι.}$$

**Πίνακας 6.1.** Αποτελέσματα για την περιεκτικότητα των φύλλων σε κάλιο.

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ	ενδείξεις φλογ.	ppm K	mgK διαλ. Φ.Ι	% K Φ.Ι.
0mM NaCl-K	48,66666667	44,66758	4,466757622	2,396757801
0mM NaCl+K ΔΙΑΦΥΛΛΙΚΑ	61	57,00091	5,700090955	2,849665522
0mM NaCl+K ΥΔΡΟΛΙΠΑΝΣΗ	61,66666667	57,66758	5,766757622	2,940323068
75mM NaCl-K	39,33333333	35,33424	3,533424288	1,969871565
75mM NaCl+K ΔΙΑΦΥΛΛΙΚΑ	58	54,00091	5,400090955	2,972854418
75mM NaCl+K ΥΔΡΟΛΙΠΑΝΣΗ	54,66666667	50,66758	5,066757622	2,808001342

### 6.2.2. ΝΑΤΡΙΟ:

Για των προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φύλλων σε νάτριο πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί:

Ενώ μετρήσαμε τα standards Na και λήφθηκε η καμπύλη αναφοράς του νατρίου με την ανάλογη εξίσωση:

$$y = 0,9853x + 5,9714$$

όπου y: ενδείξεις φλογοφωτομέτρου

x: ppm Na

λύνοντας προς x βρίσκουμε τα ppm Na στη συνέχεια διαιρώντας με το 10 βρίσκουμε τα mg Na διαλύματος του φυτικού ιστού έπειτα πολλαπλασιάζοντας με 100 και διαιρώντας με το % ξηρό βάρος και έτσι βρίσκουμε την % Na του φυτικού ιστού.

Π.χ.:

Ενδείξεις φλογοφωτομέτρου = 22

$X = (22 - 5,9714) / 0,9853 = 15,93951 \text{ ppm Na}$

$15,93951 / 10 = 1,593951081 \text{ mg Na διαλ. Φ.Ι.}$

$(1,593951081 * 100) / 931,8333 = 0,171055383 \% \text{ Na Φ.Ι.}$

**Πίνακας 6.2.** Αποτελέσματα για τη περιεκτικότητα των φύλλων σε νάτριο.

<b>ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ</b>	<b>ενδείξεις φλογ.</b>	<b>ppm Na</b>	<b>mgNa διαλ. Φ.Ι.</b>	<b>% Na Φ.Ι.</b>
0mM NaCl-K	22	15,93951	1,593951081	0,171055383
0mM NaCl+K ΔΙΑΦΥΛΛΙΚΑ	25	18,93951	1,893951081	0,189369859
0mM NaCl+K ΥΔΡΟΛΙΠΑΝΣΗ	21,333333	15,27284	1,527284381	0,155744694
75mM NaCl-K	60,666667	54,60618	5,460617781	0,608855026
75mM NaCl+K ΔΙΑΦΥΛΛΙΚΑ	61,333333	55,27284	5,527284381	0,608575371
75mM NaCl+K ΥΔΡΟΛΙΠΑΝΣΗ	60	53,93951	5,393951081	0,597866447