



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΖΙΖΑΝΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

« Καλλιέργεια Βασιλικού (*Ocimum basilicum*) υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας: Επιδράσεις στην ανάπτυξη, στη θρεπτική κατάσταση και την αντιοξειδωτική ικανότητα»



Αβτούλη Ντενίσα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Λεβίζου Ευθυμία

Βόλος, 2020

« Καλλιέργεια Βασιλικού (*Ocimum basilicum*) υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας: Επιδράσεις στην ανάπτυξη, στη θρεπτική κατάσταση και την αντιοξειδωτική ικανότητα»

“Basil (*Ocimum basilicum*) grown under increased salinity: Effects on growth, nutrition and antioxidant capacity”

Αβτούλη Ντενίσα

Η τριμελής εξεταστική επιτροπή αποτελείται από τους:

Ευθυμία Λεβίζου (Επιβλέπουσα)

Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κατσούλα Νικόλαο

Καθηγητή, Γεωργικών Εγκαταστάσεων με Έμφαση στα Θερμοκήπια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Λύκα Χρήστο

Επίκουρο Καθηγητή Ανθοκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Αφιερώσεις...

Την παρούσα διατριβή θα ήθελα να την αφιερώσω στον αγαπημένο μου δάσκαλο, τον κύριο Στράτο Ευαγγελινέλη, του οποίου οι συμβουλές και τα μαθήματα θα με συνοδεύουν για πάντα στο ταξίδι της ζωής...

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα πτυχιακή διατριβή, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω από καρδιάς ορισμένους ανθρώπους, των οποίων η συμβολή έπαιξε σημαντικό ρόλο για την εκπόνηση της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, την Επίκουρη Καθηγήτρια κυρία Ευθυμία Λεβίζου, η οποία με τις πολύτιμες συμβουλές της και την καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, με βοήθησε να βγάλω εις πέρας την πτυχιακή μου διατριβή.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κύριο Νικόλαο Κατσούλα, ο οποίος εκτός από μέλος της τριμελούς επιτροπής, μου έδωσε την ευκαιρία να πραγματοποιήσω το πειραματικό σκέλος της διατριβής μου στο Geisenheim Hochschule University στη Γερμανία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Λύκα Χρήστο που συμμετείχε στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όλους τους καθηγητές και το ερευνητικό/εργαστηριακό προσωπικό του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος για τα μαθήματα, τις συμβουλές και τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήταν παράλειψη να μην πω ένα ευχαριστώ στο προσωπικό του Geisenheim Hochschule University και ιδίως στον Dr. Johannes Max και τον Frederick Langner όπου με την καθοδήγηση, την υλικοτεχνική και όχι μόνο στήριξη τους, μπόρεσα να ολοκληρώσω το πειραματικό κομμάτι της πτυχιακής διατριβής μου.

Θα ήθελα σε αυτό το σημείο να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους πολυαγαπημένους μου φίλους, που ήταν πάντοτε δίπλα μου, στα εύκολα και στα δύσκολα, και την ευγνωμοσύνη μου στις συμφοιτήτριες μου Ευρυδίκη – Μαρία Μαρκοπούλου και Ελένη Σαββίδου, όπου κατά τη διάρκεια της διαμονής μας στην Γερμανία με υποστήριξαν ηθικά σε αυτή την εμπειρία και μαζί δημιουργήσαμε αναμνήσεις που θα με συνοδεύουν όλη μου τη ζωή.

Τέλος θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Αρμπέν και Αλμπάνα και στην αγαπημένη μου αδερφή, Μαρκέλα που ήταν και είναι πάντα στο πλευρό μου στηρίζοντάς με σε κάθε μου βήμα.

Περιεχόμενα

Περίληψη	viii
1. Εισαγωγή	13
1.1. Ορισμός αλατότητας	13
1.2. Γεωγραφική εξάπλωση	13
1.3. Αίτια αυξημένης αλατότητας	13
1.4. Η αλατότητα στα θερμοκήπια	14
1.5. Βασιλικός	15
1.5.1. Γενικά στοιχεία – Καταγωγή – Εξάπλωση.....	15
1.5.2 Βοτανική ταξινόμηση - Ποικιλίες	15
1.5.3. Σημασία και Χρήσεις.....	16
1.5.3.1. Καλλωπιστική και μαγειρική χρήση	16
1.5.3.2. Εντομοκτόνος δράση	16
1.5.3.3. Αντιμικροβιακή και Αντί-ική Δράση	17
1.6. Επίδραση της αλατότητας στα φυτά	17
1.6.1. Ανάπτυξη.....	17
1.6.2. Αντιοξειδωτικά	19
1.6.3. Αμινοξέα.....	20
1.6.4. Θρεπτικά.....	21
1.7 Σκοπός της παρούσας εργασίας	22
2. Υλικά και Μέθοδοι	24
2.1. Πειραματικό σχέδιο.....	24
2.1.1. Γενικά	24
2.1.2. Μετεωρολογικά δεδομένα	25
2.1.3. Σπορά, ανάπτυξη φυτών και καλλιεργητικές φροντίδες	26
2.1.3.1 Σκέλος πρώτο	26
2.1.3.2. Σκέλος δεύτερο.....	27
2.2. Δειγματοληψία και Ανάλυση Δειγμάτων.....	31
2.2.1. Προσδιορισμός θρεπτικών (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu).....	31
2.2.2. Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας	32
2.2.3. Περιεκτικότητα σε Αμινοξέα	34
2.3 Ύψος	35
2.4 Βάρος	35
2.5 Προβαλλόμενη επιφάνεια φύλλων.....	35
2.6 Στατιστική Επεξεργασία	36

3. Αποτελέσματα.....	37
3.1. Πρώτο πειραματικό σκέλος	37
3.1.1 Παράμετροι ανάπτυξης	37
Ύψος.....	37
Ξηρό Βάρος Υπέργειων Ιστών	39
Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων.....	40
3.1.2. Αντιοξειδωτική Ικανότητα	42
3.1.3. Θρεπτική Κατάσταση.....	43
Μακροθρεπτικά	43
Μικροθρεπτικά	44
3.1.4. Περιεκτικότητα σε Αμινοξέα	47
Ολικά αμινοξέα	47
Προφίλ Αμινοξέων	48
3.2. Δεύτερο πειραματικό σκέλος.....	51
3.2.1 Παράμετροι ανάπτυξης	51
Ύψος.....	51
Ξηρό Βάρος Υπέργειων Ιστών	53
Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων.....	54
3.2.2. Αντιοξειδωτική Ικανότητα	56
3.2.3. Θρεπτική Κατάσταση.....	57
Μακροθρεπτικά	57
Μικροθρεπτικά	58
3.2.4. Περιεκτικότητα σε Αμινοξέα	61
Ολικά Αμινοξέα.....	61
Προφίλ Αμινοξέων	62
4. Συζήτηση.....	65
Πρώτο πειραματικό σκέλος.....	65
Παράμετροι ανάπτυξης (Ύψος, Ξηρό Βάρος, Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων).....	65
Αντιοξειδωτική Ικανότητα	65
Προφίλ Αμινοξέων	66
Θρεπτική Κατάσταση	67
Δεύτερο πειραματικό σκέλος	69
Παράμετροι ανάπτυξης (Ύψος, Ξηρό Βάρος, Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων).....	69

Αντιοξειδωτική Ικανότητα	69
Προφίλ Αμινοξέων	70
Θρεπτική Κατάσταση	70
5. Συμπεράσματα	72
Πρώτο πειραματικό σκέλος.....	72
Δεύτερο πειραματικό σκέλος	73
Βιβλιογραφία	74

Περίληψη

Η αυξημένη εδαφική αλατότητα αποτελεί ένα αυξανόμενο περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς μειώνει την έκταση της καλλιεργήσιμης γης και δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στη φυτική παραγωγή. Τα αίτια της αυξημένη αλατότητας αποδίδονται είτε σε φυσικά είτε σε ανθρωπογενή αίτια. Η αλατότητα δεν περιορίζεται μόνο στις υπαίθριες καλλιέργειες, αφού είναι αναπόφευκτος παράγοντας και στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες που οδηγεί σε μείωση της απόδοσης. Η ποσοτικοποίηση της αυξημένης αλατότητας στο έδαφος πραγματοποιείται με τη χρήση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που εκφράζεται σε dS/m. Το αντίκτυπο της αυξημένης αλατότητας οφείλεται στην επίδραση της ωσμωτικής και της ιοντικής καταπόνησης. Αυτές οι δύο επιδράσεις εκδηλώνονται με μείωση της ανάπτυξης των φυτών. Εκτός από τις επιπτώσεις στην ανάπτυξη, η αλατότητα έχει αντίκτυπο στην ισορροπία των θρεπτικών καθώς και σε βιοχημικές παραμέτρους όπως η αντιοξειδωτική ικανότητα και η συγκέντρωση αμινοξέων. Όπως υποδηλώνεται και ανωτέρω, η αλατότητα δημιουργεί ένα αντίξοο περιβάλλον για τα φυτά, ωστόσο τα αρωματικά φυτά παρουσιάζουν προοπτικές για την αξιοποίηση εδαφών υποβαθμισμένων λόγω αλατότητας. Ένα αρωματικό φυτό είναι και ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) ο οποίος διαθέτει μεγάλη εμπορική αξία και ποικιλία χρήσεων. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός του ορίου ανοχής του βασιλικού στην αλατότητα και η εκτίμηση της επίδρασης της σε αναπτυξιακές, θρεπτικές και φυσιολογικές παραμέτρους.

Η εκτίμηση πραγματοποιήθηκε μέσω του ελέγχου παραμέτρων ανάπτυξης (ύψος, βάρος, προβαλλόμενη επιφάνεια φύλλων), θρεπτικής κατάστασης (συγκέντρωση μακρο- και μικρο- θρεπτικών) και βιοχημικών (αντιοξειδωτική ικανότητα, συγκέντρωση αμινοξέων), με δύο τρόπους. Αρχικά πραγματοποιήθηκε άρδευση με νερό τεσσάρων επιπέδων αλατότητας; 2 dS/m όπου αποτέλεσε και τον μάρτυρα, 5, 10 και 15 dS/m. Στο επόμενο σκέλος εγκαταστάθηκε υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς και χορηγήθηκε το νερό απορροής σε τρεις μεταχειρίσεις: Ομάδα Α, Ομάδα Β και Ομάδα C ενώ επίσης υπήρχε και ο μάρτυρας που αρδεύονταν με το ίδιο θρεπτικό διάλυμα όπως και η υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς. Κατά τα δυο σκέλη της πειραματικής διαδικασίας ελήφθησαν συστηματικά μετρήσεις για το ύψος και την προβαλλόμενη επιφάνεια φύλλων, για την οποία διενεργήθηκε λήψη φωτογραφιών και επεξεργασία τους σε κατάλληλα λογισμικά (MATLAB, Image J). Για την

μέτρηση του βάρους, της θρεπτικής κατάστασης, της αντιοξειδωτική ικανότητας και της περιεκτικότητας αμινοξέων πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες, η πρώτη 15 μέρες μετά την εφαρμογή (days after treatment, DAT) και η δεύτερη 30 DAT. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SPSS.

Στο πρώτο σκέλος, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν πως η αλατότητα έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη του φυτού. Παρατηρήθηκε μείωση του ύψους, του ξηρού βάρους και της προβαλλόμενης επιφάνειας της φυτικής κόμης σε ποσοστό 72%, 84% και 90% αντίστοιχα για την μεταχείριση μέγιστης αλατότητας (15 dS/m). Αντίστοιχα, μείωση κατά 56,3% σημειώθηκε και στην αντιοξειδωτική ικανότητα στη μεταχείριση μέγιστης αλατότητας. Αντίθετα, στις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας (10 και 15 dS/m) η συγκέντρωση σε αμινοξέα αυξήθηκε 5 και 8 φορές αντίστοιχα, ενώ ενδιαφέρον παρουσίασαν τα αμινοξέα αργινίνη, ασπαραγίνη και γλουταμίνη οι οποίες φαίνεται να έχουν οσμωρρυθμιστική δράση. Τέλος η ανάλυση θρεπτικών έδειξε αύξηση στην ποσότητα N, K, Ca και Mg, στα φυτά που μεταχειρίστηκαν με νερό υψηλής αλατότητας. Εξαίρεση από τα μακροθρεπτικά ήταν το P όπου σημείωσε μείωση με αύξηση της αλατότητας. Τα μικροθρεπτικά Fe, Zn, Mn, και Cu μειώθηκαν υπό την επίδραση της αυξημένης αλατότητας. Στο δεύτερο πειραματικό σκέλος δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές στις παραμέτρους ανάπτυξης, εκτός από την προβαλλόμενη επιφάνεια φύλλων, η οποία σημείωσε μείωση στα φυτά που αρδεύτηκαν με νερό απορροής, χωρίς αυτή να είναι στατιστικά σημαντική. Μείωση επίσης παρατηρήθηκε και στο ξηρό βάρος των υπέργειων οργάνων. Όσον αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα, παρατηρήθηκε αύξηση στην συγκέντρωση ασκορβικού οξέος κατά 21,7% στα φυτά που μεταχειρίστηκαν με νερό απορροής. Αντίστοιχη αύξηση σημειώθηκε και στη περίπτωση των αμινοξέων στα φυτά που μεταχειρίστηκαν με απορρέον νερό. Κι εδώ πάλι σημαντικότερη άνοδο παρουσίασαν τα αμινοξέα αργινίνη, ασπαραγίνη και γλουταμίνη. Σχετικά με τα θρεπτικά συστατικά, δεν σημειώθηκαν σημαντικές μεταβολές στην συγκέντρωση του N. Αύξηση παρατηρήθηκε στα K, Ca, Mg ενώ το P κι σε αυτή τη περίπτωση μειώθηκε. Όσον αφορά τα μικροθρεπτικά δεν υπήρχαν μεταβολές στα στοιχεία Fe και Cu, ωστόσο μείωση στη συγκέντρωσή τους παρουσίασαν τα Zn και Mn.

Συμπέρασμα των παραπάνω είναι πως η αυξημένη αλατότητα επιφέρει σημαντική μείωση στην ανάπτυξη του βασιλικού. Ακόμη, η αλατότητα, έως κάποια όρια, επιφέρει αύξηση στην αντιοξειδωτική ικανότητα και στην συγκέντρωση αμινοξέων,

τα οποία ενδεχομένως διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αντοχή του φυτού κατά της αλατότητας. Συνεπώς, η κατωφλική αλατότητα στο βασιλικό θα μπορούσε να οριστεί η τιμή 5 dS/m. Επίσης, η άρδευση με απορρέον νερό υδροπονικής καλλιέργειας υποβάλλει το φυτό σε καταπόνηση χωρίς όμως την μείωση της παραγωγής. Η ένδειξη της καταπόνησης προέρχεται από την αυξημένη συγκέντρωση ασκορβικού οξέος και αμινοξέων στα φυτά που μεταχειρίστηκαν με νερό απορροής, τα οποία βοηθούν το φυτό να προσαρμοστεί και να ανταπεξέλθει στην καταπόνηση λόγω αλατότητας. Έτσι, η καλλιέργεια βασιλικού δύναται να προσφερθεί τόσο σε εδάφη υποβαθμισμένα λόγω αλατότητας όσο και ως δευτερεύουσα καλλιέργεια για την αξιοποίηση του νερού απορροής υδροπονικών καλλιεργειών.

Summary

Soil salinization is an increasing environmental issue which severely reduces agricultural land and has a detrimental effect on plant growth and development. Responsible for the increase of soil salinity are both natural and anthropogenic causes. Apart from salinity's presence in outdoor cultivation, salinity is also inevitable in soil-less culture which leads to yield loss. The quantification of increased salinity is expressed with the usage of "Electrical Conductivity" (E.C.), whose dimensions are dS/m. The impact of salinity on plant growth is attributed to osmotic and ionic stress. The effects of salinity are not only limited on growth parameters. They also affect the plants' nutrient balance and physiological parameters such as antioxidant capacity and amino acid content within plant tissues. As mentioned above, salinity institutes an adverse condition for plant growth. However, aromatic plants are highly promising for their utilization as crops in degraded soils due to salinity. Such a plant is basil (*Ocimum basilicum*), which possesses great commercial value and a wide range of uses. The objective of this study is the determination of basil's threshold to salinity stress and the impact elevated salinity has on growth, nutrition and physiological parameters.

The determination of basil's salinity threshold was carried out by measuring growth (height, weight, projected leaf area), nutrition (concentration of micro- and macro-nutrients) and physiological (antioxidant capacity and amino acid content) parameters in two ways. Initially, four different levels of E.C. were imposed on basil plants; 2 dS/m (which also constituted the control for the experiment), 5, 10 and 15 dS/m. On

the next stage, basil plants were irrigated with hydroponic waste solution (HWS) originating from cucumber hydroponic cultivation. Measurements regarding plant height were regularly taken, and photographs of basil canopy were captured for the estimation of the projected leaf area. Then, the images were processed using specific software (MATLAB, Image J). For the determination of basil dry weight, concentration of micro- and macro- elements, antioxidant capacity and amino acid content, two samplings were executed; the first was carried out 15 days after treatment (DAT) and 30 DAT. The above procedures were followed on both experimental stages.

The results of the first experiment report that enhanced salinity negatively affects plant growth. The observed growth reduction of height, dry weight and projected leaf area were 72%, 84% and 90% respectively for basil plants which underwent treatment with E.C. of 15 dS/m. A decrease of 56,3% was remarked for basil's antioxidant capacity. A 5-fold and 8-fold increase under the treatments of 10 and 15 dS/m was remarked on basil tissues. Free amino acids, particularly arginine, asparagine and glutamine, displayed a significant increase which indicates their role in osmoregulation. The nutrient analysis showed an increase in the concentrations on N, K, Ca and Mg. P, on the other hand was decreased along with the microelements Fe, Zn, Mn and Cu. The second experiment indicated no differences regarding growth parameters except for a slight reduction in projected leaf area, though this reduction showed no statistical difference compared to the control. The results of the antioxidant capacity analysis showed a 21.7% increase in the concentration of ascorbic acid in plant tissues. An increase was also observed in the total amino acid content. The amino acids arginine, asparagine and glutamine had elevated concentrations compared to the control. Regarding nutrient concentration, N didn't show any changes in concentration, whereas K, Ca and Mg levels were increased. The concentration of P was reduced in the tissues of plants treated with hydroponic waste solution. When it comes to micronutrients, Fe and Cu did not indicate any changes, however Zn and Mn displayed a reduction in their concentration.

The concluding remarks of this experiment report that enhanced salinity severely restricts basil growth. Furthermore, elevated salinity results in the increase of both antioxidant capacity and amino acid content in plants which probably enact a significant role in the plants' defense against salinity stress. Based on the

abovementioned results, a salinity threshold of 5 dS/m could be attributed to basil. Also, irrigation with hydroponic waste solution probably imposes salinity stress on the irrigated plants without any significant losses in yield. This was indicated by the elevated levels of physiological parameters which help basil to adapt and overcome salinity stress. Thus, basil can be utilized as alternative cultivation to reclaim salt affected soils or as a secondary cultivation to reuse hydroponic waste solution.

1. Εισαγωγή

1.1. Ορισμός αλατότητας.

Το έδαφος είναι ένα αυθύπαρκτο σύστημα που επιτελεί πληθώρα οικολογικών λειτουργιών με μερικές από αυτές να σχετίζονται με τη φυτική ανάπτυξη (Brady and Weil 2010). Όμως, η κακή διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων οδηγεί σε συνεχή υποβάθμιση της ποιότητας τους, με αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση της διαθέσιμης καλλιεργήσιμης γης (Brady and Weil 2010). Μια αιτία υποβάθμισης του εδάφους είναι η αυξημένη αλατότητα η οποία, όπως ορίζεται από τους Brady και Weil (2010), είναι η συσσώρευση ουδέτερων αλάτων στο έδαφος. Τα εδάφη που έχουν υποστεί την παραπάνω διαδικασία ονομάζονται αλατούχα και ως τέτοια, σύμφωνα με τον FAO (Rhoades 1992), χαρακτηρίζονται τα εδάφη όπου η συγκέντρωση των αλάτων στο κορεσμένο εκχύλισμα έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 4 dS/m.

1.2. Γεωγραφική εξάπλωση

Τα αλατούχα εδάφη απαντούν σε όλο τον κόσμο και είναι ένα συνεχώς αυξανόμενο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Τόσο οι αρδευόμενες όσο και οι ξηρές και ημίξηρες εκτάσεις του πλανήτη πλήττονται από αυξημένη αλατότητα. Σύμφωνα με έκθεση του FAO (Rhoades 1992), η συνολική έκταση των εδαφών που είναι υποβαθμισμένα λόγω αλατότητας υπολογίζεται πως ανέρχεται στα 412 εκατομμύρια εκτάρια. Στην Ευρώπη, τα αλατούχα εδάφη καταλαμβάνουν έκταση 3,8 εκατομμύρια εκταρίων και η εξάπλωση τους παρατηρείται σε χώρες που βρίσκονται στη Μεσογειακή λεκάνη όπως η Ελλάδα, η Ισπανία, η Τουρκία και άλλες.

1.3. Αίτια αυξημένης αλατότητας

Τα αίτια ύπαρξης των αλατούχων εδαφών εξαρτώνται τόσο από φυσικούς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες (Rhoades 1992). Στους φυσικούς παράγοντες συγκαταλέγεται η προέλευση του εδάφους και το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα (Brady and Weil 2010). Επίσης το κλίμα της περιοχή παίζει μεγάλο ρόλο καθώς στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές η εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) είναι μεγαλύτερη από τις κατακρημνίσεις (precipitation), κι έτσι διευκολύνεται η σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων τόσο στην επιφάνεια του εδάφους όσο και στη περιοχή της ριζόσφαιρας (Pessarakli 2011). Επίσης, οι μεγάλες περιόδους ξηρασίας, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, εντείνουν το πρόβλημα. Η ανθρωπογενής αλατότητα οφείλεται κυρίως σε εφαρμογή προβληματικών γεωργικών πρακτικών

όπως η χρήση αρδευτικού νερού χαμηλής ποιότητας, η μη ορθολογική άρδευση των καλλιεργειών, η υπερβολική χρήση λιπασμάτων και η κακή αποστράγγιση των εδαφών (Rhoades 1992). Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η συγκέντρωση αλάτων και ιόντων στη περιοχή της ριζόσφαιρας. Αν αυτά τα άλατα δεν εκπλυθούν, η συγκέντρωση τους αυξάνεται και οδηγεί στην αυξημένη αλατότητα των εδαφών (FAO and ITPS 2015; Pessarakli 2011; Brady and Weil 2010; Rhoades 1992).

1.4. Η αλατότητα στα θερμοκήπια

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων λόγω της υποβάθμισής τους, οδηγεί στην ανάγκη εξεύρεσης νέων μεθόδων φυτικής παραγωγής (Katsoulas and Voogt 2014). Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο παραγωγής τροφής σε πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον (Μαυρογιαννόπουλος 2006, Σάββας 2011) καταλαμβάνοντας μικρότερη έκταση σε σχέση με την υπαίθρια καλλιέργεια για το ίδιο προϊόν (Σάββας 2011, Katsoulas and Voogt 2014). Παρά τον έλεγχο των συνθηκών στις οποίες αναπτύσσεται μια καλλιέργεια εκτός εδάφους, ιδιαίτερη σημασία κατέχει η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Katsoulas and Voogt 2014, Σάββας 2011, Μαυρογιαννόπουλος 2006, Sonneveld 1996). Η αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί έναν αναπόφευκτο παράγοντα, ιδίως στα κλειστά υδροπονικά συστήματα (Katsoulas and Voogt 2014). Είναι αποτέλεσμα όχι μόνο της χαμηλής ποιότητας του αρδευτικού νερού, αλλά και της σύστασης του θρεπτικού διαλύματος κατά την απορροή του από τη καλλιέργεια και επαναχρησιμοποίησής του (Σάββας 2011).

Με βάση τα προαναφερθέντα, η αυξημένη αλατότητα είναι ένας παράγοντας που δεν μπορεί να αποκλειστεί εύκολα από τη φυτική παραγωγή. Επομένως, υπάρχει ανάγκη εξεύρεσης φυτών που μπορούν να ανεχτούν έως κάποια όρια την αυξημένη αλατότητα χωρίς μεγάλες απώλειες στην τελική παραγωγή και αντίκτυπο στη ποιότητα του τελικού προϊόντος (Dagar et al. 2011). Τα αρωματικά φυτά παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες ως προς την αντοχή τους σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας κι έτσι μπορούν να αξιοποιηθούν ως εμπορικές καλλιέργειες τόσο σε υποβαθμισμένα από αλατότητα εδάφη όσο και σε θρεπτικά διαλύματα αυξημένης αλατότητας (Dagar et al 2011). Ένα αρωματικό φυτό που θα μπορούσε να προσφερθεί για καλλιέργεια υπό τέτοιες συνθήκες είναι ο βασιλικός (*Ocimum basilicum* L.)

1.5. Βασιλικός

1.5.1. Γενικά στοιχεία – Καταγωγή – Εξάπλωση

Ο βασιλικός, *Ocimum basilicum L.*, είναι μέλος της οικογένειας των Χειλανθών (Lamiaceae ή Labiatae) και περιεγράφηκε βοτανικά για πρώτη φορά από τον Λιναίο το 1753. Είναι ετήσιο φυτό, με όρθια ανάπτυξη, το οποίο σε ευνοϊκές συνθήκες μπορεί να καλλιεργηθεί και ως πολυετές. Το ριζικό του σύστημα εκτείνεται σε μέτριο βάθος και αποτελείται από μια πασσαλόριζα πάνω στην οποία σχηματίζονται πολλές πλευρικές ρίζες. Ακολουθώντας τα τυπικά χαρακτηριστικά της οικογένειας των Χειλανθών, ο βασιλικός έχει βλαστό τετράγωνης διατομής επί του οποίου απλά, έμμισχα φύλλα διατάσσονται αντίθετα και σταυρωτά. Στο έλασμα των φύλλων βρίσκονται διατεταγμένες αδενώδεις τρίχες, στις οποίες συγκεντρώνεται το αιθέριο έλαιο του φυτού. Το αιθέριο έλαιο του βασιλικού αποτελείται από διάφορα μονοτερπένια, σεσκιτερπένια και φαινυλπροπανοειδή, που καθιστούν τον βασιλικό αρωματικό φυτό. Η ταξιανθία του βασιλικού έχει σχήμα βότρυος ή στάχυος και αποτελείται από πολλά ανθίδια. Ο καρπός είναι σχιζοκάρπιο, και αποτελείται από τέσσερα διακριτά καρπίδια (Simpson 2007, Strasburger 2002, Paton et al. 1999).

Ως κέντρα καταγωγής θεωρούνται η Νότιος Αφρική και χώρες της Νοτιοδυτικής Ασίας όπως η Ινδία, το Πακιστάν, το Ιράν, η Ταϊλάνδη ενώ μπορεί να παρατηρηθεί και ως αυτοφυές στην τροπική και υποτροπική ζώνη. Η επιτυχής προσαρμογή του βασιλικού σε διάφορες περιοχές του κόσμου, επέτρεψε τη παραγωγή του σε εμπορική κλίμακα σε χώρες που ανήκουν στη θερμή (Ινδία, Πακιστάν, Ταϊλάνδη, Ν. Αφρική), μεσογειακή (Ελλάδα, Ιταλία, Τουρκία, Αίγυπτο, Η.Π.Α (πολιτεία της Καλιφόρνια)) και εύκρατη (Πολωνία, Γερμανία, Ουγγαρία, Σλοβακία) κλιματική ζώνη (Paton and Putievsky, 1999).

1.5.2 Βοτανική ταξινόμηση - Ποικιλίες

Η βοτανική ταξινόμηση του βασιλικού δεν είναι σαφής καθώς το είδος *O. basilicum* περιέχει πολλά υποείδη και βοτανικές ποικιλίες που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ενδοειδική μεταβλητότητα (Paton and Putievsky 1996), καθώς οι σχέσεις μεταξύ των ειδών είναι πολύπλοκες και μπορούν να παράξουν υβρίδια με αποτέλεσμα την μεγάλη διαφοροποίηση τους (Paton et al. 1999). Για την ταξινόμηση των υποειδών και βοτανικών ποικιλιών του βασιλικού έχουν υιοθετηθεί πολλές μέθοδοι, όπως η χημειοταξινόμηση (Hiltuen and Holm 1999). Ωστόσο έρευνες των

DeMasi et al. (2006) και Caronić-Stanko et al. (2011), κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η χρήση των χημειότυπων ως βάση για τη ταξινόμηση του *O. basilicum*, δεν είναι αποτελεσματική. Παρόλα αυτά, οι «ποικιλίες»¹ βασιλικού που κυκλοφορούν στο εμπόριο, διαχωρίζονται ανάλογα με τη μορφολογία των φύλλων τους (Genovese, Lettuce Leaf, Purple Leaf, Mammoth, Curly Leaf), ενώ άλλες με βάση το χαρακτηριστικό τους άρωμα (Anise, Camphor, Lemon, Sweet Dani) (Πετρόπουλος 2011).

1.5.3. Σημασία και Χρήσεις

1.5.3.1. Καλλωπιστική και μαγειρική χρήση

Στις μέρες μας, ο βασιλικός είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα αρωματικά φυτά στον κόσμο και όπως προδίδει και το όνομα του, θεωρείται ο «βασιλιάς των αρωματικών». Το ίδιο το φυτό και τα διάφορα παράγωγα του, όπως η ξηρή δρόγη, το αιθέριο έλαιο αλλά και οι σπόροι του έχουν ευρεία χρήση (Hiltuen and Holm 1999). Ο βασιλικός χρησιμοποιείται σε πολλές κουζίνες του κόσμου ως αρωματικό/μπαχαρικό. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως γλαστρικό φυτό καθώς έχει καλλωπιστική αξία (Πετρόπουλος 2011). Ο βασιλικός είναι ένα αρωματικό φυτό με μεγάλη εμπορική αξία, η οποία συνεχώς αυξάνεται. Σύμφωνα με δεδομένα του ΟΗΕ, η πρώτη σε κατάταξη χώρα στην Ευρώπη που εισάγει βασιλικό και διάφορα παράγωγα του, και τα προωθεί σε ευρωπαϊκές αγορές είναι η Γερμανία.

1.5.3.2. Εντομοκτόνος δράση

Έρευνες σχετικά με την επίδραση του αιθέριου ελαίου του βασιλικού στα έντομα, δείχνουν πως έχει τοξικές, απωθητικές κι άλλες αποτρεπτικές ιδιότητες έναντι εντόμων που προσβάλλουν αποθηκευμένα σιτηρά και όσπρια με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια φιλοπεριβαλλοντική στρατηγική στη προστασία αποθηκευμένων προϊόντων (Rodríguez-González 2019, Ρορονιό et al. 2006). Έχει επίσης αποδειχθεί πως έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των εντόμων παρουσιάζοντας προοπτικές για χρήση και στη βιολογική και στην ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων σε καλλιέργεια βαμβακιού (Shadia 2007).

¹ Με βάση τα παραπάνω ο όρος «ποικιλίες» χρησιμοποιείται καταχρηστικά στη περίπτωση του βασιλικού. Σωστότερα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο όρος «πληθυσμός» (Πετρόπουλος 2011, Hiltuen and Holm 1999).

1.5.3.3. Αντιμικροβιακή και Αντί-ική Δράση

Στον βασιλικό, αποδίδονται επίσης και αντιμικροβιακές ιδιότητες. Έρευνες δείχνουν ότι το αιθέριο έλαιο βασιλικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία τροφίμων και φαρμάκων ως συντηρητικός παράγοντας, προστατεύοντας τα προϊόντα κατά βακτηρίων και μυκήτων (Baratta et al. 1998). Επίσης, μελέτες δείχνουν πως ο βασιλικός κατέχει αντιβακτηριδιακές και αντι-ικές ουσίες που είναι λιγότερο τοξικές από τις δραστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στη φαρμακοβιομηχανία με τη χρήση τους στο μέλλον να είναι πολλά υποσχόμενη (Kaya et al. 2008, Chiang et al. 2005).

1.6. Επίδραση της αλατότητας στα φυτά

1.6.1. Ανάπτυξη

Οι υψηλές συγκεντρώσεις ουδέτερων αλάτων στην περιοχή της ριζόσφαιρας έχουν ανασταλτική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών (Munns 2002). Η αλατότητα μπορεί να επηρεάσει τη φυτική ανάπτυξη σε δυο επίπεδα (Taiz and Zeiger 2015, Munns and Tester 2008, Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012, Munns 2002). Το πρώτο επίπεδο σχετίζεται με την διαθεσιμότητα του νερού στη περιοχή της ρίζας. Η αύξηση στη συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα συνεπάγεται την πτώση του υδατικού δυναμικού (Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012). Αυτό οδηγεί σε αύξηση της ενέργειας που απαιτείται από το φυτό για την απορρόφηση νερού από το έδαφος, ενέργεια που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη του φυτού (Baylock 1994). Έτσι, παρουσιάζεται μια μορφή υδατικής καταπόνησης που ονομάζεται ωσμωτική καταπόνηση (osmotic stress) (Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012). Το δεύτερο επίπεδο έχει να κάνει με την αυξημένη συγκέντρωση ιόντων Na^+ και Cl^- στα φυτικά κύτταρα (Greenway and Munns 1980). Η αύξηση αυτή έχει αρνητική επίδραση στον μεταβολισμό του φυτού, με προβλήματα να παρουσιάζονται τόσο στη δραστηριότητα των ενζύμων όσο και στη περατότητα των μεμβρανών. Η επίδραση αυτού του είδους που παρουσιάζεται κατά την καταπόνηση λόγω αυξημένης αλατότητας, ονομάζεται ιοντική καταπόνηση (ionic stress) (Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012). Μάλιστα οι επιδράσεις αυτές (σημ. ωσμωτική και ιοντική καταπόνηση) δεν δρουν μεμονωμένα αλλά συνδυαστικά και μάλιστα σε διαφορετικό χρόνο. Όπως υποστηρίζεται από τους Munns και Tester (2008), η ωσμωτική καταπόνηση επιδρά άμεσα στην ανάπτυξη του φυτού ενώ

αντίθετα, η ιοντική καταπόνηση εμφανίζεται σε βάθος χρόνου, καθώς η τοξική επίδραση των ιόντων εξαρτάται από τη συγκέντρωση τους.

Η επίπτωση της αλατότητας, εμφανίζεται μακροσκοπικά με περιορισμένη ανάπτυξη του φυτού και μείωση του μεγέθους των φύλλων (Bernstein 1975). Η επίδραση της αλατότητας περιγράφεται (συνοπτικά) από τον Jouyban (2012) ως εξής: η αυξημένη συγκέντρωση των αλάτων προκαλεί ενεργοποίηση της φυτομόνης ABA (αμπισικό οξύ, abscisic acid) η οποία με τη σειρά της επάγει το κλείσιμο των στομάτων, με τελικό αποτέλεσμα την μείωση της φωτοσύνθεσης και την παράλληλη έκθεση του φυτού σε οξειδωτική καταπόνηση. Όσον αφορά την επιμήκυνση των φύλλων, βραχυπρόθεσμα αυτή δεν περιορίζεται από έλλειμμα νερού (Munns and Termaat 1986), αλλά, όπως αναφέρει και ο Jouyban (2012), εξαρτάται έμμεσα ή άμεσα από την δράση της ορμόνης ABA. Μακροπρόθεσμα ωστόσο, η επιμήκυνση των φύλλων εξαρτάται από την ικανότητα του φυτού να αποφύγει την υπερβολική συγκέντρωση ιόντων (Munns and Termaat 1986). Αν η συγκέντρωση των ιόντων στους ιστούς είναι πάνω από τα όρια ανοχής, παρατηρούνται ανωμαλίες στην αφομοίωση του C από τα φυτά (Baylock 1994, Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012). Επίσης, η υπερβολική συγκέντρωση ιόντων στα φύλλα προκαλεί γήρανση και πτώση τους (Durner 2013). Αν ο ρυθμός πτώσης των παλαιότερων φύλλων είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό δημιουργίας νέων, τότε μειώνεται η φωτοσυνθετική επιφάνεια (Munns and Termaat 1986). Αυτό συνεπάγεται την μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας, η οποία αν περιοριστεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα, το φυτό δεν μπορεί να παράξει φωτοσυνθετικό προϊόν (γλυκόζη) προκειμένου να υποστηρίξει τη νέα ανάπτυξη (Munns and Termaat 1986).

Το φωτοσυνθετικό προϊόν (γλυκόζη) αποτελεί το «ακριβό συνάλλαγμα» για την επιβίωση των φυτών στην καταπόνηση λόγω αλατότητας (Munns and Tester 2008). Πέρα από την μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας, η μείωση των αποθεμάτων φωτοσυνθετικού προϊόντος προκαλεί γενικότερη τροποποίηση του μεταβολισμού των φυτών για την επιβίωση σε συνθήκες αλατότητας (Munns and Gilliam 2015). Η παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών, οι οποίοι βοηθούν το φυτό να προστατευτεί και να αντιμετωπίσει την αυξημένη αλατότητα έχει ένα σημαντικό κόστος σε φωτοσυνθετικό προϊόν και ενέργεια. Καθώς η συσσώρευση φωτοσυνθετικού προϊόντος είναι σημαντική για την ανάπτυξη και τη συσσώρευση

ξηρής ουσίας στα φυτά, η αύξηση της αλατότητας οδηγεί σε μείωση της ξηρής φυτομάζας (Caliskan et al. 2017).

1.6.2. Αντιοξειδωτικά

Μία από τις αναπόφευκτες επιπτώσεις της καταπόνησης λόγω αλατότητας είναι η παραγωγή ενεργών ριζών οξυγόνου (Reactive Oxygen Species, ROS) στα διάφορα κυτταρικά οργανίδια (Pessarakli 2011, Abel and Hirt 2004). Η παραγωγή ROS στα φυτά υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι χαμηλή, αλλά σε περίπτωση έκθεσης του φυτού σε καταπονητικούς παράγοντες η παραγωγή των ROS αυξάνεται (Polle 2001). Για παράδειγμα οι υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων καταστρέφουν την αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων και οδηγούν σε υπερπαραγωγή ενεργών ριζών οξυγόνου (Tanou et al. 2009). Όταν το επίπεδο τους υπερβεί το όριο ανοχής των μηχανισμών άμυνας των φυτών, τα κύτταρα βρίσκονται υπό συνθήκες οξειδωτικής καταπόνησης (oxidative stress) (Bartozs 1997). Η οξειδωτική καταπόνηση με τη σειρά της έχει ως αποτέλεσμα την επαγωγή διαφόρων φυτοτοξικών αντιδράσεων όπως η υπεροξείδωση των λιπιδίων, των πρωτεϊνών και του DNA (Tanou et al. 2009, Abel and Hirt 2004)

Η αυξημένη παραγωγή ενεργών ριζών οξυγόνου και άρα η οξειδωτική καταπόνηση μπορεί να τεθεί υπό έλεγχο μέσω της δράσης των αντιοξειδωτικών μηχανισμών των φυτών (Durner 2013). Αυτοί οι μηχανισμοί περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων και το ασκορβικό οξύ (Ascorbic Acid, AsA) όπου έχει σαν ρόλο την ρύθμιση της συγκέντρωσης σε ROS που υπάρχει μέσα στα φυτικά κύτταρα (Colville and Smirnoff 2008).

Το ασκορβικό οξύ, ή αλλιώς η βιταμίνη C, είναι ένα υδατοδιαλυτό, μικρού βάρους μόριο το οποίο έχει έντονη παρουσία στα φυτά. Βρίσκεται σε όλα σχεδόν τα μέρη του φυτικού κυττάρου και επιτελεί πληθώρα λειτουργιών (Smirnoff and Wheeler 2000). Η περιεκτικότητα σε AsA στους φυτικούς ιστούς είναι υψηλή και αυτό υποδεικνύει την σημασία που έχει για τα φυτά (Gest et al. 2012). Το ασκορβικό οξύ συμμετέχει σε πολλές μεταβολικές διεργασίες, στην αύξηση των κυττάρων και στην βιοσύνθεση φυτικών ορμονών όπως το αιθυλένιο και οι γιββερελίνες και είναι αντιοξειδωτικός παράγοντας προστατεύοντας το φυτό από περιβαλλοντική καταπόνηση (Smirnoff and Wheeler, 2000). Λόγω της υψηλής αντιοξειδωτικής ικανότητας και του χαμηλού κόστους βιοσύνθεσης, το ασκορβικό οξύ βρίσκεται στη πρώτη γραμμή άμυνας έναντι της οξειδωτικής καταπόνησης (Gest et al. 2012). Η

αντιοξειδωτική του δράση οφείλεται στο γεγονός ότι μπορεί να απομακρύνει άμεσα τις ενεργές ρίζες οξυγόνου και να μειώσει το οξειδωτικό στρες στα φυτά (Durner 2013). Σε πειράματα των Huang et al. (2005) σε δύο γενότυπους του *Arabidopsis thaliana*, όπου ο ένας παρήγαγε κανονικά AsA ενώ στον άλλο η βιοσυνθετική οδός του AsA δεν λειτουργούσε κανονικά λόγω μετάλλαξης, βρέθηκε ότι ο πρώτος γενότυπος μπορούσε να ανταπεξέλθει καλύτερα την καταπόνηση λόγω αλατότητας σε σύγκριση με τον δεύτερο γενότυπο. Αυτό υποδεικνύει πως η ικανότητα των φυτών να ανταπεξέλθουν καταστάσεις περιβαλλοντικής καταπόνησης σχετίζεται με την περιεκτικότητα του ασκορβικού οξέος στους ιστούς. Η τελευταία δεν καθορίζεται μόνο από το γενετικό υπόβαθρο αλλά και από την περιβαλλοντική επίδραση, με τις καταπονητικές συνθήκες να οδηγούν συνήθως σε αύξηση της βιοσύνθεσης ασκορβικού οξέος (Hossain et al. 2017).

1.6.3. Αμινοξέα

Τα αμινοξέα είναι μόρια μεγάλης βιολογικής σημασίας για τα φυτά. Οι λειτουργίες τους δεν περιορίζονται μόνο στο ότι αποτελούν τις δομικές μονάδες των πρωτεϊνών, είναι επίσης πρόδρομα συστατικά για τη σύνθεση διάφορων δευτερογενών μεταβολιτών, αποθήκες N για τα φυτά και έχουν επικουρικό ρόλο στην καταπολέμηση διάφορων περιβαλλοντικών καταπονήσεων (Hildebrandt 2018, Winter et al. 2015, Martinelli et al. 2007, Simon - Sarkadi et al. 2002). Σε κατάσταση καταπόνησης από άλατα, τα φυτά προσαρμόζουν τον μεταβολισμό τους προς αντιμετώπιση της καταπόνησης (Batista-Silva et al. 2018), καθώς μια σειρά φυσιολογικών διεργασιών επηρεάζεται/ρυθμίζεται από τα αμινοξέα (Rai 2002). Η βιβλιογραφία αναφέρει πως η προσαρμογή του μεταβολισμού των φυτών στην καταπόνηση λόγω αλατότητας οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων των ελεύθερων αμινοξέων (free amino acids) στα φυτά (Hildebrandt 2018, Dawood et al. 2014, Kovacs et al. 2012, Rai 2002). Η αύξηση αυτή ωστόσο δεν παρατηρείται στον ίδιο βαθμό σε όλα τα αμινοξέα. Εκτενής έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για το αμινοξύ προλίνη (Pro) καθώς οι Singh et al. (1977) απέδειξαν την σχέση της Pro με την ανάπτυξη αντοχής στην αλατότητα. Άλλα αμινοξέα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την επίδραση τους στη φυσιολογία του φυτού υπό την επίδραση της αλατότητας είναι η αργινίνη, η ασπαραγίνη και η γλουταμίνη (Hildebrandt 2018). Ο ρόλος τους έχει να κάνει με την οσμωρρύθμιση, δηλαδή την δυνατότητα ρύθμισης/εξισορρόπησης του υδατικού δυναμικού στους φυτικούς ιστούς όταν το

νερό δεν είναι εύκολα διαθέσιμο (Taiz and Zeiger 2015). Ο λόγος αύξησης της ποσότητας μερικών αμινοξέων, έχει να κάνει πρωτίστως με τον μεταβολισμό των πρωτεϊνών (Hildebrandt 2018, Mansour 2002). Σε καταστάσεις στρες η σύνθεση πρωτεϊνών μειώνεται ως απόκριση στην καταπόνηση, ενώ επίσης μπορεί να καταβολίζονται προς τα μονομερή τους, τα αμινοξέα, τα οποία συσσωρεύονται και χρησιμεύουν στην εξομάλυνση των επιπτώσεων της καταπόνησης. Αυτά τα αμινοξέα που συσσωρεύονται, χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση οσμολυτών (Hildebrandt 2018) ή ως αποθήκες N που θα αξιοποιηθούν για την επιβίωση του φυτού (Martinelli et al. 2007). Γενικότερα η συντονισμένη αύξηση μεμονωμένων αμινοξέων εμπλέκεται τόσο στην βραχυ- όσο και στην μακροπρόθεσμη απόκριση (Kovacs et al. 2012) και προσαρμογή (Rai 2002) στην καταπόνηση της αλατότητας.

1.6.4. Θρεπτικά

Τα σημαντικότερα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών είναι τα N (άζωτο), P (φώσφορος), K (κάλιο), Ca (ασβέστιο), Mg (μαγνήσιο), καθώς και μικροθρεπτικά όπως τα Fe (σίδηρος), Zn (ψευδάργυρος), Mn (μαγγάνιο) και Cu (χαλκός) (Θερίος 2005). Συμμετέχουν σε κομβικές διεργασίες για την επιβίωση των φυτών, ενώ η έλλειψη ή περίσσεια των θρεπτικών αυτών προκαλούν συμπτώματα τροφopenίας ή τοξικότητας αντίστοιχα. Οι συνθήκες αυξημένης αλατότητας διαταράσσουν την ιοντική ομοιόσταση και ισορροπία (Hu and Schmidhalter 2005, Niu et al. 1995), καθώς η αυξημένη αλατότητα δυσχεραίνει την θρέψη των φυτών (Levitt 1980, Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012). Η επιβίωση των φυτών σε συνθήκες τέτοιες είναι αποτέλεσμα προσαρμοστικών στρατηγικών που περιλαμβάνουν την μεταφορά, τη συσσώρευση και τη διαμερισματοποίηση των ιόντων, και την παραγωγή οσμολυτών για την επίτευξη ομοιόστασης στα κύτταρα (Surabhi et al 2008, Munns and Tester 1986).

Σε τέτοια περιβάλλοντα παρατηρείται για παράδειγμα μεταβολή στα επίπεδα του N καθώς η αλατότητα παρεμβαίνει στις μεταβολικές οδούς που σχετίζονται με την αφομοίωσή του (Hoi et al. 2003). Στη βιβλιογραφία αναφέρεται πως έχει παρατηρηθεί τόσο αρνητική συσχέτιση στη συγκέντρωση του αζώτου σε σχέση με την αυξημένη αλατότητα (Feigin 1997) όσο και το αντίθετο (Lin et al. 2002). Η αύξηση αυτή ενδεχομένως να σχετίζεται με τροποποίηση του κύκλο αφομοίωσης του N στο φυτό, όπου προάγει την δημιουργία μορίων πλούσια σε N τα οποία δρουν ως οσμολύτες (Surabhi et al. 2008, Hoi et al. 2003, Levitt 1980). Άλλο ένα στοιχείο το

οποίο συμβάλει στη διατήρηση της υδατικής και ιοντικής ισορροπίας εντός των κυττάρων είναι το K (Parajati and Modi 2016, Θεριός 2006). Το K δρα ως ιοντικός οσμολύτης ρυθμίζοντας την οσμωτική ισορροπία του κυττάρου (Parajati and Modi 2016). Αντίστοιχες ιδιότητες έχει και το Ca. Εκτός από συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων (Brady and Weil 2010), το Ca καθορίζει την αντοχή των φυτών στην καταπόνηση από αλατότητα (Grattan and Grieve 1999). Η αύξηση των επιπέδων Ca στο κυτόπλασμα σηματοδοτεί την ωσμωτική καταπόνηση στο φυτό και επάγει διάφορους προσαρμοστικούς μηχανισμούς (Taiz and Zeiger 2015, Knight et al. 1997). Η αυξημένη συγκέντρωση του Ca στους ιστούς που υφίστανται καταπόνηση εξυπηρετεί την οσμωτική ισορροπία, όπως και το K (Maimaiti et al. 2014, Ullah et al. 1993). Για το Mg όπως και το P, η επίδραση της αυξημένης αλατότητας δεν έχει ερευνηθεί επαρκώς (Grattan and Grieve, 1992; 1999). Παρόλα αυτά, η δράση του Mg στο κυτόπλασμα σχετίζεται με την ισορροπία ιόντων H^+ εντός του κυττάρου (Shaul 2002).

Τα μικροθρεπτικά Fe (σίδηρος), Zn (ψευδάργυρος), Mn (μαγγάνιο) και Cu (χαλκός) έχουν έναν πολυσχιδή ρόλο στη φυσιολογία των φυτών (Marschner 2012). Συμμετέχουν ενεργά σε διεργασίες που σχετίζονται με τη φωτοσύνθεση, την ενζυμική δραστηριότητα, τις βιοσυνθετικές οδούς σημαντικών μακρομορίων κ.ά. (Marschner, 2012, Θεριός 2005). Σε συνθήκες αλατότητας η διαλυτότητα των μικροστοιχείων είναι μικρή, και υπάρχει περίπτωση τα φυτά να παρουσιάζουν συμπτώματα έλλειψης στα στοιχεία αυτά (Page et al. 1990).

1.7 Σκοπός της παρούσας εργασίας

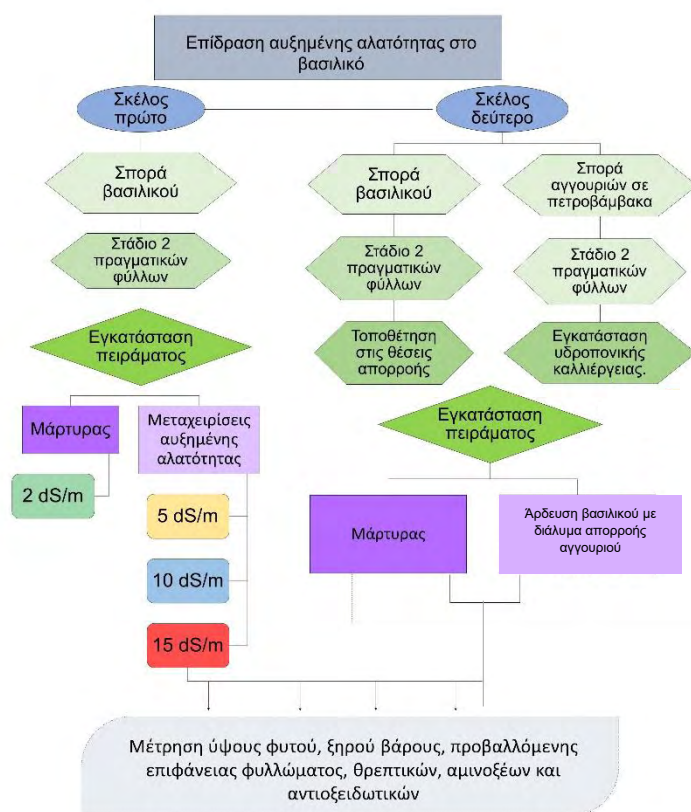
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η αλατότητα είναι ένας σημαντικός καταπονητικός παράγοντας με δυσμενείς επιπτώσεις στην παραγωγή. Η βιβλιογραφία έχει αναφέρει πως υπάρχει ανάγκη για εξεύρεση φυτών που μπορούν να ανταπεξέλθουν την αυξημένη αλατότητα. Φυτά με τέτοιες προοπτικές είναι επί παραδείγματι αρωματικά ή φαρμακευτικά φυτά, όπως ο βασιλικός (*Ocimum basilicum L.*). Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι να ελεγχθούν βιοχημικές και αναπτυξιακές αποκρίσεις του βασιλικού στην αυξημένη αλατότητα και η εκτίμηση της κατωφλικής αλατότητας πέραν της οποίας ξεπερνώνται τα όρια αντοχής του συγκεκριμένου είδους.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Πειραματικό σχέδιο

2.1.1. Γενικά

Το παρόν πείραμα διεξήχθη κατά την καλοκαιρινή περίοδο του έτους 2018 και συγκεκριμένα το τρίμηνο από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο (28/6 - 19/9/2018) στο Geisenheim Hochschule University στην πόλη Geisenheim της Γερμανίας. Το πείραμα χωρίστηκε σε δύο σκέλη. Στο πρώτο σκέλος πραγματοποιήθηκε μεταχείριση του βασιλικού σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αλατότητας; 2 (μάρτυρας), 5, 10 και 15 dS/m. Πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες. Η πρώτη δειγματοληψία (ενδιάμεση) έγινε 15 μέρες μετά την εγκατάσταση των φυτοδοχείων στο θερμοκήπιο, ενώ η δεύτερη και τελική δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε 30 μέρες μετά την εγκατάσταση. Κατά το δεύτερο σκέλος αρχικά εγκαταστάθηκε μια υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς σε τρεις ομάδες: Ομάδα Α, Β και C. Σε κάθε μία από τις



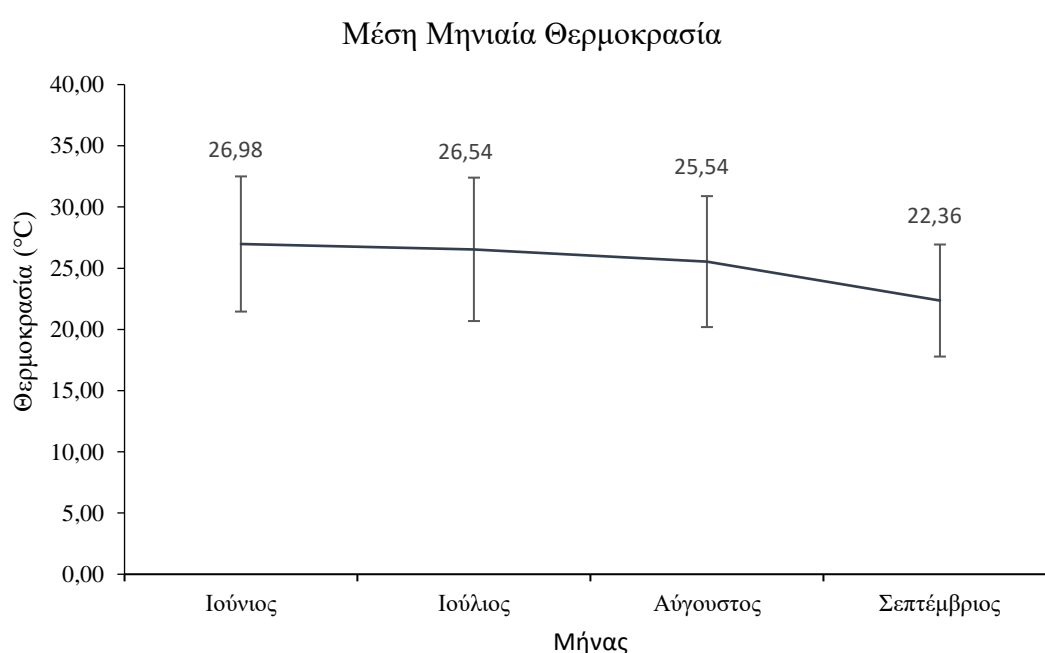
Σχήμα 2.1.: Πειραματικό σχέδιο, όπου απεικονίζονται οι μεταχειρίσεις και οι μετρήσεις των δύο σκελών της πτυχιακής διατριβής.

θέσεις απορροής τοποθετήθηκαν 12 φυτοδοχεία βασιλικού όπου αρδεύονταν με

απορρέον νερό προερχόμενο από την υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς. Επίσης εγκαταστάθηκε και μια ομάδα με φυτά βασιλικού που αρδεύονταν με το ίδιο θρεπτικό διάλυμα όπως και τα φυτά αγγουριάς, αποτελώντας τον μάρτυρα. Τόσο οι αγγουριές όσο και ο μάρτυρας αρδεύονταν με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας 2 dS/m. Και εδώ πραγματοποιήθηκαν δυο δειγματοληψίες: σε 15 και 30 μέρες μετά την εγκατάσταση.

2.1.2. Μετεωρολογικά δεδομένα

Οι κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των πειραμάτων διακρίνεται από σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Όπως παρουσιάζεται παρακάτω (Σχήμα 2.2) η μέση θερμοκρασία κατά την αρχή του πειράματος ανήλθε στους 26,98°C ενώ με το πέρας του πειράματος (Σεπτέμβριο), η θερμοκρασία είχε μειωθεί στους 22,36 °C. Η ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από τα αντίστοιχα όργανα, έχει μέσο όρο τα 225,07 W/m², ενώ σε καθημερινή βάση παρατηρήθηκε ένα μέγιστο στη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ 8:00 π.μ. και 17:00 μ.μ., με μέσο όρο 530,43 (± 117,05) W/m².



Σχήμα 2.1; Μέση θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του τριμήνου Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο (28/6 - 19/9 2018)

2.1.3. Σπορά, ανάπτυξη φυτών και καλλιεργητικές φροντίδες

2.1.3.1 Σκέλος πρώτο

Ο πρώτος κύκλος των πειραμάτων διήρκεσε περίπου πέντε εβδομάδες (28/07/2018 – 01/08/2018). Κατά τη διάρκεια των πέντε αυτών εβδομάδων, χρησιμοποιήθηκαν 40 φυτοδοχεία με φυτά βασιλικού της ποικιλίας Genovese (Eowyn). Η αρχική σπορά των φυτών βασιλικού πραγματοποιήθηκε στις 13/6/2018 σε φυτοδοχεία όγκου 3 λίτρων έχοντας ως υπόστρωμα μίγμα τύρφης και περλίτη σε αναλογία περίπου 2:1. Σε κάθε φυτοδοχείο φυτεύτηκαν περίπου 20 - 25 σπόροι βασιλικού σε κυκλική διάταξη. Με την πάροδο 15 ημερών από τη σπορά και όταν τα νεαρά φυτά βασιλικού (20 φυτά ανά γλάστρα) βρίσκονταν στο στάδιο των 2 πραγματικών φύλλων, σηματοδοτήθηκε η έναρξη του πειράματος.

Τα φυτοδοχεία χωρίστηκαν σε 4 ομάδες, όσος και ο αριθμός των μεταχειρίσεων, έχοντας έτσι 10 φυτοδοχεία σε κάθε μεταχείριση. Δεδομένου ότι οι συνθήκες φωτισμού στο θερμοκήπιο δεν ήταν ομοιόμορφες, τα φυτοδοχεία του βασιλικού τυχαιοποιήθηκαν, προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση της μικροθέσης στις μετρούμενες παραμέτρους ανά μεταχείριση.

Για την εξέταση της φυσιολογικής αντίδρασης των φυτών βασιλικού στα διάφορα επίπεδα αλατότητας, πραγματοποιήθηκε η παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην άρδευση των φυτών. Οι τιμές της αλατότητας ήταν 2 dS/m, η οποία αποτέλεσε και τον μάρτυρα του πειράματος, 5 dS/m, 10 dS/m, και τέλος 15 dS/m, επίπεδα που επιτεύχθηκαν με την παρασκευή θρεπτικού διαλύματος σύμφωνα με το πρωτόκολλο που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1: Πρωτόκολλο παρασκευής θρεπτικού διαλύματος κάθε μεταχείρισης

Μεταχειρίσεις	Electrical Conductivity (dS/m)	Calcinit 30%	Kristalon 70%	Calcinit 30%	Kristalon 70%
		(1,1 dS/m σε συγκέντρωση λιπάσματος 1 g/l)	(1,4 dS/m σε συγκέντρωση λιπάσματος 1 g/l)	(1,1 dS/m σε συγκέντρωση λιπάσματος 1 g/l)	(1,4 dS/m σε συγκέντρωση λιπάσματος 1 g/l)
Μάρτυρας	2	1,7	1,4	12,52	25
Μεταχείριση 1	5	4,2	3,6	31,3	62,5

Μεταχείριση 2	10	8,3	7,1	62,3	124,9
Μεταχείριση 3	15	12,5	10,7	93,8	187,4

Για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα λιπάσματα Calcinit και Kristalon από την εταιρεία Yara ως εξής: αρχικά έγινε η πλήρης διάλυση του Calcinit σε μια αρχική ποσότητα νερού και ακολούθησε η προσθήκη και διάλυση της απαιτούμενης ποσότητας Kristalon με ανάδευση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αναλογία των δύο λιπασμάτων διατηρήθηκε σταθερή ωστόσο η συγκέντρωσή τους αυξάνονταν, με την αύξηση της αλατότητας. Στη συνέχεια κάθε δοχείο συμπληρώθηκε με νερό μέχρι την επίτευξη του όγκου των 25 λίτρων θρεπτικού διαλύματος.

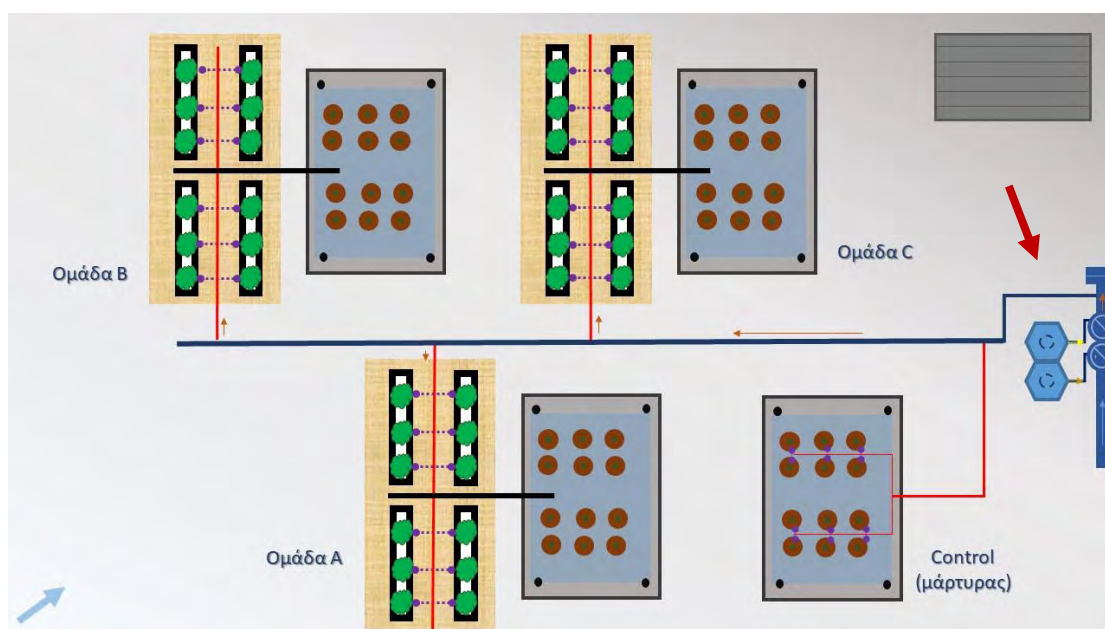
Κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου πραγματοποιούνταν καθημερινή άρδευση των φυτοδοχείων βασιλικού με τα θρεπτικά διαλύματα που αντιστοιχούσαν σε κάθε μεταχείριση, με στόχο τη διατήρηση του υποστρώματος σε κατάσταση υδατοϊκανότητας. Τακτικά επίσης, παρακολουθούνταν τα ύψη των φυτών και λαμβάνονταν φωτογραφίες για τον υπολογισμό της προβαλλόμενης επιφάνειας της των φύλλων.

2.1.3.2. Σκέλος δεύτερο

Ο δεύτερος κύκλος των πειραμάτων διήρκεσε περίπου 4 εβδομάδες (17/8/2018 – 13/9/2019). Για τις ανάγκες του πειράματος, πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριάς. Η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε σε 3 πλατφόρμες οι οποίες αποτέλεσαν τις επαναλήψεις του πειράματος. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 48 φυτοδοχεία βασιλικού χωρισμένα σε 4 ομάδες των 12 φυτοδοχείων: Control (μάρτυρας), Ομάδα Α, Ομάδα Β και Ομάδα C. Η ομάδα που αποτελούσε τον μάρτυρα (Control), αρδεύονταν με το ίδιο θρεπτικό διάλυμα όπως και τα φυτά αγγουριάς. Οι υπόλοιπες τρεις ομάδες - Ομάδα Α, Ομάδα Β και Ομάδα C – τοποθετήθηκαν στις θέσεις απορροής της καλλιέργειας. Η ποικιλία και η διαδικασία σποράς του βασιλικού είναι ίδια με αυτή που περιγράφεται στο πρώτο πειραματικό σκέλος. Η ημερομηνία σποράς των φυτοδοχείων βασιλικού ήταν 1/8/2018. Η διάταξη των φυτών παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.

Σε αυτό το πειραματικό σκέλος σκοπός ήταν η διερεύνηση των αποκρίσεων των φυτών βασιλικού στο διάλυμα απορροής από υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος άρδευσης των φυτών αγγουριάς όσο και των φυτών του μάρτυρα ήταν 2 dS/m.

Η εγκατάσταση της υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριάς πραγματοποιήθηκε στις 13/7/2018 που πραγματοποιήθηκε η σπορά 40 φυτών αγγουριού, σε ανόργανο υπόστρωμα αποτελούμενο από κύβους πετροβάμβακα 4” (100x100 mm - Gro|Dan Delta). Οι κύβοι αφέθηκαν σε ειδικό χώρο του θερμοκηπίου για 4 εβδομάδες περίπου. Όταν τα αρτίβλαστα έφτασαν στο στάδιο του ενός με δύο πραγματικά φύλλα, οι κύβοι μεταφέρθηκαν στις 5/7/2018, σε άλλο χώρο.



Σχήμα 2.3.: Απεικόνιση της διάταξης της καλλιέργειας αγγουριάς (αριστερή πλευρά κάθε συστήματος) και των φυτοδοχείων βασιλικού (δεξιά πλευρά κάθε συστήματος) σε Ομάδες Α, Β και C καθώς και του Control (μάρτυρας – Κάτω δεξιά). Με το κόκκινο βέλος υποδεικνύονται τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων και το σύστημα αραίωσης των πυκνών διαλυμάτων που απαρτίζουν γενικότερα το σύστημα άρδευσης.

του θερμοκηπίου για μεταφύτευση. Στο μεταξύ, έγινε προετοιμασία για την εγκατάσταση της υδροπονικής καλλιέργειας της αγγουριάς. Αρχικά, χαράχθηκαν πλάκες πετροβάμβακα (100 x 15 x 7.5 cm Gro|Dan Delta), στην κάτω επιφάνεια ώστε να καθίσταται δυνατή η αποστράγγιση της περίσσειας ποσότητας νερού άρδευσης, ενώ στην πάνω επιφάνεια ανοίχθηκαν τετράγωνα ίσα με το μέγεθος του κύβου

πετροβάμβακα που περιέχει το φυτό αγγουριάς. Η πλάκα του πετροβάμβακα έχει διαστάσεις 100 x 15 x 7.5 cm, κι έτσι δημιουργήθηκαν τρεις οπές ανά τρέχον μέτρο με απόσταση περίπου 30 cm. Στη συνέχεια, αυτές τοποθετήθηκαν σε πλαστικά κανάλια με οπές διαφυγής του νερού αποστράγγισης. Η παραπάνω διαδικασία διενεργήθηκε για συνολικά 12 πλάκες πετροβάμβακα. Ύστερα από τη διάταξη των πλακών πετροβάμβακα στο χώρο, το υπόστρωμα αρδεύτηκε μέχρις ότου να φτάσει τον κορεσμό και αφέθηκε μέχρι να απορρεύσει το νερό βαρύτητας και να επέλθει το υπόστρωμα σε κατάσταση υδατοϊκανότητας. Ακολούθησε η τοποθέτηση και άρδευση των κύβων πετροβάμβακα στο κυρίως υπόστρωμα. Συνολικά εγκαταστάθηκαν 36 φυτά αγγουριάς που χωρίστηκαν σε 3 ομάδες, όπου αποτέλεσαν και τις επαναλήψεις, με 12 φυτά ανά επανάληψη. Για τις πρώτες μέρες τα φυτά αγγουριάς αρδεύονταν με θρεπτικό υλικό ηλεκτρικής αγωγιμότητας 2 dS/m με το χέρι μέχρις ότου εγκατασταθεί το σύστημα αυτόματης άρδευσης.

Το σύστημα άρδευσης εγκαταστάθηκε στις 13/7/2018 και απαρτίζονταν από τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων, το σύστημα αραίωσης των πυκνών διαλυμάτων με νερό και το σύστημα μεταφοράς και διανομής του θρεπτικού διαλύματος. Τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων είχαν όγκο 25 λίτρα. Το ένα περιείχε πυκνό διάλυμα που παράγονταν από την διάλυση 414g του λιπάσματος Calcinit σε 25 λίτρα νερού βροχής και το άλλο δοχείο περιείχε πυκνό διάλυμα από τη διάλυση 824g Kristallon σε 25 λίτρα νερού βροχής. Το σύστημα αραίωσης των πυκνών διαλυμάτων αποτελούνταν από δυο ανεξάρτητες δοσομετρικές αντλίες (Dosatron D45RE3 4,5 m³/h) συνδεδεμένες παράλληλα πάνω στο δίκτυο άρδευσης που αραίωναν τα πυκνά διαλύματα σε αναλογία 97:3 (97 μέρη νερού και 3 μέρη πυκνού διαλύματος). Η λειτουργία των αντλιών ρυθμιζόνταν από ένα αυτόματο σύστημα άρδευσης (ηλεκτροβάννα Aquanet – Netafim, προγραμματιστής παροχής ρεύματος ESP-RZXe) στο οποίο τα φυτά της αγγουριάς αρδεύονταν για μισή ώρα κάθε δύο ώρες. Σκοπός του συστήματος αυτού ήταν η παροχή στις αγγουριές και στα φυτοδοχεία βασιλικού που αποτελούσαν τον μάρτυρα, θρεπτικό διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 2 dS/m. Η μεταφορά και η διανομή του θρεπτικού διαλύματος διενεργούνταν από ένα δίκτυο σωληνώσεων και σταλακτών που ξεκινούσε από τις αντλίες και κατέληγε στους σταλάκτες μικρής παροχής, οι οποίοι διέθεταν μια οξύληκτη λόγχη που βοηθούσε την κατεύθυνση της ροής του θρεπτικού διαλύματος στις ρίζες των φυτών αλλά και στην στερέωση τους στο υπόστρωμα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η υδροπονική εγκατάσταση αποτελούνταν από 3 ομάδες φυτών αγγουριάς με 12 φυτά στη κάθε μια. Κάτω από κάθε ομάδα φυτών, εφαρμόστηκαν κανάλια μεταφοράς του απορρέοντος νερού της καλλιέργειας, το οποίο συγκεντρώνονταν σε μεταλλικά ταψιά με οπές. Πάνω σε αυτά τα ταψιά τοποθετήθηκαν στις 17/8/2018, 12 φυτοδοχεία με βασιλικό (ημερομηνία σποράς 1/8/2018) τα οποία αρδεύονταν τριχοειδώς με το νερό απορροής ταυτόχρονα με τον χρόνο άρδευσης των φυτών αγγουριάς. Εκτός από αυτές τις τρεις ομάδες φυτοδοχείων βασιλικού, τοποθετήθηκε κι άλλη μια ομάδα με 12 φυτά βασιλικού η οποία αρδεύονταν απευθείας με το ίδιο θρεπτικό διάλυμα όπως και τα φυτά της αγγουριάς και αποτέλεσαν τον μάρτυρα (Control).

Κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος που διήρκησε το παρόν πειραματικό σκέλος, πραγματοποιήθηκε η παροχή των απαραίτητων καλλιεργητικών φροντίδων στη καλλιέργεια της αγγουριάς. Μία από αυτές τις φροντίδες αφορούσε τη προστασία της καλλιέργειας ενάντια σε εχθρούς (αφίδες), με την εφαρμογή των κατάλληλων ψεκασμών για την καταπολέμηση τους. Επίσης, έγινε αποκοπή και απομάκρυνση των έντονα προσβεβλημένων φυτών αγγουριάς για να μην υπάρξουν παρεμβολές στη διεξαγωγή του πειράματος. Μετά την αφαίρεση, απέμειναν συνολικά 24 φυτά αγγουριάς. Το σύστημα που ακολουθήθηκε για την υποστήλωση τους είναι το σχήμα V. Οι βλαστοί συγκρατήθηκαν με την βοήθεια κλιπ και σχοινιών λοξά προς τα πάνω και δεν κορφολογούνταν, αλλά αντίθετα πραγματοποιούνταν κλάδεμα των πλευρικών βλαστών. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η δημιουργία μονοστέλεχων φυτών, με περιθώριο την απεριόριστη καθ' ύψος ανάπτυξή τους. Λόγω της γρήγορης αύξησης της αγγουριάς πραγματοποιούνταν τακτικά κλαδέματα και κατέβασμα του βλαστού με κάμψη της βάσης προκειμένου να μην ξεπερνά το φυτό το σκοινί υποστήλωσης, καθώς επίσης και τη συγκομιδή των αγγουριών. Ακόμη, δόθηκε προσοχή στη συνεχή παραγωγή των πυκνών διαλυμάτων για την λίπανση και θρέψη των αγγουριών. Με την επιμέλεια των παραπάνω, εξασφαλίστηκε η κανονική διεξαγωγή του πειράματος, δηλαδή η σωστή άρδευση των φυτοδοχείων βασιλικού στις θέσεις απορροής της υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριάς. Όπως και στην περίπτωση του πρώτου σκέλους, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ύψους των φυτών και λήψη φωτογραφιών για τον υπολογισμό της προβαλλόμενης επιφάνειας της φυτικής κόμης.

2.2. Δειγματοληψία και Ανάλυση Δειγμάτων

2.2.1. Προσδιορισμός Θρεπτικών (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu)

2.2.1.1. Δειγματοληψία

Για τη μέτρηση των μικροθρεπτικών συλλέχθηκαν 5 φυτά ανά γλάστρα και τοποθετήθηκαν σε ατομικά πλαστικά σακουλάκια. Στη συνέχεια διαχωρίστηκε ο μίσχος από τα φύλλα και ελήφθησαν μετρήσεις για το νωπό βάρος των φύλλων και των μίσχων. Ύστερα, το φυτικό υλικό τοποθετήθηκε προς αποξήρανση μέχρι σταθερού βάρους για μερικές μέρες σε ξηραντήρα ρυθμισμένο στους 55 βαθμούς Κελσίου, κατόπιν δε αυτής ζυγίστηκε εκ νέου το ξηρό βάρος των ιστών. Πριν την έναρξη της ανάλυσης των δειγμάτων ο φυτικός ιστός κάθε δείγματος κονιορτοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός ειδικού μύλου (Retsch) ρυθμισμένου σε συχνότητα 30 παλμών το δευτερόλεπτο για 30 δευτερόλεπτα. Η σκόνη κάθε δείγματος αποθηκεύτηκε σε ατομικά για κάθε δείγμα γυάλινα φιαλίδια.

2.2.1.2. Ανάλυση

Ο προσδιορισμός των θρεπτικών σε φυτικούς ιστούς πραγματοποιήθηκε με βάση την αρχή Kjeldahl. Για την προετοιμασία των δειγμάτων, ζυγίστηκαν περίπου 0,25g αποξηραμένου και κονιορτοποιημένου φυτικού ιστού και μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες πέψης, όπου προστέθηκαν και 4,4 ml από το μείγμα πέψης. Σε κάθε παρτίδα υπήρχαν επίσης και δυο «λευκά» δείγματα, ως μάρτυρες. Στη συνέχεια, οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν στη συσκευή Turbotherm και ξεκίνησε η πέψη για μιάμιση ώρα. Το τελικό προϊόν της πέψης θα έπρεπε να είναι άχρωμο. Σε αντίθετη περίπτωση, πραγματοποιήθηκε πέψη για μια επιπλέον ώρα. Μετά την διαδικασία της πέψης, τα δείγματα αφέθηκαν να κρυώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C περίπου). Στους δοκιμαστικούς σωλήνες προστέθηκαν σχεδόν 25 ml απιονισμένου νερού για να αποπλυθεί το περιεχόμενο που στη συνέχεια μεταφέρθηκε σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml. Κάθε φιάλη συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Οι φιάλες με τα περιεχόμενα δείγματα πωματίστηκαν, αναδεύτηκαν για ένα λεπτό περίπου και μεταφέρθηκαν σε PE φιάλες των 100mL στις οποίες είχαν τοποθετηθεί πτυχωτά φίλτρα (Munktell 3/N) για τον διαχωρισμό τυχόν στερεών υλικών από το τελικό προϊόν που προορίζεται προς ανάλυση.

Η ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το όργανο Spectro Arcos EOS 120 ICP – OES Spectrometer για τον προσδιορισμό της σύστασης των στοιχείων που περιέχονταν σε κάθε δείγμα. Η λειτουργία της συσκευής αυτής βασίζεται στην φασματομετρία οπτικής εκπομπής (Optical Emission Spectrometry, OES) με τη χρήση επαγωγικός συζευγμένου πλάσματος (Inductively Coupled Plasma, ICP). Η αρχή υποστηρίζει πως ο προσδιορισμός της σύστασης των στοιχείων στο υδατικό διάλυμα πραγματοποιείται με την χρήση πλάσματος (την τέταρτη κατάσταση της ύλης, πέραν της στερεής, υγρής και αέριας) Αργού (Ar) και ενός φασματοφωτόμετρου. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, επέρχεται ιονισμός του δείγματος και μετάβαση του σε μία διεγερμένη κατάσταση. Όταν τα ηλεκτρόνια του δείγματος μεταπίπτουν στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμπεται φως (φωτόνια). Κάθε στοιχείο, έχει διαφορετικό φάσμα εκπομπής όπου μετράται από το φασματοφωτόμετρο. Η ένταση του φωτός στο συγκεκριμένο μήκος κύματος μετράται και με βαθμονόμηση υπολογίζεται σε συγκέντρωση που εκφράζεται ως mg/kg ξηρού βάρους. Η δεύτερη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Foss Tecator FIAstar 5000 Analyser. Με αυτή τη συσκευή έγινε προσδιορισμός του Αζώτου (N) στην αμμωνιακή και τη νιτρική του μορφή αλλά και του ολικού αζώτου καθώς και του Φωσφόρου (P) στην φωσφορική μορφή και του ολικού φωσφόρου. Η αρχή λειτουργίας της συσκευής είναι η ανάλυση έγχυσης ροής (Flow Injection Analysis, FIA) και βασίζεται στο γεγονός ότι η έγχυση του δείγματος σε ένα συνεχές ρεύμα φορέα οδηγεί στην διασπορά του αναλύτη. Μέσω κατάλληλων ανιχνευτών, το προφίλ της συγκέντρωσης που προκύπτει μπορεί να καταχωρηθεί μέσω κατάλληλων ανιχνευτών. Η συγκέντρωση της αναλυθείσας ουσίας μπορεί να υπολογιστεί από τη σύγκρισή της με μια καμπύλη βαθμονόμησης.

2.2.2. Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας

2.2.2.1. Δειγματοληψία

Για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας ο φυτικός ιστός πρέπει αρχικά να υποστεί ειδική μεταχείριση. Καταρχάς, στην συγκομιδή, διαχωρίζεται ο μίσχος από τα φύλλα και τα τελευταία τοποθετούνται σε αριθμημένο αλουμινόχαρτο ενώ οι μίσχοι απορρίπτονται. Έπειτα εμβαπτίζονται σε υγρό άζωτο ούτως ώστε να επέλθει άμεση ψύξη του ιστού και αποθηκεύονται στους -80°C . Ο παγωμένος πλέον ιστός για να καταστεί αξιοποιήσιμος πρέπει να κονιορτοποιηθεί. Η κονιορτοποίηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ειδικού μύλου (Retsch) ρυθμισμένου σε συχνότητα

30 παλμών το δευτερόλεπτο για 30 δευτερόλεπτα. Το σύνολο της διαδικασίας πραγματοποιείται παρουσία υγρού αζώτου για να μην αλλάξει η κατάσταση του φυτικού ιστού (δηλαδή από μορφή σκόνης να λάβει μορφή πάστας). Ο ιστός που έχει τη μορφή σκόνης αποθηκεύεται σε φιάλες cryogenic μέχρι την εκχύλιση.

2.2.2.2 Εκχύλιση

Αρχικά τοποθετήθηκαν καθαροί και αριθμημένοι δοκιμαστικοί σωλήνες σε κουτί από φελιζόλ που περιείχε τριμμένο πάγο. Έπειτα ζυγίστηκαν 100 mg φυτικού ιστού (ακριβώς καταγεγραμμένα) από κάθε δείγμα και μεταφέρθηκαν στον εκάστοτε σωλήνα. Μετά με τη βοήθεια μιας πιπέτας προστέθηκαν 5 ml 80% αιθανόλης και με μια πλαστική σπάτουλα καθαρίστηκαν τα τοιχώματα του σωλήνα από τυχόν υπολείμματα δείγματος που δεν είχαν διαλυθεί στην αιθανόλη. Στη συνέχεια οι δοκιμαστικοί σωλήνες αναμίχθηκαν τη βοήθεια ενός Vortex 3 φορές για 5 δευτερόλεπτα. Έπειτα, οι σωλήνες βυθίστηκαν σε παγωμένο λουτρό υπερήχων για 15 λεπτά. Με το πέρας των 15 λεπτών επαναλήφθηκε η διαδικασία με το Vortex και το λουτρό των υπερήχων για άλλες τρεις φορές. Παράλληλα σε ψυχόμενο στατό τοποθετήθηκαν 3 αριθμημένα φιαλίδια Eppendorf για κάθε δείγμα και τέθηκε σε λειτουργία η φυγόκεντρος στις 4000 στροφές το λεπτό, στους 0 °C για 15 λεπτά ώστε να ψυχθεί. Όταν βγήκαν τα δείγματα από το λουτρό των υπερήχων αναδεύτηκαν γι' άλλη μια φορά στο Vortex και μετά τοποθετήθηκαν αντιδιαμετρικά στην φυγόκεντρο για 15 λεπτά στους 0 βαθμούς και στις 4000 στροφές το λεπτό. Με το πέρας των 15 λεπτών, μεταφέρθηκε ποσότητα ίση με 1 ml από το υπερκείμενο υγρό στα φιαλίδια Eppendorf για κάθε δείγμα, και κάθε έτοιμο φιαλίδιο αποθηκεύτηκε προσωρινά σε cryogenic κουτί που περιέχει υγρό άζωτο μέχρι την πλήρωση όλων των φιαλών με το δείγμα. Όταν ετοιμάστηκαν όλα τα δείγματα, αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο, σε θερμοκρασία -80 °C μέχρι τη στιγμή της ανάλυσης.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας ήταν το Photochem Analytik Jena. Η ανίχνευση των αντιοξειδωτικών ουσιών βασίζεται στην χημειοφωτοαύγεια (Photo chemoluminescence, PCL). Με την PCL, δυο χημικές ουσίες, ένα ισχυρό οξειδωτικό και ο διαλύτης, αντιδρούν μεταξύ τους και παράγεται ένα ενδιάμεσο προϊόν που βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση. Το ενδιάμεσο αυτό προϊόν αυτό παράγει ακτινοβολία η οποία μπορεί να ανιχνευτεί. Η αντιοξειδωτική ικανότητα εκφράζεται σε μg ασκορβικού οξέος/mg νωπού βάρους.

2.2.3. Περιεκτικότητα σε Αμινοξέα

2.2.3.1. Δειγματοληψία

Η μέθοδος δειγματοληψίας και επεξεργασίας των δειγμάτων για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε αμινοξέα, είναι όμοια με αυτή της μέτρησης των αντιοξειδωτικών που περιγράφεται παραπάνω.

2.2.3.2 Εκχύλιση

Αρχικά τοποθετήθηκαν καθαροί και αριθμημένοι δοκιμαστικοί σωλήνες σε στατώ και σε αυτούς προστέθηκε ποσότητα ίση με 100 – 200 mg φυτικού ιστού (ακριβώς καταγεγραμμένα) από κάθε δείγμα και μεταφέρθηκαν στον εκάστοτε σωλήνα. Μετά με τη βοήθεια μιας πιπέτας προστέθηκαν 2 ml PVP 100 και με μια πλαστική σπάτουλα καθαρίστηκαν τα τοιχώματα των δοκιμαστικών σωλήνων από τυχόν υπολείμματα δείγματος που δεν είχαν διαλυθεί στο αντιδραστήριο. Στη συνέχεια οι δοκιμαστικοί σωλήνες αναμίχθηκαν με τη βοήθεια ενός Vortex για 5 δευτερόλεπτα. Έπειτα, οι σωλήνες βυθίστηκαν σε παγωμένο λουτρό υπερήχων για 15 λεπτά. Παράλληλα τέθηκε σε λειτουργία η φυγόκεντρος στις 4000 στροφές το λεπτό, στους 4 °C για 15 λεπτά ώστε να επέλθει στην κατάλληλη θερμοκρασία. Όταν βγήκαν τα δείγματα από το λουτρό των υπερήχων αναδεύτηκαν για άλλη μια φορά στο Vortex και ύστερα τοποθετήθηκαν αντιδιαμετρικά στην κρύα φυγόκεντρο για 15 λεπτά στις 4000 στροφές το λεπτό. Με το πέρας των 15 λεπτών, όλη η ποσότητα του εκχυλίσματος μεταφέρθηκε με τη βοήθεια σύριγγας που στην απόληξή της είχε εφαρμοστεί φίλτρο κυτταρίνης με μέγεθος οπών 0,2 μm σε ειδικά γυάλινα φιαλίδια. Τα γυάλινα φιαλίδια στη συνέχεια σφραγίστηκαν και μεταφέρθηκαν στη συσκευή για τον προσδιορισμό των αμινοξέων.

Η συσκευή ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το SYKAM s433. Ο διαχωρισμός των αμινοξέων επιτυγχάνεται σε μία στήλη ανταλλαγής κατιόντων πάνω στο ισοηλεκτρικό σημείο της επαμφοτερίζουσας ουσίας στο ρεύμα εκλούσεως. Μετά από χρωματογραφικό διαχωρισμό πραγματοποιείται η σήμανση των αμινοξέων με το αντιδραστήριο νινυδρίνη, το οποίο αντιδρά με τα πρωτογενή αμινοξέα, σχηματίζοντας ένα ιώδες σύμπλοκο ονομαζόμενο ιώδες του Ruhemann που είναι ανιχνεύσιμο σε μήκος κύματος 570 nm. Τα δευτερογενή αμινοξέα, όπως είναι η προλίνη και η υδροξυπρολίνη, αντιδρούν επίσης με την νινυδρίνη, ωστόσο το

σύμπλοκο χρώματος που δημιουργείται καθίσταται ανιχνεύσιμο στα 440nm. Η συγκέντρωση των αμινοξέων εκφράζεται σε mg/kg νωπού βάρους ιστού.

2.3 Ύψος

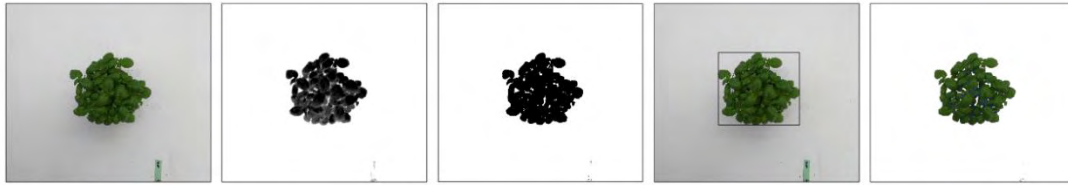
Η μέτρηση του ύψους στα φυτά του βασιλικού έγινε με τη χρήση δεκατόμετρου, από τη βάση του μίσχου του φυτού έως το ανώτερο σημείο του. Σε κάθε φυτοδοχείο βασιλικού, όπου περιείχε 20 φυτά, λαμβάνονταν 5 μετρήσεις από τυχαία φυτά σε κάθε φυτοδοχείο. Η συχνότητα των μετρήσεων ήταν 2 μετρήσεις την εβδομάδα, δηλαδή κάθε 3 με 4 μέρες. Η μέτρηση του ύψους πραγματοποιήθηκε και στα δύο σκέλη της πειραματικής διαδικασίας με τον ίδιο τρόπο και την ίδια συχνότητα.

2.4 Βάρος

Η μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους των φυτών βασιλικού πραγματοποιήθηκε 2 φορές σε κάθε πειραματικό σκέλος, με τη πρώτη να διενεργείται κατά την ενδιάμεση και την δεύτερη κατά την τελική δειγματοληψία. Η διαδικασία περιεγράφηκε στην ενότητα του προσδιορισμού των θρεπτικών στα φύλλα βασιλικού, καθώς τα φυτικά δείγματα για τα οποία προσδιορίζονταν το νωπό και ξηρό βάρος, υποβάλλονταν στη συνέχεια προς επεξεργασία για μέτρηση θρεπτικών.

2.5 Προβαλλόμενη επιφάνεια φύλλων

Οι μετρήσεις για τον προσδιορισμό της προβαλλόμενης επιφάνειας φύλλων (Projected Leaf Area) λαμβάνονταν κάθε εβδομάδα. Αποτυπώνονταν φωτογραφίες (μέσω κινητού τηλεφώνου) από κάθε φυτοδοχείο, το οποίο τοποθετούνταν πάνω σε ένα λευκό πάνελ κατασκευασμένο από Styrofoam έτσι ώστε να υπάρχει ένα ομοιόμορφο υπόβαθρο. Επίσης, εξασφαλιζονταν ομοιόμορφος φωτισμός προκειμένου να υπάρχει ομοιογένεια στην μετέπειτα επεξεργασία του φωτογραφικού υλικού, ενώ οι φωτογραφίες λαμβάνονταν πάντα από το ίδιο ύψος (96 εκατοστά). Ύστερα, οι φωτογραφίες μεταφέρονταν σε ειδικό πρόγραμμα (MATLAB) και με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου υπολογίζονταν το εμβαδόν της προβαλλόμενης πράσινης επιφάνειας των φύλλων των φυτών σε pixels.



Εικόνα 2.4: Διαδοχική επεξεργασία των αποτυπωμένων εικόνων για τον υπολογισμό της προβαλλόμενης επιφάνειας φύλλων (σε pixel) με τη χρήση αλγόριθμου στο λογισμικό MATLAB.

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν εκ νέου για την μετατροπή της μονάδας από pixel σε τετραγωνικά εκατοστά (cm^2), με τη βοήθεια του λογισμικού ImageJ.

2.6 Στατιστική Επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με one – way ANOVA σε διάστημα εμπιστοσύνης 95% ($p < 0,05$), με τη χρήση του λογισμικού SPSS (IBM SPSS Statistics v.26.0 for Windows, IBM Corp.).

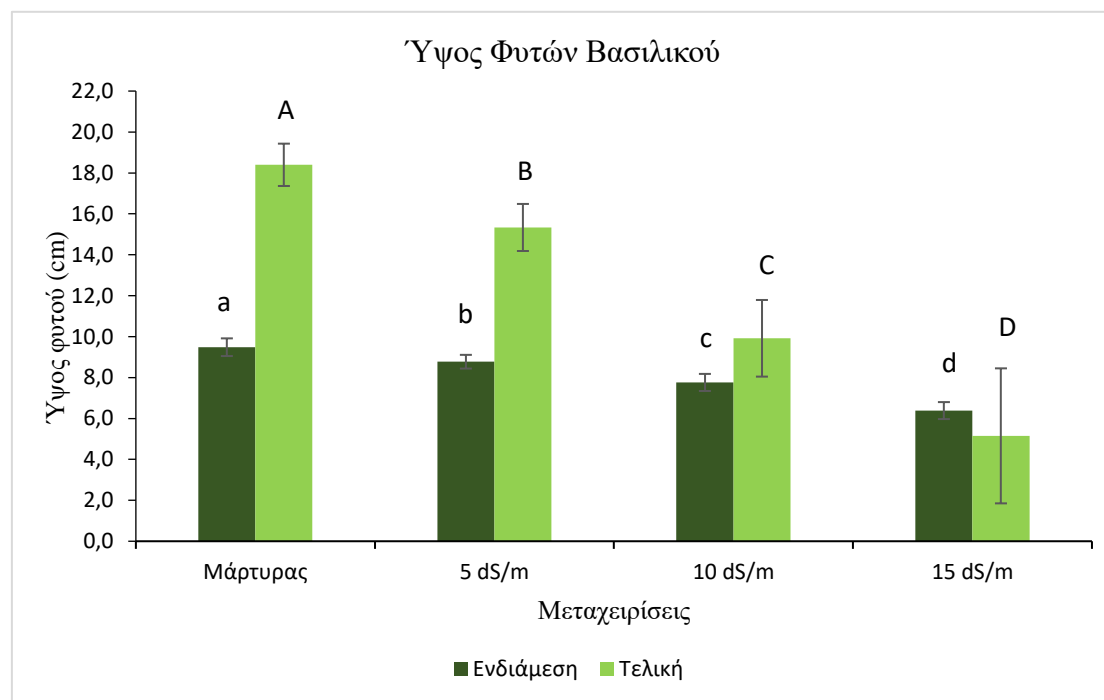
3. Αποτελέσματα

3.1. Πρώτο πειραματικό σκέλος

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων για την επίδραση των διαφόρων επιπέδων αλατότητας στον βασιλικό (*O. basilicum*).

3.1.1 Παράμετροι ανάπτυξης

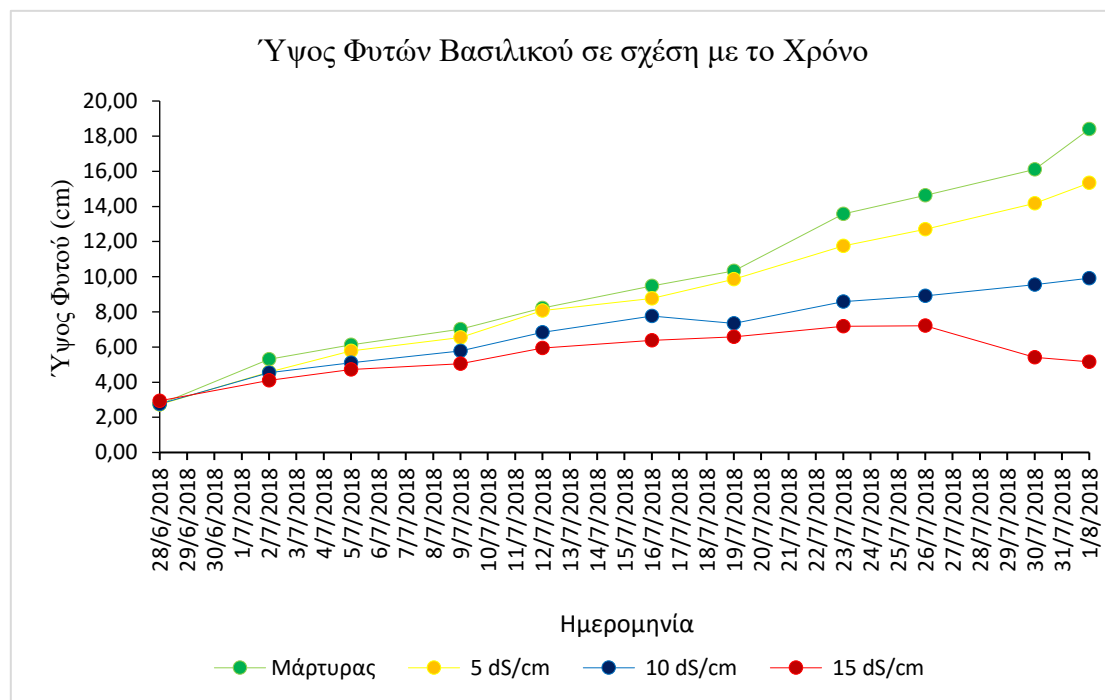
Ύψος



Σχήμα 3.1.1: Μέτρηση του ύψους του βασιλικού (σε cm) στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας (2 (μάρτυρας), 5, 10 και 15 dS/m) κατά την ενδιάμεση (σκούρο πράσινο) και τελική συγκομιδή (ανοικτό πράσινο). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης (Σχήμα 3.1.1), το ύψος του φυτού στον μάρτυρα (control, 2 dS/m) διέφερε σημαντικά σε σχέση με τις μεταχειρίσεις αυξημένης αλατότητας, στην ενδιάμεση συγκομιδή, όσο και στην τελική συγκομιδή. Στην ενδιάμεση συγκομιδή το μέσο ύψος του φυτού στη περίπτωση του μάρτυρα (2 dS/m) είναι 9,48 cm, ενώ όσο αυξάνεται η αλατότητα το ύψος μειώνεται, δηλαδή σε συγκέντρωση αλατότητας 5 dS/m το ύψος είναι 8,77 cm, στα 10 dS/m είναι 7,76 cm ενώ στην μέγιστη συγκέντρωση αλατότητας (15 dS/m) το μέσο ύψος του φυτού είναι 6,38 cm. Αντίστοιχα στην τελική συγκομιδή, το ύψος του

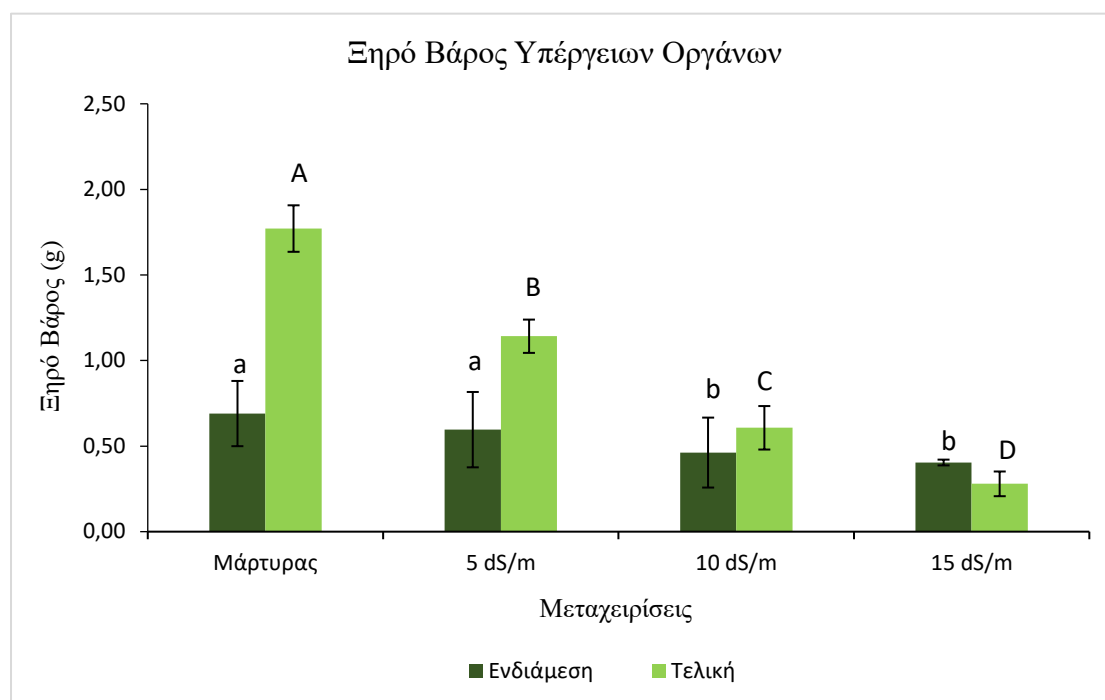
φυτού παρουσιάζει την ίδια τάση, δηλαδή με αύξηση της αλατότητας παρατηρείται μείωση του μήκους του βλαστού σε σχέση με τον μάρτυρα.



Σχήμα 3.1.2: Εξέλιξη του ύψους του βασιλικού (σε cm) σε σχέση με το χρόνο. Τα διαφορετικά χρώματα υποδεικνύουν τις διαφορετικές μεταχειρίσεις; μάρτυρας (2 dS/m, πράσινο χρώμα), 5 dS/m (κίτρινο χρώμα), 10 dS/m (μπλε χρώμα) και 15 dS/m (κόκκινο χρώμα).

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1.2, το ύψος του φυτού κατά τη διάρκεια του πειράματος παρουσιάζει διαφορές ανάλογα τη μεταχείριση. Το μήκος του μάρτυρα (πράσινο) υπερτερεί σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις και παρουσιάζει, όπως και στην μεταχείριση με συγκέντρωση αλατότητας 5 dS/m, σταθερή, παρά τις στατιστικές διαφορές που αναφέρονται ανωτέρω. Αντίθετα, στις μεταχειρίσεις με συγκέντρωση αλατότητας 10 και 15 dS/m (μπλε και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα), παρουσιάζεται σταδιακή μείωση του ύψους, με τη μεγαλύτερη μείωση να παρατηρείται στη μεταχείριση 15 dS/m. Επίσης, κατά την εξέλιξη του ύψους του φυτού με τη πάροδο του χρόνου, παρατηρείται σταδιακή αύξηση στη διαφορά μεταξύ μεταχειρίσεων, με μέγιστο κατά τη τελική συγκομιδή των φυτών (ημερομηνία 1/8/2018).

Ξηρό Βάρος Υπέργειων Ιστών

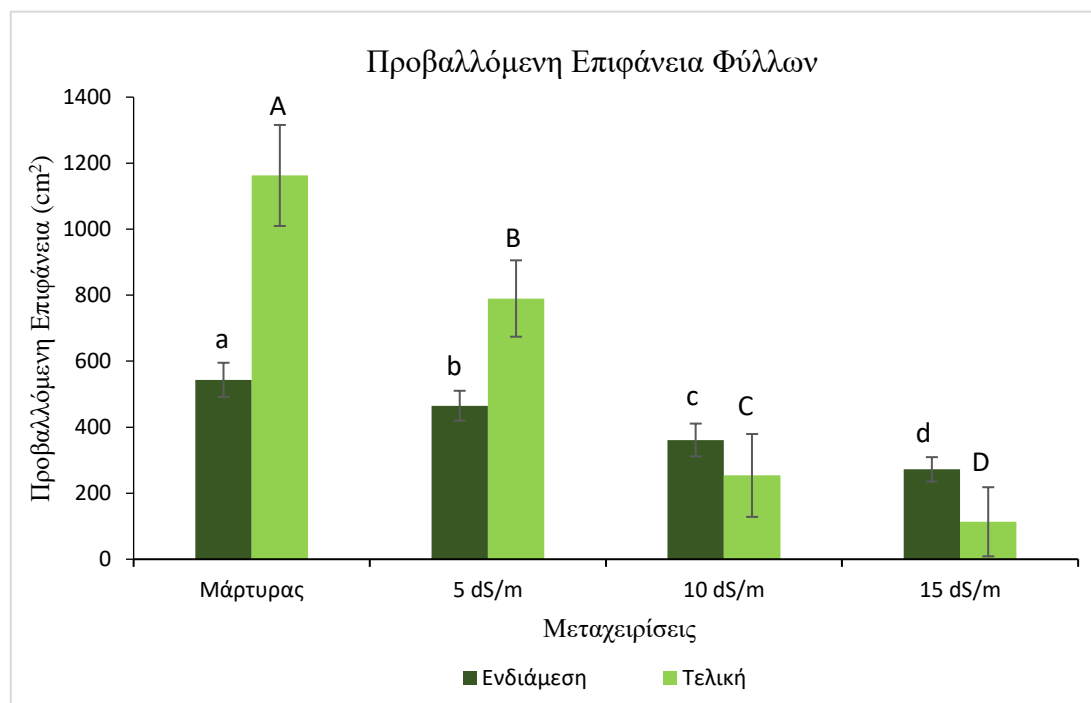


Εικόνα 3.1.3: Ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών βασιλικού (σε g) στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας (2 (μάρτυρας), 5, 20 και 15 dS/m) κατά την ενδιάμεση (σκούρο πράσινο) και τελική συγκομιδή (ανοικτό πράσινο). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Το ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών του βασιλικού ελαττώνεται με την αύξηση της αλατότητας. Συγκεκριμένα, κατά την ενδιάμεση συγκομιδή το ξηρό βάρος του μάρτυρα (control, 2 dS/m) και της μεταχείρισης 5 dS/m είναι 0,7 και 0,6 g αντίστοιχα. Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση ($p < 0.05$) δεν εντοπίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στις μεταχειρίσεις 10 και 15 dS/m το βάρος των φυτών είναι 0,46 και 0,4 g αντίστοιχα και δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.1.3, οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται μεταξύ του μάρτυρα και των μεταχειρίσεων 10 dS/m και 15 dS/m. Το ίδιο ισχύει και για τη στατιστική διαφορά που φαίνεται να υπάρχει μεταξύ της μεταχείρισης 5 dS/m και των μεταχειρίσεων 10 και 15 dS/m. Στην τελική συγκομιδή, όπως και στην ενδιάμεση συγκομιδή, συνεχίζει να παρουσιάζεται μείωση του ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους του βασιλικού. Τα ξηρά στη τελική συγκομιδή ανέρχονται σε 1,77 g για τον μάρτυρα, 1,14 g για την μεταχείριση 5 dS/m, 0,61 g για την μεταχείριση 10 dS/m και 0,28 g για την μεταχείριση 15 dS/m. Αυτή η μείωση είναι πιο έντονη σε σύγκριση με

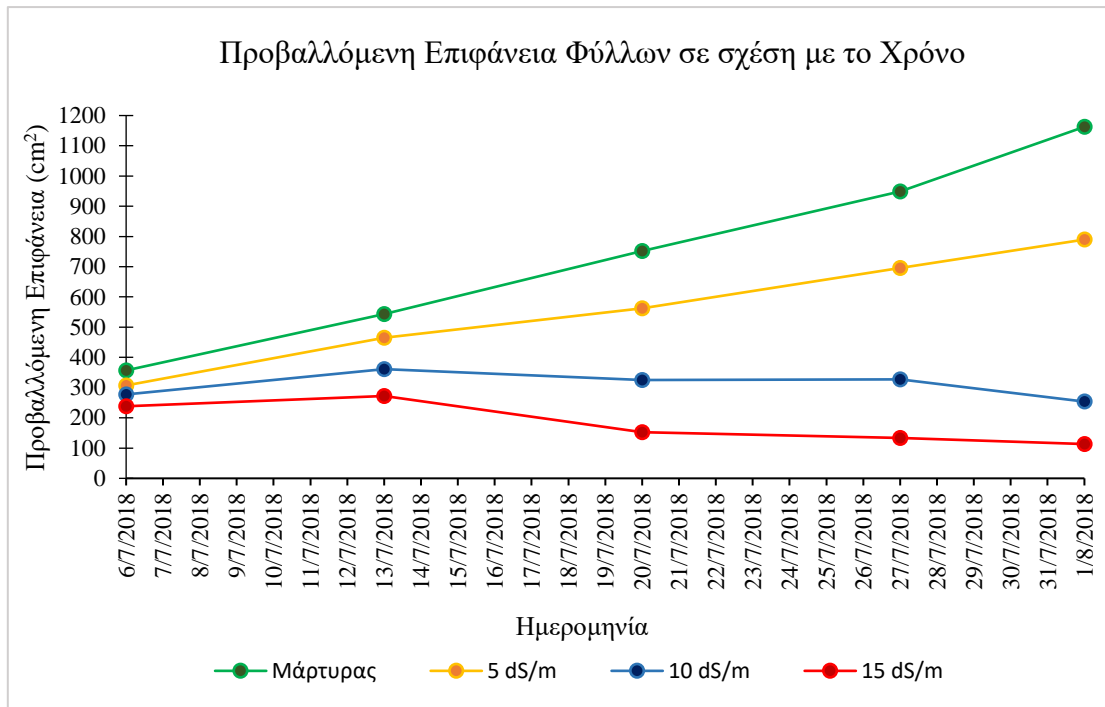
αυτήν που παρουσιάστηκε στην ενδιάμεση συγκομιδή, καθώς υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και όλων των υπόλοιπων μεταχειρίσεων.

Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων



Σχήμα 3.1.4: Η προβαλλόμενη επιφάνεια των φύλλων (projected leaf area) (σε cm²) του βασιλικού στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας (2 (μάρτυρας), 5, 20 και 15 dS/m) κατά την ενδιάμεση (σκούρο πράσινο) και τελική συγκομιδή (ανοικτό πράσινο). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις αλατότητας έχουν αρνητική επίδραση στην προβαλλόμενη επιφάνεια των φύλλων (projected leaf area) του βασιλικού. Όπως υποδεικνύεται και στο Σχήμα 3.1.4, κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία, η επιφάνεια των φύλλων του μάρτυρα υπερέχει έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων με μέσο εμβαδό τα 543,5 cm². Στην μεταχείριση των 5 dS/m το εμβαδό είναι 465 cm² ενώ στις υπόλοιπες δύο μεταχειρίσεις – δηλαδή 10 και 15 dS/m – το εμβαδό είναι 361,19 και 272,35 cm² αντίστοιχα. Αυτή η διαφορά του εμβαδού μεταξύ των μεταχειρίσεων είναι στατιστικά σημαντική σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση. Κατά την τελική δειγματοληψία, παρουσιάζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ του μάρτυρα και των μεταχειρίσεων με αυξημένη αλατότητα. Σε αυτή τη δειγματοληψία,

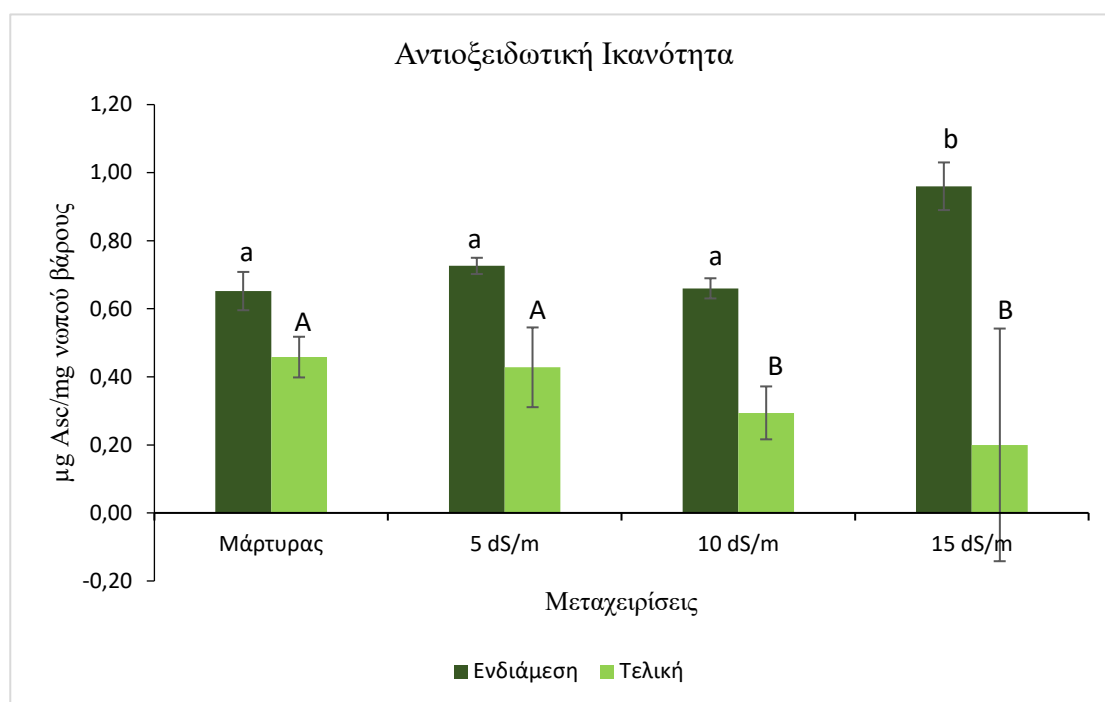


το εμβαδό του μάρτυρα και της κάθε μεταχείρισης είναι 1162,66 cm², 789,79 cm², 253,83 cm² και 113,48 cm² αντίστοιχα.

Σχήμα 3.1.5: Εξέλιξη της προβαλλόμενης επιφάνειας των φύλλων (projected leaf area) (σε cm²) σε σχέση με το χρόνο. Τα διαφορετικά χρώματα υποδεικνύουν τις διαφορετικές μεταχειρίσεις; μάρτυρας (2 dS/m, πράσινο χρώμα), 5 dS/m (κίτρινο χρώμα), 10 dS/m (μπλε χρώμα) και 15 dS/m (κόκκινο χρώμα).

Η προβαλλόμενη επιφάνεια των φύλλων (projected leaf area) βασιλικού κατά τη διάρκεια του πειράματος παρουσιάζει διαφορές ανάλογα τη μεταχείριση. Το εμβαδό του μάρτυρα σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις είναι μεγαλύτερο και παρουσιάζει σταθερή αύξηση. Η ίδια σταθερή αύξηση παρατηρείται και στην μεταχείριση με συγκέντρωση αλατότητας 5 dS/m ωστόσο υπάρχουν εμφανείς διαφορές σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Αντίθετα, στις μεταχειρίσεις με συγκέντρωση αλατότητας 10 και 15 dS/m παρουσιάζεται σταδιακή ελάττωση του εμβαδού των φύλλων. Η μεγαλύτερη ελάττωση μάλιστα παρουσιάζεται στην μεταχείριση με 15 dS/m. Κατά την εξέλιξη της προβαλλόμενης επιφάνειας των φύλλων του βασιλικού με τη πάροδο του χρόνου, εμφανίζεται αύξηση στη διαφορά μεταξύ μεταχειρίσεων, με τη μέγιστη διαφορά να καταγράφεται στην τελική δειγματοληψία των φυτών (ημερομηνία 1/8/2018).

3.1.2. Αντιοξειδωτική Ικανότητα



Σχήμα 3.1.6: Μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του αιθανολικού εκχυλίσματος βασιλικού (σε $\mu\text{g Asc}/\text{mg}$ νωπού βάρους) στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας (2 (μάρτυρας), 5, 20 και 15 dS/m) κατά την ενδιάμεση (σκούρο πράσινο) και τελική συγκομιδή (ανοικτό πράσινο). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των φυτών βασιλικού παρουσίασε διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων, τόσο στην ενδιάμεση όσο και στην τελική συγκομιδή. Συγκεκριμένα, στην ενδιάμεση συγκομιδή τόσο η μεταχείριση 5 dS/m, όσο και η 10 dS/m δεν παρουσίασε διαφορά από τον μάρτυρα. Η μεταχείριση των 15 dS/m παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές με στατιστικά σημαντική διαφορά με τον μάρτυρα και την μεταχείριση με 10 dS/m αλλά όχι με τη μεταχείριση 5 dS/m. Στην τελική δειγματοληψία, ο μάρτυρας δεν διαφέρει στατιστικά με την μεταχείριση 5 dS/m, αλλά η διαφορά είναι εμφανής στις μεταχειρίσεις 10 και 15 dS/m. Στη περίπτωση αυτή η αντιοξειδωτική ικανότητα στην μεταχείριση 15 dS/m παρουσιάζει μείωση κατά 56,3% σε σχέση με τον μάρτυρα.

3.1.3. Θρεπτική Κατάσταση

Μακροθρεπτικά

Οι πίνακες παρακάτω, παρουσιάζουν την συγκέντρωση των μακροθρεπτικών στα φύλλα βασιλικού, ως επί τοις εκατό ποσοστό του ξηρού τους βάρους όπως προέκυψε από την ανάλυση.

Πίνακας 3.1.1: Μέσος όρος των μακροθρεπτικών (N, P, K, Ca, Mg) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (% του ξηρού βάρους \pm τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις διάφορες μεταχειρίσεις αλατότητας κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

Ενδιάμεση δειγματοληψία					
Μεταχείριση	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Μάρτυρας	5,18 ($\pm 0,161$) ^a	0,94 ($\pm 0,046$) ^a	5,31 ($\pm 0,299$) ^a	2,32 ($\pm 0,163$) ^a	0,47 ($\pm 0,044$) ^a
5 dS/m	5,62 ($\pm 0,063$) ^b	0,88 ($\pm 0,030$) ^b	5,12 ($\pm 0,119$) ^a	2,62 ($\pm 0,075$) ^a	0,43 ($\pm 0,029$) ^{ab}
10 dS/m	5,56 ($\pm 0,177$) ^b	0,70 ($\pm 0,054$) ^c	4,23 ($\pm 0,247$) ^b	4,02 ($\pm 0,503$) ^b	0,57 ($\pm 0,105$) ^c
15 dS/m	5,71 ($\pm 0,135$) ^{bc}	0,58 ($\pm 0,035$) ^d	4,09 ($\pm 0,255$) ^b	4,76 ($\pm 0,345$) ^c	0,51 ($\pm 0,072$) ^{ad}

Πίνακας 3.1.2: Μέσος όρος των μακροθρεπτικών (N, P, K, Ca, Mg) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (% του ξηρού βάρους \pm τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις διάφορες μεταχειρίσεις αλατότητας κατά την τελική δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

Τελική δειγματοληψία					
Μεταχείριση	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Μάρτυρας	5,16 ($\pm 0,141$) ^A	0,77 ($\pm 0,016$) ^A	5,04 ($\pm 0,282$) ^A	3,04 ($\pm 0,184$) ^A	0,64 ($\pm 0,047$) ^A
5 dS/m	6,16 ($\pm 0,181$) ^A	0,69 ($\pm 0,029$) ^A	5,18 ($\pm 0,207$) ^A	2,91 ($\pm 0,171$) ^A	0,55 ($\pm 0,040$) ^A
10 dS/m	6,4 ($\pm 2,862$) ^B	0,66 ($\pm 0,297$) ^B	5,33 ($\pm 2,384$) ^B	3,31 ($\pm 1,480$) ^B	0,57 ($\pm 0,256$) ^B
15 dS/m	6,49	0,67	4,92	3,28	0,59

(±0,300) ^A	(±0,019) ^A	(±0,250) ^A	(±0,686) ^A	(±0,087) ^A
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Από την ανάλυση θρεπτικών του βασιλικού παρατηρείται μεταβολή στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στους ιστούς των φυτών που υποβλήθηκαν σε μεταχειρίσεις αλατότητας. Στην περίπτωση του αζώτου, το περιεχόμενό του στους ιστούς αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας. Στην ενδιάμεση κοπή, η αύξηση σημειώθηκε σε ποσοστό 9,2%. Στην τελική κοπή, το ποσοστό αύξησης της περιεκτικότητας σε N στα φύλλα είναι ανέρχεται στο 20,1%, διπλάσιο από αυτό της ενδιάμεσης κοπής. Το P παρουσίασε και στις δυο δειγματοληψίες, τη μέγιστη τιμή στον μάρτυρα. Όπως φαίνεται και στους πίνακες, με αύξηση της αλατότητας σημειώνεται μείωση της περιεκτικότητας των φύλλων σε P σε ποσοστό 38,1% στην ενδιάμεση, και 14,3% στην στη τελική δειγματοληψία. Το K κατά την ενδιάμεση κοπή, σημείωσε μέγιστη συγκέντρωση στον μάρτυρα ενώ μειώθηκε κατά 23% στην μεταχείριση 15 dS/m. Στην τελική κοπή, παρατηρείται αύξηση με το μέγιστο να βρίσκεται στην μεταχείριση 10 dS/m. Παρόλα αυτά, στην μεταχείριση 15 dS/m, η περιεκτικότητα σε K σημειώνει ελάχιστη τιμή αφού μειώθηκε κατά 7,6% σε σχέση με τον μάρτυρα. Το Ca σημειώνει αυξημένη περιεκτικότητα με αύξηση της καταπόνησης σε ποσοστό 51,3% σε σχέση με τον μάρτυρα κατά την ενδιάμεση κοπή. Στην τελική κοπή, η στατιστικά σημαντική διαφορά σημειώνεται στη μεταχείριση 10 dS/m όπου παρουσίασε και το μέγιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η συγκέντρωση του Mg στους ιστούς σημειώνει μέγιστο στη μεταχείριση 10 dS/m κατά την ενδιάμεση κοπή. Στην τελική κοπή ωστόσο η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στον μάρτυρα και στη συνέχεια η περιεκτικότητα υποβαθμίζεται.

Μικροθρεπτικά

Οι πίνακες παρακάτω, δείχνουν την περιεκτικότητα των μικροθρεπτικών στα φύλλα βασιλικού σε mg/Kg ξηρού βάρους φύλλων, όπως προέκυψε από την ανάλυση

Πίνακας 3.1.3: Μέσος όρος των μικροθρεπτικών (Fe, Zn, Mn, Cu) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (mg/Kg ξηρού βάρους φύλλων ± τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις διάφορες μεταχειρίσεις αλατότητας κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

Ενδιάμεση Δειγματοληψία

Μεταχείριση	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Μάρτυρας	136,39 (±13,587) ^a	97,50 (±4,98) ^a	293,29 (±23,554) ^a	12,05 (±1,12) ^a
5 dS/m	143 (±16,165) ^a	100,49 (±8,597) ^{ab}	323,06 (±24,203) ^a	13,54 (±1,78) ^a
10 dS/m	132,82 (±22,123) ^a	100,69 (±11,62) ^{ab}	462,32 (±54,436) ^b	11,23(±2,184) ^a
15 dS/m	89,24 (±7,420) ^b	108,18 (±13,877) ^b	540,10 (±90,887) ^c	9,46 (±1,66) ^b

Πίνακας 3.1.4.: Μέσος όρος των μικροθρεπτικών (Fe, Zn, Mn, Cu) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (mg/Kg ξηρού βάρους φύλλων ± τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις διάφορες μεταχειρίσεις αλατότητας κατά την τελική δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τι υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

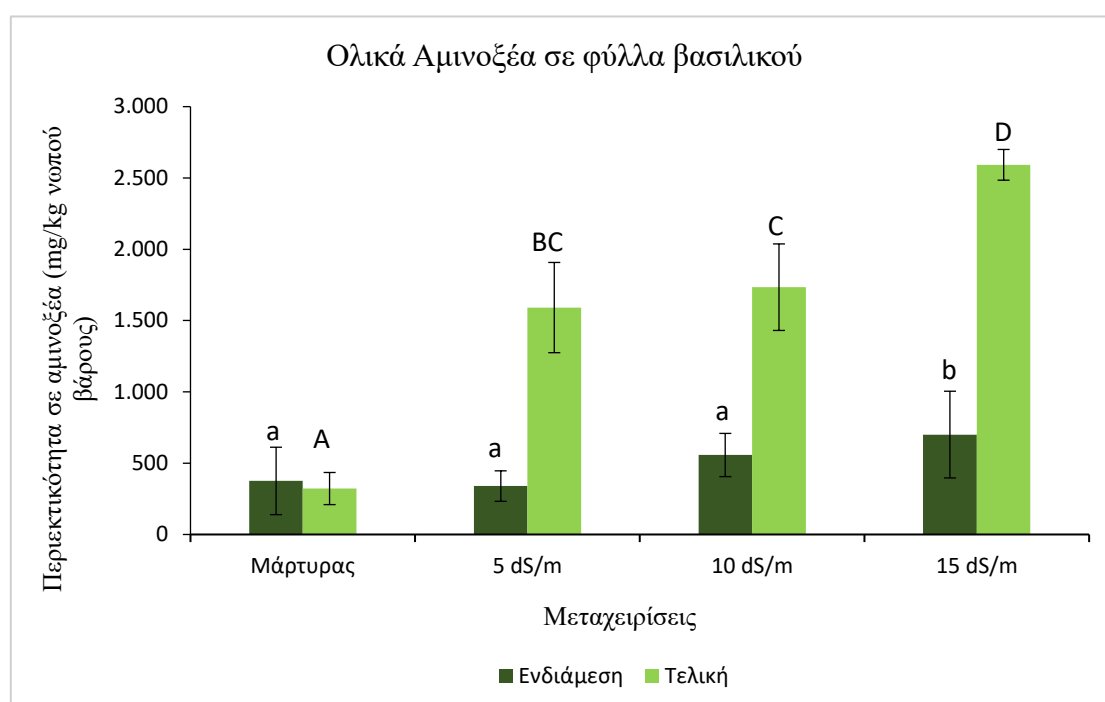
Τελική Δειγματοληψία				
Μεταχείριση	Fe (mg/kg ξ.β. φύλλων)	Zn (mg/kg ξ.β. φύλλων)	Mn (mg/kg ξ.β. φύλλων)	Cu (mg/kg ξ.β. φύλλων)
Μάρτυρας	152,46 (±11,616) ^A	93,76 (±4,803) ^A	234,17 (±19,153) ^A	14,77 (±2,32) ^A
5 dS/m	109,91 (±14,742) ^{BD}	75,82 (±6,584) ^B	182,71 (±17,366) ^A	13,44 (±1,79) ^A
10 dS/m	108,20 (±48,3) ^C	90,81 (±40,696) ^C	223,65 (±100,176) ^B	13,49 (±6,04) ^B
15 dS/m	94,98 (±28,053) ^C	80,47 (±2,517) ^{AB}	186,65 (±17,243) ^A	13,38(±0,53) ^A

Όσον αφορά τα μικροθρεπτικά, ο Fe συγκεντρώνεται στις μέγιστες συγκεντρώσεις στα φύλλα του μάρτυρα, ενώ οι ελάχιστες τιμές σημειώνονται κατά την μεταχείριση 15 dS/m. Η μείωση που παρατηρείται σε σχέση με τον μάρτυρα είναι της τάξης του 34,5% στην ενδιάμεση συγκομιδή και 37,2% στην τελική. Το Zn, κατά την ενδιάμεση συγκομιδή, παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση στην μεταχείριση 15 dS/m και είναι στατιστικά διαφορετικό σε σχέση με τον μάρτυρα που παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή. Η αύξηση στη συγκέντρωση του ψευδαργύρου στην μέγιστη

καταπόνηση αλατότητας σε σχέση με τον μάρτυρα είναι ίση με 9,87%. Στην τελική συγκομιδή η περιεκτικότητα σε Zn στα φύλλα σημειώνεται στον μάρτυρα ενώ η ελάχιστη στην μεταχείριση 5 dS/m. Για το Mn θα μπορούσε να επισημανθεί κάτι αντίστοιχο όπως και στη περίπτωση του Zn. Αυτό διότι στην ενδιάμεση κοπή φαίνεται μια σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας Mn κατά τη μεταχείριση 15 dS/m σε σχέση με το μάρτυρα, σε ποσοστό 45,7%. Στη τελική δειγματοληψία, η περιεκτικότητα του μάρτυρα υπερτερεί σε σχέση με τις άλλες μεταχειρίσεις και στα 5 dS/m υπάρχει ένα ελάχιστο για το οποίο ωστόσο δεν σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τέλος για το Cu, στην ενδιάμεση κοπή δεν σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του μάρτυρα και των μεταχειρίσεων 5 και 10 dS/m, κάτι που δεν ισχύει για τα 15 dS/m καθώς σημειώνεται ελάχιστη Cu. Στην τελική κοπή, δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του μάρτυρα και των μεταχειρίσεων 5 και 15 dS/m. Η διαφορά σημειώνεται στα φυτά που υπέστησαν μεταχείριση με διάλυμα αγωγιμότητας 10 dS/m.

3.1.4. Περιεκτικότητα σε Αμινοξέα

Ολικά αμινοξέα



Σχήμα 3.1.7.: Περιεκτικότητα σε ολικά αμινοξέα (σε mg/Kg νωπού βάρους) στα φύλλα του βασιλικού στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας (2 (μάρτυρας), 5, 10 και 15 dS/m) κατά την ενδιάμεση (σκούρο πράσινο) και τελική συγκομιδή (ανοικτό πράσινο). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

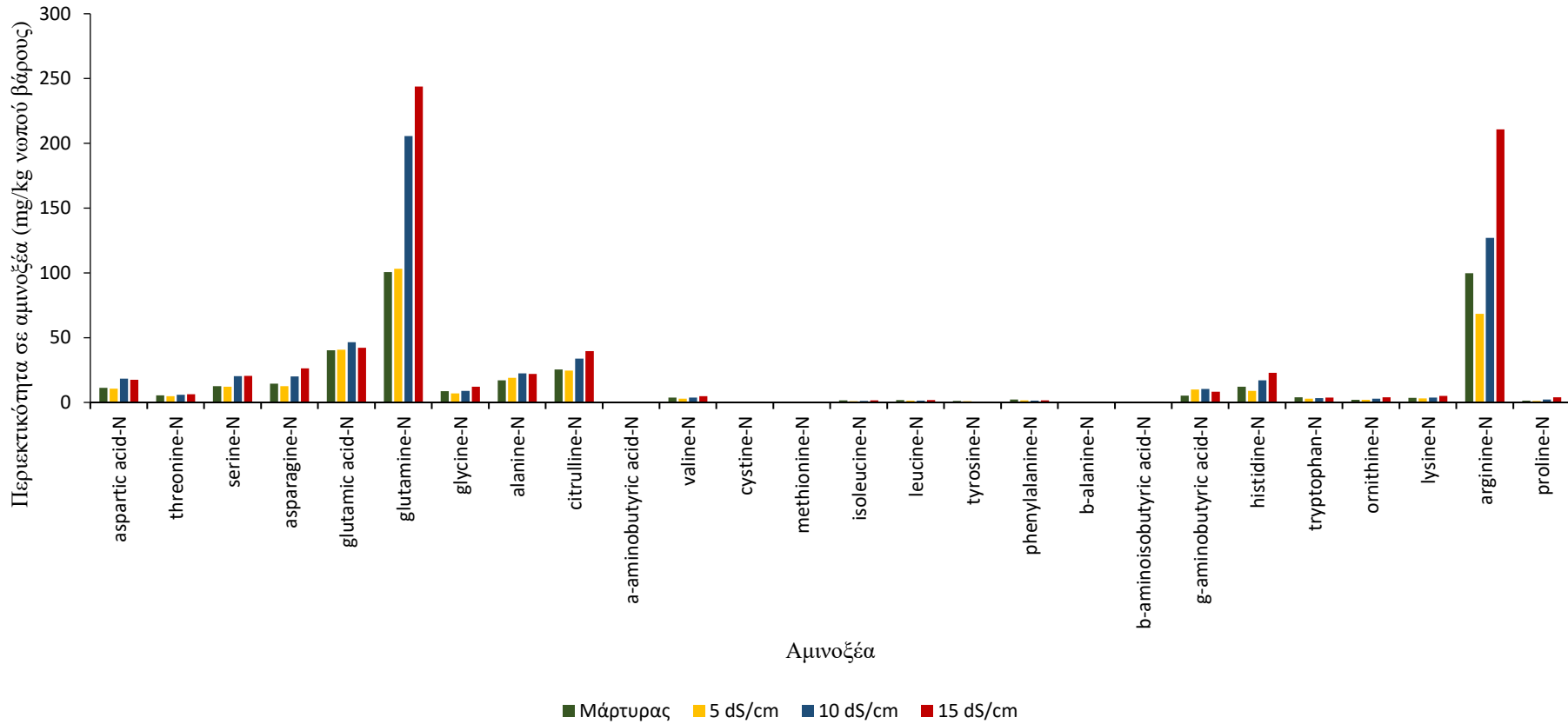
Η επίδραση της αλατότητας στο προφίλ αμινοξέων φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3.1.7). Κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές στις μέσες τιμές μεταξύ του μάρτυρα και της μεταχείρισης 5 dS/m. Στη μεταχείριση 10 dS/m, παρατηρήθηκε αυξημένη περιεκτικότητα αμινοξέων στο δείγμα σε σχέση με τον μάρτυρα και τα 5 dS/m, ωστόσο δεν σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά. Η μεταχείριση με το μεγαλύτερο επίπεδο αλατότητας (15 dS/m) παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τον μάρτυρα αλλά και τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις και μάλιστα η περιεκτικότητα σε αμινοξέα στη περίπτωση αυτή υπερτερούσε σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Όσον αφορά την τελική δειγματοληψία, οι στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $p < 0.05$ σημειώνονται σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σχέση με τον μάρτυρα. Η μεταχείριση 5 dS/m έδειξε μικρή ομοιότητα με τη μεταχείριση 10 dS/m, όπως υποδεικνύεται και από το στατιστικό σήμα. Το δείγμα που υπέστη μεταχείριση

με θρεπτικό διάλυμα αλατότητας 15 dS/m παρουσιάζει και εδώ μέγιστη τιμή στη περιεκτικότητα των αμινοξέων, όπως παρατηρήθηκε και στην ενδιάμεση δειγματοληψία. Όπως είναι εμφανές και από το διάγραμμα, η αυξημένη αλατότητα αύξησε την περιεκτικότητα σε αμινοξέα και στην ενδιάμεση αλλά και στη τελική δειγματοληψία.

Προφίλ Αμινοξέων

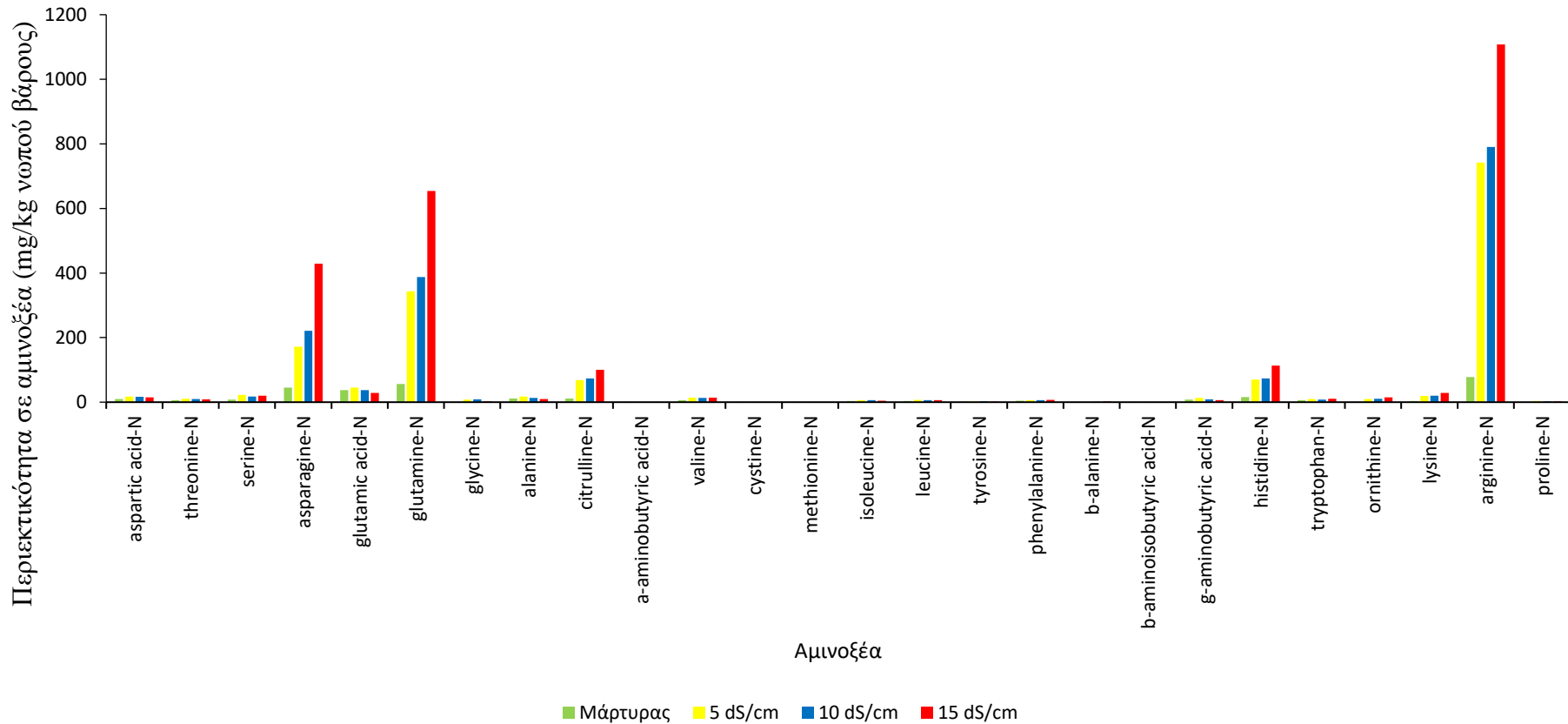
Το αναλυτικό προφίλ αμινοξέων υποδεικνύει, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πως με αύξηση της αλατότητας στο θρεπτικό διάλυμα άρδευσης, αυξάνεται και η συγκέντρωση των αμινοξέων. Στην τελική δειγματοληψία παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης όλων των αμινοξέων. Οι μεταχειρίσεις 10 και 15dS/m σημείωσαν αύξηση στη περιεκτικότητα σε αμινοξέα σε σχέση με τον μάρτυρα και τα 5 dS/m. Τα αμινοξέα που υπερτερούσαν σε συγκέντρωση - τόσο στον μάρτυρα όσο και στις μεταχειρίσεις - σε σχέση με τα υπόλοιπα ήταν η ασπαραγίνη (asparagine), η γλουταμίνη (glutamine) και η αργινίνη (arginine) με τα δυο τελευταία να είναι σε μεγαλύτερη συγκέντρωση. Τα υπόλοιπα αμινοξέα κατά τη τελική δειγματοληψία σημείωσαν μείωση στη συγκέντρωσή τους, ειδικότερα στις μεταχειρίσεις με αυξημένη αλατότητα (10 και 15dS/m).

Προφίλ Αμινοξέων (ενδιάμεση δειγματοληψία)



Σχήμα 3.1.8. Προφίλ αμινοξέων στα φύλλα του βασιλικού στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας: 2 dS/m (μάρτυρας, πράσινο χρώμα), 5 dS/m (κίτρινο χρώμα), 20 dS/m (μπλε χρώμα) και 15 dS/m (κόκκινο χρώμα) κατά την ενδιάμεση συγκομιδή.

Προφίλ Αμινοξέων (τελική δειγματοληψία)



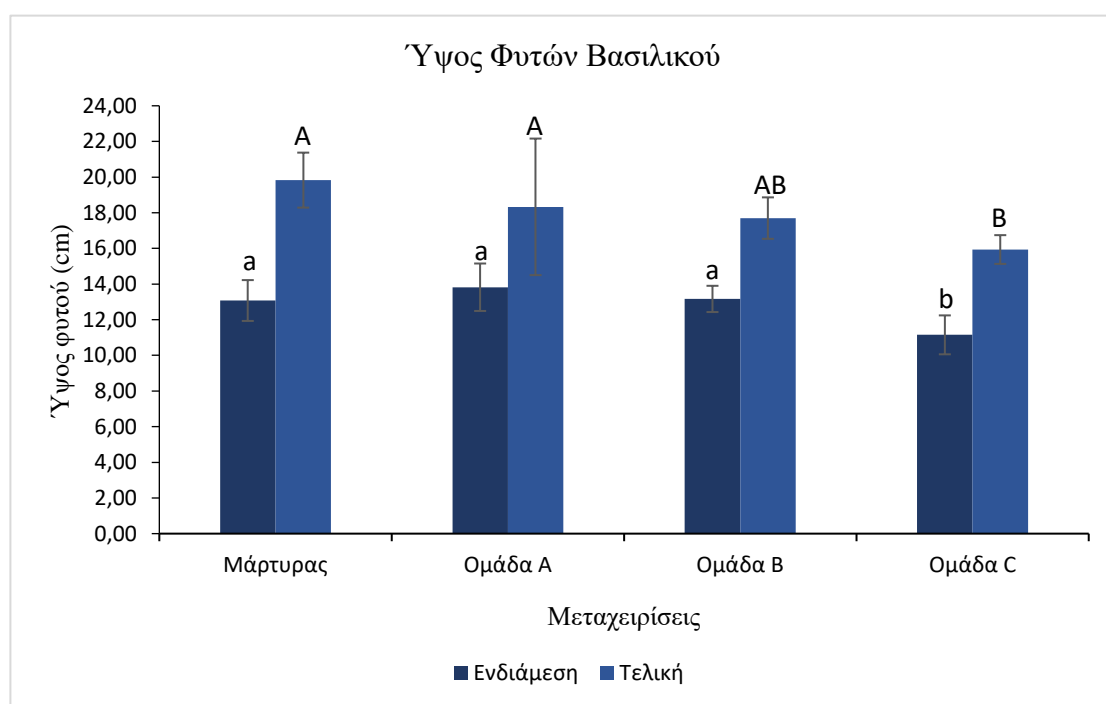
Σχήμα 3.1.9. Προφίλ αμινοξέων στα φύλλα του βασιλικού στις διαφορετικές μεταχειρίσεις αλατότητας; 2 dS/m (μάρτυρας, πράσινο χρώμα), 5 dS/m (κίτρινο χρώμα), 20 dS/m (μπλε χρώμα) και 15 dS/m (κόκκινο χρώμα) κατά την τελική συγκομιδή.

3.2. Δεύτερο πειραματικό σκέλος

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διεξήχθησαν στα πλαίσια του δεύτερου πειραματικού σκέλους. Σκοπός ήταν η διερεύνηση των αποκρίσεων των φυτών βασιλικού (*O. basilicum*) στο διάλυμα απορροής από υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί η εμπλοκή ενός αστάθμητου παράγοντα, της κλίσης του θερμοκηπίου, όπου επηρεάζει κυρίως τη μεταχείριση Ομάδα C.

3.2.1 Παράμετροι ανάπτυξης

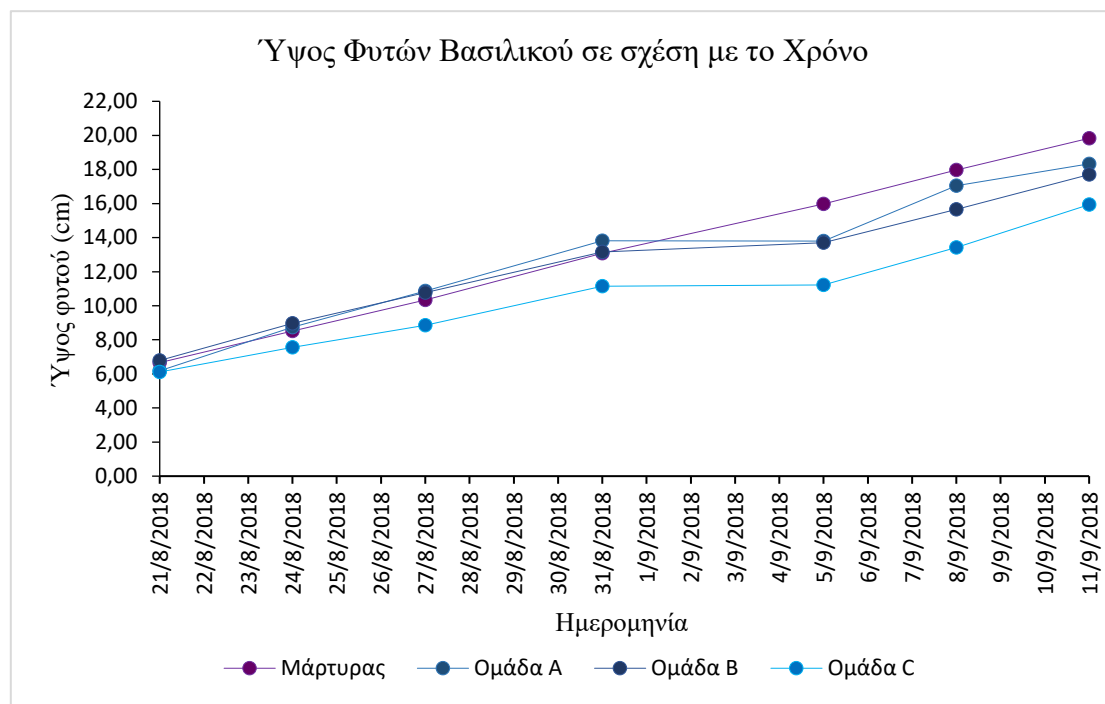
Ύψος



Σχήμα 3.2.1: Μέτρηση του ύψους του βασιλικού (σε cm) στο μάρτυρα και στις ομάδες απορροής (Ομάδα A, Ομάδα B και Ομάδα C) κατά την ενδιάμεση (σκούρο μπλε) και τελική συγκομιδή (ανοικτό μπλε). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Σε μετρήσεις που έγιναν για να υπολογιστεί η επίδραση του απορρέοντος νερού από υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς, στο ύψος του βασιλικού, προέκυψε πως δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του μάρτυρα, στον οποίο χορηγήθηκε απευθείας θρεπτικό διάλυμα ίδιο με αυτό που αρδεύονταν η αγγουριά, και των μεταχειρίσεων Ομάδα A και Ομάδα B. Αυτό ισχύει τόσο στην ενδιάμεση όσο και στην τελική μέτρηση του ύψους. Ωστόσο για την μεταχείριση Ομάδα C

παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά και στις δυο μετρήσεις (ενδιάμεση και τελική). Το πιθανότερο αίτιο παρουσίας αυτής της διαφοροποίησης φαίνεται να είναι ο αστάθμητος παράγοντας (κλίση θερμοκηπίου), όπου τα φυτά της Ομάδας C δεν προσλάμβαναν αρκετή ποσότητα νερού και ενδεχομένως υπέστησαν υδατική

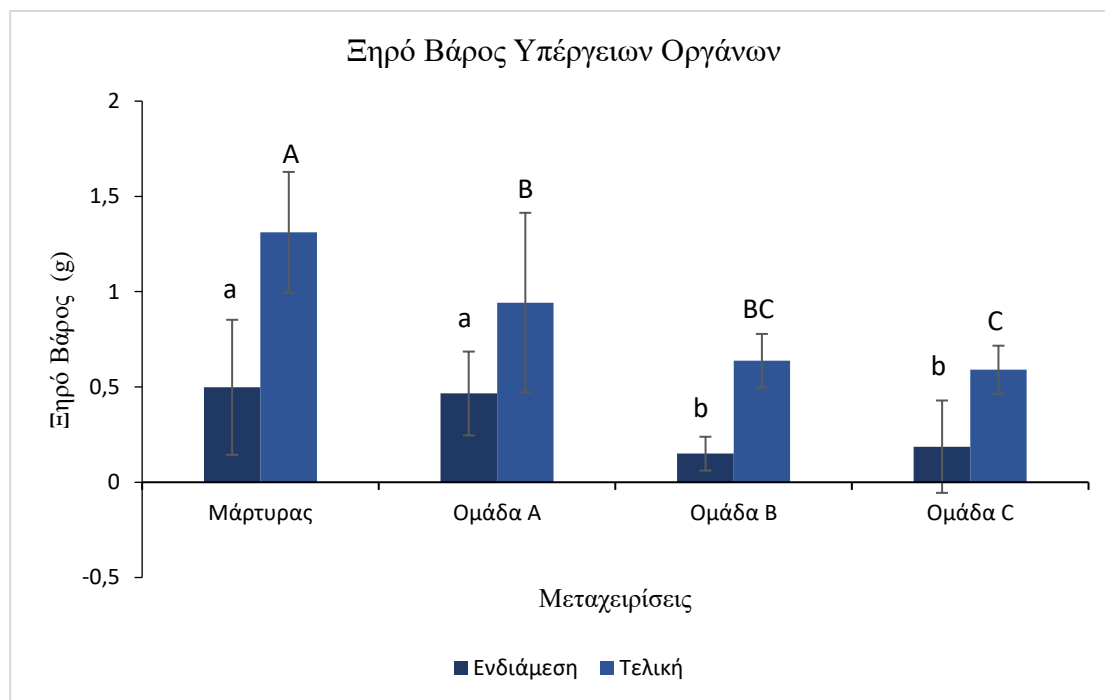


καταπόνηση.

Σχήμα 3.2.2: Εξέλιξη του ύψους του βασιλικού (σε cm) σε σχέση με το χρόνο. Τα διαφορετικά χρώματα υποδεικνύουν το μάρτυρα (μωβ) και τις ομάδες απορροής: Ομάδα A (κυανό), Ομάδα B (μπλε) και Ομάδα C (γαλάζιο).

Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνεται ότι τα φυτά του βασιλικού τόσο στον μάρτυρα, όσο και στις μεταχειρίσεις σημειώνουν σταθερή αύξηση του ύψους τους με τη πάροδο του χρόνου. Στην τελική μέτρηση, σημειώνονται οι μέγιστες τιμές για κάθε μεταχείριση, με τον μάρτυρα να υπερτερεί σε σχέση με τις μεταχειρίσεις Ομάδα A, Ομάδα B και Ομάδα C. Τα ύψη για τις μεταχειρίσεις Ομάδα A και Ομάδα B καθώς και για τον μάρτυρα κυμαίνονται από 18 έως 20 cm ενώ για την μεταχείριση Ομάδα C το ύψος εμφανίζει τη μικρότερη τιμή, που ανέρχεται στα 16 cm

Ξηρό Βάρος Υπέργειων Ιστών

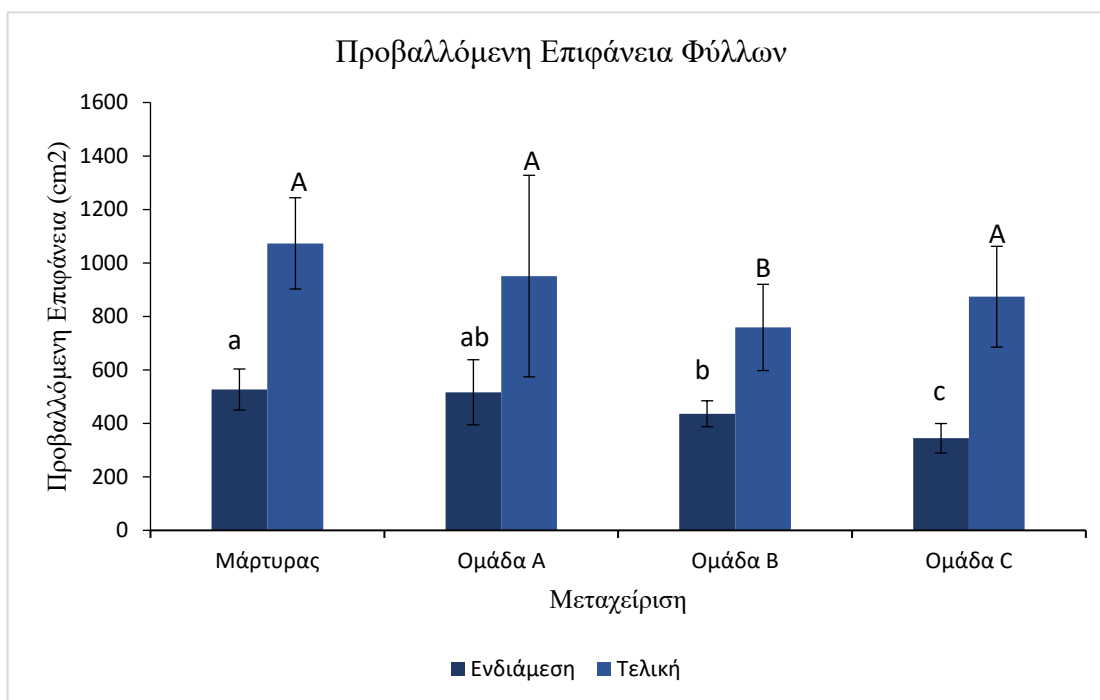


Σχήμα 3.2.3: Ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών βασιλικού (σε g) στο μάρτυρα και στις ομάδες απορροής (Ομάδα A, Ομάδα B και Ομάδα C) κατά την ενδιάμεση (σκούρο μπλε) και τελική συγκομιδή (ανοικτό μπλε). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των μετρήσεων του ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους των φυτών βασιλικού έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία. Συγκεκριμένα οι μέγιστες τιμές συγκεντρώνονται στην περίπτωση του μάρτυρα, όπου σημείωσε βάρος 0,5 g ενώ οι ελάχιστες τιμές στην μεταχείριση Ομάδα B που ανήλθε στα 0,15 g. Μείωση στο ξηρό βάρος σημειώθηκε στην Ομάδα A χωρίς ωστόσο να σημειώνεται κάποια στατιστική διαφορά σε σχέση με τον μάρτυρα. Αντίθετα στη περίπτωση Ομάδας C σημειώνεται στατιστική διαφορά με παράλληλη μείωση του ξηρού βάρους λαμβάνοντας τιμή 0,19 g ωστόσο η τιμή αυτή υπερτερεί αυτής της Ομάδας B. Οι διαφορές ενδεχομένως να οφείλονται στην κλίση του θερμοκηπίου, η οποία αποτέλεσε αστάθμητος παράγοντας επηρεάζοντας την έκβαση των μετρήσεων. Στην τελική δειγματοληψία οι στατιστικά σημαντικές διαφορές συνεχίζουν να παρουσιάζονται, και φαίνονται εντονότερες στις μεταχειρίσεις Ομάδα C και Ομάδα B, όπου σημειώνουν και τις χαμηλότερες τιμές: 0,6 και 0,64 g αντίστοιχα. Ο μάρτυρας και σε αυτή τη δειγματοληψία κατέχει τη

μέγιστη τιμή (1,31 g) σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις ενώ παραπλήσια τιμή παρουσιάζει η μεταχείριση Ομάδα Α που ανέρχεται στα 0,94 g.

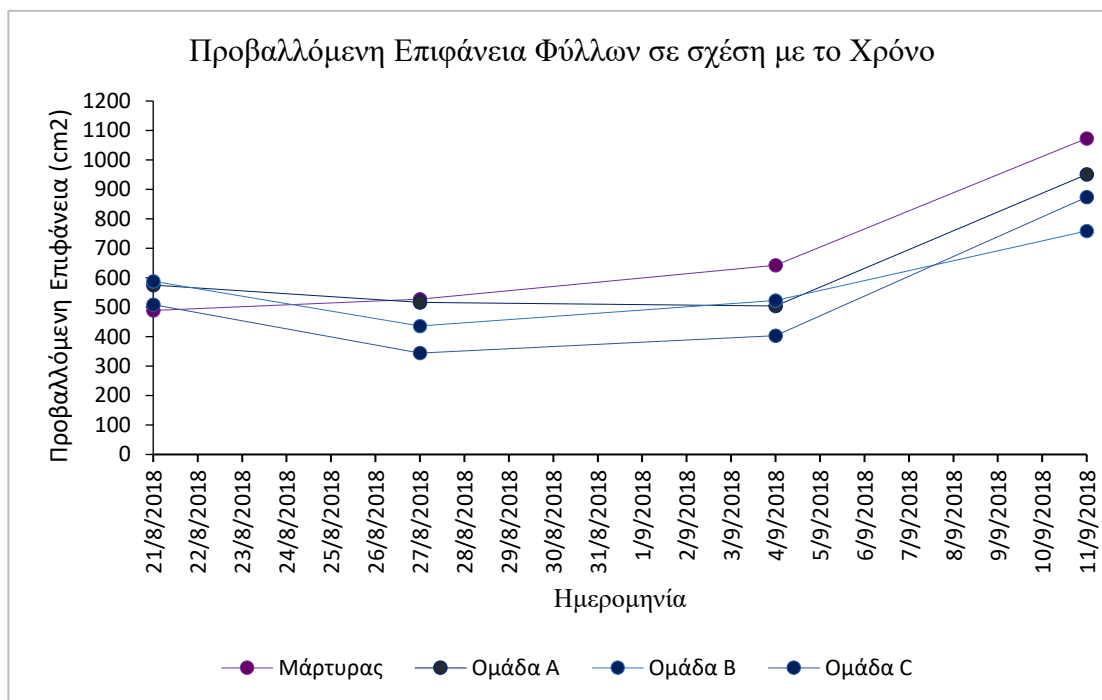
Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων



Σχήμα 3.2.4: Η προβαλλόμενη επιφάνεια των φύλλων (projected leaf area) (σε cm²) του βασιλικού στο μάρτυρα και στις ομάδες απορροής (Ομάδα Α, Ομάδα Β και Ομάδα C) κατά την ενδιάμεση (σκούρο μπλε) και τελική συγκομιδή (ανοικτό μπλε). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, από τις μετρήσεις της προβαλλόμενης επιφάνειας των φύλλων, παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σε σχέση με τον μάρτυρα. Συγκεκριμένα, κατά την ενδιάμεση μέτρηση, ο μάρτυρας παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή επιφάνειας, που ανέρχεται στα 526,75 cm² ενώ η μεταχείριση Ομάδα C τη μικρότερη με τιμή τα 344,3 cm². Οι μεταχειρίσεις Ομάδα Α και Β εμπίπτουν σε μια ενδιάμεση κατάσταση λαμβάνοντας τιμές 516,36 cm² και 436,24 cm² αντίστοιχα. Οι διαφορές αυτές πιθανώς να οφείλονται στην κλίση του θερμοκηπίου, καθώς τα φυτά αρδεύονταν με την ίδια ποσότητα και ποιότητα νερού απορροής. Στην τελική μέτρηση, οι στατιστικά σημαντικές διαφορές αμβλύνονται. Δεν παρουσιάζεται κάποια στατιστικά

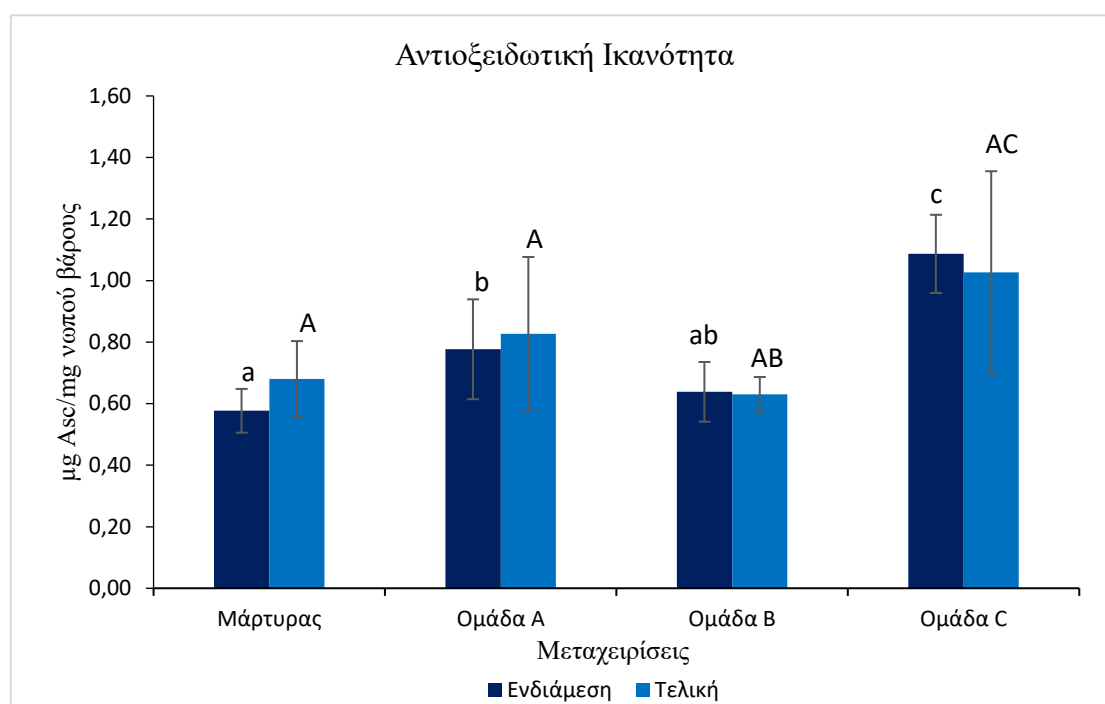
σημαντική διαφορά στις μεταχειρίσεις A (950,82 cm²) και C (873,69 cm²) σε σχέση με τον μάρτυρα (1073,11 cm²). Διαφορά παρόλα αυτά παρατηρείται στην μεταχείριση B, όπου λαμβάνει τη μικρότερη τιμή, που ανέρχεται στα 758,85 cm² σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μετρήσεις.



Σχήμα 3.2.5: Εξέλιξη της προβαλλόμενης επιφάνειας των φύλλων (projected leaf area) (σε cm²) σε σχέση με το χρόνο. Τα διαφορετικά χρώματα υποδεικνύουν το μάρτυρα (μωβ) και τις ομάδες απορροής: Ομάδα Α (κυανό), Ομάδα Β (μπλε) και Ομάδα C (γαλάζιο).

Σε αυτό το σχήμα παρουσιάζεται η εξέλιξη της προβαλλόμενης επιφάνειας των φύλλων σε σχέση με τον χρόνο. Μέχρι την ημερομηνία 4/9/2018 παρατηρείται μια σχετικά μικρή και σταθερή αύξηση στην τιμή της προβαλλόμενης επιφάνειας των φύλλων. Στη τελευταία μέτρηση είναι εμφανής μια πιο ραγδαία αύξηση της προβαλλόμενης επιφάνειας, με τα φυτά να λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές. Διακρίνεται σαφώς το γεγονός πως οι τιμές που λαμβάνει ο μάρτυρας υπερτερούν έναντι των μεταχειρίσεων ενώ η επιφάνεια των φυτών σε αυτό το σημείο κυμαίνεται από 758 έως 1070 cm².

3.2.2. Αντιοξειδωτική Ικανότητα



Σχήμα 3.2.6: Μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του αιθανολικού εκχλίσιματος βασιλικού (σε $\mu\text{g Asc}/\text{mg}$ νωπού βάρους) στο μάρτυρα και στις ομάδες απορροής (Ομάδα A, Ομάδα B και Ομάδα C) κατά την ενδιάμεση (σκούρο μπλε) και τελική συγκομιδή (ανοικτό μπλε). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

Η στατιστική ανάλυση για την αντιοξειδωτική ικανότητα των φύλλων βασιλικού (σε $\mu\text{g Asc}/\text{mg}$ νωπού βάρους (ν.β.)) σημειώνει στατιστικά σημαντικές διαφορές όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα. Ειδικότερα στην ενδιάμεση δειγματοληψία οι μεταχειρίσεις Ομάδα A, Ομάδα B και Ομάδα C διαφέρουν στατιστικά σε σχέση με τον μάρτυρα. Η διαφορά αυτή σημειώνεται με τη μορφή αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των μεταχειρίσεων σε σχέση με τον μάρτυρα. Συγκεκριμένα ο μάρτυρας έχει τιμή $0,58 \mu\text{g Asc}/\text{mg}$ ν.β. ενώ οι μεταχειρίσεις Ομάδα A και Ομάδα B σημείωσαν τιμές $0,78$ και $0,64 \mu\text{g Asc}/\text{mg}$ ν.β. αντίστοιχα. Η μεταχείριση ομάδα C παρουσίασε τη μέγιστη τιμή και ανήλθε στα $1,09 \mu\text{g Asc}/\text{mg}$ ν.β. . Στην τελική δειγματοληψία, δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές πέρα από κάποια μικρή διαφοροποίηση στη μεταχείριση Ομάδα C. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως οι μεταχειρίσεις εμφανίζουν σαφώς μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα σε σχέση με τον μάρτυρα, ο οποίος παρουσιάζει τις ελάχιστες τιμές κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία, ενώ στην τελική δειγματοληψία οι τιμές που λαμβάνει είναι μια από τις χαμηλότερες.

3.2.3. Θρεπτική Κατάσταση

Μακροθρεπτικά

Στους πίνακες παρακάτω παρατίθεται η περιεκτικότητα ως επί τοις εκατό ποσοστό του ξηρού τους βάρους των φύλλων βασιλικού σε μακροθρεπτικά (N, P, K, Ca, Mg).

Πίνακας 3.2.1; Μέσος όρος των μακροθρεπτικών (N, P, K, Ca, Mg) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (\pm τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις θέσεις απορροής (Platform A, B και C) κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τι υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

Ενδιάμεση δειγματοληψία					
Μεταχείριση	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Μάρτυρας	5,55 ($\pm 0,640$) ^a	0,92 ($\pm 0,210$) ^a	5,97 ($\pm 0,450$) ^a	2,66 ($\pm 0,680$) ^{ab}	0,44 ($\pm 0,130$) ^a
Ομάδα A	5,14 ($\pm 0,078$) ^b	0,53 ($\pm 0,030$) ^b	4,21 ($\pm 0,470$) ^b	2,91 ($\pm 0,070$) ^b	0,67 ($\pm 0,061$) ^b
Ομάδα B	4,83 ($\pm 0,250$) ^b ^c	0,6 ($\pm 0,036$) ^b	5,28 ($\pm 0,280$) ^c	2,88 ($\pm 0,098$) ^b	0,61 ($\pm 0,041$) ^b
Ομάδα C	4,5 ($\pm 0,170$) ^c	0,53 ($\pm 0,046$) ^b	5,12 ($\pm 0,580$) ^c	2,45 ($\pm 0,100$) ^{ac}	0,49 ($\pm 0,043$) ^{ac}

Πίνακας 3.2.2 ; Μέσος όρος των μακροθρεπτικών (N, P, K, Ca, Mg) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (\pm τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις θέσεις απορροής (Platform A, B και C) κατά την τελική δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

Τελική δειγματοληψία					
Μεταχείριση	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Μάρτυρας	4,35 ($\pm 1,37$) ^A	0,97 ($\pm 0,312$) ^B	6,52 ($\pm 2,1$) ^A	2,05 ($\pm 0,66$) ^A	0,31 ($\pm 0,098$) ^A
Ομάδα A	4,93 ($\pm 0,180$) ^A	0,50 ($\pm 0,037$) ^B	3,44 ($\pm 0,334$) ^B	2,94 ($\pm 0,15$) ^B	0,74 ($\pm 0,039$) ^B
Ομάδα B	4,71 ($\pm 0,059$) ^A	0,55 ($\pm 0,031$) ^B	4,24 ($\pm 0,39$) ^B	2,94 ($\pm 0,18$) ^B	0,67 ($\pm 0,068$) ^C

Ομάδα C	4,64 (±0,084) ^A	0,46 (±0,033) ^B	3,99 (±0,260) ^B	2,99 (±0,071) ^B	0,67 (±0,03) ^{BC}
---------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Όσον αφορά το N, κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία, μέγιστη τιμή στη περιεκτικότητα παρουσιάζει ο μάρτυρας ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις υπάρχει μια φθίνουσα τάση και η ελάχιστη τιμή παρουσιάζεται στη μεταχείριση Ομάδα C. Επίσης, οι μεταχειρίσεις διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην τελική δειγματοληψία αν και η περιεκτικότητα σε N μειώθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις και τον μάρτυρα, οι στατιστικά σημαντικές διαφορές πλέον δεν υπάρχουν. Στο P, τόσο στην ενδιάμεση όσο και στη τελική δειγματοληψία, η τιμή του μάρτυρα υπερτερεί έναντι των μεταχειρίσεων. Στον μάρτυρα επίσης παρουσιάζεται αύξηση στη περιεκτικότητα P κατά την τελική κοπή. Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές για το P σημειώνονται μεταξύ του μάρτυρα και των μεταχειρίσεων, ενώ οι μεταχειρίσεις δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Ο μάρτυρας στην περίπτωση του K παρουσιάζει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα μακροστοιχεία και στην ενδιάμεση και στην τελική δειγματοληψία. Οι μεταχειρίσεις διαφέρουν στατιστικώς σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ στη τελική δειγματοληψία δεν παρουσιάζονται διαφορές. Στην τελική δειγματοληψία, οι μεταχειρίσεις παρουσιάζουν μείωση στη συγκεντρώσεις στο εν λόγω θρεπτικό σε σχέση με την ενδιάμεση δειγματοληψία. Όσον αφορά το Ca, κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία, η περιεκτικότητά του στα φύλλα αν και παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων και του μάρτυρα αυτές δεν είναι τόσο έντονες. Η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται στις μεταχειρίσεις Ομάδα A και Ομάδα B ενώ ο μάρτυρας και η μεταχείριση Ομάδα C παρουσιάζουν τις ελάχιστες τιμές. Στην τελική κοπή, παρουσιάζεται αύξηση στη περιεκτικότητα του χωρίς να υπάρχει κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά στη περιεκτικότητα μεταξύ των μεταχειρίσεων ωστόσο ο μάρτυρας διαφέρει σημειώνοντας παράλληλα ελάχιστο στη συγκέντρωση. Το Mg παρουσίασε αύξηση της συγκέντρωσης στην τελική κοπή. Γενικά η συμπεριφορά του στοιχείου είναι ίδια με αυτή του Ca.

Μικροθρεπτικά

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν την περιεκτικότητα σε mg/Kg ξηρού βάρους φύλλων βασιλικού σε μικροθρεπτικά.

Πίνακας 3.2.3; Μέσος όρος των μικροθρεπτικών (Fe, Zn, Mn, Cu) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (\pm τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις θέσεις απορροής (Platform A, B και C) κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

Ενδιάμεση δειγματοληψία				
Μεταχείριση	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Μάρτυρας	132,62 ($\pm 30,72$) ^a	87,11 ($\pm 7,017$) ^a	175,75 ($\pm 17,69$) ^a	17,49 ($\pm 2,93$) ^a
Ομάδα A	142,85 ($\pm 9,81$) ^{ab}	51,66 ($\pm 6,266$) ^b	49,49 ($\pm 12,24$) ^b	16,27 ($\pm 1,38$) ^a
Ομάδα B	175,15($\pm 13,102$) ^c	56,56 ($\pm 3,264$) ^c	49,76 ($\pm 9,19$) ^b	18,39 ($\pm 1,94$) ^a
Ομάδα C	121,09 (± 16) ^{ad}	63,62 ($\pm 9,53$) ^{cd}	39,83 ($\pm 5,11$) ^b	16,10 ($\pm 4,13$) ^a

Πίνακας 3.2.4 ; Μέσος όρος των μικροθρεπτικών (Fe, Zn, Mn, Cu) συστατικών στα φύλλα του βασιλικού (\pm τυπική απόκλιση) σε σχέση με τις θέσεις απορροής (Platform A, B και C) κατά την τελική δειγματοληψία. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$). Τα σκιασμένα κελιά επισημαίνουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που προέκυψαν κατά τις μετρήσεις.

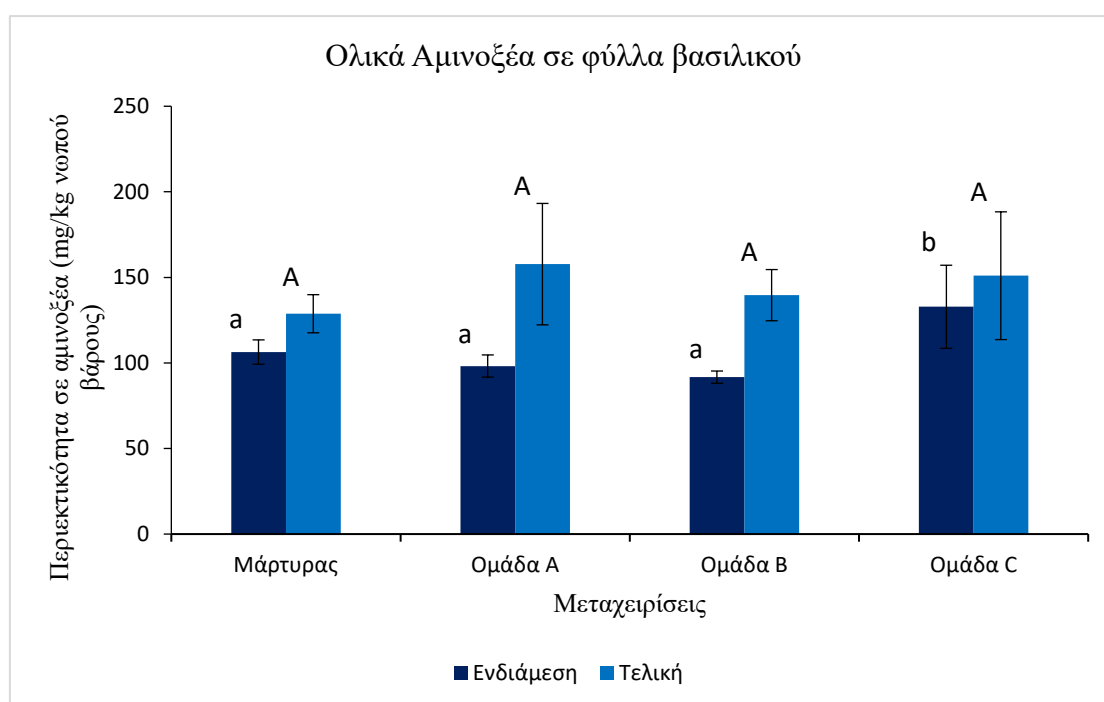
Τελική δειγματοληψία				
Μεταχείριση	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Μάρτυρας	158,3 ($\pm 57,89$) ^A	83,86 ($\pm 26,92$) ^A	182,2 ($\pm 58,51$) ^A	17,62($\pm 5,94$) ^A
Ομάδα A	150,38 ($\pm 13,27$) ^A	58,06 ($\pm 5,10$) ^B	92,77 ($\pm 12,13$) ^B	14,69 ($\pm 1,15$) ^A
Ομάδα B	163,17 ($\pm 10,2$) ^A	57,97 (± 3) ^B	86,76 ($\pm 9,83$) ^{BC}	15,49 ($\pm 3,09$) ^A
Ομάδα C	130,83($\pm 12,18$) ^A	58,67 ($\pm 5,7$) ^B	61,84 ($\pm 8,75$) ^C	13,92 ($\pm 2,54$) ^A

Το Fe στην ενδιάμεση δειγματοληψία παρουσίασε μικρές στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του μάρτυρα και των μεταχειρίσεων σε σχέση με τον μάρτυρα ενώ η μεταχείριση Ομάδα B παρουσιάζει την μέγιστη τιμή. Στην τελική

δειγματοληψία, οι διαφορές αυτές ομαλοποιούνται και πλέον δεν παρουσιάζεται καμία στατιστική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων σε σχέση με τον μάρτυρα. Όπως και στην ενδιάμεση δειγματοληψία, έτσι κι εδώ η μεταχείριση Ομάδα Β υπερτερεί έναντι των υπολοίπων τιμών. Για το Zn και στις δύο κοπές, ο μάρτυρας κατέχει τις μέγιστες τιμές. Στην ενδιάμεση δειγματοληψία οι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην τελική δειγματοληψία σημειώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των μεταχειρίσεων, ωστόσο οι μεταχειρίσεις δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Για την περίπτωση του Mn παρατηρείται αύξηση στη συγκέντρωση του μεταξύ των δυο κοπών. Μάλιστα η αύξηση αυτή αγγίζει σχεδόν το 50% για τις μεταχειρίσεις. Η τιμή του μάρτυρα υπερέχει σε σχέση με αυτές των υπόλοιπων μεταχειρίσεων σε ποσοστό 72% για την ενδιάμεση κοπή και 57% για την τελική. Τέλος για το Cu, η συγκέντρωση του στοιχείου και στις δυο κοπές παραμένει σχεδόν σταθερή και δεν σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές.

3.2.4. Περιεκτικότητα σε Αμινοξέα

Ολικά Αμινοξέα

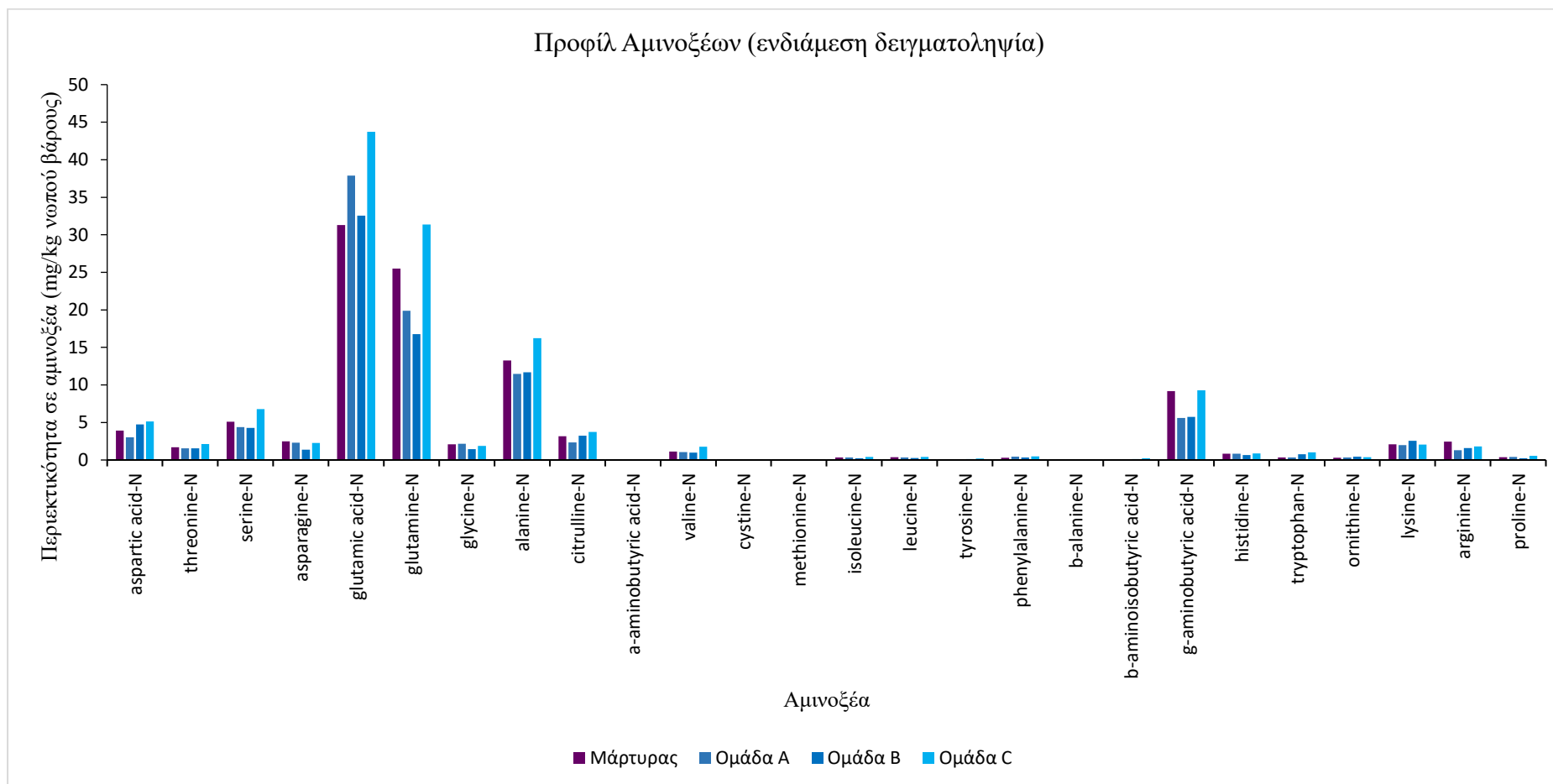


Σχήμα 3.2.7.: Περιεκτικότητα σε ολικά αμινοξέα (σε mg/Kg νωπού βάρους) στα φύλλα του βασιλικού στο μάρτυρα και στις ομάδες απορροής (Ομάδα Α, Ομάδα Β και Ομάδα C) κατά την ενδιάμεση (σκούρο μπλε) και τελική συγκομιδή (ανοικτό μπλε). Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά την ενδιάμεση συγκομιδή (μικρά γράμματα) και τη τελική συγκομιδή (κεφαλαία γράμματα).

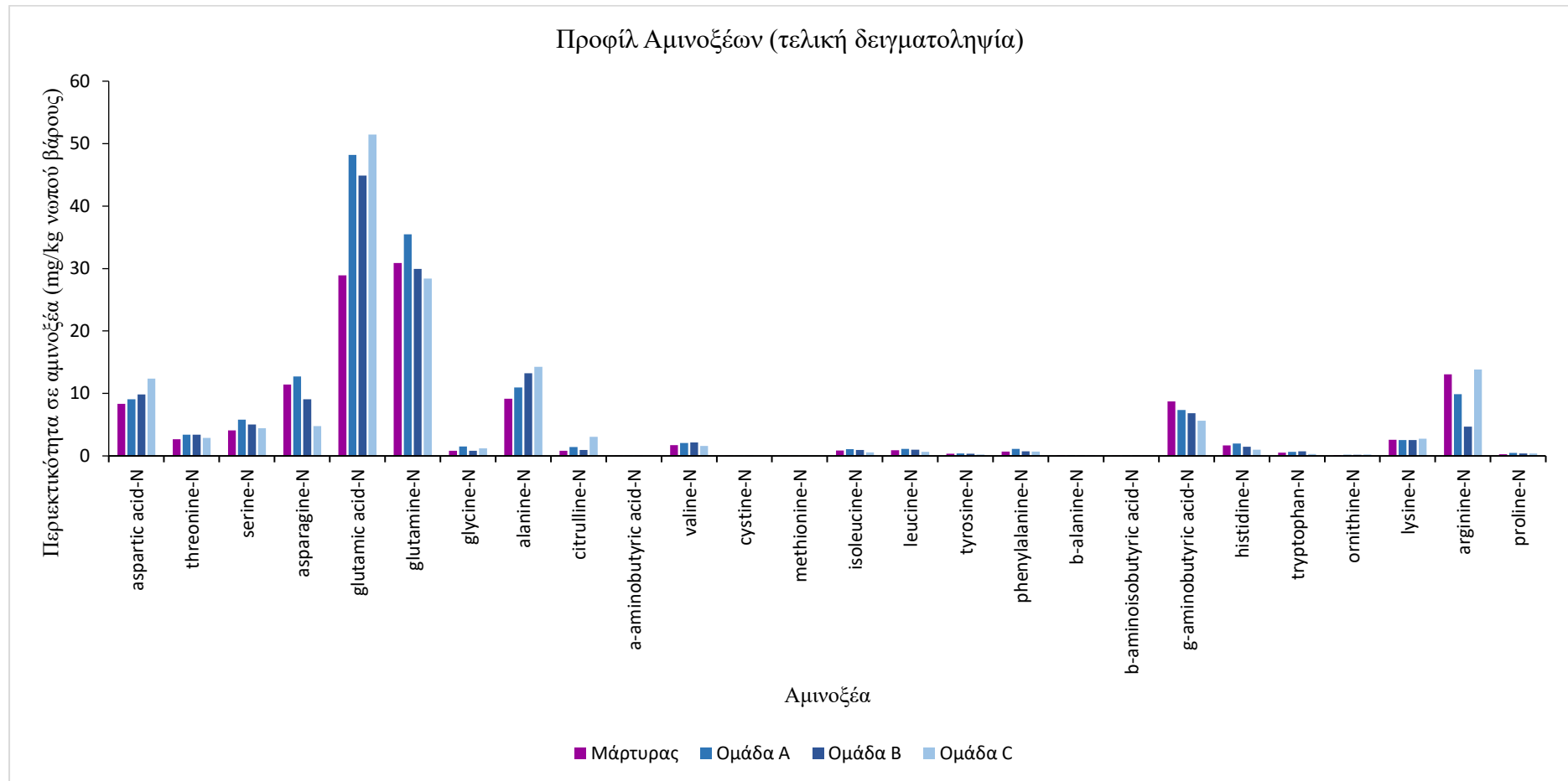
Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τη περιεκτικότητα των φύλλων βασιλικού σε ολικά αμινοξέα, έδειξε πως δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ του μάρτυρα και των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία στατιστικά σημαντική διαφορά έδειξε μόνο η μεταχείριση Ομάδα C. Οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις ωστόσο δεν επέδειξαν κάτι τέτοιο και η περιεκτικότητα σε ολικά αμινοξέα δεν διαφέρει από τον μάρτυρα, πλην της Ομάδας C η οποία παρουσιάζει και τη μέγιστη τιμή. Στην τελική δειγματοληψία δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σε σχέση με τον μάρτυρα. Όπως παρουσιάζεται και από το σχήμα, είναι εμφανές πως η ολική περιεκτικότητα των φύλλων βασιλικού σε αμινοξέα είναι υψηλότερη στα φυτά βασιλικού που έχουν αρδευτεί με νερό απορροής από υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς σε σχέση με τον μάρτυρα, στον οποίο χορηγήθηκε άρδευση με θρεπτικό διάλυμα ίδιο με την κύρια καλλιέργεια.

Προφίλ Αμινοξέων

Συγκρίνοντας τα δύο παρακάτω διαγράμματα που απεικονίζουν το προφίλ των αμινοξέων σε ιστούς φύλλων βασιλικού, παρατηρείται αύξηση στη περιεκτικότητα των αμινοξέων στην τελική συγκομιδή σε σχέση με την ενδιάμεση. Η αύξηση αυτή ωστόσο δεν φαίνεται να είναι μεγάλη. Τα αμινοξέα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον και σε αυτό το πειραματικό σκέλος είναι η αργινίνη, η γλουταμίνη και η ασπαραγίνη. Τα αμινοξέα αυτά παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης σε σχέση με τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα η ποσότητα της ασπαραγίνης αυξήθηκε κατά μέσο όρο 6 φορές στη τελική δειγματοληψία σε σχέση με την ενδιάμεση κοπή. Αυξητική τάση παρουσίασε και αργινίνη, της οποίας η ποσότητα αυξήθηκε κατά 10 φορές στους ιστούς του βασιλικού στην τελική δειγματοληψία. Στην περίπτωση της γλουταμίνης, η αύξηση που σημειώνεται δεν είναι τόσο δραματική όσο στα άλλα δύο αμινοξέα καθώς η περιεκτικότητά της αυξήθηκε μόλις κατά 1,2 φορές.



Σχήμα 3.2.8. Προφίλ αμινοξέων στα φύλλα του βασιλικού στο μάρτυρα (μωβ) και τις ομάδες απορροής: Ομάδα A (κυανό), Ομάδα B (μπλε) και Ομάδα C (γαλάζιο). κατά την ενδιάμεση συγκομιδή.



Σχήμα 3.2.9. Προφίλ αμινοξέων στα φύλλα του βασιλικού στο μάρτυρα (μωβ) και τις ομάδες απορροής: Ομάδα A (κυανό), Ομάδα B (μπλε) και Ομάδα C (γαλάζιο). κατά την τελική συγκομιδή.

4. Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκαν οι βιοχημικές και αναπτυξιακές αποκρίσεις του βασιλικού στην αυξημένη αλατότητα. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε δύο πειραματικά σκέλη: Α) με την χορήγηση αρδευτικού νερού τεσσάρων διαφορετικών επιπέδων αλατότητας: 2dS/m όπου αποτέλεσε και τον μάρτυρα του πειράματος, 5dS/m, 10 dS/m και 15 dS/m και Β) με την εγκατάσταση υδροπονικής καλλιέργειας αγγουριάς σε 3 επαναλήψεις, την τοποθέτηση φυτοδοχείων στις θέσεις απορροής και τη χορήγηση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος στις μεταχειρίσεις Ομάδα Α, Ομάδα Β και Ομάδα C. Παράλληλα εγκαταστάθηκε και μια ομάδα που αποτελούσε τον μάρτυρα (Control) και αρδευόταν με το ίδιο θρεπτικό διάλυμα όπως η καλλιέργεια αγγουριάς.

Πρώτο πειραματικό σκέλος

Παράμετροι ανάπτυξης (Ύψος, Ξηρό Βάρος, Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων)

Η γενική επίδραση της αλατότητας είναι η μείωση του ρυθμού ανάπτυξης. Όπως ήταν εμφανές από τις σχετικές μετρήσεις, η ανάπτυξη των φυτών επηρεάζεται έντονα από την ενδιάμεση κιόλας δειγματοληψία. Στην τελική δειγματοληψία, οι μεταχειρίσεις με αλατότητα 15 dS/m επέφεραν έως και 72% μείωση στο ύψος, 84% μείωση στο βάρος και 90% μείωση στην προβαλλόμενη επιφάνεια φυτικής κόμης. Στην βιβλιογραφία υπάρχουν μελέτες που αποδεικνύουν την δυσμενή επίδραση της αλατότητας σε αναπτυξιακές παραμέτρους του βασιλικού. Συγκεκριμένα οι Tarchoune et al. (2012), έδειξαν την αρνητική επίδραση της αυξημένης αλατότητας στο ύψος του βασιλικού. Οι Caliskan et al. (2017) και οι Tarchoune et al. (2010), μεταξύ άλλων παραμέτρων μελέτησαν την επίδραση της αλατότητας στο ξηρό βάρος και έδειξαν πως η αλατότητα επηρεάζει αρνητικά τη παραγωγή ξηρής βιομάζας. Όσον αφορά την προβαλλόμενη επιφάνεια των φύλλων, οι Attia et al. (2010) καθώς και οι Tarchoune et al. (2010) διαπίστωσαν την αρνητική συσχέτιση μεταξύ της προβαλλόμενης επιφάνειας των φύλλων και της αλατότητας. Η γενικότερη μείωση στην ανάπτυξη των φυτών υπό την επίδραση της αυξημένης αλατότητας υποστηρίζεται και από αναφορές των Munns (2002), και Munns και Tester (2008).

Αντιοξειδωτική Ικανότητα

Έχει αποδειχθεί πως η αλατότητα μπορεί να προκαλέσει οξειδωτικό στρες στα φυτά (Pessarakli 2011, Abel and Hirt 2004). Για την αποφυγή βλάβης στο φυτό

ενεργοποιούνται οι αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί των φυτών. Όπως δείχνουν και τα πειραματικά δεδομένα ανωτέρω, με αύξηση της αλατότητας, αυξάνεται η περιεκτικότητα των ιστών σε ασκορβικό οξύ, συνήθης απόκριση των φυτών έναντι της αλατότητας (Durner 2013, Colville and Smirnoff 2008). Ειδικότερα κατά την 15^η μέρα μετά την εγκατάσταση, οι μεταχειρίσεις με επίπεδα αλατότητας 10 και 15 dS/m επέφεραν αύξηση στην συγκέντρωση ασκορβικού οξέος. Αποτελέσματα των Tarchoune et al. (2010) επιβεβαιώνουν πως σε αντίστοιχο χρονικό διάστημα πραγματοποιείται αύξηση του ασκορβικού οξέος. Στο παρόν πείραμα, στις 30 μετά την εγκατάσταση παρατηρείται σημαντική μείωση της περιεκτικότητας των ιστών σε ασκορβικό οξύ, της τάξεως του 50% και 78% για τις μεταχειρίσεις 10 και 15 dS/m, αποτέλεσμα που έχει επίσης καταγραφεί στη βιβλιογραφία (Tarchoune et al. 2010). Η μείωση της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η κατανάλωση ασκορβικού οξέος υπερτερεί της παραγωγής του. Γνωρίζοντας πως μια από τις οδούς de novo σύνθεσης ασκορβικού οξέος εξαρτάται από σάκχαρα (που αποτελούν το άμεσο φωτοσυνθετικό παράγωγο) (Smirnoff and Pallanca 1996), η μείωση που διαπιστώθηκε πως επιφέρει η αλατότητα στην φωτοσυνθετική επιφάνεια έχει πιθανά ως απόρροια τη μείωση της ικανότητας βιοσύνθεσης ασκορβικού οξέος και άρα μείωση της αντοχής του φυτού στην αλατότητα.

Προφίλ Αμινοξέων

Η αυξημένη αλατότητα επιφέρει μεταβολικές αλλαγές που σχετίζονται με τα αμινοξέα (Rai 2002). Στο παρόν πείραμα, η αυξημένη αλατότητα οδήγησε στην αύξηση της περιεκτικότητας των ιστών σε αμινοξέα. Στο πρώτο πειραματικό σκέλος η αύξηση στο σύνολο των αμινοξέων ήταν 5 φορές μεγαλύτερη στις μεταχειρίσεις 5 και 10 dS/m και 8 φορές μεγαλύτερη στη μεταχείριση 15 dS/m σε σχέση με τον μάρτυρα. Η αύξηση στη περιεκτικότητα των αμινοξέων υπό την επίδραση αυξημένης αλατότητας έχει αποδειχθεί και από άλλους ερευνητές (Kovacs et al. 2012, Mansour 2000). Σύμφωνα με τους Dawood et al. (2014) και Simon – Sarkadi et al. (2012) η αύξηση των αμινοξέων αποτέλεσε ένδειξη της τροποποίησης του μεταβολισμού των φυτών στην καταπόνηση λόγω αλατότητας. Στο παρόν πείραμα, τα αμινοξέα που παρουσίασαν ενδιαφέρον με την σημαντική αύξηση τους είναι η αργινίνη, η ασπαραγίνη και η γλουταμίνη. Οι Hildebrandt (2018) και Martinelli et al. (2007) υποστηρίζουν πως η αύξηση των αμινοξέων αυτών ενισχύει τη φυσιολογία του φυτού έναντι στη καταπόνησης λόγω αλατότητας. Συγκεκριμένα, τα αμινοξέα αυτά, μαζί με

την προλίνη, φαίνεται να έχουν οσμωρρυθμιστική δράση καθώς μπορούν να δράσουν ως συμβατοί οσμολύτες (Hildebrandt 2018). Αύξηση στο αμινοξύ αργινίνη έχει παρατηρηθεί και από τους Batista – Silva et al. (2018), ενώ σύμφωνα με τους Winter et al. (2015) η αργινίνη ενδεχομένως να συμβάλλει στην σύνθεση άλλων οσμολυτών. Σε πειράματα ωσμωτικής καταπόνησης οι Thakur και Rai (1982), έδειξαν 4 φορές αύξηση στην περιεκτικότητα των ιστών σε ασπαραγίνη μεταξύ άλλων αμινοξέων. Αντίστοιχα ο Fougere (1991) παρατήρησε παράλληλη αύξηση της περιεκτικότητας σε ασπαραγίνη με αύξηση της αλατότητας σε φυτά alfa-alfa. Υποστήριξε δε, πως η ασπαραγίνη έχει οσμωρρυθμιστική δράση, ικανή να βοηθήσει τα φυτά να ανταπεξέλθουν αυτού του είδους στρες με τη βοήθεια κι άλλων αμινοξέων. Αντίστοιχα αποτελέσματα έδειξαν και οι Winter et al. (2015) για τη γλουταμίνη.

Θρεπτική Κατάσταση

Από την ανάλυση θρεπτικών του βασιλικού παρατηρείται μεταβολή στις συγκεντρώσεις στους ιστούς των φυτών που υποβλήθηκαν σε μεταχειρίσεις αλατότητας. Όπως υποστηρίζεται και από την βιβλιογραφία, η μεταβολή έχει να κάνει με ανωμαλίες στη πρόσληψη και ισορροπία των θρεπτικών στους ιστούς (Niu et al. 1995, Levitt 1980). Για το N κατά τη τελική δειγματοληψία σημειώθηκε αύξηση στη περιεκτικότητα σε ποσοστό 20,1% στην μεταχείριση 15 dS/m σε σχέση με τον μάρτυρα. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν σε πειράματα των Lin et al. (2002) στο ρύζι. Η βιβλιογραφία ωστόσο παραθέτει, πως η αύξηση σε αλατότητα, μειώνει την περιεκτικότητα των ιστών σε N (Feigin, 1985). Ο Levitt (1980) και οι Hoai et al. (2003), αναφέρουν πως η αύξηση του N είναι αποτέλεσμα της τροποποίησης του μεταβολισμού ως απόκριση στην αλατότητα. Ενδεχομένως η αύξηση αυτή σχετίζεται με την αύξηση που παρατηρήθηκε στην περιεκτικότητα σε αμινοξέα, που δρουν και ως οσμολύτες. Με τον ισχυρισμό αυτό συμφωνούν και οι Munns και Termaat (1986) που αναφέρουν πως υπό συνθήκες αλατότητας γίνεται τροποποίηση του μεταβολισμού του αζώτου προς παραγωγή συμβατών οσμολυτών, οι οποίοι είναι πλούσιοι σε N (Lauchli and Lutge, 2002). Για το K, στην ενδιάμεση συγκομιδή παρατηρήθηκε μείωση της περιεκτικότητας στους ιστούς που υπέστησαν καταπόνηση. Στην τελική δειγματοληψία όμως η συγκέντρωση του K σε ιστούς που υπέστησαν μεταχείριση με διάλυμα 10 dS/m παρουσίασε μέγιστο. Παρόλα αυτά, στην μεταχείριση 15 dS/m, σημειώθηκε ελάχιστο. Αυτό, υποδηλώνει πως στον βασιλικό η πρόσληψη ανόργανων ιόντων, πραγματοποιείται με ευχέρεια έως τα 10

dS/m ενώ με περαιτέρω αύξηση της αλατότητας, αυτή δυσχεραίνεται. Η μείωση της περιεκτικότητας του K στους ιστούς με αύξηση της αλατότητας, υποστηρίζεται από τους Zhu και Yu (2008) και τους Hagesawa et al. (2000) οι οποίοι αναφέρουν πως το Na ανταγωνίζεται το K στις θέσεις των μεταφορικών πρωτεϊνών με αποτέλεσμα να μειώνει την απορρόφηση του K εντός των κυττάρων. Επίσης, η ύπαρξη αυξημένων ποσοτήτων K στις μεταχειρίσεις αυξημένης αλατότητας είναι αποτέλεσμα της δράσης του ABA, όπου σηματοδοτεί την καταπόνηση στα φυτά και προκαλεί απελευθέρωση ιόντων K στο κυτόπλασμα, όπου μαζί με άλλα ιόντα και οσμωλύτες κρατούν την οσμωτική ισορροπία στα κύτταρα Parajati and Modi 2016, Maimaiti et al. 2014, Hagesawa et al. 2000). Όσον αφορά το Ca, σημείωσε αύξηση στη περιεκτικότητα με αύξηση της καταπόνησης σε ποσοστό 51,3% σε σχέση με τον μάρτυρα κατά την ενδιάμεση δειγματοληψία. Στην τελική δειγματοληψία, η μεταχείριση 10 dS/m παρουσίασε το μέγιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, υπερτερώντας κατά 8,15% σε σχέση με τον μάρτυρα. Σε πείραμα των Ullah et al. (1993) σε κουκιά, παρουσιάστηκε επίσης αύξηση στο Ca υπό την επίδραση καταπόνησης. Η αυξημένη συγκέντρωση του Ca στους ιστούς που υπόκεινται καταπόνηση εξυπηρετεί την οσμωτική ισορροπία, όπως και το K (Maimaiti et al. 2014, Ullah et al. 1993). Η καταπόνηση στην αλατότητα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιπέδων Ca στο κυτόπλασμα και αυτό σηματοδοτεί την καταπόνηση και επάγει διάφορους προσαρμοστικούς μηχανισμούς (Taiz and Zeiger 2017, Knight et al. 1997). Επίσης, το Ca καθορίζει την αντοχή των φυτών στην καταπόνηση από αλατότητα (Grattan and Grieve 1999). Σχετικά με το Mg, η περιεκτικότητα στους ιστούς σημειώνει μέγιστο στη μεταχείριση 10 dS/m κατά την ενδιάμεση κοπή. Στην τελική κοπή ωστόσο η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στον μάρτυρα και στη συνέχεια η περιεκτικότητα υποβαθμίζεται. Η υποβάθμιση αυτή είναι σύμφωνη με αποτελέσματα που ανακτήθηκαν από τους Tarchoune et al. (2012) σε φυτά βασιλικού που υπέστησαν καταπόνηση στην αλατότητα. Αντίστοιχα, ανέφεραν και οι Grattan και Grieve (1999), πως η αύξηση της αλατότητας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της συγκέντρωσης του Mg στους ιστούς.

Όπως υποδεικνύεται και στα αποτελέσματα, η συγκέντρωση των μικροθρεπτικών στους ιστούς μειώθηκε, εμφανίζοντας ελάχιστες τιμές στην μεταχείριση 15 dS/m. Ένας λόγος αυτής της μείωσης των συγκεντρώσεων μπορεί ενδεχομένως να είναι η μείωση της διαλυτότητας των θρεπτικών αυτών σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας (Grattan and Grieve, 1999).

Δεύτερο πειραματικό σκέλος

Παράμετροι ανάπτυξης (Ύψος, Ξηρό Βάρος, Προβαλλόμενη Επιφάνεια Φύλλων)

Η παροχή θρεπτικού διαλύματος προερχόμενου από απορροή υδροπονικής καλλιέργειας έχει άμεση επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών (Both et al. 1999). Η ανάπτυξη των φυτών του παρόντος πειράματος δεν φάνηκε να επηρεάστηκε σημαντικά, με κάποιες αναπτυξιακές παραμέτρους να μένουν αμετάβλητες και κάποιες να μειώνονται ελαφρά. Ειδικότερα, σε ότι αφορά το ύψος δεν παρουσιάστηκε στατιστική διαφορά μεταξύ των φυτών στα οποία χορηγήθηκε νερό απορροής από υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς και του μάρτυρα. Ωστόσο, εξαίρεση αποτελεί η μεταχείριση Ομάδα C, η οποία έδειξε μείωση του ύψους ωστόσο αυτό οφείλεται στην επίδραση αστάθμητου παράγοντα (κλίση θερμοκηπίου) που οδήγησε πιθανότατα σε μικρή υδατική καταπόνηση. Όσον αφορά το ξηρό βάρος, η χορήγηση θρεπτικού διαλύματος από απορροή υδροπονικής καλλιέργειας, μείωσε το ξηρό βάρος των φυτών. Σε αντιδιαστολή με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, η βιβλιογραφία υποστηρίζει την αυξημένη ανάπτυξη των φυτών με χρήση θρεπτικού διαλύματος απορροής από υδροπονική καλλιέργεια. Αυτό επιβεβαιώνεται με πειράματα των Choi et al. (2001b) σε κινέζικο λάχανο, όπου η χρήση νερού απορροής οδήγησε σε αύξηση του ξηρού βάρους των φυτών σε σχέση με τη χρήση κανονικού θρεπτικού διαλύματος. Αντίστοιχα αποτελέσματα έδειξαν και οι Zhang et al. (2010). Για την προβαλλόμενη επιφάνεια της φυτικής κόμης, η χορήγηση απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος οδήγησε σε μείωση της επιφάνειας του βασιλικού χωρίς ωστόσο να σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αντίθετα με τα αποτελέσματα αυτά, οι Choi et al., (2011c) έδειξαν πως η επιφάνεια των φύλλων κινέζικου λάχανου που αρδεύτηκαν με νερό απορροής σημείωσε αύξηση σε σχέση με λάχανα που αρδεύτηκαν με κανονικό νερό. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται πως το νερό απορροής έχει αυξημένη συγκέντρωση σε θρεπτικά κι άρα αυξημένη αλατότητα (Katsoulas and Voogt 2014, Σάββας 2011, Miranda et al. 2008, Μαυρογιαννόπουλος 2006). Στην αυξημένη αλατότητα ενδεχομένως να οφείλεται και η ελαφρά μείωση που σημειώνεται στις παραμέτρους ανάπτυξης του βασιλικού.

Αντιοξειδωτική Ικανότητα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το διάλυμα απορροής από υδροπονική καλλιέργεια, μεταξύ άλλων χαρακτηρίζεται και από αυξημένη τιμή ηλεκτρικής

αγωγιμότητας (Miranda et al. 2008). Όπως απεδείχθη και στο πρώτο πειραματικό σκέλος, η αύξηση της αλατότητας οδηγεί σε αύξηση της ενεργοποίησης του αντιοξειδωτικού μηχανισμού του φυτού. Στο σχήμα 3.2.7, υποδεικνύεται πως η μεταχείριση των φυτών με διάλυμα απορροής επέφερε αύξηση στην ποσότητα του ασκορβικού οξέος κατά 21.7% σε σχέση με τον μάρτυρα. Η αύξηση αυτή δηλώνει πως τα φυτά βασιλικού βρέθηκαν υπό την επίδραση καταπόνησης σε αλατότητα και η αύξηση στη περιεκτικότητα του ασκορβικού οξέος αποτέλεσε έναν μηχανισμό άμυνας του φυτού (Colville and Smirnoff, 2008).

Προφίλ Αμινοξέων

Κατά την τελική συγκομιδή, η ολική συγκέντρωση σε αμινοξέα σημείωσε αύξηση στις μεταχειρίσεις σε σχέση με τον μάρτυρα. Η απόκριση του βασιλικού στην άρδευση με διάλυμα απορροής ήταν ανάλογη με την απόκρισή του στην άρδευση με διάλυμα αυξημένης αλατότητας. Όπως και στο πρώτο πειραματικό σκέλος, έτσι και σε αυτό η συγκέντρωση της αργινίνης, της ασπαραγίνης και της γλουταμίνης σημείωσε σημαντική αύξηση. Όπως έχει αναφερθεί και σε πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών, η αύξηση σε αυτά τα αμινοξέα σχετίζεται με την βελτίωση της φυσιολογίας των φυτών έναντι της καταπόνησης σε αλατότητα (Hildebrandt 2018, Martinelli et al. 2007).

Θρεπτική Κατάσταση

Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο «Αποτελέσματα» δεν παρουσιάστηκαν δραματικές αλλαγές στην περιεκτικότητα σε θρεπτικά. Συγκεκριμένα στο N, δεν σημειώθηκαν σημαντικές μεταβολές στην συγκέντρωσή του. Αύξηση παρατηρήθηκε στα K, Ca, Mg. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι το απορρέον νερό από υδροπονική καλλιέργεια εμφανίζει αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Choi et al. 2011c, Σάββας 2011, Miranda 2008, Μαυρογιαννόπουλος 2006). Οι αυξημένες αυτές τιμές οφείλονται στην αυξημένη συγκέντρωση ιόντων στο διάλυμα (Koumar and Cho 2014), κάτι το οποίο οδηγεί σε καταπόνηση λόγω αλατότητας. Όσον αφορά τα υπόλοιπα θρεπτικά τα P, Zn και Mn παρουσίασαν μείωση. Τα Fe και Cu, όπως και το N δεν παρουσίασαν αλλαγές. Γενικότερα, δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα στην βιβλιογραφία όσον αφορά τη θρεπτική κατάσταση των φυτών που υπόκεινται μεταχείριση με απορρέον νερό υδροπονικής καλλιέργειας. Σε αυτό το κομμάτι η βιβλιογραφία έχει κυρίως ασχοληθεί με την επίδραση του νερού απορροής από

υδροπονική καλλιέργεια σε παραμέτρους ανάπτυξης, απόδοσης και ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος (Choi 2011c, Σάββας 2011, Both et al. 1999).

5. Συμπεράσματα

Με βάση την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Πρώτο πειραματικό σκέλος

Η αλατότητα αποτελεί σοβαρό ανασταλτικό παράγοντα για την ανάπτυξη του βασιλικού. Συγκεκριμένα, το ύψος του βασιλικού μειώνεται κατά 46% και 72% στις μεταχειρίσεις με την υψηλότερη αλατότητα κατά την τελική δειγματοληψία. Σημαντική μείωση παρουσιάζεται επίσης και στο ξηρό βάρος των φυτών, αφού σημειώνεται πτώση 65% και 84% για επίπεδα αλατότητας 10 και 15 dS/m αντίστοιχα. Σε μεγάλο βαθμό επίσης επηρεάζεται δυσμενώς και η προβαλλόμενη επιφάνεια των φύλλων. Ειδικότερα, η μείωση που παρουσιάζεται σε αυτόν τον παράγοντα ανέρχεται στο 90%. Αυτό σημαίνει ότι μειώνεται σημαντικά η φυλλοστοιβάδα και άρα η φωτοσυνθετική επιφάνεια.

Εκτός από τις παραμέτρους ανάπτυξης, εξετάστηκαν και βιοχημικές παράμετροι στον βασιλικό. Τα αντιοξειδωτικά 15 μέρες μετά την μεταχείριση παρουσίασαν μέγιστη τιμή στη μεταχείριση αλατότητας 15 dS/m και υπερτερούσαν σε ποσοστό 47,24% σε σχέση με τον μάρτυρα. Παρόλα αυτά, στις 30 ημέρες πειράματος η συγκέντρωση σε αντιοξειδωτικά μειώθηκε δραστικά, σε ποσοστό 56,33%. Όσον αφορά την συγκέντρωση σε αμινοξέα, παρουσιάστηκε και εδώ αύξηση στη συγκέντρωσή τους. Μάλιστα η αύξηση αυτή ήταν 5 φορές μεγαλύτερη στη μεταχείριση 10 dS/m και 8 φορές μεγαλύτερη στη μεταχείριση 15 dS/m. Τα διαγράμματα του προφίλ αμινοξέων έδειξαν πως η αύξηση αυτή οφείλονταν κυρίως στην αυξημένη συσσώρευση συγκεκριμένων αμινοξέων όπως η ασπαραγίνη και η γλουταμίνη.

Σχετικά με τα μακροθρεπτικά, κατά την τελική δειγματοληψία παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση στη συγκέντρωση του N στην μεταχείριση 15 dS/m. Το P παρουσιάζει μέγιστο στον μάρτυρα ενώ η συγκέντρωσή του μειώνεται με αύξηση της αλατότητας. Αντίθετο ήταν το πρότυπο αύξησης K, Ca και Mg, οι συγκεντρώσεις ήταν αυξημένες στις μεταχειρίσεις με μεγάλη τιμή αλατότητας. Όσον αφορά τα μικροθρεπτικά, η συγκέντρωσή τους εμφάνισε μέγιστες τιμές στον μάρτυρα, ενώ η αύξηση της αλατότητας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της περιεκτικότητας των ιστών σε Fe, Zn, Mn και Cu.

Δεύτερο πειραματικό σκέλος

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το πρώτο πειραματικό σκέλος, φαίνεται πως το όριο ανοχής για την ανάπτυξη του βασιλικού είναι τα 5 dS/m. Επίσης, η άρδευση με απορρέον νερό υδροπονικής καλλιέργειας επιφέρει καταπόνηση λόγω αλατότητας χωρίς σοβαρή μείωση στη παραγωγή. Η ενισχυμένη βιοσύνθεση αντιοξειδωτικών και συγκεκριμένων αμινοξέων ενδεχομένως προσδίδει αντοχή στο φυτό για να αντιμετωπίσει την αλατότητα. Έτσι, ο βασιλικός μπορεί να προσφερθεί ως δευτερεύουσα καλλιέργεια για την αξιοποίηση του απορρέοντος νερού από κύρια υδροπονική καλλιέργεια αγγουριάς.

Παρά τη χρήση αρδευτικού νερού με αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα, δεν παρατηρείται σημαντική μείωση στην ανάπτυξη του φυτού. Από άποψη βιοχημικών αποκρίσεων, η αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας σε αντιοξειδωτικά κατά 21,7% σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Τα αμινοξέα και αυτά αυξάνονται σημαντικά με την ελαφρά καταπόνηση σε αλατότητα. Τέλος, όσον αφορά τις ανάγκες σε θρεπτικά, η ανάπτυξη των φυτών υπό συνθήκες αλατότητας (εντός του ορίου ανοχής), είχε ως αποτέλεσμα οι ιστοί των φυτών που υπέστησαν μεταχείριση σε σχέση με τον μάρτυρα να παρουσιάσουν αυξημένη συγκέντρωση θρεπτικών στα φύλλα.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive Oxygen Species; Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55(1), 373–399.
2. Attia, H., Ouhibi, C., Ellili, A., Msilini, N., Bouzaïen, G., Karray, N., & Lachaâl, M. (2011). Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(3), 823–833.
3. Baratta, M. T., Dorman, H. J. D., Deans, S. G., Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., & Ruberto, G. (1998). Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 13(4), 235–244.
4. Bartosz, G. (1997). Oxidative stress in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 19(1), 47-64.
5. Batista-Silva, W., Heinemann, B., Rugen, N., Nunes-Nesi, A., Araújo, W. L., Braun, H. P., & Hildebrandt, T. M. (2019). The role of amino acid metabolism during abiotic stress release. *Plant, cell & environment*, 42(5), 1630-1644.
6. Bernstein, L. (1975). Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual review of phytopathology*, 13(1), 295-312.
7. Bernstein, N., Kravchik, M., & Dudai, N. (2010). Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. *Annals of Applied Biology*, 156(2), 167–177.
8. Blaylock, A. D. (1994). Soil salinity, salt tolerance, and growth potential of horticultural and landscape plants. University of Wyoming, Cooperative Extension Service, Department of Plant, Soil, and Insect Sciences, College of Agriculture.
9. Both A.J., Albright L.D., Scholl S.S., Langhans R.W. (1999) Maintaining constant root environments in floating hydroponics to study root-shoot relationships. *Acta Hortic (ISHS)* 507;215–221
10. Brady, N. C., Weil, R. R., & Brady, N. C. (2010). *Elements of the nature and properties of soils* (No. 631.4 B733E.). Upper Saddle River, NJ; Pearson educational international.

11. Caliskan, O., Kurt, D., Temizel, K. E., & Odabas, M. S. (2017). Effect of salt stress and irrigation water on growth and development of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Open Agriculture*, 2(1), 589–594.
12. Carović-Stanko, K., Liber, Z., Politeo, O., Strikić, F., Kolak, I., Milos, M., & Satovic, Z. (2011). Molecular and chemical characterization of the most widespread *Ocimum* species. *Plant Systematics and Evolution*, 294(3), 253–262.
13. Chiang, L. C., Ng, L. T., Cheng, P. W., Chiang, W., & Lin, C. C. (2005). Antiviral activities of extracts and selected pure constituents of *Ocimum basilicum*. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 32(10), 811–816.
14. Choi B, Lim JE, Shin YK, Yang JE, Lee SS, Ok YS (2011c) Effect of waste nutrient solution and reclaimed wastewater on Chinese cabbage growth and soil properties. *Korean J Soil Sci Fert* 44(3);394–399
15. Colville, L., & Smirnoff, N. (2008). Antioxidant status, peroxidase activity, and PR protein transcript levels in ascorbate-deficient *Arabidopsis thaliana* vtc mutants. *Journal of Experimental Botany*
16. Dagar, J. C., Minhas, P. S., & Kumar, M. (2012). Cultivation of medicinal and aromatic plants in saline environments. *Plant Sciences Reviews* 2011, 21.
17. Dawood, M. G., Taie, H. A. A., Nassar, R. M. A., Abdelhamid, M. T., & Schmidhalter, U. (2014). The changes induced in the physiological, biochemical and anatomical characteristics of *Vicia faba* by the exogenous application of proline under seawater stress. *South African Journal of Botany*, 93, 54-63.
18. De Masi, L., Siviero, P., Esposito, C., Castaldo, D., Siano, F., & Laratta, B. (2006). Assessment of agronomic, chemical and genetic variability in common basil (*Ocimum basilicum* L.). *European Food Research and Technology*, 223(2), 273–281.
19. Durner, E. F. (2013). *Principles of horticultural physiology*. CABI.
20. FAO & ITPS. (2015). *Global soil resources - Status of the World's Soil Resources (Main Report)*.

21. Feigin, A. (1985). Fertilization management of crops irrigated with saline water. In *Biosalinity in Action; Bioproduction with Saline Water* (pp. 285-299). Springer, Dordrecht.
22. Fougere, F., Le Rudulier, D., & Streeter, J. G. (1991). Effects of salt stress on amino acid, organic acid, and carbohydrate composition of roots, bacteroids, and cytosol of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant physiology*, 96(4), 1228-1236.
23. Gest, N., Gautier, H., & Stevens, R. (2013). Ascorbate as seen through plant evolution; the rise of a successful molecule?. *Journal of Experimental Botany*, 64(1), 33-53.
24. Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1992). Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments. *Agriculture, ecosystems & environment*, 38(4), 275-300.
25. Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1999). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. *Handbook of plant and crop stress*, 2, 203-229.
26. Greenway, H., & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual review of plant physiology*, 31(1), 149-190.
27. Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1), 463-499.
28. Hildebrandt, T. M. (2018). Synthesis versus degradation; directions of amino acid metabolism during *Arabidopsis* abiotic stress response. *Plant molecular biology*, 98(1-2), 121-135.
29. Hiltunen, R., & Holm, Y. (1999). Essential oil of *Ocimum*. In *Basil* (pp. 83-116). CRC Press.
30. Hiltunen, R., & Holm, Y. (Eds.). (1999). *Basil; the genus Ocimum*. CRC Press.
31. Hoai, N. T. T., Shim, I. S., Kobayashi, K., & Kenji, U. (2003). Accumulation of some nitrogen compounds in response to salt stress and their relationships with salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Growth Regulation*, 41(2), 159-164.
32. Hossain, M. A., Munné-Bosch, S., Burritt, D. J., Diaz-Vivancos, P., Fujita, M., & Lorence, A. (Eds.). (2017). *Ascorbic Acid in Plant Growth, Development*

- and Stress Tolerance. Springer.Hsiao, T. C. (1973). Plant responses to water stress. *Annual review of plant physiology*, 24(1), 519-570.
33. Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity; A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 541–549.
 34. Huang C., He W., Guo J., Chang X., Su P., Zhang L. (2005). Increased sensitivity to salt stress in an ascorbate deficient *Arabidopsis* mutant. *Journal of Experimental Botany*, 56, 3041-3049
 35. Jouyban, Z. (2012). The effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(1), 7-10.
 36. Katsoulas, N., & Voogt, W. (2013, June). Recent trends in salinity control for soilless growing systems management. In *International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation 1034* (pp. 433-442).Savvas,
 37. Kaya, I., Yigit, N., & Benli, M. (2008). Antimicrobial activity of various extracts of *Ocimum basilicum* L. and observation of the inhibition effect on bacterial cells by use of scanning electron microscopy. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 5(4), 363
 38. Knight, H., Trewavas, A. J., & Knight, M. R. (1997). Calcium signalling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity. *The Plant Journal*, 12(5), 1067-1078.
 39. Kovács, Z., Simon-Sarkadi, L., Vashegyi, I., & Kocsy, G. (2012). Different accumulation of free amino acids during short-and long-term osmotic stress in wheat. *The Scientific World Journal*, 2012.
 40. Kumar, R. R., & Cho, J. Y. (2014). Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(16), 9569-9577.
 41. Läuchli, A., & Lüttge, U. (Eds.). (2002). *Salinity; environment-plants-molecules* (pp. 229-248). The Netherlands; Kluwer Academic Publishers.
 42. Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses* (No. Ed. 2). Academic Press..
 43. Lin, C. C., Hsu, Y. T., & Kao, C. H. (2002). The effect of NaCl on proline accumulation in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 36(3), 275-285.
 44. Maimaiti, A., Yunus, Q., Iwanaga, F., Mori, N., Tanaka, K., & Yamanaka, N. (2014). Effects of salinity on growth, photosynthesis, inorganic and organic

- osmolyte accumulation in *Elaeagnus oxycarpa* seedlings. *Acta physiologiae plantarum*, 36(4), 881-892.
45. Mansour, M. M. F. (2000). Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. *Biologia Plantarum*, 43(4), 491-500.
 46. Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. In *Mineral nutrition of higher plants*.
 47. Martinelli, T., Whittaker, A., Bochicchio, A., Vazzana, C., Suzuki, A., & Masclaux-Daubresse, C. (2007). Amino acid pattern and glutamate metabolism during dehydration stress in the 'resurrection' plant *Sporobolus stapfianus*; a comparison between desiccation-sensitive and desiccation-tolerant leaves. *Journal of Experimental Botany*, 58(11), 3037-3046.
 48. Miranda, F.R., Lima, R.N., Crisóstomo L.A, Santana M.G.S. (2008) Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. *Aquac Eng* 39(1);1–5
 49. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*.
 50. Munns, R., & Gilliam, M. (2015). Salinity tolerance of crops - what is the cost? *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.13519>
 51. Munns, R., & Termaat, A. (1986). Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13(1), 143–160.
 52. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*.
 53. Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., & Pardo, J. M. (1995). Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*, 109(3), 735.
 54. Page, A. L. (1990). Deficiencies and toxicities of trace elements. *Agricultural Salinity Assessment and Management*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 71, 138-160.
 55. Park CJ, Yang JE, Kim KH, Yoo KY, Ok YS (2005) Recycling of hydroponic waste solution for red pepper (*Capsicum annum* L.) growth. *Korean J Environ Agric* 24(1);24–28
 56. Paton, A. and Putievsky E. (1996). Taxonomic problems and cytotoxic relationships between and within varieties of *O. basilicum* and related species (Labiatae). *Kew. Bull.* 51, 509–524.

57. Pessaraki, M. (Ed.). (2011). Handbook of plant and crop stress. CRC press.
58. Polle, A. (2001). Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate-glutathione-pathway in chloroplasts by metabolic modeling. Computer simulations as a step towards flux analysis. *Plant physiology*, 126(1), 445-462.
59. Popović, Z., Kostić, M., Popović, S., & Skorić, S. (2006). Bioactivities of essential oils from basil and sage to *Sitophilus oryzae* I. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*.
60. Prajapati, K., & Modi, H. A. (2012). The importance of potassium in plant growth—a review. *Indian Journal of Plant Sciences*, 1(2), 177-186.
61. Rai, V. K. (2002). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia plantarum*, 45(4), 481-487.
62. Raven, J. A. (1985). Tansley review no. 2. Regulation of pH and generation of osmolarity in vascular plants; a cost-benefit analysis in relation to efficiency of use of energy, nitrogen and water. *New Phytologist*, 25-77.
63. Rhoades, J. D. (1992). The use of saline waters for crop production (No. 628.167 F3). FAO.
64. Rodríguez-González, Á., Álvarez-García, S., González-López, Ó., Da Silva, F., & Casquero, P. A. (2019). Insecticidal Properties of *Ocimum basilicum* and *Cymbopogon winterianus* against *Acanthoscelides obtectus*, Insect Pest of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Insects*.
65. Shadia, E., El-Aziz, A., Omer, E. A., & Sabra, A. S. (2007). Chemical Composition of *Ocimum americanum* Essential Oil and Its Biological Effects Against, *Agrotis ipsilon*, (Lepidoptera; Noctuidae). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*.
66. Shaul, O. (2002). Magnesium transport and function in plants; the tip of the iceberg. *Biometals*, 15(3), 307-321.
67. Simon-Sarkadi, L., Kocsy, G., & Sebestyén, Z. (2002). Effect of salt stress on free amino acid and polyamine content in cereals. *Acta Biologica Szegediensis*, 46(3-4), 73-75.
68. Simpson, M. G. (2007). *Plant systematics*. Academic press.
69. Singh, T. N., Aspinall, D., & Paleg, L. G. (1972). Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley; a potential metabolic measure of drought resistance. *Nature New Biology*, 236(67), 188-190.

70. Sitte, P., Weiler, E., Kadereit, H. J., Bresinsky, A., & Körner, C. (2002). Strasburger, Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 35.
71. Smirnoff, N., & Pallanca, J. E. (1996). Ascorbate metabolism in relation to oxidative stress.
72. Smirnoff, N., & Wheeler, G. L. (2000). Ascorbic acid in plants; biosynthesis and function. *Critical reviews in plant sciences*, 19(4), 267-290.
73. Sonneveld, C. (1999). Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. 149.
74. Surabhi, G. K., Reddy, A. M., Kumari, G. J., & Sudhakar, C. (2008). Modulations in key enzymes of nitrogen metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with differential sensitivity to salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 171-179.
75. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*.
76. Tanou, G., Molassiotis, A., & Diamantidis, G. (2009). Induction of reactive oxygen species and necrotic death-like destruction in strawberry leaves by salinity. *Environmental and experimental botany*, 65(2-3), 270-281.
77. Tarchoune, I., Degl'Innocenti, E., Kaddour, R., Guidi, L., Lachaâl, M., Navari-Izzo, F., & Ouerghi, Z. (2012). Effects of NaCl or Na₂SO₄ salinity on plant growth, ion content and photosynthetic activity in *Ocimum basilicum* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(2), 607–615
78. Tarchoune, I., Sgherri, C., Izzo, R., Lachaal, M., Ouerghi, Z., & Navari-Izzo, F. (2010). Antioxidative responses of *Ocimum basilicum* to sodium chloride or sodium sulphate salinization. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(9), 772–777.
79. Thakur, P. S., & Rai, V. K. (1982). Dynamics of amino acid accumulation of two differentially drought resistant *Zea mays* cultivars in response to osmotic stress. *Environmental and Experimental Botany*, 22(2), 221-226.
80. Ullah, S. M., Soja, G., & Gerzabek, M. H. (1994). Ion uptake, osmoregulation and plant-water relations in faba beans (*Vicia Isb* «L.) under salt stress.
81. Von Linne, C. (1800). *Species plantarum*.
82. Winter, G., Todd, C. D., Trovato, M., Forlani, G., & Funck, D. (2015). Physiological implications of arginine metabolism in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 534.

83. Zhang, C.H., Lim, Y.S., Kang, H.M., Kim, I.S. (2010) Effect of nutrient solution concentration on the growth and quality of paprika grown by fertigation using waste nutrient solution. *Korea J Hort Sci Technol* 28(1);46–50
84. Zhou, Q., & Yu, B. J. (2009). Accumulation of inorganic and organic osmolytes and their role in osmotic adjustment in NaCl-stressed vetiver grass seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56(5), 678-685.

Ελληνική Βιβλιογραφία

85. Θεριός, Ι., Ν. (2005). *Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα*. Εκδόσεις Έμβρυο
86. Καραμπουρνιώτης, Α., Γ., Λιακόπουλος Γ., Νικολόπουλος Δ. (2012) *Φυσιολογία Καταπονήσεων Των Φυτών: Οι Λειτουργίες Των Φυτών Κάτω Από Αντίξοες Συνθήκες Περιβάλλοντος*. Εκδόσεις Έμβρυο
87. Μαυρογιαννόπουλος, Γ., Ν. (2006). *Υδροπονικές Εγκαταστάσεις*. Εκδόσεις Σταμούλης
88. Πετρόπουλος, Σ. (2016). *Αρωματικά φυτά με Λαχανοκομική Χρήση*. Εκδόσεις Έμβρυο
89. Σάββας, Δ. (2011). *Καλλιέργειες Εκτός Εδάφους; Υδροπονία, Υποστρώματα*. Εκδόσεις ΑγρόΤυπος Α.Ε.