



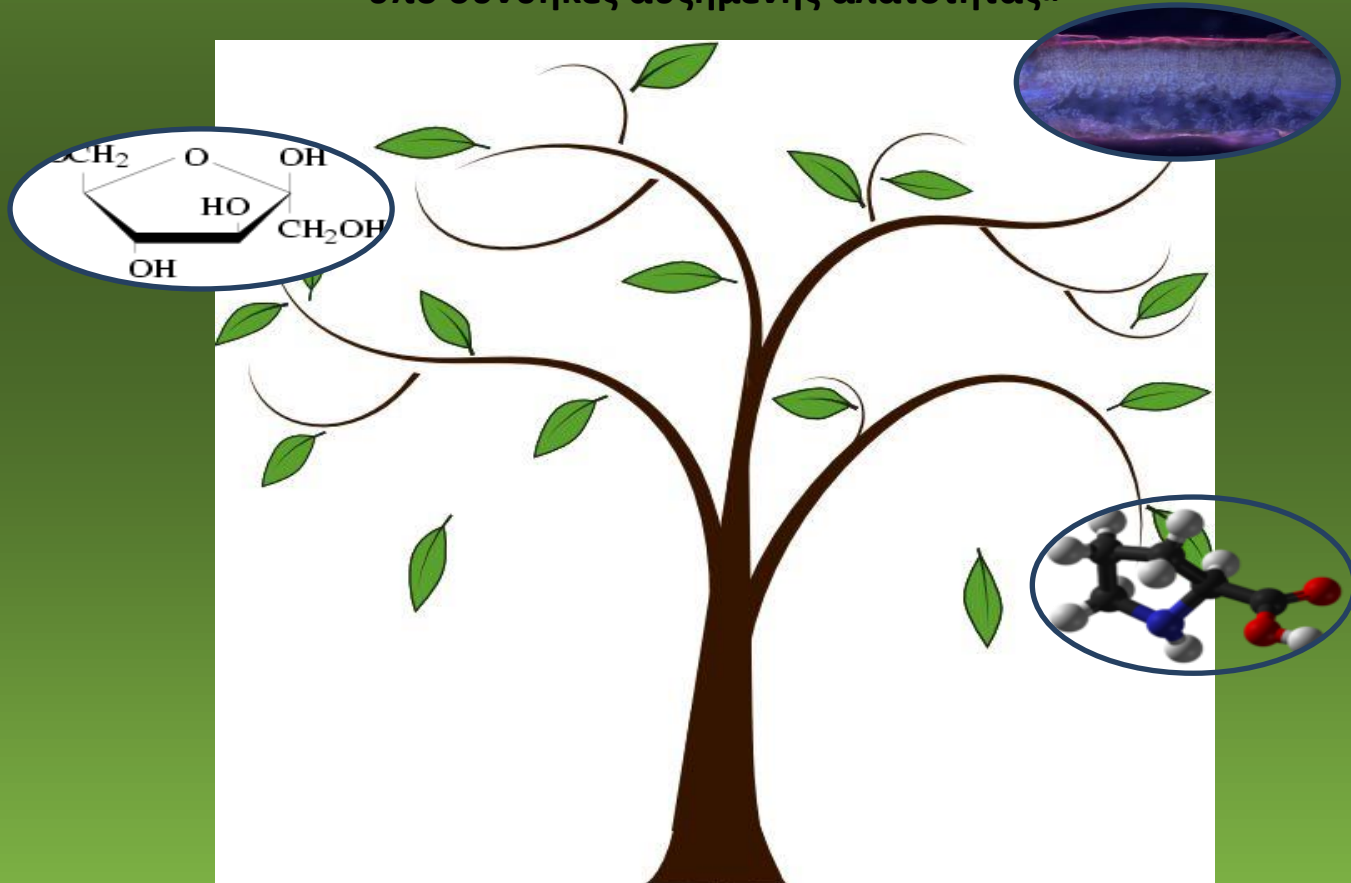
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ  
& ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑΣ

«Επιστήμες & Συστήματα Φυτικής Παραγωγής»

Κατεύθυνση : Δενδροκομία & Αμπελουργία

## Μεταπτυχιακή διατριβή

«Συμπεριφορά της ιαπωνικής μουσμουλιάς  
υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας»



ΣΩΤΗΡΑΣ ΜΑΡΙΟΣ/ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2016



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ  
& ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑΣ

«Επιστήμες & Συστήματα Φυτικής Παραγωγής»

Κατεύθυνση : Δενδροκομία & Αμπελουργία

## Μεταπτυχιακή διατριβή

«Συμπεριφορά της ιαπωνικής μουσμουλιάς  
υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας»

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Παπαδάκης Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής (Επιβλέπων)

Βέμμος Σταύρος, Καθηγητής

Ψυχογιού Μαρία, Επίκουρος Καθηγήτρια

ΣΩΤΗΡΑΣ ΜΑΡΙΟΣ/ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2015

και τι δεν κάνατε για να με θάψετε  
όμως ξεχάσατε πως ήμουν σπόρος.

Ν.Χριστιανόπουλος

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω :

- Τον επιβλέποντα μου Παπαδάκη Ιωάννη (Επίκουρο καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του εργαστηρίου Δενδροκομίας ) για τη βοήθεια του και για την υπομονή του κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής μελέτης.
- Τη Ψυχογιού Μαρία ( Επίκουρο Καθηγήτρια του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του εργαστηρίου Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Υδάτων) για την τιμή που μου έκανε να συμμετάσχει στην Τριμελή Εξεταστική επιτροπή καθώς και για τις γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.
- Το Βέμμο Σταύρο ( Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του εργαστηρίου Δενδροκομίας ) για την τιμή που μου έκανε να συμμετάσχει στην Τριμελή Εξεταστική επιτροπή καθώς και για τις γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.
- Την οικογένειά μου για την αγάπη τους, την υπομονή τους και τη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια για να καταφέρω να γίνω αυτό που είμαι σήμερα.
- Τη Γιαννοπούλου Ευρυδίκη για τη βοήθειά της και για τη συμπαράστασή της στις δύσκολες στιγμές που περάσαμε.

**Στη Βικούλα μου...**

## Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b>	8
<b>Abstarct</b>	10
<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή-βιβλιογραφική ανασκόπηση</b>	12
1.1. Γενικά στοιχεία για την ιαπωνική μουσμουλιά	13
1.1.1. Καλλιεργητικά στοιχεία ιαπωνικής μουσμουλιάς	13
1.1.1.1. Βοτανική ταξινόμηση	14
1.1.1.2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά	14
1.1.1.2.1. Φύλλα	14
1.1.1.2.2. Άνθη	14
1.1.1.2.3. Καρπός	15
1.1.1.3. Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις	16
1.1.1.4. Φαινολογικά στάδια ιαπωνικής μουσμουλιάς	17
1.1.1.5. Πολλαπλασιασμός	18
1.1.1.6. Καλλιεργητικές φροντίδες - Τεχνικές	20
1.1.1.6.1. Κλάδεμα	20
1.1.1.6.2. Αραίωμα καρπών	20
1.1.1.6.3. Άρδευση	21
1.1.1.6.4. Λίπανση	22
1.1.1.6.5. Αποστάσεις φύτευσης	23
1.1.1.6.6. Συγκομιδή καρπών	24
1.2. Η αλατότητα και οι επιδράσεις της στα φυτά	24
1.3. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής	34
<b>Κεφάλαιο 2 : Πειραματικό μέρος</b>	35
<b>Πείραμα Α: «Μελέτη επίδρασης διαφόρων επιπέδων NaCl, χορηγουμένων υδροπονικά, στην πρόσληψη, τις συγκεντρώσεις και την κατανομή Na, Cl και K σε φυτά ιαπωνικής μουσμουλιάς, καθώς και στις συγκεντρώσεις των διαλυτών υδατανθράκων, του αμύλου, της προλίνης, του υπεροξειδίου του υδρογόνου και της μαλονικής διαλδεΐδης»</b>	35
2.1. Υλικά και μέθοδοι	35
2.1.1. Πειραματική διαδικασία	35
2.1.2. Προσδιορισμός συγκεντρώσεων των στοιχείων Cl, Na, K	36
2.1.3. Υπολογισμός των ποσοτήτων των στοιχείων Cl, Na, K στα φύλλα, στους βλαστούς και στις ρίζες	37
2.1.4. Εκχύλιση και ανάλυση διαλυτών σκαχάρων και αμύλου	37
2.1.5. Ανάλυση διαλυτών σακχάρων	37
2.1.6. Ανάλυση αμύλου	38
2.1.7. Προσδιορισμός συγκέντρωσης προλίνης	39
2.1.8. Προσδιορισμός συγκέντρωσης του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) και της μαλονικής διαλδεΐδης (MDA, malondialdehyde)	39
2.1.9. Στατιστική επεξεργασία δεδομένων	40
2.2. Αποτελέσματα	41
2.2.1. Συγκεντρώσεις και ποσότητες Cl, Na, K	41
2.2.1.1. Συγκεντρώσεις Cl	41
2.2.1.2. Ποσότητες Cl	42

2.2.1.3. Συγκεντρώσεις Na	43
2.2.1.4. Ποσότητες Na	44
2.2.1.5. Συγκεντρώσεις K	45
2.2.1.6. Ποσότητες K	46
2.2.1.7. Λόγος συγκεντρώσεων K και Na	47
2.2.2. Διαλυτά σάκχαρα	48
2.2.3. Άμυλο, Προλίνη, Υπεροξειδίου του υδρογόνου (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) και Μαλονική διαλδεΐδη (MDA)	52
<b>Πείραμα Β: «Συμπεριφορά φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς υπό συνθήκες αλατότητας: α) φωτοσυνθετική δραστηριότητα φύλλων, β) συγκεντρώσεις διαλυτών υδατανθράκων, αμύλου, προλίνης, υπεροξειδίου του υδρογόνου και της μαλονικής διαλδεΐδης στα φύλλα και γ) ανατομική και μορφομετρική μελέτη φύλλων»</b>	54
2.3. Υλικά και μέθοδοι	54
2.3.1. Πειραματική διαδικασία	54
2.3.2. Φωτοσυνθετική δραστηριότητα φύλλων	55
2.3.3. Χλωροφύλλη των φύλλων	55
2.3.4. Εκχύλιση και ανάλυση διαλυτών σακχάρων και αμύλου	56
2.3.5. Ανάλυση διαλυτών σακχάρων	56
2.3.6. Ανάλυση αμύλου	56
2.3.7. Προσδιορισμός προλίνης	56
2.3.8. Προσδιορισμός υπεροξειδίου του υδρογόνου (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) και μαλονικής διαλδεΐδης (MDA, malondialdehyde)	56
2.3.9. Ανατομική και μορφομετρική μελέτη των φύλλων	57
2.3.9.1. Στερέωση φυτικών ιστών	57
2.3.9.2. Μικροσκοπία-Μορφομετρικές μετρήσεις	57
2.3.10. Στατιστική επεξεργασία δεδομένων	57
2.4. Αποτελέσματα	58
2.4.1. Φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φύλλων	58
2.4.2. Χλωροφύλλη των φύλλων	60
2.4.3. Διαλυτά σάκχαρα	60
2.4.4. Άμυλο, προλίνη, υπεροξειδίου του υδρογόνου (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) και μαλονική διαλδεΐδη (MDA)	62
2.4.5. Φυτική αύξηση	64
2.4.6. Ανατομική και μορφομετρική μελέτη φύλλων	66
<b>Κεφάλαιο 3 : Συζήτηση και Συμπεράσματα</b>	69
3.1. Συζήτηση	69
3.1.1. Φυτική αύξηση	69
3.1.2. Επίδραση αλατότητας στην απορρόφηση του Na, Cl, K	69
3.1.3. Ανατομία φύλλων	73
3.1.4. Φωτοσυνθετική δραστηριότητα	74
3.1.5. Διαλυτά Σάκχαρα και άμυλο	76
3.1.6. Προλίνη, Υπεροξειδίου του Υδρογόνου (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), μαλονική διαλδεΐδη (MDA)	78
3.2. Συμπεράσματα	79
<b>Βιβλιογραφία</b>	82
Ξενόγλωσση	82
Ελληνική	90

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η συμπεριφορά των φυτών της Ιαπωνικής μουσμουλιάς υπό συνθήκες αλατότητας. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα σε υαλόφρακτο θερμοκήπιο που βρίσκεται στο δενδροκομείο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Στο πείραμα Α μελετήθηκε η επίδραση διαφόρων επιπέδων αλατότητας (0, 6, 12, 24, 48 mM NaCl) χορηγουμένων υδροπονικά στην πρόσληψη, στις συγκεντρώσεις και στην κατανομή των Na, Cl και K σε φυτά Ιαπωνικής μουσμουλιάς, καθώς και στις συγκεντρώσεις των διαλυτών υδατανθράκων, του αμύλου, της προλίνης, του υπεροξειδίου του υδρογόνου και της μαλονικής διαλδεΐδης. Στο πείραμα Β τα φυτά αναπτύχθηκαν επίσης υδροπονικά με διαλύματα που περιείχαν είτε 0 mM NaCl (μάρτυρας) είτε 80 mM NaCl (αλατότητα). Διερευνήθηκε η απόκρισή τους σε ότι αφορά τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φύλλων, τις συγκεντρώσεις των διαλυτών υδατανθράκων, του αμύλου, της μαλονικής διαλδεΐδης, της προλίνης και του υπεροξειδίου του υδρογόνου στα φύλλα και την ανατομική και μορφομετρική μελέτη των φύλλων. Υπό συνθήκες αλατότητας, το βάρος των φύλλων μειώθηκε όπως και το συνολικό μήκος των βλαστών, ενώ δεν επηρεάστηκε το βάρος των βλαστών και ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό. Η συγκέντρωση του Cl<sup>-</sup> υπό συνθήκες αλατότητας ήταν αυξημένη στα φύλλα και στους βλαστούς, ενώ ο λόγος της ποσότητας του Cl (Υπέργειο/Ρίζα) μειώθηκε. Η συγκέντρωση του Cl<sup>-</sup> στους επι μέρους ιστούς μειώθηκε από την ρίζα προς τα φύλλα, υποδηλώνοντας την ύπαρξη μηχανισμού ελέγχου της μεταφοράς του. Το Na<sup>+</sup> συσσωρεύτηκε κυρίως στις ρίζες και στα φύλλα. Ο λόγος της ποσότητας του Na<sup>+</sup> (Υπέργειο/Ρίζα), γεγονός που ενδεχομένως υποδεικνύει τον περιορισμό του Na<sup>+</sup> στην ρίζα. Η συγκέντρωση του K<sup>+</sup> υπό συνθήκες αλατότητας μειώθηκε μόνο στους βλαστούς. Επίσης, ο λόγος της ποσότητας K<sup>+</sup> (Υπέργειο/Ρίζα) μειώθηκε. Ο λόγος των συγκεντρώσεων K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες μειώθηκε, γεγονός υποδηλώνει την ευαισθησία της Ιαπωνικής μουσμουλιάς στην αλατότητα. Από την ανατομική μελέτη των φύλλων προέκυψε πως σε συνθήκες αλατότητας αν και δεν επηρεάστηκε το πάχος των φύλλων, αυξήθηκε το πάχος του σπογγώδους παρεγχύματός



τους. Επιπλέον, αυξήθηκε το μέγεθος και ο αριθμός των ελαιοσταγονιδίων. Σε συνθήκες αλατότητας, επηρεάστηκε αρνητικά ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, η στοματική αγωγιμότητα και ο ρυθμός διαπνοής ενώ δε μεταβλήθηκε το μεσοκυττάριο CO<sub>2</sub>. Στα φύλλα της ιαπωνικής μουσουλιάς, τα κύρια σάκχαρα ήταν η σακχαρόζη και η σορβιτόλη ενώ σε κατά πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις αυτών βρέθηκαν η γλυκόζη, η φρουκτόλη και η μαννιτόλη. Υπό συνθήκες αλατότητας, μειώθηκαν οι συγκεντρώσεις της σακχαρόζης και της σορβιτόλης, αυξήθηκαν της γλυκόζης και της φρουκτόζης και δεν επηρεάστηκαν αυτές του αμύλου. Η υψηλή συγκέντρωση της μαλονικής διαλδεΐδης (MDA) στα φύλλα υποδηλώνει σημαντικές καταστροφές στις κυτταρικές τους μεμβράνες, πιθανόν λόγω έντονης οξειδωτικής καταπόνησης (υψηλή συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου), υπό συνθήκες αλατότητας. Παράλληλα, όμως, παρατηρήθηκε αύξηση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) αλλά και της προλίνης, ενός μορίου με αντιοξειδωτικό ή/και ωσμοπροστατευτικό ρόλο.

## Effect of high salinity on loquat plants

### Abstract

The purpose of this dissertation was to study the behavior of the plants of loquat plants under salinity conditions. For this reason, two experiments were conducted in greenhouse glazing located in the arboretum of the Agricultural University of Athens. In experiment A, the effect of different levels of salinity (0, 6, 12, 24, 48 mM NaCl) granted hydroponic recruiting, the concentrations and distribution of Na, Cl and K in loquat plants, and the concentrations of soluble carbohydrates, starch, proline, hydrogen peroxide and malondialdehyde. In experiment B, plants grown hydroponically too with solutions containing either 0 mM NaCl (control) or 80 mM NaCl (salinity). Investigated their response with regard to the photosynthetic activity of leaves, the concentrations of soluble carbohydrates, starch, malondialdehyde, proline and hydrogen peroxide in leaves and leaf anatomy and morphometry. Under conditions of salinity the weight of leaves and the total length of shoots decreased while the weight of shoots and number of leaves were unaffected. The concentration of  $\text{Cl}^-$  on loquat plants under salinity conditions was increased in leaves and stems, while the ratio of Cl (Stem/Root) decreased. Concentration of  $\text{Cl}^-$  in individual tissues was reduced from root to leaves, indicating the existence of a transmission control mechanism. The concentration of  $\text{Na}^+$  was mainly accumulated in the roots and leaves of loquat plants under salinity conditions. The ratio of Na (Stem/Root) increased, probably due to a potential restriction mechanism of  $\text{Na}^+$  in root. The concentration of  $\text{K}^+$  under salinity conditions decreased only in shoot. Moreover, the ratio  $\text{K}^+$  (Stem/Root) was reduced. The ratio of  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  in leaves, stems and roots decreased, which likely marks the sensitivity of loquat plants in salinity. The anatomical study of leaves showed that even though salinity conditions did not affect the thickness of leaves, did increase the thickness of spongy parenchyma. In addition the size and number of oil grains were increased. Under high salinity conditions the rate of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration rate were negatively affected while the intercellular  $\text{CO}_2$  did not change. In loquat plants leaves the glucosides with high concentrations were sucrose and sorbitol while glucose, fructose and mannitol followed with extremely lower concentrations. Under high salinity conditions the concentrations of sucrose, sorbitol were decreased the concentrations of glucose and fructose were increased and the starch

concentration was not affected. High concentration of MDA in leaves is indicative of the distraction of cell membranes of loquat plants leaves, probably due to oxidative stress (high concentration of hydrogen peroxide) caused by high salinity conditions. At the same time high concentrations of hydrogen peroxide and proline were observed, proline is a molecule with an antioxidant and / or osmotic protection role.

**Keywords:** salinity, carbohydrates, starch, photosynthetic activity, proline, hydrogen peroxide, malondialdehyde, leaf anatomy, intercellular CO<sub>2</sub>, stomatal conductance, transpiration rate

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή - βιβλιογραφική ανασκόπηση

#### 1.1. Γενικά στοιχεία για την ιαπωνική Μουσμουλιά

Η ιαπωνική Μουσμουλιά (*japonica*) είναι δέντρο αειθαλές και ιθαγενές της Κίνας και μπορεί να φτάσει σε ύψος τα 6-10 m (Crane & Caldeira, 2009). Το γένος *Eriobotrya* έχει 26 είδη στα τροπικά δάση που βρίσκονται στα Ιμαλάια, από τα οποία 5 μόνο είδη παράγουν εδώδιμους καρπούς, το πιο διαδεδομένο είναι το *Eriobotrya japonica*. Οι εδώδιμοι καρποί του μπορούν να καταναλωθούν ως φρέσκα φρούτα καθώς και να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή μαρμελάδων, ζελέδων και σακχαρόπηκτων.



Εικόνα 1. Φρέσκα φρούτα μουσμουλιάς



Εικόνα 2. Ζελέ γιαουρτιού με μούσμουλα

Στη χώρα μας η καλλιέργεια της ιαπωνικής μουσμουλιάς έχει δευτερεύουσα οικονομική σημασία. Η καλλιέργειά της συναντάται κυρίως στην Πελοπόννησο, την Κρήτη, τα Δωδεκάνησα και τα Επτάνησα. Διάφορες άλλες κοινές- τοπικές ονομασίες που ακούγονται στα περίχωρα της Ελλάδας είναι οι εξής: μεσπιλαία (Πελοπόννησο), δεσπολιά (Κρήτη), νεσπολιά ή νοσπολιά (Κέρκυρα) και πολημιδιά (Κύπρος) (Λιονάκης, 2008). Στην Αγγλική γλώσσα η ιαπωνική μουσμουλιά ονομάζεται loquat ενώ στα Ισπανικά ως Nispero.

Καλλιεργούνται στη χώρα μας 828 στρέμματα με δέντρα ιαπωνικής μουσμουλιάς, έχοντας ως ετήσια παραγωγή γύρω στους 1920 τόνους σε καρπούς (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2006). Στην Κίνα καλλιεργούνται 1.200.000 στρέμματα με μέση ετήσια παραγωγή

400.000 τόνους. Στη λεκάνη της Μεσογείου, η Ισπανία και η Τουρκία είναι οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή (Morley – Bunker, 2011). Εξαιτίας της έλλειψης που έχει η αγορά, σε πρώιμα φρέσκα φρούτα κατά την άνοιξη, υπάρχει εκδήλωση αυξημένου ενδιαφέροντος από τους καταναλωτές (Ποντίκης, 2003).

### 1.1.1 Καλλιεργητικά στοιχεία ιαπωνικής μουσμουλιάς

#### 1.1.1.1. Βοτανική ταξινόμηση

Η ιαπωνική μουσμουλιά (*Eriobotrya japonica*) είναι μέλος της υποοικογένειας των Μηλοειδών (*Pomaceae*), της οικογένειας των Ροδωδών (*Rosaceae*), της υποτάξεως των *Rosales*, της τάξεως *Magnolio Spida*, του τμήματος *Magnoliophyta*.



Εικόνα 3. Δένδρο Ιαπωνικής μουσμουλιάς (*Eriobotrya japonica*).

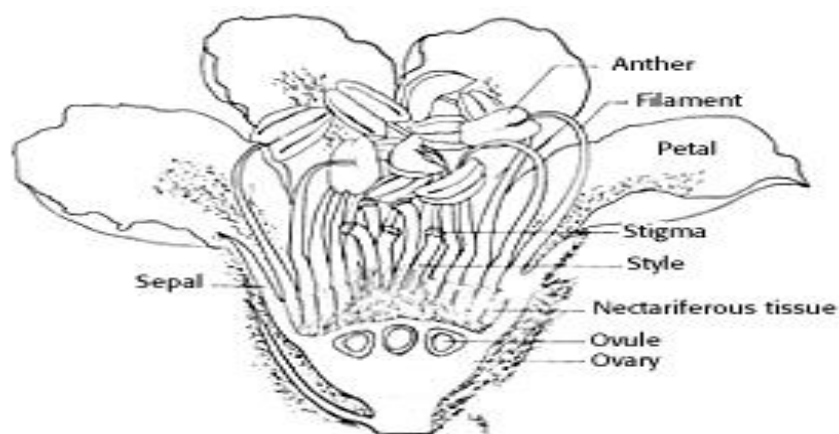
### 1.1.1.2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά

#### 1.1.1.2.1 Φύλλα

Η ιαπωνική μουσμουλιά είναι δέντρο αειθαλές μικρής ανάπτυξης, πλαγιόκλαδο και μακρόβιο. Τα φύλλα είναι απλά κατ' εναλλαγή, μεγάλα (15-25 cm), ελλειπτικά έως επιμήκη, οδοντωτά, βαθυπράσινα στην πάνω επιφάνεια χνουδωτά στην κάτω, και βαθύμισχα με παράφυλλα (Ποντίκης, 2003).

#### 1.1.1.2.2. Άνθη

Παρουσιάζει κύκλους βλάστησης (κατά κύματα), ο πιο σπουδαίος είναι αυτός της άνοιξης. Όταν η αύξηση των βλαστών σταματήσει ο κορυφαίος οφθαλμός γίνεται ανθοφόρος (Βασιλακάκης, 2004). Τα άνθη είναι μικρά, λευκά, εύοσμα και φέρονται σε επάκριες, σύνθετες, βοτρυώδεις ανθοταξίες. Το άνθος αποτελείται από τον κάλυκα που φέρει 5 σέπαλα, τη στεφάνη που αποτελείται από 5 πέταλα, τους 20 περίπου στήμονες και τον ύπερο. Ο ύπερος αποτελείται από την ωθήκη και από 2 έως 5 στύλους. Η ωθήκη είναι υπόγυνη, δίχωρη έως πεντάχωρη, με δύο σπερμοβλάστες σε κάθε χώρο.



**Εικόνα 4.** Μορφολογικά χαρακτηριστικά άνθους ιαπωνικής μουσμουλιάς, όπου διακρίνονται τα σέπαλα, τα πέταλα, οι στήμονες και ο ύπερος.

Η ιαπωνική μουσμουλιά ανθίζει αργά το φθινόπωρο ή ακόμα και μέσα στο χειμώνα. Είναι εντομόφιλο και η μεταφορά της γύρης πραγματοποιείται κυρίως με τις επικονιάστριες μέλισσες. Οι περισσότερες ποικιλίες είναι αυτογόνιμες ωστόσο η σταυρογονιμοποίηση οδηγεί συχνά σε μεγαλύτερες αποδόσεις. Ο καρπός έχει σχήμα σφαιρικό έως ωοειδές, ο φλοιός έχει χρώμα υποκίτρινο έως πορτοκαλόχρωμα, η σάρκα είναι χυμώδης με υπόξινη γεύση και περιέχει ένα έως πέντε καστανόχρωμα σπέρματα, μπορεί σε σπάνιες περιπτώσεις να συναντήσουμε έως δέκα (Ποντίκης, 2003).



**Εικόνα 5.** Ιαπωνική μουσμουλιά σε περίοδο ανθοφορίας

#### **1.1.1.2.3 Καρπός**

Οι καρποί αναπτύσσονται σε ταξικαρπίες των 4-30 καρπών. Ο κάθε καρπός είναι χρώματος χρυσοκίτρινου, σχήματος οβάλ, με παχύ φλοιό, χωρίς χνούδι. Έχει μεγάλα σπέρματα, συνήθως 3-5, χρώματος σοκολατί. Η σάρκα είναι κίτρινη-κρεμ, υπόξινη-γλυκιά και εύγευστη. Ο καρπός ωριμάζει, από νωρίς, Φεβρουάριο- Απρίλιο, στα πιο ζεστά κλίματα καλλιέργειάς της ανά τον κόσμο, ενώ αρκετά αργότερα, Ιούνιο, στα ψυχρότερα μέρη (Morton, 1987).



Εικόνα 6. Ταξικαρπία με καρπούς της Ιαπωνικής μουσμουλιάς (*Eriobotrya japonica*)

Οι καρποί δύσκολα αποκόπτονται από την ταξικαρπία δίχως να σχιστούν-τραυματιστούν στο σημείο πρόσφυσής τους στον ποδίσκο. Πρέπει να αφαιρούνται προσεκτικά, είτε μεμονωμένα είτε αφαιρώντας ολόκληρη την ταξικαρπία με τα χέρια. Τα ώριμα μούσμουλα δύναται να αποθηκευτούν στο ψυγείο για χρονικό διάστημα 1-2 εβδομάδων (Morton, 1987). Δείκτης ωριμότητας αποτελεί η αλλαγή του χρώματος του φλοιού. Το καταλληλότερο στάδιο συλλογής θεωρείται το στάδιο κατά το οποίο το χρώμα του φλοιού μετατρέπεται από πράσινο σε κίτρινο ή πορτοκαλί, ανάλογα με την ποικιλία. Τα μούσμουλα που συλλέγονται κατόπιν πλήρης ωρίμανσης πάνω στο δένδρο παρουσιάζουν καλύτερη γεύση από εκείνα που συλλέγονται μερικώς ώριμα, δεδομένου ότι οι καρποί της ιαπωνικής μουσμουλιάς είναι μη κλιμακτηριακοί. Κατά τη συγκομιδή, πρέπει όχι μόνο να έχει αλλάξει το χρώμα του φλοιού αλλά παράλληλα η σάρκα να διατηρείται συνεκτική (Kader, 2011).

#### 1.1.1.3. Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις

Η ιαπωνική μουσμουλιά ευδοκμεί σε περιοχές με ήπιο κλίμα και υψηλές βροχοπτώσεις, όμως αναπτύσσεται και καρποφορεί ικανοποιητικά και σε δροσερές τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Εάν οι περιοχές αυτές δέχονται λίγες βροχοπτώσεις τότε συνιστάται πότισμα. Αν και εμφανίζει αντοχή σε θερμοκρασίες μέχρι τους  $-12^{\circ}\text{C}$ , σε θερμοκρασίες της τάξεως  $-4^{\circ}\text{C}$  έως  $-5^{\circ}\text{C}$  είναι δυνατό να νεκρωθούν τα σπέρματα των καρπών έχοντας ως συνέπεια την πρόκληση καρπόπτωσης. Η υψηλή θερμοκρασία σε



συνδυασμό με έντονη ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ωρίμανσης συχνά προκαλούν εγκαύματα στους καρπούς (Morton, 1987).

Αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε βαθιά αργιλλοπηλώδη με καλή αποστράγγιση. Εμφανίζει ευαισθησία στα άλατα και για αυτό συνιστάται η αποφυγή εγκατάστασής της σε αλατούχα εδάφη και η άρδευση να πραγματοποιείται με νερό καλής ποιότητας. Χρειάζεται προσοχή, σε άγονα εδάφη ή σε συνθήκες έλλειψης νερού. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο το δένδρο αναπτύσσει μειωμένη βλάστηση κι ενώ παράγει καρπό με καλή γεύση και χρώμα, η αναλογία σπερμάτων προς σάρκα είναι μεγαλύτερη από το επιθυμητό.

#### **1.1.1.4. Φαινολογικά στάδια ιαπωνικής μουσμουλιάς**

Τα διάφορα φαινολογικά στάδια του δέντρου της ιαπωνικής μουσμουλιάς κατά τη διάρκεια του έτους εικονίζονται στην Εικ.7. Μεταξύ αυτών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στάδια της έναρξης έκπτυξης των βλαστοφόρων (010) και ανθοφόρων (501) οφθαλμών, της εμφάνισης της ανθοταξίας (504), της άνθισης (605, 607), της καρπόδεσης (701) και της πλήρους ωρίμανσης των καρπών (807).



Εικόνα 7. Φαινολογικά στάδια δέντρου ιαπωνικής μουσμουλιάς (Martinez-Calvo et al., 1999).

#### 1.1.1.5. Πολλαπλασιασμός

Η ιαπωνική μουσμουλιά (*Eriobotrya japonica*) δύναται να πολλαπλασιαστεί εγγενώς και αγενώς. Ο βασικός τρόπος είναι με εμβολιασμό της επιθυμητής ποικιλίας σε υποκείμενα-σπορόφυτα, είτε με ασπιδωτό ενοφθαλμισμό είτε με σχιστό-κορυφής εγκεντρισμό. Η ιαπωνική μουσμουλιά πολλαπλασιάζεται εμβολιάζοντας την επιθυμητή ποικιλία σε σπορόφυτα ή κλωνικά υποκείμενα ιαπωνικής μουσμουλιάς (*Eriobotrya japonica*), γερμανικής μουσμουλιάς (*Mespilus germanica*), κυδωνιάς (*Cydonia oblonga*), πυράκανθου (*Pyracantha* spp.) η οποία προσδίδει στα δέντρα χαμηλό ύψος, και κράταιγου (*Crataegus monogyna*) (Crane & Caldeira, 2009). Ο εμβολιασμός πραγματοποιείται εφαρμόζοντας την τεχνική όρθιου T (ενοφθαλμισμός) ή με σχίσμο της κορυφής του υποκειμένου και αντιστοίχως διαμόρφωσης της βάσης του εμβολίου σε μορφή αμφίπλευρης σφήνας (εγκεντρισμός) (Λιονάκης, 2008). Ο εμβολιασμός σε σπορόφυτα μουσμουλιάς έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δένδρων μεγάλης ανάπτυξης με υψηλή κόμη. Όταν ο εμβολιασμός γίνει σε νάνα υποκείμενα κυδωνιάς τα δένδρα γίνονται μικρότερα και εισέρχονται νωρίτερα σε καρποφορία. Τα μικρότερα δένδρα δεν

έχουν καμία επίδραση στο μέγεθος των καρπών, αποδίδουν ικανοποιητικά και διευκολύνουν την συγκομιδή.

Επιπροσθέτως δύναται ως τρόπος πολλαπλασιασμού η εφαρμογή εναέριων καταβολάδων χρησιμοποιώντας συνήθως αυξητικές ορμόνες για την αύξηση των ποσοστών ριζοβολίας (ινδολυλοβουτυρικό οξύ σε συγκέντρωση 250 ppm) (Ποντίκης, 2003), καθώς και με ιστοκαλλιέργεια (σωματικά έμβρυα), μικρομοσχεύματα και μικροπολλαπλασμό με επάκριους και πλευρικούς βλαστούς (Morton, 1987). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κυριότερες ποικιλίες και τα υποκείμενα που χρησιμοποιούνται στις χώρες της λεκάνης της Μεσογείου, σύμφωνα με άρθρο του Llácer et al. (1995).

**Πίνακας 1.** Ποικιλίες και υποκείμενα που χρησιμοποιούνται στις χώρες της Μεσογείου (Llácer et al., 1995).

Χώρα	Ποικιλίες	Υποκείμενα
Κύπρος	Μόρφου, 'Karantoki'	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς
Αίγυπτος	'Early suckary'; 'Large round'; 'Advance'; 'Premier'; 'Late Victoria'	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς, Κυδωνιά
Ελλάδα	Τουρλωτή, Ροζενών, 'Koilarato	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς
Ισραήλ	'Akko 1'; 'Akko 13	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς
Ιταλία	'Nespolone di Trabia'; 'Nespolone Bianco'; 'Vainiglia, Sanfilippara', 'Virticchiara'	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς, Κυδωνιά
Μαρόκο	Tanaka'; 'Saint Michel'; 'Algerie'	Κυδωνιά
Πορτογαλία	'Tanaka'; 'Algerie'; 'Golden Nugget'	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς, Κυδωνιά
Ισπανία	'Algerie'; 'Magdal'; 'Golden Nugget'; 'Tanaka'	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς, Κυδωνιά
Τουρκία	'Akko 13'; 'Golden Nugget'; 'Tanaka'	Σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς

### 1.1.1.6. Καλλιεργητικές Φροντίδες – Τεχνικές

#### 1.1.1.6.1. Κλάδεμα

Το κλάδεμα της μουσμουλιάς θα πρέπει να είναι ιδιαίτερος προσεκτικό διότι η μουσμουλιά είναι ζυγηρό δέντρο. Θα πρέπει, λοιπόν, να αφαιρούνται έγκαιρα οι κλάδοι που πηγαίνουν προς τα επάνω, εξαιτίας της δυσκολίας μόρφωσής τους. Επίσης, η ιαπωνική μουσμουλιά παρουσιάζει ευαισθησία στις μεγάλες τομές και καλό είναι να αποφεύγονται. Με το κλαδευτήρι μπορούμε να κλαδεύουμε προκαλώντας μικρές τομές και να προσέχουμε ταυτόχρονα ώστε να μην αφαιρεθούν βλαστοί πάνω στους οποίους θα αναπτυχθούν ανθοταξίες.

Τα είδη των κλαδεμάτων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τους Crane και Caldeira (2009) τα οποία είναι τα εξής :

- I. **Κλάδεμα μόρφωσης**: Εφαρμόζεται κατά τα δύο πρώτα χρόνια μετά την φύτευση. Το συνηθέστερο σύστημα μόρφωσης είναι το ανοιχτό κύπελλο.
- II. **Κλάδεμα ώριμων δένδρων (καρποφορίας)**: Εφαρμόζεται σύμφωνα με τις αρχές του «κλαδοκάθαρα» και περιορίζεται το ύψος των δένδρων στα 2-4 m, κάτι το οποίο οδηγεί σε ευκολότερη συγκομιδή των καρπών.
- III. **Περιορισμός των άκρων των υπερβολικά μεγάλων ριζών**: Αυτή η ενέργεια αποσκοπεί στην αύξηση των διακλαδώσεων και στην καλύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

#### 1.1.1.6.2. Αραιώμα Καρπών

Η ιαπωνική μουσμουλιά (*Eriobotrya japonica*) είναι αυτογόνιμη και κατά συνέπεια τις περισσότερες φορές καρποδένει πολύ έντονα. Γι' αυτό θα πρέπει να επιδέχεται αραιώμα ανθέων ή/και καρπών σε συνδυασμό με κατάλληλο κλάδεμα με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των καρπών. Καρποί καλής ποιότητας θεωρούνται αυτοί που έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: μεγάλο μέγεθος, μεγάλο πάχος σάρκας, εύκολη αποφλοίωση, λίγους

σπόρους, καλά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και μεγάλη διατηρησιμότητα. Η καταλληλότερη εποχή για την εφαρμογή αραιώματος των ανθέων θεωρείται το τέλος φθινοπώρου (Νοέμβριος), αφαιρώντας με κλαδευτήρι όλη την ανθοταξία από το ύψος των δύο διακλαδώσεων της βάσης και άνω. Παρόλα αυτά, σε περίπτωση μεγάλης καρπόδεσης εφαρμόζουμε την τεχνική αραιώματος καρπών άλλη μία φορά το Δεκέμβριο ή τον Ιανουάριο, ανάλογα με την περιοχή, διατηρώντας σε κάθε καρποταξία 2 έως 4 καρπούς. Η τεχνική του κλαδέματος εφαρμόζεται αμέσως μετά τη συγκομιδή των καρπών, δηλαδή από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο, αφαιρώντας όλους τους βλαστούς που είχαν καρποφορήσει (Λιονάκης, 2008).

#### **1.1.1.6.3. Άρδευση**

Η ιαπωνική μουσμουλιά θεωρείται μετρίως ανθεκτική στην ξηρασία παρόλα αυτά αποδίδει καλύτερα και παράγει καρπούς καλύτερης ποιότητας όταν δεν στερείται το νερό. Κατά τη διάρκεια του ποτίσματος θα πρέπει να αποφεύγεται να βρέχεται ο κορμός διότι θα αποτελεί πόλο έλξης ιών, βακτηρίων και μυκήτων καθώς και εντομολογικών προσβολών, που συμβάλλουν στη μείωση της ποιότητας & ποσότητας της παραγωγής έως την ολική καταστροφή του δέντρου. Τα δέντρα έχουν ανάγκη από νερό, ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο για να μπορέσουν να επιβιώσουν τις ζεστές ημέρες και να βελτιώσουν την ποιότητα των καρπών. Οι υδατικές απαιτήσεις της ιαπωνικής μουσμουλιάς κυμαίνονται μεταξύ 600-700 m<sup>3</sup>/ ανά στρέμμα το χρόνο. Επίσης, θα πρέπει το νερό που χρησιμοποιείται να έχει περιεκτικότητα σε άλατα μικρότερη από 0,5 gr/l, εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας της στα άλατα. Κατά τα κρίσιμα στάδια (περίοδος διαφοροποίησης οφθαλμών, άνθιση και έντονη αύξηση των καρπών) θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητική υγρασία. Για την επίτευξη μεγαλύτερου μεγέθους καρπών, για καλύτερη εμφάνιση και πιο σαρκώδη σάρκα δεν θα πρέπει να στερούνται το νερό. Αντίθετα, τα υπερβολικά ποτίσματα κατά την πλήρη ωρίμανση των καρπών υποβαθμίζουν την ποιότητά τους. Επιπλέον, τα ακανόνιστα ποτίσματα κατά τη περίοδο της ωρίμανσης προκαλούν σχισίματα στους καρπούς (Crane & Caldeira, 2009).

Τα πρώιμα φρούτα που φθάνουν πρώτα στην αγορά έχουν μεγαλύτερη τιμή πώλησης, ορισμένοι καλλιεργητές, στην μεσογειακή ζώνη καλλιέργειας της μουσμουλιάς, σταματούν την άρδευση των δένδρων με στόχο να επιτευχθεί νωρίτερα η ανθοφορία κι η συγκομιδή την επόμενη χρονιά. Η διάρκεια και η ένταση της έλλειψης νερού στα δένδρα είναι καθοριστικοί παράγοντες στην επαγωγή ανθοφορίας (Intriglio et al., 2011). Η έλλειψη νερού αμέσως μετά τη συγκομιδή αυξάνει την ανθοφορία της μουσμουλιάς την επόμενη χρονιά (Cuevas et al., 2012).

#### **1.1.1.6.4. Λίπανση**

Φυσικά για την βελτιωμένη ποιότητα και ποσότητα των καρπών καθώς και την υγεία του δέντρου, πέραν της ανάγκης της ύπαρξης επαρκών ποσοτήτων νερού, είναι σημαντική η ύπαρξη επαρκών θρεπτικών στοιχείων προκειμένου να μεγαλώσει, να αναπτυχθεί και να αποδώσει καλύτερα. Τα ανόργανα στοιχεία για την θρέψη του δέντρου ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τα μακροστοιχεία και τα μικροστοιχεία. Τα μακροστοιχεία που απαιτούνται και προσλαμβάνονται από το δέντρο είναι σε μεγάλες ποσότητες ενώ τα μικροστοιχεία σε πολύ μικρές ποσότητες. Στα μακροστοιχεία κατατάσσονται τα στοιχεία Άζωτο, Φώσφορος, Κάλιο, Ασβέστιο, Μαγνήσιο και Θείο ενώ στα μικροστοιχεία κατατάσσονται τα στοιχεία Σίδηρος, Χαλκός, Μαγγάνιο, Ψευδάργυρος, Βόριο, Χλώριο και Μολυβδαίνιο (Τσικαλάς, 2003). Η λίπανση που απαιτείται να εφαρμόζεται στην ιαπωνική μουσμουλιά είναι παρόμοια των εσπεριδοειδών. Η οργανική λίπανση (κοπριά) είναι ωφέλιμη και προτιμάται να είναι καλά χωνεμένη για τα μικρά δενδρύλλια, όμως καλό είναι να αποφεύγεται η προσθήκη της στο λάκκο φύτευσης. Η λίπανση που συστήνεται στα νεαρά δενδρύλλια με φωσφορικά και καλιούχα λιπάσματα θα πρέπει να βρίσκεται σε αναλογία  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{3}{4}$  kg και  $\frac{1}{4}$  kg, αντίστοιχα. Καλό είναι η προσθήκη 0,3-0,4 kg θειικής αμμωνίας ανά δέντρο, σε 2 με 3 δόσεις, η οποία αντικαθίσταται στα παραγωγικά δέντρα από 0,5 έως 0,75 kg θειοφωσφορικής αμμωνίας. Σε πλήρως παραγωγικά δέντρα θα πρέπει να χορηγείται 1-1,5 kg λιπάσματος 11-15-15 το φθινόπωρο και 0,3-0,5 kg θειικής αμμωνίας την άνοιξη σε 2 δόσεις. Η ιαπωνική μουσμουλιά ευνοείται από την χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, ωστόσο οι υψηλές ποσότητές τους (υπερτροφία) μειώνουν την

ανθοφορία. Κατά την περίοδο της ενεργούς αύξησης του δέντρου συνιστάται η εφαρμογή 0,45 kg λιπάσματος 6-6-6, 3 φορές το χρόνο. Για τον έλεγχο της υπερβολικής αύξησης του δέντρου συνιστάται λίπανση μια φορά το χρόνο κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ένα μήνα μετά τη φύτευση των νεαρών δενδρυλλίων θα πρέπει να χορηγούνται 100-150 gr λιπάσματος 6-6-6. Το 20%-30% του αζώτου καλό είναι να προέρχεται από οργανικές πηγές και η λίπανση να επαναλαμβάνεται κάθε 8 εβδομάδες τον πρώτο χρόνο. Καθώς το δέντρο αναπτύσσεται θα αυξάνεται και η ποσότητα του λιπάσματος. Για παράδειγμα, μέχρι το 3 έτος μπορούν να γίνουν 4 με 6 βασικές λιπάνσεις και επιπλέον να εφαρμοστούν λιπάσματα μικροστοιχείων (βορίου, ψευδαργύρου και σιδήρου). Για την πρόληψη της τροφοπενίας σιδήρου, συνιστάται η εφαρμογή 5-30 gr θειικού σιδήρου ανά δέντρο σε όξινα και ουδέτερα εδάφη, 2-3 φορές/έτος, ενώ σε αλκαλικά εδάφη (υψηλό pH) διαβρέχουμε το έδαφος με διάλυμα χηλικής ένωσης σιδήρου, 2-3 φορές το χρόνο (Crane & Caldeira, 2009). Οι υπερβολικές δόσεις αζώτου (N) καλό είναι να αποφεύγονται, γιατί μειώνουν την άνθηση (Morton, 1987).

#### **1.1.1.6.5. Αποστάσεις φύτευσης**

Όταν έχει γίνει η επιλογή του χώρου εγκατάστασης του οπωρώνα και πληροί τις εδαφικές και τις κλιματικές συνθήκες συνιστάται η μεταφορά και η μεταφύτευση των φυτών στο αγροτεμάχιο να γίνεται με μπάλα χώματος. Οι αποστάσεις φύτευσης που συνιστώνται είναι 5-6 x 5-6 m όταν το υποκείμενο είναι σπορόφυτο ή 4x4m όταν το υποκείμενο είναι η κυδωνιά (Βασιλακάκης, 2004). Επιπλέον, θα πρέπει να φυτεύονται σε γραμμές με φορά ίδια με τον άνεμο και να προσδένονται σε ξύλα ή καλάμια που έχουν τοποθετηθεί σε κοντινή απόσταση για να αποφευχθούν τυχόν τραυματισμοί και σπάσιμο του βλαστού του δενδρυλλίου.

#### **1.1.1.6.6. Συγκομιδή καρπών**

Τα μούσμουλα θα πρέπει να συγκομίζονται όταν είναι πλήρως ώριμα για να έχουν αποκτήσει καλά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, δηλαδή να είναι εύχυμα, γλυκά και να έχουν μειωμένη οξύτητα. Το ιδανικό χρώμα για την συγκομιδή είναι το κίτρινο–πορτοκαλί σε ότι αφορά το φλοιό και το κίτρινο, το λευκό ή το πορτοκαλί σε ότι αφορά τη σάρκα, ανάλογα με την ποικιλία. Επιπλέον, ο φλοιός και η σάρκα θα πρέπει να έχουν κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να αποχωρίζονται εύκολα μεταξύ τους. Οι καρποί που προορίζονται για την παρασκευή ζελέδων πρέπει να συγκομίζονται ελαφρά άγουροι. Τα ώριμα φρούτα μπορούν να συντηρηθούν, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, από μία έως δύο, ή και περισσότερες, εβδομάδες (Schrock, 2008).

#### **1.2. Η αλατότητα και οι επιδράσεις της στα φυτά**

Η χώρα μας αντιμετωπίζει ολοένα αυξανόμενα προβλήματα αλάτωσης και αλκαλίωσης των εδαφών, λόγω της εξάντλησης των αποθεμάτων καλής ποιότητας νερού και επομένως της ολοένα αυξανόμενης χρήσης μέτριας ή κακής ποιότητας αρδευτικού νερού. Τα αλατούχα εδάφη απαντώνται συχνά σε περιοχές επίπεδες και όχι επικλινείς καθώς και σε λεκάνες απορροής. Θεωρητικά, δε απαντώνται αλατούχα εδάφη σε υγρές-πολύ βροχερές περιοχές, παρά μόνο αν υπάρξει οποιαδήποτε επίδραση θαλασσινού νερού, όπως για παράδειγμα παρατεταμένη εφαρμογή υφάλμυρου αρδευτικού νερού σε συνδυασμό με κακές συνθήκες αποστράγγισης. Γενικότερα, η έκπλυση των αλάτων σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσο στις υγρές περιοχές. Σε ξηροθερμικές περιοχές, τα υδατοδιαλυτά άλατα δύναται να μη μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις και επομένως η έκπλυσή τους είναι περιορισμένη, αφού από τη μια οι βροχοπτώσεις δεν είναι αρκετές, ώστε να τα ξεπλύνουν και να μεταφέρουν προς βαθύτερα εδαφικά στρώματα, και από την άλλη η υψηλή εξάτμιση διευκολύνει την συγκέντρωση-συμπύκνωση των αλάτων. Επιπροσθέτως, προβλήματα αλατότητας παρουσιάζονται συχνά σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες ως αποτέλεσμα του συνδυασμού της υπερλίπανσης και της ανεπαρκούς έκπλυσή τους με τη βοήθεια νερού καλής ποιότητας (Θεριός, 1996).



Με βάση την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ec) και ορισμένα άλλα χαρακτηριστικά τους, τα αλατούχα εδάφη διακρίνονται στις εξής κατηγορίες (Θεριός, 1996):

- Αλατούχα μη αλκαλιωμένα εδάφη.
- Αλκαλιωμένα εδάφη.
- Αλατούχα-αλκαλιωμένα εδάφη.

Υπάρχουν αυτοφυή φυτά, τα επονομαζόμενα αλόφυτα, τα οποία εγκαθίστανται επιτυχώς σε φυσικά ενδιαιτήματα με υψηλά επίπεδα αλατότητας, επειδή καταφέρνουν να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της αλατότητας με διάφορους τρόπους-μηχανισμούς. Η ικανότητα επιβίωσης, αύξησης και ανάπτυξης των αλοφύτων, υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας, στηρίζεται στους ακόλουθους μηχανισμούς (Γεωργίου κ.α., 2012):

- ❖ Στη συσσώρευση των αλάτων
- ❖ Στην έκκριση των αλάτων
- ❖ Στο αποκλεισμό εισόδου-πρόσληψης των αλάτων
- ❖ Στην ωσμωτική ρύθμιση, η οποία πραγματοποιείται με τη συσσώρευση οργανικών, ωσμωτικά ενεργών ουσιών, όπως η προλίνη, η σορβιτόλη και η βεταΐνη, στα χυμοτόπια (Γεωργίου κ.α., 2012).

Τα άλατα δύναται να ζημιώσουν τα φυτά με δύο τρόπους (Θεριός, 1996):

- Ωσμωτικά
- Τοξικότητα ιόντων, λόγω υψηλών συγκεντρώσεων Na, Cl, κ.α.

Η ωσμωτική πίεση (OP) σε ορισμένα φυτά ρυθμίζεται, μεταξύ άλλων, με τη βοήθεια οργανικών ουσιών, όπως είναι οι διαλυτοί υδατάνθρακες, η προλίνη κ.α., που συντίθενται και συσσωρεύονται εντός των φυτικών κυττάρων. Η αντίδραση των ευαίσθητων φυτικών ειδών, των γλυκοφύτων, σε αντίθεση με τα αλόφυτα, στην περίσσεια υδατοδιαλυτών αλάτων στο έδαφος είναι περιορισμένη. Παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις

ορισμένων στοιχείων, όπως του Na ή/και του Cl, με αποτέλεσμα την εμφάνιση συμπτωμάτων τοξικότητας. Επίσης, περιορίζεται η πρόσληψη ορισμένων στοιχείων (εμφάνιση τροφοπενιών) και γενικότερα διαταράσσεται ο μεταβολισμός των φυτών, λόγω ποικίλης επίδρασης της αλατότητας και των αλάτων σε πλήθος φυσιολογικών και βιοχημικών διεργασιών που επιτελούνται εντός των φυτικών κυττάρων, ιστών και οργάνων. Σημειώνεται ότι η εμφάνιση τοξικότητας δεν είναι αποτέλεσμα μόνο της αυξημένης παρουσίας ορισμένων ιόντων αλλά και της συγκέντρωσης ενδιάμεσων μεταβολικών τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται από τη διατάραξη του κανονικού μεταβολισμού. Για παράδειγμα, τα άλατα επηρεάζουν τα ένζυμα, επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας τη δράση τους, και ως εκ τούτου διαταράσσεται ο μεταβολισμός και συγκεντρώνονται στο φυτό ενδιάμεσα τοξικά προϊόντα. Η κατανόηση της τοξικής δράσης των αλάτων καθώς και της αντοχής των φυτών διευκολύνεται μέσω της μελέτης όχι μόνο των ενζύμων αλλά και ορισμένων ωσμωρυθμιστικών ουσιών, όπως οι ορισμένοι διαλυτοί υδατάνθρακες, η μεταΐνη, η προλίνη κ.α. (Θερίος, 1996).

Στη συνέχεια αναλύονται και παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα ορισμένων ενδεικτικών επιστημονικών δημοσιευμάτων αναφορικά με τις επιμέρους επιδράσεις της αλατότητας στην αύξηση, στο μεταβολισμό καθώς και σε διάφορες φυσιολογικές διεργασίες διαφόρων φυτικών ειδών.

Οι Andreu et al. (2011) μελέτησαν την αντίδραση των ριζών διαφόρων πυρηνόκαρπων σε διαφορετικά επίπεδα αλατότητας. Το ριζικό σύστημα των φυτών είναι το τμήμα του φυτού που έρχεται σε άμεση επαφή με το έδαφος και ως εκ τούτου είναι εκείνο το φυτικό όργανο που μπορεί να συνεισφέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την αντοχή των φυτών στην αλατότητα. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικοί γενότυποι πυρηνόκαρπων τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ανθεκτικότητά τους (Πιν. 2).

**Πίνακας 2.** Ανθεκτικότητα πυρηνοκάρπων σε διάφορα επίπεδα αλατότητας (Andreu et al., 2011).

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΤΥΠΟΣ	
Υψηλή	Υβρίδια δαμασκηιάς	Adesoto 101 ( <i>P. insititia</i> L.)
		Marianna 2624 ( <i>P. cerasifera</i> Ehrh. · <i>munsoniana</i> Wight & Hedr.)
Ενδιάμεση	Υβρίδια αμυγδαλιάς με ροδακινιά	Hybrid GF 677 [ <i>P. dulcis</i> (Miller) D.A.Webb · <i>persica</i> (L.) Batsch]
Χαμηλή	Υβρίδια κερασιάς	Masto de Montanana
		CAB 6P ( <i>P. cerasus</i> L.)

Ελήφθησαν ρίζες από βλαστούς που είχαν πολλαπλασιαστεί *in vitro* σε υπόστρωμα MS (Murashige and Skuge), ξεπλύθηκαν με αποστειρωμένο και αποσταγμένο νερό και τοποθετήθηκαν για τρεις εβδομάδες σε τριβλία όπου το μέσο καλλιέργειας είχε 4 διαφορετικές συγκεντρώσεις NaCl : 0, 20, 60, 180 mM. Εξετάστηκαν ως προς την αύξηση του μήκους του ριζικού συστήματος και την περιεκτικότητά τους σε άμυλο, καθώς αυτό σχετίζεται με τη μεταβολική δραστηριότητα του φυτού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, σε συνθήκες μηδενικής αλατότητας (0 mM NaCl) η ανάπτυξη των ριζών των γενοτύπων, σε φθίνουσα σειρά, ήταν εξής:

Masto de Montanana > CAB 6P > GF 677 > Adesoto 101 > Marianna 2624.

Με την αύξηση της αλατότητας, το ποσοστό αύξησης του μήκους των ριζιδίων μειώθηκε. Οι γενότυποι με υψηλή ανθεκτικότητα στην αλατότητα σε συγκέντρωση 60 mM NaCl (Adesoto 101, Marianna 2624) είχαν παρόμοια ανάπτυξη με αυτή του μάρτυρα, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους γενοτύπους, όπου η μείωση στην ανάπτυξη ήταν της τάξεως του 40%, χωρίς να παρατηρηθούν σημαντικές διαφορές ως προς την ανταπόκριση των ευαίσθητων γενοτύπων.

Στα κύτταρα του φλοιού των ριζών στη ζώνη ωρίμανσης (10 mm από την άκρη της ρίζας) παρατηρήθηκαν διαφορές ως προς τη συγκέντρωση του αμύλου. Συγκεκριμένα, διαφορετικές συγκεντρώσεις αμύλου παρατηρήθηκαν ανάμεσα στους διαφορετικούς γενοτύπους, με τους ανθεκτικούς στην αλατότητα να έχουν χαμηλότερη συγκέντρωση αμύλου σε όλες τις συγκεντρώσεις NaCl σε σχέση με τους λιγότερο ανθεκτικούς γενότυπους. Επίσης, σε όλους τους γενοτύπους παρατηρήθηκε αύξηση στην συγκέντρωση αμύλου καθώς η αλατότητα αυξανόταν. Στον γενότυπο Adesoto 101, σε συνθήκες αλατότητας 0 και 20 mM NaCl δεν υπήρχαν αμυλόκοκκοι, όμως σε συνθήκες αλατότητας 60 mM NaCl και άνω η συγκέντρωση του αμύλου ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Στον γενότυπο Masto de Montanana, η συγκέντρωση αμυλοκόκκων ήταν μεγάλη ακόμα και σε συνθήκες μηδενικής αλατότητας και αυξανόταν επιπλέον όσο αυξανόταν η συγκέντρωση του NaCl.

Οι Alamgir et al. (2007) μελέτησαν τέσσερις ποικιλίες ρυζιού ως προς διάφορες παραμέτρους που εμπλέκονται στον μηχανισμό που ενεργοποιείται στο φυτό όταν βρίσκεται σε συνθήκες αλατότητας. Οι τέσσερις γενότυποι ρυζιού είναι οι BR-9 και IRATOM-24, που θεωρούνται ευαίσθητοι σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας, και οι Nonabokra και Rokkali, που θεωρούνται πιο ανθεκτικοί. Σπορόφυτα ηλικίας 20 ημερών τοποθετήθηκαν σε πλαστικές γλάστρες με χώμα ανακατεμένο με κοπριά αγελάδας. Δέκα μέρες μετά την μεταφύτευση εφαρμόστηκε NaCl, σε αναλογία παρόμοια με το θαλασσινό νερό (0,20 mol NaCl (25.2 dS.m<sup>-1</sup>)) και έπειτα από 40 μέρες ελήφθησαν δείγματα από τα φυτά για αναλύσεις. Η παραγωγή βιομάζας κάτω υπό την επίδραση αλατότητας μειώθηκε με την ακολουθία: IRATOM-24 > BR 9 > Nonabokra > Rokkali. Στον Rokkali, το ξηρό βάρος της ρίζας αλλά και του βλαστού επηρεάστηκαν σε μικρότερο βαθμό, συγκριτικά με τους άλλους γονότυπους, διατηρώντας έτσι υψηλά το δείκτη ανοχής του φυτού ( Tolerance indices, TI). Επίσης, η ανάπτυξη των φυτών σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας επηρέασε την απορρόφηση και την αναλογία των θρεπτικών μακροστοιχείων στη ρίζα και στο βλαστό. Παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> και μειωμένη συγκέντρωση K<sup>+</sup> και Ca<sup>+</sup> σε όλους τους γονότυπους σε διαφορετικό ωστόσο βαθμό. Το επίπεδο προλίνης αυξήθηκε σε όλους τους γονότυπους και στη ρίζα και στο βλαστό των φυτών. Η υψηλότερη αύξηση παρατηρήθηκε στη ρίζα του Rokkali και στο βλαστό του IRATOM-24. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη αυξήθηκε σε όλους γονότυπους εκτός από την ποικιλία BR 9.

Η κατάταξη των υπόλοιπων γονότυπων ήταν η εξής, σε φθίνουσα σειρά: IRATOM-24 > Nonabokra > Pokkali. Τέλος, το ένζυμο ATPase θεωρείται σημαντικό για το φυτό αφού είναι στοιχείο των κυτταρικών μεμβρανών και θεωρείται ότι μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της αντοχής του φυτού στην αλατότητα. Η αύξηση της αλατότητας ανέστειλε τη δράση αυτού του ενζύμου στη ρίζα, σε όλους τους γονότυπους εκτός από τον Pokkali. Οι γονότυποι επηρεάστηκαν, σε φθίνουσα σειρά, ως εξής: Nonabokra > IRATOM-24 > BR 9.

Η έρευνα των Bernstein et al (2004) επικεντρώθηκε στην επίδραση της αλατότητας στο αβοκάντο. Η ρίζα του αβοκάντο έχει ιδιαίτερη μορφολογία καθώς έχει λίγα ριζικά τριχίδια, μικρό βαθμό ριζικών διακλαδώσεων και η κύρια μάζα των ριζών βρίσκεται στο ανώτερο στρώμα εδάφους. Αυτά τα χαρακτηριστικά το καθιστούν ιδιαίτερο. Η υπόθεση του πειράματος ήταν ότι λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας της, η ρίζα του αβοκάντο εμφανίζει μικρότερη ανθεκτικότητα στην αλατότητα από τον βλαστό του, σε αντίθεση με άλλα δένδρα των οποίων οι ρίζες είναι πιο ανθεκτικές σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας σε σχέση με τον βλαστό τους. Για να διαπιστωθεί αυτό το χαρακτηριστικό του αβοκάντο, οι ερευνητές καλλιέργησαν υποκείμενα αβοκάντο του βοτανικού τύπου των Δυτικών Ινδιών "Degania 117" σε συνθήκες αλατότητας (1, 5, 15 και 25 mM NaCl). Η επίδραση της αλατότητας στο αβοκάντο ήταν εμφανής ακόμα και στα επίπεδα αλατότητας 5 και 15 mM NaCl (Πιν. 3). Η επίδραση της αλατότητας στον βλαστό στην επέμβαση 15 mM NaCl ήταν σχετικά ήπια, ενώ στα 25 mM NaCl αυξήθηκε σημαντικά, χωρίς όμως να ξεπερνά το 20%. Αντίθετα, η ευαισθησία της ρίζας του αβοκάντο ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Σε συνθήκες αλατότητας 15 mM NaCl η μείωση του όγκου της ρίζας ήταν 33% ενώ το μήκος της ρίζας μειώθηκε κατά 43%, και σε συνθήκες αλατότητας 25 mM NaCl τα αντίστοιχα ποσοστά μείωσης ήταν 65% και 75%, συγκριτικά με το μάρτυρα (Πιν. 3). Συμπερασματικά, η αλατότητα επηρεάζει την ρίζα του αβοκάντο σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τον βλαστό.

**Πίνακας 3.** Επίδραση της αλατότητας στον αριθμό των νέων φύλλων, την επιφάνεια των φύλλων, τη βιομάζα των φύλλων, το μήκος της ρίζας και τον όγκο της ρίζας του αβοκάντο (Bernstein et al., 2004)

Χαρακτηριστικό Αλατότητα	Αριθμός νέων φύλλων	Φυλλική επιφάνεια	Βιομάζα φύλλων
15 mM NaCl	Δεν επηρεάστηκε σημαντικά	Δεν επηρεάστηκε σημαντικά	-10%
25 mM NaCl	-12%	-16,5%	-19,5%
Χαρακτηριστικό Αλατότητα	Μήκος ρίζας	Όγκος ρίζας	
15 mM NaCl	-43%	-33%	
25 mM NaCl	-75%	-65%	

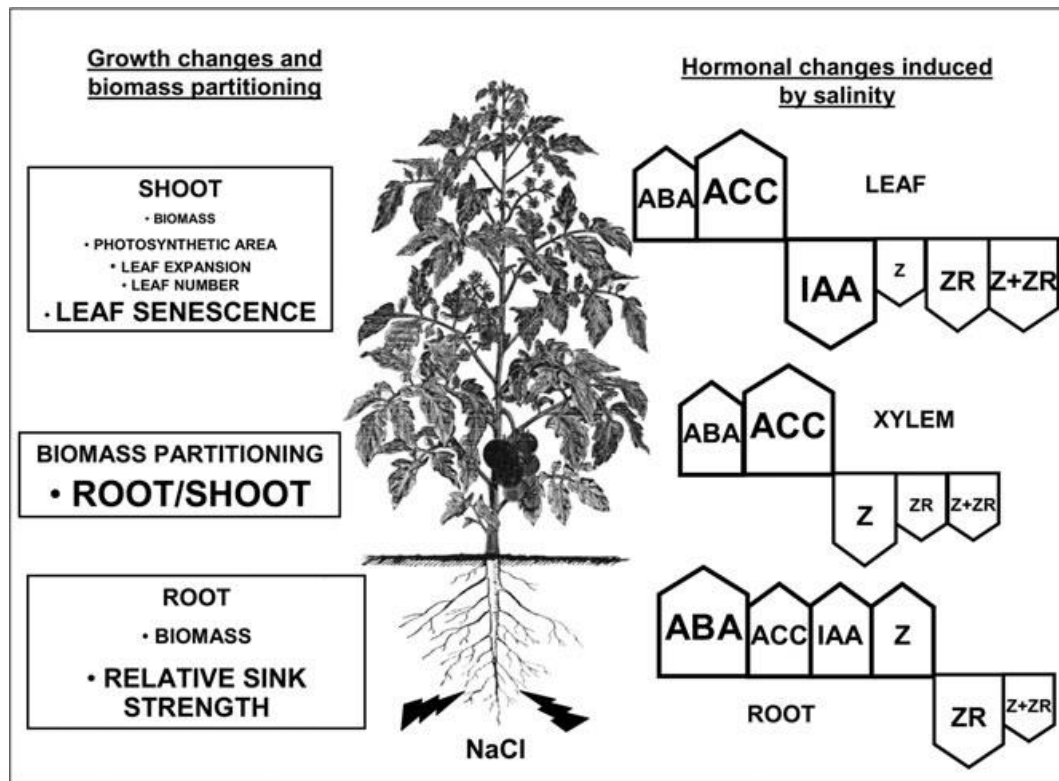
Οι Benincasa, Pace, Quinet, και Lutts (2013) μελέτησαν την επίδραση της αλατότητας και της προμεταχείρισης των σπόρων με  $GA_3$  κατά την διάρκεια της φύτευσης σε δυο γονότυπους ελαιοκράμβης. Χρησιμοποιήθηκαν δύο ποικιλίες που θεωρούνται ανθεκτικές όταν βρεθούν σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας (Exagone και Monsanto) και δυο που θεωρούνται ευαίσθητες (Toccatà, Maisadour Semences). Το πείραμα διεξήχθη ως εξής: σπόροι ελαιοκράμβης φυτεύτηκαν σε δύο διαφορετικά είδη υποστρώματων. Το ένα με συνθήκες μηδενικής αλατότητας και το άλλο με συνθήκες αυξημένης αλατότητας (διάλυμα 250 mM NaCl). Κατόπιν, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υδροπονικής με συνθήκες μηδενικής και αυξημένης αλατότητας. Κατά την διάρκεια της φύτευσης παρατηρήθηκε μείωση της ανάπτυξης των σποροφύτων και των δύο γονότυπων η οποία ήταν ανάλογη με τον βαθμό της ανεκτικότητας του κάθε φυτού. Παρατηρήθηκε ακόμα ότι και ο ανθεκτικός γονότυπος όταν υποβλήθηκε σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας σε πρώιμο στάδιο της ανάπτυξης του, η ανάπτυξή του εμποδίστηκε σημαντικά. Σπορόφυτα από τον ευαίσθητο γονότυπο που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας έδειξαν ταχεία ανάκτηση της ανάπτυξης τους όταν βρέθηκαν σε συνθήκες μηδενικής αλατότητας, γεγονός που υποδεικνύει ότι η αλατότητα δεν προκάλεσε μη αναστρέψιμη βλάβη. Η αναλογία βλαστού – ρίζας βρέθηκε αυξημένη στα φυτά που αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο και μειωμένη στα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο. Οι λόγοι που

δικαιολογούν αυτή τη ιδιαίτερη ανταπόκριση των φυτών, πιθανώς να σχετίζονται με: α) τη διαφορετική χρονική περίοδο εφαρμογής των συνθηκών αυξημένης αλατότητας και β) τις επιπρόσθετες πειραματικές συνθήκες που εφαρμόστηκαν στο θερμοκήπιο. Οι συνθήκες αυξημένης αλατότητας μείωσαν την φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων και των δύο γονότυπων και ταυτόχρονα αύξησαν τις θερμικές απώλειες της φωτεινής ακτινοβολίας του ευαίσθητου γονότυπου (μείωση των ΦPSII και qP, αύξηση του NPQ). Η προμεταχείριση των σπόρων με GA<sub>3</sub> δεν επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών του ευαίσθητου γονότυπου που είχε αναπτυχθεί σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας, επηρέασε ωστόσο την ανάπτυξη του ανθεκτικού γονότυπου, βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοσή του.

Η έρευνα των Albacete et al. (2008) αφορά την επίδραση της αλατότητας σε φυτά τομάτας (*Solanum lycopersicum*) της ποικιλίας Moneymaker. Το πείραμα διεξήχθη ως εξής: φυτά τομάτας καλλιεργήθηκαν με την μέθοδο της υδροπονίας για 3 εβδομάδες σε συνθήκες αλατότητας (100 mM NaCl). Στο τέλος κάθε εβδομάδας γίνονταν μετρήσεις σε πέντε βασικές ορμόνες στις ρίζες, στον χυμό του ξύλου και στα φύλλα ώστε να διαπιστωθεί αν η αλλαγή στις συγκεντρώσεις αυτών επηρεάζει την ανάπτυξη του φυτού και σε πιο βαθμό. Οι βασικές ορμόνες που μετρήθηκαν είναι οι αμπισικό οξύ (ABA), το ινδολοξικό οξύ (IAA), και το καρβοξυλικό οξύ (ACC) καθώς και δύο κυτοκινίνες, η zeatin (Z) και η zeatin riboside (ZR). Η αλατότητα μείωσε τη βιομάζα του βλαστού κατά 50-60% και την φωτοσυνθετική ικανότητα κατά 20-25%, με δύο τρόπους: (α) μειώνοντας την ανάπτυξη των φύλλων και (β) καθυστερώντας την εμφάνιση νέων φύλλων. Αντίθετα, το ριζικό σύστημα δεν επηρεάστηκε σημαντικά. Η αναλογία ρίζας/βλαστού αυξήθηκε, αφού η βιομάζα του βλαστού μειώθηκε ενώ δεν υπήρξε διαφοροποίηση στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Οι συγγραφείς θεωρούν ότι αυτές οι αλλαγές βασίζονται στην αλλαγή των συγκεντρώσεων που επήλθε στις συγκεκριμένες ορμόνες, λόγω της αύξησης της αλατότητας. Συγκεκριμένα, οι ορμόνες ABA και ACC βρέθηκε ότι είχαν υψηλή συγκέντρωση στις ρίζες, στους ξυλώδεις ιστούς και στα φύλλα μετά από 1 μέρα (ABA) και μετά από 15 μέρες (ACC) εφαρμογής συνθηκών αυξημένης αλατότητας. Από το πείραμα, ωστόσο, βρέθηκε ότι αυτές οι δύο ορμόνες δεν φαίνεται να είναι οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την ανάπτυξη του φυτού, όταν αυτό βρεθεί σε δυσμενές περιβάλλον, τουλάχιστον κατά το πρώτα στάδια αλατότητας, δηλαδή της ωσμωτικής καταπόνησης. Αντίθετα, οι κυτοκινίνες και η αυξητική ορμόνη IAA θεωρούνται από τους ερευνητές ως

πιθανότεροι υποψήφιοι για να εξηγήσουν την επιβράδυνση της ανάπτυξης του φυτού, καθώς, όπως βρέθηκε, επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τόσο την ρίζα όσο και τον βλαστό. Σύμφωνα με την έρευνα, η αύξηση της αλατότητας μείωσε σημαντικά την συγκέντρωση των κυτοκινινών Z και ZR και επηρέασε σε σημαντικό βαθμό την μετατροπή της ZR σε Z, κυρίως στο ριζικό σύστημα. Η συγκέντρωση της αυξίνης IAA μειώθηκε σημαντικά στα φύλλα ενώ στο ριζικό σύστημα είχε αυξημένη συγκέντρωση. Η μείωση της συγκέντρωσης των κυτοκινινών, και η μεταφορά τους από την ρίζα στον βλαστό πιθανότατα επηρεάστηκε από την βασιπέταλη μεταφορά των αυξητικών ορμονών από το βλαστό στην ρίζα. Η αναλογία αυξητικών ορμονών/κυτοκινινών στα φύλλα και στην ρίζα μπορεί να εξηγήσει τόσο τη μείωση στη σφριγηλότητα του βλαστού (ανάπτυξη φύλλων, αριθμό φύλλων) όσο και την αλλαγή στην κατανομή της βιομάζας στις ρίζες, σε πλήρη συμφωνία με τις αλλαγές που προέρχονται από την δραστηριότητα στο κυτταρικό τοίχωμα του ενζύμου ιμπερτάση. Στην Εικόνα 8 παρουσιάζονται οι μεταβολές στη συγκέντρωση των πέντε εξεταζόμενων ορμονών στο ριζικό σύστημα, στους ξυλώδεις ιστούς και στα φύλλα.





**Εικόνα 8:** Οι αλλαγές στην συγκέντρωση των ορμονών στο ριζικό σύστημα, στους ξυλώδεις ιστούς και στα φύλλα σε σχέση με την ανάπτυξη του βλαστού, των φύλλων και της ρίζας και την κατανομή της βιομάζας σε επίπεδο φυτού, σε φυτά τομάτας που καλλιεργήθηκαν σε συνθήκες αλατότητας 100 mM NaCl για 3 εβδομάδες. Η σχετική αύξηση (βέλος προς τα πάνω) ή μείωση (βέλος προς τα κάτω) στη συγκέντρωση των ορμονών που προκλήθηκε από τις συνθήκες αυξημένης αλατότητας στο τέλος του πειράματος υποδεικνύονται από τα βέλη και από το μέγεθός τους, όπου το μεγάλο, το ενδιάμεσο και το μικρό μέγεθος υποδεικνύουν περισσότερο από 5 φορές, 2-5 φορές ή λιγότερο από 2 φορές αλλαγή στις συγκεντρώσεις των ορμονών αντίστοιχα. (Albacete et al., 2008).

### 1.3. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής

Είναι γνωστό ότι η ιαπωνική μουσμουλιά είναι ευαίσθητη στην αλατότητα (Burló-Carbonell κ.ά., 1997; García-Legaz κ.ά., 2005). Σε προηγούμενη εργασία αναφέρεται ότι η μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φύλλων της ιαπωνικής μουσμουλιάς οφείλονταν κυρίως σε στοματικούς παράγοντες, χωρίς, βέβαια, να αποκλείεται και η εμπλοκή μη στοματικών παραγόντων. Επιπρόσθετα, καταγράφηκε, μεταξύ άλλων, αύξηση των καροτινοειδών και μείωση των χλωροφυλλών, ευρήματα που υπαγορεύουν ή, τουλάχιστον, δεν αποκλείουν την ύπαρξη μιας ήπιας οξειδωτικής καταπόνησης λόγω έκθεσης των φυτών σε συνθήκες αλατότητας (Παπαδάκης κ.ά., 2015). Γενικότερα, αναφέρεται ότι υπό συνθήκες καταπόνησης των φυτών τα διαλυτά σάκχαρα παίζουν σημαντικό αντιοξειδωτικό ρόλο, συμβάλλοντας στην δέσμευση ενεργών ριζών οξυγόνου (Couée κ.ά., 2006, Bolouri-Moghaddam κ.ά., 2010). Επίσης, οι διαλυτοί υδατάνθρακες σχηματίζονται ως απόκριση στην ωσμωτική καταπόνηση και λειτουργούν ωσμωρυθμιστικά, συμβάλλοντας στη σταθεροποίηση των κυτταρικών μεμβρανών και στη διατήρηση της σπαργής των φυτικών κυττάρων (Peshev & Van den Ende, 2013). Βάσει αυτών, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η πολύπλευρη προσέγγιση της συμπεριφοράς φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς υπό συνθήκες αλατότητας. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της αλατότητας στη φυτική αύξηση, στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και στην ανατομία των φύλλων καθώς και στις συγκεντρώσεις ορισμένων ανόργανων στοιχείων (K, Na, Cl), των διαλυτών υδατανθράκων, του αμύλου, της προλίνης, της μαλονικής διαλδεΐδης και του υπεροξειδίου του υδρογόνου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Πειραματικό Μέρος

**Πείραμα Α: «Μελέτη επίδρασης διαφόρων επιπέδων NaCl, χορηγουμένων υδροπονικά, στην πρόσληψη, τις συγκεντρώσεις και την κατανομή Na, Cl και K σε φυτά ιαπωνικής μουσμουλιάς, καθώς και στις συγκεντρώσεις των διαλυτών υδατανθράκων, του αμύλου, της προλίνης, του υπεροξειδίου του υδρογόνου και της μαλονικής διαλδεΰδης»**

#### 2.1. Υλικά και Μέθοδοι

##### 2.1.1. Πειραματική διαδικασία

Ως φυτικό υλικό χρησιμοποιήθηκαν 25 μονοστέλεχα, ομοιόμορφης ανάπτυξης (διάμετρος βλαστού, ύψος και φυλλική επιφάνεια), σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς (*Eriobotrya japonica*), ηλικίας 6 μηνών. Αρχικά τα φυτά αναπτύχθηκαν σε μικρούς δίσκους σποράς που περιείχαν μίγμα τύρφης : περλίτη αναλογίας 2:1 (v/v). Τρεις εβδομάδες πριν ξεκινήσουν οι επεμβάσεις τα φυτά μεταφυτεύθηκαν σε μαύρες πλαστικές σακούλες χωρητικότητας 2L που περιείχαν αδρανές υπόστρωμα χαλαζιακής άμμου : περλίτη αναλογίας 1:2 (v/v).

Κατά τη μεταφύτευση, οι ρίζες των φυτών ξεπλύθηκαν με άφθονο νερό βρύσης και στη συνέχεια με απεσταγμένο νερό για να είναι απαλλαγμένες από τυχόν του αρχικού υποστρώματος. Σε κάθε σακούλα τοποθετήθηκε ένα φυτό. Μέχρι την έναρξη και το πέρας του πειράματος τα φυτά ποτίζονταν 2-3 φορές την εβδομάδα με νερό βρύσης. Από την έναρξη και μέχρι το πέρας του πειράματος τα φυτά ποτίζονταν 3 φορές την εβδομάδα με θρεπτικό διάλυμα Hoagland (Πιν. 4) (Hoagland και Arnon, 1950), που ήταν πλήρες ως προς τα μακροστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία αλλά διέφερε στη συγκέντρωση του NaCl (0, 6, 12, 24 ή 48 mM). Μάρτυρας του πειράματος αποτέλεσε η επέμβαση με 0 mM NaCl. Κάθε 15 ημέρες τα φυτά αρδεύονταν με απιονισμένο νερό αντί του θρεπτικού διαλύματος με σκοπό να ξεπλυθεί η ρίζα από πιθανή συσσώρευση αλάτων.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 25 φυτά, των 5 επαναλήψεων για κάθε επέμβαση NaCl (0, 6, 12, 24 ή 48 mM). 42 ημέρες έπειτα από την έναρξη των επεμβάσεων με NaCl και ύστερα με την εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων της αλατότητας τα φυτά συγκομίστηκαν και χωρίστηκαν σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες. Κάθε φυτικό μέρος ζυγίστηκε (νωπό βάρος), πλύθηκε αρχικά με νερό βρύσης και έπειτα με απεσταγμένο νερό. Ακολούθως, ξηράνθηκε στους 75<sup>0</sup> C για 72 ώρες, ζυγίστηκε για την καταγραφή του

ξηρού βάρους του δείγματος και τέλος αλέστηκε σε λεπτή σκόνη. Ειδικά για την ανάλυση των διαλυτών σακχάρων και του αμύλου δείγματα φύλλων από κάθε επέμβαση (από το μέσο περίπου του βλαστού) τοποθετήθηκαν αρχικά στην κατάψυξη και ύστερα σε ειδικό μηχάνημα για κρουοξήρανση για 3 ημέρες. Κατόπιν έγινε τρίψιμο των δειγμάτων σε μύλο άλεσης και τοποθέτηση της παραγόμενης σκόνης στην κατάψυξη μέχρι να γίνουν οι σχετικές αναλύσεις.

**Πίνακας 4.** Χημική σύσταση χορηγούμενου θρεπτικού διαλύματος Hoagland (Hoagland και Arnon, 1950).

<b>Θρεπτικά στοιχεία</b>	<b>Τελική συγκέντρωση του στοιχείου</b>	
<b>Μακροστοιχεία</b>	<b>μM</b>	<b>ppm</b>
<b>N</b>	16000	224
<b>K</b>	6000	235
<b>Ca</b>	4000	160
<b>P</b>	2000	62
<b>S</b>	1000	32
<b>Mg</b>	1000	24
<b>Ιχνοστοιχεία</b>	<b>μM</b>	<b>ppm</b>
<b>Cl</b>	50	1,77
<b>B</b>	25	0,27
<b>Mn</b>	2,0	0,11
<b>Zn</b>	2,0	0,131
<b>Cu</b>	0,5	0,032
<b>Mo</b>	0,5	0,05
<b>Fe</b>	10	1,12

### **2.1.2. Προσδιορισμός συγκεντρώσεων των στοιχείων Cl, Na, K**

Ζυγίστηκαν 0,5 g αλεσμένου ξηρού φυτικού ιστού σε κάψες πορσελάνης. Τοποθετήθηκαν μέσα σε κλίβανο ξήρανσης στους 550 °C για 5,5 ώρες. Στη συνέχεια έγινε προσθήκη 3 ml 6N HCL σε κάθε κάψα. Για τη καλύτερη διαλυτοποίηση των θρεπτικών στοιχείων, οι κάψες τοποθετήθηκαν σε αμμόλουτρο για 10λεπτά (ήπια θέρμανση). Ακολούθησε η μεταφορά του διαλύματος εκχύλισης σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml με τη βοήθεια χάρτινου χωνιού. Οι ογκομετρικές φιάλες συμπληρώθηκαν μέχρι τη χαραγή τους με απιονισμένο νερό και το διάλυμα τους εισήχθη σε αριθμημένα πλαστικά μπουκαλάκια. Οι συγκεντρώσεις των K και του Na προσδιορίστηκαν σε φλογοφωτόμετρο. Επιπλέον, ξηρό κονιοποιημένο υλικό τοποθετήθηκε σε πλαστικούς σωλήνες μαζί με απιονισμένο νερό, ανακινήθηκε για 24 h και συλλέχθηκε το διήθημα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του Cl στη συσκευή SM Titrino 702 Metrohm.

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων εκφράστηκαν σε mg/100 mg ξηρού βάρους, δηλ. % ξ.β. (d.w.).

### **2.1.3. Υπολογισμός των ποσοτήτων των στοιχείων Cl, Na, K στα φύλλα, στους βλαστούς και στις ρίζες**

Πολλαπλασιάζοντας τα ξηρά βάρη των επιμέρους φυτικών οργάνων (φύλλων, βλαστών και ριζών) κάθε φυτού με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ανόργανων στοιχείων, εκφρασμένες επί ξηρού βάρους, υπολογίστηκαν οι ποσότητες των στοιχείων σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες, αντίστοιχα.

### **2.1.4. Εκχύλιση και ανάλυση διαλυτών σακχάρων και αμύλου**

Η εκχύλιση και ανάλυση των διαλυτών σακχάρων έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Roussos et al. (2010). Από κάθε δείγμα ζυγίστηκαν περίπου 30 mg ξηρού βάρους και η εκχύλιση έγινε 2 φορές με 2 ml νερό καθαρότητας HPLC σε φούρνο μικροκυμάτων στα 400 W για 2 λεπτά. Ύστερα τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν και τα διαλυτά σάκχαρα μετρήθηκαν στο υπερκείμενο αφού προηγουμένως καθαρίστηκαν με χρήση φίλτρου διαμέτρου 0,2 μm. Το υπόλειμμα πλύθηκε 2 φορές με διάλυμα αιθανόλης

80 % (v/v) και 1 φορά με καθαρή αιθανόλη και ακολούθως ξηράνθηκε στους 70 °C για να γίνει ανάλυση αμύλου.

#### **2.1.5. Ανάλυση διαλυτών σακχάρων**

Για την ανάλυση των σακχάρων, με τη μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης (HPLC), χρησιμοποιήθηκε μια ισοκρατική αντλία τύπου Waters 510 με ρυθμό ροής νερού 0,6 ml/min. Ο διαχωρισμός των σακχάρων έγινε με χρήση στήλης ανταλλαγής κατιόντων, Hamilton HC-75, μορφής ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) (Hamilton, Bonaduz, Switzerland) εξισορροπημένη στους 80 °C. Πέντε διαλυτά σάκχαρα ανιχνεύθηκαν στα φύλλα της μουσμουλιάς : α) σακχαρόζη, β) φρουκτόζη γ) γλυκόζη και τα αλκοολικά σάκχαρα, δ) μαννιτόλη και ε) σορβιτόλη. Τα ολικά σάκχαρα για κάθε δείγμα υπολογίστηκαν αθροίζοντας τις συγκεντρώσεις των προαναφερόμενων σακχάρων. Επίσης, υπολογίστηκαν τα μετακινούμενα σάκχαρα (σακχαρόζη, σορβιτόλη, μαννιτόλη) καθώς και τα μη μετακινούμενα σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη), αθροίζοντας τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε επί τις εκατό (%) περιεκτικότητα σακχάρων ανά μονάδα βάρους ιστού (w/w).

#### **2.1.6. Ανάλυση αμύλου**

Η ανάλυση του αμύλου πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ενζυματική μέθοδο (Vemmos, 1999). Το στερεό υπόλειμμα μετά την απομάκρυνση των διαλυτών σακχάρων αφήνεται σε σωλήνα φυγοκέντρησης για την ανάλυση του αμύλου. Στο ξηρό υπόστρωμα προστίθενται 1 ml NaOH 0,5M για τη ζελατινοποίηση του αμύλου, 0,55 ml οξεϊκού οξέως για εξουδετέρωση και τελικά το άμυλο μετατρέπεται σε γλυκόζη με προσθήκη 1 ml διαλύματος αμυλογλυκοζιδάσης (Sigma Chemical Inc., St. Louis, MO, U.S.A.), διαλυμένης σε ρυθμιστικό διάλυμα οξικού οξέως (pH 4,5). Για υποβοήθηση της αντίδρασης τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 55 °C για μια ώρα. Ύστερα έγινε προσθήκη 0,2 ml NaOH 1N για εξουδετέρωση. Ορισμένη ποσότητα (0,5 ml) από το προηγούμενο διάλυμα που περιέχει το εκχυλισμένο διάλυμα γλυκόζης μεταφέρεται σε

δοκιμαστικό σωλήνα και γίνεται προσθήκη 2 ml αντιδραστηρίου γλυκόζης οξειδάσης-υπεροξειδάσης (GOD-POD), (GOD/PAP; Biosis, Athens, Greece). Ακολουθεί ανακίνηση και τα δείγματα τοποθετούνται σε υδατόλουτρο στους 37 °C για 15 λεπτά. Η απορρόφηση του παραγόμενου κόκκινου χρώματος μετράται στα 510 nm με τη χρήση φωτόμετρου (Helios γ, Unicam, UK). Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε % περιεκτικότητα αμύλου ανά μονάδα ξηρού βάρους ιστού (w/w).

#### **2.1.7. Προσδιορισμός συγκέντρωσης προλίνης**

Ζυγίστηκαν 100 gr κατεψυγμένου ιστού φύλλων ή 350 mg κατεψυγμένου ιστού ρίζας ή 250 mg κατεψυγμένου ιστού φλοιού. Έγινε εκχύλιση σε γουδί με προσθήκη 4 ml αιθανόλης 70 %. Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 4000 στροφές για 10 λεπτά. Ακολούθως ελήφθη 1 ml εκχυλίσματος από κάθε δείγμα, έγινε προσθήκη 2 ml διαλύματος νυιδρίνης και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε παγόλουτρο και έγινε μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο στα 520 nm. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της προλίνης στα δείγματα έγινε με βάση την εξίσωση που προέκυψε από το διάγραμμα της απορρόφησης (στα 520 nm) διαλυμάτων προλίνης γνωστών συγκεντρώσεων (καμπύλη αναφοράς) : 0,005, 0,01, 0,02, 0,04, 0,08, 0,16 mM προλίνης (L-proline).

#### **2.1.8. Προσδιορισμός συγκέντρωσης του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) και της μαλονικής διαλδεύδης (MDA, malondialdehyde)**

Η ομογενοποίηση των φυτικών ιστών (0,5 g φύλλων, 0,5 g ρίζας ή 1g φλοιού) έγινε με 10 ml 0,1 % τριχλωροοξικό οξύ (TCA) στους 4 °C. Ακολούθησε φυγοκέντρηση για 15 λεπτά στις 4000 στροφές. Το υπερκείμενο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της μαλονικής διαλδεύδης (MDA) και για τη συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

Η υπεροξείδωση των μεμβρανών μετρήθηκε ως περιεχόμενο μαλονικής διαλδεύδης (MDA) η οποία είναι προϊόν αντίδρασης με 0,5 % θειοβαρβιτουρικού οξέως (TBA) σε 20 % (TCA) (w/v). Η συγκέντρωση της μαλονικής διαλδεύδης (MDA) υπολογίστηκε από τη διαφορά των απορροφήσεων στα 532 και στα 600 nm, χρησιμοποιώντας το συντελεστή 155 mmol<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup> (Heath και Packer, 1968).

Το υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) μετρήθηκε φωτομετρικά, ύστερα από την αντίδραση με διάλυμα ιωδιούχου καλίου (KI). Η αντίδραση πρόσμιξης περιείχε 0,5 ml 0,1 % (TCA), 1 ml από το υπερκείμενο του δείγματος, 0,5 ml 0,1M ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικού καλίου (pH 7) και 1 ml διαλύματος KI 1M (w/v). Το χρώμα της αντίδρασης αναπτύχθηκε σε σκοτάδι για 45 λεπτά και η μέτρηση της απορρόφησης έγινε στα 390 nm.

Η συγκέντρωση του ( $H_2O_2$ ) υπολογίστηκε με χρήση καμπύλης αναφοράς με οκτώ γνωστές συγκεντρώσεις ( $H_2O_2$ ) (0, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1000  $\mu$ mol). Σημειώνεται ότι η ανάλυση των ριζών κατέστη αδύνατη λόγω εμφάνισης μη μετρήσιμου χρώματος. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται αποτελέσματα μόνο από τα φύλλα και το φλοιό των βλαστών.

Η προσπάθεια προσδιορισμού του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) στη ρίζα ιαπωνικής μουσμουλιάς κατέστη άκαρπη.

#### **2.1.9. Στατιστική επεξεργασία δεδομένων**

Το πείραμα περιελάμβανε 5 επεμβάσεις (0, 6, 12, 24, 48 mM NaCl) με 5 επαναλήψεις ανά επέμβαση (n=5). Για τη σύγκριση των μέσων όρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Duncan (Duncan's multiple range test). Σε όλα τα διαγράμματα, οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους ( $P \leq 0,05$ ).

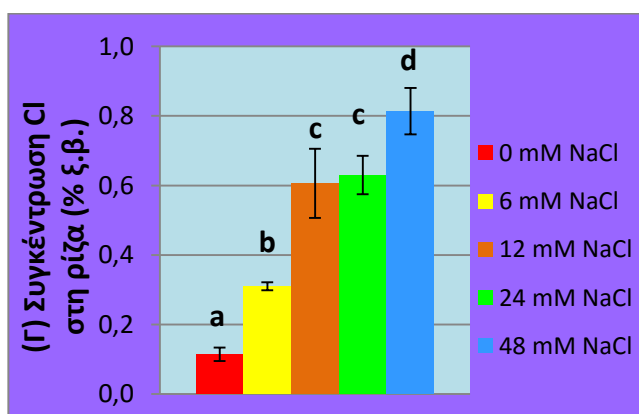
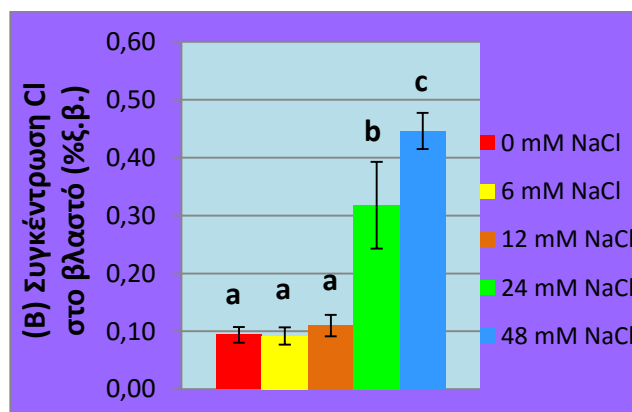
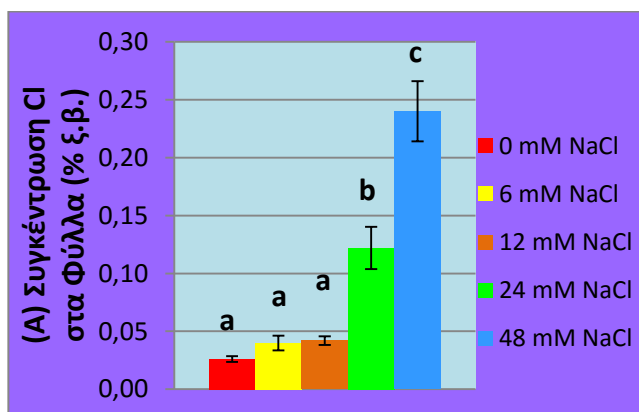


## 2.2. Αποτελέσματα

### 2.2.1. Συγκεντρώσεις και ποσότητες Cl, Na και K.

#### 2.2.1.1. Συγκεντρώσεις Cl

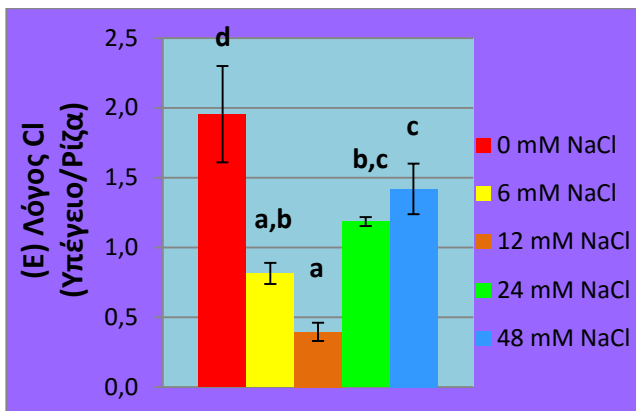
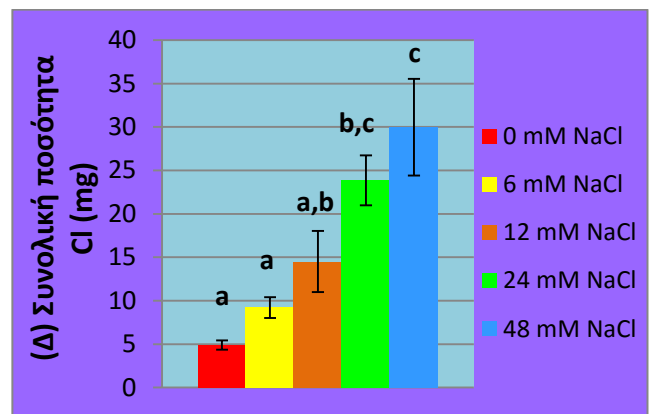
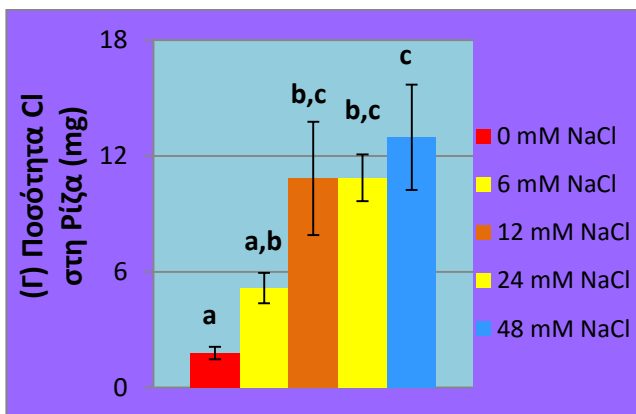
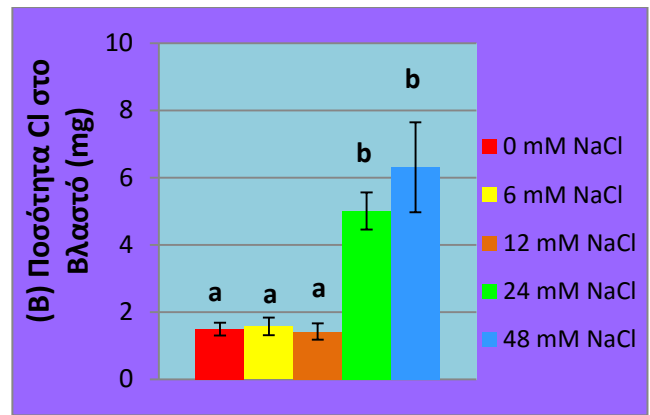
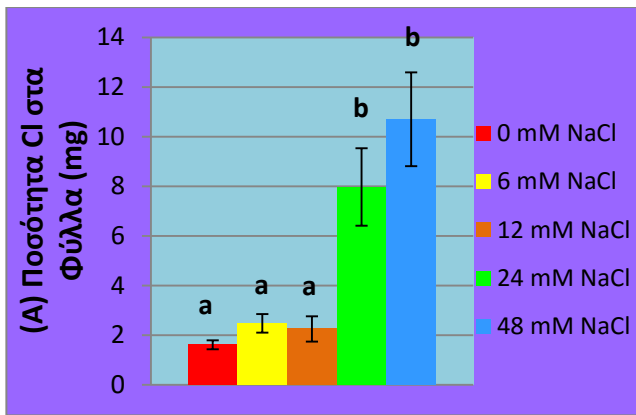
Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) επηρέασαν τη συγκέντρωση Cl στα φύλλα, στο βλαστό και στη ρίζα της μουσμουλιάς. Συγκεκριμένα, αυξήθηκε στα φύλλα από τα 0,02 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,12 % ξ.β. και στα 0,24 % ξ.β. στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 9Α). Στο βλαστό αυξήθηκε από τα 0,09 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,31 % ξ.β. και στα 0,44 % ξ.β. στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 9Β). Στη ρίζα αυξήθηκε από τα 0,11 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,31 % ξ.β., στα 0,60 % ξ.β., στα 0,63 % ξ.β. και στα 0,81 % ξ.β. στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 9Γ).



**Εικόνα 9:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του Cl στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς. Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος  $\pm$  S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

### 2.2.1.2. Ποσότητες Cl

Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) επηρέασαν την ποσότητα Cl στα φύλλα, στο βλαστό και στη ρίζα της μουσμουλιάς, τη συνολική ποσότητα Cl ανά φυτό καθώς και το λόγο Cl (Υπέργειο/ρίζα). Συγκεκριμένα στα φύλλα αυξήθηκε η ποσότητα του Cl από τα 1,61 mg (0 mM NaCl) στα 7,97 mg και στα 10,71 mg στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 10Α). Στο βλαστό αυξήθηκε η ποσότητα του Cl από τα 1,48 mg (0 mM NaCl) στα 5,00 mg και στα 6,30 mg στις επεμβάσεις 12, 48 mM NaCl, (Εικ. 10Β). Στη ρίζα αυξήθηκε η ποσότητα του Cl από τα 1,78 mg (0 mM NaCl) στα 10,84 mg, στα 10,87 mg και στα 12,96 mg στις επεμβάσεις 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 10Γ). Στη συνολική ποσότητα του Cl αυξήθηκε από τα 4,89 mg (0 mM NaCl) στα 14,51 mg, στα 23,85 mg και στα 29,98 mg στις επεμβάσεις 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 10Δ). Στο λόγο του Cl (Υπέργειο/Ρίζα) μειώθηκε από τα 1,95 (0 mM NaCl) στα 0,81 mg, στα 0,39 mg, στα 1,18 mg και στα 1,14 mg στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 10Ε).

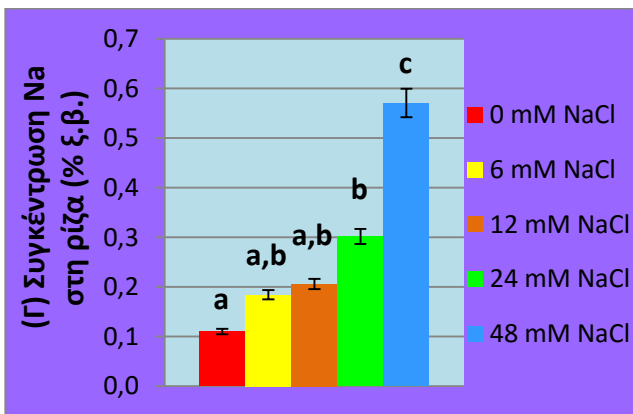
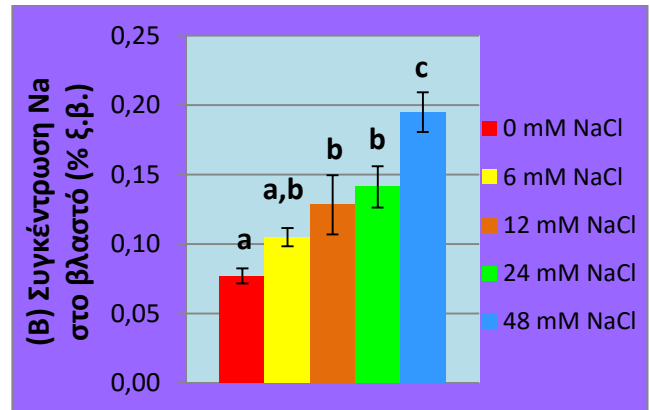
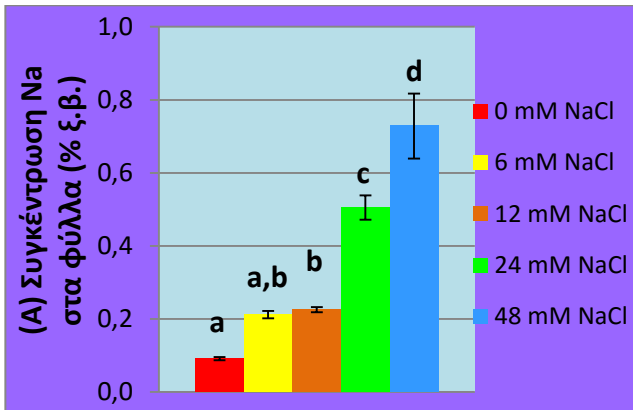


**Εικόνα 10:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις επιμέρους ποσότητες του Cl στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς, στο άθροισμα αυτών ανά φυτό (Δ) καθώς και στο λόγο των ποσοτήτων του μεταξύ υπέργειου τμήματος και ρίζας (Ε). Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος  $\pm$  S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

### 2.2.1.3. Συγκεντρώσεις Na

Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) επηρέασαν τη συγκέντρωση Na στα φύλλα, στο βλαστό και στη ρίζα της μουσμουλιάς. Συγκεκριμένα, αυξήθηκε στα φύλλα από τα 0,09 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,22 % ξ.β., 0,50 % ξ.β., και στα 0,72 % ξ.β. στις επεμβάσεις 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 11Α). Στο βλαστό αυξήθηκε από τα 0,07 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,12 % ξ.β., 0,14 % ξ.β., και στα 0,19 % ξ.β. στις επεμβάσεις 12, 24,

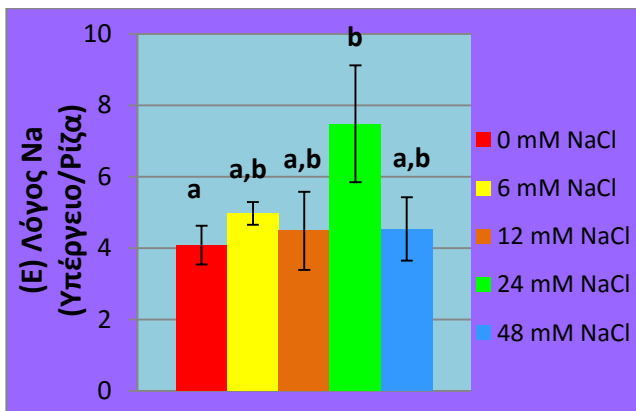
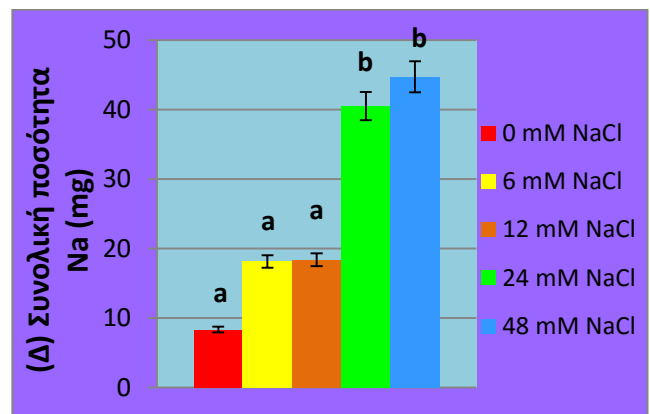
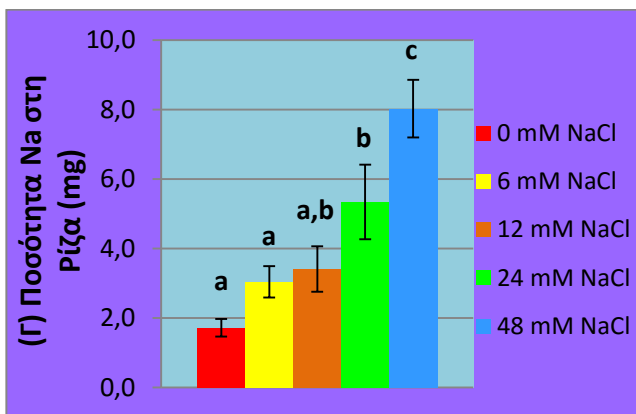
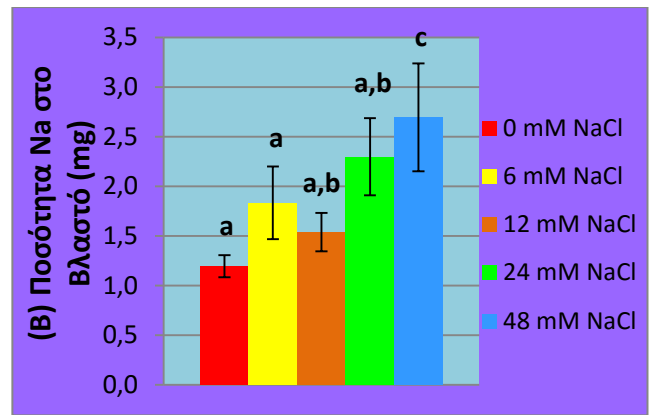
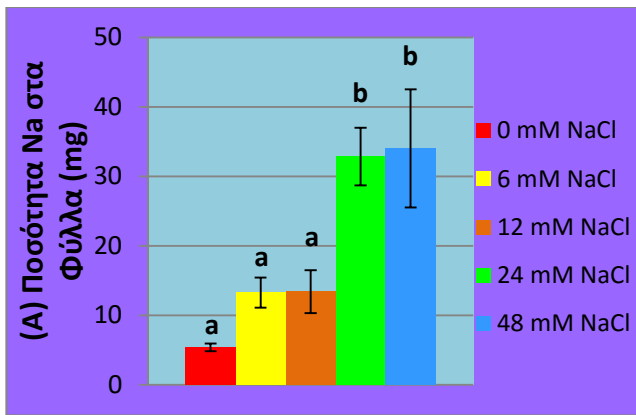
48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 11B). Στη ρίζα αυξήθηκε από τα 0,11 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,30 % ξ.β. και στα 0,57 % ξ.β. στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 11Γ).



**Εικόνα 11:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του Na στα φύλλα (A), στο βλαστό (B), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς. Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος  $\pm$  S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

#### 2.2.1.4. Ποσότητες Na

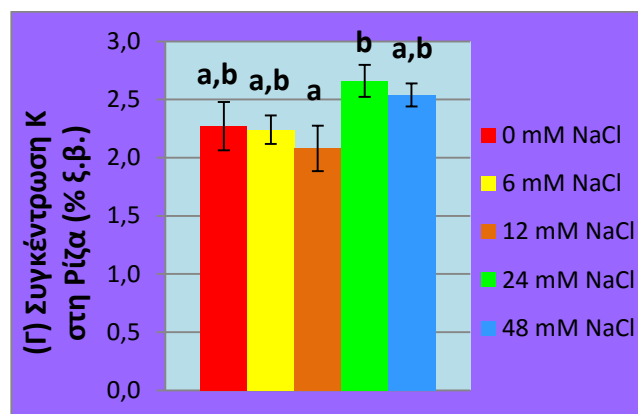
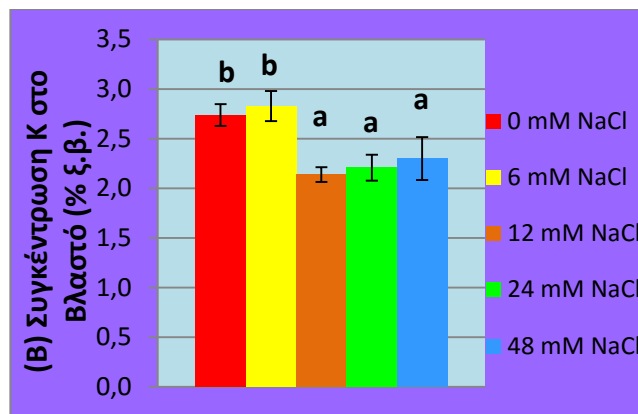
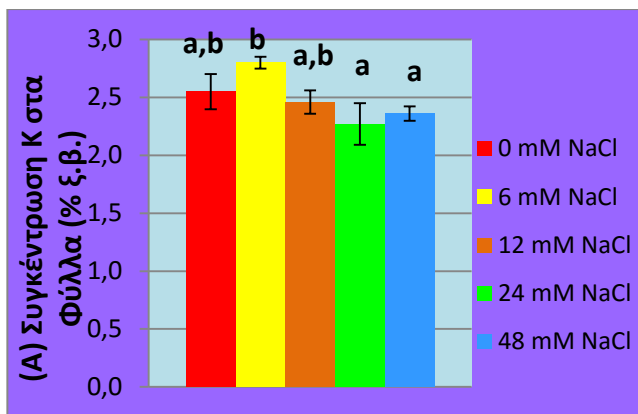
Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) επηρέασαν την ποσότητα Na στα φύλλα, στο βλαστό και στη ρίζα της μουσμουλιάς, τη συνολική ποσότητα Na ανά φυτό καθώς και το λόγο Na (Υπέργειο/ρίζα). Συγκεκριμένα στα φύλλα αυξήθηκε η ποσότητα του Na από τα 5,42 mg (0 mM NaCl) στα 32,85 mg και στα 34,01 mg στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 12A). Στο βλαστό αυξήθηκε η ποσότητα του από τα 1,19 mg (0 mM του NaCl) στα 2,69 mg στην επέμβαση 48 mM NaCl, (Εικ 12B). Στη ρίζα αυξήθηκε η ποσότητα του από τα 1,72 mg (0 mM NaCl) στα 5,34 mg και στα 8,21 mg στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 12Γ). Στη συνολική ποσότητα του Na αυξήθηκε από τα 8,33 mg (0 mM NaCl) στα 40,49 mg και στα 44,74 mg στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 12Δ). Στο λόγο Na (Υπέργειο/Ρίζα) επίσης αυξήθηκε από τα 4,08 (0 mM NaCl) στα 7,48 στην επέμβαση 24 mM NaCl, (Εικ. 12E).



**Εικόνα 12:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις επιμέρους ποσότητες του Na στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς, στο άθροισμα αυτών ανά φυτό (Δ) καθώς και στο λόγο των ποσοτήτων του μεταξύ υπέργειου τμήματος και ρίζας (Ε). Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος  $\pm$  S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

### 2.2.1.5. Συγκεντρώσεις Κ

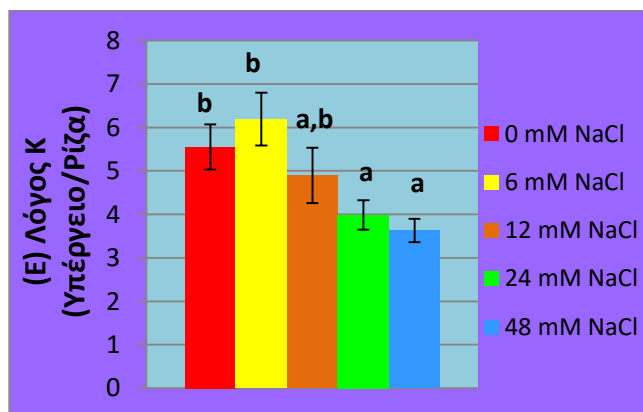
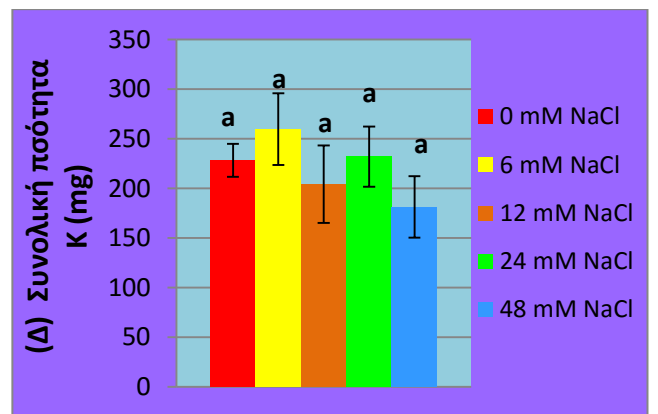
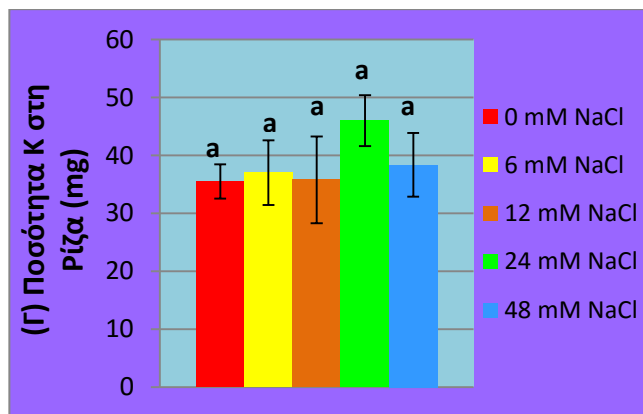
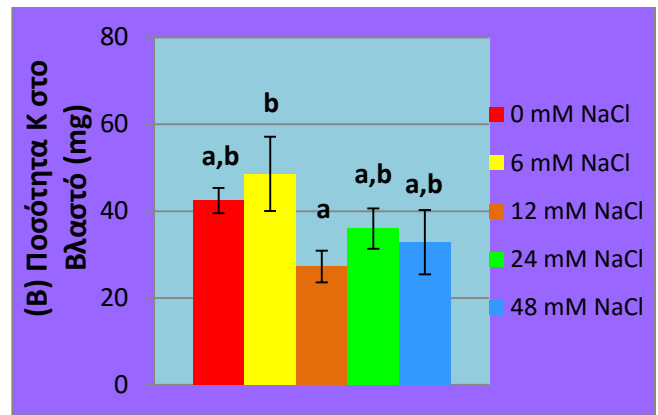
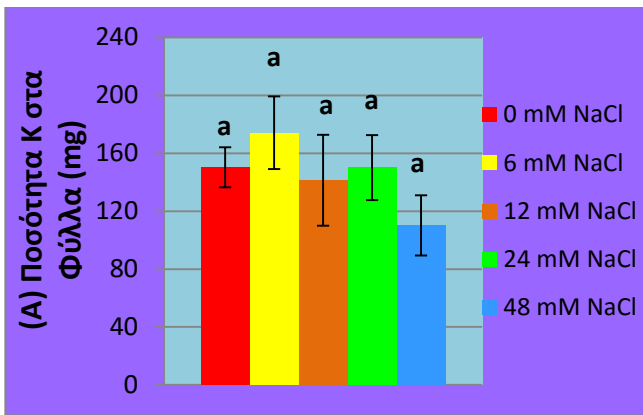
Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) δεν επηρέασαν τη συγκέντρωση Κ στα φύλλα και στη ρίζα της μουσμουλιάς. Η συγκέντρωση Κ στο βλαστό επηρεάστηκε σημαντικά. Συγκεκριμένα, μειώθηκε από τα 2,74 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 2,14 % ξ.β., 2,21 % ξ.β., και στα 2,44 % ξ.β. στις επεμβάσεις 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 13B).



**Εικόνα 13:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του Κ στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς. Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος ± S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

### 2.2.1.6. Ποσότητες Κ

Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) δεν επηρέασαν την ποσότητα Κ στα φύλλα, στο βλαστό και στη ρίζα της μουσμουλιάς, ούτε και τη συνολική ποσότητα Κ ανά φυτό. Ωστόσο, Στο λόγο της ποσότητας του Κ (Υπέργειο/Ρίζα) υπήρξαν σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα, μειώθηκε από τα 5,54 (0 mM NaCl) στα 3,98 και στα 3,62 στις επεμβάσεις 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 14Ε).

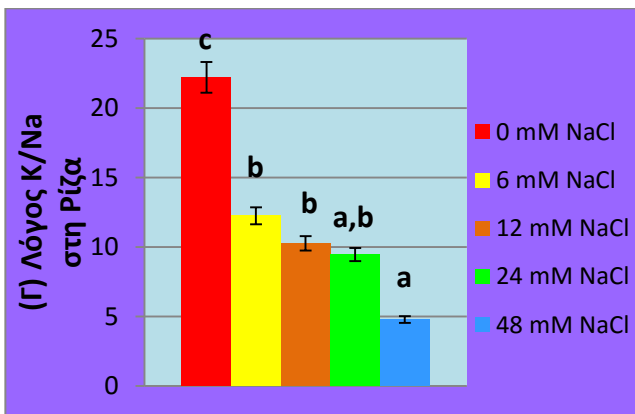
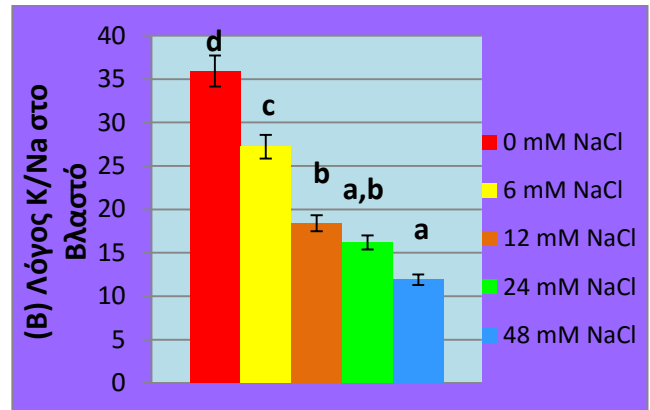
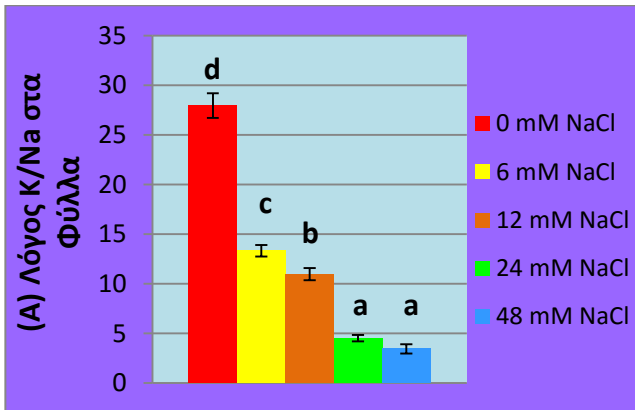


**Εικόνα 14:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις επιμέρους ποσότητες του Κ στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς, στο άθροισμα αυτών ανά φυτό (Δ) καθώς και στο λόγο των ποσοτήτων του μεταξυ υπέργειου τμήματος και ρίζας (Ε). Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος  $\pm$  S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

### 2.2.1.7. Λόγος συγκεντρώσεων Κ και Na

Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) επηρέασαν το λόγο Κ/Na στα φύλλα, στο βλαστό και στη ρίζα της ιαπωνικής μουσμουλιάς. Συγκεκριμένα, στα φύλλα μειώθηκε ο λόγος Κ/Na από τα 27,85 (0 mM NaCl) στα 13,32, στα 10,97, στα 4,52 και στα 3,45 στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 15Α). Στο βλαστό μειώθηκε ο λόγος Κ/Na από τα 35,92 (0 mM NaCl) στα 27,22, στα 18,40, στα 16,20 και στα 11,89 στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 15Β). Στη ρίζα μειώθηκε ο λόγος Κ/Na

από τα 22,20 (0 mM NaCl) στα 1,25, στα 10,26, στα 9,46 και στα 4,78 στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 15Γ).



**Εικόνα 15:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο λόγο Κ/Να στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς. Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος  $\pm$  S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

### 2.2.2. Διαλυτά σάκχαρα

Στη σακχαρόζη υπήρξαν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις της μεταξύ των διαφόρων επεμβάσεων του NaCl, συγκεκριμένα μειώθηκαν από τα 6,58 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 5,62 % ξ.β. και 5,59 % ξ.β. στις επεμβάσεις 12, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 16Α).

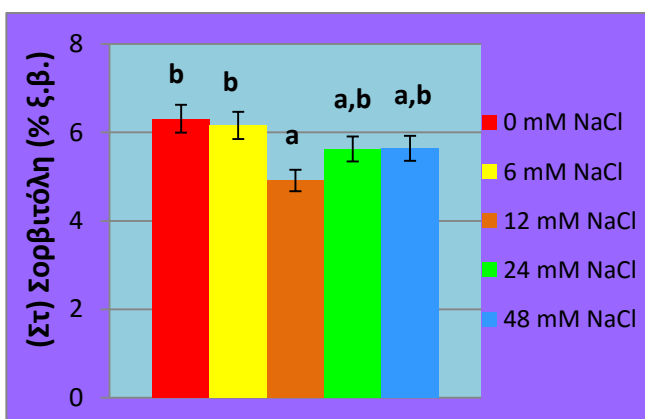
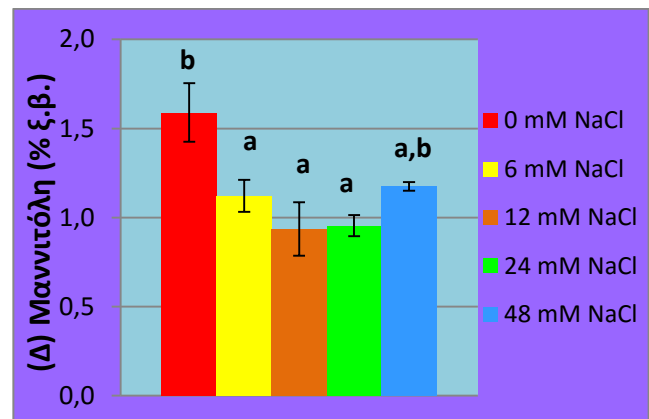
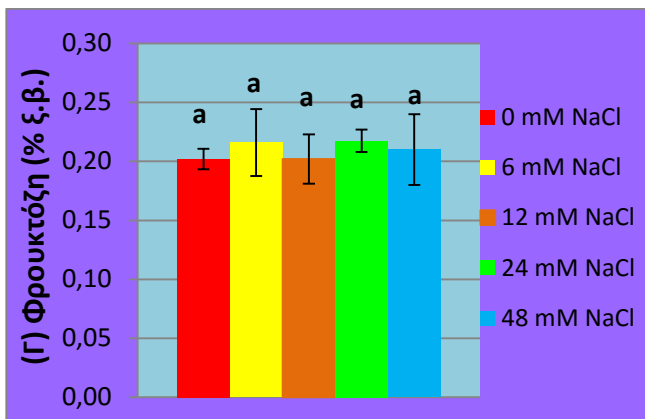
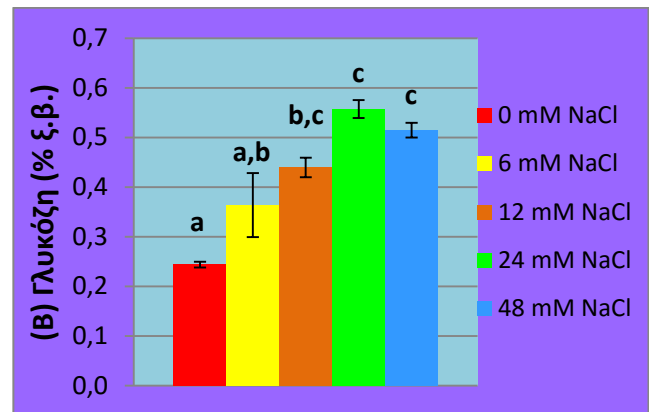
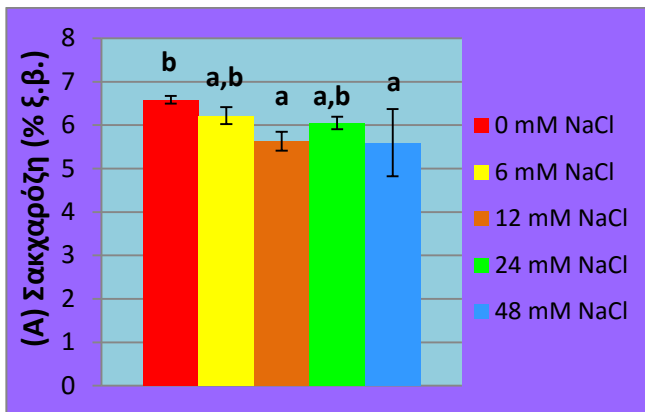
Υπήρξαν σημαντικές διαφορές ως προς τις συγκεντρώσεις της γλυκόζης στα φύλλα. Συγκεκριμένα, αυξήθηκαν από τα 0,24 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,36 % ξ.β., 0,44 % ξ.β., 0,55 % ξ.β. και 0,51 % ξ.β. στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 16Β).

Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) δεν επηρέασαν τη συγκέντρωση φρουκτόζης των φύλλων της μουσμουλιάς (Εικ. 16Γ).



Στη μαννιτόλη υπήρξαν σημαντικές διαφορές, συγκεκριμένα οι συγκεντρώσεις της μειώθηκαν από τα 1,59 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 1,12 % ξ.β., 0,93 % ξ.β., 0,95 % ξ.β. και 1,17 % ξ.β. στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl αντίστοιχα (Εικ. 16Δ).

Η σορβιτόλη μειώθηκε σημαντικά από τα 6,30 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 4,19 % ξ.β. στην επέμβαση 12 mM NaCl (Εικ. 16Ε).



**Εικόνα 16:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις της σακχαρόζης (Α), γλυκόζης (Β), φρουκτόζης (Γ), μαννιτόλης (Δ), και σορβιτόλης Ε) των φύλλων. Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος ± S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

Οι επεμβάσεις του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) επηρέασαν σημαντικά τα ολικά σάκχαρα των φύλλων της μουσμουλιάς. Συγκεκριμένα, μειώθηκαν σημαντικά από τα 14,92 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 12,12 % στην επέμβαση 12 mM NaCl, χωρίς, ωστόσο, να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ μάρτυρα και των λοιπών επεμβάσεων (Εικ. 17Α).

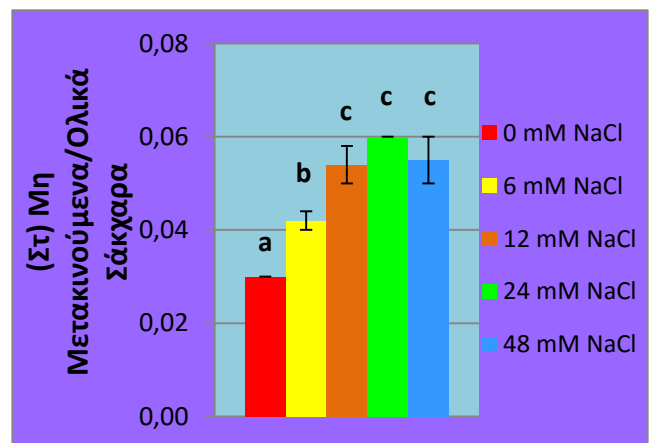
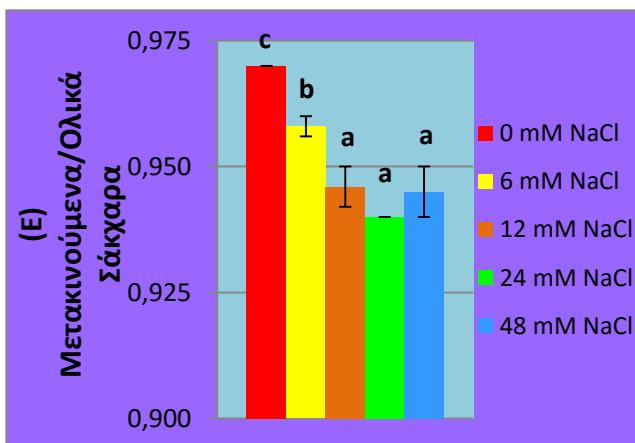
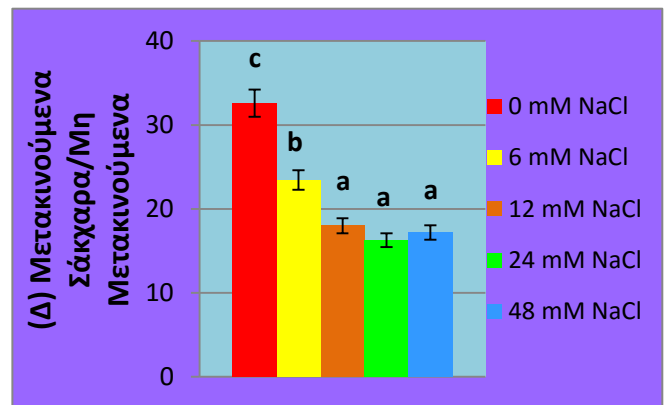
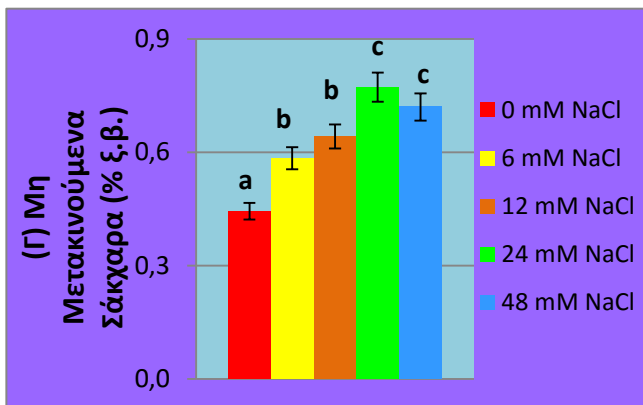
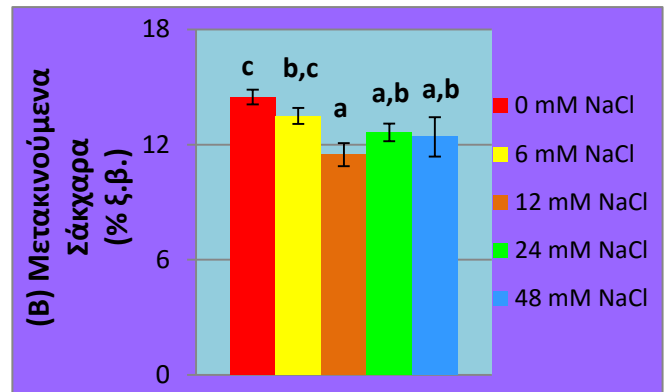
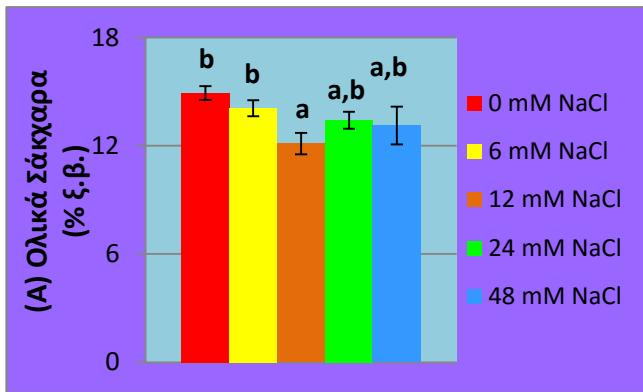
Στα μετακινούμενα σάκχαρα υπήρξαν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις τους. Συγκεκριμένα, μειώθηκαν από τα 14,48 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 11,47 % ξ.β., 12,63 % ξ.β. και 12,40 % ξ.β. στις επεμβάσεις 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 17Β).

Στα μη μετακινούμενα σάκχαρα υπήρξαν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις τους οι οποίες αυξήθηκαν από τα 0,44 % ξ.β. (0 mM NaCl) στα 0,58 % ξ.β., 0,64 % ξ.β., 0,77 % ξ.β. και 0,72 % ξ.β. στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl αντίστοιχα (Εικ. 17Γ).

Στο λόγο μετακινούμενα/μη μετακινούμενα σάκχαρα υπήρξαν σημαντικές διαφορές. Μειώθηκε από τα 32,59 (0 mM NaCl) στα 23,43, 17,99, 16,26 και 17,20 στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl αντίστοιχα (Εικ. 17Δ).

Στο λόγο μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα παρατηρήθηκε σημαντική μείωση από τα 0,97 (0 mM NaCl) στα 0,95, 0,946, 0,940 και 0,945 στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl αντίστοιχα (Εικ. 17Ε).

Στο λόγο μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα υπήρξαν σημαντικές διαφορές. Μάλιστα, οι τιμές αυξήθηκαν από τα 0,03 (0 mM NaCl) στα 0,04, 0,054, 0,06 και 0,055 στις επεμβάσεις 6, 12, 24, 48 mM NaCl, αντίστοιχα (Εικ. 17Στ).



**Εικόνα 17:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στα ολικά σάκχαρα (A), στα μετακινούμενα σάκχαρα (B), στα μη μετακινούμενα σάκχαρα (Γ), και στους λόγους μετακινούμενα σάκχαρα/μη μετακινούμενα (Δ), μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (E) και μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (Στ) των φύλλων. Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος ± S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

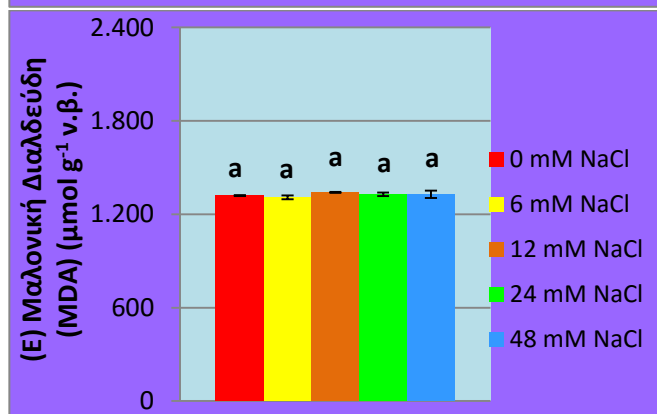
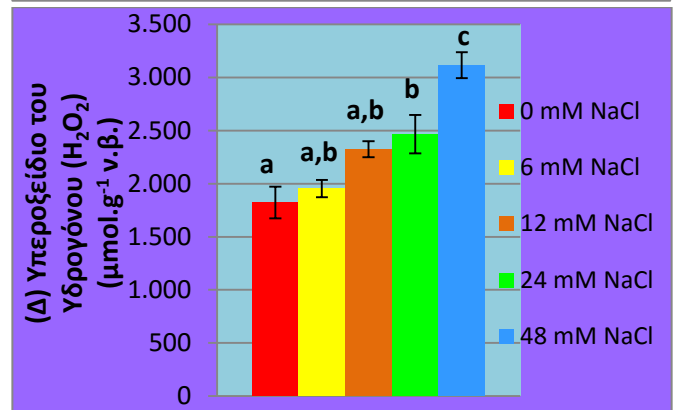
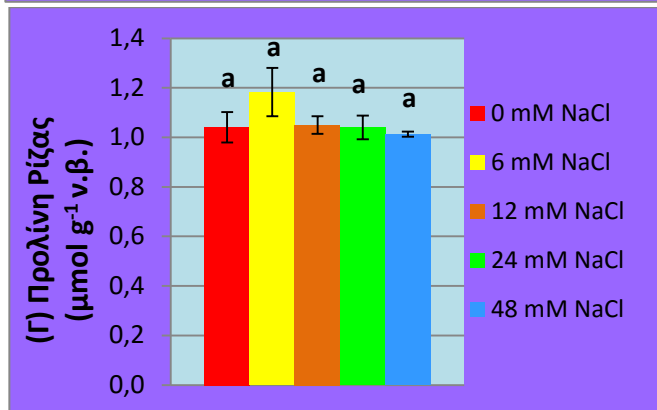
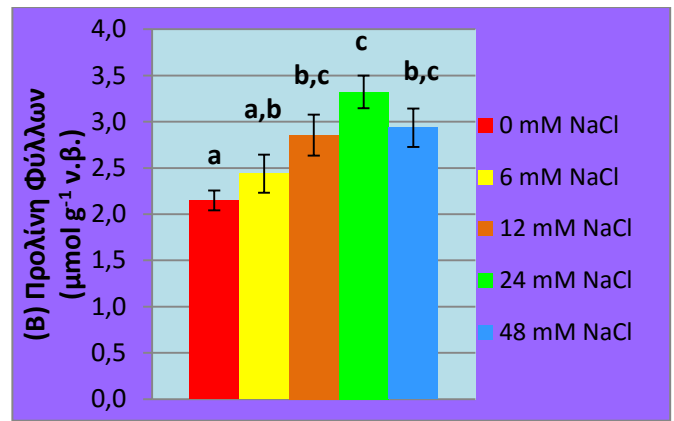
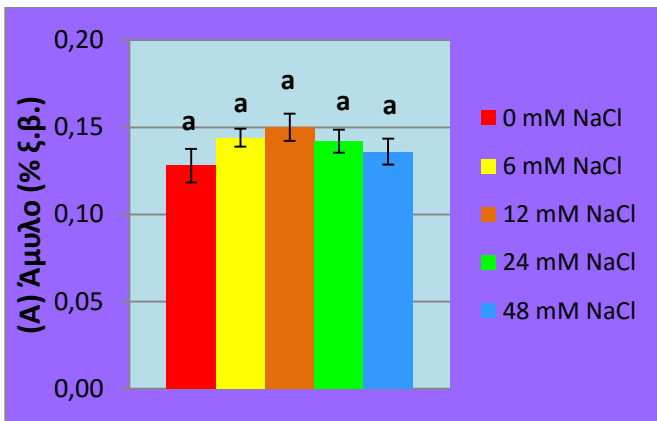
### 2.2.3. Άμυλο, Προλίνη, Υπεροξειδίο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) και Μαλονική διαλδεΐδη (MDA)

Με βάση τα στατιστικά δεδομένα δεν υπήρξαν διαφορές στις συγκεντρώσεις του αμύλου από την επίδραση των συγκεντρώσεων του NaCl (0, 6, 12, 24, 48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα (Εικ. 18Α).

Σημαντικές διαφορές υπήρξαν στη συγκέντρωση της προλίνης στα φύλλα (Εικ. 18Β), εν αντιθέσει με τη συγκέντρωση της προλίνης στη ρίζα που δεν υπήρξε καμία διαφοροποίηση μεταξύ των επεμβάσεων 0, 6, 12, 24, 48 mM NaCl (Εικ. 18Γ). Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της προλίνης στην επέμβαση των 0 mM NaCl ήταν 2,14 μmol g<sup>-1</sup> ν.β. και αυξήθηκε σημαντικά στις επεμβάσεις 12, 24, 48 mM NaCl όπου έφθασε τα 2,85 μmol g<sup>-1</sup> ν.β., 3,32 μmol g<sup>-1</sup> ν.β. και 2,93 μmol g<sup>-1</sup> ν.β., αντίστοιχα (Εικ. 18Β).

Η συγκέντρωση του NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (0-48 mM) επηρέασε σημαντικά τη συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωσή του στις επεμβάσεις των 24 και 48 mM NaCl όπου έφθασε τα 2466,75 μmol g<sup>-1</sup> ν.β. και 3116,00 μmol g<sup>-1</sup> ν.β., αντίστοιχα, σε σχέση με την επέμβαση 0 mM NaCl (1821,80 μmol g<sup>-1</sup> ν.β.) (Εικ. 18Δ).

Η συγκέντρωση της μαλονικής διαλδεΐδης (MDA) δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων (0-48 mM NaCl) (Εικ. 18Ε).



**Εικόνα 18:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στη συγκέντρωση του αμύλου (Α), της προλίνης φύλλων (Β), της προλίνης ρίζας (Γ), του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) (Δ) και της μαλονικής διαλδεύδη (MDA) (Ε). Η στατιστική ανάλυση έγινε με την μέθοδο Duncan. (Μέσος όρος  $\pm$  S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P \leq 0,05$ ).

**Πείραμα Β: «Συμπεριφορά φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς υπό συνθήκες αλατότητας: α) φωτοσυνθετική δραστηριότητα φύλλων, β) συγκεντρώσεις διαλυτών υδατανθράκων, αμύλου, προλίνης, υπεροξειδίου του υδρογόνου και της μαλονικής διαλδεύδης στα φύλλα και γ) ανατομική και μορφομετρική μελέτη φύλλων»**

### **2.3. Υλικά και Μέθοδοι**

#### **2.3.1. Πειραματική διαδικασία**

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε υαλόφρακτο θερμοκήπιο που βρίσκεται στο Δενδροκομείο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ως φυτικό υλικό χρησιμοποιήθηκαν δέκα δενδρύλλια-σπορόφυτα ιαπωνικής μουσμουλιάς ηλικίας τριών ετών. Τα φυτά αυτά μεταφυτεύθηκαν σε μαύρες πλαστικές σακούλες χωρητικότητας 2L που περιείχαν αδρανές υπόστρωμα χαλαζιακής άμμου : περλίτη αναλογίας 1:2 (v/v) αφού πρώτα κλαδεύτηκε το ριζικό τους σύστημα και ο κεντρικός βλαστός τους στα 40 cm. Μέχρι την έναρξη και το πέρας του πειράματος τα φυτά ποτίζονταν 2-3 φορές την εβδομάδα με νερό βρύσης. Μετέπειτα τα φυτά του πειράματος ποτίζονταν 3 φορές την εβδομάδα με θρεπτικό διάλυμα Hoagland (Πιν. 3) (Hoagland και Arnon, 1950), που περιείχε είτε 0 mM NaCl είτε 80 mM NaCl. Η επέμβαση του μάρτυρα ήταν το διάλυμα που περιείχε 0 mM NaCl ενώ η επέμβαση των 80 mM NaCl αντιστοιχούσε στην επέμβαση της υψηλής αλατότητας. Ανά επέμβαση NaCl χρησιμοποιήθηκαν 5 φυτά. Κάθε 15 ημέρες τα φυτά αρδεύονταν με απιονισμένο νερό αντί του θρεπτικού διαλύματος με σκοπό να ξεπλυθεί η ρίζα τους από πιθανή συσσώρευση αλάτων.

Το πείραμα αυτό ολοκληρώθηκε όταν τα συμπτώματα αλατότητας ήταν αρκετά προχωρημένα (εκτεταμένες ξηράνσεις στα φύλλα). Συγκεκριμένα, αυτό συνέβη 81 ημέρες από την έναρξη του πειράματος, οπότε και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διαφόρων φωτοσυνθετικών παραμέτρων και της χλωροφύλλης των φύλλων. Επίσης, ελήφθησαν δείγματα φύλλων για τη διενέργεια βιοχημικών αναλύσεων. Τέλος συγκομίστηκαν οι βλαστοί που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, χωρίστηκαν σε φύλλα και στελέχη βλαστών, μετρήθηκε ο αριθμός των φύλλων και των βλαστών ανά φυτό, το μήκος των βλαστών και στη συνέχεια ζυγίστηκαν (v.β.), πλύθηκαν, τοποθετήθηκαν σε κλίβανο ξήρανσης και ξαναζυγίστηκαν (ξ.β.).

### 2.3.2. Φωτοσυνθετική δραστηριότητα φύλλων

Οι φυσιολογικές παράμετροι της φωτοσύνθεσης που μετρήθηκαν ήταν ο καθαρός ρυθμός της φωτοσύνθεσης (net photosynthetic rate), ο ρυθμός διαπνοής (transpiration rate), η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στους μεσοκυττάριους χώρους (intercellular CO<sub>2</sub> concentration) και η αγωγιμότητα των στομάτων των φύλλων (stomatal conductance). Οι μετρήσεις έγιναν με τη φορητή συσκευή μέτρησης της φωτοσύνθεσης Li-COR-6400 (Li-COR, Lincoln, USA), χρησιμοποιώντας φύλλα από το μέσο του βλαστού των φυτών. Τα βασικά στοιχεία της συσκευής μέτρησης είναι α) οι αναλυτές αερίων CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O (infrared gas analyzers-IRGAs), β) ο θάλαμος εισαγωγής του φύλλου (leaf chamber) με τα διάφορα αισθητήρια (sensors) θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτεινής ακτινοβολίας και γ) το σύστημα καταγραφής (console system) για την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων. Η μέθοδος στηρίζεται σε ποσοτικές μετρήσεις ανταλλαγής αερίων στη ζώνη επαφής των φύλλων και της ατμόσφαιρας. Σημειώνεται ότι, κατά τη μέτρηση η ένταση του φωτισμού και η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> εντός θαλάμου μέτρησης ήταν καθορισμένες στα 1200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> και 380 mg l<sup>-1</sup>, αντίστοιχα. Επίσης, η θερμοκρασία των φύλλων κυμαίνονταν μεταξύ 28,2 and 30,4 °C. Τέλος υπολογίστηκαν : α) η αποτελεσματικότητα χρήσης CO<sub>2</sub> με διαίρεση του ρυθμού φωτοσύνθεσης με την εσωτερική συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στα φύλλα και β) η αποτελεσματικότητα χρήσης H<sub>2</sub>O με διαίρεση της φωτοσύνθεσης με τη διαπνοή και γ) τη φωτοσυνθετική αγωγιμότητα.

### 2.3.3. Χλωροφύλλη των φύλλων

Παράλληλα με τη μέτρηση των προαναφερόμενων φωτοσυνθετικών παραμέτρων, προσδιορίστηκε και η χλωροφύλλη των φύλλων με χρήση της συσκευής SPAD-502 Plus. Πρόκειται για μια μικρού βάρους φορητή συσκευή, που μετράει την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη χωρίς να προκαλεί ζημιά στα φυτά. Προσδιορίζει τη σχετική ποσότητα της υπάρχουσας χλωροφύλλης, μετρώντας την απορρόφηση των χρωστικών του φύλλου σε δυο περιοχές μήκους κύματος. Η χλωροφύλλη παρουσιάζει κορυφές απορρόφησης στη μπλε (400-500 nm) και την κόκκινη (600-700nm) περιοχή του ορατού φάσματος, ενώ δεν απορροφάει ακτινοβολία κοντά στην υπέρυθρη περιοχή. Στην πραγματικότητα, η συσκευή μετράει τις απορροφήσεις του φύλλου τόσο στη κόκκινη όσο

και κοντά στη υπέρυθρη περιοχή. Χρησιμοποιώντας αυτές τις δύο απορροφήσεις, ο μετρητής υπολογίζει την αριθμητική τιμή SPAD, η οποία είναι ανάλογη προς την ποσότητα της χλωροφύλλης που υπάρχει στο φύλλο. Αναφορικά με το πείραμά μας, οι μετρήσεις έγιναν σε φύλλα που βρίσκονταν στο μέσο του βλαστού.

#### **2.3.4. Εκχύλιση και ανάλυση διαλυτών σακχάρων και αμύλου**

Η εκχύλιση και ανάλυση των διαλυτών σακχάρων έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.1.4.

#### **2.3.5. Ανάλυση διαλυτών σακχάρων**

Η ανάλυση του αμύλου έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.1.5.

#### **2.3.6. Ανάλυση αμύλου**

Η ανάλυση του αμύλου έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.1.6.

#### **2.3.7. Προσδιορισμός προλίνης**

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της προλίνης έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.1.7.

#### **2.3.8. Προσδιορισμός υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) και μαλονικής διαλδεύδης (MDA, malondialdehyde)**

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) και της μαλονικής διαλδεύδης (MDA) έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.1.8.



### **2.3.9. Ανατομική και μορφομετρική μελέτη των φύλλων**

#### **2.3.9.1. Στερέωση φυτικών ιστών**

Ελήφθησαν δείγματα φύλλων από τα φυτά του μάρτυρα (0 nM NaCl) και της επέμβασης (80 nM NaCl) για ανατομική εξέταση σε μικροσκόπιο φθορισμού. Μέχρι την εξέταση τους στο μικροσκόπιο διατηρήθηκαν σε ειδικό μονιμοποιητικό διάλυμα FAA. Το διάλυμα παρασκευάστηκε με τη διάλυση 50 ml φορμόλης (40 %) και 50 ml οξεϊκού οξέως σε 900 ml αιθανόλης (70 %). Οι τομές των δειγμάτων έγιναν σε κρουστάτη (ψυκτικός μικροτόμος, Leica CM1850).

#### **2.3.9.2. Μικροσκοπία-Μορφομετρικές μετρήσεις**

Τα παρασκευάσματα εξετάστηκαν σε οπτικό μικροσκόπιο Olympus BX 40, εξοπλισμένο με σύστημα επιφθορισμού, ενώ οι φωτογραφίες των δειγμάτων πάρθηκαν μέσω ενσωματωμένης ψηφιακής φωτογράφισης και βιντεοσκόπησης (DP71 Olympus 12.5Mp, και Sony, CCD colour camera SSC-DC 38P/45). Μέσω του προγράμματος Cell^A πραγματοποιήθηκαν μορφομετρικές μετρήσεις ιστών (πάχος φύλλου, πάχος άνω και κάτω επιδερμίδας, πάχος πασσαλώδους και σπογγώδους παρεγχύματος).

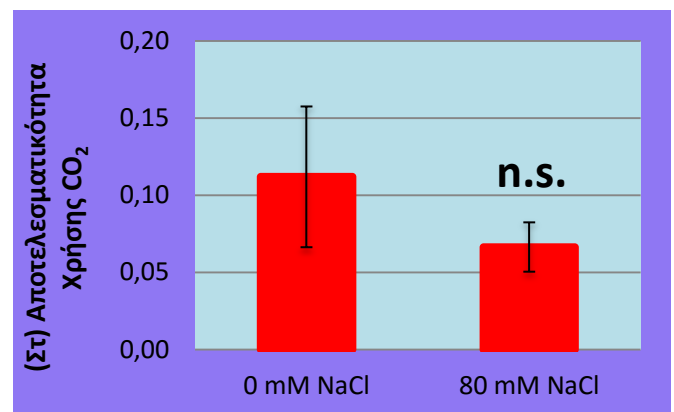
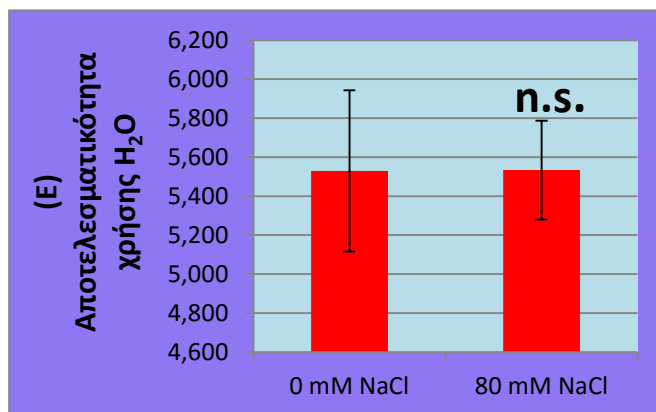
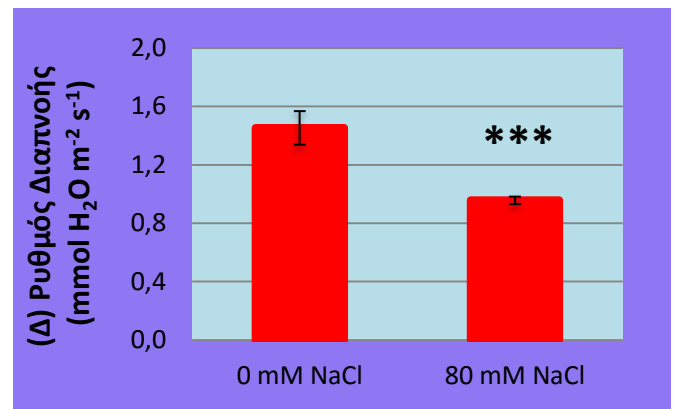
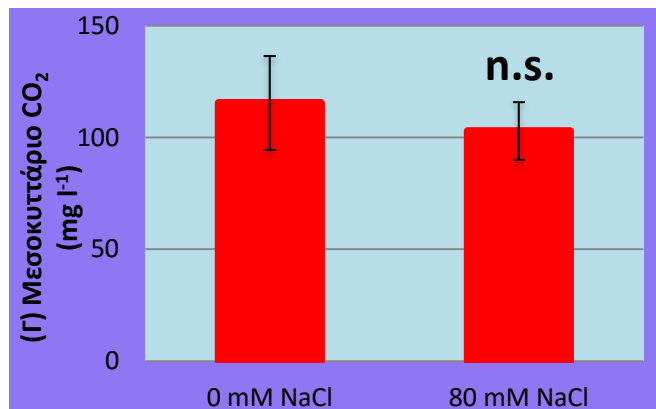
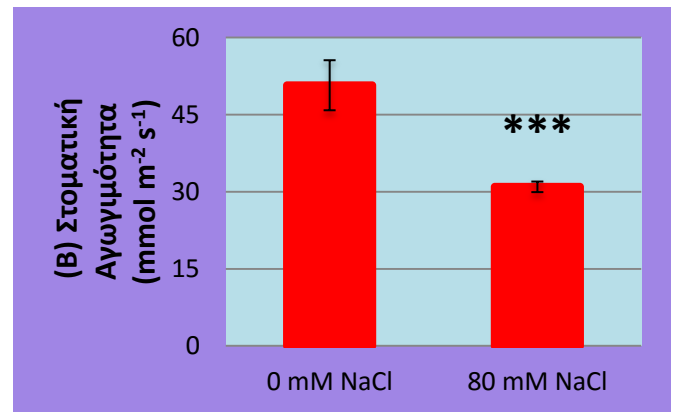
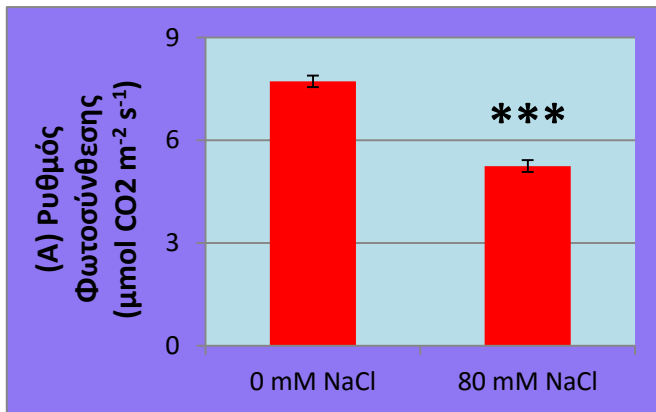
#### **2.3.10. Στατιστική επεξεργασία δεδομένων**

Το πείραμα περιελάμβανε 2 επεμβάσεις (0mM NaCl, 80mM NaCl) με 5 επαναλήψεις, φυτά ανά επέμβαση (n=5). Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS (21.0.1 for Windows). Για τη σύγκριση των μέσων όρων των 2 επεμβάσεων χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Student's t-test για το επίπεδο πιθανότητας  $P \leq 0,05$ . Σε όλα τα διαγράμματα που ακολουθούν ισχύει η εξής σήμανση: n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο  $P \leq 0,050$ ,  $P \leq 0,01$ ,  $P \leq 0,001$ , αντίστοιχα.

## 2.4. Αποτελέσματα

### 2.4.1. Φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φύλλων

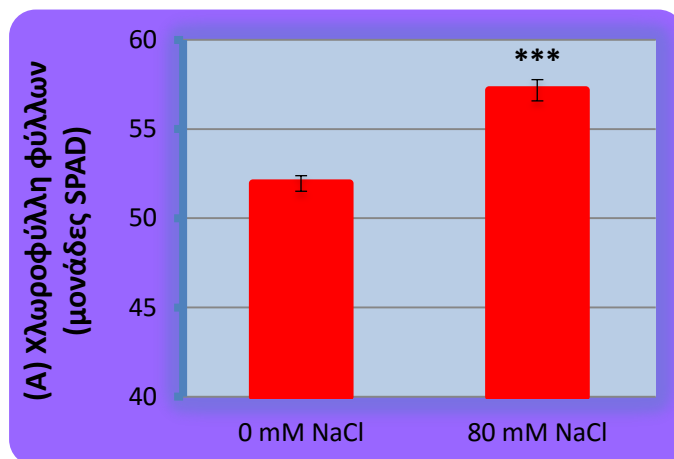
Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά το ρυθμό φωτοσύνθεσης των φύλλων, τη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων και το ρυθμό διαπνοής των φύλλων μεταξύ αλατότητας και μάρτυρα. Συγκεκριμένα, υπήρξε μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης από  $7,72 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (μάρτυρας) σε  $5,24 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (αλατότητα) (Εικ. 19Α). Η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων επίσης ακολούθησε πτωτική τάση από  $50,7 \text{mmol CO}_2\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (μάρτυρας) σε  $30,96 \text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (αλατότητα) (Εικ. 19Β). Ομοίως, ο ρυθμός διαπνοής μειώθηκε από  $1,45 \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (μάρτυρας) σε  $0,95 \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (αλατότητα) (Εικ. 19Γ). Τέλος, δεν υπήρξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε ό,τι αφορά το μεσοκυττάριο  $\text{CO}_2$  (Εικ. 19Δ), την αποτελεσματικότητα χρήσης  $\text{CO}_2$  (Εικ. 19Ε) και στην αποτελεσματικότητα χρήσης  $\text{H}_2\text{O}$  (Εικ. 19Στ).



**Εικόνα 19:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο ρυθμό φωτοσύνθεσης (Α), στη στοματική αγωγιμότητα (Β), στο μεσοκυττάριο CO<sub>2</sub> (Γ), στο ρυθμό διαπνοής (Δ), την αποτελεσματικότητα χρήσης H<sub>2</sub>O (Ε), στην αποτελεσματικότητα χρήσης CO<sub>2</sub> (Στ) των φύλλων. Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο P≤0,050, P≤0,01, P≤0,001, αντίστοιχα.

#### 2.4.2. Χλωροφύλλη φύλλων

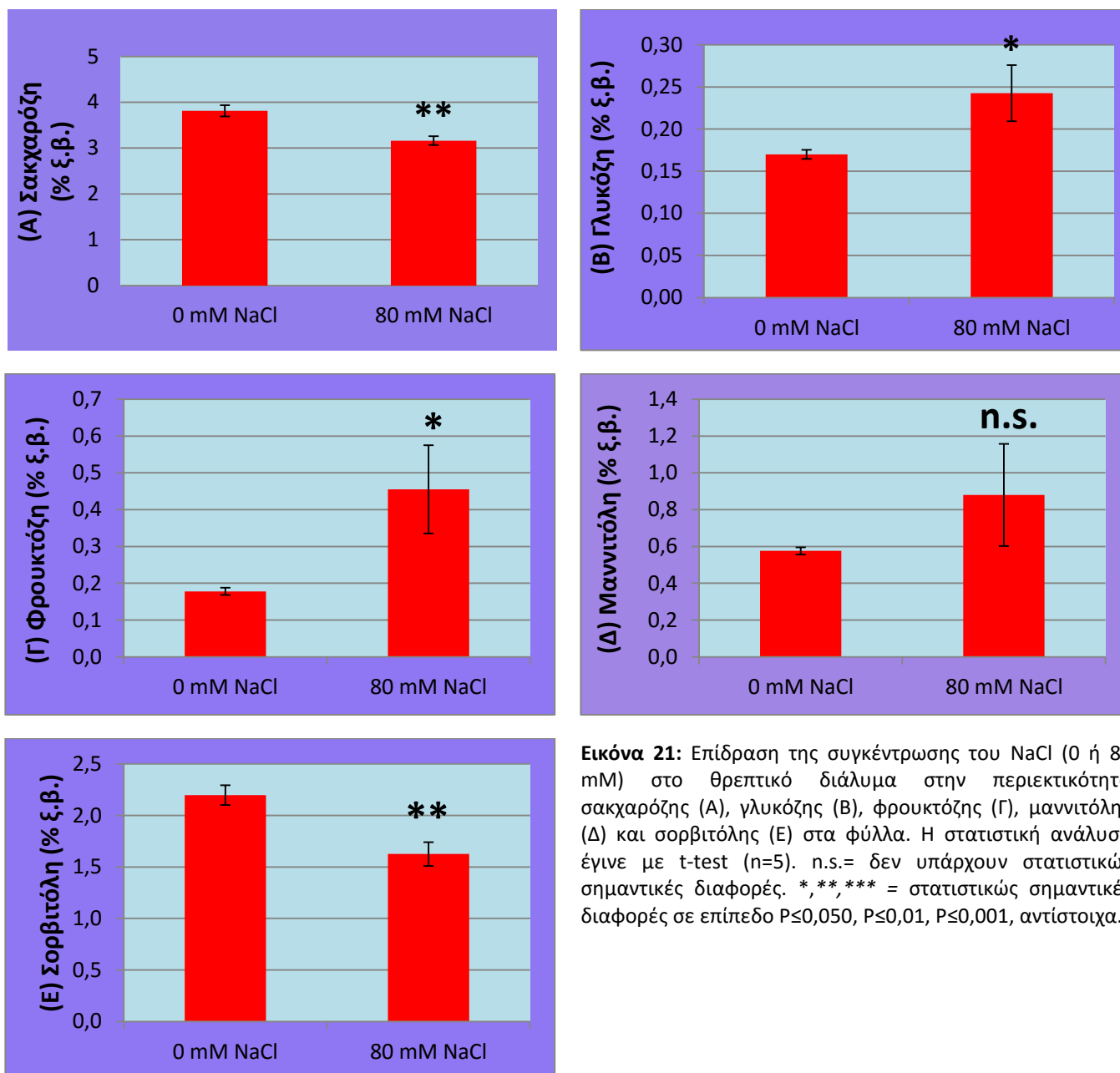
Στη χλωροφύλλη των φύλλων παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ μάρτυρα και αλατότητας. Συγκεκριμένα αυξήθηκε η τιμή της από 51,96 (0 mM NaCl) σε 57,17 (80 mM NaCl) (Εικ. 20Α).



**Εικόνα 20:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στη χλωροφύλλη των φύλλων (Α). Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο  $P \leq 0,050$ ,  $P \leq 0,01$ ,  $P \leq 0,001$ , αντίστοιχα.

#### 2.4.3. Διαλυτά σάκχαρα

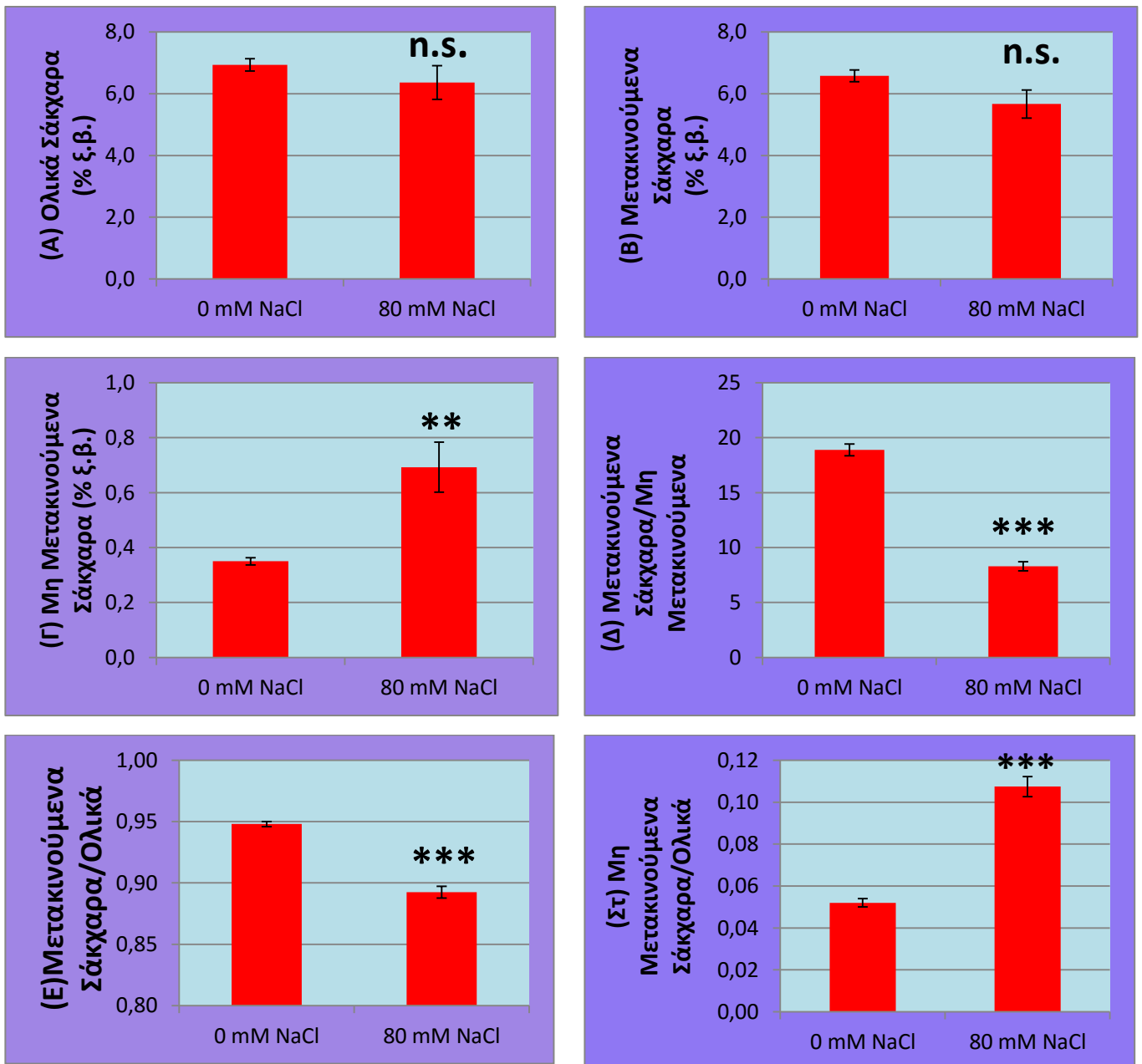
Με βάση την στατιστική ανάλυση των δεδομένων, παρατηρήθηκαν διαφορές στα περισσότερα ήδη σακχάρων (σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη, σορβιτόλη), εν αντιθέσει με τη μαννιτόλη. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της σακχαρόζης στα φύλλα μειώθηκε από 3,81 % ξ.β., (μάρτυρας) σε 3,16 % ξ.β. (αλατότητα) (Εικ. 21Α). Οι συγκεντρώσεις της γλυκόζης και της φρουκτόζης αυξήθηκαν από 0,17 % ξ.β. (μάρτυρας) σε 0,24 % ξ.β. (αλατότητα) (Εικ. 21Β) και από 0,17 % ξ.β. (μάρτυρας) σε 0,45 % ξ.β. (αλατότητα), αντίστοιχα (Εικ. 21Γ). Η συγκέντρωση της σορβιτόλης μειώθηκε σημαντικά από 2,19 % ξ.β. (μάρτυρας) σε 1,65 % ξ.β. (αλατότητα) (Εικ. 21Ε). Όσον αφορά τη συγκέντρωση της μαννιτόλης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές (Εικ. 21Δ).



**Εικόνα 21:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στην περιεκτικότητα σακχαρόζης (Α), γλυκόζης (Β), φρουκτόζης (Γ), μαννιτόλης (Δ) και σορβιτόλης (Ε) στα φύλλα. Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο  $P \leq 0,050$ ,  $P \leq 0,01$ ,  $P \leq 0,001$ , αντίστοιχα.

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στα μετακινούμενα και στα ολικά σάκχαρα (Εικ. 22B,A). Στα μη μετακινούμενα σάκχαρα, στους λόγους μετακινούμενα/μη μετακινούμενα σάκχαρα, μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα και μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα, αυξήθηκε η συγκέντρωση των μη μετακινούμενων σακχάρων από 0,35 % ξ.β. (μάρτυρας) σε 0,69 % ξ.β. (αλατότητα) (Εικ. 22Γ). Ο λόγος μετακινούμενα/μη μετακινούμενα σάκχαρα μειώθηκε από 18,88 (μάρτυρας) σε 8,29 (αλατότητα) (Εικ. 22Δ). Επιπροσθέτως, μειώθηκε ο λόγος μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα από 0,94 (μάρτυρας) σε 0,89 (αλατότητα) (Εικ. 22Ε). Ο

λόγος μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα αυξήθηκε από 0,52 (μάρτυρας) σε 0,107 (αλατότητα) (Εικ. 22Στ).



**Εικόνα 22:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στα ολικά σάκχαρα (Α), στα μετακινούμενα σάκχαρα (Β), στα μη μετακινούμενα σάκχαρα (Γ), και στους λόγους μετακινούμενα σάκχαρα/μη μετακινούμενα (Δ), μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (Ε) και μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (Στ) των φύλλων. Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο  $P \leq 0,050$ ,  $P \leq 0,01$ ,  $P \leq 0,001$ , αντίστοιχα.

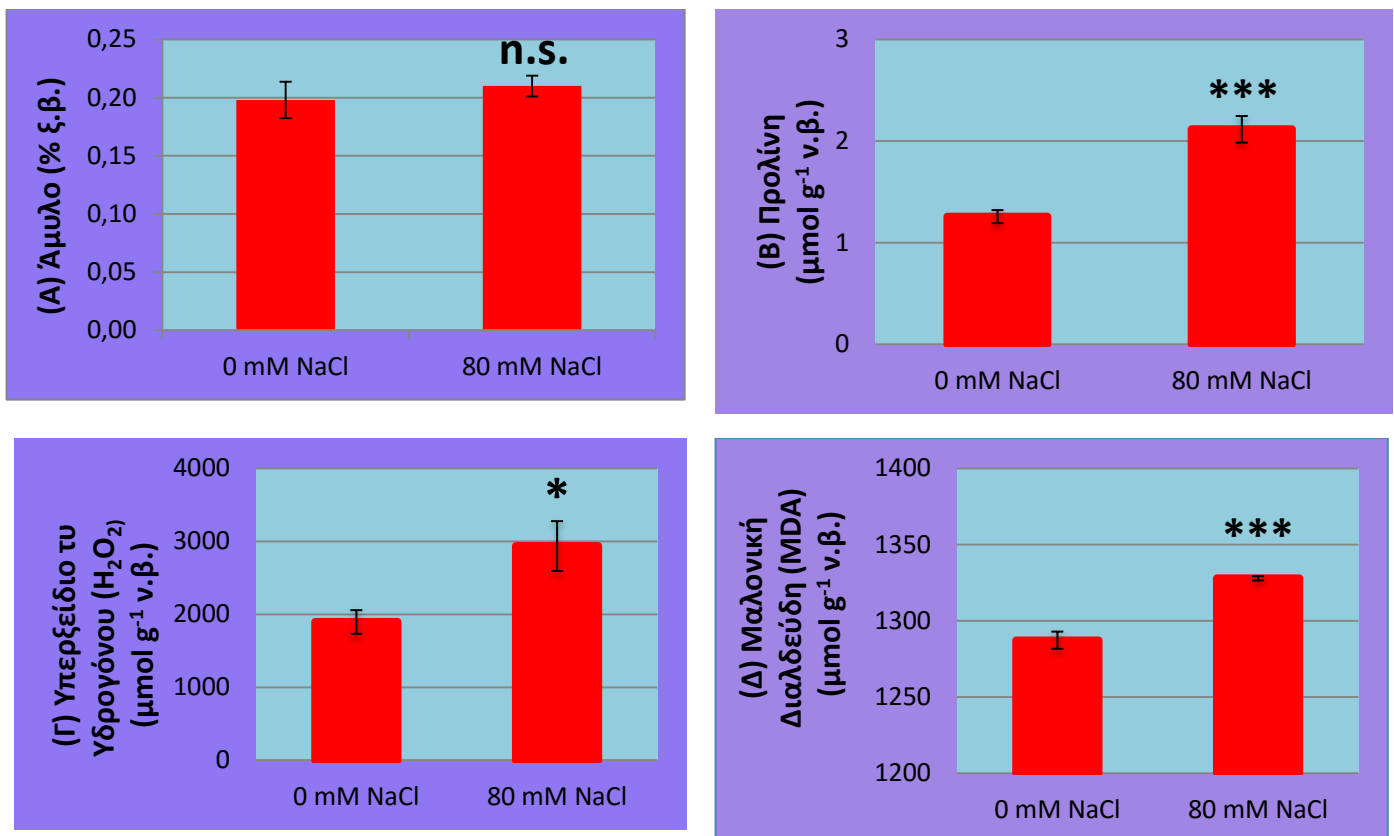
#### 2.4.4. Άμυλο, προλίνη, υπεροξειδίο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) και μαλονική διαλδεύδη (MDA)

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα του αμύλου στα φύλλα μεταξύ των επεμβάσεων του NaCl (0 ή 80 mM) (Εικ. 23Α).

Αυξητική πορεία ακολούθησε η συγκέντρωση της προλίνης, καθώς υπήρξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, με την τιμή της να αυξάνεται από 1,25  $\mu\text{mol g}^{-1}$  ν.β. (μάρτυρας) σε 2,11  $\mu\text{mol g}^{-1}$  ν.β. (αλατότητα) (Εικ. 23Β).

Η συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) στα φύλλα επηρεάστηκε σημαντικά από τις συγκεντρώσεις του NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (0 ή 80 mM). Συγκεκριμένα, αυξήθηκε από 1894,25  $\mu\text{mol g}^{-1}$  ν.β. (μάρτυρας) σε 2935  $\mu\text{mol g}^{-1}$  ν.β. (αλατότητα) (Εικ. 23Γ).

Η συγκέντρωση της μαλονικής διαλδεύδης (MDA) στα φύλλα επηρεάστηκε σημαντικά από τις συγκεντρώσεις του NaCl στο θρεπτικό διάλυμα (0 ή 80 mM). Συγκεκριμένα, αυξήθηκε από 1287,15  $\mu\text{mol g}^{-1}$  ν.β. (μάρτυρας) σε 1327,77  $\mu\text{mol g}^{-1}$  ν.β. (αλατότητα) (Εικ. 23Δ).

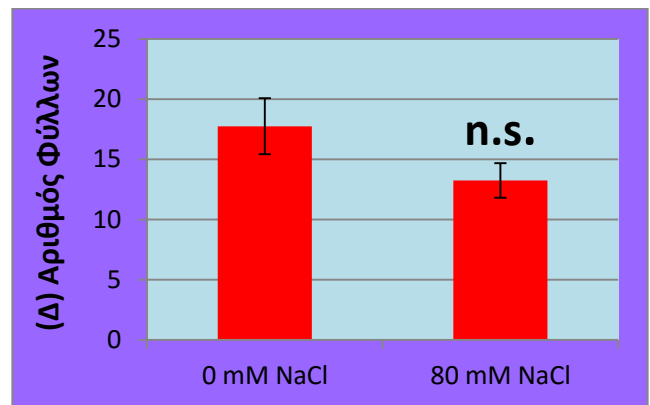
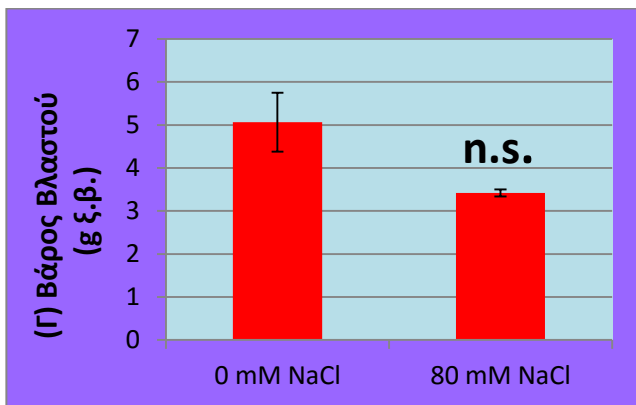
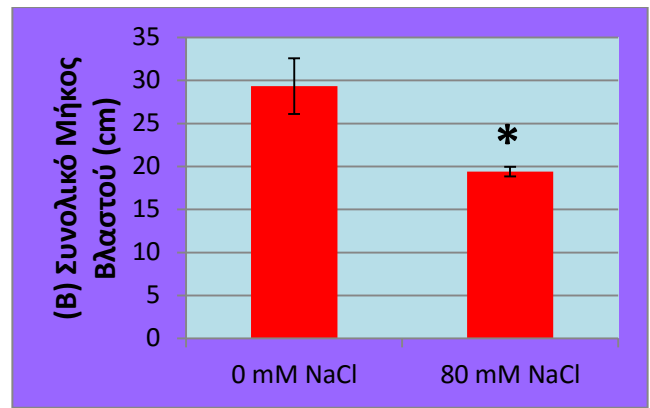
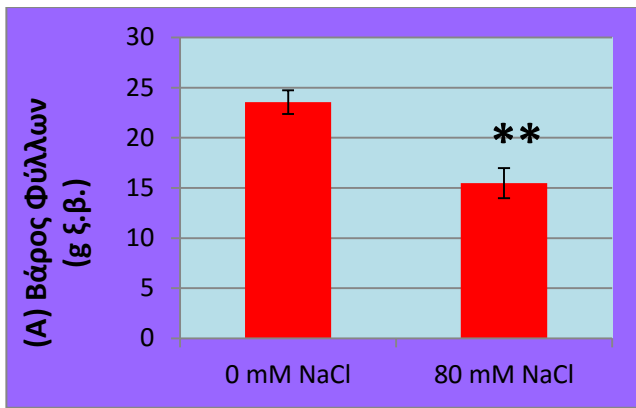


**Εικόνα 23:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του αμύλου (A), προλίνης (B), υπεροξειδίου του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Γ) και της μαλονικής διαλδεύδης (MDA) (Δ) στα φύλλα. Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο P≤0,050, P≤0,01, P≤0,001, αντίστοιχα.

#### 2.4.5. Φυτική αύξηση

Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ μάρτυρα και αλατότητας ως προς το βάρος φύλλων/φυτό καθώς και το συνολικό μήκος βλαστού. Συγκεκριμένα, μειώθηκε το βάρος φύλλων/φυτό από 23,54 g ξ.β. (μάρτυρας) σε 15,48 g ξ.β. (αλατότητα) (Εικ. 24Α). Επιπλέον, μειώθηκε το συνολικό μήκος των βλαστών από 29,35 cm (μάρτυρας) σε 19,38 cm (αλατότητα) (Εικ. 24Β), χωρίς, όμως, να παρατηρηθούν διαφορές μεταξύ τους ως προς το ξ.β. των βλαστών (Εικ. 24Γ) και τον αριθμό των φύλλων/φυτό (Εικ. 24Δ).





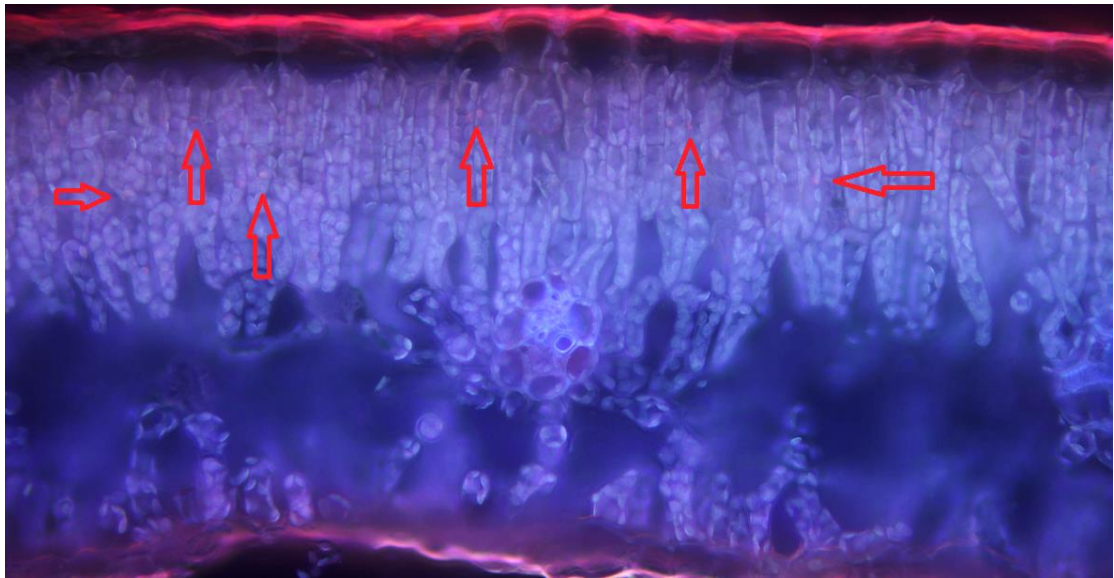
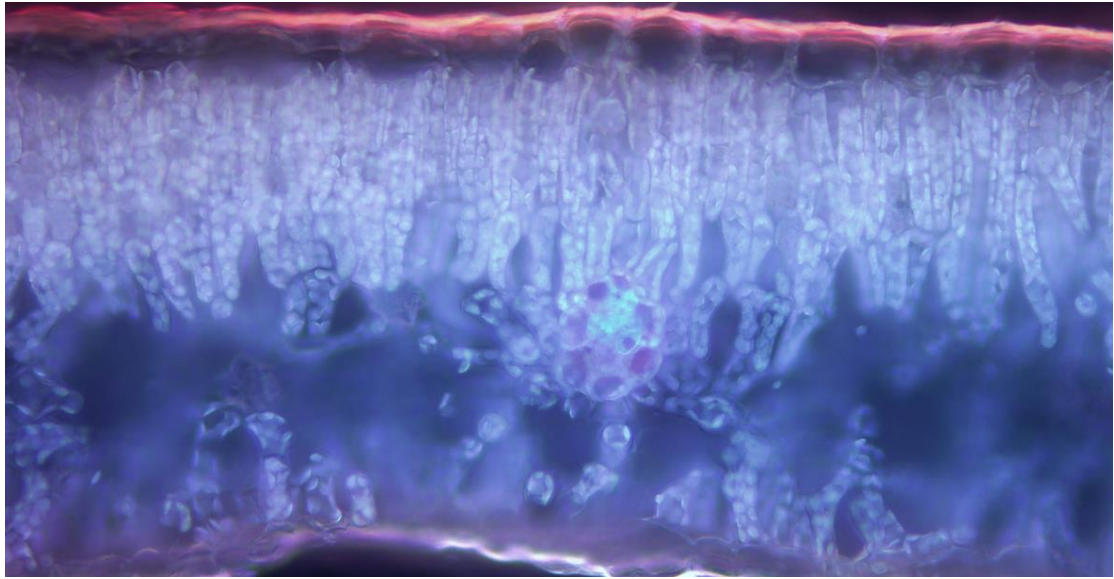
**Εικόνα 24:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο βάρος φύλλων/φυτό (Α), στο συνολικό μήκος βλαστού (Β), στο βάρος βλαστού (Γ) και στον αριθμό των φύλλων (Δ). Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο  $P \leq 0,050$ ,  $P \leq 0,01$ ,  $P \leq 0,001$ , αντίστοιχα.

#### 2.4.6. Ανατομική και μορφομετρική μελέτη φύλλων

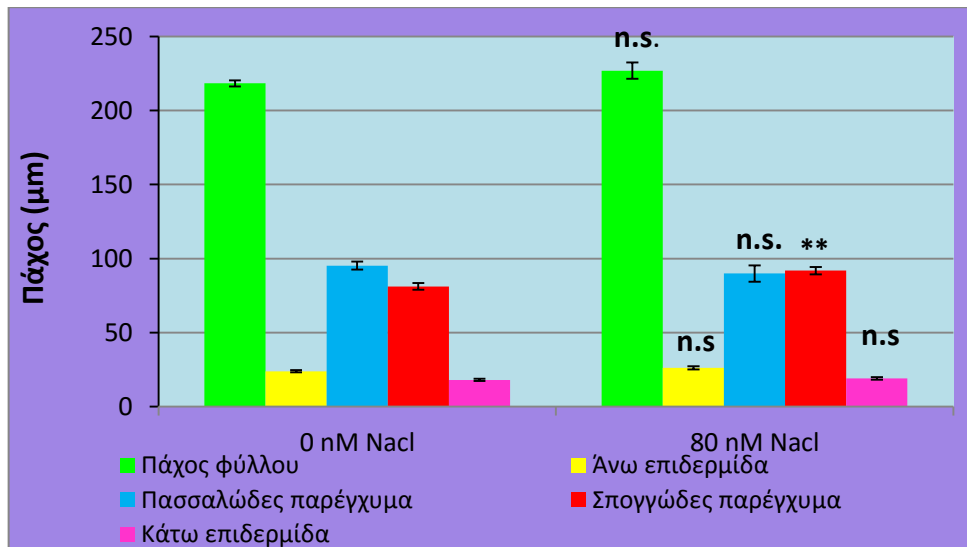
Όπως φαίνεται στην Εικ. 29, τα φύλλα της ιαπωνικής μουσμουλιάς έχουν την τυπική ανατομική διάταξη των δικοτυλήδων φυτών. Έχουν μεγάλα επιδερμικά κύτταρα στην άνω επιδερμίδα σε αντίθεση με την κάτω επιδερμίδα που είναι μικρότερα. Τα άνω επιδερμικά κύτταρα καλύπτονται εξωτερικά από παχιά εφυμενίδα. Το πασσαλώδες παρέγχυμα αποτελείται από 2-3 στρώσεις επίμηκων κυττάρων που περιφερειακά περιέχουν πολλούς χλωροπλάστες. Μεταξύ του πασσαλώδους παρεγχύματος και της κάτω επιδερμίδας, υπάρχει το σπογγώδες παρέγχυμα που είναι μικρότερου πάχους από το πασσαλώδες και φέρει μεγάλους μεσοκυττάριους χώρους. Στο εσωτερικό του ελάσματος παρατηρούνται επιπλέον ηθμαγγειώδεις δεσμίδες.

Άξιο λόγου είναι η παρουσία ερυθρών κουκίδων, ιδίως στην πρώτη στοιβάδα κυττάρων του πασσαλώδους παρεγχύματος που πιθανότατα να είναι ελαιοσταγονίδια (Εικ. 25). Η αυξημένη παρουσία των ελαιοσταγονιδίων τόσο σε αριθμό όσο και στο μέγεθος έγινε ιδιαιτέρως αντιληπτή στην επέμβαση 80 mM NaCl, συγκριτικά με την επέμβαση 0 mM NaCl (μάρτυρας).

Σύμφωνα με τα δεδομένα της μορφομετρικής ανάλυσης, η αλατότητα επηρέασε σημαντικά το πάχος του σπογγώδους παρεγχύματος, εν αντιθέσει με το πάχος του φύλλου, της άνω και κάτω επιδερμίδας και του πασσαλώδους παρεγχύματος που δεν επηρεάστηκαν σημαντικά (Εικ. 26). Στα φύλλα του μάρτυρα (0 mM NaCl), το πάχος του σπογγώδους παρεγχύματος ήταν 81,134  $\mu\text{m}$  ενώ στην επέμβαση 80 mM NaCl (αλατότητα) η τιμή της παραμέτρου αυξήθηκε και έφθασε τα 91,797  $\mu\text{m}$ .



**Εικόνα 25:** Εγκάρσιες τομές φύλλων ιαπωνικής μουσμουλιάς. Στην επάνω εικόνα παρατηρούμε το μάρτυρα (0 mM NaCl), ενώ στην κάτω την επέμβαση αλατότητας (80 mM NaCl). Η παρατήρηση έγινε σε οπτικό μικροσκόπιο φθορισμού. Στην επέμβαση 80 mM NaCl, τα κόκκινα βέλη δείχνουν την αυξημένη παρουσία των ελαιοσταγονιδίων (κόκκινες κουκίδες) τόσο σε αριθμό όσο και σε μέγεθος στα κύτταρα του πασσαλώδους παρεγχύματος σε σχέση με το μάρτυρα (0 mM NaCl).



**Εικόνα 26:** Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο συνολικό πάχος (μm) αλλά και στα πάχη (μm) των επιμέρους ιστών του ελάσματος των φύλλων της ιαπωνικής μουσμουλιάς. Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. \*, \*\*, \*\*\* = στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο  $P \leq 0,050$ ,  $P \leq 0,01$ ,  $P \leq 0,001$ , αντίστοιχα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Συζήτηση και Συμπεράσματα

#### 3.1. Συζήτηση

##### 3.1.1. Φυτική αύξηση

Υπό συνθήκες αλατότητας το βάρος των φύλλων της ιαπωνικής μουσμουλιάς μειώθηκε όπως και το συνολικό μήκος των βλαστών, ενώ δεν επηρεάστηκε το βάρος των βλαστών και ο αριθμός των φύλλων. Ομοίως, μείωση του ξηρού βάρους των φύλλων χωρίς σημαντική διαφοροποίηση του βάρους των βλαστών αναφέρεται σε φυτά νεραντζιάς (*Citrus aurantium*) από την Κωστοπούλου (2008). Ωστόσο, μείωση του βάρους φύλλων και βλαστών παρατηρήθηκε σε αντίστοιχες έρευνες σε φυτά τομάτας, φράουλας και μπάμιας (Mohammad et al., 1998; Turhan και Eris, 2006; Asraf et al., 2003). Μεταξύ άλλων, τα πρώτα συμπτώματα της αλατότητας είναι οι μεταβολές στη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων εξαιτίας της απώλειας νερού. Η υδατική ισορροπία διαταράσσεται και προκαλείται έλλειψη σπαργής, μείωση της ταχύτητας φωτοσύνθεσης και του ξηρού βάρους των φύλλων. Η μείωση του ξηρού βάρους συνήθως σχετίζεται με τη συγκέντρωση και τοξικότητα του Cl<sup>-</sup> παρά με στοματικούς παράγοντες (Erdei και Taleisnik, 1993; Huang και Redmann, 1995).

Η πρώτη αντίδραση των φυτών στην αλατότητα είναι η μείωση του ρυθμού ανάπτυξης τους. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση του υδατικού δυναμικού και αργότερα στην συσσώρευση τοξικών ιόντων (Marschner, 1995; Zhu 2001; Munns, 2002; Munns et al., 2006). Η μείωση της αύξησης ξεκινά από την ρίζα, λόγω χαμηλού υδατικού δυναμικού και μεταβιβάζεται στο βλαστό, μέσω του αμπψισικού οξέως (ABA) (Munns and Termaat, 1986). Όπως και στο πείραμά μας, αναφέρεται μείωση του συνολικού μήκους των βλαστών του *Simmondsia chinensis* (jojoba) υπό συνθήκες αλατότητας (Botti et al., 1998).

Η αλατότητα δεν επηρέασε τον αριθμό των φύλλων της ιαπωνικής μουσμουλιάς, σε αντίθεση με τις έρευνες των Greenway and Munns (1980), Munns (2002), Taiz και Zeiger (2002) και Giuffrida et al., (2008) που κατέγραψαν μείωση του αριθμού των φύλλων. Αντίστοιχα αποτελέσματα με τους παραπάνω βρέθηκαν στην τομάτα και στη φράουλα,

όπου επίσης παρατηρήθηκε μείωση του αριθμού των φύλλων (Mohammad et al., 1998; Awang et al., 1993).

### **3.1.2. Επίδραση αλατότητας στην απορρόφηση του Na, Cl, K**

Τα φυτά μειώνουν το υδατικό τους δυναμικό όταν αναπτύσσονται σε αλατούχα περιβάλλοντα, συσσωρεύοντας στα χυμοτόπιά τους υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου και νατρίου. Το νάτριο και το χλώριο ως απαραίτητα ιόντα της οσμωτικής ρύθμισης είναι τοξικά και διαχωρίζονται από το μεταβολικό μηχανισμό των κυττάρων. Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιείται με τη διαδικασία της διαμερισματοποίησης. Οι μεταβολικές διαδικασίες που είναι ευαίσθητες στην αλατότητα λαμβάνουν χώρα στο κυτόπλασμα ενώ στα χυμοτόπια αποθηκεύονται τα απαραίτητα ιόντα για την οσμωτική ρύθμιση (Flowers et al., 1977). Ο τρόπος με τον οποίο τα ιόντα καλίου διαπερνούν τις μεμβράνες είναι γνωστός εν αντιθέσει με το νάτριο και το χλώριο που εισέρχονται στα κύτταρα. Το νάτριο προσλαμβάνεται από φορείς ή κανάλια καλίου, λανθασμένα ως κάλιο. Υπάρχει πιθανότητα να εισέρχεται στα κύτταρα μέσω μη εκλεκτικών κατιονικών καναλιών, ειδικά αυτών που ενεργοποιεί η γλουταμίνη (Maathuis και Amtmann, 1999; Demidchik et al., 2002).

Η ανθεκτικότητα των καλλιεργειών στην αλατότητα εξαρτάται από την ανθεκτικότητα στην οσμωτική καταπόνηση (η οσμωτική καταπόνηση μειώνει την επέκταση των κυττάρων στις άκρες της ρίζας και στα νεαρά φύλλα και προκαλεί κλείσιμο των στοματίων και από την ανθεκτικότητα στην παρουσία των τοξικών ιόντων ( $\text{Na}^+$  και του  $\text{Cl}^-$ ). Οι μηχανισμοί ελέγχου της τοξικότητας αφορούν είτε στην επιλεκτικότητα στην είσοδο των ιόντων αυτών στο φυτό ή/και στον περιορισμό της μεταφοράς τους στα φωτοσυνθέτοντα μέρη του φυτού, στον περιορισμό της μεταφοράς τους από τις ρίζες στα φύλλα και ειδικότερα στα νεαρότερα, είτε στην ανθεκτικότητα των ιστών δηλαδή, στην ανοχή του ιστού στη συσσωρευση  $\text{Na}^+$ , ή σε ορισμένα είδη και στο  $\text{Cl}^-$ . Η ανθεκτικότητα βασίζεται στην διαμερισματοποίηση του  $\text{Na}^+$  και του  $\text{Cl}^-$  σε κυτταρικό και ενδοκυτταρικό επίπεδο, στο χυμοτόπιο, για να αποφευχθούν οι τοξικές συγκεντρώσεις τους στο κυτταρόπλασμα ειδικά στα μεσόφυλλα κύτταρα του φύλλου (Munns, 2002, Munns και Tester, 2008, Lauchli A. 1984). Οργανικές διαλυτές

ουσίες που είναι συμβατές με τη μεταβολική δραστηριότητα ακόμη και σε υψηλές συγκεντρώσεις, συγκεντρώνονται στο κυτταρόπλασμα και στα οργανίδια για να ισορροπήσουν την οσμωτική πίεση των ιόντων στα χυμοτόπια (οσμωτική προσαρμογή) (Munns, 2005). Οι ενώσεις που συνήθως συσσωρεύονται είναι σακχαρόζη, προλίνη και βεταΐνη γλυκίνη καθώς και άλλες ενώσεις μπορούν να συσσωρευτούν σε υψηλές συγκεντρώσεις σε ορισμένα είδη (Hasegawa et al., 2000; Munns, 2005).

Η διαμερισματοποίηση του  $\text{Na}^+$ , τόσο στα φύλλα όσο και στα αγγεία του ξύλου, αποτελεί τον αποτελεσματικότερο μηχανισμό φυτικών κυττάρων στο να αντιμετωπίζουν τις υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, να διατηρούν υψηλή αναλογία  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , όπου σε συνθήκες αλατότητας προλαμβάνει δυσκολίες στη συγκέντρωση καλίου και να προλαβαίνει τα τοξικά αποτελέσματα. Οι αντιμεταφορές  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  ρυθμίζουν τη διαμερισματοποίηση του  $\text{Na}^+$  (Hasegawa, 2000). Οι κωδικοποιούμενοι αντιμεταφορές  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  από υπερέκφραση των γονιδίων στα διάφορα φυτικά είδη αυξάνει την αντοχή στην αλατότητα (Paranychianakis και Chartzoulakis, 2005).

Η υψηλή συγκέντρωση του  $\text{NaCl}$  στο θρεπτικό διάλυμα, , οδήγησε σε αυξημένη πρόσληψη  $\text{Na}^+$  από τα φυτά, με μεγαλύτερη συσσώρευσή του στις ρίζες και στα φύλλα της ιαπωνικής μουσμουλιάς . Επιπλέον, πολλοί ερευνητές, όπως οι Parra et al. (2007), Romero-Arganda et al. (2002) και Debuba et al. (2006), σε πειραματικές καλλιέργειες τομάτας κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα. Οι συγκεντρώσεις του νατρίου, η ποσότητα του νατρίου σε φύλλα, βλαστό και ρίζα καθώς και η συνολική ποσότητα του νατρίου ανά φυτό στις επεμβάσεις αλατότητας αυξήθηκαν. Ο λόγος της ποσότητας του  $\text{Na}^+$  (Υπέργειο/Ρίζα) αυξήθηκε δεδομένο που υποδεικνύει έναν πιθανό μηχανισμό περιορισμού του  $\text{Na}^+$  στην ρίζα.

Το κάλιο ( $\text{K}^+$ ) έχει σημαντική επίδραση στην ενεργοποίηση των ενζύμων, στην σύνθεση των πρωτεϊνών, στην φωτοσύνθεση, στην κίνηση των στοματίων και στην υδατική κατάσταση (ρύθμιση σπαργής, οσμωτική προσαρμογή) στα φυτά (Marschner, 1995). Γνωστός στη διεθνή βιβλιογραφία είναι ο ανταγωνισμός μεταξύ  $\text{K}^+$  και  $\text{Na}^+$ , καθώς η απορρόφηση του καλίου εμποδίζεται από το νάτριο (Cerdea et al., 1995). Πολλές μελέτες έδειξαν ότι η συγκέντρωση του  $\text{K}^+$  μειώνεται με την αύξηση του  $\text{Na}^+$  (Graffenberg et al., 1995, PerezAlfocea et al., 1996, Lopez και Satti, 1996, Botella et al., 1997, Walker και Douglas,

1983). Αντίθετα, σε ορισμένες άλλες μελέτες αναφέρεται ότι η συγκέντρωση του  $K^+$  αυξάνεται ή δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την αύξηση της αλατότητας (Meiri et al. , 1971, Cachorro et al, 1994, Walker, 1986) (Garcia-Lidon et al., 1998). Στην παρούσα εργασία οι συγκεντρώσεις του καλίου στα φύλλα και στις ρίζες, οι ποσότητες καλίου στα φύλλα, βλαστούς και ρίζες καθώς και η συνολική ποσότητα καλίου ανά φυτό δεν διαφοροποιήθηκαν σημαντικά λόγω αλατότητας. Ωστόσο, η συγκέντρωση του καλίου στο βλαστό όπως και ο λόγος της ποσότητας του  $K^+$  (Υπέργειο/Ρίζα) μειώθηκε, ίσως λόγω του περιορισμού της αύξησης και της υψηλής συγκέντρωσης  $Na^+$ . Η μείωση της συγκέντρωσης  $K^+$  και η υψηλή συγκέντρωση του  $Na^+$  σε φυτά που αναπτύσσονται υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας δείχνει ότι το πλασμαλήμμα των κυττάρων των ριζών μπορεί να γίνει λιγότερο επιλεκτικό και περισσότερο διαπερατό. Τα υψηλά επίπεδα του  $Na^+$  μπορούν να αντικαταστήσουν το  $Ca^{2+}$  από τις μεμβράνες των κυττάρων των ριζών, επηρεάζοντας την ακεραιότητά τους και την επιλεκτικότητά τους για την πρόσληψη  $K^+$  (Cramer et al., 1985, 1987). Σύμφωνα με τους Shabala et al.(2006) και Maathuis και Amtmann (1999), η διατήρηση του υψηλού κυτοπλασματικού λόγου  $K^+/Na^+$  αποτελεί ένδειξη αντοχής στην αλατότητα. Στο πείραμα Α ο λόγος  $K^+/Na^+$  σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες μειώθηκε, γεγονός που πιθανό να σηματοδοτεί την ευαισθησία της ιαπωνικής μουσμουλιάς στην αλατότητα.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις  $Cl^-$  αποτελούν έναν από τους τρεις κύριους περιορισμούς για την αύξηση των φυτών σε αλατούχα εδάφη (τοξικότητα ιόντων) (Marschner, 1995). Όταν το έδαφος έχει υψηλή συγκέντρωση αλάτων τότε η μείωση της αύξησης του φυτού μπορεί να είναι αποτέλεσμα αναστολής πρόσληψης, μεταφοράς ή/και χρησιμοποίησης θρεπτικών στοιχείων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις  $Cl^-$  δύναται να μειώσουν επίσης, την πρόσληψη  $NO_3^-$ . Η κατάρρευση των κυττάρων του μεσοφύλλου, η διάσπαση της εφυμενίδας και των στομάτων καθώς και η κατάρρευση των κυτταρικών τοιχωμάτων και η καταστροφή των χλωροπλαστών δύναται να προκληθεί από υψηλές συγκεντρώσεις  $Cl^-$  σε υψηλά επίπεδα αλατότητας (Kozlowski, 1997). Η ικανότητα των φυτών να ανέχονται υψηλή συγκέντρωση αλάτων εξαρτάται από την οσμωτική εξισορρόπηση που επιτυγχάνεται κυρίως με τα ιόντα χλωρίου και νατρίου. Τα δύο αυτά ιόντα είναι τοξικά, για αυτόν τον λόγο η συγκέντρωσή τους στο κυτόπλασμα επιτυγχάνεται με σύνθεση οργανικών ουσιών (Κόντης, 2009).



Για τα περισσότερα είδη, οι συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  φαίνεται να φθάσουν σε τοξικά επίπεδα πριν εμφανισθεί η τοξικότητα του  $\text{Cl}^-$ , όμως για ορισμένα είδη όπως ή σόγια, τα εσπεριδοειδή και τα αμπέλια το  $\text{Cl}^-$  θεωρείται το πιο τοξικό ιόν (Munns, 2008)

Η εφαρμογή αυξανόμενων συγκεντρώσεων  $\text{NaCl}$  στο θρεπτικό διάλυμα ανάπτυξης των φυτών ιαπωνικής μουσουλιάς (πείραμα Α) προκάλεσε αύξηση στη συγκέντρωση  $\text{Cl}^-$  στα φύλλα, στους βλαστούς και στις ρίζες, στις ποσότητες  $\text{Cl}^-$  στα φύλλα, στους βλαστούς και στις ρίζες και στη συνολική ποσότητα του φυτού. Το  $\text{Cl}^-$  λόγω της ευκινησίας του μεταφέρεται γρήγορα στα όργανα του φυτού. Ο λόγος της ποσότητας του  $\text{Cl}^-$  (Υπέργειο/Ρίζα) μειώθηκε, πιθανόν λόγω του ανταγωνισμού με το νάτριο. Επιπρόσθετα, η συγκέντρωση του  $\text{Cl}^-$  στους επι μέρους ιστούς βαίνει μειούμενη από την ρίζα προς τα φύλλα, υποδηλώνοντας την ύπαρξη μηχανισμού ελέγχου της μεταφοράς του. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του  $\text{Cl}^-$  μειώθηκε από την ρίζα προς τα φύλλα, αφού οι συγκεντρώσεις του στην επέμβαση 48 mM  $\text{NaCl}$  ήταν 0,81 % ξ.β στις ρίζες, 0,44 % ξβ στους βλαστούς και 0,24 % ξ.β στα φύλλα. Σε πείραμα επίδρασης της αλατότητας στο λάχανο, η αύξηση του  $\text{Cl}^-$  σε χαμηλά επίπεδα αλατότητας δημιούργησε περισσότερο συμπαγείς κεφαλές λαχάνων ενώ η αύξηση του  $\text{Cl}^-$  σε υψηλά επίπεδα αλατότητας προκάλεσε μείωση της πυκνότητας των κεφαλών τους (Πετρόπουλος, 2013). Η βελτίωση της ποιότητας του σέλινου σε επίπεδα αυξημένης αλατότητας είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών, που πιθανό να οφειλόταν σε φαινόμενα ανταγωνισμού μεταξύ ιόντων  $\text{Cl}^-$  και νιτρικών ιόντων. Η αυξημένη συγκέντρωση  $\text{Cl}^-$  σε επίπεδα μέτριας αλατότητας βελτίωσε την ποιότητα τομάτας (Πετρόπουλος, 2013).

### **3.1.3. Ανατομία φύλλων**

Οι συνθήκες υψηλής αλατότητας οδηγούν στην αύξηση του πάχους του φύλλου εξαιτίας της περιορισμένης εκροής του νερού και της αναγκαιότητας των φυτών να διατηρήσουν την περιεκτικότητά τους σε νερό. Οι Werner και Stelzer (1990) υποστήριξαν ότι εξαιτίας της αύξησης του φύλλου τα άλατα αποθηκεύονται στον υποδερμικό ιστό. Οι James et al. (1999) υποστήριξαν ότι η αποθήκευση του νερού και όχι του χυμού στο μεσόφυλλο είναι

υπεύθυνη για την αύξηση του πάχους του φύλλου. Παρόλα αυτά, στην παρούσα μελέτη δεν επηρεάστηκε το πάχος του φύλλου, η άνω και κάτω επιδερμίδα και το πασσαλώδες παρέγχυμα, παρά μόνο το σπογγώδες παρέγχυμα που αυξήθηκε με την αύξηση της αλατότητας. Οι Vigo et al. (2002) μελέτησαν την ποικιλία ελιάς “Χονδρολιά Χαλκιδικής” σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας και βρήκαν αυξημένο το πάχος του φύλλου, της άνω και κάτω επιδερμίδας, του πασσαλώδους και του σπογγώδους παρεγχύματος γεγονός που τους οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ίσως η ελιά είχε προσαρμοστεί στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της χώρας μας ή το επίπεδο της αλατότητας δεν ήταν τόσο υψηλό ώστε να εκδηλωθούν τα οποιαδήποτε άλλα συμπτώματα ή ο συνδυασμός και των δύο.

Επιπλέον, παρατηρήθηκαν πάρα πολλές μικρές ερυθρές κουκκίδες στην πρώτη σειρά των κυττάρων του πασσαλώδους παρεγχύματος της ιαπωνικής μουσμουλιάς, οι οποίες πιθανό να είναι ελαιοσταγονίδια. Με την τομή των φύλλων συμπαρασύρεται η χλωροφύλλη η οποία απορροφάται από τα ελαιοσταγονίδια, και έτσι δημιουργείται έντονος ερυθρός φθορισμός. Κυρίως στις ανώτερες σειρές του πασσαλώδους παρεγχύματος στοιχίζονται συνήθως σε σειρά τα ελαιοσταγονίδια τα οποία έχουν παρατηρηθεί τόσο σε φαρμακευτικά όσο και σε αρωματικά φυτά. Τους έχει αποδοθεί και ο ρόλος της προστασίας των κυττάρων έπειτα από διάφορα είδη καταπονήσεων. Το μέγεθος και ο αριθμός των ελαιοσταγονιδίων στην επέμβαση της αλατότητας αυξήθηκε έναντι του μάρτυρα γεγονός που δεν αποκλείει τον παραπάνω ρόλο.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω δεδομένα, κρίνεται αναγκαία η εκτενέστερη μελέτη και διερεύνηση τόσο των ανατομικών όσο και των μορφολογικών χαρακτηριστικών των ιστών της ιαπωνικής μουσμουλιάς και γενικότερα άλλων ειδών της οικογένειας Rosaceae με σκοπό την ακριβέστερη εξειδίκευση των αλλοιώσεων που δημιουργούνται από την αλατότητα, σε κυτταρικό και υποκυτταρικό επίπεδο.

#### **3.1.4. Φωτοσυνθετική δραστηριότητα**

Η εφαρμογή των 80 mM NaCl προκάλεσε μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης, της στοματικής αγωγιμότητας και του ρυθμού διαπνοής των φύλλων της ιαπωνικής

μουσμουλιάς. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η μείωση της αφομοίωσης CO<sub>2</sub> στα φύλλα των φυτών που καλλιεργούνται υπό συνθήκες 80 mM NaCl οφειλόταν κυρίως στο κλείσιμο των στομάτων, όπως υποδεικνύεται από τις μειωμένες τιμές της στοματικής αγωγιμότητας. Με άλλα λόγια, οι στοματικοί παράγοντες φαίνεται να παίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στον περιορισμό της φωτοσύνθεσης των φύλλων των φυτών της μουσμουλιάς, όταν καλλιεργούνται υπό συνθήκες αλατότητας. Σύμφωνα με τον Garcia-Legaz et al. (2005), η μείωση της στοματικής αγωγιμότητας και της διαπνοής μπορεί να αποτελεί ένα προσαρμοστικό μηχανισμό που βοηθά τα φυτά να αντιμετωπίσουν την υπερβολική αλατότητα. Ο μηχανισμός αυτός τείνει να μειώσει τις απώλειες νερού μέσω της διαπνοής και να μειώσει το τοξικό φορτίο ιόντων στα φύλλα. Σύμφωνα με τους Banuls και Primo-Millo (1995), η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας συσχετίζεται με ταυτόχρονη μείωση της στοματικής αγωγιμότητας.

Η φωτοσύνθεση ως μεταβολική λειτουργία θεωρείται πολύ σημαντική. Η επαρκής διατήρηση του φωτοσυνθετικού ρυθμού μπορεί να συμβάλλει στη διατήρηση της αύξησης του φυτού υπό συνθήκες αλατότητας. Οι στοματικοί ή οι μη στοματικοί παράγοντες ή και οι δύο μπορεί να συμβάλλουν στη μείωση του φωτοσυνθετικού ρυθμού υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας (Dubey, 2005).

Το μέγεθος των κυττάρων και η στοματική αγωγιμότητα μπορεί να μεταβληθεί από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η αλατότητα (Curtis και Lauchli, 1987). Σε φυτά φασολιού υπό συνθήκες αλατότητας προκλήθηκε αύξηση της στοματικής αγωγιμότητας, εν αντιθέσει με τα φυτά τομάτας που προκλήθηκε μείωση (Kaymakanova et al, 2008; Romeroaranda et al., 2001).

Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ μάρτυρα και καταπονημένων φυτών όσον αφορά την αποτελεσματικότητα χρήσης του H<sub>2</sub>O, το μεσοκυττάριο CO<sub>2</sub>, και την αποτελεσματικότητα της χρήσης CO<sub>2</sub>, ενώ, παράλληλα, μειώθηκε ο φωτοσυνθετικός ρυθμός και το ποσοστό αφομοίωσης του CO<sub>2</sub> οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι εκτός από τους στοματικούς παράγοντες και οι μη στοματικοί παράγοντες φαίνεται να διαδραματίζουν ένα δευτερεύοντα ρόλο στη μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φύλλων της ιαπωνικής μουσμουλιάς υπό συνθήκες αλατότητας. Γενικότερα, οι αλλαγές των φυσιολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια της

καταπόνησης από την αλατότητα προκάλεσαν την αναστολή της φωτοσύνθεσης, τη μείωση της αγωγιμότητας των στομάτων, τη διαφοροποίηση των συσσωρευμένων φωτοσυνθετικών προϊόντων, τη δυσλειτουργία των αλυσίδων μεταφοράς ηλεκτρονίων και την καταστροφή του συστήματος συλλογής ηλιακής ενέργειας (Everard et al. 1994).

### **3.1.5. Διαλυτά Σάκχαρα και άμυλο**

Στο πείραμα Α, παρατηρήθηκε ότι η σακχαρόζη, η μαννιτόλη και η σορβιτόλη επηρεάστηκαν αρνητικά, όπως και τα ολικά, τα μετακινούμενα σάκχαρα (σακχαρόζη, μαννιτόλη, σορβιτόλη) και ο λόγος μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα. Επιπλέον, η φρουκτόζη και γλυκόζη επηρεάστηκαν θετικά και ως εκ τούτου αυξήθηκαν επίσης τα μη μετακινούμενα σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη) και ο λόγος μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα. Ο λόγος των μετακινούμενων/μη μετακινούμενων σακχάρων μειώθηκε διότι το άθροισμα των μετακινούμενων είναι περισσότερο αρνητικά επηρεασμένο από ότι θετικά επηρεασμένο το άθροισμα των μη μετακινούμενων σακχάρων.

Στο πείραμα Β, παρατηρούμε ότι η σακχαρόζη και η σορβιτόλη επηρεάστηκαν αρνητικά, ενώ η μαννιτόλη δεν επηρεάστηκε με αποτέλεσμα τα ολικά σάκχαρα, τα μετακινούμενα (σακχαρόζη, μαννιτόλη, σορβιτόλη) καθώς και ο λόγος μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα να έχουν επηρεαστεί αρνητικά. Επιπλέον, η φρουκτόζη και γλυκόζη αυξήθηκαν και συνεπώς τα μη μετακινούμενα σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη) στο σύνολό τους επίσης αυξήθηκαν. Ο λόγος των μετακινούμενων/μη μετακινούμενων σακχάρων μειώθηκε εξαιτίας του ότι το άθροισμα των μετακινούμενων σακχάρων επηρεάστηκε περισσότερο αρνητικά από όσο επηρεάστηκε θετικά το άθροισμα των μη μετακινούμενων σακχάρων. Ο λόγος των μη μετακινούμενων/ολικά σάκχαρα επηρεάστηκε αρνητικά λόγω αλατότητας μιας και το άθροισμα των ολικών σακχάρων ήταν περισσότερο αρνητικά επηρεασμένο από ότι το άθροισμα των μη μετακινούμενων σακχάρων.

Συνολικά, τα ολικά όπως και τα μετακινούμενα σάκχαρα (σακχαρόζη, μαννιτόλη, σορβιτόλη) μειώθηκαν στο πείραμα Α και δε μεταβλήθηκαν στο πείραμα Β. Τα μη μετακινούμενα σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη) και ο λόγος μη μετακινούμενων/ολικών

σακχάρων αυξήθηκαν και στα δύο πειράματα, ενώ ο λόγος των μετακινούμενων/μη μετακινούμενων σακχάρων και μετακινούμενων/ολικών σακχάρων στα φύλλα μειώθηκε και στα δύο πειράματα.

Σχετικά με την παράλληλη αύξηση της γλυκόζης και φρουκτόζης σε συνδυασμό με τη μείωση της σακχαρόζης (δισακχαρίτης που αποτελείται από γλυκόζη και φρουκτόζη), που παρατηρήθηκε στη μελέτη μας, ίσως η πιθανότερη αιτία να είναι η διατάραξη της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης. Φυτά που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες αλατότητας μείωσαν το φωτοσυνθετικό ρυθμό, τη στοματική αγωγιμότητα και το ρυθμό διαπνοής. Με τη μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης δεν επηρεάστηκε η αποτελεσματικότητα χρήσης CO<sub>2</sub>, ούτε το μεσοκυττάριο CO<sub>2</sub> και αφού η σακχαρόζη αποτελεί το κύριο προϊόν της φωτοσύνθεσης γίνεται φανερό πως ήταν αναμενόμενη η μείωση της, αφού η αλατότητα προκάλεσε έμμεσα μπλοκάρισμα της φωτοσύνθεσης, μέσω και της οξειδωτικής καταπόνησης των χλωροπλαστών (αύξηση μαλονικής διαλδεΐδης).

Η ταυτόχρονη μείωση της συγκέντρωσης της σακχαρόζης και μαννιτόλης των φύλλων στις επεμβάσεις αλατότητας πιθανό να οφείλεται στην αδυναμία επαναφοράς του υδατικού δυναμικού των φύλλων στις επιθυμητές τιμές είτε στο ενεργειακό κόστος της ωσμωρύθμισης με παραγωγή οργανικών ουσιών. Η σακχαρόζη και η σορβιτόλη λειτουργούν ως μοριακά σήματα στα όργανα παραγωγής (φύλλα) των δένδρων της οικογένειας Rosaceae (Suzuki και Dandekard, 2014). Τα δένδρα αυτά έχουν αναπτύξει ειδικούς μηχανισμούς που τους επιτρέπουν να διατηρούν τη σορβιτόλη ως το κύριο μεταφερόμενο σάκχαρο, γεγονός που υποδεικνύει τη σημαντικότητα του σακχάρου στη στρατηγική επιβίωσής τους (Suzuki και Dandekard, 2014). Μέσω της συσσώρευσης της σορβιτόλης σε συνθήκες έλλειψης νερού γίνεται η ωσμωτική ρύθμιση των κυττάρων στα δένδρα της οικ. Rosaceae. Η σορβιτόλη καθώς και άλλες πολυόλες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν και ως διαλυτές ουσίες για την ωσμωτική ρύθμιση σε είδη όπως το *Hedera helix* L. (Moore et al., 1997) και είδη της οικογένειας Oleaceae (Gucci et al., 1997; Guicherd et al., 1997). Οι πολυόλες παρεμποδίζουν τη συσσώρευση ενεργών ριζών οξυγόνου οι οποίες καταστρέφουν τις κυτταρικές μεμβράνες (Brown και Hu, 1996). Ενδεχομένως, η μειωμένη σύνθεση της σακχαρόζης στα φύλλα της ιαπωνικής μουσμουλιάς να έχει επηρεαστεί από τη μειωμένη συσσώρευση σορβιτόλης, οπότε να μην υπήρξε αποτελεσματικός έλεγχος στην παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου.

Το άμυλο είναι ένας πολυσακχαρίτης αποτελούμενος από δεκάδες χιλιάδες μόρια γλυκόζης. Το άμυλο αποτελεί αποταμιευτικό πολυσακχαρίτη των φυτών και διασπώμενο αποδίδει μόρια γλυκόζης, τα οποία το φυτό χρησιμοποιεί ως μόρια παραγωγής ενέργειας. Το άμυλο των φύλλων στις επεμβάσεις αλατότητας και των δύο πειραμάτων δεν επηρεάστηκε, γεγονός που πιθανό να οφείλεται στην αυξημένη συγκέντρωση γλυκόζης και στα δύο πειράματα ως πηγή παραγωγής ενέργειας και ως μέσο μεταβολισμού.

### **3.1.6. Προλίνη, Υπεροξείδιο του Υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), μαλονική διαλδεΐδη (MDA)**

Σε πολλά είδη έχει παρατηρηθεί κάτω από ένα μεγάλο εύρος συνθηκών καταπόνησης περιλαμβανομένης και της αλατότητας έχει παρατηρηθεί η αύξηση της συγκέντρωσης της προλίνης (Aspinall και Paleg, 1981; Mansour, 2000). Η προλίνη έχει τη δυνατότητα να ενεργεί ως μη τοξικός οσμωτικός μεταβολίτης που εντοπίζεται στο κυτόπλασμα ή ακόμα και ως προστατευτικό μέσο των ένζυμων σταθεροποιώντας τη δομή των οργανιδίων και των μακρομορίων. Η αντοχή των φυτών στην αλατότητα μπορεί να αυξηθεί από την προσφερόμενη ενέργεια της συσσωρευόμενης προλίνης (Jaleel et al., 2007). Επίσης, η προλίνη επάγει την έκφραση των γονιδίων που είναι υπεύθυνα για την αντοχή στην αλατότητα και συμβάλλει στη διατήρηση της κατάλληλης αναλογίας NADP<sup>+</sup>/ NADPH που προάγει το μεταβολισμό (Hare και Cress, 1997).

Για τη διαδικασία της βιοσύνθεσης της προλίνης απαιτείται υψηλή ενέργεια και πιθανό να απαιτούνται για τον έλεγχο των μεταφορέων στο πλασμαλήμμα μικρές ποσότητες (Cuin και Shabala, 2005). Στην απενεργοποίηση των ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) ρόλο πιθανό ίσως έχει η προλίνη, μειώνοντας την υπεροξείδωση των λιπιδίων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της διαπερατότητας των μεμβρανών και σε έκχυση εκτός του κυττάρου ηλεκτρολυτών. Η υπερπαραγωγή προλίνης κάτω από φυσιολογικές περιβαλλοντικές συνθήκες δύναται να εμποδίσει τη σύνθεση πρωτεϊνών και RNA που χρειάζονται για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών (Su και Wu, 2004).

Η συγκέντρωση της προλίνης στα φύλλα και στα δύο πειράματα αυξήθηκε, γεγονός που μπορεί να συνδέεται με τη διατήρηση ενός κατάλληλου λόγου K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>. Η συγκέντρωση της

προλίνης στη ρίζα του Πειράματος A δεν μετεβλήθη πράγμα που μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα της μη συμμετοχής της στην αντιμετώπιση της αλατότητας των φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς.

Η συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) στα φύλλα και των δύο πειραμάτων (A και B) επηρεάστηκαν σημαντικά. Αντίθετα, η συγκέντρωση της μαλονικής διαλδεΐδης (MDA) στα φύλλα στο πείραμα A δεν επηρεάστηκε σημαντικά ενώ αυξήθηκε στο πείραμα B. Ως δείκτης για την εκτίμηση της οξειδωτικής καταπόνησης στα φυτά χρησιμοποιούνται συχνά τα επίπεδα της μαλονικής διαλδεΐδης (MDA). Ως δείκτης καταστροφής των φυτικών ιστών από ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS) μπορεί να χρησιμοποιηθεί το υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ). Οι ελεύθερες ρίζες δημιουργούν υπεροξείδωση των λιπιδίων και τελικά την καταστροφή των κυτταρικών μεμβρανών. Ένα από τα τελικά προϊόντα της υπεροξείδωσης των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων στα κύτταρα είναι η μαλονική διαλδεΐδη (MDA).

Η υψηλή συγκέντρωση της MDA στα φύλλα της επέμβασης 80 mM NaCl δηλώνει τις καταστροφές στις κυτταρικές μεμβράνες των φύλλων της ιαπωνικής μουσμουλιάς, πιθανό λόγω του που προκλήθηκε από τις συνθήκες αυξημένης αλατότητας. Τα φυτά φαίνεται να βρισκόταν υπό συνθήκες έντονης καταπόνησης, πράγμα που διαπιστώθηκε από την υψηλή συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ).

Και στα δύο πειράματα, η αλατότητα προκάλεσε οξειδωτική καταπόνηση, που όπως προαναφέρθηκε, ήταν εντονότερη στο δεύτερο πείραμα αφού καταγράφηκαν αυξημένα επίπεδα υπεροξείδωσης των λιπιδίων των κυτταρικών μεμβρανών (MDA) και ταυτόχρονα αυξημένες συγκεντρώσεις υπεροξειδίου του υδρογόνου. Τα ορατά συμπτώματα της αλατότητας στα φύλλα των καταπονημένων φυτών ήταν εμφανή. Η παράλληλη αύξηση της συγκέντρωσης υπεροξειδίου του υδρογόνου με την υψηλή συγκέντρωση MDA δείχνει ότι ενδεχομένως τα ενζυμικά αντιοξειδωτικά συστήματα του φύλλου δεν βοήθησαν στην αποφυγή των επιβλαβών αποτελεσμάτων της αλατότητας.

### 3.2. Συμπεράσματα

Από τα πειράματα και τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα :

- ❖ Υπό συνθήκες αλατότητας, το βάρος των φύλλων μειώθηκε όπως και το συνολικό μήκος των βλαστών, ενώ δεν επηρεάστηκε το βάρος των βλαστών και ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό.
- ❖ Η συγκέντρωση του  $Cl^-$  υπό συνθήκες αλατότητας ήταν αυξημένη στα φύλλα και στους βλαστούς, ενώ ο λόγος της ποσότητας του  $Cl$  (Υπέργειο/Ρίζα) μειώθηκε. Η συγκέντρωση του  $Cl^-$  στους επι μέρους ιστούς μειώθηκε από την ρίζα προς τα φύλλα, υποδηλώνοντας την ύπαρξη μηχανισμού ελέγχου της μεταφοράς του.
- ❖ Το  $Na^+$  συσσωρεύτηκε κυρίως στις ρίζες και στα φύλλα. Ο λόγος της ποσότητας του  $Na^+$  (Υπέργειο/Ρίζα) αυξήθηκε, γεγονός που ενδεχομένως υποδεικνύει τον περιορισμό του  $Na^+$  στην ρίζα.
- ❖ Η συγκέντρωση του  $K^+$  υπό συνθήκες αλατότητας μειώθηκε μόνο στους βλαστούς. Επίσης, ο λόγος της ποσότητας  $K^+$  (Υπέργειο/Ρίζα) μειώθηκε.
- ❖ Ο λόγος των συγκεντρώσεων  $K^+/Na^+$  σε φύλλα, βλαστούς και ρίζες μειώθηκε, γεγονός υποδηλώνει την ευαισθησία της ιαπωνικής μουσμουλιάς στην αλατότητα.
- ❖ Από την ανατομική μελέτη των φύλλων προέκυψε πως σε συνθήκες αλατότητας αν και δεν επηρεάστηκε το πάχος των φύλλων, αυξήθηκε το πάχος του σπογγώδους παρεγχύματός τους. Επιπλέον, αυξήθηκε το μέγεθος και ο αριθμός των ελαιοσταγονιδίων.
- ❖ Σε συνθήκες αλατότητας, επηρεάστηκε αρνητικά ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, η στοματική αγωγιμότητα και ο ρυθμός διαπνοής ενώ δε μεταβλήθηκε το μεσοκυττάριο  $CO_2$ .
- ❖ Στα φύλλα της ιαπωνικής μουσμουλιάς, τα κύρια σάκχαρα ήταν η σακχαρόζη και η σορβιτόλη ενώ σε κατά πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις αυτών βρέθηκαν η γλυκόζη, η φρουκτόλη και η μαννιτόλη. Υπό συνθήκες αλατότητας, μειώθηκαν οι



συγκεντρώσεις της σακχαρόζης και της σορβιτόλης, αυξήθηκαν της γλυκόζης και της φρουκτόζης και δεν επηρεάστηκαν αυτές του αμύλου.

- ❖ Η υψηλή συγκέντρωση της μαλονικής διαλδεΐδης (MDA) στα φύλλα υποδηλώνει σημαντικές καταστροφές στις κυτταρικές τους μεμβράνες, πιθανόν λόγω έντονης οξειδωτικής καταπόνησης (υψηλή συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου), υπό συνθήκες αλατότητας. Παράλληλα, όμως, παρατηρήθηκε αύξηση του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) αλλά και της προλίνης, ενός μορίου με αντιοξειδωτικό ή/και ωσμοπροστατευτικό ρόλο.

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

1. Alamgir, A.N.M., Musa, M., Yousuf Ali, M., (2007). Some aspects of mechanisms of NaCl stress tolerance in the seedlings of four rice genotypes. *Bangladesh J. Bot.* Vol. 36(2), 181-184.
2. Albacete, A., Ghanem, M.E., Martinez-Andujar, C., Acosta, M., Sanchez-Bravo, J., Martinez, V., Lutts, S., Dodd, I., Perez-Alfocea, F., (2008). Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 59 (15), 4119–4131.
3. Andreu, P., Arbeloa, A., Lorente, P., Marin, A., (2011). Early detection of salt stress tolerance of prunus rootstocks by excised root culture. *HORTSCIENCE*, Vol. 46(1), 80–85.
4. Asraf M., Arfan M., Ahmad A., 2003. Salt tolerance in Okra : Iron relations and gas exchange characteristics. *Journal of plant nutrition*. Vol. 26. 1.pp. 63-69.
5. Aspinall D. and Paleg L.G., 1981. Proline accumulation : physiologically aspects. In "The pshysiology and biochemistry of Drought resistance in plants." (Eds L.G. Paleg and D. Aspinall) pp. 205-241.
6. Awang Y.B., Atherton J.G. and Taylor A.J., 1993. Salinity effects on strawberry plants grown in rookwool. I. Growth and leaf water relations *J. Hort. Sci.* Vol 68. 783-790.
7. Banuls J. and Primo-Millo E., 1995. Effect of salinity on some citrus scion – rootstock combinations. *Annals of Botany* Vol. 76. 97-102.
8. Benincasa, P., Pace, R., Quinet, M., Lutts, S., (2013). Effect of salinity and priming on seedling growth in rapeseed (*Brassica napus* var *oleifera* Del.). *Acta Scientiarum. Agronomy Maringá*, Vol. 35 (4), 479-486.
9. Bernstein, N., Meiri, A., Zilberstaine, M., (2004). Root growth of avocado is more sensitive to salinity than shoot growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Vol. 129(2), 188-192.
10. Bolouri-Moghaddam, M.R., Le Roy, K., Xiang, L., Rolland, F., Van den Ende, W., (2010). Sugar signaling and antioxidant network connection in plant cells. *FEBS Journal*, Vol. 277(9), 2022-2037.

11. Botella, M.A., Martinez, V., Pardines, J., Cerda, A., 1997. Salinity induced potassium deficiency in maize plants. *J. Plant Physiol.* 150, 200-205.
12. Botti C., Palzkill D., Munoz D., Prat L., 1998. Morphological and anatomical characterization of six jojoba clones at saline and non-saline sites. *Industrial Corps and Products.* Vol 9. 53-62.
13. Brown, P.H., Hu, H., (1996). Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol – rich species. *Annals of Botany*, Vol. 77(5), 497-506.
14. Burló-Carbonell, F., Carbonell-Barrachina, A., Vidal-Roig, A. and Mataix-Beneyto, J. 1997. Sensitivity to salinity in loquat plants (*Eriobotryae japonica* L.). *Fresenius Environ. Bull.* 6(7-8): 481-488.
15. Cachorro, P., Ortiz, A., Cerda, A., 1994. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. *Plant Soil* 159, 205-212.
16. Cerda, A.; Pardines, J.; Botella, M.A and Martinez, V. 1995. Effect of potassium on growth, water relations and the inorganic and organic solute contents for two maize cultivars grown under saline conditions. *Journal of Plant Nutrition* 18(4): 839-851.
17. Couee, I., Sulmon, C., Gouesbet, G., El Amrani, A., (2006). Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57(3), 449-459.
18. Cramer, G.R.; Lauchli, A. and Polito, V.S. 1985. Displacement of  $\text{Ca}^{2+}$  from the plasmalemma of root cells. *Plant Physiology* 79: 297-211.
19. Cramer, G.R.; Lynch, J.; Lauchli, A. and Epstein, E. 1987. Influx of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  into roots of salt-stressed cotton seedlings. *Plant Physiology* 83: 510-516
20. Crane, J.H., Caldeira, M.L., (2009). Loquat Growing in the Florida Home Landscape. University of Florida, IFAS extension (<http://edis.ifas.ufl.edu/mg050>).
21. Cuin T.A., Shabala S., 2005. Exogenously supplied compatible solutes rapidly ameliorate NaCl-induced potassium efflux from barley roots. *Plant Cell Physiol* 46 1924–1933.

22. Cuevas, J., Pinillos, V., Cañete, M.L., Parra, S., González, M., Alonso, F., Fernández, M.D., Hueso, J.J., (2012). Optimal duration of irrigation withholding to promote early bloom and harvest in 'Algerie' loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.), *Agricultural Water Management*, Vol. 111, 79-86.
23. Curtis P.S., Lauchli A., 1987. The effect of moderate salt stress on leaf anatomy in *Hibiscus cannabinus* (Kenaf) and it's relation to leaf area. *Amer J.Bot.* Vol. 74. 538-542.
24. Demidchik V., Davenport R.J., Tester M., 2002. Nonselective cation channels in plants. *Annual Review of Plant Biology* Vol.53. 67-107.
25. Dubey R. S., 2005. Photosynthesis in plants under stressful conditions. In : Pessaraki M., (ed.) *Hand books of photosynthesis* (2nd ed.). CRC Press. Taylor and Fransis Group, New York, pp. 717-737.
26. Erdei L., Taleishik E.,1993. Change in water relation parametres under osmotic and salt stress in maize and sorghum. *Physiologia Plantarum*. Vol. 89. 381-387.
27. Everand J.D., Gucci R., KANN S.C., Flore J.A. and Loescher W.H., 1994. Gas exchange and carbon partitioning in the leaves of celery (*Apium graveolens* L.) at various levels of root zone salinity. *Plant Physiology* Vol.106. 281-292.
28. Flowers, T.J., Troke, P.F., Yeo, A.R., (1977). The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, Vol. 28, 89-121.
29. García-Legaz M.F., López Gómez, E., Mataix Beneyto, J., Torrecillas, A. and Sánchez-Blanco, M.J. 2005. Effects of salinity and rootstock on growth, water relations, nutrition and gas exchange of loquat. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 80(2): 199-203.
30. Garcia-Lidon A., Ortiz J.M., García-Legaz M.F., Cerda A., 1198. Role of rootstock and scion on root and leaf ion accumulation on lemon trees grown under saline condition. *Fruits*, Vol. 53. 89-97.
31. Graifenberg, A., Giustiniani, L., Temperini, O., Lipucci di Paola, M., 1995. Allocation of Na, Cl, K and Ca within plant tissues in globe artichoke (*Cynara scolimus* L.) under saline-sodic conditions. *Sci. Hort.* 63, 1-10.

32. Gucci R., Lombardini L., Taittini M., 1997. Analysis of leaf water relation of two olive (*olea europaea*) cultivars differing in tolerance to salinity. *Tree physiology*. Vol. 17. 13-21.
33. Greenway, H., Munns, R., (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, Vol. 31, 149-190.
34. Hamilton, J.M., Fonseca J.M, (2010). Effect of Saline Irrigation Water on Antioxidants in Three Hydroponically Grown Leafy Vegetables: *Diplotaxis tenuifolia*, *Eruca sativa*, and *Lepidium sativum*. *Hortscience*, April, Vol. 45 (4), 546-552.
35. Hamilton, E.W., Heckathora, S.A., (2001). Mitochondrial adaptation to NaCl. Complex I is protected by antioxidants and small heat shock proteins, whereas Complex II is protected by proline and betaine. *Plant Physiology*, Vol. 126, 1266-1274.
36. Hare, P.D., Cress, W.A., (1997). Metabolic implications of stress induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, Vol. 21, 79-102.
37. Hasegawa PM, Bressan RA, Zhu J-K, Bohnert HJ. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:463–99.
38. Heath R.L., Packer L.1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives in Biochemistry and Biophysics*. Vol. 125. 189–198.
39. Hoagland D. r., and D. S. Arnon (1950). The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stat. Circ.* 374.
40. Huang J. and Redmann R.E., 1995. Physiological responses of canola and wild mustard to salinity and contrasting calcium supply. *J. Plant Nutr.* Vol 18. 1931-1949.
41. Intrigliolo, D.S., Bonet, L., Ferrer, P., Reig, C., Mesejo, C., Soler, E., (2011). Usefulness of stem dendrometres as continuous water stress indicators of loquat tree water status. *Acta Horticulturae. (ISHS)* Vol. 887, 149-154.
42. Jaleel C.A., Gopi R., Sankar B., Manovvannan P., KishoreKumar A., Sridharan R., Paneerselvam R., 2007. Alternations in germination seedling vigour, lipid

- peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedling under salt stress. *S Afr Bot* Vol. 73. 190-195.
43. James, W.D., Graham, C.C., Glascock, M.D., Hanna, A.G., (1982). Water-leachable B from coal ashes. *Environmental Science and Technology*, Vol. 16, 195-199.
  44. James S.A., Smith W.K., Vogelmann E.c., 1999. Ontogenetic differences in mesophyll structure and chlorophyll distribution in *Eucalyptus globulus* ssp. *Globules* (Myrtaceae). *Am J Bot*, Vol. 86. 198-207.
  45. Kader, A.A., (2011). Loquat: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. (<http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Loquat/>).
  46. Kaymakonova M. and Stoeva N., 2008. Physiological reaction of bean plants (*Phaseolus vulg. L.*) to salt stress. *PlantPhysiolSoaglyt*. Vol 34 (3-4). 177-188.
  47. Kozłowski, T.T., (1997). Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph* 1.
  48. Läuchli, A. 1984. Salt Exclusion: An adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. pp. 171-187. In *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*, R. C. Staples, G. H. Toenniessen (eds.). John Wiley & Sons, Inc.
  49. Llacer,G., Badenes, M.L., Calvo, J.M., (2003). Plant material of Loquat in Mediterranean countries. *Proc. First Int. Loquat Symp.*, Vol. 58, 45-52.
  50. Lopez, M.V., Satti, S.M.E., 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Sci*. 114, 19-27.
  51. Martinez-Calvo', J., Badenes, M.L., Llácer, G., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., (1999). Phenological growth stages of loquat tree (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.). 'Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
  52. Marschner, H., (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press, London, 889.
  53. Maathuis F.J.M., Amtmann A., 1999. K<sup>+</sup> nutrition and Na<sup>+</sup> toxicity: The basis of cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratios. *Ann Bot*. Vol. 84. 123–133.
  54. Mansour M.M.F., 2000. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants salinity stress. *Biologia Plantarum*. Vol. 43. 491-500.

55. Meiri, A., Kamburoff, J., Poljakoff-Mayber, A., 1971. Response of bean plant to sodium chloride and sodium sulphate salinization. *Ann. Bot.* 35, 837-847.
56. Mohammad, M., Shibli, R., Ajlouni, M., Nimri, L., (1998). Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 21(8), 1667-1680.
57. Moore, B.D., Palmquist, D.E., Seemann, J.R., (1997). Influence of plant growth at high CO<sub>2</sub> concentrations on leaf content of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and intracellular distribution of soluble carbohydrates in tobacco, snapdragon and parsley. *Plant Physiology*, Vol. 115(1), 241-248.
58. Morley-Bunker M., (2011). Miscellaneous fruit crops, In Book: Temperature and subtropical fruit production. Edited by Jackson D.I., Looney N.E. and Morley-Bunker M., CAB International, UK.
59. Morton, J., (1987). Loquat. *Fruits of warm climates*. 103–108.
60. Munns, R., Termaat, A., (1986). Whole – plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 13, 143-160.
61. Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment* (2002) 25, 239–250
62. Munns R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167:645– 63.
63. Munns R., James R.A. and Lduchli A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of weat and other cereals. *J. Exp. Bot.* Vol. 57. 1025-1043.
64. Munns R and Tester M, (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol.* 59, 651-81.
65. Paranychianakis N. V., Chartzoulakis K. S., 2005. Irrigation of Mediterranean corps with saline water : from physiology to management practices. *Agricultural Ecosystems & Environment*. Vol. 106, 171-187.
66. Parra, M., Albacete, A., Martinez-Andujar, C., Perez-Alfocea, F., (2007). Increasing plant vigour and tomato fruit yield under salinity by inducing plant adaptation at the earliest seedling stage. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 60(1), 77-85.

67. Perez-Alfocea, F., Balibrea, M.E., Santa Cruz, A., Estana, M.T., 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant Soil* 180, 251-257
68. Peshev, D., Van den Ende, W., (2013). Sugars as antioxidants in plants. In *crop improvement under Adverse conditions* (eds N. Tuteja & S.S. Gill), Springer- Verlag, Berlin, Heidenberg, Germany, 285-308.
69. Romero-Aranda, R., Soria, T., Cuartero, J., (2002). Greenhouse mist improves yield of tomato plants grown under saline conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Vol. 127(4), 644-648.
70. Roussos P. A., Dexana N. K., Damvakaris T., Stournaras V., and Argyrokastritis I. (2010). Effect of alleviating products with different mode of action on physiology and yield of olive under drought. *Scientia horticulturae*, 125(4), 700-711.
71. Schrock, D., (2008). Loquat, In *Book: All about citrus and subtropical fruits*, Meredith Books, Iowa.
72. Shabala, S., Demidchik, V., Shabala, L., Cuin, T.A., Smith, S.L., Miller, A.J., Davies, J.M., Newman, I.A., (2006). Extracellular  $[[Ca]]^{(2+)}$  ameliorates NaCl- induced  $K^{+}$  loss from Arabidopsis root and leaf cells by controlling plasma membrane  $K^{+}$  - permeable channels. *Plant Physiology*, Vol . 141, 1653-1665.
73. Su, J., Wu, R., (2004). Stress-inducible synthesis of proline in transgenic rice confers faster growth under stress conditions than that with constitutive synthesis. *Plant Science*, Vol. 166, 941-948.
74. Suzuki, Y., Dandekar, A.M., (2014). Sucrose induced expression of the sorbitol-6-phosphate dehydrogenase gene in source leaves of loquat. *Physiologica Plantarum*, Vol. 150(3), 355-362.
75. Taiz, L., Zeiger, E., (1991). *Plant pshysiology*. Sunderland : Sinqer Associates.
76. Turhan and Eris, 2006. Growth and stomatal Behaviour of two strawberry cultivars under long-term salinity stress. *Turk J Agric For* 31. 55-61.
77. Vemmos, S.N., (1999). CarboHydrate content of inflorescent buds of defruited and fruiting pistachio (*Pistacia vera* L) branches in relation to



biennial bearing. Journal of Horticultural Science and Biotechnology (United Kingdom).

78. Vigo, C., Therios, I., Patakas, A., Karatassou, M. and Nastou, A. 2002. Changes in photosynthetic parameters and nutrient distribution of olive plants (*Olea europaea* L.) cultivar 'chondrolia chalkidikis' under NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and KCl salinities. *Agrochimica*, Vol. XLVI – N. 1-2 33-46.
79. Walker, R.R., Douglas, T.J, 1983. Effect of salinity level on uptake and distribution of chloride, sodium and potassium ions in citrus plants *Aust. J. Agric. Res.*, 34, 145–153
80. Walker, R.R. 1986. Sodium exclusion and potassium-sodium selectivity in salt-treated trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*) and Cleopatra mandarin (*Citrus reticulata*) plants *Aust. J. Plant Physiol.*, 13 293–303.
81. Werner A., Stelzer R., 1990. Physiological responses of the mangrove *Rhizophora mangle* grown in the absence presence of NaCl. *Plant Cell Environ* Vol. 13. 243-255.
82. Zhu, J-K., (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, Vol. 6, 66-71.

## Ελληνική

1. Βασιλακάκης, Μ., (2004). Γενική και Ειδική Δενδροκομία, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Ελλάς, 635-640.
2. Γεωργίου Κ., Θάνος Κ., Ριζόπουλος Σ., Μελετίου Μ.Σ., (2012). Οικοφυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Δίαυλος. Αθήνα, 193-199.
3. Θεριός, Ι., (1996). Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Δεδούση. Θεσσαλονίκη, 188-215.
4. Κόντης, Μ., (2009). Έρευνα των επιπτώσεων της υψηλής συγκέντρωσης χλωριούχου νατρίου (NaCl) στο θρεπτικό διάλυμα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Μεταπτυχιακή εργασία στα πλαίσια του Π.Μ.Σ., Τμήμα : Αξιοποίηση φυσικών πόρων & γεωργικής μηχανικής.
5. Κωστοπούλου, Ζ., (2008). Μελέτη επίδρασης αλατότητας στη νεραντζιά (*Citrus aurantium*). Μεταπτυχιακή εργασία στα πλαίσια του Π.Μ.Σ., Τμήμα : Ειδίκευση επιστήμης Οπωροκηπευτικών.
6. Λιονάκης, Σ.Μ., (2008). Παραδόσεις στο μάθημα Τροπικά & Υποτροπικά Καρποφόρα Δένδρα. Σ.Τ.Ε.Γ., ΤΕΙ Κρήτης.
7. Παπαδάκης, Ι., Μίγκλης, Ν., Τσιάντας, Π. και Ψυχογιού, Μ. 2015. Επίδραση του NaCl και της διαφυλλικής εφαρμογής σαλικυλικού οξέος, πουτρεσκίνης και ασκορβικού οξέος στη φωτοσυνθετική ικανότητα, στις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης και των καροτενοειδών και στην αύξηση σπορόφυτων ιαπωνικής μουσμουλιάς. Πρακτικά 26ου Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρίας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών, 231-234.
8. Πετρόπουλος, Σ., (2013). Επιδράσεις αβιοτικού και βιοτικού περιβάλλοντος στην παραγωγή λαχανικών, εργαστήριο κηπευτικών καλλιεργειών.
9. Ποντίκης, Κ.Α., (2003). Ειδική Δενδροκομία, Μηλοειδή, Τόμος Α, Εκδόσεις Α. Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα, 193-198.
10. Τσικαλάς, Π., (2003). Θρέψη Φυτών-Γονιμότητα Εδαφών, Εκδόσεις ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο, 10.

## Πηγές διαδικτύου

1. [www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/karabourniotis\\_edu-files/part2-2011](http://www.aua.gr/gr/dep/bio/lab/morfol/karabourniotis_edu-files/part2-2011)

2. <http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHxD162/%CE%91%CE%92%CE%99%CE%9F%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3%20%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%91%CE%A0%CE%9F%CE%9D%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3.ppt>

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1. Φρέσκα φρούτα μουσμουλιάς	12
Εικόνα 2. Ζελέ γιαουρτιού με μούσμουλα	12
Εικόνα 3. Δένδρο Ιαπωνικής μουσμουλιάς ( <i>Eriobotrya japonica</i> )	13
Εικόνα 4. Μορφολογικά χαρακτηριστικά άνθους ιαπωνικής μουσμουλιάς, όπου διακρίνονται τα σέπαλα, τα πέταλα, οι στήμονες και ο ύπερος.	14
Εικόνα 5. Ιαπωνική μουσμουλιά σε περίοδο ανθοφορίας	15
Εικόνα 6. Ταξικαρπία με καρπούς της Ιαπωνικής μουσμουλιάς ( <i>Eriobotrya japonica</i> )	16
Εικόνα 7. Φαινολογικά στάδια δέντρου ιαπωνικής μουσμουλιάς.	18
Εικόνα 8. Οι αλλαγές στην συγκέντρωση των ορμονών στο ριζικό σύστημα, στους ξυλώδεις ιστούς και στα φύλλα σε σχέση με την τοπική (ανάπτυξη του βλαστού, των φύλλων και της ρίζας) και των συνεργαζόμενων διεργασιών (biomass partitioning) σε φυτά τομάτας που καλλιεργήθηκαν σε συνθήκες αλατότητας 100 mM NaCl για 3 εβδομάδες. Η σχετική αύξηση (βέλος προς τα πάνω) ή μείωση (βέλος προς τα κάτω) στη συγκέντρωση των ορμονών που προκλήθηκαν από τις συνθήκες αυξημένης αλατότητας στο τέλος του πειράματος υποδεικνύονται από τα βέλη και από το μέγεθός τους, όπου το μεγάλο, το ενδιάμεσο και το μικρό μέγεθος υποδεικνύουν περισσότερο από 5 φορές, 2-5 φορές ή λιγότερο από 2 φορές αλλαγή στις συγκεντρώσεις των ορμονών αντίστοιχα. (Albacete et al., 2008, σελ. 4130)	33
Εικόνα 9. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του Cl στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς.	41
Εικόνα 10. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις επιμέρους ποσότητες του Cl στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς, στο άθροισμα αυτών ανά φυτό (Δ) καθώς και στο λόγο των ποσοτήτων του μεταξύ υπέργειου τμήματος και ρίζας (Ε).	43
Εικόνα 11. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του Na στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς.	44
Εικόνα 12. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις επιμέρους ποσότητες του Na στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς, στο άθροισμα αυτών ανά φυτό (Δ) καθώς και στο λόγο των ποσοτήτων του μεταξύ υπέργειου τμήματος και ρίζας (Ε).	45
Εικόνα 13. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του K στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς.	46

Εικόνα 14. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις επιμέρους ποσότητες του K στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς, στο άθροισμα αυτών ανά φυτό (Δ) καθώς και στο λόγο των ποσοτήτων του μεταξύ υπέργειου τμήματος και ρίζας (Ε).	47
Εικόνα 15. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο λόγο Κ/Να στα φύλλα (Α), στο βλαστό (Β), στη ρίζα (Γ) φυτών ιαπωνικής μουσμουλιάς.	48
Εικόνα 16. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις της σακχαρόζης (Α), γλυκόζης (Β), φρουκτόζης (Γ), μαννιτόλης (Δ), και σορβιτόλης (Ε) των φύλλων.	49
Εικόνα 17. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στα ολικά σάκχαρα (Α), στα μετακινούμενα σάκχαρα (Β), στα μη μετακινούμενα σάκχαρα (Γ), και στους λόγους μετακινούμενα σάκχαρα/μη μετακινούμενα (Δ), μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (Ε) και μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (Στ) των φύλλων.	51
Εικόνα 18. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0-48 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στη συγκέντρωση του αμύλου (Α), της προλίνης φύλλων (Β), της προλίνης ρίζας (Γ), του υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) (Δ) και της μαλονικής διαλδεύδης (MDA) (Ε).	53
Εικόνα 19. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο ρυθμό φωτοσύνθεσης (Α), στη στοματική αγωγιμότητα (Β), στο μεσοκυττάριο $CO_2$ (Γ), στο ρυθμό διαπνοής (Δ), την αποτελεσματικότητα χρήσης $H_2O$ (Ε), στην αποτελεσματικότητα χρήσης $CO_2$ (Στ) των φύλλων.	59
Εικόνα 20. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στη χλωροφύλλη των φύλλων (Α). Η στατιστική ανάλυση έγινε με t-test (n=5). n.s.= δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.	60
Εικόνα 21. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στην περιεκτικότητα σακχαρόζης (Α), γλυκόζης (Β), φρουκτόζης (Γ), μαννιτόλης (Δ) και σορβιτόλης (Ε) στα φύλλα.	61
Εικόνα 22. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στα ολικά σάκχαρα (Α), στα μετακινούμενα σάκχαρα (Β), στα μη μετακινούμενα σάκχαρα (Γ), και στους λόγους μετακινούμενα σάκχαρα/μη μετακινούμενα (Δ), μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (Ε) και μη μετακινούμενα/ολικά σάκχαρα (Στ) των φύλλων..	62
Εικόνα 23. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στις συγκεντρώσεις του αμύλου (Α), προλίνης (Β), υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) (Γ) και της μαλονικής διαλδεύδης (MDA) (Δ) στα φύλλα.	64
Εικόνα 24. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο βάρος φύλλων/φυτό (Α), στο συνολικό μήκος βλαστού (Β), στο βάρος βλαστού (Γ) και στον αριθμό των φύλλων (Δ).	65
Εικόνα 25. Εγκάρσιες τομές φύλλων ιαπωνικής μουσμουλιάς. Στην επάνω εικόνα παρατηρούμε το μάρτυρα (0 mM NaCl), ενώ στην κάτω την επέμβαση αλατότητας (80 mM NaCl). Η παρατήρηση έγινε σε οπτικό μικροσκόπιο φθορισμού. Στην επέμβαση 80 mM NaCl, τα κόκκινα βέλη δείχνουν την αυξημένη παρουσία των ελαϊστοαγονιδίων (κόκκινες κουκίδες)	67

τόσο σε αριθμό όσο και σε μέγεθος στα κύτταρα του πασσαλώδους παρεγχύματος σε σχέση με το μάρτυρα (0 mM NaCl).

Εικόνα 26. Επίδραση της συγκέντρωσης του NaCl (0 ή 80 mM) στο θρεπτικό διάλυμα στο συνολικό πάχος (μm) αλλά και στα πάχη (μm) των επιμέρους ιστών του ελάσματος των φύλλων της ιαπωνικής μουσμουλιάς. 68

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. Ποικιλίες και υποκείμενα που χρησιμοποιούνται στις χώρες της Μεσογείου. 19

Πίνακας 2. Ανθεκτικότητα πυρηνοκάρπων σε διάφορα επίπεδα αλατότητας. 27

Πίνακας 3. Επίδραση της αλατότητας στον αριθμό των νέων φύλλων, το μήκος των φύλλων, τη βιομάζα των φύλλων, το μήκος της ρίζας και τον όγκο της ρίζας του αβοκάντο. 30

Πίνακας 4 . Χημική σύσταση χορηγούμενου θρεπτικού διαλύματος Hoagland. 36