



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Απόκριση γενετικού υλικού μαρουλιού υπό συνθήκες καταπόνησης
υψηλής αλατότητας προκαλούμενης από NaCl και CaCl₂»



ΔΑΒΟΡΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Επιβλέπουσα: Ουρανία Παυλή, Αναπλ. Καθηγήτρια, Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ 2023

**«Απόκριση γενετικού υλικού μαρουλιού υπό συνθήκες καταπόνησης
υψηλής αλατότητας προκαλούμενης από NaCl και CaCl₂»**

**« Response of lettuce germplasm to salinity stress induced by
NaCl and CaCl₂».**

ΛΑΒΟΡΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Παυλή Ουρανία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής
και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Νικόλαος Δαναάτος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πετρόπουλος Σπυρίδων, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Με την παρούσα πτυχιακή διατριβή φτάνει στο τέλος του ο κύκλος σπουδών μου, από τον οποίο έχω αποκομίσει πολύτιμη εμπειρία και γνώσεις. Τελειώνοντας λοιπόν αυτόν τον κύκλο, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ουρανία Παυλή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γενετικής Βελτίωσης Φυτών ως επιβλέπουσα καθηγήτρια της πτυχιακής διατριβής μου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης, σε μια δύσκολη περίοδο για όλους μας, αλλά και για τη βοήθεια και καθοδήγηση της σε όλη την διάρκεια του πειράματος, της επεξεργασίας και της συγγραφής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Νικόλαο Δαναλάτο, Καθηγητή Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, και τον κ. Σπυρίδων Πετρόπουλο, Καθηγητή Λαχανοκομίας, για την αξιολόγηση της μελέτης.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ευαγγελία Παναγιωτάκη, για την πολύτιμη βοήθειά της καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος και της λήψης μετρήσεων.

Περίληψη

Η υψηλή αλατότητα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αύξηση, ανάπτυξη και ικανότητα επιβίωσης πολλών καλλιεργούμενων φυτικών ειδών. Η καταπόνηση αλατότητας αποτελεί έναν επιζήμιο παράγοντα που φέρει σημαντικό αντίκτυπο στην παραγωγικότητα πολλών καλλιεργειών. Το μαρούλι συγκαταλέγεται στα ευρέως γνωστά καλλιεργούμενα είδη που εμφανίζει ευαισθησία στην καταπόνηση αλατότητας, παρουσιάζοντας σημαντική μείωση της απόδοσης υπό συνθήκες καλλιέργειας σε αλατούχα εδάφη. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης τριών ποικιλιών μαρουλιού σε συνθήκες υψηλής αλατότητας που προκαλείται από τη χρήση NaCl ή του συνδυασμού NaCl / CaCl₂. Το γενετικό υλικό αξιολογήθηκε ως προς την ανθεκτικότητα στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας στη φάση της ανάπτυξης των φυτών καθώς και μετασυλλεκτικά. Η απόκριση των ποικιλιών μελετήθηκε σε πέντε διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης 100 mM και 150 mM NaCl, 100 mM NaCl/10 mM CaCl₂, 150 mM NaCl /10 mM CaCl₂, 10 mM CaCl₂, ενώ η αξιολόγηση βασίστηκε σε αναπτυξιακές και βιοχημικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, ως παράμετροι αξιολόγησης της ανθεκτικότητας αξιοποιήθηκαν το ύψος των φυτών, ο αριθμός των φύλλων, το νερό και ξηρό βάρος των φυτών, η % περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη a και b, ο λόγος χλωροφύλλης a προς b καθώς και η περιεκτικότητα σε καροτενοειδή. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν τη δυσμενή επίδραση της αλατότητας στις αναπτυξιακές παραμέτρους καθώς και στο μετασυλλεκτικό βιοχημικό προφίλ των φυτών που υπέστησαν καταπόνηση, με σαφείς ωστόσο διαφορές σχετικά με το επίπεδο ανθεκτικότητας των ποικιλιών. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι τα ευρήματα συνηγορούν στον καταλυτικό ρόλο της παρουσίας ασβεστίου στην καταπόνηση που προκαλείται από ιόντα Na⁺, μετριάζοντας τις δυσμενείς επιπτώσεις της αλατότητας και επιφέροντας σε ορισμένες περιπτώσεις βελτιωμένη απόκριση ακόμη και συγκριτικά με το μάρτυρα.

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή	1
1.1 Καταγωγή και εξάπλωση της καλλιέργειας του μαρουλιού	1
1.2 Βοτανική περιγραφή – Διαθέσιμοι τύποι μαρουλιού	3
1.3 Θρεπτική αξία μαρουλιού & Οφέλη στην ανθρώπινη υγεία	7
1.4 Καλλιέργεια μαρουλιού.....	9
1.4.1 Κλιματικές και εδαφολογικές απαιτήσεις	9
1.4.2 Άρδευση	10
1.4.3 Λίπανση.....	10
1.4.4 Εχθροί και ασθένειες.....	11
1.5 Αβιοτικές καταπονήσεις και απόκριση φυτού	12
1.5.1 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας	15
1.5.1.1 Τύποι αλατότητας.....	16
1.5.1.2 Επίδραση της αλατότητας στα φυτά.....	17
1.5.1.3 Ωσμωτική καταπόνηση	18
1.5.1.4 Ιοντική καταπόνηση	18
1.5.1.5 Επίδραση στην εκβλάστηση.....	19
1.5.1.6 Επίδραση αλατότητας στη φωτοσύνθεση.....	20
1.5.1.7 Αλατότητα και οξειδωτικό στρες	21
Σκοπός της μελέτης.....	23
Υλικά και Μέθοδοι.....	24
2.1 Φυτικό υλικό	24
2.2 Παρασκευή διαλυμάτων ποτίσματος.....	26
2.3 Πειραματικό σχέδιο-Εφαρμογές καταπόνησης	26
2.4 Παράμετροι αξιολόγησης.....	27
2.4.1 Αναπτυξιακές παράμετροι.....	27
2.4.2 Βιοχημικές παράμετροι αξιολόγησης.....	30
2.3 Στατιστική επεξεργασία	32
Αποτελέσματα	33
3.1 Επίδραση της αλατότητας στον αριθμό των φύλλων	33
3.2 Επίδραση της αλατότητας στο ύψος φυτών	36
3.3 Επίδραση της αλατότητας στο νωπό βάρος φυτών	39
3.4 Επίδραση της αλατότητας στην % ξηρά ουσία των φυτών.....	40
3.5 Επίδραση της αλατότητας στην % ξηρά ουσία των φύλλων.....	42
3.6 Επίδραση της αλατότητας στην ειδικό βάρος των φύλλων (SLW).....	43
3.7 Επίδραση της αλατότητας στην χλωροφύλλη a,b και στα καρετονοειδή.....	44

3.7.1 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a.....	44
3.7.2 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b.....	45
3.7.3 Συνολική περιεκτικότητα χλωροφύλλης a και b των φύλλων.....	46
3.7.4 Λόγος χλωροφύλλης a προς b των φύλλων.....	47
3.7.5 Περιεκτικότητα των φύλλων σε καρετονοειδή	48
Συζήτηση	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών που αξιολογήθηκαν

Πίνακας 2.2 Παρασκευή διαλυμάτων NaCl και NaCl + CaCl₂.

Πίνακας 2.3 Εργασίες και ημερομηνίες μετρήσεων αγρού

Πίνακας 2.4 Τύποι για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας χλωροφυλλών a και b και καροτενοειδών.

Πίνακας 3.1 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) σε 4 χρονικά διαστήματα (24^η, 31^η, 38^η, 45^η ημέρα).

Πίνακας 3.2 Ύψος φυτών ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) σε 4 χρονικά διαστήματα (24^η, 31^η, 38^η, 45^η ημέρα).

Πίνακας 3.3 Νωπό βάρος φυτών ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 50^η ημέρα

Πίνακας 3.4 % Ξηρά ουσία των φυτών ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Πίνακας 3.5 % Ξηρά ουσία των φύλλων ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Πίνακας 3.6 % Ειδικό βάρος των φύλλων ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Πίνακας 3.7 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Πίνακας 3.8 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Πίνακας 3.9 Περιεκτικότητα των φύλλων σε συνολική χλωροφύλλη a και b ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Πίνακας 3.10 Λόγος της χλωροφύλλη a και b των φύλλων ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Πίνακας 3.11 Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1 : Τοιχογραφία στην αρχαία Αίγυπτο που αναπαριστά το μαρούλι. Χρονολογείται στο 1800-2500 π.Χ.

Εικόνα 1.2: Εισαγωγές και εξαγωγές μαρουλιού το έτος 2020

Εικόνα 1.3: Φυτά μαρουλιού σε αναπαραγωγική φάση

Εικόνα 1.4: Ποικιλίες μαρουλιού

Εικόνα 1.5: Περιεκτικότητα σε σίδηρο διαφόρων ποικιλιών μαρουλιού

Εικόνα 1.4: Περονόσπορος σε φύλλα μαρουλιού.

Εικόνα 1.5: Αβιοτικές καταπονήσεις και απόκριση του φυτού

Εικόνα 1.6: Κατανομή ποσοστού βλάστησης σπόρων διαφορετικών ειδών φυτών υπό την επίδραση χαμηλής, μέτριας και υψηλής συγκέντρωσης αλατότητας

Εικόνα 2.1. Εγκατάσταση των ποικιλιών (21/3/21)

Εικόνα 2.2. Ανάπτυξη ποικιλίας *Biscia rossa* (29/3/21)

Εικόνα 2.3 Ανάπτυξη ποικιλιών την ημερομηνία έναρξης εφαρμογών των διαλυμάτων υψηλής αλατότητας (14/4/21)

Εικόνα 2.4. Τρίτη εφαρμογή καταπόνησης (28/4/21)

Εικόνα 2.5 Τελευταία εφαρμογή καταπόνησης (6/5/21)

Εικόνα 2.6. Μεταφορά των φυτών από τον αγρό στο εργαστήριο (10/5/21)

Εικόνα 2.7 Καταγραφή ναπού βάρους φυτών σε ζυγό ακριβείας

Εικόνα 2.8 Φυλλικοί δίσκοι 9 mm για προσδιορισμό του ποσοστού επί τοις εκατό ξηράς ουσίας και ειδικού βάρους των φύλλων.

Εικόνα 2.9 Τοποθέτηση φυλλικών δίσκων 5,8 mm σε δοκιμάστικούς σωλήνες

Εικόνα 2.10. Υδατόλουτρο παραμονής του ιστού των φύλλων μέχρι τον πλήρη αποχρωματισμό αυτού

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 3.1 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 24^η ημέρα

Γράφημα 3.2 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 31^η ημέρα

Γράφημα 3.3 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 38^η ημέρα

Γράφημα 3.4 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 45^η ημέρα

Γράφημα 3.5 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 24^η ημέρα.

Γράφημα 3.6 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 31^η ημέρα

Γράφημα 3.7 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 38^η ημέρα

Γράφημα 3.8 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 45^η ημέρα

Γράφημα 3.9 Νωπό βάρος φυτών ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 50^η ημέρα

Γράφημα 3.10 % Ξηρά ουσία των φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

Γράφημα 3.11 % Ξηρά ουσία των φύλλων ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα

Γράφημα 3.12 Ειδικό βάρος των φύλλων ανά ποικιλία και μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα

Εισαγωγή

1.1 Καταγωγή και εξάπλωση της καλλιέργειας του μαρουλιού

Το μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) αποτελεί ένα καλλιεργήσιμο λαχανικό της οικογένειας Compositae (επίσης γνωστή ως Asteraceae), το οποίο σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως ως τρόφιμο και καταναλώνεται κυρίως ως βασικό συστατικό της σαλάτας σε πολλές χώρες παγκοσμίως (Kim et al., 2016; Wei et al., 2021).

Το μαρούλι απεικονίζεται για πρώτη φορά σε τοιχογραφίες αιγυπτιακών τάφων γύρω στο 2.500 π.Χ. (Εικόνα 1.), καθιστώντας το μια από τις παλαιότερες γνωστές καλλιέργειες λαχανικών (De Vries, 1997). Σύμφωνα με την επικρατέστερη άποψη, το καλλιεργούμενο μαρούλι προήλθε από τον άγριο πρόγονό του *L. Serriola*. Για πολλά χρόνια, υπήρχαν διάφορες θεωρίες που τοποθετούσαν το κέντρο «εξημέρωσης» του μαρουλιού στην Αίγυπτο, την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου ή τη Μέση Ανατολή (De Vries, 1997; Lindqvist, 1960). Γενετικές αναλύσεις ωστόσο, απέδειξαν ότι το μαρούλι «εξημερώθηκε» γύρω στο 4.000 π.Χ. στην περιοχή του Καυκάσου (Wei et al., 2021).



Εικόνα 7.1: Τοιχογραφία στην αρχαία Αίγυπτο που αναπαριστά το μαρούλι. Χρονολογείται στο 1800-2500 π.Χ. (De Vries, 1997).

Μέσω της «εξημέρωσης», δηλαδή κατά τη μετατροπή του μαρουλιού από άγριο είδος σε καλλιεργούμενο, πραγματοποιήθηκε μια σειρά αλλαγών στα χαρακτηριστικά του, όπως η απώλεια της πικρής του γεύσης και η εξαφάνιση των αγκαθιών από τα φύλλα

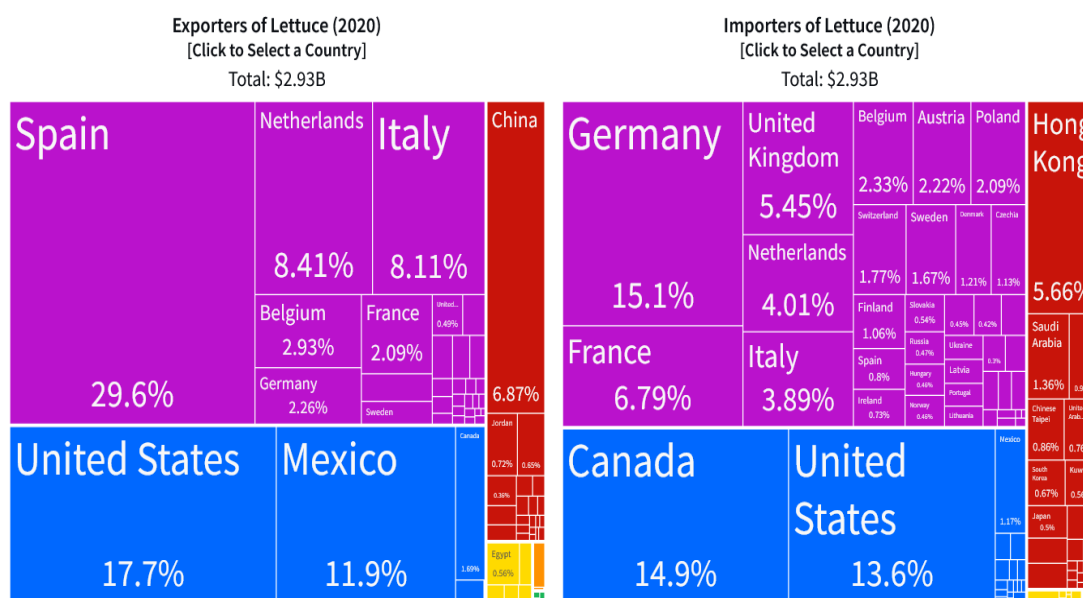
και το στέλεχος (De Vries, 1997). Σταδιακά, η καλλιέργεια του μαρουλιού επεκτάθηκε στην Αρχαία Αίγυπτο, την Αρχαία Ελλάδα και Ρώμη και τελικά, πέρασε και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, το συγκεκριμένο λαχανικό αποτελούσε μια σημαντική καλλιέργεια στην Αρχαία Αίγυπτο. Χρησιμοποιούνταν ως βρώσιμο λαχανικό αλλά και για θυσίες. Επίσης, απεικονίσεις μαρουλιού εντοπίζονται σε ναούς αφιερωμένους στη θεά Min (Αμμων), τη θεά δηλαδή της γονιμότητας καθώς το μαρούλι στην Αίγυπτο θεωρούνταν αφροδισιακό. Οι σπόροι μαρουλιού χρησιμοποιούνταν ακόμη στην Αίγυπτο για την εξαγωγή λαδιού (De Vries, 1997).

Έπειτα, το μαρούλι εξαπλώθηκε από την Αίγυπτο στην αρχαία Ελλάδα και τη Ρώμη. Οι Έλληνες το θεωρούσαν αντιαφροδισιακό και το συνέδεαν με την υπνηλία. Ωστόσο, οι ωφέλιμες ιδιότητες του μαρουλιού για την πέψη περιγράφονται από αρκετούς Έλληνες και Ρωμαίους συγγραφείς. Αναφορές στο μαρούλι επίσης συναντώνται από τον Ηρόδοτο περίπου το 550 π.Χ. Έπειτα, το καλλιεργούμενο μαρούλι εισήχθη στην Κίνα μεταξύ 600 και 900 μ.Χ. (De Vries, 1997; Lindqvist, 1960). Τον 15^ο και 16^ο αιώνα, υπάρχουν επίσης αναφορές καλλιέργειας του μαρουλιού σε συγκεκριμένες περιοχές της Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης αλλά η ευρεία διάδοσή του σε όλη την ήπειρο παρατηρείται τον 19^ο αιώνα, αν και αρχικά η καλλιέργεια του απέτυχε καθώς δεν άρεσε στους Ευρωπαίους. Όσον αφορά στην Αμερική, η καλλιέργεια του μαρουλιού εισήχθη μετά την ανακάλυψη της ηπείρου (De Vries, 1997).

Σήμερα, το μαρούλι κατέχει μια σημαντική θέση στην παγκόσμια αγορά. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), το 2017 το μαρούλι παράγονταν συνολικά σε 106 χώρες παγκοσμίως. Το 66 % της συνολικής ποσότητας μαρουλιού παράγεται στην Ασία, με την Κίνα και την Ινδία να αποτελούν τις σημαντικότερες χώρες παραγωγής, ενώ στη Βόρεια και Νότια Αμερική παράγεται το 18 % της συνολικής ποσότητας μαρουλιού. Ακολουθούν η Ευρώπη με 14 % και η Αφρική και η Ωκεανία με ένα πολύ μικρό ποσοστό, περίπου 2 % (Heslin et al., 2019). Όσον αφορά την Ευρώπη, η Ισπανία, η Ιταλία και η Γαλλία είναι οι κύριες χώρες παραγωγής μαρουλιού στη λεκάνη της Μεσογείου, με συνολική παραγωγή σχεδόν 3 εκατομμυρίων τόνων/έτος (Moreno & Fereres, 2012).

Όσον αφορά βέβαια στο εμπόριο μαρουλιού, οι μεγαλύτεροι εξαγωγείς για το 2020 ήταν η Ισπανία (867 εκατομμύρια \$), οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (519 εκατομμύρια \$), το Μεξικό (349 εκατομμύρια \$), η Ολλανδία (246 εκατομμύρια \$) και η Ιταλία (238 εκατομμύρια \$). Αντίστοιχα, το μεγαλύτερο ποσοστό εισαγωγών έγινε

στην Γερμανία (443 εκατομμύρια \$), τον Καναδά (436 εκατομμύρια \$), τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (398 εκατομμύρια \$), τη Γαλλία (199 εκατομμύρια \$) και το Χονγκ Κονγκ (166 εκατομμύρια \$). Άλλες χώρες κατείχαν μικρότερα ποσοστά εισαγωγών και εξαγωγών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 1.8: Εισαγωγές και εξαγωγές μαρουλιού το έτος 2020 (Πηγή: OEC, 2020).

1.2 Βοτανική περιγραφή – Διαθέσιμοι τύποι μαρουλιού

Η επιστημονική ονομασία του μαρουλιού είναι *Lactuca sativa* και ανήκει στην οικογένεια Asteracea. Πρόκειται για μία από τις μεγαλύτερες οικογένειες που παρατηρούνται στα Αγγειόσπερμα και στην ίδια οικογένεια ανήκουν αρκετά ακόμη φυτά, όπως η αγκινάρα, το ραδίκι και ο ηλίανθος.

Το μαρούλι αποτελεί ένα μονοετές ποώδες φυτό μακράς ημέρας, που σημαίνει ότι το μαρούλι δεν παράγει άνθη σε διάρκεια ημέρας μικρότερη από 12 ώρες. Διαθέτει επιφανειακό ριζικό σύστημα αλλά σχηματίζει ακόμη μία κεντρική ρίζα, σαν πάσσαλο, η οποία φτάνει σε μεγάλο βάθος, έως και 60 cm. Τα φύλλα του είναι πλατιά και συνήθως έχουν πράσινο χρώμα αλλά σε ορισμένες ποικιλίες μπορεί επίσης να είναι μωβ ή κόκκινα. Γενικά, το μέγεθος και το σχήμα τους ποικίλλει ανάλογα με την ποικιλία. Διατάσσονται επίσης σε ροζέτα (Ολύμπιος, 2001).

Όσον αφορά το βλαστό, κατά τη βλαστική του φάση έχει πολύ μικρό ύψος αλλά επιμηκώνεται σημαντικά κατά τη φάση της αναπαραγωγής, φτάνοντας ακόμη και τα

1,4 μέτρα (Πάσσαμ, 2013). Τα άνθη εντοπίζονται στο ανθικό στέλεχος σε διακλαδώσεις (υπό μορφή κορυμβόμορφου βότρυος ή φόβης). Κάθε κεφαλή φέρει περίπου 15 με 25 άνθη. Τα άνθη είναι ερμαφρόδιτα και σύνθετα. Καθένα από αυτά διαθέτει ένα κίτρινο πέταλο, πέντε στήμονες και μια ωοθήκη. Η άνθηση πραγματοποιείται καθώς τα ανθίδια ανοίγουν για περίπου μία με δύο ώρες το πρωί. Η αναπαραγωγή γίνεται με αυτογονιμοποίηση, ενώ αποτελεί είδος με ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό σταυρογονιμοποίησης. Η δυσκολία στη σταυρογονιμοποίηση έγκειται στο γεγονός ότι τα έντομα δεν ελκύονται από τα άνθη του μαρουλιού και, επιπλέον, υπάρχει δυσκολία κατά τη μεταφορά γύρης μεταξύ των ανθέων, λόγω της μορφολογίας τους (Χα & Πετρόπουλος, 2014). Στην εικόνα 1.3 παρουσιάζονται φυτά μαρουλιού κατά τη φάση της αναπαραγωγής.

Τέλος, ο καρπός είναι μικρός, με μήκος περίπου 3-4 mm και φέρει πάππο. Κάθε καρπός αντιστοιχεί σε έναν σπόρο και κάθε φυτό παράγει περίπου 1.500 σπόρους. Ανάλογα με την ποικιλία του μαρουλιού οι σπόροι μπορεί να είναι λευκοί, κίτρινοι, γκρι, καφέ ή μαύροι. Θα πρέπει να τονιστεί επίσης ότι η είσοδος του φυτού σε αναπαραγωγική φάση υποβαθμίζει σημαντικά την ποιότητα του προϊόντος κι έτσι χρησιμοποιείται μόνο για σποροπαραγωγή (Χα & Πετρόπουλος, 2014).



Εικόνα 1.9: Φυτά μαρουλιού σε αναπαραγωγική φάση.

Το είδος *L. sativa* χαρακτηρίζεται από υψηλή γενετική ποικιλομορφία που προκύπτει από την πολυφυλετική προέλευσή του αλλά και εξαιτίας της πολύπλοκης διαδικασίας

«εξημέρωσής» του (Kesseli et al. 1991). Διάφοροι ερευνητές έχουν προσπαθήσει να ταξινομήσουν τις ποικιλίες και τους τύπους μαρουλιού, βάσει των μορφολογικών και άλλων γνωρισμάτων, με τους επτά κυριότερους να είναι οι εξής:

1. Λείο κεφαλωτό (Butterhead, var. *capitata* L. *nidus tenerrima* Helm)

Το φυτό φέρει σφαιρική κεφαλή με μαλακά και τρυφερά φύλλα που τρώγονται ακατέργαστα. Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος μαρουλιού σε ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Αγγλία, η Γαλλία, οι Κάτω Χώρες, κ.α. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει επεκταθεί η καλλιέργειά του και στις ΗΠΑ.

2. Κατσαρό κεφαλωτό (Crisphead, iceberg, curly, var. *capitata* L. *nidus jäggeri* Helm).

Το συγκεκριμένο μαρούλι σχηματίζει σχεδόν σφαιρική κεφαλή και διαθέτει χοντρά και τραγανά φύλλα, τα οποία είναι κυματοειδή. Αποτελεί τον τύπο μαρουλιού που καλλιεργείται κυρίως στις ΗΠΑ ωστόσο τα τελευταία χρόνια καλλιεργείται και σε χώρες της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων των Κάτω Χωρών, του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γαλλίας, της Ισπανίας, της Γερμανίας, της Τσεχίας, κ.α. Καλλιεργείται επίσης σε Κίνα και Αυστραλία.

3. Κως ή Ρομάνα (var. *longifolia* Lam., var. *romana* Hort. in Bailey)

Ο τύπος Κως ή Ρομάνα περιλαμβάνει φυτά με επιμήκη κεφαλή που περιβάλλονται από λεπτά και μακριά φύλλα, τα οποία τρώγονται ωμά ή μαγειρεμένα. Πρόκειται για τον πιο διαδεδομένο τύπο στην Ελλάδα, γεγονός που αντανακλάται και στην ονομασία του, η οποία προέρχεται από το ελληνικό νησί της Κω όπου καλλιεργείται από τα αρχαία χρόνια. Εξαιρετικά διαδεδομένη είναι επίσης η καλλιέργεια του συγκεκριμένου τύπου σε πολλές μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, στη Μέση Ανατολή, τη Δυτική Ασία και τη Βόρεια Αφρική.

4. Μαρούλι με Χαλαρό ανοικτό φύλλωμα (Gathering lettuce, Loose-leaf, Picking lettuce, var. *acephala* Alef., syn. var. *secalina* Alef., syn. var. *crispa* L.)

Πρόκειται για φυτά μαρουλιού που χαρακτηρίζονται από ελεύθερη ανάπτυξη των φύλλων σε ανοιχτές ροζέτες, χωρίς την ανάπτυξη κεφαλής. Ο συγκεκριμένος μορφότυπος ωστόσο χαρακτηρίζεται από μεγάλη ετερογένεια καθώς τα φύλλα του φυτού μπορεί να είναι επιμήκη ή πλατιά, κυματοειδή ή όχι ενώ οι αποχρώσεις τους κυμαίνονται από πράσινο έως και κοκκινωπά. Είναι ιδιαίτερα δημοφιλή στις ΗΠΑ, την

Ιταλία, τη Γαλλία και την Τσεχία, ενώ καλλιεργούνταν επίσης στην αρχαία Ελλάδα και Ρώμη.

5. Μαρούλι *Asparagus* (Stem lettuce, var. *angustana* Irish ex Bremer, syn. var. *asparagina* Bailey, syn. *L. angustana* Hort. in Vilm)

Πρόκειται για φυτά χωρίς σχηματισμό κεφαλής, με σαρκώδη στελέχη που μπορούν να καταναλωθούν ωμά ή μαγειρεμένα, σαν το σπαράγγι, και φύλλα τα οποία μπορούν να καταναλωθούν επίσης ωμά όταν το φυτό βρίσκεται σε νεαρό στάδιο ανάπτυξης ή μαγειρεμένα σε μεγαλύτερο στάδιο ανάπτυξης. Σε αυτόν τον τύπο απαντώνται δύο επιμέρους υποτύποι. Ο πρώτος υποτύπος περιλαμβάνει τις κινέζικες ποικιλίες που έχουν ανοιχτά γκρι φύλλα που μοιάζουν αυτά της ποικιλίας Ρομάνα. Ο δεύτερος υποτύπος έχει μακριά λογχοειδή φύλλα με μυτερές κορυφές.

6. Λατινικό (χωρίς επιστημονική ονομασία)

Αυτός ο τύπος μαρουλιού χαρακτηρίζεται από χαλαρά κεφάλια με παχιά φύλλα με σκούρο πράσινο χρώμα, τα οποία καταναλώνονται ωμά. Καλλιεργείται κυρίως σε Μεσογειακές χώρες, στη Βόρεια Αφρική αλλά και στη Νότια Αμερική.

7. Μαρούλι σπορέλαιου (Oilseed lettuce)

Λόγω της πικρής γεύσης των φύλλων, αυτός ο τύπος μαρουλιού δεν καταναλώνεται ως λαχανικό. Χαρακτηρίζεται όμως από υψηλή συγκέντρωση ελαίου στους σπόρους του (35 %), το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στη μαγειρική. Επιπλέον, το συγκεκριμένο έλαιο είναι πλούσιο σε βιταμίνη E (Křístková et al., 2008).

Εκτός από τους παραπάνω τύπους βέβαια, θα πρέπει να τονιστεί ότι εμφανίζονται και αρκετές ακόμη ποικιλίες, λιγότερο γνωστές ή όχι. Μερικές από τις πιο γνωστές ποικιλίες μαρουλιού και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.4



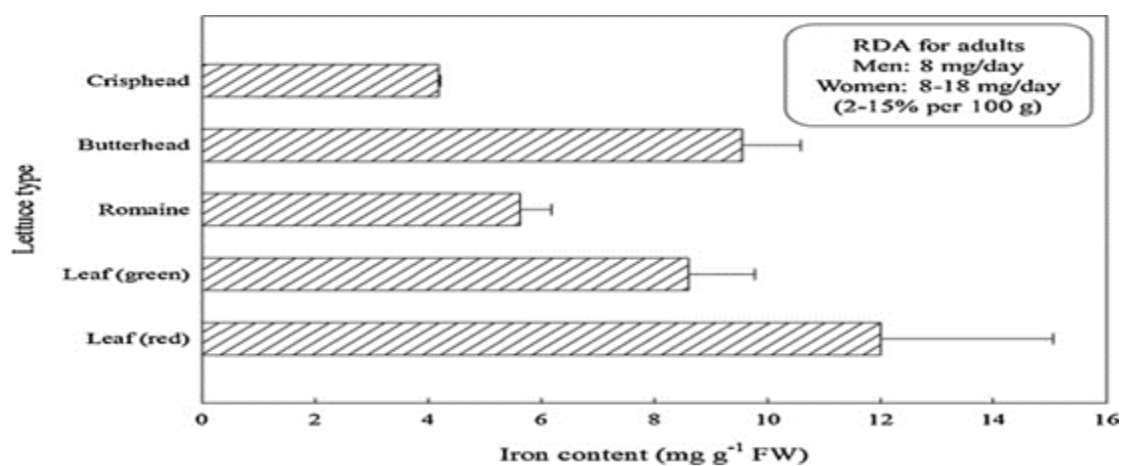
Εικόνα 1.4: Ευρέως διαδεδομένοι τύποι μαρουλιού.

1.3 Θρεπτική αξία μαρουλιού & Οφέλη στην ανθρώπινη υγεία

Το μαρούλι αποτελεί ένα από τα λαχανικά με τη μεγαλύτερη κατανάλωση παγκοσμίως καθώς χρησιμοποιείται πολύ συχνά φρέσκο ως βάση σε διάφορες σαλάτες (Moreno & Ferreres, 2012). Παρόλο που η θρεπτική του αξία συχνά υποτιμάται (Kim et al., 2016), το μαρούλι μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη στην υγεία και είναι εξαιρετικά θρεπτικό καθώς αποτελεί καλή πηγή φυτικών ινών, βιταμίνης C και φαινολικών ενώσεων (Kim et al., 2016; Mulabagal et al., 2010). Επιπλέον, είναι χαμηλό σε θερμιδική αξία και σε λιπαρά οξέα κι επομένως μπορεί να συμβάλλει στην απώλεια βάρους. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε μέταλλα, το μαρούλι έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο (Na) αλλά αποτελεί καλή πηγή καλίου (K) καθώς περιέχει ποσότητα συγκρίσιμη με αυτή που έχει το σπανάκι. Περιέχει ακόμη πλήθος άλλων βιταμινών και μετάλλων σε μικρότερη ποσότητα (Kim et al., 2016).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, λόγω της κατανάλωσής του κατά βάση ως νωπό προϊόν, στο μαρούλι διατηρούνται περισσότερα θρεπτικά συστατικά σε σύγκριση με άλλα λαχανικά που μαγειρεύονται ή μεταποιούνται, όπως οι πατάτες. Επομένως, η θρεπτική του αξία ως βασικό συστατικό μιας υγιεινής διατροφής είναι ακόμη μεγαλύτερη (Kim et al., 2016).

Ενδιαφέρον βέβαια παρουσιάζει το γεγονός ότι η σύσταση των θρεπτικών συστατικών και οι βιοδραστικές ενώσεις διαφέρουν μεταξύ των τύπων μαρουλιού. Το μαρούλι Crisphead, το πιο δημοφιλές είδος μαρουλιού στις ΗΠΑ που είναι γνωστό και ως iceberg, είναι το πιο «φτωχό» όσον αφορά τη θρεπτική του αξία καθώς συγκριτικά με άλλους τύπους είναι φτωχό σε μέταλλα, βιταμίνες και βιοδραστικά συστατικά. Αντιθέτως, τα πιο θρεπτικά μαρούλια είναι τα μαρούλια τύπου leaf και romaine καθώς διαθέτουν υψηλή περιεκτικότητα σε φυλλικό οξύ. Ακόμη, το κόκκινο μαρούλι περιέχει υψηλότερες φαινολικές ενώσεις, συγκριτικά με το πράσινο μαρούλι, ενώ το μαρούλι τύπου baby green romaine είχε ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε βιταμίνη C. Σημαντικές διαφορές παρατηρούνται επίσης μεταξύ των διαφορετικών τύπων μαρουλιού όσον αφορά την περιεκτικότητα σε φώσφορο (P) και μαγνήσιο (Mg). Γενικά, στις περισσότερες ποικιλίες παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα φωσφόρου αλλά ορισμένοι τύποι μαρουλιού, όπως η romaine, αποτελούν καλή πηγή μαγνησίου. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η σύσταση διαφόρων τύπων μαρουλιού σε σίδηρο (Fe) και ψευδάργυρο (Zn). Τα συγκεκριμένα θρεπτικά μελετώνται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, κυρίως εξαιτίας της αύξησης της δημοτικότητας της χορτοφαγικής διατροφής καθώς τα λαχανικά περιέχουν χαμηλά ποσοστά αυτών των στοιχείων. Η περιεκτικότητα σε σίδηρο των διαφόρων τύπων μαρουλιού παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.5. Φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία μεταξύ των τύπων μαρουλιού αναφορικά με την περιεκτικότητά τους σε σίδηρο, με τη μικρότερη όμως να εντοπίζεται στον τύπο Crisphead. Γενικά βέβαια, σε σύγκριση με το σπανάκι, η περιεκτικότητά του μαρουλιού σε σίδηρο είναι αρκετά χαμηλή (Kim et al., 2016).



Εικόνα 1.5: Περιεκτικότητα σε σίδηρο διαφόρων ποικιλιών μαρουλιού (Kim et al., 2016).

Ακόμη, καθώς υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση από τους καταναλωτές για τρόφιμα που όχι απλά καλύπτουν τις διατροφικές ανάγκες αλλά επιπλέον προάγουν την ευεξία και την υγεία, μειώνουν τις ασθένειες και αυξάνουν το προσδόκιμο ζωής, το μαρούλι μπορεί να αποτελέσει ένα βασικό συστατικό μιας ισορροπημένης διατροφής με πολλαπλά οφέλη (Baslam et al., 2011). Αρχικά, επιδημιολογικές μελέτες έχουν αποδείξει συσχέτιση μεταξύ της αυξημένης κατανάλωσης λαχανικών και της μείωσης του κινδύνου εμφάνισης χρόνιων ασθενειών, όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και η γήρανση (Boeing et al., 2012; Hung et al., 2004). Ακόμη, όσον αφορά τα θρεπτικά συστατικά του μαρουλιού, το υψηλό ποσοστό σε φυτικές ίνες συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων, μέσω της μείωσης της χοληστερόλης LDL και της αρτηριακής πίεσης. Επιπλέον, η αυξημένη πρόσληψη φυτικών ινών συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου εμφάνισης σακχαρώδους διαβήτη, βελτιώνοντας το μεταβολισμό της γλυκόζης και μειώνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου (Hansen et al., 2012). Τέλος, μελέτες *in vitro* και *in vivo* έχουν αποδείξει την αντιφλεγμονώδη και αντιδιαβητική δράση του μαρουλιού που αποδίδονται στις βιοδραστικές ενώσεις του (Kim et al., 2016).

1.4 Καλλιέργεια μαρουλιού

1.4.1 Κλιματικές και εδαφολογικές απαιτήσεις

Το μαρούλι χαρακτηρίζεται ως καλλιέργεια ψυχρής εποχής καθώς μπορεί να ευδοκιμήσει ακόμη και σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Η βέλτιστη ανάπτυξη του φυτού επιτυγχάνεται σε θερμοκρασία 23 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 7 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας. Υπό συνθήκες ανάπτυξης σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλείται κάψιμο της κορυφής και το φυτό αναπτύσσει πικρή γεύση, η οποία οδηγεί σε ποιοτική υποβάθμιση και μείωση της εμπορικής του αξίας. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, πριν το φυτό παγώσει, δεν παρατηρείται καταστροφή αλλά επιβράδυνση της ανάπτυξης. Κατά το πάγωμα, σε ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες βέβαια, προκαλούνται βλάβες στα εξωτερικά φύλλα του μαρουλιού, με αποτέλεσμα την αποσύνθεσή τους. Έτσι, το μαρούλι καθίσταται εξαιρετικά ευαίσθητο σε περαιτέρω χειρισμό ή στην αποθήκευσή του (Smith et al., 2011).

Όσον αφορά τις εδαφολογικές απαιτήσεις, το μαρούλι μπορεί να καλλιεργηθεί σε μεγάλη ποικιλία τύπων εδάφους (Finch et al., 2014). Γενικά, το μαρούλι ευδοκίμει καλύτερα σε αργιλώδη και αμμώδη εδάφη. Τα ελαφρύτερα εδάφη επιτρέπουν καλύτερη αποστράγγιση του νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες και γρηγορότερη άνοδο της θερμοκρασίας (Smith et al., 2011). Επιπλέον, καθώς το φυτό έχει περιορισμένο ριζικό σύστημα και δεν μπορεί να προσλάβει θρεπτικά συστατικά από μεγάλες εκτάσεις, συστήνεται η καλλιέργεια του μαρουλιού σε γόνιμα εδάφη, πλούσια σε οργανική ουσία (Moreira et al., 2014; Rubatzky & Yamaguchi, 1997).

1.4.2 Άρδευση

Το μαρούλι έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε νερό (> 95 %) και η άρδευση παίζει σημαντικό ρόλο στην καλλιέργειά του. Απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη ποσότητα νερού, κυρίως μετά τη μεταφύτευση για να βοηθήσει την ταχεία εγκατάσταση και ανάπτυξη της καλλιέργειας. Στη συνέχεια, οι απαιτήσεις άρδευσης ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και τις βροχοπτώσεις (Finch et al., 2014). Επιπλέον, αυξημένες είναι οι απαιτήσεις του μαρουλιού σε νερό κατά τον τελευταίο μήνα καλλιέργειας, εξαιτίας της έντονης ανάπτυξης του φυτού (Smith et al., 2011). Γενικά, συνίσταται η σταθερή παροχή υγρασίας ενώ ταυτόχρονα απαιτείται προσοχή ώστε να μην αρδεύονται υπερβολικά οι καλλιέργειες, λόγω της έκπλυσης των θρεπτικών ουσιών. Χαρακτηριστικά, η ανεπαρκής και ακανόνιστη άρδευση μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απόδοση και εμφάνιση περιθωριακού καψίματος, υποβαθμίζοντας την ποιότητα του προϊόντος (Finch et al., 2014).

1.4.3 Λίπανση

Για τη λίπανση της καλλιέργειας μαρουλιού απαιτείται εδαφολογική ανάλυση και φυλλοδιαγνωστική προκειμένου να εντοπιστούν ελλείψεις σε θρεπτικά συστατικά και να γίνει το κατάλληλο πρόγραμμα λίπανσης. Όσον αφορά τη λίπανση με άζωτο, αυτό εφαρμόζεται με τη μορφή νιτρικών ιόντων. Το μαρούλι ωστόσο, δεν ανταποκρίνεται σε υψηλά επίπεδα αζώτου, ενώ τα υπερβολικά επίπεδα μπορεί να μειώσουν τη διάρκεια ζωής του και να οδηγήσουν σε υποβάθμιση του προϊόντος.

Επιπρόσθετα, λόγω του πιθανού κινδύνου για την υγεία του ανθρώπου από την υπερβολική ποσότητα νιτρικών αλάτων στη διατροφή, υπάρχει ένα μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο νιτρικών που μπορεί να εφαρμοστεί στις καλλιέργειες και

διέπεται από τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Finch et al., 2014). Επιπλέον, δεν προτιμάται η λίπανση με άζωτο κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, λόγω έκπλυσης του νιτρικού αζώτου σε κατώτερα στρώματα εδάφους (Smith et al., 2011).

Η λίπανση με φώσφορο και κάλιο συστήνεται επίσης με βάση τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης. Επίπεδα φωσφόρου πάνω από 60 ppm στο έδαφος είναι επαρκή για την ανάπτυξη του μαρουλιού. Ωστόσο, σε εδάφη με επίπεδα φωσφόρου κάτω από αυτή την τιμή απαιτείται λίπανση. Αντίστοιχα, εδάφη με επίπεδα καλίου μεγαλύτερα από 150 ppm θεωρούνται επαρκή για την ανάπτυξη του μαρουλιού (Smith et al., 2011).

1.4.4 Εχθροί και ασθένειες

Η καλλιέργεια μαρουλιού ελκύει ένα μεγάλο φάσμα παρασίτων, ιδιαίτερα τις αφίδες, τις κάμπιες και τους γυμνοσάλιαγκες. Οι ασθένειες του περονόσπορου, του βοτρυτή και της σκληροτινίασης είναι τα κύρια προβλήματα της καλλιέργειας. Ορισμένα από τα κυριότερα παθογόνα που πλήττουν την καλλιέργεια μαρουλιού είναι τα εξής: *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp., *R. solani*, *Bremia lactucae* (περονόσπορος), (Εικόνα 1.6.), *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Erysiphe cichoracearum*, *Septoria lactucae*, ιός του μωσαϊκού του μαρουλιού (LMV), κ.α. (Finch et al., 2014).



Εικόνα 1.10: Περονόσπορος σε φύλλα μαρουλιού.

1.5 Αβιοτικές καταπονήσεις και απόκριση φυτού

Τα φυτά ζουν σε συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα που είναι συχνά δυσμενή για την ανάπτυξή τους (He et al., 2018; Zhu, 2016). Οι δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες περιλαμβάνουν παράγοντες βιοτικού στρες, όπως οι μολύνσεις που προέρχονται από φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς και οι προσβολές από φυτοφάγους εχθρούς, αλλά και αβιοτικού στρες, όπως η χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία, η έλλειψη ή υπερβολική ποσότητα νερού, η υψηλή αλατότητα, η ύπαρξη βαρέων ή τοξικών μετάλλων στο έδαφος και η υπεριώδης ακτινοβολία (UV), μεταξύ άλλων (He et al., 2018). Οι συγκεκριμένες καταπονήσεις, που συλλογικά αναφέρονται ως αβιοτικές, αποτελούν σοβαρή απειλή για τη γεωργία και το οικοσύστημα και ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την απώλεια απόδοσης των καλλιεργειών (Wania et al., 2016).

Πιο συγκεκριμένα, τα επίπεδα ξηρασίας, αλατότητας και η θερμοκρασία είναι σημαντικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωγραφική κατανομή των φυτών αλλά ταυτόχρονα μπορούν να περιορίσουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και να απειλήσουν την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια (Zhu, 2016). Οι δυσμενείς επιπτώσεις αυτών των αβιοτικών παραγόντων στην ανάπτυξη των φυτών και στις καλλιεργείες επιδεινώνονται περαιτέρω από την κλιματική αλλαγή, η οποία έχει προβλεφθεί ότι θα οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών συνθηκών (Fedoroff et al., 2010).

Η σημασία μελέτης των αβιοτικών καταπονήσεων διαφαίνεται από πολλούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι εξ αυτών είναι ο αυξανόμενος ανθρώπινος πληθυσμός και η κλιματική αλλαγή. Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός προβλέπεται να αυξηθεί από 7 σε 9–10 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050, προβλέπεται ότι θα σημειωθεί και αύξηση μεταξύ 60 και 110 % της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων (Rockström et al., 2017). Επιπλέον, οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις επηρεάζονται από την αστικοποίηση. Καθώς οι αστικές περιοχές επεκτείνονται, διεισδύουν περισσότερο στη γύρω, συχνά εύφορη γη, ωθώντας στη μετακίνηση της γεωργίας σε περιοχές που είναι λιγότερο κατάλληλες για καλλιεργείες (Döös, 2002). Ακόμη, λόγω της αποψίλωσης των δασών και της υπερβολικής χρήσης ορυκτών καυσίμων, τα επίπεδα CO₂ της ατμόσφαιρας έχουν αυξηθεί από 280 σε 400 ppm και αναμένεται να αυξηθούν στα 800 ppm έως το 2100 (Hofmann et al., 2009). Οι ανωτέρω παράγοντες, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή που προκαλεί ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως απότομες διακυμάνσεις της

θερμοκρασίας, ακραίες βροχοπτώσεις και ξηρασία, ευθύνονται για την ένταση των αβιοτικών καταπονήσεων στρες στις καλλιέργειες και τη μείωση της παραγωγής (Godoy et al., 2021). Χαρακτηριστικά, το 45 % των καλλιεργήσιμων εκτάσεων πλήττεται από ξηρασία και εκτιμάται ότι η έκταση της γης με στρεσογόνους παράγοντες για την ανάπτυξη των φυτών αυξήθηκε από 17 σε 27 % μεταξύ των δεκαετιών 1950 και 2000 (Thornton et al., 2014). Επιπλέον, η αλατότητα ευθύνεται για σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών καθώς η πλειοψηφία των φυτικών ειδών είναι ευαίσθητα στην καταπόνηση αλατότητας, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια. Τέλος, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η εξόρυξη ορυκτών και η υπερβολική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, σχετίζονται επίσης με την αύξηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένης της περίσσειας χρωμίου (Cr), καδμίου (Cd), αρσενικού (As), μολύβδου (Pb), χαλκού (Cu) και υδραργύρου (Hg). Αυτοί οι ρύποι επηρεάζουν τις αναπτυξιακές διαδικασίες των φυτών, όπως η βλάστηση των σπόρων, αλλά και τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης, αναπνοής και διαπνοής, μειώνοντας έτσι την ανάπτυξη, την απόδοση και την ποιότητα των καλλιεργειών (Godoy et al., 2021).

Βάσει των ανωτέρω, τίθενται ως θεμελιώδη βιολογικά ερωτήματα αρχικά ο τρόπος με τον οποίο τα φυτά αντιλαμβάνονται τα διάφορα ερεθίσματα και τους παράγοντες καταπόνησης και, στη συνέχεια, οι μηχανισμοί προσαρμογής τους σε δυσμενή περιβάλλοντα. Προκύπτει ότι η απόκριση των φυτών στην αβιοτική καταπόνηση είναι μια σαφώς περίπλοκη διαδικασία που μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

Αντίληψη: Το φυτό αντιλαμβάνεται την παρουσία του αβιοτικού παράγοντα που προκαλεί καταπόνηση μέσω διαφόρων μηχανισμών, όπως οι υποδοχείς, τα κανάλια και τα μόρια σηματοδότησης.

Μεταβίβαση σήματος: Το φυτό μετατρέπει το αντιληπτό σήμα σε ένα ενδοκυτταρικό σήμα, το οποίο οδηγεί στην ενεργοποίηση διαφόρων σηματοδοτικών οδών που πυροδοτούν μια απόκριση.

Γονιδιακή έκφραση: Η ενεργοποίηση των παραπάνω σηματοδοτικών μονοπατιών οδηγεί σε αλλαγές στη γονιδιακή έκφραση, οι οποίες επιτρέπουν στο φυτό να προσαρμοστεί στον αβιοτικό παράγοντα καταπόνησης.

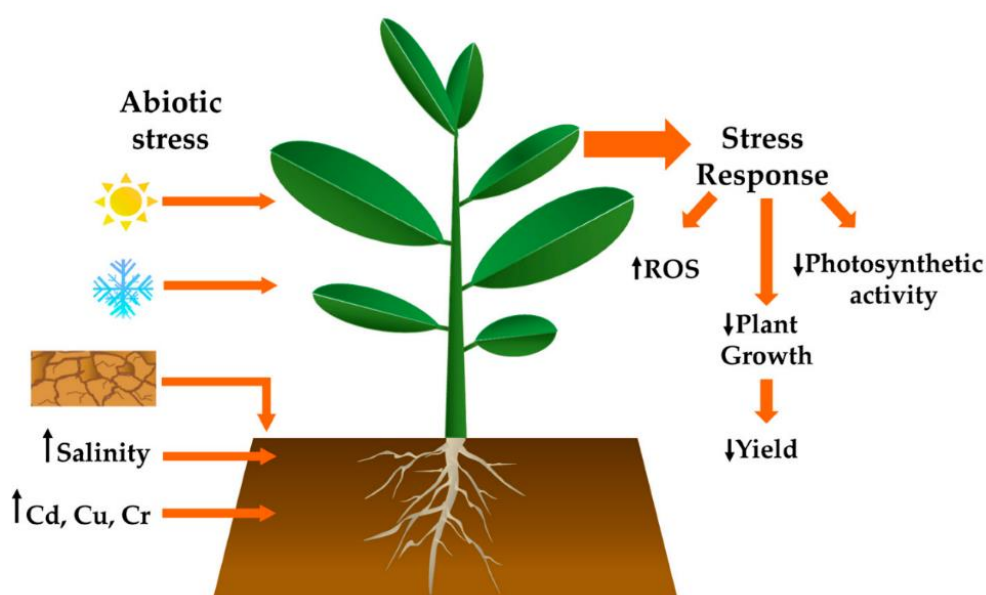
Μεταβολικές αλλαγές: Οι αλλαγές στη γονιδιακή έκφραση οδηγούν σε μεταβολικές αλλαγές στο φυτό, όπως αλλαγές στα επίπεδα των ωσμολυτών, των ενεργών μορφών οξυγόνου και άλλων μορίων.

Αλλαγές φυσιολογίας: Οι μεταβολικές αλλαγές οδηγούν σε αλλαγές που αφορούν στη φυσιολογία του φυτού, όπως αλλαγές στην αποδοτικότητα χρήσης νερού, στο ρυθμό φωτοσύνθεσης, στον ρυθμό διαπνοής, κ.ά.

Προσαρμογή: Οι παραπάνω αλλαγές βοηθούν το φυτό να προσαρμοστεί στον αβιοτικό παράγοντα καταπόνησης, επιτρέποντάς την επιβίωση και τη συνέχιση της απρόσκοπτης ανάπτυξής του (Zhu, 2016):

Θα πρέπει να τονιστεί ωστόσο ότι αυτά τα στάδια δεν είναι απαραίτητα διαδοχικά και μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα, καθώς τα φυτά διαθέτουν πολλαπλούς μηχανισμούς για να ανταποκρίνονται σε διαφορετικούς παράγοντες καταπόνησης (Zhu, 2016). Επιπλέον, η απόκριση ενός φυτού σε έναν αβιοτικό παράγοντα εξαρτάται από τη σοβαρότητα και τη διάρκεια έκθεσης του φυτού στον εν λόγω παράγοντα, καθώς και από το στάδιο ανάπτυξης και τον γονότυπο του φυτού (Godoy et al., 2021; Zhu, 2016).

Οι κυριότεροι αβιοτικοί παράγοντες καθώς και οι μηχανισμοί απόκρισης του φυτού παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.7. Με δεδομένο ότι οι αβιοτικές καταπονήσεις αποτελούν σημαντικότατο πρόβλημα για τη σύγχρονη γεωργία, με τις καλλιέργειες με χαμηλή αντοχή να απαιτούν υψηλότερες εισροές σε νερό και λιπάσματα επιβαρύνοντας περισσότερο το περιβάλλον, καθίσταται αναγκαία και κρίσιμη η βελτίωση της αντοχής των φυτών στην καταπόνηση τόσο για τη γεωργική παραγωγικότητα όσο και για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.



Εικόνα 1.11: Αβιοτικές καταπονήσεις και απόκριση του φυτού (Godoy et al., 2021).

1.5.1 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Η καταπόνηση αλατότητας ορίζεται ως η αυξημένη συγκέντρωση ιόντων, κυρίως Na^+ και Cl^- , στο περιβάλλον της ρίζας του φυτού (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Αποτελεί έναν βασικό αβιοτικό παράγοντα καταπόνησης που επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών (Rasool et al., 2012).

Πιο συγκεκριμένα, η καταπόνηση αλατότητας επηρεάζει δραστικά τη γεωργική παραγωγικότητα και οι καταστροφικές συνέπειες της συσσώρευσης αλάτων έχουν παρατηρηθεί τόσο σε αρχαίους όσο και σε σύγχρονους πολιτισμούς. Υπολογίζεται ότι περίπου το 20 % της αρδευόμενης γης σήμερα, χαρακτηρίζεται από υψηλή αλατότητα (Yeo, 1998). Τα αλατούχα εδάφη με διαλυτά άλατα επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών σε διάφορα στάδια, οδηγώντας σε μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό και χρήζει προσοχής καθώς η απώλεια καλλιεργήσιμης γης, λόγω της αλατότητας, σχετίζεται άμεσα κι έχει αρνητικό αντίκτυπο στις διατροφικές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού, οι οποίες προβλέπεται να αυξηθούν κατά 8,5 δισεκατομμύρια τα επόμενα 25 χρόνια. Δεδομένου ότι η καλλιεργήσιμη γη μειώνεται ραγδαία λόγω της αστικοποίησης, είναι επιτακτική η ανάγκη να αξιοποιηθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος ακαλλιέργητης γης για την αύξηση της παραγωγής τροφίμων και την ικανοποίηση των διατροφικών αναγκών του πληθυσμού. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό ακαλλιέργητης γης σήμερα αποτελείται από περιοχές με υψηλή αλατότητα. Επιπλέον, στις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, η εντατική χρήση γεωργικών πρακτικών έχει οδηγήσει σε υποβάθμιση της γεωργικής γης και των αποθεμάτων νερού (Rasool et al., 2012).

Μία πιθανή λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος, θα μπορούσε να είναι η αξιοποίηση καλλιεργειών που είναι ανθεκτικές σε υψηλά επίπεδα αλατότητας. Ωστόσο, οι περισσότερες καλλιέργειες ανέχονται την αλατότητα σε ένα επίπεδο «κατωφλίου», δηλαδή ενός «ορίου» που ορίζεται ως η τιμή κάτω από την οποία δεν επηρεάζεται η ανάπτυξη της καλλιέργειας λόγω της αλατότητας. Σύμφωνα με τους Flowers et al. (1977), τα φυτά διακρίνονται σε γλυκόφυτα και αλόφυτα με βάση τις ικανότητές τους να αναπτύσσονται σε διαφορετικές συγκεντρώσεις αλάτων. Τα αλόφυτα έχουν την ικανότητα ανάπτυξης και ολοκλήρωσης του κύκλου ζωής τους σε υψηλή συγκέντρωση αλάτων, π.χ. *Atriplex*, *Vesicaria*. Ωστόσο, η πλειονότητα των χερσαίων φυτών, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών καλλιεργειών, είναι γλυκοφυτικά και δεν μπορούν να ανεχθούν υψηλή συγκέντρωση αλάτων (Khan et al., 2006). Συγκεκριμένα,

η ανάπτυξη των φυτών παρεμποδίζεται σε συνθήκες υψηλής αλατότητας, λόγω της διαμόρφωσης χαμηλού οσμωτικού δυναμικού (ωσμωτική καταπόνηση), της ανισορροπίας ιόντων που προκύπτει (ιοντική καταπόνηση), της ειδικής επίδρασης ορισμένων ιόντων που δύναται να αποβεί τοξική ή του συνδυασμού των ανωτέρω παραγόντων (Rasool et al., 2012).

Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι το στρες αλατότητας αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα που μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών και να αποτελέσει απειλή για μια καλλιέργεια. Οι κυριότεροι τύποι αλατότητας καθώς και οι επιδράσεις της αλατότητας παρουσιάζονται αναλυτικά στις ενότητες που ακολουθούν.

1.5.1.1 Τύποι αλατότητας

Η αλατότητα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως πρωτογενής και δευτερογενής με βάση την πηγή προέλευσής της. Ουσιαστικά, η πρωτογενής αλατότητα προκύπτει εξαιτίας της εναπόθεσης αλάτων, μέσω φυσιολογικών διεργασιών, στο περιβάλλον. Αντίθετα, η δευτερογενής αλατότητα προκύπτει λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, αστικής ή γεωργικής (Parihar et al., 2015; Rasool et al., 2012).

Πιο συγκεκριμένα, μερικοί παράγοντες που ευθύνονται για την πρωτογενή αλατότητα είναι οι εξής:

1. Διάβρωση βράχων και πετρωμάτων. Μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας καταστρέφονται τα πετρώματα και απελευθερώνονται διαλυτά άλατα διαφόρων τύπων, όπως χλωριούχα άλατα νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου.
2. Διοχέτευση υπόγειων υδάτων στην επιφάνεια του εδάφους. Συχνά τα υπόγεια ύδατα μπορεί να είναι πλούσια σε άλατα, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε άλατα του εδάφους καθώς γίνεται μεταφορά αυτών σε υψηλότερα εδαφικά στρώματα.
3. Εισχώρηση θαλασσινού νερού σε παράκτιες περιοχές και σε ακτές. Το θαλασσινό νερό είναι πλούσιο κυρίως σε χλωριούχο νάτριο, αυξάνοντας την αλατότητα σε περιοχές που εναποτίθεται.
4. Επίδραση του ανέμου και της βροχής που μπορούν να μεταφέρουν άλατα, κυρίως από τη θάλασσα, τα οποία εναποτίθενται στο έδαφος (Rasool et al., 2012; Stavi et al., 2021).

Όσον αφορά τη δευτερογενή αλατότητα, αυτή μπορεί να προκληθεί από τους εξής παράγοντες:

1. Βιομηχανικά λύματα
2. Υπερβολική χρήση λιπασμάτων
3. Άρδευση με νερό πλούσιο σε άλατα
4. Απομάκρυνση φυσικής φυτικής κάλυψης
5. Άρδευση με ανεπαρκές σύστημα αποστράγγισης εδάφους (Rasool et al., 2012).

Επιπλέον, ένας άλλος τύπος διάκρισης αφορά την κατηγοριοποίηση των εδαφών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, τη φύση τους και το πώς επηρεάζονται από τα άλατα. Διακρίνονται έτσι, οι εξής εδαφικοί τύποι:

1. Νατριωμένα ή αλκαλιωμένα εδάφη (sodic soils)
2. Αλατούχα εδάφη (saline soils) (Rasool et al., 2012)

Οι κύριες διαφορές μεταξύ αυτών των δύο εδαφικών τύπων εντοπίζονται στη φύση των ανιόντων και στο pH του εδάφους. Μελέτες καταδεικνύουν ότι τα ανθρακικά ή τα διττανθρακικά ιόντα συναντώνται κυρίως σε νατριωμένα ή αλκαλιωμένα εδάφη με pH πάνω από 8,5, ενώ τα χλωριούχα ή θειικά ιόντα κυριαρχούν στα αλατούχα εδάφη με pH κάτω από 8,5 (Rasool et al., 2012; Stavi et al., 2021).

Τέλος, τα φυτά τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν καλά σε παράκτιες περιοχές, στις όχθες λιμνών και σε ελώδεις εκτάσεις ονομάζονται αλόφυτα καθώς ευδοκιμούν σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Αντίθετα, τα φυτά που δεν είναι ανθεκτικά στα άλατα ονομάζονται γλυκόφυτα ή μη αλόφυτα (Tomar et al., 2021).

1.5.1.2 Επίδραση της αλατότητας στα φυτά

Η αλατότητα είναι ένας παράγοντας που γενικά μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη των φυτών, μέσω δύο διακριτών οδών. Πρώτον, η παρουσία αλάτων στο έδαφος μειώνει την ικανότητα του φυτού να απορροφά νερό, οδηγώντας σε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης. Αυτό το φαινόμενο συχνά αναφέρεται ως ωσμωτική καταπόνηση ή ωσμωτική επίδραση της αλατότητας. Δεύτερον, η είσοδος στο φυτό υπερβολικής ποσότητας αλάτων προκαλεί ιοντική καταπόνηση ως αποτέλεσμα της πρόκλησης τραυματισμών στα κύτταρα της επιφάνειας διαπνοής των φύλλων, η οποία οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της ανάπτυξης. Η δυσμενής επίδραση της αλατότητας παρατηρείται σε επίπεδο ολόκληρου του φυτού και εκφράζεται είτε μέσω της αδυναμίας επιβίωσής του είτε μέσω μείωσης της παραγωγικότητάς του. Ουσιαστικά, η αλατότητα επηρεάζει

ένα σύνολο διεργασιών, όπως η βλάστηση, η ανάπτυξη, η φωτοσύνθεση, η πρόσληψη θρεπτικών ουσιών, κ.α. (Parihar et al., 2015).

Οι σημαντικότερες επιδράσεις της αλατότητας στο φυτό θα αναπτυχθούν εκτενώς στη συνέχεια.

1.5.1.3 Ωσμωτική καταπόνηση

Μία από τις βασικότερες επιδράσεις της υψηλής αλατότητας στο φυτό είναι η ωσμωτική καταπόνηση που δρα αρνητικά στην ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας του φυτού και ταυτόχρονα εμποδίζει την πρόσληψη νερού από το έδαφος (Passioura & Munns, 2000). Η αδυναμία πρόσληψης νερού από το έδαφος αποδίδεται στην πρόσληψη αλάτων, η οποία οδηγεί σε αύξηση της ωσμωτικής πίεσης του φυτού και αντίστοιχης μείωσης του ωσμωτικού δυναμικού του. Με τον τρόπο αυτό, δυσχεραίνεται η απορρόφηση νερού από το έδαφος (Parihar et al., 2015).

Επίσης, κατά την ωσμωτική καταπόνηση σημειώνεται σε διάστημα μερικών ημερών αλλαγή στη διαμόρφωση της φυλλικής επιφάνειας του φυτού. Έτσι, δημιουργούνται νέα φύλλα με διαφορετική εμφάνιση και δομή από τα τυπικά φύλλα του είδους, τα οποία επίσης συχνά έχουν μικρό μήκος και παχύ έλασμα. Η αυξημένη αλατότητα ωστόσο, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, μπορεί να επηρεάσει και την άνθιση του φυτού. Μελέτες αποδεικνύουν ότι η εφαρμογή υψηλής αλατότητας για διάστημα αρκετών εβδομάδων ή ακόμη και ημερών οδηγεί σε πρόωμη άνθιση. Επιπλέον, τα φυτά εμφανίζουν μειωμένο αριθμό ανθέων σε σύγκριση με φυτά που αναπτύσσονται σε συνθήκες απουσίας καταπόνησης αλατότητας (Munns & Tester, 2008).

1.5.1.4 Ιοντική καταπόνηση

Παρά το γεγονός ότι η ωσμωτική καταπόνηση είναι η πρώτη που εμφανίζεται αφού εφαρμοστεί υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο φυτό, ακολούθως παρατηρείται ιοντική καταπόνηση, η οποία οφείλεται κυρίως στη διαταραχή της ομοιόστασης των φυτικών κυττάρων (Chen et al., 2022).

Ουσιαστικά, η ιοντική καταπόνηση προκύπτει εξαιτίας της ιοντικής ανισορροπίας που παρατηρείται στο φυτικό κύτταρο καθώς το φυτό δεν προσλαμβάνει ομοιόμορφα τα ιόντα που απαιτούνται από το έδαφος. Εξαιτίας της αυξημένης αλατότητας του εδάφους, αυξάνεται η πρόσληψη ιόντων Na^+ και Cl^- . Τα συγκεκριμένα ιόντα

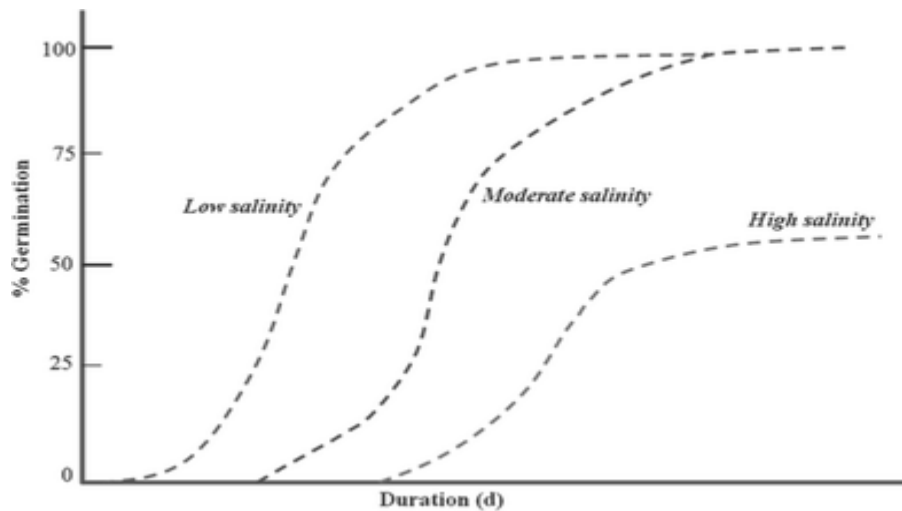
ανταγωνίζονται διάφορα άλλα, όπως το K^+ και το Ca^{2+} , ενώ ταυτόχρονα προκαλούνται διαταραχές στη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών. Η ανισορροπία ιόντων επηρεάζει πολλές σημαντικές λειτουργίες του φυτού, ενώ επιπλέον παρατηρούνται φαινόμενα τοξικότητας και βλάβες στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Καραμπουρνιώτης et al., 2012).

1.5.1.5 Επίδραση στην εκβλάστηση

Η εκβλάστηση των σπόρων είναι μια από τις πιο θεμελιώδεις φάσεις στον κύκλο ανάπτυξης ενός φυτού που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοσή του. Ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι η αλατότητα επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία βλάστησης σε διάφορα φυτικά είδη, συμπεριλαμβανομένων των *Posidonia*, *Oryza sativa*, *Triticum aestivum*, *Zea mays*, *Brassica* spp κ.ά. (Parihar et al., 2015).

Η αλατότητα επηρεάζει ποικιλοτρόπως τη διαδικασία βλάστησης. Μεταξύ άλλων, η αλατότητα μεταβάλλει την απορρόφηση νερού από τους σπόρους, λόγω του χαμηλότερου οσμωτικού δυναμικού των μέσων βλάστησης, προκαλεί τοξικότητα που τροποποιεί τη δραστηριότητα των ενζύμων μεταβολισμού των νουκλεϊκών οξέων, αλλάζει τον μεταβολισμό των πρωτεϊνών, διαταράσσει την ισορροπία ορμονών, κ.ά. (Parihar et al., 2015).

Αρκετές μελέτες αποδεικνύουν σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ της αλατότητας και του ρυθμού αλλά και του ποσοστού εκβλάστησης σε μεγάλο αριθμό φυτών. Χαρακτηριστικά, ο Bybordí (2010) αναφέρει ότι το ποσοστό εκβλάστησης στο είδος *Brassica napus* μειώθηκε σημαντικά σε συγκέντρωση 150 και 200 mM NaCl, με τη μείωση να είναι ανάλογη της έντασης της καταπόνησης αλατότητας. Σε μια άλλη μελέτη, οι Khodarahmpour et al., (2012) παρατήρησαν δραστική μείωση του ρυθμού εκβλάστησης (32 %) σε σπόρους *Z. mays* που εκτέθηκαν σε συγκέντρωση 240 mM NaCl. Στην εικόνα 1.8 παρουσιάζεται η κατανομή του ποσοστού βλάστησης σπόρων διαφορετικών ειδών υπό την επίδραση διαφορετικών επιπέδων αλατότητας.



Εικόνα 1.12: Κατανομή ποσοστού βλάστησης σπόρων διαφορετικών ειδών φυτών υπό την επίδραση χαμηλής, μέτριας και υψηλής έντασης καταπόνησης αλατότητας (Läuchli & Grattan, 2007)

1.5.1.6 Επίδραση αλατότητας στη φωτοσύνθεση

Η φωτοσύνθεση είναι μία από τις πλέον σημαντικές βιοχημικές διεργασίες, με την οποία τα φυτά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική ενέργεια και αναπτύσσονται. Η μείωση των ρυθμών φωτοσύνθεσης σε φυτά υπό την επίδραση υψηλής αλατότητας οφείλεται κυρίως στη μείωση του υδατικού δυναμικού. Η φωτοσύνθεση επίσης αναστέλλεται όταν συσσωρεύονται υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ ή/και Cl^- στους χλωροπλάστες (Zhang et al., 2005).

Επιπλέον, η καταπόνηση υψηλής αλατότητας προκαλεί μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (Zhang et al., 2005). Έτσι, η συγκέντρωση χλωροφύλλης χρησιμοποιείται ευρέως ως δείκτης ευαισθησίας για την αξιολόγηση της μεταβολικής κατάστασης των κυττάρων. Ενδεικτικά, σε φύλλα φυτών του είδους *O. sativa*, η μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη α και β των φύλλων παρατηρήθηκε μετά από εφαρμογή 200 mM NaCl για 14 ημέρες, με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β των φύλλων (41 %) να επηρεάζεται περισσότερο συγκριτικά με την αντίστοιχη χλωροφύλλης α (33 %) (Amirjani, 2011). Σε άλλη μελέτη, φυτά του είδους *O. sativa* που εκτέθηκαν σε συγκέντρωση 100 mM NaCl εμφάνισαν μείωση, κατά 30 %, 45 % και 36 % σε χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη β και καροτενοειδή αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα φυτά του μάρτυρα (Chutipaijit et al., 2011). Περαιτέρω, οι Saha et al. (2010) παρατήρησαν μια γραμμική μείωση στα επίπεδα της ολικής χλωροφύλλης, των

χλωροφυλλών α και β, των καροτενοειδών και των ξανθοφυλλών καθώς και στην ένταση του φθορισμού της χλωροφύλλης σε φυτά του είδους *Vigna radiata* υπό συνθήκες αυξανόμενης συγκέντρωσης NaCl. Μάλιστα, η περιεκτικότητα σε χρωστική μειώθηκε κατά μέσο όρο κατά 31 % για τη συνολική χλωροφύλλη, 22 % και 45 % για τις χλωροφύλλες α και β, 14 % για τα καροτενοειδή και 19 % για τις ξανθοφύλλες σε σύγκριση με τα φυτά ελέγχου. Επομένως, προκύπτει ότι η μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας είναι ένα συχνά αναφερόμενο φαινόμενο σε πλήθος μελετών, με τη μείωση να αποδίδεται σε διαφορετικούς λόγους, συμπεριλαμβανομένης της παρατηρούμενης φθοράς της μεμβράνης (Parihar et al., 2015).

Επιπλέον, το φωτοσύστημα II (PS II) είναι ένα σχετικά ευαίσθητο στην καταπόνηση αλατότητας συστατικό του φωτοσυνθετικού συστήματος. Μελέτες αποδεικνύουν τη σημαντική μείωση στην απόδοση του PS II, της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων (ETC) και του ρυθμού αφομοίωσης του CO₂ υπό την επίδραση της αλατότητας (Stepien & Klobus, 2005). Χαρακτηριστικά, στα εσπεριδοειδή, το στρες αλατότητας οδήγησε σε μείωση της ανάπτυξης, μέσω της μείωσης του ρυθμού και της απόδοσης της φωτοσύνθεσης καθώς και μέσω της μείωσης της απόδοσης του PSII (López-Climent et al. 2008). Επιπλέον, οι Mittal et al. (2012) παρατήρησαν ότι το στρες αλατότητας επηρεάζει την ανάπτυξη σε φυτά του είδους *Brassica juncea*, μειώνοντας το ρυθμό φωτοσύνθεσης και μεταφοράς ηλεκτρονίων. Σύμφωνα με μελέτες, έχουν εντοπιστεί διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με τη μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας, όπως η αφυδάτωση των κυτταρικών μεμβρανών που μειώνει τη διαπερατότητά τους στο διοξείδιο του άνθρακα, η τοξικότητα των αλάτων, η ενισχυμένη γήρανση, αλλαγές στη δραστικότητα ενζύμων, κ.α. (Parihar et al., 2015).

1.5.1.7 Αλατότητα και οξειδωτικό στρες

Εκτός από την άμεση επίδραση της αλατότητας στα φυτά, μία ακόμη, όχι τόσο εμφανής συνέπεια της καταπόνησης είναι η υπερβολική συσσώρευση δραστικών μορφών οξυγόνου (Reactive Oxygen Species, ROS) που δυνητικά προκαλούν υπεροξειδωση των λιπιδίων, οξείδωση πρωτεϊνών, αδρανοποίηση ενζύμων, βλάβη στο DNA ή/και αλληλεπίδραση με άλλα ζωτικής σημασίας συστατικά των φυτικών κυττάρων. Στο

σύνολό τους, οι ανωτέρω επιδράσεις ορίζονται ως οξειδωτικό στρες (Parihar et al., 2015).

Πιο συγκεκριμένα, η έκθεση των φυτών σε υψηλή συγκέντρωση αλάτων μπορεί να οδηγήσει σε κλείσιμο των στομάτων, γεγονός που μειώνει τη διαθεσιμότητα διοξειδίου του άνθρακα στα φύλλα και αναστέλλει διάφορες διεργασίες, εκθέτοντας τους χλωροπλάστες σε υπερβολική ενέργεια διέγερσης. Το φαινόμενο αυτό αυξάνει την παραγωγή χημικών ουσιών, όπως υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), ρίζα υδροξυλίου ($OH\bullet$), κ.ά., γνωστά ως ROS. Επιπλέον, σχηματισμός ROS προκαλείται εξαιτίας του ελλείματος νερού που παρατηρείται με την επίδραση της αλατότητας λόγω ωσμωτικής καταπόνησης. Οι χημικές ουσίες ROS μπορεί να προκαλέσουν κυτταρική βλάβη, μέσω της οξείδωσης λιπιδίων, πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων προκαλώντας εκτεταμένες βλάβες στο φυτό (Parihar et al., 2015). Σύμφωνα με τα ανωτέρω, μία πληθώρα μελετών αναφέρει την αύξηση της παραγωγής ROS υπό συνθήκες αλατότητας, βλάβη της κυτταρικής μεμβράνης που αποτελεί και την κύρια αιτία εμφάνισης τοξικότητας σε ποικίλα φυτικά είδη, όπως το ρύζι, η ντομάτα, τα εσπεριδοειδή, το μπιζέλι, κ.α. Επιπλέον, η παραγωγή ROS κατά την έκθεση των φυτών σε καταπόνηση, όπως η υψηλή αλατότητα, αποτελεί μία από τις κύριες αιτίες για τη μείωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών (Parihar et al., 2015).

Σκοπός της μελέτης

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης τριών εμπορικών ποικιλιών μαρουλιού σε συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας που προκαλείται από τη χρήση NaCl καθώς και η διερεύνηση της πιθανότητας περιορισμού των τυχόν δυσμενών επιδράσεων της αλατότητας λόγω της παρουσίας CaCl₂. Η αξιολόγηση ως προς την ανθεκτικότητα έναντι της καταπόνησης υψηλής αλατότητας πραγματοποιήθηκε στη φάση της ανάπτυξης των φυτών καθώς και μετασυλλεκτικά. Για το σκοπό αυτό, οι υπό μελέτη ποικιλίες μαρουλιού υποβλήθηκαν σε καταπόνηση υψηλής αλατότητας, μέσω ριζοποτίσματος με διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων NaCl (100, 150 mM) καθώς και με διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων NaCl/CaCl₂ (100 mM/10 mM, 150 mM/10 mM). Επιπλέον, προκειμένου να αξιολογηθεί συγκριτικά η επίδραση του CaCl₂ σε φυτά μαρουλιού, έγινε εφαρμογή CaCl₂ (10 mM). Η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των φυτών βασίστηκε σε αναπτυξιακές παραμέτρους που σχετίζονται με την αύξηση και ανάπτυξη της φυτικής βιομάζας καθώς και σε βιοχημικές παραμέτρους που προσδιορίζουν την απόκριση των φυτών σε συνθήκες καταπόνησης αλατότητας.

Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Φυτικό υλικό

Ως γενετικό υλικό στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 3 εμπορικές ποικιλίες μαρουλιού. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μελέτη της απόκρισης στην καταπόνηση αλατότητας των ποικιλιών Manchester, Parris island cos και Biscia rossa. Στον Πίνακα 2.1 παρατίθεται η περιγραφή ορισμένων αγρονομικών χαρακτηριστικών καθώς και των αγροκλιματικών απαιτήσεων για τις υπό μελέτη ποικιλίες μαρουλιού.

Πίνακας 2.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών που αξιολογήθηκαν

Ποικιλία	Περιγραφή
Manchester	Το ελληνικό κλασικό κατσαρό μαρούλι. Διαθέτει ανοιχτό και κατσαρό φύλλωμα (τύπος Looseleaf) με ιδιαίτερα ανοιχτό πράσινο χρώμα. Διαθέτει ομοιόμορφη συμπαγή κεφαλή. Ευδοκimei σε ήπια κλίματα με ιδανική θερμοκρασία 14 – 20 °C.
Parris island cos	Ποικιλία που δημιουργήθηκε από το Clemson το 1950. Μετρίως πράσινα κυματοειδή φύλλα με βουτυροπράσινη καρδιά και οξυκατάληκτα άκρα. Γνωστό στην Ελλάδα ως ίσιο μαρούλι. Ευδοκimei σε ήπια κλίματα σε θερμοκρασιακό εύρος 4 – 27 °C.
Biscia rossa	Το ελληνικό κλασικό κόκκινο μαρούλι. Διαθέτει χαλαρό ανοιχτό και κατσαρό φύλλωμα (τύπος Looseleaf). Δε σχηματίζει κεφαλή. Ευδοκimei σε ήπια κλίματα με ιδανική θερμοκρασία 14 – 20 °C.

Η αρχική βλάστηση και ανάπτυξη των φυτών πραγματοποιήθηκε σε σπορείο. Μετά τη βλάστησή τους, τα φυτά μεταφυτεύθηκαν σε γλάστρες όγκου 3lt, στις οποίες είχε προηγηθεί απολύμανση. Ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε μείγμα τύρφης με περλίτη σε αναλογία 3:1. Η εγκατάσταση των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 21 Μαρτίου 2021, η οποία και αναφέρεται ως 1^η ημέρα του πειράματος. Της εγκατάστασης των φυτών ακολούθησαν ποτίσματα ανά ημέρα με 100 mL νερού. Η εφαρμογή των ριζοποτισμάτων με διαλύματα NaCl, NaCl/CaCl₂ και CaCl₂, ξεκίνησε την 24^η ημέρα μετά τη μεταφύτευση. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η εγκατάσταση των ποικιλιών ενώ στις εικόνες 2.2 και 2.3 παρουσιάζεται η ανάπτυξη της ποικιλίας Biscia rossa, μία

εβδομάδα μετά την εγκατάσταση, και η ανάπτυξη όλων των ποικιλιών την ημερομηνία έναρξης των εφαρμογών καταπόνησης.



Εικόνα 2.1. Εγκατάσταση των ποικιλιών (21/3/21).



Εικόνα 2.2. Ανάπτυξη ποικιλίας *Biscia rossa* (29/3/21).



Εικόνα 2.3 Ανάπτυξη ποικιλιών την ημερομηνία έναρξης εφαρμογών των διαλυμάτων υψηλής αλατότητας (14/4/21).

2.2 Παρασκευή διαλυμάτων ποτίσματος

Αρχικά παρασκευάστηκαν τα πυκνά διαλύματα NaCl και CaCl₂ συγκέντρωσης 1M. Ακολούθως, παρασκευάστηκαν τα 5 διαλύματα σε τελικό όγκο 10.000 ml σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2 Παρασκευή διαλυμάτων NaCl και NaCl + CaCl₂.

Μεταχειρίσεις						
	Control	NaCl		NaCl + CaCl ₂		CaCl ₂
		100 mM	150 mM	100 mM +10 mM	150 mM + 10 mM	10 mM
H ₂ O	10000 ml	9000 ml	8500 ml	8900 ml	8400 ml	9900 ml
1M NaCl	-	1000 ml	1500 ml	1000 ml	1500 ml	0 ml
1M CaCl ₂	-	-	-	100 ml	100 ml	100 ml

2.3 Πειραματικό σχέδιο-Εφαρμογές καταπόνησης

Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαίο και περιλάμβανε τις 3 υπό μελέτη ποικιλίες και τις 6 μεταχειρίσεις καταπόνησης. Ο αριθμός των επαναλήψεων για κάθε συνδυασμό γονοτύπου και μεταχείρισης ήταν 5 και η εκάστοτε επανάληψη συνίστατο σε ατομικά φυτά. Κατ' επέκταση, ο συνολικός αριθμός των φυτών ήταν 90. Οι αναλυτικές εργασίες στον αγρό παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3., ενώ στις εικόνες 2.4 και 2.5 παρουσιάζονται τα φυτά μία εβδομάδα πριν και την τελευταία ημέρα των καταπονήσεων, αντίστοιχα.



Εικόνα 2.4. Τρίτη εφαρμογή καταπόνησης αλατότητας (28/4/21).



Εικόνα 2.5 Τελευταία εφαρμογή καταπόνησης αλατότητας (6/5/21).

2.4 Παράμετροι αξιολόγησης

Η αξιολόγηση των υπό μελέτη ποικιλιών μαρουλιού ως προς την απόκρισή τους στην καταπόνηση αλατότητας βασίστηκε σε αναπτυξιακές και βιοχημικές παραμέτρους που προτείνονται ως βασικοί δείκτες αξιολόγησης της ανθεκτικότητας έναντι της καταπόνησης.

2.4.1 Αναπτυξιακές παράμετροι

Ως παράμετροι αξιολόγησης της απόκρισης στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις καταπόνησης αξιοποιήθηκαν το ύψος των φυτών, ο αριθμός φύλλων, το νωπό και ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών, η περιεχόμενη ποσότητα ξηράς ουσίας (%) και το ειδικό βάρος των φύλλων.

2.4.1.1 Ύψος φυτών – Αριθμός φύλλων

Κατά την παραμονή των φυτών στον αγρό, έγινε καταμέτρηση του ύψους των φυτών και του αριθμού των φύλλων σε τέσσερις διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι ημερομηνίες παρατήρησης και λήψης μετρήσεων στον αγρό παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3 Εργασίες και ημερομηνίες λήψης μετρήσεων αγρού.

	Ποσότητα νερού άρδευσης	Εφαρμογή μεταχειρίσεων καταπόνησης	Μέτρηση ύψους φυτών	Μέτρηση αριθμού φύλλων
21/3/2021	50 mL			
23/3/2021	50 mL			
25/3/2021	50 mL			
27/3/2021	100 mL			
29/3/2021	100 mL			
31/3/2021	100 mL			
2/4/2021	200 mL			
4/4/2021	200 mL			
6/4/2021	200 mL			
8/4/2021	300 mL			
10/4/2021	300 mL			
12/4/2021	300 mL			
14/4/2021		800 mL	1 ^η μέτρηση	1 ^η μέτρηση
18/4/2021		800 mL		
21/4/2021		800 mL	2 ^η μέτρηση	2 ^η μέτρηση
25/4/2021		800 mL		
28/4/2021		800 mL	3 ^η μέτρηση	3 ^η μέτρηση
6/5/2021		800 mL	4 ^η μέτρηση	4 ^η μέτρηση

2.4.1.2 Νωπό και ξηρό βάρος φυτών

Με το πέρας του διαστήματος καταπόνησης, τα φυτά μεταφέρθηκαν την 50^η μέρα στο εργαστήριο για τη λήψη επιπρόσθετων εργαστηριακών μετρήσεων (Εικόνα 2.6). Πραγματοποιήθηκε κοπή των φυτών στο σημείο του λαιμού και τοποθέτηση αυτών σε καταλλήλως αριθμημένες χάρτινες σακούλες. Ακολούθησε ζύγισμα σε ζυγό ακριβείας, ο οποίος είχε βαθμονομηθεί καταλλήλως ώστε να παρθεί το απόβαρο για την έγκυρη λήψη μετρήσεων για τον προσδιορισμό του νωπού βάρους (Εικόνα 2.7).

Με σκοπό την λήψη επιπρόσθετων μετρήσεων από κάθε φυτό μετά την καταμέτρηση του νωπού βάρους ακολούθησε αφαίρεση δυο φύλλων από το μέσο του κάθε φυτού. Τα φυτά ζυγίσθηκαν εκ νέου, καταγράφηκε το βάρος τους και ακολούθησε η τοποθέτησή τους σε ξηραντήριο, όπου και παρέμειναν για χρονικό διάστημα 48 ωρών.

Με την πάροδο του ανωτέρω διαστήματος, ζυγίσθηκε και καταγράφηκε το ξηρό βάρος των φυτών και προσδιορίστηκε το επί τοις % ξηρό βάρος τους.



Εικόνα 2.6. Μεταφορά των φυτών από τον αγρό στο εργαστήριο (10/5/21).

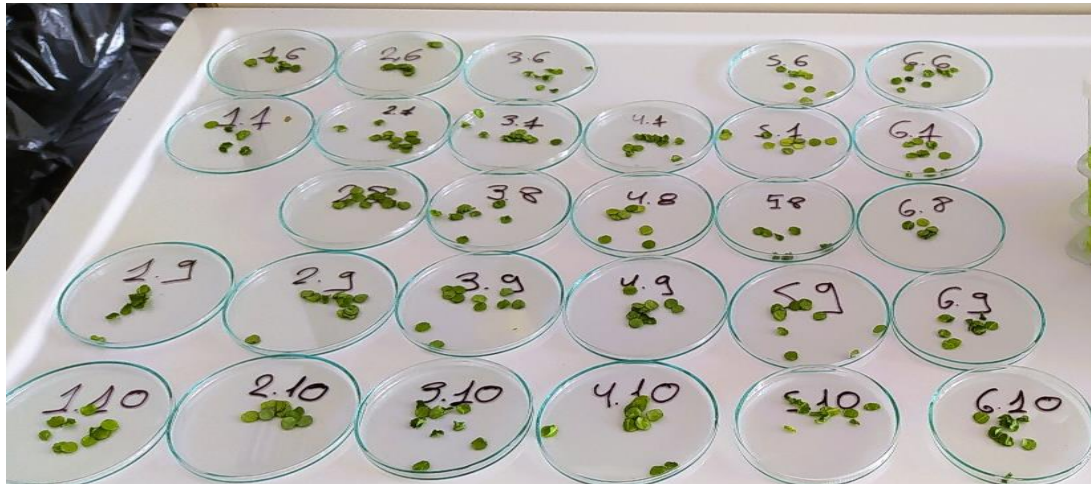


Εικόνα 2.7 Καταγραφή νωπού βάρους των φυτών σε ζυγό ακριβείας.

2.4.1.3 Προσδιορισμός του ποσοστού % ξηράς ουσίας και ειδικού βάρους των φύλλων

Για τον προσδιορισμό του ποσοστού % ξηράς ουσίας καθώς και του ειδικού βάρους των φύλλων ακολουθήθηκε η κάτωθι διαδικασία από τα φύλλα που είχαν αφαιρεθεί. Από κάθε φυτό, λήφθηκαν 12 φυλλικοί δίσκοι διαμέτρου 9 mm με διακορευτή. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα αριθμημένα γυάλινα τριβλία και καταγράφηκε το

νωπό βάρος των φυλλικών δίσκων σε ζυγό Kern (Εικόνα 2.8). Τα τριβλία τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα, στους 80 °C, όπου και παράμειναν μέχρι την αποξήρανσή τους. Στη συνέχεια, καταγράφηκε το ξηρό βάρος τους. Το ποσοστό επί τοις εκατό ξηράς ουσίας των φύλλων προκύπτει από τον λόγο ξηρού προς νωπό βάρος πολλαπλασιάζοντας με το 100. Το ειδικό βάρος των φύλλων σε mg/cm² προέκυψε από το λόγο του ξηρού βάρους προς τον αριθμό 8,156, που αποτελεί την επιφάνεια των 12 φυλλικών δίσκων διαμέτρου 9 mm, και πολλαπλασιάζοντας τον ανωτέρω λόγο με 100.



Εικόνα 2.8 Φυλλικοί δίσκοι 9 mm για προσδιορισμό του ποσοστού επί τοις εκατό ξηράς ουσίας και ειδικού βάρους των φύλλων.

2.4.2 Βιοχημικές παράμετροι αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των ποικιλιών μαρουλιού στην καταπόνηση αλατότητας προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a και χλωροφύλλη b και καροτενοειδή.

2.4.2.1 Προσδιορισμός της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και καροτενοειδή

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b, και καροτενοειδή εφαρμόστηκε η μέθοδος των Wintermans and Motts (1965). Από τα φύλλα που είχαν αφαιρεθεί από κάθε φυτό λήφθηκαν έξι φυλλικοί δίσκοι διαμέτρου 5,8 mm με χρήση κατάλληλου διακορευτή. Ακολούθησε μέτρηση σε ηλεκτρονικό ζυγό και καταγραφή του νωπού βάρους. Οι δίσκοι τεμαχίσθηκαν και τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες που περιείχαν 15 mL αιθανόλης 98 %

(Εικόνα 2.9). Οι σωλήνες πωματίστηκαν και ακολούθησε τοποθέτηση αυτών στο υδατόλουτρο, στους 80 °C, όπου και παρέμειναν μέχρις ότου επέλθει αποχρωματισμός των τεμαχισμένων δίσκων (Εικόνα 2.10). Στη συνέχεια, οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν στο σκοτάδι για 30 λεπτά.



Εικόνα 2.9 Τοποθέτηση φυλλικών δίσκων 5,8 mm σε δοκιμαστικούς σωλήνες.



Εικόνα 2.10. Υδατόλουτρο παραμονής του ιστού των φύλλων μέχρι τον πλήρη αποχρωματισμό αυτού.

Ακολούθησε μέτρηση της απορρόφησης του φωτός με τη χρήση φασματοφωτόμετρου σε 3 μήκη κύματος, στα 665 nm για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης a, στα 649 nm για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης b και στα 470 nm για τον προσδιορισμό των καροτενοειδών. Έπειτα από την καταγραφή των αποτελεσμάτων, έγινε υπολογισμός της περιεκτικότητας χλωροφυλλών a και b και καροτενοειδών, σύμφωνα με τους τύπους που αναφέρονται από τον Lichtenthaler (1987) (Πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.4 Τύποι για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας χλωροφυλλών a και b και καροτενοειδών.

Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a	
Τύπος	$\text{Χλωροφύλλη a} = \frac{(13,36 * A_{665} - 5,19 * A_{649}) * 15}{\text{ξηρό βάρος} * 1000} \text{ mg/g}$
Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b	
Τύπος	$\text{Χλωροφύλλη b} = \frac{(27,43 * A_{649} - 8,12 * A_{665}) * 15}{\text{ξηρό βάρος} * 1000} \text{ mg/g}$
Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή	
Τύπος	$\text{Καροτενοειδή} = \frac{(1000 * A_{470} - 2,13 * Chla - 97,64 * Chlb)}{\text{ξηρό βάρος} * 1000} \text{ mg/g}$

2.3 Στατιστική επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS 29 για Windows με ανάλυση της παραλλακτικότητας (One Way ANOVA) με έναν παράγοντα (ποικιλία) ή δύο παράγοντες (μεταχείριση, ποικιλία) με το κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας 5 % ($P \leq 0,05$).

Αποτελέσματα

3.1 Επίδραση της αλατότητας στον αριθμό των φύλλων

Σχετικά με τον αριθμό φύλλων, λήφθηκαν παρατηρήσεις κατά την έναρξη των εφαρμογών ριζοποτίσματος (1^η μέτρηση: 24^η ημέρα) και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν 3 επιπλέον μετρήσεις σε εβδομαδιαία βάση (2^η μέτρηση: 31^η ημέρα, 3^η μέτρηση: 38^η ημέρα, 4^η μέτρηση: 45^η ημέρα), κατά τις οποίες αξιολογήθηκε η επίδραση των υπό μελέτη μεταχειρίσεων.

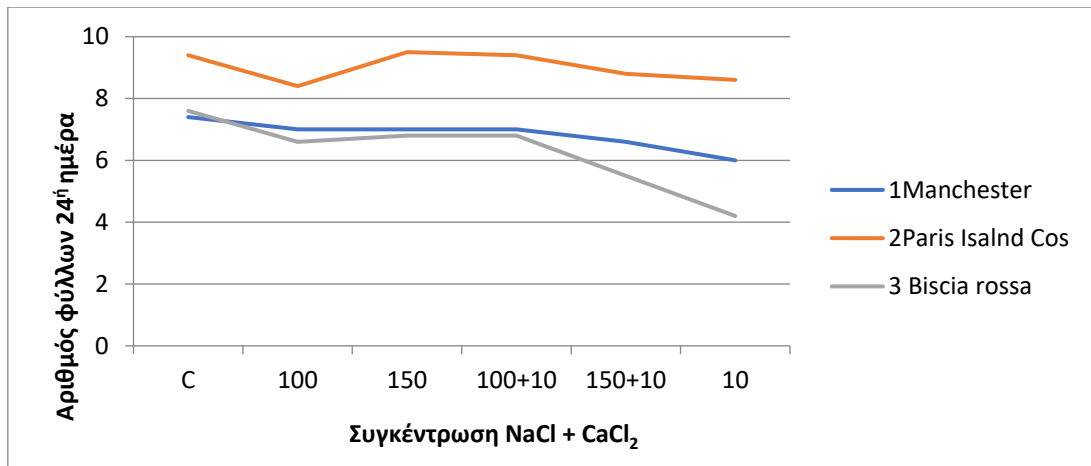
Κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών, με την ποικιλία Parris Island Cos να εμφανίζει το μεγαλύτερο αριθμό φύλλων, ενώ οι ποικιλίες Manchester και Biscia rossa χαρακτηρίστηκαν από σημαντικά μειωμένο και παρόμοιο μεταξύ τους αριθμό φύλλων. Κατά την 31^η ημέρα, όπου τα φυτά υπέστησαν την επίδραση της καταπόνησης για χρονικό διάστημα μιας εβδομάδας, η ποικιλία Parris Island Cos εμφάνισε το μεγαλύτερο αριθμό φύλλων, σημειώνοντας σημαντική υπεροχή έναντι των ποικιλιών Manchester και Biscia rossa, οι οποίες δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Σε επίπεδο μεταχειρίσεων, παρατηρήθηκε απουσία διαφορών μεταξύ των μαρτύρων και των εφαρμογών 100 mM NaCl, 150 mM NaCl και των μεικτών εφαρμογών NaCl/CaCl₂. Αντίθετα, σημαντικά μειωμένος αριθμός φύλλων παρατηρήθηκε κατά την εφαρμογή 10 mM CaCl₂, ο οποίος ωστόσο δε διέφερε σημαντικά από τις μεταχειρίσεις 100 mM NaCl και 150 mM NaCl /10 mM CaCl₂.

Κατά την 38^η ημέρα, χρονικό διάστημα όπου τα φυτά υπέστησαν την επίδραση της καταπόνησης για δύο εβδομάδες, διαπιστώθηκε και πάλι η υπεροχή της ποικιλίας Parris Island Cos ως προς τον αριθμό φύλλων. Σε συμφωνία με τις προηγούμενες μετρήσεις, οι ποικιλίες Manchester και Biscia rossa εμφάνισαν σημαντικά μειωμένο και παρόμοιο μεταξύ τους αριθμό φύλλων. Σε επίπεδο μεταχείρισης, διαπιστώθηκε η υπεροχή των μαρτύρων, οι οποίοι ωστόσο δε διέφεραν σημαντικά από τα φυτά που υπέστησαν την επίδραση των 100 mM NaCl, 150 mM NaCl και των μεικτών εφαρμογών NaCl/CaCl₂. Αντίθετα, η εφαρμογή 10 mM CaCl₂ οδήγησε σε σημαντικά μειωμένο αριθμό φύλλων, σε σχέση με τους μάρτυρες, ο οποίος ωστόσο δε διέφερε σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

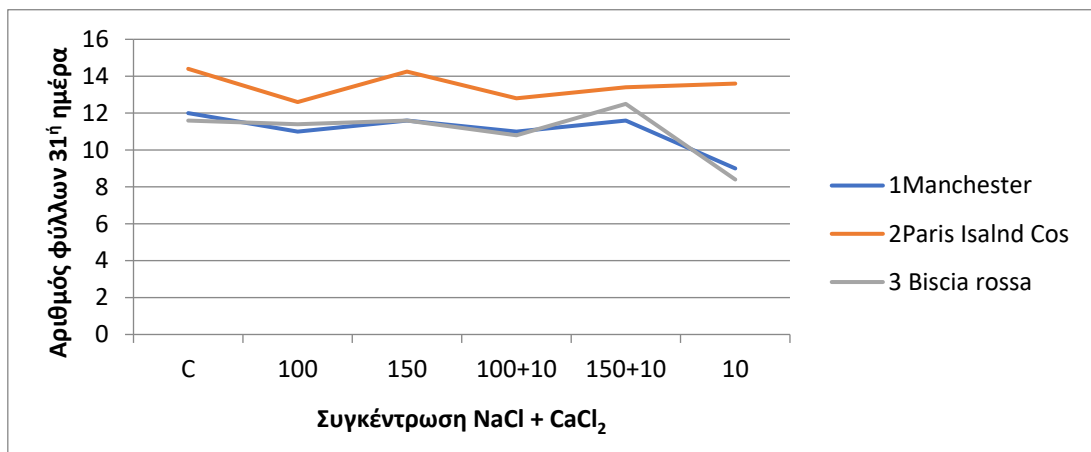
Τέλος, κατά την 45^η ημέρα, που αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα καταπόνησης τριών εβδομάδων, διαπιστώθηκε σημαντικά αυξημένος αριθμός φύλλων στην ποικιλία Parris Island Cos, ακολουθούμενης από την ποικιλία Manchester, ενώ η ποικιλία Biscia rossa εμφάνισε τις μικρότερες αντίστοιχες τιμές. Βάσει των συνολικών δεδομένων, προκύπτει σαφώς η επίδραση της ποικιλίας ως προς το γνώρισμα του αριθμού φύλλων. Αντίστοιχα, ως προς τις μεταχειρίσεις σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές, με τους μάρτυρες να εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές, οι οποίες ωστόσο δε διέφεραν στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, με μόνη εξαίρεση αυτή των 150 mM NaCl.

Πίνακας 3.1 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (Μ) σε 4 χρονικά διαστήματα (24^η, 31^η, 38^η, 45^η ημέρα).

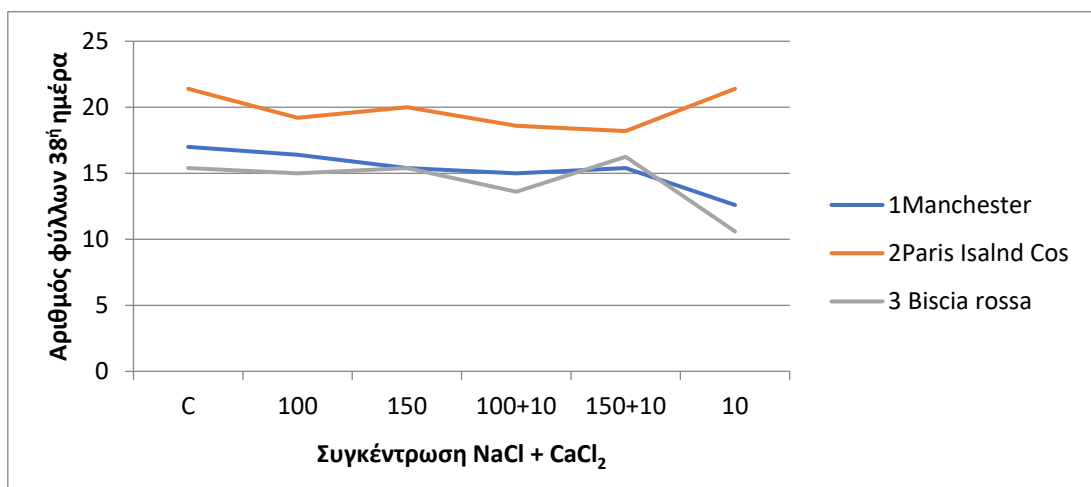
N ^ο	Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						
		NaCl (mM)			NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	M.O. (Π)
		C	100	150	100+10	150+10	10	
1	Manchester	7,4b	7,0b	7,0b	7,0b	6,6b	6,0ab	6,8b
	Parris Island Cos	9,4a	8,4a	9,5a	9,4a	8,8a	8,6a	9a
	Biscia rossa	7,6b	6,6b	6,8b	6,8b	5,5c	4,2b	6,3b
	M.O.(M)	8,1a	7,3ab	7,6a	7,7a	7,1ab	6,3b	
2	Manchester	12,0b	11,0b	11,6b	11,0b	11,6b	9,0a	11b
	Parris Island Cos	14,4a	12,6a	14,3a	12,8a	13,4a	13,6a	13,5a
	Biscia rossa	11,6b	11,4b	11,6b	10,8b	12,5ab	8,4a	11,0b
	M.O.(M)	12,7a	11,7ab	12,4a	11,5ab	12,5a	10,3b	
3	Manchester	17,0b	16,4b	15,4b	15,0b	15,4b	12,6ab	15,3b
	Parris Island Cos	21,4a	19,2a	20,0a	18,6a	18,2a	21,4a	19,8a
	Biscia rossa	15,4b	15,0c	15,4b	13,6b	16,3b	10,6b	14,3b
	M.O.(M)	17,9a	16,9ab	16,7ab	15,7ab	16,6ab	14,9b	
4	Manchester	21,2b	19,4b	19,2a	18,8b	19,4b	16,4ab	19,0b
	Parris Island Cos	26,4a	22,2a	16,3a	23,2a	23,2a	27,0a	23,3a
	Biscia rossa	18,2c	17,0c	18,4a	16,6c	19,3b	13,2b	17c
	M.O. (M)	21,9a	19,5ab	18,1b	19,5ab	20,7ab	18,9ab	



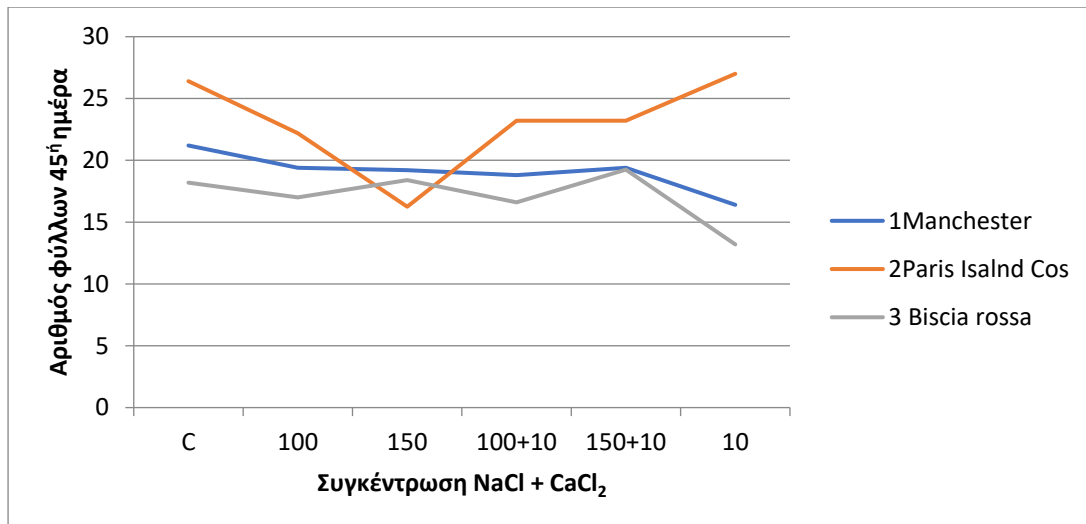
Γράφημα 3.1 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 24^η ημέρα.



Γράφημα 3.2 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 31^η ημέρα.



Γράφημα 3.3 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 38^η ημέρα.



Γράφημα 3.4 Αριθμός φύλλων ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 45^η ημέρα.

3.2 Επίδραση της αλατότητας στο ύψος φυτών

Αναφορικά με το ύψος των φυτών, τα αποτελέσματα κατέδειξαν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών καθόλη τη διάρκεια του πειράματος και λήψης παρατηρήσεων. Ειδικότερα, διαπιστώθηκε η υπεροχή της ποικιλίας Parris Island Cos, η οποία εμφάνισε το μεγαλύτερο ύψος, ακολουθούμενης από την ποικιλία Manchester, ενώ η ποικιλία Biscia rossa χαρακτηρίστηκε από σημαντικά μειωμένο ύψος.

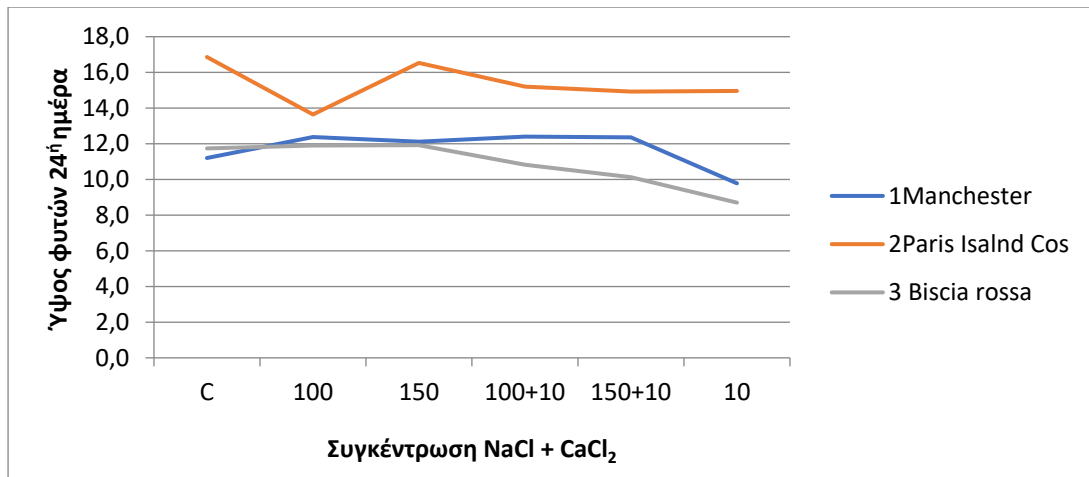
Σε επίπεδο μεταχειρίσεων, κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, διαπιστώθηκε η απουσία διαφορών ως προς το ύψος των φυτών, με μόνη εξαίρεση την μεταχείριση CaCl₂, η οποία οδήγησε σε σημαντικά μειωμένες τιμές. Μετά την πάροδο μιας εβδομάδας, την 31^η ημέρα, σημειώθηκε απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων, με τους μάρτυρες και τη μεταχείριση 100 mM NaCl / 10 mM CaCl₂ ωστόσο να εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές. Αντίθετα, το μικρότερο ύψος εμφάνισαν τα φυτά που δέχθηκαν ριζοπότισμα με 10 mM CaCl₂.

Με την πάροδο του χρόνου, υπήρξε σαφώς έκδηλη η επίδραση της καταπόνησης αλατότητας, με τις δυσμενείς επιδράσεις να αφορούν κυρίως στις εφαρμογές NaCl. Ειδικότερα, τόσο κατά την 38^η όσο και την 45^η ημέρα, όπου τα φυτά υπέστησαν την επίδραση της καταπόνησης για διάστημα δύο και τριών εβδομάδων αντίστοιχα, όπως αναμενόταν, το μεγαλύτερο ύψος φυτών εμφάνισαν οι μάρτυρες όλων των ποικιλιών.

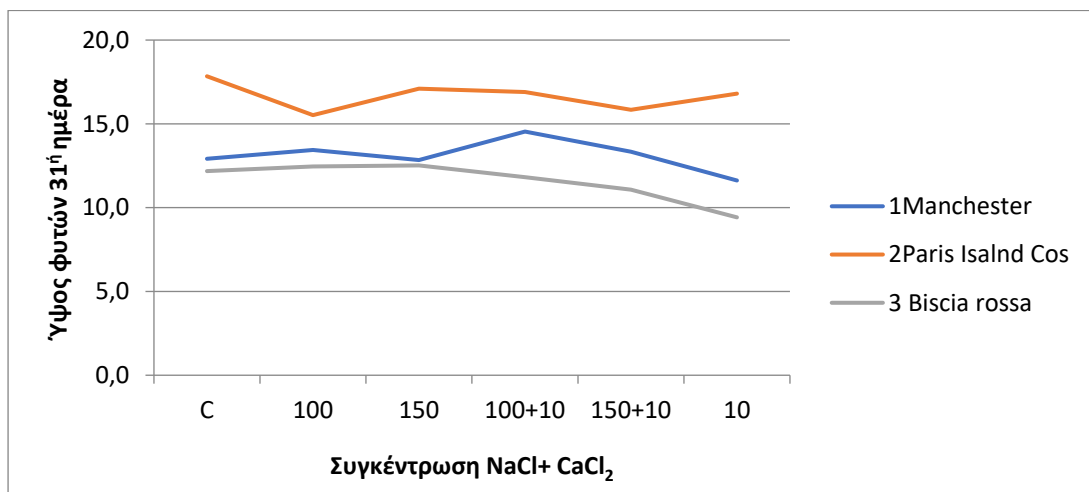
Είναι ωστόσο αξιοσημείωτο ότι οι τιμές των μαρτύρων δε διέφεραν σημαντικά σε σχέση με τις μεταχειρίσεις που αφορούν είτε σε μεικτή εφαρμογή NaCl / CaCl₂ είτε σε εφαρμογή CaCl₂. Αντίθετα, η εφαρμογή NaCl οδήγησε σε σημαντική μείωση του ύψους των φυτών, ενώ είναι ενδιαφέρον ότι οι παρατηρούμενες διαφορές μεγιστοποιήθηκαν στο επίπεδο των με 100 mM.

Πίνακας 3.2 Ύψος φυτών ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) σε 4 χρονικά διαστήματα (24^η , 31^η , 38^η , 45^η ημέρα).

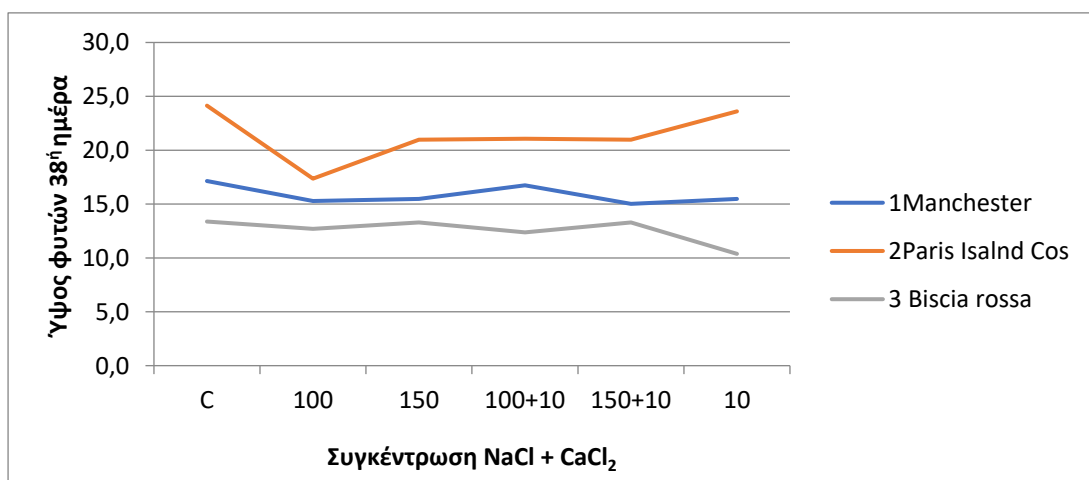
N ^ο	Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
		NaCl (mM)			NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
		C	100	150	100+10	150+10	10	
1	Manchester	11,2b	12,4ab	12,1b	12,4b	12,4b	9,8a	11,7b
	Parris Island Cos	16,9a	13,6a	16,5a	15,2a	14,9a	15,0a	15,3a
	Biscia rossa	11,7b	11,9b	11,9b	10,8c	10,1c	8,7a	10,9b
	M.O.(M)	13,3ab	12,6ab	13,3a	12,8ab	12,6ab	11,1b	
2	Manchester	12,9b	13,4b	12,8b	14,5b	13,3b	11,6a	13,1b
	Parris Island Cos	17,8a	15,5a	17,1a	16,9a	15,8a	16,8a	16,7a
	Biscia rossa	12,2b	12,5c	12,5b	11,8c	11,1c	9,4a	11,6c
	M.O.(M)	14,3a	13,8a	13,9a	14,4a	13,6a	12,6a	
3	Manchester	17,1b	15,3b	15,5b	16,7b	15,0b	15,5ab	15,9b
	Parris Island Cos	24,1a	17,4a	21,0a	21,1a	21,0a	23,6a	21,4a
	Biscia rossa	13,4c	12,7c	13,3c	12,4c	13,3c	10,4b	12,5c
	M.O.(M)	18,2a	15,1b	16,3ab	16,7ab	16,7ab	16,5ab	
4	Manchester	23,0b	17,1b	17,3b	18,5b	15,9b	22,6ab	19,1b
	Parris Island Cos	30,9a	19,3a	26,1a	24,1a	26,7a	29,3a	26,1a
	Biscia rossa	14,7c	13,0c	13,8c	15,7c	14,5b	10,8b	13,7c
	M.O. (M)	22,9a	16,5c	18,6bc	19,4abc	19,4abc	20,9ab	



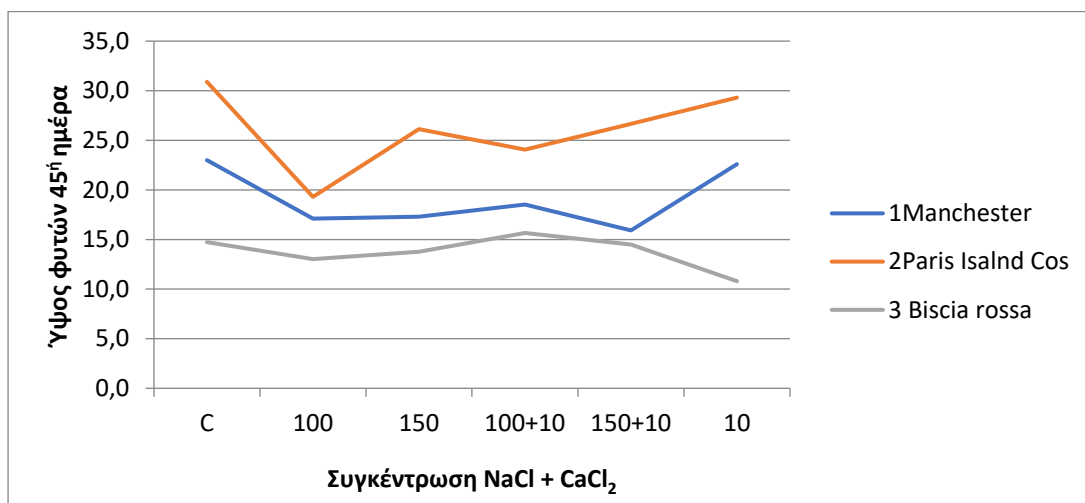
Γράφημα 3.5 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 24^η ημέρα.



Γράφημα 3.6 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 31^η ημέρα.



Γράφημα 3.7 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 38^η ημέρα.



Γράφημα 3.8 Ύψος φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 45^η ημέρα.

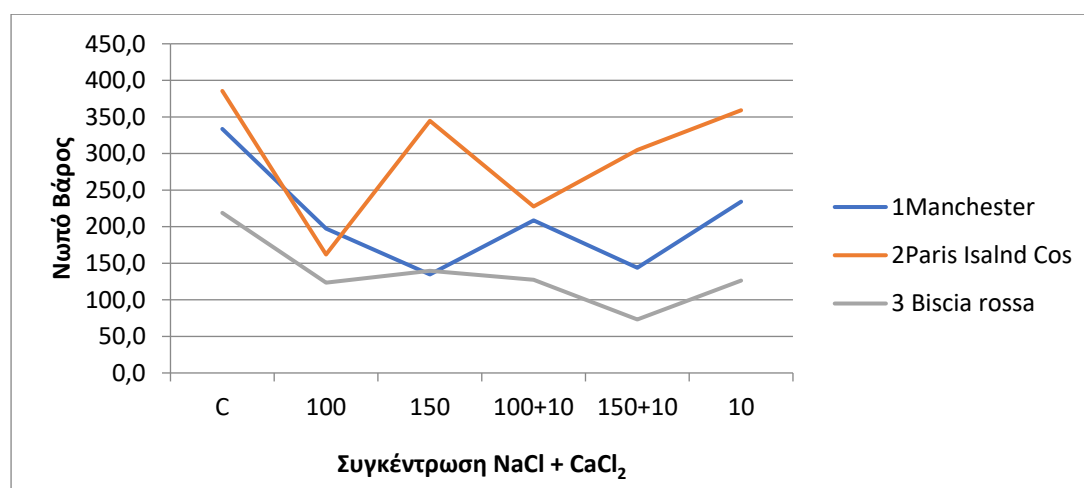
3.3 Επίδραση της αλατότητας στο νωπό βάρος φυτών

Ως προς το νωπό βάρος των φυτών, το οποίο μετρήθηκε κατά την 50^η ημέρα, όπου τα φυτά υπέστησαν την καταπόνηση για διάστημα 25 ημερών, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο σε επίπεδο ποικιλίας όσο και μεταχείρισης. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε η σαφής υπεροχή της ποικιλίας Parris Island Cos, ακολουθούμενης από την ποικιλία Manchester, ενώ η ποικιλία Biscia rossa χαρακτηρίστηκε από το μικρότερο νωπό βάρος.

Όπως αναμενόταν, τις μεγαλύτερες τιμές νωπού βάρους εμφάνισαν οι μάρτυρες, σημειώνοντας στατιστικά σημαντική υπεροχή έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων. Αντίθετα, το μικρότερο νωπό βάρος καταγράφηκε κατά την εφαρμογή 100 mM NaCl, ενώ οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις εμφάνισαν ενδιάμεσες και παρόμοιες μεταξύ τους τιμές νωπού βάρους. Είναι ωστόσο ενδιαφέρον το γεγονός ότι η παρουσία CaCl₂, αν και μετρίασε τις δυσμενείς επιπτώσεις των Na⁺ στο επίπεδο των 100 mM NaCl, η καταπόνηση στο επίπεδο των 150 mM NaCl οδήγησε σε μεγαλύτερες τιμές νωπού βάρους σε σχέση τόσο με το επίπεδο των 100 mM NaCl όσο και με τις μεικτές εφαρμογές NaCl / CaCl₂.

Πίνακας 3.3 Νωπό βάρος φυτών ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 50^η ημέρα.

N°	Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						
		C	NaCl (mM)		NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	M.O. (Π)
			100	150	100+10	150+10	10	
1	Manchester	333,6a	197,5a	134,7a	208,6ab	143,7b	234,2b	207,8b
	Parris Island Cos	385,6a	162,0a	344,8b	227,5a	304,9a	359a	292,4a
	Biscia rossa	218,9a	123,5a	139,6a	127,5b	73,1b	126,3b	127,0c
	M.O. (M)	331,6a	161c	200,8bc	187,9bc	181,1bc	259,3bc	



Γράφημα 3.9 Νωπό βάρος φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 50^η ημέρα.

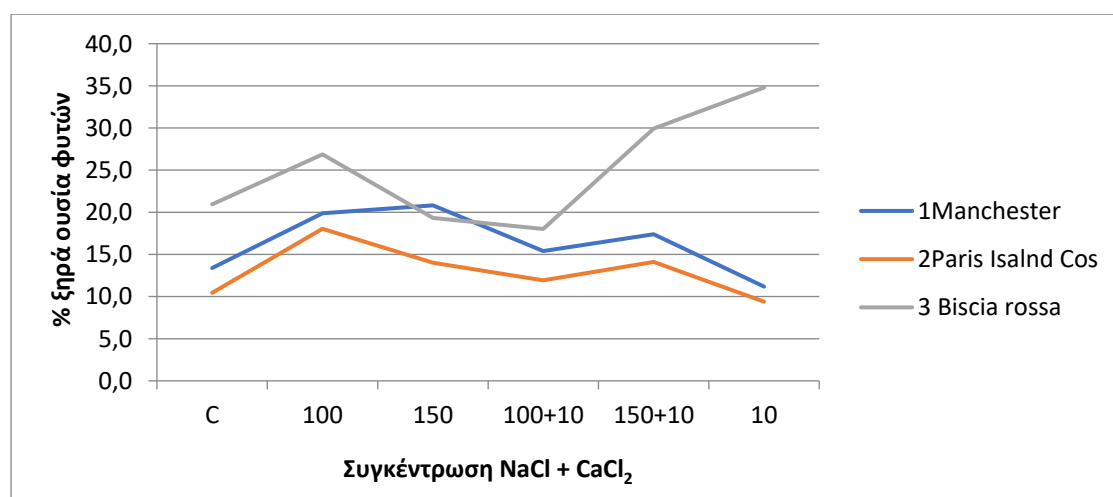
3.4 Επίδραση της αλατότητας στην % ξηρά ουσία των φυτών

Σχετικά με την % περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία των φυτών, σημειώθηκε υπεροχή της ποικιλίας Biscia rossa, ακολουθούμενης από την ποικιλία Manchester, ενώ η ποικιλία Paris Island Cos χαρακτηρίστηκε από τη μικρότερη % ξηρά ουσία, με τις τιμές των τελευταίων ωστόσο να μη διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι το προφίλ των ποικιλιών ως προς την περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία είναι αντιστρόφως ανάλογο των τιμών νωπού βάρους τους, υποδηλώνοντας εξάλλου τη σημαντικότητα των επιδράσεων της καταπόνησης αναφορικά με την ικανότητα απορρόφησης νερού.

Σε επίπεδο μεταχείρισης, παρατηρήθηκε σημαντική τάση αύξησης της % περιεκτικότητας παρουσία NaCl, είτε στα 100 είτε στα 150 mM. Αναφορικά με την επίδραση του CaCl₂, διαπιστώθηκε ότι στην μεικτή καταπόνηση 150 mM NaCl/ 10 mM CaCl₂ η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα με τις εφαρμογές NaCl, ενώ αντίθετα παρουσία 100 mM NaCl καταγράφηκαν σημαντικά μειωμένες τιμές και παρόμοιες με το μάρτυρα.

Πίνακας 3.4 % Ξηρά ουσία των φυτών ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα.

N°	Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
		NaCl (mM)			NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
		C	100	150	100+10	150+10	10	
1	Manchester	13,4ab	19,9a	20,8a	15,4ab	17,4b	11,2b	16,5b
	Parris Island Cos	10,4b	18,0a	14,0a	11,9b	14,1b	9,4b	13,1b
	Biscia rossa	20,9a	26,9a	19,3a	18a	29,9a	34,8a	24,7a
	M.O. (M)	13,7b	21,6a	18,3ab	15,1b	19,8ab	16,3ab	



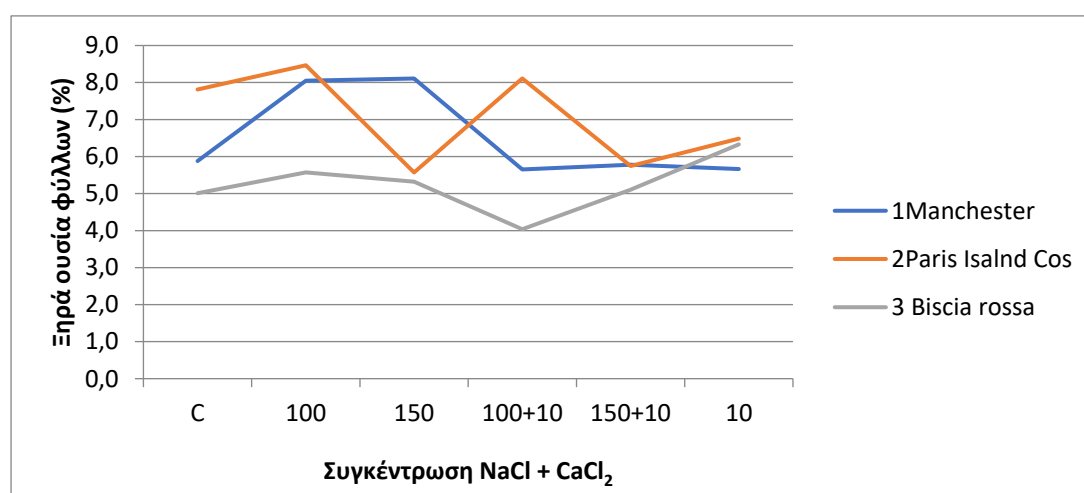
Γράφημα 3.10 % Ξηρά ουσία των φυτών ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

3.5 Επίδραση της αλατότητας στην % ξηρά ουσία των φύλλων

Σχετικά με την % περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία των φύλλων, η ποικιλία Parris Island cos κατέγραψε την μεγαλύτερη τιμή ξηράς ουσίας, ακολουθούμενη από την ποικιλία Manchester με τις τιμές των δύο πρώτων να μην διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η ποικιλία Biscia rossa εμφάνισε τη μικρότερη τιμή ξηράς ουσίας των φύλλων. Σε επίπεδο μεταχείρισης, παρατηρήθηκε σημαντική τάση αύξησης της % ξηράς ουσίας παρουσίας 100mM NaCl, σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις και τον μάρτυρα. Αναφορικά με την επίδραση του CaCl₂, διαπιστώθηκε ότι παρουσία 150 NaCl η % ξηρά ουσία μειώθηκε, ενώ στο επίπεδο των 100 mM NaCl η περιεκτικότητα αυτής δεν διέφερε σημαντικά από αυτήν του μάρτυρα.

Πίνακας 3.5 % Ξηρά ουσία των φύλλων ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα.

Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
	C	NaCl (mM)		NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
		100	150	100+10	150+10	10	
Manchester	5,9b	8,0a	8,1a	5,7b	5,8a	5,7a	6,6a
Parris Island Cos	7,8a	8,5a	5,6ab	8,1a	5,7a	6,5a	7a
Biscia rossa	5,0b	5,6a	5,3b	4,0c	5,1a	6,3a	5,2b
M.O. (M)	6,2ab	7,4a	6,4ab	5,9ab	5,6b	6,2ab	



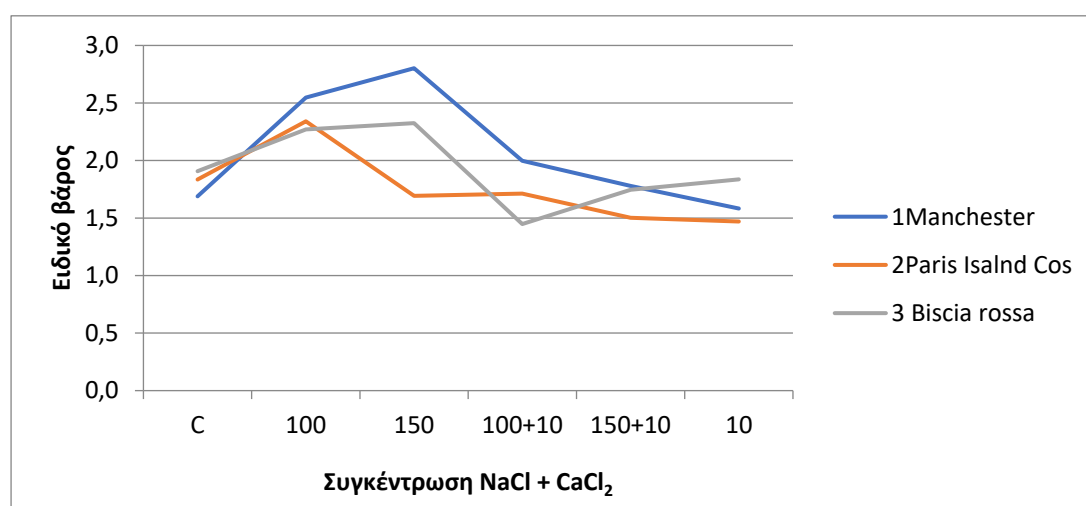
Γράφημα 3.11 % Ξηρά ουσία των φύλλων ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

3.6 Επίδραση της αλατότητας στην ειδικό βάρος των φύλλων (SLW)

Σχετικά με το ειδικό βάρος των φύλλων, η ποικιλία Manchester κατέγραψε χαρακτηριστικά την μεγαλύτερη τιμή, ακολουθούμενη από την ποικιλία Biscia rossa και έπειτα την ποικιλία Parris Island cos. Σε επίπεδο μεταχείρισης, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του ειδικού βάρους παρουσία NaCl, τόσο στα 100mM NaCl όσο στα 150mM NaCl. Αναφορικά με την επίδραση του CaCl₂, διαπιστώθηκε ότι στις μεικτές καταπονήσεις με 100 και 150 mM NaCl το ειδικό βάρος μειώθηκε, εμφανίζοντας ανάλογες τιμές με το μάρτυρα και τη μεταχείριση 10 mM CaCl₂.

Πίνακας 3.6 % Ειδικό βάρος των φύλλων ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα.

Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
	C	NaCl (mM)		NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
		100	150	100+10	150+10	10	
Manchester	1,7a	2,5a	2,8a	2,0a	1,8a	1,6a	2,1a
Parris Island Cos	1,8a	2,3a	1,7b	1,7a	1,5a	1,5a	1,8b
Biscia rossa	1,9a	2,3a	2,3ab	1,4a	1,7a	1,8a	1,9ab
M.O. (M)	1,8bc	2,4a	2,3ab	1,7c	1,7c	1,6c	



Γράφημα 3.12 Ειδικό βάρος των φύλλων ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

3.7 Επίδραση της αλατότητας στην χλωροφύλλη a,b και στα καρετονοειδή

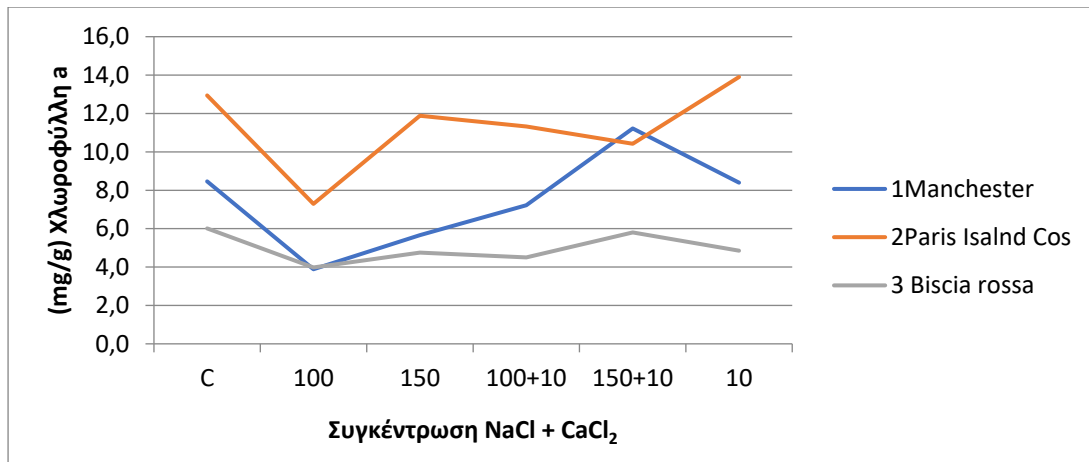
3.7.1 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a

Όσον αναφορά την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a, η ποικιλία Parris Island cos σημείωσε σημαντική υπεροχή έναντι των ποικιλιών Manchester και Biscia rossa, οι οποίες διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους και την τελευταία να εμφανίζει τη μικρότερη τιμή.

Σε επίπεδο μεταχειρίσεων, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a παρουσία 100 mM NaCl σε σχέση με την μεταχείριση των 150 mM NaCl αλλά και τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, συμπεριλαμβανομένου του μάρτυρα. Αναφορικά με την επίδραση του CaCl₂, διαπιστώθηκε η θετική επίδρασή του στις μικτές καταπονήσεις NaCl/ CaCl₂ με την περιεκτικότητα της χλωροφύλλης a να είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με της καταπονήσεις παρουσίας μόνο NaCl. Αξίζει δε να αναφερθεί ότι στην περίπτωση της μικτής εφαρμογής 150 mM NaCl + 10 mM CaCl₂ καταγράφηκε μεγαλύτερη περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a συγκριτικά με το μάρτυρα.

Πίνακας 3.7 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα.

Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
	NaCl (mM)			NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
	C	100	150	100+10	150+10	10	
Manchester	8,5ab	3,9b	5,7ab	7,2ab	11,2a	8,4a	7,4b
Parris Island Cos	12,9b	7,3a	11,9a	11,3a	10,4a	13,9a	11,2a
Biscia rossa	6,0a	4,0b	4,8b	4,5b	5,8a	4,9a	4,9c
M.O. (M)	9,1a	5,1b	7,6ab	7,7ab	9,4a	9,4a	



Γράφημα 3.13 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

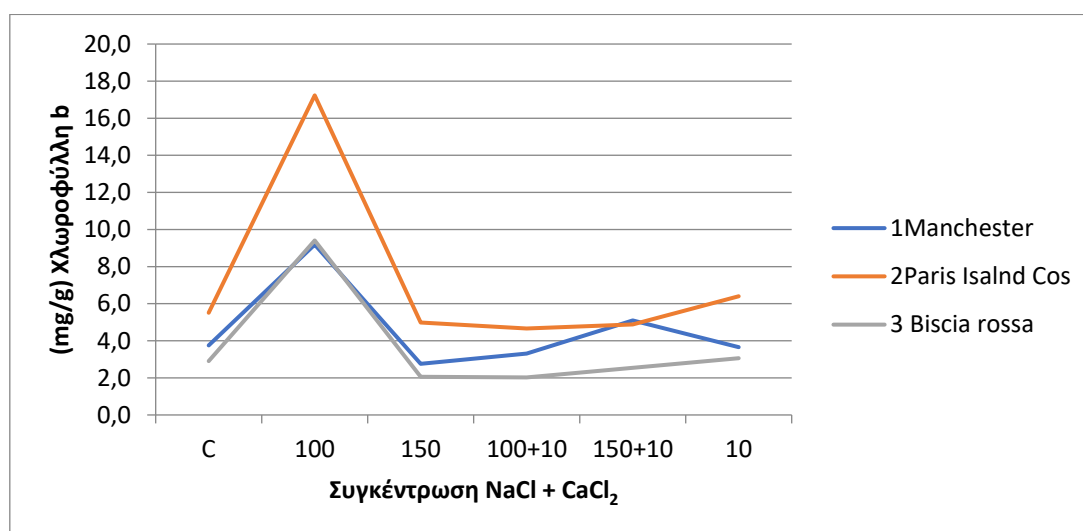
3.7.2 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b

Αναφορικά με την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b, η ποικιλία Parris Island cos σημείωσε την μεγαλύτερη τιμή περιεκτικότητας, ακολουθούμενη από τις ποικιλίες Manchester και Biscia rossa οι οποίες εμφάνισαν σημαντικά μειωμένες και παρόμοιες μεταξύ τους τιμές. Δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

Σε επίπεδο μεταχειρίσεων, παρατηρήθηκε δραματική αύξηση της περιεκτικότητας χλωροφύλλης b παρουσία 100 mM NaCl, ενώ όλες οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις συμπεριλαμβανομένου του μάρτυρα, εμφάνισαν σημαντικά μειωμένες και παρόμοιες μεταξύ τους τιμές. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι η χλωροφύλλη b έχει προστατευτικό ρόλο στην χλωροφύλλη a. Αναφορικά με την επίδραση του CaCl₂, διαπιστώθηκε η θετική επίδρασή του στην καταπόνηση των 100 mM NaCl, εμφανίζοντας σαφώς μειωμένες τιμές συγκριτικά με τις αντίστοιχες κατά την καταπόνηση παρουσίας μόνο 100 mM NaCl. Αντίθετα, κατά τη μικτή εφαρμογή 150 mM NaCl / 10 mM CaCl₂ καταγράφηκε αυξημένη περιεκτικότητα χλωροφύλλης b σε σχέση με την καταπόνηση παρουσίας μόνο 150 mM NaCl, χωρίς ωστόσο οι τιμές να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

Πίνακας 3.8 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα.

Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
	C	NaCl (mM)		NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
	C	100	150	100+10	150+10	10	
Manchester	3,8ab	9,2b	2,8b	3,3a	5,1a	3,7a	4,7b
Parris Island Cos	5,5a	17,2a	5,0a	4,7a	4,9a	6,4a	7,3a
Biscia rossa	2,9b	9,4b	2,1b	2,0a	2,5b	3,1a	3,8b
M.O. (M)	4,0b	11,9a	3,4b	3,3b	4,3b	4,5b	



Γράφημα 3.14 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

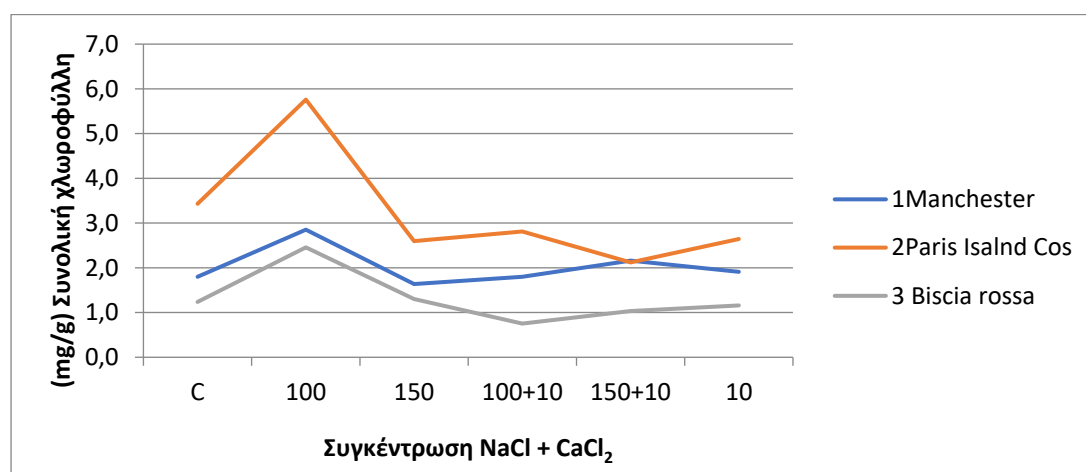
3.7.3 Συνολική περιεκτικότητα χλωροφύλλης a και b των φύλλων

Όσον αναφορά τη συνολική περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a και b, η ποικιλία Parris Island cos σημείωσε την μεγαλύτερη τιμή, ακολουθούμενη από την ποικιλίες Manchester και Biscia rossa, οι τιμές των οποίων διέφεραν επίσης μεταξύ τους. Σε επίπεδο μεταχειρίσεων, σημειώθηκε σημαντικά αυξημένη περιεκτικότητα συνολικής χλωροφύλλης παρουσία 100 mM NaCl συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, συμπεριλαμβανομένων των μαρτύρων. Τα ευρήματα αυτά προφανώς

συνάδουν με την αυξημένη περιεκτικότητα χλωροφύλλης b στην μεταχείριση 100 mM συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Πίνακας 3.9 Περιεκτικότητα των φύλλων σε συνολική χλωροφύλλη a και b ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα

Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
	C	NaCl (mM)		NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
	C	100	150	100+10	150+10	10	
Manchester	1,8b	2,9b	1,6b	1,8ab	2,2a	1,9a	2b
Parris Island Cos	3,4a	5,8a	2,6a	2,8a	2,1a	2,6a	3,2a
Biscia rossa	1,2b	2,5b	1,3b	0,8b	1,0b	1,2a	1,3c
M.O. (M)	2,1b	3,7a	1,9b	1,8b	1,8b	2,0b	



Γράφημα 3.15 Περιεκτικότητα των φύλλων σε συνολική χλωροφύλλη a και b ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl+CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

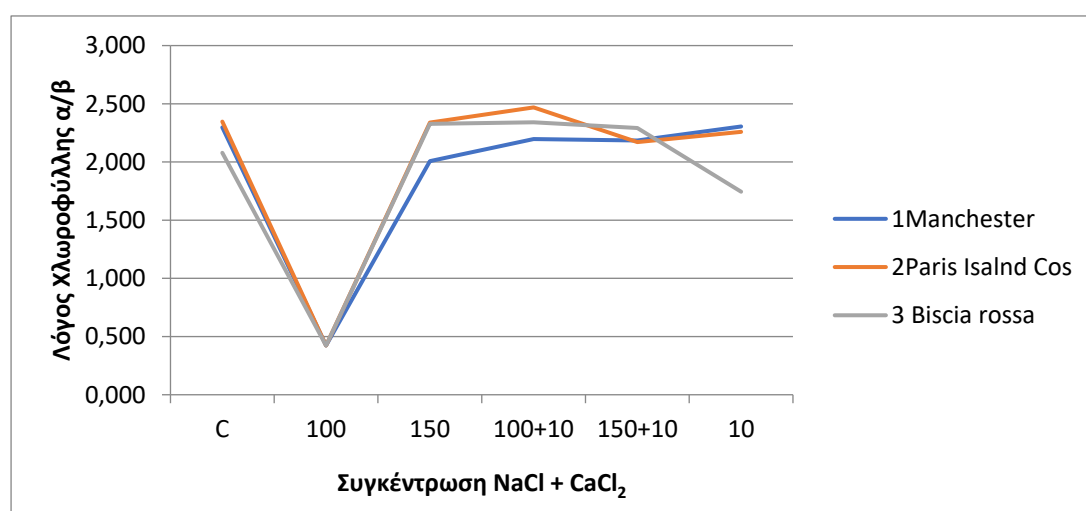
3.7.4 Λόγος χλωροφύλλης a προς b των φύλλων

Αναφορικά με το λόγο χλωροφύλλης a προς b στα φύλλα, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ποικιλιών, με την ποικιλία Parris Island cos ωστόσο να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή, ακολουθούμενης από τις ποικιλίες Manchester και Biscia rossa. Μεταξύ των υπό μελέτη μεταχειρίσεων, σημειώθηκε απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών, με εξαίρεση την εφαρμογή 100 mM NaCl όπου παρατηρήθηκε η μικρότερη

τιμή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Τα ευρήματα αυτά βρίσκονται σε ευθυγράμμιση με την περιεκτικότητα χλωροφύλλης b στην εν λόγω μεταχείριση.

Πίνακας 3.10 Λόγος της χλωροφύλλης a και b των φύλλων ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα.

Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
	C	NaCl (mM)		NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
		100	150	100+10	150+10	10	
Manchester	2,3ab	0,4a	2,0a	2,2a	2,2a	2,3a	1,9a
Parris Island Cos	2,3a	0,4a	2,3a	2,5a	2,2a	2,3a	2a
Biscia rossa	2,1b	0,4a	2,3a	2,3a	2,3a	1,7a	1,8a
M.O. (M)	2,2a	0,4b	2,2a	2,3a	2,2a	2,1a	



Γράφημα 3.16 Λόγος της χλωροφύλλης a και b των φύλλων ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ την 51^η ημέρα.

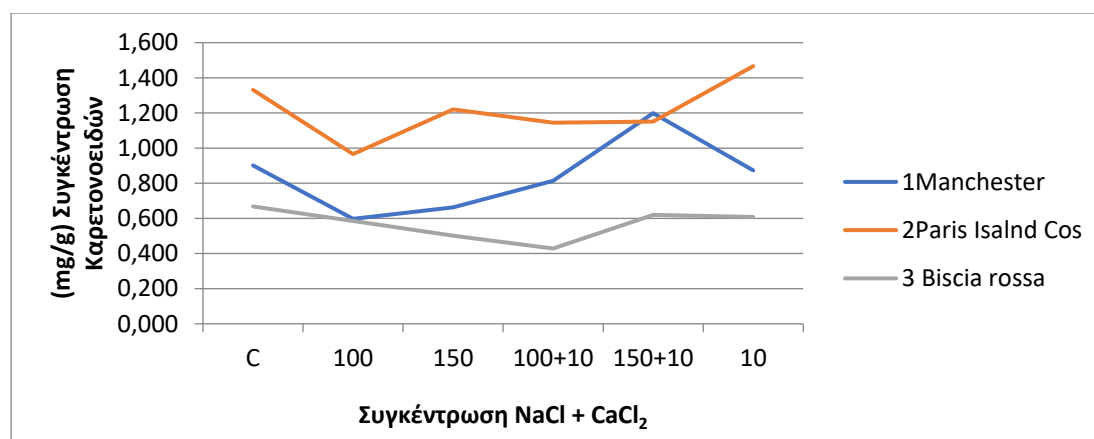
3.7.5 Περιεκτικότητα των φύλλων σε καρετονοειδή

Σχετικά με την περιεκτικότητα των φύλλων σε καρετονοειδή, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τιμές μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών, ενώ σημειώθηκε απουσία διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων. Σε επίπεδο ποικιλιών, η υψηλότερη περιεκτικότητα σημειώθηκε στην ποικιλία Parris Island Cos, ακολουθούμενη από την ποικιλία Manchester, ενώ η Biscia rossa εμφάνισε τη χαμηλότερη αντίστοιχη τιμή. Παρά την απουσία διαφορών σε επίπεδο μεταχείρισης, οι

υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν στους μάρτυρες και στις μικτές εφαρμογές NaCl / CaCl₂.

Πίνακας 3.11 Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή ανά ποικιλία (Π) και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂ (M) την 51^η ημέρα.

Ποικιλία	Μεταχειρίσεις						M.O. (Π)
	C	NaCl (mM)		NaCl + CaCl ₂ (mM)		CaCl ₂ (mM)	
		100	150	100+10	150+10	10	
Manchester	0,9ab	0,6b	0,7ab	0,8ab	1,2ab	0,9a	0,8b
Parris Island Cos	1,3a	1,0a	1,2a	1,1a	1,2a	1,5a	1,2a
Biscia rossa	0,7b	0,6b	0,5b	0,4b	0,6b	0,6a	0,6c
M.O. (M)	1,0a	0,7a	0,8a	0,8a	1,0a	1,0a	



Γράφημα 3.17 Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή ανά ποικιλία και ανά μεταχείριση NaCl / NaCl + CaCl₂ / CaCl₂.

Συζήτηση

Η καταπόνηση υψηλής αλατότητας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αύξηση, ανάπτυξη και επιβίωση πολλών καλλιεργούμενων φυτικών ειδών. Είναι ένας επιζήμιος παράγοντας καταπόνησης με σημαντικό αντίκτυπο στην παραγωγικότητα πολλών καλλιεργειών, μέσω της συνδυασμένης επίδρασης ωσμωτικού και ιοντικού στρες (Alsuvaid et al., 2022). Το χαμηλό ωσμωτικό δυναμικό επιδρά αρνητικά στην απορρόφηση νερού, επιφέροντας μείωση της βλαστικής ανάπτυξης και της περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία του φυτού (Janila et al., 1999, Pal et al., 2022).

Το μαρούλι αποτελεί ένα φυτικό είδος ευαίσθητο στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας, με τις επιδράσεις αυτής να αντανακλώνονται τόσο στην παραγωγικότητα όσο και στην οικονομική βιωσιμότητα της καλλιέργειας (Xu et al. 2015). Με δεδομένες τις δυσμενείς επιδράσεις της αλατότητας στην καλλιέργεια μαρουλιού, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη μελέτης της απόκρισης γενετικού υλικού στην καταπόνηση και η εύρεση μεθόδων για την ευχερή αναγνώριση ανθεκτικών γονοτύπων, οι οποίοι δύνανται να μετριάσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της καταπόνησης αλατότητας (Pal et al., 2022).

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης τριών εμπορικών ποικιλιών μαρουλιού ως προς την ανθεκτικότητα έναντι της καταπόνησης υψηλής αλατότητας καθώς και η μελέτη της συνδυασμένης επίδρασης NaCl/CaCl₂ με στόχο τη διερεύνηση της τυχόν θετικής επίδρασης του CaCl₂ κατά την καταπόνηση που προέρχεται από ιόντα Na⁺. Στο πλαίσιο αυτό, οι εμπορικές ποικιλίες Parris Island cos, Manchester και Biscia rossa υποβλήθηκαν σε καταπόνηση αλατότητας προκαλούμενης είτε από NaCl (100 mM και 150 mM) είτε από τη συνδυασμένη επίδραση NaCl/CaCl₂ (100 mM NaCl /10 mM CaCl₂, 150 mM NaCl /10 mM CaCl₂) και ακολούθησε αξιολόγηση της απόκρισής τους με βάση αναπτυξιακές και βιοχημικές παραμέτρους. Ειδικότερα, ως παράμετροι αξιολόγησης αξιοποιήθηκαν το ύψος των φυτών, ο αριθμός φύλλων, το νωπό βάρος, η % περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία των φυτών και των φύλλων, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη a, b και συνολική χλωροφύλλη καθώς και σε καροτενοειδή.

Τα ευρήματα καταδεικνύουν τις δυσμενείς επιδράσεις της καταπόνησης αλατότητας στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών, όπως προκύπτει από την απόκρισή τους στα

επίπεδα καταπόνησης των 100 mM και 150 mM NaCl. Είναι ωστόσο αξιοσημείωτο ότι οι ποικιλίες διέφεραν μεταξύ τους ως προς τη συμπεριφορά τους υπό συνθήκες καταπόνησης, με την ποικιλία Parris island cos να εμφανίζει τις ηπιότερες επιδράσεις, ακολουθούμενη από την Manchester, ενώ η ποικιλία Biscia rossa χαρακτηρίστηκε από τις πλέον δραστικές επιδράσεις.

Αναφορικά με τον αριθμό φύλλων, η ποικιλία Parris Island cos παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές, συγκριτικά με τις ποικιλίες Manchester και Biscia rossa, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των ποικιλιών σε όλες τις μεταχειρίσεις. Επίσης, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, με την καταπόνηση στο επίπεδο των 150 mM NaCl να επιφέρει τη μεγαλύτερη μείωση στον αριθμό των φύλλων, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις και τον μάρτυρα. Τα ανωτέρω ευρήματα βρίσκονται σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες σχετικά με τη σταδιακή μείωση του αριθμού φύλλων αυξανόμενης της έντασης καταπόνησης αλατότητας (Maskri et al. 2009).

Σχετικά με το ύψος των φυτών, το σύνολο των ποικιλιών εμφάνισε μείωση υπό συνθήκες καταπόνησης, με τις ποικιλίες ωστόσο να διαφέρουν ως προς την απόκρισή τους στις διαφορετικές μεταχειρίσεις καταπόνησης. Η ποικιλία Parris Island cos καθ' όλη τη διάρκεια των καταπονήσεων εμφάνισε τη μικρότερη μείωση στο ύψος των φυτών, ακολουθούμενη από την ποικιλία Manchester, ενώ η ποικιλία Biscia rossa χαρακτηρίστηκε από τις πλέον δραστικές επιπτώσεις της καταπόνησης, εμφανίζοντας τη μεγαλύτερη μείωση ύψους. Μεταξύ των μεταχειρίσεων, αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση των 100 mM NaCl επέφερε τις πλέον δραστικές επιδράσεις, ενώ η παρουσία CaCl₂ οδήγησε σε περιορισμό των επιδράσεων των ιόντων Na⁺. Η παρατηρούμενη ελάφρυνση των επιπτώσεων της καταπόνησης πιθανά αποδίδεται στο γεγονός ότι το ασβέστιο υπό την μορφή ιόντων Ca⁺ ενισχύει την αντίσταση των φυτικών ιστών σε συνθήκες στρες. Προς ανάλογη κατεύθυνση, προηγούμενες έρευνες καταδεικνύουν ότι τα ιόντα Ca⁺ παίζουν ρόλο αγγελιοφόρου σε διάφορες αναπτυξιακές δομές (Kader, 2010).

Όσον αναφορά το νωπό βάρος φυτών, η ποικιλία Parris Island cos εμφάνισε το μεγαλύτερο νωπό βάρος φυτών, ακολουθούμενη από την ποικιλία Manchester, ενώ η ποικιλία Biscia rossa χαρακτηρίστηκε από το μικρότερο νωπό βάρος. Σε επίπεδο μεταχειρίσεων, η εφαρμογή 100 mM NaCl οδήγησε σε μικρότερο νωπό βάρος σε

σχέση με τις υπόλοιπες καταπονήσεις, συμπεριλαμβανομένου του μάρτυρα. Είναι δε αξιοσημείωτο ότι η παρουσία CaCl_2 μετρίασε τις δυσμενείς επιπτώσεις των ιόντων Na^+ στο επίπεδο των 100 mM NaCl , οδηγώντας μάλιστα σε μεγαλύτερες τιμές νωπού βάρους στην μικτή καταπόνηση των 150 mM NaCl / 10 mM CaCl_2 . Τα ευρήματα αυτά συνάδουν με αναφορές σχετικά με τη θετική επίδραση του CaCl_2 παρουσία καταπόνησης αλατότητας στο φυτό σέννα (Arshi et.al 2007).

Παράλληλα, τα αποτελέσματα της μελέτης κατέδειξαν ότι αυξανομένης της έντασης της καταπόνησης σημειώνεται αύξηση της % περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία των συγκομισμένων φυτών, γεγονός που αποδίδεται στη σταδιακή μείωση της περιεκτικότητάς τους σε νερό (Bres et.al 2022). Πέραν των διαφορών σε επίπεδο καταπόνησης, παρατηρήθηκε διαφορετική απόκριση των ποικιλιών, με την ποικιλία *Biscia rossa*, η οποία φάνηκε να εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές στα αναπτυξιακά γνωρίσματα, εμφάνισε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε % ξηρά ουσία ως επακόλουθο του μικρότερου νωπού βάρους που υπέδειξε. Αντίθετα, τη μικρότερη περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία εμφάνισε η ποικιλία *Parris Island cos*.

Περαιτέρω, τα ευρήματα της μελέτης ανέδειξαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα των φυτών σε χλωροφύλλη, η οποία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και ευρωστία ενός φυτού καθώς αποτελεί βασικό ρυθμιστή της φωτοσύνθεσης. Στο σύνολο τους, οι ποικιλίες εμφάνισαν μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a κατά τη διάρκεια των καταπονήσεων, με την ποικιλία *Parris island cos* ωστόσο να επιδεικνύει τη μικρότερη μείωση συγκριτικά με τις ποικιλίες *Manchester* και *Biscia rossa*. Μεταξύ των μεταχειρίσεων καταπόνησης, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης NaCl οδηγεί σε μείωση της διαθέσιμης χλωροφύλλης a σε σχέση με τον μάρτυρα και τις μεικτές καταπονήσεις $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην καταπόνηση 100 mM NaCl τα φυτά παρουσίασαν τις μικρότερες τιμές χλωροφύλλης a . Σχετικές έρευνες ανέδειξαν ότι η αύξηση της έντασης της καταπόνησης αλατότητας οδηγεί σε ανάλογη μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a (Ackin et.al 2016). Αξίζει δε να αναφερθεί ότι η παρατηρούμενη ελάφρυνση των επιπτώσεων της καταπόνησης παρουσία CaCl_2 , ως προς την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη a στις μεικτές καταπονήσεις $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$, συνάδει με προηγούμενες αναφορές σχετικά με τη θετική επίδραση του CaCl_2 στην απόκριση του υποκειμένου της μηλιάς M4 στην καταπόνηση αλατότητας (Sotiropoulos, 2007).

Η χλωροφύλλη b λειτουργεί συμπληρωματικά στη χλωροφύλλη a και ο κύριος ρόλος της σχετίζεται με τη συλλογή φωτονίων αλλά και την προστασία της χλωροφύλλης a (φωτοσυνθετικές χρωστικές, Χώτος). Βάσει της εν λόγω δράσης της, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη b αυξήθηκε εμφανίσε δραστική αύξηση στην ποικιλία Parris Island cos κατά την καταπόνηση με 100 mM NaCl, όπου σημειώθηκε η μεγαλύτερη μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a .

Στο σύνολό τους, τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι υπάρχει σαφής επίδραση της αλατότητας στις αναπτυξιακές παραμέτρους καθώς και στο μετασυλλεκτικό βιοχημικό προφίλ των φυτών που υπέστησαν καταπόνηση. Βάσει των συνολικών ευρημάτων, η μελέτη ανέδειξε την υπερέχουσα επίδοση της ποικιλίας Parris Island cos, αναφορικά με την ανεκτικότητα έναντι της καταπόνησης αλατότητας, η οποία αφορά τόσο σε προσυλλεκτικό όσο και μετασυλλεκτικό επίπεδο. Ακολούθως, το αναπτυξιακό και βιοχημικό προφίλ των ποικιλιών κατηγοριοποιεί την ποικιλία Biscia rossa ως την πλέον ευαίσθητη στην αλατότητας, εμφανίζοντας τις μεγαλύτερες απώλειες υπό συνθήκες καταπόνησης. Περαιτέρω, τα ευρήματα της μελέτης παρέχουν ενδείξεις σχετικά με την αυξημένη ένταση των επιδράσεων της αλατότητας, κυρίως αναφορικά με τις αναπτυξιακές παραμέτρους που αξιολογήθηκαν, στα χαμηλότερα επίπεδα καταπόνησης. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι τα ευρήματα της μελέτης συνηγορούν στον καταλυτικό ρόλο της παρουσίας ασβεστίου στην καταπόνηση που προκαλείται από ιόντα Na^+ , μετριάζοντας τις δυσμενείς επιπτώσεις της αλατότητας και επιφέροντας σε ορισμένες περιπτώσεις βελτιωμένη απόκριση ακόμη και συγκριτικά με το μάρτυρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Acken, A., Yalcin., E., (2016). Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content, and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). *Brazilian Journal of Botany* vol 39, p.101–106

Ahmad, P., Kumar, A., Gupta, A., Hu, X., Ul Rehman Hakeem, K., Azooz, M. M., & Sharma, S. (2012). Polyamines: Role in plants under abiotic stress. In *Crop Production for Agricultural Improvement* (Vol. 9789400741164). https://doi.org/10.1007/978-94-007-4116-4_19

Alsuvaid., M., Demir., Y., (2022). The Effect of Salinity (NaCl) Stress and Different Magnetic Applications on The Germination of Cucumber Seeds (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, <https://doi.org/10.33462/jotaf.1007342>

Amirjani, M. R. (2011). Effect of Salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. *International Journal of Botany*, 7(1), 73–81. <https://doi.org/10.3923/IJB.2011.73.81>

Apurba., P., Kumar., P., (2022) Differential Responses on Chlorophyll Content, Osmolyte Accumulation and Membrane Damage Parameters under Salinity Stress on Tolerant and Susceptible Genotypes of Groundnut. *An International Journal* Vol : 45, I: 12. 1506-1516

Arshi, A., Abdin, M.Z. and Iqbal, M. (2005) Ameliorative Effects of CaCl₂ on Growth, Ionic Relations, and Proline Content of *Senna* under Salinity Stress. *Journal of Plant Nutrition*, 28, 101-125.

Baslam, M., Garmendia, I., & Goicoechea, N. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown Lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10). <https://doi.org/10.1021/jf200501c>

Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A., Ellinger, S., Haller, D., Kroke, A., Leschik-Bonnet, E., Müller, M. J., Oberritter, H., Schulze, M., Stehle, P., & Watzl, B. (2012). Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*, 51(6), 637–663. <https://doi.org/10.1007/S00394-012-0380-Y>

Bohnert, H. J., Nelson, D. E., & Jensen, R. G. (1995). Adaptations to environmental stresses. *Plant Cell*, 7(7). <https://doi.org/10.2307/3870060>

Bres., W., Kleiber., T., Markiewich., B., Mieloszyk., E., Mieloch., M., (2022). The Effect of NaCl Stress on the Response of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) *Agronomy*, 12(2), 244

Brown, L. M., & Hellebust, J. A. (1978). Sorbitol and proline as intracellular osmotic solutes in the green alga *Stichococcus bacillaris*. *Canadian Journal of Botany*, 56(6). <https://doi.org/10.1139/b78-074>

Bybordi, A. (2010). The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1).

Chen, G., Amoanimaa-Dede, H., Zeng, F., Deng, F., Xu, S., & Chen, Z. H. (2022). Stomatal regulation and adaptation to salinity in glycophytes and halophytes. *Advances in Botanical Research*, 103, 1–42. <https://doi.org/10.1016/BS.ABR.2022.02.008>

Chen, T. H. H., & Murata, N. (2011). Glycine betaine protects plants against abiotic stress: Mechanisms and biotechnological applications. *Plant, Cell and Environment*, 34(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02232.x>

Chutipajit, et al., (2011). High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in '*Oryza sativa*' L. spp. '*indica*'. *Search.Informit.Org*, 5(10), 1191–1198. <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit>.

De Vries, I. M. (1997). Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 44(2), 165–174. <https://doi.org/10.1023/A:1008611200727/METRICS>

Döös, B. R. (2002). Population growth and loss of arable land. *Global Environmental Change*, 12(4), 303–311. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00043-2)

Fedoroff, N. V., Battisti, D. S., Beachy, R. N., Cooper, P. J. M., Fischhoff, D. A., Hodges, C. N., Knauf, V. C., Lobell, D., Mazur, B. J., Molden, D., Reynolds, M. P., Ronald, P. C., Rosegrant, M. W., Sanchez, P. A., Vonshak, A., & Zhu, J. K. (2010). Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science (New York, N.Y.)*, 327(5967), 833–834. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1186834>

Finch, H. J. S., Samuel, A. M., & Lane, G. P. F. (2014). *Lockhart & Wiseman's crop husbandry including grassland* (9th ed.). Woodhead Publishing. <http://www.sciencedirect.com:5070/book/9781782423713/lockhart-and-wisemans-crop-husbandry-including-grassland>

Godoy, F., Olivos-Hernández, K., Stange, C., & Handford, M. (2021). Abiotic stress in crop species: Improving tolerance by applying plant metabolites. In *Plants* (Vol. 10, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/plants10020186>

Hansen, L., Skeie, G., Landberg, R., Lund, E., Palmqvist, R., Johansson, I., Dragsted, L. O., Egeberg, R., Johnsen, N. F., Christensen, J., Overvad, K., Tjønneland, A., & Olsen, A. (2012). Intake of dietary fiber, especially from cereal foods, is associated with lower incidence of colon cancer in the HELGA cohort. *International Journal of Cancer*, 131(2). <https://doi.org/10.1002/ijc.26381>

He, M., He, C. Q., & Ding, N. Z. (2018). Abiotic stresses: General defenses of land plants and chances for engineering multistress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 871, 1771. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.01771/XML/NLM>

Heslin, C., Boehm, D., Gilmore, B. F., Shatilov, M. V, Razin, A. F., & Ivanova, M. I. (2019). Analysis of the world lettuce market. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 395(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012053>

Hofmann, D. J., Butler, J. H., & Tans, P. P. (2009). A new look at atmospheric carbon dioxide. *Atmospheric Environment*, 43(12), 2084–2086. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2008.12.028>

Hung, H. C., Joshipura, K. J., Jiang, R., Hu, F. B., Hunter, D., Smith-Warner, S. A., Colditz, G. A., Rosner, B., Spiegelman, D., & Willett, W. C. (2004). Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *Journal of the National Cancer Institute*, 96(21). <https://doi.org/10.1093/jnci/djh296>

Khan, M. A., Shirazi, M. U., Ali, M., Mumtaz, S., Sherin, A., & Ashraf, M. Y. (2006). Comparative performance of some wheat genotypes growing under saline water. *Pakistan Journal of Botany*, 38(5 SPEC. ISS.).

Khodarahmpour, Z., Ifar, M., Biotechnology, M. M.-A. J. of, & 2012, undefined. (2012). Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. *Ajol.Info*, 11(2), 298–304. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2624>

Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19–34. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.03.004>

Křístková, E., Doležalová, I., Lebeda, A., Vinter, V., & Novotná, A. (2008). Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. In *Horticultural Science* (Vol. 35, Issue 3). <https://doi.org/10.17221/4/2008-hortsci>

Läuchli, A., & Grattan, S. R. (2007). Plant growth and development under salinity stress. In *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5578-2_1

Lindqvist, K. (1960). On the origin of cultivated lettuce. *Hereditas*, 46(3–4), 319–350. <https://doi.org/10.1111/J.1601-5223.1960.TB03091.X>

Maskri., A., Kharusi., L., Miqballi., H., Khan., M., (2009). Effects of Salinity Stress on Growth of Lettuce (*Lactuca sativa*) under Closed-recycle Nutrient Film Technique, *INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE & BIOLOGY*, 1814–9596

Moreira, M. A., Santos, C. A. P. dos, Lucas, A. A. T., Bianchini, F. G., Souza, I. M. de, Viégas, P. R. A., Moreira, M. A., Santos, C. A. P. dos, Lucas, A. A. T., Bianchini, F. G., Souza, I. M. de, & Viégas, P. R. A. (2014). Lettuce production according to different sources of organic matter and soil cover. *Agricultural Sciences*, 5(2), 99–105. <https://doi.org/10.4236/AS.2014.52013>

Moreno, A., & Fereres, A. (2012). Virus Diseases in Lettuce in the Mediterranean Basin. *Advances in Virus Research*, 84, 247–288. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394314-9.00007-5>

Mulabagal, V., Ngouajio, M., Nair, A., Zhang, Y., Gottumukkala, A. L., & Nair, M. G. (2010). In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. *Food Chemistry*, 118(2). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.119>

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ARPLANT.59.032607.092911>

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4056–4075. <https://doi.org/10.1007/S11356-014-3739-1/FIGURES/4>

Parvaiz, A., & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants - A review. In *Plant, Soil and Environment* (Vol. 54, Issue 3). <https://doi.org/10.17221/2774-pse>

Passioura, J. B., & Munns, R. (2000). Rapid environmental changes that affect leaf water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate. *Functional Plant Biology*, 27(10), 941–948. <https://doi.org/10.1071/PP99207>

Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M. M., Muneeb-U-Rehman, Siddiqi, T. O., & Ahmad, P. (2012). Salt stress: Causes, types and responses of plants. *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*, 1–24. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747-4_1/TABLES/5

Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., & Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4–17. <https://doi.org/10.1007/S13280-016-0793-6>

Rubatzky, V., & Yamaguchi, M. (1997). *World vegetables: principles, production, and nutritive values*. Springer US.

Smith, R., Cahn, M., Daugovish, O., Koike, S., Natwick, E., Smith, H., Subbarao, K., Takele, E., & Turini, T. (2011). *Leaf Lettuce Production in California*.

Sotiropoulos, T.E (2007). Effect of NaCl and CaCl₂ on growth and contents of minerals, chlorophyll, proline and sugars in the apple rootstock M 4 cultured in vitro. *BIOLOGIA PLANTARUM*, 51 (1), P.177-180

Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 330. <https://doi.org/10.3389/FENV.S.2021.712831/XML/NLM>

Stepien, P., & Klobus, G. (2005). Antioxidant defense in the leaves of C₃ and C₄ plants under salinity stress. *Physiologia Plantarum*, 125(1). <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00534.x>

Thornton, P., Ericksen, P., ... M. H.-G. (2014). Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Wiley Online Library*, 20(11), 3313–3328. <https://doi.org/10.1111/gcb.12581>

Tomar, A. K., Rajak, S. K., Aslam MK, M., Chhikara, N., Ojha, S. K., Nayak, S., Chhillar, S., Kumaresan, A., & Yadav, S. (2021). Sub-fertility in crossbred bulls: Identification of proteomic alterations in spermatogenic cells using high throughput comparative proteomics approach. *Theriogenology*, 169, 65–75. <https://doi.org/10.1016/J.THERIOGENOLOGY.2021.04.012>

Wei, T., van Treuren, R., Liu, X., Zhang, Z., Chen, J., Liu, Y., Dong, S., Sun, P., Yang, T., Lan, T., Wang, X., Xiong, Z., Liu, Y., Wei, J., Lu, H., Han, S., Chen, J. C., Ni, X., Wang, J., ... Liu, H. (2021). Whole-genome resequencing of 445 *Lactuca* accessions reveals the domestication history of cultivated lettuce. *Nature Genetics* 2021 53:5, 53(5), 752–760. <https://doi.org/10.1038/s41588-021-00831-0>

Xu., C., Mou., B., (2015) Evaluation of Lettuce Genotypes for Salinity Tolerance. American Society for Horticultural Science 2015. (Vol 50: Issue 10), p.1441-1446

Yeo, A. (1998). Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 78, Issues 1–4). [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00193-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00193-9)

Zhang, M., Qin, Z., & Liu, X. (2005). Remote sensed spectral imagery to detect late blight in field tomatoes. *Precision Agriculture*, 6(6). <https://doi.org/10.1007/s11119-005-5640-x>

Zhu, J. K. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), 313. <https://doi.org/10.1016/J.CELL.2016.08.029>

Καραμπουρνιώτης, Γ., Λιακόπουλος, Γ., & Νικολόπουλος, Δ. (2012). Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών (3η έκδοση). Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ.

Ολύμπιος, Χ. Μ. (2001). Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλης.

Πάσσαμ, Χ. (2013). Σποροπαραγωγή Κηπευτικών. Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ.

Χα, Ι.-Α., & Πετρόπουλος, Σ. (2014). Γενική Λαχανοκομία και Υπάθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.