



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Απόκριση γενετικού υλικού κολοκύθας στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας
κατά τη φάση της βλάστησης»

ΒΟΥΛΤΣΙΔΟΥ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ



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

ΒΟΛΟΣ, 2022

«Απόκριση γενετικού υλικού κολοκύθας στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας κατά τη φάση της βλάστησης»

«Response of pumpkin germplasm to salt stress during germination».

Βουλτσίδου Μαγδαληνή

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

1. Παυλή Ουρανία, Αναπλ. Καθηγήτρια, Γενετική Βελτίωση Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2. Ιμπραχίμ-Αβραάμ Χα, Καθηγητής, Γενετική Βελτίωση Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. Σπυρίδων Πετρόπουλος, Αναπλ. Καθηγητής, Λαχανοκομία, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου διατριβής, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου σε όλους όσους με στήριξαν και ενίσχυσαν αυτή την προσπάθεια.

Πρωταρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ουρανία Παυλή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και επιβλέπουσα της πτυχιακής μου διατριβής, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, επίσης, την κ. Παναγιωτάκη Ευαγγελία, μέλος ΕΔΙΠ, για τη βοήθεια και τις συμβουλές της κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, καθώς και τη διδάκτορα Χρύσα Φώτη για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου παρείχε τόσο κατά τη διάρκεια του πειράματος όσο και κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους υπευθύνους των Εργαστηρίων Δενδροκομίας και Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, κ. Γεώργιο Νάνο και κ. Δαναλάτο Νικόλαο, για την παροχή απαραίτητου υλικοτεχνικού εξοπλισμού.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιμπραχίμ- Αβραάμ Χα, Καθηγητή του Εργαστηρίου Γενετικής Βελτίωσης Φυτών και τον κ. Πετρόπουλο Σπυρίδων, Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Λαχανοκομίας, για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	16
1.1. Γενικά Στοιχεία και εξάπλωση	16
1.2. Ταξινόμηση	17
1.3. Βοτανική περιγραφή	17
1.4. Αγροκλιματικές Συνθήκες	20
1.5. Πολλαπλασιασμός και στάδια ανάπτυξης του φυτού	21
1.6. Χρήσεις	22
1.6.1. Θρεπτική αξία	22
1.6.2. Φυτοχημικά χαρακτηριστικά	23
1.6.3. Φαρμακευτικές ιδιότητες	25
1.7. Εχθροί και Ασθένειες	26
1.8. Αβιοτικές Καταπονήσεις	27
1.8.1. Καταπόνηση υψηλής αλατότητας	28
1.8.2. Στρατηγικές αντιμετώπισης της καταπόνησης υψηλής αλατότητας	30
1.8.3. Εγκλιματισμός και προσαρμογή των φυτών	32
1.8.4. Συμπτώματα της καταπόνησης υψηλής αλατότητας στα φυτά	34
1.8.5. Αντιμετώπιση της καταπόνησης	34
1.8.6. Θετικές επιδράσεις της καταπόνησης υψηλής αλατότητας	35
1.9. Ο ρόλος των φωτοσυνθετικών χρωστικών	36
1.10. Ο ρόλος της προλίνης στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας	38
1.11. Επίδραση της καταπόνησης υψηλής αλατότητας στην καλλιέργεια της κολοκυθιάς	39
1.12. Σκοπός της μελέτης	41
2. Υλικά και Μέθοδοι	42
2.1. Γενετικό Υλικό	42
2.2. Απολύμανση των σπόρων	42
2.3. Παρασκευή διαλυμάτων NaCl	43
2.4. Καταπονήσεις σε εργαστηριακό επίπεδο – Πειραματικό σχέδιο	43
2.5. Μετρήσεις	44
2.6. Ανάλυση φυσιολογικών παραμέτρων	46

2.6.1. Προσδιορισμός περιεκτικότητας φωτοσυνθετικών χρωστικών	46
2.6.2. Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε προλίνη	47
2.7. Στατιστική ανάλυση	51
3. Αποτελέσματα	52
3.1. Επίδραση της αλατότητας στο ποσοστό βλάστησης των σπόρων	52
3.2. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και του βλαστού των σποροφύτων	56
3.3. Επίδραση της αλατότητας στο ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %)	59
3.4. Επίδραση της αλατότητας στον δείκτη ευρωστίας των σπόρων (SVI %)	60
3.5. Επίδραση της αλατότητας στο ρυθμό βλάστησης (GR) στο μέσο χρόνο βλάστησης (MGT) των σπόρων	61
3.6. Επίδραση της αλατότητας στην ποσότητα των φωτοσυνθετικών χρωστικών	63
3.7. Επίδραση της αλατότητας στην ποσότητα της προλίνης	71
4. Συζήτηση- Συμπεράσματα	73
5. Βιβλιογραφία	78

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1. Συστηματική κατάταξη της κολοκύθας	17
Πίνακας 1.2. Περιεκτικότητα θρεπτικών συστατικών που περιέχονται σε 100 g νωπού καρπού κολοκύθας	23
Πίνακας 1.3. Περιεκτικότητα του κολοκυθόσπορου σε λιπαρά οξέα	24
Πίνακας 2.1. Η ονομασία και το βάρος 1.000 σπόρων των 7 υπό μελέτη ποικιλιών κολοκύθας	42
Πίνακας 2.2. Παρουσίαση ημερομηνιών καταγραφής των παραπάνω μετρήσεων από την έναρξη διεξαγωγής του πειράματος	46
Πίνακας 2.3. Όγκοι διαλυμάτων προλίνης και αιθανόλης 70 % για την παρασκευή των πρότυπων διαλυμάτων προλίνης	48
Πίνακας 3.1. Ποσοστό βλάστησης των σπόρων ανά γονότυπο και ανά επίπεδο στρες NaCl σε 7 χρονικά διαστήματα (1 ^η - 7 ^η ημέρα)	53
Πίνακας 3.2. Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά γονότυπο, επίπεδο στρες NaCl και αλληλεπίδρασης αυτών, κατά την 1 ^η και 4 ^η ημέρα της καταπόνησης υψηλής αλατότητας	59
Πίνακας 3.3. Δείκτης ευρωστίας (SVI %) ανά γονότυπο, επίπεδο στρες NaCl και αλληλεπίδρασης αυτών κατά την 5 ^η ημέρα της καταπόνησης υψηλής αλατότητας	60
Πίνακας 3.4. Ρυθμός βλάστησης (GR) των σπόρων κατά το χρονικό διάστημα των 7 ημερών καταπόνησης αλατότητας	61
Πίνακας 3.5. Μέσος χρόνος βλάστησης (MGT) των σπόρων κατά το χρονικό διάστημα των 7 ημερών καταπόνησης αλατότητας	62

Πίνακας 3.6. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών	63
Πίνακας 3.7. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α σε mg/g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών	64
Πίνακας 3.8. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών	65
Πίνακας 3.9. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β σε mg/g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών	66
Πίνακας 3.10. Ποσότητα ολικής χλωροφύλλης σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών	67
Πίνακας 3.11. Ποσότητα ολικής χλωροφύλλης σε mg/g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών	68
Πίνακας 3.12. Ο λόγος της χλωροφύλλης α προς τη χλωροφύλλη β , ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών	68
Πίνακας 3.13. Περιεκτικότητα του ιστού σε καροτενοειδή σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης	

αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών 69

Πίνακας 3.14. Περιεκτικότητα του ιστού σε καροτενοειδή σε mg/ g νωπού
βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης

αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών 70

Πίνακας 3.15. Συγκέντρωση προλίνης στον χρησιμοποιούμενο φωτοσυνθετικό
ιστό, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και

της αλληλεπίδρασης αυτών 71

Πίνακας 3.16. Περιεκτικότητα προλίνης σε mg/ g νωπού βάρους

φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας,

καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών 72

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1. Απεικόνιση του φυλλώματος και των ανθέων του είδους <i>Cucurbita pepo</i>	18
Εικόνα 1.2. Γενετική ποικιλότητα του είδους <i>Cucurbita pepo</i> αναφορικά με το σχήμα και χρώμα καρπών	19
Εικόνα 1.3. Στάδια ανάπτυξης του είδους <i>Cucurbita pepo</i>	22
Εικόνα 1.4. Οι αβιοτικές καταπονήσεις με τις οποίες έρχονται αντιμέτωποι οι φυτικοί οργανισμοί στο φυσικό περιβάλλον	28
Εικόνα 1.5. Παράγοντες και μηχανισμοί που επηρεάζουν την ικανότητα αντιμετώπισης ενός παράγοντα καταπόνησης από έναν φυτικό οργανισμό	32
Εικόνα 1.6. Συντακτικός τύπος του μορίου της χλωροφύλλης α και της χλωροφύλλης β	36
Εικόνα 1.7. Συντακτικός τύπος ενός μορίου καροτενοειδούς	37
Εικόνα 1.8. Απεικόνιση του φάσματος απορρόφησης για τα μόρια της χλωροφύλλης α, της χλωροφύλλης β και των καροτενοειδών	37
Εικόνα 1.9. Συμπτώματα από την καταπόνηση αλατότητας σε φύλλα του γένους <i>Cucurbita spp.</i>	39
Εικόνα 2.1. Εγκατάσταση των σπόρων στα δοχεία ανάπτυξης	44
Εικόνα 2.2. Ζυγός ακριβείας για τη ζύγιση σπόρων κολοκύθας με σκοπό τον υπολογισμό του ποσοστού απορρόφησης H ₂ O των σπόρων	45
Εικόνα 2.3. Μέτρηση του μήκους της ρίζας και του βλαστού, αντίστοιχα	45
Εικόνα 2.4. Διαλύματα για τη μέτρηση των φωτοσυνθετικών χρωστικών	47
Εικόνα 2.5. Δείγματα φυτικού ιστού μετά την φυγοκέντρηση	49

Εικόνα 2.6. Πρότυπα διαλύματα προλίνης	50
Εικόνα 3.1. Ανάπτυξη των σποροφύτων όλων των ποικιλιών και των επιπέδων καταπόνησης NaCl, την 10 ^η ημέρα καταπόνησης υψηλής αλατότητας (30/01/2022)	58

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 2.1. Πρότυπες καμπύλες για τη μετατροπή της απορρόφησης στα 520 nm σε mM προλίνης	51
Γράφημα 3.1. Ποσοστό βλαστικότητας των σπόρων (GP %) σε 7 χρονικά διαστήματα κατά την καταπόνηση αλατότητας, για όλες τις ποικιλίες και τα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης αλατότητας	55
Γράφημα 3.2. Μήκος ρίζας την 3 ^η , 5 ^η και 7 ^η ημέρα, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης αλατότητας	56
Γράφημα 3.3. Μήκος βλαστού την 5 ^η , 10 ^η και 15 ^η ημέρα, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης	57
Γράφημα 3.4. Ρυθμός βλάστησης των σπόρων κατά το χρονικό διάστημα των 7 ημερών καταπόνησης αλατότητας	62
Γράφημα 3.5. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης	64
Γράφημα 3.6. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης	65
Γράφημα 3.7. Ποσότητα ολικής χλωροφύλλης σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης	67
Γράφημα 3.8. Περιεκτικότητα του ιστού σε καροτενοειδή σε mg/g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης	70
Γράφημα 3.9. Συγκέντρωση προλίνης (mM) , ανά ποικιλία και επίπεδο Καταπόνησης	72

Περίληψη

Οι αβιοτικές καταπονήσεις στο σύνολό τους αποτελούν σημαντικό παράγοντα περιορισμού της αύξησης, της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των καλλιεργούμενων φυτών παγκοσμίως. Μεταξύ των αβιοτικών παραγόντων, η καταπόνηση υψηλής αλατότητας αναστέλλει σημαντικά την ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτών, συμβάλλοντας παράλληλα και στην υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους. Τα υψηλά ποσοστά αλατότητας είναι αποτέλεσμα της συσσώρευσης ιόντων Na^+ και Cl^- στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας, σε επίπεδα που αποβαίνουν τοξικά για τον φυτικό οργανισμό. Η τοξικότητα που προκαλείται στο φυτό εκδηλώνεται μέσω διαφόρων μεταβολικών και φυσιολογικών διαταραχών, όπως διαταραχές στην ενζυμική δράση και στη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών, δυσλειτουργία της φωτοσυνθετικής ικανότητας και συσσώρευση των ενεργών μορφών οξυγόνου. Η αύξηση των επιπέδων Na^+ και Cl^- στο έδαφος είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία χαμηλού υδατικού δυναμικού, προκαλώντας δυσχέρεια πρόσληψης νερού από το περιβάλλον της ρίζας και επιφέροντας κατάσταση ωσμωτικής καταπόνησης. Παράλληλα, τα ιόντα αυτά δρουν ανταγωνιστικά προς τα λοιπά εδαφικά ιόντα, εμποδίζοντας το φυτό να προσλάβει τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζεται για την επιβίωσή του. Αναφορικά με την επίδραση της αλατότητας στην ποιότητα του εδαφικού διαλύματος, συντελεί στη μείωση του βαθμού συσσωμάτωσης και διαπερατότητας των εδαφικών κολλοειδών, ενώ διαταράσσει εξίσου και το μικροβίωμα της ριζόσφαιρας.

Λόγω της γενικότερης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και της ρύπανσης των υδάτων, παρατηρούνται σε ολοένα και περισσότερες περιοχές του πλανήτη προβλήματα υψηλής εδαφικής αγωγιμότητας, τα οποία προκαλούνται κυρίως μέσω της συνεχούς άρδευσης των καλλιεργειών με νερό κακής ποιότητας. Τα περισσότερα καλλιεργούμενα είδη, μεταξύ των οποίων και η κολοκυθιά, παρουσιάζουν ευαισθησία σε περιβάλλον με περίσσεια άλατος. Γι' αυτό το λόγο, είναι υψίστης σημασίας η συμβολή των προγραμμάτων γενετικής βελτίωσης με στόχο τη δημιουργία υβριδίων με γενετική ανθεκτικότητα έναντι των αβιοτικών καταπονήσεων και, ειδικότερα, της αλατότητας. Προς την επίτευξη του στόχου αυτού, ιδιαίτερης σημασίας είναι η δυνατότητα αναγνώρισης και επιλογής των επιθυμητών ανθεκτικών γονοτύπων, με τη φάση της βλάστησης να θεωρείται ως η πλέον κατάλληλη για μια πρώιμη εκτίμηση

σχετικά με την μετέπειτα πορεία του φυτού, που περιλαμβάνει την εγκατάστασή του στην καλλιέργεια, την ανάπτυξη και την απόδοσή του.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διατριβής, μελετήθηκε η απόκριση επτά γονοτύπων κολοκυθιάς ως προς την απόκρισή τους στην καταπόνηση αλατότητας κατά τη φάση της βλάστησης. Οι υπό μελέτη γονότυποι κλήθηκαν να αναπτυχθούν σε περιβάλλον τεσσάρων διαφορετικών συγκεντρώσεων NaCl και ακολούθησε η αξιολόγηση της ανθεκτικότητάς τους με βάση επιλεγμένα αναπτυξιακά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά. Τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν την αρνητική επίδραση της αλατότητας, τόσο στη βλάστηση των σπόρων και ανάπτυξη των σποροφύτων όσο και στη συσσώρευση βιοχημικών ουσιών που σχετίζονται με την απόκριση των φυτών στην καταπόνηση αλατότητας. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν ότι η αυξανόμενη συγκέντρωση NaCl επιδρά δυσμενώς στη βλάστηση των σπόρων, στο μήκος του βλαστού και της ρίζας των σποροφύτων, στο ρυθμό βλάστησης, στο ποσοστό απορρόφησης νερού καθώς και στο δείκτη ευρωστίας των σπόρων. Παράλληλα, με την αύξηση της αλατότητας παρατηρήθηκαν αλλαγές στη συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών και της παραγόμενης προλίνης στο φυτικό ιστό. Μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών, οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και OM-N Οβάλ Μικρές Νεάπολης παρουσίασαν τις μικρότερες αποκλίσεις σε σχέση με τα φυτά – μάρτυρες, ενώ αποδείχθηκαν ικανές για βλάστηση και ανάπτυξη ακόμη και στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης. Στο σύνολό τους, τα ευρήματα υποδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικής γενετικής παραλλακτικότητας αναφορικά με το γνώρισμα της ανθεκτικότητας στην υψηλή αλατότητα και καθιστούν αναγκαία την αξιολόγηση του γενετικού υλικού σε συνθήκες αγρού, όπου η επίδραση της καταπόνησης θα αξιολογηθεί και κατά τα μεταγενέστερα, και πιο κρίσιμα, αναπτυξιακά στάδια.

Λέξεις κλειδιά: *Cucurbita pepo*, κολοκύθα, αβιοτική καταπόνηση, απόκριση στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας, επιλογή ανθεκτικού γενετικού υλικού, φωτοσυνθετικές χρωστικές, προλίνη

Abstract

Abiotic stresses are generally considered as a major factor limiting plant growth and development as well as crop productivity worldwide. Among abiotic stresses, high salinity is particularly damaging both at the plant organism and at the soil quality level. High salinity reflects the result of the accumulation of Na^+ and Cl^- ions in the rhizosphere at levels that are toxic to the plant organism. Ion toxicity is manifested through various metabolic and physiological disturbances, such as abnormalities in enzyme activity and cell membrane permeability, dysfunction of photosynthetic capacity and accumulation of active oxygen species. The increase in Na^+ and Cl^- levels in the soil is responsible for the creation of low water potential, hampering water uptake by roots and eventually leading to a state of osmotic stress. At the same time, such ions act competitively to other soil ions, preventing the plant from taking up the nutrients which are necessary for plant survival. Regarding the effects of salinity on the quality of the soil solution, it contributes to a reduction in the degree of aggregation and permeability of soil colloids and equally disturbs the microbiome of the rhizosphere.

In view of the general environmental and water pollution, the problems arising from high soil conductivity are observed in a progressively increasing land surface worldwide, mainly as a result of continuous crop irrigation with poor-quality water. Most cultivated species, including pumpkins, are sensitive to environments with excess salt. To this reason, all breeding efforts aiming at the development of hybrid varieties with genetic resistance against abiotic stresses, including salinity, becomes of paramount importance. The achievement of such goal is, however, largely depended on the feasibility of selecting the desirable resistant genotypes, with the germination phase being generally considered as most appropriate for early assessing the subsequent development of the plant, including its establishment, growth and yield performance.

This thesis aimed at investigating the response of seven pumpkin genotypes to salinity stress during germination. The genotypes under study were allowed to grow in environment with different NaCl concentrations and were subsequently evaluated in terms of their developmental and physiological characteristics. Overall findings the negative effect of salinity on seed germination and seedling growth as well underline

as the accumulation of biochemical which are associated with the response to salinity stress. In particular, increasing salinity adversely effected seed germination, shoot and root length of seedlings, germination rate, water uptake rate and seed vigor index. At the same time, the increasing salinity levels were associated with changes in the accumulation of photosynthetic pigments and proline. Among varieties tested, FYTRO FS 243 and OM-N Oval Small Neapolis were the least affected varieties, in comparison with the controls, and showed an ability to grow even under conditions of high salinity. Taken together, the findings indicate the existence of significant genetic variation in relation to salt tolerance traits, thus rendering necessary the evaluation of the germplasm tested under field conditions, where the stress effects will be also determined at later, and most critical, developmental stages.

Key words: *Cucurbita pepo*, pumpkin, abiotic stress, response to salinity stress, selection of salt-tolerant germplasm, photosynthetic pigments, proline

1.Εισαγωγή

1.1. Γενικά Στοιχεία και εξάπλωση

Η κολοκυθιά ανήκει στην οικογένεια των κολοκυνθοειδών (*Cucurbitaceae*) και συγκεκριμένα στο γένος *Cucurbita*, το οποίο περιλαμβάνει περισσότερα από 25 φυτικά είδη. Από τα ιστορικά ευρήματα πιθανολογείται ότι το είδος *Cucurbita pepo* έκανε την εμφάνισή του στα εδάφη του Μεξικού και της Νοτιοανατολικής Αμερικής, ενώ αργότερα εξαπλώθηκε στο νότιο Καναδά, την Ευρώπη και την Ασία, όπου εντοπίστηκε σε άγρια μορφή (Ratnam et al., 2017).

Οι παλαιότερες αρχαιολογικές αναφορές για την κολοκυθιά προέρχονται από το Μεξικό και χρονολογούνται μεταξύ των προηγούμενων 8.000-10.000 ετών. Το γεγονός αυτό κάνει τη συγκεκριμένη καλλιέργεια να προηγείται χρονικά από αυτές του καλαμποκιού και του φασολιού κατά περίπου 4.000 χρόνια (Smith, 1997). Στα ευρωπαϊκά εδάφη, η καλλιέργεια της κολοκυθιάς έκανε την εμφάνισή της περί τα μέσα του 16^{ου} αιώνα (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Ανάμεσα σε όλα τα φυτά που καλλιεργούνται για τους καρπούς τους, η κολοκυθιά φαίνεται να είναι αυτή με τη μεγαλύτερη αύξηση μεγέθους του καρπού σε σχέση με τους συγγενείς αγρίου τύπου της (Savage et al., 2015). Ο καρπός της εμφανίζει πολλά θρεπτικά και φαρμακευτικά οφέλη, αφού αποτελεί σπουδαία πηγή βιταμινών και ιχνοστοιχείων, ενώ παράλληλα έχει αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη δράση (Martha et al., 2016).

Από οικονομικής απόψεως, η καλλιέργεια της κολοκυθιάς είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, ιδίως αναφορικά με τα είδη *Cucurbita pepo*, *Cucurbita maxima* και *Cucurbita moschata*, τα οποία καλύπτουν χιλιάδες στρέμματα καλλιεργήσιμης γης παγκοσμίως (Paris, 2001). Συγκεκριμένα, για το έτος 2017, η καλλιέργεια κολοκύθας κατέλαβε έκταση 1,8 εκατομμυρίων εκταρίων αποδίδοντας παγκόσμια παραγωγή της τάξης των 24 εκατομμυρίων τόνων (FAO, 2017).

Στα όρια της Ευρωπαϊκής ένωσης για το έτος 2020 συγκομίστηκαν 760.000 τόνοι κολοκύθας που παρήχθησαν σε συνολική έκταση 3,1 εκατομμυρίων στρεμμάτων. Από την παραχθείσα ποσότητα, εξήχθησαν οι 22,614 τόνοι κολοκύθας, ενώ εισήχθησαν άλλοι 48,841 τόνοι από χώρες του εξωτερικού, όπως η Βραζιλία, η Αργεντινή, το Μαρόκο και η Νότια Αφρική (EuroStat, 2020).

1.2. Ταξινόμηση

Η κολοκυθιά ανήκει στην οικογένεια Cucurbitaceae και είναι ευρέως γνωστή με το επιστημονικό όνομα *Cucurbita pepo*. Η συγκεκριμένη οικογένεια περιλαμβάνει περίπου 900 διαφορετικά είδη μεταξύ των οποίων η κολοκύθα, το αγγούρι, το καρπούζι κλπ. Επίσης, διαθέτει είδη με ευρεία γεωγραφική εξάπλωση, που εμφανίζονται έντονα στις τροπικές ζώνες. Η Cucurbitaceae διακρίνεται για τα αναρριχώμενα φυτά της, τα οποία παρουσιάζουν έλικες και απλά, παλαμόνευρα ή / και παλαμοειδώς λοβωτά φύλλα (Simpson, 2017).

Αναφορικά με το γένος *Cucurbita*, ξεχωρίζει ως ένα από τα σημαντικότερα γένη της οικογένειας Cucurbitaceae και απαρτίζεται από είδη που περιλαμβάνουν 20 ζεύγη χρωμοσωμάτων ($2n = 40$) (Heather et al., 2017).

Πίνακας 1.1. Συστηματική κατάταξη της κολοκύθας

Βασίλειο	Plantae
Συνομοταξία	Magnoliophyta
Ομοταξία	Magnoliopsida
Υφομοταξία	Dilleniidae
Τάξη	Violales
Οικογένεια	Cucurbitaceae
Γένος	<i>Cucurbita</i>
Είδος	<i>C. pepo</i>

1.3. Βοτανική περιγραφή

Η κολοκυθιά είναι ένα μονοετές, ποώδες φυτό με κυρίως έρπουσα ανάπτυξη, το οποίο έχει την ικανότητα να αναρριχάται με την βοήθεια των φερόμενων ελίκων. Όσον αφορά το ριζικό της σύστημα, αποτελείται από πασσαλώδη ρίζα που φτάνει σε βάθος τα 1,2 m, όμως η δραστηριότητά της περιορίζεται στα πρώτα 40-50 cm. Οι βλαστοί της είναι κυλινδρικοί και κοίλοι εσωτερικά, φέρουν τριχίδια και σχηματίζουν ριζίδια στους κόμβους που έρχονται σε επαφή με το έδαφος (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Αναφορικά με τα φύλλα της κολοκυθιάς, παρουσιάζουν παραλλακτικότητα αναλόγως το είδος ή/ και την ποικιλία αυτής. Έτσι, μπορεί να είναι απλά, εναλλασσόμενα,

ωοειδή, καρδιοειδή, με οξεία κορυφή, παλαμοειδώς λοβωτά με 5-7 λοβούς, οδοντωτά, με ή χωρίς λευκές κηλίδες στην επιφάνειά τους. Τα ελάσματά τους παρουσιάζουν 15 - 25 cm διάμετρο και φέρουν τριχίδια και έντονες εγκοιλώσεις (Yadav et al., 2017).

Η κολοκυθιά είναι φυτό μόνικο και δικλινές (Δημητράκης, 1998). Φέρει πενταμερή άνθη μεγάλου μεγέθους που παράγουν νέκταρ και έχουν έντονο κίτρινο χρώμα (Ratnam et al., 2017). Τα αρσενικά άνθη εμφανίζονται, αρχικά, στη βάση των βλαστών, ενώ στη συνέχεια σε όλο το μήκος τους. Έχουν μακρύ ποδίσκο, 3 ελεύθερους στήμονες και κάλυκα μήκους 5-10 mm. Σε αντίθεση με τα αρσενικά άνθη, τα θηλυκά εμφανίζονται αργότερα, έχουν κοντό ποδίσκο και υποφυή ωοθήκη με δίλοβα στίγματα που μπορούν να επικονιαστούν 24 ώρες μετά το άνοιγμα του θηλυκού άνθους (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Επιπρόσθετα, τα θηλυκά άνθη παρουσιάζουν μεγαλύτερη στεφάνη σε σχέση με τα αρσενικά και είναι αυτά που παράγουν τους καρπούς του φυτού, καθώς τα αρσενικά άνθη παράγουν μόνο τη γύρη (Salehi et al., 2019).

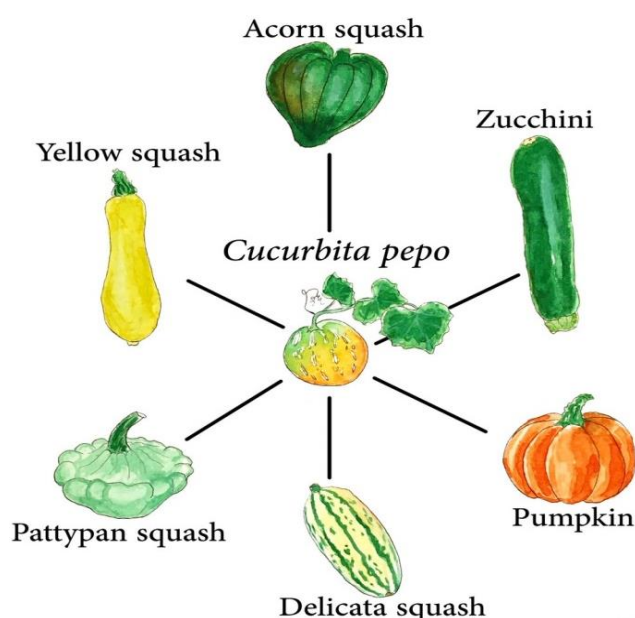


Εικόνα 1.1. Απεικόνιση του φυλλώματος και των ανθέων του είδους *Cucurbita pepo*

Η συχνότητα εμφάνισης των αρσενικών και θηλυκών ανθέων εξαρτάται από την ποικιλία, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη λίπανση. Μειωμένες θερμοκρασίες σε συνδυασμό με υψηλή αζωτούχο λίπανση ευνοούν την εμφάνιση θηλυκών ανθέων (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Στις καλλιεργούμενες ποικιλίες κολοκυθιάς, το μεγάλο ποσοστό εμφάνισης θηλυκών ανθέων αποτελεί βασικό στόχο

καθώς σχετίζεται με την αύξηση των αποδόσεων (Ολύμπιος, 2001). Στις αυξημένες αποδόσεις συντελεί, επίσης, η επικονίαση. Χαμηλά ποσοστά επικονίασης έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό παραμορφωμένων καρπών και τις μειωμένες αποδόσεις. Λόγω του εντομόφιλου χαρακτήρα του φυτού, συνιστάται η τοποθέτηση κυψελών σε κοντινές αποστάσεις από την καλλιέργεια με σκοπό την αύξηση της επικονίασης και κατ' επέκταση της ποιοτικής βελτίωσης των καρπών (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Η κολοκυθιά καλλιεργείται για τον καρπό της, ο οποίος μπορεί να καταναλωθεί από τον άνθρωπο και τα ζώα. Ο καρπός της κολοκυθιάς είναι ράγα και εμφανίζει μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, σχημάτων και μεγεθών. Πιο συγκεκριμένα, οι καρποί εμφανίζονται με λευκό, πορτοκαλί, κίτρινο, ανοιχτό έως σκούρο πράσινο και κιτρινωπό χρώμα. Παρόμοια ποικιλία χρωμάτων εμφανίζει και η σάρκα, η οποία μπορεί να φέρει λευκή, κίτρινη ή πορτοκαλί απόχρωση (Yadav et al., 2017). Αναφορικά με το σχήμα, αυτό μπορεί να είναι ωσειδές, κυλινδρικό, πεπλατισμένο, σφαιρικό ή ελλειψοειδές. Η επιφάνεια του καρπού μπορεί να είναι λεία ή να φέρει εξογκώματα και ραβδώσεις. Εσωτερικά του καρπού υπάρχουν τα σπέρματα, τα οποία κατά κύριο λόγο έχουν μεγάλο μέγεθος, είναι πεπλατισμένα και ελλειψοειδή, με λεία επιφάνεια.



Εικόνα 1.2. Γενετική ποικιλότητα του είδους *Cucurbita pepo* αναφορικά με το σχήμα και χρώμα καρπών

Οι καρποί της κολοκυθιάς μπορούν να συλλεχθούν ώριμοι ή σε πρώιμο στάδιο και να καταναλωθούν μαγειρεμένοι ή ωμοί. Καρποί ορισμένων ποικιλιών μπορούν να

χρησιμοποιηθούν και ως δοχεία αποθήκευσης, λόγω της έντονης σκληρότητας του φλοιού τους (Γιαννούλης, 2020).

1.4. Αγροκλιματικές Συνθήκες

Η κολοκυθιά είναι φυτό καλοκαιρινής περιόδου, το οποίο χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος προκειμένου να αναπτυχθεί ομαλά. Η μέση θερμοκρασία ημέρας που χρειάζεται κυμαίνεται μεταξύ 24 - 30 °C, ενώ αντίστοιχα της νύχτας μεταξύ 15 - 18 °C. Η ελάχιστη βιολογική θερμοκρασία είναι οι 10 - 12 °C, ενώ οι θερμοκρασίες κάτω των 4 °C επιφέρουν αδυναμία επιβίωσης λόγω της μεγάλης ευαισθησίας στο κρύο και στον παγετό. Η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών συνδέεται με τάση για σχηματισμό περισσότερων αρσενικών άνθρων (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Επίσης, ως είδος παρουσιάζει σχετική ευαισθησία στον άνεμο, λόγω της ευκαμψίας των βλαστών.

Αναφορικά με την αντίδραση στο φωτοπεριοδισμό, υπάρχουν ποικιλίες κολοκυθιάς που είναι μακράς ημέρας, ενώ άλλες ουδέτερες. Σήμερα, η πλειοψηφία των υβριδίων και των ποικιλιών που καλλιεργούνται, είναι ουδέτερες στο φωτοπεριοδισμό και δεν επηρεάζονται από το μήκος της ημέρας (Ολύμπιος, 2001).

Το φυτό της κολοκυθιάς μπορεί να προσαρμοστεί και να αναπτυχθεί καλά σε ποικιλία εδαφών. Καταλληλότερα, όμως, θεωρούνται τα εδάφη μέσης σύστασης, γόνιμα, πλούσια σε οργανική ουσία και καλά αποστραγγιζόμενα. Τα ελαφριά, αμμώδη εδάφη προτιμούνται για καλλιέργειες με πρόωμη παραγωγή, ενώ τα βαριά εδάφη θα πρέπει να αποφεύγονται. Αναφορικά με το pH, ως βέλτιστο θεωρείται το εύρος τιμών 6 - 7,5 για την καλύτερη ανάπτυξη του φυτού (Κανάκης, 2004).

Τέλος, το φυτό παρουσιάζει μικρή αντοχή στην αλατότητα, ενώ είναι ευαίσθητο στην τοξικότητα προκαλούμενη από μαγγάνιο και αλουμίνιο (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

1.5. Πολλαπλασιασμός και στάδια ανάπτυξης του φυτού

Το φυτό πολλαπλασιάζεται με σπόρο, ο οποίος είναι επιμήκης και πεπλατυσμένος. Η βλαστική ικανότητα του σπόρου διατηρείται για 3 - 4 έτη, όμως συνιστάται η ανανέωσή του κάθε χρόνο από τον καλλιεργητή (Γιαννούλης, 2020). Η σπορά γίνεται είτε απευθείας στον αγρό είτε σε σπορείο, από τον Μάρτιο – Απρίλιο έως τον Αύγουστο, αναλόγως αν πρόκειται για θερινή ή φθινοπωρινή καλλιέργεια (Ολύμπιος, 2001). Ο σπόρος τοποθετείται σε βάθος 2 cm από την επιφάνεια του εδάφους και σε θέση παράλληλη με αυτό, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα ανάδυσης των φυταρίων (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Εάν μετά τη σπορά το υπόστρωμα ή το έδαφος διατηρήσουν θερμοκρασία γύρω στους 20 – 30 °C, αναμένεται το φύτευμα να γίνει σε 5 – 10 ημέρες. Σε αντίθετη περίπτωση όπου η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 20 °C, παρατηρείται καθυστέρηση του φυτρώματος (Κανάκης, 2004). Σε θερμοκρασίες κάτω των 10 °C, σημειώνεται ανασχεση της βλάστησης του σπόρου (Ολύμπιος, 2001).

Σε περίπτωση που η σπορά πραγματοποιηθεί σε σπορείο, γίνεται η τοποθέτηση των σπόρων σε μικρά φυτοδοχεία ή κύβους εδάφους για περίπου 3 – 5 εβδομάδες και ακολουθεί η εγκατάστασή τους στον αγρό. Για να επιτευχθεί το φύτευμα των σπόρων σε αυτό το χρονικό διάστημα, η θερμοκρασία θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ των 21 - 27 °C την ημέρα και 18 – 22 °C τη νύχτα.

Σε περίπτωση που οι σπόροι φυτευτούν απευθείας στο έδαφος, τοποθετούνται σε αποστάσεις 60 – 80 cm επί της γραμμής και 1 – 1,8 m μεταξύ των γραμμών, δίνοντας μια πυκνότητα της τάξης των 1.000 – 1.500 φυτών / στρέμμα (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Η πυκνότητα φύτευσης επηρεάζει το μέγεθος του καρπού, την απόδοσή του, καθώς και τον αριθμό των καρπών ανά φυτό. Για το είδος *Cucurbita pepo* αναφέρεται ότι τα φυτά που προέρχονται από μεταμοσχευμένο σπόρο, εμφανίζουν μεγαλύτερη στρεμματική απόδοση όταν καλλιεργηθούν στον αγρό και οι καρποί τους έχουν μεγαλύτερο μέγεθος (Bahlgerdi et al., 2014).

Αμέσως μετά τη φύτευση ακολουθεί η άρδευση των φυτών, η οποία επαναλαμβάνεται κάθε εβδομάδα. Η άρδευση είναι ζωτικής σημασίας κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και της καρπόδεσης, ενώ θα πρέπει να ελαχιστοποιείται κατά το στάδιο ωρίμανσης του καρπού (Napier, 2009). Γενικά, για την επίτευξη μεγάλων αποδόσεων το φυτό χρειάζεται αρκετή ποσότητα νερού (300 m³ / στρέμμα),

χωρίς όμως αυτό να κατακρατείται στο έδαφος. Οι υπερβολικές ποσότητες νερού προκαλούν ασφυξία στο ριζικό σύστημα και σκισίματα κατά μήκος του βλαστού.

Το φυτό συνεχίζει την ανάπτυξή του για διάστημα 30 – 60 ημερών από τη στιγμή που πραγματοποιήθηκε η σπορά του, έως ότου συγκομιστούν οι πρώτοι καρποί. Το χρονικό διάστημα μέχρι τη συγκομιδή εξαρτάται από την ποικιλία, την εποχή καλλιέργειας και το επιθυμητό μέγεθος του καρπού. Η διάρκεια της συγκομιδής κυμαίνεται μεταξύ 2 – 3 μηνών και πραγματοποιείται τακτικά όταν ο εκάστοτε καρπός κολοκύθας αποκτήσει εμπορεύσιμο μέγεθος (Χα και Πετρόπουλος, 2014).



Εικόνα 1.3. Στάδια ανάπτυξης του είδους *Cucurbita pepo*

1.6. Χρήσεις

Ο καρπός του είδους *Cucurbita pepo* αποτελεί σημαντικό εμπορικό προϊόν που χρησιμοποιείται ευρέως στη μαγειρική, τη ζαχαροπλαστική και την αρτοποιία (Andolfo et al., 2017). Στην παρασκευή αρτοσκευασμάτων χρησιμοποιούνται, επίσης, και οι σπόροι του φυτού, οι οποίοι εμφανίζουν μεγάλη περιεκτικότητα σε έλαια (35 %). Η κολοκύθα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπλέον στη φαρμακευτική και στην κοσμετολογία λόγω των χημικών της ιδιοτήτων, αλλά και για διακοσμητικούς σκοπούς λόγω της εντυπωσιακής της εμφάνισης.

1.6.1. Θρεπτική αξία

Η θρεπτική αξία της κολοκύθας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την σύστασή της σε νερό, υδατάνθρακες, λιπίδια, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα και βιταμίνες. Η περιεκτικότητα σε νερό κυμαίνεται μεταξύ του 80 – 95 %, ενώ αυτή των πρωτεϊνών

και των λιπιδίων βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (περίπου 2 %). Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, σε μεγαλύτερες ποσότητες εμφανίζονται το κάλιο, το μαγνήσιο και το ασβέστιο (Γιαννούλης, 2020).

Η θρεπτική αξία των καρπών παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ανάλογα με το είδος τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η θερινή κολοκύθα, που συγκομίζεται ανώριμη, παρουσιάζει χαμηλότερη θρεπτική αξία συγκριτικά με τη χειμερινή, η οποία έχει περισσότερες θερμίδες και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε βιταμίνη A (Rubatzky et al., 1997). Γενικά, αναφέρεται ότι η ποσότητα θερμίδων σε 100 g καρπού κολοκύθας ανέρχεται περίπου στα 80 Kcal, ενώ οι ακατέργαστες φυτικές ίνες βρίσκονται περίπου στο 11,46 % (Martha et al., 2016).

Πίνακας 1.2. Περιεκτικότητα θρεπτικών συστατικών που περιέχονται σε 100 g νωπού καρπού κολοκύθας

Συστατικό	Περιεκτικότητα	Συστατικό	Περιεκτικότητα
Υδατάνθρακες	2,65 - 48,4 %	Na	159 mg / kg
Πρωτεΐνες	0,2 – 15,5 %	P	11,38 mg / kg
Λίπη	0,055 – 0,18 %	Fe	1,37 mg / kg
Νερό	80 – 95 %	Mn	0,5 mg / kg
Ca	179 mg / kg	K	160 mg / kg
Mg	190 mg / kg	Βιταμίνη C	12 – 17 mg / kg
Ni	0,5 mg / kg	Βιταμίνη E	0,12 mg / kg

1.6.2. Φυτοχημικά χαρακτηριστικά

Οι καρποί και οι σπόροι κολοκύθας αποτελούν φυσική πηγή πολύτιμων βιοενεργών συστατικών που θεωρούνται σημαντικά για την ανθρώπινη υγεία. Σε αυτά τα συστατικά συγκαταλέγονται διάφοροι πολυσακχαρίτες, οξέα, στερόλες και πεπτίδια (Caili et al., 2006).

Καρποί: Οι καρποί του φυτού αποτελούν καλή πηγή καροτενοειδών και γ-αμινοβουτυρικού οξέος (GABA), το οποίο δρα στο νευρικό σύστημα των θηλαστικών και λειτουργεί ως φυσικό ηρεμιστικό (Murkovic et al., 2002). Επιπλέον, οι καρποί είναι πλούσιοι σε ενώσεις με υψηλή θρεπτική αξία, υδατάνθρακες, αμινοξέα, λιπαρά οξέα και μέταλλα (Mi et al., 2012).

Σπόροι: Οι σπόροι της κολοκύθας είναι πλούσιοι σε φυτοστερόλες, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, βιταμίνες, καροτενοειδή και τοκοφενόλες. Η περιεκτικότητα του κολοκυθόσπορου σε λιπαρά οξέα παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.3. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα αποτελούν το 19,35 %, ενώ τα ακόρεστα το 80,65 % της συνολικής ποσότητας (Smith, 1997).

Πίνακας 1.3. Περιεκτικότητα του κολοκυθόσπορου σε λιπαρά οξέα

Είδος οξέος	Περιεκτικότητα	Είδος οξέος	Περιεκτικότητα
Παλμιτικό οξύ	10,68%	Λινολεϊκό οξύ	39,84%
Στεατικό οξύ	8,67%	Λινολενικό οξύ	0,68%
Ελαϊκό οξύ	38,42%	Γαδολεϊκό οξύ	1,14%

Παράλληλα, από το σπόρο της κολοκύθας έχουν απομονωθεί κι άλλες ενώσεις, όπως η λουτεΐνη, η α- και β- καροτίνη, η λουτεοξανθίνη, η βιολακανθίνη κλπ (Rabrenovi et al., 2013). Στερόλες όπως η Δ- στιγμαστατριενόλη και η Δ- σπιναστερόλη βρίσκονται σε άφθονες ποσότητες στο σπόρο φτάνοντας τα 18,8 – 35,1 g/ 100 g και τα 18,22 g/ 100 g της συνολικής περιεκτικότητας, αντίστοιχα. Σε μεγάλη συγκέντρωση (583,2 - 747 mg/ 100 g) υπάρχει, επίσης, το σκουαλένιο, το οποίο αποτελεί τερπένιο που παράγεται τόσο από τα φυτά όσο και από τα ζώα και τον άνθρωπο. Το σκουαλένιο αποτελεί πρόδρομη ένωση των στεροειδών ορμονών και της χοληστερόλης, ενώ βρέθηκε να έχει θετικές επιδράσεις και στην καταπολέμηση του καρκίνου (Martha et al., 2016).

Φύλλα: Στα φύλλα της κολοκυθιάς έχει εντοπιστεί ένα εύρος δευτερογενών μεταβολιτών, φλαβονοειδή, αλκαλοειδή και φυτοστερόλες. Επίσης, απαντώνται ποσότητες ταννινών, σταθεροποιημένων ελαίων και αμινοξέων (Kalaiselvi et al., 2016).

Άνθη: Τα άνθη της κολοκυθιάς περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινολικών ενώσεων. Συγκεκριμένα, οι πολυφαινόλες κυμαίνονται μεταξύ 0,054 - 0,297 g/ g ξηρής βιομάζας, αναλόγως των συνθηκών εκχύλισης και του φύλου των ανθέων (Tarhan et al., 2007). Μεταξύ των ενώσεων τυροσόλη, λουτεολίνη, φερουλικό οξύ, βανιλικό οξύ

και βανιλίνη που περιέχονται στα άνθη, η τυροσόλη υπάρχει σε μεγαλύτερη ποσότητα (1,58 - 17,69 mg / kg) (Andjelkovic et al., 2010).

1.6.3. Φαρμακευτικές ιδιότητες

Παρ' όλο που η κολοκύθα χρησιμοποιείται κυρίως ως μέρος της διατροφής, έχουν εντοπιστεί σε αυτή διάφορα βιοενεργά χημικά συστατικά με φαρμακευτική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόληψη ή τη θεραπεία προβλημάτων υγείας.

Θεραπεία διαβήτη: Ο καρπός της κολοκύθας, και συγκεκριμένα το ακατέργαστο υδατικό του εκχύλισμα, φαίνεται να είναι αποτελεσματικό σε ανθρώπους που πάσχουν από διαβήτη τύπου 2 ή μη ινσουλινοεξαρτώμενο σακχαρώδη διαβήτη (Kwon et al., 2007). Σε ερευνητικά προγράμματα που πραγματοποιήθηκαν τόσο με διαβητικούς ασθενείς όσο και με υπεργλυκαιμικά κουνέλια βρέθηκε ότι η κολοκύθα προκάλεσε οξεία υπογλυκαιμική δραστηριότητα, δηλαδή μείωση της συγκέντρωσης του σακχάρου στο αίμα (Andrade-Cetto et al., 2005). Αυτή η ιδιότητα της κολοκύθας αφορά κυρίως άτομα με ήπιο διαβητικό πρόβλημα ή προσωρινή υπεργλυκαιμία, και όχι τους βαριά διαβητικούς ασθενείς (Xia et al., 2005).

Αντιοξειδωτική δράση: Το οξειδωτικό στρες θεωρείται χαρακτηριστικό γνώρισμα διάφορων χρόνιων παθήσεων, όπως ο διαβήτης, η καρδιαγγειακή νόσος, ο καρκίνος και η παχυσαρκία. Το εκχύλισμα της κολοκύθας λόγω της αντιοξειδωτικής του δράσης και της σημαντικής περιεκτικότητάς του σε βιταμίνη E, επηρεάζει θετικά άτομα με αγγειακές βλάβες και με υψηλή συγκέντρωση σακχαρώζης στο αίμα τους (Imaeda et al., 1999).

Αντικαρκινική δράση: Οι διάφορες καροτενοειδείς χρωστικές που περιέχονται στον ελαιούχο σπόρο της κολοκύθας σχετίζονται με πιθανά οφέλη στην υγεία λόγω των αντικαρκινικών τους ιδιοτήτων (Jian et al., 2005). Σε εργαστηριακές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, απομονώθηκαν πρωτεΐνες διαφόρων ειδών και λειτουργιών και συσχετίστηκαν με την αναστολή ανάπτυξης λευχαιμικών κυττάρων, την αναστολή πολλαπλασιασμού μελανώματος και, τέλος, την εμφάνιση ισχυρής κυτταροτοξικότητας έναντι των καρκινικών κυττάρων (Cheong et al., 1997).

Αντιμικροβιακή δράση: Η κολοκύθα φαίνεται να παρουσιάζει ευρύ φάσμα αντιμικροβιακών συστατικών. Το έλαιο της κολοκύθας αναστέλλει τη δράση αρκετών βακτηρίων και μυκήτων που προκαλούν διαταραχές στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως τα *Acinetobacter baumannii*, *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* και *Staphylococcus aureus* (Hammer et al., 1999). Η αναστολή της μικροβιοακής δράσης προκαλείται από ορισμένες πρωτεΐνες και πεπτίδια, χωρίς να προκύπτει τοξικότητα για τα ανθρώπινα ερυθροκύτταρα (Park et al., 2010).

Άλλες φαρμακευτικές δράσεις: Τα φυτικά συμπληρώματα διατροφής από κολοκύθα παρουσιάζουν αναλγητική και αντιφλεγμονώδη δράση ανακουφίζοντας από προβλήματα, όπως η αρθρίτιδα, ενώ οι σπόροι της βοηθούν σε προβλήματα του ουροποιητικού συστήματος (Fahim et al., 1995). Επιπλέον, η κολοκύθα έχει αντικαταθλιπτικές ιδιότητες λόγω της περιεχόμενης L-τροπτοφάνης στους σπόρους, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής σεριτονίνης του οργανισμού (Eagles, 1990). Η κολοκύθα, τέλος, παρουσιάζει και καλλυντικές εφαρμογές, αφού αποτελεί συστατικό διαφόρων κρεμών προσώπου και σώματος, καθώς και ελαίων.

1.7. Εχθροί και Ασθένειες

Η καλλιέργεια της κολοκυθιάς παρουσιάζει ευαισθησία σε διάφορους εχθρούς και ασθένειες, με αποτέλεσμα να προκύπτουν απώλειες στην παραγωγή και κατ' επέκταση στις οικονομικές απολαβές του καλλιεργητή.

Μια από τις σημαντικότερες ασθένειες που προσβάλλουν το είδος *Cucurbita pepo* είναι το ωίδιο που οφείλεται στο μύκητα *Erysiphe cichoracearum*. Ο μύκητας προκαλεί ανοιχτόχρωμες κηλίδες στην επιφάνεια του φυλλώματος, οι οποίες στη συνέχεια επεκτείνονται. Για την καταπολέμηση γίνεται χρήση χαλκούχων συσκευασμάτων, ενώ για την πρόληψη της ασθένειας χρησιμοποιούνται εξαρχής ανθεκτικές ποικιλίες. Παρόμοια συμπτωματολογία εμφανίζει και ο μύκητας *Sphaerotheca fuliginea* (Leibovich et al., 1993).

Η κολοκυθιά μπορεί να προσβληθεί, επίσης, από περονόσπορο, ο οποίος προκαλείται από τον μύκητα *Pseudoperonospora cubensis* (Zitter et al., 1996). Ο μύκητας δημιουργεί ελαιώδεις κηλίδες στα άκρα των φύλλων και αργότερα στους καρπούς. Η

καταπολέμησή του γίνεται με καλλιεργητικά μέτρα που στοχεύουν στη μείωση της υγρασίας, καθώς και με την εφαρμογή χαλκούχων σκευασμάτων.

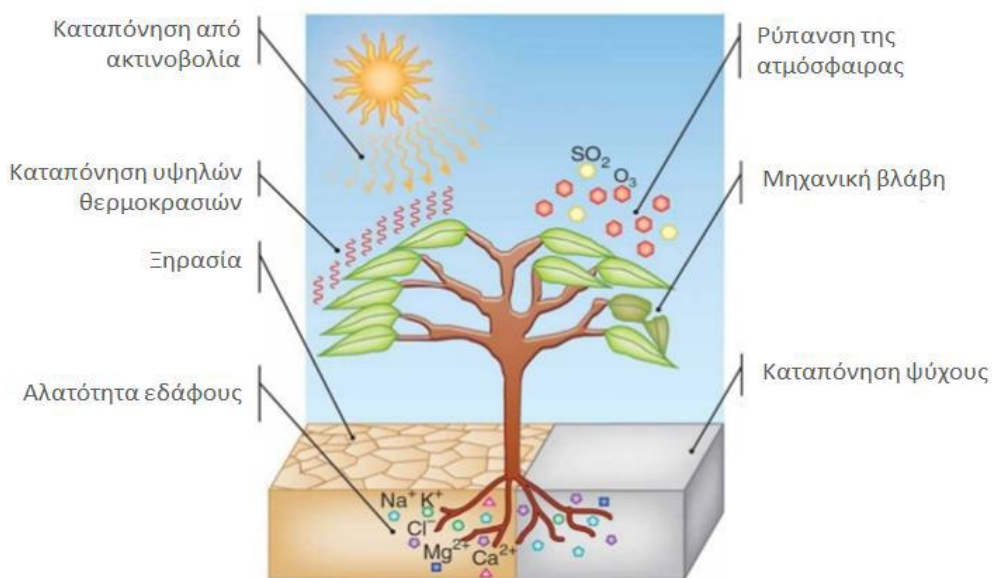
Τέλος, η κολοκυθιά προσβάλλεται από τους μύκητες *Pythium sp.* και *Rhizoctonia solani* που προκαλούν σήψεις, από τον *Botrytis cinerea* που προσβάλλει όλα τα μέρη του φυτού και το *Fusarium oxysporum*, το οποίο μαζί με τον μύκητα *Verticillium dahliae* προκαλούν αδρομυκώσεις. Οι παραπάνω μύκητες μπορούν να καταπολεμηθούν με την εφαρμογή ορθών καλλιεργητικών πρακτικών και τη χρήση μυκητοκτόνων, ενώ συνιστάται προληπτικά η απολύμανση των χρησιμοποιούμενων σπόρων κολοκυθιάς και η ηλιοαπολύμανση του εδάφους.

Στους ζωικούς εχθρούς που προσβάλλουν την κολοκυθιά συγκαταλέγονται κυρίως τα ακάρεα, οι αφίδες και τα σκαθάρια. Συγκεκριμένα, σε καλλιέργειες κολοκυθιάς εντοπίζεται συχνά το είδος *Trialeurodes vaporariorum*, το οποίο προκαλεί κιτρινωπούς μεταχρωματισμούς στα φύλλα. Η αντιμετώπισή του γίνεται είτε βιολογικά με τη χρήση του παρασίτου *Encarsia Formosa* είτε με τον ψεκάσμο εντομοκτόνων. Η εμφάνιση φαγωμένων φύλλων και ανθέων συνδέεται με την ύπαρξη των σκαθαριών *Acalymma vittata*. Τα έντομα αυτά, εκτός από το φάγμα του φυλλώματος, είναι υπεύθυνα και για τη μεταφορά ιών και βακτηρίων στο φυτό. Για την καταπολέμησή τους, χρησιμοποιούνται ανταγωνιστικά προς αυτά έντομα ή εντομοκτόνα (Salehi et al., 2019) .

1.8. Αβιοτικές Καταπονήσεις

Συχνά στο φυσικό περιβάλλον τα φυτά υπόκεινται σε διάφορους παράγοντες καταπόνησης που περιορίζουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητά τους. Οι παράγοντες αυτοί διακρίνονται σε βιοτικούς και αβιοτικούς. Στους βιοτικούς παράγοντες καταπόνησης συγκαταλέγονται διάφορα παθογόνα βακτήρια, μύκητες, ιοί, παράσιτα, έντομα και τρωκτικά. Αντιθέτως, στους αβιοτικούς περιλαμβάνονται διάφοροι εδαφοκλιματικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία (υψηλή ή χαμηλή), η σχετική υγρασία, η υψηλή αλατότητα, το φως, η ακτινοβολία, η διαθεσιμότητα νερού (ανεπάρκεια ή υπερεπάρκεια) και θρεπτικών συστατικών (έλλειψη ή τοξικότητα), οι ρύποι του περιβάλλοντος, η περιεκτικότητα του εδάφους σε βαρέα μέταλλα κλπ.

Οι αβιοτικοί παράγοντες καταπόνησης χαρακτηρίζονται από μεγάλη παραλλακτικότητα όσον αφορά την ένταση και τη διάρκεια της επίδρασής τους στο φυτό (Bray et al., 2000). Ακραίες καταπονήσεις με μεγάλη διάρκεια προκαλούν αλλαγές στο μεταβολισμό των φυτών και επιφέρουν σταδιακά την αδυναμία ανάπτυξης και επιβίωσής τους (Rao, 2006). Συγκεκριμένα, έναν ιδιαίτερα επιζήμιο παράγοντα καταπόνησης αποτελεί η υψηλή αλατότητα, διότι είναι ικανή να προκαλέσει στο φυτό διάφορες αντιδράσεις που σχετίζονται με τα βιοχημικά του χαρακτηριστικά, τη φυσιολογία και τη μορφολογία του (Σκουφογιάννη, 2018).



Εικόνα 1.4. Οι αβιοτικές καταπονήσεις με τις οποίες έρχονται αντιμέτωποι οι φυτικοί οργανισμοί στο φυσικό περιβάλλον

1.8.1. Καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Η ύπαρξη υψηλής ποσότητας άλατος στο περιβάλλον της ρίζας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης που περιορίζει την ανάπτυξη ενός φυτού και κατ' επέκταση την παραγωγικότητά του. Ενώ τα αλατούχα εδάφη εμφανίζονται σε όλες σχεδόν τις κλιματικές ζώνες, το πρόβλημα είναι εντονότερο στις άνυδρες και ημίξηρες περιοχές όπου δυσχεραίνεται η έκπλυση των υδάτων, επιφέροντας έντονη συσσώρευση των αλάτων (Fageria et al., 2010).

Η αλατότητα ορίζεται από τη διαμόρφωση του χαμηλού δυναμικού του νερού στο εδαφικό διάλυμα λόγω της υψηλής ύπαρξης ιόντων Na^+ και Cl^- . Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, οι συνθήκες αλατότητας μπορούν να δημιουργηθούν και από την

ύπαρξη κάποιων επιπλέον εδαφικών ιόντων, όπως των Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} και HCO_3^- (Sonneveld, 2009). Η καταπόνηση προκαλούμενη από την αλατότητα οφείλεται στις δυσμενείς συνθήκες που επικρατούν τόσο στην περιοχή της ριζόσφαιρας όσο και στον ίδιο τον φυτικό οργανισμό.

Στην περιοχή της ριζόσφαιρας, η ύπαρξη μεγάλων ποσοστών αλάτων προκαλεί υποβάθμιση των εδαφικών χαρακτηριστικών και σηματοδοτεί προβλήματα αερισμού και αγωγιμότητας. Η μακροχρόνια άρδευση με νερό αυξημένης συγκέντρωσης Na^+ προκαλεί αντικατάσταση των ιόντων Ca^{2+} από τα ιόντα Na^+ , μειώνοντας το βαθμό συσσωμάτωσης και διαπερατότητας των εδαφικών κολλοειδών (Rengasamy et al., 1999). Λόγω των υψηλών ιοντικών συγκεντρώσεων στο εδαφικό διάλυμα, δημιουργείται χαμηλό υδατικό δυναμικό που συντελεί στην αδυναμία απορρόφησης επαρκούς ποσότητας νερού από το φυτό και κατ' επέκταση στην ύπαρξη συνθηκών υδατικής καταπόνησης (οσμωτική καταπόνηση). Τέλος, η υψηλή αλατότητα μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στο μικροβίωμα της ριζόσφαιρας, αφού επηρεάζει τη σύναψη συμβιωτικών σχέσεων. Ωστόσο, μικροοργανισμοί ανθεκτικοί στην αλατότητα μένουν ανεπηρέαστοι και έχουν ωφέλιμη επίδραση στα φυτά (Yuan et al., 2019).

Σε επίπεδο φυτικού οργανισμού, η υψηλή αλατότητα επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία των φυτικών κυττάρων και ιστών λόγω της έλλειψης νερού και της προκαλούμενης τοξικότητας από τα ιόντα Na^+ και Cl^- . Η ύπαρξη των ιόντων αυτών δρά ανταγωνιστικά και παρεμποδίζει την απορρόφηση των άλλων απαραίτητων στοιχείων από το έδαφος. Η συσσώρευση των ιόντων Na^+ και Cl^- στα χυμοτόπια διαταράσσει χημικά το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον του κυττάρου, ενώ η περίσσεια Na^+ προκαλεί ανωμαλίες συσχετιζόμενες με την περατότητα των κυτταρικών μεμβρανών και την καταλυτική δράση βασικών ενζύμων (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Επιπλέον, η ύπαρξη των ιόντων Na^+ και Cl^- προκαλεί το κλείσιμο των στομάτων των φύλλων, με αποτέλεσμα την έλλειψη CO_2 και κατ' επέκταση τη δυσλειτουργία της φωτοσύνθεσης. Η παρεμπόδιση της φωτοσυνθετικής λειτουργίας οδηγεί στη συσσώρευση ενεργών μορφών οξυγόνου και συνεπώς στην οξειδωτική καταπόνηση του φυτικού οργανισμού (Καραμπουρνιώτης et al., 2021).

Με βάση τα χαρακτηριστικά προσαρμογής στην αλατότητα, τα φυτά διακρίνονται στα αλόφυτα και στα γλυκόφυτα. Τα αλόφυτα έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ($> 200 \text{ mM NaCl}$), καθώς διαθέτουν μηχανισμούς που αμβλύνουν τις επιπτώσεις του άλατος στον φυτικό οργανισμό ή ακόμα και ευνοούνται από την ύπαρξή του. Αντίθετα, τα γλυκόφυτα παρουσιάζουν μείωση της ανάπτυξής τους όταν το ποσοστό αλατότητας υπερβεί τα κρίσιμα όρια του εκάστοτε φυτικού είδους, ενώ στα πιο ευαίσθητα είδη μπορούν να προκληθούν ανεπανόρθωτες φυσιολογικές βλάβες ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις άλατος ($< 50 \text{ mM NaCl}$). (Καραμπουριώτης et al., 2021). Γενικά, τα αλόφυτα αποτελούν περίπου το 1 % της χλωρίδας του πλανήτη, με τα δικότυλα είδη να εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, σε αντίθεση με τα γλυκόφυτα τα οποία αποτελούν το 99 % των φυτών παγκοσμίως. Ωστόσο, και οι δύο αυτές κατηγορίες εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις στην αντιμετώπιση της αλατότητας (Καραμπουριώτης et al., 2012).

1.8.2. Στρατηγικές αντιμετώπισης της καταπόνησης υψηλής αλατότητας

Οι φυτικοί οργανισμοί έχουν αναπτύξει τρεις στρατηγικές αντιμετώπισης της καταπόνησης υψηλής αλατότητας προκειμένου να εξασφαλίσουν την επιβίωσή τους στις αντίξοες συνθήκες. Αυτές τις στρατηγικές αποτελούν η διαφυγή, η αποφυγή και η ανθεκτικότητα.

Διαφυγή: Η στρατηγική αυτή επιλέγεται από φυτά ετήσια, που ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο ενώ υπάρχουν οι ευνοϊκές γι' αυτά συνθήκες περιβάλλοντος, χωρίς την ύπαρξη των παραγόντων καταπόνησης. Στην περίπτωση της υψηλής αλατότητας, η στρατηγική αυτή επιλέγεται από γλυκόφυτα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στα άλατα και αδυνατούν να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο ακόμα κι αν τα εδάφη περιέχουν χαμηλά επίπεδα αλάτων (Καραμπουριώτης et al., 2012).

Αποφυγή: Τα φυτά που επιλέγουν τη συγκεκριμένη στρατηγική αποτελούν τους «ρυθμιστές αλατότητας» και απαγορεύουν την είσοδο των ιόντων Na^+ και Cl^- στο εσωτερικό των ευαίσθητων, φωτοσυνθετικών κυττάρων τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των ακόλουθων μηχανισμών:

- Παρεμπόδιση εισόδου των αλάτων στο εσωτερικό περιβάλλον του φυτού με την απόκλισή τους στο εξωτερικό περιβάλλον της ρίζας
- Είσοδος των ιόντων Na^+ και Cl^- στον φυτικό οργανισμό και ακολούθως έκκρισή τους από τους εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες του φυλλώματος
- Απορρόφηση των αλάτων από τις ρίζες και συσσώρευσή τους στο ξυλώδες παρέγχυμα της ρίζας, των μίσχων των φύλλων ή του βλαστού, αποφεύγοντας τη μεταφορά του στα κύτταρα του μεσόφυλλου. Σε περίπτωση που τα επίπεδα του άλατος είναι πολύ υψηλά, γίνεται προσπάθεια ανακυκλοφορίας τους μεταξύ του υπέργειου και του υπόγειου τμήματος του φυτού.

Για τον αποκλεισμό των ιόντων Na^+ και Cl^- από τα ευαίσθητα φυτικά κυττάρια είναι απαραίτητη η κατανάλωση ενέργειας (Καραμπουριώτης et al., 2021).

Ανθεκτικότητα: Τα φυτά που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη στρατηγική αποτελούν τους «συσσωρευτές άλατος» και έχουν την ικανότητα ανάπτυξης ακόμα και σε εδάφη με υψηλή συγκέντρωση ιόντων. Η επιβίωση των φυτών στηρίζεται στη συσσώρευση των ιόντων Na^+ και Cl^- στα χυμοτόπια, ενώ στο κυτταρόπλασμα οι συγκεντρώσεις παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η απαραίτητη διαφορά δυναμικού ώστε να επιτευχθεί η άντληση νερού από το εδαφικό διάλυμα.

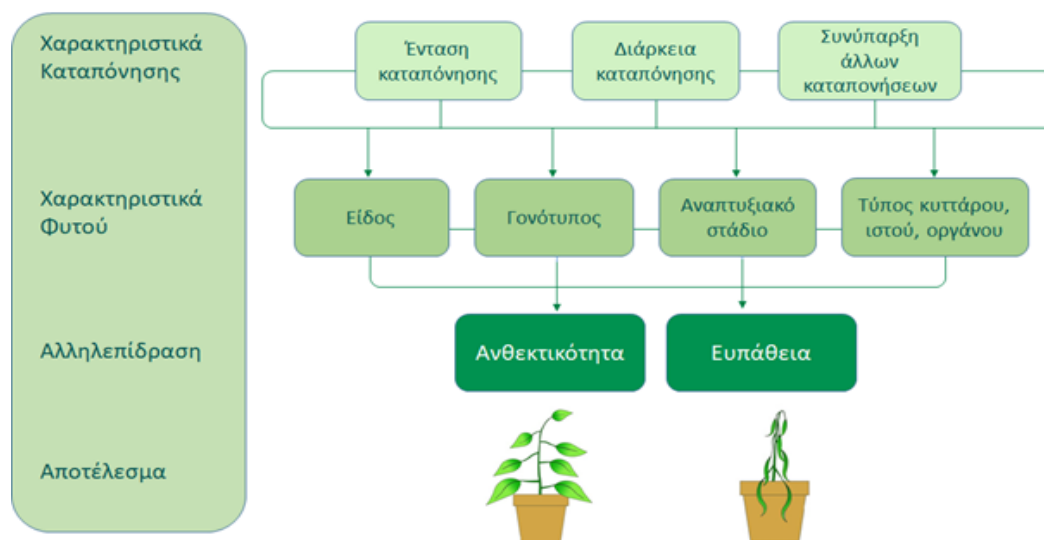
Πολύ χαμηλά επίπεδα οσμωτικού δυναμικού του χυμοτοπίου μπορούν να προκαλέσουν αφυδάτωση του κυτταροπλάσματος και συνεπώς τη νέκρωση του φυτικού κυττάρου, με αποτέλεσμα να καθίστανται απαραίτητοι οι μηχανισμοί οσμωτικής εξισορρόπησης μεταξύ χυμοτοπίων και κυτταροπλάσματος. Ο μηχανισμός αυτός απαιτεί οσμωλύτες συμβατούς με τον μεταβολισμό του κυττάρου, οι οποίοι θα ρυθμίζουν, θα προστατεύουν τα ευαίσθητα μόρια και παράλληλα θα δρουν ως αντιοξειδωτικά, εξουδετερώνοντας τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου.

Ο μηχανισμός της ωσμωρύθμισης γίνεται τόσο στα αλόφυτα όσο και στα γλυκόφυτα. Η διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών έγκειται στην αδυναμία των γλυκόφυτων να αναπτύξουν μεγάλο αριθμό συμβατών οσμωλυτών και κατ' επέκταση μεγαλύτερες τιμές οσμωτικού δυναμικού, σε αντίθεση με τα αλόφυτα. Στην περίπτωση των γλυκόφυτων, η παρουσία των συμβατών οσμωλυτών φαίνεται να εξυπηρετεί περισσότερο στην προστασία της τριασδιάστατης μορφής των πρωτεϊνών.

1.8.3. Εγκλιματισμός και προσαρμογή των φυτών

Οι φυτικοί οργανισμοί όταν βρεθούν σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, ενεργοποιούν τους μηχανισμούς εγκλιματισμού και προσαρμογής που διαθέτουν, ώστε να μπορέσουν να διατηρήσουν τη βιολογική τους δραστηριότητα και να επιβιώσουν. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν δομικές, λειτουργικές και μορφολογικές τροποποιήσεις, οι οποίες όταν εμφανίζονται μέσω της διαδικασίας της επιλογής για ένα διάστημα πολλών γενεών περιγράφονται με τον όρο «προσαρμογή», ενώ όταν οι αλλαγές αυτές είναι επίκτητες και αφορούν ένα μόνο φυτικό οργανισμό χρησιμοποιείται ο όρος «εγκλιματισμός».

Η διαμόρφωση της ικανότητας ή μη του φυτικού οργανισμού να ανταπεξέλθει στην καταπόνηση εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων που σχετίζονται τόσο με τον ίδιο τον παράγοντα καταπόνησης όσο και με τον εκάστοτε φυτικό οργανισμό. Συγκεκριμένα, η ένταση του παράγοντα καταπόνησης, η χρονική διάρκεια αυτού και η επικράτηση πρόσθετων παραγόντων καταπόνησης μπορούν να επηρεάσουν ή να διαφοροποιήσουν τον τρόπο αντίδρασης του κάθε φυτού. Ο τρόπος που θα ανταπεξέλθει ο κάθε φυτικός οργανισμός εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά που φέρει, όπως το είδος του ιστού ή του οργάνου που καταπονείται, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και το γονότυπό του. Σε περίπτωση που το φυτό προσαρμοστεί ή εγκλιματιστεί στις συνθήκες του δυσμενούς περιβάλλοντος εφαρμόζοντας τις κατάλληλες στρατηγικές, θα μπορέσει να επιβιώσει και να αναπτυχθεί, ενώ σε αντίθετη περίπτωση επέρχεται αδυναμία επιβίωσης του φυτού.



Εικόνα 1.5. Παράγοντες και μηχανισμοί που επηρεάζουν την ικανότητα αντιμετώπισης ενός παράγοντα καταπόνησης από έναν φυτικό οργανισμό

Η αντίληψη της καταπόνησης αλατότητας πραγματοποιείται μέσω μηχανικών και ιοντικών ερεθισμάτων, όπως των μεμβρανικών πρωτεϊνών SOS (Salt- Overly-Sensitive), οι οποίες δρουν ρυθμιστικά, αντιλαμβάνονται και διαβιβάζουν το σήμα της καταπόνησης στο κύτταρο. Κατόπιν, ακολουθεί μια σειρά χημικών αντιδράσεων που στοχεύει στη λειτουργική και δομική τροποποίηση του φυτικού οργανισμού, που είναι αναγκαία για την επιβίωσή του. Συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική διάταξη του ριζικού συστήματος τροποποιείται, παρεμποδίζοντας την αύξηση της κεντρικής ρίζας και ευνοώντας την ανάπτυξη των πλευρικών ριζών, λόγω της ανακατανομής της αυξίνης και της απώλειας του ακραίου μεριστώματος. Παράλληλα, γίνεται η σύνθεση ορισμένων πρωτεϊνών, όπως των οσμωτινών, οι οποίες φαίνεται να έχουν αμυντικό και προστατευτικό ρόλο για το φυτικό κύτταρο.

Έναν ακόμα μηχανισμό προσαρμογής που χρησιμοποιούν τα φυτικά είδη για την προστασία τους από τα υψηλά επίπεδα αλάτων αποτελεί ο σχηματισμός παχύφυτων φύλλων, για την εξουδετέρωση των περίσσειων τοξικών ιόντων. Ο παχυμορφισμός αποτελεί χαρακτηριστικό εγκλιματισμού ή προσαρμογής του φυτού, ο οποίος επιτρέπει στα φύλλα να αναπτύσσουν παχύτερο μεσόφυλλο και να αποθηκεύουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Με την επιπρόθετη ποσότητα ύδατος προκαλείται η αραίωση των τοξικών αλάτων εντός του φυτικού οργανισμού και συνεπώς το υδατικό δυναμικό διατηρείται σε ανεκτά επίπεδα.

1.8.4. Συμπτώματα της καταπόνησης υψηλής αλατότητας στα φυτά

Η περίσσεια άλατος στο εδαφικό διάλυμα εκδηλώνεται αρχικά μέσω του μαρασμού των φύλλων, ως συνέπεια της οσμωτικής καταπόνησης. Οι επιπτώσεις της αλατότητας αυξάνονται περαιτέρω αν ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα άρδευσης, καθώς η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα θα αυξηθεί σημαντικά επηρεάζοντας αρνητικά τη βιολογική δραστηριότητα του φυτού.

Σε περίπτωση αρχικής εγκατάστασης των φυτών σε αλατούχο έδαφος, τα συμπτώματα της καταπόνησης ξεκινούν με την αναστολή ανάπτυξης όλων των φυτικών οργάνων, τα οποία γίνονται σκληρότερα και μικρότερα σε μέγεθος λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε νερό. Επιπλέον, αν η ποσότητα του περιεχόμενου άλατος υπερβεί τα επιτρεπτά όρια του φυτού, παρουσιάζονται χλωρώσεις στο

φύλλωμά του, ξηράνσεις περιφερειακά των παλαιότερων φύλλων, καθώς και νέκρωση των κορυφών, λόγω της προκαλούμενης τοξικότητας (Niu et al., 2019).

Η συσσώρευση των τοξικών ιόντων στο έδαφος συμβάλλει στη διατάραξη της ισορροπίας με τα ανόργανα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη θρέψη του φυτικού οργανισμού. Τα ιόντα Na^+ και Cl^- δυσχεραίνουν την πρόσληψη, μεταφορά και αφομοίωση των υπόλοιπων απαραίτητων για το φυτό ιόντων φωσφόρου, ασβεστίου, καλίου και νιτρικού ιόντος, λόγω ανταγωνιστικότητας, επιφέροντας αρνητικές επιπτώσεις στο φυτό (Machado et al., 2017).

1.8.5. Αντιμετώπιση της καταπόνησης

Η στρατηγική αντιμετώπισης της καταπόνησης υψηλής αλατότητας προϋποθέτει την εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης που αποσκοπεί αφενός στην ελάττωση της συγκέντρωσης των αλάτων στο έδαφος και αφετέρου στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των φυτών. Η περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε άλατα μπορεί να περιοριστεί σημαντικά με τη σωστή χρήση των συστημάτων άρδευσης, την καλή ποιότητα του νερού και την καλή στράγγιση του εδάφους, ώστε να διατηρείται η υγρασία σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Σε επίπεδο φυτικού οργανισμού, η καταπόνηση μπορεί να αντιμετωπιστεί επαρκώς με τους παρακάτω τρόπους:

- Χρήση ανθεκτικών ποικιλιών ή ειδών με αυξημένη ανθεκτικότητα στα υψηλά επίπεδα άλατος. Αποτελεί καλή επιλογή για όλα τα αλατούχα εδάφη ή τα εδάφη που αρδεύονται με νερό υψηλής αγωγιμότητας (Loconsole et al., 2019).
- Απολύμανση των σπερμάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για καλλιέργεια με διαλύματα αλάτων ή οργανικών ουσιών, αποσκοπώντας στην ενίσχυση της ανθεκτικότητάς τους στην αλατότητα. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς τα σπέρματα υπόκεινται σε διαδικασία «ευαισθητοποίησης / γόμωσης» (priming) και εγκλιματίζονται στις συνθήκες αλατότητας (Pirasteh et al., 2020)
- Συγκαλλιέργεια αλόφυτων με φυτά ευαίσθητα στην αλατότητα. Η συγκεκριμένη ενέργεια μετριάξει τις αρνητικές επιπτώσεις στα ευαίσθητα

φυτά, αφού τα άλατα τείνουν να συσσωρεύονται στα αλόφυτα, μειώνοντας τη συγκέντρωσή τους στο υπόλοιπο εδαφικό διάλυμα (Graifenberg et al., 2003).

- Εμβολιασμός με ωφέλιμους μικροοργανισμούς ανθεκτικούς στην αλατότητα. Η χρήση ανθεκτικών μυκορριζών οδηγεί σε βελτίωση της διαθεσιμότητας νερού, αύξηση της συγκέντρωσης K^+ και μείωση της συγκέντρωσης Na^+ . Επιπλέον, οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί επάγουν τη σύνθεση συμβατών οσμωλυτών που βοηθούν στην ανάπτυξη και επιβίωση του φυτού σε συνθήκες καταπόνησης (Munns et al., 2015).
- Στην περίπτωση των υδροπονικών καλλιεργειών, η καταπόνηση αλατότητας μπορεί να μετριαστεί με την αύξηση των συγκεντρώσεων Ca^{2+} και K^+ στο θρεπτικό διάλυμα (Zhang et al., 2016).

1.8.6. Θετικές επιδράσεις της καταπόνησης υψηλής αλατότητας

Μέτρια επίπεδα αλατότητας ενδέχεται να επιφέρουν θετικά αποτελέσματα στην ποιότητα, το άρωμα και τη γεύση καρπών από ορισμένα φυτικά είδη, μεταξύ των οποίων και η κολοκύθα. Συγκεκριμένα, μέτριο ποσοστό αλατότητας στο εδαφικό διάλυμα προκαλεί αύξηση των αντιοξειδωτικών συστατικών, ορισμένων πτητικών ενώσεων συσχετιζόμενων με το άρωμα του καρπού, καθώς και των καροτενοειδών. Παράλληλα, ενισχύεται η συγκέντρωση των σακχάρων και της ξηρής ουσίας. Η βελτίωση της γεύσης και των αρωμάτων των καρπών οφείλεται στην αύξηση των συνολικών διαλυτών στερεών, των οργανικών οξέων και των περιεχόμενων σακχάρων (Baenas et al., 2014). Το εύρος μεταβολής των οργανοληπτικών αυτών χαρακτηριστικών εξαρτάται κυρίως από το καλλιεργούμενο είδος.

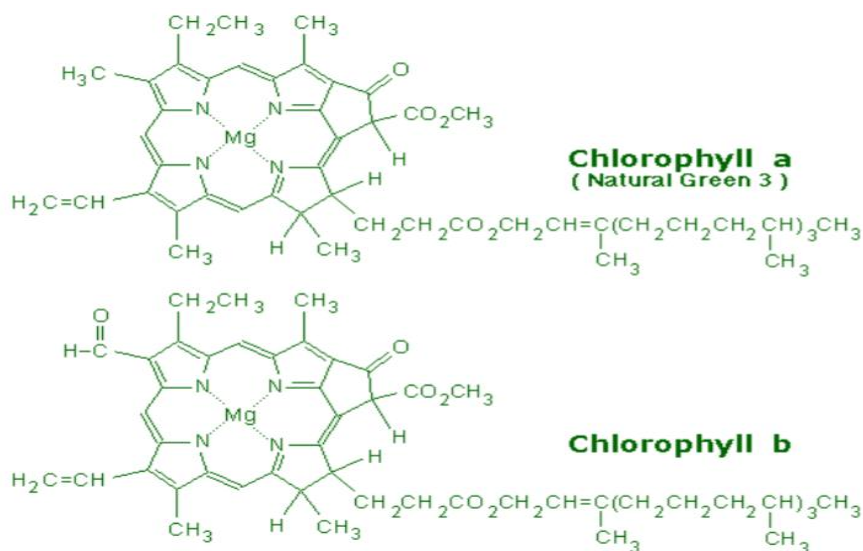
1.9. Ο ρόλος των φωτοσυνθετικών χρωστικών

Οι φωτοσυνθετικές χρωστικές αποτελούν οργανικές χημικές ουσίες που διεγείρονται από την ηλιακή ακτινοβολία και απορροφούν διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός. Ο ρόλος τους είναι ζωτικής σημασίας για τον φυτικό οργανισμό, αφού αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που λαμβάνουν μέρος στην βιοχημική διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, με κυριότερες αυτές των γλωροφυλλών και των καροτενοειδών.

Οι χλωροφύλλες είναι πολύπλοκες ενώσεις που απαντώνται στα φυτά, στα πρώτιστα, στα κυανοφύκη και σε ορισμένα βακτήρια (βακτηριοχλωροφύλλες). Τις συνηθέστερες μορφές χλωροφύλλης αποτελούν η χλωροφύλλη α και η χλωροφύλλη β, οι οποίες φέρουν ελάχιστες δομικές διαφορές μεταξύ τους. Ωστόσο, η χλωροφύλλη α έχει πιο ενεργό και άμεσο ρόλο στις φωτεινές αντιδράσεις (Γιαννακούρης et al., 2015).

Οι χλωροφύλλες αποτελούν χρωστικές ουσίες που βρίσκονται στο εσωτερικών των χλωροπλαστών και είναι υπεύθυνες για το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα των διάφορων φυτικών περιοχών. Το μόριο της χλωροφύλλης αποτελείται από ένα υδρόφοβο και ένα υδρόφιλο τμήμα, ενώ στο κέντρο του μορίου βρίσκεται ένα άτομο μαγνησίου. Το υδρόφιλο τμήμα του μορίου χλωροφύλλης απαρτίζεται από ένα πορφυρινικό δακτύλιο, υπεύθυνο για την απορρόφηση των φωτονίων, ενώ το υδρόφοβο τμήμα είναι μία φυτόλη. Καθώς τα μόρια των χλωροφυλλών παρεμβάλλονται μεταξύ λιπιδίων και πρωτεϊνών στη χλωροπλαστική μεμβράνη, το υδρόφιλο τμήμα του μορίου συνδέεται με τις πρωτεΐνες, ενώ το υδρόφοβο εκτείνεται μέσα στο στρώμα των λιπιδίων (Δροσόπουλος, 1998).

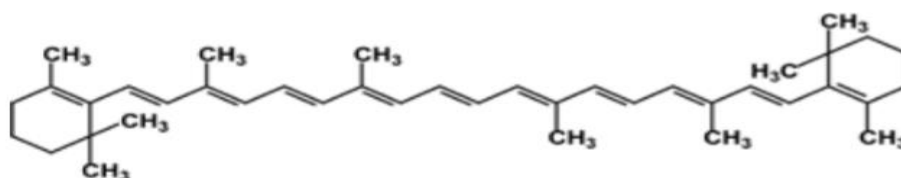
Σχετικά με το φάσμα απορρόφησης των χλωροφυλλών, τα μέγιστα παρουσιάζονται στην ερυθρή και κυανή περιοχή του ορατού φάσματος (Αϊβαλάκης et al., 2005).



Εικόνα 1.6. Συντακτικός τύπος του μορίου της χλωροφύλλης α και της χλωροφύλλης β

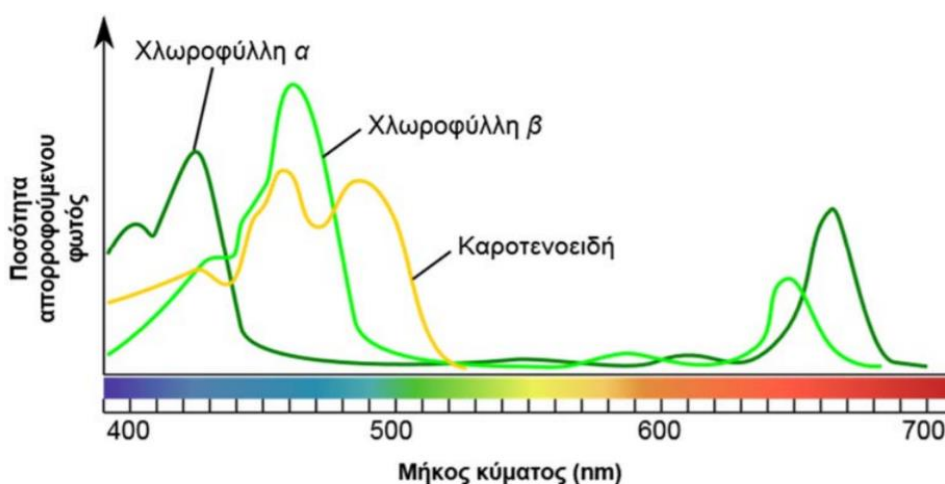
Αναφορικά με τα καροτενοειδή, αποτελούν κίτρινες ή πορτοκαλί χρωστικές ουσίες, οι οποίες βρίσκονται σε όλα τα φωτοσυνθετικά κύτταρα ενός φυτικού οργανισμού,

αλλά το χρώμα τους καλύπτεται από το πράσινο χρώμα των χλωροφυλλών (Γιαννακούρης et al., 2015). Ωστόσο, στην περίπτωση των φυλλοβόλων φυτών το φθινόπωρο, τα κιτρινωπά χρώματα των καροτενοειδών γίνονται ορατά λόγω της αποδόμησης των χλωροφυλλών. Λόγω της δομής τους, τα καροτενοειδή χαρακτηρίζονται ως τετρατερπένια και το μόριό τους απεικονίζεται ως μια ευθύγραμμη ανθρακική αλυσίδα που περιλαμβάνει απλούς και διπλούς δεσμούς.



Εικόνα 1.7. Συντακτικός τύπος ενός μορίου καροτενοειδούς

Τα καροτενοειδή διακρίνονται στους υδρογονάνθρακες (καροτένια) και στα οξυγονωμένα παράγωγα αυτών (ξανθοφύλλες) (Κυριακίδου, 2014). Χαρακτηρίζονται επιπλέον ως «βοηθητικές» ή «συμπληρωματικές χρωστικές», καθώς η παρουσία τους στους χλωροπλάστες διευρύνει το χρωματικό φάσμα της φωτοσύνθεσης και προσφέρει περαιτέρω φωτοπροστασία στα μόρια των χλωροφυλλών. Αυτό συμβαίνει λόγω της ιδιότητας των μορίων να απορροφούν χαμηλότερα μήκη κύματος, δηλαδή φωτόνια υψηλότερης ενέργειας, προστατεύοντας τις πράσινες χρωστικές από τον κίνδυνο φωτοοξειδωσης σε συνθήκες μεγάλης έντασης φωτός (Μανέτας, 2005). Τέλος, τα καροτενοειδή απορροφούν φως στα μήκη κύματος της ιώδους, κυανής και πράσινης ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.8. Απεικόνιση του φάσματος απορρόφησης για τα μόρια της χλωροφύλλης α, της χλωροφύλλης β και των καροτενοειδών

1.10. Ο ρόλος της προλίνης στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Σε συνθήκες καταπόνησης, τα φυτά συνθέτουν διάφορες ωσμωπροστατευτικές ουσίες, μεταξύ των οποίων και η προλίνη. Πρόκειται για ένα αμινοξύ και γνωστό συμβατό οσμωλύτη με σημαντικό ρόλο στην απόκριση των φυτών, όταν αυτά βρίσκονται σε περιβάλλον με υδατική καταπόνηση ή καταπόνηση υψηλής αλατότητας. Ωστόσο, η συσσώρευση προλίνης αποτελεί χαρακτηριστικό της γενικότερης προσαρμογής των φυτών σε αντίξοες αβιοτικές συνθήκες, όπως οι χαμηλές θερμοκρασίες ή η τοξικότητα από τα χημικά στοιχεία του εδάφους (DeLauney, 1993).

Τη σημαντικότερη περιοχή σύνθεσης της προλίνης στο φυτικό οργανισμό αποτελούν οι χλωροπλάστες, ενώ σε περιβάλλον με υψηλά επίπεδα αλάτων παρατηρείται συσσώρευση προλίνης στα φύλλα των φυτών. Την πρόδρομη ένωση της βιοσύνθεσης της προλίνης αποτελεί το L- γλουταμινικό οξύ, ενώ τα δύο κυριότερα ένζυμα που συμμετέχουν βιοχημικά στη βιοσύνθεση της προλίνης είναι η 5-καρβοξυλική συνθετάση της πυρρολίνης (P5CR) και η καρβοξυλική αναγωγή της πυρολλίνης (P5CS). Η σύνθεση του συγκεκριμένου αμινοξέος από το φυτικό οργανισμό αποσκοπεί στην προστασία των κυτταρικών μεμβρανών και της οξείδωσης, τη διατήρησης της δομής των πρωτεϊνών, τη μείωση του ωσμωτικού δυναμικού, καθώς και τη σταθεροποίηση των ενζύμων (Koca et al., 2007).

Το ποσοστό συγκέντρωσης της προλίνης στο φυτικό ιστό σχετίζεται με τη διάρκεια και την ένταση του παράγοντα καταπόνησης. Γενικά, η συσσώρευση προλίνης υπό αντίξοες συνθήκες έχει συσχετιστεί με την ανοχή σε αυτές τις συνθήκες, με αποτέλεσμα οι αυξημένες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται σε ανθεκτικά φυτά (Ashrafa, 2007).

1.11. Επίδραση της καταπόνησης υψηλής αλατότητας στην καλλιέργεια της κολοκυθιάς

Για την καλλιέργεια της κολοκυθιάς, η αλατότητα είναι η αιτία δημιουργίας διαφόρων φυσιολογικών και βιοχημικών αλλαγών. Η αύξηση των ιόντων Na^+ και Cl^- στο εδαφικό διάλυμα προκαλεί χαμηλό δυναμικό νερού στην περιοχή της ριζόσφαιρας, θέτοντας τη κολοκυθιά σε μια κατάσταση οσμωτικής καταπόνησης. Η

αδυναμία του φυτού να προσλάβει νερό, σε συνδυασμό με το αλατούχο ριζικό περιβάλλον, είναι ικανή να προκαλέσει διάφορες κυτταρικές βλάβες και να οδηγήσει σε οξειδωτικό στρες (Li et al., 2014). Η οξείδωση των φυτικών κυττάρων είναι υπεύθυνη για ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) και της αντιοξειδωτικής άμυνας της κολοκυθιάς, με αποτέλεσμα να βλάπτονται κυτταρικά συστατικά, όπως οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια και το DNA (Yasar et al., 2006). Τα υψηλά ποσοστά άλατος συμβάλουν, επιπλέον, στην μειωμένη ανάπτυξη του φυτού, στην υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών κολοκύθας, καθώς και στη μείωση της συνολικής απόδοσης της καλλιέργειας (Koksal et al., 2013). Η επιβράδυνση της βλάστησης αποδίδεται στον ανταγωνιστικό χαρακτήρα των ιόντων Na^+ και Cl^- προς τα λοιπά εδαφικά ιόντα, το οποίο οδηγεί σε αδυναμία πρόσληψης και απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών (Ashraf et al., 2002). Η τοξική δράση από την υψηλή συγκέντρωση των ιόντων Na^+ και Cl^- επηρεάζει αρνητικά ακόμα και τις φυσιολογικές διεργασίες της κολοκυθιάς, όπως η αναπνοή και η φωτοσύνθεση (Marschner, 1995).

Η συσσώρευση των τοξικών ιόντων στα φύλλα του φυτού παρατηρείται κυρίως στα γηραιότερα φύλλα και είναι ικανή να προκαλέσει αποχρωματισμό, νέκρωση του φύλλου και κατ' επέκταση μείωση της φωτοσυνθετικής επιφάνειας της κολοκυθιάς. Η νέκρωση των φύλλων οφείλεται στη συσσώρευση του άλατος στο κυτταρόπλασμα, σε επίπεδα τοξικά για το φυτό. Η καταστροφή μέρους του φυλλώματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής των φωτοσυνθετικών ουσιών και τη διατάραξη του ισοζυγίου άνθρακα, που είναι απαραίτητο για την πορεία ανάπτυξης του φυτικού οργανισμού (Munns et al., 2006).



Εικόνα 1.9. Συμπτώματα από την καταπόνηση αλατότητας σε φύλλα του γένους *Cucurbita* spp.

Η εδαφική αλατότητα φαίνεται να είναι ιδιαίτερα επιζήμιος παράγοντας καταπόνησης για τις καλλιέργειες λαχανικών, συμπεριλαμβανομένης και της κολοκυθιάς, κυρίως κατά το στάδιο της φύτευσης και της πρώιμης βλαστικής ανάπτυξης (Kurum et al., 2013).

1.12. Σκοπός της μελέτης

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή αποσκοπεί στον προσδιορισμό του δυναμικού βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης των σποροφύτων επτά γονοτύπων κολοκυθιάς υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης, κατά τα πρώτα αναπτυξιακά τους στάδια. Με δεδομένο ότι το συγκεκριμένο γενετικό υλικό κολοκύθας δεν έχει μελετηθεί για την απόκρισή του υπό συνθήκες αλατότητας και προσδοκείται ότι τα αποτελέσματα θα αναδείξουν την ύπαρξη γενετικής παραλλακτικότητας ως προς το γνώρισμα της ανθεκτικότητας και κατ' επέκταση θα οδηγήσουν στην ταξινόμηση των γονοτύπων βάσει της ανθεκτικότητάς τους. Απώτερο σκοπό της πτυχιακής διατριβής αποτελεί η διερεύνηση της δυνατότητας αναγνώρισης ανθεκτικών γονοτύπων σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια, ως πρώτο βήμα για την επιλογή γονοτύπων που φέρουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Οι επιθυμητοί γονότυποι μπορούν να αξιοποιηθούν για καλλιέργεια ή ενσωμάτωση σε βελτιωτικά προγράμματα που στοχεύουν στην αναβάθμιση της ανθεκτικότητας έναντι στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Γενετικό Υλικό

Η παρούσα μελέτη αφορά στην αξιολόγηση επτά ποικιλιών κολοκύθας ως προς την απόκρισή τους στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας κατά τη φάση της βλάστησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο γενετικό υλικό δεν έχει μελετηθεί ως προς την ανθεκτικότητα έναντι της υψηλής αλατότητας. Πιο συγκεκριμένα, το υπό εξέταση γενετικό υλικό περιλάμβανε 7 ποικιλίες κολοκύθας, εκ των οποίων η 1 καλλιεργείται σε εμπορική κλίμακα (Fytro FS 243), ενώ οι υπόλοιπες 6 αποτελούν τοπικές ποικιλίες. Η ονομασία της καθεμιάς, καθώς και το βάρος 1.000 σπόρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1. Η ονομασία και το βάρος 1.000 σπόρων των 7 υπό μελέτη ποικιλιών κολοκύθας

A/A	Ποικιλία	Καθαρό βάρος 1.000 σπόρων (g)
1	FYTRO FS 243	94
2	Τρικόλων	266
3	L-M Λευκά Μελίτης B-I	330
4	S- Π (Στρογγυλό πορτοκαλί)	228
5	OM-N (Οβάλ Μικρές- Νεάπολης)	122
6	ΜΠ- Λ (Μπουκάλα Λακωνίας)	212
7	M-Π (Μακεδονικά πράσινα)	238

2.2. Απολύμανση των σπόρων

Με σκοπό την απολύμανση των σπόρων, δημιουργήθηκε διάλυμα χλωρίνης 30 % που περιείχε Tween-20. Οι σπόροι της κάθε ποικιλίας τοποθετήθηκαν σε αποστειρωμένα γυάλινα βάζα, όπου προστέθηκε το διάλυμα χλωρίνης και ακολούθησε ανάδευση για 5 λεπτά. Μετά το πέρας του παραπάνω διαστήματος, πραγματοποιήθηκαν 3x πλύσεις με αποστειρωμένο dH₂O.

Για την αποφυγή επιμολύνσεων, η απολύμανση των σπόρων πραγματοποιήθηκε σε θάλαμο νηματικής ροής υπό ασηπτικές συνθήκες. Τα σκεύη και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είχαν αποστειρωθεί προηγουμένως σε χύτρα πιέσεως.

2.3. Παρασκευή διαλυμάτων NaCl

Η καταπόνησης υψηλής αλατότητας επετεύχθη μέσω της δημιουργίας τριών διαλυμάτων NaCl διαφορετικής συγκέντρωσης (100 mM, 200 mM και 300 mM), ενώ μη καταπονημένα φυτά συμπεριλήφθηκαν ως μάρτυρες. Οι απολυμασμένοι σπόροι τοποθετήθηκαν σε διάφανα πλαστικά δοχεία που περιείχαν διηθητικό χαρτί εμποτισμένο με τα κατάλληλα διαλύματα ως ακολούθως:

- 0 mM NaCl (μάρτυρας)
- 100 mM NaCl (χαμηλό επίπεδο στρες)
- 200 mM NaCl (μεσαίο επίπεδο στρες)
- 300 mM NaCl (υψηλό επίπεδο στρες)

2.4. Καταπονήσεις σε εργαστηριακό επίπεδο – Πειραματικό σχέδιο

Για το πείραμα καταπόνησης υψηλής αλατότητας εφαρμόστηκαν 4 μεταχειρίσεις, ενώ χρησιμοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις για κάθε συνδυασμό ποικιλίας και μεταχείρισης. Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένο με 4 επαναλήψεις των 10 σπόρων.

Πιο συγκεκριμένα, η τοποθέτηση των σπόρων έγινε σε ορθογώνια δοχεία που είχαν αποστειρωθεί προηγουμένως με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) για 15 λεπτά και περιείχαν διηθητικό χαρτί με αυλακώσεις. Παράλληλα, τοποθετήθηκαν στα δοχεία τα διαλύματα NaCl (25 ml ανά δοχείο), υπό ασηπτικές συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργήθηκαν συνολικά 28 δοχεία που το καθένα έφερε συγκεκριμένη ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης.

Κάθε δοχείο αποτελούνταν από 4 σειρές σπόρων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.1., εκ των οποίων οι 2 μεσαίες αξιοποιήθηκαν για τη λήψη των παρατηρήσεων.



Εικόνα 2.1. Εγκατάσταση των σπόρων στα δοχεία ανάπτυξης

Μετά την τοποθέτηση των σπόρων στα δοχεία ανάπτυξης, πραγματοποιήθηκε η μεταφορά τους σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών. Η θερμοκρασία βλάστησης των σπόρων ρυθμίστηκε στους 21 °C, ενώ η φωτοπερίοδος στις 16 h φως/ 8 h σκοτάδι. Τα φυτά αναπτύχθηκαν για χρονικό διάστημα 15 ημερών και στο διάστημα αυτό λαμβάνονταν τακτικά παρατηρήσεις που αφορούσαν στην πορεία βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης των νεαρών σποροφύτων. Λόγω εξάτμισης, η προσθήκη απιονισμένου νερού λάμβανε χώρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να μην υπάρξει μεταβολή των επιπέδων καταπόνησης.

2.5. Μετρήσεις

Ως παράμετροι αξιολόγησης της ανθεκτικότητας αξιοποιήθηκαν το ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP %), ο ρυθμός βλάστησής τους, ο μέσος χρόνος βλάστησης των σπόρων (MGT), το ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU%), το μήκος ρίζας και βλαστού των σποροφύτων, καθώς και ο δείκτης ευρωστίας των σπόρων (SVI). Πιο συγκεκριμένα:

Το ποσοστό βλάστησης των σπόρων υπολογίστηκε μετά από μέτρηση των σπόρων που βλάστησαν τις πρώτες επτά ημέρες (1^η - 7^η μέρα). Η εύρεση του ποσοστού έγινε σύμφωνα με τον τύπο: $GP = (\text{Αριθμός σπόρων που βλάστησαν} / \text{Συνολικό αριθμό σπόρων}) \times 100$, όπου ως βλαστημένοι σπόροι θεωρήθηκαν εκείνοι που είχαν αναπτύξει ριζίδιο μήκους άνω των 2 mm.

Για το ρυθμό βλάστησης των σπόρων από την 1^η - 7^η ημέρα χρησιμοποιήθηκε ο τύπος: $GR = \sum (G_i / i)$, όπου G_i = αριθμός σπόρων που βλάστησαν την ημέρα i . Παράλληλα, υπολογίστηκε και ο μέσος χρόνος βλάστησης των σπόρων (MGT), ο

οποίος εκφράζεται σε μέρες (d) και αποτελεί αντίστροφο του ρυθμού βλάστησης ($MGT = 1/GR$).

Η μέτρηση του ποσοστού απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) πραγματοποιήθηκε την 1^η και την 4^η ημέρα. Ο προσδιορισμός του έγινε σύμφωνα με τον τύπο: $WU = (W_2 - W_1) * 100$, όπου:

- W_1 = το αρχικό βάρος 5 σπόρων (πριν από την απορρόφηση νερού)
- W_2 = είναι το βάρος 5 σπόρων (μετά από την απορρόφηση νερού - 1^η και 4^η ημέρα)



Εικόνα 2.2. Ζυγός ακριβείας για τη ζύγιση σπόρων κολοκύθας με σκοπό τον υπολογισμό του ποσοστού απορρόφησης H₂O των σπόρων

Η μέτρηση του μήκους της ρίζας πραγματοποιήθηκε την 3^η, 5^η και 7^η μέρα, με τη βοήθεια διαβαθμισμένου χάρακα σε cm. Με τον ίδιο τρόπο, πραγματοποιήθηκε και η μέτρηση του μήκους βλαστού την 5^η, 10^η και 15^η μέρα.



Εικόνα 2.3. Μέτρηση του μήκους της ρίζας και του βλαστού, αντίστοιχα

Τέλος, όσον αφορά τον δείκτη ευρωστίας των σπόρων, η μέτρηση έγινε κατά την 5^η ημέρα σύμφωνα με τον τύπο: $SVI = \text{Μήκος βλαστού} * \text{ποσοστό βλαστικότητας}$.

Πίνακας 2.2. Παρουσίαση ημερομηνιών καταγραφής των παραπάνω μετρήσεων από την έναρξη διεξαγωγής του πειράματος

	Μέτρηση ποσοστού βλάστησης των σπόρων	Μέτρηση βάρους	Μέτρηση του μήκους ρίζας	Μέτρηση του μήκους βλαστού
21/1/2022	•	•		
22/1/2022	•			
23/1/2022	•		•	
24/1/2022	•	•		
25/1/2022	•		•	•
26/1/2022	•			
27/1/2022	•		•	
30/1/2022				•
4/2/2022				•

* Η έναρξη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 21/1/2022, η οποία αποτέλεσε την 1^η ημέρα καταγραφής των αποτελεσμάτων. Για την καταγραφή των μετρήσεων λήφθηκαν υπόψη οι σπόροι με ελάχιστο μήκος ριζιδίου τα 2 mm.

2.6. Ανάλυση φυσιολογικών παραμέτρων

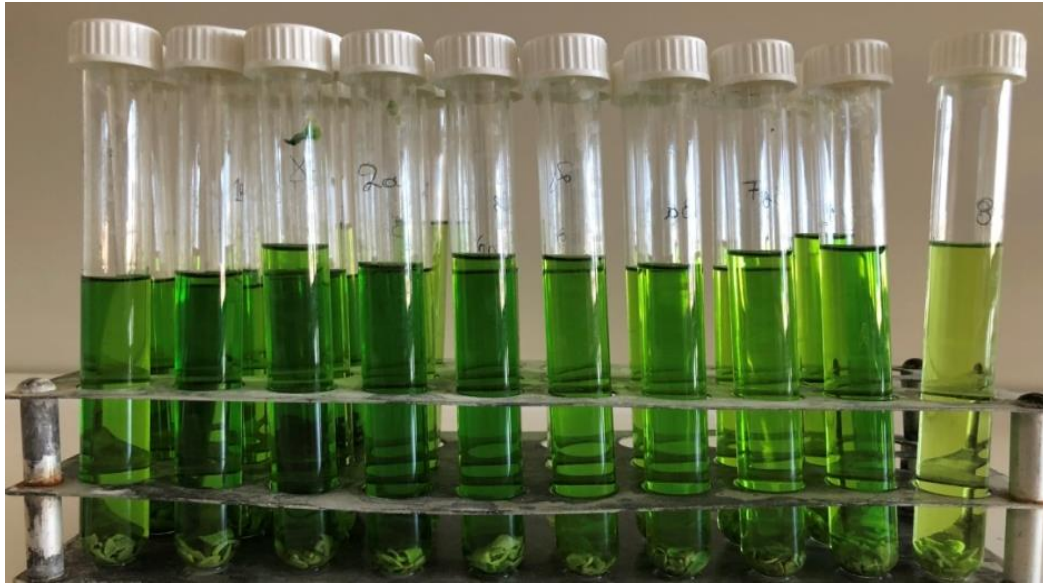
2.6.1. Προσδιορισμός περιεκτικότητας φωτοσυνθετικών χρωστικών

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Ζυγός ακριβείας
- Φυγόκεντρος
- Φασματοφωτόμετρο WTW

Πειραματική διαδικασία

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των φωτοσυνθετικών χρωστικών μέσω φθορισμού, επιλέχθηκαν τμήματα του φυλλώματος, τα οποία αφού ζυγίστηκαν με ζυγό ακριβείας, τεμαχίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε γυάλινους σωλήνες που περιείχαν 15 ml καθαρής αιθανόλης (> 99 %). Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 4000 στροφές για 10 min και στη συνέχεια το υπερκείμενο χρησιμοποιήθηκε για φωτομέτρηση.



Εικόνα 2.4. Διαλύματα για τη μέτρηση των φωτοσυνθετικών χρωστικών

Η φωτομέτρηση πραγματοποιήθηκε στα μήκη κύματος των 665 nm, 649 nm και 470 nm. Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των διαφόρων φωτοσυνθετικών χρωστικών (μg/ml) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των εξισώσεων:

- $Chl_a = (13.36 * A_{665}) - (5.19 * A_{649})$
- $Chl_b = (27.43 * A_{649}) - (8.12 * A_{665})$
- $Chl_{a+b} = (5.24 * A_{665}) + (22.24 * A_{649})$
- $Car = [(1000 * A_{470}) - (2.13 * Chl_a) - (97.64 * Chl_b)] / 209$

2.6.2. Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε προλίνη

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Ζυγός ακριβείας
- Φυγόκεντρος
- Υδατόλουτρο
- Ανακινήτης Vortex
- Φασματοφωτόμετρο WTW

Παρασκευή διαλυμάτων

Αρχικά, έγινε η παρασκευή δύο διαλυμάτων αιθανόλης, συγκεντρώσεων 40 % και 70 %. Κατόπιν, παρασκευάστηκε το διάλυμα νινυδρίνης που περιείχε 1 g ninhydrin, 40 ml καθαρής αιθανόλης (> 99 %), 120 ml οξικού οξέος, ενώ η πλήρωσή του μέχρι τα 200 ml πραγματοποιήθηκε με dH₂O. Η διάλυση έγινε με συνεχή ανάδευση χωρίς θέρμανση, ενώ καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας ήταν απαραίτητη η χρήση γαντιών νιτριλίου.

Ακολούθως, για την παρασκευή του διαλύματος προλίνης 1 mM ζυγίστηκαν 0,115 g L-proline, τα οποία διαλύθηκαν σε 100 ml διαλύματος αιθανόλης 70 %. Από το συγκεκριμένο διάλυμα χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές ποσότητες, που σε συνδυασμό με το διάλυμα αιθανόλης 70 % παρασκευάστηκαν τα διαλύματα προλίνης που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3. Τα διαλύματα τοποθετήθηκαν σε γυάλινους σωλήνες και διατηρήθηκαν στην κατάψυξη καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων.

Πίνακας 2.3. Όγκοι διαλυμάτων προλίνης και αιθανόλης 70 % για την παρασκευή των πρότυπων διαλυμάτων προλίνης

Όγκος (ml) διαλύματος προλίνης 1mM	Προσθήκη όγκου (ml) διαλύματος αιθανόλης 70%	Παρασκευαζόμενο διάλυμα προλίνης mM
0	10	0
0,25	9,75	0,025
0,5	9,5	0,05
0,75	9,25	0,075
1	9	0,1
1,5	8,5	0,15
2	8	0,2
4	6	0,4
8	2	0,8

Φυτικός Ιστός

Από κάθε μεταχείριση και ποικιλία που είχε αναπτύξει επαρκές υπέργειο τμήμα ζυγίστηκε μια ποσότητα του φυτικού ιστού, ψιλοτεμαχίστηκε και τοποθετήθηκε σε γουδί, όπου έγινε προσθήκη 2 ml αιθανόλης 70 %. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε η

λειτουργία και η προσθήκη επιπλέον 2 ml αιθανόλης 70 %. Ακολούθησε εκ νέου λειτουργία και μεταφορά του εκχυλίσματος σε κατάλληλα αριθμημένα falcon των 15 ml. Στη συνέχεια, τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν στις 4000 στροφές για 10 min.



Εικόνα 2.5. Δείγματα φυτικού ιστού μετά την φυγοκέντρωση

Το υπερκείμενο κάθε δείγματος μεταφέρθηκε σε καθαρό, αριθμημένο falcon ίδιας χωρητικότητας. Το συγκεκριμένο εκχύλισμα χρησιμοποιήθηκε και στα επόμενα στάδια της διαδικασίας.

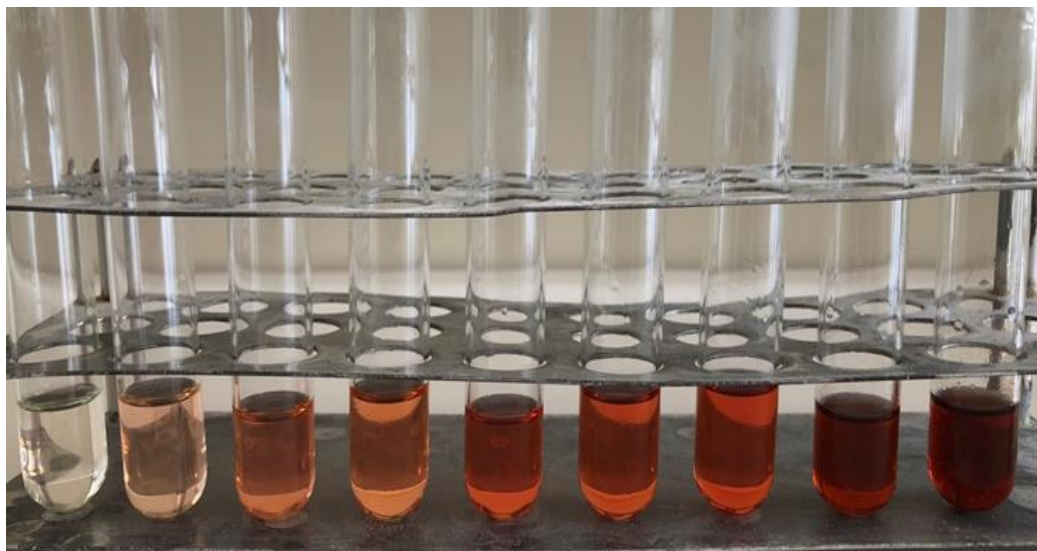
Διαδικασία προσδιορισμού προλίνης στα δείγματα

Σε κατάλληλα αριθμημένους γυάλινους σωλήνες τοποθετήθηκαν 2 ml διαλύματος νινυδρίνης και 1 ml εκχυλίσματος φυτικού ιστού, που δημιουργήθηκε όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Οι γυάλινοι σωλήνες πωματίστηκαν και αναδεύτηκαν στο Vortex για 10-15 sec με σκοπό την ομογενοποίησή τους. Κατόπιν, μεταφέρθηκαν στο υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 95 °C για 25 min και ακολούθως σε παγόλουτρο. Το υπερκείμενο μεταφέρθηκε σε κυψελίδα και ακολούθησε φασματοφωτομετρική εκτίμηση της περιεχόμενης προλίνης στα 520 nm.

Διαδικασία σχηματισμού πρότυπης καμπύλης

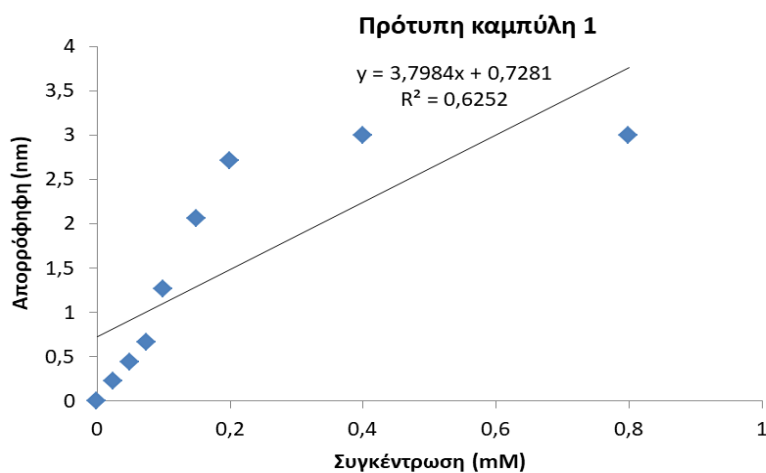
Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης, χρησιμοποιήθηκαν τα διαλύματα προλίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων που παρασκευάστηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Αναλυτικότερα, 0,2 ml κάθε διαλύματος μεταφέρθηκαν σε νέους γυάλινους σωλήνες και ακολούθησε προσθήκη 2 ml διαλύματος νινυδρίνης και 0,8 ml διαλύματος αιθανόλης 40 %.

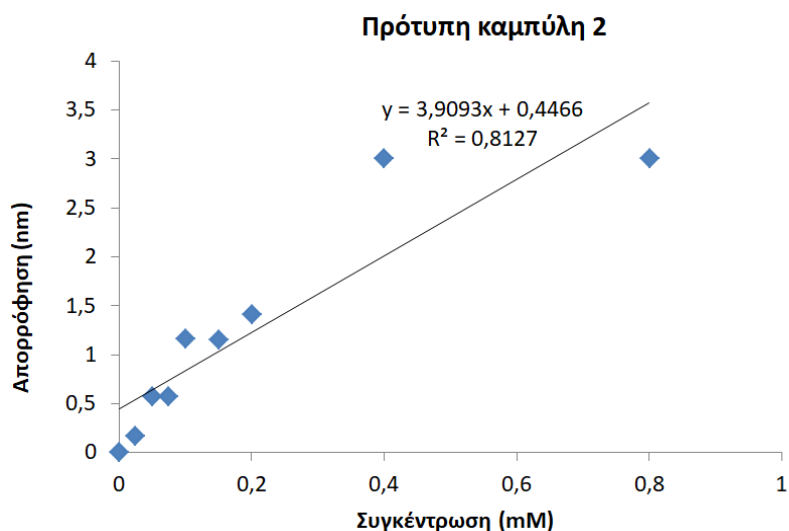
Ακολούθως, οι σωλίνες πωματίστηκαν και ανακινήθηκαν στο Vortex. Κατόπιν, μεταφέρθηκαν στο υδατόλουτρο στους 95 °C για 25 min και αμέσως μετά σε παγόλουτρο.



Εικόνα 2.6. Πρότυπα διαλύματα προλίνης

Στη συνέχεια, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο φασματοφωτόμετρο για τον προσδιορισμό της ένδειξής τους στα 520 nm, βάσει των οποίων δημιουργήθηκε η πρότυπη καμπύλη. Η φωτομέτρηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε δύο ημέρες, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν δύο πρότυπες καμπύλες. Τα δείγματα που δεν χρησιμοποιήθηκαν διατηρήθηκαν στην κατάψυξη.





Γράφημα 2.1. Πρότυπες καμπύλες για τη μετατροπή της απορρόφησης στα 520 nm σε mM προλίνης

2.7. Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου JMP v.16. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με one-way ANOVA ($p \leq 0.05$), σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο συνδυάζοντας τα επίπεδα καταπόνησης και τους υπό μελέτη γονότυπους. Οι διαφορές μεταξύ των Μ.Ο. συγκρίθηκαν με τη χρήση της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς LSD test ($p \leq 0.05$).

3. Αποτελέσματα

3.1. Επίδραση της αλατότητας στο ποσοστό βλάστησης των σπόρων

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης κατέδειξαν τη σημαντική επίδραση της καταπόνησης υψηλής αλατότητας στο ποσοστό βλάστησης για το σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών. Όπως αναμενόταν, απουσία καταπόνησης, το σύνολο των ποικιλιών εμφάνισε μεγαλύτερο ποσοστό βλαστημένων σπόρων συγκριτικά με τα φυτά που υπέστησαν καταπόνηση. Μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων καταπόνησης, μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης παρατηρήθηκε στο χαμηλό επίπεδο στρες (100 mM), ενώ ακολούθησε το μεσαίο επίπεδο (200 mM) και τέλος το υψηλό επίπεδο στρες (300 mM), όπου περιορίστηκε σημαντικότερα ο αριθμός των σπόρων που βλάστησαν (Πίνακας 3.1).

Περαιτέρω τα δεδομένα υπογραμμίζουν ότι οι υπό μελέτη ποικιλίες ανταποκρίθηκαν με διαφορετικό τρόπο στα επίπεδα καταπόνησης υψηλής αλατότητας. Ειδικότερα, οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και OM-N (Οβάλ Μικρές- Νεάπολης) εμφάνισαν την καλύτερη επίδοση αναφορικά με το ποσοστό βλάστησης των σπόρων τους στα διάφορα επίπεδα καταπόνησης κατά το διάστημα λήψης παρατηρήσεων. Η ποικιλία FYTRO FS 243 εμφάνισε το υψηλότερο ποσοστό βλάστησης στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl) (90 % την 7^η ημέρα), ενώ χαρακτηρίστηκε από δραστική μείωση του ποσοστού βλάστησης στα υψηλότερα επίπεδα καταπόνησης (200 mM και 300 mM NaCl). Αντίθετα, η ποικιλία OM-N (Οβάλ Μικρές-Νεάπολης) χαρακτηρίστηκε από υψηλό ποσοστό βλάστησης στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης (200 mM και 300 mM NaCl) και ήταν η πρώτη ποικιλία που βλάστησε σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση NaCl (300 mM) την 6^η ημέρα από την έναρξη της καταπόνησης (Πίνακας 3.1).

Ακολούθησαν οι τοπικές ποικιλίες L-M Λευκά Μελίτης B-I, S- Π, ΜΠ-Α και Μ-Π, οι οποίες ενώ εμφάνισαν διαφορετική πορεία βλάστησης των σπόρων τους, στο τέλος τα ποσοστά βλαστικότητάς τους δεν παρουσίαζαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τις χαμηλότερες επιδόσεις εμφάνισε η ποικιλία Τρικάλων, στην οποία σημειώθηκε βλάστηση συνολικά δύο σπόρων, στους μάρτυρες και στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης, την 4^η και 7^η ημέρα καταπόνησης, αντίστοιχα (Πίνακας 3.1).

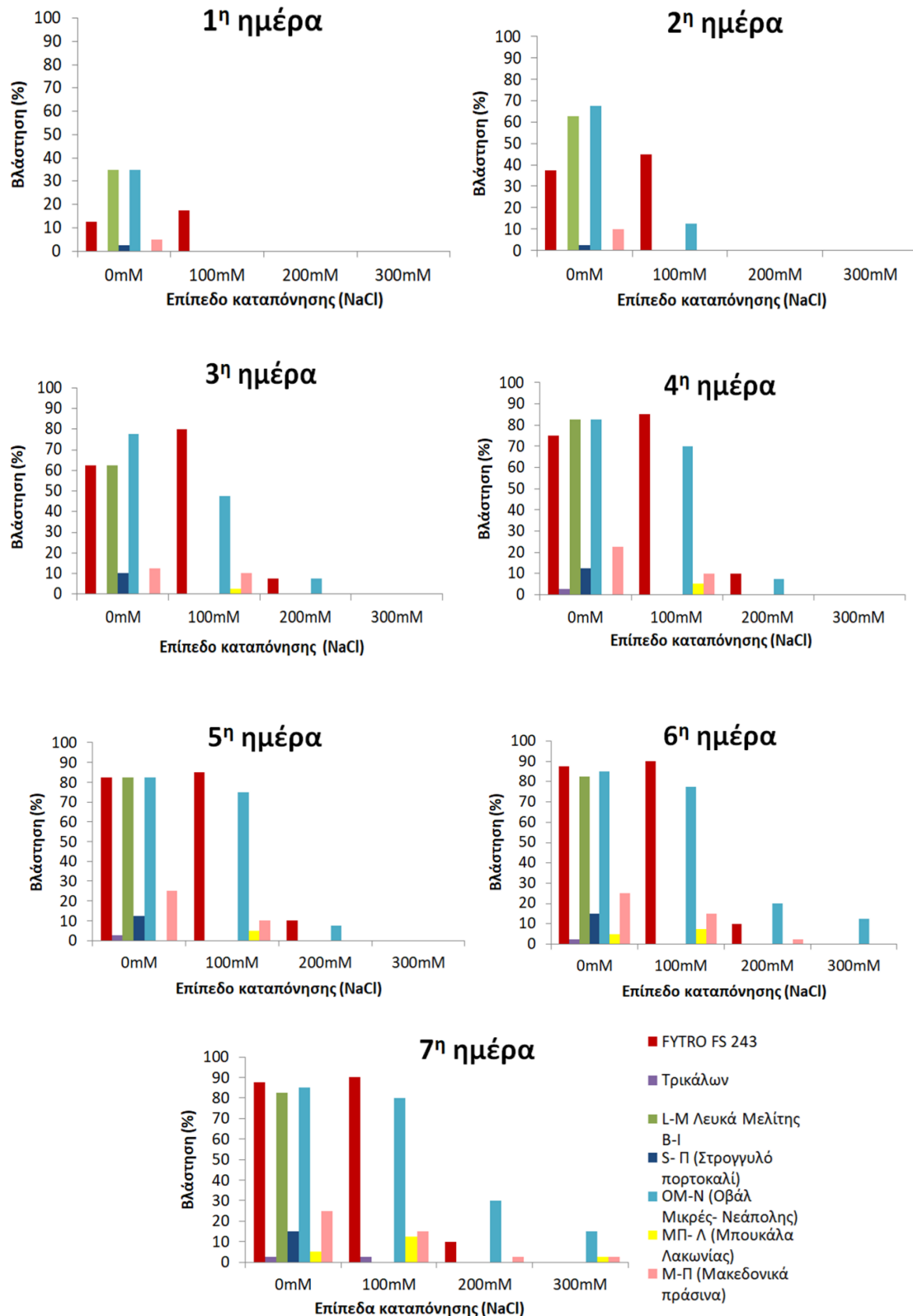
Πίνακας 3.1. Ποσοστό βλάστησης των σπόρων ανά γονότυπο και ανά επίπεδο στρες NaCl σε 7 χρονικά διαστήματα (1^η - 7^η ημέρα)

Ημέρα	Γονότυποι (G)	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				M.O.(G)
		0	100	200	300	
1η						M.O.(G)
	FYTRO FS 243	12,50b	17,50a	0,00a	0,00a	7,50ab
	Τρικάλων	0,00c	0,00b	0,00a	0,00a	0,00c
	Λευκά Μελίτης B-I	35,00a	0,00b	0,00a	0,00a	8,75a
	Στρογγυλό πορτοκαλί	2,50c	0,00b	0,00a	0,00a	0,625bc
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	35,00a	0,00b	0,00a	0,00a	8,75a
	Μπουκάλα Λακωνίας	0,00c	0,00b	0,00a	0,00a	0,00c
	Μακεδονικά πράσινα	5,00bc	0,00b	0,00a	0,00a	1,25bc
	M.O.(C)	12,85a	2,50b	0,00b	0,00b	
2η						M.O.(G)
	FYTRO FS 243	37,50b	45,00a	0,00a	0,00a	20,625a
	Τρικάλων	0,00c	0,00c	0,00a	0,00a	0,00b
	Λευκά Μελίτης B-I	62,50a	0,00c	0,00a	0,00a	15,625a
	Στρογγυλό πορτοκαλί	2,50c	0,00c	0,00a	0,00a	0,625b
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	67,50a	12,50b	0,00a	0,00a	20,00a
	Μπουκάλα Λακωνίας	0,00c	0,00c	0,00a	0,00a	0,00b
	Μακεδονικά πράσινα	10,00c	0,00c	0,00a	0,00a	2,50b
	M.O.(C)	25,71a	8,21b	0,00b	0,00b	
3η						M.O.(G)
	FYTRO FS 243	62,50a	80,00a	7,50a	0,00a	37,50a
	Τρικάλων	0,00c	0,00c	0,00b	0,00a	0,00d
	Λευκά Μελίτης B-I	77,50a	0,00c	0,00b	0,00a	19,375bc
	Στρογγυλό πορτοκαλί	10,00bc	0,00c	0,00b	0,00a	2,50cd
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	80,00a	47,50b	7,50a	0,00a	33,75ab
	Μπουκάλα Λακωνίας	0,00c	2,50c	0,00b	0,00a	0,625d
	Μακεδονικά πράσινα	22,50b	10,00c	0,00b	0,00a	8,125cd
	M.O.(C)	36,07a	20,00b	2,14c	0,00c	
4η						M.O.(G)
	FYTRO FS 243	75,00a	85,00a	10,00a	0,00a	42,50a
	Τρικάλων	2,50c	0,00c	0,00b	0,00a	0,625c
	Λευκά Μελίτης B-I	82,50a	0,00c	0,00b	0,00a	20,625b
	Στρογγυλό πορτοκαλί	12,50bc	0,00c	0,00b	0,00a	3,125bc
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	82,50a	70,00a	7,50ab	0,00a	40,00a
	Μπουκάλα Λακωνίας	0,00c	5,00b	0,00b	0,00a	1,25c
	Μακεδονικά πράσινα	22,50b	10,00b	0,00b	0,00a	8,125bc
	M.O.(C)	39,64a	24,28b	2,50c	0,00c	

5η						M.O.(G)
FYTRO FS 243	82,50a	85,00a	10,00ab	0,00a		44,375a
Τρικάλων	2,50c	0,00b	0,00b	0,00a		0,625c
Λευκά Μελίτης Β-Ι	82,50a	0,00b	0,00b	0,00a		20,625b
Στρογγυλό πορτοκαλί	12,50bc	0,00b	0,00b	0,00a		3,125bc
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	82,50a	75,00a	17,50a	0,00a		43,75a
Μπουκάλα Λακωνίας	0,00c	5,00b	0,00b	0,00a		1,25c
Μακεδονικά πράσινα	25,00b	12,50b	0,00b	0,00a		9,375bc
M.O.(C)	41,07a	25,35b	3,92c	0,00c		
6η						M.O.(G)
FYTRO FS 243	87,50a	90,00a	10,00ab	0,00b		46,875a
Τρικάλων	2,50c	0,00c	0,00b	0,00b		0,625c
Λευκά Μελίτης Β-Ι	82,50a	0,00c	0,00b	0,00b		20,625b
Στρογγυλό πορτοκαλί	15,00bc	0,00c	0,00b	0,00b		3,75bc
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	85,00a	77,50a	20,00a	12,50a		48,75a
Μπουκάλα Λακωνίας	5,00bc	7,50bc	0,00b	0,00b		3,125bc
Μακεδονικά πράσινα	25,00b	15,00b	2,50b	0,00b		10,625bc
M.O.(C)	43,21a	27,14b	4,64c	1,78c		
7η						M.O.(G)
FYTRO FS 243	87,50a	90,00a	10,00b	0,00b		46,875a
Τρικάλων	2,50c	2,50b	0,00b	0,00b		1,25c
Λευκά Μελίτης Β-Ι	82,50a	0,00b	0,00b	0,00b		20,625b
Στρογγυλό πορτοκαλί	15,00bc	0,00b	0,00b	0,00b		3,75bc
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	85,00a	80,00a	30,00a	15,00a		52,50a
Μπουκάλα Λακωνίας	5,00bc	12,50b	0,00b	2,50b		5,00bc
Μακεδονικά πράσινα	25,00b	15,00b	2,50b	2,50b		11,25bc
M.O.(C)	43,21a	28,57a	6,07b	2,85b		

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με *LSD* ($p \leq 0.05$).

Η πορεία βλάστησης των σπόρων των υπό μελέτη ποικιλιών στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης αλατότητας απεικονίζονται στο Γράφημα 3.1.:

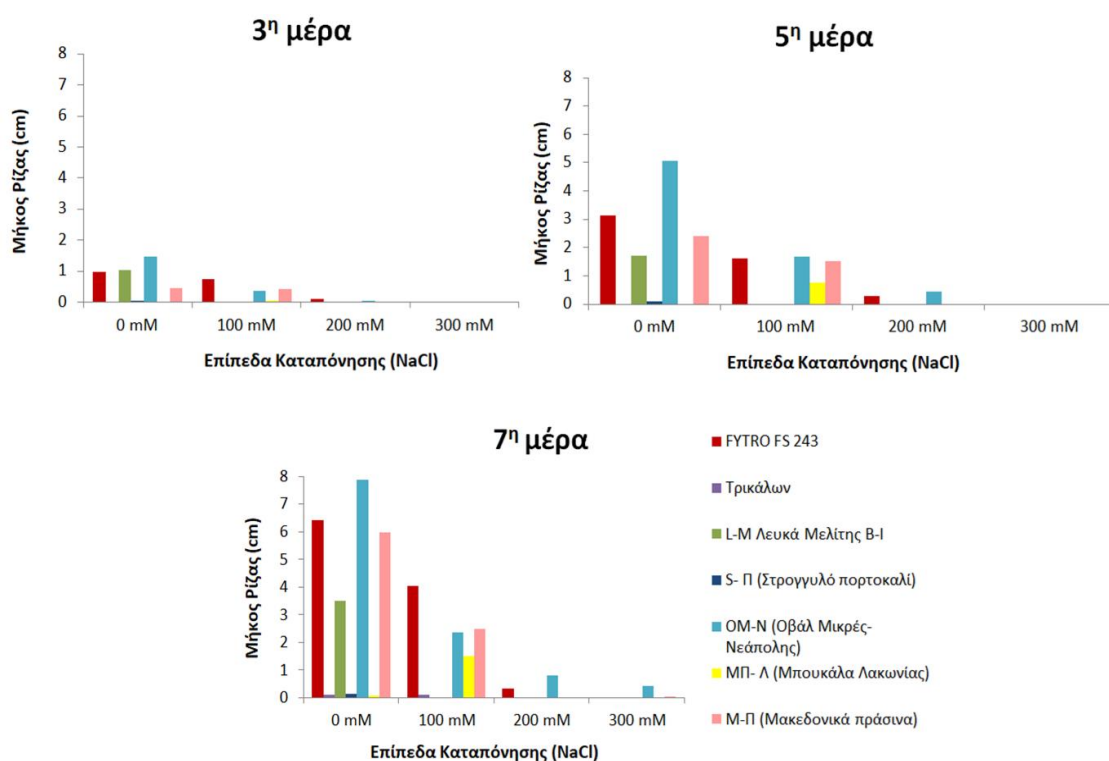


Γράφημα 3.1. Ποσοστό βλαστικότητας των σπόρων (GP %) σε 7 χρονικά διαστήματα κατά την καταπόνηση αλατότητας, για όλες τις ποικιλίες και τα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης αλατότητας

3.2. Επίδραση της αλατότητας στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και του βλαστού των σποροφύτων

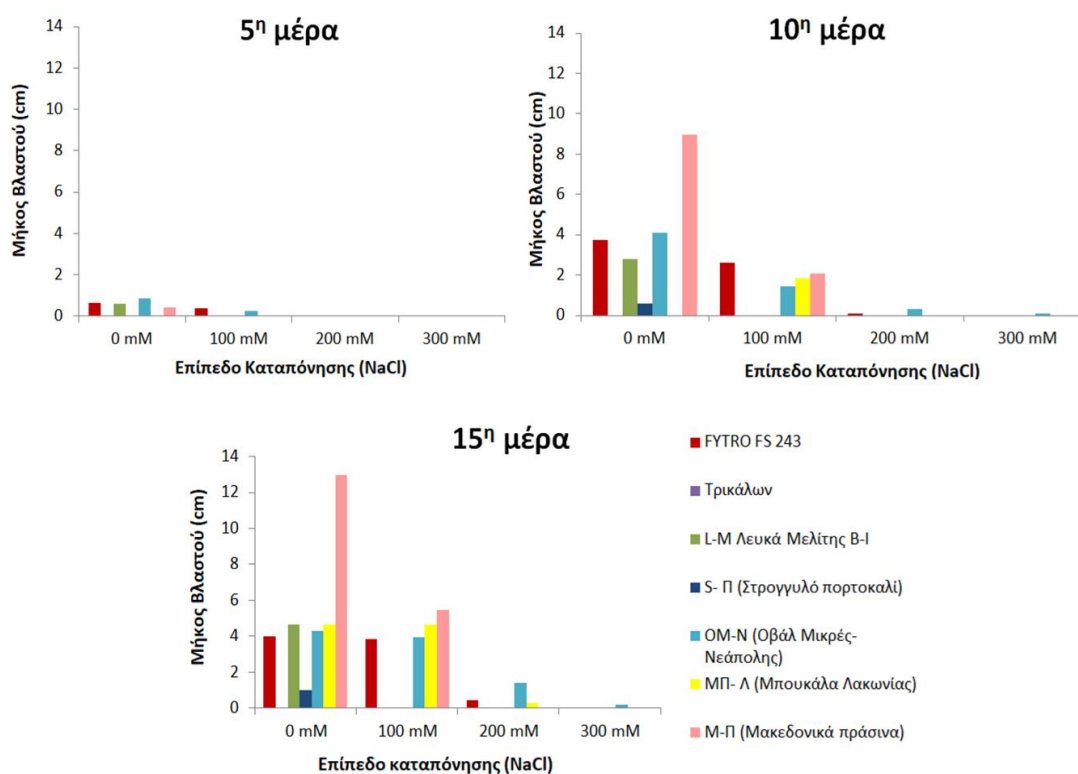
Περαιτέρω, σημαντική ήταν η επίδραση της καταπόνησης αλατότητας στο δυναμικό ανάπτυξης των σποροφύτων, όπου σημειώθηκαν διαφορές σχετικά με την ανάπτυξη της ρίζας και του βλαστού, τόσο μεταξύ των ποικιλιών όσο και των διαφορετικών επιπέδων καταπόνησης (Γράφημα 3.2). Είναι δε αξιοσημείωτο ότι τα υψηλά επίπεδα καταπόνησης (200 mM και 300 mM NaCl) οδήγησαν σε δραστική ανάσχεση της ανάπτυξης της ρίζας και του βλαστού στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών.

Αναφορικά με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, διαπιστώνεται ότι ο περιορισμός της ανάπτυξης ήταν ανάλογος με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl. Τόσο απουσία όσο και παρουσία καταπόνησης, τη μεγαλύτερη ανάπτυξη εμφάνισε η ποικιλία OM-N (Οβάλ Μικρές-Νεάπολης), η οποία χαρακτηρίστηκε από ικανότητα ανάπτυξης ριζιδίου ακόμη και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (300 mM NaCl), υποδεικνύοντας μία αυξημένη ανθεκτικότητα έναντι της καταπόνησης αλατότητας. Ακολούθησε η εμπορική ποικιλία FYTRO FS 243, η οποία εμφάνισε ριζίδιο άνω των 2 mm στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl), ήδη από την 3^η ημέρα καταπόνησης αλατότητας.



Γράφημα 3.2. Μήκος ρίζας την 3^η, 5^η και 7^η ημέρα, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης αλατότητας

Σχετικά με το μήκος του βλαστού, παρατηρήθηκε επίσης ανάσχεση της ανάπτυξής του, η οποία ήταν ανάλογη με την ένταση της καταπόνησης αλατότητας. Ως προς το μήκος βλαστού, υπεροχή εμφάνισε η ποικιλία Μακεδονικά Πράσινα, η οποία χαρακτηρίστηκε από το μεγαλύτερο μήκος βλαστού τόσο στους μάρτυρες όσο και στα φυτά που καταπονήθηκαν στα 100 mM NaCl. Ωστόσο, στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM) ανέπτυξαν βλαστό οι ποικιλίες FYTRO FS 243, Μπουκάλα Λακωνίας και Οβάλ Μικρές Νεάπολης, ενώ η μοναδική ποικιλία που ανέπτυξε βλαστό στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (300 mM) ήταν η Οβάλ Μικρές Νεάπολης. Αντίθετα, το χαμηλότερο δυναμικό ανάπτυξης βλαστού εμφάνισε η τοπική ποικιλία S-Π (Στρογγυλό πορτοκαλί), η οποία χαρακτηρίστηκε από το μικρότερο μήκος βλαστούς στους μάρτυρες, υποδηλώνοντας το μικρό δυναμικό ανάπτυξης βλαστού *per se*.



Γράφημα 3.3. Μήκος βλαστού την 5^η, 10^η και 15^η ημέρα, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης



Εικόνα 3.1. Ανάπτυξη των σποροφύτων όλων των ποικιλιών και των επιπέδων καταπόνησης NaCl, την 10^η ημέρα καταπόνησης υψηλής αλατότητας (30/01/2022)

3.3. Επίδραση της αλατότητας στο ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %)

Σχετικά με το ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων, η στατιστική ανάλυση έδειξε διαφορές τόσο μεταξύ των ποικιλιών όσο και μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων καταπόνησης. Όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των επιπέδων καταπόνησης για το σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών, τη μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού εμφάνισαν οι σπόροι που βλάστησαν απουσία του παράγοντα καταπόνησης (0 mM NaCl), ενώ η μικρότερη παρατηρήθηκε στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl), υποδεικνύοντας ότι η μείωση της απορρόφησης δεν ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης (Πίνακας 3.2). Μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών, τη μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού εμφάνισε η ποικιλία Τρικάλων, τόσο απουσία όσο και παρουσία καταπόνησης, ακολουθούμενη από την ποικιλία Λευκά Μελίτης Β-Ι, με μόνη εξαίρεση τους σπόρους που τοποθετήθηκαν στα 100 mM NaCl (4^η ημέρα) (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2. Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά γονότυπο, επίπεδο στρες NaCl και αλληλεπίδρασης αυτών, κατά την 1^η και 4^η ημέρα της καταπόνησης υψηλής αλατότητας

Ημέρα	Γονότυποι (G)	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				M.O.(G)
		0	100	200	300	
1η						M.O.(G)
	FYTRO FS 243	86,17c	82,97b	64,89c	62,76d	74,20e
	Τρικάλων	161,65a	127,81a	134,58a	137,59a	140,41a
	Λευκά Μελίτης Β-Ι	138,18ab	103,93ab	121,51ab	123,33b	121,74b
	Στρογγυλό πορτοκαλί	91,84c	104,96ab	69,14c	115,95b	95,47cd
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	80,32c	81,96b	87,70bc	74,59d	81,14de
	Μπουκάλα Λακωνίας	105,18bc	96,69b	80,66bc	112,26b	98,70c
	Μακεδονικά πράσινα	99,15c	101,68b	95,37abc	90,75c	96,74c
	M.O.(C)	108,93a	100,00a	93,41a	102,46a	
4η						M.O.(G)
	FYTRO FS 243	122,34c	105,31cd	86,17d	111,70cd	106,38c
	Τρικάλων	178,19a	176,31a	161,65a	137,59a	163,43a
	Λευκά Μελίτης Β-Ι	146,96b	110,90bc	134,54b	128,18ab	130,15b
	Στρογγυλό πορτοκαλί	107,44d	125,53b	107,09c	100,00d	110,01c
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	121,31c	127,86b	106,55c	83,60e	109,83c
	Μπουκάλα Λακωνίας	101,88d	89,62de	83,49d	126,88abc	100,47c
	Μακεδονικά πράσινα	108,82d	83,61e	89,07cd	116,38bc	99,47c
	M.O.(C)	126,71a	117,02ab	109,79b	114,90ab	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

3.4. Επίδραση της αλατότητας στον δείκτη ευρωστίας των σπόρων (SVI %)

Αναφορικά με τον δείκτη ευρωστίας, η ανάλυση κατέδειξε την ύπαρξη διαφορών μεταξύ των ποικιλιών και των διαφορετικών επιπέδων καταπόνησης, με την επίδραση της αλατότητας να είναι γενικά ανάλογη της έντασής της (Πίνακας 3.3).

Μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών, τις μεγαλύτερες μέσες τιμές του δείκτη ευρωστίας στα φυτά – μάρτυρες εμφάνισε η ποικιλία Οβάλ Μικρές- Νεάπολης, ενώ ακολούθησαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Λευκά Μελίτης, χωρίς να παρουσιάζονται σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ τους. Ωστόσο, στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl) η ποικιλία FYTRO FS 243 εμφάνισε υψηλότερη τιμή του δείκτη ευρωστίας συγκριτικά με την ποικιλία Οβάλ Μικρές- Νεάπολης, ενώ στα επόμενα επίπεδα καταπόνησης η τιμή του SVI μηδενίστηκε για το σύνολο των ποικιλιών. Η μείωση του δείκτη ευρωστίας κατά την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης αποδεικνύει την αρνητική επίδραση της αλατότητας στην πορεία βλάστησης και ανάπτυξης των σπόρων (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3. Δείκτης ευρωστίας (SVI %) ανά γονότυπο, επίπεδο στρες NaCl και αλληλεπίδρασης αυτών κατά την 5^η ημέρα της καταπόνησης υψηλής αλατότητας

Ημέρα	Γονότυποι (G)	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				M.O.(G)
		0	100	200	300	
5η						
	FYTRO FS 243	51,00a	33,25a	0,00a	0,00a	21,06a
	Τρικόλων	0,00b	0,00c	0,00a	0,00a	0,00b
	Λευκά Μελίτης B-I	51,75a	0,00c	0,00a	0,00a	12,93ab
	Στρογγυλό πορτοκαλί	0,00b	0,00c	0,00a	0,00a	0,00b
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	70,25a	21,75b	0,00a	0,00a	23,00a
	Μπουκάλα Λακωνίας	0,00b	0,00c	0,00a	0,00a	0,00b
	Μακεδονικά πράσινα	10,75b	0,00c	0,00a	0,00a	2,68b
	M.O.(C)	26,25a	7,85b	0,00b	0,00b	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

3.5. Επίδραση της αλατότητας στο ρυθμό βλάστησης (GR) στο μέσο χρόνο βλάστησης (MGT) των σπόρων

Στην πλειονότητα των ποικιλιών, ο ρυθμός βλάστησης των σπόρων εμφάνισε φθίνουσα πορεία, με τη σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης NaCl. Εξαίρεση αποτέλεσαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Μπουκάλα Λακωνίας, οι οποίες εμφάνισαν αύξηση του ρυθμού βλάστησης στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης αλατότητας (100 mM NaCl), ενώ στα υψηλότερα επίπεδα καταπόνησης παρατηρήθηκε η ραγδαία μείωση αυτού. Ως προς το ρυθμό βλάστησης, την καλύτερη επίδοση εμφάνισαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Οβάλ Μικρές-Νεάπολης, με την πρώτη ωστόσο να εμφανίζει μηδενική τιμή στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (300 mM NaCl).

Πίνακας 3.4. Ρυθμός βλάστησης (GR) των σπόρων κατά το χρονικό διάστημα των 7 ημερών καταπόνησης αλατότητας

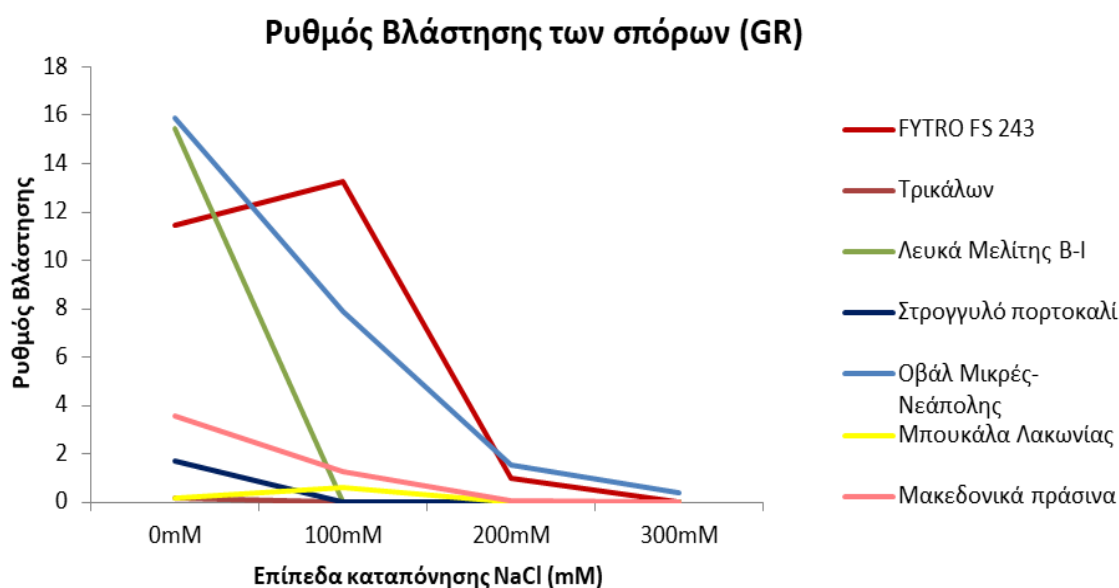
Ημέρα	Γονότυποι (G)	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				M.O.(G)
		0	100	200	300	
7η						
	FYTRO FS 243	11,44	13,28	1,01	0	6,43
	Τρικόλων	0,19	0,04	0	0	0,06
	Λευκά Μελίτης Β-Ι	15,47	0	0	0	3,87
	Στρογγυλό πορτοκαλί	1,74	0	0	0	0,43
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	15,89	7,89	1,55	0,42	6,44
	Μπουκάλα Λακωνίας	0,15	0,61	0	0,04	0,20
	Μακεδονικά πράσινα	7,78	1,30	0,08	0,04	2,30
	M.O.(C)	7,52	3,30	0,38	0,07	

Αναφορικά με το μέσο χρόνο βλάστησης, παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών. Συγκεκριμένα, οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και OM-N (Οβάλ μικρές Νεάπολης) ήταν αυτές που εμφάνισαν σταθερότητα στο χρόνο βλάστησής τους στην πλειοψηφία των μεταχειρίσεων, ο οποίος κυμαινόταν μεταξύ 0,05- 0,9 d. Αντιθέτως, η ποικιλία Τρικόλων και η Μ-Π (Μπουκάλα Λακωνίας) παρουσίασαν μεγαλύτερες χρονικές διακυμάνσεις αναφορικά με τον χρόνο βλάστησης των σπόρων τους.

Πίνακας 3.5. Μέσος χρόνος βλάστησης (MGT) των σπόρων κατά το χρονικό διάστημα των 7 ημερών καταπόνησης αλατότητας

Ημέρα	Γονότυποι (G)	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				M.O.(G)
		0	100	200	300	
7η						
	FYTRO FS 243	0,10	0,08	0,63	0,00	0,20
	Τρικόλων	1,32	7,00	0,00	0,00	2,08
	Λευκά Μελίτης Β-Ι	0,07	0,00	0,00	0,00	0,02
	Στρογγυλό πορτοκαλί	0,14	0,00	0,00	0,00	0,04
	Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	0,06	0,13	0,64	3,63	1,12
	Μπουκάλα Λακωνίας	3,23	0,83	0,00	7,00	2,76
	Μακεδονικά πράσινα	0,55	1,01	3,23	7,00	2,95
	M.O.(C)	0,78	1,29	0,64	2,52	

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχετικά με τον ρυθμό βλάστησης των σπόρων απεικονίζονται στο γράφημα 3.4.



Γράφημα 3.4. Ρυθμός βλάστησης των σπόρων κατά το χρονικό διάστημα των 7 ημερών καταπόνησης αλατότητας

3.6. Επίδραση της αλατότητας στην ποσότητα των φωτοσυνθετικών χρωστικών

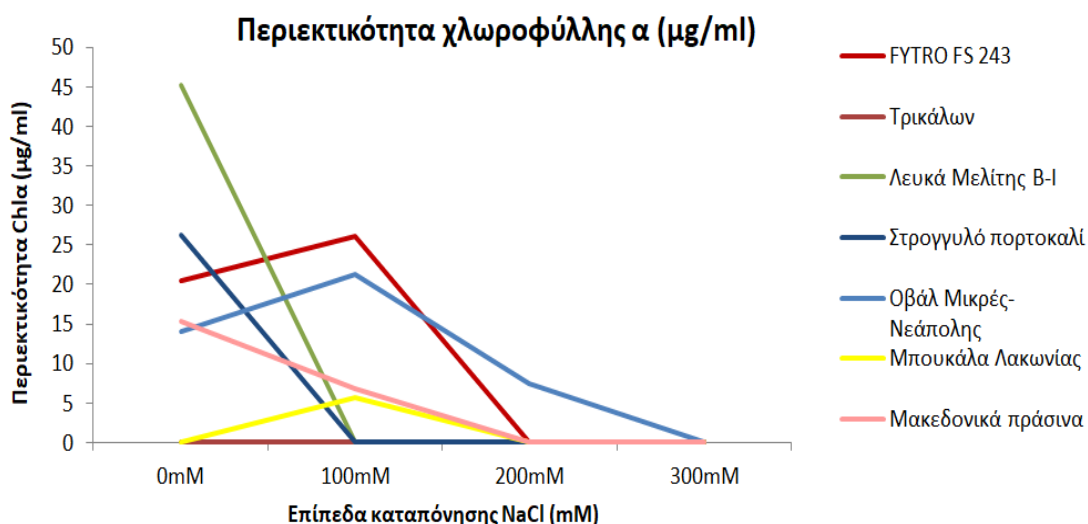
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σχετικά με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη *α*, χλωροφύλλη *β* και ολική χλωροφύλλη κατέδειξαν την ύπαρξη σημαντικών διαφορών μεταξύ των ποικιλιών αλλά και των διαφορετικών επιπέδων καταπόνησης.

Χλωροφύλλη *α*: Όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών, η ποσότητα της χλωροφύλλης *α* εμφάνισε μειωτική τάση με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl (Πίνακας 3.6). Επίσης, σημαντική υπήρξε η επίδραση της ποικιλίας τόσο στους μάρτυρες όσο και στα καταπονημένα φυτά. Απουσία καταπόνησης, η ποικιλία Λευκά Μελίτης Β-Ι εμφάνισε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη *α*, ενώ οι υπόλοιπες ποικιλίες χαρακτηρίστηκαν από σημαντικά μειωμένες τιμές. Είναι αξιοσημείωτο ότι στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl), οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Οβάλ Μικρές-Νεάπολης παρουσίασαν υψηλότερες τιμές χλωροφύλλης *α* σε σχέση με τους μάρτυρες, υποδεικνύοντας ότι η καταπόνηση αλατότητας επιφέρει αύξηση της περιεχόμενης χλωροφύλλης *α*. Η ποικιλία Μπουκάλα Λακωνίας μελετήθηκε για την ποσότητα των χλωροφυλλών της μόνο στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl), καθώς μόνο σε αυτό μπόρεσε να αναπτυχθεί επαρκής φυτικός ιστός για ανάλυση. Στο σύνολο των μεταχειρίσεων, μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη *α* εμφάνισε η ποικιλία FYTRO FS 243, ενώ η χαμηλότερη σημειώθηκε στην ποικιλία Μπουκάλα Λακωνίας. Στην ποικιλία Τρικάλων, ο ιστός δεν ήταν επαρκής για ανάλυση τόσο στους μάρτυρες όσο και στα καταπονημένα φυτά.

Πίνακας 3.6. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη *α* σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	Chla ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	20,54bc	26,15a	-	-	11,67a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης Β-Ι	45,16a	-	-	-	11,29a
Στρογγυλό πορτοκαλί	26,18b	-	-	-	6,54abc
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	14,03c	21,25a	7,46	-	10,68ab
Μπουκάλα Λακωνίας	-	5,75b	-	-	1,4bc
Μακεδονικά πράσινα	15,38c	6,81b	-	-	5,55abc
M.O.(C)	17,33a	8,56b	1,06c	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με *LSD* ($p \leq 0.05$).



Γράφημα 3.5. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α σε µg/ ml φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης

Αντίστοιχα αποτελέσματα με την έκφραση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη α σε µg/ ml εκχυλίσματος, προέκυψαν και για την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α σε mg/ g νωπού βάρους φυτικού ιστού.

Πίνακας 3.7. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη α σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Chla (mg/ g νωπού βάρους)					
Γονότυποι (G)	0mM	100mM	200mM	300mM	M.O.(G)
FYTRO FS 243	0,78bc	0,95a	-	-	0,43a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης Β-Ι	1,58a	-	-	-	0,39ab
Στρογγυλό πορτοκαλί	1,05b	-	-	-	0,26abc
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	0,47c	0,69a	0,28	-	0,36ab
Μπουκάλα Λακωνίας	-	0,24b	-	-	0,06bc
Μακεδονικά πράσινα	0,50c	0,21b	-	-	0,18abc
M.O.(C)	0,63a	0,30b	0,04c	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

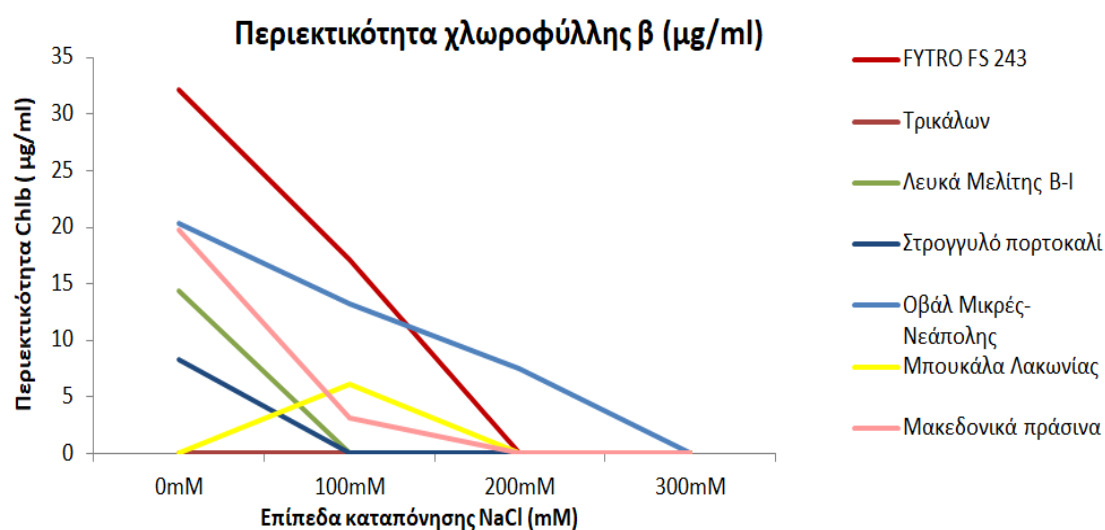
Χλωροφύλλη β: Σε αντίθεση με τη χλωροφύλλη α, η περιεκτικότητα των ιστών σε χλωροφύλλη β χαρακτηρίστηκε από μία σταθερή τάση μείωσης της χρωστικής με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών. Σημειώνεται ωστόσο ότι η επιβεβαίωση της εν λόγω πτωτικής τάσης δεν ήταν εφικτή στην

ποικιλία Μπουκάλα Λακωνίας καθώς ο φωτοσυνθετικός ιστός δεν αναπτύχθηκε επαρκώς στα φυτά – μάρτυρες, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συγκριτική τιμή για την ποσότητα της χλωροφύλλης. Ως προς την περιεχόμενη χλωροφύλλη β, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφάνισε η ποικιλία FYTRO FS 243, τόσο στους μάρτυρες όσο και στα καταπονημένα φυτά, ακολουθούμενη από την ποικιλία Οβάλ Μικρές- Νεάπολης.

Πίνακας 3.8. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	Chlb ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	32,13a	17,11a	-	-	12,31a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης Β-Ι	14,40b	-	-	-	3,60c
Στρογγυλό πορτοκαλί	8,30c	-	-	-	2,07c
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	20,30b	13,26ab	11,79	-	11,34ab
Μπουκάλα Λακωνίας	-	6,17bc	-	-	1,54c
Μακεδονικά πράσινα	19,77b	3,14c	-	-	5,72bc
M.O.(C)	13,56a	5,67b	1,68bc	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).



Γράφημα 3.6. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης

Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα του ιστού σε χλωροφύλλη β εκφρασμένη σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υπογραμμίζουν τη μείωση της χλωροφύλλης β, με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης.

Πίνακας 3.9. Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη β σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	Chlb (mg/ g νωπού βάρους)				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	1,22a	0,63a	-	-	0,46a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης B-I	0,50cd	-	-	-	0,12c
Στρογγυλό πορτοκαλί	0,33d	-	-	-	0,08c
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	0,69b	0,43ab	0,44	-	0,39ab
Μπουκάλα Λακωνίας	-	0,25bc	-	-	0,06c
Μακεδονικά πράσινα	0,65bc	0,09c	-	-	0,18bc
M.O.(C)	0,48a	0,20b	0,06bc	-	

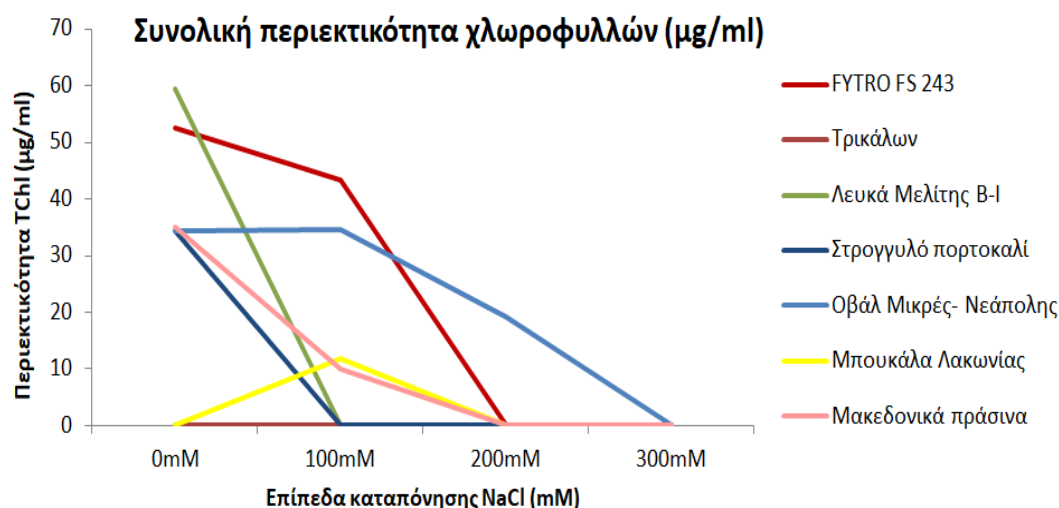
*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

Ολική χλωροφύλλη: Ως προς την ποσότητα ολικής χλωροφύλλης, στην πλειοψηφία των γονοτύπων παρατηρήθηκε μείωση με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl. Όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των ποικιλιών στο σύνολο των μεταχειρίσεων, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφάνισαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Οβάλ Μικρές-Νεάπολης, ενώ σημαντικά μειωμένες τιμές παρουσίασε η ποικιλία Μπουκάλα Λακωνίας. Απουσία καταπόνησης, τις υψηλότερες τιμές ολικής χλωροφύλλης παρουσίασαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Λευκά Μελίτης B-I, ενώ οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Οβάλ Μικρές-Νεάπολης εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl), με την τελευταία να είναι η μόνη ποικιλία που ανέπτυξε επαρκή ιστό στα φυτά που καταπονήθηκαν στα 200 mM NaCl. Στην ποικιλία Τρικάλων δεν αναπτύχθηκε επαρκής ιστός για την πραγματοποίηση της μέτρησης, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η σύγκριση με της υπόλοιπες ποικιλίες.

Πίνακας 3.10. Ποσότητα ολικής χλωροφύλλης σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	Tchl ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	52,67a	43,27a	-	-	23,98a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης Β-Ι	59,56a	-	-	-	14,89abc
Στρογγυλό πορτοκαλί	34,49b	-	-	-	8,62bcd
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	34,34b	34,52a	19,25	-	22,03ab
Μπουκάλα Λακωνίας	-	11,93b	-	-	2,98cd
Μακεδονικά πράσινα	35,16b	9,95b	-	-	11,28abcd
M.O.(C)	30,89a	14,24b	2,75c	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με $LSD (p \leq 0.05)$.



Γράφημα 3.7. Ποσότητα ολικής χλωροφύλλης σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης

Αναφορικά με την ποσότητα ολικής χλωροφύλλης, εκφρασμένης σε mg/g νωπού βάρους φυτικού ιστού, οι ποικιλίες εμφάνισαν μείωση υπό συνθήκες καταπόνησης, με τη μειωτική τάση ωστόσο να διαφοροποιείται μεταξύ των ποικιλιών παρέχοντας ενδείξεις σχετικά με την παραλλακτικότητά τους ως προς την ανθεκτικότητα στην αλατότητα. Απουσία καταπόνησης, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφάνισαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και Λευκά Μελίτης Β-Ι, ενώ υπό συνθήκες καταπόνησης η μικρότερη μεταβολή αφορούσε στην ποικιλία Οβάλ Μικρές-Νεάπολης. Αντίθετα, σημαντική μείωση υπό συνθήκες καταπόνησης εμφάνισε η ποικιλία Μακεδονικά Πράσινα, υποδεικνύοντας μία σχετική ευαισθησία στην καταπόνηση αλατότητας.

Πίνακας 3.11. Ποσότητα ολικής χλωροφύλλης σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	Tchl (mg/ g νωπού βάρους)				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	2,00a	1,58a	-	-	0,89a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης B-I	2,08a	-	-	-	0,52abc
Στρογγυλό πορτοκαλί	1,39b	-	-	-	0,34bc
Οβάλ Μικρές-Νεάπολης	1,17b	1,12a	0,72	-	0,75ab
Μπουκάλα Λακωνίας	-	0,50b	-	-	0,12c
Μακεδονικά πράσινα	1,15b	0,31b	-	-	0,36abc
M.O.(C)	1,11a	0,50b	0,10c	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

Περαιτέρω τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν μείωση του λόγου χλωροφύλλης α / β , χωρίς ωστόσο να σημειώνονται σημαντικές διαφορές στις μέσες τιμές των μαρτύρων και των φυτών που καταπονήθηκαν στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl) για το σύνολο των γονοτύπων. Παρά το γεγονός ότι δε διέφεραν σημαντικά οι μέσες τιμές των ποικιλιών για το σύνολο των μεταχειρίσεων, σημειώθηκαν μεμονωμένες διαφορές. Στο πλείστο των περιπτώσεων, και όπου ήταν εφικτή η εκτίμηση λόγω διαθεσιμότητας ιστού, ο λόγος Chla/ Chlb εμφάνισε αυξητική τάση υπό συνθήκες καταπόνησης.

Πίνακας 3.12. Ο λόγος της χλωροφύλλης α προς τη χλωροφύλλη β , ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	Chla/ Chlb				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	0,64b	1,49b	-	-	0,531a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης B-I	3,14a	-	-	-	0,785a
Στρογγυλό πορτοκαλί	3,13a	-	-	-	0,783a
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	0,69b	1,60b	0,63	-	0,731a
Μπουκάλα Λακωνίας	-	1,80ab	-	-	0,45a
Μακεδονικά πράσινα	0,78b	2,31a	-	-	0,773a
M.O.(C)	1,19a	1,03a	0,09b	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

Καροτενοειδή: Αναφορικά με την ποσότητα των καροτενοειδών, εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές, οι οποίες αφορούσαν κυρίως στη σύγκριση μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών. Βάσει της μέσης τιμής των μεταχειρίσεων για το σύνολο των γονοτύπων, την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καροτενοειδή εμφάνισαν τα φυτά - μάρτυρες, ενώ σημειώθηκε σταδιακή μείωση με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl (Πίνακας 3.13). Απουσία καταπόνησης, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα παρουσίασε η ποικιλία Λευκά Μελίτης Β-Ι, ακολουθούμενη από την ποικιλία Στρογγυλό πορτοκαλί, ενώ οι υπόλοιπες εμφάνισαν αρνητικές τιμές. Στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl), τις μεγαλύτερες τιμές εμφάνισαν οι ποικιλίες Οβάλ Μικρές- Νεάπολης και FYTRO FS 243, ενώ τις μικρότερες η ποικιλία Μπουκάλα Λακωνίας (Πίνακας 3.13). Στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl), δεν κατέστη εφικτή η σύγκριση μεταξύ των ποικιλιών λόγω έλλειψης επαρκούς ποσότητας ιστού για την ανάλυση που αφορούσε στην εκτίμηση της ποσότητας καροτενοειδών.

Πίνακας 3.13. Περιεκτικότητα του ιστού σε καροτενοειδή σε $\mu\text{g}/\text{ml}$ φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	Car ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	-5,65e	2,38a	-	-	-0,81c
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης Β-Ι	11,49a	-	-	-	2,87a
Στρογγυλό πορτοκαλί	6,08b	-	-	-	1,52ab
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	-2,47d	2,49a	-1,36	-	-0,33bc
Μπουκάλα Λακωνίας	-	-0,30b	-	-	-0,07bc
Μακεδονικά πράσινα	-2,23d	1,34ab	-	-	-0,22bc
M.O.(C)	1,03a	0,84a	-0,19a	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

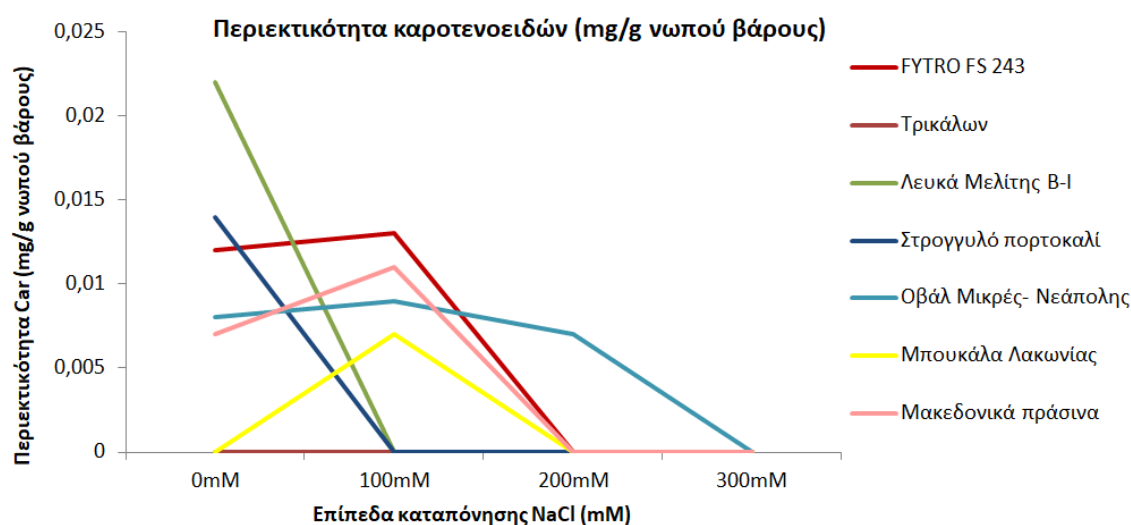
Η ανάλυση της περιεκτικότητας των καροτενοειδών, εκφρασμένη σε mg/g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, έδειξε στατιστικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών και των επιπέδων καταπόνησης (Πίνακας 3.14). Συγκεκριμένα, για τις ποικιλίες FYTRO FS 243, Οβάλ Μικρές-Νεάπολης και Μακεδονικά πράσινα, παρατηρήθηκε

μικρή αύξηση της ποσότητας των καροτενοειδών τους στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl) σε σχέση με τα φυτά – μάρτυρες. Μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών, τη μεγαλύτερη ποσότητα καροτενοειδών περιείχαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243, Οβάλ Μικρές- Νεάπολης και Λευκά Μελίτης B-I στο σύνολο των μεταχειρίσεων (Πίνακας 3.14). Μεταξύ των επιπέδων καταπόνησης, παρατηρήθηκε μείωση της περιεκτικότητας των καροτενοειδών με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl.

Πίνακας 3.14. Περιεκτικότητα του ιστού σε καροτενοειδή σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Car (mg/ g νωπού βάρους)					
Γονότυποι (G)	0mM	100mM	200mM	300mM	M.O.(G)
FYTRO FS 243	0,012bc	0,013a	-	-	0,006a
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης B-I	0,022a	-	-	-	0,005a
Στρογγυλό πορτοκαλί	0,014b	-	-	-	0,003ab
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	0,008c	0,010a	0,008	-	0,006a
Μπουκάλα Λακωνίας	-	0,008a	-	-	0,002ab
Μακεδονικά πράσινα	0,008c	0,011a	-	-	0,004ab
M.O.(C)	0,009a	0,006a	0,001b	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).



Γράφημα 3.8. Περιεκτικότητα του ιστού σε καροτενοειδή σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης

3.7. Επίδραση της αλατότητας στην ποσότητα της προλίνης

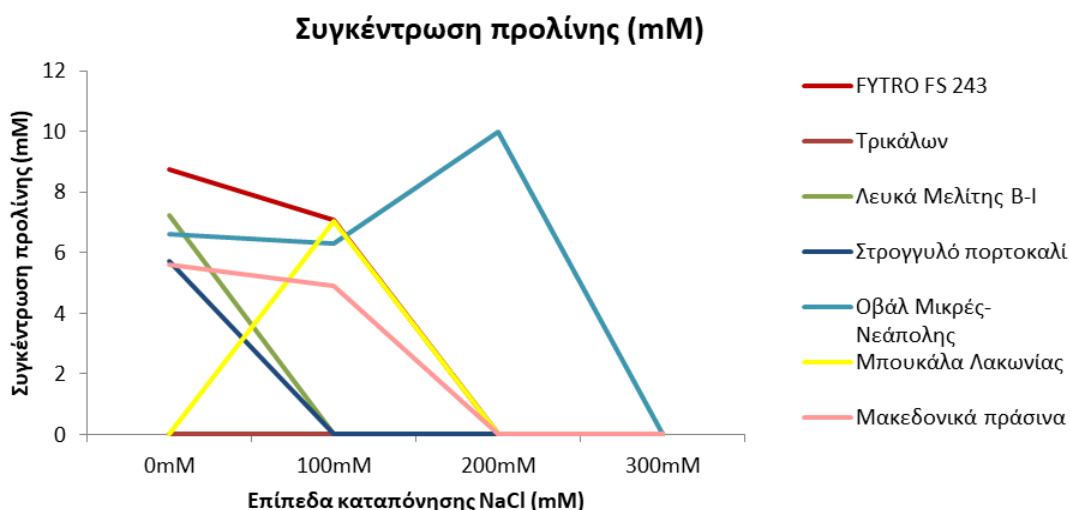
Όσον αφορά την περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε προλίνη, τα αποτελέσματα κατέδειξαν μια τάση μείωσης με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών. Εξαιρέση στη μειωτική αυτή τάση αποτέλεσε η ποικιλία Οβάλ Μικρές-Νεάπολης, η οποία εμφάνισε αύξηση της τιμής της προλίνης στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl).

Μεταξύ των ποικιλιών στο σύνολο των μεταχειρίσεων, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε προλίνη εμφάνισε η τοπική ποικιλία Οβάλ Μικρές-Νεάπολης, ακολουθούμενη από την εμπορική ποικιλία FYTRO FS 243 (Πίνακας 3.15). Αντίθετα, τη χαμηλότερη περιεκτικότητα παρουσίασε η ποικιλία Στρογγυλό πορτοκαλί. Η ποικιλία Τρικάλων δεν ανέπτυξε τον απαραίτητο ιστό για την πραγματοποίηση της μέτρησης, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η σύγκρισή της με τις υπόλοιπες.

Πίνακας 3.15. Συγκέντρωση προλίνης στον χρησιμοποιούμενο φωτοσυνθετικό ιστό, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Συγκέντρωση προλίνης (mM)					
Γονότυποι (G)	0mM	100mM	200mM	300mM	M.O.(G)
FYTRO FS 243	8,74a	7,08a	-	-	3,95ab
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης Β-Ι	7,25ab	-	-	-	1,81bc
Στρογγυλό πορτοκαλί	5,75b	-	-	-	1,43bc
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	6,62ab	6,32b	9,99	-	5,73a
Μπουκάλα Λακωνίας	-	7,05a	-	-	1,76bc
Μακεδονικά πράσινα	5,62b	4,90c	-	-	2,63b
M.O.(C)	4,85a	3,62a	1,42b	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).



Γράφημα 3.9. Συγκέντρωση προλίνης (mM) , ανά ποικιλία και επίπεδο καταπόνησης

Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και από την ανάλυση της περιεκτικότητας της προλίνης εκφρασμένης σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού. Όσον αφορά τη μεταβολή της προλίνης στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης, παρατηρήθηκε μία τάση μείωσής της με την αύξηση της έντασης του παράγοντα καταπόνησης. Μεταξύ των ποικιλιών, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε προλίνη εμφάνισε η Οβάλ Μικρές-Νεάπολης, ακολουθούμενη από τη FYTRO FS 243, όπως προκύπτει από τη μέση τιμή των ποικιλιών στο σύνολο των μεταχειρίσεων. Αξίζει να σημειωθεί η διαφορετική απόκριση των εν λόγω ποικιλιών καθώς η πρώτη εμφάνισε μείωση της προλίνης υπό συνθήκες καταπόνησης, ενώ στη δεύτερη δεν σημειώθηκε σημαντική μεταβολή.

Πίνακας 3.16. Περιεκτικότητα προλίνης σε mg/ g νωπού βάρους φωτοσυνθετικού ιστού, ανά γονότυπο, επίπεδο καταπόνησης αλατότητας, καθώς και της αλληλεπίδρασης αυτών.

Γονότυποι (G)	mg προλίνης/ g νωπού βάρους				M.O.(G)
	0mM	100mM	200mM	300mM	
FYTRO FS 243	5,79a	4,83ab	-	-	2,65ab
Τρικάλων	-	-	-	-	-
Λευκά Μελίτης Β-Ι	4,41ab	-	-	-	1,10bc
Στρογγυλό πορτοκαλί	4,23b	-	-	-	1,05bc
Οβάλ Μικρές- Νεάπολης	4,43ab	4,39b	6,82	-	3,91a
Μπουκάλα Λακωνίας	-	5,42a	-	-	1,35bc
Μακεδονικά πράσινα	3,55b	3,35c	-	-	1,72bc
M.O.(C)	3,20a	2,57a	0,97b	-	

*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ($p \leq 0.05$).

4. Συζήτηση- Συμπεράσματα

Η αλατότητα αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών. Λόγω της γενικότερης περιβαλλοντικής κρίσης και της μείωσης των υδάτινων φυσικών πόρων, πολλές καλλιεργήσιμες εκτάσεις αρδεύονται με νερό κατώτερης ποιότητας. Η υποβάθμιση του νερού άρδευσης με υψηλά ποσοστά αλάτων ή άλλων τοξικών ουσιών επιφέρει επακόλουθη υποβάθμιση του εδάφους και μεταβολικά προβλήματα στα καλλιεργούμενα φυτά. Τα όρια αντοχής των διάφορων φυτών στην αλατότητα του εδάφους διαφέρουν ανάλογα με την οικογένεια, το γένος, το είδος ή ακόμα και το γονότυπο του φυτικού οργανισμού (Balkaya et al., 2016). Οι περισσότερες γεωργικές καλλιέργειες, μεταξύ των οποίων και αυτή της κολοκυθιάς, παρουσιάζουν ευαισθησία στην αλατότητα, καθιστώντας σημαντική τη χρήση ανθεκτικών ποικιλιών στις περιοχές του πλανήτη που υπάρχουν επιβαρυμένα εδάφη (Koksal et al., 2013).

Η περίσσεια άλατος στο εδαφικό διάλυμα κατά το στάδιο ανάπτυξης των φυτών οδηγεί στη συσσώρευση ιόντων Na^+ και Cl^- στα διάφορα φυτικά όργανα και προκαλεί κατ' επέκταση τοξικότητα και δυσκολία πρόσληψης νερού (Kurtar et al., 2016). Το όριο αντοχής του κάθε φυτού στην αλατότητα σχετίζεται με την ικανότητά του να προσαρμόζεται στις εκάστοτε δυσμενείς συνθήκες κάνοντας χρήση συγκεκριμένων στρατηγικών προσαρμογής, όπως η διαφυγή, η αποφυγή και η ανθεκτικότητα (Ors, 2016).

Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα πτυχιακή διατριβή στόχευε στη μελέτη της απόκρισης επτά γονοτύπων κολοκυθιάς, αναφορικά με την ανθεκτικότητά τους σε διάφορα επίπεδα καταπόνησης αλατότητας. Το υπό μελέτη γενετικό υλικό αξιολογήθηκε *in vitro* ως προς την ανθεκτικότητά του στην αλατότητα κατά το πρώιμο αναπτυξιακό στάδιο και συγκεκριμένα κατά τη φάση της βλάστησης, όπου παρουσιάζεται αυξημένη ευαισθησία στις φυσικές καταπονήσεις (Koksal et al., 2013). Για την αξιολόγηση των γονοτύπων κολοκυθιάς ως προς τα αναπτυξιακά και φυσιολογικά τους γνωρίσματα επιλέχθηκαν τέσσερα επίπεδα διαβαθμισμένης καταπόνησης αλατότητας (0 mM, 100 mM, 200 mM και 300 mM NaCl). Τα ευρήματα αυτής της αξιολόγησης έδειξαν την αρνητική συσχέτιση μεταξύ της αλατότητας και του δυναμικού βλάστησης των σπόρων. Συγκεκριμένα, στην συντριπτική πλειοψηφία των

γονοτύπων που μελετήθηκαν διαπιστώθηκε πως η αύξηση της έντασης της καταπόνησης συνοδεύονταν από αντίστοιχη μείωση της ικανότητας βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης των σποροφύτων. Παρά την αρνητική επίδραση της καταπόνησης στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών, το γενετικό υλικό διέφερε σημαντικά ως προς την απόκριση στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης, υπογραμμίζοντας την ύπαρξη σημαντικής γονοτυπικής εξάρτησης στα γνωρίσματα που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα έναντι της αλατότητας.

Σε αυτή τη μελέτη, η ανάλυση κατέδειξε την ύπαρξη σημαντικών διαφορών στο δυναμικό βλάστησης και ανάπτυξης των σποροφύτων *per se*, όπως προκύπτει από τις σχετικές τιμές στα φυτά που αναπτύχθηκαν απουσία του παράγοντα καταπόνησης (μάρτυρες). Απουσία καταπόνησης, το υψηλότερο ποσοστό βλάστησης και δυναμικό ανάπτυξης των σποροφύτων εμφάνισαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243, L- M Λευκά Μελίτης B- I και OM-N (Οβάλ Μικρές Νεάπολης). Ειδικότερα, το μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης σημειώθηκε στην ποικιλία FYTRO FS 243, ενώ ακολούθησαν κατά σειρά η OM-N (Οβάλ Μικρές Νεάπολης), η L-M Λευκά Μελίτης B-I, η M-Π (Μακεδονικά πράσινα), η S-Π (Στρογγυλό πορτοκαλί), η ΜΠ-Λ (Μπουκάλα Λακωνίας), και τέλος, η ποικιλία Τρικάλων, η οποία είχε το χαμηλότερο ποσοστό βλάστησης. Στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl) υψηλό ποσοστό βλάστησης εμφάνισαν οι ποικιλίες FYTRO FS 243 και OM-N (Οβάλ Μικρές Νεάπολης), ενώ οι υπόλοιπες εμφάνισαν μειωμένη ικανότητα ή ακόμη και πλήρη ανάρτηση της βλάστησης. Στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl), η ποικιλία OM- N (Οβάλ Μικρές Νεάπολης) προηγήθηκε της FYTRO FS 243, ενώ μικρό ποσοστό βλάστησης εμφάνισε και η ποικιλία M-Π (Μακεδονικά πράσινα). Τέλος, στο υψηλό επίπεδο στρες (300 mM NaCl) το μεγαλύτερο ποσοστό βλαστημένων σπόρων παρουσίασε η ποικιλία OM-N (Οβάλ Μικρές Νεάπολης), ενώ οι ποικιλίες M-Π (Μακεδονικά πράσινα) και ΜΠ-Λ (Μπουκάλα Λακωνίας) εμφάνισαν πολύ μικρό ποσοστό βλάστησης.

Τα αποτελέσματα αυτά επαληθεύονται και από τη μελέτη των Balkaya et al., οι οποίοι αναφέρουν ότι το δυναμικό βλάστησης των σπόρων επηρεάζεται άμεσα από την αλατότητα, η οποία επηρεάζει ποικιλοτρόπως την ικανότητα βλάστησης, ανάλογα με το γονότυπο του φυτού καθώς και την ένταση και τη διάρκεια της καταπόνησης. Αρνητική συσχέτιση μεταξύ της αλατότητας και του ποσοστού βλάστησης έχει παρατηρηθεί και σε άλλα καλλιεργούμενα είδη, όπως στο μαρούλι (Coons et al.,

1990), στο καρπούζι (Wang et al., 2006) και στον ηλιάνθο (Kaya et al., 2008). Αυτή η προοδευτική μείωση της βλαστικότητας των σπόρων αναλόγως της έντασης της καταπόνησης αλατότητας, αποδίδεται στην τοξικότητα που προκαλούν τα ιόντα Na^+ και Cl^- , η συσσώρευση των οποίων συνοδεύεται από αδυναμία πρόσληψης νερού και αδρανοποίηση ορισμένων ενζύμων που παίζουν καθοριστικό ρόλο στις διεργασίες της βλάστησης των σπόρων (Dan et al., 2007).

Περαιτέρω, μελετήθηκε η επίδραση των διαφόρων συγκεντρώσεων NaCl στην ικανότητα ανάπτυξης του βλαστού και του ριζικού συστήματος των σποροφύτων *in vitro*. Σύμφωνα και με προηγούμενες αναφορές, απουσία καταπόνησης παρατηρήθηκε απρόσκοπτη ανάπτυξη των σποροφύτων (Koksal et al., 2013), ενώ στα μεσαία και υψηλά επίπεδα καταπόνησης, σημειώθηκε ανάσχεση έως και πλήρης αδυναμία ανάπτυξης της ρίζας. Μεταξύ των σποροφύτων που βλάστησαν σε περιβάλλον απουσία άλατος, το μεγαλύτερο ριζικό σύστημα ανέπτυξαν αυτά της ποικιλίας OM-N (Οβάλ Μικρές Νεάπολης), η οποία ήταν και η μοναδική που εμφάνισε ικανότητα ανάπτυξης ρίζας σε όλα τα επίπεδα καταπόνησης. Έτσι, υπό συνθήκες καταπόνησης, την καλύτερη επίδοση εμφάνισε η ποικιλία OM-N (Οβάλ Μικρές Νεάπολης), ακολουθούμενη από την FYTRO FS 243 στην οποία υπήρξε ικανή ανάπτυξης ρίζας έως και το επίπεδο των 200 mM NaCl . Ακολούθησε η ποικιλία M-Π (Μακεδονικά πράσινα), η οποία ανέπτυξε ρίζα στους μάρτυρες και στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η ΜΠ-Λ (Μπουκάλα Λακωνίας), η οποία εμφάνισε μεγαλύτερο μήκος ρίζας και μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης των σπόρων της στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl) και όχι στα φυτά – μάρτυρες.

Αναφορικά με το μήκος βλαστού των σποροφύτων, η ποικιλία M-Π (Μακεδονικά πράσινα) εμφάνισε το υψηλότερο δυναμικό ανάπτυξης απουσία καταπόνησης, παρουσιάζοντας σημαντική διαφορά σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ποικιλίες που χαρακτηρίστηκαν από μειωμένες αντίστοιχες τιμές. Εξαίρεση αποτέλεσε η ποικιλία Τρικάλων, η οποία χαρακτηρίστηκε από αδυναμία ανάπτυξης βλαστού έως και την τελευταία ημέρα λήψης παρατηρήσεων. Η ποικιλία M-Π (Μακεδονικά πράσινα) διατήρησε το μεγάλο μήκος του βλαστού της και στο χαμηλό επίπεδο στρες (100 mM NaCl), όπου σημειώθηκε ικανότητα ανάπτυξης βλαστού στις τέσσερις από τις υπό μελέτη επτά ποικιλίες. Στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl), σημειώθηκε ανάπτυξη βλαστού στις ποικιλίες Οβάλ Μικρές Νεάπολης, FYTRO FS

243 και ΜΠ-Λ (Μπουκάλα Λακωνίας), ενώ στο υψηλό επίπεδο στρες η μόνη που κατάφερε να αναπτύξει βλαστό ήταν η ποικιλία ΟΜ-Ν (Οβάλ Μικρές Νεάπολης).

Στο σύνολό τους, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των αναπτυξιακών παραμέτρων παρείχαν τη δυνατότητα κατηγοριοποίησης των υπό μελέτη ποικιλιών σε τρεις κατηγορίες βάσει της ανθεκτικότητάς τους στα διάφορα επίπεδα καταπόνησης αλατότητας: ανθεκτικές, μέτρια ανθεκτικές και ευαίσθητες. Στις ανθεκτικές ποικιλίες, κατατάσσονται οι ποικιλίες ΟΜ-Ν (Οβάλ Μικρές Νεάπολης) και FYTRO FS 243, οι οποίες αναδείχθηκαν ως ικανές ανάπτυξης ριζιδίου στο μεσαίο και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης. Στις μέτρια ανθεκτικές ποικιλίες, συγκαταλέγονται οι Μ-Π (Μακεδονικά πράσινα) και ΜΠ-Λ (Μπουκάλα Λακωνίας), οι οποίες εμφάνισαν ικανότητα ανάπτυξης κυρίως στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης, ενώ ως ευαίσθητες χαρακτηρίστηκαν οι ποικιλίες L-M (Λευκά Μελίτης) και S-Π (Στρογγυλό πορτοκαλί), όπου παρατηρήθηκε ικανότητα ανάπτυξης αποκλειστικά στους μάρτυρες. Τέλος, η ποικιλία Τρικάλων παρουσίασε σχεδόν μηδαμινή ανάπτυξη στο σύνολο των καταπονήσεων, γεγονός που αποδίδεται είτε στο έμφυτο χαμηλό δυναμικό ανάπτυξής της είτε σε σφάλματα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Περαιτέρω, η αξιολόγηση της απόκρισης των ποικιλιών περιλάμβανε εκτίμηση της περιεκτικότητας των φυτών σε φωτοσυνθετικές χρωστικές και προλίνη. Αναφορικά με τις φωτοσυνθετικές χρωστικές, τα αποτελέσματα έδειξαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ της έντασης της καταπόνησης και της ικανότητας σύνθεσης χλωροφύλλης α , χλωροφύλλης β και καροτενοειδών στο φυτικό οργανισμό. Η μείωση της ποσότητας των χλωροφυλλών στις υπό μελέτη ποικιλίες κολοκυθιάς αποδίδεται ενδεχομένως στη δράση της χλωροφυλλάσης, ενός ενζύμου αποικοδόμησης της χλωροφύλλης (Noreen, 2009). Αντιθέτως, στις ποικιλίες που χαρακτηρίστηκαν ως ανθεκτικές, όπως η Οβάλ Μικρές Νεάπολης, παρατηρήθηκε αύξηση της περιεκτικότητας χλωροφυλλών στα περιβάλλοντα με αυξημένη ποσότητα άλατος. Το γεγονός αυτό, σύμφωνα με έρευνα των Sevensogor et al. (2011), αποδίδεται στην δράση των αντιοξειδωτικών ενζύμων που δρουν προστατευτικά εμποδίζοντας την αποικοδόμηση των χλωροφυλλών στο φύλλωμα της κολοκυθιάς. Παρόμοια δραστηριότητα εμφανίζουν και τα καροτενοειδή, στα οποία παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης στις ανθεκτικές ποικιλίες, ενώ βρίσκονταν σε περιβάλλον με περίσσεια άλατος. Σε αυτά αποδίδεται ο ρόλος εκκαθάρισης του O_2 , καθώς δρουν ως

αντιοξειδωτικά, προστατεύοντας τη φωτοσυνθετική λειτουργία από οξειδωτική βλάβη (Βλάχου, 2011).

Αναφορικά με την προλίνη, έρευνες έχουν δείξει ότι δρα ως ωσμωλύτης για τη ρύθμιση της ωσμωτικής πίεσης και ότι παρατηρείται αυξημένη συσσώρευσή της υπό συνθήκες επικράτησης έντονης καταπόνησης. Σύμφωνα με αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας σχετικά με την επίδραση της καταπόνησης αλατότητας στο είδος *Cucurbita pepo*, τα φυτά που αναπτύσσονται σε αλατούχο εδαφικό περιβάλλον εμφανίζουν αυξημένη συγκέντρωση προλίνης συγκριτικά με τα φυτά – μάρτυρες (Siddiqui et al., 2014). Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η συσσώρευση προλίνης στους φυτικούς ιστούς εξαρτάται άμεσα από την ένταση και τη διάρκεια της καταπόνησης αλατότητας (Chaum, 2009). Παρά τις αναφορές σχετικά με την αύξηση της ποσότητας προλίνης υπό συνθήκες καταπόνησης, στην παρούσα μελέτη η πλειονότητα των ποικιλιών εμφάνισε μειωμένη συγκέντρωση προλίνης με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl, με εξαίρεση την ποικιλία Οβάλ Μικρές Νεάπολης, η οποία χαρακτηρίστηκε από σημαντικά αυξημένη συσσώρευση στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl). Λαμβάνοντας υπόψη την υπεροχή της εν λόγω ποικιλίας ως προς το σύνολο των γνωρισμάτων που μελετήθηκαν, τα δεδομένα αυτά παρέχουν επιπλέον ενδείξεις σχετικά με την ανθεκτικότητά της έναντι της καταπόνησης αλατότητας.

Συμπερασματικά, το είδος *Cucurbita pepo* παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον αφενός λόγω της διατροφικής αξίας των καρπών και αφετέρου λόγω των υψηλών αποδόσεων που επιτυγχάνει η καλλιέργεια του. Με δεδομένη τη συνεχή υποβάθμιση των εδαφών σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της σταδιακής συσσώρευσης αλάτων, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη αναγνώρισης ή/και ανάπτυξης γονοτύπων κολοκυθιάς που εμφανίζουν γενετική ανθεκτικότητα έναντι της καταπόνησης αλατότητας. Πέραν της άμεσης αξιοποίησής τους για καλλιέργεια, οι γονότυποι με προηγμένη ικανότητα αντίστασης στην αλατότητα μπορούν να αξιοποιηθούν ως γενετικό υλικό σε βελτιωτικά προγράμματα που στοχεύουν στην ανάπτυξη ποικιλιών με ενισχυμένη ανθεκτικότητα έναντι της υψηλής αλατότητας. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, όπου αξιολογήθηκε το δυναμικό βλάστησης και ανάπτυξης των σποροφύτων υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας, μπορούν να αποτελέσουν μία βάση για την περαιτέρω αξιολόγηση του γενετικού υλικού κολοκυθιάς σε συνθήκες αγρού κατά τα μετέπειτα αναπτυξιακά στάδια.

5.Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

A

Andjelkovi, M., Van Camp J., Trawka A., Verhé R., 2010 Phenolic compounds and some quality parameters of pumpkin seed oil., *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 112, 208–217

Ahmet Balkaya, Songul Yıldız, Ayhan Horuz, Senay Murat Doğru, 2016, Effects of Salt Stress on Vegetative Growth Parameters and Ion Accumulations in Cucurbit Rootstock Genotypes, *Journal of Crop Breeding and Genetics* 2(2):11-24

Andolfo G., Di Donato A., Darrudi R., Errico A., Cigliano R.A., Ercolano M.R., 2017, Draft of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) proteome: A resource for genetic and genomic studies. *Front. Genet.*, 8

Andrade-Cetto A & Heinrich M., 2005, Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes, *J Ethnopharmacol*, 99, 325–348

Ashraf, M. Y., Sarway, G., M., Afaf, R. and Sattar, A. 2002. Salinity induced changes in alpha amylase activity during germination and early cotton seedling growth. *Biol. Plant.* 45:589-591

Ashrafa, M. Foolad, M.R, 2007, Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance *Environmental and Experimental Botany* Volume 59, Issue 2, March 2007, Pages 206-216

B

Baenas N., García-Viguera C., Moreno DA., 2014,. Elicitation: A tool for enriching the bioactive composition of foods. *Molecules* 19: 13541–13563.

Bahlgerdi, M., 2014, The Study of Plant Density and Planting Methods on Some Growth Characteristics, Seed and Oil Yield of Medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo* Var. *Styriaca*, Cv. Kaki). *Am. J. Life Sci*, 2, 319

Bray EA, Bailey-Serres J, Weretilnyk E, 2000, Responses to abiotic stresses. In: Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL (Eds), Biochemistry and molecular biology of plants. American Society of Plant Physiologists, Rockville, pp 1158–1203

C

Caili F, Huan S & Quanhong L, 2006, A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin., *Plant Foods Hum Nutr* 61, 73–80.

Cha-um, Kirdmanee, 2009, Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane plantlets in response to iso – osmotic salt and water – deficit stress, *Agric. Sci. China* 8, 51-58

Cheong NE, Choi YO, Kim WY, et al., 1997, Purification and characterization of an antifungal PR-5 protein from pumpkin leaves, *Mol Cell* 7, 214–219.

Coons, J. M., Kuehl, R. O. and Simons, N. R. 1990. Tolerance of ten lettuce cultivars to high temperature combined with NaCl during germination. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:1004-1007.

D

Dan, T. H. and Brix, H. 2007. The influence of temperature, light, salinity and seed pre-treatment on the germination of *Sesbania sesban* seeds. *Afri. J. Biot.* 6(19):2231-2235

Delauney, A.J. Verma, D.P.S. ,1993, Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, 4 , pp. 215-223

E

Eagles JM, 1990, Treatment of depression with pumpkin seeds, *Br J Psychiatry* 157, 937–938.

F

Fageria, N. K., Soares Filho, W. D. S., and Gheyi, H. R. , 2010, Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, 206-218.

Fahim AT, Abd-el Fattah AA, Agha AM, et al., 1995, Effect of pumpkin-seed oil on the level of free radical scavengers induced during adjuvant-arthritis in rats, *Pharmacol Res* 31, 73–79

G

Graifenberg A., Botrini L., Giustiniani L., Filippi F., Curadi M., 2003, Tomato Growing in saline conditions with biodesalinating plants: *Salsola soda* L. and *Portulaca oleracea* L. *Acta Horticulturae* 609: 301-305

H

Hammer KA, Carson CF & Riley TV , 1999, Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts, *J Appl Microbiol* 86, 985–990.

Heather R. Kates, Pamela S. Soltis, Douglas E. Soltis, 2017, Evolutionary and domestication history of *Cucurbita* (pumpkin and squash) species inferred from 44 nuclear loci, University of Florida, USA

I

Imaeda N, Tokudome Y, Ikeda M, et al., 1999, Foods contributing to absolute intake and variance in intake of selected vitamins, minerals and dietary fiber in middle-aged Japanese. *J Nutr Sci Vitaminol* 45, 519–532.

J

Jian L, Du CJ, Lee AH, et al., 2005, Do dietary lycopene and other carotenoids protect against prostate cancer? , *Int J Cancer* 113, 1010–1014

K

Kalaiselvi, K. & Selvi, S., 2016, Phytochemical Screening And Antioxidant Activity Of *Cucurbita Pepo* Leaves., 3, 375–377

Kaya, M. D. and Day, S. 2008. Relationship between seed size and NaCl on germination, seed vigor and early seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Afr. J. Agr. Res.* 3(11):787-791

Koca M., Bor M., Ozdemir F., Turkan I., 2007, The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidant enzymes and proline content of sesame cultivars, *Environ. Exp. Bot.*, 60, 344-351

Koksal Aydinsakir, Kamile Ulukapi, Rana Kurum, Dursun Buyuktas, 2013, The effects of different salt source and concentrations on seed germination and seedling growth of pumpkin varieties used as rootstock, *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.11(1):503- 510

Kurtar ES, Balkaya A and Kandemir D, 2016, Screening for salinity tolerance in developed winter squash (*Cucurbita maxima*) and pumpkin (*Cucurbita moschata*) lines. *YuzuncuYil University Journal of Agricultural Sciences* 26 (2): 183-195

Kurum, Ulukapi, Audinsakiri, Naci , 2013, The Influence of Salinity on Seedling Growth of Some Pumpkin Varieties Used as Rootstock, 41(1):219-225

Kwon YI, Apostolidis E, Kim YC, et al., 2007, Health benefits of traditional corn, beans, and pumpkin: in vitro studies for hyperglycemia and hypertension management., *J Med Food* 10, 266–275

L

Leibovich G., Cohen R., Shtienberg D., Paris, H.S., 1993, Variability in the reaction of squash (*Cucurbita pepo*) to inoculation with *Sphaerotheca fuliginea* and methodology of breeding for resistance. *Plant Pathol.*, 42, 510–516

Li T., Hu Y., Du X., Tang H., Shen C., Wu J, 2014, Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in *Torreya grandis* cv. *Merrillii* seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems

Loconsole D., Cristiano G., De Lucia B., 2019, Glassworts: From Wild Salt Marsh Species to Sustainable Edible Crops. *Agriculture* 9: 14.

M

Machado RMA, Serralheiro RP., 2017, Soil Salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae* 3: 30.

Marschner H, 1995, Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edn. Academic Press, London, pp. 657-680.

Martha, R. & Gutierrez, P., 2016, Medicinal chemistry Review of Cucurbita pepo (Pumpkin) its Phytochemistry and Pharmacology. 6, 12–21

Mi, Y.K., Eun, J.K., Young-Nam, K., Changsun, C., Bo-Hieu, L., 2012, Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (cucurbitaceae) species and parts. Nutr. Res. Pract., 6, 21–27.

Michael G. Simpson, 2017, Συστηματική των φυτών, Εκδόσεις Utopia, Αθήνα, σ.σ. 367,370

Munns R., Gilliam M., 2015, Salinity tolerance of crops – what is the cost? New Phytologist , 668-673.

Murkovic M, Mulleder U & Neunteufl H, 2002, Carotenoid content in different varieties of pumpkins. J Food Comp Anal 15, 633–638.

N

Napier T., 2009, Pumpkin production. Primefacts, 964, 1–8.

Niu G., Davis TD., Masabni J. ,2019, A review of salinity tolerance research in horticultural crops. Journal of Arid Land Studies. 29: 53-59

Noreen Z, Ashraf M, 2009, Changes in antioxidant enzymes and some key metabolites in some genetically diverse cultivars of radish (*Raphanus sativus* L.). Environ. Exp. Bot., 67(2): 395-402.

O

Ors S and Suarez DL, 2016, Salt tolerance of spinach as related to seasonal climate. Horticultural Science (Prague) 1: 33-41

P

Paris, H. S., 2001, History of the cultivar-groups of Cucurbita pepo. HORTICULTURAL REVIEWS-WESTPORT THEN NEW YORK-, 25, 71-170.

Park SC, Lee JR, Kim JY, et al., 2010, Pr-1, a novel antifungal protein from pumpkin rinds. *Biotechnol Lett* 32, 125–130.

Pirasteh-Anosheh H., Hashemi SE., 2020, Priming, a Promising Practical Approach to Improve Seed Germination and Plant Growth in Saline Conditions. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences* 8: 6-10

R

Rabrenovi, B. B., Dimi, E. B., Novakovi, M. M. & Te, V. V. *LWT*, 2013, Food Science and Technology The most important bioactive components of cold pressed oil from different pumpkin (*Cucurbita pepo* L .) seeds. 1–7

Rao, K., Raghavendra, A, Reddy, K., 2006, Salt Stress. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*,3, 41-99.

Ratnam, N., Najjibullah, M., & Ibrahim, M. D., 2017, A review on *Cucurbita pepo*. *Int J Pharm Phytochem Res*, 9, 1190-4

Rengasamy P., Churchman GJ. ,1999, Cation exchange capacity, exchangeable cations and sodicity. In: Peverill K.I., Sparrow L.A., Reuter D.J. (Eds). *Soil Analysis: An Interpretation Manual*. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, pp. 147-158.

Rubatzky V.E., Yamaguchi M., 1997, *World Vegetable, Principles, production and nutritive values*, Springer US, pp. 577-590

S

Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Capanoglu, E., Adrar, N., Catalkaya, G., Shaheen, S., ... & Cho, W. C., 2019, *Cucurbita* plants: from farm to industry. *Applied Sciences*, 9(16), 3387.

Savage, J.A., Haines, D.F., Holbrook, N.M., 2015, The making of giant pumpkins: how selective breeding changed the phloem of *Cucurbita maxima* from source to sink. *Plant, Cell Environ.* 38 (8), 1543–1554

Sevengor, Yasar, Kusvuran, Ellialtioglu, 2011, The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling, *African Journal of Agricultural Research* Vol. 6(21), pp. 4920-4924

Siddiqui, M. H., Al-Wahaibi, M. H., Faisal, M., & Al Sahli, A. A., 2014, Nano-silicon dioxide mitigates the adverse effects of salt stress on *Cucurbita pepo* L. *Environmental toxicology and chemistry*, 33(11), 2429-2437

Smith, B.D., 1997, The initial domestication of *Cucurbita pepo* in the Americas 10,000 years ago. *Science*, Washington

Sonneveld C., Voogt W., 2009, *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer, Dordrecht Heidelberg, London, New York. 431 p.

T

Tarhan, L.; Kayali, H.A.; Urek, R.O., 2007, In Vitro Antioxidant Properties of *Cucurbita pepo* L. Male and Female Flowers Extracts. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 62, 49–51.

W

Wang, Y. F, 2006, Effect of NaCl stress on seed germination of watermelon. *J. Anhui Agric. Sci.* 34(24)181:6497-6499

X

Xia T & Wang Q, 2006, Antihyperglycemic effect of *Cucurbita ficifolia* fruit extract in streptozotocin-induced diabetic rats. *Fitoterapia* 77, 530–533.

Y

Yadav, M., Jain, S., Tomar, R., Prasad, G. B. K. S. & Yadav, H., 2017, Medicinal and biological potential of pumpkin : an updated review *Nutrition Research Reviews* *Nutrition Research Reviews*. 184–190

Yasar F, Kusvuran S, Ellialtıođlu S, 2006, Determination of anti-oxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 81(4): 627-630

Yuan Y., Brunel C., van Kleunen M., Li J., Jin Z. 2019, Salinity-induced changes in the rhizosphere microbiome improve salt tolerance of *Hibiscus hamabo*. *Plant Soil* 443: 525–537.

Z

Zhang P., Senge M., Dai Y., 2016, Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponic system. *Reviews in Agricultural Science* 4: 46- 55.

Zitter, T.A.; Hopkins, D.L.; Thomas, C.E., 1996, *Compendium of Cucurbit Diseases*; APS Press: Saint Paul, MN, USA, p. 89054.

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία:

A

Αϊβαλάκης, Γ., Καραμπουρνιώτης, Γ., Φασσέας, Κ, 2005, *Γενική Βοτανική: Η Μορφολογία, η Ανατομία και η Φυσιολογία των Ανώτερων Φυτών*. Αθήνα: Εκδόσεις Έμβρυο.

B

Βλάχου Γ., 2011, *Επίδραση της αλατότητας στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά της μπάμιας σε υδροπονική καλλιέργεια*, Μεταπτυχιακή Μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

Γ

Γιαννακούρης, Ν., Νικολιουδάκης, Ν., & Κοκκορόγιαννης, Θ., 2015, *Οδηγός εργαστηριακών και φροντιστηριακών ασκήσεων βιολογίας [Εργαστηριακός Οδηγός]*. Κάλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Γιανούλης Δ., 2020, *Αξιολόγηση των υβριδίων κολοκυθιού*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αμαλιάδα

Δ

Δημητράκης Κ. Γ., 1998, *Λαχανοκομία*, Εκδόσεις Αγρότυπος, Αθήνα, σ.σ.11, 16-18

Δροσόπουλος, Ι. 1998. *Φυσιολογία Φυτών*, Μέρος Ι. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

K

Κανάκης Γ., 2004, Καλλιέργεια λαχανικών στο θερμοκήπιο, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα

Καραμπουριώτης Γ., Σάββας Δ., 2021, Παράγοντες καταπόνησης των φυτών στο θερμοκήπιο, Ανοιχτές ακαδημαϊκές εκδόσεις Κάλλιπος, σ.σ. 80-96

Καραμπουρνιώτης Γ., Λιακόπουλος Γ., Νικολόπουλος Δ., 2012, Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών: Οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος, Εκδόσεις έμβρυο, σ.σ. 19-23, 59-63

Κυριακίδου Χ., 2014, Εκτίμηση του φωτοπροστατευτικού δυναμικού των ανθοκυανινών στο φυτό *Berberis cretica* μέσω της μελέτης φθορισμού χλωροφύλλης *in vivo*, Πτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

M

Μανέτας, Γ, 2005, Φυσιολογία Φυτών. Αθήνα: Εκδόσεις Ίων

O

Ολύμπιος Μ., 2001, Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα

Σ

Σκουφογιάννη Γεωργία, 2018, Απόκριση γενετικού υλικού σόγιας (*Glycine max. (L) Merr.*) σε αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης, Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

X

Χα Ιμπραχίμ- Αβραάμ, Πετρόπουλος Σ., 2014, Γενική Λαχανοκομία και Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Κολοκύθι ή Κολοκυθιά, σ. 329

Οργανισμοί:

Eurostat – European Commission, 2020 (www.ec.europa.eu/eurostat)

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017, FAOSTAT database (www.fao.org)