



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Απόκριση γενετικού υλικού σουσαμιού (*Sesamum indicum* L.) ως προς την
ανεκτικότητα έναντι της καταπόνησης υψηλής αλατότητας»

Καστανάκη Κωνσταντίνα



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

ΒΟΛΟΣ, 2024

«Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας».

Καστανάκη Κωνσταντίνα

**«Απόκριση γενετικού υλικού σουσαμιού (*Sesamum indicum* L.) ως προς την
ανεκτικότητα έναντι της καταπόνησης υψηλής αλατότητας»**

**«Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm in relation to salinity
tolerance»**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ουρανία Παυλή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Επιβλέπουσα

Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Μέλος

Κυριάκος Γιαννούλης, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Μέλος

Ευχαριστίες

Στο ταξίδι της ζωής ο κάθε άνθρωπος διανύει την δική του μοναδική διαδρομή επιλέγοντας να ανασκοπεί στο τέλος του κάθε μεγάλου επιμέρους μονοπατιού της, τις περιόδους που αποτέλεσαν για εκείνον σταθμούς. Ένας από τα μεγαλύτερους σταθμούς που σημάδεψαν το δικό μου ταξίδι έως τώρα αποτέλεσε η συγγραφή της παρούσας πτυχιακής διατριβής στο εργαστήριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.

Αισθάνομαι ευγνώμων και οφείλω από καρδιάς ένα μεγάλο ευχαριστώ στην επιβλέπουσα της πτυχιακής μου διατριβής κα. Ουρανία Παυλή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής και των πειραμάτων της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Εν συνεχεία, οφείλω ένα εξίσου μεγάλο ευχαριστώ στην κα. Παναγιωτάκη Ευαγγελία, μέλος ΕΔΙΠ, για την αδιάκοπη αρωγή, ηθική υποστήριξη και καθοδήγηση της, κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων. Η συμβολή της στην εκπόνηση της διατριβής ήταν καθοριστικής σημασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές Νικόλαο Δαναλάτο και Κυριάκο Γιαννούλη για τη συμμετοχή τους στην Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή.

Απευθύνω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στους υπεύθυνους από τα εργαστήρια Δενδροκομίας και Ανθοκομίας, για την ευγενική παραχώρηση του απαραίτητου εξοπλισμού για την πραγματοποίηση του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Χριστίνα Τούμπου, υποψήφια διδάκτορα στο Εργαστήριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, για τις χρήσιμες συμβουλές κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειραματικού μέρους.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
SUMMARY.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΚΑΤΑΓΩΓΗ- ΕΞΑΠΛΩΣΗ.....	11
1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	13
1.3 ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	14
1.3.1 Ριζικό σύστημα.....	14
1.3.2 Βλαστός και διακλαδώσεις	15
1.3.3 Φύλλα	15
1.3.4 Άνθη	16
1.3.5 Καρπός και σπόρος.....	17
1.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ - ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	18
1.4.1 Βλαστική φάση	19
1.4.2 Αναπαραγωγική φάση	20
1.4.3 Φυσιολογική ωρίμανση	20
1.4.4 Φάση ξήρανσης	21
1.5 ΕΛΑΦΟΚΑΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.....	22
1.5.1 Έδαφος.....	22
1.5.2 Φωτοπερίοδος.....	22
1.5.3 Θερμοκρασία	22
1.5.4 Υγρασία	23
1.5.5 Επίδραση ανέμου και χαλαζιού.....	23
1.6 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ	24
1.6.1 Κατεργασία του εδάφους.....	24
1.6.2 Λίπανση.....	24
1.6.3 Σπορά	25
1.6.4 Καταπολέμηση ζιζανίων.....	25
1.6.5 Αμειψισπορά	26
1.6.6 Άρδευση	26
1.6.7 Συγκομιδή	27
1.7 ΑΠΟΔΟΣΗ.....	27
1.8 ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ	28
1.9 ΧΡΗΣΕΙΣ.....	29
1.10 ΑΒΙΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ	30
1.10.1 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας	30
1.10.2 Στρατηγικές αντιμετώπισης της αλατότητας	33
1.10.3 Επιπτώσεις της αλατότητας στο <i>Sesamum indicum</i> L.	34
1.10.4 Απόκριση προλίνης στην καταπόνηση.....	34
1.11 ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΣΟΥΣΑΜΙ	35
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	36
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	37
2.1 ΓΕΝΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΟΥΣΑΜΙΟΥ	37

2.2	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	37
2.3	ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΣΠΟΡΩΝ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑ ΤΡΙΒΑΙΑ	39
2.4	ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	41
2.5.1	ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	42
2.5.2	Απομόνωση φυτικού υλικού	42
2.5.3	Διαδικασία εκχύλισης των φύλλων για προσδιορισμό περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη b και καροτενοειδή	42
2.5.4	Μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο	44
2.5.5	Απομόνωση φυτικού υλικού για τον ποσοτικό προσδιορισμό των σποροφύτων σε προλίνη.....	45
2.5.6	Διαδικασία εκχύλισης για προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε προλίνη	45
2.5.7	Προετοιμασία δειγμάτων για μέτρηση απορρόφησης στο φασματοφωτόμετρο	46
2.6	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ	46
2.7	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	48
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	50
3.1	ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΠΟΡΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ	50
3.2	ΜΗΚΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ ΚΑΙ ΡΙΖΑΣ ΤΩΝ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	56
3.3	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ	60
	ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ (WC).....	60
3.4	ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΓΟΝΟΤΥΠΩΝ (SVI).....	61
3.5	ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΓΟΝΟΤΥΠΩΝ (SSI)	63
3.6	ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΓΟΝΟΤΥΠΩΝ (STI)	64
3.7	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΣΕ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ Α, ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ Β ΚΑΙ ΟΛΙΚΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ.....	64
3.8	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΣΕ ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ.....	68
3.9	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ ΣΕ ΠΡΟΛΙΝΗ.....	68
4.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	70
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

Περίληψη

Το σουσάμι (*Sesamum indicum* L.) είναι ένα από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα ελαιοδοτικά φυτά, με ιστορία που χρονολογείται πάνω από 6.000 χρόνια. Το ευρύτερα καλλιεργούμενο είδος του σήμερα είναι το *Sesamum indicum* L. που εκτείνεται κυρίως στην Ασία και την Αφρική. Ελάχιστες καλλιέργειες σουσαμιού παρουσιάζονται στην Ευρώπη, εκ των οποίων οι περισσότερες συγκεντρώνονται στην Ελλάδα και τη Νότια Ιταλία. Αποτελεί φυτό με άριστη διατροφική αξία, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των σπόρων σε έλαιο, το οποίο είναι πλούσιο σε αντιοξειδωτικά και ωφέλιμα λιπαρά οξέα. Το σησαμέλαιο παράλληλα, είναι ανθεκτικό στην οξείδωση και διαθέτει θεραπευτικές ιδιότητες, γεγονός που το καθιστά πολύτιμο στη φαρμακοβιομηχανία, την βιομηχανία τροφίμων κ.λπ.. Ως είδος, το σουσάμι εμφανίζεται ανθεκτικό στην ξηρασία, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για καλλιέργεια σε ημίξηρες και τροπικές περιοχές. Ωστόσο, παρουσιάζει ευαισθησία στην υψηλή αλατότητα του εδάφους, την αυξημένη ακτινοβολία και τις ακραίες θερμοκρασίες. Οι παραπάνω καταπονήσεις έχουν κρίσιμη επιρροή στην παραγωγικότητα και την τελική απόδοση του φυτού. Παράλληλα, οι ποικιλίες σουσαμιού με γενετική ανθεκτικότητα έναντι της αλατότητας δεν είναι ευρέως διαδεδομένες. Οι απαιτήσεις του φυτού σε θρεπτικά στοιχεία είναι μέτριες, αλλά η ολοκληρωμένη διαχείριση του εδάφους, του νερού και της λίπανσης είναι κρίσιμη για την επίτευξη επιθυμητών αποδόσεων. Σκοπό της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η διερεύνηση της απόκρισης τεσσάρων γονοτύπων σουσαμιού σε συνθήκες καταπόνησης αλατότητας, στο στάδιο της βλάστησης. Οι γονότυποι που μελετήθηκαν περιλάμβαναν έναν αρχικό πληθυσμό, τον «Πληθυσμό 21» και τρεις βελτιωμένες σειρές, τη «Σειρά 4», τη «Σειρά 13» και τη «Σειρά 15», οι οποίες προέκυψαν από τον αρχικό πληθυσμό έπειτα από διαδοχικές επιλογές με κριτήριο την υψηλή απόδοση. Οι υπό μελέτη γονότυποι υποβλήθηκαν σε τρία διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης αλατότητας (50 mM, 100 mM, 200 mM NaCl), ενώ φυτά που αναπτύχθηκαν απουσία NaCl, αποτέλεσαν τον μάρτυρα του πειράματος. Η απόκριση του γενετικού υλικού στην καταπόνηση βασίστηκε σε φυσιολογικές και βιοχημικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση αφορούσε στο ποσοστό βλάστησης, τα μήκη βλαστού και ρίζας, το ποσοστό απορρόφησης νερού των φυταρίων καθώς και ένα σύνολο παραμέτρων που συνιστούν βασικούς δείκτες εκτίμησης του επιπέδου

ανθεκτικότητας, όπως ο δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων και οι δείκτες ευαισθησίας και ανθεκτικότητας των γονοτύπων. Περαιτέρω, στην αξιολόγηση των γονοτύπων χρησιμοποιήθηκαν και οι βιοχημικοί παράγοντες που συνδέονται με τη στρατηγική του φυτού παρουσία καταπόνησης, όπως οι φωτοσυνθετικές χρωστικές και η προλίνη. Στην παρούσα έρευνα, το σύνολο των ευρημάτων ανέδειξε τη «Σειρά 15» ως την πλέον ανθεκτική στην καταπόνηση αλατότητας στο στάδιο της βλάστησης, συνηγορώντας υπέρ της δυνατότητας χρήσης της ως γενετικό υλικό εκκίνησης σε βελτιωτικά προγράμματα. Επιπλέον, τα συνολικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας στη φάση της βλάστησης αποτελεί κατάλληλη μεθοδολογία για την ανάδειξη της παραλλακτικότητας μεταξύ των γονοτύπων.

Λέξεις κλειδιά: *Sesame indicum* L., σουσάμι, αβιοτική καταπόνηση, απόκριση στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας, ανάδειξη γενετικής παραλλακτικότητας, επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων

Summary

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the oldest cultivated plants used for oil production, with a history dating back over 6,000 years. The most widely cultivated species nowadays is *Sesamum indicum* L., which is mainly found in Asia and in Sub-Saharan Africa. In Europe, the cultivation of sesame is not common, yet there are few land areas dedicated to the crop in Greece and in south Italy. Sesame is a plant of exceptional nutritional value, as its seeds are characterized by high oil content, which is rich in antioxidants and fatty acids. Sesame oil is resistant to oxidation and has therapeutic properties, which makes it an asset in the food and pharmaceutical industry. Sesame is also characterized by considerable drought tolerance, thus being suitable for cultivation in semi-arid and tropical regions. Nevertheless, it exhibits sensitivity to soil salinization, increased radiation and extreme temperatures. The abovementioned stress factors exert complex effects which compromise crop's productivity and final yield. At the same time, there is a lack of varieties endowed with tolerance to salinity. The crop's nutrient requirements are moderate, but integrated soil, water and fertilization management is crucial to achieve optimum yield. This thesis aimed at investigating the response of four sesame genotypes to salinity stress at germination stage. The genetic material consisted of an initial population, 'Population 21', and three superior lines, namely 'Line 4', 'Line 13' and 'Line 15', which derived from the initial population after several cycles of selection for high yield. Genotypes under study were subjected to different salt stress levels (50 mM, 100 mM, 200 mM NaCl), while non-stressed plants were included as controls. The stress response was based on physiological and biochemical parameters. In particular, the evaluation referred to germination percentage, shoot and root length, seedling water content as well as parameters that are routinely employed as screening criteria for salt tolerance, such as seedling vigor index, stress susceptibility index and stress tolerance index. Further, the evaluation included biochemical factors, which are associated with the plant's strategy in response to salinity stress, such as the content of photosynthetic pigments and proline. Overall findings pointed to the superiority of 'Line 15' in terms of salt tolerance at germination stage, thus suggesting its potential use as valuable germplasm material in breeding programs. These data provide

evidence that evaluation for salt tolerance during germination is a suitable methodology for revealing the existing variability among genotypes under study.

Key words: *Sesame indicum* L., sesame, abiotic stress, response to salinity stress, genetic diversity, selection of resistant genotypes

1. Εισαγωγή

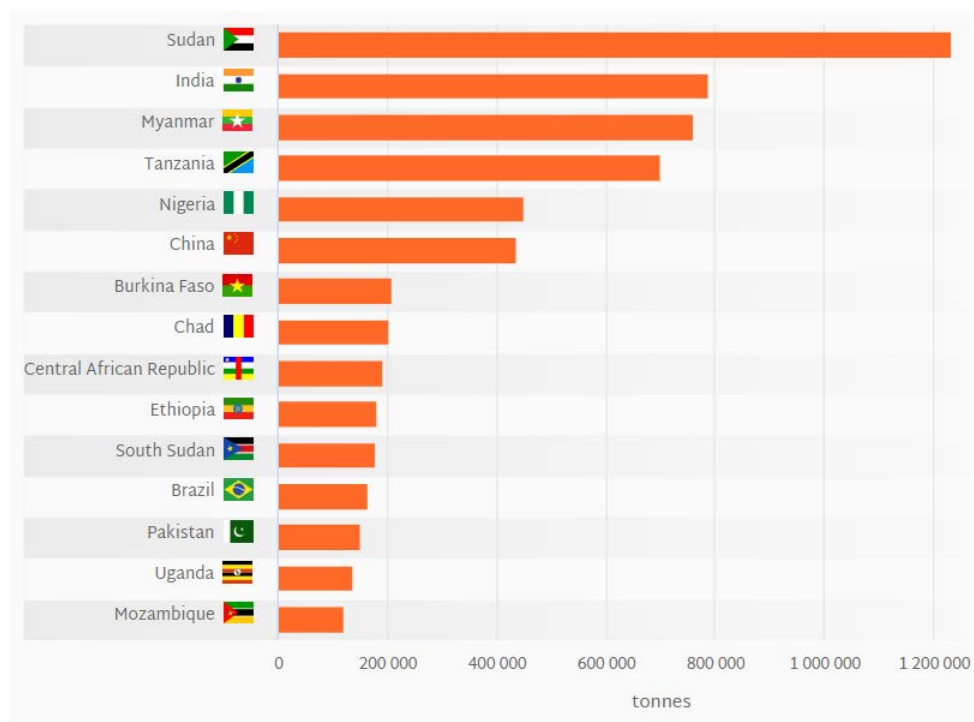
1.1 Γενικά Στοιχεία-Καταγωγή- Εξάπλωση

Το σουσάμι (*Sesamum indicum* L.) αποτέλεσε πιθανότατα το αρχαιότερο καταγεγραμμένο φυτό, το οποίο καλλιεργήθηκε για τη χρήση του ελαίου του. Οι καταγραφές της καλλιέργειας του φυτού σηματοδοτούνται στην κοιλάδα Χαράππα της Ινδικής ηπείρου 5000 έως 5500 έτη π.Χ. (Bedigian and Harlan, 2015). Αναφορές του φυτού συνεχίστηκαν και στα 3000 έτη π.Χ. στη Μέση Ανατολή, στις σημερινές περιοχές της Παλαιστίνης και της Συρίας. Ακολουθήσαν αρχαιολογικά ευρήματα με την ύπαρξη της καλλιέργειας από το 1600 π.Χ. στις κοιλάδες του Τίγρη και του Ευφράτη, με τους αρχαίους Αιγύπτιους να αξιοποιούν το σουσάμι ως πηγή ενέργειας. Στην αρχαία Ελλάδα, το σουσάμι εμφανίζεται να κατέχει διάφορες χρήσεις, από φαρμακευτικές και καλλυντικές ως και διατροφικές (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Η καταγωγή του σουσαμιού τακτικά αποτελεί πόλο διχασμού στους επιστήμονες με την αναφορά κυρίως δύο γενετικών κέντρων προέλευσης: είτε αυτό της Αφρικής είτε αυτό της Νότιας Ασίας. Πιο συγκεκριμένα, πληθώρα των ειδών του γένους *Sesamum* συνυπάρχουν στο περιβάλλον της Υποσαχάριας Αφρικής ως ιθαγενής βιοποικιλότητα. Εν αντιθέσει, ο Fuller (2003) υποστηρίζει ότι το σουσάμι (*Sesamum indicum* L.) εξημερώθηκε ανεξάρτητα και στις δύο περιοχές της Αφρικής και της Νότιας Ασίας. Θεμέλιο για αυτή την άποψη αποτέλεσε η αξιοσημείωτη ποικιλομορφία στα είδη του σουσαμιού και η ικανότητα απόκρισης και προσαρμοστικότητας του φυτού σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Πλέον, κατά την επικρατούσα επιστημονική άποψη το γενετικό κέντρο του σουσαμιού απαντάται στο σημερινό ανατολικό Πακιστάν, στη βορειοδυτική Ινδία και στην κοιλάδα Χαράππα, γνωστή ως και Πολιτισμός της κοιλάδας του Ινδού. Εικάζεται ότι, μέσω του εμπορίου και των ανακαλύψεων, εξαπλώθηκε διά της Μέσης Ανατολής στη Μεσόγειο και μετέπειτα επεκτάθηκε στην Αμερική.

Στον 21^ο αιώνα, η καλλιέργεια του σουσαμιού εκτείνεται κυρίως στην Ασία, την Αφρική και ελάχιστα στη Νότια Αμερική. Τη μεγαλύτερη παραγωγή σουσαμιού παγκοσμίως έχει το Σουδάν, με 1.200.000 τόνους για το έτος 2023, ακολουθούμενο από την Ινδία και την Myanmar, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1. Στην Ευρώπη, η

καλλιέργεια του σουσαμιού δεν είναι ευρέως διαδεδομένη, με αμελητέες ποσότητες σουσαμιού να παράγονται στην Ελλάδα και στην νότια Ιταλία. Παρόλα αυτά, η αυξημένη ζήτηση για σουσάμι τα τελευταία χρόνια φαίνεται να καλύπτεται σχεδόν ολοκληρωτικά από εισαγωγές.



Εικόνα 1.1 Χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή σουσαμιού σε τόνους για το έτος 2023. (Πηγή δεδομένων: Faostat)

Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια του σουσαμιού έφθασε στο απόγειο της το 1970, με συνολική καλλιεργούμενη έκταση τα 200.000 - 300.000 στρέμματα (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης, 2014). Έκτοτε, η εξάπλωση της καλλιέργειας έχει μειωθεί εκθετικά, με αποτέλεσμα το 2007 να προσεγγίζει τα 0,9 χιλιάδες στρέμματα (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007). Εμφανίζεται κυρίως στην περιοχή του Έβρου, της Χαλκιδικής και της Λήμνου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.2. Γενικότερα, η δημοτικότητα της καλλιέργειας φαίνεται να έχει ελαττωθεί εξαιτίας των μειωμένων αποδόσεων, της αδυναμίας συγκομιδής του φυτού με μηχανικά μέσα και της έλλειψης ποικιλιών με αδιάρρηκτες κάψες (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).



Εικόνα 1.2 Χάρτης της Ελλάδας με κλιμακωτό χρωματισμό στις περιοχές όπου απαντάται καλλιέργεια σουσαμιού. (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007)

1.2 Ταξινόμηση

Το είδος *Sesamum indicum* L., κοινώς γνωστό ως σουσάμι, ανήκει στην τάξη Lamiales, οικογένεια Pedaliaceae και αποτελεί το πιο γνωστό από τα 13 καταγεγραμμένα γένη της στο *Index Kewensis*. Η φυσική εξάπλωση των ειδών της οικογένειας Pedaliaceae εκτείνεται αποκλειστικά στον Παλαιό Κόσμο, με κυριότερες τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Το κύριο καλλιεργούμενο και πιο διαδεδομένο είδος σουσαμιού είναι το *Sesamum indicum* L. με αριθμό χρωμοσωμάτων $2n = 26$. Σε πολύ μικρότερη κλίμακα καλλιεργείται και το *Sesamum radiatum*, με αριθμό χρωμοσωμάτων $2n = 64$, το οποίο παράγει τους χαρακτηριστικούς μαύρους σπόρους σουσαμιού που χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία (Bedigian, 2004). Συνολικά, το γένος *Sesamum* αποτελείται επισήμως από 34 είδη, τα οποία είναι καταχωρημένα στο *Index Kewensis*.



Εικόνα 1.3 Τα είδη *Sesamum indicum* L. και *Sesamum radiatum* αντιστοίχως με τους σπόρους σουσαμιού που παράγουν.

Το γενετικό υλικό σουσαμιού, ανάλογα με τις περιοχές όπου καλλιεργείται, περιλαμβάνει τοπικούς πληθυσμούς ή γηγενή είδη. Τα εν λόγω είδη ταξινομούνται ανάλογα με το χρωματισμό των ανθέων τους είτε σε λευκό είτε σε ποικίλα χρώματα (Εικόνα 1.3). Ενδεικτικά, στην Υποσαχάρια Αφρική γίνεται χρήση των αυτόχθονων ειδών *Sesamum alatum* και *Sesamum radiatum*. Στην Ελλάδα, και πιο συγκεκριμένα στη Θράκη, χρησιμοποιείται αποκλειστικά η ποικιλία Άλφα, τύπου Θράκης, που ανήκει στο είδος *S. indicum*.

1.3 Βοτανική περιγραφή

1.3.1 Ριζικό σύστημα

Το σουσάμι έχει ένα άρτια ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα. Η ριζική του οργάνωση χαρακτηρίζεται από μία κύρια ισχυρή πασσαλώδη ρίζα και άλλες δευτερεύουσες ινώδεις ρίζες (Nimmakayala *et al.*, 2010). Η ισχύς της κύριας ρίζας του φυτού του δίνει την ικανότητα να διεισδύει βαθιά στα εδαφικά στρώματα, αποκτώντας καλύτερη πρόσβαση σε νερό και θρεπτικά συστατικά (Zhang *et al.*, 2013). Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό παίζει καθοριστικό ρόλο στην αντίσταση του φυτού στην ξηρασία, προσδίδοντας του συγκριτικό πλεονέκτημα δεδομένου ότι συνήθως καλλιεργείται σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές. Παράλληλα, οι ρίζες του σουσαμιού έχουν την ικανότητα να εισχωρούν σε πιο συμπαγή εδάφη, καθιστώντας εφικτή την καλλιέργεια ακόμη και σε πιο αφιλόξενα περιβάλλοντα. Γενικά, το μήκος της ρίζας έχει ανάλογη σχέση με το ύψος του υπέργειου μέρους του φυτού. Σε αυτήν τη σχέση, προστίθενται και οι

παράγοντες της εδαφικής υγρασίας, της σύστασης του εδάφους και της ύπαρξης ή απουσίας καταπόνησης αλατότητας. Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι πιο βαθύ ριζικό σύστημα εμφανίζεται σε ποικιλίες όψιμης άνθισης.

1.3.2 Βλαστός και διακλαδώσεις

Το σουσάμι χαρακτηρίζεται από ευθυτενές υπέργειο στέλεχος, το οποίο κυμαίνεται σε ύψος από 50 έως και 200 εκατοστά, αναλόγως την ποικιλία και τις καλλιεργητικές συνθήκες (Zhang *et al.*, 2013). Το στέλεχος εμφανίζει τετράγωνη διατομή και χαρακτηρίζεται ως λείο ή ως τριχωτό (Εικόνα 1.4). Τα φυτά του σουσαμιού δύναται να έχουν μία ή περισσότερες διακλαδώσεις καθώς από την πρώτη διακλάδωση μπορεί να προκύψει δεύτερη και από τη δεύτερη να παραχθεί τρίτη. Γενικά, η διακλάδωση προκύπτει από τους οφθαλμούς και εμφανίζεται κάτω από την περιοχή της ζώνης των καψών. Ο αριθμός των διακλαδώσεων ανά φυτό αποτελεί σύνθετο γνώρισμα που συνδέεται τόσο με γενετικούς -ποικιλία- όσο και με περιβαλλοντικούς παράγοντες, με τις υψηλότερες αποδόσεις να συνδέονται άμεσα με μεγαλύτερο αριθμό διακλαδώσεων στο φυτό (Berhe *et al.*, 2021).



Εικόνα 1.4 Τριχωτό στέλεχος σουσαμιού (a), λείο στέλεχος σουσαμιού (b) (Engin Yol *et al.*, 2011).

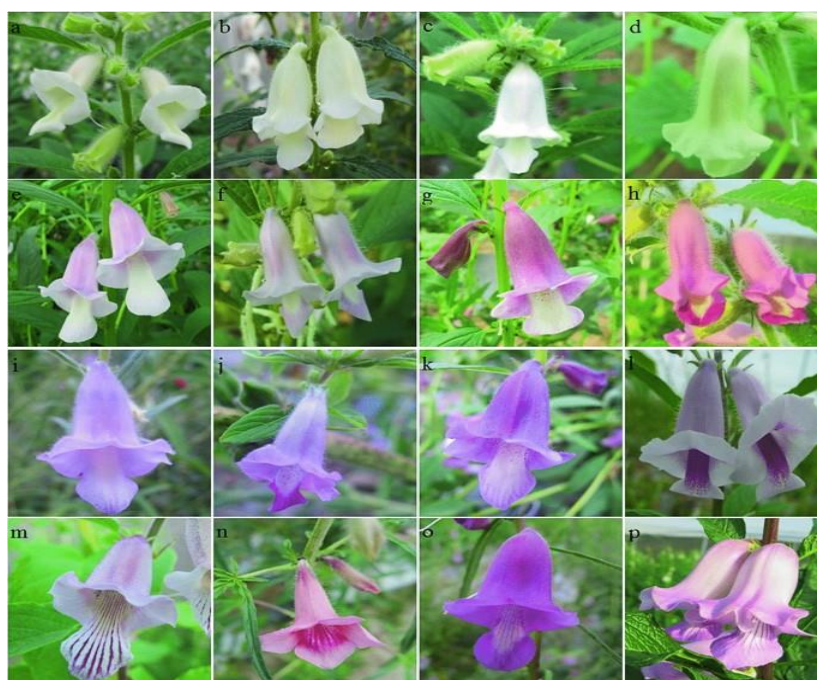
1.3.3 Φύλλα

Τα φύλλα του σουσαμιού εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις, που στο μέγιστο βαθμό καθορίζονται από την ποικιλία. Οι διαφορές αφορούν κυρίως στο σχήμα, το οποίο διαμορφώνεται από ωοειδές έως και λογχοειδές. Συχνά, τα φύλλα στη βάση του φυτού εμφανίζονται πλατύτερα και λοβωτά, ενώ όσο πλησιάζουν την κορυφή στενεύουν και μετατρέπονται σε λογχοειδή. Αναφορικά με τη θέση έκφυσης στο στέλεχος, συνήθως

τα φύλλα εμφανίζονται αντίθετα στη βάση και κατ' εναλλαγή στα ανώτερα σημεία του βλαστού. Παρόλα αυτά, είναι δυνατή η απουσία αυτής της ιδιομορφίας και η έκφυση τους αντίθετα ή κατ' εναλλαγή σε ολόκληρο το φυτό. Τα φύλλα δύναται να είναι είτε τριχωτά είτε λεία, όπως και το στέλεχος. Αξίζει να επισημανθεί επίσης ότι ο αριθμός των καψών στο φυτό καθορίζεται από τη θέση των φύλλων στο στέλεχος, το οποίο με τη σειρά του καθορίζει τον αριθμό των ανθέων στο φυτό (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.3.4 Άνθη

Τα άνθη του σουσαμιού έχουν διάφορους χρωματισμούς, από λευκούς έως ροζ και μωβ, με την απόχρωση να εξαρτάται από την εκάστοτε ποικιλία (Εικόνα 1.5). Έχουν καμπανοειδές σχήμα, μικρό ποδίσκο και εκτείνονται από 3-5 cm. Τα άνθη απαρτίζονται από 5 πέταλα, με το ανώτερο να είναι το μικρότερο και το κατώτερο το μακρύτερο (χείλος). Κατά κανόνα, τα άνθη είναι ζυγόμορφα με αμφίπλευρη συμμετρία.



Εικόνα 1.5 Διάφοροι χρωματισμοί των ανθέων.

Η θέση του 1^{ου} άνθους στο φυτό βρίσκεται στο 4^ο ή το 6^ο γόνατο και συνδέεται άμεσα με την ποικιλία. Διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως η υγρασία και η ένταση ακτινοβολίας, επηρεάζουν τον αριθμό των ανθέων στα γόνατα των φυτών. Παράλληλα,

ο αριθμός των ανθέων εξαρτάται και από την ποικιλία του σουσαμιού, με ορισμένες να εμφανίζουν από τρία έως επτά άνθη. Ωστόσο, αυτό που συναντάται συχνότερα είναι το ένα άνθος ανά γόνατο (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.3.5 Καρπός και σπόρος

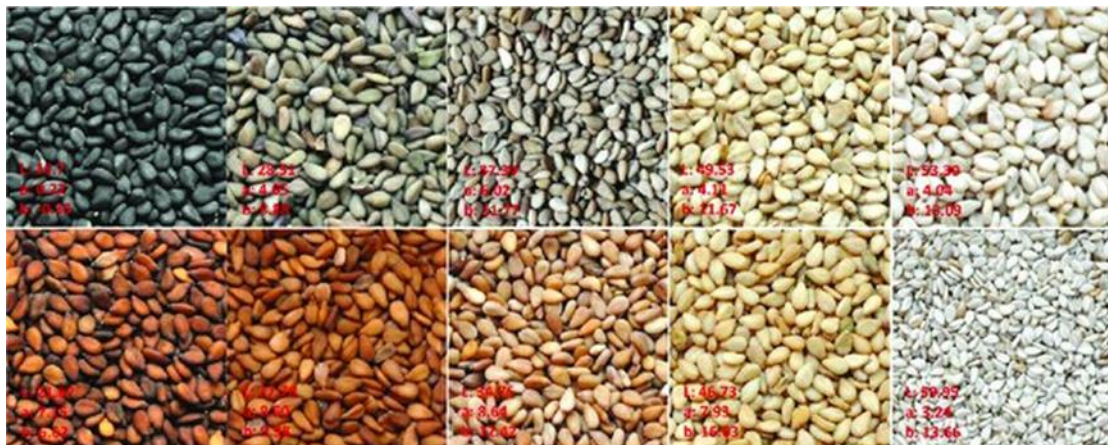
Ο καρπός του σουσαμιού αντιπροσωπεύεται από μια διαρρηκτή κάψα μήκους 2,5-5 εκατοστών. Η κάψα διαθέτει ορθογώνια διατομή και απαρτίζεται από 4 ή 8 διαμερίσματα που περικλείουν κατά μέσο όρο 70 σπόρους. Στο εξωτερικό της περιλαμβάνει ένα μαλακό παρεγχυματικό στρώμα μεσοκαρπίου, ενώ στο εσωτερικό της απαντάται σκληρό ινώδες ενδοκάρπιο (Ashri and Ladijinski., 1964). Μεταξύ των διαφόρων ποικιλιών σουσαμιού, οι κάψες μπορεί να εμφανίζουν διακυμάνσεις στο μέγεθος, το χρώμα και την ύπαρξη ή απουσία τριχών. Τα αναφερθέντα μορφολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται παράλληλα και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, εμφανίζοντας ποικιλομορφία ακόμη και μέσα στο ίδιο το φυτό. Γενικότερα, οι κάψες είναι δομημένες έτσι ώστε να αυξάνουν τις πιθανότητες βλάστησης των σπόρων. Ο συνδυασμός ενός σκληρού εσωτερικού και ενός μαλακού εξωτερικού συνδέεται με το μηχανισμό που διαθέτει η κάψα των διαρρηκτών ποικιλιών, προσδίδοντας την ικανότητα ανοίγματος της κάψας ως απόκριση σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οι διακυμάνσεις της υγρασίας. Η κάψα ανοίγει με κατεύθυνση από την κορυφή της προς τη βάση της και το βάθος του ανοίγματος εξαρτάται από την ποικιλία (Εικόνα 1.6). Τέλος, για τη μηχανική συγκομιδή του φυτού είναι κρίσιμη η παρατήρηση της θέσης του σχηματισμού της πρώτης κάψας πάνω στο στέλεχος (Shtein et al., 2016).

Οι σπόροι του σουσαμιού διαθέτουν χαρακτηριστικό μέγεθος, το οποίο εκτείνεται από 3-4 mm μήκους και έως 2 mm πλάτους. Σε γενικές γραμμές, το σχήμα των σπόρων κυμαίνεται από ωοειδές έως ελλειψοειδές. Επάνω στο σπόρο παρατηρείται η περιοχή του ήλου, το σημείο όπου ο σπόρος συνδέεται με την κάψα και εμφανίζεται ελάχιστα πεπλατυσμένος. Η ποικιλία του σουσαμιού καθορίζει το μέγεθος και το σχήμα του σπόρου. Το περίβλημα του σπόρου συνήθως είναι λείο και μπορεί να διαθέτει διάφορους χρωματισμούς, όπως λευκό, κίτρινο, μαύρο καφέ και κόκκινο (Εικόνα 1.7). Παρόλο που οι σπόροι με λευκό χρωματισμό είναι οι πιο διαδεδομένοι, μεγαλύτερο ποσοστό ελαίου διαθέτουν οι μαύροι σπόροι. Σε γενικές γραμμές, ο σπόρος διαθέτει

έλαια σε ποσοστό που κυμαίνεται από 50% έως 60% και 25% πρωτεΐνες. Τέλος, το βάρος των χιλίων σπόρων υπολογίζεται στα 2 έως 4 g (Wei et al., 2022).



Εικόνα 1.6 Κάψες σουσαμιού πριν και μετά την ξήρανση. Δεξιά, εμφανίζεται ο μηχανισμός ανοίγματος των καψών στις διαρρηκτές ποικιλίες.



Εικόνα 1.7 Ποικιλομορφία χρωμάτων σπόρων σουσαμιού (Mei et al., 2019).

1.4 Βιολογικός κύκλος - Στάδια ανάπτυξης

Το σουσάμι συνήθως συναντάται ως ετήσιο φυτό, αν και υπάρχουν σπάνιες περιπτώσεις όπου εμφανίζεται και ως πολυετές. Αναφορικά με τον βιολογικό του κύκλο, μπορεί να είναι είτε μέσος/μικρός είτε μεγάλος, οπότε η διαχείριση της καλλιέργειας είναι ανάλογη των πολυετών φυτών. Εντός του βιολογικού του κύκλου,

το φυτό εμφανίζει σαφείς φαινοτυπικές διακυμάνσεις που καθιστούν ευχερή τη διάκριση τεσσάρων κύριων σταδίων ανάπτυξης: το βλαστικό, το αναπαραγωγικό, το στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης και τη φάση της ξήρανσης (ωρίμανση) (Εικόνα 1.8). Όλα τα στάδια απαρτίζονται από επιμέρους φάσεις, η χρονική διάρκεια των οποίων επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, τον παγετό, την υγρασία και την εδαφική γονιμότητα. Το βαμβάκι και η σόγια είναι τα δύο φυτά τα οποία έχουν την πιο παρόμοια πορεία ανάπτυξης με το σουσάμι. Τις πρώτες 30-35 μέρες εμφανίζεται αυξημένος ρυθμός ανάπτυξης στο υπόγειο μέρος του φυτού, με το τμήμα της ρίζας να αυξάνεται γρηγορότερα από τους βλαστούς και τα φύλλα. Στο υπέργειο τμήμα, ο ρυθμός ανάπτυξης είναι χαμηλός. Η έλευση της άνθισης σηματοδοτεί το τέλος της αύξησης (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.4.1 Βλαστική φάση

Η διάρκεια της βλαστικής φάσης κυμαίνεται από 36 έως 40 μέρες και εξαρτάται από τις προπορευόμενες περιόδους της βλάστησης και του φυτρώματος. Ακολουθεί η φάση της δημιουργίας σποροφύτου, το στάδιο νεανικότητας και το στάδιο που προηγείται της αναπαραγωγής. Το φύτερωμα είναι επίγειο, με την εμφάνιση των κίτρινων κοτυληδόνων στον αγρό, οι οποίες σύντομα ξεκινούν την αύξηση του στελέχους και πρασινίζουν. Το φύτερωμα συντελείται περίπου 7 ημέρες μετά την σπορά. Για τη σπορά το έδαφος είναι αναγκαίο να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση των 20°C. Επίσης, είναι σημαντικό για το φύτερωμα να έχει προηγηθεί μηχανική κατεργασία του εδάφους για την αποφυγή κρούστας. Τα φυτά που έχουν την ικανότητα να φυτρώσουν πρώτα, ανταγωνίζονται τα αυτά που ακολουθούν, παρουσιάζοντας μεγαλύτερη ανάπτυξη και γρηγορότερη ωρίμανση. Υψίστης σημασίας είναι επίσης και η απουσία παραγόντων καταπόνησης, καθώς καθιστούν το φυτό πιο ευάλωτο, πριν ολοκληρώσει την εκτεταμένη ανάπτυξη της ρίζας του. Σε αυτή τη φάση, ως κύριοι παράγοντες καταπόνησης θεωρούνται τα ζιζάνια, τα έντομα, ο άνεμος και οι παγετοί. Γενικά, για το σουσάμι, είναι σημαντική η διαμόρφωση ενός άρτια ανεπτυγμένου ριζικού συστήματος καθώς συμβάλλει στην αντοχή σε αβιοτικές καταπονήσεις που συνήθως επικρατούν στις περιοχές καλλιέργειάς του.

Κατά το νεανικό στάδιο, το φυτό εμφανίζει μέγιστη ισχύ ανάπτυξης. Η έναρξη του εν λόγω σταδίου σηματοδοτείται από την έκπτυξη του 3ου ζευγαριού πραγματικών

φύλλων και ολοκληρώνεται με τη δημιουργία του πρώτου πράσινου οφθαλμού. Τέλος, ακολουθεί το προ-αναπαραγωγικό στάδιο, το οποίο είναι κρίσιμο για την ευρωστία του φυτού και ολοκληρώνεται όταν το ποσοστό των φυτών που έχουν ανοιχτά άνθη βρίσκεται στο 50% (Langham, 2007).

1.4.2 Αναπαραγωγική φάση

Η αναπαραγωγική φάση σηματοδοτείται 75-85 μέρες από τη σπορά και περιλαμβάνει το πρώιμο, το μέσο και το τελευταίο στάδιο. Το πρώιμο στάδιο αναπαραγωγής, το οποίο διαρκεί περίπου μία εβδομάδα, ξεκινά από την εμφάνιση του 50% των ανθέων έως τον σχηματισμό καψών σε 5 ζεύγη στο στέλεχος. Το μέσο στάδιο έχει ως αφετηρία το τέλος του πρώιμου σταδίου και διαρκεί έως το τέλος της άνθισης του στελέχους και των διακλαδώσεων του, που συντελούνται σε διάστημα περίπου τεσσάρων εβδομάδων. Η διάρκεια αυτής της φάσης εξαρτάται αποκλειστικά από τη διαθεσιμότητα υγρασίας και λίπανσης, με τις μεγαλύτερες ποσότητες να συνεπάγονται και εκτεταμένη διάρκεια. Αυτό είναι υψίστης σημασίας διότι καθ' όλο το στάδιο σχηματίζονται περισσότερες κάψες στο φυτό. Ωστόσο, ένα πολύ εκτεταμένο μεσαίο στάδιο μπορεί να αποβεί αντιπαραγωγικό καθώς το σουσάμι είναι φυτό συνεχούς ανάπτυξης (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Το τελευταίο στάδιο ξεκινά από το τέλος του προηγούμενου σταδίου και έως ότου το 90% των φυτών δεν έχουν ανοιχτά άνθη. Διαρκεί λίγο παραπάνω από μια εβδομάδα. Η διάρκειά του μπορεί να μειωθεί κατά την επικράτηση συνθηκών υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής υγρασίας και, αντιστοίχως, να επιμηκυνθεί με τις αντίστροφες συνθήκες. Με την ολοκλήρωση του σταδίου έχει γίνει η τελευταία άρδευση, οπότε παρατηρείται κιτρίνισμα των φύλλων και πτώση τους, ενώ μερικά άνθη της κορυφής δεν δίνουν πλέον κάψες (Langham, 2007).

1.4.3 Φυσιολογική ωρίμανση

Το στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης καθορίζεται από το γεγονός ότι οι κάψες του κεντρικού στελέχους του φυτού έχουν σπόρο, ο οποίος έχει αποκτήσει σκούρο χρώμα, σκούρο άκρο και εμφανίζει μια σκούρα γραμμή στη μία του πλευρά. Η αναλογία των καψών όπου πρέπει να παρατηρούνται αυτά τα χαρακτηριστικά είναι περίπου 3/4. Οι σπόροι των κατώτερων καψών είναι οι πρώτοι που ωριμάζουν αλλά απαιτούν

μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από τις ανώτερες κάψες. Αν γίνει συγκομιδή των φυτών σε αυτό το στάδιο, η φυσιολογική ωρίμανση θα συνεχιστεί αλλά το βάρος των σπόρων των ανώτερων καψών θα είναι μειωμένο (Langham, 2007).

1.4.4 Φάση ξήρανσης

Κατά τη φάση της ξήρανσης, γίνεται ωρίμανση των καψών του φυτού σε ολόκληρη την έκταση του. Η υγρασία των σπόρων μειώνεται στο 6%, λόγω του μηχανισμού που εμφανίζουν οι κάψες να ανοίγουν από πάνω προς τα κάτω. Πλέον, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί στην καλλιέργεια μηχανική συγκομιδή. Η εν λόγω φάση ξεκινάει 100 έως 180 μέρες μετά τη σπορά αλλά η διάρκειά της είναι μεταβλητή καθώς εξαρτάται από την καλλιεργητική πρακτική και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).



Εικόνα 1.8 Στάδια καλλιέργειας σουσαμιού (Langham, 2007).

1.5 Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις

1.5.1 Έδαφος

Το σουσάμι αποτελεί καλλιέργεια των τροπικών και υποτροπικών που ευδοκίμει σε καλά στραγγιζόμενα γόνιμα εδάφη μέσης σύστασης. Γενικά, το σουσάμι παρουσιάζει ικανοποιητικό εύρος ανεκτικότητας σε διάφορους τύπους εδαφών, με εξαίρεση τα αργιλοπηλώδη βαριά εδάφη που συγκρατούν νερό. Αναφορικά με το pH, το φυτό προτιμά ελαφρώς όξινα έως ουδέτερα εδάφη από 5,5-7. Εδάφη έντονα αλκαλικά ή όξινα επηρεάζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα και δεν προτείνονται. Το σουσάμι παρουσιάζει ευαισθησία στην αλατότητα εδάφους περισσότερο από άλλες καλλιέργειες, όπως το βαμβάκι και η μηδική. Η αλατότητα επηρεάζει δυσμενώς την ανάπτυξη του σουσαμιού και προκαλεί χλωρώσεις (Langham, 2007).

1.5.2 Φωτοπερίοδος

Το σουσάμι είναι ένα φωτοευαίσθητο φυτό. Η φωτοευαισθησία του εξαρτάται από την εκάστοτε ποικιλία. Συνήθως απαιτεί 10-12 ώρες φως για την ανθοφορία. Η ανθοφορία μπορεί να καθυστερήσει ή να παραχθούν λιγότεροι σπόροι σε περιοχές όπου οι ημέρες είναι μεγαλύτερες, ενώ επίσης μπορεί να αυξηθεί η περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι και να μειωθεί αντίστοιχα η περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνη. Επιπροσθέτως, η φωτοπερίοδος επιδρά στην επέκταση των διακλαδώσεων, των καψών αλλά και στη συντήρηση των ανθέων πάνω στο φυτό. Ποικιλίες που είναι εγκλιματισμένες σε μεγαλύτερα υψόμετρα επηρεάζονται λιγότερο από τη φωτοπερίοδο, σε αντίθεση με τις ποικιλίες που είναι εγκλιματισμένες σε χαμηλότερα υψόμετρα (Langham, 2007; Weiss, 2000).

1.5.3 Θερμοκρασία

Το σουσάμι γενικά, είναι μια καλλιέργεια που απαιτεί αρκετά θερμό κλίμα. Το εύρος των θερμοκρασιών από 25°C έως 35°C είναι ιδανικό τόσο για τη βλαστική ανάπτυξη του φυτού όσο και για την ομαλή ανθοφορία του. Στα πρώτα στάδια ανάπτυξης, το σουσάμι μπορεί να εμφανίσει μερική αντοχή σε θερμοκρασίες έως και 18°C με κόστος την επιβράδυνση του φυτρώματος και της ανάπτυξής του. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες για το νεανικό στάδιο ανάπτυξης κυμαίνονται μεταξύ 30°C και 32°C. Το σουσάμι θα

μπορούσε να καλλιεργηθεί θερμοκρασιακά σε περιοχές όπου αναπτύσσεται το βάμβακι. Για τη φυσιολογική περάτωση του βιολογικού κύκλου, είναι αναγκαία μια περίοδος 150 ημερών, απουσία παγετού (Weiss, 2000).

1.5.4 Υγρασία

Το σουσάμι συγκαταλέγεται στα φυτά με ανθεκτικότητα στην ξηρασία αφού γενικά αρκείται σε μέτρια έως χαμηλά επίπεδα υγρασίας. Παρά το γεγονός ότι διαθέτει εκτεταμένο ριζικό σύστημα, η επίτευξη ικανοποιητικών αποδόσεων προϋποθέτει τη συμβολή άρδευσης. Τα νεαρά φυτάρια που δεν έχουν αναπτύξει επαρκές ριζικό σύστημα είναι ευαίσθητα σε συνθήκες έλλειψης νερού. Υψηλές βροχοπτώσεις όταν έχει ολοκληρωθεί το στάδιο της ωρίμανσης, τείνουν να μειώνουν τις αποδόσεις. Αυτό οφείλεται αφενός μεν στην επιβράδυνση της φάσης της ξήρανσης των καψών και αφετέρου στο γεγονός ότι παρατείνεται η διάρκεια ανοίγματος των καψών, με αποτέλεσμα να παρατηρείται πτώση μεγαλύτερης ποσότητας σπόρων (Weiss, 2000).

1.5.5 Επίδραση ανέμου και χαλαζιού

Ως είδος το σουσάμι εμφανίζει ευαισθησία σε συνθήκες ισχυρών ανέμων ή χαλαζόπτωσης. Γενικά, η επίδραση των ανέμων εξαρτάται από το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η καλλιέργεια. Στη φάση ανοίγματος των καψών, κοντά στην ωρίμανση, το φυτό είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στο τίναγμα του σπόρου, μειώνοντας την απόδοση. Παρόλα αυτά, οι ήπιοι άνεμοι μπορούν να βοηθήσουν στη συγκομιδή καθώς επιτυγχάνουν τη μείωση της υγρασίας του σπόρου έπειτα από τη φυσιολογική ωρίμανση (Weiss, 2000).

Η χαλαζόπτωση επιδρά αρνητικά στην καλλιέργεια, με τις επιδράσεις να είναι ανάλογες της έντασης του φαινομένου, εμφανίζοντας παράλληλα εξάρτηση από το στάδιο του βιολογικού κύκλου στο οποίο βρίσκεται το φυτό. Στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας, η καταστροφή μπορεί να είναι ολοκληρωτική. Επίσης, στο στάδιο ανάπτυξης και γεμίσματος των καψών, το χαλάζι μπορεί να προκαλέσει πρόωρο τίναγμα του σπόρου ή την απόσχιση των καψών, μειώνοντας την παραγωγή. Τέλος, σημαντικές βλάβες μπορούν να προκληθούν σε φύλλα, διακλαδώσεις αλλά και σε ολόκληρα φυτά με το σπάσιμο του κεντρικού στελέχους (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.6 Καλλιεργητικές τεχνικές

1.6.1 Κατεργασία του εδάφους

Η προετοιμασία του εδάφους για την καλλιέργεια του σουσαμιού ξεκινά με βαθύ όργωμα το φθινόπωρο, το οποίο εφαρμόζεται καθώς το ριζικό σύστημα του φυτού εκτείνεται σε βαθύτερα εδαφικά στρώματα και απαιτεί άρτια αποστραγγιζόμενα εδάφη. Έπειτα, κατά τη διάρκεια του χρόνου εφαρμόζονται οι πρακτικές των ανοιξιάτικων καλλιεργειών. Στην Ελλάδα, καθώς η σπορά του σουσαμιού γίνεται αργότερα μέσα στο χρόνο, η βλάστηση του φυτού συμπίπτει με περιόδους όπου η εδαφική υγρασία δεν είναι συνήθως επαρκής. Για αυτό το λόγο, είναι σημαντικό πριν την σπορά να πραγματοποιείται ψιλοχωμάτισμα με σκοπό τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους. Αμέσως μετά, προτείνεται κυλίνδρισμα του αγρού στην περίπτωση που το έδαφος παραμένει αφράτο. Στον αντίποδα, για το σουσάμι μπορεί να πραγματοποιηθεί και ακαλλιέργεια του εδάφους, χωρίς να εμφανίζονται προβλήματα στην μετέπειτα αύξηση και ανάπτυξη του φυτού (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.6.2 Λίπανση

Για το σουσάμι, η εφαρμογή της λίπανσης εξαρτάται από το εάν πρόκειται για αρδευόμενη ή ξηρική καλλιέργεια, την καλλιεργητική πρακτική καθώς και το ύψος της αναμενόμενης απόδοσης. Γενικότερα, παρά το εκτεταμένο ριζικό σύστημα και την ικανότητα απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από κατώτερα εδαφικά στρώματα, η αρδευόμενη καλλιέργεια αναπτύσσεται σαφώς καλύτερα με την εφαρμογή λίπανσης. Στην πλειονότητα των καλλιεργειών σουσαμιού στην Ελλάδα, που είναι κατά κανόνα ξηρικές, δεν συνιστάται λίπανση καθώς οι αποδόσεις κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Για την εφαρμογή στην λίπανση σε περιοχές που δεν υπάρχουν καλλιεργητικά δεδομένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο λίπανσης η καλλιέργεια του βαμβακιού, παρέχοντας μια ικανοποιητική μέση απόδοση. Μείζονος σημασίας είναι οι αναλογίες των στοιχείων που εφαρμόζονται ώστε να αποφεύγεται η αύξηση της περιεκτικότητας του σπόρου σε πρωτεΐνη, η οποία συνεπάγεται αντίστοιχη μείωση της περιεκτικότητας σε έλαιο. Σε ελληνικά εδάφη που συχνά διαθέτουν επάρκεια καλίου, μπορεί να αποφεύγεται η εφαρμογή του. Συνήθως η εφαρμογή και των τριών στοιχείων (N), (P) και (K) γίνεται προ-σπαρτικά για λόγους οικονομίας. Συστήνεται η αφομοίωση

του αζώτου πριν την σπορά ώστε να αποφευχθεί η έκθεση του σπόρου στο άζωτο (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.6.3 Σπορά

Στην Ελλάδα, η ημερομηνία της σποράς κυμαίνεται από τις αρχές Μαρτίου έως το τέλος του Απριλίου και εξαρτάται από την περιοχή καλλιέργειας. Επιτακτική ανάγκη για το άρτιο φύτρωμα του σπόρου είναι η θερμοκρασία των 20°C στο έδαφος. Από την άλλη πλευρά, η όψιμη σπορά κατά το Μάιο δημιουργεί φυτρωτικά προβλήματα στην καλλιέργεια λόγω της επικρατούσας ξηρασίας. Γενικά, για την Ελλάδα προτείνεται πρόωμη σπορά, η οποία στο πλείστο των περιπτώσεων συνοδεύεται από εκτεταμένη καρποφορία, πρόωρη συγκομιδή, βέλτιστη αξιοποίηση των εισροών και μειωμένες προσβολές από εχθρούς και ασθένειες.

Η σπορά συνήθως γίνεται στα πεταχτά χωρίς ωστόσο αυτό να αποτελεί ιδανική πρακτική καθώς συνεπάγεται τη χρήση μεγαλύτερης ποσότητας σπόρου. Οι αποδόσεις είναι μέγιστες όταν χρησιμοποιείται η σπορά σε γραμμές με τη χρήση σπαρτικής μηχανής. Συνολικά, η ποσότητα του σπόρου είναι μεγαλύτερη από την φυτρωτική ικανότητα και εξαρτάται από την ποικιλία του σουσαμιού, όπου λαμβάνεται υπόψη εάν πρόκειται για μονοστέλεχη ή διακλαδιζόμενη ποικιλία. Οι διακλαδιζόμενες ποικιλίες απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες σπόρου (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.6.4 Καταπολέμηση ζιζανίων

Από τις βασικότερες προϋποθέσεις για την επιτυχία της καλλιέργειας του σουσαμιού είναι η σπορά της σε αγροτεμάχιο απαλλαγμένο από ζιζάνια. Το σουσάμι στα αρχικά στάδια της αύξησης του, όταν δηλαδή αναπτύσσει το εκτεταμένο ριζικό του σύστημα, εμφανίζει μειωμένο ρυθμό φυτρώματος, με αποτέλεσμα να καθίσταται ευάλωτο στον επικείμενο ανταγωνισμό από ζιζάνια που απαντώνται στον αγρό. Η αντιμετώπιση των ζιζανίων γίνεται με σκαλίσματα, βοτανίσματα ή συνδυασμό καλλιεργητικών τεχνικών και μηχανικών μέσων. Σπανιότερα, σε μεγαλύτερες εκτάσεις γίνεται και καταπολέμηση με χημικά μέσα (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.6.5 Αμειψισπορά

Το σουσάμι, εξαιτίας του εκτεταμένου ριζικού συστήματος το οποίο βελτιώνει τη δομή του εδάφους στα αγροτεμάχια, παρουσιάζεται ως ιδανικό φυτό για την αξιοποίηση στρατηγικών όπως η αμειψισπορά. Πέραν των γενικότερων ωφελειών που επιφέρει η αμειψισπορά, ειδικότερα στο σουσάμι προτείνεται ως μέσο αποφυγής των σηψιρριζίων που προκαλούνται από εκτεταμένα διαστήματα μονοκαλλιέργειας του εν λόγω φυτού. Καλλιέργειες που μπορούν να αξιοποιηθούν σε ένα σύστημα αμειψισποράς αποτελούν σιτηρά και ψυχανθή, όπως το καλαμπόκι, η σόγια, η αραχίδα, ο βίκος, το τριφύλλι και η μηδική. Παράλληλα, η αμειψισπορά με την καλλιέργεια του σουσαμιού μπορεί να συμβάλλει στη μείωση διαφόρων εχθρών, όπως οι κομβωνηματώδεις στο βάμβακι και στην αραχίδα (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.6.6 Άρδευση

Το σουσάμι είναι μια καλλιέργεια ανθεκτική στην έλλειψη νερού και συνήθως καλλιεργείται σε ξηρές και ημι-ξηρές περιοχές. Παρά την ικανότητά του φυτού να ανταπεξέρχεται σε αυτές τις συνθήκες, η ορθολογική διαχείριση της άρδευσης είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και τη διασφάλιση της ποιότητας της παραγωγής, ιδίως σε περιοχές με ασταθείς βροχοπτώσεις. Το σουσάμι παρουσιάζει διαφορετικές απαιτήσεις σε νερό στα διάφορα στάδια ανάπτυξής του (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013). Εμφανίζεται ευάλωτο στην υδατική καταπόνηση κατά τη διάρκεια του φυτρώματος, της ανθοφορίας και του γεμίσματος των σπόρων. Η επαρκής υγρασία κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων είναι προϋπόθεση για τη βέλτιστη ανάπτυξη και απόδοση. Σημαντική είναι η αποφυγή της άρδευσης αμέσως μετά τη σπορά καθώς δημιουργείται κρούστα στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους, δυσχεραίνοντας το φύτεμα. Σε κάθε περίπτωση, είναι αναγκαίο να αποφεύγεται ο κορεσμός του εδαφικού διαλύματος με νερό καθώς δεν είναι δυνατός ο αερισμός των ρίζων, επηρεάζεται η ανάπτυξη των φυτών, προκαλείται πλάγιασμα του στελέχους και διαιωνίζονται οι ασθένειες και οι εχθροί της καλλιέργειας (Mahdi and Amin, 2008).

1.6.7 Συγκομιδή

Η ιδανική περίοδος για τη συγκομιδή του σουσαμιού είναι όταν η πλειονότητα των καψών έχει κιτρινίσει και τα κατώτερα φύλλα του φυτού έχουν αρχίσει να αποπίπτουν. Ο χρόνος συγκομιδής διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία σουσαμιού, το μικρόκλιμα και τις καλλιεργητικές τεχνικές. Γενικά, το σουσάμι είναι έτοιμο για συγκομιδή 90 έως 150 ημέρες μετά τη σπορά. Στις διαρρηκτές ποικιλίες, συστήνεται μεγάλη προσοχή στην συγκομιδή. Πιο συγκεκριμένα, το άνοιγμα των κατώτερων καψών και το τίναγμα του σπόρου των διαρρηγόμενων ποικιλιών μπορεί να είναι υπεύθυνο για την απώλεια έως και των 3/4 της παραγωγής. Στις εν λόγω ποικιλίες, η συγκομιδή πραγματοποιείται είτε με μηχανικά μέσα είτε με το χέρι. Αμέσως μετά, ακολουθεί η τοποθέτηση των φυτών σε όρθια δεμάτια, τα οποία αφήνονται στο αγροτεμάχιο για την ξήρανση τους. Στις αδιάρρηκτες ποικιλίες, αντίθετα, η συγκομιδή πραγματοποιείται αποκλειστικά με μηχανικά μέσα, όπως θεριζοαλωνιστικές μηχανές. Στην Ελλάδα, η συγκομιδή λαμβάνει χώρα από τον Σεπτέμβριο έως νωρίς τον Οκτώβριο. Σε γενικές γραμμές, επειδή ο σπόρος του σουσαμιού αποτελείται κατά το ήμισυ από έλαια, συνιστάται προσεκτική μεταχείριση για την απώλεια τραυματισμών. Κατά τη συγκομιδή, ο σπόρος περιέχει υγρασία 6-8% και είναι εφικτή η αποθήκευση χωρίς να προηγηθεί επεξεργασία (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.7 Απόδοση

Οι παράγοντες που επιδρούν καθοριστικά στη διαμόρφωση της απόδοσης στο σουσάμι είναι η ποικιλία και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του φυτού. Η απόδοση εξαρτάται από τον πληθυσμό των φυτών, τον αριθμό καψών ανά φυτό και τον αριθμό και το βάρος των σπόρων. Είναι προφανές ότι ο υψηλός πληθυσμός φυτών στον αγρό δρα ευνοϊκά υπέρ της απόδοσης των ποικιλιών του σουσαμιού που δεν διακλαδίζονται (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013). Σύμφωνα με μελέτες, ο αριθμός των διακλαδώσεων επηρεάζει άμεσα την απόδοση. Ωστόσο, την ισχυρότερη επιρροή στην τελική απόδοση έχει το πλήθος των καψών (Τσουτσούδη, 2011). Επιπλέον, ο αριθμός των ανθέων, που είναι σχετίζεται άμεσα με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, προσδιορίζει και την τελική γονιμοποίηση και ανάπτυξη τους. Στις μέσης πρωιμότητας ή και στις πρώιμες ποικιλίες η μειωμένη φωτοπερίοδος συμβάλλει σε αύξηση του πλήθους καψών σε ένα φυτό. Παράλληλα, έχει παρατηρηθεί ότι η σύσταση του σπόρου

σε έλαια και ο συνολικός αριθμός σπόρων ανά κάψα καθορίζονται κυρίως από το σημείο της κάψας πάνω στο στέλεχος και σε μικρότερο βαθμό από το μικροκλίμα της περιοχής (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.8 Θρεπτική αξία και οφέλη

Οι σπόροι του σουσαμιού είναι ιδιαίτερα θρεπτικοί, προσδίδοντας ποικίλα οφέλη στην ανθρώπινη υγεία λόγω του εμπλουτισμένου διατροφικού τους προφίλ. Η σύσταση του σπόρου του σουσαμιού περιγράφεται στον Πίνακα 1.1. Ξεχωρίζουν οι υψηλές περιεκτικότητες του σπόρου σε έλαια και πρωτεΐνες, που κυμαίνονται σε ποσοστό 48-55% και 20-28% αντιστοίχως. Αναφορικά με το προφίλ ελαίου, οι σπόροι παρουσιάζουν άκρως ικανοποιητική περιεκτικότητα κυρίως σε πολυακόρεστα και μονοακόρεστα λιπαρά. Η υψηλή σύσταση σε ακόρεστα λιπαρά, λιγνάνες, φυτοστερόλες στο σουσάμι αποδεδειγμένα συμβάλλει στη μείωση της χοληστερόλης, προάγοντας την καρδιακή υγεία (Pathak et al., 2019). Επίσης, οι λιγνάνες, σε συνδυασμό με την βιταμίνη E που περιέχεται στους σπόρους, παρέχουν αντιοξειδωτικά οφέλη που συμβάλλουν στην προστασία του ανθρώπινου οργανισμού από το οξειδωτικό στρες και τη γήρανση (Mostashari and Khaneghah., 2024).

Πίνακας 1.1 Σύσταση του σπόρου του σουσαμιού (Pathak et al., 2014)

Συστατικό	Σύσταση (%)
Υγρασία	6 -7
Πρωτεΐνη	20 – 28
Έλαιο	48 -55
Σάκχαρα	14 -16
Ίνες	6 -8
Μέταλλα	5 -7

Ακόμη, στο σουσάμι περιέχονται σημαντικές ποσότητες βιταμινών του συμπλέγματος B, ιδίως της θειαμίνης (B1) και της νιασίνης (B3). Από μικροστοιχεία, εμφανίζεται επιπλέον το ασβέστιο, το μαγνήσιο αλλά και ο φώσφορος. Το μαγνήσιο συνδέεται με τη μείωση των επιπέδων της αρτηριακής πίεσης (Mostashari and Khaneghah, 2024).

Αναφορικά με το σησαμέλαιο, που αποτελεί παράγωγο της επεξεργασίας σουσαμιού, είναι ένα από τα ελάχιστα έλαια τα οποία δεν ταγγίζουν (μέγιστη διατηρησιμότητα).

Αυτή την ιδιότητα την οφείλει στην περιεκτικότητα του ελαίου σε αντιοξειδωτικές ουσίες, όπως η σεσαμίνη, η σεσαμολίνη και η σεσαμόλη. Σε αυτήν, προστίθεται και η ισορροπημένη σύνθεση μονοακόρεστων και πολυακόρεστων λιπαρών, η οποία προάγει τη σταθερότητα του ελαίου (Oboulbiga et al., 2023).

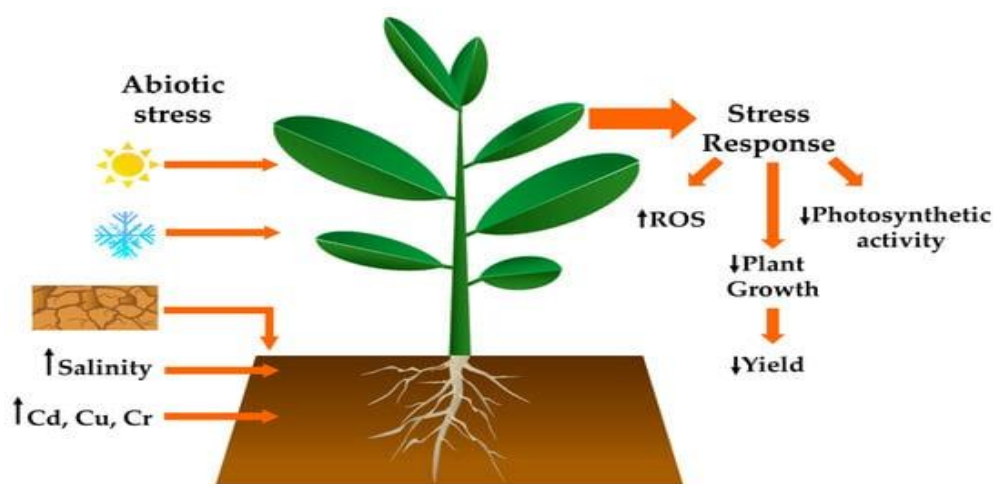
1.9 Χρήσεις

Το σουσάμι και τα παράγωγά του εμφανίζουν ποικίλες χρήσεις σε διάφορους τομείς που εκτείνονται από την ανθρώπινη διατροφή, τη φαρμακοβιομηχανία, τη βιομηχανία των καλλυντικών έως και την κτηνοτροφία. Στη βιομηχανία τροφίμων, το σουσάμι εμφανίζεται κατά κανόνα στην αρτοποιοβιομηχανία, τη ζαχαροπλαστική και ευρύτερα στη μαγειρική. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η χρήση του σουσαμιού αυτούσιου ή έπειτα από επεξεργασία είναι ευρέως διαδεδομένη καθώς βασίζεται σε αυτό η παρασκευή παραδοσιακών προϊόντων, όπως ο χαλβάς, το ταχίνι, το παστέλι και διάφορα αρτοποιήματα. Παράλληλα, το σησαμέλαιο αποτελεί το θεμέλιο της ασιατικής κουζίνας και χρησιμοποιείται κατά κόρον στη μαγειρική. Το έλαιο του σουσαμιού αξιοποιείται επίσης στην επεξεργασία διαφόρων τροφίμων, λόγω της σταθερότητας που διαθέτει ή ως αρωματικός παράγοντας (Elleuch et al., 2009).

Το σησαμέλαιο απαντάται ακόμη και σε φαρμακευτικές χρήσεις, όπως η τοπική επάλειψη στο δέρμα, λόγω των αντιφλεγμονωδών και θεραπευτικών του ιδιοτήτων. Έπειτα από επεξεργασία, δύναται να χρησιμοποιηθεί και σε παρασκευάσματα κατά της ξηροδερμίας, το εκζέματος και της ψωρίασης. Ακόμη μπορεί να αξιοποιηθεί και για την πρόληψη λοιμώξεων αλλά και για την επιτάχυνση επούλωσης πληγών εφόσον έχει και αντιμικροβιακές ιδιότητες (Shittu et al., 2006). Εκτεταμένη χρήση του σησαμελαίου γίνεται ακόμη και σε καλλυντικά που προορίζονται για χρήση στο τριχωτό της κεφαλής. Τέλος, απαντάται και σε συνθέσεις σαπουνιών, αρωμάτων και χρωμάτων (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013). Στην κτηνοτροφία, ευρεία εφαρμογή βρίσκουν παραπροϊόντα του σουσαμιού, όπως η πίτα σουσαμιού που είναι το εναπομείναν υλικό από την εξαγωγή του σησαμελαίου. Διαθέτει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και αποτελεί εναλλακτική λύση για το αλεύρι σόγιας. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη διατροφή βοοειδών και πουλερικών (Abbasi et al., 2022).

1.10 Αβιοτικές καταπονήσεις

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει περαιτέρω μείωση της απόδοσης στη σύγχρονη γεωργία, σε παγκόσμιο επίπεδο. Καθώς το κλίμα αλλάζει, παράγοντες όπως η ξηρασία, η αλατότητα του εδάφους, η ακτινοβολία και η θερμοκρασία αναμένεται να κλιμακωθούν, πλήττοντας ολοένα και μεγαλύτερη έκταση με αβιοτικές καταπονήσεις (Εικόνα 1.9). Στους παράγοντες αβιοτικής καταπόνησης προστίθενται επιπλέον η ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα αλλά και οι μηχανικές καταπονήσεις των φυτών. Γενικότερα, οι αβιοτικές καταπονήσεις αποτελούν μια από τις βασικότερες αιτίες απώλειας απόδοσης των καλλιεργειών σε παγκόσμια κλίμακα, αποφέροντας ελάττωση των μέσων αποδόσεων στο πλείστο των σημαντικότερων καλλιεργούμενων φυτών σε κλίμακα πάνω από 50% (Boyer, 1982; Bray et al., 2000).



Εικόνα 1.9 Απεικόνιση αβιοτικών καταπονήσεων στο περιβάλλον (Godoy et al., 1982).

Στον αντίποδα, οι βιοτικές καταπονήσεις περιλαμβάνουν τις ασθένειες που προκαλούνται από παθογόνους οργανισμούς, τα ζιζάνια ή ανταγωνιστές, τους εχθρούς και τα ζώα. Συνολικά, η επίδραση των καταπονήσεων είναι διαφορετική σε κάθε καλλιέργεια και εξαρτάται κατά κόρον από τη διάρκεια και την ένταση των φαινομένων (Bray et al., 2000).

1.10.1 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Η αλατότητα των εδαφών αποτελεί κρίσιμη πρόκληση για την παγκόσμια γεωργία. Ο FAO (2000), εκτιμά ότι το 1/5 των συνολικών καλλιεργούμενων εδαφών πλήττονται από την αλατότητα. Πιο πρόσφατα δεδομένα δείχνουν ότι 1.125 εκατομμύρια εκτάρια γης παγκοσμίως επηρεάζονται από την αλάτωση των εδαφών, ενώ 1,5 εκατομμύρια εκτάρια γης μετατρέπονται σε ακατάλληλα για γεωργική παραγωγή ετησίως, λόγω της αύξησης των επιπέδων της αλατότητας (Hossain., 2019).

Η αλατότητα χαρακτηρίζεται από την παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων ιόντων Na^+ και Cl^- , κυρίως στην περιοχή της ρίζας των φυτών. Η ύπαρξη της εν λόγω συνθήκης στα εδάφη μπορεί να οφείλεται σε έναν συνδυασμό ανθρωπογενών και φυσικών παραγόντων. Αρχικά, εδάφη τα οποία βρέχονται συχνά από θαλασσίνο νερό, όπως τα αλίπεδα και τα υφάλμυρα έλη, δεν έχουν όμοια κατανεμημένη συγκέντρωση ιόντων, με συνέπεια να διαθέτουν αυξημένες συγκεντρώσεις αλατότητας. Στην προκειμένη περίπτωση, επηρεάζονται και από τα υπόγεια ύδατα, ιδίως όταν ανέρχονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, λόγω της μείωσης του υδροφόρου ορίζοντα, του ρυθμού με τον οποίο αναμιγνύεται το γλυκό νερό με αυτά αλλά και την απόσταση του εδάφους από τη θάλασσα (Rengasamy and Pichu., 2010, Καραμπουρνιώτης, 2012). Παράλληλα, υψηλή αλατότητα εμφανίζουν και εδάφη τα οποία διαθέτουν πολύ αυξημένο ρυθμό εξάτμισης νερού σε σχέση με το ρυθμό των βροχοπτώσεων. Αυτές χαρακτηρίζονται ως ερημικές περιοχές. Επιπλέον, η σύγχρονη γεωργία εντείνει το φαινόμενο της αλάτωσης στα εδάφη δια μέσου της περίσσειας άρδευσης. Οι ανορθολογικές πρακτικές και ο υψηλός όγκος νερού στις καλλιεργούμενες εκτάσεις αυξάνουν το ρυθμό της εξάτμισης και, κατά συνέπεια, τη συγκέντρωση ιόντων, όπως Na^+ και Cl^- (Shahid et al., 2013, Καραμπουρνιώτης και συν., 2012).

Γενικότερα, οι υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων μπορούν να τροποποιήσουν βασικά χαρακτηριστικά του εδάφους, υποβαθμίζοντας το. Αυτό συμβαίνει μέσω αλλαγών στο πορώδες του εδάφους, δυσχεραίνοντας άμεσα τον αερισμό του και αποσταθεροποιώντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα (E_c) του εδαφικού διαλύματος. Ταυτόχρονα, η περίσσεια άλατος δύναται να συμβάλει στην εμφάνιση και υδατικής καταπόνησης συνδυαστικά (ωσμωτική καταπόνηση). Συνολικά, οι ανωτέρω παράγοντες επιδρούν στο ωσμωτικό δυναμικό που αποτελεί στοιχείο του υδατικού δυναμικού. Ως συνέπεια, προκαλείται αδυναμία απορρόφησης ύδατος από το φυτό,

παρά την ύπαρξή του στο εδαφικό διάλυμα. Αυτό οφείλεται στο χαμηλό υδατικό δυναμικό που δημιουργείται στο έδαφος από τις αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων (Arif et al., 2020), Καραμπουρνιώτης και συν., 2012).

Εκτός από την ωσμωτική καταπόνηση, τα φυτά παρουσία αλατότητας υφίστανται και ιοντική καταπόνηση. Η συγκέντρωση των ιόντων Na^+ και Cl^- σε υψηλά επίπεδα διαταράσσει την κυτταρική ιοντική ομοιόσταση και επηρεάζει ποικίλες φυσιολογικές διεργασίες. Συχνά, η περίσσεια Na^+ στην περιοχή της ρίζας παρεμποδίζει την πρόσληψη σημαντικών θρεπτικών στοιχείων, όπως το K^+ , το οποίο αποτελεί θεμέλιο για κυτταρικές λειτουργίες, όπως η ενεργοποίηση ενζύμων και η διατήρηση της ωσμωτικής ισορροπίας. Περαιτέρω, η παρουσία των ιόντων μπορεί να προκαλέσει ακόμη και βλάβες στο κυτταρόπλασμα, αυξάνοντας το pH του μέσω της έντασης της λειτουργίας των μεμβρανικών αντλιών των πρωτονίων. Το εν λόγω φαινόμενο, μαζί με τη μεταβολή στη δραστηριότητα των μεταβολικών ενζύμων, εντείνουν τη δαπάνη ATP, αυξάνοντας έτσι το ενεργειακό κόστος για το φυτό και διαιωνίζοντας περεταίρω το στρες στα φυτικά κύτταρα (Arif et al., 2020, Καραμπουρνιώτης και συν., 2012).

Γενικότερα, η ύπαρξη ιόντων Na^+ και Cl^- *per se* στα φυτικά κύτταρα προκαλεί τοξικότητα. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της παρέμβασής τους στη λειτουργία ενζύμων που εμπλέκονται σε μεταβολικές διεργασίες, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή. Ως συνέπεια, ελαττώνεται η αποτελεσματικότητα της παραγωγής και χρήσης ενέργειας στο φυτό, οδηγώντας σε κρίσιμη μείωση της αύξησης και της ανάπτυξης των φυτών (Arif et al., 2020, Καραμπουρνιώτης και συν., 2012).

Η μειωμένη αύξηση και ανάπτυξη των φυτών υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας οφείλεται κατά κύριο λόγο στην οξειδωτική βλάβη. Συγκεκριμένα, μέσω της διαταραχής του φωτοσυνθετικού μηχανισμού, επάγεται η παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) στους χλωροπλάστες και τα μιτοχόνδρια. Στους χλωροπλάστες, η υπερβολική σύνθεση ROS πηγάζει από τη διακοπή της μεταφοράς ηλεκτρονίων κατά τη φωτοσύνθεση. Η εν λόγω αποδιοργάνωση εντείνεται από την ωσμωτική και ιοντική καταπόνηση που προκαλείται εξ αρχής από την αλατότητα, οδηγώντας σε περαιτέρω ανισομετρία στην παραγωγή και απορρόφηση ROS (Miller et al., 2010).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι ROS δεν αποτελούν μόνο επιβλαβή υποπροϊόντα αλλά και μόρια μετάδοσης σήματος για τα φυτά. Σε ελεγχόμενες συγκεντρώσεις, οι ROS έχουν την ικανότητα να πυροδοτήσουν μονοπάτια σηματοδότησης, οδηγώντας στην ενεργοποίηση γονιδίων που σχετίζονται με την προσαρμογή των φυτών στο στρες (Miller et al., 2010).

1.10.2 Στρατηγικές αντιμετώπισης της αλατότητας

Μέσω της εξέλιξης, οι φυτικοί οργανισμοί με την πάροδο του χρόνου ανέπτυξαν στρατηγικές που συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των καταπονήσεων που απαντώνται στο περιβάλλον ανάπτυξής τους. Οι εν λόγω μηχανισμοί βασίζονται στην προσαρμογή των φυτών και, παράλληλα, κατοχυρώνουν την εύρυθμη λειτουργία και διαίωσή τους.

Γενικά, οι στρατηγικές που εφαρμόζονται από τα φυτά μπορούν να διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τη διαφυγή, την αποφυγή και την ανθεκτικότητα. Κατά τη στρατηγική της διαφυγής, τα φυτά τείνουν να ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο κατά τη χρονική διάρκεια στην οποία η συνθήκη καταπόνησης απουσιάζει. Παρουσία καταπόνησης, τα φυτά βρίσκονται συνήθως σε λήθαργο (Καραμπουρνιώτης και συν., 2012). Η στρατηγική της αποφυγής εφαρμόζεται σε φυτά, τα οποία κατέχουν μηχανισμούς άμβλυνσης των δυσμενών συνέπειων των καταπονήσεων στα κύτταρα. Τέλος, ο μηχανισμός της ανθεκτικότητας εντοπίζεται σε φυτά στα οποία δεν τίθενται θέμα επιβίωσης τους κατά τη διάρκεια της καταπόνησης. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν την ικανότητα να συνεχίζουν τις μεταβολικές τους διεργασίες σε επίπεδο παρόμοιο με αυτό που παρατηρείται απουσία καταπόνησης (Munns and Tester, 2008, Zhu, 2001).

Συνολικά, ελάχιστα φυτά εμφανίζονται ανεκτικά στα υψηλά επίπεδα εδαφικής αλατότητας. Τα εν λόγω φυτά ανήκουν στην ομάδα των αλοφύτων και απαρτίζουν ένα πολύ μικρό ποσοστό της παγκόσμιας βλάστησης, της τάξης του 1%. Το εναπομείναν 99% αναφέρεται στην υπόλοιπη χλωρίδα του πλανήτη, τα γλυκόφυτα. Στα γλυκόφυτα ανήκουν σχεδόν ολοκληρωτικά τα καλλιεργούμενα φυτά και εμφανίζουν δυσκολία ανάπτυξης ακόμη και σε συνθήκες χαμηλής αλατότητας (Wungrampha et al., 2020). Παρόλα αυτά, υπάρχει παραλλακτικότητα στην ανοχή των φυτών στη αλατότητα εντός της ομάδας των γλυκόφυτων, με μερικά είδη να χαρακτηρίζονται ως μετρίως ανεκτικά,

όπως το κριθάρι, και άλλα ως ευαίσθητα, όπως το σουσάμι (Καραμπουρνιώτης και συν., 2012, Παπακώστα και Τασοπούλου, 2013).

1.10.3 Επιπτώσεις της αλατότητας στο *Sesamum indicum* L.

Η καταπόνηση αλατότητας έχει πολύπλευρες συνέπειες στο φυτό του σουσαμιού, το οποίο παρά την ικανότητα ανοχής ήπιων επιπέδων αλατότητας, θεωρείται ευαίσθητο είδος. Τα σπορόφυτα του σουσαμιού αρχικά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αλατότητα. Το στρες ανακλάται στην χρονική καθυστέρηση της βλάστησης και στον ελαττωμένο ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιείται. Γενικότερα, επειδή το φυτό στα νεαρά του στάδια εμφανίζει ευαισθησία, η αλατότητα έχει επίδραση στη συνολική εγκατάσταση του φυτού στον αγρό. Παράλληλα, λόγω της ωσμωτικής καταπόνησης που επιφέρει η υψηλή αλατότητα, παρατηρείται μείωση στο ύψος των φυτών αλλά και στην ανάπτυξη των φύλλων. Τα φύλλα εμφανίζονται παχύτερα, καθώς υπάρχει συσσώρευση νερού και ωσμωπροστατευτικών ουσιών στα κύτταρα τους, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της σπαργής τους. Συχνά είναι και τα συμπτώματα μάρανσης του φυτού εφόσον η πρόσληψη νερού είναι περιορισμένη. Συνολικά, το σουσάμι υπό συνθήκες αλατότητας εμφανίζει καθυστερημένη ωρίμανση και μειωμένες αποδόσεις. Σε αυτό το φαινόμενο οφείλεται η μειωμένη φωτοσύνθεση, το αυξημένο ενεργειακό κόστος άμυνας του φυτού και, τέλος, η περιορισμένη πρόσληψη θρεπτικών ουσιών, η οποία επιμηκώνει τον αναπτυξιακό κύκλο (Munns and Tester, 2008, Dhillon et al., 2023).

1.10.4 Απόκριση προλίνης στην καταπόνηση

Η προλίνη είναι ένα αμινοξύ το οποίο εμφανίζεται κατά κόρον στα ανώτερα φυτά. Η παρουσία της σε μεγάλες συγκεντρώσεις δηλώνει έκθεση του φυτού σε περιβαλλοντικό στρες. Μεταξύ των λειτουργιών που επιτελεί αναφέρονται η εξασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας δομών και δομικών συστατικών του κυττάρου, όπως πρωτεΐνες και μεμβράνες, αλλά και η δέσμευση ελεύθερων ριζών (Ashraf and Foolad., 2007). Η προλίνη μπορεί επίσης να έχει αντιοξειδωτική δράση, προστατεύοντας από τις ROS και τις βλάβες που προκαλούν αλλά και από την οξειδωτική καταπόνηση (Rejeb et al., 2014). Παράλληλα, η προλίνη συμβάλλει στη ρύθμιση της έκφρασης γονιδίων που

σχετίζονται με την ανεκτικότητα έναντι των καταπονήσεων, την ωσμωτική προστασία καθώς και άλλους προστατευτικούς μηχανισμούς (Szabados and Saviouré., 2010)

Όταν τα φυτά έρχονται αντιμέτωπα με αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης, η παραγωγή και συσσώρευση της προλίνης γίνεται στο κυτταρόλυμα, αποτελώντας σημαντικό παράγοντα στην ωσμωτική προσαρμογή του κυτταροπλάσματος. Σύμφωνα με αναφορές, η συγκέντρωση της προλίνης είναι υψηλότερη στους ανθεκτικούς γονοτύπους σε σχέση με τους ευαίσθητους (Koca et al., 2007).

1.11 Βελτιωτικοί στόχοι για το σουσάμι

Το σουσάμι αποτελεί είδος με ευρύ περιθώριο βελτίωσης όσον αφορά την παραγωγικότητα, την αρχιτεκτονική του φυτού, την ανθεκτικότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σπόρων. Τα οφέλη που έχει αποφέρει έως τώρα η βελτίωση στο φυτό του σουσαμιού παραμένουν περιορισμένα και δεν παρουσιάζουν την ίδια πρόοδο σε σχέση με άλλες ελαιοδοτικές καλλιέργειες, όπως η αραχίδα και ο ηλίανθος (Dossa et al., 2016). Ένας από τους κυριότερους στόχους για την καλλιέργεια του σουσαμιού είναι η ανάπτυξη ποικιλιών που αποφέρουν υψηλή και σταθερή απόδοση σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Άρρηκτα συνδεδεμένη με την απόδοση είναι η αρχιτεκτονική του φυτού, η οποία μπορεί να αναβαθμισθεί με τη δημιουργία αδιάρρηκτων ποικιλιών, εξαλείφοντας έτσι τις απώλειες σπόρου πριν και μετά τη συγκομιδή. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό συμβάλει επίσης και στη μηχανική συγκομιδή του φυτού που αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ευρύτερη διάδοση της καλλιέργειας εφόσον κατά πλειοψηφία συγκομίζεται με το χέρι. Τέτοιες ποικιλίες έχουν αναπτυχθεί από την εταιρία Sesaco, χωρίς ωστόσο να είναι διαδεδομένες εκτός των Η.Π.Α., κυρίως λόγω κόστους. Ταυτόχρονα, η παράγωγή ποικιλιών ανθεκτικών σε αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις είναι κρίσιμη προκειμένου να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα της καλλιέργειας σε ποικιλία εδαφών και περιοχών. Τέλος, σημαντική είναι η αύξηση της περιεκτικότητας του σπόρου σε έλαια αλλά και η σταθερότητα της σύστασής του για την κάλυψη των απαιτήσεων των βιομηχανιών και των καταναλωτών.

Σκοπός της έρευνας

Η παρούσα διατριβή είχε ως σκοπό τη μελέτη της απόκρισης γενετικού υλικού σουσαμιού κατά τη φάση της βλάστησης, υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας. Η έρευνα εστίασε στην εκτίμηση της υπάρχουσας γενετικής παραλλακτικότητας το υπό μελέτη γενετικό υλικό με απώτερο σκοπό την ανάδειξη του ανθεκτικότερου γονοτύπου στην καταπόνηση αλατότητας στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Το γενετικό υλικό περιλάμβανε έναν αρχικό πληθυσμό και τρεις βελτιωμένες σειρές που προέκυψαν από τον αρχικό πληθυσμό, μέσω διαδοχικών επιλογών με κριτήριο την υψηλή απόδοση. Η αξιολόγηση της απόκρισης των τεσσάρων γονοτύπων πραγματοποιήθηκε σε τρία διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης αλατότητας (50 mM, 100 mM, 200 mM NaCl), ενώ ως μάρτυρες του πειράματος εξυπηρέτησαν φυτά που αναπτύχθηκαν απουσία παράγοντα καταπόνησης. Η αξιολόγηση του επιπέδου ανεκτικότητας στους υπό μελέτη γονοτύπους πραγματοποιήθηκε βάσει αναπτυξιακών και βιοχημικών παραμέτρων που συνδέονται με το δυναμικό βλάστησης των σπόρων, την ανάπτυξη των φυταρίων, τη συγκέντρωση φωτοσυνθετικών χρωστικών καθώς και προστατευτικών ουσιών, όπως η προλίνη. Μείζονος σημασίας για την εν λόγω έρευνα αποτελεί το γεγονός ότι οι υπό μελέτη γονότυποι δεν έχουν αξιολογηθεί έως τώρα, ως προς την προσαρμοστικότητά τους σε διάφορες αγροκλιματικές συνθήκες.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Γενετικό υλικό σουσαμιού

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων της παρούσας διατριβής αξιοποιήθηκαν τέσσερις γονότυποι σουσαμιού, οι οποίοι παραχωρήθηκαν από το Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών (ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ), το οποίο εδρεύει στη Λάρισα. Οι εν λόγω γονότυποι είναι ένας αρχικός πληθυσμός, που συνιστά εισαγόμενο υλικό, και τρεις βελτιωμένες σειρές, οι οποίες προέκυψαν από τον πληθυσμό και είναι αποτέλεσμα κύκλων επιλογής με κριτήριο την υψηλή απόδοση. Πιο συγκεκριμένα, ο αρχικός πληθυσμός αναφέρεται ως «Πληθυσμός 21», ενώ οι βελτιωμένες σειρές ορίζονται ως «Σειρά 4», «Σειρά 13» και «Σειρά 15». Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τόσο ο αρχικός πληθυσμός όσο και οι βελτιωμένες σειρές δεν έχουν μελετηθεί ως προς την απόκρισή τους σε ποικίλες αγροκλιματικές συνθήκες και, ειδικότερα, σε συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας.

2.2 Παρασκευή θρεπτικών υποστρωμάτων

Για τη μελέτη αντοχής των διαφορετικών γονοτύπων σουσαμιού στην αλατότητα παρασκευάστηκαν θρεπτικά υποστρώματα ιστοκαλλιέργειας που περιλάμβαναν απιονισμένο νερό, άγαρ, σουκρόζη και MS-vitamin. Ως παράγοντας καταπόνησης αξιοποιήθηκε το χλωριούχο νάτριο σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις (50 mM, 100 mM και 200 mM NaCl), το οποίο δημιουργεί περιβάλλον με περίσσεια άλατος. Οι παραπάνω συγκεντρώσεις αποτέλεσαν τις τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις του πειράματος (Εικόνα 2.1), ενώ η τέταρτη μεταχείριση δεν περιείχε τον παράγοντα καταπόνησης, καθιστώντας την μάρτυρα του πειράματος. Η σύσταση των θρεπτικών υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στον Πίνακα 2.1. Για τη ρύθμιση του pH των θρεπτικών υποστρωμάτων χρησιμοποιήθηκε καυστικό νάτριο (NaOH), ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη τιμή του 5,6 για την ανάπτυξη των φυτών. Όλα τα υποστρώματα και τα σκεύη που χρησιμοποιήθηκαν αποστειρώθηκαν στο αυτόκαυστο στους 121°C για 20 min (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.1 Προσθήκη παράγοντα καταπόνησης στα θρεπτικά υποστρώματα ιστοκαλλιέργειας (C, 50 mM, 100 mM, 200 mM NaCl).

Πίνακας 2.1 Σύσταση των θρεπτικών υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα αξιολόγησης της ανθεκτικότητας των υπό μελέτη γονοτύπων σουσαμιού σε διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης αλατότητας (0 mM (C), 50 mM, 100 mM, 200 mM NaCl).

	Control	NaCl (mM)		
Σύσταση		50	100	200
dH ₂ O	500 mL	500 mL	500 mL	500 mL
MS-vitamin	1,1 g	1,1 g	1,1 g	1,1 g
Sucrose	5 g	5 g	5 g	5 g
Agar	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
NaCl	-	1,46 g	2,92 g	5,82 g



Εικόνα 2.2 Αυτόκαυστο που χρησιμοποιήθηκε για την αποστείρωση των σκευών και των θρεπτικών υποστρωμάτων ιστοκαλλιέργειας που αξιοποιήθηκαν στο πείραμα.

2.3 Απολύμανση των σπόρων – Εγκατάσταση στα τριβλία

Η σπόροι των τεσσάρων διαφορετικών γονοτύπων καταμετρήθηκαν στη συσκευή καταμέτρησης σπόρων (Εικόνα 2.3). Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν 450 σπόροι σπασαμιού για τον κάθε υπό εξέταση γονότυπο. Για την απολύμανσή τους, οι σπόροι τοποθετήθηκαν σε φιαλίδια τύπου falcon, χωρητικότητας 50 mL, και έγινε προσθήκη διαλύματος χλωρίνης 20%, εμπλουτισμένου με 1% Tween-20. Έγινε συνεχής ανάδευση δια χειρός επί 10 min. Ακολούθησε πλύση με αποστειρωμένο απιονισμένο νερό (dH_2O) για 10 min. Η διαδικασία της πλύσης των σπόρων επαναλήφθηκε ακόμα δύο φορές. Αμέσως μετά το πέρας της αποστείρωσης, 13 σπόροι από κάθε γονότυπο τοποθετήθηκαν υπό ασηπτικές συνθήκες σε τριβλία 9 mm που περιείχαν κατάλληλο θρεπτικό υπόστρωμα και σφραγίσθηκαν με parafilm (Εικόνες 2.4, 2.5). Για την κάθε μεταχείριση, διεξήχθησαν 5 επαναλήψεις. Η βλάστηση των σπόρων του σουσαμιού πραγματοποιήθηκε σε ελεγχόμενες συνθήκες (20°C, Φωτοπερίοδος: 16 h φως / 8 h σκοτάδι) για χρονικό διάστημα 15 ημερών. Όταν το ριζίδιο των σπόρων καταγράφηκε στα 2 mm, τότε σηματοδοτήθηκε αρχή της βλάστησης.



Εικόνα 2.3 Όργανο καταμέτρησης σπόρων σουσαμιού.



Εικόνα 2.4 Εγκατάσταση θρεπτικών υποστρωμάτων ιστοκαλλιέργειας σε τριβλία, στην τράπεζα νηματικής ροής.



Εικόνα 2.5 Εγκατάσταση σπόρων Γονοτύπου 13, στη μεταχείριση 100 mM NaCl.

2.4 Αναπτυξιακές παράμετροι αξιολόγησης

Για να επιτευχθεί η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των γονοτύπων στην καταπόνηση της αλατότητας, λήφθηκαν υπόψιν τα ακόλουθα γνωρίσματα :

Ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP)	
Τύπος:	$GP = (\text{Αριθμός σπόρων που βλάστησαν} / \text{Συνολικός αριθμός σπόρων}) \times 100.$
Μέτρηση:	Καταμέτρηση από την 1 ^η έως την 7 ^η ημέρα
Μήκος ρίζας	
Μέτρηση:	Καταμέτρηση του μήκους ρίζας τριών φυτών ανά επανάληψη, την 7 ^η και 15 ^η ημέρα από την τοποθέτηση των σπόρων
Μήκος βλαστού	
Μέτρηση:	Καταμέτρηση του μήκους βλαστού τριών φυτών ανά επανάληψη, την 7 ^η και 15 ^η ημέρα από την τοποθέτηση των σπόρων
Ποσοστό απορρόφησης νερού των σποροφύτων (WC %)	
Τύπος:	$WC = [(\text{νωπό βάρος} - \text{ξηρό βάρος}) / \text{νωπό βάρος}] \times 100$
Μέτρηση:	Εφαρμόστηκε την 15 ^η ημέρα
Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI)	
Τύπος:	$SVI = \text{Μήκος βλαστού} \times \text{Ποσοστό βλαστικότητας}$
Μέτρηση:	Εφαρμόστηκε την 15 ^η ημέρα
Δείκτης ευαισθησίας (SSI)	
Τύπος :	$SSI = \frac{1 - \frac{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου συγκεκριμένου γονοτύπου, συγκεκριμένης καταπόνησης}}{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου συγκεκριμένου γονοτύπου του μάρτυρα}}}{1 - \frac{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου όλων των γονοτύπων συγκεκριμένης καταπόνησης}}{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου όλων των γονοτύπων του μάρτυρα}}}$
Μέτρηση:	Εφαρμόστηκε την 15 ^η ημέρα

Δείκτης ανεκτικότητας (STI)

Τύπος:

$$STI = \frac{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου γονοτύπου του μάρτυρα} \times \text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου γονοτύπου συγκεκριμένης κατάπονησης}}{(\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου όλων των γονοτύπων του μάρτυρα})^2}$$

Μέτρηση : Εφαρμόστηκε την 15^η ημέρα

2.5.1 Βιοχημικές παράμετροι αξιολόγησης

Περαιτέρω, οι υπό μελέτη γονότυποι σουσαμιού αξιολογήθηκαν ως προς την ανθεκτικότητά τους, λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b, καροτενοειδή καθώς και προλίνη.

2.5.2 Απομόνωση φυτικού υλικού

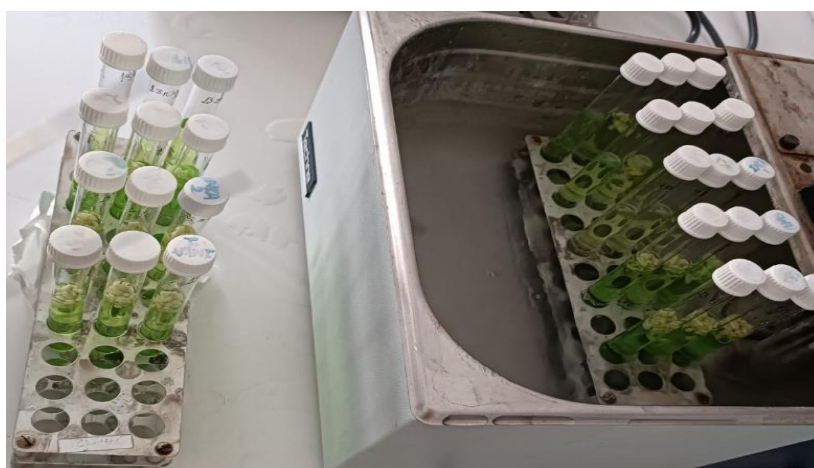
Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων που αφορούσαν στις αναπτυξιακές παραμέτρους, την 15^η ημέρα από την τοποθέτηση των σπόρων στο θρεπτικό υπόστρωμα, ακολούθησε λήψη φυτικού ιστού προκειμένου να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα αυτού σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και καροτενοειδή. Συγκεκριμένα, η δειγματοληψία αφορούσε σε ιστό φύλλων από 3 σπορόφυτα για κάθε συνδυασμό γονοτύπου-μεταχείρισης (3 επαναλήψεις). Ο ιστός τοποθετήθηκε σε ζυγό ακριβείας, και καταγράφηκε η μάζα του.

2.5.3 Διαδικασία εκχύλισης των φύλλων για προσδιορισμό περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και καροτενοειδή

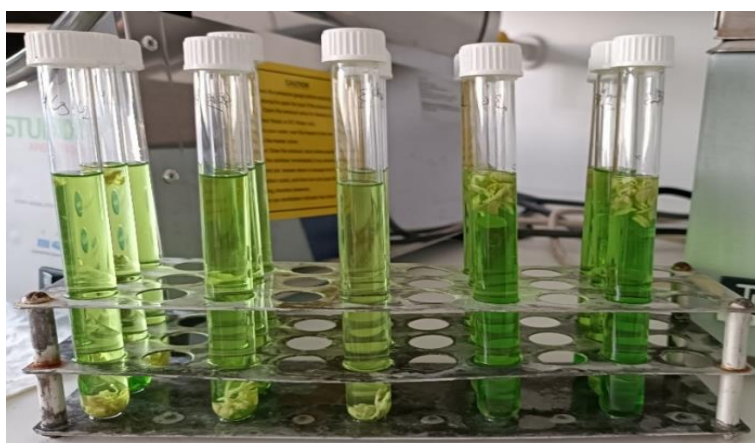
Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και καροτενοειδή ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στο πρωτόκολλο των Wintermans and Mouts, (1965). Για την εκχύλιση χρησιμοποιήθηκε 98% αιθανόλη, σε ποσότητα 15 ml, τα οποία τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες και ακολούθησε η προσθήκη ιστού των φύλλων (Εικόνα 2.6). Οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο με θερμοκρασία 80°C για διάστημα περίπου 30 λεπτών (Εικόνες 2.7 και 2.8). Με το πέρας του χρονικού διαστήματος, τα φύλλα είχαν αποχρωματισθεί και οι δοκιμαστικοί σωλήνες αφαιρέθηκαν από το υδατόλουτρο. Τα δείγματα έπειτα αφέθηκαν στο σκοτάδι για 30 λεπτά.



Εικόνα 2.6 Φυτικοί ιστοί σουσαμιού αμέσως μετά την τοποθέτησή τους στους δοκιμαστικούς σωλήνες.



Εικόνα 2.7 Τοποθέτηση των δοκιμαστικών σωλήνων στο υδατόλουτρο.



Εικόνα 2.8 Δοκιμαστικοί σωλήνες μετά την επώαση σε υδατόλουτρο και πριν τη μεταφορά τους στο σκοτάδι.

2.5.4 Μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο

Σε τελικό στάδιο, πραγματοποιήθηκε ο ποσοτικός προσδιορισμός σε φασματοφωτόμετρο. Για το σκοπό αυτό, έγινε μεταφορά του εκχυλίσματος σε κυψελίδες και πραγματοποιήθηκε μέτρηση της απορρόφησης του εκχυλίσματος σε τρία μήκη κύματος, στα 665 nm για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης a, στα 649 nm για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης b και στα 470 nm για τον προσδιορισμό των καροτενοειδών αντίστοιχα (Εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9 Μέτρηση συγκέντρωσης της χλωροφύλλης a στο φασματοφωτόμετρο.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας λήφθηκαν τα αποτελέσματα και υπολογίστηκαν οι περιεκτικότητες του φυτικού ιστού σε χλωροφύλλες a, b και καροτενοειδή, με βάση τους παρακάτω τύπους του Lichtenthaler (1987) :

Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a

Τύπος:

$$(13,36 * A_{665} - 5,19 * A_{649}) * 15$$

$$\text{Χλωροφύλλη a} = \frac{\text{ } \text{mg/g}}{\text{Νωπό βάρος} * 1000}$$

Μέτρηση: Δείγμα από σπορόφυτα ηλικίας 15 ημερών

Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b

Τύπος:
$$\text{Χλωροφύλλη } b = \frac{(27,43 * A_{649} - 8,12 * A_{665}) * 15}{\text{Νωπό βάρος} * 1000} \text{ mg/g}$$

Μέτρηση: Δείγμα από σπορόφυτα ηλικίας 15 ημερών

Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή

Τύπος:
$$\text{Καροτενοειδή} = \frac{(1000 * A_{470} - 2,13 * Chla - 97,64 * Chlb)}{\text{Νωπό βάρος} * 1000} \text{ mg/g}$$

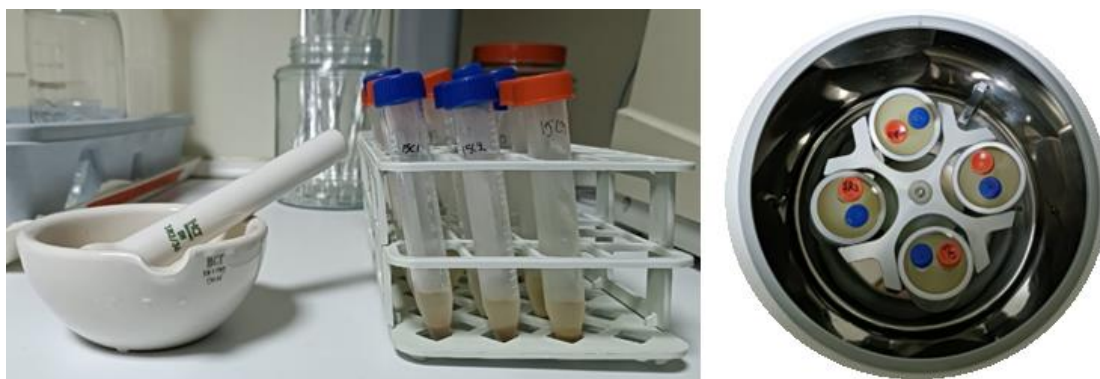
Μέτρηση: Δείγμα από σπορόφυτα ηλικίας 15 ημερών

2.5.5 Απομόνωση φυτικού υλικού για τον ποσοτικό προσδιορισμό των σποροφύτων σε προλίνη

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ριζών από 3 σπορόφυτα για κάθε συνδυασμό γονοτύπου-μεταχείρισης (3 επαναλήψεις). Ακολούθησε μέτρηση της μάζας των δειγμάτων ριζών σε ζυγό ακριβείας. Έπειτα, ακολούθησε η διαδικασία ποσοτικού προσδιορισμού της προλίνης, η οποία βασίστηκε στο πρωτόκολλο των Carillo and Gibon, 2011.

2.5.6 Διαδικασία εκχύλισης για προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε προλίνη

Σε γουδί, πραγματοποιήθηκε λειοτρίβηση των ριζών σε 2 ml αιθανόλη 70 %. Όταν η ομογενοποίηση του εκχυλίσματος ήταν εμφανής, έγινε προσθήκη 2 ml αιθανόλης 70 % (Εικόνα 2.10). Σε φιαλίδια τύπου Falcon, κατάλληλα σημασμένα με το γονότυπο, τη μεταχείριση και την επανάληψη προστέθηκε το εκχύλισμα. Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν για φυγοκέντριση στις 4.000 στροφές για 10 λεπτά (Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10 Αριστερά: Το γουδί και τα φιαλίδια που χρησιμοποιήθηκαν για τη λειοτρίβηση των ιστών. Δεξιά: Τα φιαλίδια με τον ομογενοποιημένο φυτικό ιστό στη φυγόκεντρο.

2.5.7 Προετοιμασία δειγμάτων για μέτρηση απορρόφησης στο φασματοφωτόμετρο

Παράλληλα, για τη μέτρηση των δειγμάτων στο φασματοφωτόμετρο, ακολούθησε η δημιουργία διαλύματος νινυδρίνης 5% w/v με την προσθήκη 60 ml διαλύματος οξικού οξέος σε ογκομετρικό κύλινδρο και 0,5g νινυδρίνης. Μόλις επήλθε η διάλυση της νινυδρίνης, προστέθηκε στο διάλυμα dH₂O έως τελικού όγκου 100 ml. Κατόπιν, 2ml διαλύματος μεταφέρθηκαν σε νέους σημασμένους δοκιμαστικούς σωλήνες αντίστοιχα. Με την ολοκλήρωση της φυγοκέντρωσης, 1 ml του υπερκείμενου διαλύματος προστέθηκε στους παραπάνω δοκιμαστικούς σωλήνες. Ακολούθησε ανάδευση των σωλήνων για σύντομο χρονικό διάστημα σε συσκευή vortex και μεταφορά τους στο υδατόλουτρο στους 95°C για 25 min. Μόλις αφαιρέθηκαν από το υδατόλουτρο, τοποθετήθηκαν για σύντομο χρονικό διάστημα σε κατάψυξη. Τέλος, έγινε μεταφορά των δειγμάτων σε κυψελίδες και καταγραφή της απορρόφησης στα 520 nm στο φασματοφωτόμετρο.

2.6 Δημιουργία καμπύλης αναφοράς και παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων

Προϋπόθεση για τη δημιουργία της καμπύλης αναφοράς, ήταν η παραγωγή διαλύματος προλίνης 1 mM. Η παρασκευή του έγινε με διάλυση 0,115 g L-proline, σε

διάλυμα αιθανόλης 70 % και προσθήκη dH₂O έως τελικού όγκου 100 ml. Από το παραπάνω διάλυμα, δημιουργήθηκαν πολλαπλά διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων προλίνης (Πίνακας 2.1), τα οποία και αποτέλεσαν τα πρότυπα διαλύματα.

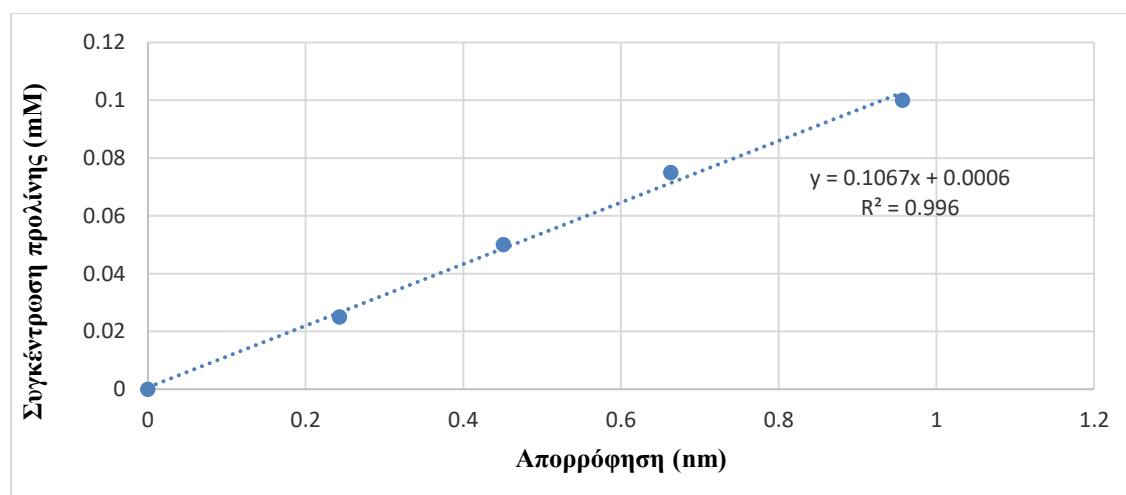
Από τα πρότυπα διαλύματα, λήφθηκαν 0,2 ml διαλύματος και τοποθετήθηκαν σε νέους δοκιμαστικούς σωλήνες. Ακολούθησε προσθήκη 0,8 ml αιθανόλης 40% και 2 ml διαλύματος νινυδρίνης. Ομοίως με τα δείγματα των φυτικών ιστών τοποθετήθηκαν στις ίδιες συνθήκες και για το ίδιο χρονικό διάστημα στο υδατόλουτρο. Ακολούθως, έγινε μεταφορά στην κατάψυξη για σύντομο διάστημα και πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της απορρόφησης στα 520 nm (Εικόνα 2.11). Βάσει των τιμών που καταγράφηκαν από την απορρόφηση, κατασκευάστηκε η πρότυπη καμπύλη που φαίνεται στο Διάγραμμα 2.1. Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μαθηματική συνάρτηση, βάσει της οποίας υπολογίστηκε η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε προλίνη.

Πίνακας 2.1 Σύσταση διαλυμάτων προλίνης για τη δημιουργία της πρότυπης καμπύλης αναφοράς.

Αρχικό διάλυμα προλίνης	Διάλυμα αιθανόλης 70%	Τελική συγκέντρωση προλίνης
Όγκος (mL)	Όγκος (mL)	(mM)
0	10	0
0,25	9,75	0,025
0,50	9,50	0,05
0,75	9,25	0,075
1	9	0,1



Εικόνα 2.11 Τα πρότυπα διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης προλίνης μετά την έξοδό τους από το υδατόλουτρο.



Διάγραμμα 2.1 Πρότυπη καμπύλη αναφοράς που αξιοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε προλίνη στα επιμέρους δείγματα.

2.7 Πειραματικό σχέδιο και στατιστική ανάλυση δεδομένων

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο με 5 επαναλήψεις για κάθε συνδυασμό γονοτύπου και μεταχείρισης, με την κάθε επανάληψη να περιλαμβάνει 13 σπόρους. Με το πέρας των μετρήσεων που αφορούσαν στη μελέτη της επίδρασης της καταπόνησης αλατότητας σε αναπτυξιακό και βιοχημικό επίπεδο, έγινε συλλογή των δεδομένων και ακολούθησε η στατιστική

τους επεξεργασία με το πρόγραμμα IBM SPSS Statistics, έκδοση 29.0.2.0, για Windows. Η στατιστική επεξεργασία περιλάμβανε ανάλυση παραλλακτικότητας (One Way ANOVA) με έναν παράγοντα (μεταχείριση) ή δύο παράγοντες (μεταχείριση, γονότυπος), με κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας 5 % ($P \leq 0,05$).

3. Αποτελέσματα

3.1 Ποσοστό βλάστησης των σπόρων υπό συνθήκες αλατότητας

Τα δεδομένα σχετικά με το δυναμικό βλάστησης των σπόρων προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία της καταγραφής του ποσοστού βλαστικότητας καθημερινά, από την 1^η έως και την 7^η ημέρα από την εγκατάσταση των σπόρων στα τριβλία (Πίνακας 3.1, Διάγραμμα 3.1). Όπως ήταν εύλογο, η αύξηση της συγκέντρωσης του παράγοντα καταπόνησης (NaCl) επέφερε μείωση της βλαστικότητας των σπόρων σουσαμιού. Απουσία καταπόνησης, ο μάρτυρας εμφάνισε αυξημένη βλαστικότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις σε όλους τους γονοτύπους.

Τη 2^η ημέρα, το μεγαλύτερο ποσοστό βλαστικότητας εμφάνισε ο μάρτυρας της Σειράς 15, ακολουθούμενης από τη Σειρά 4 και τον Πληθυσμό 21, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των γονοτύπων. Στις μεταχειρίσεις 50 mM και 100 mM NaCl, επίσης υπερείχε η Σειρά 15, καθώς καταγράφηκαν τα υψηλότερα ποσοστά βλαστικότητας, και ακολούθησε η Σειρά 4. Ειδικότερα, στη μεταχείριση των 100 mM NaCl οι Σειρές 4 και 15 διέφεραν σημαντικά σε σχέση με τους άλλους δύο υπό εξέταση γονοτύπους, ενώ στη μεταχείριση των 50 mM NaCl σημαντική διαφορά εμφάνισε μόνο η Σειρά 15. Στη μεταχείριση των 200 mM NaCl, αν και δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γονοτύπων, η Σειρά 4 υπερείχε, εμφανίζοντας το υψηλότερο ποσοστό βλαστικότητας. Βάσει των μέσων τιμών των γονοτύπων, η Σειρά 15 εμφάνισε το μεγαλύτερο ποσοστό βλαστικότητας την 2^η ημέρα, ακολουθούμενη από την Σειρά 4. Σε σχέση με την επίδραση του επιπέδου καταπόνησης, το ποσοστό βλαστικότητας των σπόρων μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl στις μεταχειρίσεις 100 mM NaCl και 200 mM NaCl, ενώ η μεταχείριση των 50 mM NaCl δεν επηρέασε σημαντικά το ποσοστό βλαστικότητας των γονοτύπων.

Την 3^η και 4^η ημέρα, οι μάρτυρες εμφάνισαν ποσοστό βλαστικότητας που δε διέφερε μεταξύ των γονοτύπων. Ομοίως, στη μεταχείριση των 50 mM NaCl δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γονοτύπων, με εξαίρεση τη Σειρά 13, η οποία εμφάνισε τη σημαντικά μειωμένο ποσοστό την 3^η ημέρα.

Την 5^η ημέρα, στους μάρτυρες το υψηλότερο ποσοστό βλαστικότητας εμφάνισε η Σειρά 15, ακολουθούμενη από τον Πληθυσμό 21 και τη Σειρά 4, ενώ η Σειρά 13 παρουσίασε σημαντικά μειωμένο ποσοστό. Στη μεταχείριση των 50 mM NaCl, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γονοτύπων, ενώ την καλύτερη και χειρότερη επίδοση αντίστοιχα εμφάνισαν η Σειρά 15 και ο Πληθυσμός 21. Στην μεταχείριση των 100 mM NaCl, διατηρήθηκε η υπεροχή της Σειράς 15, ακολουθούμενης από τη Σειρά 4. Αντίθετα, σημαντικά μειωμένο ποσοστό βλαστικότητας παρουσίασε η Σειρά 13.

Η 6^η και 7^η ημέρα κυμάνθηκαν σε ανάλογα επίπεδα, χωρίς να παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις καθώς η βλαστικότητα είχε καθοριστεί σε μεγάλο βαθμό από τις προηγούμενες ημέρες. Αξίζει να σημειωθεί πως η Σειρά 15 αναδείχθηκε ανώτερη στις μεταχειρίσεις C, 50, 100 mM NaCl, χωρίς ωστόσο να διαφέρει σημαντικά σε σχέση με τους υπόλοιπους γονοτύπους, με εξαίρεση την μεταχείριση 100 mM NaCl και τις δυο ημέρες. Στην μεταχείριση των 200 mM NaCl, ως ανώτερη αναδείχθηκε η Σειρά 4, η οποία διέφερε σημαντικά από τους υπολοίπους γονοτύπους.

Συγκεντρωτικά, την καλύτερη βλαστική ικανότητα παρουσίασε η Σειρά 15, ακολουθούμενη από τη Σειρά 4, δίχως να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Τη χειρότερη βλαστική ικανότητα παρουσίασε ο Πληθυσμός 21, ακολουθούμενος από τη Σειρά 13. Ο Πληθυσμός 21 και η Σειρά 13 δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

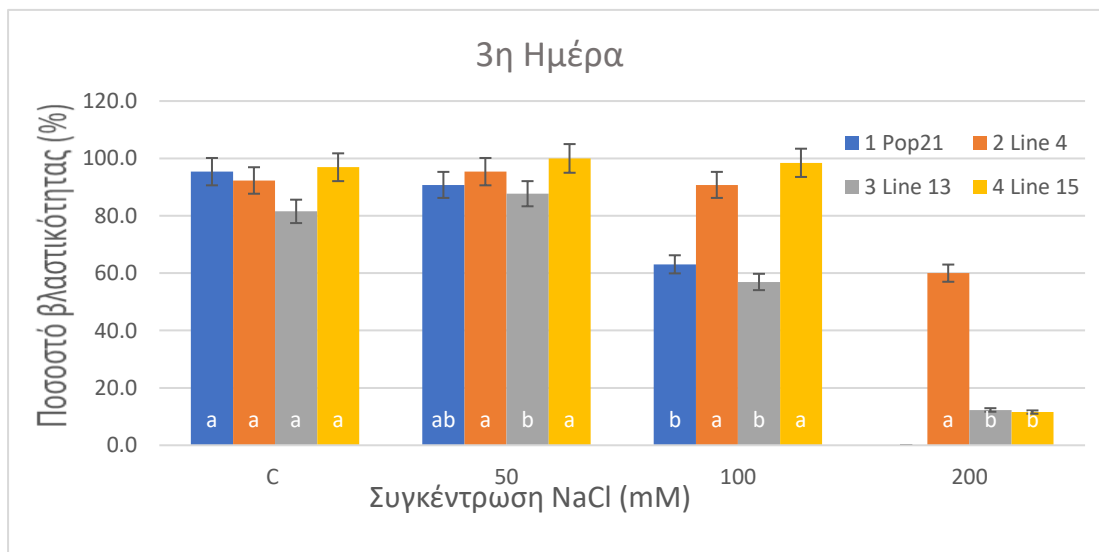
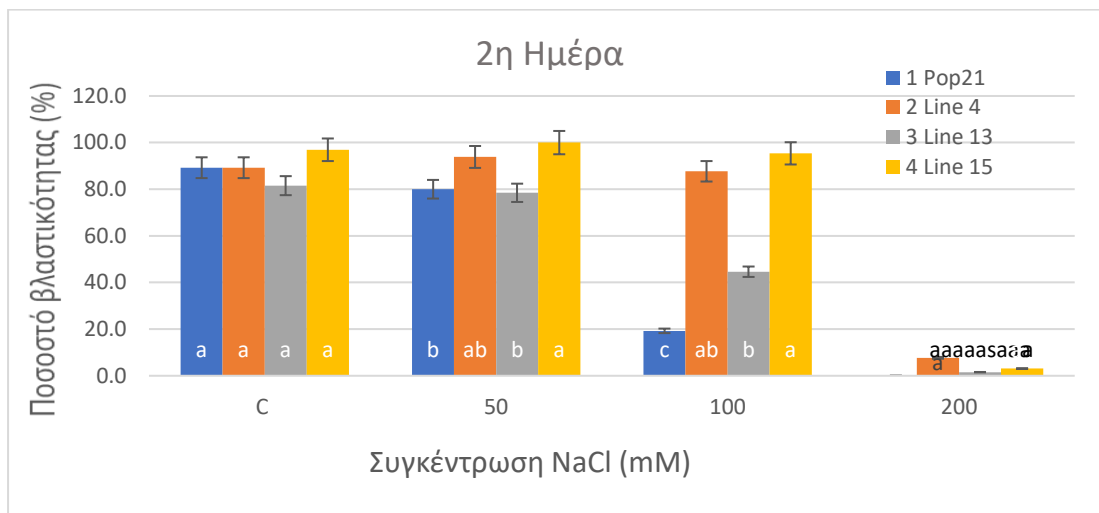
Πίνακας 3.1 Ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP %) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, 200 mM NaCl), σε επτά χρονικά διαστήματα (1^η έως 7^η ημέρα).

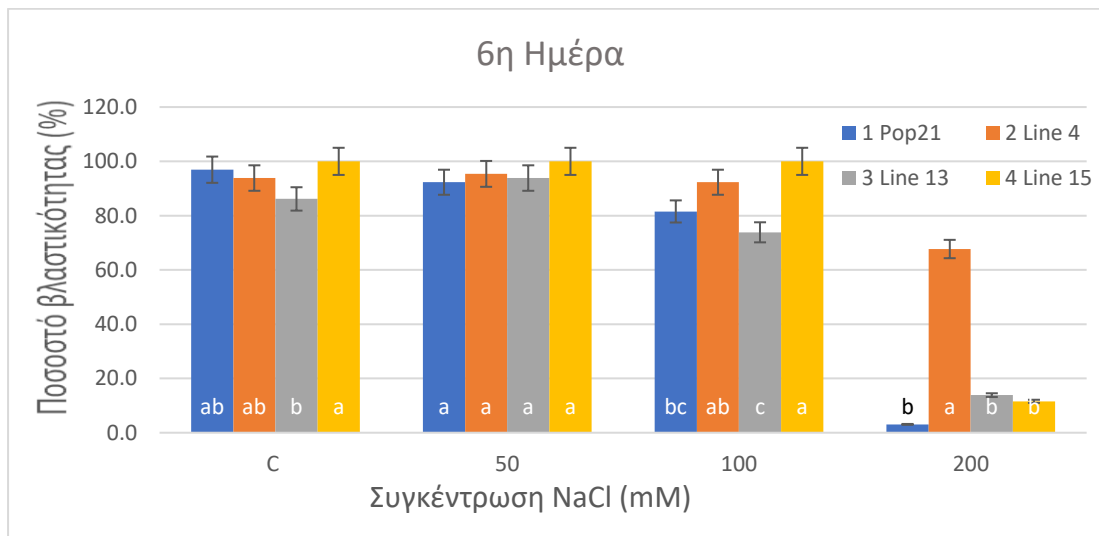
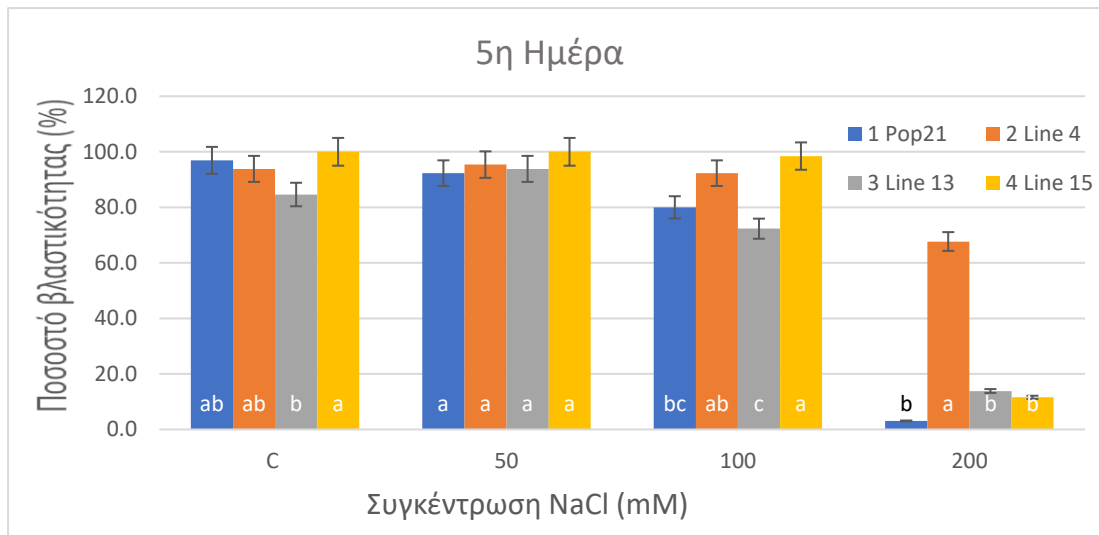
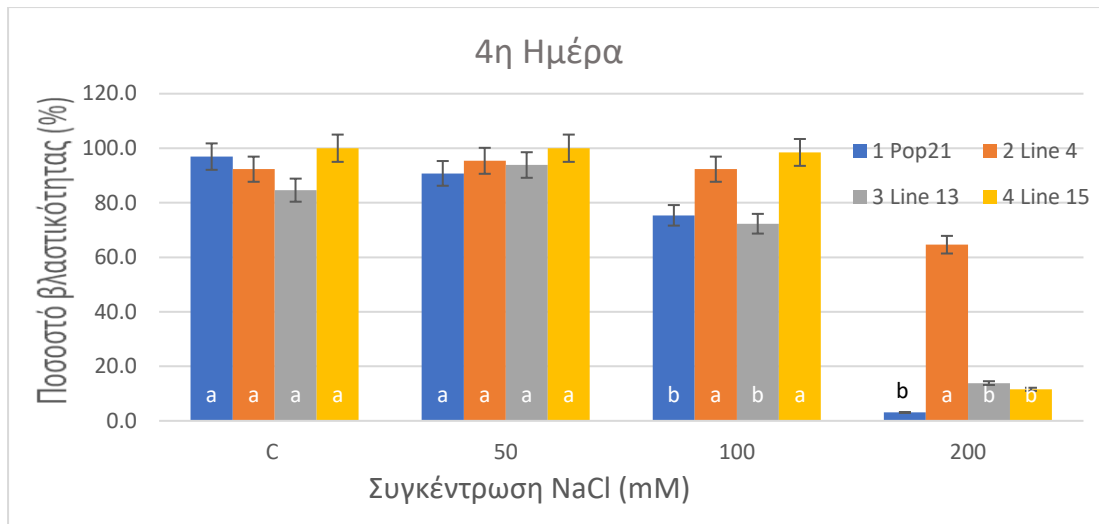
<i>Ημέρα</i>	<i>Γονότυπος</i>	<i>Μεταχειρίσεις</i>				
		NaCl (mM)				
		C	50	100	200	ΜΟΠ
<i>I^η</i>	Πληθυσμός 21	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Σειρά 4	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Σειρά 13	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Σειρά 15	0,0	0,0	0,0	0,0	
	M.O. (M)	0,0	0,0	0,0	0,0	

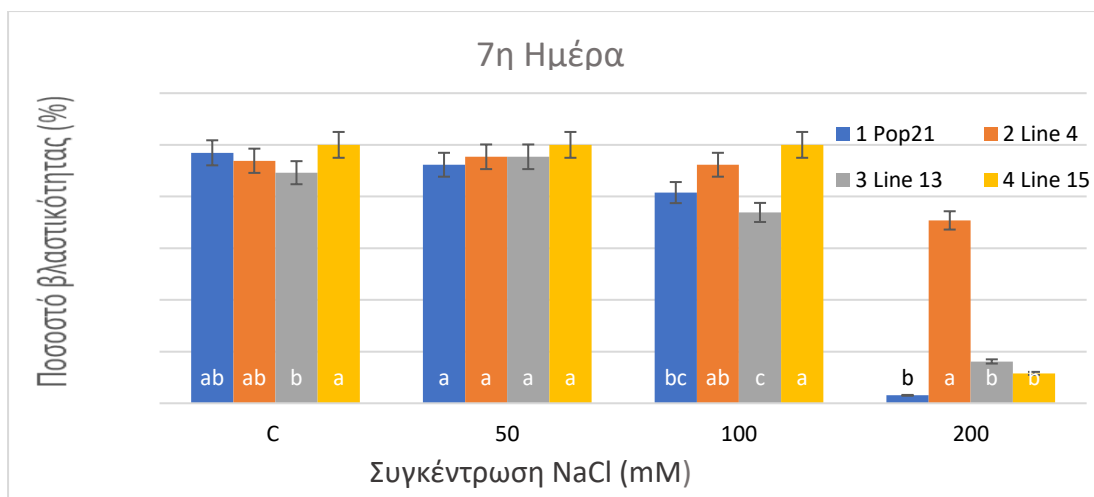
2^η		C	50	100	200	ΜΟΠ
	Πληθυσμός 21	89,2a	80,0b	19,3c	0,0a	47,1b
	Σειρά 4	89,2a	93,8ab	87,7a	7,7a	69,6a
	Σειρά 13	81,5a	78,5b	44,6b	1,5a	51,5b
	Σειρά 15	96,9a	100,0a	95,4a	3,1a	73,8a
	Μ.Ο. (Μ)	89,2a	88,1a	61,7b	3,1c	
3^η		C	50	100	200	ΜΟΠ
	Πληθυσμός 21	95,4a	90,8ab	63,1b	0,0b	62,3c
	Σειρά 4	92,3a	95,4a	90,8a	60,0a	84,6a
	Σειρά 13	81,5a	87,7b	56,9b	12,3b	59,6c
	Σειρά 15	96,9a	100,0a	98,5a	11,6b	76,7b
	Μ.Ο. (Μ)	91,5a	93,5a	77,3b	21,0c	
4^η		C	50	100	200	ΜΟΠ
	Πληθυσμός 21	89,2a	80,0a	19,3b	0,0b	66,5c
	Σειρά 4	89,2a	93,8a	87,7a	7,7a	86,1a
	Σειρά 13	81,5a	78,5a	44,6b	1,5b	66,1c
	Σειρά 15	96,9a	100,0a	95,4a	3,1b	77,5b
	Μ.Ο. (Μ)	93,5a	95,0a	84,6b	23,3c	
Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις				
5^η		C	50	100	200	ΜΟΠ
	Πληθυσμός 21	96,9ab	92,3a	80,0bc	3,1b	68,0c
	Σειρά 4	93,8ab	95,4a	92,3ab	67,7a	87,3a
	Σειρά 13	84,6b	93,8a	72,3c	13,8b	66,1c
	Σειρά 15	100,0a	100,0a	98,5a	11,6b	77,5b
	Μ.Ο. (Μ)	93,8a	95,4a	85,8b	24,0c	
6^η		C	50	100	200	ΜΟΠ
	Πληθυσμός 21	96,9b	92,3a	81,5bc	3,1b	68,4c
	Σειρά 4	93,8ab	95,4a	92,3ab	67,7a	87,3a
	Σειρά 13	86,2ab	93,8a	73,8c	13,8b	66,9c
	Σειρά 15	100,0a	100,0a	100,0a	11,6b	77,8b

	M.O. (M)	94,2a	95,4a	86,9b	24,0c	
	C	50	100	200	ΜΟΠ	
7η	Πληθυσμός 21	96,9b	92,3a	81,5bc	3,1b	68,4c
	Σειρά 4	93,8ab	95,4a	92,3ab	70,8a	88,0a
	Σειρά 13	89,2ab	95,4a	73,8c	16,2b	68,6c
	Σειρά 15	100,0a	100,0a	100,0a	11,6b	77,8b
	M.O. (M)	95,0a	95,8a	86,9b	25,4c	

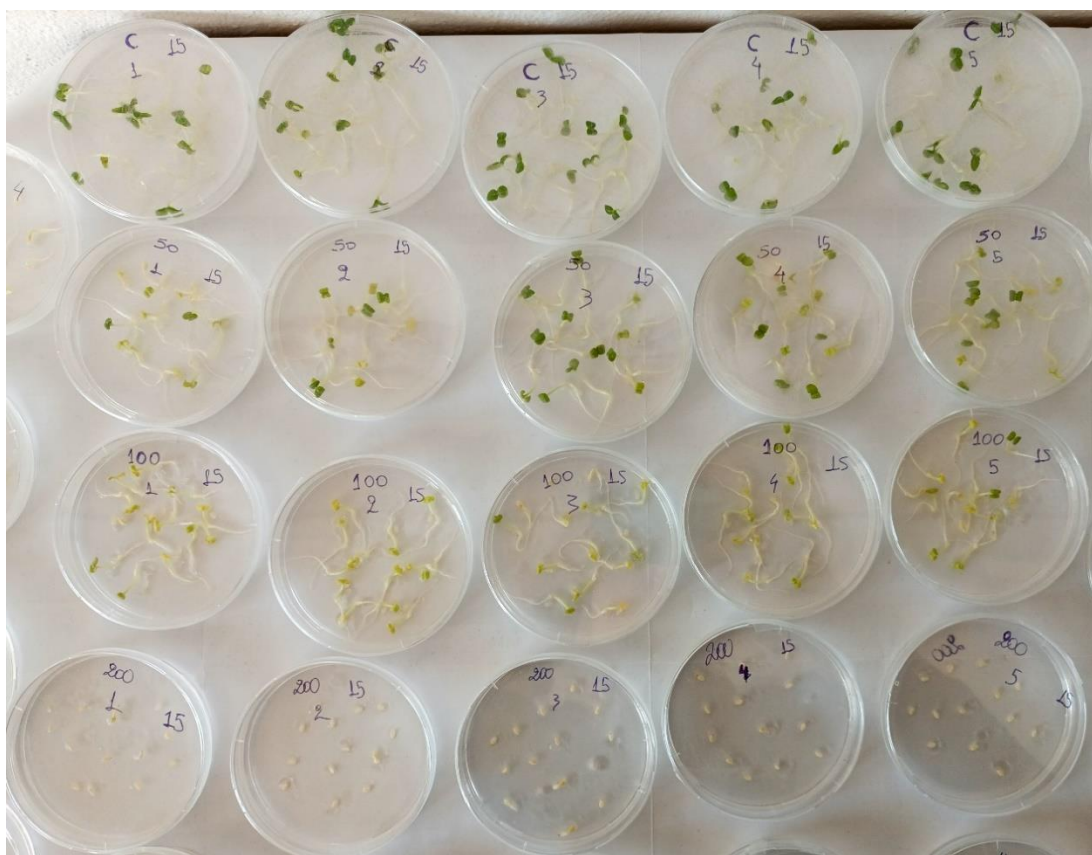
* Οι μέσοι όροι που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά με βάση το LSD ($p \leq 0,5$).







Διάγραμμα 3.1 Ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP %) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, 200 mM NaCl), στο διάστημα 7 ημερών.



Εικόνα 3.1 Απόκριση της «Σειράς 15» την 7^η ημέρα μετά την εγκατάσταση των σπόρων στα τριβλία ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, 200 mM NaCl) και ανά επανάληψη.

3.2 Μήκος βλαστού και ρίζας των σποροφύτων υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας

Παρομοίως με τη βλαστικότητα, εμφανίστηκαν διακυμάνσεις στο μήκος του φυταρίου, τόσο στο βλαστό όσο και στη ρίζα. Ήταν εμφανές πως το μήκος του βλαστού και της ρίζας μειωνόταν ανάλογα με τη συγκέντρωση του παράγοντα καταπόνησης (C, 50, 100 mM NaCl). Και στα δυο χρονικά διαστήματα (7^η και 15^η ημέρα), οι μάρτυρες όλων των γονοτύπων εμφάνισαν φυσιολογική ανάπτυξη βλαστού και ρίζας, χωρίς να εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα αντίστοιχα μήκη (Πίνακες 3.2 και 3.3, Διαγράμματα 3.2 και 3.3).

Αναφορικά με το μήκος βλαστού, στη μεταχείριση των 50 mM NaCl, οι γονότυποι δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους τόσο την 7^η όσο την 15^η ημέρα. Παρά την απουσία σημαντικών διαφορών, την 7^η ημέρα υψηλότερο δυναμικό ανάπτυξης εμφάνισε η Σειρά 13, ακολουθούμενη από τον Πληθυσμό 21, ενώ την 15^η ημέρα την καλύτερη απόκριση παρουσίασε η Σειρά 4, με αμέσως επόμενη τη Σειρά 15 (Πίνακας 3.2). Στην μεταχείριση των 100 mM NaCl, ήταν σαφώς πιο έκδηλη η επίδραση της καταπόνησης της αλατότητας στα φυτά, με όλους τους γονοτύπους να εμφανίζουν σημαντική μείωση στο μήκος βλαστού. Τόσο την 7^η όσο και τη 15^η ημέρα, ξεχώρισε η Σειρά 15, ενώ η χειρότερη απόκριση καταγράφηκε στον Πληθυσμό 21. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι οι ανωτέρω γονότυποι διέφεραν σημαντικά σε σύγκριση με τους υπόλοιπους.

Ως προς το μήκος της ρίζας, το σύνολο των γονοτύπων εμφάνισε ικανοποιητική απόκριση, λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση του μήκους συγκριτικά με τους μάρτυρες. Ιδιαίτερα την 15^η ημέρα, στην καταπόνηση των 50 mM NaCl ο μέσος όρος των γονοτύπων ταυτίστηκε με τον μέσο όρο των μαρτύρων του πειράματος, υποδεικνύοντας την αξιοσημείωτη αντοχή των φυταρίων στο χαμηλότερο επίπεδο καταπόνησης (Πίνακα 3.3). Υπεροχή έδειξε με σημαντική διαφορά η Σειρά 13 την 7^η ημέρα, ενώ την 15^η μέρα ξεχώρισαν ο Πληθυσμός 21 και η Σειρά 15, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Στην συγκέντρωση των 100 mM NaCl, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του μήκους των ριζών και στα δύο διαστήματα λήψης παρατηρήσεων. Η Σειρά 15 παρουσίασε το σημαντικά αυξημένο μήκος ρίζας, τόσο την 7^η όσο και την 15^η μέρα, ενώ ο αρχικός Πληθυσμός 21 εμφάνισε τη χειρότερη απόκριση στο σύνολο των υπό μελέτη γονοτύπων και τις δύο ημέρες.

Τέλος, στη μεταχείριση των 200 mM NaCl το σύνολο των γονοτύπων εμφάνισαν αυξημένη ευαισθησία, όπως προέκυψε από την ανάλυση της ικανότητας ανάπτυξης βλαστού ή ρίζας με μήκος κατάλληλο για καταγραφή (≥ 2 mm). Απόρροια των ανωτέρω ήταν η αδυναμία λήψης δεδομένων και συμπερίληψής στους Πίνακες 3.2 και 3.3 και στα Διαγράμματα 3.2 και 3.3, αντίστοιχα.

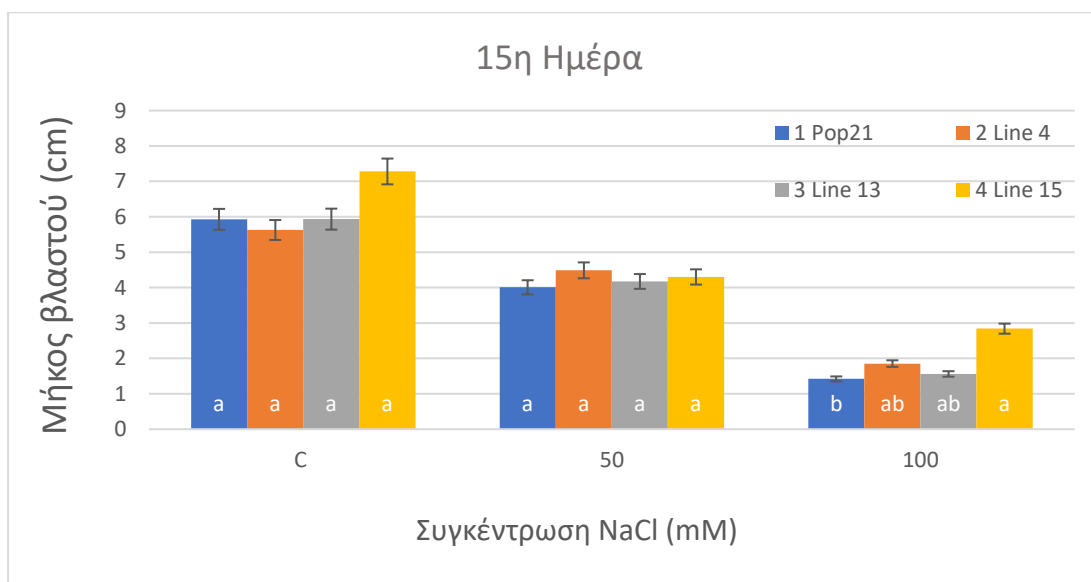
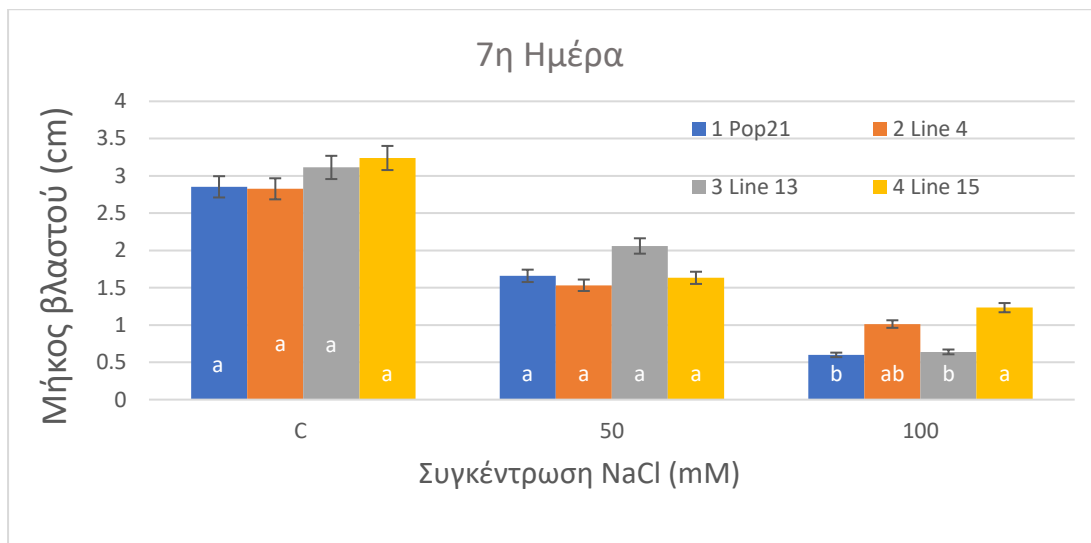
Πίνακας 3.2 Μήκος βλαστού των φυταρίων ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl), την 7^η και την 15^η ημέρα.

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
7 ^η		C	50	100	M.O. (Π)
	Πληθυσμός 21	2,9a	1,7a	0,6b	1,7a
	Σειρά 4	2,8a	1,5a	1,0ab	1,8a
	Σειρά 13	3,1a	2,1a	0,6b	1,9a
	Σειρά 15	3,2a	1,6a	1,2a	2,0a
	M.O. (M)	3,0a	1,7b	0,9c	
15 ^η					
	Πληθυσμός 21	5,9a	4,0a	1,4b	3,8b
	Σειρά 4	5,6a	4,5a	1,9ab	4,0b
	Σειρά 13	5,9a	4,2a	1,6ab	3,9b
	Σειρά 15	7,3a	4,3a	2,8a	4,8a
	M.O. (M)	6,2a	4,2b	1,9c	

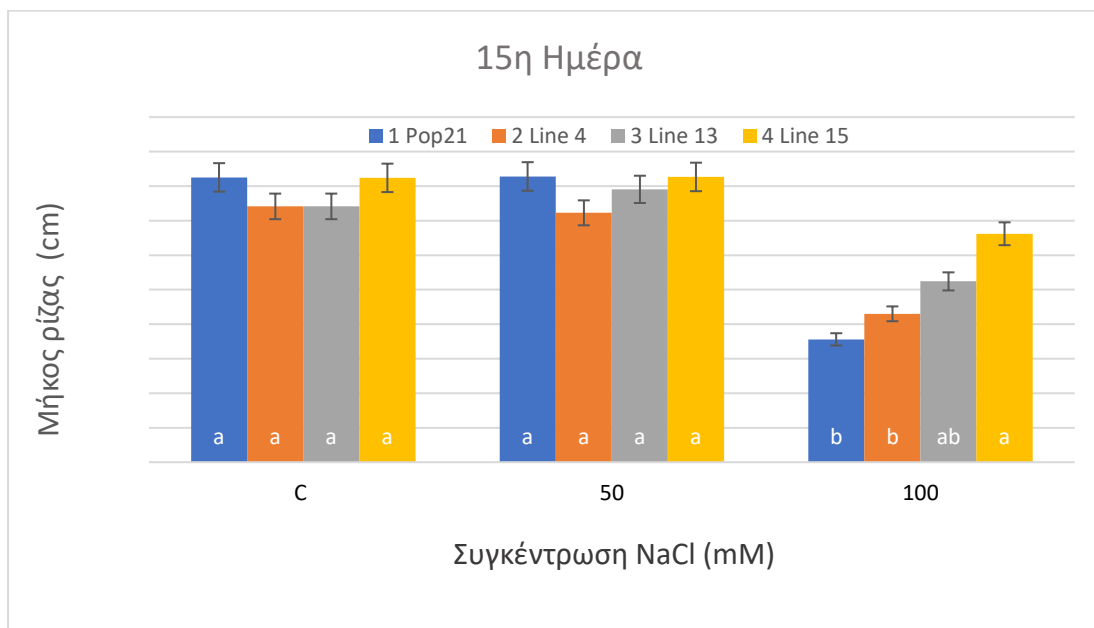
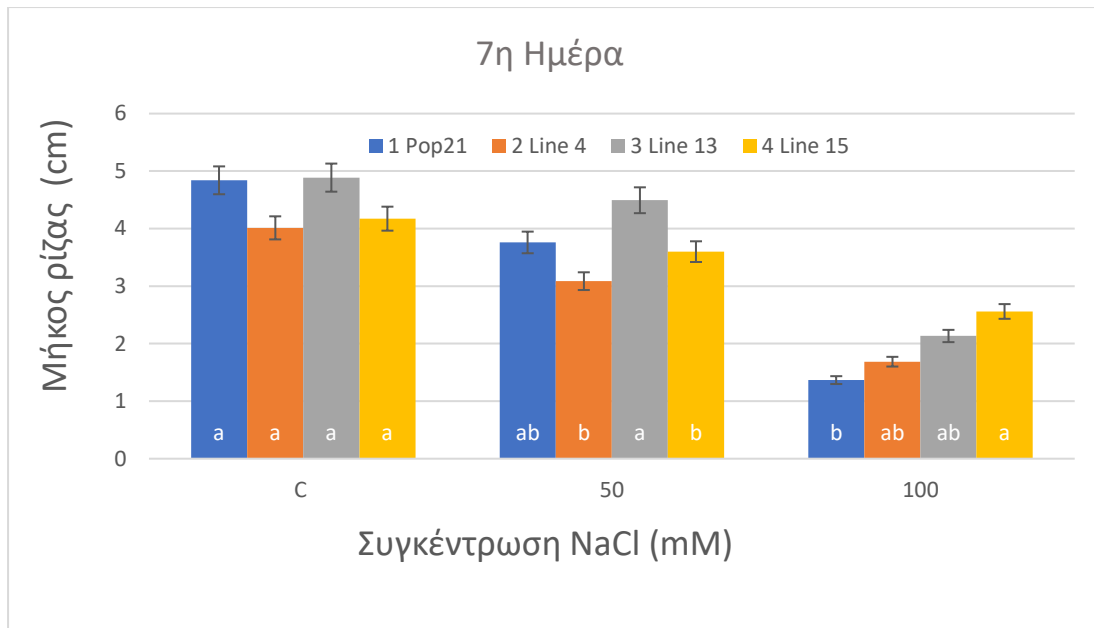
Πίνακας 3.3 Μήκος ριζιδίου των φυταρίων ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl), την 7^η και την 15^η ημέρα.

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
7 ^η		C	50	100	M.O. (Π)
	Πληθυσμός 21	4,8a	3,8ab	1,4b	3,3ab
	Σειρά 4	4,0a	3,1b	1,7ab	2,9b
	Σειρά 13	4,9a	4,5a	2,1ab	3,8a
	Σειρά 15	4,2a	3,6ab	2,6a	3,4ab

	M.O. (M)	4,5a	3,7b	1,9c	
15^η	Πληθυσμός 21	8,3a	8,3a	3,6b	6,7a
	Σειρά 4	7,4a	7,2a	4,3b	6,3a
	Σειρά 13	7,9a	7,9a	5,2ab	7,0a
	Σειρά 15	8,2a	8,3a	6,6a	7,7a
	M.O. (M)	7,9a	7,9a	4,9b	



Διάγραμμα 3.2 Μήκος βλαστού των φυταρίων σε cm ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl), την 7^η και την 15^η ημέρα.



Διάγραμμα 3.3 Μήκος ριζιδίου των φυταρίων σε cm ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl), την 7^η και την 15^η ημέρα.

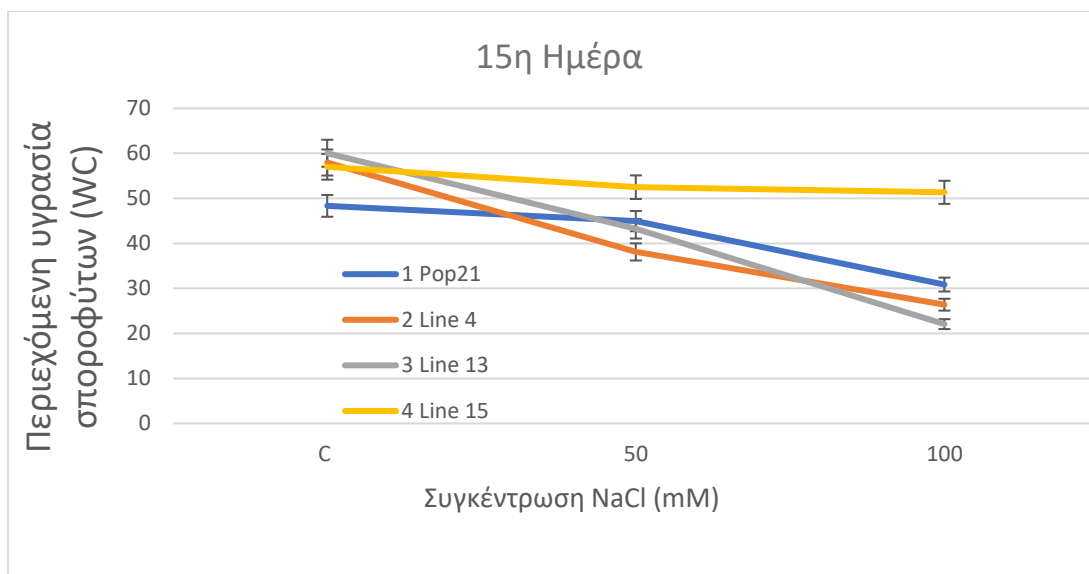
3.3 Περιεχόμενη υγρασία των σποροφύτων υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας (WC)

Τα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης φάνηκαν να επηρεάζουν σημαντικά και το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας (WC%) των σποροφύτων. Σε σύγκριση με τους μάρτυρες όλων των γονοτύπων, οι οποίοι εμφάνισαν φυσιολογικά ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας, η σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης NaCl συνοδεύτηκε από αντίστοιχη πτωτική τάση στην περιεχόμενη υγρασία (WC%). Στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων δεν συμπεριλήφθηκαν τα δεδομένα που αφορούν τη μεταχείριση των 200 mM NaCl, λόγω ανάσχεσης της ανάπτυξής τους στο συγκεκριμένο επίπεδο καταπόνησης (Πίνακας 3.4, Διάγραμμα 3.4).

Ως προς το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας, σημειώνεται η υπεροχή της Σειράς 15, η οποία σε όλες τις μεταχειρίσεις θεωρείται ενδεικτική της προηγμένης αντοχής της σε ήπια έως μεσαία επίπεδα καταπόνησης αλατότητας (Πίνακας 3.4). Στη συγκεκριμένη σειρά, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων εμφάνισε μικρή μείωση, συγκριτικά με τους υπόλοιπους γονοτύπους, οι οποίοι χαρακτηρίστηκαν από ραγδαία αντίστοιχη μείωση με τη σταδιακά αυξανόμενη συγκέντρωση NaCl.

Πίνακας 3.4 Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC%) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl) την 15^η ημέρα.

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
15		C	50	100	M.O. (II)
	Πληθυσμός 21	57,96a	38,1a	26,4b	41,4ab
	Σειρά 4	48,33a	44,9a	30,9b	40,8b
	Σειρά 13	60,02a	43,2a	22,1b	41,8ab
	Σειρά 15	57,00a	52,5a	51,3a	53,6a
	M.O. (M)	55,8a	44,7b	32,7c	



Διάγραμμα 3.4 Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC%) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl) την 15^η ημέρα.

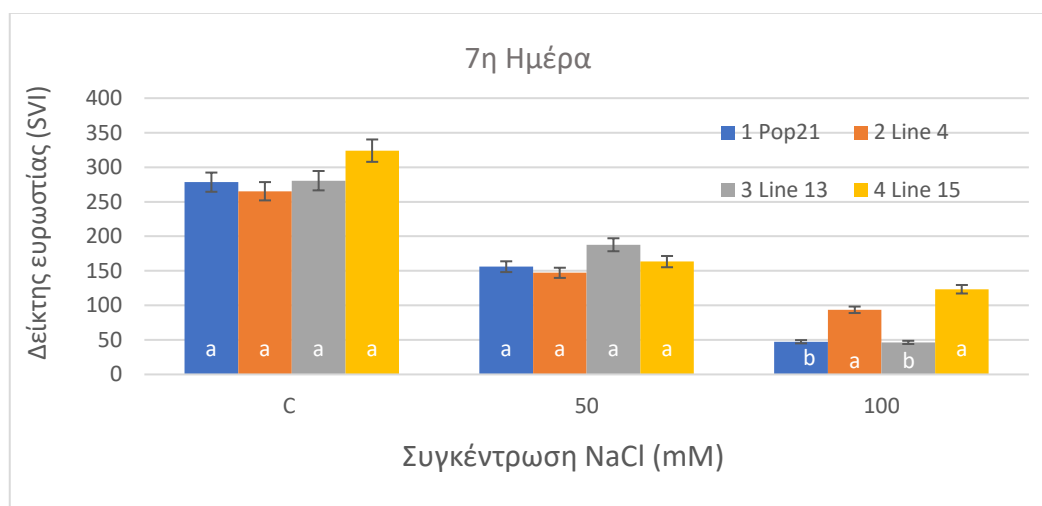
3.4 Δείκτης ευρωστίας των γονοτύπων (SVI)

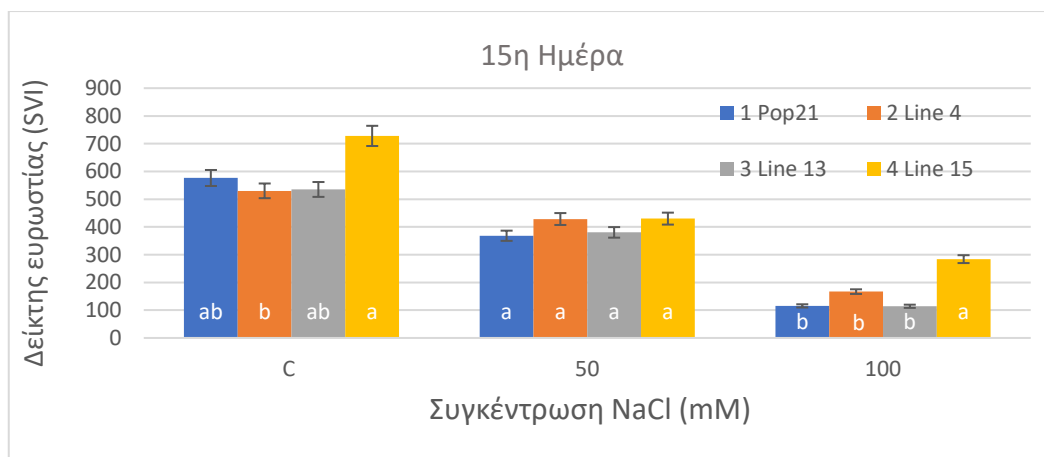
Ο δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI) εμφάνισε πτωτική τάση με τη σταδιακά αυξανόμενη συγκέντρωση NaCl (Πίνακας 3.5, Διάγραμμα 3.5). Αξίζει να σημειωθεί ότι την 7^η ημέρα, οι τιμές SVI όλων των γονοτύπων είναι χαμηλότεροι σε σχέση με τη 15^η μέρα, γεγονός που δε σχετίζεται με την ευαισθησία ή αντοχή των γονοτύπων *per se* αλλά με το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου ολοκληρώθηκε η βλάστηση όλων των σπόρων.

Μεταξύ των υπό μελέτη γονοτύπων, τις μικρότερες τιμές SVI εμφάνισε ο αρχικός Πληθυσμός 21, σημειώνοντας σημαντική διαφορά εν συγκρίσει με τις βελτιωμένες σειρές. Αντίθετα, η Σειρά 15 εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές SVI, παρέχοντας ισχυρές ενδείξεις σχετικά με την προηγμένη αντοχή της, η οποία προκύπτει συνδυαστικά από το υψηλό ποσοστό βλαστικότητας και την ικανότητα ανάπτυξης υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.5 Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl) την 7^η και 15^η ημέρα.

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
		C	50	100	M.O. (II)
7 ^η	Πληθυσμός 21	278,4a	156,0a	47,3b	160,6b
	Σειρά 4	265,2a	147,1a	93,6a	168,8ab
	Σειρά 13	280,5a	187,7a	46,4b	171,5ab
	Σειρά 15	325,0a	163,3a	123,3a	203,6a
	M.O. (M)	287,0a	163,6b	77,7c	
15 ^η	Πληθυσμός 21	576,4ab	368,3a	115,6b	353,4b
	Σειρά 4	530,1b	428,6a	166,9b	375,2b
	Σειρά 13	535,1ab	380,4a	114,2b	343,2b
	Σειρά 15	728,0a	430,0a	284,0a	480,7a
	M.O. (M)	592,4a	401,8b	170,2c	





Διάγραμμα 3.5 Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI) ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl) την 7^η και 15^η ημέρα.

3.5 Δείκτης ευαισθησίας των γονοτύπων (SSI)

Τα δεδομένα σχετικά με τον δείκτη ευαισθησίας των γονοτύπων (SSI) παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 3.6. Αν και παρατηρούνται διακυμάνσεις μεταξύ των υπό μελέτη γονοτύπων στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης, τα αποτελέσματα σχετικά με τις τιμές SSI δεν παρέχουν αξιόπιστα δεδομένα σχετικά με την αντοχή των γονοτύπων στην καταπόνηση αλατότητας. Στην μεταχείριση των 200 mM NaCl, η έλλειψη δεδομένων οφείλεται στην πλήρη ανάσχεση της ανάπτυξης των σποροφύτων.

Πίνακας 3.6 Δείκτης ευαισθησίας (SSI) ανά γονότυπο και επίπεδο καταπόνησης (50, 100, 200 mM NaCl) την 15^η ημέρα.

Ημέρα	Ποικιλία	Μεταχειρίσεις SSI		
		NaCl (mM)		
		50	100	200
15 ^η	Πληθυσμός 21	-5,2	1,2	-
	Σειρά 4	9,9	0,2	-
	Σειρά 13	-11,1	2,8	-
	Σειρά 15	12,6	-0,4	-

3.6 Δείκτης ανεκτικότητας των γονοτύπων (STI)

Τα δεδομένα σχετικά με τον δείκτη ανεκτικότητας των γονοτύπων (SSI) παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7. Όλες οι Σειρές εμφανίζουν σταθερές τιμές στις δυο συγκεντρώσεις παράγοντα καταπόνησης (50, 100 mM NaCl). Βάσει των τιμών STI, ξεχωρίζει ο αρχικός Πληθυσμός 21 και ακολουθούν οι Σειρές 4 και 15, ο οποίος αυξάνει τον δείκτη STI του στην ενδιάμεση βαθμίδα καταπόνησης. Στην μεταχείριση των 200 mM NaCl, η έλλειψη δεδομένων οφείλεται στην πλήρη ανάσχεση της ανάπτυξης των σποροφύτων.

Πίνακας 3.7 Δείκτης ανθεκτικότητας (STI) ανά γονότυπο και επίπεδο καταπόνησης (50, 100, 200 mM NaCl) την 15^η ημέρα.

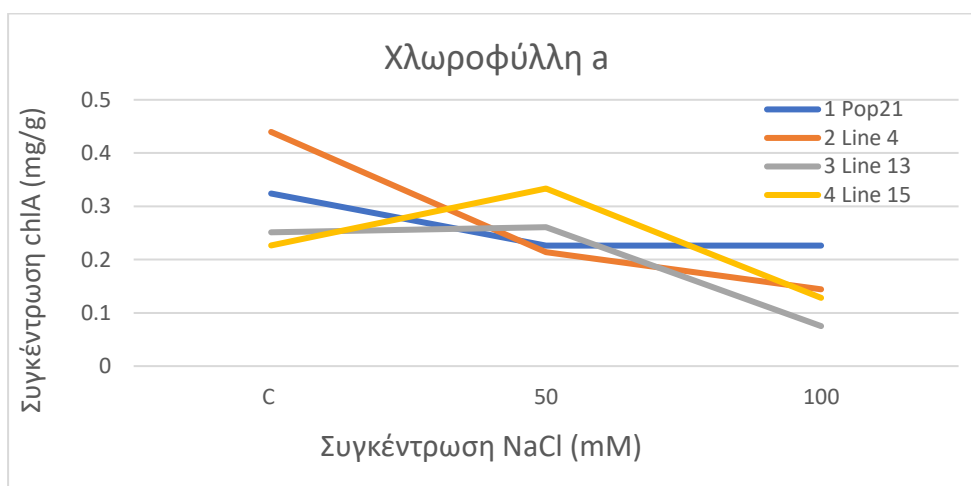
Ημέρα	Ποικιλία	Μεταχειρίσεις		
		NaCl (mM)		
		50	100	200
15 ^η	Πληθυσμός 21	1,2	1,3	-
	Σειρά 4	1,0	1,0	-
	Σειρά 13	0,9	0,9	-
	Σειρά 15	1,0	1,0	-

3.7 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και ολική χλωροφύλλη

Στον Πίνακα 3.8 και στο Διάγραμμα 3.6 παρουσιάζονται τα δεδομένα σχετικά με την περιεκτικότητα των ιστών σε χλωροφύλλη a. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (50 mM NaCl), οι Σειρές 13 και 15 εμφάνισαν αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη a, συγκριτικά με την αντίστοιχη περιεκτικότητα στο μάρτυρα (0 mM NaCl). Ωστόσο, στη μεταχείριση των 100 mM NaCl το σύνολο των γονοτύπων παρουσίασαν σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη a, με εξαίρεση τον αρχικό πληθυσμό, όπου παρατηρήθηκε ικανότητα διατήρησης της χλωροφύλλης a στο ίδιο επίπεδο με αυτή που περιείχε στη μεταχείριση των 50 mM NaCl.

Πίνακας 3.8 Προσδιορισμός Χλωροφύλλης a (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, mM NaCl).

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
		C	50	100	M.O. (Π)
15 ^η	Πληθυσμός 21	0,32a	0,23ab	0,23a	0,26a
	Σειρά 4	0,44a	0,21b	0,14ab	0,27a
	Σειρά 13	0,25a	0,26ab	0,08b	0,20a
	Σειρά 15	0,23a	0,33a	0,13b	0,23a
	M.O. (M)	0,31a	0,26a	0,15b	

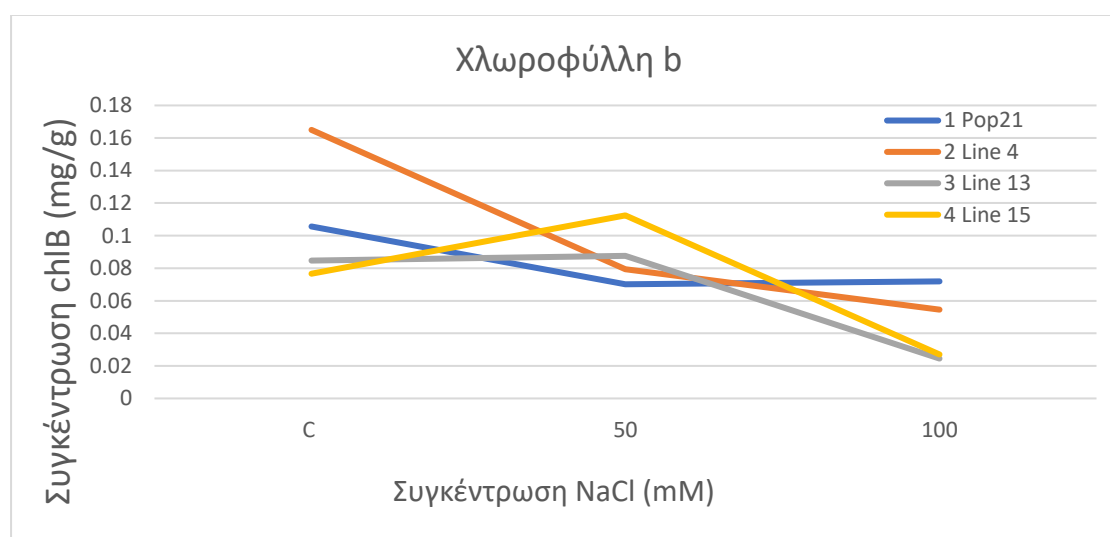


Διάγραμμα 3.6 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, mM NaCl).

Σε συμφωνία με τα ανωτέρω ευρήματα για την ποσότητα χλωροφύλλης a, στη μεταχείριση των 50 mM NaCl παρατηρήθηκε ότι οι Σειρές 13 και 15 εμφάνισαν αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη b, συγκριτικά με την αντίστοιχη στο μάρτυρα (0 mM NaCl) (Πίνακας 3.9, Διάγραμμα 3.7). Αντίθετα, στη μεταχείριση των 100 mM NaCl καταγράφηκε σημαντική μείωση της περιεχόμενης χλωροφύλλης b στο σύνολο των γονοτύπων, με εξαίρεση τον Πληθυσμό 21 που εμφάνισε σημαντικά αυξημένες τιμές.

Πίνακας 3.9 Προσδιορισμός Χλωροφύλλης b (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, mM NaCl).

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
		C	50	100	M.O. (II)
15 ^η	Πληθυσμός 21	0,11a	0,07b	0,07a	0,08ab
	Σειρά 4	0,16a	0,08ab	0,05ab	0,10a
	Σειρά 13	0,08a	0,09ab	0,02b	0,07b
	Σειρά 15	0,08a	0,11a	0,03b	0,07ab
	M.O. (M)	0,11a	0,09a	0,04b	



Διάγραμμα 3.7 Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, mM NaCl).

Σχετικά με το λόγο χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b, είναι σαφής μία τάση αύξησης των τιμών υπό συνθήκες καταπόνησης συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές του μάρτυρα (Πίνακας 3.9). Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσε η Σειρά 4, στη μεταχείριση των 100 mM NaCl, όπου παρατηρήθηκε μικρή μείωση του λόγου χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b, χωρίς ωστόσο οι τιμές να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των γονοτύπων.

Πίνακας 3.9 Λόγος χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl).

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
		C	50	100	M.O. (II)
15^η	Πληθυσμός 21	3,07a	3,23a	3,23a	3,18a
	Σειρά 4	2,69a	2,70b	2,66a	2,68a
	Σειρά 13	2,96a	3,00ab	3,11a	3,03a
	Σειρά 15	2,95a	2,97ab	50,88a	18,93a
	M.O. (M)	2,92a	2,98a	14,97a	

Όπως ήταν αναμενόμενο, η καταπόνηση της αλατότητας επηρέασε την ποσότητα ολικής χλωροφύλλης στο σύνολο των υπό μελέτη γονοτύπων (Πίνακας 3.10). Έτσι, οι μάρτυρες εμφάνισαν σαφώς αυξημένη περιεκτικότητα σε ολική χλωροφύλλη, συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές στα καταπονημένα σπορόφυτα. Είναι ενδιαφέρον ότι η περιεκτικότητα των ιστών σε ολική χλωροφύλλη δε διαφοροποιείται σημαντικά στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης. Στη μεταχείριση των 100 mM NaCl, τη μεγαλύτερη τιμή ολικής χλωροφύλλης κατείχε η Σειρά 4, ενώ τη μικρότερη εμφάνισε η Σειρά 15, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γονοτύπων.

Πίνακας 3.10 Προσδιορισμός ολικής χλωροφύλλης (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100 mM NaCl).

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
		C	50	100	M.O. (II)
15^η	Πληθυσμός 21	19,95a	0,30a	0,43a	6,89a
	Σειρά 4	10,47b	0,29a	0,60a	3,79c
	Σειρά 13	15,47ab	0,35a	0,34a	5.39b
	Σειρά 15	17,60a	0,45a	0,30a	6,12ab
	M.O. (M)	15,87a	0,35b	0,42b	

3.8 Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.11, η περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα, σημειώνοντας ωστόσο σημαντικές διαφορές μεταξύ των γονοτύπων. Σε όλες τις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, η Σειρά 4 εμφάνισε την υψηλότερη περιεκτικότητα σε καροτενοειδή, ενώ οι Σειρές 4, 13 και 15 εμφάνισαν πανομοιότυπες τιμές τόσο στους μάρτυρες όσο και στα καταπονημένα σπορόφυτα.

Πίνακας 3.11 Προσδιορισμός καροτενοειδών (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση καταπόνησης (0, 50, 100, mM NaCl).

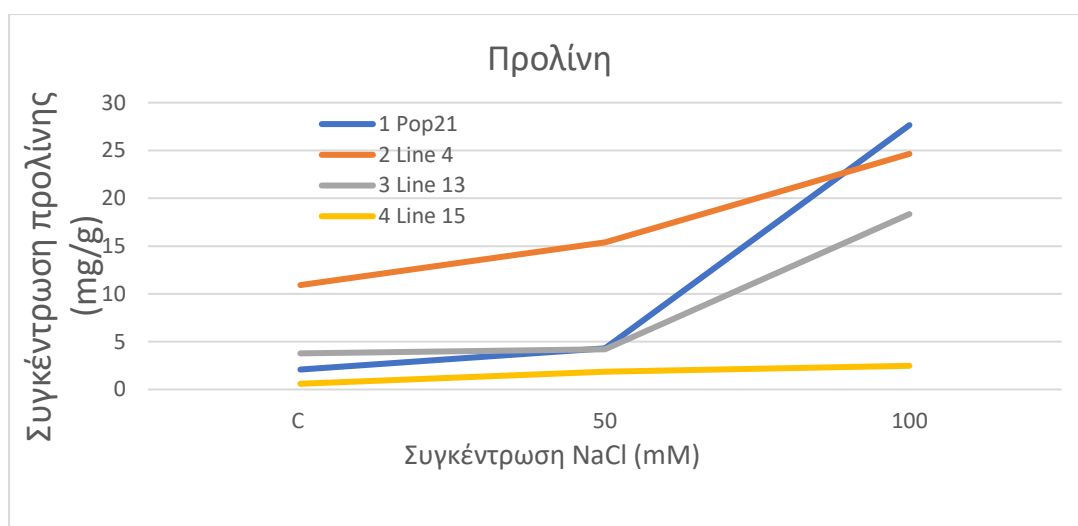
Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
		C	50	100	M.O. (Π)
15 ^η	Πληθυσμός 21	0,01b	0,01c	0,01b	0,01b
	Σειρά 4	0,04a	0,02a	0,04a	0,03a
	Σειρά 13	0,01b	0,01c	0,01b	0,01b
	Σειρά 15	0,01b	0,01b	0,01b	0,01b
	M.O. (M)	0,02a	0,02a	0,01a	

3.9 Περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε προλίνη

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζουν και οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης προλίνης στους φυτικούς ιστούς των υπό μελέτη γονοτύπων στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης (Πίνακας 3.12, Διάγραμμα 3.8). Γενικά, στο σύνολο των γονοτύπων η ποσότητα προλίνης αυξήθηκε στα καταπονημένα φυτά, συγκριτικά με τους μάρτυρες, με την αύξησή της να είναι ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης. Τα ευρήματα αυτά συνηγορούν υπέρ της γνωστής δράσης της ως προστατευτικού παράγοντα υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης. Μεταξύ των γονοτύπων, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα παρουσιάζει η Σειρά 4 στις μεταχειρίσεις του μάρτυρα και των 50 mM NaCl, ενώ στα 100 mM NaCl τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφανίζει ο Πληθυσμός 21 (Πίνακας 3.12).

Πίνακας 3.12 Προσδιορισμός Προλίνης (mg/100g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση καταπόνησης (0, 50, 100, mM NaCl).

Ημέρα	Γονότυπος	Μεταχειρίσεις			
		NaCl (mM)			
		C	50	100	M.O. (Π)
15 ^η	Πληθυσμός 21	2,09b	4,30b	27,65a	11,35b
	Σειρά 4	10,92a	15,40a	24,64a	17,0a
	Σειρά 13	3,78b	4,22b	18,34a	8,78b
	Σειρά 15	0,60b	1,86b	2,48b	1,65b
	M.O. (M)	4,35b	6,44b	18,28a	



Διάγραμμα 3.8 Απεικόνιση της προλίνης (mg/100g νωπού βάρους) ανά γονότυπο και ανά επίπεδο καταπόνησης (0, 50, 100, mM NaCl).

4. Συζήτηση

Στη σύγχρονη πραγματικότητα, όπου οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πλέον ορατές, η ανθρωπότητα βρίσκεται ενώπιον ενός κρίσιμου σταυροδρομιού, της διαιώνισης του ανθρωποκεντρικού μοντέλου ζωής ή την προσαρμογή στις περιβαλλοντικές συνθήκες ενός πλανήτη που μεταβάλλεται γρηγορότερα από ποτέ. Η προσαρμογή στις νέες συνθήκες επιτάσσει, μεταξύ άλλων, την ανάπτυξη ποικιλιών φυτών με αυξημένη ικανότητα αντοχής σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως αυτές της αυξημένης εδαφικής αλατότητας. Σύμφωνα με δεδομένα του FAO (2000), η αλατότητα του εδάφους επηρεάζει τουλάχιστον το 20% των εδαφών της γης, ενώ αν εξακολουθήσει να αυξάνεται με το σημερινό ρυθμό θα οδηγήσει σε απώλεια άνω του 50% της καλλιεργούμενης έκτασης έως το 2050 (Kumar and Sharma., 2020). Παράλληλα, είναι γνωστό ότι η αλάτωση αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αύξηση και επιβίωση των καλλιεργουμένων φυτών, ιδίως κατά την επικράτησή της σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια, με κυριότερο αυτό της βλάστησης (Boureima et al., 2011). Με δεδομένο εξάλλου ότι η βλάστηση συνιστά ένα κρίσιμο στάδιο στην αναπτυξιακή πορεία των φυτών, συνιστάται ως κατάλληλη για την αξιολόγηση της απόκρισης των φυτών σε περιβαλλοντικούς παράγοντες καταπόνησης.

Η παρούσα έρευνα επικεντρώθηκε στη μελέτη της απόκρισης τεσσάρων γονοτύπων σουσαμιού (*Sesamum indicum* L.) στην καταπόνηση αλατότητας στο στάδιο της βλάστησης. Οι υπό αξιολόγηση γονότυποι περιλαμβάνουν έναν αρχικό πληθυσμό, τον «Πληθυσμό 21», και τις βελτιωμένες σειρές «4», «13» και «15», οι οποίες επιλέχθηκαν από τον αρχικό πληθυσμό, μέσω διαδοχικών κύκλων επιλογής με βασικό κριτήριο την υψηλή απόδοση. Σημειώνεται δε ότι οι προαναφερθείς γονότυποι δεν έχουν μελετηθεί ως προς την προσαρμοστικότητά τους σε ποικίλες εδαφοκλιματικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της καταπόνησης αλατότητας. Στην παρούσα μελέτη, η απόκριση των γονοτύπων μελετήθηκε σε τρία επίπεδα καταπόνησης (50 mM, 100 mM και 200 mM NaCl), ενώ στο πείραμα συμπεριλήφθηκαν ως μάρτυρες φυτά που αναπτύχθηκαν απουσία του παράγοντα καταπόνησης. Η αξιολόγηση των γονοτύπων βασίστηκε τόσο σε αναπτυξιακές όσο σε βιοχημικές παραμέτρους. Σε αναπτυξιακό επίπεδο, προσδιορίστηκε το ποσοστό βλαστικότητας, το μήκος ρίζας και το μήκος βλαστού, ενώ σε βιοχημικό επίπεδο η απόκριση των φυτών βασίστηκε στην

περιεκτικότητα των ιστών σε φωτοσυνθετικές χρωστικές και προλίνη, που αποτελεί κύρια ωσμοπροστατευτική ουσία και εξυπηρετεί ως δείκτης αξιολόγησης της ανθεκτικότητας / ευαισθησίας.

Βάσει των συνολικών αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης, η καταπύκνωση αλατότητας φάνηκε να επιδρά στο σύνολο των γνωρισμάτων που μελετήθηκαν, με τις επιδράσεις να είναι ορατές σε όλους τους γονοτύπους. Το στρες αλατότητας επηρέασε αρνητικά την ικανότητα βλάστησης των σπόρων, γεγονός που συνάδει με προηγούμενες αναφορές σχετικά με τη μείωση του ποσοστού βλάστησης παρουσία καταπύκνωσης αλατότητας (Tabatabaei and Naghibalghora, 2014). Η παρουσία και συρροή ιόντων Na^+ , Cl^- *per se* στους ιστούς μπορεί να διαταράξει την δομή των μεμβρανών και να προκαλέσει οξειδωτικό στρες, αποτελώντας εξ αρχής εμπόδιο για τη βλάστηση του σπόρου (Munns et al., 2008). Στην παρούσα μελέτη, παρατηρήθηκε αισθητή μείωση της ικανότητας βλάστησης υπό συνθήκες καταπύκνωσης, με τη μείωση να είναι ανάλογη της έντασης της καταπύκνωσης. Έτσι, στη μεταχείριση των 50 mM NaCl η ικανότητα βλάστησης διατηρήθηκε στο σύνολο των γονοτύπων, με αποτέλεσμα τα ποσοστά βλαστικότητας να είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα των μαρτύρων. Η επίδραση καταπύκνωσης έγινε περισσότερο αισθητή στην μεταχείριση των 100 mM, όπου το σύνολο των γονοτύπων εμφάνισαν μειωμένη βλαστικότητα, με εξαίρεση τη Σειρά 15. Όπως αναμενόταν, οι επιδράσεις της αλατότητας υπήρξαν σαφώς πιο έκδηλες στη μεταχείριση των 200 mM NaCl, γεγονός το οποίο συνάδει με τις σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές. Μεταξύ των γονοτύπων, η Σειρά 15 ξεχώρισε για την υπεροχή της σε όλες τις μεταχειρίσεις, με εξαίρεση αυτή των 200 mM, όπου διακρίθηκε η Σειρά 4 με σημαντική διαφορά σε σχέση με τους υπολοίπους γονοτύπους.

Η απόκριση των φυτών στην αλατότητα μελετάται επίσης βάσει των επιπτώσεων της καταπύκνωσης στην ανάπτυξη των φυτών, λαμβάνοντας υπόψη γνωρίσματα όπως το μήκος βλαστού και το μήκος ρίζας. Είναι γνωστό ότι η προσαρμογή των φυτών σε συνθήκες καταπύκνωσης, μεταξύ άλλων, περιλαμβάνει μείωση του ρυθμού ανάπτυξης ώστε να γίνεται διάθεση των πόρων και της ενέργειας προς όφελος της άμυνας του φυτού (Zhu, 2001). Η ανοχή των φυτών σε στρες ξηρασίας ή αλατότητας φαίνεται να συνδέεται αρνητικά με την ταχύτητα ανάπτυξής τους (Zhu and Jian-Kang, 2001).

Εφόσον η αλατότητα αφορά το εδαφικό διάλυμα, το πρώτο όργανο του φυτού που έρχεται σε επαφή με τον παράγοντα καταπόνησης είναι η ρίζα. Η ρίζα προκειμένου το φυτό να κρατήσει την βιολογική του λειτουργία σε θεμιτά επίπεδα, προχωρά σε σημαντικές αλλαγές στη χωρική διάταξη και δομή της. Μια από τις βασικότερες τροποποιήσεις που λαμβάνουν χώρα είναι η αναστολή της ανάπτυξης της κυρίας ρίζας και η προώθηση της επέκτασης πλάγιων ριζών, μέσω της επαναδιανομής της αυξίνης και της μείωσης της γεωτροπικής αντίληψης των ριζών. Επιπλέον, η αναστολή ανάπτυξης της πρωτογενούς ρίζας οφείλεται και στην καταστροφή του ακραίου μεριστώματος από την αλάτωση. Σε αυτές τις διεργασίες παίζει σημαντικό ρόλο το αμψισικό οξύ (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Συνολικά, η ρίζα έχει την ικανότητα να επαναφέρει σε θεμιτό βαθμό τις λειτουργίες της, ακόμη και μετά από καταπόνησης της τάξης των 150 mM NaCl, εντός ενός εικοσιτετράωρου. Επομένως, η ανάπτυξη των ριζών συνήθως υφίσταται μικρότερη επίδραση σε σχέση με τα φύλλα, αντιδρώντας άμεσα στην έκθεση σε NaCl ή άλλους ωσμωτικούς παράγοντες (Munns et al., 2008). Στην παρούσα μελέτη, το μήκος της ρίζας δεν επηρεάστηκε σημαντικά στο χαμηλό επίπεδο των 50 mM NaCl, όπου τα καταπονημένα φυτά εμφάνισαν παρόμοια μήκη ρίζας με τους αντίστοιχους μάρτυρες. Στο υψηλότερο επίπεδο καταπόνησης, στη μεταχείριση των 100 mM NaCl, σημειώθηκε ορατή μείωση του μήκους ρίζας στο σύνολο των γονοτύπων, με τη Σειρά 15 ωστόσο να διακρίνεται σαφώς ως προς το αυξημένο μήκος ρίζας. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι η περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης NaCl, στα 200 mM, οδήγησε σε ανασχεση της ανάπτυξης τόσο του βλαστού όσο και της ρίζας, με αποτέλεσμα να μην καταστεί εφικτή η συλλογή των σχετικών δεδομένων. Παρά την απουσία μετρήσιμων δεδομένων, τα αποτελέσματα αυτά αναδεικνύουν την ευαισθησία όλων των γονοτύπων στο συγκεκριμένο επίπεδο καταπόνησης.

Αναφορικά με την αύξηση του βλαστού, η αλατότητα συχνά προκαλεί μείωση του μήκους του καθώς η συσσώρευση τοξικών ιόντων Na^+ και Cl^- παρεμβαίνει στη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, τη μεταφορά θρεπτικών ουσιών και την παραγωγή ενέργειας. Η αισθητά ελαττωμένη αύξηση των βλαστών οφείλεται επίσης στην στρατηγική του φυτού να περιορίσει τις απώλειες νερού δια μέσου της διαπνοής, μειώνοντας περεταίρω την ανάπτυξη των φύλλων (Zhu and Jian-Kang, 2001). Στην προκειμένη μελέτη, ο λόγος βλαστού - ρίζας εμφανίστηκε συγκριτικά μειωμένος,

επιβεβαιώνοντας τις ανωτέρω έρευνες. Ειδικότερα, το μήκος του βλαστού στην παρούσα μελέτη επηρεάστηκε δραματικά στο επίπεδο των 100 mM NaCl, σημειώνοντας δραστική μείωση συγκριτικά με το μάρτυρα. Μεταξύ των γονοτύπων, αναδείχθηκε η υπερέχουσα απόκριση της Σειράς 15.

Ο δείκτης ευρωστίας SVI αποτελεί ένα αριθμητικό δείκτη που συνδυάζει τόσο τη βλαστική ικανότητα όσο και το αναπτυξιακό δυναμικό των φυταρίων, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη εκτίμηση των ικανοτήτων των σπόρων σε σύγκριση με την αξιολόγηση κάθε παραμέτρου ξεχωριστά. Ο SVI είναι μείζονος σημασίας για τη μελέτη της απόκρισης των γονοτύπων σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η αλατότητα ή η ξηρασία, αναφορικά με τη ζωτικότητα των φυταρίων. Το χαμηλό SVI υποδηλώνει ότι οι σπόροι είναι λιγότερο ανθεκτικοί σε αυτές τις συνθήκες (Abdul-Baki et al., 1973). Κατ' ανάλογο τρόπο κυμάνθηκαν οι τιμές του δείκτη SVI στην παρούσα μελέτη, όπου η πλειοψηφία των γονοτύπων εμφάνισαν σταδιακή μείωση με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl. Ωστόσο, μεταξύ των διαφορετικών γονοτύπων, η Σειρά 15 υπερείχε συνολικά, εμφανίζοντας τις υψηλότερες τιμές τόσο απουσία όσο και παρουσία του παράγοντα καταπόνησης.

Ο δείκτης ανθεκτικότητας (STI) είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ικανότητας ενός φυτού να διατηρεί την παραγωγικότητά του υπό συνθήκες περιβαλλοντικών καταπονήσεων. Το STI βοηθά στον εντοπισμό γονοτύπων που αποδίδουν τόσο σε συνθήκες παρουσίας όσο και απουσίας καταπόνησης (Fernandez, 1992). Οι υπό μελέτη γονότυποι εμφάνισαν σταθερές τιμές στα επίπεδα καταπόνησης των 50 mM και 100 mM NaCl. Αξιοσημείωτη είναι η Σειρά 13, η οποία παρουσίασε τιμή υπό του μηδενός, την χαμηλότερη ανάμεσα στους γονοτύπους. Ο μοναδικός γονότυπος που εμφάνισε αύξηση στην τιμή STI ήταν ο αρχικός Πληθυσμός 21 στη μεταχείριση των 100 mM NaCl.

Τέλος, ένας από τους πλέον χρησιμοποιούμενους δείκτες αναφορικά με την παρουσία στρες στα φυτά είναι η συσσώρευση προλίνης στους φυτικούς ιστούς (Verbruggen et al., 2008). Η προλίνη σε υψηλές συγκεντρώσεις γενικά θεωρείται ότι έχει προστατευτικό ρόλο έναντι της καταπόνησης (Hare and Cress., 1997). Στην παρούσα μελέτη, τα αποτελέσματα συνηγορούν υπέρ της συσσώρευσης προλίνης στις ρίζες όλων των γονοτύπων, με τη συσσώρευση μάλιστα να είναι ανάλογη της έντασης της

καταπόνησης. Μοναδική εξαίρεση στην τάση αυτή υπήρξε η απόκριση της Σειράς 15, η οποία διατήρησε τα επίπεδα της προλίνης σε παρόμοια επίπεδα ακόμη και στη μεταχείριση των 100 mM NaCl. Λαμβάνοντας υπόψη την παρατηρηθείσα υπεροχή της Σειράς 15, με βάση το σύνολο των γνωρισμάτων που μελετήθηκαν, η απόκριση αυτή πιθανότατα υποδηλώνει την απουσία καταπόνησης ακόμη και στα 100 mM NaCl.

Συμπερασματικά, τα ευρήματα της μελέτης παρέχουν ενδείξεις σχετικά με την καταλληλότητα των μεθόδων και των δεικτών που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο μελέτης της απόκρισης γενετικού υλικού σουσαμιού στην καταπόνηση αλατότητας. Τα αποτελέσματα περαιτέρω υπογραμμίζουν την ύπαρξη σημαντικής γενετικής παραλλακτικότητας στο υπό μελέτη γενετικό υλικό, παρά το περιορισμένο δείγμα, για γνωρίσματα που σχετίζονται με την αντοχή στην καταπόνηση αλατότητας. Λαμβάνοντας υπόψη τα συνολικά δεδομένα της αξιολόγησης, είναι σαφής η υπεροχή της Σειράς 15 έναντι των υπολοίπων γονοτύπων, η οποία εκφράστηκε σε όλες τις παραμέτρους που μελετήθηκαν. Βάσει των ανωτέρω, η Σειρά 15 προσφέρεται ως πολύτιμο υλικό που μπορεί να ενσωματωθεί σε βελτιωτικά προγράμματα που εστιάζουν στη βελτίωση της ανεκτικότητας του σουσαμιού στην καταπόνηση αλατότητας.

5. Βιβλιογραφία

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Abbasi, Babar & Achakzai, Kamran & Bilal, Rana et al., (2022). Effects of Substitution of Soybean Meal with Sesame Meal on the Performance of Japanese Quails (*Coturnix Coturnix Japonica*) and its Impact on Economics of these Quails Raising. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*. 5.pp. 351-356.
2. Abdel Rahman Ali El Mahdi Effect of irrigation intervals on growth and yield of sesame in Northern Sudan (2008): ResearchGate,
3. Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. (1973) Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. *Crop Science*, 13, pp. 630-633.
4. Arif, Yamshi, et al.. (2020) "Salinity Induced Physiological and Biochemical Changes in Plants: An Omic Approach Towards Salt Stress Tolerance." *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 156, pp.64–77.
5. Ashraf, M., and Foolad. (2007) "Roles of Glycine Betaine and Proline in Improving Plant Abiotic Stress Resistance." *Environmental and Experimental Botany*, vol. 59, no. 2, pp. 206–16.
6. Ashri, A., and G. Ladijinski. (1964) "Anatomical effects of the capsule dehiscence alleles in sesame." pp. 136-38.
7. Bedigian, D. and Harlan, J.R. (2015) *Evidence for cultivation of sesame in the ancient world - economic botany*, SpringerLink.
8. Berhe, M. et al. (2021) 'Genome-wide association study and its applications in the non-model crop *Sesamum indicum*,' *BMC Plant Biology*, 21
9. Boureima, M. Eyletters, M. Diouf, T.A. Diop and P. Van Damme, (2011). Sensitivity of Seed Germination and Seedling Radicle Growth to Drought Stress in Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Research Journal of Environmental Sciences*, pp. 557-564.
10. Boyer JS (1982) Plant productivity and environment. *Science* 218: pp.443–448
11. Bray, E.A., Bailey-Serres, J. and Weretilnyk, E. (2000) Responses to abiotic stress. Biochemistry & molecular biology of plants. In: Gruissem, W. and Jones, R., Eds., American Society of Plant Physiologists, Rockville, 1158-1203.

12. Dossa, Komivi, et al., (2016) "Genome-Wide Investigation of Hsf Genes in Sesame Reveals Their Segmental Duplication Expansion and Their Active Role in Drought Stress Response." *Frontiers in Plant Science*, vol. 7,
13. Elleuch, Mohamed, et al., (2007) "Quality Characteristics of Sesame Seeds and By-products." *Food Chemistry*, vol. 103, no. 2, pp. 641–50.
14. Engin Yol and Bülent Uzun. (2011). *Inheritance of number of capsules per leaf axil and hairiness on stem, leaf and capsule of sesame (Sesamum indicum L.)* (2011). Australian Journal of Crop Science
15. Fernandez, G.C.J. (1992) Effective Selection Criteria for Assessing Stress Tolerance. In: Kuo, C.G., Ed., *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, AVRDC Publication, Tainan, 257-270.
16. Fuller, D.Q. (2003). "Further evidence on the prehistory of sesame." *Asian Agri-History*
17. Godoy F, Olivos-Hernández K, Stange C, Handford M. (2021) Abiotic Stress in Crop Species: Improving Tolerance by Applying Plant Metabolites. *Plants*. 10(2):186.
18. Hare, P.D. and Cress, W.A. (1997) Metabolic Implications of Stress-Induced Proline Accumulation in Plants. *Plant Growth Regulation*, 21, 79-102.
19. "Hongxian Mei, Chengqi Cui et al., (2019) Genome-wide Association Study of Seed Coat Color in Sesame (Sesamum Indicum L.)." *ResearchGate*,
20. Hossain, Md. (2019). Present Scenario of Global Salt Affected Soils, its Management and Importance of Salinity Research. 1. 1-3.
21. Koca, Hulusi, et al., (2007) "The Effect of Salt Stress on Lipid Peroxidation, Antioxidative Enzymes and Proline Content of Sesame Cultivars." *Environmental and Experimental Botany*, vol. 60, no. 3, pp. 344–51.
22. Kumar P, Sharma. (2020) "Soil Salinity and Food Security in India" *Frontiers in Sustainable Food Systems*
23. Langham, D. R. (2007). Phenology of Sesame. In Janick, J. (Ed.), *Issues in New Crops and New Uses* (pp. 144-182). ASHS Press.
24. Langham, Derald. (2017). VII. Sesame capsule descriptors (Sesamum indicum L.) Working Paper 1.

25. Miller, Gad, et al. (2010) "Reactive Oxygen Species Homeostasis and Signalling During Drought and Salinity Stresses." *Plant Cell & Environment*, vol. 33, no. 4, pp. 453–67.
26. Mostashari, Parisa, and Amin Mousavi Khaneghah.(2024) "Sesame Seeds: A Nutrient-Rich Superfood." *Foods*, vol. 13, no. 8, Apr. 2024, p. 1153.
27. Munns R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*25:239–50
28. Munns, Rana, and Mark Tester. (2008) "Mechanisms of Salinity Tolerance." *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, no. 1, pp. 651–81.
29. Negrão, S., et al. (2017) "Evaluating Physiological Responses of Plants to Salinity Stress." *Annals of Botany*, vol. 119, no. 1, Oct. 2016, pp. 1–11.
30. Nimmakayala, P. *et al.* (2010) 'Sesamum,' in *Springer eBooks*, pp. 261–273.
31. "Niti Pathak. *et al.*, (2014), Sesame: Bioactive Compounds and Health Benefits."
32. Oboulbiga, Edwige Bahanla, et al., (2023) "Physicochemical, Potential Nutritional, Antioxidant and Health Properties of Sesame Seed Oil: A Review." *Frontiers in Nutrition*, vol. 10,
33. Pathak, Niti, et al., (2014) "Value Addition in Sesame: A Perspective on Bioactive Components for Enhancing Utility and Profitability." *Pharmacognosy Reviews/Bioinformatics Trends/Pharmacognosy Review*, vol. 8, no. 16, p. 147,
34. Rejeb, Kilani Ben, et al., (2014) "How Reactive Oxygen Species and Proline Face Stress Together." *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 80, pp. 278–84.
35. Rengasamy and Pichu. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*
36. Shahid, Shabbir & Abdelfattah, Mahmoud & Eds, Faisal., (2013). "Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture".
37. Shittu and Lukeman. (2006). "Antibacterial and Antifungal Activities of Essential Oils of Crude Extracts of Sesame Radiatum against Some Common Pathogenic Micro-Organisms. *Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics*". 6. 165-170.
38. Shtein, I., Elbaum, R. and Bar-On, B. (2016) 'The hygroscopic opening of sesame fruits is induced by a functionally graded pericarp architecture,' *Frontiers in Plant Science*, 07.

39. Szabados, László, and Arnould Savouré., (2010) “Proline: A Multifunctional Amino Acid.” *Trends in Plant Science*, vol. 15, no. 2, pp. 89–97.
40. Tabatabaei S, Naghibalghora S., (2014) “Effect of salinity stress on germination characteristics of sesame seeds the effect of salinity stress on germination characteristics and changes of biochemically of sesame”
41. Verbruggen, Nathalie, and Christian Hermans., (2008) “Proline Accumulation in Plants: A Review.” *Amino Acids*, vol. 35, no. 4, pp. 753–59.
42. Wei, Panpan, et al., (2022) “Sesame (*Sesamum Indicum* L.): A Comprehensive Review of Nutritional Value, Phytochemical Composition, Health Benefits, Development of Food, and Industrial Applications.” *Nutrients*, vol. 14, no. 19, p. 4079,
43. Weiss, E.A. (2000) *Oilseed Crops*. 2nd Edition, Blackwell Science, Malden, 259-273.
44. Wungrampha, Silas, et al., (2020) “Survival Strategies in Halophytes: Adaptation and Regulation.” *Springer eBooks*, pp. 1–22.
45. Zhang, H. et al. (2013) 'Genome sequencing of the important oilseed crop *Sesamum indicum* L.,' *Genome Biology*
46. Zhu, Jian-Kang., (2001) “Plant Salt Tolerance.” *Trends in Plant Science*, vol. 6, no. 2, pp. 66–71

Ελληνική βιβλιογραφία

47. Καραμπουρνιώτης Γ., Λιακόπουλος Γ., Νικόπουλος Δ. (2012). «Φυσιολογία Καταπονήσεων των φυτών» σελ. 19-26, 59-71, 161-168
48. Παπακώστα – Τασοπούλου Δ. (2013). Βιομηχανικά φυτά σελ. 497-513
49. Τσουτσούδη Π. Θ. (2011). «Παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας σουσαμιού στο Νομό Έβρου». Μεταπτυχιακή εργασία ειδίκευσης. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης, Εργαστήριο Γεωργίας

Ιστοσελίδες

50. <https://www.minagric.gr/>
51. <https://www.fao.org/en>
52. <https://patents.google.com/patent/US9125372B1/en>