



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Επίδραση της υδατικής καταπόνησης σε γενετικό υλικό σουσαμιού
(*Sesamum indicum* L.) στη φάση της βλάστησης»

Μπατζοπούλου Κωνσταντίνα Μαρία



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

ΒΟΛΟΣ, 2023

**«Επίδραση της υδατικής καταπόνησης σε γενετικό υλικό σουσαμιού
(*Sesamum indicum* L.) στη φάση της βλάστησης»**

**«Effect of drought stress on sesame (*Sesamum indicum* L.)
germplasm during germination»**

Μπατζοπούλου Κωνσταντίνα Μαρία

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

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

Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, ΠΘ

Κυριάκος Γιαννούλης, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, ΠΘ

Περιεχόμενα

1. Περίληψη	6
2. Εισαγωγή	8
2.1 Καταγωγή και εξάπλωση	8
2.2 Ταξινόμηση	9
2.3 Βοτανική περιγραφή	11
2.3.1 Ριζικό σύστημα	11
2.3.2 Βλαστός	11
2.3.3 Φύλλα	12
2.3.4 Άνθη	13
2.3.5 Καρπός - Σπόρος	14
2.4 Βιολογικός κύκλος	15
2.4.1 Βλάστηση	15
2.4.2 Αναπαραγωγική φάση	15
2.4.3 Ωρίμανση	16
2.4.4 Ξήρανση	16
2.5 Εδαφολογικές απαιτήσεις	17
2.6 Οικολογικές απαιτήσεις	17
2.6.1 Κλίμα	17
2.6.2 Φωτοπερίοδος	18
2.6.3 Άνεμος και χαλάζι	18
2.7 Καλλιέργεια	19
2.7.1 Πριν τη σπορά	19
2.7.2 Σπορά	19
2.7.3 Αντιμετώπιση ζιζανίων	20
2.7.4 Άρδευση	20
2.7.5 Συγκομιδή	20
2.7.8 Απόδοση	21
2.7.9 Αμειψισπορά	21
2.8 Χρήσεις	22
2.8.1 Σησαμέλαιο: μαγειρική χρήση	22
2.8.2 Σησαμέλαιο: φαρμακευτική χρήση	22
2.8.3 Σησαμέλαιο: βιομηχανική χρήση	24
2.8.4 Αρτοποιία και παρασκευάσματα ύστερα από επεξεργασία σπόρων	24

2.8.5 Ζωοτροφές.....	24
2.9 Εχθροί.....	24
2.10 Υδατική καταπόνηση.....	25
2.10.1 Περίσσεια νερού	25
2.10.2 Αφυδάτωση	25
2.10.3 Ωσμωτική καταπόνηση	26
2.10.4 Στρατηγικές αντιμετώπισης.....	26
2.10.4.1 Διαφυγή	26
2.10.4.2 Αποφυγή.....	27
2.10.4.3 Ανθεκτικότητα	27
2.10.5 Επιδράσεις της ξηρασίας στην καλλιέργεια σουσαμιού.....	28
3. Υλικά και Μέθοδοι.....	31
3.1 Γενετικό υλικό.....	31
3.2 Θρεπτικά υποστρώματα.....	31
3.3 Απολύμανση σπόρων.....	33
3.4 Εγκατάσταση στα τριβλία.....	33
3.5 Αναπτυξιακές παράμετροι αξιολόγησης	34
3.6. Προσδιορισμός της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και καροτενοειδή.....	35
3.6.1 Παραλαβή ιστού	35
3.6.2 Διαδικασία εκχύλισης	35
3.6.3 Μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο	37
3.7. Ποσοτικός προσδιορισμός προλίνης	38
3.7.1 Παραλαβή ιστού	38
3.7.2 Διαδικασία εκχύλισης	38
3.7.3 Μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο	40
3.8. Στατιστική επεξεργασία.....	41
4. Αποτελέσματα.....	42
4.1. Ποσοστό βλάστησης των σπόρων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης	42
4.2. Μήκος βλαστού των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης.....	45
4.3. Μήκος ρίζας των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης.....	48
4.4. Περιεχόμενη υγρασία των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης	50
4.5. Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI).....	52
4.6. Δείκτης ευαισθησίας των γονοτύπων (SSI)	54
4.7. Δείκτης ανθεκτικότητας των γονοτύπων (STI	55

4.8. Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και ολική χλωροφύλλη.....	55
4.9. Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή.....	59
4.10. Περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε προλίνη.....	60
5. Συζήτηση-Συμπεράσματα.....	62
6. Βιβλιογραφία.....	67

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την επιβλέπουσα της πτυχιακής μου διατριβής κα. Ουρανία Παυλή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος για την πολύτιμη καθοδήγηση και την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου διατριβής.

Ένα εξίσου μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην κ. Παναγιωτάκη Ευαγγελία, μέλος ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος για την εξαιρετικά σημαντική βοήθεια την όποια έλαβα από μέρους της, τόσο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης του πειράματος όσο και κατά τη περίοδο της συγγραφής της πτυχιακής μου διατριβής.

Ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές κ. Δαναλάτο Νικόλαο και κ. Γιαννούλη Κυριάκο για την συμμετοχή τους στην Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή.

1. Περίληψη

Το σουσάμι αποτελεί το αρχαιότερο ελαιοδοτικό φυτό που χρησιμοποιήθηκε παγκοσμίως. Υπάρχει μόνο ένα καλλιεργούμενο είδος το *Sesamum indicum* και πολλά αυτοφυή στις χώρες της Ασίας και της Αφρικής. Η καλλιέργειά του πραγματοποιείται είτε για τη χρήση του σπόρου, καθώς σε πολλές χώρες αξιοποιείται στην αρτοποιία και στην παρασκευή γλυκισμάτων, είτε για τη μεγάλη περιεκτικότητά του σε έλαιο, το οποίο χρησιμοποιείται τόσο αυτούσιο στη μαγειρική όσο και στη βιομηχανία έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία. Βασικές απαιτήσεις της καλλιέργειας είναι η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού του κύκλου, αλλά κυρίως κατά την περίοδο του φυτώματος, καθώς και η επάρκεια νερού κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξής του. Το σουσάμι παρουσιάζει σχετική ανεκτικότητα έναντι της ξηρασίας, λόγω του ριζικού συστήματός του, το οποίο εκτείνεται σε βαθιά εδαφικά στρώματα. Παρά την ικανότητα επιβίωσης υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, λόγω του πλούσιου ριζικού του συστήματος, η επικράτηση ακραίας έλλειψης νερού περιορίζει δραστικά τόσο την αύξηση όσο και την παραγωγικότητα των φυτών, ιδιαίτερα όταν η καταπόνηση λαμβάνει χώρα κατά τα στάδια της βλάστησης ή/και της άνθισης. Επιπλέον, το σουσάμι αποτελεί είδος ευαίσθητο στις καταπονήσεις που προέρχονται από εδαφική αλατότητα, ακραίες θερμοκρασίες και έντονο φωτισμό. Οι επιδράσεις της καταπόνησης περιλαμβάνουν απώλειες απόδοσης, ανάλογες της έντασής της, έως και ολική καταστροφή. Ερευνητικό στόχο της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης τεσσάρων γονοτύπων σουσαμιού, ενός αρχικού πληθυσμού (Πληθυσμός 23) και τριών σειρών (Σειρά 1, Σειρά 11 και Σειρά 12) που προέκυψαν από αυτόν, ως προς την ανεκτικότητά τους έναντι της υδατικής καταπόνησης στο στάδιο της βλάστησης. Δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα υδατικού στρες με χρήση διαφορετικών συγκεντρώσεων μαννιτόλης (50, 100 και 200 mM μαννιτόλης) καθώς και ένα υπόστρωμα μη εμπλουτισμένο με μαννιτόλη, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των φυτών μαρτύρων. Έπειτα από επιφανειακή απολύμανση, οι σπόροι τοποθετήθηκαν προς βλάστηση σε τριβλία petri, που περιείχαν θρεπτικό υπόστρωμα εμπλουτισμένο με την κατάλληλη συγκέντρωση μαννιτόλης, για διάστημα δεκαπέντε ημερών. Για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας του γενετικού υλικού μελετήθηκαν γνωρίσματα όπως το ποσοστό βλάστησης των σπόρων, το μήκος της ρίζας και του βλαστού για τον έλεγχο της ανάπτυξης των σποροφύτων, το ποσοστό απορρόφησης νερού των σποροφύτων, ο δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων, ο

δείκτης ευαισθησίας και ο δείκτης ανεκτικότητας των γονοτύπων. Περαιτέρω, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση βιοχημικών παραμέτρων που σχετίζονται με την απόκριση των φυτών έναντι της υδατικής καταπόνησης. Συγκεκριμένα, έγινε μέτρηση της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών σε χλωροφύλλη a και b, ολική χλωροφύλλη, καροτένια και προλίνη. Ακολούθησε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων προκειμένου να αξιολογηθεί συγκριτικά η απόκριση των γονοτύπων ανά επίπεδο καταπόνησης αλλά και η επίδραση των επιπέδων καταπόνησης ανά γονότυπο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ανέδειξαν την υπεροχή της Σειράς 12 ως προς την ανθεκτικότητα έναντι της καταπόνησης ξηρασίας. Επιπλέον, στο σύνολό τους τα ευρήματα της μελέτης κατέδειξαν την καταλληλότητα της συγκεκριμένης μεθόδου για την ανάδειξη της γενετικής παραλλακτικότητας σχετικά με το δυναμικό βλάστησης και ανάπτυξης των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

2. Εισαγωγή

2.1 Καταγωγή και εξάπλωση

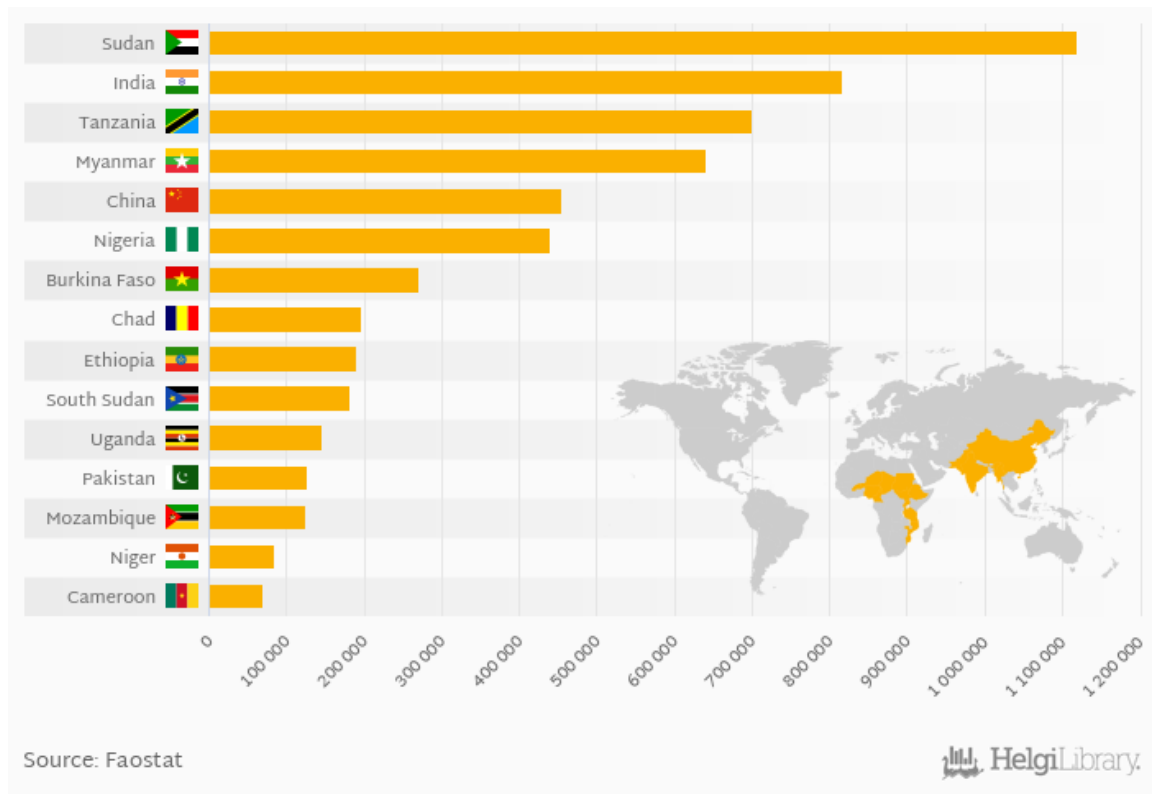
Το σουσάμι (*Sesamum indicum*) είναι ένα από τα παλαιότερα και σημαντικότερα ελαιοδοτικά φυτά, το οποίο καλλιεργείται σε διάφορες τροπικές και υποτροπικές περιοχές ανά τον κόσμο από την αρχαιότητα έως και σήμερα. Αναφορικά με την προέλευση του σουσαμιού αναφέρονται δύο πιθανές εκδοχές, είτε να προέρχεται από την Κεντρική Αφρική όπου έχουν βρεθεί αρκετές ιθαγενείς ποικιλίες σουσαμιού είτε να καλλιεργήθηκε αρχικά στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Ασίας και συγκεκριμένα στην Ινδία και από εκεί, μέσω του εμπορίου που λάμβανε χώρα στον Ινδικό Ωκεανό, να εξαπλώθηκε στην Αίγυπτο και στην Ευρώπη, όπως αρκετοί μελετητές έχουν καταλήξει ύστερα από σχετικές έρευνες.

Το σουσάμι είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την αρχαιότητα καθώς τα πρώτα αρχαιολογικά ευρήματα σχετικά με την καλλιέργειά του χρονολογούνται το 3500 έως το 3050 π.Χ. Συγκεκριμένα, έχουν διενεργηθεί αρκετές αρχαιολογικές ανασκαφές με τα ευρήματα να αποδεικνύουν την εντατική καλλιέργεια του φυτού στην Αίγυπτο από την αρχαιότητα αλλά και την παρουσία του σουσαμιού ως αναπόσπαστο μέρος της διατροφής του λαού. Αντίστοιχα ευρήματα έχουν βρεθεί τόσο στην Συρία όσο και στην Παλαιστίνη, τα οποία χρονολογούνται περίπου το 3000 π.Χ., αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσοποταμίας, η οποία άλλωστε αποτελούσε κατά την αρχαιότητα ένα από τα μεγαλύτερα κέντρα διανομής ειδών (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Το σουσάμι βέβαια, πέρα από την έντονη παρουσία στις χώρες της Ασίας και της Αφρικής, ιδιαίτερη θέση κατέχει και στις Μεσογειακές χώρες. Τόσο στην αρχαιότητα όσο και κατά τη Ρωμαϊκή εποχή το σουσάμι αποτελούσε σημαντική πηγή ενέργειας, ενώ, λόγω του ελαίου, ήταν απαραίτητο υλικό για τη δημιουργία φαρμάκων και καλλυντικών (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013, Zech-Matterne et al., 2015).

Κύριες χώρες παραγωγής σουσαμιού έχουν αναδειχθεί η Τανζανία, η Ινδία, η Μιανμάρ, η Κίνα, το Σουδάν, η Αιθιοπία και η Νιγηρία. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια, η καλλιέργεια του σουσαμιού έχει λάβει ακόμα μεγαλύτερη εξάπλωση στην Ασία, με το Σουδάν και την Ινδία να ξεπερνούν σε τόνους παραγωγής τις χώρες της Αφρικής (Εικόνα 2.1, FAOSTAT, 2021).

Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ιταλία και σε μικρότερο βαθμό η Ελλάδα και η Κύπρος είναι από τις λίγες χώρες καλλιέργειας σουσαμιού (FAOSTAT 2012).



Εικόνα 2.1 Ετήσια παραγωγή σουσαμιού για το έτος 2021 (FAOSTAT)

2.2 Ταξινόμηση

Το σουσάμι είναι ετήσιο φυτό της τάξης των Lamiales, της οικογένειας Pedaliaceae και ανήκει στο γένος *Sesamum*. Στην οικογένεια Pedaliaceae ανήκει μικρός αριθμός ειδών, περίπου 60, τα οποία απαντώνται κυρίως σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές (Nayar & Mehra, 1970). Το *Sesamum indicum* είναι το μόνο καλλιεργούμενο είδος του γένους, παρόλο που στο συγκεκριμένο γένος εντάσσονται 36 είδη (Andargie et al., 2021). Κάθε είδος του *Sesamum* έχει διαφορετική γενετική σύσταση και το *S. indicum* απαρτίζεται από 26 χρωμοσώματα (Nayar & Mehra, 1970).

Πέραν του χρωμοσωμικού αριθμού, τα είδη του σουσαμιού εμφανίζουν ποικιλομορφία και ως προς τα γενετικά τους χαρακτηριστικά. Βασικότερη διαφορά μεταξύ νέων και παραδοσιακών ποικιλιών αποτελεί το πρόωρο άνοιγμα των κατώτερων καψών σε σχέση με τις ανώτερες κάψες που δεν είναι πλήρως ώριμες, μειονέκτημα που αφορά αποκλειστικά τις παραδοσιακές ποικιλίες και δημιουργεί δυσκολίες στον τρόπο συγκομιδής (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013). Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα 34 από τα 36 καταχωρημένα στο Kewensis Index είδη του γένους *Sesamum*.

Πίνακας 2.1 Τα 34 από τα 36 είδη του γένους *Sesamum* που είναι καταχωρημένα στο Kewensis Index και η εξάπλωσή τους (Nayar & Mehra, 1970).

	Είδος	Χρωμοσωμικός αριθμός, 2n	Εξάπλωση
1	<i>S. angolense</i>	32	Τροπική Αφρική
2	<i>S. angustifolium</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
3	<i>S. antirrhinoides</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
4	<i>S. auriculatum</i>	Άγνωστος	Κρήτη
5	<i>S. biapiculatum</i>	Άγνωστος	Κογκό
6	<i>S. brasiliense</i>	Άγνωστος	Βραζιλία
7	<i>S. caillei</i>	Άγνωστος	Γκινέα
8	<i>S. calycinum</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
9	<i>S. capense</i>	26	Τροπική Αφρική, Ινδία, Αυστραλία
10	<i>S. digitaloides</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
11	<i>S. denterii</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
12	<i>S. hendelotii</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
13	<i>S. indicum</i>	26	Καλλιεργούμενα είδη
14	<i>S. indicum ssp. malabaricum</i>	26	Ινδία
15	<i>S. laciniatum</i>	32	Ινδία
16	<i>S. latifolium</i>	Άγνωστος	Ανατολική Αφρική
17	<i>S. lepidotum</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
18	<i>S. malabaricum</i>	Άγνωστος	Ινδία
19	<i>S. marlotii</i>	Άγνωστος	Αφρική, Ανατολικές Ινδίες, Αυστραλία
20	<i>S. microcarpum</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
21	<i>S. mombazense</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
22	<i>S. pedalooides</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
23	<i>S. prostratum</i>	32	Ινδία
24	<i>S. radiatum</i>	64	Τροπική Αφρική, Κεϋλάνη
25	<i>S. repense</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
26	<i>S. rigidum</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
27	<i>S. sabulosum</i>	Άγνωστος	Σουδάν
28	<i>S. schenckii</i>	26	Τροπική Αφρική, Ινδία, Ανατολικές Ινδίες
29	<i>S. schinzianum</i>	Άγνωστος	Αφρική, Ανατολικές Ινδίες

30	<i>S. somalense</i>	Άγνωστος	Σομαλία
31	<i>S. talbotii</i>	Άγνωστος	Νιγηρία
32	<i>S. thonnerii</i>	Άγνωστος	Τροπική Αφρική
33	<i>S. trifoliatum</i>	Άγνωστος	Ινδία
34	<i>S. tryphyllum</i>	Άγνωστος	Αφρική, Ανατολικές Ινδίες

2.3 Βοτανική περιγραφή

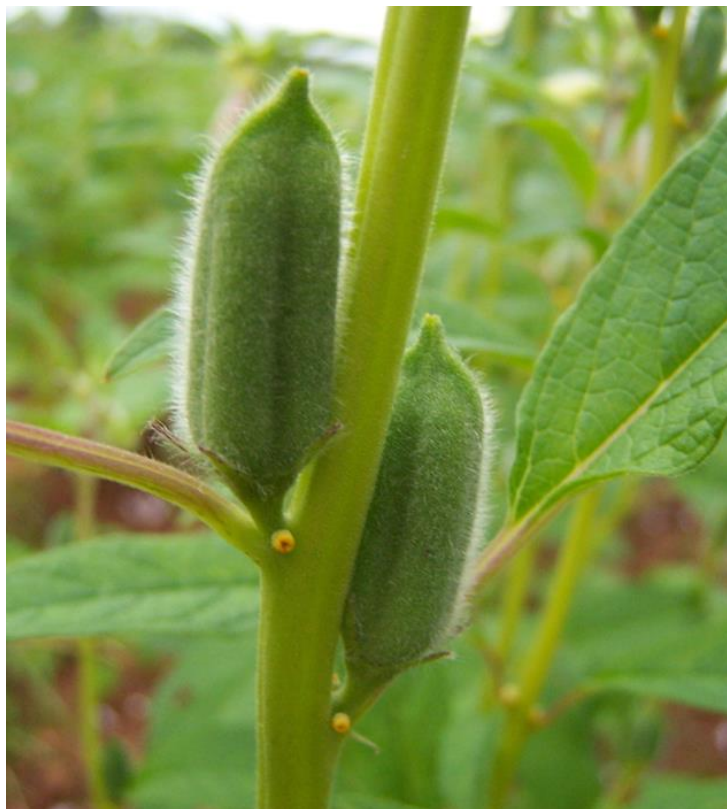
2.3.1 Ριζικό σύστημα

Το σουσάμι έχει κύριο ριζικό σύστημα πασσαλώδους μορφής με ινώδεις δευτερεύουσες σχεδόν επίγειες ρίζες, συνδυασμός που του προσδίδει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην ξηρασία. Η αντοχή αυτή βέβαια εξαρτάται και από το βάθος της ρίζας, το οποίο διαφέρει ανάλογα με την πρωιμότητα που εμφανίζει η εκάστοτε ποικιλία. Συγκεκριμένα, στις ποικιλίες όψιμης άνθησης το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται σε βαθύτερα στρώματα εδάφους σε σχέση με τις πιο πρώιμες ποικιλίες. Πέρα όμως από τον παράγοντα ποικιλία, το βάθος του ριζικού συστήματος του σουσαμιού είναι άμεσα εξαρτημένο από τη σύσταση και την αλατότητα που χαρακτηρίζει το κάθε έδαφος. Έτσι, σε εδάφη με υψηλό ποσοστό αλατότητας το ριζικό σύστημα τείνει να παραμένει μικρό (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.3.2 Βλαστός

Το κεντρικό στέλεχος του σουσαμιού έχει ευθυτενή ανάπτυξη και τετράγωνη διατομή. Το χρώμα του ποικίλει μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών εντός των χρωματικών ορίων του ανοιχτού πράσινου και της συνήθους κοκκινωπής απόχρωσης ορισμένων σιτηρών, αλλά συνηθέστερο είναι το σκούρο πράσινο (Εικόνα 2.2). Επιπλέον, η ποικιλία καθορίζει και άλλα χαρακτηριστικά του στελέχους, πέραν της απόχρωσής του, όπως την κάλυψη ή μη από χνούδι, την παρουσία ή απουσία διακλαδώσεων καθώς και το ύψος. Το ύψος του σουσαμιού κυμαίνεται από 60 cm έως 150 cm και επηρεάζεται τόσο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και από την καλλιεργητική τεχνική. Οι διακλαδώσεις που εμφανίζονται στο βλαστό προκύπτουν από πλάγιους οφθαλμούς, οι οποίοι βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα του βλαστού κάτω από την επονομαζόμενη ζώνη των καψών. Οι διακλαδώσεις αυτές καλούνται πρώτης τάξης και πάνω σε αυτές

μπορούν να σχηματιστούν επιπλέον διακλαδώσεις. Τα μονοστέλεχα είδη υπερτερούν έναντι των διακλαδιζόμενων, λόγω της ευκολίας που παρουσιάζουν στη μηχανική συγκομιδή (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).



Εικόνα 2.2 Κεντρικό στέλεχος σουσαμιού.

2.3.3 Φύλλα

Το σουσάμι αποτελεί ένα από τα λίγα φυτά που παρουσιάζουν τόσο έντονη ποικιλομορφία μεταξύ των φύλλων, τόσο εκείνων που βρίσκονται στο ίδιο φυτό, όσο και μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών. Συνηθέστερα, τα κατώτερα φύλλα έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από τα ανώτερα τα οποία συναντώνται ως λοβωτά ή λογχοειδή, ενώ το μήκος τους μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 3,0 cm και 17,5 cm. Επιπλέον, τα φύλλα, ανάλογα με το γενότυπο, μπορεί να καλύπτονται από χνούδι ή να είναι λεία. Ως προς τη θέση των φύλλων, μπορεί να είναι τοποθετημένα κατ' εναλλαγή ή αντίθετα μεταξύ τους. Με βάση την τοποθέτηση των φύλλων, καθορίζεται ο σχηματισμός των ανθέων και κατ' επέκταση των καψών. Έτσι, φυτά με κατ' εναλλαγή έκπτυξη φύλλων τείνουν να φέρουν μεγαλύτερο αριθμό ανθέων (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.3.4 Άνθη

Τα άνθη του σουσαμιού έχουν σχήμα μικρής καμπάνας και συνδέονται με το υπόλοιπο φυτό με μικρό ποδίσκο. Η στεφάνη είναι συμπέταλη, αποτελούμενη από 5 πέταλα, εκ των οποίων το χαμηλότερο παρουσιάζει το μεγαλύτερο μήκος και αναφέρεται συνήθως ως χείλος, ενώ τα υψηλότερα δύο έχουν το μικρότερο μήκος. Τα άνθη είναι κυρίως λευκού χρώματος, αν και σε κάποιες ποικιλίες εμφανίζουν και πιο σκούρους ρόδιους ή μωβ χρωματισμούς (Εικόνα 2.3). Οι στήμονες συνηθέστερα είναι 4, αν και υπάρχουν ποικιλίες με 5 ή 6 στήμονες, και η ωοθήκη μπορεί να είναι από δίχωρη έως τετράχωρη και περιλαμβάνει πολλές σπερματικές βλάστες. Όσον αφορά το σημείο έκπτυξης των ανθέων, είναι γνωστό ότι σχηματίζονται στις μασχάλες των φύλλων τόσο του κεντρικού στελέχους όσο και των πλάγιων διακλαδώσεων. Κατά κανόνα εμφανίζονται μονήρη άνθη αλλά υπάρχουν ποικιλίες στις οποίες τα άνθη φύονται κατά ομάδες των 3-7. Το ύψος στο οποίο εμφανίζεται το πρώτο άνθος αποτελεί επίσης γονοτυπικό γνώρισμα της κάθε ποικιλίας αν και συνήθως η ανθοφορία ξεκινά από τον 4^ο-6^ο κόμβο από τη βάση του φυτού, δηλαδή στα 40 cm από την επιφάνεια του εδάφους (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).



Εικόνα 2.3 Άνθη σουσαμιού.

2.3.5 Καρπός - Σπόρος

Ο καρπός χαρακτηρίζεται ως διαρρηκτική κάψα, παρόλο που υπάρχουν και ορισμένες ποικιλίες με αδιάρρηκτες κάψες, η οποία εξωτερικά καλύπτεται από λεπτό χνούδι και έχει μήκος 2,5-7 cm ανάλογα την ποικιλία. Το ύψος στο οποίο θα εμφανιστεί η πρώτη κάψα, η κοντινότερη στο έδαφος, εξαρτάται αποκλειστικά από τη γονοτυπική σύσταση της κάθε ποικιλίας και αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα που επηρεάζει τη μηχανική συγκομιδή, καθώς σε ποικιλίες που η πρώτη κάψα σχηματίζεται σε μικρή απόσταση από το έδαφος είναι εφικτή μόνο η συγκομιδή με το χέρι. Η κάψα εσωτερικά απαρτίζεται από 2 ή 4 χώρους ποικίλου σχήματος, οι οποίοι με ένα μεμβρανώδες διάφραγμα διαχωρίζονται σε δύο μικρότερους χώρους, τους θύλακες. Κάθε θύλακας περιέχει 15-20 σπόρους σουσαμιού σε διαδοχική διάταξη με μορφή στήλης. Έτσι, κάθε κάψα μπορεί να φέρει περισσότερους από 60 σπόρους διατεταγμένους ανά στήλες, ανάλογα με τον αριθμό των χώρων που διαθέτει.

Ο σπόρος του σουσαμιού είναι μικρός, ωοειδής, πεπλατυσμένος αλλά διαφέρει αρκετά ανά ποικιλία, ως προς το χρώμα αλλά και το μέγεθος (Εικόνα 2.4) (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013). Οι λευκοί και κιτρινωποί σπόροι παρουσιάζουν εντονότερη προτίμηση και καλλιεργούνται σε μεγαλύτερες εκτάσεις με στόχο τόσο την παραγωγή λαδιού, αν και περιέχουν μικρότερη ποσότητα ελαίου σε σχέση με του μαύρους σπόρους, όσο και τη νωπή κατανάλωση καθώς δεν απαιτούν αποφλοιώση (Wei et al., 2022).



Εικόνα 2.4 Α) Μαύροι και Β) Ανοιχτόχρωμοι σπόροι σουσαμιού (Wei et al., 2022)

2.4 Βιολογικός κύκλος

Το *Sesamum indicum* είναι ετήσιο φυτό με βιολογικό κύκλο 85-120 ημέρες, αναλόγως την ποικιλία, αλλά και τις κλιματολογικές συνθήκες. Το σουσάμι είναι φυτό συνεχούς αύξησης, το οποίο σημαίνει ότι τα στάδια του βιολογικού του κύκλου διαφέρουν αρκετά ως προς τη διάρκειά τους και συχνά αλληλεπικαλύπτονται.

2.4.1 Βλάστηση

Η βλαστική φάση διαχωρίζεται σε τέσσερα επιμέρους στάδια και διαρκεί περίπου 36-40 ημέρες. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη βλάστηση και το φύτευμα του σπόρου. Έτσι, εάν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές και η εδαφική θερμοκρασία κυμαίνεται στους 20 °C, τότε 7 ημέρες μετά την σπορά λαμβάνει χώρα το φύτευμα και η εμφάνιση της κοτυληδόνας πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν ξεπερνά τους 10 °C, παρεμποδίζεται η έκπτυξη των κοτυληδόνων. Ακολουθώντας, σε σύντομο διάστημα, η κοτυληδόνα πρασινίζει και εκπτύσσεται από αυτή το σπορόφυτο το οποίο θα μετατραπεί στο κεντρικό στέλεχος. Σε αυτή τη φάση της βλαστικής ανάπτυξης, είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός ισχυρού ριζικού συστήματος, το οποίο θα παρέχει τα απαραίτητα θρεπτικά για την επικείμενη ανάπτυξη του φυτού. Για το λόγο αυτό εξάλλου παρατηρείται ταχύτερη ανάπτυξη της ρίζας σε σχέση με το βλαστό.

Το τρίτο στάδιο καλείται νεανικό. Το στάδιο αυτό ξεκινά με την εμφάνιση του 3^{ου} ζεύγους πραγματικών φύλλων και ολοκληρώνεται όταν εμφανιστεί ο 1^{ος} πράσινος ανθοφόρος οφθαλμός. Έπειτα, ξεκινά το τελευταίο στάδιο της βλαστικής φάσης το οποίο ονομάζεται προ-αναπαραγωγικό. Επειδή το σουσάμι είναι φυτό συνεχούς ανάπτυξης και η εμφάνιση των ανθέων είναι σταδιακή, αρχίζοντας από τους χαμηλότερους οφθαλμούς, το προ-αναπαραγωγικό στάδιο ολοκληρώνεται όταν υπάρχουν 50 % ανοιχτά άνθη (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.4.2 Αναπαραγωγική φάση

Τα πρώτα άνθη εμφανίζονται 75-85 ημέρες μετά τη σπορά και η φάση της ανθοφορίας διαρκεί 45-50 ημέρες. Στο στάδιο αυτό, παρατηρείται συνήθως εντονότερα η αλληλοεπικάλυψη των φάσεων, λόγω της συνεχούς ανάπτυξης του φυτού, και έτσι συχνά φέρονται πάνω στο ίδιο φυτό άνθη στις ανώτερες διακλαδώσεις και κάψες με

ώριμους σπόρους στο κατώτερο τμήμα του φυτού. Η αναπαραγωγική φάση κατηγοριοποιείται σε τρία στάδια με βάση το ποσοστό άνθησης.

Το πρώτο στάδιο καλείται πρώιμο στάδιο άνθησης και ολοκληρώνεται όταν στο κεντρικό στέλεχος του φυτού έχουν σχηματιστεί 5 ζεύγη καψών, ενώ ταυτόχρονα συνεχίζεται η ανθοφορία στους πλάγιους βλαστούς.

Κατά τη διάρκεια του δεύτερου σταδίου, πέφτουν τα φύλλα των κατώτερων βλαστών, τα οποία βρισκόταν κατ' εξακολούθηση υπό σκιά, ενώ ταυτόχρονα το ριζικό σύστημα επεκτείνεται σε βαθύτερα εδαφικά στρώματα. Το στάδιο αυτό θεωρείται το πλέον παραγωγικό καθώς κατά τη διάρκειά του παρατηρείται ο εντονότερος σχηματισμός καψών. Το τέλος του μεσαίου σταδίου άνθησης σηματοδοτείται όταν ολοκληρωθεί πλήρως η άνθηση τόσο στον κεντρικό βλαστό όσο και στις πλάγιες διακλαδώσεις.

Όταν στο 90 % των φυτών της καλλιεργούμενης έκτασης παρατηρείται απουσία ανοιχτών ανθέων, τότε ξεκινά το τελευταίο στάδιο της αναπαραγωγικής φάσης, με το οποίο σηματοδοτείται και η εναλλαγή των φάσεων. Η ολοκλήρωση του σταδίου αυτού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη γονιμότητα του εδάφους και την περιεκτικότητά του σε υγρασία, γι' αυτό είναι μείζονος σημασίας ο σωστός προγραμματισμός της τελευταίας άρδευσης της καλλιέργειας (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.4.3 Ωρίμανση

Η φάση της ωρίμανσης λαμβάνει χώρα 80-105 ημέρες μετά την σπορά. Αρχικά, παρατηρείται έντονη αλλαγή στο χρώμα των φύλλων, όπου από πράσινα μεταχρωματίζονται σε κιτρινωπά και εν συνέχεια αποκόπτονται και πέφτουν, ενώ τα στελέχη αποκτούν μια κοκκινωπή απόχρωση. Όταν ο κεντρικός βλαστός καλύπτεται κατά 75 % με κάψες, οι οποίες περιέχουν ώριμους σπόρους, τότε το φυτό έχει εισέλθει ολοκληρωτικά στη φάση της φυσιολογικής ωρίμανσης. Οι σπόροι των καψών που βρίσκονται χαμηλότερα συχνά αναπτύσσονται νωρίτερα σε σχέση με εκείνους των ανώτερων καψών, ως λογική συνέχεια της πρωιμότερης ανάπτυξης και των αντίστοιχων ανθέων στις θέσεις αυτές (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.4.4 Ξήρανση

Η τελευταία φάση του βιολογικού κύκλου του σουσαμιού ξεκινά 100-180 ημέρες μετά την ολοκλήρωση της σποράς. Ως συνέχεια της φάσης της φυσιολογικής ωρίμανσης,

στο στάδιο αυτό αναμένεται η καθολική ωρίμανση των καψών σε όλο το εύρος του φυτού. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί έως την καθολική ωρίμανση των καψών ενός φυτού ποικίλει λόγω των κλιματολογικών παραγόντων, της εδαφικής υγρασίας, της επάρκειας ή ανεπάρκειας θρεπτικών συστατικών αλλά και της καλλιεργητικής τεχνικής που εφαρμόζεται. Μετά την ωρίμανση των σπόρων, η κάθε κάψα σχίζεται ελάχιστα στην κορυφή ώστε να μειωθεί η περιεχόμενη υγρασία της και συνεπώς των σπόρων που περιέχει. Όταν η περιεχόμενη υγρασία των σπόρων μειωθεί στο 6 %, σηματοδοτείται η έναρξη της μηχανικής συγκομιδής των καψών (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.5 Εδαφολογικές απαιτήσεις

Το σουσάμι καλλιεργείται σε διαφορετικούς τύπους εδαφών αλλά δεν ευδοκίμει σε βαριά αργιλώδη εδάφη. Η καλύτερη ανάπτυξη του φυτού πραγματοποιείται σε ελαφριά, αμμοπηλώδη εδάφη που διατηρούν καλή περιεκτικότητα υγρασίας. Το ιδανικότερο pH για την καλλιέργεια του σουσαμιού κυμαίνεται μεταξύ 5,5-8, ενώ τα όξινα εδάφη είναι απαγορευτικά. Επιπρόσθετα, σαν καλλιέργεια είναι αρκετά ευαίσθητη στην αλατότητα του εδάφους, με αποτέλεσμα φυτά που αναπτύχθηκαν σε αλατούχα εδάφη να παρουσιάζουν έντονη χλώρωση και νανισμό (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013). Τέλος, έχει βρεθεί ότι το σουσάμι μπορεί να καλλιεργηθεί και σε περιοχές με υψόμετρο έως 1500 m χωρίς μείωση της απόδοσης του (Weiss, 2000).

2.6 Οικολογικές απαιτήσεις

2.6.1 Κλίμα

Καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου του φυτού απαιτούνται θερμοκρασίες υψηλότερες των 16 °C, γεγονός που καθιστά αδύνατη την καλλιέργειά του σε περιοχές με εκτεταμένη περίοδο χαμηλών θερμοκρασιών. Υψηλές θερμοκρασίες απαιτούνται σε αρκετές φάσεις του βιολογικού κύκλου του, με σημαντικότερες προϋποθέσεις η θερμοκρασία να είναι υψηλότερη των 20 °C ώστε να καταφέρει ο σπόρος να βλαστήσει και μεταξύ των 30-32 °C κατά τη διάρκεια του νεανικού σταδίου. Βέβαια, υψηλές θερμοκρασίες άνω των ανεκτών ορίων επιφέρουν προβλήματα στην καλλιέργεια του σουσαμιού, τα οποία όμως είναι λιγότερα συγκριτικά με εκείνα που επιφέρουν οι χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον, η ανάπτυξη ευνοείται από μέτριες βροχοπτώσεις,

για αυτό και θεωρείται ιδανικό φυτό για τροπικά και υποτροπικά κλίματα (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.6.2 Φωτοπερίοδος

Η ευαισθησία του φυτού στην φωτοπερίοδο διαφοροποιείται ανάλογα με την ποικιλία, παρόλο που σε γενικές γραμμές θεωρείται βραχείας φωτοπερίοδου. Έτσι σε πολλές ποικιλίες η φωτοπερίοδος αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για την έναρξη της άνθησης, ενώ στις διακλαδιζόμενες ποικιλίες ευνοεί την περεταίρω ανάπτυξη των πλάγιων διακλαδώσεων. Επιπλέον, οι ποικιλίες που αναπτύσσονται σε μεγάλο υψόμετρο παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία στην επίδραση της φωτοπερίοδου σε αντίθεση με τις ποικιλίες που καλλιεργούνται σε πεδινές και ημιορεινές περιοχές. Αυξημένη διάρκεια φωτοπερίοδου (>16 ώρες) επιδρά αρνητικά στην περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη και, εν' αντιθέσει, αυξάνει τη σύσταση του σε έλαιο (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.6.3 Άνεμος και χαλάζι

Όπως στα περισσότερα ορθοστέλεχα φυτά έτσι και στο σουσάμι, ο άνεμος και το χαλάζι προκαλούν πλάγιασμα του κεντρικού βλαστού. Εκτός όμως από το πλάγιασμα, την περίοδο της συγκομιδής έντονοι άνεμοι μπορούν να προκαλέσουν το τίναγμα των σπόρων. Πέρα από τις αρνητικές επιδράσεις, ο άνεμος συμβάλει στη μείωση της υγρασίας των σπόρων, το οποίο αποτελεί αναγκαία διαδικασία πριν την συγκομιδή τους (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Οι ζημιές που προκαλούνται από χαλαζόπτωση ποικίλουν ανάλογα με την ένταση του φαινομένου και το στάδιο του βλαστικού κύκλου στο οποίο βρίσκεται το φυτό. Εάν υπάρξει χαλαζόπτωση στα πρώτα στάδια του βλαστικού κύκλου, της περιόδου φυτρώματος και έκπτυξης των πρώτων φύλλων, τότε η ζημιά μπορεί να αποβεί καταστροφική. Ωστόσο, η ύπαρξη χαλαζόπτωσης κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής ωρίμανσης, καθώς το φυτό έχει αποβάλει τα φύλλα του, επιφέρει απώλειες που αφορούν αποκλειστικά στις κάψες. Στη δεύτερη περίπτωση, παρόλο που η ζημιά δεν είναι ολοσχερής, παρατηρείται σημαντική απώλεια απόδοσης (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.7 Καλλιέργεια

2.7.1 Πριν τη σπορά

Η καλλιέργεια του σουσαμιού προϋποθέτει την καλή προετοιμασία του εδάφους διότι ο σπόρος έχει πολύ μικρές διαστάσεις και σε περίπτωση μη επιτυχημένης κατεργασίας δυσκολεύεται να βλαστήσει. Αρχικά, απαιτείται ένα καλό και σχετικά βαθύ όργωμα στην αρχή του Φθινοπώρου, ώστε να γίνει καλή αναμόχλευση του εδάφους, ειδικά στα βαθύτερα στρώματα καθώς το σουσάμι σχηματίζει βαθύ ριζικό σύστημα (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Νωρίς την Άνοιξη, πρέπει ήδη να έχει ξεκινήσει η αντιμετώπιση των ζιζανίων, κατά κύριο λόγο με βοτάνισμα, ενώ λίγες ημέρες πριν τη σπορά είναι επιτακτικός ο ψιλοχωματισμός του εδάφους με στόχο τη διατήρηση υψηλής υγρασίας, η οποία είναι αναγκαία για την περίοδο του φυτρώματος (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Πριν τη σπορά, το έδαφος εμπλουτίζεται με φώσφορο (P) και κάλιο (K). Την ίδια περίοδο, είναι εφικτή και η προσθήκη αζώτου (N) στο έδαφος σε δύο δόσεις, ειδιάλλως, αν δεν χορηγηθεί όλη η ποσότητα, η δεύτερη δόση εφαρμόζεται πριν την περίοδο της άνθησης. Η επαφή του σπόρου με το N μπορεί να αποβεί καταστροφική, για το λόγο αυτό συνιστάται ιδιαίτερη προσοχή στις λιπάνσεις πριν την σπορά (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.7.2 Σπορά

Η σπορά συνήθως γίνεται είτε από το τέλος Απριλίου έως το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαΐου, είτε στα μέσα Ιουνίου εάν είναι επίσπορη η καλλιέργεια. Πριν από την σπορά, γίνεται η απολύμανση των σπόρων. Η ποσότητα σπόρου που χρησιμοποιείται είναι 0,8-1,5 κιλά ανά στρέμμα και καθορίζεται από το αν η ποικιλία είναι διακλαδιζόμενη ή μονοστέλεχη. Το βάθος της σποράς εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους και την περιεκτικότητά του σε υγρασία και κυμαίνεται στα 2,5-4 cm. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι σποράς, αλλά συνήθως για μικρές εκτάσεις επιλέγεται η σπορά στα πεταχτά. Αντίθετα, σε μεγαλύτερες εκτάσεις η σπορά γίνεται σε γραμμές με τις αποστάσεις να ποικίλουν ανάλογα με τη χώρα καλλιέργειας. Στην Ελλάδα, οι αποστάσεις σποράς κυμαίνονται μεταξύ 50-100 cm, ενώ αυτές αυξάνονται στις ξηρικές καλλιέργειες (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.7.3 Αντιμετώπιση ζιζανίων

Στην καλλιέργεια σουσαμιού, ο έλεγχος των ζιζανίων καθίσταται απαραίτητος και μετά τη σπορά. Στις εντατικές καλλιέργειες, η αντιμετώπιση των ζιζανίων πάνω στις γραμμές επιτυγχάνεται με βοτάνισμα, ενώ μεταξύ των γραμμών πραγματοποιείται μηχανικό ή χειρωνακτικό σκάλισμα. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, συνιστάται χημική αντιμετώπιση με εγκεκριμένα ζιζανιοκτόνα (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.7.4 Άρδευση

Παρά το γεγονός ότι το σουσάμι αναπτύσσεται επιτυχώς σε ξηροθερμικές συνθήκες, προτιμάται η ανάπτυξη του σε συνθήκες επάρκειας νερού. Το πρώτο κρίσιμο στάδιο άρδευσης είναι η περίοδος του φυτρώματος, ενώ ως δεύτερο ορίζεται η περίοδος πριν αλλά και κατά την διάρκεια της άνθησης. Βέβαια, ο αριθμός των αρδεύσεων και η συχνότητα αυτών ποικίλουν με βάση τη σύσταση του εδάφους και την περιεχόμενη υγρασία του. Μετά την άνθηση, συνήθως διακόπτονται οι αρδεύσεις καθώς η υγρασία του εδάφους επαρκεί για την καρπόδεση. Σε περίπτωση που συνεχιστούν οι αρδεύσεις, αυξάνονται οι πιθανότητες αναβλάστησης, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η καρπόδεση και συνεπώς η ωρίμανση των σπόρων (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.7.5 Συγκομιδή

Ο εντοπισμός της ωρίμανσης του φυτού είναι εύκολος καθώς προσδιορίζεται από το μεταχρωματισμό των καψών αλλά και την πτώση των φύλλων.

Στις διαρρηγνύομενες ποικιλίες, η συγκομιδή ξεκινάει όταν τα φύλλα αποκτήσουν κιτρινωπό χρωματισμό και οι κάψες αντίστοιχα πρασινοκίτρινο χρώμα. Εάν το φυτό αφηθεί να αναπτυχθεί παραπάνω, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να παρουσιαστεί στις ποικιλίες αυτές το φαινόμενο του τινάγματος των σπόρων, το οποίο οδηγεί σε απώλεια περίπου 75 % της παραγωγής. Επιπλέον, σε αυτές τις ποικιλίες η συγκομιδή πραγματοποιείται είτε με το χέρι είτε με μηχανές και ακολουθεί η εναπόθεση σε δέματα ώστε να επιτευχθεί αποξήρανση. Μετά την ολοκλήρωση της αποξήρανσης των φυτών, πραγματοποιείται ο αλωνισμός τους (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Στις αδιάρρηκτες ποικιλίες, η συγκομιδή λαμβάνει χώρα όταν ο σπόρος περιέχει 6 % υγρασία, καθώς τότε διαθέτει την μέγιστη περιεκτικότητα σε έλαιο (50 %). Σε αυτές τις ποικιλίες η συγκομιδή πραγματοποιείται με θεριζοαλωνιστικές μηχανές καθώς δεν υφίσταται κίνδυνος για τίναγμα. Με δεδομένο ωστόσο ότι οι χρησιμοποιούμενες

θεριζοαλωνιστικές μηχανές αξιοποιούνται και σε άλλες καλλιέργειες σιτηρών, είναι αναγκαία η ρύθμισή τους προς αποφυγή τραυματισμού του ευαίσθητου σπόρου (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.7.8 Απόδοση

Καθοριστικό ρόλο στην απόδοση έχει ο αριθμός των καψών που παράγονται ανά φυτό καθώς και ο αριθμός των σπόρων που περιλαμβάνει κάθε κάψα. Για τον αριθμό των καψών, βασική προϋπόθεση συνιστούν οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν την περίοδο του σχηματισμού των ανθέων αλλά και κατά την διάρκεια της άνθησης. Σε περίπτωση που τη δεδομένη περίοδο επικρατεί παρατεταμένο διάστημα έντονων ανέμων, υφίσταται μεγάλη πιθανότητα μείωσης του ποσοστού γονιμοποιημένων ανθέων (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Εν αντιθέσει, σε περίπτωση βραχείας φωτοπεριόδου, ο αριθμός των καψών που αφορούν πρώιμες και μεσοπρώιμες ποικιλίες τείνει να αυξάνεται. Στις διακλαδιζόμενες ποικιλίες, οι αποδόσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες καθώς μεγαλύτερος είναι και ο αριθμός των καψών. Στις αδιάρρηκτες ποικιλίες, έχει βρεθεί ότι η απόδοση, πέρα από τον αριθμό σπόρων ανά κάψα και καψών ανά φυτό, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το ύψος του φυτού (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Σε ξηρική καλλιέργεια, οι αποδόσεις συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 40 και 50 kg/στρέμμα. Στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα στη Θράκη, έχει βρεθεί ότι σε ξηρικές καλλιέργειες διαρρηγνυομένων ποικιλιών η απόδοση μπορεί να φτάσει έως και 110 kg/στρέμμα. Ωστόσο, σε αρδευόμενα εδάφη οι καλλιέργειες μπορούν να αποδώσουν έως και 400 kg/στρέμμα (Τσουτσούδη, 2011).

2.7.9 Αμειψισπορά

Με δεδομένο ότι η μονοκαλλιέργεια ενός φυτού συχνά οδηγεί σε σταδιακή υποβάθμιση της εδαφικής σύστασης, τις τελευταίες δεκαετίες επιλέγεται η αμειψισπορά, δηλαδή ο σχεδιασμός ενός προγράμματος εναλλαγής καλλιεργειών εντός του ίδιου αγροτεμάχου. Σε συνθήκες μονοκαλλιέργειας σουσαμιού για διάστημα μεγαλύτερο των δύο ετών, αυξάνεται δραστικά ο κίνδυνος μόλυνσης από σηψιρριζίες (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

Το σουσάμι συνήθως εντάσσεται σε προγράμματα αμειψισποράς εναλλασσόμενο με καλλιέργειες σιτηρών ή ψυχανθών, όπως το καλαμπόκι, το σόργο, την αρχίδα, το βαμβάκι, τη σόγια και τη μηδική, καθώς η ποσότητα νερού που εκείνο δεν λαμβάνει κατά την περίοδο της ξήρανσης αξιοποιείται πλήρως από την επόμενη καλλιέργεια χωρίς να απαιτείται επιπλέον άρδευση. Επίσης, μετά την ολοκλήρωση της καλλιέργειας του σουσαμιού, τα φυτικά υπολείμματα αποτελούν μεγάλη πηγή θρεπτικών καθώς είναι εύκολη η ενσωμάτωσή τους στο έδαφος (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.8 Χρήσεις

2.8.1 Σησαμέλαιο: μαγειρική χρήση

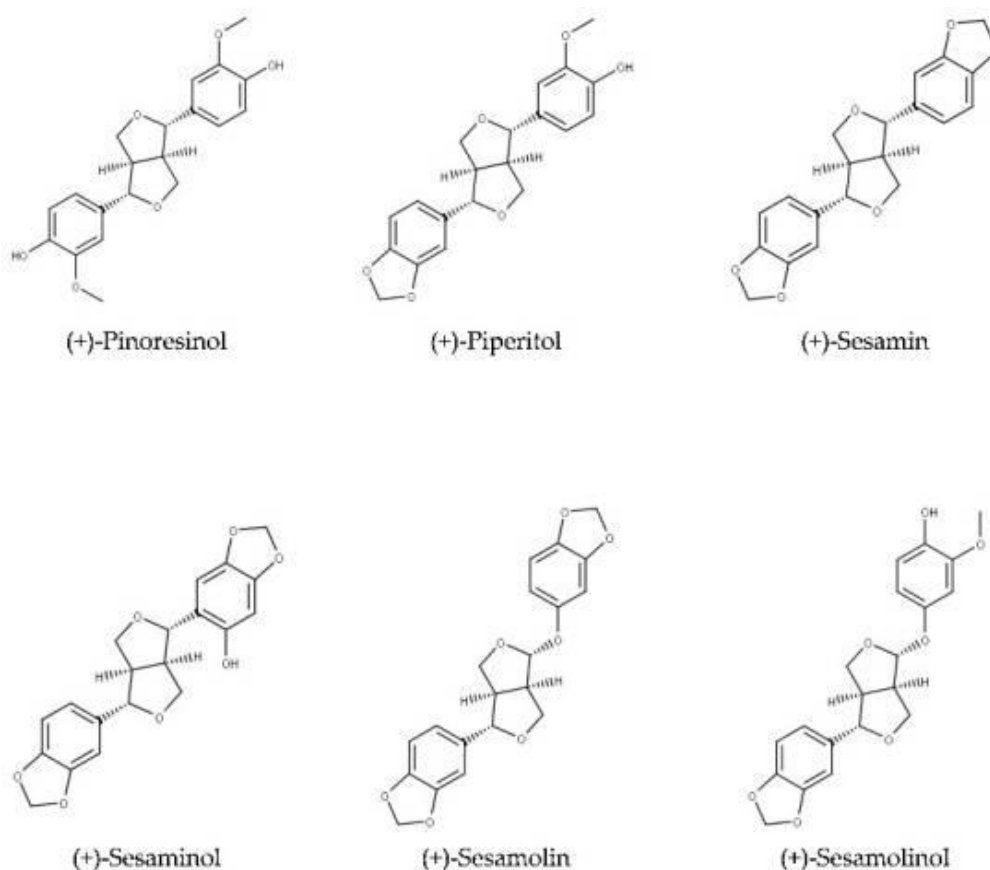
Το σουσάμι είναι από τα πρώτα ελαιοδοτικά φυτά που χρησιμοποιήθηκε παγκοσμίως. Η έντονη εξάπλωση οφείλεται τόσο στη σύσταση του όσο και στις πολλαπλές και διαφορετικές χρήσεις του. Ο σπόρος του σουσαμιού συνιστάται κατά 50-60 % από έλαιο, για αυτό και το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής μεταποιείται σε έλαιο (Morris, 2002), 25 % πρωτεΐνες, ενώ περιέχει σε σημαντικό βαθμό ακόρεστα λιπαρά οξέα, όπως ωμέγα-3 και ωμέγα-6, βιταμίνες, μεταλλικά στοιχεία και φολικό οξύ (Karoor et al., 2015). Το σησαμέλαιο αποτελεί το βασικό υποκατάστατο του ελαιόλαδου γι' αυτό και έχει ευρεία χρήση στη μαγειρική.

2.8.2 Σησαμέλαιο: φαρμακευτική χρήση

Οι έγχρωμοι σπόροι δημητριακών και άλλοι ελαιούχοι σπόροι αναφέρεται ότι αποτελούν πολύτιμες πηγές βιοδραστικών ενώσεων και φαινολικών με αντιοξειδωτικές ιδιότητες, γεγονός που τους καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικούς για τις βιομηχανίες φαρμάκων και τροφίμων ή/και συμπληρωμάτων διατροφής (Ghotbzadeh Kermani et al., 2019).

Αρκετές φαρμακολογικές έρευνες ανέδειξαν ότι τα φυτικά όργανα του σουσαμιού καθώς και το σησαμέλαιο έχουν ποικίλες φαρμακολογικές δράσεις, όπως αντιδιαβητικές, αντικαρκινικές, αντιοξειδωτικές, καρδιοπροστατευτικές, νευροπροστατευτικές, αντιφλεγμονώδεις, επουλωτικές, ηπατοπροστατευτικές, νεφροπροστατευτικές, αντιμικροβιακές, αντιμυκητιακές αντιβακτηριακές, αντισηπτικές κ.α. (Mili et al., 2021).

Το έλαιο του σουσαμιού περιέχει μια ομάδα εξειδικευμένων φαινολικών ενώσεων, τις λιγνάνες. Οι τρεις πιο αξιοσημείωτες λιγνάνες που περιέχονται στο σπόρο του σουσαμιού είναι η Σεσαμίνη, η Σεσαμολίνη και η Σεσαμινόλη (Εικόνα 2.5). Οι λιγνάνες δρουν ως αντιοξειδωτικά φέρνοντας έτσι τα τελευταία χρόνια το σησαμέλαιο στο φαρμακευτικό προσκήνιο πέρα από τη μαγειρική χρήση του (Wei et al., 2022). Η Σεσαμίνη και η Σεσαμολίνη είναι γνωστό ότι έχουν επίδραση στη μείωση της χοληστερόλης στον άνθρωπο, καθώς συμβάλλουν στη διατήρηση της χοληστερόλης λιποπρωτεϊνών υψηλής πυκνότητας (HDL) και στη μείωση της χοληστερόλης λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας (LDL), αλλά και στην πρόληψη της υψηλής αρτηριακής πίεσης. Εκτός από τη χρήση του ως αντιοξειδωτικό, το σησαμέλαιο περιέχει μεγάλη ποσότητα λινολεϊνικού οξέος σε μορφή τριγλυκεριδίων που αναστέλλουν επιλεκτικά την ανάπτυξη του κακοήθους μελανώματος (Anilakumar et al., 2010).



Εικόνα 2.5 Δομή βασικών λιγνανών σουσαμιού.

2.8.3 Σησαμέλαιο: βιομηχανική χρήση

Το έλαιο του σουσαμιού, πέρα από τις προαναφερθείσες χρήσεις, είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη βιομηχανία καθώς συνιστά την πρώτη ύλη για την σαπωνοποιία αλλά και την παρασκευή αρωμάτων (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013, Wei et al., 2022).

2.8.4 Αρτοποιία και παρασκευάσματα ύστερα από επεξεργασία σπόρων

Γενικά οι σπόροι του σουσαμιού καταναλώνονται είτε ακέραιοι, όπως στην περίπτωση της παρασκευής ψωμιού, είτε έπειτα από μεταποίηση. Το πλέον διαδεδομένο προϊόν σουσαμιού είναι το ταχίνι, μια λιπαρή πάστα που προκύπτει έπειτα από αποφλοιώση, ξήρανση και πολτοποίηση των σπόρων. Το ταχίνι είναι ευρέως διαδεδομένο σε αρκετές χώρες, όπως Ελλάδα, Κύπρο, Τουρκία, Αρμενία, Ιράν, Ιράκ και Ισραήλ, καθώς καταναλώνεται είτε αυτούσιο ως επάλειμμα ψωμιού είτε χρησιμοποιείται ως βασικό συστατικό για την παρασκευή άλλων γλύκων εδεσμάτων, όπως είναι η ταχινόπιτα και ο χαλβάς (Anilakumar et al., 2010).

2.8.5 Ζωοτροφές

Τα υπολείμματα που προκύπτουν έπειτα από την εξαγωγή του σησαμέλαιου συνεχίζουν να έχουν υψηλή θρεπτική αξία και μεταποιούνται με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι εφικτή η αξιοποίησή τους ως ζωοτροφή αγροτικών ζώων (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.9 Εχθροί

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια να αναπτυχθούν ποικιλίες ανθεκτικές έναντι των ασθενειών και εχθρών που προσβάλλουν συχνότερα την καλλιέργεια.

Βασικοί εχθροί του σουσαμιού είναι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί του εδάφους που ευνοούνται λόγω υψηλής υγρασίας και εισέρχονται στο φυτό-ξενιστή, μέσω των ριζών. Οι πλέον συνήθεις μικροοργανισμοί που προσβάλλουν το σουσάμι είναι οι μύκητες που ανήκουν στα γένη *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Macrophomina*, *Verticillium* και *Alternaria*.

Το μοναδικό έντομο που προκαλεί έντονα προβλήματα στην καλλιέργεια είναι το λεπιδόπτερο *Antigastra catalaunalis* Dubonchel της οικογένειας Crambidae. Οι προνύμφες του συγκεκριμένου εντόμου είτε ορύσσουν στοές στο έλασμα των φύλλων είτε δημιουργούν τρύπες σε άνθη και καρπούς, προκαλώντας την καταστροφή τους (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2013).

2.10 Υδατική καταπόνηση

Η υδατική καταπόνηση στη φύση αποτελεί ένα άκρως συχνό φαινόμενο για πολλά είδη φυτών, το οποίο εμφανίζεται είτε λόγω περίσσειας είτε λόγω έλλειψης νερού (Hopkins & Huner, 2020)

2.10.1 Περίσσεια νερού

Η περίσσεια νερού συνήθως προκαλείται λόγω πλημμύρας, η οποία στερεί οξυγόνο από το ριζικό σύστημα, δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο της ανοξίας. Η ανοξία έχει ως άμεση συνέπεια τον περιορισμό της αναπνοής αλλά και της απορρόφησης θρεπτικών, λόγω της αδυναμίας πρόσληψής τους από το ριζικό σύστημα (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012, Hopkins & Huner, 2020).

2.10.2 Αφυδάτωση

Κατά την έλλειψη εδαφικής υγρασίας, διακρίνονται δύο μορφές καταπόνησης. Η πρώτη μορφή έλλειψης νερού καλείται αφυδάτωση και συνιστά άμεσο σύμπτωμα της ξηρασίας. Πρόκειται για το συνδυασμό περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού και ταχύτατης απώλειάς του μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής. Τα φυτά εισέρχονται σε συνθήκες αφυδάτωσης είτε έπειτα από αναπάντεχη έλλειψη νερού είτε λόγω αύξησης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Η έλλειψη νερού μπορεί να προκαλέσει σοβαρές διαταραχές σε μορφολογικό, φυσιολογικό αλλά και μοριακό επίπεδο. Άμεσες επιπτώσεις της δυσμενούς αυτής κατάστασης συνιστούν η μειωμένη πρόσληψη θρεπτικών, η παρεμπόδιση των κυτταρικών διαιρέσεων αλλά και η αύξηση των αντιστάσεων στη ροή του νερού. Οι αντιστάσεις στη ροή του νερού μπορεί να προκληθούν i) λόγω του κλεισίματος των στομάτων, προκειμένου να περιοριστεί η απώλεια νερού, διαδικασία που ενεργοποιείται λόγω δραστηκής συσσώρευσης αμψικισικού οξέος (ABA), ii) λόγω της κάλυψης της επιδερμίδας της ρίζας με φελλίνη, η οποία λειτουργεί ως περίβλημα, παρεμποδίζοντας την απώλεια νερού αλλά και την

είσοδο επιβλαβών διαλυμάτων που συμβάλλουν στην προστασία του ριζικού συστήματος από πλήρη αφυδάτωση, iii) λόγω απενεργοποίησης των υδατοπορινών, διαμεμβρανικών πρωτεϊνών που ελέγχουν την είσοδο και την έξοδο του νερού, iv) λόγω δημιουργίας εμβολών στα αγγεία, τα οποία λόγω υψηλής τάσης γεμίζουν αέρα διακόπτοντας έτσι τη φυσιολογική ροή του νερού. Η μορφή αυτή απαντάται σε ολοένα και περισσότερες περιοχές, κυρίως ως άμεση επίπτωση των κλιματολογικών αλλαγών, και αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες περιορισμού της καλλιέργειας ορισμένων φυτών σε παγκόσμιο επίπεδο (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012, Hopkins & Huner, 2020).

2.10.3 Ωσμωτική καταπόνηση

Εκτός από την αφυδάτωση, η υδατική καταπόνηση εμφανίζεται υπό τη μορφή της ωσμωτικής καταπόνησης εξαιτίας της υψηλής αλατότητας των εδαφών. Υπό συνθήκες ωσμωτικής καταπόνησης, τα φυτά αδυνατούν να προσλάβουν το νερό που περιέχεται στο έδαφος λόγω της υψηλής συσσώρευσης ιόντων Na^+ και Cl^- στην περιοχή της ριζόσφαιρας (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012).

2.10.4 Στρατηγικές αντιμετώπισης

Γενικά, από τη στιγμή που γίνεται αντιληπτή από το φυτό η υδατική καταπόνηση ενεργοποιούνται όλα τα δυνατά μέσα για την αντιμετώπισή της. Η αντιμετώπιση της έλλειψης νερού μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διαφορετικών οδών απόκρισης, οι οποίες αφορούν κυρίως στις στρατηγικές της διαφυγής, αποφυγής ή ανθεκτικότητας (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012).

2.10.4.1 Διαφυγή

Η στρατηγική της διαφυγής εντοπίζεται σε φυτά με σύντομο βιολογικό κύκλο. Τα φυτά αυτά ολοκληρώνουν την ανάπτυξή τους όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές ως προς την επάρκεια του νερού, ενώ κατά τη διάρκεια των δυσμενών συνθηκών διατηρούν μόνο συγκεκριμένα τμήματα, όπως βολβοί, ριζώματα ή κόνδυλοι, ή διαθέτουν ληθαργικές δομές, τα σπέρματα. Τα συγκεκριμένα φυτά δεν διαθέτουν δομές εξοικονόμησης νερού, γι' αυτό σε περίπτωση αιφνίδιου υδατικού στρες κινδυνεύουν από τη δημιουργία πληθώρας βλαβών (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012).

2.10.4.2 Αποφυγή

Η στρατηγική της αποφυγής απαντάται σε ετήσια ή πολυετή είδη τα οποία, μέσω της δημιουργίας δομών, εξασφαλίζουν την εξοικονόμηση νερού ώστε να ανταπεξέλθουν στην υδατική καταπόνηση. Σε αντίθεση με τα φυτά που αποκρίνονται μέσω της διαφυγής, διαθέτουν φύλλα με πληθώρα μικρότερων στομάτων ή φύλλα με μικρότερη επιφάνεια και μορφή σφαίρας, αγγεία με μικρότερη διάμετρο ώστε να μη δημιουργούνται συχνά εμβολές, βλαστούς που συμβάλλουν ενεργά στη φωτοσυνθετική διαδικασία και ιστούς κατάλληλους για την αποθήκευση των λιγοςτών αποθεμάτων νερού. Η στρατηγική αποφυγής απαντάται επίσης στα Cam φυτά και στα μεσογειακά αείφυλλα καθώς τα πρώτα διαθέτουν μηχανισμό ανοίγματος των στομάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ τα δευτέρα κλείνουν τα στόματα τις μεσημεριανές ώρες, κατά τις οποίες ευνοείται η απώλεια νερού. Υπάρχουν βέβαια και φυτά τα οποία ακολουθούν αυτή τη στρατηγική με τη διαφορά ότι στερούνται δομών που εξυπηρετούν την εξοικονόμηση νερού. Τα φυτά αυτά στοχεύουν στη μείωση της επιφάνειας του υπέργειου τμήματος με στόχο τη βαθύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Για να το επιτύχουν αυτό, δημιουργούν πολλά διακλαδιζόμενα νεύρα και αυξάνουν τα αγγεία του ξύλου ώστε να ευνοήσουν τη μεταφορά του νερού (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012).

2.10.4.3 Ανθεκτικότητα

Η στρατηγική της ανθεκτικότητας επιλέγεται από φυτά τα οποία διαθέτουν την ικανότητα να διατηρούν τη μεταβολική τους δραστηριότητα ακόμα και υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Τα φυτά αυτά συσσωρεύουν ωσμωτικά ενεργούς μεταβολίτες ώστε να διατηρήσουν την ωσμωτική πίεση σε υψηλά επίπεδα (Ozturk et al., 2021). Οι οσμωτικά ενεργοί μεταβολίτες είναι ουσίες με υψηλή υδατοδιαλυτότητα και όταν βρίσκονται σε μεγάλη συσσώρευση ρυθμίζουν την οσμωτική πίεση εντός των κυττάρων και επιδιορθώνουν τα προβλήματα που προκαλούν οι ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS). Επιπλέον, οι οσμωλύτες υπό συνθήκες καταπόνησης παρέχουν προστασία σε ευαίσθητα μόρια, όπως είναι πρωτεΐνες, από την πιθανότητα αφυδάτωσης, αποδιάταξης ή καταστροφής τους (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012, Ghosh et al., 2021).

Οι περισσότερες αβιοτικές καταπονήσεις γίνονται αντιληπτές από τα φυτά μέσω του ριζικού συστήματος, μέσω του οποίου μεταδίδονται σήματα που συμβάλλουν στην

ενεργοποίηση των αμυντικών μηχανισμών. Μια από τις σημαντικότερες αποκρίσεις των φυτών για την αντιμετώπιση των καταπονήσεων είναι η βιοσύνθεση και η συσσώρευση της προλίνης. Η προλίνη μειώνει τις δυσμενείς επιδράσεις των αβιοτικών στρες καθώς προσδίδει αντοχή μέσω της οσμωπροστατευτικής της δράσης (Liang et al., 2013).

Εκτός από τους οσμωλύτες την στρατηγική της ανθεκτικότητας υιοθετούν και ποικιλοϋδρικοί οργανισμοί, οι οποίοι έχουν την ικανότητα επιβίωσης των κυττάρων για παρατεταμένο χρονικό διάστημα με ελάχιστη περιεχόμενη υγρασία. Τέτοιους οργανισμούς αποτελούν τα επονομαζόμενα φυτά αναβίωσης, τα οποία εποικίζουν ξηρές περιοχές του πλανήτη λόγω της ικανότητας επιβίωσης σε έντονες συνθήκες παρατεταμένου υδατικού στρες έπειτα από την είσοδό τους σε κατάσταση πλήρους αφυδάτωσης των κυττάρων, η οποία ονομάζεται κατάσταση αναβίωσης. Η κατάσταση αναβίωσης τερματίζεται όταν επανέλθουν οι βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη του φυτού (Καραμπουρνιώτης κ.α., 2012).

2.10.5 Επιδράσεις της ξηρασίας στην καλλιέργεια σουσαμιού

Το σουσάμι (*Sesamum indicum* L.), ως είδος εμφανίζει ικανοποιητική προσαρμοστικότητα σε δυσμενή περιβάλλοντα και συστήματα καλλιέργειας χαμηλών εισροών. Η καλλιέργειά του δε παραδοσιακά λαμβάνει χώρα σε ξηρικές ή ημιξηρικές περιοχές, υπό συνθήκες χαμηλών εισροών, που αναφέρονται κατά βάση σε ανεπάρκεια νερού και θρεπτικών στοιχείων. Παρά το γεγονός ότι συγκαταλέγεται στα ελαιούχα φυτά που είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, η ανάπτυξη και παραγωγικότητά του μειώνονται σημαντικά υπό συνθήκες υδατικής ανεπάρκειας, ιδίως όταν η έλλειψη νερού αφορά στη φάση του φυτρώματος και ανάπτυξης των σποροφύτων καθώς και κατά το στάδιο της ανθοφορίας (Bahrami et al., 2012).

Η επικράτηση συνθηκών υδατικής ανεπάρκειας κατά τη φάση της βλάστησης, οδηγεί σε μείωση του δυναμικού βλάστησης και ανεπιτυχή εγκατάσταση της καλλιέργειας, ενώ κατά τα αναπαραγωγικά στάδια η υδατική καταπόνηση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς επιφέρει μείωση του αριθμού καψών ανά φυτό, και επακόλουθη μείωση της απόδοσης, καθώς και αύξηση των κινδύνων προσβολής των φυτών από φυτοπαθογόνα, λόγω της έλλειψης ευρωστίας υπό συνθήκες ξηρασίας (Yousefzadeh Najafabadi & Ehsanzadeh, 2017). Επιπλέον, τα συμπτώματα της υδατικής καταπόνησης περιλαμβάνουν υποβάθμιση της ποιότητας των σπόρων, λόγω μειωμένης

περιεκτικότητας σε έλαιο και πρωτεΐνες καθώς και μεταβολή στη σύσταση ελαίου. Τέλος, η επίδραση της ξηρασίας γίνεται ορατή σε βιοχημικό επίπεδο, επιφέροντας μεταβολές στη συγκέντρωση πληθώρας δευτερογενών μεταβολιτών, όπως οι λιγνάνες, τα φλαβονοειδή και οι φαινόλες (Mundim & Pringle, 2018).

Σκοπός της έρευνας

Η συγκεκριμένη εργαστηριακή έρευνα είχε ως σκοπό τη μελέτη γενετικού υλικού σουσαμιού κατά τη διάρκεια του βλαστικού σταδίου ως προς την αντοχή του σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Επιπροσθέτως, έγινε εκτίμηση της παραλλακτικότητας που πιθανόν να υπάρχει μεταξύ των διαφορετικών γονοτύπων σουσαμιού ως προς την ανεκτικότητα των σπόρων τους και τη δυνατότητα ανάπτυξης σποροφύτων σε συνθήκες ξηρασίας με απώτερο σκοπό την ανάδειξη του πλέον ανθεκτικού γονοτύπου. Ως γενετικό υλικό χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις γονότυποι σουσαμιού, εκ των οποίων ο ένας ήταν ο αρχικός πληθυσμός από τον οποίο προήλθαν τρεις βελτιωμένες σειρές, οι οποίες προέκυψαν έπειτα από κύκλους επιλογής με κριτήριο την υψηλή απόδοση. Για τον έλεγχο της αντοχής του γενετικού υλικού στην ξηρασία, πραγματοποιήθηκε βλάστηση των σπόρων υπό συνθήκες ξηρασίας και ακολούθησε εκτίμηση της απόκρισης των γονοτύπων στην υδατική καταπόνηση. Ειδικότερα, οι σπόροι τοποθετήθηκαν σε θρεπτικό υπόστρωμα ιστοκαλλιέργειας που περιείχε διαφορετικές συγκεντρώσεις D-μαννιτόλης (50, 100 και 200 mM). Στο πείραμα συμπεριλήφθηκαν ως μάρτυρες και σπόροι που τοποθετήθηκαν προς βλάστηση απουσία μαννιτόλης. Για την ανάδειξη του ανθεκτικότερου γονοτύπου αξιολογήθηκαν μια σειρά αναπτυξιακών και βιοχημικών παραμέτρων. Σε αναπτυξιακό επίπεδο, η αξιολόγηση της αντοχής στην υδατική καταπόνηση βασίστηκε στο ποσοστό βλάστησης των σπόρων, στο δυναμικό ανάπτυξης των σποροφύτων, στην περιεχόμενη υγρασία και στο δείκτη ευρωστίας των σποροφύτων καθώς και στους δείκτες ανθεκτικότητας και ευαισθησίας των γονοτύπων. Σε βιοχημικό επίπεδο, ως κριτήρια αξιολόγησης εξυπηρέτησαν η περιεχόμενη συγκέντρωση χλωροφύλλης a, b, ολικής χλωροφύλλης, καροτενοειδών και προλίνης.

3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Γενετικό υλικό

Οι σπόροι των τεσσάρων γονοτύπων σουσαμιού, που αξιοποιήθηκαν ως γενετικό υλικό στην παρούσα έρευνα, αποτελούν πιστοποιημένο υλικό το οποίο παραχωρήθηκε από το Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, με έδρα τη Λάρισα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένας αρχικός πληθυσμός, ο οποίος στη συνέχεια αναφέρεται ως 'Πληθυσμός 23', και τρεις βελτιωμένες σειρές που προέκυψαν από τον ανωτέρω πληθυσμό και αναφέρονται ως 'Σειρά 1', 'Σειρά 11' και 'Σειρά 12'. Οι εν λόγω σειρές προέκυψαν έπειτα από κύκλους επιλογής με κριτήριο την υψηλή παραγωγικότητα. Η αξιολόγηση των ανωτέρω γονοτύπων ως προς την προσαρμοστικότητά τους υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης αποτελεί για πρώτη φορά αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

3.2 Θρεπτικά υποστρώματα

Με στόχο τη δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος που να προσομοιάζει σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης δημιουργήθηκαν τέσσερα διαφορετικά θρεπτικά υποστρώματα ιστοκαλλιέργειας. Σε καθένα από τα θρεπτικά υποστρώματα περιέχονταν διαφορετικές ποσότητες D-μαννιτόλης (D-mannitol) ώστε να δημιουργηθούν τρία επίπεδα στρες ενώ το ένα από τα υποστρώματα περιείχε μηδενική ποσότητα μαννιτόλης, συνιστώντας έτσι το μάρτυρα.

Για την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν κωνικές φιάλες των 500 ml, όπου έγινε προσθήκη της κατάλληλης ποσότητας σουκρόζης, θρεπτικού μέσου MS, εμπλουτισμένου με βιταμίνες (MS-vitamins) και ακολούθησε πλήρωση με απιονισμένο νερό έως τελικού όγκου 500 ml. Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε ρύθμιση του pH με τη χρήση πεχάμετρου και προσθήκη κατάλληλης ποσότητας NaOH στο 5,6-5,8. Ακολούθησε προσθήκη άγαρ και κατάλληλης ποσότητας D-μαννιτόλης. Η σύσταση των θρεπτικών υποστρωμάτων για τα τρία διαφορετικά επίπεδα στρες και το μάρτυρα παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Σύσταση των επιμέρους θρεπτικών υποστρωμάτων ιστοκαλλιέργειας για τα τέσσερα διαφορετικά επίπεδα υδατικής καταπόνησης (0, 50, 100 και 200 mM D-μαννιτόλης).

	Control	50 mM	100 mM	200 mM
H ₂ O	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Sucrose	5 g	5 g	5 g	5 g
MS-Vitamin	1,1 g	1,1 g	1,1 g	1,1 g
Άγαρ	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
Mannitol	-	4,554 g	9,108 g	18,217 g

Στην συνέχεια, οι τέσσερις φιάλες με τα θρεπτικά υποστρώματα τοποθετήθηκαν στο αυτόκαυστο στους 121 °C για 20 λεπτά ώστε να πραγματοποιηθεί η αποστείρωσή τους (Εικόνα 3.1). Μετά την ολοκλήρωση της αποστείρωσης, τα υποστρώματα αφέθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου έως ότου να είναι δυνατή η πλήρωση των τριβλίων petri.



Εικόνα 3.1 Το αυτόκαυστο που χρησιμοποιήθηκε για την αποστείρωση των θρεπτικών υποστρωμάτων ιστοκαλλιέργειας.

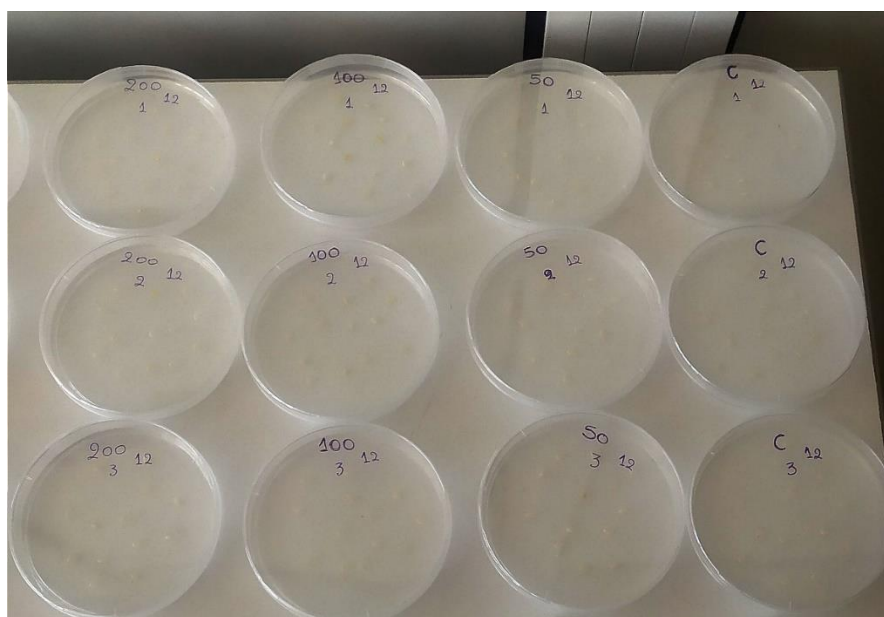
3.3 Απολύμανση σπόρων

Για καθένα από τους τέσσερις γονοτύπους καταμετρήθηκαν 500 σπόροι. Εν συνεχεία σε φιαλίδια τύπου Falcon, τα οποία προηγουμένως είχαν τοποθετηθεί στο αυτόκαυστο για να αποστειρωθούν, προστέθηκε διάλυμα χλωρίνης 10 % και σε αυτό εμβάπτιστηκαν οι σπόροι. Μετά από 10 λεπτά ανάδευσης, απορρίφθηκε το διάλυμα χλωρίνης και πραγματοποιήθηκαν τέσσερις πλύσεις διάρκειας 5 λεπτών η κάθε μια με απιονισμένο νερό, το οποίο είχε αποστειρωθεί στο αυτόκαυστο.

3.4 Εγκατάσταση στα τριβλία

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας απολύμανσης, οι σπόροι τοποθετήθηκαν ανά 13 σε τριβλία που περιείχαν τα κατάλληλα θρεπτικά υποστρώματα. Για κάθε συνδυασμό γονοτύπου - επιπέδου καταπόνησης, συμπεριλαμβανομένου του μάρτυρα, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις επαναλήψεις.

Μετά την εγκατάσταση των σπόρων, τα τριβλία σφραγίστηκαν με parafilm και παρέμειναν κλειστά για διάστημα δεκαπέντε ημερών σε ελεγχόμενες συνθήκες, σε θερμοκρασία δωματίου και φωτοπερίοδο 16 ώρες φως και 8 ώρες σκοτάδι, ώστε να βλαστήσουν οι σπόροι του σουσαμιού (Εικόνα 3.2). Κατά το διάστημα αυτό, λαμβάνονταν τακτικά παρατηρήσεις σχετικά με το ρυθμό βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης των σποροφύτων.



Εικόνα 3.2 Τριβλία έπειτα από την εγκατάσταση των σπόρων.

3.5 Αναπτυξιακές παράμετροι αξιολόγησης

Για να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των σπόρων των τεσσάρων γονοτύπων σουσαμιού σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, λήφθηκαν οι απαιτούμενες μετρήσεις και ακολούθησε ο υπολογισμός των εξής επτά αναπτυξιακών παραμέτρων:

1. Ποσοστό βλάστησης σπόρων

$$GP = (\text{Αριθμός σπόρων που βλάστησαν} / \text{Συνολικό αριθμό σπόρων}) \times 100$$

Οι μετρήσεις λήφθηκαν από την 1^η έως την 7^η ημέρα

2. Μήκος ρίζας σποροφύτου

Οι μετρήσεις λήφθηκαν την 7^η και τη 15^η ημέρα

3. Μήκος βλαστού σποροφύτου

Οι μετρήσεις λήφθηκαν την 7^η και τη 15^η ημέρα

4. Ποσοστό απορρόφησης νερού των σποροφύτων

$$WC = [(\text{νωπό βάρος} - \text{ξηρό βάρος}) / \text{νωπό βάρος}] \times 100$$

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε τη 15^η ημέρα

5. Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων

$$SVI = \text{Μήκος βλαστού} \times \text{Ποσοστό βλαστικότητας}$$

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε τη 15^η ημέρα

6. Δείκτης ευαισθησίας

$$SSI = \frac{1 - \frac{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου συγκεκριμένου γονοτύπου, συγκεκριμένης καταπόνησης}}{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου συγκεκριμένου γονοτύπου του μάρτυρα}}}{1 - \frac{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου όλων των γονοτύπων συγκεκριμένης καταπόνησης}}{\text{Μέσο ξηρό βάρος σποροφύτου όλων των γονοτύπων του μάρτυρα}}}$$

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε τη 15η ημέρα

7. Δείκτης ανεκτικότητας

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

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε τη 15η ημέρα

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

3.6.1 Παραλαβή ιστού

Μετά το πέρας των δεκαπέντε ημερών, και αφού λήφθηκαν οι τελευταίες μετρήσεις που αφορούσαν τις αναπτυξιακές παραμέτρους, ακολούθησε ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη a και χλωροφύλλη b, σύμφωνα με το πρωτόκολλο των Wintermans and Motts (1965). Αρχικά, λήφθηκε φυτικός ιστός από τα φύλλα των σποροφύτων σουσαμιού. Λήφθηκαν τρία φύλλα από τρία σπορόφυτα ανά επανάληψη για την κάθε μεταχείριση. Ακολούθησε ζύγιση του παραληφθέντος ιστού και η διαδικασία εκχύλισης.

3.6.2 Διαδικασία εκχύλισης

Τα φύλλα μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες και έγινε προσθήκη 15 ml αιθανόλης 98 %.

Οι δοκιμαστικοί σωλήνες έπειτα τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο (Εικόνα 3.3) σε θερμοκρασία 80 °C. Η παραμονή τους στο υδατόλουτρο έγινε για χρονικό διάστημα 30

λεπτών, κατά το οποίο πραγματοποιήθηκε ο αποχρωματισμός των φύλλων (Εικόνα 3.4).

Μετά τη διέλευση της περιόδου επώασης, οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν σε σκοτάδι για 30 λεπτά.



Εικόνα 3.3 Το υδατόλουτρο εντός του οποίου τοποθετήθηκαν οι δοκιμαστικοί σωλήνες.



Εικόνα 3.4 Οι δοκιμαστικοί σωλήνες αφού εξήλθαν από το υδατόλουτρο και τοποθετήθηκαν σε σκοτάδι.

3.6.3 Μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο

Το εκχύλισμα του κάθε δοκιμαστικού σωλήνα μεταφέρθηκε σε κυψελίδα και ακολούθησε η μέτρηση της απορρόφησης των εκχυλισμάτων σε φασματοφωτόμετρο σε τρία μήκη κύματος, όπου 665 για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης a, 649 για τον προσδιορισμό της χλωροφύλλης b και 470 για τον προσδιορισμό των καροτενοειδών, ενώ τέλος υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις σύμφωνα με τους τύπους που αναφέρονται από τον Lichtenthaler (1987) (Εικόνα 3.5).

1. Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a

$$\text{Χλωροφύλλη a} = \frac{(13,36 * A_{665} - 5,19 * A_{649}) * 15}{\text{Νωπό βάρος} * 1000} \text{ mg/g}$$

2. Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη b

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

3. Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή

$$\text{Καροτενοειδή} = \frac{(1000 * A_{470} - 2,13 * Chl a - 97,64 * Chl b)}{\text{Νωπό βάρος} * 1000} \text{ mg/g}$$



Εικόνα 3.5 Φασματοφωτόμετρο καταμέτρησης απορροφήσεων.

3.7. Ποσοτικός προσδιορισμός προλίνης

3.7.1 Παραλαβή ιστού

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό της προλίνης εφαρμόστηκε το πρωτόκολλο των Carillo and Gibon (2011). Αρχικά λήφθηκε φυτικός ιστός από τα ριζίδια τριών σποροφύτων ανά επανάληψη για κάθε μεταχείριση και κάθε γονότυπο. Ακολούθησε ζύγιση αυτών, καταγραφή του βάρους τους και στη συνέχεια η διαδικασία εκχύλισης.

3.7.2 Διαδικασία εκχύλισης

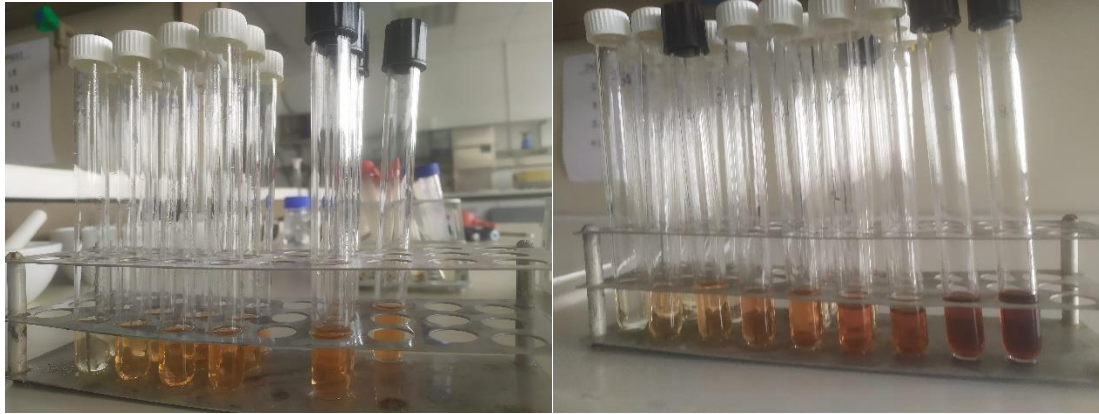
Τα ριζίδια τοποθετήθηκαν σε γουδί μαζί με 2 ml αιθανόλης 70 % ώστε να λειοτριβηθούν. Όταν ολοκληρώθηκε η λειοτρίβηση και το μείγμα ήταν πλήρως ομογενοποιημένο, προστέθηκαν στο γουδί επιπλέον 2 ml αιθανόλης 70 %. Το νέο διάλυμα μεταφέρθηκε σε φιαλίδια Falcon, τα οποία τοποθετήθηκαν στη φυγόκεντρο στις 3800 στροφές για 10 λεπτά (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6 Η φυγοκέντρηση των Falcon που περιείχαν τα εκχυλίσματα του φυτικού ιστού και της αιθανόλης.

Μετά το πέρας της φυγοκέντρησης από το υπερκείμενο διάλυμα που περιεχόταν στα φιαλίδια Falcon λήφθηκε 1 ml, το οποίο μεταφέρθηκε σε νέο δοκιμαστικό σωλήνα. Στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα προστέθηκαν 2 ml διαλύματος νινυδρίνης, που είχε δημιουργηθεί, έπειτα από διάλυση 0,5 g νινυδρίνης σε 60 ml διαλύματος οξικού οξέος και συμπλήρωση με αιθανόλη 98 % έως τελικού όγκου 100 ml.

Στη συνέχεια, οι δοκιμαστικοί σωλήνες αναδεύτηκαν με τη χρήση Vortex και τοποθετήθηκαν εντός του υδατόλουτρου για 25 λεπτά. Μετά την παρέλευση του απαιτούμενου χρονικού διαστήματος, οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν σε παγόλουτρο (Εικόνα 3.7).

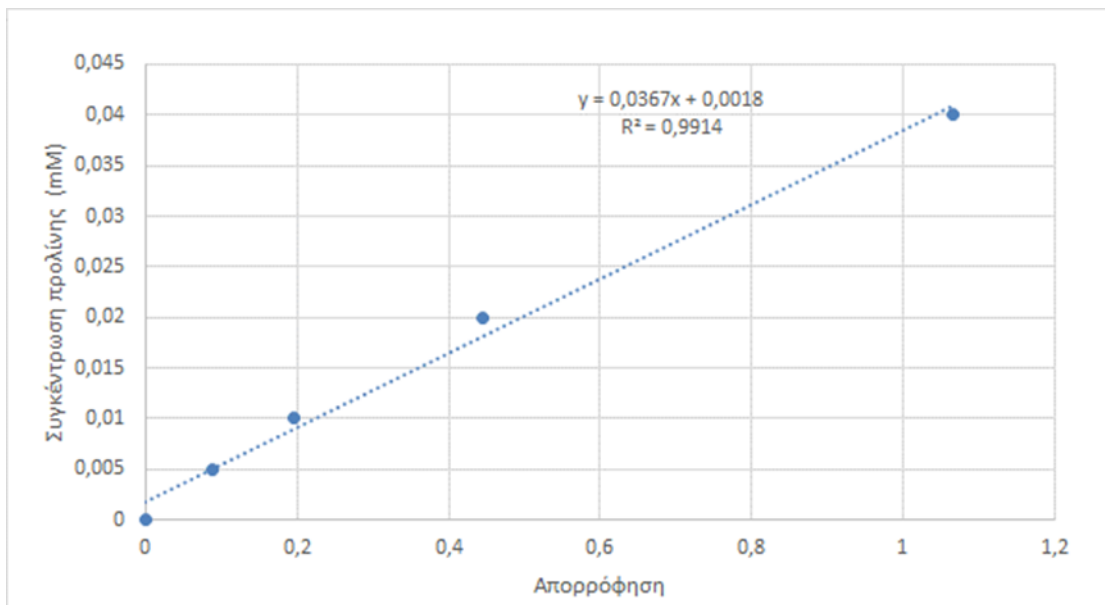


Εικόνα 3.7 Οι δοκιμαστικοί σωλήνες με το φυτικό εκχύλισμα των δειγμάτων, δεξιά, και των προτύπων, αριστερά, μετά το πέρας του απαιτούμενου χρονικού διαστήματος στο υδατόλουτρο.

3.7.3 Μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο

Για την προσδιορισμό της προλίνης στο φασματοφωτόμετρο, μετρήθηκε η απορρόφηση στα 520 nm αφότου προηγήθηκε η μέτρηση των προτύπων ώστε να δημιουργηθεί η πρότυπη καμπύλη (Διάγραμμα 3.1).

Διάγραμμα 3.1 Προσδιορισμός της προλίνης μέσω την καμπύλης απορρόφησης των πρότυπων διαλυμάτων.



3.8. Στατιστική επεξεργασία

Μετά την ολοκλήρωση όλων των μετρήσεων και τον προσδιορισμό των παραμέτρων ως προς την αναπτυξιακή και τη βιοχημική απόκριση των σποροφύτων, τα αποτελέσματα καταγράφηκαν και πραγματοποιήθηκε η στατιστική τους επεξεργασία με την χρήση του προγράμματος SPSS 29 για Windows. Καθώς το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα ήταν αυτό των πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων με 4 επαναλήψεις για κάθε γονότυπο και επίπεδο καταπόνησης η στατιστική επεξεργασία έγινε με ανάλυση παραλλακτικότητας (One Way ANOVA) με έναν παράγοντα (μεταχείριση) ή δύο παράγοντες (μεταχείριση, γονότυπος) με το κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας 5 % ($P \leq 0,05$).

4. Αποτελέσματα

4.1. Ποσοστό βλάστησης των σπόρων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης

Τις πρώτες 7 ημέρες μετά την εγκατάσταση των σπόρων σε τριβλία καταμετρήθηκε το ποσοστό βλάστησης που εμφάνισαν οι υπό μελέτη γονότυποι στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης που προέκυψαν ως προς το ποσοστό βλάστησης, ενώ στο Διάγραμμα 4.1 το τελικό ποσοστό βλάστησης του κάθε γονοτύπου στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης .

Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση, οι σπόροι που εκτέθηκαν στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (50 και 100 mM μαννιτόλης) έδωσαν παρόμοια μεταξύ τους αλλά και με το μάρτυρα αποτελέσματα ως προς το ποσοστό βλάστησης. Στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης), απαιτήθηκε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για τη βλάστηση των σπόρων σουσαμιού, επιφέροντας σημαντικά μειωμένα ποσοστά βλάστησης ειδικά τις πρώτες τέσσερις ημέρες.

Ως προς την προσαρμοστικότητα των γονοτύπων στα τέσσερα επίπεδα υδατικής καταπόνησης, οι Σειρές 11 και 12 παρουσίασαν τα υψηλότερα ποσοστά βλάστησης στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (50 και 100 mM μαννιτόλης) σε αντίθεση με τον Πληθυσμό 23 που εμφάνισε την μεγαλύτερη ανεκτικότητα στο υψηλότερο επίπεδο στρες (200 mM μαννιτόλης). Μεταξύ των υπό εξέταση γονοτύπων, γενικά καλύτερη προσαρμοστικότητα στο σύνολο των μεταχειρίσεων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 και στο Διάγραμμα 4.1 είχε η Σειρά 12, έπειτα ακολουθεί η Σειρά 11 και με μικρή διαφορά ο Πληθυσμός 23 (Εικόνα 4.1). Τέλος, η Σειρά 1, παρόλο που εμφάνισε ικανοποιητική ανεκτικότητα στο υψηλό επίπεδο υδατικής καταπόνησης, είναι εκείνη με το μικρότερο συνολικά ποσοστό βλάστησης.

Πίνακας 4.1 Το ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP %) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) για διάστημα 7 ημερών.

Ημέρα 1		Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50	100	200	M.O. (Γ)	
Πληθυσμός 23	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	
Σειρά 1	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	
Σειρά 11	1,92a	0,00a	0,00a	0,00a	0,48a	
Σειρά 12	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	
M.O. (M)	0,48a	0,00a	0,00a	0,00a		

Ημέρα 2		Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50	100	200	M.O. (Γ)	
Πληθυσμός 23	78,85ab	76,92a	84,61a	69,23a	77,40a	
Σειρά 1	76,92ab	75,00a	78,85a	71,15a	75,48	
Σειρά 11	55,77b	73,08a	55,77a	38,46a	55,77a	
Σειρά 12	90,38a	73,08a	53,85a	38,46a	63,94a	
M.O. (M)	75,48a	74,51a	68,27a	54,33a		

Ημέρα 3		Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50	100	200	M.O. (Γ)	
Πληθυσμός 23	82,69ab	80,77a	86,54a	80,77a	82,69ab	
Σειρά 1	82,69ab	75,00a	78,85a	78,85a	78,85a	
Σειρά 11	73,08b	86,53a	84,61a	48,08b	73,08b	
Σειρά 12	98,08a	94,23a	82,69a	65,38ab	85,10a	
M.O. (M)	84,13a	84,13a	83,17a	68,27a		

Ημέρα 4		Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50	100	200	M.O. (Γ)	
Πληθυσμός 23	82,69b	80,77a	90,38a	82,69a	84,13a	
Σειρά 1	84,61ab	80,77a	78,85a	82,69a	81,75a	
Σειρά 11	86,54ab	96,15a	90,38a	61,54a	83,65b	
Σειρά 12	98,08a	96,15a	88,46a	71,15a	88,46a	
M.O. (M)	87,98a	88,46a	87,02a	74,52a		

Ημέρα 5		Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50	100	200	M.O. (Γ)	

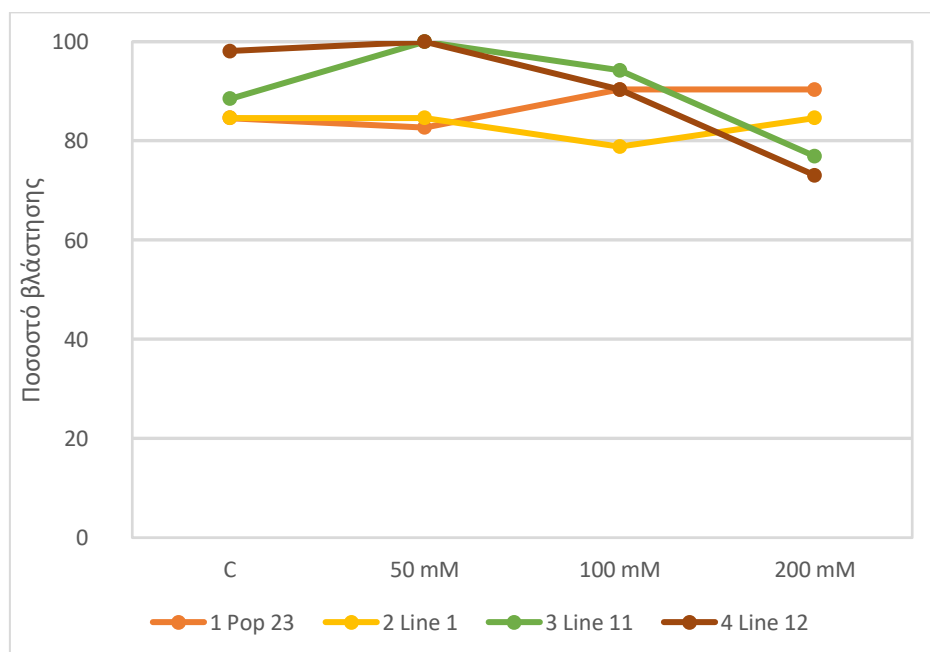
Πληθυσμός 23	84,61a	82,69b	90,38a	84,61a	85,58a
Σειρά 1	84,61a	82,69b	78,85a	84,61a	82,69b
Σειρά 11	86,54a	100,00a	92,31a	75,00a	88,46a
Σειρά 12	98,08a	100,00a	90,38a	73,08a	90,39a
M.O. (M)	88,46a	91,35a	87,98a	79,08a	

Ημέρα 6 Συγκέντρωση D-μαννιτόλης

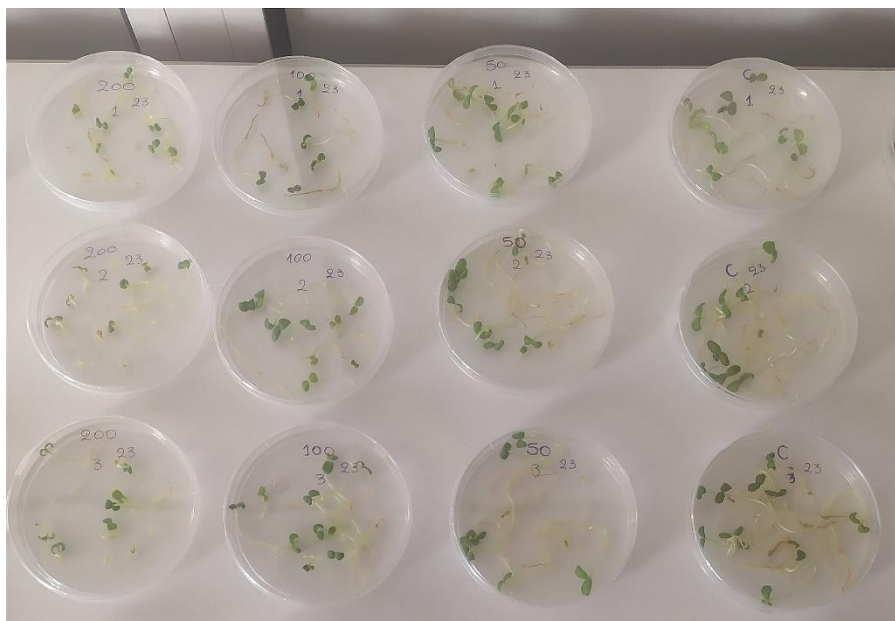
	C	50	100	200	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	84,61a	82,69b	90,38a	90,38a	87,02a
Σειρά 1	84,61a	84,61b	78,85a	84,61a	83,17a
Σειρά 11	88,46a	100,00a	94,23a	76,92a	89,90a
Σειρά 12	98,08a	100,00a	90,38a	73,08a	90,39a
M.O. (M)	88,94a	91,83a	88,46a	81,25a	

Ημέρα 7 Συγκέντρωση D-μαννιτόλης

	C	50	100	200	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	84,61a	82,69b	90,38a	90,38a	87,02a
Σειρά 1	84,61a	84,61b	78,85a	84,61a	83,17a
Σειρά 11	88,46a	100,00a	94,23a	76,92a	89,90a
Σειρά 12	98,08a	100,00a	90,38a	73,08a	90,39a
M.O. (M)	88,94a	91,83a	88,46a	81,25a	



Διάγραμμα 4.1 Ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP %) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 7^η ημέρα.



Εικόνα 4.1 Τριβλία με σπορόφυτα σουσαμιού του γονοτύπου «Πληθυσμός 23» εντός του διαστήματος των 7 ημερών.

4.2. Μήκος βλαστού των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης

Την 7^η ημέρα της βλαστικής περιόδου των σπόρων λήφθηκε η πρώτη μέτρηση μήκους του βλαστιδίου. Προς αποφυγή επιμόλυνσης των σπόρων από κάποιο μικροοργανισμό, μύκητα ή βακτήριο, τα τριβλία παρέμειναν σφραγισμένα με Parafilm. Χρησιμοποιήθηκε χάρακας και με ιδιαίτερη προσοχή μετρήθηκε το μήκος βλαστιδίου τριών σποροφύτων από κάθε τριβλίο. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2, όπου αναφέρεται η μέση τιμή μήκους βλαστού για κάθε γονότυπο ανά μεταχείριση, ενώ στο Διάγραμμα 4.2 απεικονίζεται η μέση τιμή μήκους βλαστού για κάθε γονότυπο και μεταχείριση.

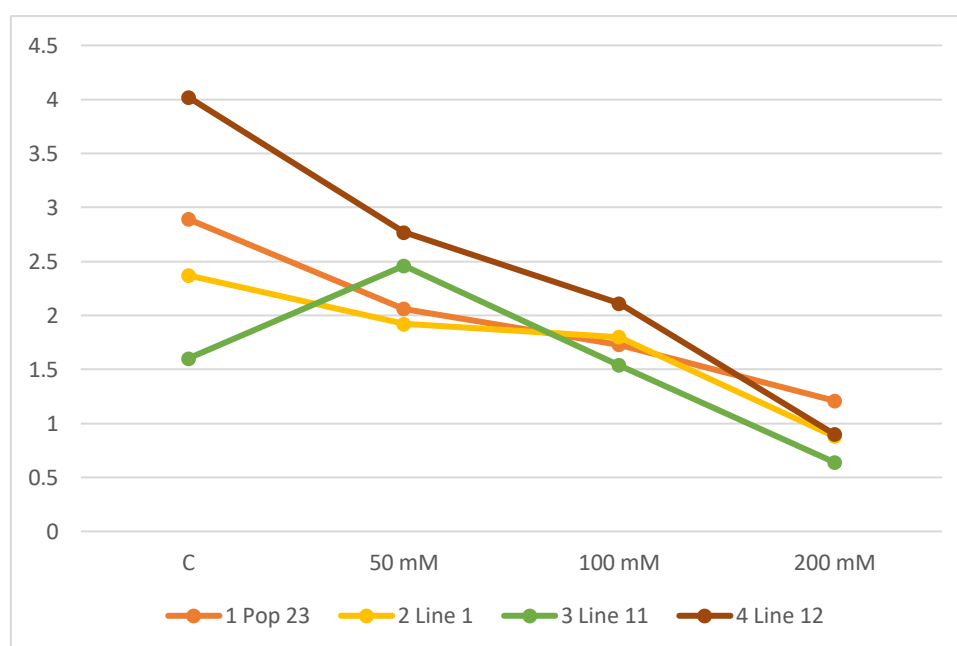
Σύμφωνα και με τα ευρήματα, τη μεγαλύτερη ανάπτυξη βλαστού παρουσίασαν οι γονότυποι που αναπτύχθηκαν απουσία της καταπόνησης. Επιπροσθέτως, ικανοποιητική ήταν και η ανάπτυξη των βλαστών στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα σπορόφυτα που αναπτύχθηκαν είτε απουσία μαννιτόλης είτε στη χαμηλή συγκέντρωση αυτής (C και 50 mM μαννιτόλης) βρίσκονταν σε σαφώς ευνοϊκότερες συνθήκες και έτσι παρουσίασαν μεγαλύτερη

ανάπτυξη, σε αντίθεση με εκείνα που υποβλήθηκαν σε συνθήκες καταπόνησης υψηλής έντασης (200 mM μαννιτόλης) και είχαν περιορισμένη ανάπτυξη.

Ως προς τους γονοτύπους, την καλύτερη ανεκτικότητα παρουσίασε η Σειρά 12 με σχεδόν ένα εκατοστό διαφορά από την Σειρά 11 που φαίνεται να ήταν εκείνη με τη μικρότερη ανάπτυξη, ειδικά στο υψηλότερο επίπεδο στρες. Ο Πληθυσμός 23 εμφάνισε τη μεγαλύτερη ανεκτικότητα στο υψηλότερο επίπεδο υδατικής καταπόνησης, έχοντας το μεγαλύτερο μήκος βλαστιδίου σε σχέση με τους άλλους τρεις γονοτύπους.

Πίνακας 4.2 Μήκος βλαστού των σποροφύτων την 7^η ημέρα ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	2,89b	2,06b	1,73ab	1,21a	1,97ab
Σειρά 1	2,37b	1,92b	1,80ab	0,88ab	1,74ab
Σειρά 11	1,60c	2,46ab	1,54b	0,64b	1,56b
Σειρά 12	4,02a	2,77a	2,11a	0,90ab	2,45a
M.O. (M)	2,72b	2,30b	1,80ab	0,91ab	



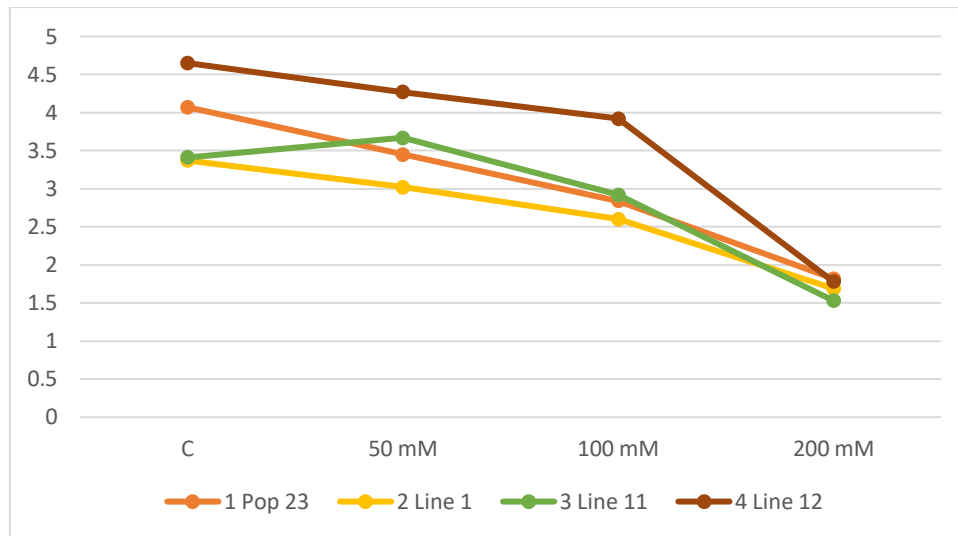
Διάγραμμα 4.2 Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 7^η ημέρα.

Σε αντιστοιχία με τα δεδομένα που λήφθηκαν την 7^η ημέρα, την 15^η ημέρα και οι τέσσερις γονότυποι παρουσίασαν περιορισμένη ανάπτυξη βλαστιδίου όταν τα σπορόφυτα υποβλήθηκαν στο υψηλότερο επίπεδο καταπόνησης (Πίνακας 4.3, Διάγραμμα 4.3). Επιπλέον, σε σχέση με τον μάρτυρα, τα σπορόφυτα που αναπτύχθηκαν στο χαμηλό επίπεδο υδατικού στρες (50 mM μαννιτόλης) εμφάνισαν ικανοποιητική ανάπτυξη, παρουσιάζοντας ένα εκατοστό σχεδόν διαφορά από τα αντίστοιχα που αναπτύχθηκαν στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (100 mM μαννιτόλης).

Σε συμφωνία με την προηγούμενη μέτρηση (7^η ημέρα), τη μικρότερη ανάπτυξη εμφάνισε η Σειρά 11 στο υψηλότερο επίπεδο καταπόνησης, ενώ ως πιο ανθεκτικός γονότυπος αναδείχθηκε ο Πληθυσμός 23. Γενικά, όπως και την 7^η ημέρα, η Σειρά 12 εμφάνισε τη μεγαλύτερη συνολική ανάπτυξη βλαστού υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 4.3 Μήκος βλαστού των σποροφύτων τη 15^η ημέρα ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	4,07a	3,45ab	2,84ab	1,82a	3,05ab
Σειρά 1	3,37b	3,02b	2,60b	1,69a	2,67b
Σειρά 11	3,41b	3,67ab	2,92ab	1,53a	2,88ab
Σειρά 12	4,65a	4,27a	3,92a	1,78a	3,65a
M.O. (M)	3,87ab	3,60ab	3,07a	1,70a	



Διάγραμμα 4.3 Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 15^η ημέρα.

4.3. Μήκος ρίζας των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης

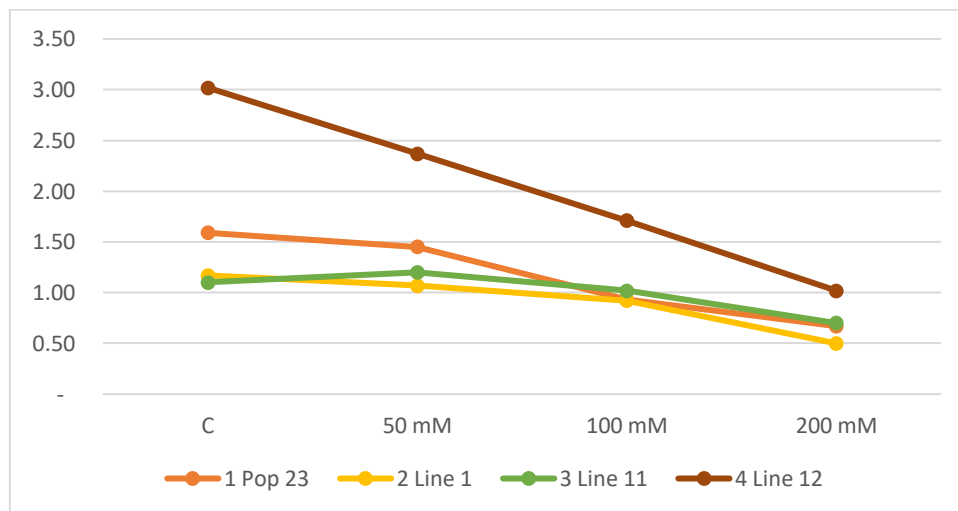
Με παρόμοια διαδικασία μέτρησης με εκείνη του βλαστού διεξήχθη και η μέτρηση μήκους του ριζιδίου των σποροφύτων.

Την 7^η ημέρα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4, όπως ήταν αναμενόμενο, τα σπορόφυτα που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες έλλειψης (0 mM) ή παρουσίας μικρής συγκέντρωσης μαννιτόλης (50 mM) παρουσίασαν εμφανώς μεγαλύτερη ανάπτυξη ριζιδίου σε σχέση με τους σπόρους που τοποθετήθηκαν σε τριβλία με την υψηλή συγκέντρωση μαννιτόλης (200 mM).

Σε σχέση με τους υπόλοιπους τρεις γονοτύπους, η Σειρά 12 εμφάνισε μεγαλύτερη ανάπτυξη ριζιδίου σε όλα τα επίπεδα καταπόνησης και ειδικά σε συνθήκες απουσίας καταπόνησης. Ο Πληθυσμός 23 είναι εκείνος που εν συνεχεία εμφάνισε το αμέσως μεγαλύτερο συνολικό μήκος ριζιδίου, ενώ με μικρή διαφορά ακολούθησε η Σειρά 11. Τέλος, η Σειρά 1 παρουσίασε τη μικρότερη τόσο συνολική όσο και ανά επίπεδο καταπόνησης ανάπτυξη ριζιδίου. Το μήκος ριζιδίου των σποροφύτων ανά γονότυπου και ανά μεταχείριση την 7η ημέρα παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.4.

Πίνακας 4.4 Μήκος ριζιδίου των σποροφύτων την 7^η ημέρα ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	1,59b	1,45b	0,93b	0,67ab	1,15b
Σειρά 1	1,17b	1,07b	0,92b	0,50b	0,92b
Σειρά 11	1,10b	1,20b	1,02b	0,70ab	1,01b
Σειρά 12	3,02a	2,37a	1,71a	1,02a	2,03a
M.O. (M)	1,72b	1,52b	1,14ab	0,72b	



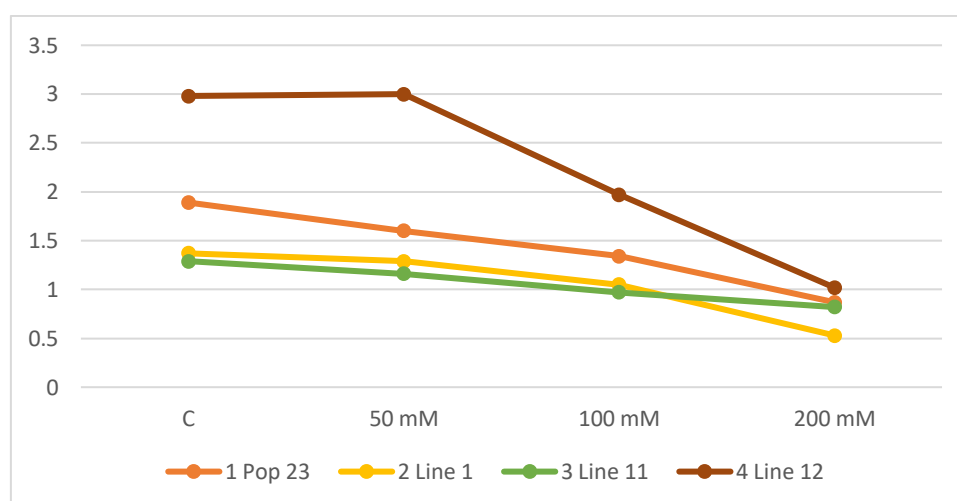
Διάγραμμα 4.4 Μήκος ριζιδίου των σποροφύτων ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 7^η ημέρα.

Σε συνέχεια των μετρήσεων της 7^{ης} ημέρας, στον Πίνακα 4.5 καθώς και στο Διάγραμμα 4.5 παρουσιάζονται τα μήκη των ριζιδίων των υπό μελέτη γονοτύπων ανά μεταχείριση για την 15^η ημέρα. Όπως αναμενόταν, η ταχεία πορεία ανάπτυξης των ριζιδίων των σποροφύτων που αναπτύχθηκαν απουσία καταπόνησης (0 mM μαννιτόλης) συνεχίστηκε έως και την 15^η ημέρα. Αντίθετα, ο ρυθμός ανάπτυξης των ριζιδίων των σπόρων που αναπτύχθηκαν στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (50 και 100 mM μαννιτόλης) μειώθηκε αρκετά, ενώ στο υψηλό επίπεδο στρες (200 mM μαννιτόλης) σημειώθηκε ανασχεση της ανάπτυξη των ριζιδίων.

Τη μέγιστη συνολική αλλά και ανά επίπεδο ανάπτυξη ριζιδίου παρουσίασε η Σειρά 12. Στο υψηλό επίπεδο υδατικής καταπόνησης, τη μικρότερη ανεκτικότητα εμφάνισε η Σειρά 1, ενώ αρκετά ικανοποιητική ήταν η ανάπτυξη των ριζιδίων των σπόρων και της Σειράς 11 και του Πληθυσμού 23.

Πίνακας 4.5 Μήκος ριζιδίου των σποροφύτων τη 15^η ημέρα ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	1,89b	1,60b	1,34b	0,87a	1,43b
Σειρά 1	1,37b	1,29b	1,05b	0,53b	1,06b
Σειρά 11	1,29b	1,16b	0,97b	0,82ab	1,06b
Σειρά 12	2,98a	3,00a	1,97a	1,02a	2,24a
M.O. (M)	1,88b	1,76b	1,33b	0,81ab	



Διάγραμμα 4.5 Μήκος ριζιδίου των σποροφύτων ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 15^η ημέρα.

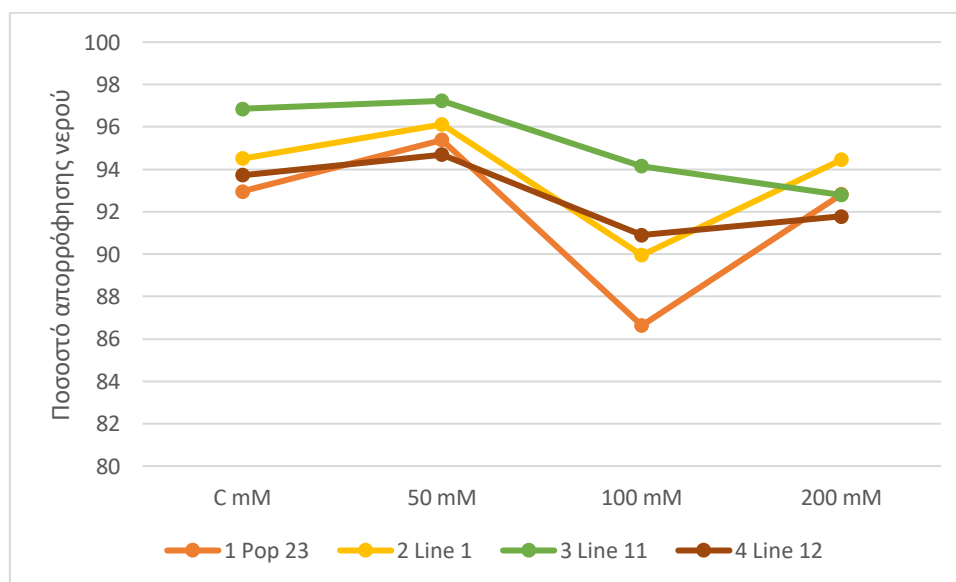
4.4. Περιεχόμενη υγρασία των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης

Σχετικά με την περιεχόμενη υγρασία των σποροφύτων, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.6 και στο Διάγραμμα 4.6, παρατηρήθηκε μια σχετική μείωση με τη σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης μαννιτόλης. Έτσι, τα σπορόφυτα που συμπεριλήφθηκαν ως μάρτυρες (0 mM μαννιτόλης) αλλά και εκείνα που αναπτύχθηκαν παρουσία μικρής συγκέντρωσης μαννιτόλης (50 mM μαννιτόλης) εμφάνισαν μεγαλύτερη ποσοστιαία περιεχόμενη υγρασία, σε αντίθεση με τα σπορόφυτα που υποβλήθηκαν σε υψηλής έντασης υδατική καταπόνηση (100 και 200 mM μαννιτόλης).

Είναι ωστόσο ενδιαφέρον ότι το μικρότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας σημειώθηκε στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (100 mM μαννιτόλης) στο σύνολο των γονοτύπων, με εξαίρεση τη Σειρά 11, η οποία εμφάνισε φθίνουσες τιμές με τη σταδιακά αυξανόμενη ένταση της καταπόνησης. Συνολικά όμως, το μικρότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας αφορά στον Πληθυσμό 23.

Πίνακας 4.6 Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC %) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	92,95a	95,38a	86,63a	92,82a	91,945a
Σειρά 1	94,51a	96,12a	89,95a	94,45a	93,51a
Σειρά 11	96,85a	97,23a	94,15a	92,79a	95,26a
Σειρά 12	93,73a	94,69a	90,90a	91,78a	92,78a
M.O. (M)	94,51a	95,85a	90,41a	92,96a	



Διάγραμμα 4.6 Ποσοστό περιεκτικότητας νερού των σποροφύτων (WC %) την 15^η ημέρα ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

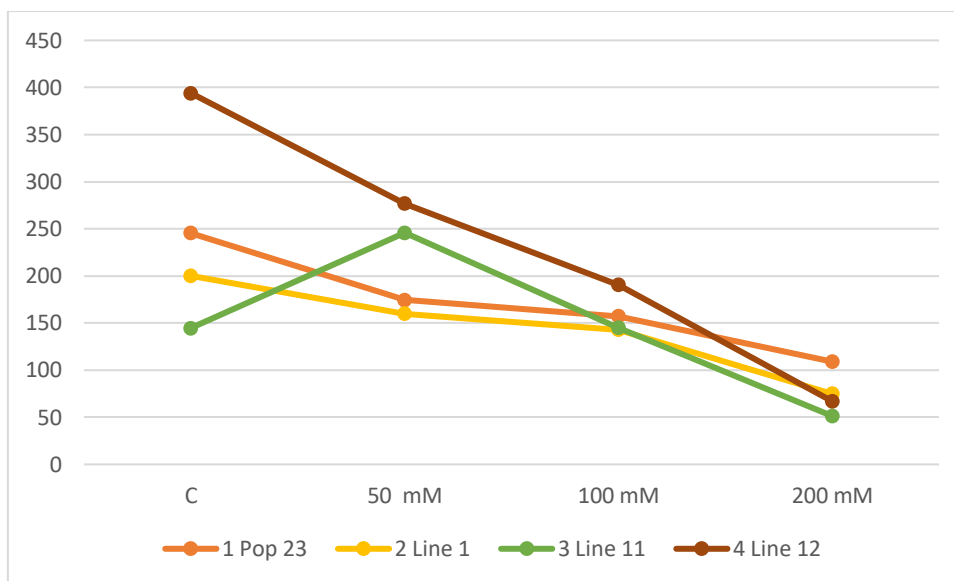
4.5. Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI)

Σύμφωνα με τους Πίνακες 4.7 και 4.8 καθώς και τα αντίστοιχα Διαγράμματα, αναφορικά με το δείκτη SVI, τα σπορόφυτα παρουσίασαν πτωτική τάση με τη σταδιακά αυξανόμενη συγκέντρωση μαννιτόλης. Είναι δε αξιοσημείωτο ότι στην πλειοψηφία των γονοτύπων η υψηλή ένταση καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης) οδήγησε σε δραστική μείωση του SVI, συγκριτικά με τα χαμηλότερα επίπεδα στρες καθώς και τους αντίστοιχους μάρτυρες (0 mM μαννιτόλης). Η ίδια πτωτική τάση στις τιμές του SVI, στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης σημειώθηκε έως και τη 15^η ημέρα στο σύνολο των υπό μελέτη γονοτύπων, όπως επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8.

Μεταξύ των υπό μελέτη γονοτύπων, τις καλύτερες τιμές για τον δείκτη ευρωστίας SVI εμφάνισε η Σειρά 12, τόσο την 7^η όσο και την 15^η ημέρα, παρόλο που στο υψηλότερο επίπεδο καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης) είχε αρκετά χαμηλές τιμές SVI. Αν και σημειώθηκαν μικρές διαφορές μεταξύ των υπολοίπων γονοτύπων, ως λιγότερο εύρωστη αναδείχθηκε η Σειρά 1 τόσο την 7^η όσο και την 15^η ημέρα από την έναρξη της υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 4.7 Δείκτης ευρωστίας (SVI) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 7^η ημέρα.

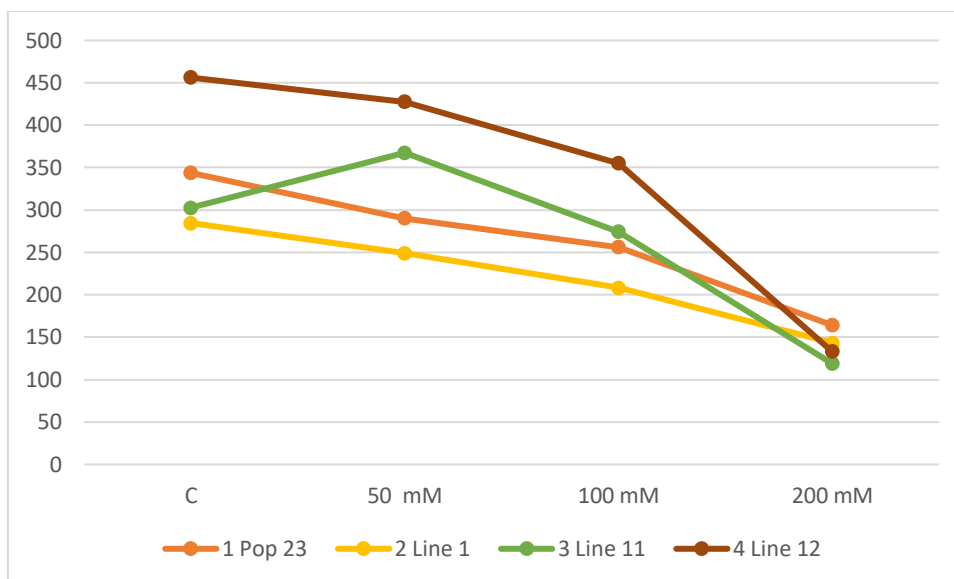
Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	245,38b	174,42b	157,11a	109,04a	171,49b
Σειρά 1	200,13b	159,87b	142,76a	74,81ab	144,39a
Σειρά 11	144,74b	245,83a	144,81a	51,35b	146,68b
Σειρά 12	394,04a	276,67a	190,32a	67,05ab	232,02a
M.O. (M)	246,07b	214,20a	158,75a	75,56ab	



Διάγραμμα 4.7 Δείκτης ευρωστίας (SVI) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 7^η ημέρα.

Πίνακας 4.8 Δείκτης ευρωστίας (SVI) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 15^η ημέρα.

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	343,72b	290,00bc	256,09ab	164,16a	263,49ab
Σειρά 1	284,68b	248,91c	208,20b	143,46a	221,31b
Σειρά 11	302,56b	367,50ab	274,29ab	118,97a	265,83ab
Σειρά 12	456,15a	427,50a	354,93a	133,08a	342,91a
M.O. (M)	346,78b	333,48b	273,38ab	139,92a	



Διάγραμμα 4.8 Δείκτης ευρωστίας (SVI) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 15^η ημέρα.

4.6. Δείκτης ευαισθησίας των γονοτύπων (SSI)

Αναφορικά με τον δείκτη ευαισθησίας SSI, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4.9, σημειώθηκαν αρκετές διαφορές τόσο μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων καταπόνησης όσο και μεταξύ των υπό μελέτη γονοτύπων. Από τα δεδομένα όμως δεν είναι εφικτός ο εντοπισμός συγκεκριμένης τάσης, είτε πτωτικής είτε ανοδικής, ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με το επίπεδο ευαισθησίας των γονοτύπων στις διαφορετικές εντάσεις υδατικής καταπόνησης (50, 100, 200 mM μαννιτόλης).

Πίνακας 4.9 Δείκτης ευαισθησίας (SSI) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 15^η ημέρα.

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης			
	50 mM	100 mM	200 mM
Πληθυσμός 23	4,7	2,2	3,9
Σειρά 1	-1,7	1,2	6,2
Σειρά 11	-4,2	0,5	5,5
Σειρά 12	2,4	0,4	-4,7

4.7. Δείκτης ανθεκτικότητας των γονοτύπων (STI)

Αναφορικά με το δείκτη ανθεκτικότητας STI, τα αποτελέσματα ανέδειξαν την ύπαρξη διαφορών μεταξύ των υπό μελέτη γονοτύπων στα διαφορετικά επίπεδα υδατικής καταπόνησης (Πίνακας 4.10). Είναι δε ενδιαφέρουσα η απόκριση των γονοτύπων στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (100 mM μαννιτόλης), όπου η Σειρά 12 εμφάνισε τη χαμηλότερη τιμή STI, ενώ οι υπόλοιποι γονότυποι παρουσίασαν μέγιστες τιμές STI. Λαμβάνοντας υπόψη την επίδοση των γονοτύπων στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης), σημειώθηκε σαφής υπεροχή της Σειράς 12 σε σχέση με τους υπόλοιπους γονότυπους (Πίνακας 4.10). Αντίθετα, η Σειρά 11 χαρακτηρίστηκε από τη μεγαλύτερη ευαισθησία, η οποία ήταν έκδηλη στα επιμέρους επίπεδα καταπόνησης, σημειώνοντας παράλληλα τα μικρότερα τιμή στην υψηλής έντασης καταπόνηση. Τέλος, είναι αξιοσημείωτο ότι στο μεσαίο επίπεδο υδατικού στρες (100 mM μαννιτόλης) την υψηλότερη ανθεκτικότητα εμφάνισε ο Πληθυσμός 23, εμφανίζοντας σημαντική διαφορά από τους υπόλοιπους γονοτύπους.

Πίνακας 4.10 Δείκτης ανθεκτικότητας (STI) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης) την 15^η ημέρα.

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης			
	50 mM	100 mM	200 mM
Πληθυσμός 23	0,7	2,3	1,0
Σειρά 1	0,6	1,3	0,8
Σειρά 11	0,5	0,7	0,6
Σειρά 12	2,7	0,4	1,9

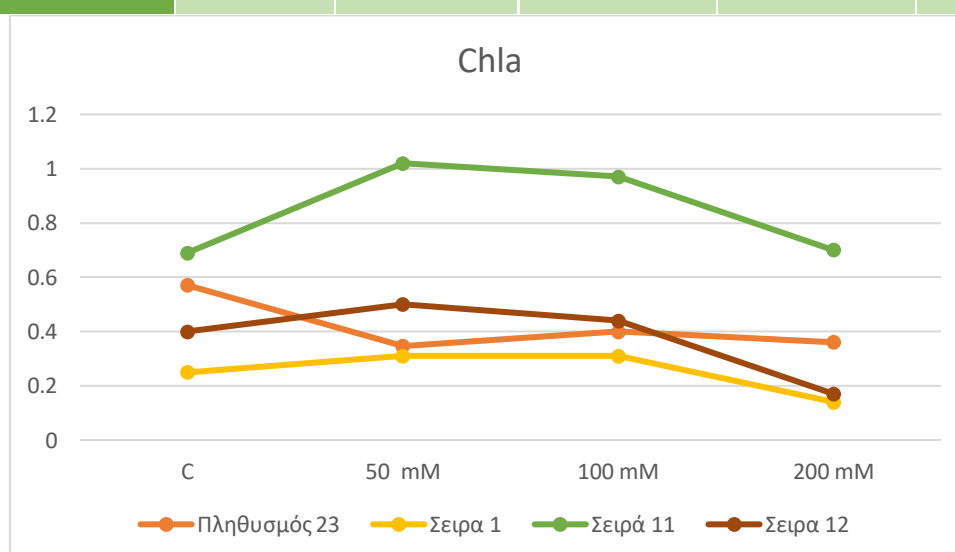
4.8. Περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη a, χλωροφύλλη b και ολική χλωροφύλλη

Στον Πίνακα 4.11 καταγράφονται οι μέσες τιμές που αφορούν την περιεχόμενη συγκέντρωση χλωροφύλλης a στο φυτικό ιστό ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση, ενώ στο Διάγραμμα 4.9 παρουσιάζεται η μεταξύ τους διακύμανση. Οι τέσσερις υπό μελέτη γονότυποι παρουσίασαν διαφορετική απόκριση στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης.

Ο Πληθυσμός 23 διατήρησε, μειωμένη σε σχέση με τον μάρτυρα, αλλά σχεδόν σταθερή στις υπόλοιπες τρεις μεταχειρίσεις συγκέντρωση χλωροφύλλης a. Οι Σειρές 1 και 12 εμφάνισαν μικρή αρχική αύξηση της συγκέντρωσης στο χαμηλό επίπεδο στρες (50 mM μαννιτόλης) και εν συνεχεία πτωτική τάση στο μεσαίο και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (100 και 200 mM μαννιτόλης). Η Σειρά 11 εμφάνισε παρόμοιες περιεκτικότητες στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο στρες (50 και 100 mM μαννιτόλης) καθώς και παρόμοιες αντίστοιχες τιμές μεταξύ του μάρτυρα και υψηλού επιπέδου καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης). Μεταξύ των τεσσάρων γονοτύπων, η Σειρά 11 έχει τη μεγαλύτερη συνολική περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη a, ενώ η Σειρά 1 εμφάνισε τη μικρότερη αντίστοιχη τιμή.

Πίνακας 4.11 Προσδιορισμός χλωροφύλλης a (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Chla mg/gr					
	Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	0,57a	0,34bc	0,40b	0,36b	0,42ab
Σειρά 1	0,25c	0,31c	0,31b	0,14c	0,25c
Σειρά 11	0,69a	1,02a	0,97a	0,70a	0,84a
Σειρά 12	0,40b	0,50b	0,44b	0,17c	0,37b
M.O. (M)	0,47b	0,54b	0,53b	0,34b	

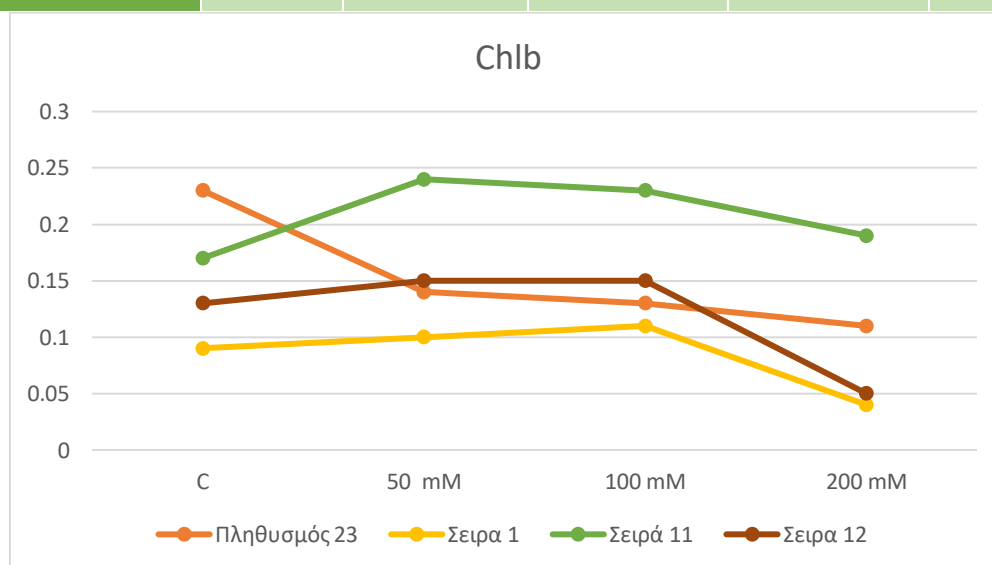


Διάγραμμα 4.9 Ποσότητα ευρισκόμενης χλωροφύλλης a (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Όσον αφορά την περιεχόμενη ποσότητας χλωροφύλλης b, οι τέσσερις γονότυποι εμφάνισαν διαφορετική απόκριση. Ειδικότερα, ο Πληθυσμός 23 παρουσίασε πτωτική τάση με τη σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης μαννιτόλης, ενώ οι υπόλοιπες σειρές εμφάνισαν παρόμοιες αντίστοιχες τιμές στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.12 και το Διάγραμμα 4.10, αρχικά η συγκέντρωση της χλωροφύλλης b σημείωσε μικρή αύξηση στα χαμηλά επίπεδα στρες και, ακολούθως, μειώθηκε δραστικά στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης). Μεταξύ των γονοτύπων, οι Σειρές 1 και 11 εμφάνισαν τη μικρότερη και μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφύλλης b, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.12 Προσδιορισμός χλωροφύλλης b (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Chlb mg/gr					
	Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				M.O. (Γ)
	C	50 mM	100 mM	200 mM	
Πληθυσμός 23	0,23a	0,14b	0,13a	0,11ab	0,15b
Σειρά 1	0,09d	0,1b	0,11a	0,04b	0,08b
Σειρά 11	0,17b	0,24a	0,23a	0,19a	0,21a
Σειρά 12	0,13c	0,15b	0,15a	0,05b	0,12c
M.O. (M)	0,15c	0,16b	0,15a	0,10ab	



Διάγραμμα 4.10 Ποσότητα χλωροφύλλης b (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13 αποτελούν το μέσο όρο των αθροισμάτων των ποσοτήτων χλωροφύλλης a και b ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση. Είναι φανερό ότι η υψηλής έντασης καταπόνηση (200 mM μαννιτόλης) προκάλεσε μείωση της περιεκτικότητας σε ολική χλωροφύλλη, σε σχέση με τους μάρτυρες, στο σύνολο των γονοτύπων, με εξαίρεση τη Σειρά 11. Επιπλέον, παρατηρήθηκε σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων ολικής χλωροφύλλης στους τέσσερις γονοτύπους στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο στρες (50 και 100 mM μαννιτόλης). Μεγαλύτερη ποσότητα ολικής χλωροφύλλης εμφάνισε η Σειρά 11, ακολούθως ο Πληθυσμός 23 και η Σειρά 12 εμφάνισαν παρόμοιες τιμές, ενώ η μικρότερη τιμή αφορούσε στη Σειρά 1.

Πίνακας 4.13 Προσδιορισμός ολικής χλωροφύλλης (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

TChl mg/gr					
	Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	0,8a	0,49bc	0,53b	0,47b	0,57b
Σειρά 1	0,34c	0,42c	0,42b	0,18c	0,34c
Σειρά 11	0,87a	1,26a	1,20a	0,90a	1,06a
Σειρά 12	0,50b	0,66b	0,59b	0,22c	0,50b
M.O. (M)	0,63b	0,71b	0,68b	0,44b	

Στον Πίνακα 4.14 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές για το λόγο χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν μικρές διαφορές μεταξύ των γονοτύπων, με τη Σειρά 11 και τον Πληθυσμό 23 να εμφανίζουν τη μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή λόγου χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b, αντίστοιχα. Σημειώνεται δε ότι ο λόγος των δύο χλωροφυλλών παρουσιάζει ανοδική τάση με τη σταδιακά αυξανόμενη ένταση της υδατικής καταπόνησης (Πίνακας 4.14).

Πίνακας 4.14 Προσδιορισμός λόγου χλωροφύλλης a προς χλωροφύλλη b ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

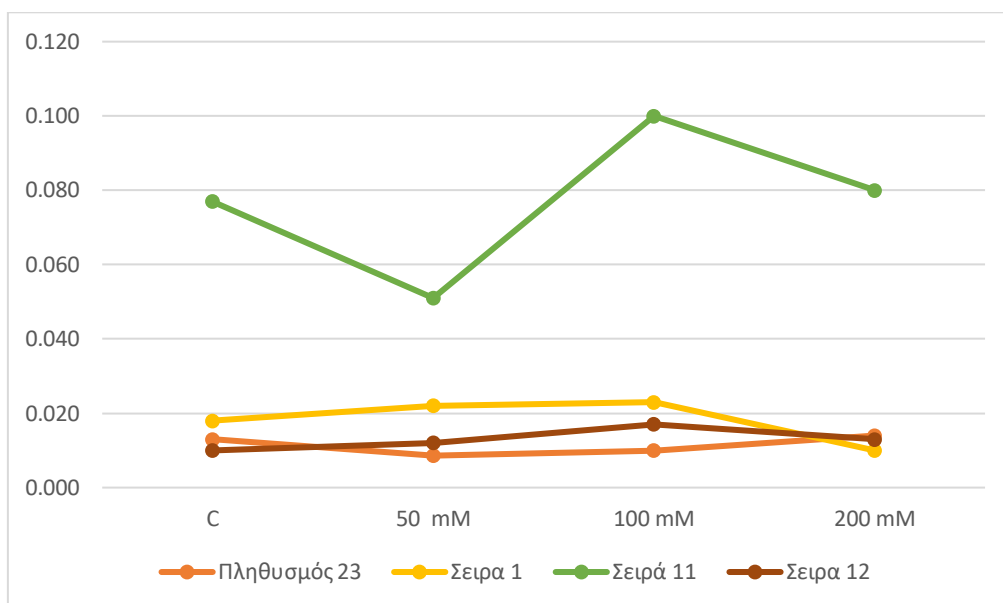
Chla/Chlb mg/gr					
	Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	2,46b	2,47b	3,18b	3,35a	2,86b
Σειρά 1	2,87b	3,00b	2,87b	3,73a	3,12b
Σειρά 11	3,98a	4,25a	4,31a	3,89a	4,11a
Σειρά 12	3,09b	3,23b	2,91b	3,65a	3,22b
M.O. (M)	3,10b	3,24b	3,32ab	3,65a	

4.9. Περιεκτικότητα των φύλλων σε καροτενοειδή

Στον Πίνακα 4.15 και στο Διάγραμμα 4.11 παρουσιάζεται ο μέσος όρος για την περιεκτικότητα των καροτενοειδών ανά γονότυπο και ανά μεταχείριση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τη μικρότερη συγκέντρωση καροτενοειδών εμφάνισε ο Πληθυσμός 23, ενώ τη μεγαλύτερη η Σειρά 11, η οποία παρουσίασε σημαντική διαφορά σε σχέση με τους υπόλοιπους γονοτύπους. Αξίζει δε να αναφερθεί ότι το σύνολο των υπό μελέτη γονοτύπων εμφάνισαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα καροτενοειδών στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (100 mM μαννιτόλης) σε σχέση με τα άλλα δύο επίπεδα στρες αλλά και τους μάρτυρες.

Πίνακας 4.15 Προσδιορισμός καροτενοειδών (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Car mg/gr					
	Συγκέντρωση D-μαννιτόλης				
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	0,013b	0,009c	0,010b	0,014b	0,011b
Σειρά 1	0,018b	0,022b	0,023b	0,010b	0,018b
Σειρά 11	0,077a	0,051a	0,100a	0,080a	0,077a
Σειρά 12	0,010b	0,012bc	0,017b	0,013b	0,013b
M.O. (M)	0,030b	0,023b	0,038b	0,029b	



Διάγραμμα 4.11 Ευρισκόμενη ποσότητα καροτενοειδών (mg/g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

4.10. Περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε προλίνη

Αναφορικά με την περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε προλίνη έπειτα από την στατιστική επεξεργασία πρόκυψε ο Πίνακας 4.16 και το Διάγραμμα 4.12. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η περιεκτικότητα σε προλίνη αυξάνεται σταδιακά αυξανόμενης της συγκέντρωσης μαννιτόλης στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης, γεγονός που αποδίδεται στο ότι η προλίνη συνιστά οσμωτικά ενεργό μεταβολίτη που συσσωρεύεται σε συνθήκες καταπόνησης.

Εξαίρεση στην ανοδική αυτή τάση αποτέλεσε η Σειρά 11, η οποία στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (50 και 100 mM μαννιτόλης) εμφάνισε μειωμένη ποσότητα προλίνης. Ο φυτικός ιστός με την λιγότερη περιεκτικότητα σε προλίνη αφορούσε στη Σειρά 12, ενώ η μεγαλύτερη αντίστοιχη τιμή σημειώθηκε στη Σειρά 1.

Πίνακας 4.16 Προσδιορισμός προλίνης (mg/100g νωπού βάρους) ανά γονότυπο (Γ) και ανά μεταχείριση (0, 50, 100, 200 mM D-μαννιτόλης).

Συγκέντρωση D-μαννιτόλης					
	C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Γ)
Πληθυσμός 23	0,7b	1,0ab	1,0b	1,5b	1,1b
Σειρά 1	1,3b	2,8a	3,0a	2,6a	2,4a
Σειρά 11	2,6a	1,3ab	1,8b	2,8a	2,1a
Σειρά 12	0,7b	0,4b	0,8b	1,7b	0,9b
M.O. (M)	1,3b	1,4b	1,6ab	2,2a	

5. Συζήτηση-Συμπεράσματα

Η ξηρασία αποτελεί το βασικότερο παράγοντα περιορισμού πολλών καλλιεργειών και ειδικότερα εκείνων που εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στην ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας. Αναφορικά με την καλλιέργεια του σουσαμιού, καθώς κρισιμότερα στάδια του βιολογικού κύκλου αποτελούν το φύτρωμα και η περίοδος ανάπτυξης των σποροφύτων, τα στάδια αυτά συστήνονται ως κριτήρια για την αξιόπιστη εκτίμηση της ανεκτικότητας του γενετικού υλικού υπό συνθήκες καταπόνησης. Με δεδομένο τον περιορισμό των υδατικών πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς και τον καίριο ρόλο της επάρκειας νερού για την ανάπτυξη της πλειοψηφίας των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης ποικιλιών με γενετική αντοχή έναντι της υδατικής καταπόνησης. Οι βελτιωμένες ποικιλίες οφείλουν να είναι εφοδιασμένες με μηχανισμούς προσαρμογής ή/και γενετικά εξοπλισμένες με την ικανότητα εγκλιματισμού ώστε να διατηρούν υψηλά επίπεδα μεταβολικής δραστηριότητας, συγκρίσιμα με εκείνα που παρατηρούνται κατά τις περιόδους επικράτησης βέλτιστων συνθηκών, ακόμα και υπό συνθήκες ξηρασίας (Boureima et al, 2011). Μια ουσιαστική προσπάθεια για την ανάπτυξη βελτιωμένων γονοτύπων με ικανότητα αντοχής στην ξηρασία, κατά τη διάρκεια του βλαστικού σταδίου, πραγματοποιήθηκε από τους Kouighat et al., προσφέροντας προοπτικές για περαιτέρω έρευνα σε άλλες φάσεις του βιολογικού κύκλου.

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με στόχο την αξιολόγηση γενετικού υλικού σουσαμιού με γνώμονα την απόκριση σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Το γενετικό υλικό περιλάμβανε έναν αρχικό πληθυσμό, «Πληθυσμός 23», και τρεις σειρές, «Σειρά 1», «Σειρά 11» και «Σειρά 12», που προέκυψαν από αυτόν έπειτα από διαδοχικό κύκλο επιλογών με κριτήριο την υψηλή παραγωγικότητα. Η καταπόνηση επετεύχθη μέσω της εγκατάστασης των φυτών σε τριβλία με διαφορετικές περιεχόμενες συγκεντρώσεις μαννιτόλης (50, 100, 200 mM), ενώ μη καταπονημένα φυτά χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες. Η αξιολόγηση του γενετικού υλικού είχε ως βάση φυσιολογικά και μορφολογικά γνωρίσματα, όπως το ποσοστό βλάστησης των σπόρων, η ανάπτυξη των σποροφύτων, εκφρασμένη σε μήκος ρίζας και μήκος βλαστού, το ποσοστό απορρόφησης νερού των σποροφύτων, ο δείκτης ευρωστίας, ο δείκτης ευαισθησίας και ο δείκτης ανεκτικότητας των γονοτύπων. Επίσης, έγινε εκτίμηση βιοχημικών παραμέτρων που σχετίζονται με την απόκριση των φυτών στην υδατική καταπόνηση,

όπως η περιεκτικότητα των ιστών σε χλωροφύλλη a, b και ολική χλωροφύλλη, σε καροτενοειδή αλλά και στον κύριο συμβατό οσμωλύτη, την προλίνη.

Η διαδικασία της βλάστησης απαρτίζεται από δύο στάδια, που περιλαμβάνουν αρχικά την ενζυμική υδρόλυση του υπάρχοντος υλικού και έπειτα τη δημιουργία νέου ιστού μέσω της υδρόλυσης. Το πρώτο βήμα στη βλάστηση είναι η απορρόφηση νερού και η διόγκωση του σπόρου, ενώ σε δεύτερο στάδιο διεξάγονται οι διεργασίες της κυτταρικής διαίρεσης και της επιμήκυνσης που οδηγούν στην έκπτυξη του ριζιδίου από τον σπόρο. Καθώς το οσμωτικό δυναμικό μειώνεται, συνάμα μειώνεται και η απορρόφηση νερού, με αποτέλεσμα να συντελείται μείωση του ρυθμού κυτταρικών διαιρέσεων. Είναι ωστόσο ευρέως αποδεκτό ότι η έκταση των επιδράσεων της καταπόνησης εξαρτάται από την ένταση αυτής καθώς και τη γονοτυπική απόκριση στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης (Zaefizadeh et al, 2011).

Τα συνολικά αποτελέσματα της παρούσας έρευνας υπογραμμίζουν ότι η υδατική καταπόνηση επηρέασε σημαντικά το σύνολο των παραμέτρων που αξιολογήθηκαν. Η καταπόνηση επέφερε μείωση του δυναμικού βλάστησης των σπόρων στους τέσσερις υπό μελέτη γονοτύπους, με τη «Σειρά 11» και τη «Σειρά 12» να εμφανίζουν δραστηκή μείωση. Τα ευρήματα αυτά συνάδουν με προηγούμενες αναφορές σχετικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο σουσάμι και συγκεκριμένα τις συνθήκες καταπόνησης που δημιουργούνται σε εργαστηριακό περιβάλλον με τη χρήση της μαννιτόλης (Dissanayake et al, 2020). Η εγκατάσταση μιας υδατικής καταπόνησης επιφέρει τροποποιήσεις σε σημαντικές δραστηριότητες του πρωτογενούς μεταβολισμού του φυτού, όπως στην αναπνοή, αλλά και του δευτερογενούς μεταβολισμού, όπως στην παραγωγή φυτοορμονών στους σπόρους, οι οποίοι εξαναγκάζονται να βλαστήσουν υπό συνθήκες υδατικής ανεπάρκειας (McDonald, 2007, Haouari et al, 2013). Στην παρούσα μελέτη, το ποσοστό βλάστησης των σπόρων εμφάνισε ως επί το πλείστον σημαντική μείωση στα υψηλότερα επίπεδα καταπόνησης (100 και 200 mM μαννιτόλης), με τους γονοτύπους να παρουσιάζουν έντονη πτώση του δυναμικού βλάστησης λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα της χρήσης της παραμέτρου αυτής ως κριτήριο για την αξιολόγηση της επίδρασης της ξηρασίας σε γενετικό υλικό σουσαμιού. Στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (50 και 100 mM μαννιτόλης) αναδείχθηκε η υπεροχή της «Σειράς 12», η οποία όμως επηρεάστηκε σημαντικά στο υψηλό επίπεδο υδατικού στρες (200 mM μαννιτόλης). Επίσης, η «Σειρά 11» εμφάνισε ικανοποιητική αντίσταση στην

καταπόνηση έως και το επίπεδο των 100 mM μαννιτόλης, αλλά επηρεάστηκε σημαντικά στο επίπεδο των 200 mM μαννιτόλης. Σε αντίθεση με τους δύο προαναφερθέντες γονοτύπους, τόσο ο «Πληθυσμός 23» όσο και η «Σειρά 1» εμφάνισαν καλή απόκριση μόνο στο υψηλό επίπεδο υδατικής καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης).

Υπάρχουν φυτά στα οποία οι σπόροι που υποβάλλονται σε συνθήκες υδατικής έλλειψης τείνουν να εμφανίζουν ταχύτερη ανάπτυξη του ριζιδίου, συγκριτικά με το υπέργειο μέρος του φυτού, προκειμένου το ριζικό τους σύστημα να φτάσει σε κατώτερα εδαφικά στρώματα προσεγγίζοντας τον υδροφόρο ορίζοντα, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί η υδατική καταπόνηση (Καραμπουρνιώτης, 2012). Στην παρούσα μελέτη, σημειώθηκε σημαντικός περιορισμός της ανάπτυξης του ριζιδίου με τη σταδιακά αυξανόμενη συγκέντρωση μαννιτόλης, επιφέροντας σχεδόν ανάσχεση στην ανάπτυξη ριζικού συστήματος στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης). Αντιστοίχως, το μήκος του βλαστού σημείωσε μικρή μείωση στο χαμηλό και στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (50 και 100 mM μαννιτόλης), συγκριτικά με τα μη καταπονημένα σπορόφυτα, και δραστικό περιορισμό στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης). Η παρατηρηθείσα ανάσχεση της ανάπτυξης της ρίζας έχει αναφερθεί σε πληθώρα μελετών και αποδίδεται κατά κύριο λόγο στη μείωση των κυτταρικών διαιρέσεων (Hussain et al., 2008). Η ξηρασία περιορίζει τις διαδικασίες της κυτταρικής ανάπτυξης, κυρίως λόγω της απώλειας της σπαργής που εμφανίζει το φυτό (Taiz et al., 2006). Επακολούθως, η μείωση των κυτταρικών διαιρέσεων σχετίζεται με την ελάττωση του βάθους της ρίζας που οδηγεί σε δυσχέρεια πρόσληψης νερού, μειωμένη ανάπτυξη του φυτού αλλά και περιορισμό της απόδοσης υπό συνθήκες ξηρασίας (Chimungu et al., 2014). Ωστόσο, σε άλλες μελέτες έχει αναφερθεί ότι κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης, τα πρωταρχικά συμπτώματα που εμφανίζονται σε σύντομο χρονικό διάστημα σχετίζονται με διαταραχές ζωτικών λειτουργιών και κυρίως με τη δομή και λειτουργία του ριζικού συστήματος (Saxena et al, 2002). Με δεδομένο ότι ο περιορισμός της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος υπό συνθήκες ξηρασίας συχνά είναι περισσότερο δραστικός, σε σχέση με την αντίστοιχη ανάπτυξη του βλαστού, ο ρυθμός με τον οποίο αναπτύσσεται η ρίζα αποτελεί βασικό κριτήριο κατά την επιλογή ποικιλιών για καλλιέργεια σε εδάφη που αντιμετωπίζουν έντονη υδατική ανεπάρκεια (Mir et al, 2012).

Περαιτέρω, ο δείκτης ευρωστίας SVI συνιστά καίριο κριτήριο σχετικά με την ικανότητα αντίστασης των γονοτύπων καθώς αποτελεί γνώρισμα που διαμορφώνεται από το δυναμικό βλάστησης των σπόρων και την ανάπτυξη των σποροφύτων (Dhanda et al, 2004). Στην παρούσα μελέτη, ο δείκτης ευρωστίας SVI εμφάνισε πτωτική τάση με την αύξηση της έντασης της καταπόνησης, σημειώνοντας την πλέον δραστική μείωση στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM μαννιτόλης). Ωστόσο, παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των γονοτύπων, με τη «Σειρά 12» να εκδηλώνει τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα έναντι της καταπόνησης, σε αντίθεση με τη «Σειρά 1» που εμφάνισε τις χαμηλότερες τιμές SVI.

Ως προς το δείκτη ανεκτικότητας, στο χαμηλό αλλά και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50, 200 mM μαννιτόλης) έγινε αισθητή η υπεροχή της «Σειράς 12», ενώ τη χειρότερη επίδοση εμφάνισε η «Σειρά 11», η οποία χαρακτηρίστηκε από δραστική μείωση στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των ιστών σε χλωροφύλλη a και χλωροφύλλη b, οι γονότυποι παρουσίασαν μια σχετικά σταθερή συγκέντρωση και στα τρία επίπεδα υδατικής καταπόνησης. Όμοια και ως προς την περιεκτικότητα των ιστών σε καροτενοειδή εμφανίστηκε σταθερότητα μεταξύ των συγκεντρώσεων που αφορούσαν τα τρία επίπεδα καταπόνησης ξηρασίας.

Σχετικά με την περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε προλίνη, που έχει αναδειχθεί ως αξιόπιστο κριτήριο για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας στην ξηρασία, λόγω της λειτουργίας της ως συμβατού ωσμολύτη, εντοπίστηκε μία τάση αύξησής της υπό συνθήκες καταπόνησης. Η παρατηρηθείσα συσσώρευση προλίνης αυξήθηκε εκθετικά αυξανόμενης της συγκέντρωσης μαννιτόλης, παρέχοντας επιπλέον ενδείξεις σχετικά με την ωσμοπροστατευτική δράση της προλίνης (Witt et al., 2012). Στην παρούσα μελέτη, τη μεγαλύτερη συγκέντρωση προλίνης εμφάνισε η «Σειρά 1», ακολουθούμενη από τη «Σειρά 11», ενώ η μικρότερη συγκέντρωση, με σημαντική διαφορά, σημειώθηκε στη «Σειρά 12».

Το σύνολο των αποτελεσμάτων που προέκυψαν υπογραμμίζουν την καταλληλότητα της συγκεκριμένης μεθόδου για την ανάδειξη της γενετικής παραλλακτικότητας σχετικά με το δυναμικό βλάστησης και ανάπτυξης των σποροφύτων υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Επιπροσθέτως, παρά το μικρό εύρος γονοτύπων σουσαμιού που εξετάστηκαν, διαπιστώθηκε η ύπαρξη γενετικής παραλλακτικότητας μεταξύ των

υπό μελέτη γονοτύπων σχετικά με γνωρίσματα που σχετίζονται με την αντοχή στην καταπόνηση ξηρασίας. Έτσι, αναδείχθηκε η υπεροχή της «Σειράς 12» ως προς την ανθεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης. Βάσει των ανωτέρω, η «Σειρά 12» δύναται να χρησιμοποιηθεί ως γενετικό υλικό για περαιτέρω βελτιωτικές διαδικασίες αλλά και για συγκρίσεις με πρόσθετο γενετικό υλικό με στόχο την εύρεση γονοτύπων που εμφανίζουν αυξημένη αντοχή σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια.

6. Βιβλιογραφία

Διεθνής Βιβλιογραφία

1. Andargie M., Vinas M., Rathgeb A., Möller E., and Karlovsky P. (2021). Lignans of Sesame (*Sesamum Indicum* L.): A Comprehensive Review. *Molecules* Vol. 26, No. 4.
2. Anilakumar K. R., Pal A., Khanum F. & Bawa A. S. (2010). Nutritional, Medicinal and Industrial Uses of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Seeds - An Overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 75, No. 4, pp. 159-168
3. Bahrami H., Razmjoo J., & Jafari A. O. (2012). Effect of drought stress on germination and seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of AgriScience*, Vol. 2, No. 5, pp. 423–428.
4. Boureima, S., Eyletters, M., Diouf, M., Diop, T. A., & Damme, P. V. (2011). Sensitivity of Seed Germination and Seedling Radicle Growth to Drought Stress in Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Research Journal of Environmental Sciences*, Vol. 5, No.6, pp. 557–564.
5. Chimungu J.G., Brown K.M. & Lynch J.P. (2014) Reduced root cortical cell file number improves drought tolerance in maize. *Plant Physiol* Vol. 166, pp. 1943–1955.
6. Dhanda S. S., Sethi G. S., & Behl R. K. (2004). Indices of Drought Tolerance in Wheat Genotypes at Early Stages of Plant Growth. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Vol. 190, No. 1, pp. 6–12.
7. Dissanayake, I. a. J. K., Ranwala, S. M. W., & Perera, S. S. N. (2020). Germination and seedling growth responses of Sri Lankan grown Sesame/*Thala* (*Sesamum indicum* L.) for simulated drought conditions. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, Vol. 47, No. 4, pp. 479–490.
8. Fahad S., Bajwa A. A., Nazir U., Anjum S. A., Farooq A., Zohaib A., Sadia S., Nasim W., Adkins S., Saud S., Ihsan M. Z., Alharby H., Wu C., Wang D., & Huang J. (2017). Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 8.
9. Ghosh U. K., Islam M. N., Siddiqui M. N., & Khan M. A. R. (2021). Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: a review of potential mechanism. *Plant Signaling & Behavior*, Vol. 16, No. 8.

10. Ghotbzadeh Kermani, S., Saeidi, G., Sabzalian, M. R., & Gianinetti, A. (2019). Drought stress influenced sesamin and sesamol content and polyphenolic components in sesame (*Sesamum indicum* L.) populations with contrasting seed coat colors. *Food Chemistry*, Vol. 289, pp. 360–368.
11. Haouari C.C., Nasraoui A.H., Carrayol, E., Gouia H. (2013) Variations in Amylase and-Glycosidase Activities in Two Genotypes of Wheat under NaCl Salinity Stress. *Afr. J. Agric. Res.* Vol. 8, pp. 2038–2043.
12. Hopkins W. & Huner N. (2020). Φυσιολογία Φυτών σελ. 369-373 & 381-386
13. Hussain M., Malik M. A., Farooq M., Ashraf M. Y. & Cheema M. A. (2008). Improving Drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *J. Agron. Crop Sci.* Vol. 194, pp. 193–199.
14. Kapoor S., Parmar S. S., Yadav, M., Chaudhary D., Sainger M., Jaiwal R., & Jaiwal P. K. (2015). Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Methods in Molecular Biology* (Clifton, N.J.), Vol. 1224, pp. 37–45.
15. Kouighat M., Hanine H., El Fechtali M., & Nabloussi A. (2021). First Report of Sesame Mutants Tolerant to Severe Drought Stress during Germination and Early Seedling Growth Stages. *Plants*, Vol. 10, No. 6, pp. 1166.
16. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., & Becker, D. F. (2013). Proline Mechanisms of Stress Survival. *Antioxidants & Redox Signaling*, Vol. 19, No. 9, pp. 998–1011.
17. McDonald M.B. (2007) *Physiology of Seed Germination*; The Ohio State University: Columbus, OH, USA.
18. Mili A., Das S., Nandakumar K., & Lobo R. (2021). A comprehensive review on *Sesamum indicum* L.: Botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects. *Journal of Ethnopharmacology*, Vol. 281.
19. Mir R. R., Zaman-Allah M., Sreenivasulu N., Trethowan R., & Varshney R. K. (2012). Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik*, Vol. 125, No. 4, pp. 625–645.
20. Morris JB (2002) Food, industrial, nutraceutical and pharmaceutical uses of sesame genetic resources. In: Janick J, Whipkey A (eds) *Trends in new crops and new uses*. ASHS, Alexandria, VA, pp. 153–156.
21. Mundim F. M., & Pringle E. G. (2018). Whole-Plant Metabolic Allocation Under Water Stress. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 9.

22. Nayar N. M. & Mehra K. L. (1970). Sesame: Its Uses, Botany, Cytogenetics, and Origin. *Economic Botany*, Vol. 24, No.1, pp. 20-31.
23. Ozturk M., Turkyilmaz Unal B., García-Caparrós P., Khursheed A., Gul A. & Hasanuzzaman M. (2021). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia Plantarum*, Vol. 172, No. 2, pp. 1321–1335.
24. Saxena D., Flores S., & Stotzky G. (2002). Bt toxin is released in root exudates from 12 transgenic corn hybrids representing three transformation events. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 34, No.1, pp. 133–137.
25. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., & Murphy A. (2015). Plant physiology and development. *Plant Physiology and Development.*, Ed. 6.
26. Wei P., Zhao F., Wang Z., Wang Q., Chai X., Hou G., & Meng Q. (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.
27. Witt S., Galicia L., Lisek J., Cairns J., Tiessen A., Araus J. L., Palacios-Rojas N., & Fernie A. R. (2012). Metabolic and Phenotypic Responses of Greenhouse-Grown Maize Hybrids to Experimentally Controlled Drought Stress. *Molecular Plant*, Vol. 5, No. 2, pp. 401–417.
28. Yousefzadeh Najafabadi, M., & Ehsanzadeh, P. (2017). Photosynthetic and antioxidative upregulation in drought-stressed sesame (*Sesamum indicum* L.) subjected to foliar-applied salicylic acid. *Photosynthetica*, Vol. 55, No.4, pp. 611–622.
29. Zech-Matterne V., Tengberg M., & Van Andringa W. (2015). *Sesamum indicum* L. (sesame) in 2nd century bc Pompeii, southwest Italy, and a review of early sesame finds in Asia and Europe. *Vegetation History and Archaeobotany*, Vol. 24, No. 6, pp. 673–681.

Ελληνική Βιβλιογραφία

30. Καραμπουρνιώτης Γ., Λιακόπουλος Γ., Νικόπουλος Δ. (2012). Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών σελ.
31. Παπακόστα – Τασοπούλου Δ. (2013). Βιομηχανικά φυτά σελ.
32. Γσουτσούδη 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, σελ. 118.