



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Επίδραση της καταπόνησης ξηρασίας σε πληθυσμούς ρεβιθιού (*Cicer arietinum* L.) στη φάση της βλάστησης»

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΠΑΠΑΔΟΜΑΝΩΛΑΚΗΣ



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

ΒΟΛΟΣ, 2023

**«Επίδραση της καταπόνησης ξηρασίας σε πληθυσμούς ρεβιθιού (*Cicer arietinum* L.) στη φάση της βλάστησης»**

**«Effect of drought stress on chickpea (*Cicer arietinum* L.) populations during germination»**

Στυλιανός Παπαδομανωλάκης

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

1. Παυλή Ουρανία, Αναπλ. Καθηγήτρια, Γενετική Βελτίωση Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2. Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. Δημήτριος Βλαχοστέργιος, Κύριος Ερευνητής, Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών, ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ

## Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου και επιβλέπων Καθηγητή της παρούσας εργασίας, κύριο Αβραάμ Χα, για την παροχή των πόρων και του χώρου του Εργαστηρίου Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, όπου έλαβε χώρα το πείραμα της παρούσας εργασίας.

Πολλές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω και στην καθηγήτρια μου κυρία Ουρανία Παυλή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, για την μετέπειτα καθοδήγηση της σε πολλά θέματα μέχρι το πέρας της εργασίας αυτής.

Πολλά θερμά ευχαριστώ χρωστάω και στο Διδάκτορα, κ. Αβραάμ Κοσκοσίδη, με τον οποίο συνεργάστηκα κατά το πειραματικό μέρος της διατριβής μου, καθώς χωρίς την καθοδήγηση και την βοήθειά του η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θα ήταν αδύνατη.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Δαναλάτο, Καθηγητή στο Τμήμα ΓΦΠΑΠ, καθώς και τον κ. Δημήτριο Βλαχοστέργιο, Ερευνητή στο IB & ΚΦ του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, για τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφεραν, οι οποίες με βοήθησαν να ολοκληρώσω την εργασία μου αυτήν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους κοντινούς μου ανθρώπους για την υπομονή τους όλον αυτόν τον καιρό.

## Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	3
Κατάλογος Εικόνων .....	6
Κατάλογος Πινάκων .....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	2
1.1 Κλιματική Αλλαγή.....	2
1.1.1 Αίτια.....	2
1.1.2 Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής.....	4
1.2 Το είδος <i>Cicer arietinum</i> L. ....	7
1.2.1. Καταγωγή .....	7
1.2.2. Χρήσεις .....	7
1.2.3. Παγκόσμια Παραγωγή .....	8
1.2.4. Χαρακτηριστικά του είδους .....	8
1.3 Η καλλιέργεια του ρεβιθιού.....	9
1.3.1. Προετοιμασία εδάφους και εγκατάσταση καλλιέργειας.....	9
1.3.2. Άρδευση .....	10
1.3.3. Λίπανση .....	11
1.3.4. Ζιζανιοκτονία.....	12
1.3.5. Συγκομιδή.....	12
1.4 Υδατική καταπόνηση.....	13
1.5 Συμπεριφορά της καλλιέργειας στην υδατική ανεπάρκεια.....	14
1.6 Σκοπός της μελέτης .....	15
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	16
2.1 Γενετικό υλικό .....	16
2.2 Μεταχειρίσεις υδατικής καταπόνησης.....	17
2.3 Μετρήσεις για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας .....	20
2.4 Στατιστική ανάλυση.....	25
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	26
3.1 Ποσοστό βλάστησης.....	26

3.2	Μήκος ρίζας.....	30
3.3	Μήκος Βλαστού.....	33
3.4	Ποσοστό Υγρασίας του Σπόρου .....	35
3.5	Ικανότητα Απορρόφησης Νερού.....	36
3.6	Δείκτης Ευρωστίας .....	38
3.7	Συσχετίσεις μεταξύ των γνωρισμάτων.....	40
4.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	42
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	47
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	48

## Κατάλογος Εικόνων

---

Εικόνα 1.Καρπός ρεβιθιού. ....	9
Εικόνα 2: Μέτρηση ποσότητας PEG 6000 με εργαστηριακό ζυγό.....	18
Εικόνα 3: Δημιουργία διαλύματος PEG 6000, υπό συνθήκες θέρμανσης και μηχανικής ανάδευσης.....	19
Εικόνα 4: Απόθεση Σπόρων μέσα σε κουτιά με διηθητικό χαρτί ποτισμένο με μυκητοκτόνο και PEG 6000. ....	20
Εικόνα 5: Τοποθέτηση σπόρων σε εργαστηριακό ξηραντήρα.....	23
Εικόνα 6: Διαδικασία μέτρησης του μήκους ρίζας (Α) και βλαστού (Β) με χρήση χάρακα. ....	24
Εικόνα 7: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού βλάστησης που χαρακτηρίζεται αντίστοιχα ως χαμηλό (Α), μεσαίο (Β) και υψηλό (Γ), 2 εβδομάδες από την εγκατάσταση του πειράματος. ....	29
Εικόνα 8: Συγκριτική απεικόνιση γενοτύπου που εμφάνισε μεγάλη (Α) και μικρή (Β) ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης, αντίστοιχα. ....	40

## Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 1: Παγκόσμια παραγωγή ρεβιθιού (FAOSTAT 2014). .....	8
Πίνακας 2: Γενετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα αξιολόγησης της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης. ....	17
Πίνακας 3: Βάρος ενός σπόρου για τους γενοτύπους που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα αξιολόγησης της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης. ....	22
Πίνακας 4: Τελική βλάστηση (%) των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις. ....	26
Πίνακας 5: Τελικό μήκος ρίζας(cm) των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις. ....	30
Πίνακας 6: Τελικό μήκος βλαστού (cm) του κάθε γενοτύπου στην κάθε μεταχείριση και μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους. ....	33
Πίνακας 7: Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις. ....	35
Πίνακας 8: Ικανότητα απορρόφησης νερού των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις. ....	37
Πίνακας 9: Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων για κάθε γενότυπο στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις. ....	39
Πίνακας 10: Συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών που μελετήθηκαν στο πλαίσιο εκτίμησης της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης. ....	41

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του σύγχρονου κόσμου καθώς είναι ένας από τους σημαντικότερους περιοριστικούς παράγοντες των καλλιεργειών παγκοσμίως. Η κλιματική αλλαγή έχει προκληθεί κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες επιφέροντας πληθώρα αρνητικών επιπτώσεων σε φύση και άνθρωπο. Κυριότερη επίπτωση του φαινομένου είναι οι ξηροθερμικές συνθήκες και οι μακρές περίοδοι ξηρασίας, και γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο το φαινόμενο προσελκύει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παγκοσμίως. Το ρεβίθι αποτελεί ένα πολυχρηστικό είδος, το οποίο φέρει πολλές δυνατότητες που εκτείνονται από τη διατροφή ανθρώπου και ζώων έως και τον εμπλουτισμό των εδαφών με άζωτο, ως μέλος της οικογένειας των ψυχανθών φυτών. Πέραν των πλεονεκτημάτων που σχετίζονται με τις χρήσεις και προοπτικές αξιοποίησης της καλλιέργειας, το ρεβίθι χαρακτηρίζεται επιπλέον από μεγάλη αντοχή σε ξηροθερμικές συνθήκες σε σχέση με τα υπόλοιπα ψυχανθή. Βάσει των ανωτέρω, το ρεβίθι αποτελεί σημαντικότερο υποψήφιο είδος προς καλλιέργεια, ιδιαίτερα ενόψει των επιπτώσεων που φέρει το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η εκτίμηση της ανεκτικότητας γενετικού υλικού ρεβιθίου, εγχώριου και εισαγόμενου, έναντι της υδατικής καταπόνησης. Για το σκοπό αυτό, 10 γενότυποι ρεβιθίου υποβλήθηκαν σε υδατική καταπόνηση, η οποία επετεύχθη μέσω της χρήσης πολυαιθυλενικής γλυκόλης σε 3 διαφορετικά επίπεδα: 0 % (μάρτυρες), 30 % και 50 % PEG για χρονικό διάστημα 15 ημερών. Η αξιολόγηση της ανεκτικότητας βασίστηκε σε χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη βλάστηση και ανάπτυξη των σποροφύτων, όπως το ποσοστό βλάστησης, η περιεχόμενη υγρασία και η ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων, το μήκος ρίζας και βλαστού και ο δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων. Τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης κατέδειξαν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών τόσο μεταξύ των επιπέδων καταπόνησης όσο και μεταξύ των γενοτύπων. Όπως αναμενόταν, η αύξηση της συγκέντρωσης PEG συνοδεύτηκε από αντίστοιχη μείωση της ικανότητας βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης των σποροφύτων. Μεταξύ των γενοτύπων, οι ποικιλίες M-10544, E-229 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος διακρίθηκαν για την ανοχή τους στην υδατική καταπόνηση, υποδεικνύοντας ότι αποτελούν υποσχόμενο γενετικό υλικό που χρήζει περαιτέρω μελέτης για πιθανή αξιοποίησή του άμεσα για καλλιέργεια ή αξιοποίηση σε βελτιωτικά προγράμματα.



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Κλιματική Αλλαγή

Ένα μείζον πρόβλημα και ταυτόχρονα μέγιστης σημασίας που αφορά το σύνολο του πληθυσμού του πλανήτη μας είναι η Κλιματική Αλλαγή. Με τον όρο αυτόν εννοούμε τη μεταβολή του κλίματος παγκοσμίως, εξέλιξη που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διακυμάνσεις της μέσης κατάστασης του κλίματος. Στις επόμενες ενότητες, προσεγγίζεται η ανάλυση του ζητήματος της Κλιματικής Αλλαγής ως προς τα αίτια και της επιπτώσεις([climate-pact.europa.eu](http://climate-pact.europa.eu)).

### 1.1.1 Αίτια

Βασική αιτία της Κλιματικής Αλλαγής αποτελεί η ανθρώπινη δραστηριότητα, μέσω της οποίας προστίθενται στην ατμόσφαιρα του πλανήτη τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στις ήδη υπάρχουσες. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, την δεκαετία 2011-2020, ο υδράργυρος έφτασε σε πρωτοφανή επίπεδα. Συγκεκριμένα, το 2019 η μέση θερμοκρασία του πλανήτη ξεπέρασε τα προβιομηχανικά επίπεδα κατά 1,1 °C.

Βασικότατο αίτιο της Κλιματικής Αλλαγής αποτελεί το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, μέρος του συνόλου των αερίων της ατμόσφαιρας λειτουργούν όπως το γυαλί σε ένα θερμοκήπιο καθώς παγιδεύεται η ηλιακή θερμότητα, χωρίς να γίνεται διάχυσή της, με αποτέλεσμα την σταδιακή υπερθέρμανση του πλανήτη. Στη φύση απαντώνται πολλά από τα υπεύθυνα αέρια, η ανθρώπινη δραστηριότητα ωστόσο αυξάνει την συγκέντρωση ορισμένων, με κυριότερα τα ακόλουθα:

1. Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>)
2. Μεθάνιο
3. Υποξείδιο του Αζώτου
4. Φθοριούχα αέρια

Μεταξύ των υπεύθυνων αερίων, το CO<sub>2</sub> που παράγεται κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες έχει πρωτεύοντα ρόλο στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Το 2020 σημειώθηκε ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, της τάξης του 48 %, σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, προ του 1750, ενώ μέρος των υπολοίπων αερίων παράγονται σε μικρότερες ποσότητες. Το μεθάνιο είναι πιο ισχυρό αέριο από το CO<sub>2</sub>, εμφανίζοντας όμως αρκετά μικρότερο χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα. Το υποξείδιο του αζώτου από την άλλη είναι αέριο με μεγάλο χρόνο ζωής (όπως το CO<sub>2</sub>), εμφανίζοντας δυνατότητα συσσώρευσης στην ατμόσφαιρα για δεκαετίες ή και για αιώνες.

Πιο συγκεκριμένα η καύση, κυριότερα, ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο για την παραγωγή ενέργειας παράγουν CO<sub>2</sub> και υποξείδιο του αζώτου.

Η αποψίλωση των τροπικών δασών είναι ένας πρόσθετος παράγοντας αύξησης της υπερθέρμανσης του πλανήτη λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δέντρα επιδρούν θετικά στη ρύθμιση του κλίματος, απορροφώντας το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub>. Σε αντίθετη περίπτωση, η υλοτόμηση, οδηγεί σε απελευθέρωση ποσοτήτων άνθρακα στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στην περαιτέρω επιβάρυνσή της.

Η εντατική κτηνοτροφία έχει ως αποτέλεσμα την εκτροφή μεγάλου αριθμού κτηνοτροφικών ζώων, όπως πρόβατα και αγελάδες, τα οποία απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες μεθανίου στην ατμόσφαιρα κατά την πέψη τους.

Επίσης, ένας πρόσθετος παράγοντας που επιβαρύνει την ατμόσφαιρα είναι η χρήση λιπασμάτων, και δη αζωτούχων, τα οποία αυξάνουν τις εκπομπές του Υποξειδίου του Αζώτου.

Τα φθοριούχα αέρια παράγονται από εξοπλισμό και προϊόντα κάνουν χρήση τους, με αποτέλεσμα οι εν λόγω εκπομπές να συμβάλλουν σε δραστική αύξηση της θερμοκρασίας, έως και 23.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή που προκαλείται από το διοξείδιο του άνθρακα.

### 1.1.2 Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής

Οι επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής είναι πολλαπλές και εκτείνονται από την καθημερινότητα και την ανθρώπινη ζωή έως και τον πλανήτη γενικότερα. Σε κοινωνικό επίπεδο, η Κλιματική Αλλαγή μπορεί να επιφέρει κινδύνους σε επίπεδο καθημερινότητας αλλά και στις επιχειρήσεις, με τους κινδύνους να σχετίζονται με την κατανάλωση και τα αποθέματα ενέργειας. Επιπλέον, μέσω αυτής προκύπτουν απειλές σε διάφορα είδη καθώς και εδαφικές απειλές σχετικά με τις επιδράσεις στις διαφορετικές περιοχές του πλανήτη και εν γένει τη φύση στο σύνολό της.

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής σχετίζονται με τη διατάραξη των φυσικών οικοσυστημάτων, επιφέροντας απειλές ή/και κίνδυνο εξαφάνισης πολλαπλών ειδών της χλωρίδας και πανίδας. Σύμφωνα με αναφορές, η βιοποικιλότητα ανταποκρίνεται προς το παρόν στην Κλιματική Αλλαγή. Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν διάφορες αλλαγές σε πολλούς παράγοντες της χλωρίδας και της πανίδας όπως, στη συμπεριφορά και στον κύκλο ζωής, στην αφθονία και στην κατανομή των ειδών, στη σύνθεση της κοινότητας, στη δομή των οικοτόπων και στις διαδικασίες των οικοσυστημάτων. Η Κλιματική Αλλαγή δημιουργεί περαιτέρω έμμεσες επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, μέσω των μεταβολών στη χρήση της γης και άλλων πόρων. Οι επιπτώσεις αυτές είναι δυνητικά σημαντικότερες και πιο επικίνδυνες από τις άμεσες επιπτώσεις, λόγω της κλίμακας και της ταχύτητας εμφάνισής τους.

Ειδικότερα, οι κίνδυνοι που δημιουργεί η Κλιματική Αλλαγή σχετίζονται με τον κατακερματισμό και την απώλεια οικοτόπων, τη ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους καθώς και την εξάπλωση των χωροκατακτητικών ειδών. Η Κλιματική Αλλαγή θα επιφέρει θέρμανση της επιφάνειας της θάλασσας, αλλαγή του pH των ωκεανών καθώς επίσης και αλλαγές στα ρεύματα και στα χαρακτηριστικά των ανέμων τα οποία, θα μεταβάλουν σταδιακά τη φυσική και βιολογική σύνθεση των ωκεανών. Η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών μπορεί να συμβάλλει στην επέκταση διαφόρων ειδών σε περιοχές όπου δε θα ήταν εφικτή η επιβίωσή τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η αλλαγή του pH των ωκεανών θα έχει αντίκτυπο σε πολλούς οργανισμούς που παράγουν διαφόρων ειδών χημικές ουσίες, όπως το ανθρακικό ασβέστιο. Οι αλλαγές αυτές θα έχουν σημαντικότερες επιπτώσεις τόσο στα παράκτια όσο και στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Η

θερμοκρασία του νερού αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες για την υγεία των υδρόβιων οικοσυστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι οργανισμοί αυτοί έχουν ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος που επιτρέπει την επιβίωση και αναπαραγωγή τους. Οι μεταβολές του κλίματος, όπως αναφέρθηκε, έχουν οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων ποταμών και λιμνών καθώς επίσης έχουν μειώσει την παγοκάλυψη, επηρεάζοντας έτσι την ποιότητα και τα οικοσυστήματα των γλυκών υδάτων.

Σημαντικό είναι και το γεγονός ότι η κλιματική αλλαγή προβλέπεται ότι θα οδηγήσει σε αύξηση του επιπέδου των βροχοπτώσεων σε πολλές περιοχές παγκοσμίως. Η αύξηση του επιπέδου των βροχοπτώσεων για μεγάλες περιόδους μπορεί να οδηγήσει σε υπερχειλίση ποταμών, ενώ οι σύντομες, έντονες νεροποντές συχνά προκαλούν πλημμύρες κατάκλυσης. Οι έντονες καταιγίδες αναμένεται να πολλαπλασιαστούν και να μεγαλώσουν σε ένταση, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις πρόκειται επίσης να αυξηθεί η συχνότητα των αιφνίδιων πλημμυρών. Με τη σταδιακή αύξηση των θερμοκρασιών, τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων (ένταση-συχνότητα) μεταβάλλονται, η εξάτμιση των υδάτων γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη, οι παγετώνες υποχωρούν και η στάθμη της θάλασσας φτάνει σε υψηλότερα επίπεδα. Το σύνολο των ανωτέρω παραγόντων επιδρά δυσμενώς στη διαθεσιμότητα γλυκού νερού. Η αύξηση της έντασης και της συχνότητας της ξηρασίας και η άνοδος της θερμοκρασίας των υδάτων πρόκειται να υποβαθμίσει την ποιότητα των υδάτων. Οι συνθήκες αυτές οδηγούν σε σταδιακή επέκταση μη υγιών φυκών και βακτηρίων, η οποία θα εντείνει περαιτέρω το πρόβλημα της λειψυδρίας που προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Η αύξηση των αιφνίδιων ακραίων βροχοπτώσεων αναμένεται να επηρεάσει την ποιότητα του διαθέσιμου γλυκού νερού, καθώς τα όμβρια ύδατα θα οδηγήσουν σε είσοδο ακαθάριστων λυμάτων στα επιφανειακά ύδατα. Οι ποταμοί της Ευρώπης πηγάζουν στην πλειοψηφία τους από ορεινές περιοχές και το 40% των γλυκών υδάτων της Ευρώπης προέρχεται από τις Άλπεις. Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται ότι συμβάλλει σε διάβρωση του εδάφους, μείωση της οργανικής ύλης, απώλεια βιοποικιλότητας του εδάφους, κατολισθήσεις, απερίμωση και αύξηση της έντασης και συχνότητας των πλημμυρών. Οι ακραίες βροχοπτώσεις, η ταχεία τήξη του πάγου, οι υψηλοί όγκοι ροής των ποταμών καθώς και οι παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας συνιστούν κλιματικά φαινόμενα που συμβάλλουν με διαφορετικούς τρόπους σε υποβάθμιση του εδάφους. Η αποψίλωση των δασών επίσης έχει σημαντικό ρόλο στην

διάλυση της σύστασης του εδάφους καθώς αυτό παύει να συγκρατείται από τις ρίζες των δέντρων.

Η κλιματική κρίση έχει ανεβάσει τον υδράργυρο του πλανήτη σε πρωτοφανή επίπεδα, με αποτέλεσμα να επέρχονται συχνότερα ακραίες συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (καύσωνες). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες συχνά οδηγούν σε μεταβολή της γεωγραφικής κατανομής των κλιματικών ζωνών, με τις μεταβολές να επιδρούν στο φυσικό περιβάλλον αλλά και την κατανομή μεγάλου μέρους χλωρίδας και πανίδας. Η άνοδος της θερμοκρασίας σχετίζεται επίσης με μεταβολές στη συμπεριφορά και στον κύκλο ζωής των ειδών της χλωρίδας και πανίδας. Περαιτέρω, συμβάλλουν σε μείωση της παραγωγής, απειλώντας τη βιωσιμότητα της γεωργίας και κτηνοτροφίας, και πλήττουν την ικανότητα των οικοσυστημάτων να παρέχουν βασικές υπηρεσίες και αγαθά. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντείνουν την εξάτμιση των υδάτων, γεγονός που σε συνδυασμό με την έλλειψη βροχοπτώσεων σε περιοχές που διαχρονικά χαρακτηρίζονταν από ικανοποιητικό ρυθμό βροχοπτώσεων, αυξάνει τον κίνδυνο έντονων περιόδων ξηρασίας.

Λόγω της Κλιματικής Αλλαγής, σε πολλές ευρωπαϊκές περιφέρειες παρατηρούνται ήδη εντονότερες και μεγαλύτερης διάρκειας και συχνότητας ξηρασίες. Ξηρασία είναι το φαινόμενο κατά το οποίο υπάρχει μεγάλο έως και ολοκληρωτικό έλλειμμα νερού σε μια περιοχή. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο συνδυασμό έλλειψης βροχοπτώσεων και αύξησης της εξάτμισης των υδάτων (λόγω αυξημένης θερμοκρασίας). Η ξηρασία είναι ένα από τα φαινόμενα που προάγουν την χαμηλή στάθμη των ποταμών και των υπόγειων υδάτων, ακόμα παρεμποδίζει την ανάπτυξη των καλλιεργειών καθώς κάνουν το περιβάλλον πιο αφιλόξενο για τους οργανισμούς στους οποίους το νερό είναι ζωτικής σημασίας και τροφοδοτούν τις δασικές πυρκαγιές. Τα φαινόμενα των ακραίων ξηρασιών γίνονται όλο και συχνότερα στην Ευρώπη, ενώ αυξάνονται και οι ζημιές που αυτά προκαλούν. Αν η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξηθεί κατά 3° C, προβλέπεται ότι οι περίοδοι ξηρασίας θα διπλασιαστούν και οι επιπτώσεις που αποδίδονται στην ξηρασία στην Ευρώπη θα αυξηθούν εξίσου, με τις προβλέψεις να αναφέρονται σε πλέον δραστικές συνέπειες στις περιοχές της Μεσογείου και του Ατλαντικού, όπου οι παρατεταμένες και σταδιακά συχνότερες περίοδοι ξηρασίας θα οδηγήσουν με τη σειρά τους σε κλιμάκωση των δασικών πυρκαγιών, ιδίως στην περιοχή της Μεσογείου.

## 1.2 Το είδος *Cicer arietinum* L.

Το ρεβίθι αποτελεί ένα είδος που φέρει πολλές χρήσεις και καλλιεργείται σε έναν μεγάλο αριθμό χωρών της Μεσογείου. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της καλλιέργειας αυτής, είναι η ικανότητά της να προσαρμόζεται με σχετική ευκολία σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

### 1.2.1. Καταγωγή

Το ρεβίθι, με επιστημονική ονομασία *Cicer arietinum* L., συναντάται επίσης με την ονομασία *Ερέβινθος ο κριόμορφος*. Η καταγωγή του ρεβιθιού τοποθετείται στην Ασία. Σήμερα, το ρεβίθι καλλιεργείται σε χώρες της Ευρώπης, της Ασίας και της Αμερικής. Ως είδος το ρεβίθι ανήκει στην υποοικογένεια των ψυχανθών και αποτελεί δικότυλο φυτό πλώδες, αγγειόσπερμο που καλλιεργείται ως μονοετές. Αποτελεί έναν θάμνο με ύψος που συνήθως δεν υπερβαίνει τα 60 εκατοστά και καλλιεργείται για τους σπόρους, τα ρεβίθια, που προορίζονται είτε για ανθρώπινη κατανάλωση είτε για ζωοτροφή.

### 1.2.2. Χρήσεις

Ο καρπός καταναλώνεται βραστός ή μαγειρευτός ως πιάτο οσπρίων καθώς και καβουρντισμένος ως ξηρός καρπός (φέροντας την ονομασία στραγάλι). Ακόμα το ρεβίθι μπορεί να γίνει θρεπτικό άλευρο και, έπειτα από επεξεργασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ρόφημα-υποκατάστατο του καφέ. Οι σπόροι ρεβιθιού είναι πλούσιοι σε μαγνήσιο, φώσφορο, ασβέστιο και σίδηρο καθώς και στις βιταμίνες Β, C, E και Κ. Εκτός του γεγονότος ότι αποτελούν μια σπουδαία πηγή τροφής για τον άνθρωπο και τα ζώα, το ρεβίθι παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, ιδιαίτερα σε ξηρικές περιοχές ή περιοχές όπου απαντώνται συχνές βροχοπτώσεις.

### 1.2.3. Παγκόσμια Παραγωγή

Το ρεβίθι είναι το 4<sup>ο</sup>σημαντικότερο όσπριο με συνολική ετήσια παγκόσμια παραγωγή 9,1 εκατ. τόνων και συνολική καλλιεργούμενη έκταση 11,2 εκατ. εκτάρια. Στον Πίνακα 1 απεικονίζονται οι κύριες παραγωγικές χώρες ανά τον κόσμο.

Στην Ελλάδα, καλλιεργούνται 150.000 στρέμματα, με την καλλιέργεια να απαντάται κυρίως σε περιοχές της Στερεάς Ελλάδας, της Θράκης και της Μακεδονίας.

**Πίνακας 1:** Παγκόσμια παραγωγή ρεβιθιού (FAOSTAT 2014).

<b>Παγκόσμια Παραγωγή Ρεβιθιού (σε τόνους)</b>	
Ινδία	9.530.000
Αυστραλία	629.400
Μιανμάρ	570.700
Αιθιοπία	458.682
Τουρκία	450.000
Πακιστάν	399.030
Μεξικό	171.665
Ισπανία	35.000
Ιταλία	13.072
Ελλάδα	7.857

### 1.2.4. Χαρακτηριστικά του είδους

Τα φύλλα του ρεβιθιού είναι σύνθετα, πτερωτά και φέρουν πολλά μικρότερα φυλλάρια στρογγυλά και ανοιχτοπράσινου χρώματος, που χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μικροσκοπικών δοντιών στις άκρες τους. Τα άνθη του φυτού είναι μικρά, χρώματος λευκού/κόκκινου/ροζ και φύονται στις μασχάλες των κλαδιών ανά ένα. Οι λοβοί είναι πεπλατυσμένοι και έκαστος περιέχει 1-2 καρπίδια.



**Εικόνα 1.**Καρπός ρεβιθιού.

### 1.3 Η καλλιέργεια του ρεβιθιού

Το ρεβίθι είναι μία καλλιέργεια με ικανοποιητική αντοχή στην καταπόνηση που προέρχεται από ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας. Επίσης, αποδίδει ικανοποιητικά σε φτωχά εδάφη, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη φροντίδα. Ως είδος πολλαπλασιάζεται με σπόρους κατά τους φθινοπωρινούς μήνες.

#### 1.3.1. Προετοιμασία εδάφους και εγκατάσταση καλλιέργειας

Στο παρελθόν, η σπορά του ρεβιθιού γινόταν μόνο την Άνοιξη, κατά το διάστημα από 15 Φεβρουαρίου έως 15 Μαρτίου. Πλέον, η δημιουργία και διαθεσιμότητα βελτιωμένων μικρόσπερων ποικιλιών που ταυτόχρονα εμφανίζουν ανθεκτικότητα έναντι χαμηλών θερμοκρασιών ποικιλιών (έως και  $-10^{\circ}\text{C}$ ), καθιστά εφικτή τη σπορά κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Ωστόσο, οι μεγαλόσπερες ποικιλίες χαρακτηρίζονται από μειωμένη ανθεκτικότητα έναντι χαμηλών θερμοκρασιών ποικιλιών, έως τους  $-2^{\circ}\text{C}$ . Σε σχέση με τις υπόλοιπες καλλιέργειες ψυχανθών, το ρεβίθι θεωρείται ότι αντέχει στο κρύο λιγότερο, αλλά όσον αφορά την αντοχή στην ξηρασία το ρεβίθι φαίνεται να υπερέχει.

Η αρχική εγκατάσταση της καλλιέργειας του ρεβιθιού προϋποθέτει ένα αρκετά βαθύ όργωμα και ένα δισκοσβάρνισμα, ενώ κατά τα τέλη Απριλίου έως αρχές Μαΐου η καλλιέργεια χρειάζεται σκάλισμα μια με δυο φορές. Είναι μεγάλης σημασίας το έδαφος να είναι αρκετά επίπεδο πριν από τη σπορά. Οι προτεινόμενες ποσότητες σπόρων είναι 18-20



κιλά για τις μεγαλόσπερμες ποικιλίες και 14-16 κιλά για τις μικρόσπερμες και μεσόσπερμες ποικιλίες.

Σε περιπτώσεις ανεπάρκειας μικροβιακού φορτίου αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων, πραγματοποιείται εμβολισμός με αζωτοβακτήρια από το εμπόριο.

Η σπορά γίνεται με δύο τρόπους:

- Με σπαρτικές μηχανές σίτου  
Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος σποράς στην Ελλάδα. Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών φύτευσης κυμαίνονται στα 20-25 εκατοστά, ενώ επί της γραμμής η αντίστοιχη απόσταση διαμορφώνεται στα 60-75 εκατοστά.
- Με πνευματικές μηχανές με δίσκο  
Σε περιπτώσεις ύπαρξης δυσεξόντων ζιζανίων, οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών αυξάνονται στα 50 εκ. ώστε να είναι εφικτή η εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών (σκαλίσματα και φρεζαρίσματα). Ως βάθος σποράς, προτείνονται 2-3 εκατοστά. Για τη ζιζανιοκτονία σε αυτό το στάδιο, γίνεται εφαρμογή με ενσωμάτωση, πριν τη σπορά ή αμέσως μετά, της δραστικής ουσίας pendimethalin (εμπορική ονομασία Pendigan ή Stomp). Σε περίπτωση εγκατεστημένης καλλιέργειας, όπου απαντώνται αγροστόδη ή στενόφυλλα ζιζάνια, μπορεί να γίνει επέμβαση την άνοιξη, μεταφυτρωτικά με τα σκευάσματα Quizalofop-p-ethyl (Targa, κ.λπ.).

### 1.3.2. Άρδευση

Το ρεβίθι καλλιεργείται σε μεγάλο αριθμό εδαφών με βασική προϋπόθεση αυτά να μην νεροκρατούν. Έτσι, οι περιοχές που έχουν πολύ υγρή ατμόσφαιρα είναι εντελώς ακατάλληλες για καλλιέργεια ρεβιθιού. Ο μεγάλος ρυθμός βροχοπτώσεων κατά την περίοδο της άνοιξης ευνοούν την ανάπτυξη της ασκοχύτωσης, που προκαλείται από τον μύκητα *Ascochyta blight*. Η ασκοχύτωση μπορεί να οδηγήσει σε ολική απώλεια της παραγωγής.

Η καλλιέργεια του ρεβιθιού, όπως και αυτή της φακής, πραγματοποιείται ως ξηρική. Εάν υπάρξει η δυνατότητα μιας ή δύο εφαρμογών άρδευσης, στη φάση της

άνθησης και του γεμίσματος των λοβών, μπορεί να επιτευχθεί διπλασιασμός της απόδοσης της καλλιέργειας.

### 1.3.3. Λίπανση

Το ρεβίθι όντας μέλος της κατηγορίας των ψυχανθών, μπορεί να καλύψει εν μέρει τις ανάγκες του σε άζωτο από τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης. Παρότι η δυνατότητα της καλλιέργειας να δεσμεύσει άζωτο αναφέρεται ότι φτάνει έως και 14 kg N/στρ. σε μια καλλιεργητική περίοδο, οι συνήθεις τιμές αζωτοδέσμευσης, με βάση τη βιβλιογραφία, κυμαίνονται από 2-6 kg N/στρ. Σύμφωνα με αναφορές, το ποσό αζωτοδέσμευσης σε φθινοπωρινές καλλιέργειες ρεβιθιού ήταν αρκετά μεγαλύτερο (8-12 kg N/στρ.) σε σύγκριση με αντίστοιχες ανοιξιάτικες καλλιέργειες (2,5-4,0 kg N/στρ.) (Singh et al. 1997). Τα χαμηλά ποσά αζωτοδέσμευσης αποδίδονται στο περιορισμένο φορτίο ριζοβίων στο έδαφος αλλά και στην ανεπιτυχή συμβίωση μεταξύ των απαντώμενων ριζοβίων και των καλλιεργούμενων γενοτύπων. Η ενίσχυση της ικανότητας αζωτοδέσμευσης επιτυγχάνεται με προσθήκη εμπορικών σκευασμάτων που περιέχουν ριζόβια βακτήρια.

Στην Ελλάδα, όταν γίνεται εγκατάσταση καλλιέργειας ρεβιθιού μετά από καλλιέργεια χειμερινών σιτηρών, συνήθως δε χρειάζεται βασική αζωτούχος λίπανση, επειδή υπάρχει υπολειμματική ποσότητα αζώτου στο έδαφος. Μόνο σε πολύ φτωχά εδάφη, συνίσταται μια προσθήκη περίπου 2 kg N/στρ., η οποία συμβάλλει θετικά κατά τα αρχικά αναπτυξιακά στάδια. Εάν μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας παρατηρηθούν συμπτώματα, όπως περιορισμένος ρυθμός ανάπτυξης, χλώρωση των φύλλων και ύπαρξη μη ικανοποιητικού πληθυσμού φυματίων στις ρίζες, η προσθήκη μέχρι 6 kg N/στρ., ως επιφανειακή λίπανση συμβάλλει σε αύξηση της απόδοσης.

Επισημαίνεται ότι το ρεβίθι, ως καρποδοτικό ψυχανθές πλούσιο σε πρωτεΐνες, έχει ανάγκη για επάρκεια αζώτου (αζωτοδέσμευσης και εδάφους) προκειμένου να καταστεί εφικτή η επίτευξη υψηλών αποδόσεων. Η καλλιέργεια επωφελείται από την προσθήκη φωσφόρου, με τη συνιστάμενη ποσότητα να κυμαίνεται στα 6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/στρ. Ως μέγιστες συνιστάμενες συγκεντρώσεις N και P στο φυτό κατά το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης αναφέρονται τα 23 gkg<sup>-1</sup> και 2,4 gkg<sup>-1</sup> ξηράς ουσίας, αντίστοιχα. Με δεδομένο ότι τα έδαφη

στη χώρα μας συνήθως διαθέτουν επαρκείς ποσότητες καλίου, δε συνιστάται καλιούχα λίπανση, εκτός από την περίπτωση όπου διαπιστώθηκε έλλειψη μέσω εδαφολογικής ανάλυσης.

#### 1.3.4. Ζιζανιοκτονία

Το ρεβίθι είναι μια καλλιέργεια, η οποία έχει μικρή ανταγωνιστικότητα απέναντι στα ζιζάνια. Με τα σημερινά δεδομένα, μπορούν να αντιμετωπιστούν με αρκετά καλά αποτελέσματα μόνο τα αγρωστώδη ζιζάνια. Δυστυχώς, δεν υπάρχουν μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα για τα πλατύφυλλα ζιζάνια, όπως γρούβα (*Armoracia rusticana*), αγριοτοματιά (*Solanum nigrum*) και περικοκλάδα (*Calystegia sepium*), τα οποία επιφέρουν μειωμένη παραγωγή και υποβάθμιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

#### 1.3.5. Συγκομιδή

Η φθινοπωρινή καλλιέργεια του ρεβιθιού στη χώρα μας είναι έτοιμη για συγκομιδή το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου, ενώ η ανοιξιάτικη καλλιέργεια συγκομίζεται ένα μήνα αργότερα. Στο παρελθόν, συνήθη πρακτική αποτελούσε η συγκομιδή σε δύο στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο, λάμβανε χώρα εκρίζωση ή θερισμός της καλλιέργειας και, μετά από μια μικρή περίοδο παραμονής τους σε σωρούς είτε στον αγρό είτε σε αλώνια για πλήρη αποξήρανση τους, λάμβανε χώρα αλωνισμός με το χέρι ή με μηχανή.

Τα τελευταία χρόνια, η συνήθης πρακτική περιλαμβάνει συγκομιδή γίνεται σε ένα στάδιο με θεριζοαλωνισμό, όταν υπάρχει πλήρης αποξήρανση των φυτών και έχει πέσει η πλειοψηφία των φύλλων. Χρησιμοποιούνται οι θεριζοαλωνιστικές μηχανές που χρησιμοποιούνται και στα χειμερινά σιτηρά ή μηχανές κατάλληλες για συγκομιδή οσπρίων, μετά από κατάλληλη ρύθμιση. Προτιμάται η συγκομιδή να γίνεται τις πρωινές ώρες, οπότε τα φυτά περιέχουν αρκετή ποσότητα υγρασίας, ώστε να μην υπάρχουν σπασίματα στους λοβούς και να μην τινάζουν οι σπόροι.

Ωστόσο, ο θεριζοαλωνισμός δυσχεραίνεται όταν τα φυτά εμφανίζουν μικρή ανάπτυξη, π.χ. λόγω όψιμης ανοιξιάτικης σποράς ή/και παρατεταμένης περιόδου

ξηρασίας, με αποτέλεσμα η ανάπτυξη των λοβών να είναι πολύ κοντά στο έδαφος. Σημειώνεται ότι ο εν λόγω σχηματισμός των λοβών κοντά στην εδαφική επιφάνεια δεν παρατηρείται στη φθινοπωρινή σπορά, όπου τα φυτά εμφανίζουν το κανονικό ύψος, γεγονός εξάλλου που καθιστά προτιμητέα τη φθινοπωρινή σπορά.

#### 1.4 Υδατική καταπόνηση

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, τα φυτά είναι συνήθως εκτεθειμένα σε διάφορες περιβαλλοντικές καταπονήσεις, γεγονός που περιορίζει την ανάπτυξη και παραγωγικότητά τους. Η βλάστηση των σπόρων αποτελεί ένα από τα πλέον κρίσιμα στάδια της ανάπτυξης των φυτών. Ένας από τους σημαντικότερους αβιοτικούς παράγοντες που περιορίζουν τη βλάστηση των φυτών και τα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης των φυτών είναι η υδατική καταπόνηση που δρα με μείωση του ποσοστού της βλάστησης και της ανάπτυξης των φυτών. Η υδατική καταπόνηση προκαλείται από την ξηρασία και την αλατότητα, συνθήκες οι οποίες είναι ευρέως διαδεδομένες σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αλατότητα και η ξηρασία επηρεάζουν τα φυτά με παρόμοιο τρόπο. Το μειωμένο υδατικό δυναμικό είναι ένα σύνηθες αποτέλεσμα τόσο της αλατότητας όσο και της ξηρασίας.

Η ξηρασία επηρεάζει την ανάπτυξη και το μεταβολισμό των φυτών. Το ενδεχόμενο μη ύπαρξης βροχοπτώσεων είναι πολύ σημαντικό διότι μπορεί να οδηγήσει σε ξηρασία πρώιμης περιόδου σε ξηρικές καλλιέργειες. Η ξηρασία, που επηρεάζει κυρίως τα ανώτερα εδαφικά στρώματα, ευθύνεται για την ανεπιτυχή εγκατάσταση των φυτών και επηρεάζει την ομοιομορφία της πυκνότητας των φυτών με μείωση της ανάπτυξης των φυτών και συνεπώς της απόδοσης της καλλιέργειας.

Το έλλειμα νερού επηρεάζει πολλές παραμέτρους του φυτρώματος και της ανάπτυξης των φυτών. Η βλάστηση των σπόρων, η εμφάνιση καρπών αλλά και το μήκος ρίζας και βλαστού (εφόσον υπάρξει) μειώνονται όταν υπάρχει μείωση ωσμωτικού δυναμικού. Συγκεκριμένα στην έρευνα των Yucel et al. (2010), βρέθηκε ότι οι σπόροι χάνουν την ικανότητα βλάστησης σε ωσμωτικό δυναμικό  $-0.8\text{MPa}$ . Επιπρόσθετα, η αρνητική επίδραση της έλλειψης νερού στη βλάστηση και στην ανάπτυξη των φυτών έχει παρατηρηθεί και σε άλλες καλλιέργειες, όπως η φακή και το ρύζι (Yucel et al., 2010).

Οι αρνητικές επιπτώσεις της ξηρασίας μπορούν να μετριαστούν με την χρήση ανθεκτικών ποικιλιών. Οπότε η κατανόηση του μηχανισμού για αντοχή στην ξηρασία είναι ζωτικής σημασίας. Για την *in vitro* προσομοίωση συνθηκών υδατικής καταπόνησης, χρησιμοποιείται ευρέως η ουσία πολυαιθυλενική γλυκόλη (PEG). Ο λόγος που προτιμάται η χρήση του PEG σχετίζεται με το γεγονός ότι μειώνει το υδατικό δυναμικό, μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα του νερού (Michel, 1973), χωρίς ωστόσο να εισχωρεί στο σπόρο λόγω του υψηλού μοριακού του βάρους (4000 ή παραπάνω). Καθώς δεν εισέρχεται στον αποπλάστη, το νερό απομακρύνεται όχι μόνο από το κύτταρο, αλλά και από το κυτταρικό τοίχωμα. Ως εκ τούτου, τα διαλύματα PEG υπερτερούν αναφορικά με την αποτροπή της απορρόφησης νερού, σε σχέση με άλλα οσμωτικά διαλύματα χαμηλού μοριακού βάρους, όπως είναι το Χλωριούχο Νάτριο, η Γλυκερόλη, η Σουκρόζη και η Μανιτόλη. Με τη χρήση αυτής της μεθοδολογίας, η επιλογή ανθεκτικών γενοτύπων είναι πιο γρήγορη και οικονομική.

### 1.5 Συμπεριφορά της καλλιέργειας στην υδατική ανεπάρκεια

Το ρεβίθι βρίσκεται στην πρώτη θέση όσον αφορά την ανθεκτικότητα στις ξηροθερμικές συνθήκες μεταξύ των ψυχανθών στη χώρα μας, ενώ αντίθετα η ανάπτυξή του αντιμετωπίζει δυσκολίες κατά την καλλιέργεια σε εδάφη που νεροκρατούν. Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα της καλλιέργειας ρεβιθιού είναι ότι ως ψυχανθές, μπορεί να ενσωματωθεί σε συστήματα αμειψισποράς και βιολογικής γεωργίας.

Η σπουδαία αυτή ανθεκτικότητα του ρεβιθιού έναντι της ξηρασίας, το καθιστά μια ικανοποιητική καλλιέργεια όσον αφορά το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Οι μετατροπές του κλίματος που έχει σαν αποτέλεσμα η Κλιματική Αλλαγή οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας.

## 1.6 Σκοπός της μελέτης

Με δεδομένο ότι η έλλειψη επαρκούς εδαφικής υγρασίας επηρεάζει δυσμενώς τη βλάστηση και την ανάπτυξη στο ρεβίθι, αντικείμενο της παρούσας μελέτης ήταν η αξιολόγηση γενετικού υλικού ρεβιθιού ως προς την ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης. Για το σκοπό αυτό, το υπό μελέτη γενετικό υλικό, εγχώριο και εισαγόμενο, υποβλήθηκε σε καταπόνηση ξηρασίας, μέσω της χρήσης πολυαιθυλενικής γλυκόλης, και ακολούθησε προσδιορισμός της ικανότητας βλάστησης και ανάπτυξης των γονοτύπων υπό συνθήκες καταπόνησης σε διαφορετικά επίπεδα στρες. Ως παράμετροι αξιολόγησης της ανεκτικότητας χρησιμοποιήθηκαν το ποσοστό βλάστησης των σπόρων, η ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων, το μήκος ρίζας και βλαστού των σποροφύτων και ο δείκτης ευρωστίας.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

---

Το πείραμα διεξήχθη στο εργαστήριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά την περίοδο Νοεμβρίου 2018-Μαΐου 2019.

Αντικείμενο του πειράματος αποτέλεσε η αξιολόγηση 10 γονοτύπων ρεβιθιού ως προς την ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης. Για την επίτευξη συνθηκών καταπόνησης χρησιμοποιήθηκε η πολυαιθυλενική γλυκόλη (PEG 6000), ενώ η συμπεριφορά των γονοτύπων αξιολογήθηκε σε διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης, ως ακολούθως: i) 0 % PEG (μάρτυρας), ii) 30 % PEG και iii) 50 % PEG.

Βάσει της συμπεριφοράς τους υπό συνθήκες καταπόνησης, οι υπό μελέτη γονότυποι κατηγοριοποιήθηκαν ως ακολούθως: ανθεκτικοί, ανεκτικοί, ελαφρώς ανεκτικοί και ευαίσθητοι. Η κατάταξη των ποικιλιών βασίστηκε στην αξιολόγηση παραμέτρων που σχετίζονται με τη βλάστηση των σπόρων και ανάπτυξη των σποροφύτων, όπως το ποσοστό βλάστησης των σπόρων, η ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων, το μήκος ρίζας και βλαστού των σποροφύτων και ο δείκτης ευρωστίας.

### 2.1 Γενετικό υλικό

Για τη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε εγχώριο και εισαγόμενο γενετικό υλικό ρεβιθιού που περιλάμβανε τοπικούς πληθυσμούς και ποικιλίες. Ειδικότερα, στα πειράματα υδατικής καταπόνησης αξιολογήθηκαν συνολικά 10 συλλογές, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.1.

Το γενετικό υλικό χορηγήθηκε από το Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών Λάρισας (ΙΒΚΦ).

**Πίνακας 2:** Γενετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα αξιολόγησης της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης.

Γενότυπος	Τύπος	Προέλευση	Βάρος 100 σπόρων (γρ.)
E-202	Εμπορική ποικιλία	IBKΦ	49.5
E-229	Εμπορική ποικιλία	IBKΦ	45.9
Macarena	Εμπορική ποικιλία	Μεξικό	81.8
CAT16-31	Πληθυσμός	ICARDA	43.7
CAT16-27	Πληθυσμός	ICARDA	41.3
M-10544	Εμπορική ποικιλία	IBKΦ	41.5
CAT16-4	Πληθυσμός	ICARDA	38.1
M-15935	Καθαρή σειρά	IBKΦ	54
Line 9/14	Καθαρή σειρά	IBKΦ	55.4
Λήμνος	Τοπικός πληθυσμός	IBKΦ	37.7

## 2.2 Μεταχειρίσεις υδατικής καταπόνησης

Για τη δημιουργία συνθηκών υδατικής καταπόνησης χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα πολυαιθυλενικής γλυκόλης (PEG) σε τρία διαφορετικά επίπεδα: i) 0 % PEG (μάρτυρας), ii) 30 % PEG (μεσαίο επίπεδο καταπόνησης) και iii) 50 % PEG (υψηλό επίπεδο καταπόνησης). Για κάθε συνδυασμό γονοτύπου-μεταχείρισης, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις επαναλήψεις των 20 σπόρων.

Σχετικά με τη χρήση της πολυαιθυλενικής γλυκόλης, έχει αναδειχθεί ότι συμβάλλει σε βέλτιστη προσομοίωση συνθηκών υδατικής καταπόνησης, διότι μειώνει την δυνατότητα προσρόφησης νερού του σπόρου, χωρίς να εισέρχεται στο εσωτερικό των σπόρων και να προκαλεί φυσιολογικές βλάβες.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την έρευνα των Mitchell & Kaufmann(1973), το οσμωτικό δυναμικό ( $\psi_s$ ) των υδατικών διαλυμάτων της πολυαιθυλενογλυκόλης 6000 (PEG 6000) συνδέεται με τη συγκέντρωση του PEG. Με βάση την εμπειρική εξίσωση των



Michel & Kaufmann (1973), γίνεται υπολογισμός του ωσμωτικού δυναμικού ως ακολούθως:

$$\psi_s = -(1.18 \times 10^{-2}) C - (1.18 \times 10^{-4}) C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) CT + (8.39 \times 10^{-7}) C^2 T$$

όπου C είναι η συγκέντρωση του PEG 6000 σε g/kg H<sub>2</sub>O και T είναι η θερμοκρασία σε °C.

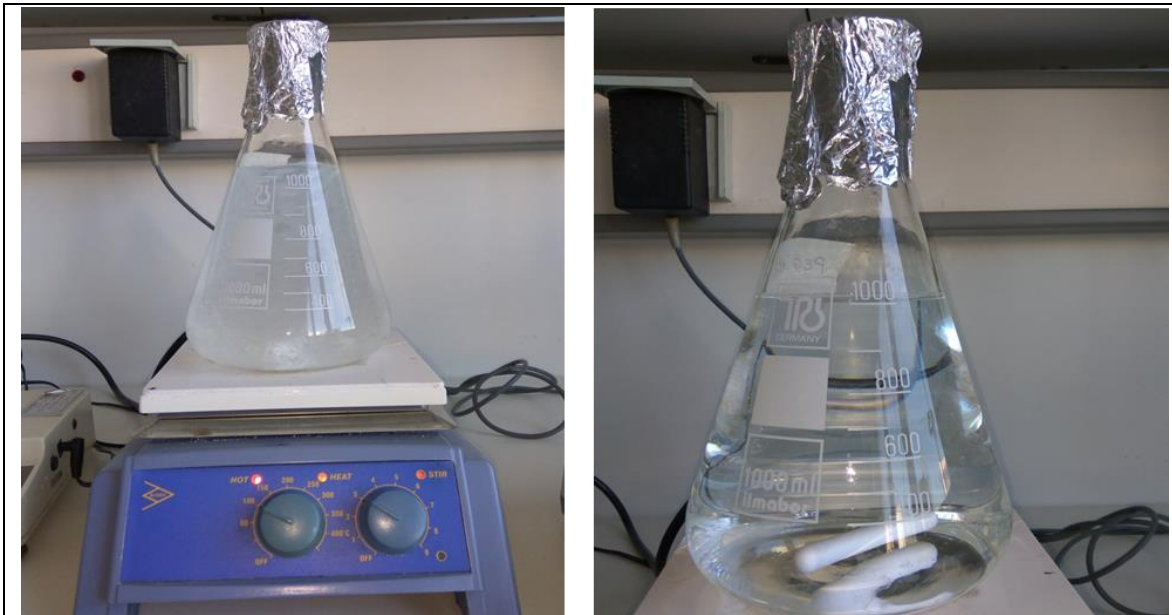
Βάσει των ανωτέρω, προκύπτει ότι το ωσμωτικό δυναμικό των μεταχειρίσεων του πειράματος είναι i) 0 % PEG: μάρτυρας, ii) 30 % PEG: -1 MPa και iii) 50 % PEG: -2.7 MPa.



**Εικόνα 2:** Μέτρηση ποσότητας PEG 6000 με εργαστηριακό ζυγό.

Για την εγκατάσταση του πειράματος, αρχικά έγινε αποστείρωση των πλαστικών κουτιών, με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV), ενώ τα υλικά και απαραίτητα σκεύη, όπως διηθητικά χαρτιά, κωνικές φιάλες και λαβίδες, αποστειρώθηκαν σε κλίβανο υγρής αποστείρωσης. Ακολούθησε η προετοιμασία των διαλυμάτων πολυαιθυλενικής γλυκόλης. Αρχικά ζυγίστηκε η απαιτούμενη για κάθε μεταχείριση ποσότητα πολυαιθυλενικής γλυκόλης, τοποθέτησή της σε κωνικές φιάλες και πλήρωσή τους έως τελικού όγκου ενός λίτρου (Εικόνα 2). Συγκεκριμένα, για τις μεταχειρίσεις 30% και 50 % ζυγίστηκαν 300 και 500 γραμμάρια PEG αντίστοιχα. Έπειτα, οι κωνικές φιάλες

τοποθετήθηκαν σε συσκευή ανάδευσης με τη βοήθεια θερμότητας, μέχρις ότου να διαλυθεί πλήρως η πολυαιθυλενική γλυκόλη (Εικόνα 3).



**Εικόνα 3:** Δημιουργία διαλύματος PEG 6000, υπό συνθήκες θέρμανσης και μηχανικής ανάδευσης.

Για την απολύμανση των σπόρων, έγινε τοποθέτησή τους σε διάλυμα χλωρίνης 20% για πέντε λεπτά, και ακολούθησε ξεπλύμα τους (4x) σε αποστειρωμένο dH<sub>2</sub>O. Για τη βλάστηση των απόρων, έγινε τοποθέτησή τους σε πλαστικά κουτιά, εντός των οποίων είχε τοποθετηθεί το διηθητικό χαρτί, το οποίο μετά από διαμόρφωση είχε τέσσερις αυλακώσεις, όπου μέσα στην κάθε μια τοποθετήθηκαν δέκα σπόροι. Τέλος οι σπόροι διαβρέχτηκαν με μυκητοκτόνο. Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν 80 σπόροι για κάθε συνδυασμό μεταχείρισης – γενοτύπου (Εικόνα 4).

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε διαβροχή των σπόρων με 12 ml από το κατάλληλο για κάθε μεταχείριση διάλυμα PEG 6000 ή αποστειρωμένο dH<sub>2</sub>O για το μάρτυρα. Ακολούθως, τα πλαστικά κουτιά τοποθετήθηκαν σε εργαστηριακό πάγκο σε θερμοκρασία 25°C. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, γινόταν συχνός έλεγχος σχετικά με τη διαθεσιμότητα επαρκούς υγρασίας και προσθήκη dH<sub>2</sub>O ώστε να διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση πολυαιθυλενικής γλυκόλης. Κατά το διάστημα ανάπτυξης των φυτών,

λαμβάνονταν παρατηρήσεις σε σχέση με τις παραμέτρους αξιολόγησης που αφορούν στο ποσοστό βλάστησης καθώς και στην ανάπτυξη των σποροφύτων. Το πείραμα είχε συνολική διάρκεια 15 ημερών.



**Εικόνα 4:** Απόθεση Σπόρων μέσα σε κουτιά με διηθητικό χαρτί ποτισμένο με μυκητοκτόνο και PEG 6000.

### 2.3 Μετρήσεις για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας

Στο πλαίσιο εκτίμησης της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης στο υπό μελέτη γενετικό υλικό, χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι αξιολόγησης το ποσοστό βλάστησης των σπόρων, η ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων, το μήκος ρίζας και βλαστού των σποροφύτων και ο δείκτης ευρωστίας.

Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται αναλυτικά οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και η μεθοδολογία προσδιορισμού τους.

- Ποσοστό βλάστησης

Κατά τη λήψη παρατηρήσεων, ένας σπόρος θεωρούνταν ότι έχει βλαστήσει όταν εμφάνιζε μήκους ριζιδίου τουλάχιστον 3 mm. Για την εκτίμηση του ποσοστού βλάστησης των σπόρων λαμβάνονταν μετρήσεις κάθε μέρα από την 1<sup>η</sup> έως την 7<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος.

Το ποσοστό βλάστησης των σπόρων εκτιμήθηκε σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Βλάστηση \%} = \frac{\text{αριθμός των σπόρων που βλάστησαν}}{\text{συνολικός αριθμός σπόρων πειράματος}} \times 100 \text{ (Labouriau,1983).}$$

- Ικανότητα απορρόφησης νερού

Για την εκτίμηση της ικανότητας απορρόφησης νερού (%), πραγματοποιήθηκε κατά την έναρξη του πειράματος, ζύγιση 10 σπόρων από κάθε ποικιλία, ένας τη φορά. Με τον τρόπο αυτό, προσδιορίστηκε το αρχικό βάρος ενός σπόρου για κάθε ποικιλία, βάσει του μέσου όρου των 10 μετρήσεων. Το αρχικό βάρος του σπόρου για κάθε ποικιλία παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

Έπειτα την 3<sup>η</sup>, την 5<sup>η</sup> και την 7<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος ζυγίστηκαν και πάλι 10 σπόροι από την κάθε ποικιλία, για να βρεθεί το μέσο βάρος του ενός σπόρου μετά την απορρόφηση νερού.

Η ικανότητα απορρόφησης νερού υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση που προτάθηκε από τους Mujeeb-ur-Rahmanetal (2008):

$$\text{IAN} = \frac{\text{βάρος σπόρου μετά την απορρόφηση} - \text{αρχικό βάρος σπόρου}}{\text{βάρος σπόρου μετά την απορρόφηση}}$$

**Πίνακας 3:** Βάρος ενός σπόρου για τους γονοτύπους που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα αξιολόγησης της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης.

Ποικιλία	Βάρος ενός σπόρου (γρ.)
Γαύδος	0,458
Κερύνεια	0,453
Macarena	0,740
CAT16-31	0,387
CAT16-27	0,395
Θήβα	0,393
CAT16-4	0,381
Σίφνος	0,445
Line 9/14	0,484
Λήμνος	0,373

- Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας

Ως προς το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας, οι μετρήσεις λήφθηκαν την 10<sup>η</sup> και την 15<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος. Αρχικά, έγινε ζύγιση 10 σπόρων ώστε να εκτιμηθεί το μέσο νωπό βάρος του ενός σπόρου. Ακολούθως, οι ίδιοι 10 σπόροι τοποθετήθηκαν σε μεταλλικά τριβλία και εισήχθησαν σε φούρνο-εργαστηριακό ξηραντήριο, ρυθμισμένο σε θερμοκρασία 70 °C, όπου παρέμειναν για διάστημα 48 ωρών (Εικόνα 5). Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας ξήρανσης, οι σπόροι ζυγίστηκαν εκ νέου.

Η εκτίμηση της ποσότητας περιεχόμενης υγρασίας έγινε βάσει της εξίσωσης που προτάθηκε από τους Black&Pritchard (2002):

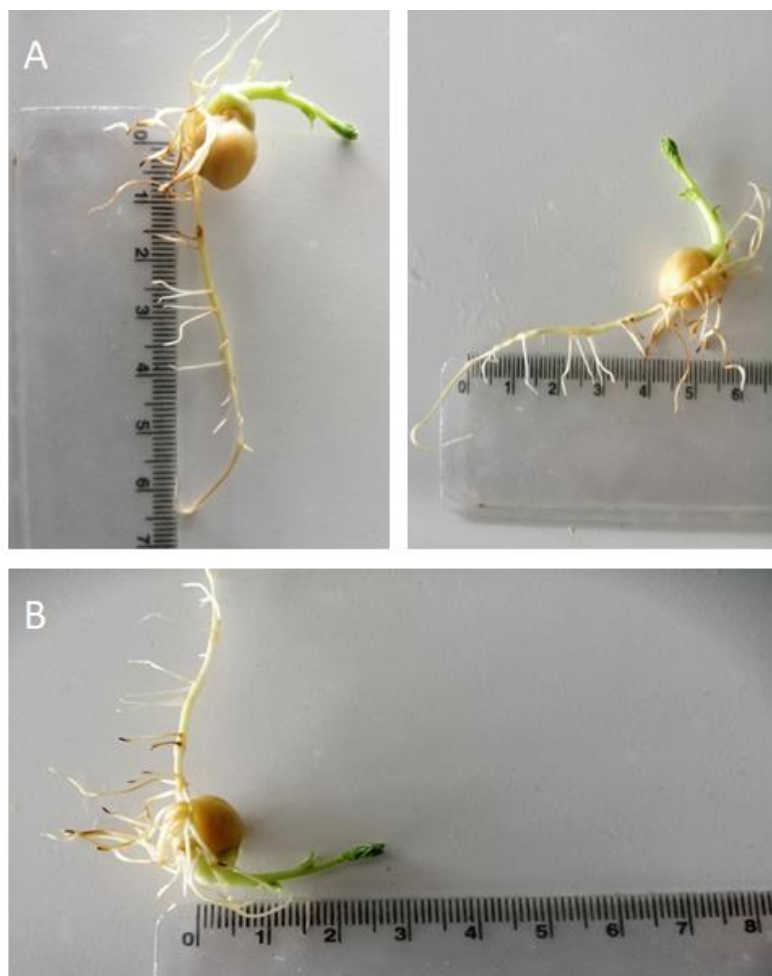
$$ΠΥΣ = \frac{\text{νωπόβάρος} - \text{ξηρόβάρος}}{\text{νωπόβάρος}}$$



**Εικόνα 5:** Τοποθέτηση σπόρων σε εργαστηριακό ξηραντήρα.

- Μήκος ρίζας και μήκος βλαστού

Τα μήκη ρίζας και βλαστού προσδιορίστηκαν την 5<sup>η</sup>, την 7<sup>η</sup>, την 9<sup>η</sup>, την 11<sup>η</sup>, την 13<sup>η</sup> και την 15<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος (Εικόνα 6). Η εκτίμηση του μήκους της ρίζας και βλαστού έγινε βάσει του μέσου όρου των 10 μετρήσεων.



**Εικόνα 6:** Διαδικασία μέτρησης του μήκους ρίζας (A) και βλαστού (B) με χρήση χάρακα.

- Δείκτης ευρωστίας σπόρου

Ο δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (seedling vigor index, SVI) υπολογίστηκε την 7<sup>η</sup> και την 15<sup>η</sup> ημέρα του πειράματος, με βάση την εξίσωση που προτάθηκε από τους Abdul-Baki & Anderson (1973):

$$\Delta\epsilon\sigma = \text{ποσοστό βλαστικότητας} \times \text{μήκος σποροφύτου}$$

$$\text{Όπου μήκος σποροφύτου} = \text{μήκος ρίζας} + \text{μήκος βλαστού}$$

- Κατηγοριοποίηση γενοτύπων

Βάσει των τιμών του δείκτη ευρωστίας, έγινε κατηγοριοποίηση των ποικιλιών ως ακολούθως:

- i) ανθεκτικές:  $\Delta E\Sigma > 450$ ,
- ii) μετρίως ανθεκτικές:  $\Delta E\Sigma = 350-450$ ,
- iii) μετρίως ευαίσθητες:  $\Delta E\Sigma = 250-350$
- iv) ευαίσθητες:  $\Delta E\Sigma < 250$ .

## 2.4 Στατιστική ανάλυση

Για τους χαρακτήρες που μελετήθηκαν έγινε ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) ( $p \leq 0.05$ ), συνδυάζοντας τις συγκεντρώσεις της πολυαιθυλενικής γλυκόλης (PEG) και τους γενοτύπους. Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν το τυχαιοποιημένο σχέδιο πλήρων ομάδων με 4 επαναλήψεις, έκαστη αποτελούμενη από 20 σπόρους, για τον κάθε συνδυασμό γενοτύπου – μεταχείρισης. Οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων αξιολογήθηκαν με βάση το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (LSD). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS v.20.



### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

#### 3.1 Ποσοστό βλάστησης

Τα αποτελέσματα της υδατικής καταπόνησης ως προς το ποσοστό βλάστησης των σπόρων στους υπό μελέτη γενοτύπους του ρεβιθιού παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Όπως αναμενόταν, η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε την αρνητική επίδραση της πολυαιθυλενικής γλυκόλης στο ποσοστό βλάστησης, με τις επιδράσεις της καταπόνησης να είναι ανάλογες της συγκέντρωσης PEG. Συνεπώς, το ποσοστό βλάστησης εμφάνισε σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων καταπόνησης, εμφανίζοντας φθίνουσα τάση με την αύξηση της συγκέντρωσης PEG. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι στις μέγιστες συνθήκες καταπόνησης (50 %) όλοι οι γενοτύποι, με εξαίρεση τους E-202, E-229 και Λήμονος, εμφάνισαν πλήρη αδυναμία βλάστησης (0 %). Μεταξύ αυτών που κατάφεραν να βλαστήσουν στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης, ο πληθυσμός Λήμονος είχε τον μεγαλύτερο Μ.Ο. διαφέροντας σημαντικά από τους υπόλοιπους γενοτύπους.

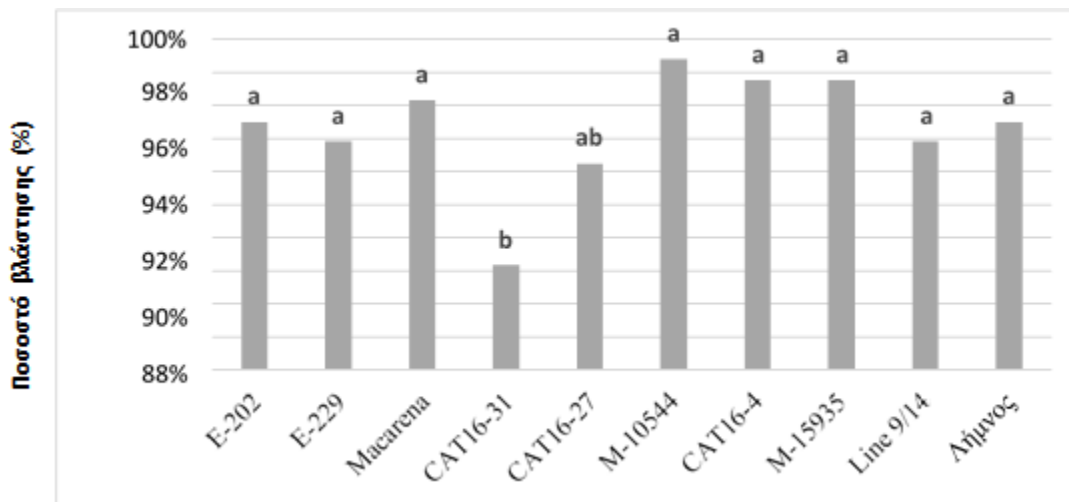
**Πίνακας 4:** Τελική βλάστηση (%) των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις.

Συγκέντρωση PEG					
Χρόνος	Γενότυπος	0	30 (-1MPa)	50 (-2,7MPa)	Μ.Ο.
7 ημέρες	E-202	95%	31%	8%	44,8% b
	E-229	94%	18%	9%	40% bc
	Macarena	96%	0%	0%	32,1% bc
	CAT16-31	86%	0%	0%	28,8% c
	CAT16-27	93%	28%	0%	40% bc
	M-10544	99%	30%	0%	42,9% b
	CAT16-4	98%	24%	0%	40,4% bc

M-15935	98%	0%	0%	32,5% bc
Line 9/14	94%	11%	0%	35% bc
Λήμνος	95%	79%	3%	58,8% a
M.O.	94,6% a	22% b	2% c	

\* Ποσοστά που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$ , σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

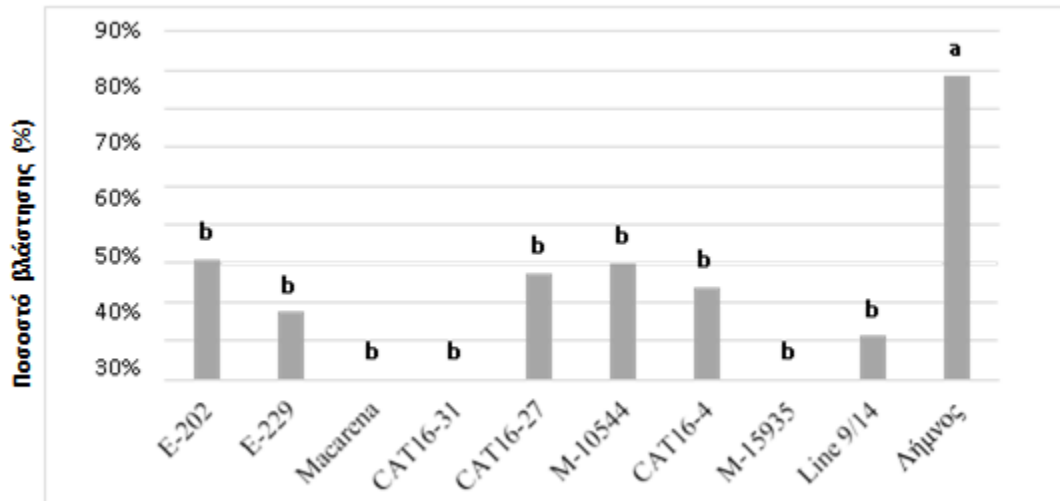
Στην μεταχείριση του μάρτυρα (0 % PEG), όσον αφορά το ποσοστό βλάστησης, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές, με εξαίρεση τις καθαρές σειρές CAT16-31 και CAT 16-27, οι οποίες διέφεραν σημαντικά σε σχέση με τους υπόλοιπους γενοτύπους (Σχήμα 1). Το υψηλότερο ποσοστό βλάστησης (%) καταγράφηκε στην ποικιλία M-10544 (99 %).



**Σχήμα 1.** Τελική βλάστηση (%) (7<sup>η</sup> ημέρα) των γενοτύπων στη μεταχείριση 0 % PEG (μάρτυρας). Μπάρες που συμβολίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

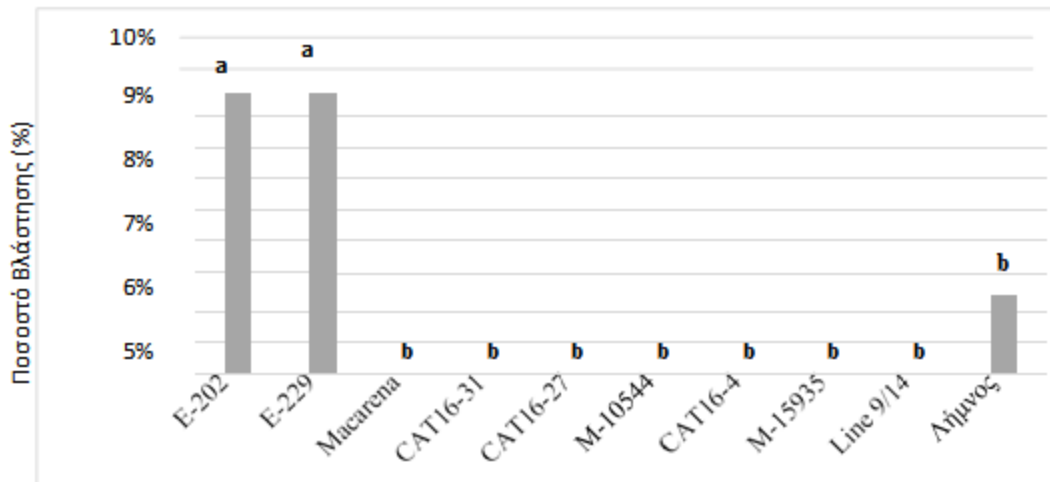
Στη μεταχείριση 30 % PEG παρατηρήθηκε μείωση του ποσοστού βλάστησης (Σχήμα 2). Γενικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές, με εξαίρεση τον τοπικό

πληθυσμό Λήμνος που εμφάνισε το μεγαλύτερο ποσοστό βλάστησης (79 %). Αντίθετα, η εμπορική ποικιλία Macarena και οι καθαρές σειρές CAT16-31 και M-15935 εμφάνισαν πλήρη αδυναμία βλάστησης (0 %).



**Σχήμα 2.** Τελική βλάστηση (%) (7 ημέρες) των γενοτύπων στη μεταχείριση 30 % PEG. Μπάρες που συμβολίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Στη μεταχείριση 50 % PEG παρατηρήθηκε ακόμα πιο δραστική μείωση του ποσοστού βλάστησης των γενοτύπων (Σχήμα 3). Στην πλειοψηφία τους, οι υπό μελέτη γονότυποι εμφάνισαν αδυναμία βλάστησης στο επίπεδο αυτό, με εξαίρεση τις ποικιλίες E-202, E-229 και Λήμνος που εμφάνισαν μερική έστω ικανότητα βλάστησης. Σε επίπεδο ποικιλιών, οι μόνες διαφορές που σημειώθηκαν αφορούν στις ποικιλίες E-202 και E-229 που εμφάνισαν υψηλότερο δυναμικό βλάστησης (8 % και 9 % αντίστοιχα). Παράλληλα οι γενοτύποι Macarena, CAT16-31, CAT16-27, M-10544, CAT16-4, M-15935, Line 9/14 δεν κατάφεραν να βλαστήσουν.



**Σχήμα 3.** Τελική βλάστηση (%) (7<sup>η</sup> ημέρα) των γενοτύπων στη μεταχείριση 50 % PEG. Μπάρες που συμβολίζονται με το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.



**Εικόνα 7:** Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού βλάστησης που χαρακτηρίζεται αντίστοιχα ως χαμηλό (Α), μεσαίο (Β) και υψηλό (Γ), 2 εβδομάδες από την εγκατάσταση του πειράματος.

### 3.2 Μήκος ρίζας

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όσον αφορά το τελικό μήκος της ρίζας. Τα ευρήματα της στατιστικής ανάλυσης έδειξαν ότι το μήκος της ρίζας των γενοτύπων επηρεάστηκε σημαντικά από την υδατική καταπόνηση. Ειδικότερα, αυξανόμενης της συγκέντρωσης του PEG παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του τελικού μήκους της ρίζας σε σύγκριση με την μεταχείριση του μάρτυρα (απουσία καταπόνησης). Μεταξύ των ποικιλιών, οι E-229 και M-10544 χαρακτηρίζονταν από το μεγαλύτερο μέσο μήκος ρίζας στο σύνολο των υπό μελέτη μεταχειρίσεων.

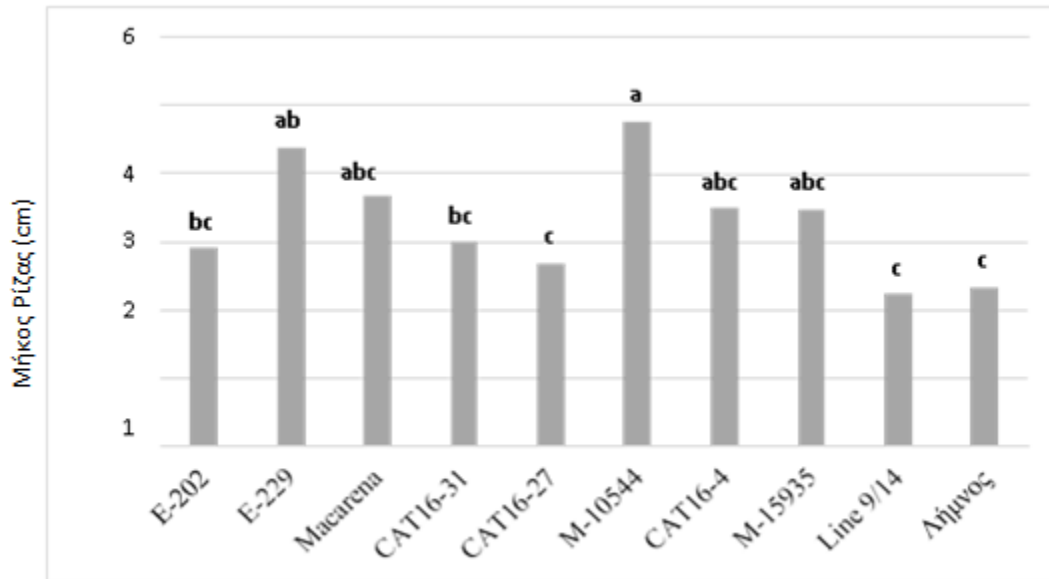
**Πίνακας 5:** Τελικό μήκος ρίζας (cm) των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις.

Χρόνος	Γενότυπος	Συγκέντρωση PEG			M.O
		0	30 (-1MPa)	50 (-2,7MPa)	
15 ημέρες	E-202	2,9	0,68	0,592	1,391 abcd
	E-229	4,377	0,752	0,585	1,905 a
	Macarena	3,674	0	0	1,225 bcd
	CAT16-31	2,987	0,03	0	1,006 cd
	CAT16-27	2,695	0,935	0	1,21 bcd
	M-10544	4,767	1,025	0	1,931 a
	CAT16-4	3,487	1,015	0	1,501 abc
	M-15935	3,462	0,055	0	1,173 bcd
	Line 9/14	2,235	0,225	0	0,82 d
	Λήμνος	2,335	2,482	0,253	1,69 ab
	M.O	3,292 a	0,72 b	0,143 c	

\* Αριθμοί που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

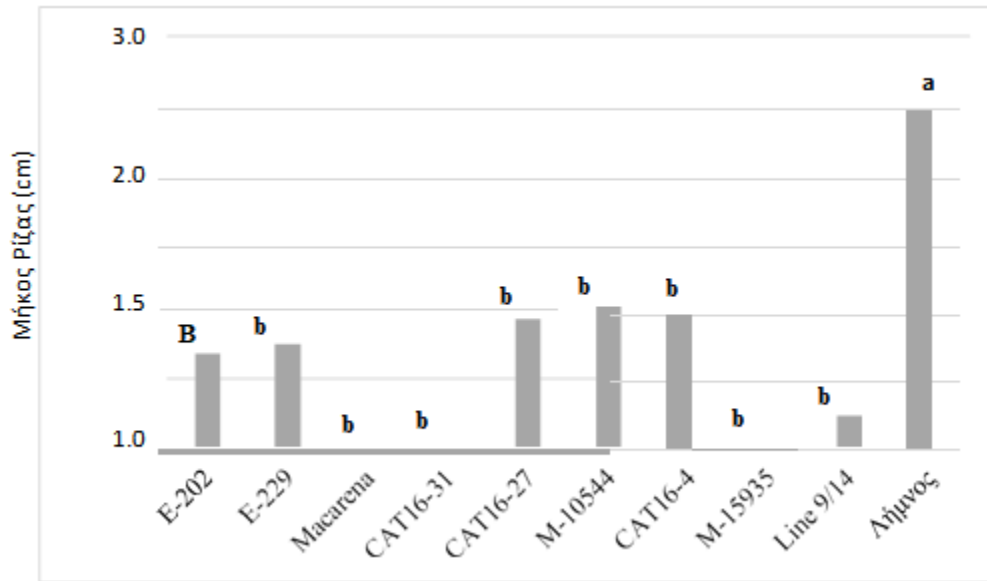
Όσον αφορά την μεταχείριση 0 %, οι καθαρές σειρές Line 9/14, CAT 16-27 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος εμφάνισαν το μικρότερο μήκος ρίζας, διαφέροντας σημαντικά

από τους υπόλοιπους γενοτύπους (Σχήμα 4). Παράλληλα ο γενότυπος M-10544 διέφερε σημαντικά από τους υπόλοιπους γενοτύπους, εμφανίζοντας το μεγαλύτερο τελικό μήκος ρίζας (4.767 cm).



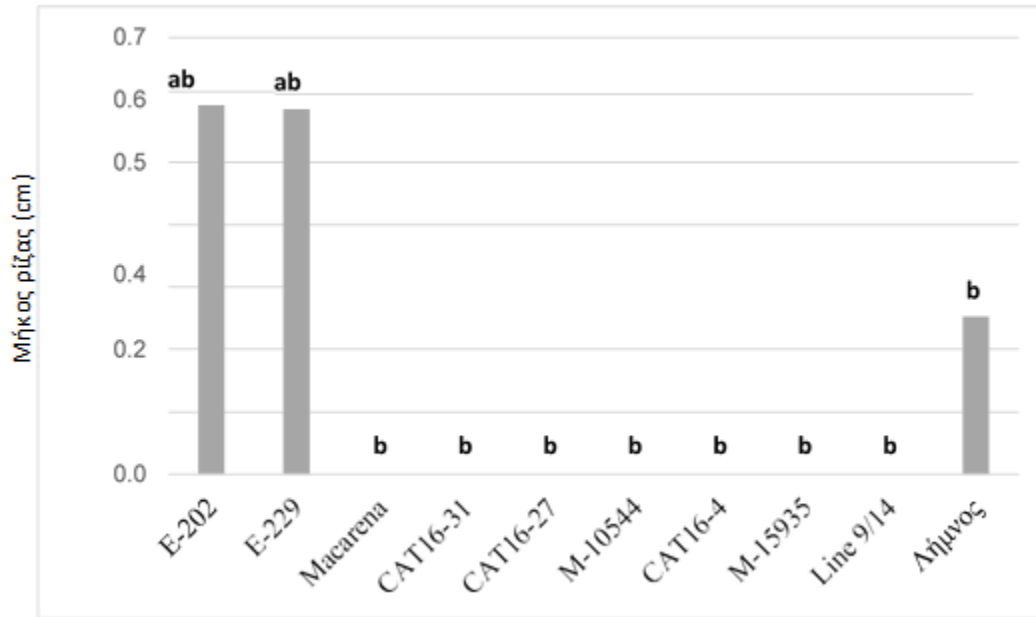
**Σχήμα 4.** Τελικό μήκος ρίζας (15<sup>η</sup> ημέρα) των γενοτύπων στη μεταχείριση 0 % PEG. Μπάρες που συμβολίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Στην μεταχείριση 30 % παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του τελικού μήκους ρίζας των γενοτύπων. Στην πλειοψηφία των γενοτύπων παρατηρήθηκε πολύ μικρή ή και μηδενική ανάπτυξη ρίζας (Σχήμα 5). Εξαιρέση αποτέλεσε ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, ο οποίος διέφερε σημαντικά έχοντας τελικό μήκος ρίζας 2.482 cm.



**Σχήμα 5.** Τελικό μήκος ρίζας (15<sup>η</sup> ημέρα) των γενοτύπων στη μεταχείριση 30 % PEG. Μπάρες που συμβολίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Όσον αφορά το υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 % PEG) (Σχήμα 6), οι περισσότεροι γενοτύποι χαρακτηρίστηκαν από αδυναμία ανάπτυξης ρίζας. Εξάιρεση αποτέλεσαν ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, ο οποίος ανέπτυξε ρίζα, χωρίς ωστόσο να διαφέρει σημαντικά από τους γενοτύπους όπου παρατηρήθηκε αδυναμία ανάπτυξής της. Αντίθετα, οι γενοτύποι E-229 και E-202 (0.585 cm και 0.592 cm, αντίστοιχα) είχαν το μεγαλύτερο μήκος ρίζας, διαφέροντας σημαντικά από τους υπόλοιπους γενοτύπους.



**Σχήμα 6.** Τελικό μήκος ρίζας (15<sup>η</sup> ημέρα) των γενοτύπων στη μεταχείριση 50 % PEG. Μπάρες που συμβολίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

### 3.3 Μήκος Βλαστού

Τα αποτελέσματα όσον αφορά το τελικό μήκος βλαστού παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Με βάση την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε ότι το μήκος βλαστού επηρεάστηκε σημαντικά αρνητικά από την αύξηση της υδατικής καταπόνησης, καθώς στις μεταχειρίσεις 30 % και 50 % κανένας από τους γενοτύπους δεν κατάφερε να σχηματίσει βλαστό.

**Πίνακας 6:** Τελικό μήκος βλαστού (cm) του κάθε γενοτύπου στην κάθε μεταχείριση και μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους.

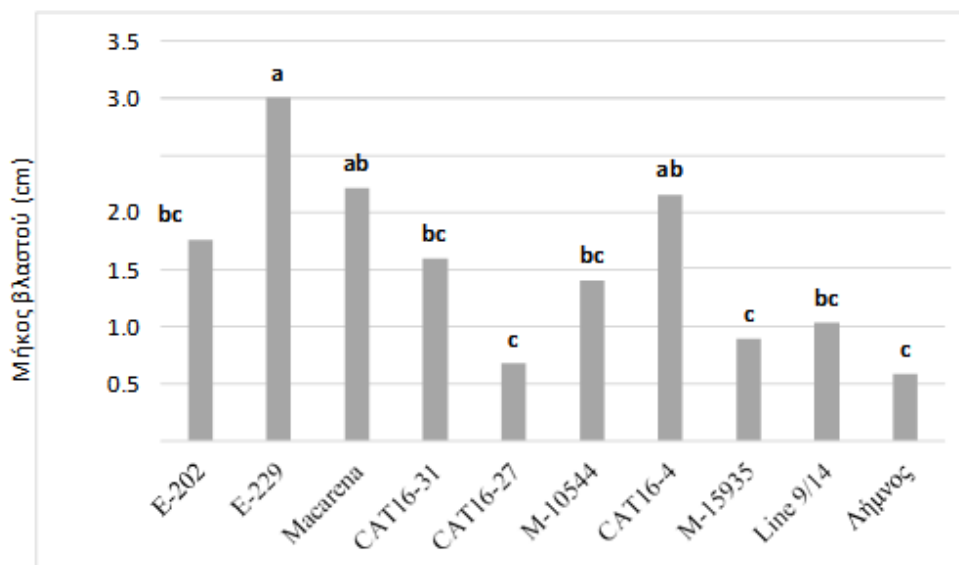
		Συγκέντρωση PEG		
Χρόνος	Γενότυπος	0	30 (-1MPa)	50 (-2,7MPa)
		E-202	1,765	0



15 ημέρες	E-229	3,006	0	0
	Macarena	2,212	0	0
	CAT16-31	1,596	0	0
	CAT16-27	0,68	0	0
	M-10544	1,405	0	0
	CAT16-4	2,153	0	0
	M-15935	0,895	0	0
	Line 9/14	1,033	0	0
	Λήμνος	0,58	0	0
	M.O	1,532 a	0,000 b	0,000 b

\* Αριθμοί που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Όσον αφορά την μεταχείριση 0 % PEG, ο γενότυπος E-229 διέφερε σημαντικά έχοντας το μεγαλύτερο τελικό μήκος βλαστού (3.006 cm) (Σχήμα 7). Αντίθετα, ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, η καθαρή σειρά CAT 16-27 και ο γενότυπος M-15935 εμφάνισαν σημαντικά μειωμένο μήκος βλαστού (0.580 cm, 0.680 cm και 0.895 cm, αντίστοιχα).



**Σχήμα 7.** Τελικό μήκος βλαστού (15<sup>η</sup> ημέρα) των γενοτύπων στη μεταχείριση 50 % PEG. Μπάρες που συμβολίζονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

### 3.4 Ποσοστό Υγρασίας του Σπόρου

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας των σπόρων. Όσον αφορά στο χρονικό διάστημα των 10 ημερών, η αύξηση του επιπέδου καταπόνησης επηρέασε σημαντικά το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας, με τον μέσο όρο στην μεταχείριση 0% να διαφέρει σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές των μεταχειρίσεων καταπόνησης. Παράλληλα, ο γενότυπος E-229 είχε το μεγαλύτερο μέσο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας (56,9 %), διαφέροντας σημαντικά από τους υπόλοιπους γενοτύπους (Πίνακας 7).

Κατά τη μέτρηση των 15 ημερών, παρατηρήθηκε και πάλι σημαντική μείωση του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας, αυξανόμενη της συγκέντρωσης του PEG. Ωστόσο, τα ποσοστά υγρασίας σπόρου στις 15 ημέρες ήταν υψηλότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά της μέτρησης των 10 ημερών. Εξάιρεση αποτέλεσαν δυο γενότυποι, οι οποίοι διέφεραν σημαντικά από τον γενικό μέσο όρο. Ο ένας γενότυπος είναι ο E-202, ο οποίος εμφάνισε το μεγαλύτερο μέσο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας στις 15 ημέρες (59,8 %). Ο άλλος γενότυπος είναι ο M-15935, ο οποίος εμφάνισε το μικρότερο μέσο ποσοστό στις 15 ημέρες (51,4 %) (Πίνακας 7).

**Πίνακας 7:** Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις.

		Συγκέντρωση PEG			
Χρόνος	Ποικιλία	0	30 (-1MPa)	50 (-2,7MPa)	M.O
10 ημέρες	E-202	63,70%	49,40%	53,40%	55,5% ab
	E-229	68,50%	50,00%	52,30%	56,9% a
	Macarena	65,50%	44,10%	45,60%	51,6% cd
	CAT16-31	67,70%	47,70%	51,80%	55,8% ab
	CAT16-27	60,70%	45,40%	47,90%	51,4% cd
	M-10544	59,70%	46,50%	46,40%	50,9% cd
	CAT16-4	62,20%	48,30%	46,80%	52,4% cd

	M-15935	60,50%	44,00%	46,20%	50,2% d
	Line 9/14	65,00%	45,00%	44,40%	51,5% cd
	Λήμνος	60,50%	51,00%	50,00%	53,8% bc
	M.O.	63,4% a	47,1%b	48,5% b	
<hr/>					
	E-202	75,80%	49,40%	54,10%	59,8% a
	E-229	71,80%	46,90%	54,90%	57,8% ab
	Macarena	73,30%	43,20%	45,90%	54,2% bcde
	CAT16-31	70,00%	42,80%	50,60%	54,4% bcde
15	CAT16-27	63,50%	43,90%	49,30%	52,3% de
ημέρες	M-10544	65,30%	46,30%	48,20%	53,2% cde
	CAT16-4	68,80%	48,40%	48,30%	55,2% bcde
	M-15935	64,80%	43,50%	46,30%	51,4% e
	Line 9/14	70,80%	44,30%	55,30%	56,8% abc
	Λήμνος	63,80%	53,20%	50,80%	55,8% bcd
	M.O.	68,8% a	46,2% c	50,4% b	

\* Αριθμοί που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

### 3.5 Ικανότητα Απορρόφησης Νερού των Σπόρων

Αναφορικά με την ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων, τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν την 3<sup>η</sup>, την 5<sup>η</sup> και την 7<sup>η</sup> ημέρα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Γενικότερα, παρατηρήθηκε αυξητική τάση στην ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων με την πάροδο του χρόνου (Πίνακας 8). Είναι δε αξιοσημείωτο ότι, και στις 3 μετρήσεις, διαπιστώθηκε η σημαντική μείωση της ικανότητας απορρόφησης νερού από τους σπόρους όταν η συγκέντρωση του PEG αυξήθηκε στο 30 %, στο επίπεδο των 50 % PEG η αντίστοιχη σημαντική μείωση καταγράφηκε κατά το διάστημα των 3 ημερών. Μεταξύ των υπό μελέτη γενοτύπων, ο γενότυπος M-15935 εμφάνισε τη μεγαλύτερη μέση ικανότητα απορρόφησης νερού (52,5 % και 56,4 % την 3<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup> ημέρα αντίστοιχα),

διαφέροντας σημαντικά από τους υπόλοιπους γενοτύπους. Κατά την τελευταία μέτρηση (7<sup>η</sup> ημέρα), οι γενοτύποι M-15935 και CAT16-31 χαρακτηρίστηκαν από τη μεγαλύτερη μέση ικανότητα απορρόφησης νερού (55 % και 54 %, αντίστοιχα) (Πίνακας 8).

**Πίνακας 8:** Ικανότητα απορρόφησης νερού των γενοτύπων στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις.

		Συγκέντρωση PEG			
Χρόνος	Ποικιλία	0	30 (-1MPa)	50 (-2,7MPa)	M.O
3ημέρες	E-202	54,00%	42,50%	48,00%	48,1% cd
	E-229	49,70%	40,80%	35,50%	42% f
	Macarena	48,70%	41,20%	40,00%	43,3% f
	CAT16-31	57,30%	48,90%	48,00%	51,4% ab
	CAT16-27	53,30%	47,90%	47,40%	49,4% abcd
	M-10544	49,50%	42,70%	42,30%	44,8% ef
	CAT16-4	55,80%	50,00%	45,60%	50,4% abc
	M-15935	58,30%	51,60%	47,70%	52,5% a
	Line 9/14	53,00%	48,90%	45,70%	49,2% bcd
	Λήμνος	50,00%	45,50%	44,80%	46,8% de
	M.O	53% a	46% c	44,5% d	
5ημέρες	E-202	56,80%	45,40%	47,50%	49,8% cd
	E-229	55,80%	39,80%	37,90%	44,4% e
	Macarena	50,80%	38,30%	38,20%	42,4% e
	CAT16-31	57,80%	50,60%	51,80%	53,3% b
	CAT16-27	55,50%	46,00%	46,80%	49,4% cd
	M-10544	53,50%	45,00%	46,30%	48,2% d
	CAT16-4	61,50%	48,50%	46,10%	52% bc
	M-15935	63,30%	53,40%	52,60%	56,4% a
	Line 9/14	56,50%	48,00%	45,60%	50,1% cd
Λήμνος	54,80%	51,50%	44,90%	50,3% cd	

	M.O	56,6% a	46,6% d	45,8% d	
	E-202	56,30%	47,00%	47,60%	50,2% b
	E-229	58,80%	40,60%	39,00%	46% c
	Macarena	56,50%	41,00%	40,00%	46% c
	CAT16-31	62,00%	48,20%	52,10%	54% a
7ημέρες	CAT16-27	57,80%	45,50%	48,50%	50,5% b
	M-10544	52,50%	41,20%	43,90%	45,8% c
	CAT16-4	62,80%	45,70%	45,00%	51% b
	M-15935	63,50%	49,80%	51,90%	55% a
	Line 9/14	58,30%	47,70%	44,50%	50,2% b
	Λήμνος	53,30%	47,70%	46,10%	49% bc
	M.O	58,2% a	45,4% d	45,9% d	

\* Αριθμοί που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

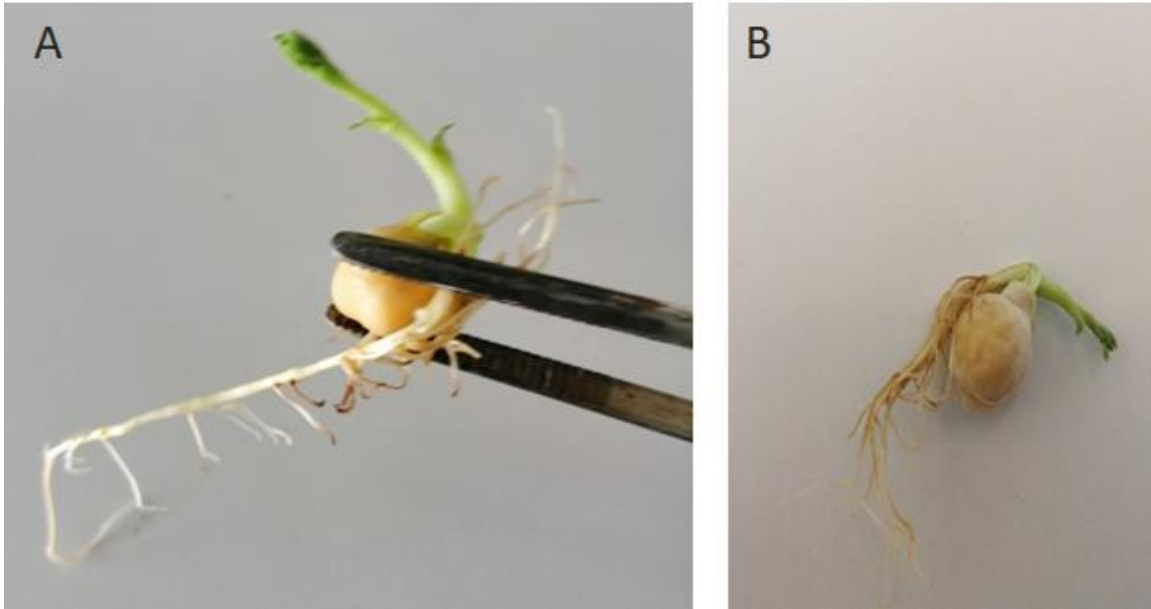
### 3.6 Δείκτης Ευρωστίας

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη ευρωστίας των γενοτύπων, ο οποίος εκτιμήθηκε βάσει του τελικού ποσοστού βλάστησης και του τελικού μήκους των σποροφύτων (15<sup>η</sup> ημέρα). Όπως ήταν αναμενόμενο, η αύξηση του επιπέδου καταπόνησης, αυξανομένης της συγκέντρωσης του PEG, οδήγησε σε σημαντική μείωση του δείκτη ευρωστίας του σπόρου. Μεταξύ των υπό μελέτη γενοτύπων, η ποικιλία E-229 εμφάνισε τον μεγαλύτερο μέσο δείκτη ευρωστίας, ο οποίος διέφερε σημαντικά σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των υπόλοιπων γενοτύπων (244 %). Αντίθετα, ο γενότυπος Line 9/14 παρουσίασε το μικρότερο μέσο δείκτη ευρωστίας (104 %). Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο ότι ο πληθυσμός Λήμνος παρουσίασε σημαντικά αυξημένο δείκτη ευρωστίας (201,5 %) στην μεταχείριση 30 % PEG, γεγονός που υποδηλώνει σημαντική ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης, λαμβάνοντας υπόψη ότι η εν λόγω συγκέντρωση PEG αποτελεί μεταχείριση ιδιαίτερα έντονης καταπόνησης.

**Πίνακας 9:** Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων για κάθε γενότυπο στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις, μέσος όρος της κάθε μεταχείρισης για όλους τους γενοτύπους και μέσος όρος των γενοτύπων για όλες τις μεταχειρίσεις.

Συγκέντρωση PEG				
Γενότυπος	0	30 (-1MPa)	50 (-2,7MPa)	M.O.
E-202	441,00%	45,00%	4,50%	163,5% bcde
E-229	702,00%	23,00%	7,00%	244% a
Macarena	569,00%	0,00%	0,00%	189,7% abcd
CAT16-31	395,00%	0,00%	0,00%	131,7% cde
CAT16-27	315,70%	51,20%	0,00%	122,3% de
M-10544	609,50%	61,00%	0,00%	223,5% ab
CAT16-4	549,00%	57,00%	0,00%	202% abc
M-15935	424,50%	0,00%	0,00%	141,5% cde
Line 9/14	301,70%	10,30%	0,00%	104% e
Λήμνος	280,00%	201,50%	1,50%	161% bcde
M.O	458,7% a	44,9% b	1,3% c	

\* Αριθμοί που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο  $p < 0,05$  σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.



**Εικόνα 8:** Συγκριτική απεικόνιση γενοτύπου που εμφάνισε μεγάλη (A) και μικρή (B) ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης, αντίστοιχα.

### 3.7 Συσχετίσεις μεταξύ των γνωρισμάτων

Όσον αφορά τις συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών, παρατηρήθηκε σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ όλων των χαρακτηριστικών που μελετήθηκαν (Πίνακας 10). Ειδικότερα, σημειώθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ των γνωρισμάτων που σχετίζονται με τη βλάστηση των σπόρων και ανάπτυξη των σποροφύτων, όπως το ποσοστό βλάστησης των σπόρων, το ποσοστό υγρασίας και η ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων, το μήκος ρίζας και βλαστού των σποροφύτων και ο δείκτης ευρωστίας. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσε το γνώρισμα του βάρους 1000 σπόρων, το οποίο δεν συσχετίστηκε σημαντικά με κανένα από τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν (Πίνακας 10).

**Πίνακας 10:** Συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών που μελετήθηκαν στο πλαίσιο εκτίμησης της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης.

Correlations	Βλάστηση %	ΠΥΣ	ΙΑΝ	Μήκος Ρίζας	Μήκος Βλαστού	Βάρος 1000 Σπόρων	ΔΕΣ
<b>Βλάστηση%</b>	1						
<b>ΠΥΣ</b>	,894 **	1					
<b>ΙΑΝ</b>	,802 **	,788 **	1				
<b>Μήκος Ρίζας</b>	,910 **	,861 **	,741 **	1			
<b>Μήκος Βλαστού</b>	,841 **	,878 **	,760 **	,866 **	1		
<b>Βάρος 1000 Σπόρων</b>	0,043	0,012	0,111	0,091	0,073	1	
<b>ΔΕΣ</b>	,914 **	,892 **	,785 **	,975 **	,947 **	0,009	1

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

---

Η ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας συνιστά έναν από τους περισσότερο δραστικούς περιοριστικούς παράγοντες που επηρεάζει σημαντικά την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών σε όλα τα αναπτυξιακά στάδια. Επιπλέον, η υδατική καταπόνηση επηρεάζει δυσμενώς την ικανότητα βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης των σποροφύτων καθώς το νερό είναι ζωτικής σημασίας για την επαγωγή της βλάστησης των σπόρων που δεν βρίσκονται σε λήθαργο (Kaydan & Yagmur, 2008). Είναι ευρέως γνωστό ότι ένα συγκεκριμένο ελάχιστο ποσοστό ενυδάτωσης είναι απαραίτητο για την ενεργοποίηση των ενζύμων που συμβάλλουν στη σύνθεση των φυτικών ιστών. Συνεπώς, η βλάστηση των σπόρων σχετίζεται άμεσα με την ενζυμική δραστικότητα και κατ' επέκταση την απορρόφηση νερού.

Με βάση την, εν εξελίξει, κλιματική κρίση αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και της ξηρασίας στον πλανήτη. Συνεπώς, είναι σημαντική η ευχερής και ταχεία αναγνώριση γενοτύπων με γενετική ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης. Το μόριο της πολυαιθυλενικής γλυκόλης (PEG) αποτελεί ένα μέσο που χρησιμοποιείται ευρέως για την τεχνητή πρόκληση ξηρασίας, ενώ έχει διαπιστωθεί ότι οι συνθήκες που δημιουργεί στο μέσο ανάπτυξης των φυτών προσομοιάζουν των ξηρικών συνθηκών αγρού. Το PEG είναι ένα εύκαμπτο, υδατοδιαλυτό πολυμερές που αξιοποιείται ευρέως για την προσομοίωση υψηλών ωσμωτικών πιέσεων, γεγονός που το καθιστά χρήσιμο στις διαδικασίες αναγνώρισης των ανεκτικών γενοτύπων.

Η βλάστηση των σπόρων είναι το σημαντικότερο στάδιο ανάπτυξης και επηρεάζεται τόσο από γενετικούς όσο και από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η έντονη υδατική καταπόνηση, που επιφέρει σημαντική μείωση του ωσμωτικού δυναμικού, οδηγεί σε σημαντική ανάλογη μείωση της ικανότητας βλάστησης των σπόρων. Σύμφωνα με αναφορές, υπάρχει ένα ορισμένο όριο ωσμωτικού δυναμικού (συγκέντρωση PEG), κατά το οποίο η ικανότητα βλάστησης των σπόρων εκμηδενίζεται (Delachiaive & dePino, 2003), επιφέροντας πλήρη αδυναμία βλάστησης.

Στοχεύοντας στην αξιολόγηση γενετικού υλικού ρεβιθιού ως προς την ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης στη φάση της βλάστησης, οι υπό μελέτη γενότυποι υποβλήθηκαν σε καταπόνηση ξηρασίας, μέσω της χρήσης πολυαιθυλενικής γλυκόλης, σε διαφορετικά επίπεδα στρες: 0 %, 30 % και 50 % PEG. Ακολούθησε προσδιορισμός της ικανότητας βλάστησης και ανάπτυξης των γονοτύπων υπό συνθήκες καταπόνησης, χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους αξιολόγησης της ανεκτικότητας το ποσοστό βλάστησης των σπόρων, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας και την ικανότητα απορρόφησης νερού των σπόρων, το μήκος ρίζας και βλαστού των σποροφύτων και το δείκτη ευρωστίας.

Τα ευρήματα της μελέτης κατέδειξαν ότι απουσία καταπόνησης (μάρτυρες, 0 %, PEG), το ποσοστό βλάστησης των σπόρων κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα για την πλειοψηφία των γονοτύπων, με εξαίρεση τις σειρές CAT 16-31 και CAT 16-27, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν από σημαντικά μειωμένο ποσοστό βλάστησης σε σχέση με τους υπόλοιπους γονοτύπους (86 % και 93 %, αντίστοιχα). Όπως αναμενόταν, η καταπόνηση των φυτών στο επίπεδο 30 % PEG επέφερε σημαντική μείωση του ποσοστού βλάστησης, συγκριτικά με τους μάρτυρες. Μοναδική εξαίρεση στην τάση μείωσης του ποσοστού βλάστησης αποτέλεσε ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, ο οποίος εμφάνισε εξαιρετική ικανότητα βλάστησης, εμφανίζοντας ποσοστό της τάξης του 79%. Ωστόσο, η περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης PEG (50 %) οδήγησε σε αδυναμία βλάστησης στην πλειοψηφία των γονοτύπων, με εξαίρεση τις ποικιλίες E-202 και E-229 καθώς και τον τοπικό πληθυσμό Λήμνος που κατάφεραν να διατηρήσουν μερικώς την ικανότητα βλάστησής τους (ποσοστό βλάστησης: 8%, 9% και 3%, αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με αναφορές σχετικά με τη σταδιακή μείωση της ικανότητας βλάστησης καθώς αυξάνει η συγκέντρωση PEG, με τη μείωση να αποδίδεται στην αποτροπή της εισόδου των μορίων νερού να εισέλθουν στους φυτικούς ιστούς (Delachiaive & dePino, 2003).

Αναφορικά με το μήκος της ρίζας, τα ευρήματα της μελέτης ανέδειξαν σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ των διαφορετικών ωσμωτικών δυναμικών όσο και μεταξύ των υπό μελέτη γονοτύπων. Απουσία καταπόνησης, αποδείχθηκε η ύπαρξη σημαντικής γενετικής παραλλακτικότητας μεταξύ των γονοτύπων, ωστόσο στο σύνολό τους οι γενότυποι χαρακτηρίστηκαν από ικανοποιητική ανάπτυξη. Παρουσία καταπόνησης, ήδη στο επίπεδο 30% PEG, παρατηρήθηκε δραστικότερη επίδραση έως και πλήρης ανάσχεση της

ανάπτυξης ρίζας, με εξαίρεση τον τοπικό πληθυσμό Λήμνος, που εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερο μήκος ρίζας σε σχέση με τους υπόλοιπους γενοτύπους (2,482 cm). Ομοίως, στο επίπεδο 50 % PEG, η πλειοψηφία των γενοτύπων δεν κατάφεραν να σχηματίσουν ρίζα, με εξαίρεση τις ποικιλίες E-202 και E-229 που χαρακτηρίστηκαν από ικανότητα έκπτυξης ρίζας (0,592 cm και 0,585 cm, αντίστοιχα). Τα ανωτέρω ευρήματα συμφωνούν με βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά τη μείωση του μήκος ρίζας υπό συνθήκες καταπόνησης, η οποία μάλιστα είναι ανάλογη με τη μείωση του ωσμωτικού δυναμικού (Alam et al., 2002, Yucel et al., 2010).

Περαιτέρω, η καταπόνηση ξηρασίας, μέσω PEG, οδήγησε σε αναστολή της επιμήκυνσης του επικοτυλίου περισσότερο από την ανάπτυξη της ρίζας καθώς και ανάλογη μείωση του λόγου βλαστός / ρίζα. Το μήκος τόσο του βλαστού όσο και της ρίζας, επηρεάζονται δυσμενώς από την μείωση του ωσμωτικού δυναμικού (Kalefetoglu et al., 2008, Yucel et al., 2010). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, απουσία καταπόνησης, οι γενοτύποι δε διέφεραν μεταξύ τους ως προς το μήκος βλαστού, με εξαίρεση την ποικιλία E-229, η οποία διέφερε στατιστικά από τους υπόλοιπους γενοτύπους (3,006 cm). Είναι αξιοσημείωτο ότι παρουσία καταπόνησης, και στα δύο επίπεδα (30 % και 50 %), παρατηρήθηκε πλήρης ανασχεση της ανάπτυξης βλαστού σε όλους τους γενοτύπους. Η δραστική επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ικανότητα ανάπτυξης βλαστού πιθανά αποδίδεται στο ότι η ρίζα είναι το πρώτο όργανο που φύεται από τον σπόρο, με αποτέλεσμα η ανάπτυξη της να είναι ταχύτερη από αυτή των βλαστών, καθώς επίσης ότι οι τελευταίοι δεν έχουν κάποια άμεση επαφή με νερό, λόγω της αργής τους εμφάνισης και της θέσης τους.

Ένα πρόσθετο γνώρισμα που επηρεάστηκε σημαντικά από το ωσμωτικό δυναμικό ήταν το ποσοστό της υγρασίας του σπόρου, με τα αποτελέσματα να αναδεικνύουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η περιεχόμενη υγρασία των σπόρων εμφάνισε στατιστικά σημαντική μείωση, η οποία υπήρξε ανάλογη της μείωσης του ωσμωτικού δυναμικού. Παράλληλα, όπως αναμενόταν, η περιεχόμενη υγρασία των σπόρων αυξήθηκε αισθητά με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα να ληφθούν υψηλότερες τιμές έπειτα από την πάροδο 15 ημερών. Αντίστοιχα ευρήματα σχετικά με το ποσοστό της υγρασίας του σπόρου έχουν αναφερθεί και σε μελέτες άλλων ερευνητών (Yucel et al., 2010, Foti et al., 2017).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, ο δείκτης ευρωστίας διακρίνεται ως το πλέον αξιόπιστο και αντικειμενικό κριτήριο για την εκτίμηση της απόκρισης των γενοτύπων στην υδατική καταπόνηση, με την υπεροχή του εν λόγω δείκτη να αποδίδεται στο γεγονός ότι συνδυάζει την ικανότητα βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης των σποροφύτων. Όπως ήταν αναμενόμενο, εφόσον στον τύπο του δείκτη ευρωστίας περιλαμβάνεται το ποσοστό βλάστησης και το μήκος του σποροφύτου, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενοτύπων. Στο επίπεδο 30 % (-1 MPa), ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος εμφάνισε την υψηλότερη τιμή SVI (201,50 %), η οποία χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα υψηλή τιμή για τη συγκεκριμένη ένταση καταπόνησης. Με βάση την κατηγοριοποίηση των γενοτύπων, η οποία βασίστηκε στο δείκτη ευρωστίας, οι ποικιλίες M-10544 και E-229 διακρίθηκαν για την ανοχή τους στην καταπόνηση ξηρασίας μεταξύ των υπό μελέτη γενοτύπων (223,5 % και 244 %, αντιστοίχως).

Στις εργασίες άλλων ερευνητών παρατηρήθηκε συσχέτιση του ποσοστού βλάστησης με το βάρος 1000 σπόρων, το οποίο προφανώς σχετίζεται με το μέγεθος του σπόρου. Στην παρούσα μελέτη, επιβεβαιώθηκε η παραπάνω συσχέτιση καθώς το ποσοστό βλάστησης παρουσίασε σημαντική συσχέτιση με το μέγεθος του σπόρου. Το ποσοστό βλάστησης παρουσίασε υψηλή θετική συσχέτιση ( $r = 0,910^{**}$ ) και με το μήκος της ρίζας. Αντίστοιχα ευρήματα υψηλής συσχέτισης αναφέρθηκαν και από άλλους ερευνητές (Yucel et al. 2010). Επίσης, σημειώθηκε υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ του μήκους βλαστού και της περιεχόμενης υγρασίας των σπόρων ( $r = 0,878^{**}$ ), γεγονός που υποδηλώνει ότι η περιεκτικότητα ύδατος συνδέεται θετικά με το δυναμικό ανάπτυξης του βλαστού.

Συνοψίζοντας, η υδατική καταπόνηση έχει αρνητική επίδραση στο ρεβίθι, όπως και στην πλειοψηφία των καλλιεργούμενων δυτικών ειδών, καθώς δυσκολεύει την ανάπτυξη ή/και παρεμποδίζει ολοκληρωτικά τη βλάστηση. Συνεπώς, είναι επιτακτική η ανάγκη εύρεσης γενοτύπων ανεκτικών σε τέτοιες αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Παράλληλα, τα αποτελέσματα της μελέτης υποστηρίζουν ότι η χρήση του δείκτη ευρωστίας, ο οποίος συνδυάζει τόσο το ποσοστό βλάστησης όσο και τη μετέπειτα ανάπτυξη των σποροφύτων, αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την εκτίμηση της ανεκτικότητας και την αναγνώριση των ανεκτικών γενοτύπων. Συμπερασματικά, οι ποικιλίες M-10544, E-229 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος διακρίθηκαν για την ανοχή τους στην υδατική καταπόνηση και αποτελούν υποσχόμενο γενετικό υλικό, το οποίο

χρήζει περαιτέρω μελέτης για πιθανή αξιοποίησή του άμεσα για καλλιέργεια ή αξιοποίηση σε βελτιωτικά προγράμματα.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Η ήδη υπάρχουσα κλιματική κρίση αναμένεται να φέρει μια γενικότερη αύξηση στη θερμοκρασία και στην υδατική ανεπάρκεια του πλανήτη, γεγονός το οποίο καθιστά επιτακτική την ανάγκη αξιολόγησης των διαθέσιμων γενοτύπων ως προς την ανεκτικότητα έναντι των ανωτέρω αβιοτικών καταπονήσεων. Το ρεβίθι, αν και εμφανίζει σχετική αντοχή στην υδατική καταπόνηση, αποτελεί είδος το οποίο πλήττεται από την υδατική καταπόνηση τόσο σε επίπεδο αύξησης και ανάπτυξης όσο και σε επίπεδο παραγωγικότητας. Στόχο της μελέτης αποτέλεσε η αξιολόγηση γενετικού υλικού ρεβιθιού, εγχώριου και εισαγόμενου, ως προς την ανεκτικότητα έναντι της υδατικής καταπόνησης με απώτερο σκοπό την αναγνώριση ανεκτικών γενοτύπων για ενσωμάτωση σε βελτιωτικά προγράμματα.

Όπως έχει αναδειχθεί από σχετικές μελέτες, η υδατική καταπόνηση σχετίζεται άμεσα με γνωρίσματα που σχετίζονται με την ικανότητα βλάστησης των σπόρων και ανάπτυξης κατά τα πρώτα αναπτυξιακά στάδια, συμπεριλαμβανομένων του ποσοστού βλάστησης, της ικανότητας απορρόφησης νερού των σπόρων, του μήκους ρίζας και βλαστού (Yucel et al., 2010, Kaur et al., 2002). Αναφορικά με τα ανωτέρω γνωρίσματα, τα αποτελέσματα της μελέτης ανέδειξαν την ύπαρξη σημαντικής γενετικής παραλλακτικότητας σχετικά με το γνώρισμα της ανεκτικότητας έναντι της υδατικής καταπόνησης. Μεταξύ των υπό μελέτη γενοτύπων, η ποικιλία M-15935 διακρίθηκε ως προς την ικανότητα απορρόφησης νερού, ενώ ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος υπερείχε ως προς το ποσοστό βλάστησης των σπόρων. Τέλος, η ποικιλία E-229 εμφάνισε σημαντική υπεροχή αναφορικά με το ποσοστό βλάστησης, το μήκος ρίζας και βλαστού, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας καθώς και το δείκτη ευρωστίας. Βάσει των συνολικών ευρημάτων, οι συγκεκριμένοι τρεις γενότυποι αποτελούν υποσχόμενο γενετικό υλικό, το οποίο σαφώς χρήζει περαιτέρω μελέτης σε συνθήκες αγρού. Σύμφωνα με τα δεδομένα της μελέτης, προτείνεται η αξιοποίηση των εν λόγω γενοτύπων σε βελτιωτικά προγράμματα που στοχεύουν στην ανάπτυξη ποικιλιών ανεκτικών σε συνθήκες ξηρασίας.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

1. Satvir Kaur, Anil K. Gupta and Narinder Kaur 2001. Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. Department of Biochemistry, Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab, India.
2. C. Foti, E.M. Khah, O.I. Pavli 2017. Germination profiling of lentil genotypes subjected to salinity stress. Laboratory of Genetics and Plant Breeding, School of Agricultural Science, University of Thessaly, Volos, Greece.
3. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR, Özlem TURAN, Yasemin EKMEKÇİ 2008. Effects of Water Deficit Induced by PEG and NaCl on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars and Lines at Early Seedling Stages. Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey.
4. Derya Ozveren Yucel, Adem Emin Anlarsal, Durdane Mart and Celal Yucel. 2010. Effects of Drought Stress on Early Seedling Growth of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes. Plant Protection Research Institute Adana Turkey. Department of C.U. Agriculture Faculty, Field Crops Adana Turkey. Cukurova Agriculture Research Institute Adana Turkey.
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. FAOSTAT database. <http://www.fao.org/faostat/>
6. [https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change\\_el](https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_el)
7. Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51, 914-917
8. Mujeeb-ur-Rahman, Umed A.S, Mohammad Z., Shereen G. (2008) Effects of NaCl salinity on 5 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars *World Journal of Agricultural Sciences*, 4 (3), 398-403.
9. Black M., Pritchard H. (2002) Desiccation and survival in plants drying without dying. New 2 York, CABI publishing: 93-110.
10. Abdual-Baki A.A., Anderson J.D. (1973) Relationship between decarboxilation of glutamic acid 14 and vigour in soybean seed. *Crop Science*, 13, 222-226.

11. Kaydan D. and M Yagmur. 2008. Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African J. Biotechnol.*, 7(16): 2862-2868.
12. Delachiave, M.E.A., de Pinho, S.Z., “Germination of *Senna occidentalis* link: Seed at different osmotic potential levels”, *Braz. Arch. Biol. Techn.*, 46: 163- 166 (2003).
13. Alam, M.Z., T. Stuchbury and R.E.L. Naylor. 2002. Effect of NaCl and PEG induced Osmotic Potentials on Germination and Early Seedling Growth of Rice Cultivars Differing in Salt Tolerance. *Pakistan J. Biological Sci.*, 5(11): 1207-1210.
14. <http://www.gaiapedia.gr>