

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

**«Αξιολόγηση δέκα γονοτύπων ρεβιθιού ως προς την
ανθεκτικότητά τους σε υδατική καταπόνηση σε πρώιμο αναπτυξιακό
στάδιο».**



Ρούντου Ευτυχία
Επιβλέπων καθηγητής: Αβραάμ Χα

Βόλος, 2021

Περιεχόμενα	
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ABSTRACT	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	13
1.1 Το ρεβίθι (<i>Cicer arietinum</i>).....	13
1.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	13
1.1.2 Κλιματολογικές απαιτήσεις.....	14
1.1.3 Βοτανικά Χαρακτηριστικά	16
1.1.4 Θρεπτική Αξία	18
1.2 Καταπονήσεις.....	18
1.2.1 Γενικές Πληροφορίες	18
1.2.2 Υδατική Καταπόνηση	19
1.2.3 Καταπόνηση Αλατότητας	20
1.2.4 Ακραίες Θερμοκρασίες	20
1.2.5 Ακτινοβολία.....	21
1.2.6 Ανεπάρκεια οξυγόνου	22
1.2.7 Βαρέα μέταλλα	23
1.2.8 Αέριοι ρύποι	23
1.2.9 Εδαφικό pH.....	24
1.3 Επιπτώσεις της ξηρασίας στους φυτικούς οργανισμούς.....	25
1.3.1 Επιπτώσεις της ξηρασίας στην καλλιέργεια ρεβιθιών	26
1.4 Μηχανισμοί απόκρισης των φυτών στις αβιοτικές καταπονήσεις.....	27
1.4.1 Απόκριση του ρεβιθιού στην καταπόνηση ξηρασίας.....	31
1.5 Σκοπός της παρούσης διατριβής.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	33
2.1 Γενικά υλικά και μέθοδοι.....	33
2.1.1 Συνθήκες Εργαστηρίου	33

2.1.2	Γενότυποι και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.....	33
2.1.3	Μετρήσεις.....	35
2.2	Ανάλυση Δεδομένων.....	38
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	40
3.1	Αποτελέσματα.....	40
3.1.1	Βλαστική ικανότητα σπόρων (BI).....	40
3.1.2	Μήκος ρίζας.....	43
3.1.3	Μήκος βλαστού.....	47
3.1.5	Περιεχόμενη υγρασία σπόρου.....	51
3.1.6	Δείκτης ευρωστίας σπόρου.....	52
3.1.7	Ανάλυση παραμέτρων.....	53
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	56
4.1	Συζήτηση.....	56
4.2	Συμπεράσματα.....	60
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61
	Εικόνα 1 Βιολογικά δίκτυα που δημιουργήθηκαν ως αναπαράσταση της αλληλεπίδρασης της ξηρασίας και της φωτοσύνθεσης (Pinheiro and Chaves, 2010).27	
	Εικόνα 2 Η πολυπλοκότητα της απόκρισης των φυτικών οργανισμών στα είδη αβιοτικού στρες, και η διασύνδεση αυτών. (Wang et al., 2003).	28
	Εικόνα 3 Απόκριση των φυτών υπό καταπόνηση ξηρασίας (Vat, 2018).....	31
	Εικόνα 4 Τα πειραματικά τεμάχια, αποστειρωμένα με τοποθετημένους σπόρους, διαβρεγμένα με PEG, μυκητοκτόνο και απεσταγμένο νερό.....	35
	Εικόνα 5 Μέτρηση βλαστικότητας, την 7η ημέρα.....	36
	Εικόνα 6 Μέτρηση μήκους ρίζας και βλαστού, την 9 ^η ημέρα.....	38
	Διάγραμμα 1. Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 0% 40	
	Διάγραμμα 2 Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 5%.	Error! Bookmark not defined.
	Διάγραμμα 3 Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 10%.	41

Διάγραμμα 4 Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 20%.	42
Διάγραμμα 5 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 0%.....	44
Διάγραμμα 6 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 5%.....	44
Διάγραμμα 7 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 10%.....	45
Διάγραμμα 8 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 20%.....	46
Διάγραμμα 9 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 0%.....	47
Διάγραμμα 10 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 5%.....	48
Διάγραμμα 11 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 10%.....	48
Διάγραμμα 12 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 20%.....	49
Πίνακας 1. Βιοχημικές και φυσιολογικές φυτικές αντιδράσεις στην καταπόνηση ξηρασίας (Vas, 2018).....	28
Πίνακας 2 Μέσο βάρος ενός σπόρου για κάθε γενότυπο κατά την έναρξη του πειράματος.....	37
Πίνακας 3 Μέσοι όροι βλάστησης ανά μεταχείριση και μέσοι όροι βλάστησης ανά γενότυπο.....	43
Πίνακας 4 Μέσες τιμές μήκους ρίζας ανά μεταχείριση και μέσες τιμές μήκους ρίζας ανά γενότυπο.....	46
Πίνακας 5 Μέσοι όροι τιμών μήκους βλαστού ανά το σύνολο των γενοτύπων σε κάθε μεταχείριση και ανά γενότυπο.....	50
Πίνακας 6 Μέσοι όροι ποσοστού απορρόφησης νερού ανά γενότυπο και ανά σύνολο γενοτύπων σε κάθε μεταχείριση.....	50
Πίνακας 7 Μέσοι όροι ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας ανά γενότυπο και ανά σύνολο γενοτύπων σε κάθε μεταχείριση.....	51
Πίνακας 8 Μέσοι όροι του ποσοστού Δείκτη Ευρωστίας Σπόρου ανά γενότυπο και μέσοι όροι ποσοστού ΔΕΣ ανά μεταχείριση.....	52
Πίνακας 9 Κατάταξη των γενοτύπων με βάση τον ΔΕΣ, σε ανθεκτικές, ανεκτικές, ελαφρώς ανεκτικές κι ευαίσθητες.....	53
Πίνακας 10 Η επίδραση των παραμέτρων Γενότυπος, Μεταχείριση και η αλληλεπίδραση Γενότυπος × Μεταχείριση, στη βλαστική ικανότητα (Βλαστικότητα), στην ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN), στην περιεχόμενη υγρασία σπόρου (ΠΥΣ), στο μήκος ρίζας (MP) και βλαστού (MB) και στον δείκτη ευρωστίας σπόρου (ΔΕΣ), σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$	54

Πίνακας 11 Τα ποσοστά επίδρασης των παραμέτρων Γενότυπος, Μεταχείριση και η αλληλεπίδραση Γενότυπος × Μεταχείριση, στη βλαστική ικανότητα (Βλαστικότητα), στην ικανότητα απορρόφησης νερού (ΙΑΝ), στην περιεχόμενη υγρασία σπόρου (ΠΥΣ) , στο μήκος ρίζας (ΜΡ) και βλαστού (ΜΒ) και στον δείκτη ευρωστίας σπόρου (ΔΕΣ), σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$54

Πίνακας 12 Πίνακας Συσχετίσεως μεταξύ των χαρακτηριστικών.....55

**«Αξιολόγηση δέκα γονοτύπων ρεβιθιού ως προς την
ανθεκτικότητά τους σε υδατική καταπόνηση σε πρώιμο αναπτυξιακό
στάδιο».**

**«Drought tolerance evaluation in the early seedling stages of ten
chickpea genotypes»**

Μέλη τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

Αβραάμ Χα, Καθηγητής Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Ουρανία Παυλή, Επίκουρος Καθηγήτρια Γενετικής Βελτίωσης Φυτών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής Γεωργίας-Οικολογίας Φυτών
Μεγάλης Καλλιέργειας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

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

Ρούντου Ευτυχία

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διατριβή αυτή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν εγκαταστάσεις και εξοπλισμός του οικείου Εργαστηρίου.

Ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Χα-Ιμπραχίμ Αβραάμ, καθώς και τη γεωπόνο κα. Παναγιωτάκη Ευαγγελία για την καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Θερμές ευχαριστίες και στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κοσκοσίδη Αβραάμ για τις χρήσιμες συμβουλές και την απερίγραπτη συμβολή. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις φοιτήτριες Κουκουμτζή Αντιγόνη και Μαρκοπούλου Ευρυδίκη-Μαρία για την ηθική υποστήριξη. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω, τα μέλη του Εργαστηρίου για τη βοήθεια και καλή συνεργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης διατριβής ήταν η αξιολόγηση δέκα επιλεγμένων γενοτύπων ρεβιθιού (*Cicer arietinum* L.), όταν αυτοί υποβληθούν σε *in vitro* συνθήκες προσομοίωσης υδατικής καταπόνησης, με τη χρήση πολυαιθυλενογλυκόλης (PEG 6000). Οι ποικιλίες M-10544 και E229 παρουσίασαν αντοχή στις μέγιστες συνθήκες καταπόνησης, με υψηλές τιμές Δείκτη Ευρωστίας Σπόρου και ποσοστά βλαστικότητας 99% και 96%, αντίστοιχα. Με βάση τον Δείκτη Ευρωστίας Σπόρου, οι γενοτύποι κατηγοριοποιήθηκαν σε ανθεκτικούς, ανεκτικούς, ελαφρώς ανεκτικούς και ευαίσθητους.

Από τους 10 γενοτύπους ρεβιθιού που αξιολογήθηκαν, οι πέντε είναι γονότυποι που καλλιεργούνται στην Ελλάδα και οι πέντε καλλιεργούνται σε χώρες του εξωτερικού. (ICARDA, Μεξικό). Για τη δημιουργία συνθηκών υδατικής καταπόνησης οι γονότυποι εκτέθηκαν σε τέσσερις διαφορετικές συγκεντρώσεις πολυαιθυλενογλυκόλης (PEG 6000), 0% (μάρτυρας), 5% (0.05 MPa), 10% (0.15 MPa) και 20% (0.5 MPa). Για κάθε συγκέντρωση έγιναν τέσσερις επαναλήψεις με Μετρήθηκε το ποσοστό βλάστησης των σπόρων (BI), η ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN), το μήκος της ρίζας (MP) και του βλαστού (MB), ο δείκτης ευρωστίας σπόρου (ΔΕΣ) και το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας (ΠΥΣ) μετά από ξήρανση στους 70°C για 48 ώρες.

Όλα τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν επηρεάστηκαν σημαντικά από τη συγκέντρωση της PEG. Παρατηρήθηκε παραλλακτικότητα μεταξύ των γενοτύπων ως προς τη μέση BI για όλα τα επίπεδα καταπόνησης που κυμάνθηκε από 99% έως 59%. Η ποικιλία M-10544 παρουσίασε αντοχή στην υδατική καταπόνηση δίνοντας ποσοστό βλαστικότητας 99% κάτω από τη μέγιστη συγκέντρωση PEG (20%), ακολουθούμενη από την ποικιλία E229 με ποσοστό BI 96%. Αντίθετα, οι καθαρές σειρές CAT16-4 και CAT16-27 παρουσίασαν ευαισθησία στις συνθήκες μέγιστης καταπόνησης, με ποσοστά BI 0% και 10%, αντίστοιχα. Στις συνθήκες μέγιστης καταπόνησης οι ποικιλίες M-10544, και E229 είχαν τις μεγαλύτερες τιμές για το μήκος ρίζας 7,4 εκ και 4,6 εκ αντίστοιχα και βλαστού 2,1εκ. και 3,5 εκ. . Η μέση IAN των γενοτύπων κυμάνθηκε από 61,7% έως 50,1%, με την ποικιλία M-15935 να εμφανίζει τη μέγιστη IAN (60,7%) στη μεταχείριση PEG 20%, ενώ το μέσο ΠΥΣ των γενοτύπων κυμάνθηκε από 71,7% έως 55%, με την ποικιλία E202 να παρουσιάζει το μέγιστο ΠΥΣ (71,7%)

στο PEG 20%. Ο μέσος ΔΕΣ των ποικιλιών κυμάνθηκε από 7,31 έως 1,45. Οι ποικιλίες M-10544 και E229 είχαν το μέγιστο ΔΕΣ στη συγκέντρωση PEG 20% 7,31 και 7,02.

Οι γενότυποι, κατηγοριοποιήθηκαν σε ανθεκτικούς (ΔΕΣ>7), ανεκτικούς (ΔΕΣ: 4,5-7), ελαφρώς ανεκτικούς (ΔΕΣ: 2-4,5) και ευαίσθητους (ΔΕΣ<2), με βάση το ΔΕΣ. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται οι ποικιλίες M-10544 και E229. Στη δεύτερη οι καθαρές σειρές CAT16-31 και M-15935. Στην τρίτη η ποικιλία E202 και η καθαρή σειρά Line 9/14. Στην τελευταία ο εμπορικός σπόρος Macarena, οι καθαρές σειρές CAT16-27, CAT16-4 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος.

Συμπεραίνεται ότι υπάρχει αξιολογή παραλλακτικότητα ως προς τη ΒΙ σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, με τις ποικιλίες M-10544 και E229 να υπερτερούν όσον αφορά την αντοχή στην υδατική καταπόνηση. Ωστόσο, η απόδοση ενός γενοτύπου στο εργαστήριο συχνά διαφέρει από την απόδοση της στο χωράφι, έτσι η ανθεκτικότητα στην ξηρασία των ποικιλιών M-10544 και E229 θα πρέπει να αξιολογηθεί περαιτέρω και να επιβεβαιωθεί σε πειράματα αγρού.

ABSTRACT

The purpose of the thesis was to evaluate ten selected chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes, under induced drought stress conditions, using polyethylene glycol (PEG 6000). The commercial varieties M-10544 and E229 presented drought tolerance when evaluated under the highest distress conditions, high values of Seed Vigor Index and their germination percentage were 99% and 96%, respectively. Using the Seed Vigor Index as criteria, the genotypes were categorized as tolerant, resistant, slightly resistant and sensitive.

Ten genotypes were evaluated, five of which came from Greece and the other five came from abroad (ICARDA, Mexico). In order to create *in vitro* drought stress conditions, four repetitions of four PEG 6000, in different levels, solutions were manufactured, each containing 0% (blanc), 5% (0.05 MPa), 10% (0.15 MPa) and 20% (0.5 MPa), respectively. The seed germination percentage was estimated, as well as the seed vigor index, the root and shoot length, the water absorbance and lastly, the water content after drying the seeds for 48 hours at 70°C.

The evaluated characteristics were significantly affected by PEG concentration. High variability to all genotypes was observed, considering the seed germination capability, which ranged between 59% to 99%. The highest germination percentages under the higher level of PEG induced stress (20%), were those of the commercial varieties M-10544 and E229 (99% and 96%), showing considerable tolerance, whilst the elite lines CAT16-4 and CAT16-27, showed greater sensitivity under the same condition (20% PEG) and the lowest germination percentages (0% and 10%). The commercial varieties M-10544 (RL=7,4 cm., SL=2,1cm.) and E229 (RL=4,6 cm., SL=3,5 cm.) also presented the highest root and shoot values, when 20% PEG were applied. The mean water absorbance percentage ranged between 61,7% and 50,1%, while M-10544 presented the highest percentage (60,7%). The mean seed water content ranged between 71,7% and 55%, while E202 presented the highest percentage (71,7%). The mean seed vigor index ranged between 1,45 and 7,31, while the commercial varieties M-10544 and E229 presented the highest values (7,31 and 7,02), at 20% PEG concentration.

The genotypes were categorized using the SVI, as tolerant (SVI>7), resistant (SVI: 4,5-7), slightly resistant (SVI: 2-4,5) and sensitive (SVI<2). The varieties M-10544 and

E229 were characterized as tolerant genotypes, the elite lines CAT16-31 and M-15035 as resistant, E202 and Line 9/14 as slightly resistant and lastly, the landrace Limnos, commercial variety Macarena, elite lines CAT16-4 and CAT16-27 were characterized as sensitive.

In conclusion, high variability is observed considering the germination capability under water deficit condition, with M-10544 and E229 showing great leverage, all things considered. However, a cultivars yield *in vitro* evaluation, differs considerably from that of field evaluation, therefore the drought tolerance exhibited from the commercial varieties M-10544 and E229 should be furthermore investigated and be confirmed at field experiments.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Το ρεβίθι (*Cicer arietinum*)

1.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το καλλιεργούμενο ρεβίθι ανήκει στο είδος *Cicer arietinum* και είναι το μοναδικό, από τα 43 είδη του γένους *Cicer*, που καλλιεργείται και κατηγοριοποιείται ως χειμερινό ψυχανθές. Η προέλευση του ρεβιθιού εντοπίζεται στη Ν. Α. Τουρκία και στις γειτονικές περιοχές της Συρίας, ακόμα και νότια από τον Καύκασο, στη Μεσόγειο και την Αιθιοπία, σύμφωνα με πολλούς βοτανολόγους. Ο άγριος πρόγονος γονότυπος ανήκει μάλλον στο είδος *C. Reticulatum* (Singh, 1997). Στην Ελλάδα, από αρχαιοτάτων χρόνων, γίνονται αναφορές στο ρεβίθι με διάφορες ονομασίες όπως ροβίθι, ερβίθι, «χρύσειοι ερέβινθοι», και σύμφωνα με τον Θεόφραστο διακρίνονταν τρεις τύποι ρεβιθιών. Ο πρώτος τύπος ήταν στην Ελλάδα γνωστός ως «κρίος» με μελανούς καρπούς, και ο άλλος γνωστός τύπος ήταν ο «ερέβινθος ο ήμερος». Τα ρεβίθια καταναλώνονταν από τότε είτε ως όσπρια, είτε για να παρασκευάσουν άρτους, αντί για καφέ, αλλά και ως αποξηραμένα στραγάλια (Λέτσας, 1957). Στη σύγχρονη εποχή, το ρεβίθι καταναλώνεται ως όσπριο και ως ξηρός καρπός. Προτιμάται ιδιαίτερα σε χώρες και από ανθρώπους που η διατροφή τους δεν περιλαμβάνει το κρέας, λόγω της ποσότητας περιεχόμενης πρωτεΐνης ύψους του 17-28% αλλά και της καλής ποιότητας αυτής. Επιπλέον λόγω της περιεκτικότητας του σε του υδατάνθρακες που κυμαίνεται μεταξύ 48 και 58%, χωρίς να περιλαμβάνουν αντιθρεπτικούς παράγοντες μεγάλης σημασίας. Πλέον, οι σπόροι των πιο μικρόσπερων ποικιλιών και το σανό του ρεβιθιού είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφή, σε μικρότερη έκταση. Για να καθιερωθεί η χρήση του ρεβιθιού ως ζωοτροφή, έναντι άλλων καρπών, είναι πρώτα απαραίτητο να σταθεροποιηθεί και να αυξηθεί η ετήσια παραγωγή του (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Τη σημερινή εποχή, το καλλιεργούμενο ρεβίθι ανήκει στα πιο σπουδαία καρποδοτικά ψυχανθή σε παγκόσμια κλίμακα. Η Ινδία κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή ρεβιθιού με το 60% της παγκόσμιας παραγωγής, ακολουθούμενη από την Τουρκία, το Πακιστάν αλλά και το Ιράν, το Μεξικό και τέλος την Αιθιοπία και την

Αυστραλία (FAO, 2004). Οι αποδόσεις της παραγωγής ρεβιθιού σε γενικό επίπεδο είναι 50-200 kg/ στρ. και γίνονται αξιόλογες προσπάθειες για την αύξηση τους (Kumar and Abbo, 2001). Βρέθηκε ότι σε ξηρό και θερμό περιβάλλον οι αποδόσεις ξεκινάνε λιγότερο από 50kg/ στρ. σε αρδευόμενες καλλιέργειες μπορεί να φτάσει τα 300kg/στρ., ενώ σε πειραματικούς αγρούς έχουν φτάσει τα 400kg/στρ. (Fageria 1992, Πιάδης 1998).

Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, γίνεται πολύ περιορισμένη παραγωγή ρεβιθιού. Το 1998 η μέση στρεμματική απόδοση έφθασε στα 140 kg/στρ. (ΕΣΥΕ 1998). Νέες ποικιλίες που δημιουργούνται δίνουν περιθώρια επέκτασης της παραγωγής, λόγω της αυξημένης τους αντοχής σε ασθένειες αλλά και της εφικτής φθινοπωρινής σποράς τους, η οποία δίνει μεγαλύτερη παραγωγή αν συγκριθεί με την τυπική ανοιξιάτικη (Ηλιάδης, 2000). Το Ινστιτούτο Κτηνοτροφικών Φυτών και Βοσκών Λάρισας βελτίωσε τις ποικιλίες «Αμοργός» και «Άνδρος» και επιτεύχθηκαν αποδόσεις του ύψους 200-280kg/στρ. σε φθινοπωρινή σπορά (Ηλιάδης, 1992α).

1.1.2 Κλιματολογικές απαιτήσεις

Οι κλιματικές απαιτήσεις του ρεβιθιού περιλαμβάνουν κυρίως θερμά και σχεδόν ξηρά κλίματα, με μικρή σχετικά αντοχή στο κρύο σε σχέση με άλλα χειμερινά ψυχανθή. Η αντοχή του σε ακραίες θερμοκρασίες ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία και την προέλευση του σπόρου. Κατά βάση, απαιτούνται θερμοκρασίες από 5°C για τη βλάστηση των σπόρων (Murray *et al.*, 1988). Οι συνήθεις ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες για άνθηση, καρπόδεση και επικονίαση, σύμφωνα με τον Fageria (1992), είναι 10-14°C και 25-31°C, αντίστοιχα. Υπάρχουν αναφορές από τους Kumar and Abbo (2001) ότι θερμοκρασίες χαμηλότερες των 20°C έχουν δυσμενή επίδραση στη βλάστηση της γύρης και τη σωστή διάπλαση του βλαστικού σωλήνα. Επιπλέον, ο Ηλιάδης (1992^α) αναφέρει τη δημιουργία ατελών, χωρίς πέταλα και με ατροφικούς ανθήρες ανθέων, τα οποία δεν παράγουν σπόρους λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών και της υψηλής υγρασίας. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί αντοχή των νεαρών φυτών σε ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες, από -10°C ως -27°C, σε κάποιες ποικιλίες. Επίσης έχει παρατηρηθεί αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες νεαρών φυτών όταν αυτά καλύπτονται από χιόνι λόγω της μόνωσης που επιτυγχάνεται (Murray *et al.*, 1988). Αντίστοιχα, η αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες είναι αυξημένη γενικότερα, αλλά αν οι

θερμοκρασίες υπερβούν τους 30-32°C αρχίζει η υποβάθμιση της απόδοσης, λόγω του μειωμένου τελικού μεγέθους και βάρους των σπόρων (Nielsen, 2001).

Το ρεβίθι έχει το πλεονέκτημα να αντέχει στην ξηρασία σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τα άλλα ψυχανθή. Οι μειώσεις στην απόδοση παρατηρούνται μόνο σε πολύ έντονες και μεγάλης διάρκειας περιπτώσεις ξηρασίας. Από την άλλη πλευρά στις αρδευόμενες καλλιέργειες δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή, ωστόσο υπάρχει ο κίνδυνος για ανάπτυξη ασθενειών σε πολύ βροχερές χρονιές (Lerort *et al.*, 1999).

Οι απαιτήσεις σε φωτισμό για το ρεβίθι ανήκουν σε κοινά πλαίσια, κατατάσσοντας κάποιες ποικιλίες στα ουδέτερα φυτά ως προς τη φωτοπερίοδο, και κάποια στα μακράς φωτοπεριόδου, ενώ κάποιες ποικιλίες απαιτούν και εαρινοποίηση για τη σωστή ανάπτυξη τους. Θετική επίδραση στην παραγωγή έχει και η μεγάλη ηλιοφάνεια (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Όσον αφορά τις απαιτήσεις σε έδαφος, το ρεβίθι είναι ιδιαίτερα ανεκτικό και προσαρμοστικό με την ικανότητα να καλλιεργείται με επιτυχία σε ποικιλία εδαφών, προτιμώντας τα ελαφρά που δεν συγκρατούν υγρασία. Πρώιμη άνθηση παρατηρείται σε ελαφρά αποστραγγιζόμενα εδάφη, ενώ όψιμη άνθηση παρατηρείται σε βαριά και μη αποστραγγιζόμενα. Ευαισθησία έχει παρατηρηθεί από τους Manchanda and Sharma (1989) στην αυξημένη εδαφική αλατότητα και σε αλκαλικά εδάφη, ενώ τα όξινα εδάφη επιδρούν αρνητικά μόνο σε συνθήκες έλλειψης αφομοιώσιμου αζώτου και αζωτοδέσμευσης. Επιπλέον, έχει βρεθεί η αυξημένη προσαρμοστικότητα των έγχρωμων σπόρων σε διάφορες μη ευνοϊκές συνθήκες, ενώ οι λευκόσπερμες ποικιλίες αποδίδουν καλύτερα σε φιλικά περιβάλλοντα (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Η εποχή σποράς του ρεβιθιού είναι την άνοιξη, τον Μάρτιο-Απρίλιο, στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων, με περίοδο ανάπτυξης περίπου 2-3 μήνες και συγκομιδή κατά τον Ιούνιο-Ιούλιο (Kumar and Abbo, 2001). Νέες τάσεις θέλουν τη σπορά του ρεβιθιού να γίνεται το Φθινόπωρο, με βελτιωμένες ποικιλίες ως προς την αντοχή τους στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα, με αποτελέσματα που δείχνουν την αύξηση των αποδόσεων να ξεκινά από 20% και να φτάνει το 330% (Singh 1997, Singh *et al.* 1997, Ηλιάδης 2000). Επιπλέον, η φθινοπωρινή σπορά εξασφαλίζει μεγαλύτερο ποσοστό αζώτου από αζωτοδέσμευση αλλά και πρωίμηση της αναπαραγωγικής φάσης του ρεβιθιού κατά ένα μήνα σε σχέση με την εαρινή σπορά

(Ηλιάδης, 1992α). Κατάλληλες ποικιλίες, βελτιωμένες για φθινοπωρινή σπορά, δημιουργήθηκαν τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Ελλάδα με επιπλέον ανθεκτικότητα στην κοινή ασθένεια του ρεβιθιού, την ασκοχύτωση, με μοναδικό μειονέκτημα το μικρό μέγεθος των σπόρων τους. Συνίσταται ο μήνας Νοέμβριος για φθινοπωρινή σπορά στην Ελλάδα, ενώ από μέσα Φεβρουαρίου ως αρχές Μαρτίου το αργότερο για ανοιξιάτικη σπορά στην Ελλάδα, με βάθος σποράς 2-3εκ. και αποστάσεις φύτευσης μεταξύ των γραμμών στα 25εκ. (Παπακώστα-Γασοπούλου, 2012).

1.1.3 Βοτανικά Χαρακτηριστικά

Οι διαφορετικές ποικιλίες ρεβιθιού, διαφέρουν κυρίως ως προς το μέγεθος των καρπών αλλά κατατάσσονται και με βάση το χρώμα και το σχήμα τους σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία επωνομαζόμενη ως «kabuli» ανήκουν οι ποικιλίες με στρογγυλούς σπόρους, ανοιχτού χρώματος και βάρους 260 γρ. ανά 1000 σπόρους. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει σπόρους με ακανόνιστα σχήματα, διαφορετικά χρώματα και μικρότερο βάρος, και είναι γνωστή με το όνομα «desi» (Fageria, 1992). Ο Ηλιάδης (1992α) κατατάσσει τις ποικιλίες ρεβιθιού, ανάλογα με το μέγεθος των σπόρων, σε μικρόσπερμες ή ψιλές, μεσόσπερμες ή μέτριες και μεγαλόσπερμες ή χονδρές, με τις τελευταίες να ξεπερνάνε τα 451γρ./1000 σπόρους.

Το ρεβίθι ανήκει στα διπλοειδή είδη και ο χρωμοσωμικός του αριθμός είναι 8 κατά βάση. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνητών υποστηρίζει ότι είναι 100% αυτογονιμοποιούμενο είδος, ακόμα κι αν η βιβλιογραφία το αναφέρει ότι λαμβάνουν χώρα φυσικές διασταυρώσεις (Singh, 1997). Η υπόγεια ανάπτυξη του στηρίζεται πασσαλώδη κύρια ρίζα, χωρίς ιδιαίτερα πλάγια ριζίδια και με λοβωτά φυμάτια, η οποία φτάνει σε βάθος ως και 120-150εκ., σύμφωνα με τους Brown *et al.*, 1989.

Όσον αφορά την υπέργεια ανάπτυξη, το ρεβίθι είναι φυτό που δεν ξεπερνά τα 60 εκ. ύψους, με διαφορές στο ύψος ανάλογα με την ποικιλία και τις συνθήκες καλλιέργειας (Παπακώστα-Γασοπούλου, 2012). Κατά την ανάπτυξη του φυτού, ο κύριος βλαστός και οι διακλαδώσεις του σχηματίζουν διαφορετικές γωνίες με την κατακόρυφο, δημιουργώντας πέντε βασικούς τύπους ανάπτυξης: τον όρθιο, τον ημιόρθιο, τον ημιπλάγιο και τέλος τον πλάγιο και τον έρπον. Ο όρθιος και ο ημιόρθιος τύπος

ανάπτυξης διευκολύνουν την εκμηχάνιση της καλλιέργειας, συνεπώς προτιμώνται από τους παραγωγούς (Singh, 1997).

Τα φύλλα στους βλαστούς εκφύονται εναλλάξ, ένα φύλλο ανά γόνατο και αποτελούνται από 11-13 φυλλάρια, με οδοντωτή περιφέρεια, δύο παράφυλλα στην βάση και μικρούς μίσχους. Εξαιρέση αποτελεί το πρώτο πραγματικό φύλλο, το οποίο αποτελείται από 2-3 φυλλάρια και καταλήγει σε ένα φυλλάριο στην κορυφή (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Τα άνθη του ρεβιθιού είναι μονά, εκφύονται στις μασχάλες των φύλλων, συνήθως μεμονωμένα και πιο σπάνια σε ζεύγη ή ανά τρία, σε ποδίσκους. Υπάρχει περίπτωση να εκπτυχθούν διπλά άνθη λόγω υποτελούς γονιδίου (Singh, 1997). Οι ποδίσκοι των ανθών είναι πιο μικροί από αυτούς των φύλλων. Το χρώμα της στεφάνης διαφέρει στις ποικιλίες και τους τύπους, πιο συγκεκριμένα, οι ποικιλίες τύπου «desi» έχουν ροδόχροη ή ιόχροη και οι ποικιλίες τύπου «kabuli» έχουν λευκή στεφάνη (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Η ανθοφορία είναι πλούσια αλλά παρατηρείται μεγάλο ποσοστό πτώσης ανθών και καρπών, με αποτέλεσμα ο αριθμός λοβών σε κάθε φυτό να ξεκινά από λίγους και να φτάνει σε περισσότερους από 1000. Ο σχηματισμός των ανθών, το ποσοστό συγκράτησης και πτώσης τους καθώς και ο αριθμός των λοβών βρέθηκε να μεταβάλλεται ανάλογα την ποικιλία και την εποχή σποράς (Zaiter and Barakat, 1995).

Οι λοβοί του ρεβιθιού είναι διογκωμένοι με σχήμα περγαμηνής, έχουν τριχίδια και μέγεθος που ποικίλλει αλλά δεν επηρεάζεται τόσο από το περιβάλλον. Επιπλέον, εντοπίζονται αδενώδεις τρίχες στους λοβούς αλλά και στα φύλλα και τους βλαστούς, οι οποίες εκκρίνουν μια κολλώδη ουσία που αποτελείται κυρίως από οξαλικό οξύ, το οποίο δρα ως μηχανισμός αποφυγής βιοτικών μορφών καταπόνησης. Οι λοβοί μπορούν χαρακτηρίζονται ρομβοειδείς, επιμήκεις ή ωοειδείς και ο καθένας περιέχει συνήθως ένα σπόρο, πιο σπάνια δύο ή τρεις (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Οι σπόροι έχουν μια ακμή σαν ράμφος και μπορεί να είναι είτε γωνιώδεις προσομοιάζοντας κεφάλι κριαριού, είτε να προσομοιάζουν κεφαλή κουκουβάγιας, είτε στρογγυλεμένοι παρόμοιοι με αυτούς του μπιζελιού. Η επιφάνεια των σπόρων είναι ρυτιδωμένη, ανώμαλη, ή λεία με ποικίλα χρώματα που αποτελούν και γνώρισμα για τη διάκριση των ποικιλιών. Έχουν ταυτοποιηθεί 21 χρώματα και διαφορετικές αποχρώσεις (Singh, 1997). Τα πιο ευρέως κοινά χρώματα είναι το λευκό, το κίτρινο, το κίτρινο-καφέ και το κόκκινο (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

1.1.4 Θρεπτική Αξία

Το ρεβίθι καταναλώνεται κυρίως ως ξηρός, αποφλοιωμένος ή μη σπόρος και σπανίως μπορεί να καταναλωθεί μια μικρή ποσότητα χλωρών σπόρων και λοβών από τον άνθρωπο. Οι ξηροί σπόροι υπόκεινται διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας για την κατανάλωσή τους, όπως βρασμό, ψήσιμο, κονσερβοποίηση, πολτοποίηση σε φάβα κ.α. Οι σπόροι των ρεβιθιών είναι πολύτιμοι στην ανθρώπινη διατροφή λόγω του πλούτου τους σε υψηλής βιολογικής αξίας πρωτεΐνες, και υδατάνθρακες. Επιπλέον, η χαμηλή περιεκτικότητα ολιγοσακχαριτών, που αποτελούν αντιθρεπτικούς παράγοντες, καθιστά την κατανάλωση τους απαλλαγμένη από περιορισμούς (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

Η Παπακώστα-Τασοπούλου (2012) αναφέρει ότι η χημική σύσταση των σπόρων περιλαμβάνει: λιπαρές ουσίες σε ποσοστό 4,5 % της ξηράς ουσίας, υδατάνθρακες 58,5% της ξηράς ουσίας, 4% ολικά ινώδη συστατικά. Ο Ηλιάδης (2000) προσδιόρισε τον μέσο όρο ολικών αζωτούχων ουσιών από δείγμα των τεσσάρων μικρόσπερων ελληνικών ποικιλιών: Άνδρος, Έβρος, Σέριφος και Αμοργός σε ποσοστό 22,3% της ξηράς ουσίας.

1.2 Καταπονήσεις

1.2.1 Γενικές Πληροφορίες

Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των φυτών εκτίθενται συνεχώς σε δυσμενείς συνθήκες που επηρεάζουν τον βιολογικό τους κύκλο και θέτουν σε κίνδυνο τις πιθανότητες επιβίωσής τους. Οι αντίξοες αυτές συνθήκες ορίζονται ως καταπονήσεις και σε αυτές περιλαμβάνονται οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που έχουν την τάση να παρεμποδίσουν τη φυσιολογική λειτουργία των μηχανισμών των φυτικών οργανισμών. Η αναγνώριση καταπόνησης κάποιου φυτικού οργανισμού είναι εφικτή μέσω εμφάνισης αποκλίσεων από τα αναμενόμενα επίπεδα λειτουργίας του και συνήθως υπολογίζεται με βάση το παραγόμενο γεωργικό προϊόν, τη βιωσιμότητα του, τα επίπεδα βιομάζας και το ρυθμό αφομοίωσης θρεπτικών συστατικών. Κάθε φυτικός οργανισμός έχει κάποια όρια βιολογικής δραστηριότητας μέσα στα οποία δεν διακυβεύεται η

ολοκλήρωση του βιολογικού του κύκλου. Παρόλα αυτά, εάν οι περιβαλλοντικές καταπονήσεις ξεπεράσουν τα κρίσιμα όρια της βιολογικής δραστηριότητας, εμφανίζονται μόνιμες βλάβες στις φυσιολογικές λειτουργίες με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται η ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου του φυτικού οργανισμού (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012). Σύμφωνα με τους Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά. (2012), οι καταπονήσεις διακρίνονται σε αβιοτικές, που επιπλέον κατηγοριοποιούνται σε ανθρωπογενείς ή μη ανθρωπογενείς, και σε βιοτικές. Σύμφωνα με τους παραπάνω στους μη ανθρωπογενείς αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης: εντάσσονται η υδατική καταπόνηση, η αλατότητα, οι ακραίες θερμοκρασίες, η ακτινοβολία και η ανεπάρκεια οξυγόνου. Επιπλέον, οι ίδιοι αναφέρουν στους ανθρωπογενείς αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης τα βαρέα μέταλλα και τους αέριους ρύπους. Ένας επιπλέον παράγοντας αβιοτικής καταπόνησης είναι και το εδαφικό pH (Ramirez-Rodriguez, 2005).

1.2.2 Υδατική Καταπόνηση

Κλασική επίπτωση των περιόδων ξηρασίας στα φυτά είναι η υδατική καταπόνηση, συγκεκριμένα με τη μορφή της αφυδάτωσης, άρα αναφέρεται κι ως καταπόνηση ξηρασίας. Η έλλειψη της υγρασίας στο περιβάλλον της ρίζας κυρίως, έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του δυναμικού του νερού των φυτικών κυττάρων και τη μείωση των ποσοτήτων νερού των φυτικών ιστών. Η υδατική καταπόνηση ως συνέπεια της ξηρασίας είναι από τις σημαντικότερες καταπονήσεις της γεωργικής παραγωγής παγκοσμίως. Όλα τα λειτουργικά επίπεδα των φυτικών οργανισμών επηρεάζονται όταν υπάρχει έλλειψη νερού στο περιβάλλον του ριζικού συστήματος. Αρχικά, σε μειωμένα επίπεδα έλλειψης νερού, διακόπτεται ή παρεμποδίζεται η φυσιολογική ανάπτυξη, ενώ ταυτόχρονα τίθενται σε λειτουργία οι μηχανισμοί εγκλιματισμού του φυτού. Οι συνέπειες της υδατικής καταπόνησης περιλαμβάνουν τον μαρασμό της ρίζας και μείωση της πρόσφυσης της στα σωματίδια του εδάφους, αύξηση της αντίστασης στη ροή του νερού με δημιουργία εμβολών και κάλυψη της υποδερμίδας με φελλίνη. Επιπλέον, σε χαμηλά επίπεδα υδατικής καταπόνησης, μειώνεται ο ρυθμός κυτταρικών διαρéseων στα μεριστώματα βλαστών και ριζών, παρεμποδίζεται η ανάπτυξη και ενεργοποιούνται μηχανισμοί εγκλιματισμού που αυξάνουν την ελαστικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων και διατηρούν την ικανότητα αύξησης ριζικού συστήματος.

Η έλλειψη ύδατος επιδρά επίσης και στη δομή και λειτουργία δομών, μεμβρανών και ενζύμων, καθώς και στις αντιδράσεις φωτοσύνθεσης (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012).

1.2.3 Καταπόνηση Αλατότητας

Καταπόνηση λόγω αλατότητας απαντάται σε έκταση περίπου ίση με το 20% των καλλιεργούμενων εδαφών. Οι περιοχές με αυξημένη αλατότητα είναι περιοχές που είτε διαβρέχονται από θαλασσινό νερό, είτε είναι ερημικές όπου η εξάτμιση υπερβαίνει κατά πολύ μεγάλο βαθμό τις βροχοπτώσεις και ως αποτέλεσμα συσσωρεύονται ιόντα Na^+ και Cl^- , είτε αφορούν υπερβολικά αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις λόγω της αυξημένης εξάτμισοδιαπνοής. Ο συγκεκριμένος παράγοντας καταπόνησης δρα με πολλαπλούς τρόπους διακινδυνεύοντας τη βιωσιμότητα των φυτικών οργανισμών. Αρχικά, δρα επιφέροντας ωσμωτική καταπόνηση λόγω των χαμηλών υδατικών δυναμικών στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας όπου και δεν δύναται να απορροφηθεί νερό από τον φυτικό οργανισμό. Έπειτα, δημιουργεί ιοντική καταπόνηση, διότι απορροφώνται κυρίως ιόντα Na^+ και Cl^- από το εδαφικό περιβάλλον και διαταράσσεται η κυτταρική ιοντική ομοιόσταση. Αυτά καθαυτά τα ιόντα νατρίου και χλωρίου προκαλούν τοξικότητα στους φυτικούς οργανισμούς όταν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο εσωτερικό των κυττάρων (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012). Η καταπόνηση της αλατότητας δρα σε όλα τα αναπτυξιακά στάδια των φυτικών οργανισμών, σε επίπεδο είτε κυτταρικό είτε μεμονωμένου φυτικού οργανισμού, καθώς και στην εκλεκτικότητα των ριζικών μεμβρανών με αποτέλεσμα την έλλειψη καλίου (Khalid *et al.*, 2010).

1.2.4 Ακραίες Θερμοκρασίες

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας καταπονήσεων είναι οι πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Οι φυτικοί οργανισμοί αναπτύσσονται και επιβιώνουν βέλτιστα σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, το οποίο μεταβάλλεται ελαφρώς ανάλογα με την κατηγοριοποίηση του φυτικού είδους σε ψυχρόφιλο, θερμόφιλο ή μεσόφιλο. Εκτός των εκάστοτε απαιτούμενων θερμοκρασιών, οι φυτικοί οργανισμοί υφίστανται από σοβαρές βλάβες ως θανάτωση αν οι ακραίες θερμοκρασίες φτάσουν τα θανατηφόρα όρια του κάθε οργανισμού. Πιο συγκεκριμένα, οι υψηλές

ακραίες θερμοκρασίες προκαλούν την επιτάχυνση των μορίων επιφέροντας την αύξηση της ρευστότητας των κυτταρικών μεμβρανών (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012). Όσον αφορά τα καλλιεργούμενα φυτικά είδη, καταστροφικές επιπτώσεις από υψηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται σε όλα τα αναπτυξιακά στάδια, παρατηρείται όμως ιδιαίτερη ευαισθησία στα στάδια της αναπαραγωγής και της άνθισης. Συνήθεις βλάβες αποτελούν οι δομικές μεταβολές ιστών, παρεμπόδιση της φωτοσύνθετικής διεργασίας, αποδιοργάνωση των κυτταρικών μεμβρανών (Wahid *et al*, 2007). Αντίθετα, οι χαμηλές ακραίες θερμοκρασίες επιφέρουν ακαμψία στις μεμβράνες των κυττάρων κι επιπλέον, επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των φυτικών οργανισμών λόγω της στερεοποίησης του νερού σε περιπτώσεις παγετού (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012).

1.2.5 Ακτινοβολία

Η ενέργεια που αποδίδει ο ήλιος στη Γη, μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αποτελεί την κύρια πηγή αφομοιώσιμης ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση από τους φυτικούς οργανισμούς, με αποτέλεσμα τη διατήρηση της ζωής στη Γη. Παρόλα αυτά, η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί παράγοντα καταπόνησης για τα φυτικά είδη όταν υπερβαίνει κάποια ποιοτικά και ποσοτικά όρια. Η ποιοτικής μορφής καταπόνηση επιφέρεται από συγκεκριμένα είδη ακτινοβολιών, όπως οι ακτίνες-x, οι ακτίνες-γ, οι κοσμικές αλλά και η υπεριώδης ακτινοβολία, οι οποίες έχουν πολύ υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο, δρουν ιονίζοντας μόρια άρα δημιουργούν ελεύθερες ρίζες και επιπλέον, έχουν μεταλλαξιογόνο δράση. Η υπεριώδης UV-B ακτινοβολία προκαλεί έντονες βιοχημικές αλλοιώσεις σε μακρομόρια, φωτοχημικές μεταβολές στη δομή βιομορίων και σημαντικές φυσιολογικές βλάβες σε κυτταρικό επίπεδο. Όταν η ακτινοβολία αποτελείται από λιγότερο δραστικό ενεργειακό περιεχόμενο προκαλεί μεταβολές και διατάραξη στη δομή μορίων, όπως περιστροφές, κάμψεις δεσμών, δονήσεις, αλλαγές του spin των μορίων, αλλά και μείωση του κέρδους σε άνθρακα λόγω της μειωμένης απορρόφησης ενέργειας. Η ποσότητα της ακτινοβολίας σχετίζεται με τα φωτοχημικά κέντρα PSII και PSI, στα οποία αν η εισροή ενέργειας είναι είτε ανεπαρκής είτε υπερβολική, δυσλειτουργούν σημαντικά. Ως αποτέλεσμα, τα φυτικά είδη έχουν εξελιχθεί κατάλληλα ώστε να επιβιώνουν σε συνθήκες σκίασης ή αυξημένης φωτεινότητας και κατηγοριοποιούνται σε σκιοφύτα και ηλιόφυτα, ανάλογα με τα επίπεδα εγκλιματισμού τους στα επίπεδα

ακτινοβολίας. Πολλές φορές όμως, ακόμα και φυτά που είναι εγκλιματισμένα σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας κινδυνεύουν από το φαινόμενο της φωτοπαρεμπόδισης, του αποτελέσματος δηλαδή της υπερτροφοδότησης των φωτοσυνθετικών κέντρων από φωτεινή ενέργεια, αν αιφνιδιαστούν από άπλετο φωτισμό έπειτα από αρκετό διάστημα σκίασης (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012).

1.2.6 Ανεπάρκεια οξυγόνου

Πολύ σημαντικός παράγοντας καταπόνησης αποτελεί και η ανεπάρκεια οξυγόνου. Οι συνθήκες όπου υπάρχει επαρκής εδαφικός αερισμός αναφέρεται ως νορμοξία, οι χαμηλές συνθήκες αερισμού αναφέρονται ως υποξία και τέλος, η πλήρης έλλειψη οξυγόνου αναφέρεται ως ανοξία. Η ανεπαρκής οξυγόνωση του εδάφους, συνήθως είναι αποτέλεσμα της κατάκλισης αυτού από νερό, λόγω υπερβολικών βροχοπτώσεων, άρδευσης κ.α. Η ανοξία έχει πολλές και διαφορετικές καταπονητικές δράσεις. Αρχικά, περιορίζεται σημαντικά η παραγωγή ενέργειας και ATP από τους φυτικούς οργανισμούς, με αποτέλεσμα την ευρύτερη σπατάλη αποθηκευμένου αμύλου και άνθρακα. Επιπλέον, παρατηρείται συσσώρευση ουσιών όπως αιθανόλης και γαλακτικού οξέος. Μια ακόμη συνέπεια της ανοξίας αποτελεί η οξίνιση του κυτταροπλάσματος, που τελικά επιφέρει τον κυτταρικό θάνατο. Επιπλέον, η εδαφική ανοξία προκαλεί καταπόνηση λόγω διαμόρφωσης τοξικότητας στο έδαφος. Οι τοξικές συνθήκες που δημιουργούνται αφορούν τον πολλαπλασιασμό αναερόβιων μικροοργανισμών που αυξάνουν την απονιτροποίηση, τη συσσώρευση δυσθενής σιδήρου, την παρεμπόδιση της αναπνοής και περιορίζουν τα επίπεδα αφομοιώσιμου φωσφόρου. Επιπλέον, παρατηρούνται τροφοπενίες, ορμονικές ανωμαλίες και διαταραχή των υδατικών σχέσεων (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012). Στις περιπτώσεις που η έλλειψη οξυγόνου οφείλεται στην υπερχειλίση του εδάφους με νερό, δημιουργούνται ως αποτέλεσμα υποξικοί ή ανοξικοί φυτικοί ιστοί, υπάρχει συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα και παραγωγή αιθυλενίου (Pedersen *et al*, 2017). Ο R.M.M. Crawford (2003), αναφέρει τη σημαντική συσχέτιση της εκάστοτε εποχής με τις δημιουργούμενες συνθήκες ανοξίας από εδαφική πλημμύρα και καταλήγει ότι ένας τρόπος να ξεπεραστεί η καταπόνηση μιας σύντομης περιόδου έλλειψης οξυγόνου, είναι η επιτάχυνση της γλυκόλυσης. Επισημαίνεται ότι μια τέτοια τεχνική δεν θα έχει επίδραση στην περεταίρω επιβίωση των φυτικών οργανισμών όταν υπόκεινται σε

αναερόβιες συνθήκες για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, όπως είναι οι χειμερινές πλημμύρες. Πιο συγκεκριμένα, η επιτάχυνση της γλυκόλυσης αποτελεί ένα μηχανισμό ανταπόκρισης των σπόρων που βρίσκονται σε βλαστικό στάδιο κι υπόκεινται σε συνθήκες ανοξίας. Ο μηχανισμός λειτουργεί διατηρώντας ένα ικανοποιητικό ποσό ενέργειας ώστε να εξασφαλιστεί η επιβίωση των σπόρων στο σύντομο διάστημα ανοξίας, ενώ προ απαιτείται το στάδιο ρήξης του περιβλήματος των σπόρων καθώς και η μετέπειτα παροχή οξυγόνου στο αναδυόμενο φυτό.

1.2.7 Βαρέα μέταλλα

Το έδαφος περιέχει στοιχεία που πολλές φορές καθίστανται τοξικά για τους φυτικούς οργανισμούς. Τέτοια στοιχεία είναι βαρέα μέταλλα όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος τα οποία έχουν τη δυνατότητα να παρεισφρήσουν στους φυτικούς ιστούς όπου και συσσωρεύονται. Με αυτό τον τρόπο τα βαρέα μέταλλα προκαλούν τοξικότητα στα φυτά και το έφαδος και υπεισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Βαρέα μέταλλα δεν συναντώνται σε όλους τους εδαφικούς τύπους, περιορίζονται στα σερπεντινικά εδάφη τα οποία κατά βάση είναι αφιλόξενα στους περισσότερους φυτικούς οργανισμούς. Στους φυτικούς οργανισμούς παρατηρείται μεγάλο εύρος σε ότι αφορά την ευαισθησία ή την αντοχή στην τοξικότητα των βαρέων μετάλλων, όπως και στις άλλες μορφές καταπονήσεων. Υπάρχουν τα λεγόμενα μεταλλόφυτα, τα οποία επιτυγχάνουν να αναπτυχθούν και να επιβιώσουν σε εδάφη με αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Αντίθετα, τα ευαίσθητα φυτικά είδη υπόκεινται τις συνέπειες της τοξικότητας των βαρέων μετάλλων, οι οποίες περιλαμβάνουν την παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης και της δράσης διαφόρων ενζύμων σε λειτουργίες-κλειδιά, διαταραχές στα συστήματα διαβίβασης σημάτων που περιλαμβάνουν ιόντα ασβεστίου, αλλά και τη δημιουργία ενεργών μορφών οξυγόνου και σχηματισμό ROS (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012).

1.2.8 Αέριοι ρύποι

Σημαντικοί παράγοντες καταπόνησης είναι και οι αέριοι ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια ανθρωπογενούς παραγωγής, PAN και το όζον που υπάρχει στην τροπόσφαιρα. Το τροποσφαιρικό όζον θεωρείται από τους πλέον

σημαντικούς παράγοντες καταπόνησης φυτικών και λοιπών οργανισμών και κατηγορείται για μεγάλη απώλεια δασικής βλάστησης στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Είδη λειχήνων χρησιμοποιούνται ως βιοδείκτες διότι δεν φιλτράρουν την είσοδο αερίων και παρουσιάζουν σημαντική ευαισθησία, ενώ από τα πρώτα συμπτώματα σε άλλα φυτικά είδη αποτελούν οι νεκρωτικές κηλίδες στα ελάσματα των φύλλων. Η καταπονητική δράση του όζοντος στο εσωτερικό των φυτικών ειδών περιλαμβάνει τη διάσπασή του στους αποπλάστες των κυττάρων και την παραγωγή ROS, με αποτέλεσμα να επιφέρεται οξειδωτική καταπόνηση. Σημαντική είναι η επίδραση του όζοντος και στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών σόγιας, βαμβακιού, αραχίδας και σιταριού σε συνθήκες χρόνιας έκθεσης, λόγω της αυξημένης ευαισθησίας τους (Γ. Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012).

1.2.9 Εδαφικό pH

Η κλίμακα του εδαφικού pH αναπαριστά τις συγκεντρώσεις ιόντων υδρογόνου και πρωτονίων στο εδαφικό διάλυμα. Η αύξηση των ιόντων υδρογόνου επιφέρουν τη μείωση του εδαφικού pH, άρα το εδαφικό διάλυμα γίνεται όξινο, ενώ ένα αλκαλικό έδαφος έχει μειωμένη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου. Τα εδάφη έχουν την τάση να μετατρέπονται σε πιο όξινα με την πάροδο του χρόνου και η διαδικασία γίνεται ταχύτερη όπου υπάρχει ο ανθρώπινος παράγοντας. Το βέλτιστο εδαφικό pH για την ομαλή ανάπτυξη φυτικών οργανισμών είναι ανάμεσα στο 6 και το 7,5. Τα όξινα εδάφη αποτελούν παράγοντα καταπόνησης διότι παρεμποδίζουν την πρόσληψη φωσφόρου, ασβεστίου, μαγνησίου και κάποιες φορές επιφέρουν τοξικότητα αλουμινίου. Αντίστοιχα, τα αλκαλικά εδάφη κρίνονται ακατάλληλα για την ομαλή ανάπτυξη φυτών διότι συνήθως διαθέτουν μειωμένη οργανική ύλη, μη αφομοιώσιμο άζωτο, φώσφορο και κάποιες φορές ιχνοστοιχεία. Οι παραπάνω καταπονήσεις έχουν ως αποτέλεσμα μορφολογικές μεταβολές στους φυτικούς οργανισμούς, επίδραση στις μεταβολικές οδούς καθώς και σε κυτταρικό επίπεδο μεταβολές ή επίδραση στην κωδικοποίηση και έκφραση γονιδίων (Ramirez-Rodriguez, 2005).

1.3 Επιπτώσεις της ξηρασίας στους φυτικούς οργανισμούς

Η έλλειψη νερού στους φυτικούς οργανισμούς επιφέρει τη μείωση του μεγέθους των αναπτυσσόμενων φυτών και κατ' επέκταση μειωμένη βιομάζα. Η σημαντική μείωση της συσσώρευσης σακχαρόζης και αμυλοποιητικών ενζύμων έχει επίδραση στη δημιουργία νέων ανθέων και εν συνεχεία παρεμποδίζει την πλήρωση των σπόρων (Farooq *et al.*, 2009).

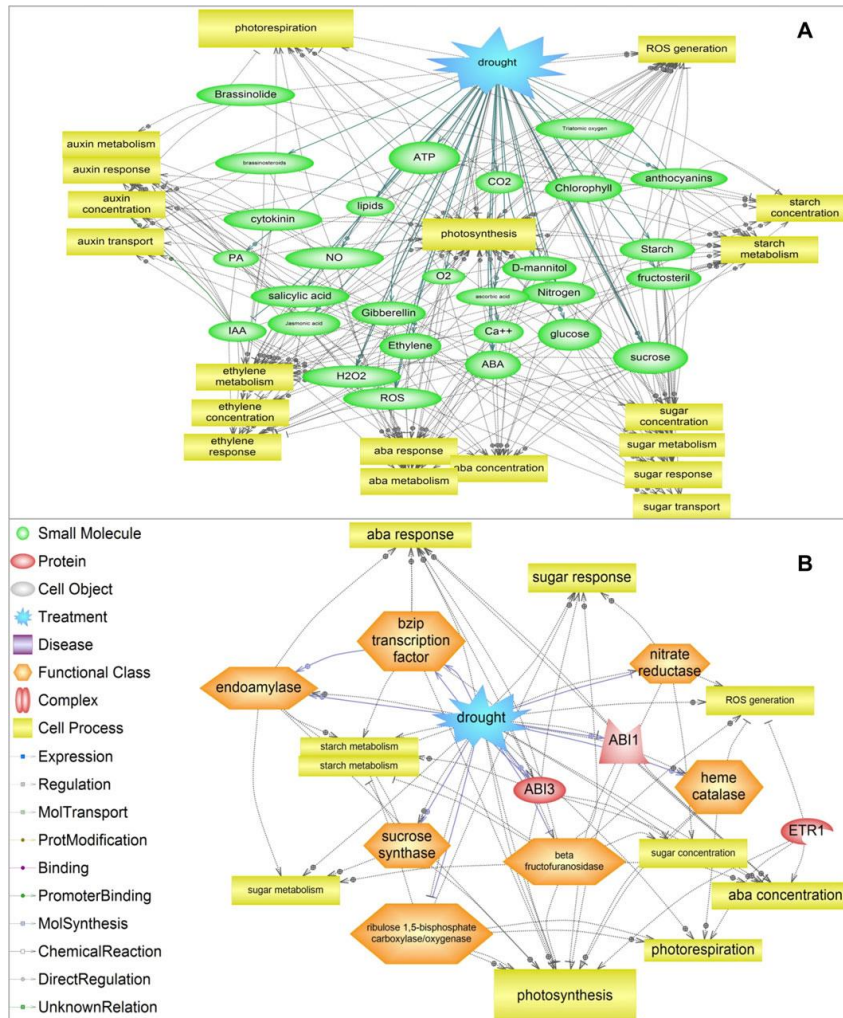
Οι C. Pinheiro and M.M. Chaves (2010), αναφέρουν τη σημαντική επίδραση της ξηρασίας στις διεργασίες της φωτοσύνθεσης και στις μεταβολικές οδούς που την αφορούν και κατασκεύασαν ένα μοντέλο σύνδεσης της ξηρασίας με τις επηρεαζόμενες μεταβολικές διεργασίες που απεικονίζεται στην Εικόνα 1. Επιπλέον, τονίζουν τη συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ της ξηρασίας της φωτοσύνθεσης, της παραγωγής ROS και ABA, της σύνθεσης σουκρόζης και του αμύλου. Οι παραπάνω ερευνητές αξιοποιώντας ερευνητικά δεδομένα των τελευταίων 15 ετών βρήκαν την άμεση συσχέτιση μεταξύ της δράσης γονιδίων, πρωτεϊνών, παραγωγής σακχάρων και μεταβολιτών με την ξηρασία.

Συγκεκριμένα, οι J., Chaturvedi *et al.* (2014), αναφέροντας τους Yordanov *et al.* (2003), επισημαίνουν ότι η αποξήρανση των φυτών αποτελεί τη σημαντικότερη μορφή έλλειψης νερού του πρωτοπλάστη, ενώ παραθέτοντας έρευνες των Pham-Thi *et al.* (1987), Monteiro de Paula *et al.* (1990), Gigon *et al.* (2004), Harb *et al.* (2010), οι J. Chaturvedi *et al.* (2014), αναφέρουν ότι επιδρά μειώνοντας τα ποσοστά λιπιδίων των πλασματικών μεμβρανών διότι παρεμποδίζουν τη βιοσύνθεσή τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατάρρευση της ακεραιότητας των μεμβρανών και την αμετάκλητη καταστροφή των φυτικών κυττάρων. Τέλος, οι Toker *et al.* (2007a) (όπως αναφέρονται από τους J., Chaturvedi *et al.* 2014), αναφέρουν ότι η επίδραση της ξηρασίας στο εκάστοτε φυτό εξαρτάται από την ικανότητά του να συγκρατεί νερό, το ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής, την ικανότητα να διατηρεί ακέραιες τις κυτταρικές μεμβράνες καθώς και να παρεμποδίζει τη μετουσίωση των πρωτεϊνών, σύμφωνα με αναφορές των J., Chaturvedi *et al.* (2014) στον Gaff, (1971).

1.3.1 Επιπτώσεις της ξηρασίας στην καλλιέργεια ρεβιθιών

Οι Rasool *et al.* (2015), αναφέρουν ότι το ρεβίθι αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά όσπρια, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, και η ξηρασία αντίστοιχα αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες καταπόνησης του φυτού αυτού, με σημαντικές επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή. Τα παγκόσμια ποσοστά μείωσης της απόδοσης παραγωγής ρεβιθιού, λόγω ξηρασίας ανέρχονται σε 40-50% μείωση, σύμφωνα με τους Ahmad *et al.* (2005). Συγκεκριμένες Ινδικές ποικιλίες ρεβιθιού έχουν βελτιωθεί ειδικά για μεγαλύτερη αντοχή σε ξηρασία, και θερμοκρασίες, που συνήθως παρατηρούνται σε περιόδους ξηρασίας, και είναι κατάλληλες για χρήση σε περαιτέρω έρευνες (Boominathan *et al.* 2004, Johansen *et al.* 1994, Wery *et al.* 1994).

Η ξηρασία στα ανώτερα εδαφικά επίπεδα είναι ο παράγοντας που επηρεάζει ουσιαστικά την τελική παραγωγή ρεβιθιού διότι μειώνει τα ποσοστά εκβλάστησης των σπόρων, επηρεάζει άμεσα την ομοιογένεια στην πυκνότητα των αναπτυσσόμενων φυτών αλλά και το τελικό μέγεθος του εκάστοτε φυτού (Mensah *et al.* 2006, Yücel *et al.* 2010).

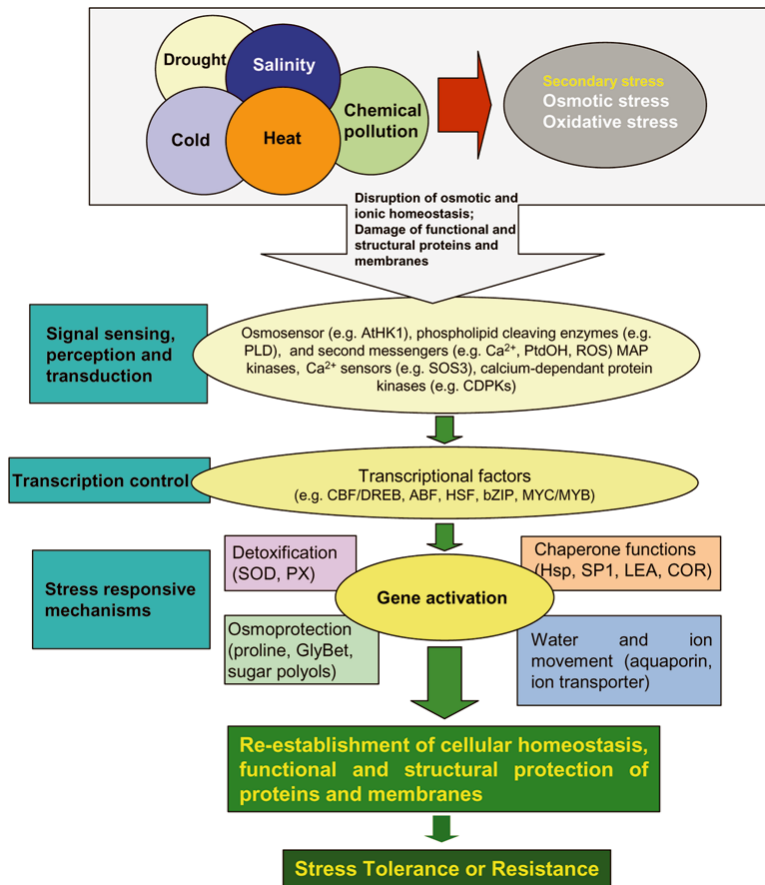


Εικόνα 1
 Βιολογικά δίκτυα που δημιουργήθηκαν ως αναπαράσταση της αλληλεπίδρασης της ξηρασίας και της φωτοσύνθεσης (Pinheiro and Chaves, 2010).

1.4 Μηχανισμοί απόκρισης των φυτών στις αβιοτικές καταπονήσεις

Οι Wang *et al.* (2003) αναφερόμενοι στους Serrano *et al.* (1999) και Zhu (2001a), επισημαίνουν τη συχνά κοινή δράση των αβιοτικών καταπονήσεων, όπως της αλατότητας και της υδατικής καταπόνησης που παρόμοια επιφέρουν διακοπή της ομοιόστασης και της ιοντικής κατανομής των κυττάρων, ως αποτέλεσμα του οσμωτικού στρες. Επιπλέον, αναφέρονται στους Vierling and Kimpel (1992), Zhu *et al.* (1997) και Cushman and Bohnert (2000), παραθέτοντας κάποιες αποκρίσεις των φυτικών οργανισμών, όπως η παραγωγή πρωτεϊνών καταπόνησης, η αύξηση των αντιοξειδωτικών στοιχείων και η συσσώρευση ειδικών διαλυτών.

Στην εικόνα 2 περιγράφεται η πολυπλοκότητα απόκρισης των φυτικών οργανισμών στα είδη αβιοτικού στρες. Η αδυναμία ενεργοποίησης των κατάλληλων γονιδίων απόκρισης, μπορεί να επιφέρει κυτταρικό θάνατο (Wang *et al.* 2003)



Εικόνα 2 Η πολυπλοκότητα της απόκρισης των φυτικών οργανισμών στα είδη αβιοτικού στρες, και η διασύνδεση αυτών. (Wang *et al.* 2003).

Οι Rasool *et al.* (2015), κατηγοριοποιούν τους ενδοφυτικούς μηχανισμούς απόκρισης των φυτικών οργανισμών σε τέσσερις επιμέρους κατηγορίες, τη γονιδιωματική, την πρωτεϊνωματική, τη διαγονιδιωματική και τις στις μεταγραφές των γονιδίων. Οι αβιοτικές καταπονήσεις ενεργοποιούν μια σειρά μοριακών αντιδράσεων που περιλαμβάνουν την κωδικοποίηση ιδιαίτερων πρωτεϊνών (Ahsan *et al.* 2007) για την κατασκευή ωσμοπροστατευτικών ή αντιοξειδωτικών ενζύμων (Tarczynski *et al.* 1993, Kavi Kishore *et al.* 1995, Hayashi *et al.* 1997, McKersie *et al.* 1996), λιπιδίων που σταθεροποιούν τις κυτταρικές μεμβράνες (Kodama *et al.* 1994, Ishizaki-Nishizawa *et al.* 1996).

Στον πίνακα 1 αναφέρονται οι βιοχημικές και φυσιολογικές αντιδράσεις των φυτών στην καταπόνηση ξηρασίας

Πίνακας 1. Βιοχημικές και φυσιολογικές φυτικές αντιδράσεις στην καταπόνηση ξηρασίας (Vas, 2018).

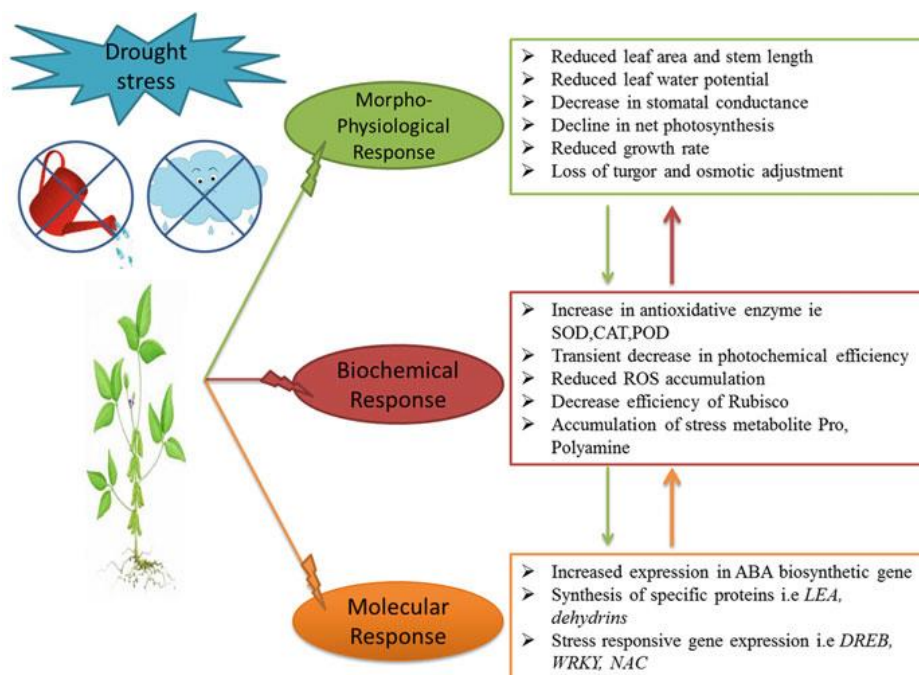
Χαρακτηριστικά φυτών	Επίδραση στην απόδοση των φυτών	Διακύμανση στην καταπόνηση	Βιβλιογραφικές αναφορές
----------------------	---------------------------------	----------------------------	-------------------------

Φωτοσύνθεση, φυλλική επιφάνεια, ξηρό βάρος φυτού	Ανάκαμψη της καθαρής φωτοσύνθεσης μετά από άρδευση	Χρήση ποικιλίας ανθεκτικής στην ξηρασία	Fini <i>et al.</i> (2013)
Αμινοξέα, λόγος C/N, ώσμωση	Μείωση απόδοσης λόγω μεταβολής του δυναμικού νερού και του μεταβολισμού	Η λειψυδρία προκαλεί αύξηση των αμινοξέων και της οσμωτικότητας και μείωση του λόγου C/N	Hochberg <i>et al.</i> (2013)
Διαρροή ηλεκτρολυτών, δραστηριότητα υπεροξειδάσης	Αύξηση υδατικής πίεσης, μείωση στο «δέσιμο» των ανθών.	Αύξηση δραστηριότητας υπεροξειδάσης και φαινόλης, μείωση χλωροφύλλης και περιεχόμενου νερού	Bolat <i>et al.</i> (2014)
Σταθερότητα μεμβρανών και περιεκτικότητα χλωροφύλλης	Ασταθείς μεμβράνες, μειωμένο περιεχόμενο νερού και καροτενοειδών, αυξημένη συνολική ποσότητα χλωροφύλλης	Η έλλειψη νερού ήταν πιο καταστροφική στο στάδιο ανάπτυξης των λοβών, από ότι στο «pegging»	Chakraborty <i>et al.</i> (2015)
Απορρόφηση νερού από τη ρίζα, σχετική περιεκτικότητα νερού των φύλλων και αντιοξειδωτικά ένζυμα	Αύξηση απόδοσης κονδύλων και δραστηριότητας των αντιοξειδωτικών ενζύμων σε καταπόνηση ξηρασίας	Η αντοχή στην ξηρασία αυξάνεται σε κάποιες ποικιλίες όταν βρίσκονται υπό καταπόνηση ξηρασίας	Shia <i>et al.</i> (2015)
Ρυθμός διαπνοής	Μεταβολή στη φυλλική επιφάνεια και τη στοματική αγωγιμότητα	Κάποιες περιοχές παρουσιάζουν ανθεκτικότητα	Nakhforoosh <i>et al.</i> (2016)
Ρυθμός φωτοσύνθεσης, ισότοπα άνθρακα στα φύλλα	Η απόδοση της χρήσης του νερού αυξάνεται με την αγωγιμότητα των στομάτων	Να αυξηθεί η ικανότητα αντοχής στην έλλειψη νερού	Bota <i>et al.</i> (2016)
Σχετική περιεκτικότητα νερού, δείκτης φυλλικής	Συνολική αύξηση βιομάζας και απόδοσης υπό συνθήκες υδατικής	Ανθεκτικά σε συνθήκες λειψυδρίας	Panda <i>et al.</i> (2016)

επιφάνειας και απόδοση σιτηρών	καταπόνησης σε επιλεγμένους γενοτύπους		
Αποδοτική χρήση νερού	Συνολική αύξηση απόδοση υπό υδατική καταπόνηση	Ανθεκτικότητα στην ξηρασία	Djurovic <i>et al.</i> (2016)
Φωτοσυνθετικός ρυθμός, αγωγιμότητα στομάτων	Υψηλά επίπεδα φωτοσύνθεσης, αύξηση κέρδους βιομάζας, σε ξηρασία	Αντοχή στις καταπονήσεις	Haworth <i>et al.</i> (2017) and Sapeta <i>et al.</i> (2013)
Ξηρά ουσία φρούτων, συνολικά διαλυτά στερεά, σύνολο ασκορβικού οξέος	Αύξηση ξηράς ουσίας, συνόλου Δ.Σ. και ασκορβικού οξέος	Αυξημένη ποιότητα φρούτων και ανοχής σε έλλειψη νερού	Guida <i>et al.</i> (2017)
Φωτοσυνθετικές και καροτενοειδών χρωστικές	Μειωμένη ποσότητα χλωροφυλλών, καροτενίων και νεοξανθίνης αύξηση ζεοξανθίνης με την έλλειψη νερού	Πολύ μεγάλη επίδραση στις συγκεντρώσεις κάποιων χρωστικών χλωροφυλλών και καροτενοειδών	Mibei <i>et al.</i> (2017)
Φυλλική επιφάνεια, μήκος ρίζας	Αυξημένη φυλλική επιφάνεια, αύξηση του λόγου υπόγειο προς υπέργειο φυτικό μέρος	Επιβίωση κάτω από σοβαρές συνθήκες ξηρασίας	Silva <i>et al.</i> (2017)
Νωπό και ξηρό βάρος φύτρων, στοματική αγωγιμότητα και φωτοσυνθετική ικανότητα	Λιγότερο μειωμένο νωπό και ξηρό βάρος, στοματική αγωγιμότητα και φωτοσυνθετική ικανότητα	Ενδείξεις για ανθεκτικότητα στην ξηρασία σε μερικά είδη	Aboughadareh <i>et al.</i> (2017)

Σύμφωνα με το Vats (2018), τα μεταβολικά μονοπάτια που ενεργοποιούνται λόγω των καταπονήσεων στην έκφραση γονιδίων, κατά βάση εντοπίζονται στο μεταγραφικό επίπεδο που περιλαμβάνει τη μορφοποίηση και αναδόμηση της χρωματίνης, μεταγραφικούς παράγοντες και cis-ρυθμιστικά στοιχεία πριν και μετά την αλληλουχία που κωδικοποιείται (Luo *et al.* 2012).

Στην εικόνα 3 περιγράφεται σχηματικά η απόκριση των φυτών υπό καταπόνηση ξηρασίας



Εικόνα 3 Απόκριση των φυτών υπό καταπόνηση ξηρασίας (Vat, 2018).

1.4.1 Απόκριση του ρεβιθιού στην καταπόνηση ξηρασίας

Η ξηρασία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες καταπόνησης για το ρεβίθι, ακόμα και για γονοτύπους με ανθεκτικότητα, η επίδραση της ξηρασίας εντοπίζεται τόσο στα ποσοστά βλαστικότητας των σπόρων όσο και στα επίπεδα ανάπτυξης των νεαρών φυτών. Η έλλειψη βρόχινου ή αρδεύσιμου νερού είναι ικανή να προκαλέσει θανατηφόρα αποτελέσματα, ακόμα κι αν υπάρχουν κάποια ποσοστά υγρασίας (Van den Berg *et al.* 2006).

Οι πρωτεϊνωματικές έρευνες που επισημαίνονται από τη Rasool *et al.* (2015), αναφέρουν 205 πρωτεϊνικούς τόπους να δέχονται διαφορετική ρύθμιση υπό συνθήκες καταπόνησης, ενώ στη φασματομετρική ανάλυση μαζών αναγνωρίστηκαν 147 είδη πρωτεϊνών που εκφράστηκαν διαφορετικά, με κύριες δραστηριότητες την αντιγραφή και μεταγραφή γονιδίων, αναδόμηση χρωματίνης κ.α. Το πυρηνικό πρωτέωμα του ρεβιθιού που αποκρίνεται στις συνθήκες έλλειψης υγρασίας παρουσίασε συντονισμένη δραστηριοποίηση, συμπεριλαμβανομένων πρωτεϊνών με δράση είτε ρυθμιστική είτε λειτουργική. Επιπλέον, οι γονιδιακές μεταγραφές που εκφράστηκαν διαφορετικά υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας, εμφάνισαν πάνω από τις διπλάσιες μεταγραφικές μεταβολές για 109 γονίδια, 2 εκ των οποίων εκφράστηκαν διαφορετικά από

ανθεκτικούς γενοτύπους και διαφορετικά από ευαίσθητους γενοτύπους (Reddy *et al.* 2012). Σε κατοπινή έρευνα των Garg *et al.* (2016), αναγνωρίστηκαν 4954 γονίδια που εκφράζονται συγκεκριμένα σε ανθεκτικές στην ξηρασία ποικιλίες, όταν αυτές βρίσκονται υπό την αναφερθείσα καταπόνηση.

1.5 Σκοπός της παρούσης διατριβής

Στόχος της παρούσης διατριβής είναι η αξιολόγηση 10 επιλεγμένων γενοτύπων ρεβιθιού *Cicer arietinum* L., όταν αυτοί υποβληθούν σε υδατική καταπόνηση μέσω οσμωτικού στρες σε συνθήκες εργαστηρίου. Η εργαστηριακή προσομοίωση της καταπόνησης στοχεύει να ελέγξει την απόκριση των γενοτύπων σε τεχνητά προκαλούμενη ξηρασία μέσω της έκθεσης αυτών σε διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμάτων πολυαιθυλενογλυκόλης (PEG 6000) . Για το σκοπό αυτό διερευνήθηκε η επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη βλαστική ικανότητα των σπόρων, στην αύξηση και ανάπτυξη των νεαρών σποροφύτων μέσα από την καταγραφή μιας σειράς παραμέτρων όπως μήκος ρίζας μήκος βλαστού, ικανότητα απορρόφησης νερού, και προσδιορισμού του δείκτη ευρωστία καθώς και του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Γενικά υλικά και μέθοδοι

2.1.1 Συνθήκες Εργαστηρίου

Η παρούσα ερευνητική μελέτη έλαβε χώρα στο εργαστήριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το πείραμα διεξήχθη σε συνθήκες περιβάλλοντος του εργαστηρίου, θερμοκρασία δωματίου ($25 \pm 1^\circ\text{C}$), σχετική υγρασία εργαστηριακού χώρου $60 \pm 10\%$, από την περίοδο Δεκεμβρίου του 2017 ως και Μάιο του 2018.

2.1.2 Γενότυποι και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Στο πείραμα που διεξήχθη αξιολογήθηκαν δέκα συνολικά γενότυποι, υπό συνθήκες επαγόμενης υδατικής καταπόνησης μέσω ωσμωρυθμιστικού διαλύματος PEG 6000. Οι γενότυποι που αξιολογήθηκαν ήταν οι ποικιλίες: E-202, E-229, M-10544, οι καθαρές σειρές: M-15935, CAT16-31, CAT16-27, CAT16-4, Line9/14, ο εμπορικός σπόρος Macarena και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος.

Για την αξιολόγηση των γενοτύπων σε συνθήκες προσομοίωσης καταπόνησης ξηρασίας, χρησιμοποιήθηκε διάλυμα πολυαιθυλενικής γλυκόλης (PEG 6000), σε τέσσερις διαφορετικές συγκεντρώσεις: μάρτυρας 0% , 5%, 10% και 20%.

Η καταπόνηση λόγω ξηρασίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας υποβάθμισης της ποιότητας και παραγωγής στην καλλιέργεια ρεβιθιού (Singh, 1997). Οι Muscolo *et al.* (2014), αναφέροντας τους Zeigler and Puckridge (1995), επισημαίνουν την πολύ χρονοβόρα διαδικασία παραγωγής βελτιωμένων και ανθεκτικών ποικιλιών, λόγω των πολυάριθμων γενοτύπων που απαιτείται να αξιολογηθούν, καθώς και τη χρησιμότητα των εργαστηριακών συνθηκών έρευνας, αφού δεν δύναται ο πλήρης έλεγχος των συνθηκών πραγματικού αγρού για την αξιολόγηση γενοτύπων σε έδαφος. Επιπλέον, σε ερευνητικά δεδομένα των Richards (1978) και Khakwani *et al.* (2011), τονίζεται η χρησιμότητα του ελέγχου βλαστικότητας ως μέσω αναγνώρισης ανθεκτικότητας ενός

γενοτύπου, καθώς και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών που εξασφαλίζουν οι συνθήκες εργαστηρίου. Για να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις της έλλειψης νερού στην εκβλάστηση κι ανάπτυξη των σπόρων σε συνθήκες εργαστηρίου χρησιμοποιούνται οσμωτικά διαλύματα για την προσομοίωση της καταπόνησης που προκαλείται από την καταπόνηση ξηρασίας στον αγρό. (Kaya 2006, Kalefetoğlu Macar *et al.* 2009).

Για κάθε μεταχείριση από κάθε συγκέντρωση δημιουργήθηκαν 4 επαναλήψεις, άρα 4 κουτιά σπόρων. Για κάθε μεταχείριση κατασκευάστηκε διάλυμα όγκου ενός λίτρου, αφού πρώτα ζυγίστηκε η απαιτούμενη ποσότητα πολυαιθυλενικής γλυκόλης. Για τη συγκέντρωση 5% χρησιμοποιήθηκαν 50g πολυαιθυλενικής γλυκόλης, ενώ για τις συγκεντρώσεις 10% και 20% χρησιμοποιήθηκαν 100 και 200 γραμμάρια PEG αντίστοιχα. Οι απαιτούμενες ποσότητες PEG τοποθετήθηκαν στις αποστειρωμένες κωνικές φιάλες και έπειτα σε συσκευή ανάδευσης ώστε με τη βοήθεια θερμότητας να κατασκευαστούν τα υδατικά διαλύματα.

Οι Michel and Kaufmann (1973), αναφέρουν την καμπυλόγραμμη σύνδεσης του οσμωτικού δυναμικού (ψ_s) των διαλυμάτων πολυαιθυλενικής γλυκόλης, με τη συγκέντρωση σχηματίζοντας μια εμπειρική εξίσωση βάσει της οποίας μπορεί να υπολογισθεί το οσμωτικό δυναμικό σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις του PEG 6000. Η εξίσωση είναι:

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

όπου, C: η συγκέντρωση της πολυαιθυλενικής γλυκόλης σε g/kg H₂O, και

T: η θερμοκρασία σε °C.

Το οσμωτικό δυναμικό που προκύπτει, σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, των διαλυμάτων που παρασκευάστηκαν για τις επιμέρους μεταχειρίσεις του παρόντος πειράματος είναι -0.05 MPa (w/v5%), -0.15 MPa (w/v10%), -0.5 MPa (w/v20%).

Οι σπόροι που επιλέχθηκαν από κάθε ποικιλία τοποθετήθηκαν κουτιά που είχαν αποστειρωθεί σε υπεριώδη ακτινοβολία UV για 30 λεπτά, όπου επίσης αποστειρώθηκαν και οι κωνικές φιάλες που θα περιείχαν το οσμωρυθμιστικό διάλυμα, οι τσιμπίδες και τα εργαλεία καταμέτρησης των αξιολογούμενων παραμέτρων των σπόρων. Διηθητικά χαρτιά τοποθετήθηκαν σε ειδικό εργαστηριακό κλίβανο ξήρανσης και αποστείρωσης στους 70°C για διάστημα 48 ωρών, έπειτα αναδιπλώθηκαν και τοποθετήθηκαν στα αποστειρωμένα πλαστικά κουτιά και σε κάθε κουτί ανάπτυξης

τοποθετήθηκαν 20 σπόροι. Οι σπόροι πριν τοποθετηθούν στα κουτιά, αποστειρώθηκαν σε διάλυμα χλωρίνης 20% για 5 λεπτά, κι έπειτα ξεπλύθηκαν με απεσταγμένο νερό. Συνολικά από κάθε ποικιλία χρησιμοποιήθηκαν 320 διαλεγμένοι σπόροι.

Αφού τοποθετήθηκαν οι σπόροι στα πλαστικά κουτιά με το διηθητικό χαρτί, διαβράχθηκαν με μυκητοκτόνο, κι έπειτα δημιουργήθηκαν οι μεταχειρίσεις. Για τις επαναλήψεις του μάρτυρα γινόταν διαβροχή με 12ml απεσταγμένου νερού, ενώ για τις συγκεντρώσεις 5%, 10% και 20%, γινόταν διαβροχή με 12ml του αντίστοιχου διαλύματος.

Τελικά, τα κουτιά τοποθετήθηκαν στους εργαστηριακούς πάγκους, σε συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου ($\approx 25^{\circ}\text{C}$). Επιπλέον διαβροχή με απεσταγμένο νερό λάμβανε χώρα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ώστε να διατηρούνται υγρά τα διηθητικά χαρτιά στα κουτιά.



***Εικόνα 4** Τα πειραματικά τεμάχια, αποστειρωμένα με τοποθετημένους σπόρους, διαβρεγμένα με PEG, μυκητοκτόνο και απεσταγμένο νερό.*

2.1.3 Μετρήσεις

Το πείραμα έλαβε χώρο για διάστημα 15 ημερών για κάθε γενότυπο. Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μετρήθηκαν έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι γενότυποι ως προς την ανθεκτικότητά τους στην ξηρασία. Τα χαρακτηριστικά αυτά ήταν η ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN) (%), το ποσοστό βλάστησης των σπόρων (BI), το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας (ΠΥΣ), το μήκος ρίζας και βλαστού (MP, MB, αντίστοιχα) και

τέλος ο δείκτης ευρωστίας των σπόρων (ΔΕΣ). Για τον υπολογισμό των παραπάνω χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν οι εξής υπολογιστικοί τύποι και μέθοδοι.

- Ποσοστό βλάστησης σπόρων (L. G. Labouriau 1983a).

$$\text{Βλάστηση \%} = \frac{\text{αριθμός των σπόρων που βλάστησαν}}{\text{συνολικός αριθμός σπόρων πειράματος}} \times 100$$

Ένας σπόρος θεωρούνταν ότι βλάστησε όταν το μήκος ριζιδίου ξεπερνούσε τουλάχιστον τα 3 mm. Η μέτρηση βλάστησης των σπόρων λαμβάνονταν καθημερινά τις πρώτες 7 ημέρες του πειράματος, από δείγμα δέκα σπόρων/επανάληψη/μεταχείριση.



Εικόνα 5 Μέτρηση βλαστικότητας, την 7η ημέρα.

- Ικανότητα απορρόφησης νερού

Κατά την έναρξη του πειράματος λήφθηκαν μετρήσεις για κάθε γενότυπο, από δέκα σπόρους ξεχωριστά. Έτσι καθορίστηκε το μέσο βάρος ενός σπόρου για κάθε γενότυπο, σύμφωνα με το μέσο όρο των μετρήσεων των δέκα σπόρων. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε την 3^η, 5^η και 7^η μέρα, όπου υπολογίστηκαν οι νέοι μέσοι όροι βάρους του ενός σπόρου για κάθε γενότυπο, μετά την απορρόφηση νερού. Τέλος, υπολογίστηκε η ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN), σύμφωνα με την εξίσωση των Mujeeb-ur-Rahman *et al.* (2008).

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

Πίνακας 2 Μέσο βάρους ενός σπόρου για κάθε γενότυπο κατά την έναρξη του πειράματος

Γενότυποι	Βάρους ενός σπόρου (γρ.)
E-202 (Γαύδος)	0,458
E-229 (Κερύνεια)	0,453
Macarena	0,740
CAT16-31	0,387
CAT16-27	0,395
M-10544 (Θήβα)	0,393
CAT16-4	0,381
M-15935 (Σίφνος)	0,445
Line 9/14	0,484
Λήμνος	0,373

- Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας

Για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας των σπόρων, λήφθηκε το βάρους δέκα σπόρων από κάθε γενότυπο, για τον υπολογισμό του μέσου νωπού βάρους ενός σπόρου. Έπειτα ακολούθησε η αποξήρανση των ίδιων σπόρων, τοποθετημένων σε μεταλλικά τρυβλία, που έλαβε χώρα σε ειδικό ξηραντήριο, στους 70°C όπου αφέθηκαν να αποξηραθούν για 48 ώρες. Τελικά, λήφθηκε εκ νέου μέτρηση του βάρους του εκάστοτε αποξηραμένου σπόρου και υπολογίστηκε το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας, με βάση την εξίσωση των Black and Pritchard (2002).

$$ΠΥΣ = \frac{\text{νωπό βάρους} - \text{ξηρό βάρους}}{\text{νωπό βάρους}}$$

- Μήκος ρίζας και βλαστού



Μετρήσεις του μήκος των ριζών και των βλαστών λήφθηκαν από δείγματα δέκα σπόρων κατά το διάστημα της 5^{ης}, 7^{ης}, 9^{ης}, 11^{ης}, 13^{ης} και 15^{ης} ημέρας του πειράματος. Τέλος, υπολογίστηκε και έπειτα χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των δέκα μετρήσεων.

Εικόνα 6 Μέτρηση μήκους ρίζας και βλαστού, την 9^η ημέρα

- Δείκτης Ευρωστίας Σπόρου

Ο δείκτης ευρωστίας υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση των Abdul-Baki and Anderson (1973), για την 7^η και 15^η ημέρα του πειράματος.

$$\Delta\text{Ε}\Sigma = \text{ποσοστό βλαστικότητας} \times \text{μήκος σποροφύτου}$$

Όπου ισχύει: μήκος σποριόφυτου = μήκος ρίζας + μήκος βλαστού.

Ακολούθησε η κατηγοριοποίηση των γενότυπων, σύμφωνα με τον εκάστοτε δείκτη ευρωστίας. Οι κατηγορίες που προέκυψαν ήταν οι εξής:

1. Ανθεκτικός γενότυπος ($\Delta\text{Ε}\Sigma > 450$)
2. Ανεκτικός γενότυπος ($\Delta\text{Ε}\Sigma = 350-450$)
3. Ελαφρώς ανεκτικός γενότυπος ($\Delta\text{Ε}\Sigma = 250-350$)
4. Ευαίσθητος γενότυπος ($\Delta\text{Ε}\Sigma < 250$)

2.2 Ανάλυση Δεδομένων

Τα δεδομένα που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, αναλύθηκαν στατιστικά ως προς τις διερευνώμενες παραμέτρους. Συγκεκριμένα, η ανάλυση αφορούσε τη βλαστική ικανότητα (germination) των σπόρων των δέκα γενότυπων, την ικανότητα απορρόφησης νερού (WU), το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας (WC) και τέλος, τον δείκτη ευρωστίας των σπόρων ($\Delta\text{Ε}\Sigma$). Η μελέτη των παραμέτρων έγινε μέσω ανάλυσης παραλλακτικότητας (ANOVA) ($p \leq 0,05$), με ανεξάρτητες μεταβλητές τις διαφορετικές συγκεντρώσεις πολυαιθυλενογλυκόλης (PEG) και τους αξιολογούμενους

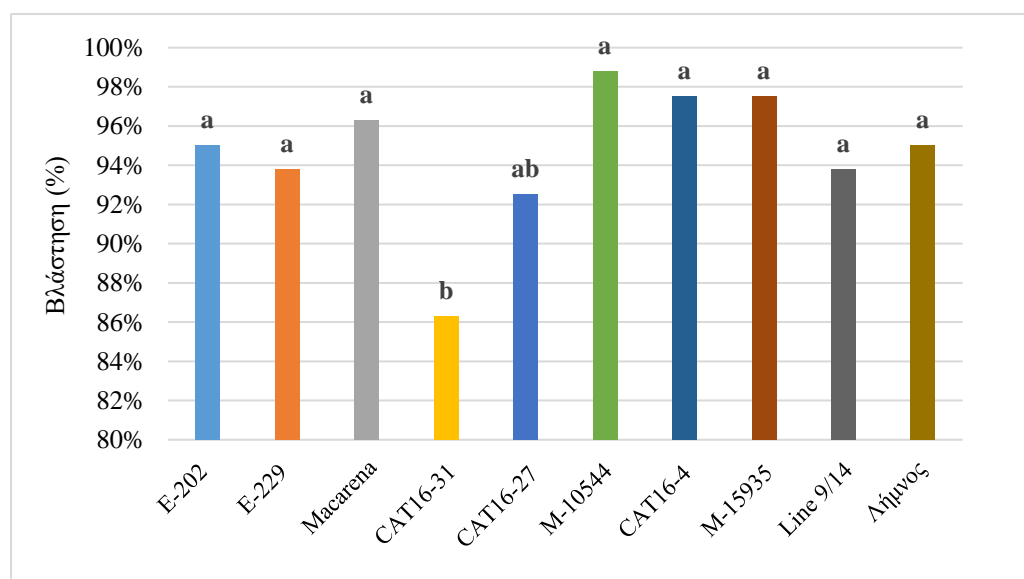
γενοτύπους ρεβιθιού. Εφαρμόστηκε τυχαιοποιημένο σχέδιο πλήρων ομάδων, χρησιμοποιώντας στοιχεία 4^{ov} επαναλήψεων και 20 σπόρων/επανάληψη, και για κάθε συνδυασμό γενοτύπου-μεταχείρισης. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (LSD) για την σύγκριση των διαφορών των μέσων όρων. Για όλες τις στατιστικές αναλύσεις έγινε χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS v.20.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Αποτελέσματα

3.1.1 Βλαστική ικανότητα σπόρων (BI)

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται το τελικό ποσοστό βλαστικότητας των γενοτύπων στη μεταχείριση PEG 0%, που ήταν και ο μάρτυρας του πειράματος. Οι γενότυποι δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους ως προς την ικανότητα βλάστησης, με την ποικιλία M-10544 ωστόσο, να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ικανότητα βλάστησης. Σημαντική διαφορά στατιστικά παρουσιάζουν οι καθαρές σειρές CAT16-31 και CAT16-27, οι οποίες παρουσιάζουν τις μικρότερες ικανότητες βλάστησης, με την πρώτη να έχει τη χαμηλότερη από όλους τους γενοτύπους στη μεταχείριση του μάρτυρα.

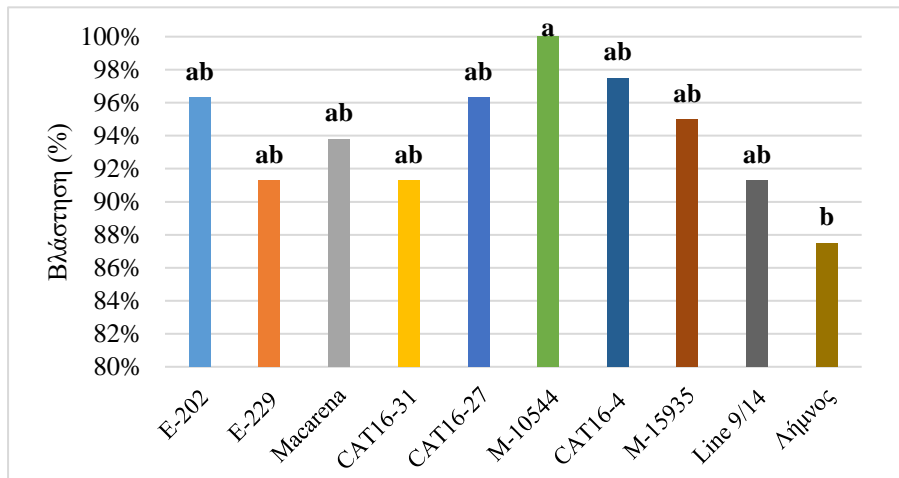


Διάγραμμα 1. Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 0%

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά για επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζονται τα τελικά ποσοστά βλαστικότητας των γενοτύπων στη μεταχείριση συγκέντρωσης PEG 5%. Οι γενότυποι δεν φαίνεται να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Εξάιρεση αποτελούν η ποικιλία M-10544, που κατέχει τη μεγαλύτερη βλαστική ικανότητα και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, που κατέχει τη μικρότερη βλαστική ικανότητα στη συγκεκριμένη μεταχείριση.

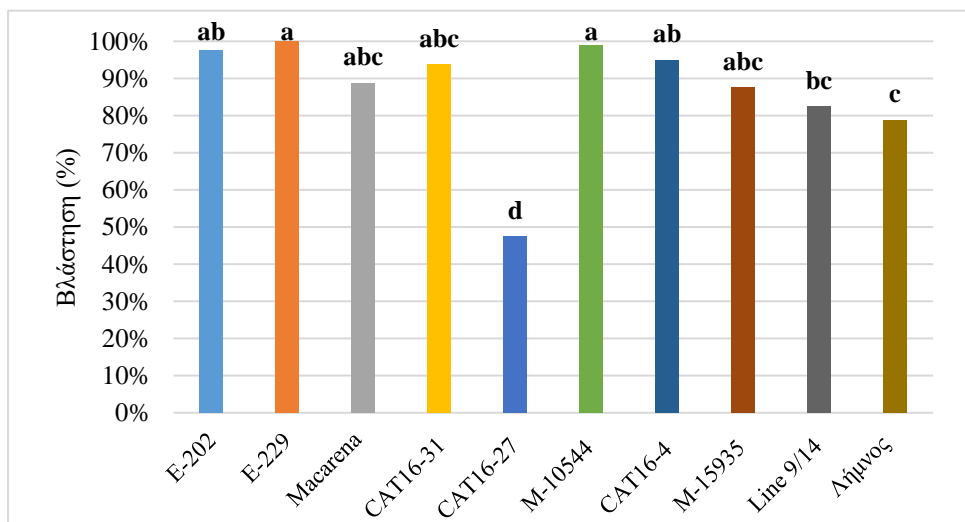
Συνεχίζοντας, στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται το τελικό ποσοστό βλαστικότητα των γενοτύπων στη συγκέντρωση PEG 10%. Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενοτύπων ως προς τη βλαστική ικανότητα. Τα μεγαλύτερα ποσοστά



Διάγραμμα 2 Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 5%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

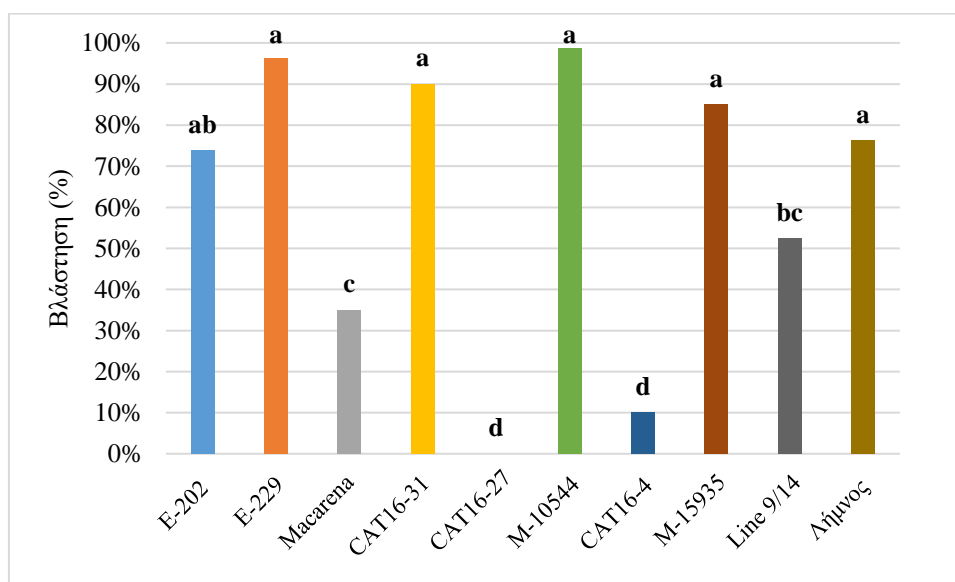
βλαστικότητα παρουσίασαν οι ποικιλίες E-229 και M-10544, με την πρώτη να έχει την πιο υψηλή, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Έπειτα, μεγάλη στατιστική διαφορά παρουσιάζουν η καθαρή σειρά CAT16-27 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, από τις οποίες η καθαρή σειρά CAT16-27 παρουσιάζει τη μικρότερη βλαστική ικανότητα όλων των γενοτύπων της μεταχείρισης.



Διάγραμμα 3 Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 10%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Τέλος, στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζονται τα δεδομένα του τελικού (7 ημέρες) ποσοστού βλαστικότητας των γενοτύπων στη μεταχείριση του διαλύματος 20% PEG. Παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές αλλαγές ως προς το ποσοστό βλαστικότητας των γενοτύπων. Πιο συγκεκριμένα, οι ποικιλίες E-229 και M-10544, οι καθαρές σειρές CAT16-31 και M-15935 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο $p < 0,05$, κι έχουν τα υψηλότερα ποσοστά βλαστικότητας. Παράλληλα, η καθαρή σειρά CAT16-27 είχε το μικρότερο ποσοστό βλαστικότητας, χωρίς ωστόσο να διαφέρει σημαντικά από την καθαρή σειρά CAT16-4. Από το διάγραμμα 4, αναγνωρίζεται η ποικιλία M-10544, ως ο γενότυπος με το υψηλότερο ποσοστό βλαστικότητας.



Διάγραμμα 4 Ποσοστό βλάστησης (%) των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 20%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι βλάστησης των τελικών μετρήσεων (7 ημέρες), για κάθε μεταχείριση και γενότυπο. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι επίδρασης των μεταχειρίσεων στους γενοτύπους. Η βλαστική ικανότητα των σπόρων ρεβιθιού επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του PEG. Συνολικά, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση της συγκέντρωσης PEG όταν αυτή ήταν $\geq 10\%$, καθώς οι δύο πρώτες μεταχειρίσεις 0% και 5% δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Αντίθετα, στις επόμενες μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση του ποσοστού βλαστικότητας. Η ποικιλία M-10544 είχε το μεγαλύτερο μέσο ποσοστό βλαστικότητας, όπως αυτό προέκυψε από όλες τις

μεταχειρίσεις, διαφέροντας στατιστικά σημαντικά από όλους τους υπόλοιπους γενοτύπους. Παράλληλα, παρατηρήθηκε ότι στη μεταχείριση συγκέντρωσης 20% PEG η καθαρή σειρά CAT16-27, δεν κατάφερε να βλαστήσει.

Πίνακας 3 Μέσοι όροι βλάστησης ανά μεταχείριση και μέσοι όροι βλάστησης ανά γενότυπο.

	Συγκέντρωση PEG (C)					%
	Γενότυποι	0	5	10	20	
						M. O. (G)
	E-202	95%	96%	98%	74%	90,63% b
	E-229	94%	91%	100%	96%	95,31% ab
	Macarena	96%	94%	89%	35%	78,44% c
	CAT16-31	86%	91%	94%	90%	90,31% b
7 ημέρες	CAT16-27	93%	96%	48%	0,%	59,06% d
	M-10544	99%	100%	99%	99%	99,06% a
	CAT16-4	98%	98%	95%	10%	75,00% c
	M-15935	98%	95%	88%	85%	91,25% b
	Line 9/14	94%	91%	83%	53%	80,00% c
	Λήμνος	95%	88%	79%	76,30%	84,57% bc
	M.O. (C)	94,62% a	94% a	87% b	54,13% c	

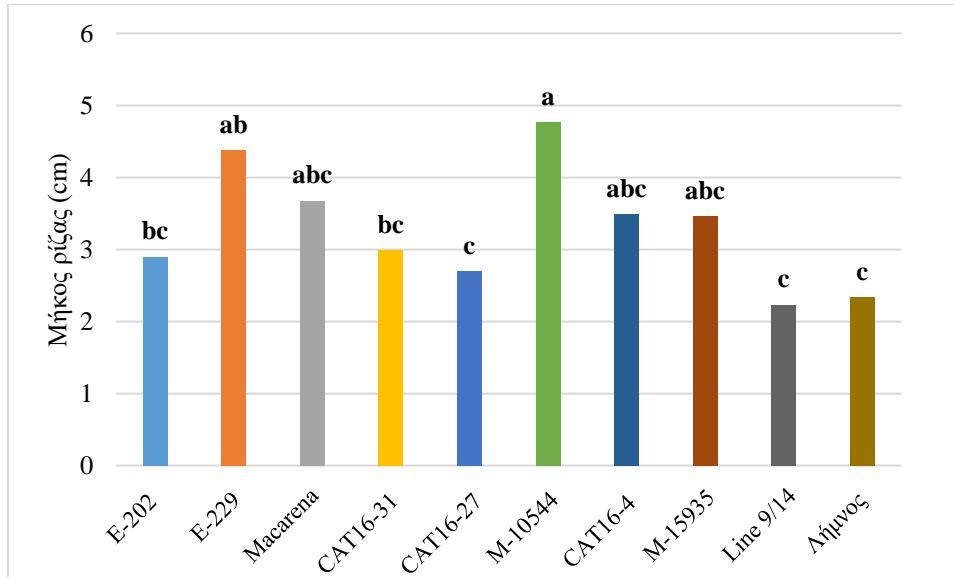
* Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς για επίπεδο $p < 0,05$, σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

3.1.2 Μήκος ρίζας

Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεταχείρισης του μάρτυρα (0% PEG), όπου παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενοτύπων στις τελικές μετρήσεις του μήκους της ρίζας (15 ημέρες). Συγκεκριμένα, η ποικιλία M-10544 διαφέρει σημαντικά στατιστικά από τους υπόλοιπους γενοτύπους, κατέχοντας το μεγαλύτερο μήκος ρίζας. Συγχρόνως, σημαντική στατιστική διαφορά παρουσιάζουν η ποικιλία E-202 και η καθαρή σειρά CAT16-31, ενώ παράλληλα διαφέρει σημαντικά η καθαρή σειρά Line 9/14, με τη μικρότερη απόδοση σε μήκος ρίζας, χωρίς ωστόσο να διαφέρει σημαντικά από την καθαρή σειρά CAT16-27 και τον τοπικό πληθυσμό Λήμνος.

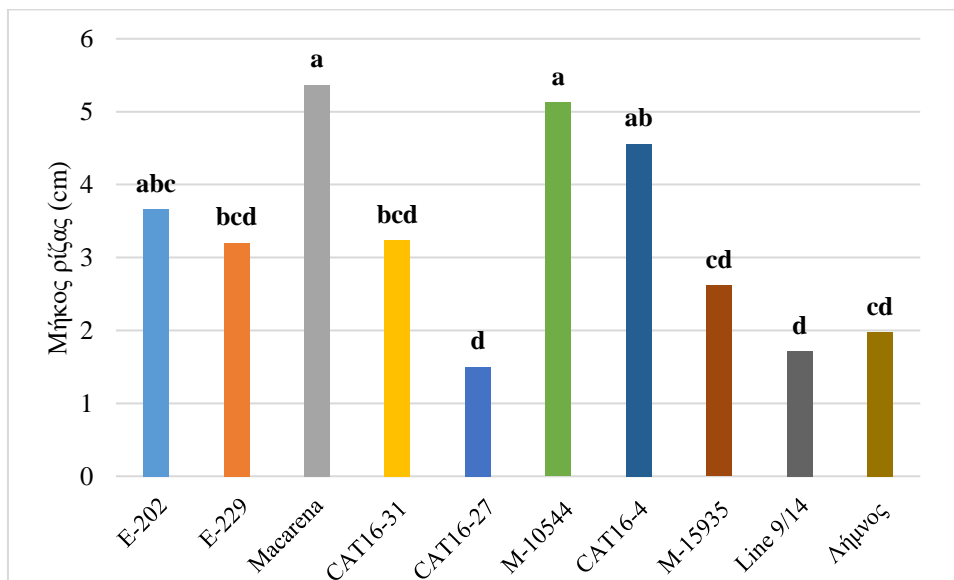
Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η μεταχείριση συγκέντρωσης 5% PEG, όπου παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις σε σχέση με τη μεταχείριση του μάρτυρα. Συγκεκριμένα, ο εμπορικός σπόρος Macarena παρουσιάζει το υψηλότερο μήκος ρίζας, χωρίς να διαφέρει σημαντικά στατιστικά από την ποικιλία M-10544. Επιπλέον, διαφέρει σημαντικά η καθαρή σειρά CAT26-4, με την αμέσως καλύτερη απόδοση.

Παράλληλα, παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά στην καθαρή σειρά CAT16-27, που παρουσίασε τα χαμηλότερα μήκη ριζών, χωρίς ωστόσο να διαφέρει σημαντικά από την καθαρή σειρά Line 9/14.



Διάγραμμα 5 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 0%.

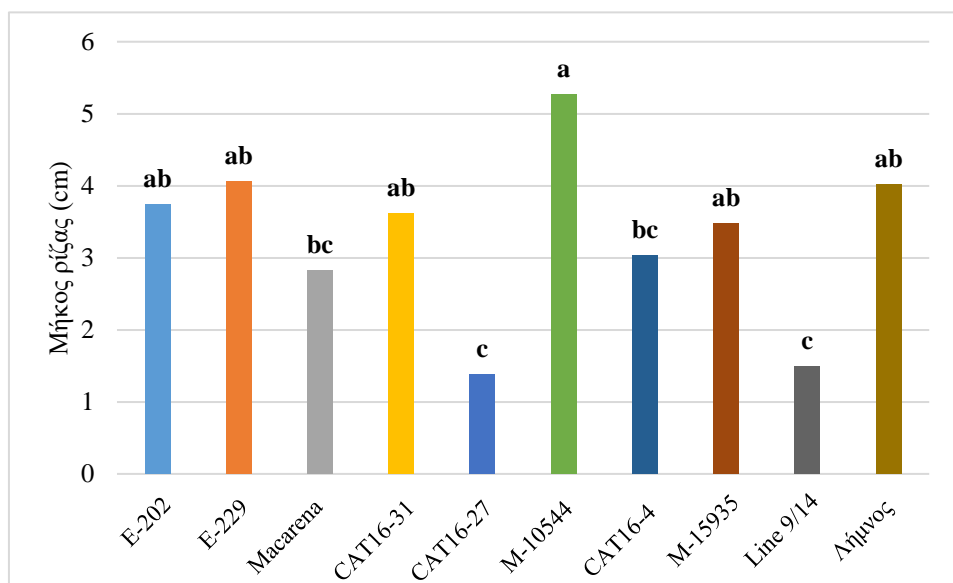
Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.



Διάγραμμα 6 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 5%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Συνεχίζοντας, στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζεται το τελικό μήκος ρίζας (15 ημέρες) στη μεταχείριση με συγκέντρωση PEG 10%. Παρατηρήθηκε μείωση στο μήκος της ρίζας. Η ποικιλία M-10544 διαφέρει σημαντικά στατιστικά από όλους τους γενοτύπους, κατέχοντας τα υψηλότερα μήκη ριζών. Συγχρόνως, παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στις καθαρές σειρές CAT16-27 και Line 9/14, που ομοίως με την πρωτότερη μεταχείριση παρουσίασαν τα χαμηλότερα μήκη ρίζας



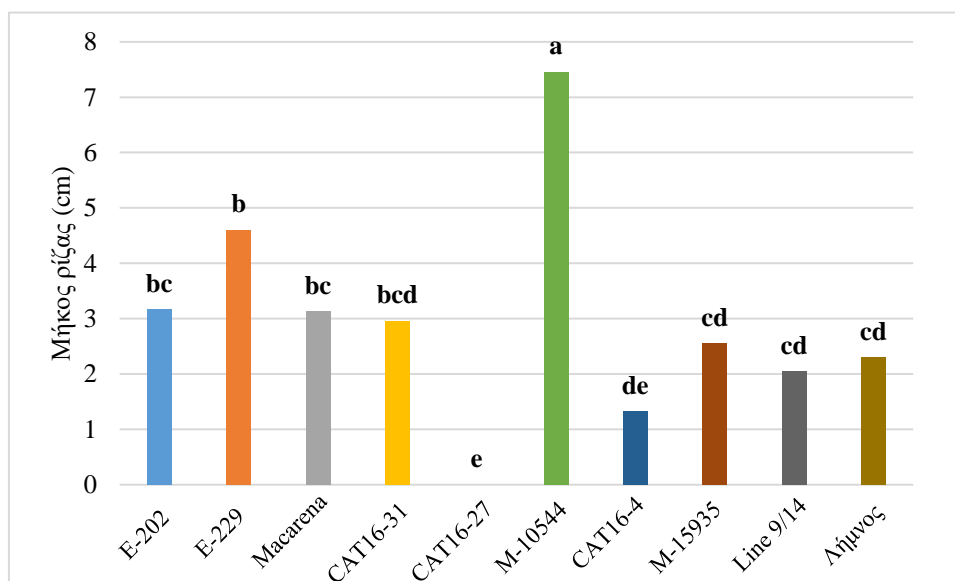
Διάγραμμα 7 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 10%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Τέλος, στο Διάγραμμα 8 παρουσιάζεται το τελικό μήκος ρίζας (15 ημέρες) στη μεταχείριση συγκέντρωσης 20% πολυαιθυλενογλυκόλης. Παρατηρήθηκαν σημαντικές μειώσεις στο μήκος ρίζας των γενοτύπων. Η ποικιλία M-10544 παρουσίασε σημαντική στατιστικά διαφορά από όλους τους γενοτύπους, έχοντας τις υψηλότερες τιμές μήκους ρίζας. Παράλληλα, παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην καθαρή σειρά CAT16-27, που παρουσίασε τα χαμηλότερα μήκη ρίζας από όλους τους γενοτύπους.

Συνολικά, δεν παρατηρήθηκε σημαντική στατιστικά επίδραση στο μήκος ρίζας των γενοτύπων στις πρώτες μεταχειρίσεις με συγκέντρωση PEG 0%, 5% και 10%. Αντίθετα σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε όταν η συγκέντρωση πολυαιθυλενικής γλυκόλης ήταν $>10\%$, όπου το μήκος ρίζας των σπόρων μειώθηκε στατιστικά σημαντικά. Συγχρόνως, παρατηρήθηκαν υψηλότερες μέσες τιμές μήκους ρίζας στην ποικιλία M-

10544, η οποία διέφερε σημαντικά στατιστικά από όλους τους γενοτύπους, σε επίπεδο $p < 0,05$ όπως προέκυψε από όλες τις μεταχειρίσεις σε σύνολο (Πίνακας 4).



Διάγραμμα 8 Τελικό μήκος ρίζας των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 20%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι τιμές του μήκους ρίζας των γενοτύπων, στις τελικές μετρήσεις (15 ημέρες), καθώς και η στατιστική σημαντικότητα της επίδρασης των μεταχειρίσεων PEG στους γενοτύπους.

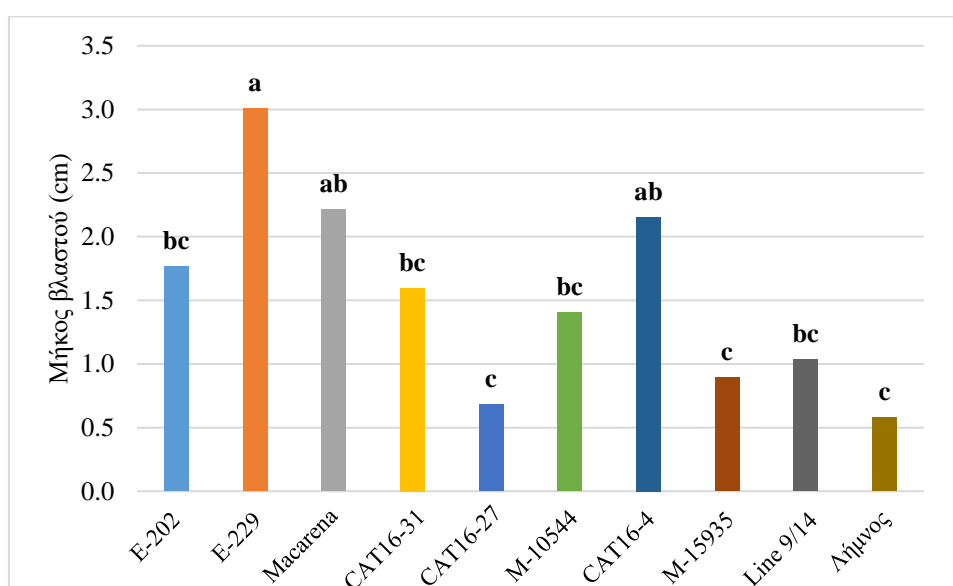
Πίνακας 4 Μέσες τιμές μήκους ρίζας ανά μεταχείριση και μέσες τιμές μήκους ρίζας ανά γενότυπο.

		Συγκέντρωση PEG (C)					
		Γενότυποι (G)	0	5	10	20	%
							M. O (G)
15 ημέρες	E-202	2,900	3,664	3,735	3,167	3,367	bc
	E-229	4,377	3,201	4,060	4,600	4,06	b
	Macarena	3,674	5,367	2,820	3,126	3,747	bc
	CAT16-31	2,988	3,238	3,615	2,958	3,200	c
	CAT16-27	2,695	1,500	1,385	0,000	1,395	d
	M-10544	4,767	5,127	5,262	7,455	5,653	a
	CAT16-4	3,487	4,558	3,035	1,328	3,102	c
	M-15935	3,462	2,615	3,482	2,552	3,028	c
	Line 9/14	2,235	1,715	1,490	2,048	1,872	d
	Λήμνος	2,335	1,975	4,020	0,295	2,156	d
M.O.(C)		3,292	3,296	3,290	2,753		
		a	a	a	b		

* Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς για επίπεδο $p < 0,05$, σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

3.1.3 Μήκος βλαστού

Στο Διάγραμμα 9 παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις (15 ημέρες) που αφορούσαν την επίδραση των μεταχειρίσεων στην ανάπτυξη βλαστού, όπου παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενοτύπων. Συγκεκριμένα, στη μεταχείριση του μάρτυρα (0% PEG), παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά στην ποικιλία E-229, που παρουσίασε τα μεγαλύτερα μήκη βλαστού. Παράλληλα, στις καθαρές σειρές M-15935 και CAT16-4, καθώς και στον τοπικό πληθυσμό Λήμνος παρατηρήθηκε σημαντική στατιστικά διαφορά από τους υπόλοιπους γενοτύπους, χωρίς να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και παρουσίασαν τα χαμηλότερα μήκη.

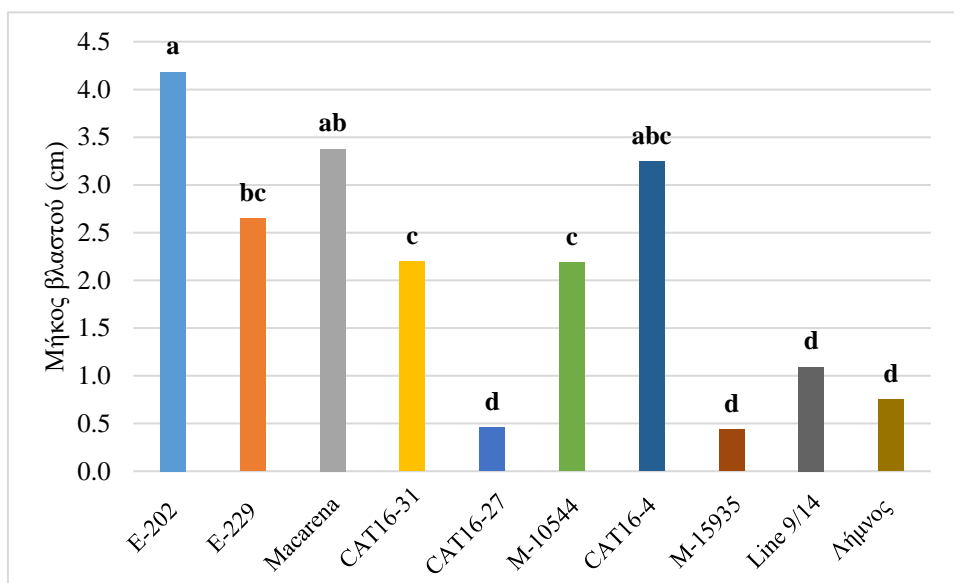


Διάγραμμα 9 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 0%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

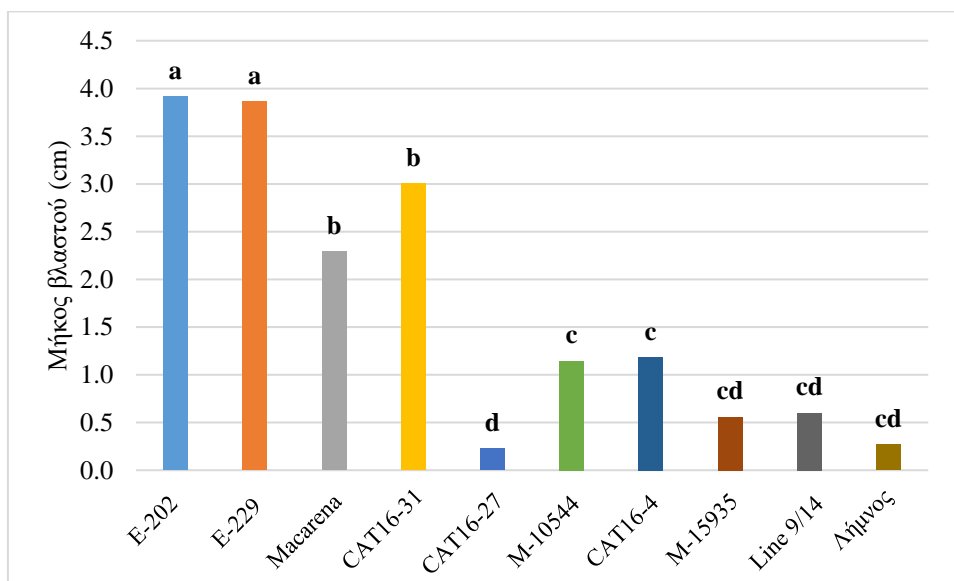
Στο Διάγραμμα 10 παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις μήκους βλαστού (15 ημέρες) για τη μεταχείριση 5% PEG, όπου παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά στην ποικιλία E-202, που παρουσίασε τα μεγαλύτερα μήκη βλαστού. Επιπλέον, σημαντική στατιστικά μείωση παρατηρήθηκε στο μήκος βλαστού της ποικιλίας E-229, σε αντίθεση με την προηγούμενη μεταχείριση. Παράλληλα, οι καθαρές σειρές CAT16-27, M-15935, Line 9/14 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, παρουσίασαν τα χαμηλότερα μήκη βλαστού, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά στατιστικά μεταξύ τους.

Συνεχίζοντας, στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις μήκους βλαστού (15 ημέρες) της μεταχείρισης 10% PEG, όπου παρατηρήθηκαν υψηλά μήκη βλαστού στις ποικιλίες E-202 και E-229, χωρίς αυτές να διαφέρουν σημαντικά στατιστικά μεταξύ τους. Συγχρόνως, η καθαρή σειρά CAT16-27 παρουσίασε το μικρότερο μήκος βλαστού, διαφέροντας σημαντικά στατιστικά από όλους τους γενοτύπους.



Διάγραμμα 10 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 5%.

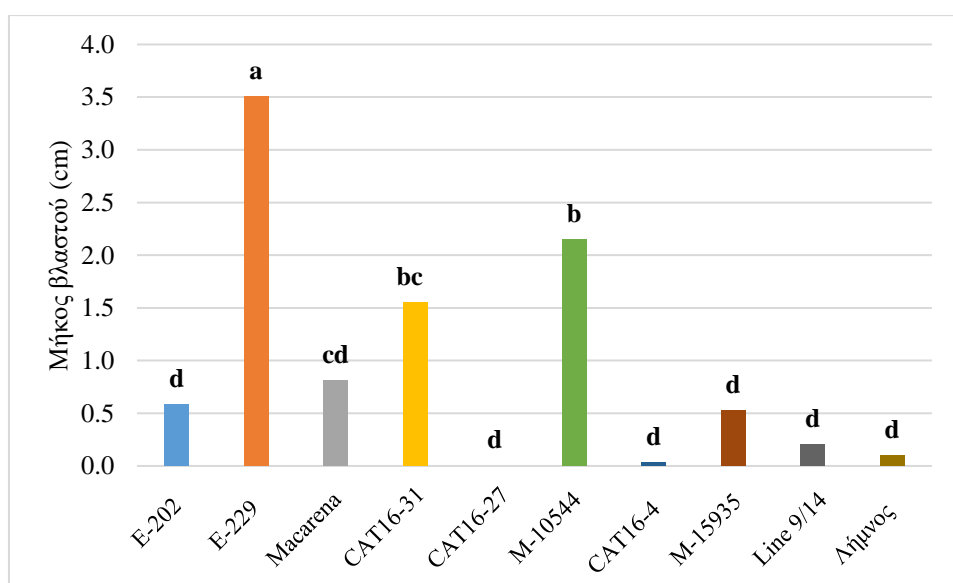
Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.



Διάγραμμα 11 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 10%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Στο Διάγραμμα 12 παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις μήκους βλαστού (15 ημέρες) των γενοτύπων για την τελική μεταχείριση συγκέντρωσης 20% PEG. Παρατηρήθηκε μείωση της ανάπτυξης βλαστού. Συγκεκριμένα η ποικιλία E-202, οι καθαρές σειρές CAT16-27, CAT16-4, M-15935, Line 9/14 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές ανάπτυξης βλαστού, χωρίς να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ παράλληλα η ποικιλία E-229 παρουσίασε το μεγαλύτερο μήκος βλαστού, διαφέροντας σημαντικά στατιστικά από όλους τους γενοτύπους.



Διάγραμμα 12 Μήκος βλαστού των ποικιλιών στη μεταχείριση PEG 20%.

Στήλες που σημαίνονται με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σε επίπεδο $p < 0,05$ σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τελικές τιμές των μετρήσεων μήκους βλαστού των γενοτύπων (15 ημέρες), καθώς και η επίδραση των μεταχειρίσεων στους γενοτύπους. Συνολικά, παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά στους γενοτύπους μεταξύ των μεταχειρίσεων. Πιο συγκεκριμένα, η μεταχείριση συγκέντρωσης 5% PEG, παρουσίασε τις υψηλότερες μέσες τιμές μήκους βλαστού, όπως αυτές προέκυψαν συνολικά από τους γενοτύπους. Αντίθετα, παρατηρήθηκε μείωση του μήκους βλαστού στις επόμενες μεταχειρίσεις και η υψηλότερη επίδραση μεταχείρισης παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση 20% PEG, που διέφερε σημαντικά από τις προηγούμενες. Παράλληλα, η ποικιλία E-229, παρουσίασε υψηλότερο μέσο μήκος βλαστού, με σημαντική στατιστική διαφορά από όλους τους γενοτύπους, όπως προέκυψε από το σύνολο των μεταχειρίσεων.

Πίνακας 5 Μέσοι όροι τιμών μήκους βλαστού ανά το σύνολο των γενοτύπων σε κάθε μεταχείριση και ανά γενότυπο.

		Συγκέντρωση PEG (C)				
Γενότυποι (G)		0	5	10	20	%
		M. O. (G)				
	E-202	1,765	4,183	3,918	0,584	2,613 b
	E-229	3,006	2,650	3,865	3,505	3,257 a
	Macarena	2,212	3,379	2,290	0,815	2,174 c
	CAT16-31	1,596	2,200	3,005	1,548	2,087 cd
15 ημέρες	CAT16-27	0,680	0,458	0,225	0,000	0,341 e
	M-10544	1,405	2,188	1,145	2,145	1,721 cd
	CAT16-4	2,153	3,248	1,185	0,035	1,655 d
	M-15935	0,895	0,438	0,560	0,530	0,606 e
	Line 9/14	1,033	1,093	0,600	0,200	0,731 e
	Λήμνος	0,580	0,752	0,270	0,100	0,426 e
	M.O. (C)	1,532 b	2,059 a	1,706 b	0,946 c	

* Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς για επίπεδο $p < 0,05$, σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

3.1.4 Ικανότητα απορρόφησης νερού

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις (7 ημέρες) της ικανότητας απορρόφησης νερού (IAN). Παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση της συγκέντρωσης PEG όταν αυτή ήταν $\geq 10\%$, καθώς οι δύο πρώτες μεταχειρίσεις 0% και 5% δεν διέφεραν σημαντικά στατιστικά μεταξύ τους. Αντίθετα, στις επόμενες δύο μεταχειρίσεις 10% και 20% παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική μείωση του ποσοστού ικανότητας απορρόφησης νερού. Παράλληλα, οι καθαρές σειρές CAT16-31 και M-15935 παρουσίασαν τα υψηλότερα ποσοστά ικανότητας απορρόφησης νερού, όπως αυτά προέκυψαν από το σύνολο των μετρήσεων των μεταχειρίσεων, διέφεραν σημαντικά στατιστικά από όλους τους γενοτύπους, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

Πίνακας 6 Μέσοι όροι ποσοστού απορρόφησης νερού ανά γενότυπο και ανά σύνολο γενοτύπων σε κάθε μεταχείριση.

		Συγκέντρωση PEG (C)				
Γενότυποι (G)		0	5	10	20	%
		Μέσος όρος (C)				
	E-202	56,3%	58,5%	50,5%	46,5%	52,9% c
	E-229	58,8%	58,3%	57,8%	57,0%	57,9% b
	Macarena	56,5%	57,3%	52,0%	48,0%	53,4% c

	CAT16-31	62,0%	62,8%	63,3%	56,2%	61,1% a
7 ημέρες	CAT16-27	57,8%	53,0%	51,0%	45,0%	51,7% cd
	M-10544	52,5%	52,5%	52,8%	53,8%	52,9% c
	CAT16-4	62,8%	57,5%	60,5%	49,3%	57,5% b
	M-15935	63,5%	61,3%	61,3%	60,7%	61,7% a
	Line 9/14	58,3%	61,0%	56,5%	52,0%	56,9% b
	Λήμνος	53,3%	52,0%	51,7%	43,2%	50,1% d
	Μέσος όρος (G)	58,2% a	57,4% a	55,7% b	51,2% c	

*Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς για επίπεδο $p < 0,05$, σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

3.1.5 Περιεχόμενη υγρασία σπόρου

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις (15 ημέρες) της συγκέντρωσης περιεχόμενου νερού των σπόρων. Παρατηρήθηκε σημαντική στατιστικά διαφορά στην ποικιλία E-202, η οποία παρουσίασε το υψηλότερο μέσο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας από όλους τους γενοτύπους, όπως αυτό προέκυψε από το σύνολο των μεταχειρίσεων. Παράλληλα, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση της συγκέντρωσης PEG όταν αυτή ήταν $\geq 10\%$, καθώς οι πρώτες δύο μεταχειρίσεις 0% και 5% παρουσίασαν υψηλότερα ποσοστά συγκέντρωσης νερού, χωρίς να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Συγχρόνως, παρατηρήθηκε μείωση του μέσου ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας στις συγκεντρώσεις 10% και 20%, όπως αυτό προέκυψε από το σύνολο των γενοτύπων. Οι δύο τελευταίες συγκεντρώσεις διέφεραν σημαντικά στατιστικά μεταξύ τους και η συγκέντρωση 20% παρουσίασε το χαμηλότερο μέσο ποσοστό συγκέντρωσης υγρασίας.

Πίνακας 7 Μέσοι όροι ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας ανά γενότυπο και ανά σύνολο γενοτύπων σε κάθε μεταχείριση.

		Συγκέντρωση PEG (C)				
Γενότυποι (G)		0	5	10	20	%
						Μέσος όρος (C)
	E-202	75,8%	77,8%	73,0%	60,3%	71,7% a
	E-229	71,8%	71,0%	69,5%	71,0%	70,8% ab
	Macarena	73,3%	70,8%	68,5%	60,0%	68,1% b
	CAT16-31	70,0%	67,8%	68,5%	67,8%	68,5% b
15 ημέρες	CAT16-27	63,5%	59,3%	58,5%	39,0%	55,1% e
	M-10544	65,3%	67,3%	55,5%	64,5%	63,1% cd
	CAT16-4	68,8%	71,3%	65,0%	53,8%	64,7% c
	M-15935	64,8%	61,8%	60,3%	57,8%	61,1% d

	Line 9/14	70,8%	65,3%	61,8%	55,3%	63,3% cd
	Λήμνος	63,8%	61,0%	60,5%	40,2%	56,4% e
	Μέσος όρος(G)	68,8% a	67,3% a	64,1% b	56,9% c	

*Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς για επίπεδο $p < 0,05$, σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

3.1.6 Δείκτης ευρωστίας σπόρου

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζεται ο ΔΕΣ, όπως αυτός προέκυψε από τις τελικές μετρήσεις (15 ημέρες). Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τόσο μεταξύ των γενοτύπων, όσο και για τη μεταχείριση PEG 20%. Συγκεκριμένα, οι ποικιλίες E-229 και M-10544, παρουσίασαν τα υψηλότερα από όλους τους γενοτύπους ποσοστά, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά στατιστικά μεταξύ τους. Παράλληλα, η μεταχείριση συγκέντρωσης 20% πολυαιθυλενογλυκόλης παρουσίασε τη μεγαλύτερη επίδραση στους γενοτύπους, κατέχοντας τα χαμηλότερα μέσα ποσοστά ΔΕΣ, όπως αυτά προέκυψαν από όλους τους γενοτύπους. Αντίθετα, όλες οι άλλες μεταχειρίσεις εμφάνισαν στατιστική διαφορά από τη μεταχείριση 20%, χωρίς ωστόσο να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και παρουσίασαν υψηλότερα ποσοστά ΔΕΣ.

Πίνακας 8 Μέσοι όροι του ποσοστού Δείκτη Ευρωστίας Σπόρου ανά γενότυπο και μέσοι όροι ποσοστού ΔΕΣ ανά μεταχείριση.

		Συγκέντρωση PEG (C)					
Γενότυποι (G)		0	5	10	20	%	
							M. O.(G)
	E-202	441,0%	762,0%	749,5%	276,2%	557,2% b	
	E-229	702,0%	537,5%	792,5%	779,2%	702,8% a	
	Macarena	569,0%	818,8%	451,7%	151,0%	497,6% bc	
	CAT16-31	395,0%	492,0%	623,3%	404,5%	478,7% bc	
15 ημέρες	CAT16-27	315,7%	190,0%	74,8%	0,0%	145,1% e	
	M-10544	609,5%	731,5%	635,5%	948,8%	731,3% a	
	CAT16-4	549,0%	763,7%	397,0%	23,5%	433,3% c	
	M-15935	424,5%	288,7%	355,8%	262,0%	332,8% d	
	Line 9/14	301,7%	246,7%	185,3%	153,3%	221,8% e	
	Λήμνος	280,0%	238,5%	333,8%	0,0%	213,1% e	
	M. O. (C)	458,7% a	506,9% a	459,9% a	299,9% b		

*Μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς για επίπεδο $p < 0,05$, σύμφωνα με το κριτήριο Duncan.

Οι γενότυποι του πειράματος κατατάχθηκαν στον Πίνακα 9 ως προς την ανθεκτικότητά τους, σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα του δείκτη ευρωστίας σπόρου (ΔΕΣ). Παρατηρήθηκε ότι οι ποικιλίες E-229 και M-10544 παρουσίασαν τον υψηλότερο ΔΕΣ, συνεπώς κατατάχθηκαν ως ανθεκτικοί γενότυποι. Αντίθετα, οι καθαρές σειρές CAT16-27, CAT16-4, ο εμπορικός σπόρος Macarena και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, παρουσίασαν τους χαμηλότερους ΔΕΣ και κατά συνέπεια δεν παρουσίασαν ανθεκτικότητα.

Πίνακας 9 Κατάταξη των γενοτύπων με βάση τον ΔΕΣ, σε ανθεκτικές, ανεκτικές, ελαφρώς ανεκτικές κι ευαίσθητες.

Ανθεκτικές (ΔΕΣ>700)	Ανεκτικές (ΔΕΣ:450-700)	Ελαφρώς ανεκτικές (ΔΕΣ:200-450)	Ευαίσθητες (ΔΕΣ<200)
M-10544	CAT16-31	E-202	Macarena
E-229	M-15935	Line 9/14	CAT16-27
			CAT16-4
			Λήμνος

3.1.7 Ανάλυση παραμέτρων

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των παραμέτρων, όπου παρατηρήθηκε ο βαθμός σημαντικότητας της επίδρασης της εκάστοτε παραμέτρου στο κάθε χαρακτηριστικό που διερευνήθηκε, καθώς και το ποσοστό συνολικής παραλλακτικότητας του κάθε χαρακτηριστικού που οφείλεται στην εκάστοτε παράμετρο. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε σημαντική στατιστικά επίδραση των παραμέτρων γενότυπος (Γ) και αλληλεπίδραση γενοτύπου και μεταχείρισης (Γ×Μ), στο ποσοστό βλαστικότητας, στην ικανότητα απορρόφησης νερού, την περιεχόμενη υγρασία σπόρου, στο μήκος ρίζας και βλαστού και στον δείκτη ευρωστίας σπόρου. Αντίθετα, παρατηρήθηκε ότι η παράμετρος μεταχείριση (Μ) δεν είχε σημαντική

στατιστικά επίδραση στο μήκος ρίζας των σπόρων, ενώ είχε σημαντική επίδραση σε όλα τα χαρακτηριστικά.

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται τα ποσοστά επίδρασης των παραμέτρων στα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι ένα μεγάλο ποσοστό (>50%) της συνολικής παραλλακτικότητας των χαρακτηριστικών IAN, MP, MB και ΔΕΣ, οφείλεται στην παράμετρο του γενότυπου. Αντίθετα, στο γενότυπο οφείλεται μικρότερο ποσοστό της συνολικής παραλλακτικότητας για τα χαρακτηριστικά της βλαστικότητας (22,34%) και της ΠΥΣ (45%). Το ποσοστό της συνολικής παραλλακτικότητας της βλαστικής ικανότητας οφείλεται σε μεγαλύτερο βαθμό στη μεταχείριση (39,41%) και στην αλληλεπίδραση γενότυπου × μεταχείριση (38,23%). Η μεταχείριση επέδρασε σε εξίσου σημαντικό ποσοστό τόσο στην IAN (27,85%) όσο και στην ΠΥΣ (32,19%), ενώ η συνολική παραλλακτικότητα του MP δεν οφείλεται στην επίδραση της μεταχείρισης (2,72%). Παράλληλα, η παραλλακτικότητα του MB και του ΔΕΣ οφείλονται σε χαμηλότερο ποσοστό στη μεταχείριση (11,09% και 9,95%). Τέλος, η συνολική παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών οφείλεται σε εξίσου σημαντικά ποσοστά στην αλληλεπίδραση γενότυπου × μεταχείρισης, από τα οποία υψηλότερα ήταν του ΔΕΣ και του MP (30,18% και 31,42%).

Πίνακας 10 Η επίδραση των παραμέτρων Γενότυπος, Μεταχείριση και η αλληλεπίδραση Γενότυπος × Μεταχείριση, στη βλαστική ικανότητα (Βλαστικότητα), στην ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN), στην περιεχόμενη υγρασία σπόρου (ΠΥΣ), στο μήκος ρίζας (MP) και βλαστού (MB) και στον δείκτη ευρωστίας σπόρου (ΔΕΣ), σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$.

	Γενότυπος (Γ)	Μεταχείριση (Μ)	Γ × Μ
Βλαστικότητα	0,000	0,000	0,000
IAN	0,000	0,000	0,030
ΠΥΣ	0,000	0,000	0,000
MP	0,000	0,078	0,000
MB	0,000	0,000	0,000
ΔΕΣ	0,000	0,000	0,000

Πίνακας 11 Τα ποσοστά επίδρασης των παραμέτρων Γενότυπος, Μεταχείριση και η αλληλεπίδραση Γενότυπος × Μεταχείριση, στη βλαστική ικανότητα (Βλαστικότητα), στην ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN), στην περιεχόμενη υγρασία σπόρου (ΠΥΣ), στο μήκος ρίζας (MP) και βλαστού (MB) και στον δείκτη ευρωστίας σπόρου (ΔΕΣ), σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$.

	Γενότυπος (Γ)	Μεταχείριση (Μ)	Γ × Μ
Βλαστικότητα	22,34%	39,41%	38,23%

ΙΑΝ	54,52%	27,85%	17,61%
ΠΥΣ	45,00%	32,19%	22,81%
ΜΡ	65,84%	2,72%	31,42%
ΜΒ	61,99%	11,09%	26,91%
ΔΕΣ	59,85%	9,95%	30,18%

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών που μελετήθηκαν, όπως αυτές προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ της ικανότητας απορρόφησης νερού (ΙΑΝ) και της βλαστικότητας ($r=0,561^{**}$), καθώς και της περιεχόμενης υγρασίας σπόρου (ΠΥΣ) και της βλαστικότητας ($r=0,711^{**}$). Ο δείκτης ευρωστίας σπόρου (ΔΕΣ) παρουσίασε υψηλές συσχετίσεις με το μήκος ρίζας (ΜΡ) και το μήκος βλαστού (ΜΒ) ($r=0,863^{**}$ και $r=0,842^{**}$). Χαμηλότερες θετικές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ της ΙΑΝ και της ΠΥΣ, του ΜΒ και του ΔΕΣ, με συντελεστές συσχέτισης $0,491^{**}$, $0,301^{**}$ και $0,313^{**}$ αντίστοιχα, ενώ η χαμηλότερη συσχέτιση ήταν με το ΜΡ ($r=0,193^{**}$). Παράλληλα, η περιεχόμενη υγρασία σπόρου παρουσίασε σημαντική θετική συσχέτιση με το ΜΒ και τον ΔΕΣ ($r=0,688^{**}$ και $r=0,622^{**}$), ενώ χαμηλότερη ήταν η συσχέτιση με το ΜΡ ($r=0,431^{**}$). Τέλος, παρατηρήθηκε πιο χαμηλή σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ του ΜΡ και ΜΒ ($r=0,510^{**}$).

Πίνακας 12 Πίνακας Συσχετίσεως μεταξύ των χαρακτηριστικών.

Συσχετίσεις						
	Βλαστικότητα	ΙΑΝ	ΠΥΣ	ΜΡ	ΜΒ	ΔΕΣ
Βλαστικότητα	1	0,561**	0,711**	0,512**	0,491**	0,643**
ΙΑΝ	0,561**	1	0,491**	0,193*	0,301**	0,313**
ΠΥΣ	0,711**	0,491**	1	0,431**	0,688**	0,622**
ΜΡ	0,512**	0,193*	0,431**	1	0,510**	0,863**
ΜΒ	0,491**	0,301**	0,688**	0,510**	1	0,842**
ΔΕΣ	0,643**	0,313**	0,622**	0,863**	0,842**	1

**Η συσχέτιση είναι σημαντική στατιστικά, σε επίπεδο 0,01 (2-tailed).

*Η συσχέτιση είναι σημαντική στατιστικά, σε επίπεδο 0,05(2-tailed).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Συζήτηση

Η υδατική καταπόνηση συμβάλει στη μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών που δημιουργεί, όπως αναφέρουν οι Muscolo *et al.* (2014). Οι Ahmad *et al.* (2009), αναφέρουν ότι το στάδιο της βλάστησης των σπόρων είναι από τα πιο κρίσιμα στη διάρκεια του βιολογικού κύκλου των φυτών, συνεπώς η έρευνα των συνθηκών που αφορούν αυτό το στάδιο είναι ύψιστης σημασίας. Στη παρούσα έρευνα έγινε μελέτη του ποσοστού βλαστικότητας και άλλων σχετικών με αυτή χαρακτηριστικών σε 10 γενοτύπους ρεβιθιού, υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Για την αξιολόγηση των γενοτύπων δημιουργήθηκαν τέσσερις μεταχειρίσεις με ποσοστά 0%, 5%, 10% και 20% πολυαιθυλενογλυκόλης αντίστοιχα. Λήφθηκαν μετρήσεις βλαστικότητας και ικανότητας απορρόφησης νερού έως τις 7 μέρες ανάπτυξης για κάθε μεταχείριση, καθώς και μήκους ρίζας, μήκους βλαστού και συγκέντρωσης νερού έως και τις 15 μέρες ανάπτυξης στις μεταχειρίσεις, και τελικά υπολογίστηκε ο δείκτης ευρωστίας σπόρου.

Στο παρόν πείραμα, μεγάλο ποσοστό της συνολικής παραλλακτικότητας της βλαστικής ικανότητας επηρεάστηκε σημαντικά στατιστικά από τους παράγοντες γενότυπος, μεταχείριση και γενότυπος \times μεταχείριση, αλλά ο κάθε παράγοντας παρουσίασε διαφορετικό ποσοστό επίδρασης. Όσον αφορά το τελικό μήκος της ρίζας, το πιο σημαντικό ποσοστό της συνολικής παραλλακτικότητας οφειλόταν στους παράγοντες γενότυπος και μεταχείριση αντίστοιχα. Παράλληλα, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση του γενοτύπου στη συνολική παραλλακτικότητα του τελικού μήκους του βλαστού, ενώ η συνολική παραλλακτικότητα της ΠΥΣ και της ΙΑΝ, επηρεάστηκε σημαντικά από τους παράγοντες μεταχείριση και αλληλεπίδραση γενοτύπου \times μεταχείρισης, χωρίς ωστόσο να επηρεαστεί η ΠΥΣ στο ίδιο ποσοστό από τον παράγοντα γενότυπος. Τέλος, ο ΔΕΣ επηρεάστηκε σε σημαντικό ποσοστό από τον παράγοντα αλληλεπίδραση γενοτύπου \times μεταχείρισης.

Η βλαστική ικανότητα των σπόρων παρουσίασε στατιστικά σημαντική μείωση στο τελικό ποσοστό βλαστικότητας των γενοτύπων, όταν η συγκέντρωση PEG ήταν ≥ 10 .

Η παραπάνω παρατήρηση συμπίπτει με αποτελέσματα των Musculo *et al.* (2014) και των Faijunnahar *et al.* (2017), οι οποίοι διερεύνησαν την επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων PEG στη φακή και το σιτάρι αντίστοιχα, και παρατήρησαν σημαντική επίδραση του PEG σε συγκεντρώσεις 10% και πάνω. Μείωση του ποσοστού βλαστικότητας με την αύξηση του PEG, παρατήρησαν και οι Khakwani *et al.* (2011) στο σιτάρι, τονίζοντας τη σημαντική επίδρασή του σε συγκέντρωση 15%. Παράλληλα, η ποικιλία M-10544 παρουσίασε το υψηλότερο ποσοστό βλαστικότητας και ήταν ο μοναδικός γενότυπος που έφτασε στο 100% βλαστικότητας. Αντίθετα, η καθαρή σειρά CAT16-27 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, παρουσίασαν το χαμηλότερο ποσοστό βλαστικότητας, όπως αυτό προέκυψε από το σύνολο των μεταχειρίσεων, ενώ στη μεταχείριση συγκέντρωσης 20% δεν κατάφεραν να βλαστήσουν καθόλου.

Όσον αφορά το τελικό μήκος της ρίζας, δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πρώτων μεταχειρίσεων, ενώ καταγράφηκε στατιστικά σημαντική μείωση του μήκους ρίζας στη μεταχείριση 20%. Τα παραπάνω αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με τις έρευνες των Faijunnahar *et al.* (2017), Baque *et al.* (2016), Jisha *et al.* (2013). Σημαντική ανάπτυξη παρουσίασε η ποικιλία M-10544 που παρουσίασε τις υψηλότερες τελικές τιμές μήκους ρίζας και στατιστικά σημαντική διαφορά από όλους τους γενοτύπους, αποδίδοντας το υψηλότερο μέσο μήκος ρίζας, όπως προέκυψε από το σύνολο των μεταχειρίσεων. Αντίθετα, η καθαρή σειρά CAT16-27 δεν κατάφερε τελικά να αναπτύξει ρίζα στη μεταχείριση PEG 20%, ενώ παράλληλα με την καθαρή σειρά Line 9/14 και τον τοπικό πληθυσμό Λήμνος, παρουσίασαν συνολικά, το μικρότερο μέσο μήκος ρίζας. Το υψηλό μήκος ρίζας που παρατηρήθηκε στις αρχικές μεταχειρίσεις όπου χρησιμοποιήθηκε PEG (5%, 10%), συμπίπτει με αποτελέσματα των Toosi *et al.* (2014) σε σπόρους *Brassica juncea*, Kaydan and Yagmur (2008) σε σπόρους *triticale*, οι οποίοι επιβεβαιώνουν την υψηλή ανάπτυξη ρίζας όταν οι σπόροι υποβληθούν σε χαμηλές και μέτριες συγκεντρώσεις PEG.

Όσον αφορά το μήκος του βλαστού, παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές μήκους βλαστού στη μεταχείριση συγκέντρωσης 5% PEG, ενώ καταγράφηκε στατιστικά σημαντική μείωση του μήκους βλαστού όταν η συγκέντρωση PEG αυξήθηκε στο 20%. Τα παραπάνω αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με την έρευνα των Kalefetoğlu Macar *et al.* (2009) σε σπόρους ρεβιθιού (*Cicer arietinum* L.), οι οποίοι αναφέρουν πολύ χαμηλή ανάπτυξη βλαστικού μέρους σε συγκεντρώσεις >20%, ενώ παράλληλα

αναφέρουν ότι η καλύτερη ανάπτυξη βλαστού, έλαβε χώρα στη μεταχείριση τις μικρότερης συγκέντρωσης PEG. Η ποικιλία E-229 παρουσίασε την υψηλότερη μέση ανάπτυξη μήκους βλαστού, όπως προέκυψε από το σύνολο των μεταχειρίσεων, ενώ παράλληλα παρουσίασε την υψηλότερη τιμή μήκους βλαστού από όλους τους γενοτύπους, όταν η συγκέντρωση PEG ήταν 20%. Οι καθαρές σειρές CAT16-27, M-15935, Line 9/14 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, παρουσίασαν τις χαμηλότερες μέσες τιμές μήκους βλαστού, όπως αυτές προέκυψαν από όλες τις μεταχειρίσεις.

Οι Ahmad and Bano (1992) αναφέρουν ότι η υδατική καταπόνηση προκαλεί τη μείωση απορρόφησης νερού από τους σπόρους, όταν αυτοί βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της εκβλάστησης. Ως συνέπεια ακολουθούν μια σειρά από μεταβολικές διαταραχές, μείωση της υδρόλυσης, μεταβολές σε ενζυμικές λειτουργίες και παρεμπόδιση της εκβλάστησης (Toosi *et al.* 2014). Ομοίως, στα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος καταγράφηκε στατιστικά σημαντική μείωση της ικανότητας απορρόφησης νερού και της περιεχόμενης υγρασίας σπόρου, λόγω της υδατικής καταπόνησης που προκλήθηκε με τη χρήση πολυαιθυλενογλυκόλης, συμπίπτοντας με παρατηρήσεις των Wu *et al.* (2011) και Kaydan and Yagmur (2008). Συνολικά, παρατηρήθηκε σημαντική στατιστικά επίδραση του PEG στη ΠΥΣ και την ΙΑΝ όσο αυξανόταν η συγκέντρωσή του. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε σημαντική στατιστική μείωση στην ΙΑΝ και την ΠΥΣ όταν η συγκέντρωση PEG ήταν $\geq 10\%$. Οι καθαρές σειρές CAT16-31 και M-15935 παρουσίασαν στις τελικές μετρήσεις (7 ημέρες) τα υψηλότερα ποσοστά ΙΑΝ διαφέροντας σημαντικά στατιστικά από όλους τους γενοτύπους, ενώ ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος διέφερε στατιστικά σημαντικά από όλους τους γενοτύπους, παρουσιάζοντας το χαμηλότερο ποσοστό ΙΑΝ, όπως προέκυψε από όλες τις παρατηρήσεις. Στις τελικές μετρήσεις, όσων αφορά την ΠΥΣ (15 ημέρες), η ποικιλία E-202 παρουσίασε το υψηλότερο ποσοστό, διαφέροντας στατιστικά σημαντικά από όλους τους γενοτύπους, ενώ η καθαρή σειρά CAT16-27 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος παρουσίασαν τα χαμηλότερα μέσα ποσοστά. Η μείωση της ΙΑΝ και της ΠΥΣ με την αύξηση συγκέντρωσης PEG από 10% και άνω, συμπίπτει με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Musculo *et al.* 2014, Baque *et al.* 2016). Αντίθετα, έρχονται σε μερική διαφωνία με αποτελέσματα των Faijunnahar *et al.* (2017), όπου στη μεταχείριση 10% παρατηρήθηκαν τα υψηλότερα ποσοστά ΙΑΝ και ΠΥΣ, και παρατηρήθηκε μείωση με την αύξηση της συγκέντρωσης PEG όταν ξεπεράστηκε η συγκεκριμένη συγκέντρωση PEG.

Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση, καταγράφηκαν θετικές και σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της βλαστικής ικανότητας και των ΠΥΣ και ΙΑΝ, όπως αναφέρεται και σε έρευνες των Muscolo *et al.* (2014) και Kaydan and Yagmur (2008). Σημαντική θετική συσχέτιση καταγράφηκε και μεταξύ της βλαστικής ικανότητας και του μήκους ρίζας. Παράλληλα, η συσχέτιση της βλαστικής ικανότητας με το μήκος βλαστού ήταν σημαντική και θετική, αλλά χαμηλότερη, όπως έχει αναφερθεί και σε άλλες έρευνες (Kalefetoglu *et al.* 2009, Yücel *et al.* 2010). Σημαντικές θετικές συσχετίσεις παρουσιάστηκαν μεταξύ του μήκους ρίζας και του ΔΕΣ, χωρίς ωστόσο να παρουσιάζει σημαντική θετική συσχέτιση με την ΙΑΝ. Παράλληλα, καταγράφηκαν οι υψηλότερες θετικές συσχετίσεις του ΔΕΣ με το μήκος βλαστού, χωρίς ωστόσο να διαφέρει σημαντικά από τη θετική του συσχέτιση με το μήκος της ρίζας, όπως είναι αναμενόμενο, αφού ο υπολογιστικός τύπος του ΔΕΣ περιλαμβάνει το ΜΡ και ΜΒ. Οι Kaydan and Yagmur (2008), αναφέρουν στην έρευνα τους ότι οι σπόροι σιταριού που χρησιμοποιήθηκαν, έφτασαν το 100% της βλαστικής ικανότητας κατά την όγδοη μέρα του πειράματος στη μεταχείριση του μάρτυρα, αλλά οι μετρίου μεγέθους και μικροί σπόροι παρουσίασαν μικρότερα ποσοστά βλαστικότητας. Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική επίδραση του γενοτύπου στη βλαστική ικανότητα καθώς και υψηλή συσχέτιση της βλαστικής ικανότητας με την ανάπτυξη του σπόρου, συμπίπτοντας με την αιτιολόγηση των Kaydan and Yagmur (2008), όσον αφορά το μέγεθος των σπόρων του εκάστοτε γενοτύπου.

Όσον αφορά το δείκτη ευρωστίας, καταγράφηκαν αυξημένα ποσοστά ΔΕΣ στις αρχικές μεταχειρίσεις 0%, 5% και 10%, ενώ παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωσή του, όταν αυξήθηκε η συγκέντρωση PEG στο 20%. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα όσα παρατήρησαν στις έρευνές τους οι Baque *et al.* (2016) και Faijunnahar *et al.* (2017). Οι γενοτύποι που παρουσίασαν τον υψηλότερο ΔΕΣ ήταν οι ποικιλίες E-229 και η M-10544. Αντίθετα, οι καθαρές σειρές CAT16-27, Line 9/14 και ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, παρουσίασαν τους χαμηλότερους ΔΕΣ. Έρευνες σε γενοτύπους ρεβιθιού (Ashraf *et al.* 1992, Dharanguttikar *et al.* 2015), αναφέρουν ότι η ικανότητα βλαστικότητας δεν αρκεί από μόνη της ως κριτήριο για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας ενός γενοτύπου. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα υποδεικνύεται ότι συνολικά, ο δείκτης ευρωστίας αποτελεί κατάλληλο μέσο διάκρισης της ανθεκτικότητας των γενοτύπων και με αυτόν ως κριτήριο, κατηγοριοποιήθηκαν οι γενοτύποι M-10544 και E-229 στους ανθεκτικούς γενοτύπους.

4.2 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η παρούσα διατριβή αξιολόγησε ελληνικούς και ξένους γενοτύπους ρεβιθιού (*Cicer arietinum* L.), ως προς την αντοχή τους στην υδατική καταπόνηση κατά τα πρώτα βλαστικά στάδια. Παρατηρήθηκε αξιολογη παραλλακτικότητα μεταξύ των γενοτύπων ως προς τη βλαστική ικανότητα και ως προς τον δείκτη ευρωστίας σπόρου. Ο δείκτης ευρωστίας σπόρου παρουσιάστηκε ως κατάλληλο κριτήριο για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας των γενοτύπων, στην υδατική καταπόνηση, κατά τα πρώιμα βλαστικά στάδια, και βάσει αυτού κατατάχθηκαν οι γενότυποι. Συγκεκριμένα, οι ελληνικές ποικιλίες E-229 και M-10544 χαρακτηρίστηκαν ως ανθεκτικές ποικιλίες, οι καθαρές σειρές CAT16-31 και M-15935 χαρακτηρίστηκαν ως ανεκτικές, η ποικιλία E-202 και η καθαρή σειρά Line 9/14 χαρακτηρίστηκαν ως ελαφρώς ανεκτικές, ενώ ο τοπικός πληθυσμός Λήμνος, ο εμπορικός σπόρος Macarena και οι καθαρές σειρές CAT16-27 και CAT16-4, χαρακτηρίστηκαν ως ευαίσθητες. Συγκεκριμένα, η ποικιλία M-10544 παρουσίασε τα υψηλότερα ποσοστά βλαστικότητας, ενώ συγχρόνως τα ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας σπόρου ήταν σημαντικά στατιστικά χαμηλά. Συνεπώς, η ποικιλία M-10544 παρουσίασε μεγάλη ανάπτυξη χωρίς να χρειάζεται να απορροφήσει σημαντικές ποσότητες νερού. Η χρήση τέτοιας ποικιλίας είναι θεμιτή σε περιοχές όπου επικρατούν συνθήκες έλλειψης νερού. Ωστόσο, για να κριθεί κατάλληλη η ποικιλία M-10544 για καλλιέργεια σε τοποθεσίες όπου κυριαρχεί ξηρασία, είναι απαραίτητες περαιτέρω μελέτες και αξιολόγηση της ποικιλίας σε συνθήκες αγρού.

BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

- Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. (1973). Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. *Crop Science* 13, 630-633.
- Aboughadareh, A.P., Ahmadi, J., Mehrabi, A.A., Etmnan, A., Moghaddam, M., Siddique, K.H.M. (2017). Physiological responses to drought stress in wild relatives of wheat: implications for wheat improvement. *Acta. Physiol. Plant.* 39, 106.
- Ahmad, F., Gaur, P., Croser, J. (2005). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Chromosome Engineering and Crop Improvement - Grain Legumes* 1, 187–217.
- Ahmad, J. and Bano, M. (1992). The effect of sodium chloride on the physiology of cotyledons and mobilization of reserve food in *Cicer arietinum*. *Pakistan Journal of Botany* 24, 40-48.
- Ahmad. S., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Ashraf, M., Waraich, E.A. (2009). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and growth stages. *Pak. J.Bot.* 41,647-654.
- Ahsan, N., Lee, D.G., Lee, S.H., Lee, K.W., Bahk, J.D., Lee, B.H. (2007). A proteomic screen and identification of waterlogging-regulated proteins in tomato roots. *Plant Soil* 295, 37-51.
- Baque, A., Nahar, N., Yeasmin, M., Md. Quamruzzaman, Rahman, A., Md. Azad, J., Biswas, P. K. (2016). Germination Behavior of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) as Influenced by Polyethylene Glycol (PEG). *Universal Journal of Agricultural Research* 4(3), 86-91.
- Bolat, I., Dikilitas, M., Ercisli, S., Ikinici, A., Tonkaz, T. (2014). The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. *Sci. World J.* 769732, 8.
- Bota, J., Tomas, M., Flexas, J., Medrano, H., Escalona, J.M. (2016). Differences among grapevine cultivars in their stomatal behaviour and water use efficiency under progressive water stress. *Agric. Water Manag.* 164, 91-99.
- Brown, S.C., Gregory, P.J., Cooper, P.J.M., Keatinge, J.D.H. (1989). Root and shoot growth and water use of chickpea (*Cicer arietinum*) grown in dryland conditions: Effects of sowing date and genotype. *Journal of Agricultural Science* 113, 41-49.
- Chakraborty, K., Singh, A.L., Kalariya, K.A., Goswami, N., Zala, P.V. (2015). Physiological responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars to water deficit stress: status of oxidative stress and antioxidant enzyme activities. *Acta. Bot. Croat.* 74(1), 123-142.
- Crawford, R.M.M. (2003). Seasonal differences in plant responses to flooding and anoxia. *NRC Research Press* 81, 1224-1246.

- Cushman, J.C. and Bohnert, H.J. (2000). Genomic approaches to plant stress tolerance. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 3,117-124.
- Djurovic, N., Cosic, M., Stricevic, R., Savic, S., Domazet, M. (2016), Effect of irrigation regime and kaolin application on yield: quality and water use efficiency of tomato. *Sci. Hortic.* 201, 271-278.
- Dharanguttikar, V.M., Bharud, R.W., Borkar, V.H. (2015). Physiological responses of chickpea genotypes for drought tolerance under induced moisture stress. *International Journal of Scientific and Research Publications* 5 (9).
- Fageria, N.K. (1992). Maximizing crop yields. Marcel Dekker, Inc., New York. 274 pp.
- FAO. (2004). FAOSTAT Database results.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 185-212.
- Fini, A., Bellasio, C., Pollastri, S., Tattini, M., Ferrini, F. (2013). Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. *J. Arid. Environ.* 89, 21-29.
- Gigon, A., Matos, A.R., Laffray, D., Yasmine, Z.F., Pham-Thi, A.T. (2004). Effect of drought stress on lipid metabolism in the leaves of *Arabidopsis thaliana* (Ecotype Columbia). *Ann. Bot.* 94, 345-351.
- Guida, G., Sellami, M.H., Mistretta, C. et al. (2017). Agronomical, physiological and fruit quality responses of two Italian long-storage tomato landraces under rain-fed and full irrigation conditions. *Agric. Water Manag.* 180, 126-135.
- Harb, A., Krishnan, A., Ambavaram, M.M.R., Pereira, A. (2010). Molecular and physiological analysis of drought stress in *Arabidopsis* reveals early responses leading to acclimation in plant growth. *Plant Physiol.* 154, 1254-1271.
- Haworth, M., Cosentino, S.L., Marino, G. et al. (2017). Physiological responses of *Arundo donax* ecotypes to drought: a common garden study. *Glob. Chang. Biol. Bioenergy* 9, 132-143.
- Hayashi, H., Mustardy, L., Deshnum, P., Ida, M., Murata, N. (1997). Transformation of *Arabidopsis thaliana* with the *codA* gene for choline oxidase: accumulation of glycine betaine and enhanced tolerance to salt and cold stress. *Plant J.* 12, 133-142.
- Hochberg, U., Degu, A., Toubiana, D., Gendler, T., Nikoloski, Z., Rachmilevitch, S., Fait, A. (2013). Metabolite profiling and network analysis reveal coordinated changes in grapevine water stress response. *BMC Plant Biol.* 13, 184.
- Iliadis, C.G. (1998). Chickpea seed yield increase by autumn sowing. 3rd European Conference on Grain Legumes, 14-19 November 1998, Valladolid, Spain.

- Ishizaki-Nishizawa, O., Fujii, T., Azuma, M., et al. (1996). Low temperature resistance of higher plants is significantly enhanced by a nonspecific cyanobacterial desaturase. *Nat. Biotechnol.* 14, 1003-1006.
- Jha, U.C., Chaturvedi, S.K., Bohra, A., Basu, P.S., Khan, M.S., Barh, D. (2014). Abiotic stresses, constraints and improvement strategies in chickpea. *Plant Breeding* 133, 163-178.
- Jisha, K.C., Vijayakumari, K., Puthur, J.T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta. Physiol. Plant.* 35(5), 1381-1396.
- Johansen, B., Baldev, B., Brouwer, J.B., et al. (1994). Biotic and abiotic stresses constraining productivity of cool season food legumes in Asia, Africa and Oceania. *Expanding the Production and Use of Cool Season Food Legumes*, 175–194.
- Kafetoğlu Macar, T., Turan, Ö., Ekmekçi, Y. (2009). Effects of Water Deficit Induced by PEG and NaCl on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars and Lines at Early Seedling Stages. *G. U. J. Sci.* 22(1), 5-14.
- Kavi Kishore, P.B., Hong, Z., Miao, G.H., Hu, C.A.A., Verma, D.P.S.(1995). Overexpression of $\Delta 1$ -pyrroline-5-carbolyate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiol.* 108, 1387-1394.
- Kaya, M.D., Okçu, G., Atak, M., Çıkılı, Y., Kolsarıcı, Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Eur. J. Agron.*, 24, 291-295.
- Kaydan, D. and Yagmur, M. (2008). Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African Journal of Biotechnology* 7 (16), 2862-2868.
- Khakwani, A.A., Dennett, M.D., Munir, M. (2011). Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. *Songklanakarin J Sci Technol.* 33, 135-142.
- Khakwani, A.A., Dennett, M.D., Munir, M. (2011). Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 33(2), 135-142.
- Khalid, N., Khalid, H., Abdul, M., Farah, K., Shahid, A., Kazim, A. (2010). Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects. *Afr. J. Biotech.* 9 (34), 5475-5480.
- Kodama, H., Hamada, T., Horiguchi, G., Nishimura, M., Iba, K. (1994). Genetic enhancement of cold tolerance by expression of a gene for chloroplast ω -3 fatty acid desaturase in transgenic tobacco. *Plant Physiol.* 105, 601-605.
- Kumar, J. and Abbo, S. (2001). Genetics of flowering time in chickpea and its bearing of productivity in semiarid environments. *Advances in Agronomy* 72, 107-138.

- Labouriau, L.G., (1983a). A germinação das sementes. Organização dos Estados Americanos. Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Série de Biologia. Monografia 24.
- Leport, L., Turner, N.C., French, R.J., Barr, M.D., Duba, R., Davies, S.L., Tennant, D., Siddique K.H.M. (1999). Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean- type environment. *European Journal of Agronomy* 11, 279-291.
- Luo, M., Liu, X., Singh, P., Cui, Y., Zimmerli, L., Wu, K. (2012). Chromatin modifications and remodeling in plant abiotic stress responses. *Biochim. Biophys. Acta.* 1819, 129-136.
- Manchanda, H.R. and Sharma, S.K. (1989). Tolerance of chloride and sulphate salinity in chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Agricultural Science* 113, 259-272.
- McKersie, B.D., Bowley, S.R., Harjanto, E., Leprince, O. (1996). Water-deficit tolerance and field performance of transgenic alfalfa over-expressing superoxide dismutase. *Plant Physiol.* 111, 1177-1181.
- Mensah, J.K., Akomeah, B., Ekpekurede, I., Ekpekurede, E.O. (2006). Effect of Salinity on germination, growth and yield of five groundnut genotypes. *Afr. J. Biotechnol.*, 5(20), 1973-1979.
- Mibei, E.K., Ambuko, J., Giovannoni, J.J., Onyango, A.N., Owino, W.O. (2017). Carotenoid profiling of the leaves of selected African eggplant accessions subjected to drought stress. *Food Sci. Nutr.* 5 (1), 113-122.
- Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. (1973). The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiol.* 51, 914-916.
- Monteiro de Paula, F., Pham-Thi, A.T., Vieira da Silva, J., Justin, A.M., Demandre, C., Mazliak, P. (1990). Effects of water stress on the molecular species composition of polar lipids from *Vigna unguiculata* L. leaves. *Plant Sci.* 66, 185-193.
- Most. Faijunnahar, M., Baque, A., Md. Habib, A., Hossain, T. H. M. M. (2017). Polyethylene Glycol (PEG) Induced Changes in Germination, Seedling Growth and Water Relation Behavior of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Universal Journal of Plant Science* 5(4), 49-57.
- Mujeeb-ur-Rahman, Soomro, U.A., Zahoor-ul-Haq, M., Gul, S. (2008). Effects of NaCl Salinity on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. *World Journal of Agricultural Sciences* 4 (3), 398-403.
- Murray, G.A., Eser, D., Gusta, L.V., Etévé, G. (1998). Winter- hardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. In Summerfield R.J. (ed.) *World crops: cool season food legumes*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.831-843.
- Muscolo, A., Sidari, M., Anastasi, U., Santonoceto, C., Maggio, A. (2014). Effect of PEG induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes, *Journal of Plant Interactions* 9(1), 354-363. DOI: 10.1080/17429145.2013.835880

- Nakhforoosh, A., Bodewein, T., Fiorani, F., Bodner, G. (2016). Identification of water use strategies at early growth stages in durum wheat from shoot phenotyping and physiological measurements. *Front. Plant Sci.* 7, 1155.
- Nielsen, D.C. (2002). Production function for chickpea, field pea and lentil in the Central Great Plains. *Agronomy Journal* 93, 563-569.
- Panda, R.K., Pandit, E., Swain, A., Mohanty, D.P., Baig, M.J., Kar, M., Pradhan, S.K. (2016). Response of physiological and biochemical parameters in deeper rooting rice genotypes under irrigated and water stress conditions. *Oryza* 53(4), 422-427.
- Pedersen, O., Perata, P., Voesenek, L. A. C. L. (2017). Flooding and low oxygen responses in plants. *Functional Plant Biology* 44, iii-vi.
- Pham-Thi, A. T., Borrel-Flood, C., Vieira da Silva, J., Justin, A.M., Mazliak, P. (1987). Effects of drought on [1-14C]-oleic and [1-14C]-linoleic acid desaturation in cotton leaves. *Physiol. Plant.* 69, 147-150.
- Pinheiro, C. and Chaves, M.M. (2010). Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *J. Exp. Bot.* 62, No. 3, 869-882, 2011.
- Ramirez-Rodriguez, V., Lopez-Bucio, J., Herrera-Estrella, L. (2005). Adaptive responses in plants to nonoptimal soil pH. *Plant Abiotic Stress*, 145-170.
- Rasool, S., Ahmad, P., Latef, A.A.H.A. (2015). Chickpea: Role and responses under abiotic and biotic stress, 67-79.
- Reddy, D.S., Bhatnagar-Mathur, P., Vadez, V., Sharma, K.K. (2012). Grain legumes (soybean, chickpea, and peanut): omics approaches to enhance abiotic stress tolerance. In: Tuteja N, Gill SS, Tiburcio AF, Tuteja R (eds), *Improving Crop Resistance to Abiotic Stress*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 995-1032.
- Richards, R.A. (1978). Variation between and within species of rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*) in response to drought stress. III. Physiological and physicochemical characters. *Aust J Agric Res.* 29, 491-501.
- Sapeta, H., Costa, J.M., Lourenco, T., Maroco, J., Linde, P.V.D., Oliveira, M.M. (2013). Drought stress response in *Jatropha curcas*: growth and physiology. *Environ. Exp. Bot.* 85, 76-84.
- Serrano, R., Mulet, J.M., Rios, G., Marquez, J.A., de Larrinoa, I.F., Leube, M.P., Mendizabal, I., Pascual-Ahuir, A., Proft, M., Ros, R., Montesinos, C. (1999). A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *J. Exp. Bot.* 50, 1023-1036.
- Shia, S.H., Fana, M., Iwamab, K., Lic, F., Zhangd, Z., Jiaa, L. (2015). Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *Int. J. Plant Prod.* 9, 2.
- Silva, P.A., Cosme, V.S., Rodrigues, K.C.B., Detmann, K.S.C., Leao, F.M., Cunha, R.L., Buselli, R.A.F., Damatta, F.M., Pinheiro, H.A. (2017). Drought tolerance in two oil palm hybrids as related to adjustments in carbon metabolism and vegetative growth. *Acta. Physiol. Plant.* 39, 58.

- Singh, K.B. (1997). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research* 53, 161-170.
- Singh, K.B., Malhotra, R.S., Saxena, M.C., Bejiga, G. (1997). Superiority of winter sowing over traditional spring sowing of chickpea in the Mediterranean region. *Agronomy Journal* 89, 112-118.
- Tarczynski, M.C., Jensen, R.G., Bohnert, H.J. (1993). Stress protection of transgenic tobacco by production of the osmolyte mannitol. *Science* 259, 508-510.
- Toker, C., Lluch, C., Tejera, N. A., Serraj, R., Siddique, K. H. M. (2007a). Abiotic stress. In: S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen, and B. Sharma (eds), *Chickpea Breeding and Management*, 474- 496. CAB International, UK.
- Toosi, A.F., Bakar, B.B., Azizi, M. (2014). Effect of drought stress by using PEG 6000 on germination and early seedling growth of *Brassica juncea* Var. Ensabi. *Scientific Papers. Series A. Agronomy, Vol. LVII*, 360-363.
- Van den Berg, L. and Zeng, Y.J. (2006). Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000, *S. Afr. J. Bot.* 72, 284-286.
- Vierling, E. and Kimpel, J.A. (1992). Plant responses to environmental stress. *Curr. Opin. Biotech.* 3, 164-170.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M.R. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany* 61, 199-223.
- Wang, w., Vinocur, B., Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218, 1-14.
- Wery, J., Slim, S.N., Knights, E.J., Malhotra, R.S., Cousin, R. (1994). Screening techniques and sources of tolerance to extremes of moisture and air temperature in cool season food legumes. *Expanding the Production and Use of Cool Season Food Legumes*, 439-456.
- Wu, C., Wang, Q., Xie, B., Wang, Z., Cui, J., Hu, T. (2011). Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. *Afr J Biotechnol.* 10,17954-17961.
- Yordanov, I., Velikova, V., Tsonev, T. (2003). Plant Responses to drought and stress. *Bulg. J. Plant Physiol. (Special issue)*, 187-206.
- Yücel, D.O., Anlarsal, A.E., Mart, D., Yücel, C. (2010). Effects of Drought Stress on Early Growth of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes. *World Applied Sciences Journal* 11 (4), 478-485.
- Zaiter, H. Z. and Barakat, S.G. (1995). Flower and pod abortion in chickpea as affected by sowing date and cultivar. *Canadian Journal of Plant Science* 75, 321-327.
- Zeigler, R.S. and Puckridge, D.W. (1995). Improving sustainable productivity in rice based rainfed lowland systems of South and Southeast Asia. *Feeding four billion people: the challenge for rice research in the 21st century. GeoJournal.* 35, 307-324.

Zhu, J.K. (2001a). Plant salt tolerance. Trends Plant Sci. 6,66-71.

Zhu, J.K., Hasegawa, P.M., Bressan, R.A. (1997). Molecular aspects of osmotic stress in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 16, 253-277.

Ελληνική

Ηλιάδης, Κ. (1992α). Ρεβίθια. Υπουργείο Γεωργίας, Έκδοση Διεύθυνσης Γεωργικών Εφαρμογών, Αθήνα, σελ. 61.

Ηλιάδης, Κ. (2000). Το κτηνοτροφικό ρεβίθι: Η «σόγια» των ξηρικών χωραφιών. Αγροτική Έρευνα και Τεχνολογία. Τεύχος 1 (14), Ιούλιος-Σεπτέμβριος.

Καραμπουρνιώτης, Γ.Α., Λιακόπουλος, Γ., Νικολόπουλος, Δ. (2012). Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών. Οι λειτουργίες των φυτών κάτω από αντίξοες συνθήκες του περιβάλλοντος. Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ, Αθήνα.

Λέτσας, Α.Ν. (1957). Άσκησις της γεωργίας- Ανάπτυξις της γεωργίας εν Αιγύπτω, Βαβυλωνία, Χαλδαία, Παλαιστίνη, Αρχαία Ελλάδα και Αρχαία Ιταλία. Ανάτυπον εκ του ΙΙΙ τόμου της μυθολογίας της γεωργίας. Εκδοτικός Οίκος Μ. Τριανταφύλλου και Υιοί, Θεσσαλονίκη. σελ.12.

Παπακόστα-Τασοπούλου, Δ. (2012). Ειδική Γεωργία. Σιτηρά & Ψυχανθή. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.

Ηλεκτρονική

Black, M. and Pritchard, H.W. (2002). Desiccation and survival in plants. Drying without dying. CABI Publishing. Retrieved https://books.google.gr/books?id=8bMEVRRBWjsC&printsec=frontcover&hl=el&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (17/11/2020).

Garg, R., Shankar, R., Thakkar, B. et al. (2016) Transcriptome analyses reveal genotype- and developmental stage-specific molecular responses to drought and salinity stresses in chickpea. Sci. Rep. 6, 19228. <https://doi.org/10.1038/srep19228>

Vats, S. (2018). Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants. Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5>

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδας (ΕΣΥΕ). 1998. Website.