



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΛΛΗΛΟΠΑΘΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΡΙΘΑΡΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΡΓΥΡΩ ΠΑΡ. ΚΟΤΖΑΜΑΝΗ

Τεχνολόγος Γεωπόνος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΑΣΙΛΑΚΟΓΛΟΥ

Καθηγητής Ζιζανιολογίας

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ
ΑΛΛΗΛΟΠΑΘΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΡΙΘΑΡΙΟΥ**

Υποβλήθηκε στο τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων στα πλαίσια του
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Καινοτόμα Συστήματα
Αειφόρου Αγροτικής Παραγωγής"

(Master in Innovative Systems of Sustainable Agricultural Production)

Ειδίκευση :

Ορθολογική Διαχείριση Φυτικού Κεφαλαίου και Εδαφοϋδατικών Πόρων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΡΓΥΡΩ ΠΑΡ. ΚΟΤΖΑΜΑΝΗ

Τεχνολόγος Γεωπόνος

Εξεταστική Επιτροπή :

1. Δρ. Ιωάννης Βασιλάκογλου, καθηγητής
2. Δρ. Κίτσιος Δήμας, καθηγητής
3. Δρ. Στέφανος Στεφάνου, επίκουρος καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον καθηγητή του ΤΕΙ Θεσσαλίας, κ. Ιωάννη Βασιλάκογλου, με γνωστικό αντικείμενο Συστηματική Βοτανική-Ζιζανιολογία και επιβλέποντα της μελέτης αυτής, για τη δυνατότητα που μου χάρισε να ασχοληθώ με το παρόν θέμα συμβολή του στην πορεία του πειραματικού μέρους της μελέτης. Επιπλέον, να ευχαριστήσω τον κ. Ανάργυρο Μουλά, καθηγητή του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων, του Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας για την πολύτιμη βοήθειά του στις αναλύσεις των εκχυλισμάτων.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική τους συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τη κ. Κατερίνα Σπανού, τη κ. Χριστίνα Σπανού και την κ. Μαρία Σπανού για την έμπρακτη βοήθεια τους και την κατανόησή τους, ώστε να έχω τον απαραίτητο χρόνο για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας μου.

Αργυρώ Παρ. Κοτζαμάνη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΑ
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΚΡΙΘΑΡΙ ΚΑΙ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	8
1.1 Γενικά για το κριθάρι, είδη και χρήσεις	8
1.2 Αλατότητα	10
1.2.1 Γενικά για την αλατότητα	10
1.2.2 Ταξινόμηση της αλατότητας	11
1.2.3 Επιπτώσεις της αλατότητας στον τομέα της γεωργίας	13
1.2.4 Επιδράσεις αλατότητας στα φυτά	13
1.2.5 Αλατότητα και ανάπτυξη των καλλιεργειών	17
1.2.6 Αντιμετώπιση της εδαφικής αλατότητας	18
1.2.7 Αντοχή του κριθαριού στην εδαφική αλατότητα	21
1.2.8 Σχολιασμός	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΛΛΗΛΟΠΑΘΕΙΑ	25
2.1 Γενικά	25
2.2 Αλληλοπαθητικά καλλιεργούμενα φυτά	26
2.3 Παραγωγή και απελευθέρωση αλληλοπαθητικών ουσιών	29
2.4 Αλληλοπαθητικές ουσίες και χρήση ως ζιζανιοκτόνα	30
2.5 Ανταγωνισμός	32
2.6 Αξιοποίηση της αλληλοπάθειας στη γεωργία	33
2.7 Σκοπός της εργασίας	33
B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	35
3.1 Υλικά και μέθοδοι	35
3.2 Διαδικασία βιοδοκιμής	36
3.3 Στατιστική επεξεργασία	38
3.4 Αποτελέσματα και συζήτηση	40
3.5 Συμπεράσματα	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης της αλατότητας του εδάφους στο αλληλοπαθητικό δυναμικό του κριθαριού. Για το σκοπό αυτό καλλιεργήθηκαν 18 αλληλοπαθητικές ποικιλίες κριθαριού (Athenaida, Triptolemos, Galt Brea 'S', ICB 100126, Orgei/EH 165/Cross 270.2.3, Ιππόλυτος, Βυζάντιο, Prestige, Scarlet, Meteor, Matico 'S'/LB Iran A-164, Tomillo 'S'/DS4931 A-172, Europa, Robur/WA 2196-68, Robur/J-126/OWB, 80.5060/Gloria 'S' A-196, Franka/6/Mona/Nopal 'S' A-242 και 4259/CI5831/Estate A-69) ταυτόχρονα σε αλατούχο και μη αλατούχο έδαφος. Το αλληλοπαθητικό δυναμικό αυτών των ποικιλιών αξιολογήθηκε σε υπέργεια δείγματα που πάρθηκαν κατά την περίοδο της άνοιξης και για την αξιολόγηση της αλληλοπαθητικής ικανότητας χρησιμοποιήθηκε η βιοδοκιμή περλίτη με φυτό δείκτη το ζιζάνιο λεπτή ήρα (*Lolium rigidum*). Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της συγκέντρωσης των υδατικών εκχυλισμάτων των ποικιλιών κριθαριού στη βλάστηση και την ανάπτυξη της ρίζας του ζιζανιού. Επιπλέον, οι συντελεστές αναστολής της βλάστησης ή του μήκους ρίζας υπολογίστηκαν με τη χρήση του προγράμματος WESIA (Whole-range Evaluation of the Strength of Inhibition in Allelopathic-bioassay). Ο προσδιορισμός των δύο κυριότερων αλληλοπαθητικών ουσιών του κριθαριού (gramine και hordenine) έγινε με τη μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας. Τα αποτελέσματα των βιοδοκιμών έδειξαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των εκχυλισμάτων προκάλεσε την αύξηση της μείωσης της βλάστησης και του μήκους ρίζας της λεπτής ήρας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η συγκέντρωση των 5% προκάλεσε 100% αναστολή του φυτρώματος και του μήκους ρίζας. Τα εκχυλίσματα 14 ποικιλιών που αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος προκάλεσαν μικρότερη μείωση στη βλάστηση και το μήκος ρίζας του φυτού δείκτη από ό,τι τα αντίστοιχα εκχυλίσματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος. Αντίθετα, για τις υπόλοιπες 4 ποικιλίες, τα εκχυλίσματα από το αλατούχο και το μη αλατούχο έδαφος προκάλεσαν παρόμοια μείωση της βλάστησης και του μήκους ρίζας της λεπτής ήρας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι συγκεντρώσεις των αλληλοπαθητικών ουσιών gramine και hordenine ήταν μικρότερη στα εκχυλίσματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος από ό,τι τα αντίστοιχα εκχυλίσματα των φυτών που αναπτύχθηκαν στο μη αλατούχο έδαφος. Συμπερασματικά, η

αλατότητα του εδάφους επηρέασε αρνητικά την αλληλοπαθητική ικανότητα των περισσότερων ποικιλιών κριθαριού.

ABSTRACT

The present study aimed to investigate the effect of soil salinity on the barley allelopathic potential. For this purpose, 18 barley varieties (Athenaida, Triptolemos, Galt Brea 'S', ICB 100126, Orgei/EH 165/Cross 270.2.3, Ippolytos, Vyzantio, Prestige, Scarlet, Meteor, Matico 'S'/LB Iran A-164, Tomillo 'S'/DS4931 A-172, Europa, Robur/WA 2196-68, Robur/J-126/OWB, 80.5060/Gloria 'S' A-196, Franka/6/Mona/Nopal 'S' A-242 and 4259/CI5831/Estate A-69) were cultivated simultaneously in saline and non-saline soil. The allelopathic potential of these varieties was evaluated in aboveground samples taken during the spring period, using the Perlite-bioassay with the weed rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) as plant indicator. In particular, the effect of the concentration of water extracts of barley varieties on germination and the root growth was evaluated. In addition, germination or root length inhibition indices were calculated using the WESIA (Whole-Range Evaluation of the Strength of Inhibition in Allelo- pathic-Bioassay) program. The two main barley-allelopathic substances (gramine and hordenine) were determined by the liquid chromatography method. The results of the bioassays showed that the increase in the concentration of the extracts caused an increase in the germination and root length reduction. In most cases, the concentration of 5% caused 100% inhibition of germination and root length. The extracts of 14 varieties grown on saline soil caused lower reduction in the germination and root length of the indicator plant than the corresponding plant extracts grown on non-saline soil. In contrast, for the remaining 4 varieties, extracts from saline and non-saline soil caused similar reduction of the germination and root length of rigid ryegrass. In most cases, concentrations of gramine and hordenine were less in the extracts of plants grown on saline soil than the corresponding plant extracts grown on non-saline soil. In conclusion, soil salinity has adversely affected the allelopathic ability of most barley varieties.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο αλατότητα εννοούμε τη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στο νερό ή στο έδαφος. Η αλατότητα εκφράζεται σε ως συγκέντρωση αλάτων (mg/L) ή ως ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS/m). Η αλατότητα αποτελεί έναν από τους σπουδαιότερους αβιοτικούς παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργούμενων φυτών. Σχεδόν το 7% της συνολικής καλλιεργούμενης έκτασης πλανήτη επηρεάζεται από την αλατότητα. Η αλατότητα επηρεάζει πολλές μορφολογικές, φυσιολογικές και βιοχημικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της βλάστησης των σπόρων, της ανάπτυξης των φυτών και της πρόσληψης νερού και θρεπτικών συστατικών, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης και την υποβάθμιση της ποιότητας. Ωστόσο, τα φυτικά είδη διαφέρουν ως προς την ευαισθησία ή την αντοχή τους στην αλατότητα. Γενικά, η πρόοδος της καταπόνησης λόγω αλατότητας εκδηλώνεται σε τρία στάδια (Ghassemi κ.ά., 2015):

- πρώτον, υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων μειώνουν την οσμωτική δυναμικότητα του διαλύματος του εδάφους δημιουργώντας υδατική καταπόνηση στα φυτά,
- δεύτερον, τα άλατα αποτελούν τη βάση για σοβαρή τοξικότητα ιόντων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ιόν νατρίου δεν απομονώνεται εύκολα στα χυμοτόπια και
- τρίτον, η ανταλλαγή αλάτων στην ανόργανη διατροφή έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες και μικρές θρεπτικές ανισορροπίες και ελλείψεις.

Ως συνέπεια αυτής της διαδικασίας των τριών σταδίων, το φυτό οδηγείται στο θάνατο, ως αποτέλεσμα της σοβαρής επιβράδυνσης της ανάπτυξής του, αλλά και σοβαρής μοριακής βλάβης. Για να είναι επιτυχής μία καλλιέργεια, οι καλλιεργητές πρέπει να κατανοούν το πώς τα φυτά ανταποκρίνονται στην αλατότητα. Η επέκταση του προβλήματος της αλατότητας αύξησε την ανάγκη κατανόησης των επιπτώσεων της αλατότητας στις καλλιέργειες, ενώ η γενετική βελτίωση της αντοχής στην αλατότητα έχει καταστεί επιτακτική ανάγκη για το μέλλον της γεωργίας σε άγονες και ημι-άνυδρες περιοχές. Η σαφής κατανόηση της απόκρισης των φυτών στην αλατότητα και τους περίπλοκους μηχανισμούς της αντοχής στην καταπόνηση από άλατα θα απαιτηθεί για την αναπαραγωγή ποικιλιών καλλιεργειών ανθεκτικών στην αλατότητα. Η βλάστηση και η ανάπτυξη δενδρυλλίων υπό αλατούχο περιβάλλον είναι τα κριτήρια διαλογής που χρησιμοποιούνται ευρέως για την επιλογή του γονότυπου ανοχής σε άλατα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΡΙΘΑΡΙ ΚΑΙ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

1.1 Γενικά για το κριθάρι, είδη και χρήσεις

Το κριθάρι (*Hordeum vulgare* L.) ανήκει στην οικογένεια Poaceae και έχει αριθμό χρωμοσωμάτων $2n = 14$. Το κριθάρι είναι ένα εξαιρετικά προσαρμόσιμο σιτηρό και αποτελεί την τέταρτη πιο σημαντική καλλιέργεια δημητριακών στο κόσμο, μετά το ρύζι, το σιτάρι και τον αραβόσιτο. Περιλαμβάνεται στις παλαιότερες καλλιέργειες οικόσιτων σιτηρών που καλλιεργούνται για πάνω από 8000 χρόνια. Κόκκοι που βρέθηκαν σε κοιλάματα και πυραμίδες στην Αίγυπτο δείχνουν ότι καλλιεργήθηκαν εκτάσεις με κριθάρι εκεί πριν από το 3.000 π.Χ. Ο αρχαιότερος τύπος από εικονόγραμμα που βρέθηκε για το κριθάρι χρονολογείται περίπου το 3.000 π.Χ. Πολλές αναφορές στο κριθάρι και στην μύρα βρίσκονται στα πρώτα Αιγυπτιακά και Σουμεριακά γραπτά. Η προέλευση του κριθαριού δεν είναι ακόμη γνωστή. Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις μεταξύ των ερευνητών ως προς το εάν οι αρχικές άγριες μορφές ήταν ιθαγενείς στην Ανατολική Ασία, ιδιαίτερα στο Θιβέτ, ή στην Εγγύς Ανατολή ή της Ανατολικής Μεσογείου, ή και τα δύο. Ενδεχομένως σε μια καλλιέργεια που η καλλιέργειά της χάνεται στα βάθη του χρόνου αυτό δεν μπορεί ποτέ να λεχθεί με βεβαιότητα. Το κριθάρι ανακαλύφθηκε αρχικά ως άγριο χόρτο σε ολόκληρη την Ασία πριν από χιλιάδες χρόνια. Αργότερα καλλιεργήθηκε και καταναλώθηκε από τους Κινέζους. Οι Αιγύπτιοι και Έλληνες στην αρχαιότητα έτρωγαν κριθάρι για ιατρικούς σκοπούς, καθώς και για μια θρεπτική πηγή τροφής. Οι ιστορικοί αναφέρουν ότι μέχρι τον 16^ο αιώνα, ήταν το σημαντικότερο σιτηρό στην Ευρωπαϊκή Ήπειρο. Χρησιμοποιήθηκε επίσης ως νόμισμα και ως πρότυπο μέτρησης (Ghassemi κ.ά., 2015).



Εικόνα 1. Κριθάρι (πηγή: <http://krinitrikalon.gr/nea/metries-os-kales-paragoges-sto-krithari/>).

Το κριθάρι καλλιεργείται κυρίως για δύο σκοπούς: 1. την παραγωγή βύνης για τη ζυθοποιία και 2. για ζωτροφή. Διαιρείται σε δύο γενικούς τύπους: το δίστοιχο (2-σειρών) και το εξάστοιχο (6-σειρών). Η πιο προφανής διαφορά στο στάχυ είναι το ότι το δίστοιχο έχει δύο σειρές κόκκων στον άξονα, ενώ το εξάστοιχο έχει έξι σειρές κόκκων. Γενικά, το εξάστοιχο κριθάρι έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και ένζυμα από ό,τι το δίστοιχο. Υπάρχουν επιπλέον και διαφορές στην περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, αλλά και στη γεύση μεταξύ των δύο τύπων κριθαριού. Πάντως, η ζυθοποιία προτιμά το δίστοιχο κριθάρι, διότι η βύνη του παράγει προϊόν με πιο ισορροπημένη γεύση, ενώ το εξάστοιχο κριθάρι παράγει μια έντονη γεύση στο τελικό προϊόν, το οποίο είναι η μπύρα (Khrais, 2006).

Σε σύγκριση με τα άλλα δημητριακά, το κριθάρι έχει προσαρμοστεί σε μεγάλο εύρος κλιματικών συνθηκών που επεκτείνονται από τις υπο-αρκτικές έως τις υποτροπικές περιοχές. Ειδικότερα, το κριθάρι καλλιεργείται σε ευρεία κλίμακα στη Ρωσία, την Αυστραλία, τη Γερμανία, την Τουρκία και τη Βόρεια Αμερική. Οι σπουδαιότεροι εξαγωγείς κριθαριού είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Αυστραλία και ο Καναδάς. Η χρήση του ως ζωτροφή βασίζεται κυρίως στο γεγονός ότι έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες από ό,τι ο αραβόσιτος, γεγονός που μειώνει την ανάγκη για συμπλήρωμα πρωτεΐνης σε ένα σιτηρέσιο. Μάλιστα το κριθάρι, αν και καλλιεργείται σε μικρότερες εκτάσεις, ανταγωνίζεται τόσο το καλαμπόκι όσο και το σόργο ως ζωτροφή στις Ηνωμένες Πολιτείες, αλλά και σε άλλες χώρες. Σήμερα, η βιομηχανική χρήση του κριθαριού έχει αυξηθεί σε βάρος της χρήσης του ως ζωτροφής. Ειδικότερα, η τρέχουσα κατανομή του παραγόμενου προϊόντος είναι

περίπου 66% για τρόφιμα και για βιομηχανική χρήση, 22% για ζωοτροφές και υπολειμματικές χρήσεις και 12% ως εξαγωγίμο προϊόν (Lewis, 2006).

Σχετικά με το δίστοιχο (ζυθοποιήσιμο) κριθάρι, οι ζυθοποιία αξιολογεί τη βύνη με βάση την ολική πρωτεΐνη, το διαλυτό πρωτεϊνικό εκχύλισμα, τη λεπτή/χονδρόκοπη διαφορά και τα ένζυμα που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή μύρας. Η βύνη παράγεται με τη βύθιση του κριθαριού στο νερό μέχρι να βλαστήσει και στη συνέχεια να ψηθεί και να περάσει στο στάδιο της σύνθλιψης σε ένα μύλο. Η βύνη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες. Οποιοσδήποτε κόκκος δημητριακών (σίκαλη, σιτάρι, ρύζι, καλαμπόκι) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βύνης, αλλά το κριθάρι είναι μακράν η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη. Εντούτοις, για την παραγωγή βύνης για βυνοποιημένο γάλα σκόνη χρησιμοποιείται τόσο το κριθάρι όσο και το σιτάρι (Van Genuchten και Gupta, 2003).

Η μεγαλύτερη ποσότητα κριθαριού που παράγεται στην Ελλάδα, αλλά και άλλες χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Ως τροφή έχει σχεδόν ίση θρεπτική αξία με τον αραβόσιτο. Είναι ιδιαίτερα πολύτιμο ως τροφή χοίρου, δίνοντας επιθυμητές μερίδες σκληρού λίπους και άπαχου κρέατος. Ολόκληρος ο κόκκος χρησιμοποιείται στην τροφή, γενικά μετά από άλεση ή άλλη επεξεργασία. Επιπλέον, περίπου το 25% της παραγωγής κριθαριού χρησιμοποιείται για παρασκευή βύνης. Από το κριθάρι βύνης, περίπου 80% χρησιμοποιείται για την μύρα, περίπου 14% για τα προϊόντα αποσταγμένης αλκοόλης, και περίπου 6% για σιρόπι βύνης, βύνη γάλακτος και τροφές πρωινού. Επιπλέον, το αλεύρι κριθαριού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παιδικές τροφές και δημητριακά για πρωινό ή σε μείγμα με αλεύρι σίτου στο ψήσιμο (Bini κ.ά., 2000).

1.2 Αλατότητα

1.2.1 Γενικά για την αλατότητα

Η αλατότητα (salinity) είναι μία από τις σημαντικότερες απειλές για τη γεωργία παγκοσμίως και αποτελεί ένα σημαντικό, διαρκώς αυξανόμενο πρόβλημα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, 1 δισεκατομμύριο εκτάρια γης επηρεάζονται αρνητικά από την αλατότητα. Ειδικότερα, από τις αρδευόμενες καλλιεργήσιμες εκτάσεις, το 20% (ή τα 63 εκατομμύρια εκτάρια) έχουν επηρεαστεί από την αλατότητα (Ghassemi κ.ά., 2015).

Αυτός ο αριθμός αυξάνεται με 2.000 εκτάρια ημερησίως και η ζημιά των καλλιεργειών στις αρδευόμενες περιοχές εκτιμάται σε 27,3 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Στις Κάτω Χώρες αναμένεται ότι η αλατότητα των καλλιεργήσιμων εκτάσεων θα αυξηθεί μέχρι το 2020 σε 125.000 εκτάρια. Γενικά, οι καλλιέργειες αποδίδουν λιγότερο σε υψηλότερα επίπεδα αλατότητας και στη χειρότερη περίπτωση οι αγρότες πρέπει να εγκαταλείψουν τους αγρούς τους και να αναζητήσουν νέες εκτάσεις, γεγονός που αυξάνει την πίεση στα φυσικά οικοσυστήματα και στην βιοποικιλότητα (Devereil και Fujii, 2010).

Η αλατότητα αναμένεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο, σύμφωνα με τις τρέχουσες προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή. Έτσι, με έναν αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό και με κλιματικές συνθήκες και αλλαγές σε παγκόσμια κλίμακα, η αλατότητα είναι ένα ζήτημα που θα αυξηθεί και απαιτεί επείγοντως μια λύση. Οι Rozema και Flowers (2008), δημοσίευσαν ένα άρθρο που τονίζει τη σπουδαιότητα καλλιέργειας ποικιλιών ανθεκτικών στην αλατότητα, καθώς αυτό μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων της μη αντιστρέψιμης παγκόσμιας αλάτωσης των γλυκών υδάτων και των εδαφών (Lewis, 2006).

1.2.2 Ταξινόμηση της αλατότητας

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται μια γενική ταξινόμηση του φυσιολογικού νερού, με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, σε dS/m) και τη συγκέντρωση χλωρίου (που χρησιμοποιείται ειδικά ως πρότυπο αλατότητας στη διαχείριση των υδάτων στην Ολλανδία). Στον πίνακα αυτό, η EC μετατρέπεται σε ισοδύναμη συγκέντρωση χλωρίου με τον προσδιορισμένο συσχετισμό. Σύμφωνα με αυτό τον πίνακα, το νερό που περιέχει λιγότερο από 150 mg Cl/L ή EC χαμηλότερη από 0,7 dS/m θεωρείται μη αλατούχο ή γλυκό νερό. Η μέγιστη συγκέντρωση άλατος για το νερό, το οποίο είναι επίσης κατάλληλο για άρδευση, θεωρείται ότι είναι 2 dS/m ή 480 mg Cl/L. Σε διαφορετικές περιοχές, όπως στις Κάτω Χώρες, η γενική κατευθυντήρια γραμμή του 200-250 mg Cl/L χρησιμοποιείται ως το επιθυμητό ανώτερο όριο για τη μέγιστη συγκέντρωση άλατος επιφανειακών υδάτων (Bini κ.ά., 2000).



Εικόνα 2. Άλατα και νερό (πηγή: <http://agroboard.blogspot.gr/2013/09/>).

Πίνακας 1. Επίδραση της αλατότητας στις καλλιέργειες (πηγή: van Genuchten και Gupta, 2003).

Soil salinity class	EC (in dS/m)	Effects on crop plants
Non-saline	0-2	Salinity effects negligible
Slightly saline	2-4	Yields of sensitive crops may be restricted
Moderately saline	4-8	Yields of many crops are restricted
Strongly saline	8-16	Only tolerant crops yield satisfactorily
Very strongly saline	>16	Only a few very tolerant crops yield satisfactorily

Τα άλατα στο νερό άρδευσης μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών με διάφορους τρόπους. Όταν χρησιμοποιείται άρδευση με κατιονιστήρα, το νερό άρδευσης μπορεί να προκαλέσει κάψιμο των φύλλων ή επιπλέον πρόσληψη αλατιού από τα φύλλα. Στην περίπτωση της στάγδην άρδευσης, δεν υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ του νερού άρδευσης και των φύλλων και λαμβάνει χώρα μόνον η πρόσληψη αλάτων από ρίζες. Επιπλέον, είναι ευρέως γνωστό ότι τα άλατα μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τη δομή του εδάφους των αργιλωδών εδαφών. Η αντικατάσταση, ιδιαίτερα του ασβεστίου, με νάτριο μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της δομής του εδάφους και μείωση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος. Αυτές οι (έμμεσες) επιδράσεις της αλατότητας στην ανάπτυξη των καλλιεργειών σε αργιλώδη εδάφη, που επηρεάζονται από το άλας, πρέπει να εξεταστούν υπό πραγματικές συνθήκες. Η ταξινόμηση που χρησιμοποιείται συχνά ως γενική κατευθυντήρια γραμμή σε σχέση με την ανάπτυξη των καλλιεργειών παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Σύμφωνα

με αυτόν, οι αποδόσεις πολλών καλλιεργειών είναι πιθανό να περιοριστούν κάτω από συνθήκες ακόμη και 'μέτριας' αλατότητας (van Genuchten και Gupta, 2003).

1.2.3 Επιπτώσεις της αλατότητας στον τομέα της γεωργίας

Η γεωργία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη οικονομία κάθε χώρας. Πρόκειται για ένα βασικό οικονομικό μέγεθος, αλλά και σημαντικός παράγοντας μιας υγιούς βιοσφαιρας. Ωστόσο, η γεωργική παραγωγικότητα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την αλατότητα. Η αλατότητα αποτελεί απειλή για τη γεωργία, σε ορισμένα μέρη του κόσμου, για πάνω από 3.000 χρόνια. Μάλιστα, τα τελευταία έτη, η απειλή αυτή έχει αυξηθεί. Η αλατότητα είναι ένα πρόβλημα σε πολλές αρδευόμενες, άγονες και ημίξηρες περιοχές, όπου η βροχόπτωση είναι ανεπαρκής για να αποπλύνει τα άλατα από το ριζόστρωμα. Η αλάτωση των γεωργικών εκτάσεων έχει σοβαρές συνέπειες, διότι ένα μεγάλο μέρος της γης πρέπει τελικά να αποσυρθεί από την καλλιέργεια και αυτό έχει τεράστια επίπτωση στη γεωργία. Ως αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού, υπάρχει ανταγωνισμός ως προς την παροχή νερού μεταξύ των βιομηχανιών, των πόλεων και των αγροτικών περιοχών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας γλυκού νερού που χορηγείται για γεωργική χρήση (άρδευση καλλιεργειών). Αυτό το πρόβλημα αναμένεται να συνεχιστεί και να ενταθεί σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές, καθώς και λιγότερο αναπτυγμένες χώρες που έχουν ήδη υψηλά ποσοστά αύξησης του πληθυσμού. Για το λόγο αυτό, οι καλλιεργητές αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν νερό ορισμένης περιεκτικότητας σε αλάτι, όπως το νερό αποστράγγισης και τα επεξεργασμένα λύματα.

1.2.4 Επιδράσεις αλατότητας στα φυτά

Τα φυτά διακρίνονται σε αλόφυτα και μη-αλόφυτα (γλυκόφυτα) ανάλογα με την αντοχή στην αλατότητα. Τα αλόφυτα αναπτύσσονται σε εδάφη υψηλής συγκέντρωσης σε αλάτι, ενώ τα γλυκόφυτα, όπως τα φασόλια, το ρύζι και το καλαμπόκι, μπορεί να ανεχτούν μικρή συγκέντρωση αλάτων και μπορεί να υποστούν ανεπανόρθωτη ζημία σε συγκέντρωση του NaCl μικρότερη από 50 mM. Γενικά, τα φυτά επηρεάζονται από την αλατότητα με διαφορετικούς τρόπους, όπως:

- οσμωτική επίδραση των αλάτων και έλλειψη νερού,
- τοξική επίδραση των αλάτων και

- ανισορροπία όντων



Εικόνα3. Επίδραση της αλατότητας στα φυτά(πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Verticillium_wilt_dahliae.jpg).

Η οσμωτική πίεση οφείλεται σε παρουσία ιόντων κυρίως Na^+ και Cl^- στο έδαφος, η οποία περιορίζει τη διαθεσιμότητα του νερού προς το φυτό. Από την άλλη πλευρά, η περίσσεια συσσώρευσης αυτών των ιόντων στα φύλλα οδηγεί σε τοξικότητα ιόντων. Μία περίσσεια μερικών αλάτων μπορεί να προκαλέσει μια ανισορροπία στην ιδανική αναλογία των αλάτων στο διάλυμα και να μειώσει την ικανότητα των φυτών να προσλαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά. Για παράδειγμα, σχετικά υψηλά επίπεδα ασβεστίου μπορεί να αναστέλλουν την πρόσληψη του σιδήρου και υψηλό νάτριο μπορεί να αποκλείσει την πρόσληψη καλίου. Το αποτέλεσμα οδηγεί τα φυτά στο θάνατο, λόγω της μεγάλης μείωσης του ρυθμού ανάπτυξης και της μοριακής βλάβης σε επίπεδο κυττάρου.

Σύμφωνα με τον Acquaah (2002), οι σπόροι των καλλιεργούμενων ειδών είναι μια από τις πιο σημαντικές εισροές στη φυτική παραγωγή. Επιπλέον, το στάδιο βλάστησης των σπόρων είναι ένα από τα πιο κρίσιμα στάδια της ζωής των φυτών και η πιο ευάλωτη σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Ειδικότερα, η αλατότητα είναι από τις πιο σημαντικές περιβαλλοντικές καταπονήσεις που επηρεάζουν τη βλάστηση των σπόρων. Η αλατότητα επηρεάζει τη βλάστηση, διότι η μεγάλη συγκέντρωση νατρίου αυξάνει το οσμωτικό δυναμικό στο έδαφος και επιβραδύνει ή εμποδίζει την

απορρόφηση του νερού που είναι απαραίτητο για την κινητοποίηση των θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για τη βλάστηση. Επιπλέον, τα συστατικά του άλατος καθίστανται τοξικά για το έμβρυο. Άλλες έρευνες έδειξαν ότι η αύξηση της αλατότητας, όχι μόνο μειώνει τη βλάστηση, αλλά και καθυστερεί την έναρξη της βλάστησης. Με αυξανόμενη συγκέντρωση NaCl καθυστερεί η βλάστηση ποικιλιών μαλακού σιταριού. Επιπλέον, η αύξηση της συγκέντρωσης άλατος οδηγεί σε καθυστερημένη βλάστηση των σπόρων ποικιλιών τομάτας, ιδιαίτερα στην υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων.

Η ανάπτυξη των φυτών ελέγχεται με μηχανισμούς όπως τα γονίδια, οι ορμόνες, το περιβάλλον και οι κυτταρικές αλλαγές. Τα στάδια ανάπτυξης περιλαμβάνουν την εμβρυογένεση, καθώς και τη βλαστική και αναπαραγωγική ανάπτυξη. Η αλατότητα επηρεάζει τόσο τη βλαστική όσο και την αναπαραγωγική ανάπτυξη και συχνά μειώνει την ανάπτυξη βλαστών, ιδιαίτερα τη φυλλική επιφάνεια, περισσότερο από την ανάπτυξη των ριζών.

Η αλατότητα επηρεάζει το υδατικό δυναμικό (οσμωτικό δυναμικό και δυναμικό πίεσης) των φύλλων των φυτών. Σχετικά με την τομάτα, τον αρακά και το βαμβάκι, καθώς αυξάνεται η αλατότητα, το υδατικό δυναμικό των φύλλων και το οσμωτικό δυναμικό μειώνεται, ενώ αυξάνεται το δυναμικό πίεσης. Η σχετική περιεκτικότητα σε νερό, η πρόσληψη νερού, ο ρυθμός διαπνοής, η κατακράτηση νερού και η αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού μειώνονται κάτω από βραχυπρόθεσμη καταπόνηση NaCl. Επιπλέον, η αγωγιμότητα των στοματίων μειώνεται με την αύξηση της αλατότητας, με αποτέλεσμα η αυξανόμενη συγκέντρωση άλατος να οδηγεί μειωμένο ρυθμός διαπνοής σε αλόφυτα του γένους *Suaeda salsa*.

Η αλατότητα επηρεάζει σε μεγάλο αριθμό τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Ωστόσο, η αλατότητα επηρεάζει και τη δομή του εδάφους (Agassi κ.ά., 1981). Ειδικότερα, η αλατότητα μπορεί να επηρεάσει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους δημιουργώντας λεπτά τεμαχίδια τα οποία συνενώνονται με τα κολλοειδή και σχηματίζουν συσσωματώματα (κροκίδωση). Εντούτοις, αυτή η διαδικασία είναι επωφελής από την άποψη του αερισμού του εδάφους, τη διείσδυση της ρίζας και την ανάπτυξη των ριζών. Ωστόσο, η υψηλή συγκέντρωση ιόντων νατρίου καταστρέφει τη δομή των κολλοειδών της αργίλου και μειώνει την ικανότητα του εδάφους για συγκράτηση υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων.

Ένας επιπλέον παράγοντας αύξησης της αλατότητας του εδάφους είναι το νερό άρδευσης, το οποίο περιέχει διαλυμένα ανόργανα άλατα και ιχνοστοιχεία. Ωστόσο, η

συγκέντρωση και η σύνθεση των διαλυμένων αλάτων ποικίλλουν ανάλογα με την πηγή του νερού άρδευσης. Τα πιο συνηθισμένα άλατα που συνήθως ανευρίσκονται στα νερά άρδευσης είναι τα:

- NaCl
- CaSO₄
- Mg και
- NaHCO₃

Το νερό με υψηλή αλατότητα είναι τοξικό για τα φυτά και ενέχει κίνδυνο αλατότητας. Οι επιπτώσεις της αλατότητας του νερού άρδευσης περιλαμβάνουν γεωργικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές. Σχετικά με τη γεωργία, οι επιπτώσεις λόγω της αλατότητας του νερού άρδευσης περιλαμβάνουν μειωμένη γεωργική παραγωγή, μειωμένο εισόδημα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και μειωμένη παραγωγικότητα της γεωργικής γης. Από την άλλη πλευρά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αλατότητα περιλαμβάνουν αυξημένη και αιολική διάβρωση του εδάφους και μείωση της φυσικής βλάστησης και απώλεια των ενδαιτημάτων, ενώ οι κοινωνικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν μειωμένη αισθητική αξία του τοπίου.



Εικόνα 4. Περιεκτικότητα του νερού (πηγή: http://49lyk-athin.att.sch.gr/SYSTASH_NEROY.htm).

1.2.5 Αλατότητα και ανάπτυξη των καλλιεργειών

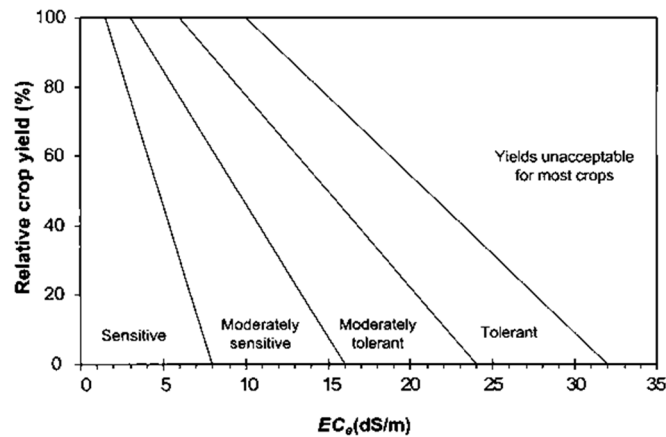
Τα αυξημένα επίπεδα αλατότητας στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζουν τα φυτά με διάφορους τρόπους:

- Πρώτον, μειώνουν το ωσμωτικό δυναμικό του εδάφους. Αυτό καθιστά την πρόσληψη νερού από τα φυτά πιο δύσκολη, διότι το ωσμωτικό δυναμικό των ριζών είναι μεγαλύτερο από το ωσμωτικό δυναμικό του εδάφους (το νερό θα μετακινηθεί στο σημείο με το χαμηλότερο ωσμωτικό δυναμικό).
- Δεύτερον, τα μόρια NaCl που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα μπορούν να προκαλέσουν φυσιολογικές ζημιές. Ειδικότερα, τα ιόντα Na⁺ μπορεί γρήγορα να φθάσουν σε τοξικά επίπεδα στους ιστούς των φυτών. Τέλος, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων Na⁺ στα κολλοειδή του εδάφους, δημιουργείται αυξημένος ανταγωνισμός με το κάλιο (K⁺), ο οποίος οδηγεί σε δυσκολία απορρόφησης επαρκούς K⁺.

Γενικά, τα φυτά διαφέρουν ως προς την ευαισθησία τους στην αλατότητα. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στην ανοχή των αλάτων μεταξύ ειδών. Υπάρχουν εξαιρετικά ευαίσθητα είδη, όπως ορισμένες ποικιλίες ρεβιθιού (*Cicer arietinum*) που νεκρώνονται σε 25 mM NaCl. Υπάρχουν όμως και πολλά είδη που επιβιώνουν και αναπαράγονται σε αλατότητα θαλασσινού νερού (~ 500 mM NaCl) ή ακόμα και υψηλότερη. Επιπλέον, παρατηρούνται και μεγάλες διαφορές αντοχής στην αλατότητα ανάμεσα στις ποικιλίες μέσα σε ένα είδος (Khrais, 1996).

Συνηθέστερα, η ανεκτικότητα σε άλατα ενός είδους περιγράφεται από το μοντέλο Maas-Hoffman. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η ανοχή μιας καλλιέργειας στην αλατότητα μπορεί να περιγραφεί με μία γραφική παράσταση που συσχετίζει την απόδοσή του σε συνεχώς αυξανόμενη έκθεση στην αλατότητα του εδάφους. Για τις περισσότερες καλλιέργειες, αυτή η συσχέτιση ακολουθεί μια σιγμοειδή καμπύλη. Οι Maas και Hoffman διαχώρισαν την καμπύλη αυτή σε δύο τμήματα: το τμήμα με μηδενική κλίση και το τμήμα με κλίση, η οποία εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αλάτων και υποδεικνύει τη μείωση της απόδοσης ανά μονάδα αύξησης της αλατότητας. Το σημείο στο οποίο τέμνονται τα δύο τμήματα οριοθετεί τη μέγιστη αλατότητα του εδάφους, η οποία δεν προκαλεί μείωση της απόδοσης. Πέρα από αυτό το σημείο, η απόδοση μειώνεται ανάλογα με τη συγκέντρωση των αλάτων. Αυτή η καμπύλη παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης των εμπορικών ποικιλιών, σχετικά με τις αποδεκτές αποδόσεις που μπορούν να επιτύχουν συσχετιζόμενες με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του κορεσμένου εδάφους. Η γνώση του σημείου αντοχής (κατώφλι) και η κλίση της καμπύλης χρησιμοποιούνται για την παροχή κατευθυντήριων γραμμών σχετικά με την ανεκτικότητα σε άλατα και για τις αποφάσεις διαχείρισης της καλλιέργειας. Με βάση το κατώφλι και την κλίση, οι καλλιέργειες μπορούν να χαρακτηριστούν (Khrais, 2006):

- ευαίσθητες,
- μέτρια ευαίσθητες,
- μέτρια ανεκτικές και
- ανεκτικές καλλιέργειες.



Εικόνα 5. Απεικόνιση της σχέσης μεταξύ παραγωγικότητας και αλατότητας εδάφους (πηγή: <http://www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e0e.htm>).

1.2.6 Αντιμετώπιση της εδαφικής αλατότητας

Η αλατότητα του εδάφους αποτελεί σοβαρό πρόβλημα περιβαλλοντικής διαχείρισης και διαχείρισης των πόρων για την καλλιέργεια. Τα αλατούχα εδάφη έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανάπτυξης και της απόδοσης, αλλά και την απώλεια παραγωγικών καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Οι αγρότες έχουν τη δυνατότητα διαχείρισης της αλατότητας του εδάφους με την ενσωμάτωση προγραμμάτων βελτίωσης της αποστράγγισης των αγρών ή την εφαρμογή αμειψισποράς με την ενσωμάτωση καλλιεργειών ανθεκτικών στην αλατότητα. Ωστόσο, υπάρχει περιορισμένη έρευνα σχετικά με την οικονομικότητα και τις τεχνικές διαχείρισης της αλατότητας. Η ανάλυση αυτή πρέπει να υπολογίζει το επενδυτικό κόστος της αποστράγγισης των αγρών και το ενσωματώνει σε ένα επιχειρησιακό πλαίσιο προϋπολογισμού κερδοφορίας στις αγροτικές επιχειρήσεις. Η ανάλυση πρέπει να επεκτείνεται περαιτέρω και να αξιολογεί το οικονομικό κόστος της αλατότητας του εδάφους, λόγω της απώλειας φυτικής παραγωγής. Αναφέρθηκε ήδη ότι η αλατότητα του εδάφους οδηγεί σε μικρότερη ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Τα άλατα στο

περιβάλλον της ρίζας παρεμβαίνουν στην πρόσληψη των θρεπτικών ουσιών από το φυτό. Έχουν αναφερθεί μειώσεις αποδόσεων μέχρι και 50% σε εδάφη με μέτρια έως υψηλή συγκέντρωση αλάτων. Ακόμη, στις πιο σοβαρές περιπτώσεις, η καλλιέργεια δεν είναι πλέον εφικτή. Ωστόσο, αυτές οι απώλειες της απόδοσης μπορούν να μειωθούν με σωστή διαχείριση του αλατούχου εδάφους, αλλά και τη χρήση νερού άρδευσης, απαλλαγμένου από υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Οι καλλιεργητές οφείλουν να διαχειρίζονται την πιθανή ροή αλατούχου νερού στο ριζόστρωμα των φυτών, διότι αυτό περιορίζει την ανάπτυξη της καλλιέργειας και μειώνει την απόδοση. Γενικά οι καλλιεργητές έχουν δύο επιλογές:

- την επένδυση σε δίκτυο αποστράγγισης των αγρών,
- την επιλογή καλλιεργειών με ανθεκτικότητα στην αλατότητα.

Η απλούστερη λύση για τη διαχείριση του αλατούχου εδάφους είναι η εγκατάσταση δικτύου αποστράγγισης των αγρών. Η αποστράγγιση των αγρών επιτρέπει τη μεταφορά των αλάτων μακριά από το ριζόστρωμα, μέσω κεραμικών γραμμών και φυσικών οδών και καναλιών αποστράγγισης. Η απομάκρυνση των αλάτων οδηγεί συστηματικά σε υψηλότερες αποδόσεις. Μάλιστα, έχουν καταγραφεί αυξήσεις των αποδόσεων του σιταριού, της σόγιας και των ζαχαροτεύτλων. Η αύξηση της απόδοσης αποδίδεται στην πρωιμότερη σπορά, στην καλύτερη αξιοποίηση του νερού για την αύξηση των φυτών, καθώς και στη μείωση της καταπόνησης των φυτών. Προσέτι, στα οφέλη του κόστους περιλαμβάνονται και η μειωμένη φθορά του εξοπλισμού, λόγω περιορισμένης λειτουργίας σε υγρές συνθήκες, ενώ οι σταθερές αποδόσεις επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη χρήση των εισροών. Ωστόσο, η εγκατάσταση κεραμικού δικτύου αποστράγγισης απαιτεί μεγάλη αρχική επένδυση κεφαλαίου, η οποία εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, το βάθος και το μήκος του δικτύου.

Εάν η εγκατάσταση δικτύου αποστράγγισης δεν είναι οικονομικά εφικτή, η εναλλαγή καλλιεργειών μπορεί να αποτελέσει λύση για το πρόβλημα παρουσίας των αλάτων. Το κριθάρι είναι μια από τις ανθεκτικές καλλιέργειες στην παρουσία αλάτων. Η απόδοσή του επηρεάζεται ελάχιστα όταν καλλιεργείται σε εδάφη έως και μέτριας αλατότητας. Αντίθετα, ο αραβόσιτος είναι μια σχετικά ευαίσθητη στα άλατα καλλιέργεια, με απώλειες της απόδοσης που φθάνουν έως και 50% σε εδάφη μέτρια έως πολύ αλατούχα. Επομένως, μια αποτελεσματική επιλογή διαχείρισης των αλατούχων εδαφών θα ήταν η σπορά κριθαριού στη θέση του αραβόσιτου. Εντούτοις, τα τελευταία 10 χρόνια, η έκταση στην οποία καλλιεργείται ο αραβόσιτος αυξήθηκε

κατά 73,1%. Πάντως, η αντικατάσταση ευαίσθητων καλλιεργειών με καλλιέργειες περισσότερο ανθεκτικές στην αλατότητα είναι αυξανόμενης σημασίας για τη σωστή διαχείριση των προβληματικών εδαφών.

Εκτός από τις παραπάνω δύο επιλογές, οι καλλιεργητές επιλέγουν ορισμένες φορές το να μην εφαρμόζουν καμία πρακτική αντιμετώπισης της αλατότητας. Σε αυτή την περίπτωση όμως παρατηρούνται σημαντικές μειώσεις στις αποδόσεις των καλλιεργούμενων φυτών. Για το λόγο αυτό, η αντιμετώπιση αυτή δεν μπορεί να αποτελέσει μια μακροπρόθεσμη εφικτή επιλογή, δεδομένου ότι η αδυναμία διαχείρισης του αλατούχου εδάφους θα έχει ως αποτέλεσμα απώλεια της καλλιεργήσιμης γης. Η έκπλυση των αλάτων και η χρήση των καλλιεργειών με αντοχή στην αλατότητα πρέπει να είναι οι στρατηγικές διαχείρισης του προβλήματος. Επιπλέον, η τροποποίηση του περιβάλλοντος ανάλογα με το φυτό και η τροποποίηση του φυτού ανάλογα με το περιβάλλον είναι οι δύο κύριες προσεγγίσεις για τη βελτίωση και τη διατήρηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών.

Πολλά αλατούχα εδάφη οφείλονται στην άρδευση με νερό που περιέχει μέτρια έως υψηλά επίπεδα αλάτων. Δύο διαδικασίες που προκαλούν τη συσσώρευση των αλάτων στο ριζόστρωμα είναι:

- η προς τα άνω κίνηση (τριχοειδής) του αλατούχου νερού, και
- τα άλατα που αφήνονται στο έδαφος, ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς έκπλυσης.

Για τον έλεγχο της πρώτης, πρέπει να εγκαθίστανται αποστραγγιστικά δίκτυα, ενώ για το δεύτερο, το έδαφος πρέπει να αποπλένεται επαρκώς. Η απόπλυση είναι το βασικό εργαλείο διαχείρισης για τον έλεγχο της αλατότητας. Είναι η διαδικασία της εφαρμογής περισσότερου νερού στον αγρό από ό,τι μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος στο ριζικό σύστημα των καλλιεργειών, σε τέτοιο βαθμό, ώστε η περίσσεια νερού να αποστραγγίζεται κάτω από το ριζικό σύστημα, μεταφέροντας τα άλατα με αυτό τον τρόπο. Αν και η έκπλυση θα ελαχιστοποιήσει τη συσσώρευση των αλάτων, δε θα διορθώσει εξ' ολοκλήρου το πρόβλημα, έως ότου μια εναλλακτική πηγή άρδευσης να εξασφαλίσει την ανάμιξη του προβληματικού νερού με νερό καλής ποιότητας (απαλλαγμένο από άλατα).

Η αντιμετώπιση της εδαφικής αλατότητας μπορεί να επιτευχθεί και με τη βελτίωση των καλλιεργούμενων ποικιλιών. Γενικά, οι επιπτώσεις της αλατότητας στην παραγωγικότητα μπορεί να μειωθούν, μέσω της ταυτοποίησης των φυτικών γονότυπων με αντοχή στην αλατότητα και την ενσωμάτωση των επιθυμητών χαρακτηριστικών στις εμπορικές ποικιλίες των καλλιεργούμενων φυτών. Στις περιπτώσεις που το νερό

άρδευσης καλής ποιότητας και η επαρκής αποστράγγιση δεν είναι διαθέσιμα, η μόνη επιλογή, αντί της εγκατάλειψης του αγρού, μπορεί να είναι η δημιουργία ανθεκτικών στα άλατα καλλιεργούμενων ποικιλιών. Ωστόσο, η αντοχή σε συνθήκες αγρού επηρεάζεται και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, την περιεκτικότητα σε υγρασία, καθώς και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως είναι η θερμοκρασία.

1.2.7 Αντοχή του κριθαριού στην εδαφική αλατότητα

Οι αβιοτικές καταπονήσεις περιλαμβάνουν τη μειωμένη διαθεσιμότητα νερού, τις ακραίες θερμοκρασίες (καύσωνας ή παγετός), την αλατότητα, την ανεπάρκεια των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, την αυξημένη ιοντική τοξικότητα και την αυξημένη ένταση του φωτός (Cramer κ.ά., 2011). Η έκθεση των φυτών σε αβιοτικές καταπονήσεις προκαλεί οξειδωτική βλάβη στα κύτταρα, μέσω της συσσώρευσης ενεργών μορφών (ROS) οξυγόνου, υδροξυλίου, ιόντων υπεροξειδίου, υπεροξειδίων υδρογόνου, τα οποία παράγονται από ζωντανά κύτταρα ως υποπροϊόντα κυτταρικού μεταβολισμού (Gechev κ.ά., 2006). Την ίδια άποψη για την υπερβολική παραγωγή ROS στα φυτικά κύτταρα έχουν και οι Gill και Tuteja (2010), οι οποίοι αναφέρουν ότι οι ROS είναι δυνητικά επιβλαβής για τα νουκλεϊνικά οξέα, τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε κυτταρικό τραυματισμό και θάνατο. Σε ολόκληρο το επίπεδο των φυτών, το αβιοτικό στρες προκαλεί μια σειρά δυσμενών μορφολογικών, φυσιολογικών, βιοχημικών και μοριακών μεταβολών που βλάπτουν τη φωτοσύνθεση, τη διαπνοή και άλλες βιοχημικές διεργασίες που σχετίζονται με την ανάπτυξη, την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών (Anjum κ.ά., 2011). Γι' αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αποσαφήνιση της μοριακής βάσης της ανεκτικότητας σε φυτικές αβιοτικές καταπονήσεις (Rejeb κ.ά., 2014).

Διάφορα γονίδια επαγόμενα από την καταπόνηση έχουν χαρακτηριστεί στο *Arabidopsis thaliana* και σε σημαντικές καλλιέργειες. Η ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων επαγόμενων από την αβιοτική καταπόνηση έχει μελετηθεί καλά και έχει διευκρινιστεί ο ρόλος τους στην απόκριση αβιοτικής καταπόνησης. Αυτά τα γονίδια περιλαμβάνουν παράγοντες μεταγραφής, όπως τα DREB, MYB και bZIP (Agarwal και Jha, 2010). Επιπρόσθετα, έχουν αναφερθεί γονίδια με προστατευτικούς ρόλους που στοχεύουν σε κυτταρικές πρωτεΐνες και μεμβράνες. Αυτές περιλαμβάνουν τις πρωτεΐνες θερμικού σοκ (Hsps) και τις chaperones, τις άφθονες πρωτεΐνες αργής

εμβρυογενέσεως (LEA), τα οσμο-προστατευτικά και τους κατασκοπευτές των ελεύθερων ριζών (Gill και Tuteja, 2010). Οι πρωτεΐνες LEA-DII οι οποίες συμβατικά αναφέρονται ως δευδρίνες είναι καλά μελετημένα γονίδια επαγόμενα από καταπόνηση (Munoz-Mayor κ.ά., 2012). Εμφανίζονται σε αποξηραμένους σπόρους και σε βλαστικούς ιστούς σε απόκριση αλατότητας, αφυδάτωσης, χαμηλής θερμοκρασίας και εφαρμογής του αποκοπτικού οξέος (ABA) (Rorat, 2006).

Μία άλλη έρευνα σχετική με γονίδια έχει δείξει ότι η συσσώρευση νατρίου (Na^+) στο κυτταρόπλασμα θα έχει ως αποτέλεσμα την ανισορροπία της ομοιοστασίας των ιόντων και την τοξικότητα της εμφάνισης των φύλλων. Μελέτες ανοχής αλατότητας στον πρόδρομο διπλοειδούς σίτου (*Triticum monococcum*) έδειξαν ότι το γονίδιο HKT1-5 ήταν ένα σημαντικό γονίδιο για την αντοχή στην αλατότητα, το οποίο ονομάστηκε *Nax2*. Επιπλέον, η ανάλυση περιεχομένου νατρίου (Na^+) και καλίου (K^+) αποκάλυψε ότι ανθεκτικές γραμμές συσσωρεύουν περισσότερο νάτριο σε ρίζες και κολεούς φύλλων, από ό,τι στις ευαίσθητες. Αντίθετα, υπό καταπόνηση άλατος, η συγκέντρωση νατρίου μειώθηκε στα ελάσματα των φύλλων των ανεκτικών γενότυπων, ενώ απουσία NaCl , η συγκέντρωση Na^+ και K^+ ήταν η ίδια στις ρίζες και τα φύλλα μεταξύ των ανεκτικών και των ευαίσθητων γενότυπων. Τα δεδομένα αυτά υποστηρίζουν την υπόθεση ότι το γονίδιο HKT1-5 είναι υπεύθυνο για την εκφόρτωση Na^+ προς τα αγγεία και τον έλεγχο της κατανομής του στα κύτταρα του βλαστού (Khaled κ.ά., 2018). Γενικά, η συσσώρευση νατρίου στο κυτταρόπλασμα των φυτών είναι τοξική, λόγω της ανισορροπίας των ιόντων στα φύλλα που διαπερνούν. Υπάρχουν δύο κύριοι μηχανισμοί καταπόνησης αλατότητας: ταχεία και πρώιμη οσμωτική καταπόνηση, η οποία μειώνει την ανάπτυξη των βλαστών και μια βραδύτερη συσσώρευση ιοντικής καταπόνησης που επιταχύνει τη γήρανση των παλαιότερων φύλλων (Sahi κ.ά., 2006; Munns και Tester, 2008).

Γονότυποι κριθαριού με ανθεκτικότητα στην αλατότητα έδειξαν τη μικρότερη επίδραση στη φωτοσύνθεση και τη μεγαλύτερη συσσώρευση καλίου. Αντίθετα, οι ευαίσθητοι γονότυποι επηρεάστηκαν παρουσίασαν μειωμένη φωτοσύνθεση και μικρότερη ικανότητα συσσώρευσης καλίου στους ιστούς (Mahlooji κ.ά., 2018). Αυξημένη φωτοσύνθεση, η αυξημένη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού, η διατήρηση του καλίου στα φύλλα και η οξειδωτική άμυνα παραμένουν οι βασικοί μηχανισμοί ανοχής στην αλατότητα. Ποικιλίες με ανθεκτικότητα στην αλατότητα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση προβληματικών εδαφών (Dorsaf Allel κ.ά., 2018). Σύμφωνα με τους Senguttuvel κ.ά. (2014), η αλατότητα μπορεί να

περιορίσει τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα με τον περιορισμό της παροχής CO₂ που προκύπτει από το μερικό κλείσιμο των στοματίων ή με τη μεταβολή του βιοχημικού μηχανισμού δέσμευσης CO₂ ή και από τις δύο διαδικασίες ταυτόχρονα.

Σε έρευνα σχετική με τις πρωτεΐνες που πιθανώς συμμετέχουν στην αντοχή στην αλατότητα, βρέθηκε ότι η ανθεκτική ποικιλία κριθαριού περιείχε αυξημένη αφθονία μιας πρωτεΐνης που εμπλέκεται, είτε στη δέσμευση στερόλης (μια πρωτεΐνη ενεργοποίησης της GTPase για τον παράγοντα ριβοζυλίωσης της αδενοσίνης διφωσφορικού [ZIGA2] και μια μεμβρανική πρωτεΐνη δέσμευσης στεροειδών [MSBP]) ή στη σύνθεση φωσφολιπιδίων (PEAMT) (Witzel κ.ά., 2018). Ειδικότερα, η υπερέκφραση της MSBP στο κριθάρι παρείχε αντοχή στη αλατότητας, μέσω μίας προσαρμογής της αρχιτεκτονικής της ρίζας, η οποία βοήθησε στην απόκριση στην αλατότητα. Σύμφωνα με τους Nguyen κ.ά. (2001), η ανοχή στην αλατότητα των ποικιλιών κριθαριού εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης. Ειδικότερα, οι ανθεκτικές ποικιλίες είναι περισσότερο ανθεκτικές στα νεαρά στάδια, σε σύγκριση με τις ευαίσθητες ποικιλίες, ενώ σε μεταγενέστερα αναπτυξιακά στάδια, αυτό το φαινόμενο αντιστρέφεται. Οι ρίζες των ανθεκτικών φυτών, όταν εκτίθενται κατευθείαν στα άλατα, ρυθμίζουν την πρόσληψη των ιόντων, των θρεπτικών στοιχείων και του νερού, καθώς και τη μεταφορά αυτών μέσα στο φυτό (Cuin κ.ά., 2008). Η μεταφορά των στοιχείων αυτών διευκολύνεται από μεμβρανικές πρωτεΐνες (Chen κ.ά., 2007), οι οποίες λειτουργούν επίσης ως αισθητήρες πίεσης (Boutté και Moreau, 2014; Galvan-Ampudia και Testerink, 2011). Η διατήρηση της σταθερότητας της κυτταρικής μεμβράνης σε συνθήκες καταπόνησης άλατος μπορεί να επιτευχθεί μέσω τροποποιημένων συνθέσεων λιπιδίων και πρωτεϊνών, συσσώρευσης οσμοπροστατευτικών και μειωμένης υπεροξειδωσής λιπιδίων (Mansour, 2013).

1.2.8 Σχολιασμός

Συμπερασματικά, η αλατότητα είναι μια σοβαρή απειλή για τη γεωργία και το περιβάλλον σε πολλά μέρη του κόσμου και ιδιαίτερα σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές. Αυτό το πρόβλημα είναι οξύτερο στις περισσότερες περιοχές των αναπτυσσόμενων και υπανάπτυκτων χωρών. Το πρόβλημα της αλατότητας θα επιδεινωθεί, λόγω του ταχέως αυξανόμενου πληθυσμού σε πολλές χώρες του πλανήτη και την διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για παραγωγή επαρκών ποσοτήτων τροφίμων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της καλλιεργήσιμης έκτασης ή/και από την

αύξηση της παραγωγής τροφίμων ανά περιοχή. Την αυξανόμενη ανησυχία για τους περιορισμένους υδάτινους πόρους, η οποία αναγκάζει τους παραγωγούς να χρησιμοποιούν κακής ποιότητας νερό άρδευσης σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές, έρχεται να επιδεινώσει η αλατότητα. Γενικά, οι αξιολογήσεις της αντοχής στην αλατότητα έδειξαν ότι το σιτάρι χαρακτηρίζεται από μέτρια αντοχή στην αλατότητα και η παραγωγικότητά του είναι μικρότερη από εκείνη του κριθαριού, το οποίο χαρακτηρίζεται ανεκτικό στην αλατότητα. Επιπλέον, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι γονότυποι (ποικιλίες) μέσα σε κάθε είδος διαφέρουν σημαντικά ως προς την αντοχή τους στην αλατότητα, ακόμα σε στα διάφορα στάδια ανάπτυξης. Εντούτοις, διάφορες ερευνητικές προσπάθειες έχουν επιδείξει ποικιλίες κριθαριού με αξιοσημείωτη αντοχή στην αλατότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΛΛΗΛΟΠΑΘΕΙΑ

2.1 Γενικά

Με τον όρο **αλληλοπάθεια** αναφερόμαστε στις βιοχημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ οργανισμών, οι οποίες εκδηλώνονται μετά από την παραγωγή και την απελευθέρωση δραστικών οργανικών χημικών ουσιών στο περιβάλλον (Mallik, 2008). Για την επιβεβαίωση της αλληλοπάθειας ως ανασταλτικό παράγοντα της αύξησης ενός φυτού, ο Willis (1985) διατύπωσε έξι προϋποθέσεις, βασισμένες στις αρχές του Koch. Αυτές οι αναγκαίες προϋποθέσεις είναι:

- Το υποτιθέμενο αλληλοπαθητικό φυτό πρέπει να παράγει μια τοξική ουσία.
- Αναγκαία ύπαρξη μηχανισμού απελευθέρωσης της τοξικής ουσίας από το φυτό στο περιβάλλον.
- Αναγκαία ύπαρξη ενός μηχανισμού μεταφοράς ή/και συσσώρευσης της τοξικής ουσίας στο περιβάλλον.
- Πρόσληψη της χημικής ουσίας από το φυτό στόχο σε επαρκείς ποσότητες και για χρονική διάρκεια ικανή να εμφανίσει δράση.
- Ένα υπόδειγμα αναστολής ανάπτυξης ενός είδους ή φυτού από ένα άλλο, μέσω περιγραφής συμπτωμάτων.
- Συσχέτιση της παρατηρηθείσας αλληλοπαθητικής δράσης με βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες.

Η αλληλοπάθεια έχει σπουδαίο ρόλο στην κυριαρχία των φυτών, στη διαδοχή, στο σχηματισμό των φυτοκοινοτήτων, στη βλάστηση και στην αναπαραγωγικότητα των καλλιεργειών, τόσο άμεσα μέσω της απελευθέρωσης χημικών ουσιών στο περιβάλλον, όσο και έμμεσα, επηρεάζοντας τη χημική σύσταση του εδάφους και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών της ριζόσφαιρας (Muller, 1992; Rice, 1984; Rizvi και Rizvi, 1992; Whittaker και Feeny, 1970). Οι χημικές ουσίες που εμπλέκονται στην αλληλοπάθεια παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία και έχουν συχνά πολλαπλούς ρόλους. Μια χημική ένωση μπορεί να παραχθεί και να απελευθερωθεί για διαφορετικούς σκοπούς ταυτόχρονα ή αποκλειστικά και μόνο, λόγω της αλληλοπαθητικής της δράσης κατά των άλλων φυτών. Επίσης χημικές ουσίες που αποδεσμεύονται για μη αλληλοπαθητικούς σκοπούς μπορούν να επηρεάσουν ένα φυτό απλά από σύμπτωση (Kohli κ.ά., 2006). Οι αλληλοπαθητικές επιδράσεις μπορεί να

είναι διεγερτικές ή ανασταλτικές, ανάλογα από το χημικό τους τύπο, τη συγκέντρωση, το ρυθμό απελευθέρωσης, τη δράση και το αποτέλεσμα της ενεργούς δράσης στο περιβάλλον, αλλά και το συγκεκριμένο είδος-στόχο (Inderjit και Keating, 1999).

Αλληλοπαθητικές αλληλεπιδράσεις εμφανίζονται σε διάφορες μορφές (Chou, 2006; Rice, 1984):

- Μεταξύ μικροοργανισμών
- Μεταξύ φυτών και μικροοργανισμών
- Μεταξύ φυτών
- Μεταξύ φυτών και εντόμων
- Μεταξύ εντόμων

Οι αλληλοπαθητικές ουσίες είναι προϊόντα δευτερογενούς μεταβολισμού, δηλαδή δε συμμετέχουν σε κάποια γνωστή φυσιολογική λειτουργία και παράγονται μέσω των κύριων μεταβολικών οδών υδατανθράκων, λιπών και αμινοξέα (Βασιλάκογλου, 2012).

2.2 Αλληλοπαθητικά καλλιεργούμενα φυτά

Διάφορα καλλιεργούμενα φυτά παρουσιάζουν αλληλοπαθητική δράση ή είναι αυτοτοξικά (Batish κ.ά., 2001). Η απελευθέρωση χημικών ουσιών από τα αυτά στο έδαφος μπορεί να επηρεάσει άμεσα τις επόμενες καλλιέργειες, προκαλώντας μικροβιακή ανισορροπία, αλλαγή στην οργανική ύλη του εδάφους, αύξηση της διαρροής ιόντων και διαταραχή στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών (Kohli, 2006). Επιπλέον, οι αλληλοπαθητικές ουσίες που παραμένουν στο έδαφος, εξαιτίας της παρουσίας των υπολειμμάτων των καλλιεργούμενων φυτών, παρεμποδίζουν το φύτευμα των ευαίσθητων φυτών της επόμενης καλλιεργητικής περιόδου (Batish κ.ά., 2001; Βασιλάκογλου, 2012; Singhet, 2001).

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται ορισμένα είδη φυτών για τα οποία έχει διαπιστωθεί ότι τα υπολείμματά τους επηρεάζουν αρνητικά τη βλάστηση των καλλιεργούμενων φυτών. Επίσης, πολλοί επιστήμονες αναφέρουν ότι κάποια καλλιεργούμενα φυτά έχουν τη δυνατότητα να απελευθερώνουν φυτοτοξικές ουσίες στο περιβάλλον και να εμποδίζουν τη βλάστηση και ανάπτυξη των ζιζανίων. Μερικά από αυτά είναι:

- τα σιτηρά (βρώμη, σίκαλη, ρύζι, κριθάρι, αραβόσιτος)
- τα ψυχανθή (βίκος, μηδική, τριφύλλι)
- η ελαιοκράμβη
- τα ζαχαρότευτλα

- η σόγια
- το σόργο και
- ο ηλίανθος

Πίνακας 2. Ζιζάνια που προκαλούν αλληλοπαθητικές επιδράσεις σε καλλιεργούμενα φυτά (πηγή: Σύγχρονη ζιζανιολογία, Βασιλάκογλου, 2012).

Κοινό όνομα	Επιστημονικό όνομα	Επηρεαζόμενες καλλιέργειες
Αγριάδα	<i>Cynodon dactylon</i>	Κριθάρι, σόγια, βαμβάκι
Άγριο σινάπι	<i>Sinapis arvensis</i>	Πολλά είδη
Άγριομπαμπακιά	<i>Abutilon theophrasti</i>	Πολλά είδη
Αρτεμισία	<i>Artemisia vulgaris</i>	Αγγούρι
Βρωμόλαχανο	<i>Lepidium draba</i>	Μηδική, σιτάρι
Γλυστρίδα	<i>Portulaca oleracea</i>	Μηδική, σιτάρι, τριφύλλι
Ήρα	<i>Lolium rigidum</i>	Βρώμη, μαρούλι, τριφύλλι
Κύπερη	<i>Cyperus spp.</i>	Ελαιοκράμβη, αγγούρι, βαμβάκι, σόγια, κριθάρι, ρύζι, σόργο, ραπάνι, τομάτα
Περικοκλάδα	<i>Convolvulus arvensis</i>	Σιτάρι
Τάτουλας	<i>Dotura stramonium</i>	Πολλά είδη
Τραχύ βλήτο	<i>Amaranthus reftoflexus</i>	Σιτάρι, σόγια

Σε παγκόσμια κλίμακα έχουν καταγραφεί περισσότερα από 200 είδη ζιζανίων που έχουν αλληλοπαθητική επίδραση σε καλλιεργούμενα φυτά (Qasem and Foi, 2001). Η αλληλεπίδραση των ζιζανίων με τα καλλιεργούμενα φυτά, μέσω ανταγωνισμού ή αλληλοπάθειας, προκαλεί σημαντικές απώλειες στη γεωργική παραγωγή, σε παγκόσμια κλίμακα. Μάλιστα, τα ζιζάνια προκαλούν μείωση της απόδοσης των καλλιεργούμενων φυτών από 18% μέχρι 47% (Oerke, 2006), καθώς και υποβάθμιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αλληλοπάθειας ζιζανίου εναντίον καλλιεργούμενου φυτού είναι με το ζιζάνιο *Elymus spp.* σε φυτά μηδικής, λιναριού, βρώμης και σιταριού. Συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση φυτικών υπολειμμάτων του *Elymus spp.* καθιστά αδύνατη την εγκατάσταση καλλιέργειας αυτών των φυτών, λόγω της μείωσης του φυτρώματος των σπόρων και του αριθμού των φυτών που τελικά επιβιώνουν (Aldrich and Kremer, 1997). Επίσης, η

ενσωμάτωση αποξηραμένων φύλλων του τροπικού αμερικανικού είδους ζιζανίου *Parthenium hysterophorus* μειώνει τις αποδόσεις τομάτας και φασολιού, αλλά και παρεμποδίζει το σχηματισμό αζωτοδεσμευτικών φυματίων στις ρίζες των ψυχανθών (Πασπάτης, 1998). Ακόμη, έχει αναφερθεί παρεμπόδιση ανάπτυξης νεαρού φυταρίου *Phaselous vulgaris*, λόγω της παρουσίας υπολειμμάτων και εκχυλισμάτων του ζιζανίου *Agropyron repens*. Εντούτοις, και η βιομάζα ζιζανίων όπως τα *Chenopodium album*, *Ambrosia artemisifolia* και *Amaranthus retroflexus* μειώθηκε έως 90% από την παρουσία υπολειμμάτων αποξηραμένης σίκαλης (Einhelling, 1985). Προσέτι, ο ηλίανθος περιέχει πλήθος αλληλοπαθητικών ουσιών, οι οποίες ανήκουν στις ομάδες των φαινολών και τερπενίων. Οι ηλιανουόλες είναι μια ομάδα φαινολικών αλληλοχημικών που παρεμποδίζουν κυρίως τα δικοτυλήδονα φυτά. Τα εκχυλίσματα ηλίανθου έχουν την ικανότητα να δρουν ανασταλτικά ως προς την αύξηση ποικίλων ζιζανίων και καλλιεργούμενων φυτών, ενώ η ενσωμάτωση στο έδαφος υπολειμμάτων ηλίανθου μπορεί να μειώσει την πυκνότητα δικοτυλήδονων ζιζανίων κατά 66% (Anaya, 1999). Ακόμα, εκχυλίσματα ηλίανθου ανέστειλαν την ανάπτυξη δυσεξόντωτων των ζιζανίων, όπως η αγριομπαμπακιά και ο τάτουλας, και μείωσαν την αύξηση σόγιας και σόργου (Leather, 1983).

Επιπρόσθετα, η αλληλοπαθητική δράση απαντάται και μεταξύ ζιζανίων. Τα ζιζάνια με αυτή την ιδιότητα είναι περισσότερα από εξήντα και κάποια είναι πολύ κοινά στην Ελλάδα (Πίνακας 3). Οι αλληλοπαθητικές ιδιότητες ορισμένων ζιζανίων εναντίον άλλων ζιζανίων μπορούν να έχουν θετικά και αρνητικά αποτελέσματα (Qasem and Foi, 2001). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αλληλοπάθειας ζιζανίου εναντίον άλλου ζιζανίου είναι με το *Aristida oligantha*. Το ζιζάνιο αυτό επικράτησε σε μια περιοχή, εξαιτίας της αλληλοπαθητικής του επίδρασης, που ήταν ισχυρότερη από εκείνη των ήδη εγκαταστημένων ειδών (Aldrich and Kremer, 1997). Ακόμα, έχει παρατηρηθεί ότι γύρω από καλλιέργεια φασκόμηλου και αρτεμισίας δεν φύτευαν ετήσια φυτά σε διάμετρο 90 εκατοστά, ενώ σε απόσταση 2-6 m η παρουσία τους ήταν περιορισμένη.

Πίνακας 3. Είδη ζιζανίων με αλληλοπαθητική δράση εναντίον άλλων ζιζανίων (Βασιλάκογλου, 2012).

Αλληλοπαθητικά είδη ζιζανίων	Επηρεαζόμενα είδη ζιζανίων
<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Cyperus esculentus</i>
<i>Lolium temulentum</i>	<i>Bromus</i> spp.

<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Chenopodium album</i> , <i>Cynodon dactylon</i>
<i>Sorghum halepense</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i> , <i>Digitaria sanguinalis</i>
<i>Chenopodium album</i>	<i>Cyperus esculentus</i>
<i>Rumex crispus</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i> , <i>Setaria viridis</i>

2.3 Παραγωγή και απελευθέρωση αλληλοπαθητικών ουσιών

Η παραγωγή των αλληλοπαθητικών ουσιών γίνεται από όλα τα μέρη του φυτού δηλαδή από τις ρίζες, τα φύλλα, το βλαστό και το καρπό, ενώ η απελευθέρωση τους εξαρτάται από το περιβάλλον και γίνεται κυρίως με (Βασιλάκογλου, 2012; Khanh κ.ά., 2005; Mallik, 2008; Miller, 1996):

- εξάτμιση από τα φύλλα, όταν οι ουσίες αυτές είναι έντομα πτητικές,
- έκπλυση από τα φύλλα και το βλαστό, ιδιαίτερα για τις υδατοδιαλυτές ουσίες,
- απέκκριση από τις ρίζες,
- αποδόμηση των αλληλοπαθητικών υπολειμμάτων στο έδαφος, και
- διασπορά γύρης που περιέχει αλληλοπαθητικές ουσίες.

Οι αλληλοπαθητικές επιδράσεις γενικά μπορεί να οφείλονται (Inderjit και Keating, 1999):

- Στην άμεση απελευθέρωση χημικών ενώσεων από το φυτό-δότη,
- Στα τροποποιημένα προϊόντα ενώσεων που απελευθερώνονται, ως αποτέλεσμα αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων του εδάφους ή του νερού,
- Στις επιδράσεις των ενώσεων που απελευθερώνονται στις φυσικές, χημικές, βιολογικές ιδιότητες του εδάφους ή του νερού ή
- Στην απελευθέρωση των βιολογικά δραστικών ενώσεων από ένα άλλο είδος.

Επιπλέον, οι Blum κ.ά. (1999) πρότειναν τρία κριτήρια για την ύπαρξη της αλληλοπάθειας, τα οποία είναι:

- Το υποτιθέμενο αλληλοπαθητικό φυτό ή τα υπολείμματά του πρέπει να παράγουν/περιέχουν και να απελευθερώνουν χημικές ουσίες που είναι ικανές να προκαλέσουν αναστολή ανάπτυξης ή λειτουργίας άλλου φυτού, όταν αυτές οι χημικές ουσίες απελευθερώνονται στο εδαφικό περιβάλλον.
- Η διανομή και η συσσώρευση οργανικών ενώσεων κυριαρχείται από ένα αναστολέα στο έδαφος που πρέπει να έχει επαρκή συγκέντρωση, ώστε να

αναστέλλεται η συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών και νερού που προσλαμβάνονται από το ριζικό σύστημα του ευαίσθητου φυτού.

- Η παρατηρούμενη κατανομή της αναστολής της ανάπτυξης των φυτών στο χωράφι δεν μπορεί να εξηγηθεί αποκλειστικά από φυσικούς παράγοντες ή άλλους βιοτικούς παράγοντες.

Σε συνθήκες αγρού είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι μηχανισμοί αλληλοπάθειας από τον ανταγωνισμό. Όπως για παράδειγμα, η αρνητική επίδραση στο φύτευμα και στην ανάπτυξη ενός ζιζανίου από φυτικά υπολείμματα ενός αλληλοπαθητικού καλλιεργούμενου φυτού μπορεί να είναι αποτέλεσμα της τοξικής επίδρασης των αλληλοπαθητικών ουσιών ή της έλλειψης θρεπτικών στοιχείων (ανταγωνισμός) ως αποτέλεσμα της χρήσης τους από τους μικροοργανισμούς του εδάφους κατά την αποδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων (Aldrich and Kremer, 1997; Ελευθεροχωρινός, 2008). Σύμφωνα με τον Ελευθεροχωρινό (2008), σε ορισμένες περιπτώσεις, η αλληλοπάθεια των φυτικών υπολειμμάτων δεν εκδηλώνεται, επειδή επισκιάζεται από την επίδραση των αλλαγών των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους (δομή, υγρασία, γονιμότητα, μικροβιακή δραστηριότητα). Τα φαινόμενα του ανταγωνισμού και της αλληλοπάθειας λαμβάνουν χώρα ταυτοχρόνως και επιδρούν στη μείωση της ανάπτυξης ενός φυτού από ένα άλλο γειτονικό, στο μεν ανταγωνισμό λόγω αποτελεσματικότερης χρήσης ενός περιοριστικού πόρου για την ανάπτυξη, όπως θρεπτικά στοιχεία, φως, χώρος, υγρασία, από το ένα μόνο φυτό, στη δε αλληλοπάθεια, λόγω απελευθέρωσης από το ένα φυτό μιας χημικής ουσίας στο περιβάλλον (Putnam, 1985; Rice, 1984; Weston και Duke, 2003).

2.4 Αλληλοπαθητικές ουσίες και χρήση ως ζιζανιοκτόνα

Η ικανότητα ορισμένων αλληλοπαθητικών ουσιών να αναστέλλουν αποτελεσματικά την ανάπτυξη διαφόρων φυτών οδήγησε στην προσπάθεια χρησιμοποίησής τους ως εναλλακτική στρατηγική διαχείρισης των ζιζανίων στα αγροοικοσυστήματα (Bhowmik και Inderjit, 2003; Inderjit και Keating, 1999; Narwal, 2006; Weir και Vivanco, 2008). Ορισμένοι φυτικοί και μικροβιακοί μεταβολίτες έχουν άμεση δυνατότητα εφαρμογής, ενώ άλλοι μπορούν να τροποποιηθούν για να ενισχυθεί η βιολογική τους δραστηριότητα (Einhellig και Leather, 1988). Οι Duke κ.ά. (2000) αναφέρουν ότι οι φυσικές ενώσεις έχουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συνθετικών, καθώς σε αντίθεση με ένα μεγάλο μέρος αυτών, τα φυσικά προϊόντα είναι

ως επί το πλείστον υδατοδιαλυτά, βιοδιασπώμενα, παρουσιάζουν επιλεκτικότητα και έχουν μικρή υπολειμματική δράση. Ως εκ τούτου, η χρήση ουσιών από μικροοργανισμούς (φυσικές τοξίνες) ή ανώτερα φυτά (αλληλοπαθητικές ουσίες), είτε άμεσα ως ζιζανιοκτόνα, είτε έμμεσα ως κατευθυντήριες δομές σύνθεσης νέων κατηγοριών ζιζανιοκτόνων, θα μπορούσε να αποδειχθεί ως περιβαλλοντικά ήπια μέθοδος ελέγχου (Kohli κ.ά. 2006; Weston 1996). Επιπρόσθετα, υπάρχουν αρκετές ενθαρρυντικές μελέτες σχετικά με τις εναλλακτικές αλληλοπαθητικές μεθόδους διαχείρισης ζιζανίων και στη δασοκομία, καθώς η εντατική εφαρμογή των αγροχημικών στη διαχείριση των δασών είναι επίσης συνήθης και οι επιπτώσεις των ζιζανιοκτόνων σε μη ξυλώδη φυτά, σε ζωικούς πόρους και στην ποιότητα των υδάτων είναι δυσμενείς (Mallik, 2008).

Αλληλοπαθητικές ουσίες διαφόρων φυτών, όπως τα αρωματικά και τα αγρωστώδη, έχουν ήδη διερευνηθεί για τον πιθανό ρόλο τους στη διαχείριση των ζιζανίων (Βασιλάκογλου, 2008; Inderjit και Keating, 1999). Μία από τις πρώτες αλληλοπαθητικές ενώσεις που προσδιορίστηκε σε ανώτερα φυτά, ήταν η 1,8-Cineole. Το cinmethylin, η δομή του οποίου είναι παρόμοια με την 1,8-Cineole, εξελίχθηκε ως ζιζανιοκτόνο και χρησιμοποιείται εμπορικά για την καταπολέμηση των ζιζανίων. Ρυθμίζει την ανάπτυξη πολλών ετήσιων αγρωστωδών και αναστέλλει ορισμένα είδη πλατύφυλλων. Αν και παράγεται συνθετικά θα μπορούσε να παραχθεί από τη γνωστή αλληλοπαθητική ουσία (Bhowmik και Inderjit, 2003; Zimdahl, 1993). Άλλες χημικές ουσίες, αντίστοιχων φυσικών προϊόντων, που χρησιμοποιούνται ως εμπορικά ζιζανιοκτόνα είναι οι triketone, bialaphos, glufosinate και dicamba (Bhowmik και Inderjit, 2003).

Οι σπουδαιότερες αλληλοπαθητικές ενώσεις, για τις οποίες έχει γίνει ή γίνεται προσπάθεια ανάπτυξής τους σε ζιζανιοκτόνα είναι τα monoterpenes, οι sesquiterpene lactones, οι benzoxazinones, το quinolinicacid, οι leptospermones και τα αιθέρια έλαια (Kohli κ.ά., 2006; Xu κ.ά., 2005), ενώ έχει αναφερθεί ότι σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των ζιζανίων διαδραματίζουν και το allylisothiocyanate (από το μαύρο σινάπι), τα λιπαρά οξέα (από το φαγόπυρο), τα ισοφλαβονοειδή, οι φαινόλες (από το *Melilotus* spp.), η scopoletin (από τη βρώμη), τα hydroxamicacids (από διάφορα σιτηρά), το dhurrin και το sorgoleone (από το σόργο) (Weston, 1996). Επίσης, πολλές από τις φαινολικές ενώσεις (π.χ. salicylicacid και p-hydroxybenzoicacid), σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, είναι αποτελεσματικές κατά των ζιζανίων και σχετικά μη-εκλεκτικές. Ωστόσο, συνθετικές δομικές τροποποιήσεις των εν λόγω ενώσεων μπορεί

να αυξήσουν τη δραστηριότητά τους και την εκλεκτικότητά τους (Bhowmik και Inderjit, 2003).

Σημαντικό βέβαια είναι, πριν από τη χρήση αλληλοπαθητικών ουσιών ως ζιζανιοκτόνα, να προσδιοριστεί 1. το ποια είναι η ελάχιστη συγκέντρωση στην οποία κάθε ένωση παρουσιάζει φυτοτοξική δραστηριότητα, 2. το αν η ένωση διαχωρίζεται με ακρίβεια και μπορεί να προσδιοριστεί, 3. το ποιος είναι ο χρόνος παραμονής της ένωσης στο έδαφος, 4. το αν η ένωση επηρεάζει τη μικροβιακή οικολογία και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, 5. το ποιος είναι ο τρόπος δράσης της ένωσης, 6. το αν η ένωση έχει τυχόν δυσμενείς επιπτώσεις στην επιθυμητή καλλιέργεια, 7. το αν η ένωση είναι ασφαλής από άποψη υγείας και 8. το κατά πόσο η παραγωγή της ένωσης σε εμπορική κλίμακα είναι συμφέρουσα (Bhowmik και Inderjit, 2003). Γενικά, το ιδιαίτερα υψηλό κόστος παραγωγής αλλά και η δυσκολία τυποποίησης ζιζανιοκτόνων με βάση αλληλοπαθητικές ουσίες, αποτελούν από τα σημαντικότερα προβλήματα ανάπτυξής τους (Βασιλάκογλου, 2012).

2.5 Ανταγωνισμός

Ο ανταγωνισμός ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία δύο ή περισσότεροι οργανισμοί προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν τους ίδιους πόρους, είτε πρόκειται για θρεπτικά συστατικά, νερό, φως ή απλά χώρο και λαμβάνει χώρα εξαιτίας της εξάντλησης ή της έλλειψης ενός ή περισσότερων από αυτούς (Rice, 1984; Zimdahl, 1993). Γενικά, ο ανταγωνισμός θεωρείται ως αρνητική αλληλεπίδραση μεταξύ των φυτών και είναι εξαιρετικά σημαντικός, δεδομένου ότι επηρεάζει τον πρωτογενή μεταβολισμό (Inderjit και Keating, 1999). Οι επιδράσεις της αλληλοπάθειας και του ανταγωνισμού είναι δύσκολο να διαχωριστούν στο φυσικό περιβάλλον, κάτι που έχει όμως επιτευχθεί σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν υπό ελεγχόμενες συνθήκες (Weston, 1996). Βέβαια, ένα πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι η αλληλοπάθεια λειτουργεί μέσω απελευθέρωσης χημικών ουσιών στο περιβάλλον και ότι από αυτές εξαρτάται η επίδρασή της στους άλλους οργανισμούς (Inderjit και Keating, 1999; Rice, 1984). Οι Fuerst και Putnam (1983) αναφέρουν ότι τα κριτήρια επιβεβαίωσης της αλληλοπαθητικής δράσης ενός φυτού περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των συμπτωμάτων της παρέμβασης, την απομόνωση, τη δοκιμή, το χαρακτηρισμό και τη σύνθεση της αλληλοπαθητικής ουσίας, καθώς και την ποσοτικοποίηση της ουσίας που απελευθερώνεται, μετακινείται και απορροφάται (Fuerst και Putnam, 1983; Mamolos

και Kalburtji, 2001). Ωστόσο, οι Dekker κ.ά. (1983) αναφέρουν ότι η χρήση μίας σειράς προτύπων πυκνότητας παρέχει ένα χρήσιμο πειραματικό σχέδιο για τη μελέτη της αλληλοπάθειας, ενώ οι Thijs κ.ά. (1994) διαπίστωσαν ότι πειραματικά σχέδια που περιλαμβάνουν διάφορες πυκνότητες φυτών είναι κατάλληλα για τη διάκριση μεταξύ ανταγωνισμού και αλληλοπάθειας. Παρόλα αυτά, ορισμένοι βιολόγοι θεωρούν την αλληλοπάθεια μέρος του ανταγωνισμού. Ο Muller (1969) πρότεινε τη χρήση του όρου παρέμβαση για την αναφορά στη συνολική επίδραση ενός φυτού σε ένα άλλο, όρος που περιλαμβάνει τόσο την αλληλοπάθεια όσο και τον ανταγωνισμό (Rice, 1984). Η αλληλοπάθεια και ο ανταγωνισμός ενεργούν πάντα ταυτόχρονα και μεταξύ των περισσότερων ειδών συνήθως υπερισχύουν οι ανταγωνιστικές παρά οι αλληλοπαθητικές επιδράσεις. Ωστόσο, οι μηχανισμοί δράσης της αλληλοπάθειας είναι πιο σύνθετοι και η αλληλοπάθεια μπορεί να επηρεάσει τα είδη ή και τα στάδια ανάπτυξής τους με διαφορετικό τρόπο (Willis, 2007).

2.6 Αξιοποίηση της αλληλοπάθειας στη γεωργία

Η αλληλοπάθεια, παρά την αδυναμία μελέτης και επακριβούς προσδιορισμού της, είναι σημαντικότερη μορφή αλληλεπίδρασης μεταξύ των ζιζανίων - καλλιεργούμενων φυτών από ό,τι ο ανταγωνισμός, αφού μπορεί να επηρεάσει τη σύνθεση και τον τρόπο κατανομής των ζιζανίων, το μέγεθος της ζημιάς στα καλλιεργούμενα φυτά, αλλά και τη δυνατότητα επιλογής των καλλιεργούμενων φυτών κατά την εφαρμογή συστημάτων αμειψισποράς. Βέβαια, στην περίπτωση των αλληλοπαθητικών ζιζανίων με αντιμυκητολογικές ή/και αντιβακτηριακές ιδιότητες, αυτή μπορεί να συμβάλει στην ολοκληρωμένη αντιμετώπιση ορισμένων ασθενειών των καλλιεργούμενων φυτών.

2.7 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της εδαφικής αλατότητας στην αλληλοπαθητική ικανότητα του κριθαριού, ενός από τα γνωστότερα αλληλοπαθητικά καλλιεργούμενα φυτά. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 18 αλληλοπαθητικές ποικιλίες του κριθαριού, οι οποίες καλλιεργήθηκαν ταυτόχρονα σε αλατούχο και μη αλατούχο έδαφος. Το ζιζάνιο λεπτή ήρα (*Lolium rigidum*) χρησιμοποιήθηκε ως φυτό - δείκτης, εξαιτίας της μεγάλης ευαισθησίας της στις αλληλοπαθητικές ουσίες του

κριθариού. Μέχρι σήμερα, πειράματα επίδρασης της αλατότητας στην αλληλοπαθητική ικανότητα των φυτών δεν είναι γνωστά στη διεθνή βιβλιογραφία, γεγονός που υποστηρίζει την καινοτομία της παρούσης εργασίας.

3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Υλικά και μέθοδοι

Το πείραμα αγρού, κατά το οποίο αξιολογήθηκε παραγωγικότητα 18 ποικιλιών κριθαριού σε αλατούχο (4,5-9,5 dS/m) και μη αλατούχο έδαφος (0,7 dS/m), πραγματοποιήθηκε κατά την καλλιεργητική περίοδο 2015/2016, στο αγρόκτημα του Τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων, του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης. Κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος ελήφθησαν τα φυτικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα αλληλοπάθειας. Τα πειράματα διερεύνησης της αλληλοπαθητικής ικανότητας των 18 ποικιλιών κριθαριού πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ζιζανιολογία, του Τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων, του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλίας, κατά τη χρονική περίοδο Οκτωβρίου 2016 - Μαΐου 2017. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά:

- γυάλινα τριβλία (Petri dish) διαμέτρου 8,5 cm
- περλίτης (αδρανές υλικό, που δεν προσροφά αλληλοπαθητικές ουσίες, για συγκράτηση νερού)
- γυάλινα βάζα των 400ml
- τουρλοπάνι
- διηθητικό χαρτί N° 4
- σπόροι του ζιζανίου λεπτή ήρα (*Lolium rigidum*)
- πλαστικοί δίσκοι
- πλαστικές σακούλες
- αποξηραμένα φυτικά δείγματα των αξιολογηθέντων 18 ποικιλιών κριθαριού, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Ειδικότερα, η συλλογή των φυτικών δειγμάτων έγινε όταν τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο του καλαμώματος. Τα δείγματα αυτά κόπηκαν σε τμήματα των 10-20 cm και τοποθετήθηκαν για 72 ώρες στο θερμοκήπιο (θερμοκρασία 25 - 45°C), ώστε να γίνει η αποξήρανσή τους. Στη συνέχεια, αλέστηκαν σε μύλο (40 mesh) και τοποθετήθηκαν σε γυάλινα βάζα και στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C μέχρι να χρησιμοποιηθούν για παραλαβή των εκχυλισμάτων.

Χρησιμοποιήθηκε το πλήρως τυχαίοποιημένο παραγοντικό σχέδιο, το οποίο περιελάμβανε τα 18 κύριες ποικιλίες κριθαριού σε 4 διαφορετικές συγκεντρώσεις (0,

1,25, 2,5 και 5 g/100 ml) με 4 επαναλήψεις για κάθε συνδυασμένο παράγοντα (τμήμα φυτών x συγκέντρωση).

Πίνακας 4. Ποικιλίες κριθαριού που αξιολογήθηκαν που κατά τη διάρκεια του πειράματος (βιοδοκιμές).

Athenaida	Meteor
Triptolemos	Matico‘S’/LBIranA-164
GaltBrea ‘S’	Tomillo‘S’/DS4931 A-172
ICB 100126	Europa
Orgei/EH 165/Cross 270.2.3	Robur/WA 2196-68
Ιππόλυτος	Robur/J-126/OWB
Βυζάντιο	80.5060/Gloria‘S’A-196
Prestige	Franka/6/Mona/Nopal ‘S’A-242

3.2 Διαδικασία βιοδοκιμής

Η διαδικασία παραλαβής των εκχυλισμάτων έγινε σε γυάλινα βάζα των 400 ml. Ειδικότερα, σε κάθε βάζο τοποθετήθηκε ποσότητα δείγματος 1,25, 2,5, 5 ή 10 g ξηρής βιομάζας και 200 ml απιονισμένου νερού, ώστε να προκύψουν συγκεντρώσεις των 0,63%, 1,25%, 2,5% και 5% (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Ζύγιση ξηρής βιομάζας κριθαριού.

Ακολούθως, τα βάζα κλείστηκαν ερμητικά και τοποθετήθηκαν για ανακίνηση σε οριζόντιο ανακινητήρα. Τα βάζα ανακινήθηκαν για 4 ώρες στις 200 στροφές/λεπτό (Εικόνα 7). Μετά το πέρας των 4 ωρών το εκχύλισμα περάστηκε από τουρλοπάνι,

προκειμένου να απομακρυνθούν τα μεγάλα μεγέθους στερεά τεμαχίδια (Εικόνα 8). Κατόπιν, το εκχύλισμα περάστηκε από διηθητικό χαρτί N°4, ώστε να απομακρυνθούν και τα λεπτότερα τεμαχίδια (Εικόνα 9).



Εικόνα 7. Ανάδευση. **Εικόνα 8.** Τουρλοπάνι. **Εικόνα 9:** Διηθητικό χαρτί.

Στη συνέχεια, τα εκχυλίσματα φυγοκεντρίθηκαν για 30min στις 3000 στροφές/λεπτό και τέλος τα διαυγή υπερκείμενα εκχυλίσματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά μπουκάλια των 200 ml και διατηρήθηκαν στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C, έως ότου χρησιμοποιηθούν για τις βιοδοκιμές.

Οι βιοδοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε πλαστικά τριβλία Petri διαμέτρου 8,5 cm στα οποία τοποθετήθηκαν 60 σπόροι του ζιζανίου λεπτή ήρα (φυτό δείκτης, ευαίσθητο στις αλληλοπαθητικές ουσίες του κριθαριού (Εικόνα 10). Οι σπόροι καλύφθηκαν με 5 g περλίτη (υλικό που δεν προσροφά τις αλληλοπαθητικές ουσίες, αλλά συγκρατεί την υγρασία στο περιβάλλον του σπόρου) και σε κάθε τριβλίο προστέθηκαν 10 ml εκχυλίσματος ή απιονισμένου νερού (Εικόνα 11). Τα τριβλία με το απιονισμένο νερό ελήφθησαν ως ο μάρτυρας του πειράματος (συγκέντρωση 0%). Κατόπιν, τα τριβλία καλύφθηκαν με πλαστικά καπάκια, τυχαιοποιήθηκαν σε πλαστικούς δίσκους, καλύφθηκαν με πλαστικές, μαύρες σακούλες και τοποθετήθηκαν σε θάλαμο αναπτύξεως φυτών σε συνθήκες σκότους και σε θερμοκρασία $19\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Εικόνα 12). Μετά το πέρας 10 ημερών στο θάλαμο ανάπτυξης φυτών, τα τριβλία βγήκαν από το θάλαμο, απομακρύνθηκε ο περλίτης και αξιολογήθηκαν: 1. η βλάστηση των σπόρων και 2. το μήκος ρίζας (των φυτών που βλάστησαν) (Εικόνες 13 και 14).



Εικόνα 10. Βιοδοκιμές.



Εικόνα 11. Κάλυψη σπόρων.



Εικόνα 12. Δίσκοι.



Εικόνα 13. Απομάκρυνση περλίτη.



Εικόνα 14. Μέτρηση μήκους ρίζας.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών αυτών και οι τιμές αυτές εκφράστηκαν ως % του μάρτυρα. Η βιοδοκιμή επαναλήφθηκε στο χρόνο.

Ο προσδιορισμός των δύο κυριότερων αλληλοπαθητικών ουσιών (gramine και hordenine) στα εκχυλίσματα των 18 κριθαριών έγινε με τη μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας, στο Γενικό Αναλυτικό Εργαστήριο, του Τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων, του Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας.

3.3 Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα του φυτρώματος και του μήκους ριζών αναλύθηκαν με τη χρήση του παραγοντικού σχεδίου (αλατότητα x ποικιλίες κριθαριού x συγκέντρωση εκχυλίσματος). Οι δείκτες αναστολής (I_s) του φυτρώματος και του μήκους ρίζας υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Whole-range. Το εύρος τιμών αναστολής της φυτρωτικής ικανότητας και του μήκους ρίζας σε όλο το φάσμα των συγκεντρώσεων των συστατικών των ποικιλιών του κριθαριού και οι αντίστοιχοι δείκτες αναστολής υπολογίστηκαν ξεχωριστά για κάθε επανάληψη χρησιμοποιώντας το λογισμικό WEISIA (Whole-range Evaluation of the Strength of Inhibition in Allelopathic-bioassay) (Liu κ.ά., 2007) και στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε μια συνδυασμένη

ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Ειδικότερα, οι συντελεστές αναστολής υπολογίστηκαν από τον τύπο:

$$I = D_c \int_{D_c}^{D_n} [R(0) - f(D)] dD / \int_{D_c}^{D_n} R(0) dD, \text{ όπου:}$$

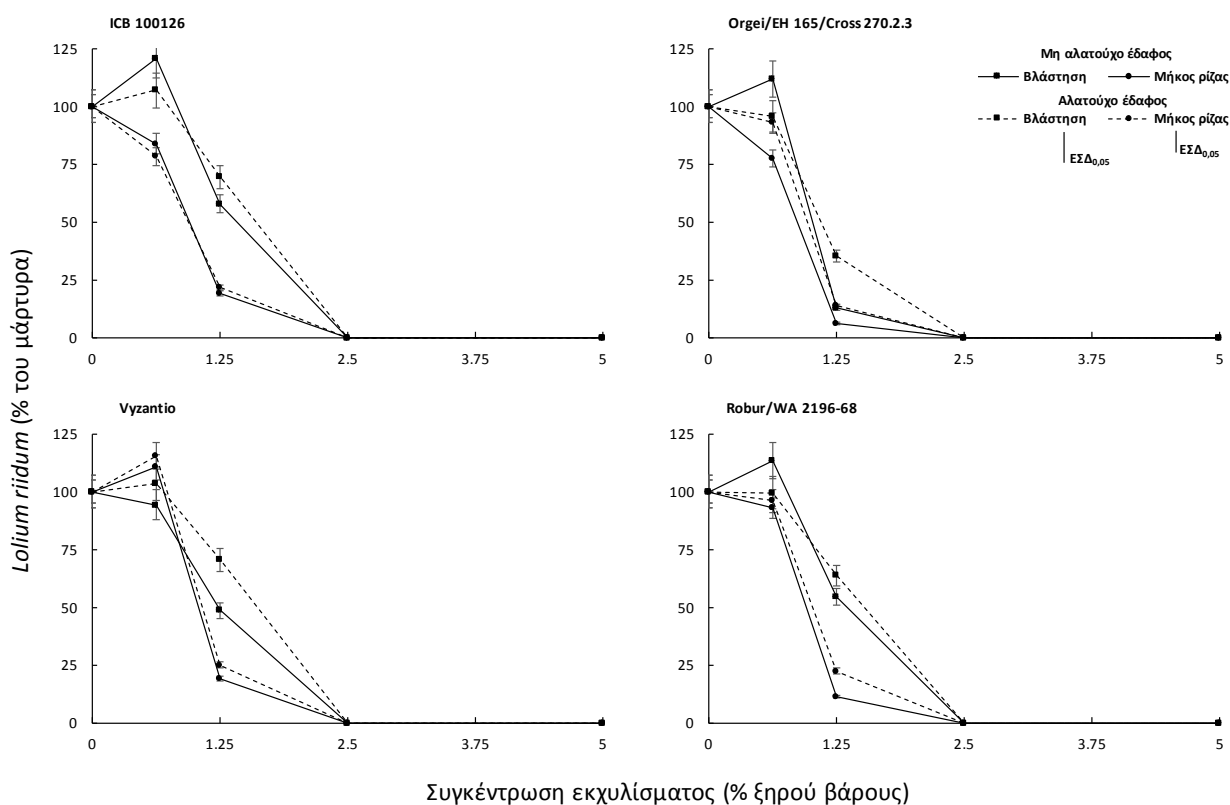
0 έως το D_n το εύρος στο οποίο κυμάνθηκαν οι συγκεντρώσεις, η συγκέντρωση D_c ήταν η κατώτατη - οριακή συγκέντρωση, η τιμή της οποίας ισοδυναμούσε με την τιμή του μάρτυρα και οι τιμές πάνω από αυτήν ήταν ανασταλτικές. Επιπλέον, η τιμή $R(0)$ αντιστοιχεί στην τιμή 0% (μάρτυρας) και η $f(D)$ αντιπροσωπεύει την τιμή της ανταπόκρισης σε δεδομένη συγκέντρωση.

Η ανάλυση παραλλακτικότητας έγινε με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος MSTAT-C. Ως κριτήριο για τη σύγκριση των μέσων αριθμητικών τιμών, χρησιμοποιήθηκε η ελάχιστη σημαντική διαφορά (ΕΣΔ) σε επίπεδο σημαντικότητας 95% ($P=0,05$).

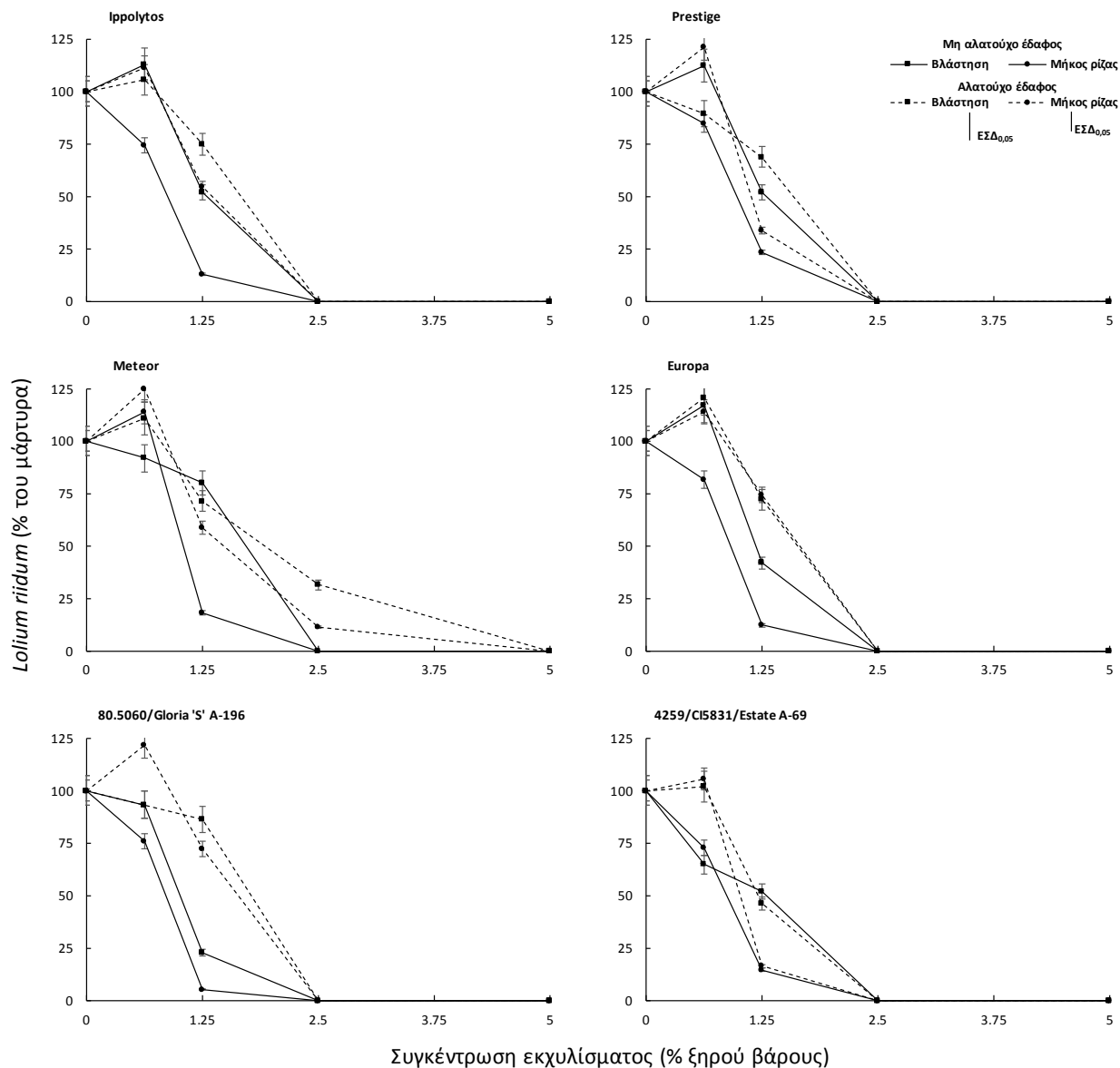
3.4 Αποτελέσματα και συζήτηση

2.2.1. Βιοδοκιμή φυτοτοξικότητας

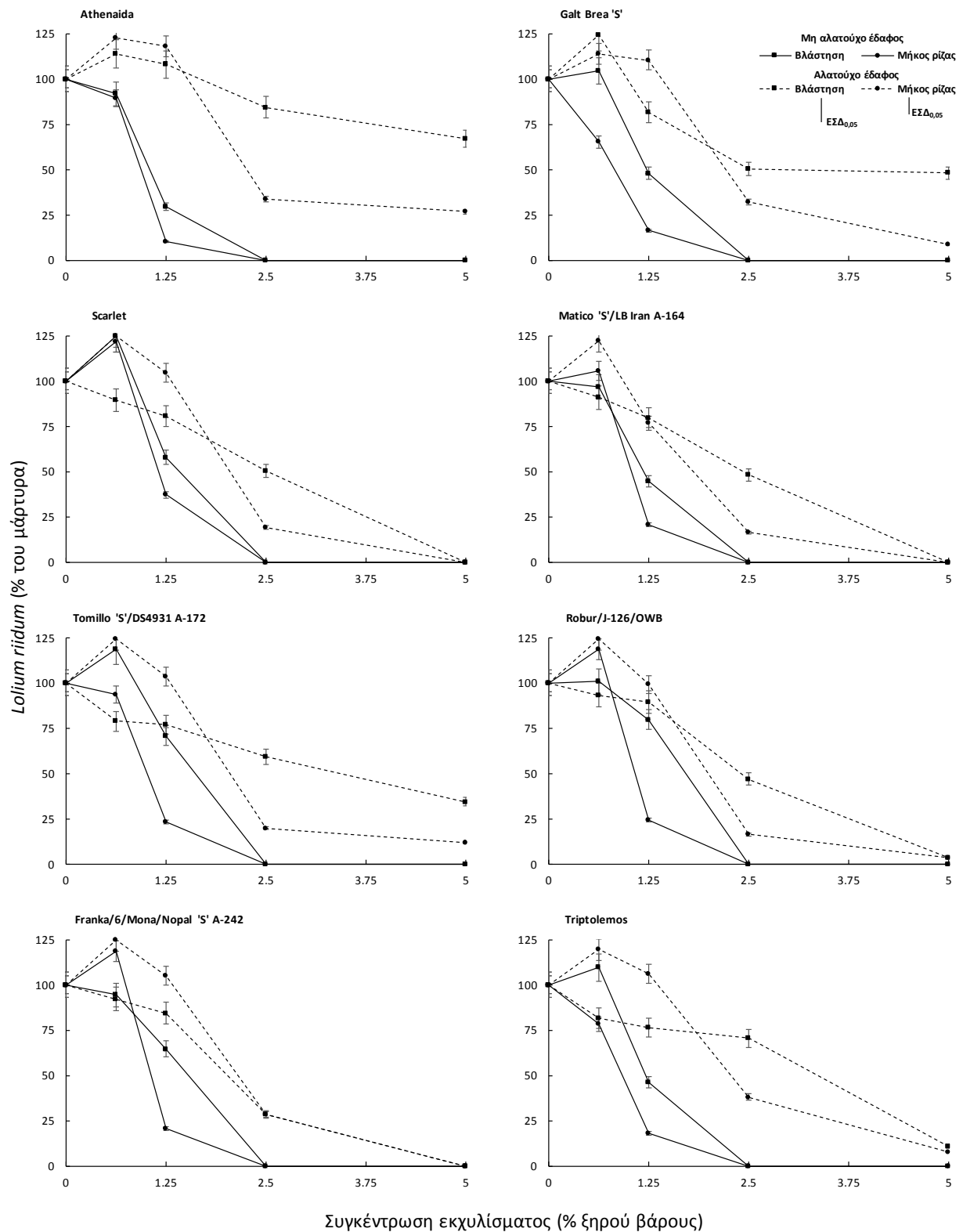
Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων έδειξε ότι η βλάστηση και το μήκος ρίζας του φυτού δείκτη (λεπτή ήρα) επηρεάστηκαν σημαντικά την αλατότητα ($P < 0,05$), τη συγκέντρωση των εκχυλισμάτων ($P < 0,001$), καθώς και από τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση ($P < 0,001$). Για το λόγο αυτό παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση αλατότητα x συγκέντρωση για κάθε ποικιλία κριθαριού χωριστά (Σχήματα 1, 2 και 3).



Σχήμα 1. Επίδραση της συγκέντρωσης των εκχυλισμάτων τεσσάρων ποικιλιών κριθαριού που αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα σε αλατούχο και μη αλατούχο έδαφος στη βλάστηση και το μήκος ρίζας της λεπτής ήρας. Οι κάθετες γραμμές παρουσιάζουν το τυπικό σφάλμα των τιμών.



Σχήμα 2. Επίδραση της συγκέντρωσης των εκχυλισμάτων έξι ποικιλιών κριθαριού που αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα σε αλατούχο και μη αλατούχο έδαφος στη βλάστηση και το μήκος ρίζας της λεπτής ήρας. Οι κάθετες γραμμές παρουσιάζουν το τυπικό σφάλμα των τιμών.



Σχήμα 3. Επίδραση της συγκέντρωσης των εκχυλισμάτων οκτώ ποικιλιών κριθαριού που αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα σε αλατούχο και μη αλατούχο έδαφος στη βλάστηση και το μήκος ρίζας της λεπτής ήρας. Οι κάθετες γραμμές παρουσιάζουν το τυπικό σφάλμα των τιμών.

Γενικά για όλες τις ποικιλίες του κριθαριού, τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των εκχυλισμάτων προκάλεσε επιπλέον μείωση της βλάστησης και του μήκους ρίζας του φυτού δείκτη (Σχήματα 1, 2 και 3). Η αυξημένη αναστολή που προκαλείται με την αύξηση της συγκέντρωσης των υδατικών εκχυλισμάτων είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Burgos and Talbert (2000), Chon και Kim (2004) και Dhima κ.ά. (2006). Ειδικότερα, η συγκέντρωση των 5% προκάλεσε, στις περισσότερες ποικιλίες, μείωση της βλάστησης και του φυτρώματος της λεπτής ήρας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95%. Το μείωση αυτή πιθανώς οφείλεται στην ύπαρξη αλληλοπαθητικών ουσιών στα εκχυλίσματα του κριθαριού. Παρόμοια αποτελέσματα δημοσίευσαν οι Vasilakoglou κ.ά. (2009), οι οποίοι βρήκαν ότι τα υδατικά εκχυλίσματα 50 ποικιλιών κριθαριού επηρέασαν αρνητικά το μήκος ρίζας, το νωπό βάρος και τη βλάστηση του ζιζανίου μουχρίτσα (*Echinochloa* spp.). Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, η ποικιλία Αθηναΐδα προκάλεσε τη μεγαλύτερη μείωση στη βλάστηση και την ανάπτυξη της μουχρίτσας. Επιπλέον, η βλάστηση, το μήκος ρίζας και το νωπό βάρος τεσσάρων χειμερινών ζιζανίων [αγριοβρώμη (*Avena sterilis* spp. *sterilis* L.), παράδοξη φάλαρη (*Phalaris paradoxa* L.), αλεπονουρά (*Alopecurus myosuroides* Huds.) και άγριο σινάπι (*Sinapis arvensis* L.)] μειώθηκαν με την αύξηση της συγκέντρωσης του υδατικού εκχυλίσματος της Αθηναΐδας. Ειδικότερα, επηρεάστηκαν περισσότερο τα ζιζάνια παράδοξη φάλαρη και αλεπονουρά (81.1 έως 86.8% συντελεστής αναστολής) από ό,τι τα ζιζάνια αγριοβρώμη και άγριο σινάπι (43 έως 80.1% συντελεστής αναστολής). Ομοίως, οι Dhima κ.ά. (2006) βρήκαν ότι η βλάστηση των σπόρων του ζιζανίου μουχρίτσα μειώθηκε 22% και 43%, αντίστοιχα, από τα εκχυλίσματα των δίστοιχων και εξάστοιχων ποικιλιών κριθαριού που μελετήθηκαν.

Σχετικά με την επίδραση της αλατότητας, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, τα εκχυλίσματα των κριθαριών που αναπτύχθηκαν στο αλατούχο έδαφος προκάλεσαν μικρότερη μείωση στη βλάστηση και το μήκος ρίζας της λεπτής ήρας από ό,τι τα εκχυλίσματα των κριθαριών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος. Ειδικότερα, τα εκχυλίσματα τεσσάρων ποικιλιών (ICB 100126, Vyzantio, Robur/WA 2196-68 και Orgei/EH 165/Cross 270.2.3) που αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος προκάλεσαν παρόμοια μείωση στη βλάστηση και το μήκος ρίζας της λεπτής ήρας με τα εκχυλίσματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος (Σχήμα 1). Αντίθετα, τα εκχυλίσματα έξι ποικιλιών (Prestige, Ippolytos, Meteor,

4259/CI5831/EstateA-69, Europa και 80.5060/Gloria ‘S’ A-196) που αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος προκάλεσαν μικρότερη μείωση στη βλάστηση και το μήκος ρίζας της λεπτής ήρας, σε σύγκριση με τα εκχυλίσματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος (Σχήμα 2). Εντούτοις, οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρήθηκαν σε οκτώ ποικιλίες (Franka/6/Mona/Nopal ‘S’ A-242, Triptolemos, Robur/J-126/OWB, Tomilo ‘S’/DS4931 A-172, Scarlet, Matico ‘S’/LB Iran A-164, Athenaida και Galt Brea ‘S’) των οποίων τα εκχυλίσματα που προήλθαν από φυτά που αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος προκάλεσαν πολύ μικρότερη μείωση στη βλάστηση και το μήκος ρίζας της λεπτής ήρας από ό,τι προκάλεσαν τα εκχυλίσματα των φυτών από το μη αλατούχο έδαφος (Σχήμα 3).

Με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος οι 18 ποικιλίες κριθαριού που αξιολογήθηκαν μπορούν να καταταγούν σε 3 ομάδες:

Ομάδα 1^η: ποικιλίες, όπως οι ICB 100126, Vyzantio, Robur/WA 2196-68 και Orgei/EH 165/Cross 270.2.3, των οποίων η αλληλοπαθητική δράση δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την αλατότητα του εδάφους. Ειδικότερα, η συγκέντρωση των 2,5% των εκχυλισμάτων των παραπάνω ποικιλιών προκάλεσαν 100% μείωση της βλάστησης και του μήκους ρίζας της λεπτής ήρας, ανεξάρτητα του εάν αναπτύχθηκαν σε αλατούχο ή μη αλατούχο έδαφος (Σχήμα 1).

Ομάδα 2^η: ποικιλίες, όπως οι Prestige, Ippolytos, Meteor, 4259/CI5831/EstateA-69, Europa και 80.5060/Gloria ‘S’ A-196, των οποίων η αλληλοπαθητική δράση επηρεάστηκε σε μικρό βαθμό από την αλατότητα του εδάφους. Ομοίως με παραπάνω, η συγκέντρωση των 2,5% των εκχυλισμάτων των παραπάνω ποικιλιών προκάλεσαν 100% μείωση της βλάστησης και του μήκους ρίζας της λεπτής ήρας, ανεξάρτητα του εάν αναπτύχθηκαν σε αλατούχο ή μη αλατούχο έδαφος (Σχήμα 2). Εντούτοις, οι συγκεντρώσεις των 0,63% και 1,25% των εκχυλισμάτων των ποικιλιών που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες αλατότητας προκάλεσαν μικρότερη μείωση στην βλάστηση και στο φύτρωμα του φυτού δείκτη, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των εκχυλισμάτων των φυτών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος.

Ομάδα 3^η: ποικιλίες, όπως οι Franka/6/Mona/Nopal ‘S’ A-242, Triptolemos, Robur/J-126/OWB, Tomilo ‘S’/DS4931 A-172, Scarlet, Matico ‘S’/LB Iran A-164, Athenaida

και Galt Brea 'S', των οποίων η αλληλοπαθητική δράση επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από την αλατότητα του εδάφους. Ειδικότερα, η συγκέντρωση των 2,5% των εκχυλισμάτων των παραπάνω ποικιλιών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος προκάλεσαν 100% μείωση της βλάστησης και του μήκους ρίζας της λεπτής ήρας, (Σχήμα 3). Αντίθετα, η συγκέντρωση των 2,5% (αλλά και η συγκέντρωση των 5% στις περισσότερες ποικιλίες) των εκχυλισμάτων αυτών των ποικιλιών που αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος δεν μπόρεσαν να προκαλέσουν 100% αναστολή της βλάστησης και του μήκους ρίζας του φυτού δείκτη.

Σύμφωνα με τους δείκτες αναστολής της βλάστησης και του μήκους ρίζας της λεπτής ήρας, οι οποίοι υπολογίστηκαν με τη χρήση του προγράμματος WESIA, οι περισσότεροι φυτοτοξικές (αλληλοπαθητικές) ποικιλίες, όταν αυτές αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος ήταν οι: Athenaida, GaltBrea 'S', Orgei/EH 165/Cross 270.2.3, 80.5060/Gloria "S" A-196 και 4259/CI5831/EstateA-69 (Πίνακας 5). Ειδικότερα, οι δείκτες αναστολής (I_s) κυμάνθηκαν από 66,4,8% έως 77,5% για τη βλάστηση και από 76,0% έως 81,5% για το μήκος ρίζας, για τα εκχυλίσματα των κριθαριών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος. Οι αντίστοιχοι δείκτες αναστολής για τα εκχυλίσματα των κριθαριών που αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος ήταν από 13,8% έως 76,0% για τη βλάστηση και από 39,6% έως 79,6% για το μήκος ρίζας. Σχετικά με τη βλάστηση της λεπτής ήρας, οι δείκτες αναστολής 14 ποικιλιών επηρεάστηκαν αρνητικά από την αλατότητα του εδάφους. Ομοίως, σχετικά με το μήκος ρίζας, οι δείκτες αναστολής 14 ποικιλιών επηρεάστηκαν αρνητικά από την αλατότητα του εδάφους (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Αλληλοπαθητικοί δείκτες αναστολής των 18 ποικιλιών κριθαριού που αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα σε αλατούχο και μη αλατούχο έδαφος.

Ποικιλία κριθαριού	Δείκτης αναστολής (I) του <i>Lolium rigidum</i>							
	Βλάστηση				Μήκος ρίζας			
	Μη αλατούχο		Αλατούχο		Μη αλατούχο		Αλατούχο	
Athenaida	77,2	a	13,8	p	79,7	abcdef	39,6	w
Galt Brea 'S'	72,2	cdef	33,8	o	81,5	a	45,5	v
ICB 100126	69,0	ghij	67,4	hijk	79,0	cdefg	79,6	bcdef
Scarlet	69,0	ghij	49,0	m	72,9	n	53,6	s
Orgei/EH 165/Cross 270.2.3	77,5	a	76,0	ab	80,5	abcd	78,7	defgh
Ippolytos	70,0	fgh	66,3	jk	80,3	abcde	71,0	o

Vyzantio	74,0	bc	67,0	ijk	77,0	hijkl	75,6	kl
Prestige	71,2	defg	69,1	ghi	78,5	efgh	73,7	mn
Meteor	67,0	ijk	56,9	l	76,5	ijkl	62,9	q
Matico 'S'/LB Iran A-164	73,8	bcd	49,7	m	77,0	hijkl	60,0	r
Tomillo 'S'/DS4931 A-172	66,9	ijk	39,0	n	77,9	fghi	47,8	u
Europa	72,0	cdef	65,6	k	79,7	abcdef	65,1	p
Robur/WA 2196-68	70,3	efg	69,6	fghi	78,9	defg	77,6	ghij
Robur/J-126/OWB	66,4	jk	47,6	m	75,5	lm	54,4	s
80.5060/Gloria 'S' A-196	77,9	a	64,8	k	81,3	abc	66,0	p
Franka/6/Mona/Nopal 'S' A-242	70,2	efg	55,6	l	76,0	jkl	50,5	t
4259/CI5831/Estate A-69	76,4	ab	73,0	cd	80,7	abc	77,4	ghijk
Triptolemos	72,8	cde	39,8	n	79,5	bcdef	45,0	v
CV, %			3,03				1,87	

Τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά για P=0,05.

Οι αναλύσεις υγρής χρωματογραφίας για τον προσδιορισμό των δύο σπουδαιότερων αλληλοπαθητικών ουσιών του κριθαριού (gramine και hordenine) έδειξαν ότι η gramine βρίσκονταν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα εκχυλίσματα των κριθαριών από ό,τι η hordenine (Πίνακας 6). Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις των δύο αλληλοπαθητικών ουσιών στα εκχυλίσματα των κριθαριών που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες αλατότητας ήταν, στις περισσότερες περιπτώσεις, μικρότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στα εκχυλίσματα των φυτών που αναπτύχθηκαν σε μη αλατούχο έδαφος. Συνεπώς, η αλατότητα του εδάφους επηρέασε αρνητικά τον μηχανισμό αλληλοπαθητικών ουσιών στις περισσότερες ποικιλίες κριθαριού. Η παρούσα εργασία είναι από τις ελάχιστες που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία και αφορούν την επίδραση της αλατότητας στο αλληλοπαθητικό δυναμικό των φυτών.

Η συσχέτιση των συντελεστών αναστολής της βλάστησης ή του μήκους ρίζας της λεπτής ήρας με τις συγκεντρώσεις gramine ή hordenine δεν έδειξε σημαντικό συντελεστή συσχέτισης. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται στην ύπαρξη και άλλων αλληλοπαθητικών ουσιών που καθορίζουν το αλληλοπαθητικό δυναμικό του κριθαριού. Εκτός από τις ουσίες gramine και hordenine, οι αλληλοπαθητικές ουσίες p-coumaric acid, ferulic acid, caffeic acid και vanillic acid έχουν προσδιοριστεί σε φυτά κριθαριού (Singh κ.ά., 2003).

Σχετικά με τις αλληλοπαθητικές ουσίες στο κριθάρι, οι Liu και Lovett (1993) βρήκαν ότι η αλληλοπαθητική δράση του κριθαριού μπορεί να αποδοθεί κυρίως στα αλκαλοειδή hordenine και gramine, τα οποία απελευθερώνονται από τους σπόρους κατά τη βλάστηση. Οι Baghestani κ.ά. (1999) και οι Ma κ.ά. (1999) βρήκαν ότι το κριθάρι περιέχει περισσότερες φαινολικές ουσίες από ό,τι το σιτάρι, ενώ οι Ben-Hammouda κ.ά. (2002) βρήκαν ότι τα φύλλα ήταν η σημαντικότερη πηγή αλληλοπαθητικών ουσιών στο κριθάρι. Ακόμη, ο Overland (1966) βρήκε ότι αμφότερα η gramine και η hordenine, στα εκχυλίσματα κριθαριού, ανέστειλαν την ανάπτυξη των ζιζανίων στελλάρια [*Stellaria media* (L.) Cyr.] και καψέλλα [*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic.], ενώ οι Liu και Lovett (1993) and οι Vasilakoglou κ.ά. (2009) βρήκαν ότι τα εκχυλίσματα κριθαριού ανέστειλαν τη βλάστηση και την ανάπτυξη της ρίζας των ζιζανίων αγριοβρώμη, παράδοξη φάλαρη, αλεπονουρά, άγριο σινάπι και λευκό σινάπι (*Sinapis alba* L.).

Πίνακας 6. Συγκεντρώσεις gramine και hordenine στα εκχυλίσματα 12 ποικιλιών κριθαριού που αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα σε αλατούχο και μη αλατούχο έδαφος.

Ποικιλία κριθαριού	Συγκέντρωση (nl/ml)			
	Gramine		Hordenine	
	Μη αλατούχο	Αλατούχο	Μη αλατούχο	Αλατούχο
Athenaida	1274,75	1376,24	3,42	1,73
Galt Brea 'S'	15,48	9,56	1,05	2,55
ICB 100126	1240,78	102,28	5,50	2,80
Scarlet	409,31	136,70	8,24	2,41
Orgei/EH 165/Cross 270.2.3	28,93	2,73	4,17	3,28
Ippolytos	2,58	9,06	1,27	9,68
Vyzantio	-	-	-	-
Prestige	-	-	-	-
Meteor	-	-	-	-
Matico 'S'/LB Iran A-164	1172,72	308,70	2,38	1,03
Tomillo 'S'/DS4931 A-172	297,35	166,89	0,42	4,76
Europa	-	-	-	-
Robur/WA 2196-68	1676,87	286,26	2,52	4,58
Robur/J-126/OWB	1353,53	234,32	2,40	0,65
80.5060/Gloria 'S' A-196	-	-	-	-

Franka/6/Mona/Nopal 'S' A-242	421,72	374,28	2,20	1,00
4259/CI5831/Estate A-69	-	-	-	-
Triptolemos	1704,32	938,18	2,47	6,22

2.4 Συμπεράσματα

- Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι η αλατότητα του εδάφους επηρέασε σημαντικά την αλληλοπαθητική ικανότητα των περισσότερων ποικιλιών κριθαριού που αξιολογήθηκαν. Ειδικότερα, η αλληλοπαθητική ικανότητα των 14 από τις 18 ποικιλίες που αξιολογήθηκαν μειώθηκε όταν οι ποικιλίες αυτές αναπτύχθηκαν σε αλατούχο έδαφος.
- Οι ποικιλίες κριθαριού που αξιολογήθηκαν περιείχαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της αλληλοπαθητικής ουσίας gramine και μικρότερες συγκεντρώσεις της αλληλοπαθητικής ουσίας hordenine.
- Τα εκχυλίσματα του κριθαριού μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη βλάστηση και την ανάπτυξη της ρίζας σημαντικών ζιζανίων, όπως η λεπτή ήρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

▪ Ελληνική

Βασιλάκογλου, Ι. 2012. Σύγχρονη Ζιζανιολογία, 2^η Έκδοση. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Ελευθεροχωρινός, Η. 2008. Ζιζανιολογία. Εκδόσεις Αγροτύπος, Αθήνα.

Καλμπουρτζή, Κ.Α. 1992. Αλληλοπάθεια σε αγροοικοσυστήματα. Ζιζανιολογία 2: 223-231.

▪ Ξενόγλωσση

Acquaah, G. 2002. Principles of Crop Production; Theory, Techniques, and Technology. Prentice Hall, Upper Saddle, New Jersey 07458.

Agarwal, P.K. and Jha, B. 2010. Transcription factors in plants and ABA dependent and independent abiotic stress signalling. Biol. Plant. 54: 201–212.

Agassi, M., Shainberg, I. and Morin, J. 1981. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. Soil Science Society of America Journal 48: 848-851.

Allel, D., Ben-Amar, A. and Abdelly, C. 2018. Leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ion content of barley (*Hordeum vulgare*) in response to salinity, Journal of Plant Nutrition, 41: 497-508.

Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Afr. J. Agric. Res. 6: 2026–2032

Baghestani, A., Lemieux, C., Lemieux, G.D., Baziramakenga, R. and Simard, R.R. 1999. Determination of allelochemicals in spring cereal cultivars of different competitiveness. Weed Science 47: 498-504.

Batish, D.R., Singh, H.P., Kohli, R.K. and Kaur, S. 2001. Crop allelopathy and its role in ecological agriculture. In Kohli, R.K., Singh, H.P. and Batish D.R. (eds.) Allelopathy in agroecosystems. Food Products Press, NY, USA, 121-161.

Ben-Hammouda, M., Ghorbal, H., Kremer, R.J. and Oueslati, O. 2002. Autotoxicity of barley. Journal of Plant Nutrition 25: 1155-1161.

- Bhowmik, P.C. and Inderjit. 2003. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop Protection* 22: 661-671.
- Bini, C., Casaril, S. and Pavoni, B. 2000. Fertility gain and heavy metal accumulation in plants and soil, studied by means of compostamended cultivation of *Taraxacum officinale*. *Toxicological Environmental Chemistry* 77: 131–142.
- Boutté, Y. and Moreau, P. 2014. Plasma membrane partitioning: From macrodomains to new views on plasmodesmata. *Frontiers in Plant Science* 5: 128.
- Burgos, N.R. and Talbert, R.E. 2000. Differential activity of allelochemicals from *Secale cereale* in seedling bioassays. *Weed Science* 48: 302-310.
- Chen, Z.H., Pottosin, I.I., Cuin, T.A., Fuglsang, A.T., Tester, M., Jha, D. and Shabala, S. 2007. Root plasma membrane transporters controlling K⁺/Na⁺ homeostasis in salt-stressed barley. *Plant Physiology* 145: 1714–1725.
- Chon, S.U. and Kim, Y.M. 2004. Herbicidal potential and quantification of suspected allelochemicals from four grass crop extracts. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: 145-150.
- Chou, C.H. 2006. Introduction to allelopathy. In Reigosa, M. J. (ed.) *Allelopathy: A physiological process with ecological implications*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 1-10.
- Cramer, G.R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M. and Shinozaki, K. 2011. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biol* 11: 163.
- Cuin, T.A., Betts, S.A., Chalmandrier, R. and Shabala, S. 2008. A root's ability to retain K⁺ correlates with salt tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 59: 2697–2706.
- Dekker, J.H., Meggitt, W.F. and Putnam, A.R. 1983. Experimental methodologies to evaluate allelopathic plant interactions: The *Abutilon theophrasti-Glycine max* Model. *Journal of Chemical Ecology* 9(8): 945-981.
- Deverel, S.J. and Fujii, R. 2010. Chemistry of trace elements in soils and ground water. In: Tanji, K.K. (ed.): *Agricultural Salinity Assessment and Management*. American Society of Civil Engineers, New York, p. 64–90.
- Dhima, K.V., Vasilakoglou, I.V., Eleftherohorinos, I.G. and Lithourgidis, A. 2006. Allelopathic potential of winter cereals and their cover crop mulch effect on grass weed suppression and corn development. *Crop Science* 46: 345-352.

- Duke, S.O., Romagni, J.G. and Dayan, F.E. 2000. Natural Products as Sources for New Mechanisms of Herbicidal Action. *Crop Protection* 19: 583-589.
- Einhellig, F.A. and Leather, G.R. 1988: Potentials for exploiting allelopathy to enhance crop production. *Journal of Chemical Ecology* 14: 1829-1844.
- Fuerst, E.P. and Putnam, A.R. 1983. Separating the Competitive and Allelopathic Components of Interference: Theoretical Principles. *Journal of Chemical Ecology* 9: 937-944.
- Galvan-Ampudia, C.S. and Testerink, C. 2011. Salt stress signals shape the plant root. *Current Opinion in Plant Biology* 14: 296–302.
- Gechev, T.S., Van Breusegem, F., Stone, J.M., Denev, I. and Laloi, C. 2006. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *BioEssays* 28: 1091–1101.
- van Genuchten M.Th. and Gupta, S.K. 2003. A Reassessment of the crop tolerance response function. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, Vol. 41, No. 4: 730-737.
- Ghassemi, F., Jakeman A.J. and Nix, H.A. 2015. Salinization of land and water resources: Human Causes, extent, management and case studies. UNSW Press, Sydney, Australia, and CAB International, Wallingford, UK.
- Gill, S.S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem* 48: 909–930.
- Inderjit and Keating, K.I. 1999. Allelopathy: Principles, Procedures, Processes, and Promises for Biological Control. In Sparks, D.L. (ed.). *Advances in Agronomy* 67: 141-231.
- Hazzouri, K.M., Khraiwesh, B., Amiri, K.M.A., Pauli, D., Blake, T., Shahid, M., Mullath, S.K., Nelson, D., Mansour, A.L., Salehi-Ashtiani, K., Purugganan, M. and Masmoudi, K.. 2018. Mapping of HKT1;5 Gene in Barley Using GWAS Approach and Its Implication in Salt Tolerance Mechanism. *Frontiers in Plant Science* 9: 156.
- Khanh, T.D., Chung, M.I., Xuan, T.D. and Tawata, S. 2005. The exploitation of crop allelopathy in sustainable agricultural production. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191(3): 172-184.
- Khrais, T. 2006. Evaluation of salt tolerance in potato (*Solanum* spp.). Thesis. Department of Plant Science, McGill University, Macdonald Campus.

- Kohli, R.K., Batish, D.R. and Singh, H.P. 2006. Allelopathic Interactions in Agroecosystems. In Reigosa, M.J. (ed.) *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 465-494.
- Lewis, F.L. 2006. *Optimal estimation with an introduction to stochastic control theory*. Wiley, New York.
- Liu, D.L., An, M. and Wu, H. 2007. Implementation of WESIA: Whole-range evaluation of the strength of inhibition in allelopathic-bioassay. *Allelopathy Journal* 19: 203-214.
- Liu, D.L. and Lovett, J.V. 1993. Biologically active secondary metabolites of barley. II. Phytotoxicity of barley allelochemicals. *Journal of Chemical Ecology* 19: 2231-2244.
- Ma, S.Y., Kim, J.S. and Ryang, H.S. 1999. Allelopathic effects of barley to red rice and barnyardgrass. *Korean Journal of Weed Science* 19: 228-235.
- Mahlooji, R., Sharifi, S., Razmjoo, J., Sabzalian, M.R., and Sedghi, M. 2018. Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes, *Photosynthetica* 56 (2): 549-556.
- Mallik, A.U. 2008. Allelopathy: Advances, Challenges and Opportunities. In Zeng, R.S., Mallik, A.U. and Luo, S.M. (eds.) *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer Sciences, New York, USA, 25-38.
- Mamolos, A.P. and Kalburtji, K.L. 2001: Significance of Crop Rotation. *Journal of Crop Production* 4: 197-218.
- Mansour, M.M.F. 2013. Plasma membrane permeability as an indicator of salt tolerance in plants. *Biologia Plantarum* 57: 1–10.
- Miller, D.A. 1996. Allelopathy in Forage Crop Systems. *Agronomy Journal* 88: 854-859.
- Muller, C.H. 1969. Allelopathy as a factor in ecological process. *Plant Ecology* 18: 348-357.
- Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651–681.
- Munoz-Mayor, A., Pineda, B., Garcia-Abella'n, J.O., Anto'n, T., Garcia-Sogo, B., Sanchez-Bel, P., Flores, F.B., Atare's, A., Agosto, T., Pintor-Toro, J.A. 2012. Overexpression of dehydrin tas14 gene improves the osmotic stress imposed by drought and salinity in tomato (*Solanum lycopersicum*). *J Plant Physiol* 169: 459–468.

- Narwal, S.S. 2006. Allelopathy in Ecological Sustainable Agriculture. In Reigosa, M.J. (ed.) Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 537-564.
- Nguyen, V. L., Ribot, S. A., Dolstra, O., Niks, R. E., Visser, R. G. F., & van der Qasem, J.R. and Foy, C.L. 2001. Weed Allelopathy. Its ecological impact and future prospects. *Journal of Crop Production* 4: 43-119.
- Rejeb, I., Pastor, V., Mauch-Mani, B. 2014. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms. *Plants* 3: 458–475
- Rice, E.L. 1984. Allelopathy (Second Edition). Academic Press, London, UK.
- Rizvi, S.J.H. and Rizvi, V. 1992. Allelopathy: basic and applied aspects. Chapman & Hall, London, UK.
- Rorat, T. 2006. Plant dehydrins—tissue location, structure and function. *Cell Mol Biol Lett* 11: 536–556.
- Sahi, C., Singh, A., Blumwald, E. and Grover, A. 2006. Beyond osmolytes and transporters: novel plant salt-stress tolerance-related genes from transcriptional profiling data. *Physiol. Plant.* 127: 1–9.
- Senguttuvel, P., Vijayalakshmi, C., Thiyagarajan, K., Kannanbapu, J.R., Kota, S., Padmavathi, G., Geetha, S., Sritharan, N. and Viraktamath, B.C. 2014. Changes in photosynthesis, chlorophyll fluorescence, gas exchange parameters and osmotic potential to salt stress during early seedling stage in rice (*Oryza sativa* L.). *SABRAO Journal of Breeding and Genetics* 46: 120–135.
- Singh, H.P., Batish, D.R. and Kohli, R.K. 2003. Allelopathic interactions and allelochemicals: new possibilities for sustainable weed management. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22: 239-311.
- Thijs, H., Shann, J.R. and Weidenhamer, J.D. 1994. The Effect of Phytotoxins on Competitive Outcome in a Model System. *Ecology* 75(7): 1959-1964.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Lithourgidis, A. and Eleftherohorinos, I. 2009. Allelopathic potential of 50 barley cultivars and the herbicidal effects of barley extract. *Allelopathy journal* 24: 309-320.
- Weir, T.L. and Vivanco, J.M. 2008. Allelopathy: Full circle from Phytotoxicity to Mechanisms of Resistance. In Zeng, R.S., Mallik, A.U. and Luo S.M. (eds.) *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer, New York, USA, 105-118.

- Weston, L.A. 1996. Utilization of Allelopathy for Weed Management in Agroecosystems. *Agronomy Journal* 88: 860-866.
- Willis, R.J. 2007. *The History of Allelopathy*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Witzel, K., Matros, A., Møller, A.L.B., Ramireddy, E., Finnie, C., Peukert, M., Rutten, T., Herzog, A., Kunze, G., Melzer, M., Kaspar-Schoenefeld, S., Schmölling, T., Svensson, B. and Mock, H-P. 2018. Plasma membrane proteome analysis identifies a role of barley membrane steroid binding protein in root architecture response to salinity *Plant Cell Environ.* 41:1311–1330.
- Xuan, T.D., Shinkichi, T., Khanh, T.D. and Min, C.I. 2005. Biological Control of Weeds and Plant Pathogens in Paddy Rice by Exploiting Plant Allelopathy: an overview. *Crop Protection* 24: 197-206.
- Zimdahl, R.L. 1993. *Fundamentals of Weed Science*. Academic Press, San Diego, USA.