

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ



HELLENIC
MEDITERRANEAN
UNIVERSITY
SCHOOL of AGRICULTURE
SCIENCE
DEPARTMENT of AGRICULTURE

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΛΑΦΗ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΜΑΡΙΑ ΜΕΛΕΣΑΝΑΚΗ

ΜΑΙΟΣ, 2019

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ,
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ,
<2019>

ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΚΑΘ. ΠΑΠΑΔΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΚΑΘ. ΛΑΔΩΜΕΝΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

ΚΑΘ. ΤΣΟΡΑΓΛΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ

**ΤΟ ΕΡΓΟ ΑΥΤΟ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ**

Στους γονείς μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε στο εργαστήριο Εδαφολογίας του τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου με την επιστημονική υποστήριξη του εργαστηρίου εδαφολογίας. Αυτή τη στιγμή που το έργο έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Παπαδάκη Αναστασία για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο εργαστήριό της και να προσπαθήσω να φέρω σε πέρας ένα, όπως αποδείχθηκε, δύσκολο έργο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	VI
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	VII
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ.....	VIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	IX
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΕΔΑΦΟΣ	1
1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	2
1.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	2
1.4 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	5
1.5 ΕΔΑΦΙΚΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	6
1.6 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	7
1.7 ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	8
2 ΑΙΤΙΑ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	919
2.1 ΧΡΗΣΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ	919
2.2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	12
2.3 ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	13
3 ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	17
3.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΦΥΤΑ.....	17
3.2 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	23
3.3 ΠΟΡΕΙΑ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	25
4 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ	29
4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	29
4.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ.....	32
4.3 ΧΡΗΣΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	34
4.4 ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ: ΈΝΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ.....	40
4.5 ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ	44
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	47
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	4849

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Πίνακας 1: Οι συντομεύσεις που χρησιμοποιούνται μέσα στο κείμενο και στις Εικόνες / Σχήματα

Σύντομευση	Πλήρες όνομα
<i>EC</i>	<i>Ηλεκτρική αγωγιμότητα</i>
<i>SAR</i>	<i>Λόγος προσρόφησης νατρίου</i>
<i>ESP</i>	<i>Ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου</i>
<i>RSC</i>	<i>Υπολειμματικό ανθρακικό ασβέστιο</i>
<i>LR</i>	<i>Κλάσμα στράγγισης</i>
<i>AM</i>	<i>Μύκητας arbuscular mycorrhizal</i>
<i>PGPB</i>	<i>Είδος βακτηρίου</i>
<i>PGPR</i>	<i>Είδος βακτηρίου</i>
<i>ISC</i>	<i>Επαγόμενη συστημική ανοχή</i>
<i>proBA</i>	<i>Είδος γονιδίου</i>
<i>m</i>	<i>Μέτρα-Μονάδα μέτρησης μήκους</i>
<i>cm</i>	<i>Εκατοστόμετρο-Μονάδα μέτρησης μήκους</i>
<i>s</i>	<i>Siemens- Μονάδα μέτρησης ηλ.αγωγιμότητας</i>
<i>ms</i>	<i>Millisiemens- Μονάδα μέτρησης ηλ.αγωγιμότητας</i>
<i>ml</i>	<i>Χιλιοστόλιτρο-Μονάδα μέτρησης όγκου</i>
<i>gr</i>	<i>Γραμμάριο-Μονάδα μέτρησης μάζας</i>
<i>mgr</i>	<i>Χιλιογραμμάρια-Μονάδα μέτρησης μάζας</i>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία γίνεται λόγος για την αλατότητα του εδάφους, την διαχείριση και την αποκατάσταση της. Η εδαφική αλατότητα ορίζεται ως η συσσώρευση υδατοδιαλυτών αλάτων στο έδαφος. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εύρεση και η αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό, οι συνέπειες που έχουν δημιουργήσει καθώς και οι τρόποι άρσης της εδαφικής αλατότητας. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα κύρια αίτια έξαρσης αυτού του φαινομένου τα οποία είναι το νερό άρδευσης, τα καλλιεργητικά μέτρα, η τοπογραφική περιοχή και η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Όλα τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα να επηρεάσουν τόσο τα φυτά όσο και το έδαφος ειδικά στην περίπτωση συσσώρευσης του νατρίου. Παρουσιάζονται μια σειρά μέτρων και αξιοσημείωτων δράσεων με στόχο την άρση του φαινομένου, ενώ για την αποτελεσματικότερη αποκατάσταση της συσσώρευσης αλάτων στο έδαφος χρειάζεται μια σειρά λήψης μέτρων και ποτέ μεμονωμένα. Ως τρόποι αντιμετώπισης της εδαφικής αλατότητας αποτελούν τα καλλιεργητικά μέτρα όπως είναι το στραγγιστικό δίκτυο, η ισοπέδωση της εδαφικής επιφάνειας, η έκπλυση των αλάτων, ο έλεγχος της περιεκτικότητας του νατρίου και η σωστή μέθοδος άρδευσης. Ακόμη, σημαντικό μέτρο αποτελεί η χρήση ανθεκτικών ποικιλιών. Τον τελευταίο καιρό παρουσιάζονται καινοτόμες λύσεις όπως είναι η χρήση βακτηρίων και μυκήτων τα οποία πιθανότητα θα έχουν ευρεία χρήση στο μέλλον.

Abstract

In this research make report of the salt soil, her management and her restoration. The salt soil is the accumulation of salt water-soluble on the terrain. The purpose of this research is the finding and the evaluation of the factors which affect this phenomenon, the consequences which are made and the solution's ways of salt soil. Specifically, the basic causes of this phenomenon are mentioned as the water irrigation, cultivating ways, topographic region, and the overuse of fertilizers. All these causes make affects not only to the plants, but also to the terrain especially in the case of the sodium's accumulation. Many kind of ways and remarkable actions are presented with target to solve this phenomenon, while we need for more effective restoration many king of ways simultaneously and not individually. As ways to deal with the salt soil are the cultivating ways, such as drainage web, leveling the terrain's surface, blenching of salts, control the content of sodium and the right method of irrigating. Additionally, important way constitute the use of resistant varieties. Contemporary, innovative solutions are presented such as the use of bacteria and fungi which probable use in broad on the future.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΕΔΑΦΟΣ

Το ανώτατο στρώμα του φλοιού της γης ονομάζεται έδαφος. Είναι η στρώση γης από την επιφάνεια έως και 35cm – 50cm βάθος. Το στρώμα κάτω από το έδαφος ονομάζεται υπέδαφος. Το έδαφος συγκρατεί τα οργανικά και ανόργανα συστατικά της επιφάνειας της γης και είναι εξαιρετικά σημαντικό για τον άνθρωπο διότι σε αυτό καλλιεργεί τα προϊόντα του, αλλά το χρησιμοποιεί και για τις κατασκευές που φτιάχνει, παίρνει τις πρώτες ύλες και σε αυτό στηρίζει τις κατασκευές του. Οποιαδήποτε λοιπόν μεταβολή στο έδαφος ή και το υπέδαφος χρήζει έρευνας και μελέτης από τον άνθρωπο.

Το έδαφος σχηματίζεται με φυσικό τρόπο από την αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων της γης που συντελείται με την επίδραση ορισμένων παραγόντων όπως οι συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας, η βροχή, ο άνεμος, οι χημικές αντιδράσεις, οι μικροοργανισμοί, τα ανώτερα φυτά, οι ζωικοί οργανισμοί και άλλα. Ο τρόπος σχηματισμού και εξέλιξης των εδαφών ονομάζεται εδαφογένεση. Το έδαφος είναι ένας φυσικός πόρος που χρειάζεται πάρα πολύ καιρό να δημιουργηθεί. Για να σχηματιστεί ένα εκατοστό εδάφους απαιτούνται δεκάδες χρόνια, μπορεί και ένας αιώνας (Σινάνης, 2009).

1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Οι βασικές λειτουργίες του εδάφους είναι οι παρακάτω:

- Αποτελεί το μέσο ανάπτυξης των φυτών. Τα φυτά στηρίζονται στο έδαφος με τις ρίζες τους και δια μέσου αυτών εφοδιάζονται με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξή τους.
- Είναι το μέσο για την παροχή και τον καθαρισμό του νερού. Η χρησιμοποίηση του ύδατος, οι απώλειες του, ρύπανση και καθαρισμός αυτού γίνονται μέσω του εδάφους.
- Αποτελεί το σύστημα ανακύκλωσης της φύσης. Όλα τα παραγόμενα απορρίμματα από τους ανθρώπους, τα φυτά και τα ζώα αποσυντίθενται εντός του εδάφους παράγοντας θρεπτικά στοιχεία, τα οποία επαναχρησιμοποιούνται από τις επόμενες γενεές των οργανισμών που υπάρχουν στο έδαφος.
- Αποτελεί το φυσικό περιβάλλον των πολυάριθμων ζώντων μακροοργανισμών και μικροοργανισμών.
- Παίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή των παντός είδους κτισμάτων είτε χρησιμοποιούμενο το ίδιο ως κατασκευαστικό υλικό είτε αποτελώντας τα θεμέλια δρόμων, αεροδρομίων και των σπιτιών στα οποία κατοικούμε (Σινάνης, 2009).

1.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η ποιότητα του εδάφους αναφέρεται στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά αυτού. Έτσι προκειμένου να προβούμε σε μια ολοκληρωμένη εκτίμηση αυτής, πρέπει να μετρούνται όλες τις κατηγορίες ιδιοτήτων που περιγράφουν τα συστατικά αυτά, αν και όλες οι ιδιότητες δεν έχουν την ίδια βαρύτητα για όλα τα εδάφη και όλες τις συνθήκες. Για παράδειγμα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν είναι χρήσιμη ιδιότητα σε περιοχές όπου η αλατότητα δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα.

Η ποιότητα του εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί με δύο τρόπους:

- Να μετριέται περιοδικά με τον χρόνο για να παρακολουθούνται οι μεταβολές ή οι τάσεις της.
- Να συγκρίνονται οι μετρούμενες τιμές με standards ή τιμές αναφοράς.

Ελάχιστος αριθμός ιδιοτήτων με τις οποίες μπορεί να εκτιμηθεί ικανοποιητικά η ποιότητα του εδάφους είναι οι παρακάτω (Doran and Parkin, 1996):

Φυσικές ιδιότητες

- Κοκκομετρική σύσταση
- Βάθος εδάφους, επιφανειακού εδάφους και ριζοστρώματος
- Διηθητικότητα και φαινομενική πυκνότητα
- Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

Χημικές ιδιότητες

- Περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (ολικός C, ολικό N) του εδάφους
- pH του εδάφους
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους
- Συγκέντρωση των N, P, K του εδάφους

Βιολογικές ιδιότητες

- Μικροβιακή βιομάζα C και N
- Ανόργανο N (αναερόβια επώαση)
- Αναπνοή εδάφους, περιεκτικότητα σε υγρασία και θερμοκρασία

Με μια κάπως διαφορετική προσέγγιση και δεχόμενοι ότι η ποιότητα εδάφους είναι δείκτης ενός κατάλληλου εδάφους θα μπορούσαμε να πούμε ότι επηρεάζεται από: τη γονιμότητα, την αλατότητα, την αποστράγγιση, την οργανική ουσία, το pH και τη μηχανική σύσταση.

Διαφαίνεται λοιπόν ότι το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και τα νιτρικά ιόντα αποτελούν βασικούς συντελεστές στην εκτίμηση της ποιότητας του εδάφους. Έτσι αν θέλουμε να έχουμε άριστη ποιότητα εδάφους θα πρέπει να στοχεύουμε σε άριστη τιμή του pH της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και νιτρικών ιόντων.

Πιο συγκεκριμένα Το pH του εδάφους είναι μια μονάδα μέτρησης της οξύτητας ή της αλκαλικότητας του εδάφους. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια λογαριθμική κλίμακα. Η τιμή 7,0 του pH υποδηλώνει ουδέτερος έδαφος, ούτε όξινο ούτε αλκαλικό. Όταν η τιμή του pH είναι κάτω από 7,0 υποδηλώνει όξινο έδαφος, ενώ όταν η τιμή του pH είναι πάνω από 7,0 υποδηλώνει αλκαλικό έδαφος. Καθώς κάθε φυτό έχει προσαρμοστεί εδώ και αρκετές χιλιάδες χρόνια σε συγκεκριμένο περιβάλλον ένας από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν το περιβάλλον που θα ευδοκιμήσει κάποιο φυτό είναι και το pH. Κάθε φυτό χρειάζεται και

συγκεκριμένο pH άλλα ένας βασικός κανόνας για να υπάρξει επιτυχία στην καλλιέργειά μας είναι το pH να είναι ουδέτερο ($\text{pH}=7,0$) ή ελαφρώς όξινο ($\text{pH}<7,0$). Η τιμή του pH χρειάζεται να είναι ανάμεσα σε αυτό το εύρος τιμών επειδή σε αυτές τις τιμές του pH βρίσκεται το μεγαλύτερο ποσοστό συγκέντρωσης διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών για τα φυτά μας. Τα πολύ όξινα ή πολύ αλκαλικά εδάφη δεσμεύουν αρκετά θρεπτικά συστατικά και δεν είναι απορροφήσιμα από τα φυτά με αποτέλεσμα να πλήττονται ευκολότερα από ασθένειες ή να μην αναπτύσσονται σωστά.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μετράει το δυναμικό μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του νερού η οποία είναι γνωστή ως γραμμομοριακή αγωγιμότητα (ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα) και εκφράζεται ως siemens (S). Τα ηλεκτρόνια ρέουν από μια σειρά ηλεκτροδίων σε μια άλλη μέσα στο νερό, όχι λόγω των μορίων του νερού αλλά λόγω των ιόντων του νερού. Τα ιόντα μεταφέρουν τα ηλεκτρόνια και περιορίζουν την ποσότητα των ηλεκτρονίων που μπορούν να ταξιδέψουν στο χώρο με τον αριθμό των ιόντων που είναι διαθέσιμα ή μπορούν να μεταφέρουν. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή. Το ίδιο το καθαρό νερό είναι ένας κακός αγωγός, οπότε ένας μετρητής EC θα διαβάζει την τιμή 0,0 σε νερό βροχής, νερό αντίστροφης ώσμωσης ή νερό απομάκρυνσης του νερού. Αντίθετα, το αλμυρό θαλασσινό νερό είναι ένας πολύ καλύτερος αγωγός. Όταν προσθέτουμε θρεπτικά συστατικά στο νερό, αυξάνουμε έτσι την μοριακή του αγωγιμότητα και κατά συνέπεια αυξάνουμε την ηλεκτρική του αγωγιμότητα (EC). Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις αγωγιμότητας επηρεάζονται άμεσα από τη θερμοκρασία. Το νερό που περιέχει μεταλλικά άλατα έχει EC, αλλά αυτό δε σημαίνει πως όλες οι μετρήσιμες ηλεκτρικές αγωγιμότητες δείχνουν την παρουσία πολύτιμων θρεπτικών αλάτων για το φυτό. Το νερό της βρύσης μπορεί να περιέχει νάτριο και χλωριούχο άλας με κάποια τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας αλλά αυτό δε σημαίνει πως το νερό βρύσης έχει θρεπτική αξία για τα φυτά. Τα άλατα έχουν την ιδιότητα να προσελκύουν φαινομενικά το νερό, διαδικασία γνωστή ως υδρόλυση. Ένα δοχείο αλατιού τοποθετημένο σε ένα κελάρι θα μειώσει την ατμοσφαιρική υγρασία εκεί. Σε ένα διάλυμα, η συγκέντρωση αλάτων θα προσπαθήσει πάντοτε να εξισορροπήσει σε δύο διαφορετικές περιοχές τις συγκεντρώσεις με κίνηση του νερού στην περιοχή υψηλότερης συγκέντρωσης. Αυτή η διαφορά στις συγκεντρώσεις είναι γνωστή ως βαθμίδα δυναμικού ύδατος. Αυτή η ιδιότητα παίζει επίσης ρόλο στην καλλιέργειά μας μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως ώσμωση η οποία περιλαμβάνει ένα ημιπερατό φράγμα που επιτρέπει στο νερό να περάσει αλλά περιορίζει την

κίνηση ιόντων ή αλάτων. Όταν δίνουμε πολλά θρεπτικά συστατικά (υψηλή EC), τα θρεπτικά άλατα προσελκύουν το νερό στο υπόστρωμα για τον εαυτό τους. Αυτό καθιστά πιο δύσκολο για τις ρίζες να προσλάβουν το νερό από το υπόστρωμα. Επομένως είναι ακόμη δυνατό να δημιουργήσουμε τέτοιες συνθήκες σε ένα υγρό υπόστρωμα στο οποίο οι ρίζες δεν είναι πλέον σε θέση να προσλάβουν άλλο νερό από το υπόστρωμα. Στην ουσία το υπόστρωμα μετατρέπεται σε «φυσιολογικά στεγνό». Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα φυτά να μην έχουν πλέον διαθέσιμο νερό για διαπνοή (εξάτμιση) ώστε να μπορέσουν να «δροσιστούν». Ακόμα κι αν αυτό αναφέρεται συνήθως ως υπερβολική λίπανση, είναι στην πραγματικότητα μια έλλειψη νερού.

Τα νιτρικά και νιτρώδη ιόντα αποτελούν μια ομάδα χημικών ενώσεων από άζωτο και οξυγόνο (NO_3^- και NO_2^- , αντίστοιχα) τα οποία ανευρίσκονται φυσικά σε τρόφιμα και στα στοιχεία της φύσης όπως νερό και χώμα. Συνήθως, είναι συζευγμένα με άλλες οργανικές και ανόργανες ενώσεις σχηματίζοντας νιτρικά άλατα. Παρόλο που αποτελούν μια φυσική ένωση, η συγκέντρωση από νιτρικά και νιτρώδη άλατα μπορεί να αυξηθεί ανάλογα την επεξεργασία που υπόκεινται. Στα φυτά η συγκέντρωσή τους αυξάνει λόγω χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων, στο νερό λόγω επιμόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα, ενώ στη βιομηχανία τροφίμων λόγω ανθρώπινης προσθήκης. Καθώς δεν είναι υδατοδιαλυτά μόρια, η αυξημένη παρουσία τους στα φυτά έχει επίπτωση στην επιμόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα και κατ' επέκταση και του νερού.

1.4 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Οι επιδράσεις του pH του εδάφους στην αύξηση των φυτών προέρχονται αφενός από τις επιδράσεις του pH στη λειτουργία του ριζικού συστήματος και αφετέρου από τις επιδράσεις του pH στις χημικές ιδιότητες του εδάφους.

Η όξυνση και η αλκαλίωση των εδαφών σε όλο τον κόσμο συνδέεται στενά με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή, διότι οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν τις ιδιότητες των εδαφών, είναι δε γνωστό ότι οι βροχοπτώσεις και η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζουν την ένταση της έκπλυσης των θρεπτικών στοιχείων και την ένταση της αποσάθρωσης των ορυκτών. Η έκπλυση των στοιχείων του εδάφους μαζί με την αποσάθρωση των ορυκτών επηρεάζουν τις χημικές ιδιότητες των εδαφών και

ειδικότερα την πορεία όξυνσης, την αλάτωση και την αλκαλίωση των εδαφών.

Η όξυνση των εδαφών παρατηρείται σε εδάφη που δέχονται έντονες βροχοπτώσεις, ενώ η αλκαλίωση παρατηρείται στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές στις οποίες δεν παρατηρούνται μεγάλες βροχοπτώσεις. Σε μία δεδομένη περιοχή ο βαθμός όξυνσης του εδάφους εξαρτάται από:

- Τη φυτική βλάστηση
- Τη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους
- Την όξινη βροχή
- Το είδος των ορυκτών του εδάφους και την ικανότητα που έχουν τα ορυκτά να εξουδετερώνουν την οξίνιση που προκαλείται από την έκλυση

Η αλκαλίωση των εδαφών εξαρτάται από τα μητρικά πετρώματα που υπάρχουν στην περιοχή καθώς και από:

- Τη βλάστηση
- Το βροχομετρικό ύψος
- Την ποιότητα των νερών για την άρδευση των καλλιεργειών
- Τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα

1.5 ΕΔΑΦΙΚΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Η εδαφική αλατότητα ορίζεται ως η υπερβολική συσσώρευση διαλυτών αλάτων σε τέτοιο ποσοστό, ώστε να προκαλείται μείωση της παραγωγής των καλλιεργούμενων φυτών ή γενικότερα να εμφανίζονται πολυάριθμα προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών.

Τα αλατούχα εδάφη υπάρχουν σχεδόν σε όλο τον κόσμο και δημιουργούνται κυρίως υπό την επίδραση ξηροθερμικών ή ημίξηρων κλιματικών συνθηκών και υψηλών θερμοκρασιών. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία ελεύθερων διαλυτών αλάτων, τα οποία πολλές φορές μπορεί να είναι εμφανή στην επιφάνεια του εδάφους υπό τη μορφή λεπτής επιφανειακής στρώσης. Κυρίως όμως τα άλατα συγκεντρώνονται κατά μήκος της εδαφοκατατομής και ιδιαίτερα στην περιοχή της ριζόσφαιρας.

Αλατούχα εδάφη παρατηρούνται και σε ξερές περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις δεν επαρκούν να ξεπλύνουν τα διαλυτά άλατα στο έδαφος. Η αλατότητα χαρακτηρίζεται σοβαρό πρόβλημα στη γεωργία τόσο για πολυετείς όσο μονοετείς καλλιέργειες. Τα τελευταία χρόνια, το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται εντονότερο λόγω της αυξανόμενης εισροής ανόργανων

λιπασμάτων και των αρδευόμενων εκτάσεων με κακής ποιότητας νερό, που συνήθως αντλείται από μεγάλα βάθη και είναι πλούσιο σε διαλυτά άλατα. Η ολική περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα ποικίλει από λίγα έως 5000 ppm σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

Η δημιουργία αλατούχων εδαφών σχετίζεται τόσο με την τοπογραφική και γεωγραφική θέση μιας περιοχής όσο και με την ποιότητα του νερού άρδευσης.

Σχετικά με την τοπογραφική και γεωγραφική θέση μιας περιοχής περιλαμβάνονται:

- Τα δέλτα των ποταμών ή παραθαλάσσιες περιοχές που κατακλύζονται εποχιακά από τα νερά της θάλασσας
- Περιοχές που βρίσκονται στα χαμηλότερα σημεία μιας ευρύτερης λεκάνης
- Περιοχές με εδάφη βαριάς σύστασης και με μικρή διαπερατότητα.

1.6 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η κατάταξη των εδαφών σύμφωνα με τον **Πίνακα 1** είναι η εξής:

- Εδάφη αλατούχα. Τα εδάφη αυτά είναι μη νατριωμένα που περιέχουν υδατοδιαλυτά άλατα σε ποσότητες τέτοιες, που να αναστέλλουν την αύξηση των περισσότερων φυτών. Το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) είναι μικρότερο από 15 και το pH συνήθως μικρότερο από 8,5. Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού εκχυλίσματος του πολτού μέσα από έρευνες παρατηρήθηκε ότι στα αλατούχα εδάφη είναι μικρότερη από 4 dS/m στους 25 °C. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση η ηλεκτρική αγωγιμότητα να τείνει να είναι μικρότερη στα 2 dS/m ειδικότερα στις δενδρώδεις καλλιέργειες.
- Εδάφη αλατούχα νατριωμένα. $EC_e > 2$ ds/m , $SAR > 13$, $ESP > 15$, $pH < 8.5$
- Εδάφη μη αλατούχα - νατριωμένα. $EC_e < 2$ ds/m , $SAR > 13$, $ESP > 15$, $pH < 8.5$

Πίνακας 1. Ταξινόμηση αλατούχων εδαφών (Brady, 2002).

Ταξινόμηση αλατούχων εδαφών	EC (dS/m)	εδαφικό pH	SAR	Εδαφικές φυσικές συνθήκες

Αλατούχα	> 2.0	< 8.5	<13	Κανονικές
Αλατούχα-Νατριωμένα	> 2.0	< 8.5	>13	Κανονικές
Νατριωμένα	< 2.0	> 8.5	>13	Φτωχές

1.7 ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται γύρω από τους εξής άξονες:

- Στην έννοια της εδαφικής αλατότητας και στους παράγοντες που ευθύνονται για την έξαρση του φαινομένου αυτού.
- Γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις που έχει δημιουργήσει η εδαφική αλατότητα, τόσο στην ποιότητα του εδάφους, όσο και στη φυσιολογία των φυτών.
- Στους τρόπους διαχείρισης του εδάφους για την αποφυγή των αρνητικών επιπτώσεων της αλατότητας.

2 ΑΙΤΙΑ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1 ΧΡΗΣΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

Η εκτεταμένη γεωργική βιομηχανία και η εκμετάλλευση σε αρκετές ερημικές και ημι-ερημικές περιοχές οδηγούν στην μακροπρόθεσμη υποβάθμιση της εδαφικής ποιότητας λόγω της εδαφικής αλατότητας και της αποξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα, έρευνες έχουν δείξει ότι

σε ξηροθερμικές περιοχές το νερό μπορεί να χαρακτηρίζεται καλής ποιότητας, αλλά αποτελεί πηγή αλάτων για το έδαφος. Συγκεκριμένα, περίπου το 40% της παγκόσμιας έκτασης αντιμετωπίζει προβλήματα λόγω της αλατότητας.

Στις μέρες μας η αλόγιστη χρήση τεχνητής άρδευσης μέσω των γεωτρήσεων και της υπεράντλησης νερού από μεγάλο βάθος, έρευνες έχουν δείξει ότι μέχρι το 2050 το 50% των αρδευόμενων εκτάσεων θα είναι αλατωμένα. Σε περιοχές χαμηλών βροχοπτώσεων η έκπλυση αλάτων δεν θεωρείται επαρκής και έτσι η αλατότητα είναι πιθανόν να χαρακτηριστεί περιοριστικός παράγοντας για τη φυτική παραγωγή. Όσον αφορά την αντοχή στα άλατα, οι διαφορές των ειδών αλλά και οι διαφορές εντός του ίδιου είδους μπορούν να βοηθήσουν στην άρση του φαινομένου και στη βελτίωση της παραγωγής. Δεν πρέπει όμως να παραγκωνίζονται οι καλλιεργητικές εκείνες τεχνικές που εμποδίζουν τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος.

Με άλλα λόγια, η αλόγιστη χρήση χημικών λιπασμάτων κατά τα συμβατικά συστήματα καλλιέργειας δημιουργούν ολοένα και μεγαλύτερα προβλήματα στο περιβάλλον. Αρχικά, τα χημικά λιπάσματα έχουν την ικανότητα να διαλύονται εύκολα αφού αποτελούνται από ανόργανα άλατα με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στο έδαφος καθώς και στα υπόγεια ύδατα, στις λίμνες και τα ποτάμια προκαλώντας έτσι διατάραξη του οικοσυστήματος. Επιπρόσθετα, τα λιπάσματα αυτά έχουν την ικανότητα να διαταράσσουν τις ιδιότητες του εδάφους με αποτέλεσμα να αυξάνουν την αλατότητα και την εδαφική οξύτητα προκαλώντας έτσι πρόβλημα στους μικροοργανισμούς που ζούν στο έδαφος.

Σήμερα η ανάγκη για τη δημιουργία βιολογικών λιπασμάτων και βιολογικών μεθόδων ολοένα και μεγαλώνει με σκοπό την αντικατάσταση των συμβατικών με καινοτόμες μεθόδους. Μέσω πειραμάτων έχει αποδειχθεί πως τα βιολογικά συστήματα καλλιέργειας καθώς και η χρήση βιολογικών λιπασμάτων οδηγούν στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, πυροδοτώντας μια σειρά αλυσιδωτών «εκρήξεων» που συνεισφέρουν θετικά στις καλλιέργειες.

Η ανάπτυξη αζωτοβακτηρίων στις ρίζες των ψυχανθών καθώς και η ανάπτυξη υφών μυκόρριζας που οδηγεί σε ταχύτερη απορρόφηση μαγνησίου και φωσφόρου από τα φυτά οδηγώντας έτσι στη θρέψη των φυτών και στην αντοχή τους στις αβιοτικές καταπονήσεις.

Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων δημιουργεί ζημιές. Ακόμα και τα λιπάσματα που βρίσκονται σε υγρή μορφή μέχρις ότου αραιωθούν προκαλούν τοξικότητα. Ο δείκτης αλατότητας (salt index) του κάθε λιπάσματος συγκρίνεται με ένα συγκεκριμένο λίπασμα σε ίσο βάρος με το

νιτρικό νάτριο. Ειδικότερα, τα υγρά λιπάσματα τα οποία έχουν διαφυλλική εφαρμογή στα καλλωπιστικά φυτά, καθώς και στα σπορόφυτα που βρίσκονται σε κατοικήσιμες περιοχές χρειάζεται να έχουν χαμηλό δείκτη αλατότητας. Ο δείκτης αλατότητας παραμένει χαμηλός με άλατα θρεπτικών στοιχείων όπως είναι το φωσφορικό κάλιο και η φωσφορική αμμωνία. (Τσικαλάς, 2003). Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο **Πίνακας 2** ο οποίος παρουσιάζει το δείκτη αλατότητας για τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα λιπάσματα.

Το πρόβλημα βρίσκεται αλλού και το προκαλεί ο άνθρωπος. Στην προσπάθεια του να εξασφαλίσει μια μεγαλύτερη γεωργική παραγωγή για έναν όλο και μεγαλύτερο πληθυσμό, και ζώντας σε μια περιοχή όπως τη Μεσόγειο, όπου το νερό είναι τόσο δυσεύρετο, δεν διστάζει να χρησιμοποιήσει ακόμα και νερό με υψηλή αλατότητα για αρδευτικούς σκοπούς. Μόνο που αυτό μπορεί και να κάνει ακόμα μεγαλύτερη ζημιά για το μέλλον: με την έτσι κι αλλιώς λόγω κλίματος υψηλή εξάτμιση, τα άλατα μένουν στο έδαφος, το οποίο με την πάροδο του χρόνου μπορεί να καταλήξει άχρηστο για γεωργική χρήση. Η υπερβολική άρδευση σε συνδυασμό με κακή στράγγιση ή η υπερβολική άντληση του υπόγειου νερού σε παραθαλάσσιες περιοχές (άρα και η εισροή θαλασσινού νερού, που έρχεται να αντικαταστήσει το γλυκό), είναι άλλες αιτίες που οδηγούν στο ίδιο αποτέλεσμα. Επιπλέον η κακή ισοπέδωση του εδάφους σε περιπτώσεις άρδευσης υπό κατάκλυση και η χρήση βαρέων μηχανημάτων δημιουργούν συμπίεση του εδάφους, καθώς και αδύναμη ικανότητα στράγγισης προκαλώντας συσσώρευση αλάτων στο έδαφος.

Πίνακας 2: Δείκτης αλατότητας για κοινά λιπάσματα (Rader, 1942).

Άλας	Δείκτης αλατότητας
Χλωριούχο κάλιο	116
Νιτρική αμμωνία	105
Νιτρικό νάτριο	100
Ουρία	75
Νιτρικό κάλιο	74
Θειική αμμωνία	69
Νιτρικό ασβέστιο	65
Θειικό κάλιο	46

Φωσφορικό διαμμώνιο	34
Φωσφορικό μοναμμώνιο	30
Υπερφωσφορικό (0-46-0)	10
Δισόξινο φωσφορικό κάλιο	8

2.2 **ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ**

Η αύξηση του πληθυσμού άρα και η ανάγκη για μεγαλύτερη γεωργική παραγωγή, μαζί με την επέκταση των εντατικών υδροβόρων καλλιεργειών, έχουν οδηγήσει σήμερα σε προβλήματα σε διάφορες περιοχές. Η τοπογραφική περιοχή αποτελεί ένας ακόμα κρίσιμο παράγοντα που επιδρά στην εναλάτωση του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα τα αλατούχα εδάφη απαντούν στις εξής περιοχές:

- Πλησίον των παραλίων περιοχών, όπου το θαλάσσιο νερό μεταφέρεται στην ξηρά είτε διά του ανέμου υπό μορφή σταγονιδίων, ή στο δέλτα των ποταμών όπου συσσωρεύονται τα άλατα και συμβάλλουν στη γένεση των αλατούχων εδαφών.
- Στις τοπογραφικές υφέσεις, ήτοι στα χαμηλά σημεία του αναγλύφου, όπου συγκεντρώνονται τα νερά απορροής. Λόγω δε της μη ύπαρξης διεξόδου τα νερά εξατμίζονται και αφήνουν τα άλατα, τα οποία συσσωρεύονται στην επιφάνεια του εδάφους.
- Στις περιοχές, όπου τα εδάφη έχουν χαμηλή περατότητα, τα νερά συσσωρεύονται στην επιφάνεια, καθώς εξατμίζονται, συμβάλλουν στην επιφανειακή συμπίκνωση των αλάτων και επομένως στην εναλάτωση του εδάφους.
- Στις αρδευόμενες, κατ' εξοχήν, περιοχές, όταν το χρησιμοποιούμενο νερό είναι υψηλής αγωγιμότητας, το έδαφος συνεκτικό και έχει υψηλή υπόγεια στάθμη, τότε ευνοείται η εναλάτωση με τη συνεργασία και των ξηροθερμικών συνθηκών.
- Στις περιοχές που επικρατούν χαμηλές βροχοπτώσεις και υψηλές θερμοκρασίες.

Με άλλα λόγια η τοπογραφική θέση της περιοχής κρίνεται απαραίτητη για την δημιουργία εδαφικών προβλημάτων επομένως, και της εναλάτωσης. Σημαντική παράλειψη θα ήταν εάν

ο αγρότης δεν ερευνήσει την περιοχή αυτή πριν την επιλογή της επιθυμητής καλλιέργειας για την αποφυγή μακροπρόθεσμων επιπτώσεις της αλάτωσης του εδάφους ως προς τα φυτά αλλά και ως προς το έδαφος.

2.3 ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Παρ' όλον ότι το νερό είναι το κύριο γενεσιουργό αίτιο της συσσώρευσης των αλάτων, εν τούτοις, είναι ταυτόχρονα και το βασικό μέσο αντιμετώπισης της, για τη βελτίωση των αλατούχων εδαφών. Δυστυχώς η αυξανόμενη έλλειψη νερού καλής ποιότητας για την άρδευση των καλλιεργειών σε πολλές περιοχές του κόσμου, όπου υποχρεωτικά εφαρμόζεται η αρδευόμενη γεωργία, έχει ως συνέπεια την όξυνση του προβλήματος αυτού (Σινάνης, 2015).

Στο διάλυμα που εκχυλίζεται από τον πολτό προσδιορίζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECe) στους 25 °C και χρησιμοποιείται για την μέτρηση του ποσού των αλάτων του εδαφικού εκχυλίσματος του πολτού. Η μέτρηση γίνεται σε decisiemens/m ή σε millisiemens/cm. Η απλούστερη κατάταξη των εδαφών με βάση την εδαφική αλατότητα (ECe) έχει ως εξής:

Αλατούχα εδάφη (ECe) > 2ds/m

Μη Αλατούχα εδάφη (ECe) < 2ds/m

Μια άλλη σχέση, με μεγάλη σημασία, είναι ο λόγος προσρόφησης νατρίου (Sodium Absorption Ratio - SAR). Το SAR είναι μία σχέση, για εδαφικά εκχυλίσματα και νερά άρδευσης και χρησιμοποιείται για την έκφραση της σχετικής ενεργότητας των ιόντων νατρίου σε αντιδράσεις ανταλλαγής με την φάση του εδάφους.

Το SAR προκύπτει από τη σχέση:

$$SAR = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{0.5}$$

Η συσσώρευση των αλάτων στο έδαφος είναι ένα φαινόμενο το οποίο λαμβάνει χώρα από καταβολής κόσμου. Δημιούργησε και δημιουργεί σοβαρά προβλήματα σε σχέση με την αποτελεσματική αξιοποίηση του εδάφους, λόγω της υποβάθμισης της παραγωγικότητάς τους. Δυστυχώς η ιστορία της γεωργίας είναι εγγενώς και αναποδράστως συνδεδεμένη με το σοβαρό αυτό πρόβλημα, που συνεχίζει να απασχολεί και να προβληματίζει τον άνθρωπο και στις ημέρες μας, λόγω των συνεπειών σε βάρος τόσο αυτού καθεαυτού του εδάφους, όσο

και της γεωργικής παραγωγής.

Η παρουσία ιόντων HCO_3^- στο νερό άρδευσης χαρακτηρίζεται μεγάλης σημασίας για τον λόγω του ότι τείνουν να αντιδρούν με τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου και να τα καταβυθίζουν με δημιουργία δυσδιάλυτων ενώσεων. Οι αντιδράσεις αυτές εφαρμόζονται όταν το νερό βρίσκεται στο έδαφος οδηγώντας έτσι στη μακροπρόθεσμη αύξηση της συγκέντρωσης του νατρίου στο έδαφος προκαλώντας έξαρση του φαινομένου της νατρίωσης στο έδαφος. Αντίστοιχα, την ίδια αντίδραση προκαλείται και από τα CO_3^{2-} ιόντα, όμως ο βαθμός συμμετοχής τους στον κίνδυνο της νατρίωσης είναι περιορισμένος επειδή συναντώνται σε αμελητέες ποσότητες στο νερό, εξαιτίας της ικανότητας τους να υδρολύονται. Για την επίδραση των όξινων ανθρακικών και των ανθρακικών ιόντων στη σχέση νατρίου προς το άθροισμα ασβεστίου, μαγνησίου (SAR) έχει διατυπωθεί μια εμπειρική προσέγγιση, για να προβλέπει τον κίνδυνο νατρίου σε συνδυασμό με την καταβύθιση CaCO_3 , που στηρίζεται στον υπολογισμό του «υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου» βάση της εξίσωσης:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^2 + \text{Mg}^2)$$

Το RSC (Residual Sodium Carbonate) υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο και οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε mmol(±)/L. Η προσέγγιση όμως αυτή μειονεκτεί ως προς το θεωρητικό υπόβαθρο γιατί προβλέπει πλήρη καταβύθιση μιας ποσότητας ασβεστίου ισοδύναμης με ποσότητα HCO_3^- (κυρίως). Από παλαιότερα όμως έχειδειχθεί ότι αυτή δεν είναι μια ρεαλιστική υπόθεση στις περισσότερες περιπτώσεις. Η ποσότητα HCO_3^- και Ca ενός νερού που θα καταβυθιστεί ως CaCO_3 εξαρτάται από την ποσότητα νερού που διέρχεται από το ριζόστρωμα και από το pH του νερού. Η τιμή του RSC αν και συχνά αναφέρεται στις αναλύσεις αρδευτικών νερών, η χρήση της δεν δικαιολογείται θεωρητικά.

Σήμερα τεράστιες εκτάσεις σ' όλο τον κόσμο τίθενται εκτός καλλιέργειας, εξαιτίας της εκτεταμένης εναλάτωσής τους και της συνέπειας αυτής υποβάθμισης της παραγωγικότητας. Το πρόβλημα δε αυτό γίνεται με την πάροδο του χρόνου οξύτερο.

Το μέγεθος των προβλημάτων, που δημιουργούνται από την αυξανόμενη εναλάτωση του εδάφους σε βάρος των φυτών, εξαρτάται από το βαθμό συσσώρευσης των αλάτων στην περιοχή της ριζόσφαιρας, γεγονός που συνδέεται άμεσα με το νερό της άρδευσης. Η υψηλή συγκέντρωση των αλάτων στην περιοχή αυτή αυξάνει σημαντικά το ωσμωτικό φορτίο του εδαφοδιαλύματος και καθιστά προβληματική την πρόσληψη του νερού από τα φυτά, με συνέπεια τη μάρανση και την τελική καταστροφή τους.

Εάν μάλιστα υπερισχύει το NaHCO_3 μεταξύ των αλάτων, τότε η αυξημένη παρουσία το Na^+ καταστρέφει τα συσσωματώματα, αποδιοργανώνει τη δομή του εδάφους και το διαμερίζει σε μικρότερα τεμαχίδια, καθιστώντας το λεπτόκοκκο, συμπαγές και άκρως συνεκτικό και κατά συνέπεια αδιαπέραστο στο νερό. Ως εκ τούτου, επιτείνεται η περαιτέρω συσσώρευση των αλάτων, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της παραγωγικότητάς του.

Όσον αφορά τη διαπερατότητα (permeability) του εδάφους, είναι η ικανότητα που έχει ένας γεωλογικός σχηματισμός (έδαφος ή πέτρωμα) να επιτρέπει τη διείσδυση και κυκλοφορία του νερού δια μέσου αυτού. Όλα τα εδάφη έχουν κενά ή πόρους και μπορούν να περιγραφούν ως πορώδη. Όμως, για να είναι δυνατή η ροή του νερού μέσα από αυτά, πρέπει τουλάχιστον κάποια να είναι συνεχή ώστε το έδαφος να χαρακτηριστεί διαπερατό. Λόγω του υδρολογικού κύκλου (βροχόπτωση, διείσδυση νερού) οι πόροι του εδάφους γεμίζουν με νερό. Δημιουργείται επομένως μια ζώνη κορεσμού κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, η ανώτερη στάθμη της οποίας ονομάζεται υδροφόρος ορίζοντας. Προφανώς, όσο πιο εντατική είναι η άρδευση και όσο πιο ξηρό και θερμό είναι το κλίμα, τόσο πιο μεγάλα είναι τα προβλήματα αλάτωσης. Στα αργιλώδη εδάφη η διαπερατότητα χαρακτηρίζεται αρκετά χαμηλή, με αποτέλεσμα να προκαλείται αξιοσημείωτη αδυναμία στράγγισης και ανικανότητα του νερού να εισχωρήσει στο εσωτερικό του εδάφους. Με άλλα λόγια, το νερό παραμένει στο έδαφος αρκετό χρόνο, εξατμίζεται, έστω και μακροπρόθεσμα, αφήνοντας πίσω του άλατα κατακλύζοντας το έδαφος. Οι μακροπρόθεσμη αυτή διαδικασία και η αλληπάλληλη εξάτμιση του νερού επιφέρει όλο και μεγαλύτερη συσσώρευση αλάτων στην επιφάνεια του εδάφους προκαλώντας έξαρση του φαινομένου.

Τα αλατούχα εδάφη, για να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά, θα πρέπει οπωσδήποτε να βελτιωθούν, δηλαδή να απομακρυνθούν τα άλατα, να αποκατασταθεί στο μέτρο του δυνατού η δομή του εδάφους και να επανακτήσει το έδαφος την απολεσθείσα παραγωγικότητά του. Η βελτίωση των αλατούχων εδαφών απαιτεί κάποιες προϋποθέσεις, κυριότερη των οποίων είναι η εξασφάλιση νερού καλής ποιότητας και η επαρκής στράγγιση. Η διατήρηση της παραγωγικότητας των ήδη βελτιωμένων εδαφών θα εξαρτηθεί από το σύστημα της μελλοντικής διαχείρισής τους.

Η γνώση της περιεκτικότητας σε υγρασία του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο στην εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της εδαφικής κατατομής, στη μελέτη της κίνησης των αλάτων και των διάφορων αγροχημικών προϊόντων στο έδαφος, καθώς και στην διαχείριση του αρδευτικού νερού γενικότερα. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχει υπάρξει σημαντική

πρόδος στις τεχνολογίες μέτρησης της περιεκτικότητας σε νερό του εδάφους και γενικότερα των πορωδών μέσων.

3 ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΦΥΤΑ

Η αλατότητα εδαφών ή αλλιώς η υπερβολική συσσώρευση διαλυτών αλάτων σε τέτοιο επίπεδο, προκαλούν μείωση της παραγωγής των καλλιεργούμενων φυτών δημιουργώντας προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών (Καλύβας, 2003). Διαλυτά άλατα, είναι ενώσεις που είναι περισσότερο διαλυτές από το γύψο ο οποίος έχει διαλυτότητα 0,241 gr/100 ml ενώ το γνωστό NaCl έχει διαλυτότητα 35,7 gr/100 ml (Miller & Donahue, 1995).

Οι τρόποι επίδρασης των διαλυτών αλάτων στην ανάπτυξη των φυτών είναι:

- Αυτοί που αναφέρονται σε ειδικές επιζήμιες επιδράσεις στα φυτά και οφείλονται σε συγκεκριμένα ιόντα που υπάρχουν στο έδαφος
- Αυτοί που αναφέρονται σε μια καθολική επίδραση στα φυτά, σαν αποτέλεσμα αύξησης της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος γύρω από τις ρίζες των φυτών.

Οι ειδικές επιζήμιες επιδράσεις στα φυτά κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

A) σ' αυτές που οφείλονται στα ιόντα, τα οποία βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα

B) σ' αυτές που οφείλονται στα ιόντα τα οποία βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα.

Γενικά η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα (αλατότητα) προκαλεί νανισμό στα φυτά. Ο νανισμός αυτός μπορεί να μη γίνει αντιληπτός αν δεν υπάρχουν για σύγκριση φυτά που αναπτύσσονται σε εδάφη με μικρή αλατότητα. Η υψηλή αλατότητα μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών κατά 20%. Χωρίς βέβαια να υπάρχουν εμφανή συμπτώματα αντιληπτά στους παραγωγούς, που να οφείλονται στην επιζήμια δράση των αλάτων. Όταν η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων είναι υψηλή, τότε σε ορισμένα είδη φυτών η επιζήμια δράση τους γίνεται εμφανής γιατί τα φύλλα των φυτών αποκτούν ένα μουντό χρώμα, συνήθως κοκκινοπράσινο και στη συνέχεια καλύπτονται από μία κηρώδη επίστρωση.

Οι επιζήμιες επιδράσεις των διαλυτών αλάτων συνοψίζονται παρακάτω:

- Φυσιολογική δίψα στα φυτά, που είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της οσμωτικής πίεσης
- Αυξανόμενη υδρολογική αντίσταση των ριζών και των φυτών
- Μεταβολή των ορμονικών επιπέδων στα φυτά, που επιδρούν στους ρυθμούς αύξησης των φυτών
- Άμεση επιζήμια επίδραση, ειδικότερα στους μηχανισμούς φωτοσύνθεσης των φυτών
- Ανταγωνισμός των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα τη χρήση αυξημένης ενέργειας, προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία του λόγου K/Na

Βέβαια οι παραπάνω επιζήμιες επιδράσεις των διαλυτών αλάτων δεν έχουν διερευνηθεί αρκετά μέχρι σήμερα. Το νερό αντλείται από τα φυτά μέσω του εδάφους με την ικανότητα της απορρόφησης η οποία είναι μεγαλύτερη από την δύναμη συγκράτησης του νερού από το έδαφος. Το φυτό θα πρέπει να επιτελούν αυτή την λειτουργία με σκοπό να εξασφαλίσει αρκετή ποσότητα νερού για τις ανάγκες του γιατί διαφορετικά το φυτό θα υποστεί το φαινόμενο της υδατικής καταπόνησης. Το οσμωτικό δυναμικό δηλαδή η ικανότητα ενός φυτού να αντλεί νερό από το έδαφος αυξάνεται από την δράση των αλάτων τα οποία περιέχονται στο εδαφικό διάλυμα. Σε περίπτωση που το αρδευόμενο νερό περιέχει άλατα τότε κρίνεται απαραίτητη να δοθεί μεγαλύτερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου νερού, με σκοπό τα φυτά να αντλούν νερό απαλλαγμένο από άλατα. Όταν έχουμε δύο όμοια εδάφη και διαθέτουν την ίδια περιεκτικότητα νερού, αλλά το ένα είναι αλατούχο το δε άλλο δεν είναι

αλατούχο τα φυτά διαθέτουν την ικανότητα άντλησης περισσότερου νερού από το μη αλατούχο έδαφος. Η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση νερού από αλατούχο έδαφος (οσμωτικό δυναμικό) προστίθεται στην ενέργεια που απαιτείται για την άντληση νερού από μη αλατούχο έδαφος (έδαφος – υδατικό δυναμικό). Οι επιζήμιες επιδράσεις που παρατηρούνται στα φυτά, δεν οφείλονται μόνο στο νάτριο και στο βόριο, αλλά και στην υψηλή τιμή του pH του εδάφους. Όταν το pH του εδάφους έχει υψηλή τιμή, τα φωσφορικά ιόντα, ο σίδηρος και το μαγγάνιο του εδάφους δεν είναι διαθέσιμα στα φυτά. Επίσης στις περιπτώσεις που η τιμή του pH είναι υψηλή, η δομή του εδάφους καθίσταται ασταθής στη δράση του νερού με αποτέλεσμα τη μείωση της διηθητικότητας και τη μείωση των εδαφικών πόρων. Τα νερά άρδευσης που περιέχουν βόριο περισσότερο από 0,75mg/l πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή, ιδίως στα εσπεριδοειδή. Νερά άρδευσης που περιέχουν βόριο σε συγκεντρώσεις 4-6 mg/l περιορίζουν την καλλιέργεια των φυτών, ακόμα και των φυτών εκείνων που είναι ανθεκτικά στην παρουσία του βορίου, όπως είναι μερικές ποικιλίες των ζαχαρότευτλων, μηδικής σόργου και βαμβακιού. Τα περισσότερα φυτά είναι ευαίσθητα στην παρουσία του νατρίου στο έδαφος (ανταλλάξιμο νάτριο και υδατοδιαλυτό νάτριο) σε μεγάλες όμως συγκεντρώσεις νατρίου παρατηρούνται τοξικά συμπτώματα σ' αυτά. Επίσης σε ισοδύναμες υψηλές οσμωτικές πιέσεις, τα ιόντα του μαγνησίου είναι τοξικότερα από τα ιόντα του ασβεστίου και αυτά επίσης πολύ πιο τοξικά από τα ιόντα του νατρίου. Μεγάλη συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου μπορεί να δράσει επιζήμια στα φυτά, επειδή το χλωριούχο νάτριο επιδρά περιοριστικά στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες. Το νάτριο επίσης, δρα ανταγωνιστικά στην πρόσληψη του καλίου από τα νέα φυτά ορισμένων ποικιλιών κριθαριού. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται μεγάλες συγκεντρώσεις καλίου στο διάλυμα. Τα διάφορα είδη φυτών αντιδρούν κατά διάφορο τρόπο στις υψηλές συγκεντρώσεις των διαλυτών αλάτων. Σε ελαφρά και μέσης σύστασης εδάφη, το περισσότερο από το διαθέσιμο νερό του εδάφους συγκρατείται με σχετικά υψηλό έδαφος - υδατικό δυναμικό. Έτσι αν το έδαφος δεν είναι αλατούχο, το φυτό μπορεί να χρησιμοποιήσει το περισσότερο από το διαθέσιμο νερό. Όταν το φυτό αντλεί νερό το οσμωτικό δυναμικό μειώνεται απότομα και ανάλογα με την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται από το φυτό, με αποτέλεσμα το συνολικό δυναμικό του νερού να μειώνεται πολύ από την παρουσία διαλυτών αλάτων στο έδαφος, παρά από την απουσία αυτών.

Τα φυτά διαφέρουν ως προς την ικανότητα που έχουν να αντέχουν στις επιζήμιες επιδράσεις της αλατότητας των εδαφών. Επίσης δείχνουν διαφορετική ικανότητα άντλησης του νερού

από τα εδάφη η υγρασία τους βρίσκεται στο σημείο μάρανσης των φυτών. Τα φυτά που έχουν προσαρμοστεί να αναπτύσσονται κανονικά σε αλατούχα εδάφη έχουν την ικανότητα να αντλούν νερό με μεγαλύτερη ικανότητα σε συνθήκες ξηρασίας. Όμως η αντοχή των φυτών στα διαλυτά άλατα καθώς και στην ξηρασία, δεν είναι απαραίτητο να σχετίζονται μεταξύ τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η αλατότητα των εδαφών, τόσο λιγότερο νερό μπορούν να αντλούν τα φυτά από το έδαφος, πριν αρχίσουν να υποφέρουν από την έλλειψη του νερού. Έτσι τα φυτά καλλιεργούμενα σε εδάφη με υπερβολικές συγκεντρώσεις διαλυτών αλάτων χρειάζονται συχνότερες αρδεύσεις από τα φυτά που καλλιεργούνται σε μη - αλατούχα εδάφη. Το σημείο μάρανσης στα αλατούχα εδάφη αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο ποσοστό εδαφικής υγρασίας από το σημείο μάρανσης των μη αλατούχων εδαφών. Όταν στα αλατούχα εδάφη οι αρδεύσεις δεν είναι συχνές τότε τα φυτά υποφέρουν από δίψα, ανεξάρτητα αν το ποσοστό υγρασίας του εδάφους είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό υγρασίας του σημείου μάρανσης. Πειράματα που έγιναν στο Ισραήλ σε καλλιέργειες με φασόλια έδειξαν ότι, οι καλλιέργειες αυτές αντέδρασαν θετικά στη διάχυση οξυγόνου στο νερό της στάγδην άρδευσης. Επίσης υπάρχουν και μερικές μαρτυρίες από καλλιεργούμενα φυτά στο χωράφι σχετικά με την απώλεια της παραγωγής, που οφείλεται στην μέτρια αλατότητα, η οποία μπορεί να είναι σημαντική σε εδάφη μικρής γονιμότητας παρά σε πολύ γόνιμα εδάφη. Στα εδάφη με λίγα άλατα παρατηρήθηκε θετική αντίδραση των φυτών στα λιπάσματα ιδιαίτερα στην προσθήκη φωσφορικών λιπασμάτων και ίσως και αζωτούχων. Τα οσμωτικά λιπάσματα έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν αυξάνουν την οσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος, επειδή τα φωσφορικά ιόντα δεσμεύονται πολύ ισχυρά από το έδαφος. Η αντοχή των φυτών στα διαλυτά άλατα είναι πολύπλοκη υπόθεση για πολλούς λόγους. Μπορεί να είναι μικρή όταν τα φυτά είναι νέα και όταν αυτά αναπτυχθούν κανονικά να έχουν μεγάλη αντοχή στα διαλυτά άλατα. Ένα παράδειγμα είναι η μηδική. Τα φυτά μπορεί να επιζήσουν σε μεγάλη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων, άλλα να αυξάνονται με αργούς ρυθμούς. Επίσης μπορεί τα φυτά να αυξάνονται σε μέτρια συγκέντρωση διαλυτών αλάτων, αλλά το προϊόν να έχει μικρή εμπορική αξία. Υπάρχουν και περιπτώσεις που τα φυτά μπορούν να αυξάνονται σε πολύ αλατούχα εδάφη. Στις περιπτώσεις αυτές, η ποιότητα των παραγομένων προϊόντων επηρεάζεται αρνητικά από τη μεγάλη συγκέντρωση των αλάτων. Για παράδειγμα, τα σιτηρά μπορεί σε αλατούχα εδάφη να παράγουν χλωρή μάζα, για παραγωγή όμως καρπού τα εδάφη αυτά είναι ακατάλληλα. Τα ζαχαρότευτλα που καλλιεργούνται σε αλατούχα εδάφη παράγουν κονδύλους με χαμηλό ζαχαρικό τίτλο. Κατά τον Bernstein (1964) η αλατότητα μπορεί να

ζημιώσει τα φυτά με πολυάριθμους τρόπους και μερικοί από αυτοί είναι η υψηλή ωσμωτική πίεση του εδάφους σε σύγκριση με την ωσμωτική πίεση του ριζικού συστήματος, σε αλγεβρικές τιμές. Συγκρίνοντας την διαφορά δυναμικού μεταξύ εδάφους-ρίζας, καταλήγεις στο συμπέρασμα να παρεμποδίζεται η πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων από το φυτό (Munns, 2002). Ερευνώντας την τοξικότητα των ιόντων χλωρίου και νατρίου, διαπιστώνεις ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων επιφέρουν τοξική δράση στο πρωτόπλασμα των φυτικών κυττάρων, επιδρώντας έτσι στα ενζυμικά συστήματα (Munns, 2005). Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η ταχύτερη ενζυμική δράση, η επιτάχυνση της αντίδρασης, η διατάραξη του μεταβολισμού και τελικά η συσσώρευση τοξικών μεταβολιτών που ευθύνονται για την τοξικότητα των αλάτων.

Όσον αφορά τη δημιουργία τροφοπενιών, ο ανταγωνισμός των θρεπτικών στοιχείων, σε συνδυασμό με την απορρόφηση των ιόντων είναι πιθανό να οδηγήσουν στην αλληλεπίδραση τους, χωρίς να μπορεί κανείς να χαρακτηρίσει την επίδραση αυτή θετική ή αρνητική.

Από τη μία μεριά, η αύξηση της απορρόφησης σε συνδυασμό με την υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου, εν αντιθέσει με την υψηλή συγκέντρωση Na προκαλούν έλλειψη Ca στο φυτό. Προσθέτοντας ασβέστιο όμως στο φυτό μειώνεις την καταπόνηση Na^+ εξυπηρετώντας έτσι στην ανάπτυξη του φυτού. Παρόμοιοι ανταγωνισμοί αναφέρονται μεταξύ ιόντων νατρίου και καλίου (Munns, 2005).

Από την άλλη μεριά, δημιουργείται ευδιάκριτος διαχωρισμός σχετικά με την αντοχή τους στην αλατότητα. Για παράδειγμα τα αλόφυτα διαθέτουν μηχανισμούς εξουδετέρωσης των αρνητικών επιδράσεων και αύξησης της προσαρμοστικότητας σε αντίθεση με τα γλυκόφυτα τα οποία δεν έχουν την ικανότητα να επιβιώνουν στις υψηλές συγκεντρώσεις, ή έχουν μειωμένες αποδόσεις. Τα γλυκόφυτα έχουν την ικανότητα παρεμπόδισης της απορρόφησης των αλάτων (salt exclusion) μειώνοντας και την ταχύτητα μεταφοράς από τη ρίζα προς το υπέργειο τμήμα. Σε μεγάλες όμως συγκεντρώσεις αυτή η διαδικασία δεν μπορεί να λειτουργήσει γιατί ο έλεγχος απορρόφησης κρίνεται ανεπαρκής. Η ανικανότητα αυτή οδηγεί αυξημένες εσωτερικές βλάβες, επειδή οι μηχανισμοί διαμερισματοποίησης διαφέρουν σε σύγκριση με τα αλόφυτα. Η επίδραση της αλατότητας μπορεί να οδηγεί στην μειωμένη ανάπτυξη και παραγωγή λόγω συγκεκριμένων μηχανισμών των φυτών όπως την ικανότητα της φωτοσύνθεσης της διακίνησης και κατανομή των φωτοσυνθετικών προϊόντων, στην χρήση των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων, στην υδατική κατάσταση του φυτού που χαρακτηρίζεται ως υδατική καταπόνηση, στο μεταβολισμό ή σε πιθανό συνδυασμό των

παραπάνω (Munns, 2005). Πολλές έρευνες αναφέρουν πως η αύξηση της αλατότητας στο έδαφος οδηγούν στην μείωση των μικρο- και μακρο-στοιχείων στα υπέργεια και υπόγεια μέρη των φυτών. Η αλόγιστη εναπόθεση ιόντων νατρίου και ή χλωρίου στο μεσόφυλλο πιθανόν να οδηγεί στη μείωση της δραστηριότητας των ενζύμων (Jennings, 1976) και στην αύξηση της αναπνοής. Η μείωση του μεγέθους και η ταχύτητα παραγωγής των νέων φύλλων προκαλούν επιβράδυνση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας αφού μειώνεται η φωτοσυνθετική επιφάνεια.. Η αλατότητα όσων αφορά τα φυτά, επιδρά δραστικά στην φωτοσύνθεση, στο μεταβολισμό του αζώτου, στο μεταβολισμό του άνθρακα και προκαλεί προβλήματα στην θρέψη των φυτών όπως για παράδειγμα τροφοπενίες πολλών στοιχείων και υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου. Τέτοιες ενέργειες επιφέρουν αλλαγές στη φυσιολογία επιβραδύνοντας την ανάπτυξη. Άμεση συνέπεια κρίνεται είναι ανεπαρκής απόδοση στον καρπό. Η αντίδραση των φυτών δεν είναι ίδια στην αυξημένη συγκέντρωση αλάτων αλλά ποικίλλει ανάλογα με το είδος των ιόντων και εξαρτάται από την αρχική παρεμπόδιση της απορρόφησης από τις ρίζες, την κατανομή μέσω του συστήματος μεταφοράς, τη συγκέντρωση στον αποπλάστη και το μηχανισμό ωσμωρύθμισης στους ιστούς που φωτοσυνθέτουν. Αξίζει να αναφερθούμε στους παράγοντες που συνδέονται με την ανοχή των φυτών στην αλατότητα όπως το κλίμα, το είδος, η γενετική και η φυσιολογία που σχετίζονται με το γενότυπο, καθώς και η συγκέντρωση των αλάτων στο αρδευόμενο νερό.

Από άποψη μορφολογίας, το χαρακτηριστικότερο σύμπτωμα της αλατότητας είναι η επιβράδυνση της ανάπτυξης, η οποία οφείλεται στην ανασχεση επιμήκυνσης των κυττάρων. Οι ρίζες χαρακτηρίζονται ως τα πιο ευαίσθητα όργανα έναντι του φαινομένου της αλατότητας του εδάφους και διαπιστώνεται αξιοσημείωτη μείωση του ξηρού βάρους τόσο της ρίζας, όσο και του υπέργειου τμήματος των φυτών κοινού φασολιού. Κατά την διάρκεια πειραμάτων, δημιουργήθηκαν σημαντικές αλλαγές στο ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος φυτών κοινού φασολιού όταν εφαρμόστηκαν χλωριούχου νατρίου διαλύματα. Ακόμη, υπήρξαν διαφορές στην ανάπτυξη των φυτών κοινού φασολιού με μειωμένη παραγωγή. Σε περαιτέρω πειράματα που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε μείωση του ξηρού βάρους όλων των οργάνων κατά την διάρκεια καταπόνησης της αλατότητας, παρόλο που δεν κρίθηκαν σημαντικές αλλαγές. Από πληθώρα πειραμάτων που έχουν διεξαχθεί, συγκρίνοντας το υπέργειο μέρος με τη ρίζα φαίνεται πως το υπέργειο τμήμα επηρεάζεται περισσότερο από την αλατότητα. Η δράση της αλατότητας οδήγησε στην μεγαλύτερη μείωση του ξηρού βάρους στο υπέργειο τμήμα σε σύγκριση με της ρίζας. Στη συνέχεια υπήρξε μείωση της φυλλικής

επιφάνειας, αύξηση του λόγου ρίζα προς υπέργειο τμήμα και σχετική μείωση του ρυθμού ανάπτυξης σε ποικιλίες κοινού φασολιού.

Όσον αφορά το pH και το μεγάλο εύρος της τιμής του που παρατηρείται στα διάφορα εδάφη σε όλο τον κόσμο, καθρεπτίζει τις διαφορές που υπάρχουν στην χωροδιάταξη της φυσικής βλάστησης ή στη χωροδιάταξη των καλλιεργούμενων φυτών. Δεν είναι ακόμη επιστημονικά τεκμηριωμένο αν οι διαφορές που παρατηρούνται στη χωροδιάταξη της φυσικής βλάστησης οφείλονται στην ευαισθησία των ριζών από την παρουσία ιόντων υδρογόνου, ή από την παρουσία ιόντων υδροξυλίου στο έδαφος ή στο εδαφικό διάλυμα.

Επίσης, δεν είναι γνωστό αν οι δυσμενείς επιδράσεις προκαλούν τοξικά συμπτώματα στα φυτά και βλάπτουν το ριζικό σύστημα. Πειραματικά δεδομένα που προέρχονται από την καλλιέργεια φυτών (μη-ψυχανθή) σε θρεπτικά διαλύματα με τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 3 και 9, δείχνουν ότι η αύξηση των ριζών και η λειτουργία τους επηρεάζονται σε διαλύματα με τιμές pH <5 και ότι η αύξηση των ριζών και η λειτουργία τους εξαρτάται από το είδος του φυτού.

3.2 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μία χημική ιδιότητα με την οποία μπορούμε να προσδιορίζουμε την αλατότητα των εδαφών. Η αλατότητα και ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι δύο συνυφασμένες έννοιες. Η αλατότητα είναι το αρχαιότερο πρόβλημα ρύπανσης του εδάφους. Παρά το γεγονός ότι σε παγκόσμια κλίμακα, οι επιστήμονες διαθέτουν αρκετή επιστημονική γνώση και τεχνογνωσία, σε πολλές περιοχές του πλανήτη μας, η γονιμότητα στο ένα τρίτο των αρδευομένων εκτάσεων έχει υποβαθμιστεί από τη συσσώρευση των αλάτων στα εδάφη αυτά με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής των καλλιεργειών.

Αλατούχα εδάφη δημιουργούνται στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές του πλανήτη μας, στις οποίες δεν παρατηρούνται μεγάλες βροχοπτώσεις που θα βοηθούσαν στην διάλυση και την απομάκρυνση των αλάτων, από τα εδάφη αυτά. Στις περιοχές αυτές, αφενός η διάλυση και η απομάκρυνση των αλάτων είναι μικρή, αφετέρου η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη.

Είναι γνωστό ότι οι περιοχές που δέχονται πολλές βροχές παρουσιάζουν μειωμένη διηθητικότητα με αποτέλεσμα μεγάλη επιφανειακή απορροή που έχει και σαν συνέπεια τη διάβρωση των εδαφών όταν πρόκειται για επικλινή εδάφη. Η μειωμένη διηθητικότητα

οφείλεται στο νερό της βροχής που έχει μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα, με αποτέλεσμα να εκπλύνει τα ελεύθερα άλατα και ιδιαίτερα το ασβέστιο με άμεσο ή έμμεσο αποτέλεσμα τη μείωση της γονιμότητας. Το ασβέστιο έχει θετική επίδραση τόσο στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους όσο και στη δομή του εδάφους.

Τα διάφορα συστήματα άρδευσης μπορούν να θεωρηθούν επιτυχή μόνο όταν η διηθητικότητα διατηρείται καθ' όλη την εδαφική κατατομή. Η διηθητικότητα εξαρτάται από το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου και από τη συγκέντρωση των ελευθέρων αλάτων στο νερό που διηθείται. Ένα έδαφος μπορεί να έχει υψηλό ESP και να διατηρεί τη διηθητικότητά του, αν το διηθούμενο διάλυμα που βρίσκεται σε χημική ισορροπία περιέχει υδατοδιαλυτά άλατα σε υψηλές συγκεντρώσεις. Καθώς το διάλυμα γίνεται αραιότερο είναι δυνατόν να επιτευχθεί τέτοια συγκέντρωση διαλυτών αλάτων στο 'εδαφικό διάλυμα', με αποτέλεσμα τη διόγκωση των εδαφικών συσσωματωμάτων. Με την διόγκωση των εδαφικών συσσωματωμάτων παρατηρείται μείωση του μεγέθους των εδαφικών πόρων, με αποτέλεσμα τη μείωση της διηθητικότητας του εδάφους. Όταν η συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων μειωθεί ακόμη περισσότερο η άργιλος του εδάφους διαμερίζεται, δηλαδή η άργιλος υφίσταται θρόμβωση και κλίνουν οι περισσότεροι από τους μικρούς πόρους του εδάφους.

Εδάφη πλούσια σε σίδηρο και ειδικότερα σιδηροκαολινικά εδάφη μπορεί να έχουν υψηλό ESP και να διατηρούν τη διηθητικότητά τους σε διαλύματα με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αντίθετα αλλουβιακά εδάφη με λεπτή άμμο και ιλύ, με άργιλο πλούσια σε μαρμαρυγιακά ορυκτά και με μικρό ποσοστό οργανικής ουσίας παρουσιάζουν μειωμένη διηθητικότητα σε διαλύματα με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα ακόμα και στις περιπτώσεις που το έδαφος έχει χαμηλό ESP. Δεν έχει καθοριστεί το ελάχιστο ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου, υπεράνω του οποίου η διηθητικότητα του εδάφους επηρεάζεται από το νερό άρδευσης. Το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου του εδάφους κατά το οποίο δεν παρατηρείται μείωση της εδαφικής διηθητικότητας επηρεάζοντας έτσι τη διαχείριση του εδάφους και από τη συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο διηθούμενο νερό.

Η τιμή $ESP = 15$ χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση στις ΗΠΑ, ως το κρίσιμο ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου. Στην περίπτωση κατά την οποία το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου είναι μεγαλύτερο του 15 η δομή του εδάφους καθίσταται ασταθής. Η τιμή $ESP = 15$ θεωρείται ότι είναι ένας χρήσιμος οδηγός για τα περισσότερα αρδευόμενα εδάφη. Το κρίσιμο ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου που δεν προκαλεί διόγκωση των συσσωματωμάτων σε βαθμό που να προκαλέσει μείωση της διηθητικότητας, ή να προκαλέσει θολότητα στα νερά

της στράγγισης, θα πρέπει να προσδιορίζεται σε κάθε τύπο εδάφους με τη χρήση διαλύματος που να αντιστοιχεί στη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ελεύθερα άλατα του νερού άρδευσης . η τιμή ESP=15 θεωρείται ως η πλέον ασφαλής τιμή για αλλουβιακά εδάφη που περιέχουν μαρμαρυγικά ορυκτά, μοντοριλονιτική άργιλο, καθώς και υψηλό ποσοστό άμμου και ιλύος και για νερό άρδευσης με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα, προκειμένου να αποφευχθεί η καταστροφή της δομής του εδάφους. Για τιμή ESP=7,5 το νάτριο είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα στη δομή του εδάφους εξαιτίας της διόγκωσης των εδαφικών συσσωματωμάτων.

3.3 ΠΟΡΕΙΑ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Στο χωράφι το έδαφος βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή και την αέρια φάση που το περιβάλλει, που σημαίνει ότι η ανταλλάξιμη φάση του εδάφους βρίσκεται σε ισορροπία με τα ιόντα του εδαφικού διαλύματος. Στο εδαφικό διάλυμα των μη αλατούχων εδαφών επικρατούν τα ιόντα του Ca^{2+} , λιγότερα του Mg^{2+} και ακόμη λιγότερο του K^+ και του Na^+ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ανταλλάξιμες θέσεις της επιφάνειας των ορυκτών της αργίλου να είναι δεσμευμένες σε μεγάλο ποσοστό (80%) με ιόντα μαγνησίου και ασβεστίου και σε μικρότερο ποσοστό με τα άλλα κατιόντα.

Όταν το έδαφος έχει υψηλή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας τότε παρατηρείται μόνο η επίδραση της συγκέντρωσης των διαλυτών αλάτων του εδαφικού διαλύματος στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και κυρίως στη διηθητικότητά του, θετικά ή αρνητικά. Αν το συνολικό ποσό των αλάτων είναι μεγάλο τότε η διηθητικότητά του εδάφους αυξάνεται. Αν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μεγάλη, τότε η άργιλος του εδάφους βρίσκεται σε ισχυρή θρόμβωση. Η ισχυρή θρόμβωση δημιουργεί στο έδαφος μεγάλη διηθητικότητά. Αν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μικρή, ή αν ο λόγος νατρίου προς (ασβέστιο + μαγνήσιο) είναι μεγάλος, τότε η διηθητικότητά μειώνεται αισθητά. Τα φαινόμενα αυτά συνδέονται με τη θρόμβωση και τον διαμέρισμά της αργίλου. Επίσης όταν η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος μειώνεται και ταυτόχρονα το ESP είναι μεγαλύτερο του 15 τότε μειώνεται και η υδραυλική αγωγιμότητα.

Στο χωράφι δημιουργούνται κρίσιμες συνθήκες στο έδαφος όταν η βροχή το χειμώνα ή το νερό άρδευσης καλής ποιότητας μειώνουν τη συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος σε

χαμηλά επίπεδα. Με εξαίρεση το επιφανειακό έδαφος, η ολική ιονική ισχύς του εδαφικού διαλύματος διατηρείται περίπου στην τιμή 3 mmolc/l. Ακόμα και κατά τη διάρκεια της βροχής, εξαιτίας του εφοδιασμού του διαλύματος με κατιόντα, προερχόμενα από τις θέσεις ανταλλαγής και από την αποσάθρωση των ορυκτών.

Στην παραπάνω συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος η υδραυλική αγωγιμότητα των εδαφών μπορεί να επηρεαστεί με τιμές ESP μικρές όπως π. χ. $ESP = 15$. στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους η μικρή τιμή της συγκέντρωσης του διαλύματος, σε συνδυασμό με τις επιδράσεις των σταγόνων της βροχής, θα προκαλέσει μείωση της διηθητικότητας του εδάφους ακόμα και σε μικρότερες τιμές ESP. Είναι γνωστό ότι τα ορυκτά σμεκτίτες χαρακτηρίζονται από μεγάλη διόγκωση των κρυστάλλων τους και από διαμέρισμά αυτών εξαιτίας του υψηλού αρνητικού φορτίου και του μικρού μεγέθους των σωματιδίων τους.

Ένα νατριωμένο έδαφος απαιτεί όχι καλής ποιότητας νερό άρδευσης για την προστασία της δομής του εδάφους. Οι δυσμενείς επιδράσεις στη δομή από τα νερά της βροχής είναι δυνατόν να περιοριστούν ή να εμποδιστούν με την εφαρμογή στο έδαφος διαλυτών αλάτων, όπως γύψου ή χλωριούχου ασβεστίου, που διατηρούν τη συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος και εφοδιάζουν το έδαφος με ανταλλάξιμο ασβέστιο.

Παρά το γεγονός ότι η τιμή $ESP = 15$ χρησιμοποιείται ως το πλέον όπλο κριτήριου κατάταξης της νατρίωσης των εδαφών, οι κρίσιμες τιμές ESP εξαρτώνται από τη συγκέντρωση του διαλύματος. Για την επιλογή του κατάλληλου νερού για την άρδευση των καλλιεργειών λαμβάνονται υπόψη το ESP του εδάφους και η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό.

Όταν το έδαφος είναι μη αλατούχο - νατριωμένο τότε το υψηλό ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου και η υψηλή τιμή του pH καθορίζουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Η πολύ μικρή συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα αποτελεί παράγοντα αύξησης της ταχύτητας υδρόλυσης ενός ποσοστού του ανταλλάξιμου νατρίου, που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία NaOH και την ανύψωση της τιμής του pH.

Η μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα και το μεγάλο ESP σε συνδυασμό με το pH δημιουργούν τις προϋπόθεσης διόγκωσης και διαμερισμού της αργίλου, που συνεπάγεται το κλείσιμο των πόρων του εδάφους και τη μείωση της διηθητικότητας σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Το πρόβλημα γίνεται αρκετά πολύπλοκο όταν γίνεται αναφορά στις δυσμενείς συνέπειες που οφείλονται στην νατρίωση των εδαφών.

Με την προσθήκη αλάτων στο εδαφικό διάλυμα αρχίζουν να μεταβάλλονται πλέον οι σχέσεις

ανιόντων και κατιόντων στο διάλυμα αυτό. Καθώς προχωρεί η πορεία αλάτωσης του εδάφους παρατηρείται συμπύκνωση του διαλύματος με αποτέλεσμα ορισμένα άλατα ασβεστίου και μαγνησίου να οδηγούνται σε σταδιακή καθίζηση.

Το εδαφικό διάλυμα περιέχει κυρίως χλωριούχα, ανθρακικά και θειικά άλατα του Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+ . Τα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου με την σταδιακή συμπύκνωση αρχίζουν να καθιζάνουν και στην συνέχεια καθιζάνουν και τα θειικά άλατα του ασβεστίου. Η αντίδραση του Na_2CO_3 ως άλας ευδιάλυτο, παραμένει στο εδαφικό διάλυμα. Η αντίδραση του Na_2CO_3 χαρακτηρίζεται ως αλκαλική με αποτέλεσμα τη δημιουργία αλκαλικού περιβάλλοντος. Η δημιουργία όμως αλκαλικού περιβάλλοντος προκαλεί την επιτάχυνση της καθίζησης των ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου και μαγνησίου και των θεικών του ασβεστίου.

Έτσι κατ' αυτών τον τρόπο στο αλατούχο έδαφος παρατηρείται μία σταδιακή διαφοροποίηση της σύνθεσης του εδαφικού διαλύματος. Η συγκέντρωση των ιόντων του ασβεστίου και του μαγνησίου στο εδαφικό διάλυμα αρχίζει να μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα τα άλατα του νατρίου ως ευδιάλυτα να παραμένουν στο εδαφικό διάλυμα και έτσι το ποσοστό τους συνεχώς αυξάνεται.

Με την πάροδο της πορείας καθίζησης του ανθρακικού ασβεστίου και του ανθρακικού μαγνησίου καθώς και του θεικού ασβεστίου, η συγκέντρωση του νατρίου στο εδαφικό διάλυμα αυξάνεται σε σχέση με τα άλλα κατιόντα μέχρι την τέλεια επικράτηση του νατρίου. Η μεταβολή της σύνθεσης του εδαφικού διαλύματος αρχίζει να διαταράσσει την ισορροπία της στερεής και της υγρής φάσης του εδαφικού συστήματος.

Η μεταβολή της σύνθεσης του εδαφικού διαλύματος για να είναι καθοριστική θα πρέπει το νάτριο να αποτελεί το 50% τουλάχιστον του συνόλου των κατιόντων του εδαφικού διαλύματος. Στη περίπτωση αυτή είναι εφικτή η αντικατάσταση του ασβεστίου και του μαγνησίου από τις θέσεις ανταλλαγής από ιόντα νατρίου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου.

Όταν το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) υπερβεί το 15 % της CEC του εδάφους τότε το έδαφος θεωρείται νατριωμένο. Με την πάροδο του χρόνου τα εδάφη γίνονται πρώτα αλατούχα και στη συνέχεια αλατούχα - νατριωμένα. Αν για κάποια αιτία το αλατούχο εδαφικό διάλυμα αντικατασταθεί με διάλυμα μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, τότε το έδαφος μεταπίπτει σε μη αλατούχο- νατριωμένο.



4 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ

Ο έλεγχος της αλατότητας απαιτεί ακριβείς πληροφορίες τόσο για το βαθμό όσο και τον τύπο αυτής σε μια περιοχή. Θα προκύψουν σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις στην περίπτωση όπου γίνουν ενέργειες αποκατάστασης χωρίς προηγούμενη γνώση των φυσιολογικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι και διαδικασίες, οι οποίες αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή. Η αποκατάσταση μιας περιοχής με υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα και η διατήρηση της παραγωγικότητας των δυνητικώς αλατούχων περιοχών συνεπάγεται στην ίδια βασική αρχή, δηλαδή η αφαίρεση των αλάτων από τη ζώνη που αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα του εδάφους πρέπει να υπερβαίνει την ποσότητα των αλάτων που αποτίθενται από το νερό άρδευσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με καλή αποστράγγιση και σωστό έλεγχο της άρδευσης εκτός αν η ποσότητα του νατρίου στο έδαφος ή στο νερό άρδευσης είναι υψηλή.

Είναι δεδομένο ότι η καλή αποστράγγιση είναι απαραίτητη. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει ο υδροφόρος ορίζοντας να βρίσκεται τουλάχιστον 5 έως 6 πόδια κάτω από την επιφάνεια. Προκειμένου να ελέγχονται οι διαφοροποιήσεις του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, θα ήταν εφικτή η κατασκευή ενός πηγαδιού παρατήρησης, το

οποίο αποτελείται από μήκη σωλήνων που τελειώνουν σε διαφορετικά τα βάθη στο έδαφος και μια συσκευή μέτρησης της απόστασης από το νερό. Με αυτό τον τρόπο ο ενδιαφερόμενος θα γνωρίζει την κατεύθυνση της κίνησης των υπόγειων υδάτων καθώς και τη διαπερατότητα του εδάφους. Για την κατασκευή μπορεί να γίνει χρήση πληροφοριών με στόχο για την επιλογή των πιο πρακτικών μεθόδων αποστράγγισης, τη βελτίωση του σχεδιασμού αποστράγγισης καθώς και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του ήδη υπάρχοντος συστήματος αποστράγγισης.

Όπου είναι απαραίτητη η τεχνητή αποστράγγιση, χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι: πλακίδια αποστράγγισης, ανοιχτών σωλήνων και αντληθέντων πηγαδιών. Σε πολλά έργα άρδευσης εγκαθίστανται ανοιχτές σωληνώσεις σε μεγάλο βάθος και τα κεραμίδια στράγγισης χρησιμοποιούνται συχνά ως συμπλήρωμα σε αυτές. Στην περίπτωση όπου το επιφανειακό έδαφος είναι διαπερατό κάτω από αυτά τα υλικά μπορούν να αναπτυχθούν πηγάδια ικανοποιητικής χωρητικότητας όπου η άντληση αυτών μπορεί να είναι η πιο εφικτή και φθηνότερη μέθοδος ελέγχου του υδροφόρου ορίζοντα. Το νερό που συλλέγεται με αυτές τις μεθόδους συνήθως απομακρύνεται με μεγάλες σωληνώσεις εξόδου, οι οποίες εκκενώνονται στο σύστημα του ποταμού. Σε πολλά σημεία το νερό αποχέτευσης που αντλείται από πηγάδια αναμειγνύεται με νερό άρδευσης και επαναχρησιμοποιείται. Η σωστή διαχείριση του νερού άρδευσης είναι εξίσου σημαντική με την καλή αποστράγγιση.

Η ποιότητα της διαθέσιμης ποσότητας νερού που εφαρμόζεται στην άρδευση είναι πρωταρχικής σημασία σε αλατούχα ή σε δυνητικά αλατούχα περιοχή. Σημαντικό σε μια έρευνα είναι οι παρατηρήσεις πεδίου, οι οποίες περιλαμβάνουν το είδος της φυτικής βλάστησης, την τοπογραφία της περιοχής και των χαρακτηριστικών του προφίλ του εδάφους, των συνθηκών αποστράγγισης και των πηγών αλατότητας. Η συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται σε μη αλατούχες συνθήκες είναι η ποσότητα νερού, εκφρασμένη σε στρέμματα ανά τετραγωνικό μέτρο ανά χρόνο, στο σχηματισμό φυτικού ιστού ή στη μεταφορά μέσα από τα φύλλα, συν το νερό που εξατμίζεται την επιφάνεια του εδάφους. Μερικές φορές ονομάζεται καταναλώσιμη και πρέπει να προστεθούν απώλειες άρδευσης κατά τη μεταφορά νερού (διαρροή και εξάτμιση) και απώλειες κατά την εφαρμογή επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση.

Στις αλατούχες περιοχές, εκτός από τις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω θα πρέπει να παρέχονται μεγάλες ποσότητες νερού για την έκπλυση του εδάφους και την μεταφορά των αλάτων σε μεγαλύτερο βάθος κάτω από την περιοχή ανάπτυξης του ριζικού συστήματος.

Τόσο η μειωμένη δόση άρδευσης όσο και η υπερχειλίση πρέπει να αποφεύγονται, διότι στην άρδευση με λιγότερη ποσότητα νερού θα γίνει συσσώρευση αλάτων σε αλατούχα εδάφη και όλη η ποσότητα του νερού είτε θα χρησιμοποιηθεί από το φυτό είτε θα εξατμιστεί. Από την άλλη πλευρά οι πολύ μεγάλες δόσεις νερού είναι επικίνδυνες, ειδικότερα στην περίπτωση της κακής αποστράγγισης, διότι η περίσσεια νερού που διέρχεται στο υπέδαφος μπορεί να προκαλέσει αύξηση της στάθμης υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και να επιφέρει μια αυξημένη συσσώρευση αλάτων στη περιοχή ανάπτυξης του ριζικού συστήματος.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τον έλεγχο της αλατότητας του εδάφους όμως, στην καθημερινή γεωργική πρακτική εφαρμόζονται συνδυασμένες τεχνικές. Πριν από κάθε προσπάθεια αντιμετώπισης της αλατότητας θα πρέπει να έχουμε υπόψην τα εξής:

- Τη μεγάλη σπουδαιότητα που έχει η έκπλυση των αλάτων κάτω από τη ζώνη των ριζών, πριν ακόμα τα άλατα προκαλέσουν προβλήματα στα φυτά.
- Τη διατήρηση στο έδαφος ικανής διαθέσιμης υγρασίας για τα φυτά καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο. Ο μακροπρόθεσμος όμως έλεγχός της αλατότητας επιτυγχάνεται με την καλή στράγγιση του εδάφους που σε διαφορετική περίπτωση δεν θα ήταν δυνατόν να επιτευχθεί ο έλεγχος αυτός.

Στις περιπτώσεις που η στράγγιση του εδάφους είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο τότε το νερό που χρειάζεται για την απομάκρυνση των αλάτων εξαρτάται από το βαθμό αντοχής των καλλιεργειών στα άλατα και από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό άρδευσης. Στις περιπτώσεις που η αλατότητα είναι μεγάλη, η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την απομάκρυνση των αλάτων μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Το στραγγιστικό σύστημα που θα εξασφαλίζει καλή στράγγιση των αλάτων δεν είναι μόνο απαραίτητο για τις περιπτώσεις που αναφέραμε παραπάνω, αλλά ακόμα και στις περιπτώσεις που το νερό άρδευσης είναι καλής ποιότητας, προκειμένου να μειωθούν οι πιθανότητες συγκέντρωσης αλάτων στο ριζόστρωμα των καλλιεργούμενων φυτών. Η απομάκρυνση των αλάτων επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό όταν η στράγγιση κάτω από το ριζόστρωμα είναι ικανοποιητική και εμποδίζει την ανύψωση της υπόγειας στάθμης του νερού για να παύση να αποτελεί πηγή αλάτων.

Στις περιπτώσεις που η αλατότητα δεν οφείλεται στο νερό άρδευσης κρίνεται απαραίτητο να εφαρμοστεί ένα πρόγραμμα στράγγισης και βελτίωσης καθώς και προσωρινή αλλαγή των καλλιεργειών. Μετά τη βελτίωση του εδάφους το καλλιεργητικό σύστημα που θα εφαρμοστεί θα εξαρτηθεί από την ποιότητα του νερού άρδευσης. Για την αντιμετώπιση της αλατότητας

του εδάφους εφαρμόζονται πολλές εναλλακτικές λύσεις όπως η στράγγιση, ο έλεγχος της αλατότητας με βαθιά διήθηση και διάφορα καλλιεργητικά μέτρα.

4.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Αξιοσημείωτα καλλιεργητικά μέτρα στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας για την αντιμετώπιση της εδαφικής αλατότητας και αλατούχων νατριομένων εδαφών είναι:

- ❖ Την κατασκευή στραγγιστικού δικτύου, ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία της έκπλυσης των αλάτων, αλλά και να ταπεινωθεί η υπόγεια στάθμη του νερού και επομένως να ελαττωθεί η τριχοειδής ανύψωση του νερού και η εκ νέου αλάτωση του εδάφους.
- ❖ Ισοπέδωση της επιφάνειας του εδάφους, ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση του νερού σε θύλακες.
- ❖ Πριν την έναρξη της διαδικασίας της έκπλυσης, θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το εφαρμοζόμενο στην επιφάνεια νερό, θα φτάνει μέχρι το στραγγιστικό δίκτυο, γι' αυτό αν η δομή του εδάφους είναι υποβαθμισμένη, (νατριομένο) ή υπάρχει αδιαπέραστος ορίζοντας μέχρι το στραγγιστικό δίκτυο, η δομή πρέπει πρώτα να ανακτηθεί και ο αδιαπέραστος ορίζοντας να καταστραφεί.
- ❖ Έναρξη της έκπλυσης των αλάτων, μετά τις ως ανωτέρω προπαρασκευαστικές εργασίες, με παροχή νερού σταδιακά και με ρυθμό μικρότερο της διηθητικότητας, γεγονός που καθιστά την έκπλυση πιο αποτελεσματική. Η διηθητικότητα ελέγχεται σταδιακά γνωστού όντως ότι μειώνεται με την πρόοδο της έκπλυσης λόγω της μείωσης της συγκέντρωσης των αλάτων και ρυθμίζεται ανάλογα η προσφερόμενη ποσότητα νερού έκπλυσης.
- ❖ Ο έλεγχος της περιεκτικότητας σε νάτριο στο νερό άρδευσης για την αποφυγή της νατρίωσης του εδάφους.
- ❖ Σωστός προγραμματισμός των αρδεύσεων και η επιλογή κατάλληλου τρόπου άρδευσης. Σημαντική είναι ακόμη η κατάλληλη τοποθέτηση του σπόρου κατά τη σπορά ή των φυταρίων κατά τη φύτευση στις σωστές θέσεις.

Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να συνυπάρχουν σε ορισμένες κατηγορίες εδαφών, ενώ σε άλλες κατηγορίες μπορεί να υφίσταται ένας μόνο παράγοντας. Όσοι περισσότεροι παράγοντες

συνυπάρχουν τόσο αυξάνονται και οι δυσκολίες για τη βελτίωση των εδαφών. Πιο συγκεκριμένα, όσων αφορά την αρδευόμενη γεωργία μπορεί να υποστεί καλύτερες πρακτικές άρδευσης όπως η άρδευση με στάγδην έχοντας ως στόχο τη βελτιστοποίηση της χρήσης του νερού.

Η εξάπλωση της αλατότητας της ξηρής γης μπορεί να περιοριστεί μειώνοντας την ποσότητα του νερού, το οποίο διέρχεται πέρα από το ριζικό σύστημα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εγκατάσταση πολυετών φυτών με βαθύ ριζικό σύστημα, τα οποία συνεχίζουν να αναπτύσσονται και χρησιμοποιούν νερό κατά τη διάρκεια των εποχών όταν αντίστοιχα το ριζικό σύστημα των ετήσιων καλλιεργειών αυτή την λειτουργία δεν θα μπορούσε να την υποστηρίξει. Αυτή η ικανότητα των πολυετών βαθύριζων φυτών θα μπορούσε να επαναφέρει την ισορροπία μεταξύ βροχόπτωσης και χρήσης νερού, αποτρέποντας έτσι την αύξηση της υδάτινης αποθήκευσης και την κίνηση των αλάτων στην επιφάνεια του εδάφους.

Τα συστήματα γεωργικής εκμετάλλευσης μπορούν να διαφοροποιηθούν με την εγκατάσταση πολυετών φυτών παράλληλα με συγκαλλιέργεια ετήσιων καλλιεργειών σε μικτές φυτεύσεις ή σε φυτεύσεις ειδικής χρήσης π.χ. καλλιέργεια ακριβείας (Munns, 2002). Παρότι η χρήση αυτών των προσεγγίσεων έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης παραγωγής, η οποία σχετίζεται με την αλατότητα εντούτοις η εφαρμογή είναι συχνά περιορισμένη λόγω του κόστους, της διαθεσιμότητας καλής ποιότητας νερού άρδευσης ή του υδροφόρου ορίζοντα.

Τα αλατούχα εδάφη έχουν μεγάλη συγκέντρωση αλάτων (>2 mS/cm) στο εδαφικό διάλυμα. Αυτά μπορεί να είναι κατακλυσμένα από νερά ή η υπόγεια στάθμη του νερού να βρίσκεται σε μικρό ή σε μεγαλύτερο βάθος από την επιφάνεια. Στις περιπτώσεις αυτές κρίνεται απαραίτητο η κατασκευή στραγγιστικού δικτύου στην περιοχή. Με το στραγγιστικό δίκτυο απομακρύνονται τα νερά και χαμηλώνει η υπόγεια στάθμη. Με την πτώση της υπόγειας στάθμης εμποδίζεται η τριχοειδής ανύψωση του νερού και η εκ' νέου αλάτωση του εδάφους. Το βάθος των στραγγιστικών τάφρων δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 2 μέτρα. Το βάθος αυτό θεωρείται ότι είναι αρκετό για να εμποδίσει την τριχοειδή ανύψωση του νερού.

Μετά την κατασκευή του στραγγιστικού δικτύου ακολουθεί η ισοπέδωση των χωραφιών για να μην υπάρχουν στην επιφάνεια του εδάφους τμήματα όπου μπορεί να συγκεντρωθεί νερό. Κατά την ισοπέδωση θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για να μην έρθει στην επιφάνεια του εδάφους κάποια διάστρωση της εδαφικής κατατομής με ανεπιθύμητες ιδιότητες.

Η διηθητικότητα του εδάφους θα καθορίσει τις ποσότητες του νερού που χρειάζονται για την

έκπλυση των αλάτων του εδάφους, επειδή η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας συνεχώς πέφτει, με τη σταδιακή αυτή πτώση επέρχεται και μία σταδιακή μείωση της διηθητικότητας του εδάφους. Η διηθητικότητα του εδάφους θα πρέπει να ελέγχεται τακτικά με μετρήσεις προκειμένου να εξασφαλίζεται κανονική και συνεχής διήθηση του νερού και να αποφεύγεται η παραμονή του στην επιφάνεια του εδάφους διότι η εξάτμιση του νερού μπορεί να προκαλέσει όπως είναι φυσικό την συμπύκνωση των αλάτων.

Η ανάπτυξη αποτελεσματικών εύκολα προσαρμόσιμων μεθόδων, χαμηλού κόστους, οι οποίες σχετίζονται με τη διαχείριση του αβιοτικού στρες αποτελεί μείζονα πρόκληση. Διεξάγεται παγκοσμίως μια εκτεταμένη έρευνα για την ανάπτυξη στρατηγικών με σκοπό την αντιμετώπιση αβιοτικών πιέσεων, μέσω της δημιουργίας ανθεκτικών ποικιλιών σε άλατα και ξηρασία μετατοπίζοντας τον βιολογικό κύκλο των καλλιεργειών, διαχείρισης πόρων πρακτικών κλπ. (Venkateswarlu and Shanker, 2009).

4.3 ΧΡΗΣΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Όλα τα φυτά δεν εμφανίζουν την ίδια αντίδραση στα άλατα. Μερικά φυτά αποδίδουν ικανοποιητικά σε αλατούχο περιβάλλον, ενώ σε άλλα οι αποδόσεις τους επηρεάζονται αρνητικά. Τα φυτά που προσαρμόζονται ικανοποιητικά σε αλατούχο περιβάλλον ρυθμίζουν την οσμωτική τους πίεση και έχουν την ικανότητα μ' αυτόν τον τρόπο να εκμεταλλεύονται μεγαλύτερες ποσότητες σε αλατούχο έδαφος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ο **Πίνακας 3**, **Πίνακας 4**, **Πίνακας 5** και ο **Πίνακας 6**, οι οποίοι κατατάσσουν μερικές από τις πιο γνωστές καλλιέργειες ως ανθεκτικές, μετρίως ανθεκτικές, μετρίως ευαίσθητες και ευαίσθητες ως προς τα άλατα.

Πίνακας 3: Ανθεκτικές καλλιέργειες στα άλατα (Σινάνης, 2015).

Ανθεκτικές καλλιέργειες	
Κοινό όνομα	Επιστημονικό όνομα
Σπαράγγι	<i>Asparagus officinalis</i>
Κριθάρι για καρπό	<i>Hordeum vulgare</i>
Χλόη	<i>Cynodon dactylon</i>

Βαμβάκι	<i>Gossypium hirsutum</i>
Ζαχαρότευτλα	<i>Beta vulgaris</i>

Πίνακας 4: Μετρίως ανθεκτικές καλλιέργειες στα άλατα (Σινάνης, 2015).

Μετρίως ανθεκτικές καλλιέργειες	
Κοινό όνομα	Επιστημονικό όνομα
Κριθάρι για σανό	<i>Hordeum vulgare</i>
Παντζάρι	<i>Beta vulgaris</i>
Συκιά	<i>Ficus carica</i>
Ελιά	<i>Olea europea</i>
Ροδιά	<i>Punica granatum</i>
Σόργο	<i>Sorghum bicolor</i>
Σόγια	<i>Glycine maximum</i>
Σιτάρι	<i>Triticum aestivum</i>

Πίνακας 5: Μετρίως ευαίσθητες καλλιέργειες στα άλατα (Σινάνης, 2015).

Μετρίως ευαίσθητες καλλιέργειες	
Κοινό όνομα	Επιστημονικό όνομα
Μηδική	<i>Medicago sativa</i>
Κουκιά	<i>Vicia faba</i>
Λάχανο	<i>Brassica oleracea var. Capitata</i>
Κουνουπίδι	<i>Brassica oleracea</i>
Τριφύλλι	<i>Trifolium spp.</i>
Καλαμπόκι κτηνοτροφικό	<i>Zea mays</i>
Αγγούρι	<i>Cucumis sativus</i>
Μαρούλι	<i>Lactuca sativa</i>
Λινάρι	<i>Linum usitatissimum</i>
Αμπέλι	<i>Vitis vinifera</i>

Πεπόνι	<i>Cucumis melo</i>
Μπιζέλι	<i>Pisum sativum</i>
Φυστίκι	<i>Arachis hypogaea</i>
Πιπεριά	<i>Capsicum annum</i>
Πατάτα	<i>Solanum tuberosum</i>
Ρύζι	<i>Oryza sativa</i>
Σπανάκι	<i>Spinacea oleracea</i>

Πίνακας 6: Ευαίσθητες καλλιέργειες στα άλατα (Σινάνης, 2015).

Ευαίσθητες καλλιέργειες	
Κοινό όνομα	Επιστημονικό όνομα
Αμυγδαλιά	<i>Prunus dulcis</i>
Μηλιά	<i>Malus sylvestris</i>
Βερυκοκιά	<i>Prunus armeniaca</i>
Αβοκάντο	<i>Persea americana</i>
Αχλαδιά	<i>Pyrus spp.</i>
Δαμασκηνιά	<i>Prunus domestica</i>
Ροδακινιά	<i>Prunus persica</i>
Πορτοκαλιά	<i>Citrus sinensis</i>
Λεμονιά	<i>Citrus limon</i>
Φασόλι	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Καρότο	<i>Daucus carota</i>
Σέλινο	<i>Apium graveolens</i>
Κρεμμύδι	<i>Allium cepa</i>
Φράουλα	<i>Fragaria vesca</i>

Η μέγιστη απόδοση όλων των καλλιεργειών μπορεί να επιτευχθεί με νερό που έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 0,7 mS/cm. Με την ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν έχει περιορισμό

στη χρήση. Για αλατότητα στην περιοχή 'μικρή έως μέση' μπορούμε επίσης να επιτύχουμε μέγιστη απόδοση, αρκεί να έχουμε τη δυνατότητα να επιτύχουμε το απαιτούμενο κλάσμα στράγγισης (LF), για να διατηρήσουμε την αλατότητα μέσα στα όρια της ανθεκτικότητας της συγκεκριμένης καλλιέργειας. Για χρήση νερού με μεγαλύτερη αλατότητα σε καλλιέργειες ευαίσθητες στα άλατα, η αύξηση της ποσότητας του νερού για να επιτευχθεί LR μεγαλύτερο από 0,25-0,30 στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν είναι εφικτό, γιατί απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού. Στις περιπτώσεις αυτές κρίνεται σκόπιμη η αλλαγή της καλλιέργειας με μία άλλη περισσότερο ανθεκτική στα άλατα, η οποία θα απαιτεί μικρότερες ποσότητες νερού. Με την αύξηση της αλατότητας του νερού άρδευσης EC_{iw} στα όρια 'μικρή έως μέση', η απόδοση των φυτών μπορεί να περιοριστεί σε χαμηλότερα επίπεδα, γιατί είναι δύσκολο να επιτευχθεί το υψηλό κλάσμα στράγγισης (LF) ιδιαίτερα σε εδάφη με βαριά μηχανική σύσταση. Αν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης είναι μεγαλύτερη από 3 mS/cm το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε εδάφη με μεγάλη υδατοπερατότητα και σε περισσότερο ανθεκτικές καλλιέργειες, όπου είναι εφικτό να επιτευχθούν υψηλά κλάσματα στράγγισης.

Η βρώμη και η μηδική είναι λιγότερο ανθεκτικές καλλιέργειες στο στάδιο του φυτρώματος και στο στάδιο των πρώτων φύλλων. Η EC_c δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 4-5 mS/cm στο πρώτο τέταρτο του ριζοστρώματος. Τα τεύτλα είναι περισσότερο ευαίσθητα στο στάδιο του φυτρώματος. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 3 mS/cm στην περιοχή του σπόρου.

Η χρήση ανθεκτικών καλλιεργειών θεωρείται μια από τις σημαντικότερες στρατηγικές για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αλατότητας στα εδάφη. Απαιτείται αντοχή όχι μόνο για αυτού του είδους τις καλλιέργειες, αλλά και για τις ετήσιες που θα ακολουθήσουν καθώς η αλατότητα θα παραμείνει στο έδαφος όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μειωθεί. Επιπλέον με την καλλιέργεια τέτοιων ποικιλιών θα είναι πιο αποτελεσματική η χρήση αρδευόμενου νερού κακής ποιότητας. Για να αυξηθεί η αντοχή των φυτών στην αλατότητα θα πρέπει αρχικά να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός περιορισμού αυτής στην ανάπτυξη των φυτών και του μηχανισμού αντοχής της αλατότητας στο σύνολο του φυτού, δηλαδή σε οργανικό και σε μοριακό επίπεδο. Υπό συνθήκες αλατότητας παρατηρείται αλλαγή στην γονιδιακή έκφραση, και ταυτόχρονα ποιοτικές και ποσοτικές αλλαγές στη πρωτεϊνική σύνθεση. Αν και είναι γενικά αποδεκτό ότι τέτοιες στρεσογόνες συνθήκες επιφέρουν ποσοτικές μεταβολές στη πρωτεϊνική σύνθεση υπάρχει διαφωνία ως προς την άποψη εάν η

αλατότητα ενεργοποιεί εξειδικευμένα γονίδια, τα οποία εμπλέκονται στη στρεσογόνο κατάσταση. Συνεπώς όταν ένα φυτό υποβάλλεται σε αβιοτική καταπόνηση ένας αριθμός γονιδίων ενεργοποιείται με αποτέλεσμα την αύξηση των επιπέδων διαφόρων μεταβολιτών και πρωτεϊνών, όπου μερικά ενδέχεται να είναι υπεύθυνα για την παροχή ενός συγκεκριμένου βαθμού προστασίας σε αυτές τις καταπονήσεις. Παρότι πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες βελτίωσης των επιδόσεων των καλλιεργειών μέσω διαγονιδιακής προσέγγισης κάτω από στρεσογόνο περιβάλλον εντούτοις δεν ήταν τόσο καρποφόρες, διότι οι θεμελιώδεις μηχανισμοί αντοχής των φυτών σε στρεσογόνες καταστάσεις παραμένουν πλήρως κατανοητοί.

Η ανάπτυξη ανθεκτικών καλλιεργειών στην αλατότητα υπήρξε μείζων στόχος των ερευνών για δεκαετίες προκειμένου να διατηρηθεί η παραγωγικότητα αυτών σε αλατούχα εδάφη. Αν και έχουν βρεθεί αρκετές ποικιλίες η πρόοδος της παραδοσιακής αναπαραγωγής ήταν αργή και δεν έχει θεωρηθεί επιτυχής, καθώς μόνο λίγα σημαντικά καθοριστικά γενετικά χαρακτηριστικά έχουν αναγνωρισθεί. Πριν από 25 χρόνια έγινε προσπάθεια με σκοπό να περιγραφτούν οι τεχνικοί και βιολογικοί περιορισμοί για την επίλυση του προβλήματος της αλατότητας. Αν και υπήρξε κάποια επιτυχία στις τεχνικές λύσεις του προβλήματος παρόλα αυτά στο βιολογικό κομμάτι οι λύσεις ήταν πιο δύσκολες να αναπτυχθούν, λόγω του ότι για να αποτελέσουν προϋπόθεση για την ανάπτυξη ανθεκτικών καλλιεργειών στην αλατότητα είναι η ταυτοποίηση βασικών γενετικών προσδιοριστών της αντοχής στο στρες. Η ύπαρξη φυτών ανθεκτικών στην αλατότητα και οι διαφορές στην αντοχή μεταξύ των γονότυπων εντός ευαίσθητων σε άλατα φυτικών ειδών (γλυκοφυρίτες) δείχνει ότι υπάρχει γενετική βάση όσον αφορά την ανταπόκριση των φυτών στην αλατότητα. Παρόλο που έχουν πραγματοποιηθεί πολλές προσεγγίσεις για την δημιουργία φυτών ανθεκτικών σε άλατα μέσω διαγονιδιακών κύτταρων, δεν έχει επιτευχθεί ακόμα πλήρως. Η εκτίμηση της ανθεκτικότητας έχει πραγματοποιηθεί σε διαγονιδιακά πειράματα ως επί το πλείστον με περιορισμένο αριθμό σπορόφυτων ή ώριμων φυτών σε εργαστηριακά πειράματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες θερμοκηπίου, όπου τα φυτά δεν εκτέθηκαν σε πραγματικές συνθήκες, οι οποίες επικρατούν σε εδάφη υψηλής αλατότητας π.χ., pH αλκαλικού εδάφους, υψηλές ημερήσιες θερμοκρασίες, χαμηλή υγρασία παρουσία άλλων αλάτων νατρίου και αυξημένων συγκεντρώσεων σεληνίου και / ή βορίου. Η αντοχή των φυτών στο πεδίο χρειάζεται να αξιολογηθεί και να εκτιμηθεί ως συνάρτηση της απόδοσης. Η αξιολόγηση των επιδόσεων πεδίου κάτω από την επίδραση του στρεσογόνου παράγοντα της

αλατότητας είναι δύσκολη εξαιτίας της μεταβλητότητας των επιπέδων των αλάτων σε συνθήκες πεδίου και του δυναμικού αλληλεπιδράσεων με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων τη γονιμότητα του εδάφους, τη θερμοκρασία, την ένταση του φωτός και την απώλεια νερού λόγω της διαπνοής. Η αξιολόγηση της αντοχής γίνεται ακόμη περισσότερο πολύπλοκη λόγω της μεταβλητότητας της ευαισθησίας στην αλατότητα κατά τη διάρκεια του βιολογικού του κύκλου. Για παράδειγμα, στο ρύζι, η απόδοση της καλλιέργειας επηρεάζεται περισσότερο κατά το στάδιο της παραγωγής του σπόρου από ότι κατά το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης (Richards, 1983). Στην ντομάτα, η φυτρωτική ή η βλαστική της ικανότητα υπό συνθήκες υψηλής αλατότητας δεν συσχετίζεται πάντα με την ικανότητα του φυτού να αναπτυχθεί κάτω από συνθήκες αλάτωσης, γιατί και οι δυο διαδικασίες ελέγχονται από διαφορετικούς μηχανισμούς (Barassi, 2006), αν και μερικοί γονότυποι μπορεί να παρουσιάζουν παρόμοια αντοχή κατά το φύτευμα και κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης. Από τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η εκτίμηση της αντοχής μιας καλλιέργειας σε εργαστηριακές συνθήκες παρουσιάζει συχνά ελάχιστη συσχέτιση με την αντοχή στον αγρό. Παρότι έχουν σημειωθεί πολλές επιτυχίες με την ανάπτυξη διαγονιδιακών φυτών, τα οποία παρουσιάζουν ανεκτικότητα σε στρεσογόνες συνθήκες όπως ο καπνός, *Arabidopsis* ή το ρύζι εντούτοις εμφανίζεται η επείγουσα ανάγκη να πραγματοποιηθούν δοκιμές και σε άλλες καλλιέργειες. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις, οι οποίες σχετίζονται με το μετασχηματισμό πολλών καλλιεργειών ιδιαίτερα όμως των μονοκοτυλήδων. Κατ' αρχάς, η μετατροπή οποιουδήποτε μονοκοτυλήδων εκτός του ρυζιού, εξακολουθεί να μην είναι συνήθης και η ανάπτυξη μιας σειράς ανεξάρτητων ομόζυγων γραμμών είναι δαπανηρή, τόσο από οικονομικής άποψης όσο και από άποψης χρόνου. Δεύτερον, κατά τη διαδικασία των πειραμάτων αντοχής στο στρες θα πρέπει να περιλαμβάνεται η συνιστώσα πεδίου, επειδή πολλοί από τους προσδιορισμούς αντοχής που χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές συνεπάγονται με τη χρήση μέσω πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις περιλαμβάνουν σακχαρόζη και ελάχιστα σχετίζονται με το πραγματικό πεδίο. Τρίτον, επειδή τα αλατώδη εδάφη είναι συχνά πολύπλοκα και μπορεί να περιλαμβάνουν NaCl , CaCl_2 , CaSO_4 , Na_2SO_4 , υψηλές συγκεντρώσεις βορίου και αλκαλικό pH, θα πρέπει οι καλλιέργειες που παρουσιάζουν αντοχή να εξετάζονται σε όλες αυτές τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Barassi, 2006).

4.4 ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ: ΈΝΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Ο ρόλος των μικροοργανισμών στην προώθηση της ανάπτυξης των φυτών, τη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών και τον έλεγχο των ασθενειών είναι γνωστός και αποδεδειγμένος. Αυτοί οι ευεργετικοί μικροοργανισμοί που αποικούν- στην ριζόσφαιρα/ενδοριζόσφαιρα των φυτών και προάγουν την ανάπτυξη των φυτών μέσω διαφόρων άμεσων και έμμεσων μηχανισμών. Όσον αφορά τους μύκητες, έχει αποδειχθεί ότι οι εμβολιασμοί με AM (arbuscular mycorrhizal) έχουν ως αποτέλεσμα οι μύκητες να βελτιώνουν την ανάπτυξη των φυτών κάτω από το στρες της αλάτωσης (Cho, 2006).

Όσον αφορά τα βακτήρια, αρκετές στρατηγικές έχουν αναπτυχθεί για τη μείωση των τοξικών επιδράσεων, οι οποίες προκαλούνται στην ανάπτυξη των φυτών, λόγω της υψηλής αλατότητας του εδάφους συμπεριλαμβανομένων των γενετικών φυτικών μηχανισμών (Wang, 2003), και πρόσφατα τη χρήση βακτηριδίων, τα οποία προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (PGPB) (Dimkpa, Weinand., Ash, 2009). Εκτός από την ανάπτυξη μηχανισμών αντοχής στο στρες, οι μικροοργανισμοί έχουν την ιδιότητα να προσδίδουν κάποιο βαθμό ανθεκτικότητας στα φυτά όταν παρατηρείται αβιοτικός στρεσογόνος παράγοντας όπως η ξηρασία, ο τραυματισμός, η αλατότητα, η τοξικότητα και η υψηλή θερμοκρασία. Την τελευταία δεκαετία, βακτήρια που ανήκουν σε διαφορετικά γένη, συμπεριλαμβανομένων των *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Pantoea*, *Paenibacillus*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Azospirillum*, *Microbacterium*, *Methylobacterium*, *Variovorax*, *Enterobacter* κλπ. έχουν αναφερθεί ότι παρέχουν αντοχή στα φυτά-ξενιστές όταν βρεθούν σε στρεσογόνους αβιοτικούς παράγοντες (Grover, 2011). Η χρήση αυτών των μικροοργανισμών μπορεί να μετριάσει επιπτώσεις στη γεωργία οδηγώντας σε μια νέα εφαρμογή αυτών. Η αντοχή που παρουσιάζουν τα φυτά μπορεί να οφείλεται σε διάφορους μηχανισμούς με βάση τις μελέτες που έγιναν. Με την παραγωγή του ινδολικού οξικού οξέος, των γιββερελλίνων και κάποιων άγνωστων προσδιοριστών PGPR, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους της ρίζας, της ριζικής επιφάνειας και τον αριθμό των ριζιδίων με αποτέλεσμα την βελτίωση της απορροφητικής ικανότητας των θρεπτικών στοιχείων βελτιώνοντας έτσι την υγεία των φυτών κάτω υπο στρεσογόνες συνθήκες. Τέτοια βακτήρια βελτιώνουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών της ντομάτας, της πιπεριάς, του φασολιού και των μαρουλιών όταν υπόκεινται σε συνθήκες εδαφικής αλάτωσης.

Προηγούμενες μελέτες υποδεικνύουν ότι η χρήση του PGPB είναι μια υποσχόμενη

εναλλακτική λύση για την μείωση του στρες των φυτών που προκαλείται από την αλατότητα και ο ρόλος των μικροοργανισμών στη διαχείριση των βιοτικών και αβιοτικών πιέσεων έχει κερδίσει σημαντικά.

Ο όρος Επίκτητη Συστημική Ανθεκτικότητα (SAR- Systemic Acquire Resistance) έχει προταθεί για φυσιολογικές και χημικές αλλαγές που προκαλούνται από PGPR με αποτέλεσμα την αυξημένη αντοχή στο αβιοτικό στρες. Τα PGPR διευκολύνουν την ανάπτυξη των φυτών είτε έμμεσα με τη μείωση των φυτικών παθογόνων είτε άμεσα διευκολύνοντας την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών μέσω της παραγωγής φυτορμονών π.χ., αυξίνη, κυτοκινίνη και γιββερελλίνη, με ενζυματική μείωση των επιπέδων φυτικού αιθυλενίου και / ή με παραγωγή σιδηροφόρων (Kohler, 2006). Ο Kohler, 2006 απέδειξε την ευεργετική επίδραση των στελεχών PGPR *Pseudomonas mendocina* στη σταθεροποίηση του συνόλου του εδάφους. Τα τρία PGPR απομονώνουν το *P. Alcaligenes PsA15*, το *Bacillus polymyxa BcP26* και το *Mycobacterium phlei MbP18* και παρουσίασαν την ικανότητα αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις αλάτων προσδίδοντας το δυνητικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της επιβίωσης σε άγονα και αλατούχα εδάφη όπως τα calcisol εδάφη. Ο Kohler διερεύνησε την επίδραση εμβολιασμού με PGPR, *P. mendocina*, μόνο του ή σε συνδυασμό με μύκητα AM, *Glomusinta radices* ή *G. Mosseae* τόσο στην ανάπτυξη όσο και στην πρόσληψη θρεπτικών ουσιών καθώς και σε άλλων φυσιολογικών δραστηριοτήτων του μαρουλιού κατά την στρεσογόνο επίδραση της αλάτωσης. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι τα φυτά που εμβολιάστηκαν με *P. mendocina* είχαν σημαντικά μεγαλύτερη βιομάζα από τα πρότυπα φυτά και προτείνεται ότι ο εμβολιασμός με επιλεγμένο PGPR θα μπορούσε να είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την μείωση της δυσμενής επίδρασης της αλατότητας σε φυτά που παρουσιάζουν ευαισθησία σε αυτή. Τα Βακτήρια που έχουν απομονωθεί από διαφορετικές στρεσογόνες έχει παρατηρηθεί ότι έχουν καλύτερη ικανότητα αντοχής στο στρες με τα χαρακτηριστικά που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών και ως εκ τούτου είναι πιθανών κύρια υποψήφιος για βακτηρίωση σπόρων. Όταν πραγματοποιήθηκε ο εμβολιασμός με αυτά τα προϊόντα τα φυτά παρουσίασαν ενισχυμένο ριζικό σύστημα με μεγαλύτερο μήκος της ρίζας, βελτιωμένη βιομάζα καθώς και τα βιοχημικά επίπεδα όπως χλωροφύλλη, καροτενοειδή και πρωτεΐνη. Μελέτες για την αλληλεπίδραση του PGPR με άλλα μικρόβια και την επίδρασή τους σχετικά με τη φυσιολογική απόκριση των καλλιεργούμενων φυτών κάτω από διαφορετικές συνθήκες αλατότητας του εδάφους βρίσκονται ακόμη σε αρχικό στάδιο. Είναι δεδομένο ότι οι εμβολιασμοί με επιλεγμένα PGPR και άλλα μικρόβια θα

μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως πιθανό εργαλείο για την μείωση του στρες λόγω της αλατότητας στις ευαίσθητες καλλιέργειες. Συνεπώς, απαιτείται εκτεταμένη μελέτη σε αυτό το πεδίο και η χρήση τόσο των PGPR καθώς και άλλων συμβιωτικών μικροοργανισμών, μπορεί να είναι χρήσιμη για την ανάπτυξη στρατηγικών με στόχο την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων σε αλατούχα εδάφη.

Ορισμένα στελέχη PGPR παράγουν κυτοκινίνη και αντιοξειδωτικά, τα οποία οδηγούν σε συσσώρευση αβυσικού οξέος (ABA) και αποικοδόμηση αντιδραστικών ειδών οξυγόνου. Οι υψηλές δραστηριότητες αντιοξειδωτικών ενζύμων συνδέονται με αντοχή σε οξειδωτικό στρες (Stajner, 1997). Ένα άλλο στέλεχος PGPR, *Achromobacter piechaudii* ARV8 που παράγαγε δεαμινάση 1-αμινοκυκλοπροπανο-1-καρβοξυλικού (ACC), παρείχε IST κατά της ξηρασίας και των αλάτων στις καλλιέργειες της πιπεριάς και της ντομάτας (Mayak, 2004). Πολλές πτυχές του βιολογικού κύκλου των φυτών σχετίζονται με τα επίπεδα του αιθυλενίου και η βιοσύνθεση αυτού υπόκειται σε αυστηρή ρύθμιση, η οποία περιλαμβάνει μεταγραφικούς και μετα-μεταγραφικούς παράγοντες που ρυθμίζονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες συμπεριλαμβανομένων των βιοτικών και αβιοτικών πιέσεων (Hardo, 2008). Υπό συνθήκες στρες, η φυτική ορμόνη αιθυλένιο ρυθμίζει ενδογενώς την ομοιοστασία των φυτών και έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και των βλαστών. Με την παρουσία βακτηριδίων, τα οποία παράγουν ACC απαμινάση, η ACC του φυτού απομονώνεται και αποικοδομείται από βακτηριακά κύτταρα για τον εφοδιασμό με άζωτο και ενέργεια. Επιπλέον, με την απομάκρυνση του ACC, τα βακτήρια μειώνουν την επιβλαβή επίδραση του αιθυλενίου, βελτιώνοντας τις στρεσογόνες επιπτώσεις και προωθώντας την ανάπτυξη του φυτού (Glick, 2007). Οι πολύπλοκες και δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μικροοργανισμών, των ριζών, του εδάφους και του νερού στη ριζόσφαιρα προκαλούν αλλαγές στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στη δομή του εδάφους. Οι μικροβιακοί πολυσακχαρίτες μπορούν να δεσμεύσουν τα εδαφικά τεμαχίδια και να σχηματίσουν μικροσυσσωματώματα και μακροσυσσωματώματα. Μέσω αυτής της διαδικασίας πραγματοποιείται σταθεροποίηση των μακροσυσσωμάτων (Haynes and Swift, 1990). Μεταχείριση των φυτών με Exo-polyσακχαρίτες (EPS) τα βακτήρια που παράγονται εμφανίζουν αυξημένη αντοχή στο νερό και στην αλατότητα λόγω της βελτιωμένης δομής του εδάφους. Το EPS μπορεί να δεσμευτεί με κατιόντα που συμπεριλαμβανομένου και του Na^+ , η οποία δεν είναι διαθέσιμη στα φυτά υπό φυσιολογικές συνθήκες. Εισαγωγή γονιδίων *proBA*, τα οποία προέρχονται από *B. Subtilis* σε *A. Thaliana* έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή

υψηλότερων επιπέδων ελεύθερης προλίνης με αποτέλεσμα αυξημένη αντοχή στην οσμωτική πίεση στα διαγονιδιακά φυτά (Manchanda, 2008). Η αυξημένη παραγωγή προλίνης μαζί με τη μειωμένη διαρροή ηλεκτρολυτών προκαλούν σχετική διατήρηση της περιεκτικότητας του νερού στα φύλλα (Brady, 2002) και επιλεκτική πρόσληψη ιόντων K με αποτέλεσμα την ανθεκτικότητα της αλατότητας από το καλαμπόκι *Zea mays*, που συμβιώνει με *Rhizobium* και *Pseudomonas* (Yamaguchi, 2005). Τα ριζοβακτηρίδια που βρίσκονται στις περιοχές που εκτίθενται σε συχνές συνθήκες στρες είναι πιθανό να είναι πιο προσαρμοσμένα ή ανεκτικά και μπορούν να χρησιμεύσουν ως καλύτεροι προαγωγοί της ανάπτυξης των φυτών υπό στρεσογόνες συνθήκες. Οι Tank and Saraf (2010) παρατήρησαν ότι τα PGPR είναι ικανά να διαλυτοποιήσουν φωσφορικά, να παράγουν φυτορμόνες σε συνθήκες αλατότητας, τα οποία προάγουν την ανάπτυξη φυτών της τομάτας όπου το NaCl ήταν κάτω του 2% . Μελετήθηκε το *P. pseudoalcaligenes*, ένα ενδοφυτικό βακτήριο σε συνδυασμό με το *B. pumilus* ένα ριζοσφαιρικό βακτήριο στο ρύζι με αποτέλεσμα να προστατευτεί το φυτό από το αβιοτικό στρες με επαγωγή οσμωπροστατευτικών και αντιοξειδωτικών πρωτεϊνών παρά με τα ριζοσφαιρικά ή ενδοφυτικά βακτήρια μόνο στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Επιπλέον φυτά που εμβολιάστηκαν με το ενδοφυτικό βακτήριο *P. pseudoalcaligenes* παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση γλυκίνης, βηταΐνης όπως οι τεταρτοταγείς ενώσεις και υψηλότερη βιομάζα στα χαμηλότερα επίπεδα αλατότητας (Jha, 2011). Σε υψηλότερα επίπεδα αλατότητας με τη χρήση και των δυο βακτηρίων, δηλαδή του *P. pseudoalcaligenes* και του *B. Pumilus* παρατηρήθηκε καλύτερη ανταπόκριση κατά των δυσμενών επιδράσεων της αλατότητας. Μελετήθηκε η επίδραση του εμβολιασμού των στελεχών *Azospirillum*, τα οποία απομονώθηκαν από αλατούχο ή μη αλατούχο έδαφος στην απόδοση του σιταριού σε συνθήκες αλατότητας και παρατήρησαν ότι ο εμβολιασμός με τα δύο βακτήρια αύξησε την αντοχή των φυτών σίτου στην αλατότητα καθώς και ότι αυξήθηκε σημαντικά το ξηρό βάρος των φυτών και η απόδοση των κόκκων του σιταριού κάτω από έντονη αλατότητα νερού. Αυτό που επηρεάστηκε παραπάνω ήταν οι κόκκοι του σιταριού ανά φυτό. Τα εμβολιασμένα φυτά με στελέχη *Azospirillum* είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις N σε όλα τα επίπεδα αλατότητας του νερού (Foolad, 1999).

Οι Sadeghi et al., το 2012 μελέτησαν την ανάπτυξη των φυτών μέσω της δράσης της αυξίνης και του σιδηροφόρου όπου παράγονται *Streptomyces* υπό συνθήκες αλατούχου εδάφους και αναφέρθηκαν αυξήσεις στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Παρατήρησαν σημαντικές αυξήσεις στο ποσοστό βλάστησης, στο ποσοστό και στην ομοιομορφία, στο μήκος των

βλαστών και στο ξηρό βάρος σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Με την εφαρμογή του βακτηριακού εμβολίου αυξήθηκε η συγκέντρωση των N, P, Fe και Μη στους βλαστούς του σιταριού που αναπτύσσονται σε κανονικές συνθήκες και σε αλατούχο έδαφος και συνεπώς κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι *Streptomyces* έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως βιολίπασμα στα αλατώδη εδάφη. Πιο πρόσφατα, μελετήθηκε η επίδραση πέντε βακτηρίων που προκαλούν ανάπτυξη φυτών στην ανάπτυξη σιταριού και διαπιστώθηκε ότι ο εμβολιασμός με αυτά τα βακτηριακά στελέχη άμβλυνε την αλατότητα. Όσον αφορά στα σπορόφυτα σίτου προκάλεσε αύξηση του μήκους των ριζών κατά 71,7% σε σύγκριση με τους μη εμβολιασμένους μάρτυρες. Ειδικότερα τα βακτηριακά στελέχη *Hallobacillus sp.* και *B. halodenitrificans* έδειξαν αύξηση πάνω από 90% στην επιμήκυνση των ριζών και αύξηση κατά 17,4% σε ξηρό βάρος σε σύγκριση με μη εμβολιασμένα φυτά σίτου σε συγκέντρωση 320 mM NaCl διαπιστώνοντας σημαντική μείωση των τοξικών επιδράσεων του NaCl. Αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι τα βακτήρια που απομονώνονται από αλατούχο περιβάλλον παρέχουν δυνατότητα αύξησης της ανάπτυξης των φυτών στην αλάτωση μέσω άμεσων ή έμμεσων μηχανισμών και θα ήταν καταλληλότεροι ως βιοσυσσωρευτές υπό τέτοιες συνθήκες. Η απομόνωση ενδογενών μικροοργανισμών από τα εδάφη που επηρεάζονται από το στρες και η επιλογή με βάση την αντοχή στο στρες και τα χαρακτηριστικά PGP μπορεί να είναι χρήσιμη στην ταχεία επιλογή αποτελεσματικών στελεχών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βιοσυσσωρευτές για καταπονημένες καλλιέργειες (Raymond, 1999).

4.5 ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΟ ΕΛΑΦΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ

Ένα έδαφος μπορεί να είναι μετρίως αλατούχο, αλλά μπορεί η περιεκτικότητά του σε νάτριο να είναι πολύ υψηλή. Τα σωματίδια της αργίλου και της οργανικής ουσίας στα εδάφη έχουν την ιδιότητα να απορροφούν στην επιφάνεια συστατικά άλατος, όπως το νάτριο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Σε μη αλατούχα εδάφη, στις επιφάνειες του εδάφους τα σωματίδια είναι κορεσμένα σε μεγάλο βαθμό με ασβέστιο και μαγνήσιο και συνήθως το ασβέστιο κυριαρχεί. Εάν ένα μη αλατούχο έδαφος έρχεται σε επαφή με νερό άρδευσης υψηλής αλατότητας, δηλαδή υψηλής συγκέντρωσης νατρίου, τότε πραγματοποιείται αντίδραση ανταλλαγής μεταξύ του νατρίου στο νερό και του ασβέστιο που συγκρατείται από τα σωματίδια του εδάφους. Μερικά άτομα νατρίου απορροφώνται και μια ισοδύναμη ποσότητα ασβεστίου

απελευθερώνεται στο διάλυμα. Αντιστρόφως, το προσροφημένο νάτριο στα εδάφη μπορεί να αντικατασταθεί με την προσθήκη ασβεστίου ή διαλύματος άλατος μαγνησίου.

Οι φυσικές ιδιότητες των εδαφών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το βαθμό στην οποία η άργιλος και η οργανική ουσία είναι κορεσμένα με νάτριο. Εδάφη κορεσμένα με ασβέστιο και μαγνήσιο έχουν μια καλή κοκκώδη δομή. Τα εδάφη που περιέχουν υψηλές ποσότητες προσροφημένου ή ανταλλάξιμου νάτριο έχουν συνήθως κακή δομή. Μελέτες των αλατούχων εδαφών έχουν δείξει ότι όταν το νάτριο αποτελεί 10 τοις εκατό ή περισσότερο από τα συνολικά ανταλλάξιμα κατιόντα ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο και νάτριο τότε το έδαφος τείνει να διασκορπιστεί. Συνεπώς ένα αλκαλικό έδαφος είναι σχετικά λιγότερο σταθερό και συνήθως υπάρχει αλλαγή από την κοκκώδη κατάσταση στη διασκορπισμένη φάση. Η δομή του εδάφους υποβαθμίζεται, το έδαφος μετατρέπεται σε αδιαπέραστο από το νερό και τον αέρα, η διείσδυση του νερού της άρδευσης καθυστερεί και η αποστράγγιση είναι δύσκολη. Αν το νερό άρδευσης που εφαρμόζεται στο έδαφος έχει υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο, αυτές οι δυσμενείς αλλαγές θα επηρεάσουν τη φυσική κατάσταση του εδάφους. Δεν υπάρχει απόλυτη τιμή που δίνεται για το ποσοστό του νατρίου στο νερό άρδευσης που θα προκαλέσει αλατότητα σε ένα έδαφος, αλλά το 60 έως 75 τοις εκατό είναι μια κατά προσέγγιση τιμή. Άλλοι παράγοντες που καθορίζουν τη σοβαρότητα της κατάστασης είναι η υφή του εδάφους, η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, η ορυκτολογική σύνθεση της αργίλου, της αποστράγγισης και του τρόπου διαχείρισης της καλλιέργειας .

Όταν υπάρχουν συνθήκες υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο θα πρέπει να γίνει προσπάθεια αφαίρεσης της περίσσειας αυτής. Η έκπλυση από μόνη της μπορεί να μην το κάνει αυτό και επίσης μπορεί να επιδεινωθεί η κατάσταση του εδάφους. Η εφαρμογή της διόρθωσης του εδάφους μέσω της αντικατάστασης του νάτριο με ασβέστιο είναι μια γενικά αναγνωρισμένη πρακτική βελτίωσης των αδιαπέραστων αλκαλικών εδαφών.

Η γύψος, το θείο, το ασβέστιο ή το χλωριούχο ασβέστιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή διαλυτού ασβεστίου ή για να καταστεί περισσότερο διαλυτό το ασβέστιο. Για παράδειγμα, το θείο οξειδώνεται στο έδαφος σε θειικό οξύ, το οποίο αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο για το σχηματισμό πιο διαλυτού γύψου, μια ένωση ασβεστίου. Η διαδικασία αυτή απαιτεί χρόνο, και το θείο πρέπει να αντιδράσει στο έδαφος και να οξειδωθεί αρκετούς μήνες πριν από την έκπλυση. Η επιλογή της διόρθωσης του εδάφους μπορεί να προσδιοριστεί από τη διαθεσιμότητά των τοπικών πηγών και τα έξοδα.

Η χρήση κοπριάς μπορεί να είναι αποτελεσματική για τη βελτίωση της συσσωμάτωσης και

της διαπερατότητας του εδάφους. Θεωρείται ότι η αποσύνθεση της προστιθέμενης η οργανικής ύλης απελευθερώνει ανθρακικό οξύ, το οποίο με τη σειρά του αυξάνει τη διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος. Το ίδιο παρατηρείται και στη φυτική κοπριά. Η δράση των ριζών της καλλιέργειας βελτιώνει τη δομή του εδάφους. Η ξήρανση είναι επωφελής στην περίπτωση όπου το έδαφος κατά την διαδικασία της αποκατάστασης έχει λιμνάσει και διασκορπιστεί.

Σε περιοχές όπου η πλήρης αποκατάσταση του εδάφους είναι οικονομικά ασύμφορη τότε μπορεί να γίνει μερική βελτίωση αυτού στο βαθμό όπου θα του επιτρέπεται η εγκατάσταση καλλιεργειών. Με την αγρανάπαυση θα δοθεί χρόνος για την βελτίωση της δομής του εδάφους και της διαπερατότητας αυτού. Με προσεκτική διαχείριση και πρόγραμμα περιορισμένη εφαρμογής αποκατάστασης θα μπορέσει να επιτευχθεί βελτίωση του εδάφους και να καταστεί κατάλληλο για γεωργική χρήση. Συνεπώς μια επιτυχημένη αποκατάσταση εδάφους μπορεί να περιλαμβάνει συνδυασμό έκπλυσης, διόρθωσης του εδάφους και σωστής διαχείρισης του εδάφους και των καλλιεργειών.

Η βλαστική ικανότητα των σπόρων συχνά μειώνεται στα αλατούχα εδάφη και τα φυτά είναι περισσότερο ευαίσθητα στα άλατα στο βλαστικό στάδιο παρά όταν είναι περισσότερο ώριμα.

Σπορόφυτα σχετικά ανθεκτικά σε άλατα όπως το τριφύλλι, τα ζαχαρότευτλα, και το βαμβάκι, μπορεί να επιβραδύνουν την ανάπτυξη τους ή ακόμη και να πεθάνουν εάν το έδαφος είναι μετρίως αλατούχο. Η προσεκτική προετοιμασία της σποροκλίνης είναι πολύ σημαντικός παράγοντας και θα πρέπει το έδαφος να ξεπλυθεί πριν τη σπορά. Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της ανυψωμένης κλίνης και η άρδευση με αυλάκια όπως στο μαρούλι και σε μερικές άλλες καλλιέργειες τα διαλυτά άλατα τείνουν να συσσωρεύονται προς την κορυφή των κυρτών κλινών. Εάν οι σπόροι φυτεύονται στους ώμους του κρεβατιού τότε ο κίνδυνος αλατότητας μειώνεται. Το έδαφος θα πρέπει να έχει επαρκή υγρασία για να βλαστήσουν οι σπόροι. Και δεν θα πρέπει να καταστεί ξηρό κατά τη διάρκεια του φυτρώματος, διότι μπορεί να συσσωρευτούν άλατα. Η χρήση μικρών αυλακίων κατά μήκος της σειράς των σπόρων επέτρεψε την έκπλυση και τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης του φυτού με κάποια επιτυχία (Raymond, 1999).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Τα αλατούχα εδάφη θεωρούνται εδάφη αρκετά διαδεδομένα στην χώρα μας. Στην παρούσα αυτή εργασία παρουσιάζονται μια σειρά μέτρων και αξιοσημείωτων δράσεων με στόχο την άρση του φαινομένου, ενώ για την αποτελεσματικότερη αποκατάσταση της συσσώρευσης αλάτων στο έδαφος συμπεραίνουμε ότι χρειάζεται μια σειρά λήψης μέτρων και ποτέ μεμονωμένα. Ο έλεγχος της αλατότητας απαιτεί ακριβείς πληροφορίες τόσο για το βαθμό όσο και τον τύπο αυτής σε μια περιοχή. Θα προκύψουν σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις στην περίπτωση όπου γίνουν ενέργειες αποκατάστασης χωρίς προηγούμενη γνώση των φυσιολογικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι και διαδικασίες, οι οποίες αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή. Για την άρση του φαινομένου λοιπόν, χρειάζεται να λάβουμε υπόψη μας τις καλλιεργητικές φροντίδες που βοηθούν στην άρση του φαινομένου και χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Καλλιεργητικές φροντίδες όπως η σωστή επιλογή της μεθόδου άρδευσης με νερό καλής ποιότητας, η στράγγιση και η ισοπέδωση του εδάφους, η κατάκλιση του εδάφους, καθώς και η επιλογή ανθεκτικών ποικιλιών αποτελούν αξιοσημείωτες μεθόδους που βοηθούν στην αντιμετώπιση του φαινομένου της εδαφικής αλατότητας. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι καινοτόμες λύσεις που παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή όπως είναι η χρήση βακτηρίων με στελέχη PGPR και οι εμβολιασμοί με AM μύκητες αποτελούν δαπανηρές λύσεις με μεγαλύτερη τεχνογνωσία. Οι καινοτόμες αυτές προτάσεις αποτελούν σημαντική προσέγγιση για τη διαχείριση των αλατούχων εδαφών ωστόσο χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση για τον τρόπο χρήσης τους καθώς και για την αποδοτικότητα τους σε μια περιοχή.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η πρόληψη και η βελτίωση των επηρεαζόμενων με άλατα εδαφών απαιτεί μία ολοκληρωμένη διαχειριστική προσέγγιση. Μία τέτοια προσπάθεια θα πρέπει περιλαμβάνει μέτρα παρακολούθησης, αγρονομικά και τεχνολογικά μέτρα, καθώς και επανεξέταση των κοινωνιολογικών και οικονομικών πλευρών του ζητήματος.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Barassi, C.A., Ayrault, G., Creus, C.M., Sueldo, R.J., Sobero, M.T., 2006. Seed inoculation with *Azospirillum mitigaes* NaCl effects on lettuce. *Sci. Horticulturae*, 8–14, 2006.

Bernstein, Salt Tolerance of N. Co. Varieties of Sugar Cane. II. Effects of Soil Salinity and Sprinkling on Chemical Composition¹, *Agronomy journal*, 1964.

Brady, N.C., *The Nature and Properties of Soils*, New Jersey, USA, Prentice Hall, 2002.

Cho, K., Toler, H., Lee, J., Owenley, B., Stutz, J.C., Moore, J.L., Auge, R.M., Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. *J. Plant Physiol.* 163, 517–528, 2006.

Dimkpa, C., Weinand, T., Ash, F., Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant Cell Environ.* 32, 1682–1694, 2009.

Foolad, M.R., Chen, F.Q., 1999. RFLP mapping of QTLs conferring salt tolerance during the vegetative stage in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 99, 235–243.

Glick, B.R., Cheng, Z., Czarny, J., Duan, J., 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *Eur. J. Plant Pathol.* 119, 329–339.

Grover, A., Aggarwal, P.K., Kapoor, A., Katiyar-Agarwal, S., Agarwal, M., Chandramouli, A., Addressing abiotic stresses in agriculture through transgenic technology. *Curr. Sci.* 84, 355–367, 2003.

J. W. Doran and T. B. Parkin, “Quantitative Indicators of Soil Quality: A Minimum Data Set,” In: J. W. Doran and A. J. Jones, Eds., *Methods for Assessing Soil Quality*, Special Publication No. 49, Soil Science Society of America, Madison, pp. 25-37, 1996.

Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., Foolad, M.R., 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. *Crit. Rev. Plant Sci.* 30 (5), 435–458.

Hajrasuliha, S., Baniabbassi, N., Metthey, J., Nielsen, D.R., 1980. Spatial variability of soil sampling for salinity studies in Southwest Iran. *Irrig. Sci.* 1.

Hardoim, P.R., van Overbeek, S.V., van Elsas, J.D., 2008. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends Microbiol.* 16, 463–471.

Haynes, R.J., Swift, R.S., 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.* 41, 73–83. Bano, A., Fatima, M., 2009.

Hayward H. E. The Control of Salinity Huber, S., Prokop, G., Arrouays, D., Banko, G., Bispo, A., Jones, R.J.A., 2009.

Kohler, J., Caravaca, F., Carrasco, L., Roldan, A., Contribution of *Pseudomonas mendocina* and *Glomus intraradices* to aggregates stabilization and promotion of biological properties in rhizosphere soil of lettuce plants under field conditions. *Soil Use Manage.* 22, 298–304, 2006.

Kohler, J., Hernandez, J.A., Caravaca, F., Roldan, A., Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 65, 245–252, 2009.

Li, J., Pu, L., Zhu, M., Dai, X., Xu, Y., Chen, X., Zhang, L., Zhang, R., 2014. Monitoring soil salt content using HJ-1A hyperspectral data: a case study of coastal areas in Rudong County, Eastern China. *Chinese Geogr. Sci.* 25, 1–11.

Manchanda, G., Garg, N., 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiol. Plant.* 30, 595–618.

Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B.R., 2004. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiol. Biochem.* 42, 565–572.

Montanarella, L., Pennock, D.J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., Vijarnsorn, P., Zhang, G.-L., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocká, J., Alegre, J., Henriquez, C.R., deLourdes Mendonça-Santos, M., Taboada, M., Espinosa-Victoria, D., AlShankiti, A., AlaviPanah, S.K., Elsheikh, E.A.E.M., Hempel, J., Camps Arbestain, M., Nachtergaele, F., Vargas, R., World's soils are under threat. *Soil* 2, 79–82, 2016.

Morvan, X., Saby, N.P.A., Arrouays, D., Le Bas, C., Jones, R.J.A., Verheijen, F.G.A., Bellamy, P.H., Stephens, M., Kibblewhite, M.G., 2008. Soil monitoring in Europe: a review of existing systems and requirements for harmonisation. *Sci. Total Environ.* 391, 1–12.

Munns, R., Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239–250, 2002.

Munns, R., Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167, 645–663, 2005.

Rader, The salt index-a measure of the effect of fertilizers on the concentration of the soil solution, Bureau of Plant Industry, U. S. Department of Agriculture, 1942.

Rader, The salt index-a measure of the effect of fertilizers on the concentration of the soil solution, Bureau of Plant Industry, U. S. Department of Agriculture, 1942.

Raymond W. Miller, Roy L. Donahue, Soils in our environment, Prentice Hall, 1995.

Richards, R.A., Should selection for yield in saline regions be made on saline or non-saline soils. *Euphytica* 32, 431–438, 1983.

Shahid, S.A., Abdelfattah, M.A., Taha, F.K. (Eds.), Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture. Springer, Dordrecht, Netherlands, 2013.

Stajner, D., Kevresan, S., Gasic, O., Mimica-Dukic, N., Zongli, H., 1997. Nitrogen and *Azotobacter chroococcum* enhance oxidative stress tolerance in sugar beet. *Biol. Plantarum* 39 (3), 441–445.

Tank, N., Saraf, M., Salinity-resistant plant growth promoting rhizobacteria ameliorates sodium chloride stress on tomato plants. *J. Plant Interact.* 5, 51–58, 2010.

Venkateswarlu, B., Shanker, A.K., Climate change and agriculture: adaptation and mitigation strategies. *Indian J. Agron.* 54, 226–230, 2009.

Wang, W., Vinocur, B., Altman, A., Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218, 1–14, 2003.

Yamaguchi, T., Blumwald, E., 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci.* 10 (12), 615– 620.

Καλύβας, Δ. Αξιολόγηση εδαφών, τοποκλιματικές συνθήκες και κρασί, 2003.

Τσικάλας, Π. Αντικείμενα εργαστηρίου θρέψη φυτών-γονιμότητα εδαφών, 2003.

Σινάνης, Κ. Διαχείριση εδαφών. Σελ 99-119, 2009.

Σινάνης, Κ. Εργαστηριακές ασκήσεις διαχείρισης εδαφών. Σελ. 38-44, 2015.