

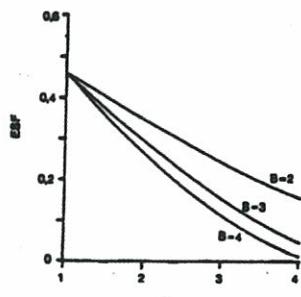
Ν. Δ. ΜΙΣΟΠΟΛΙΝΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

Μελέτη
Πρόληψη
Βελτίωση

$$ESF_n = \frac{1}{1 + \left[\left(C_0 R_0 + \frac{B^n - 1}{B - 1} X \right) B^{n-1} \right]^{1/n}}$$

1,414 kC_0 (1 - R_0)



N. Μισοπολινός
Καθηγητής
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας
Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

Μελέτη
Πρόβλεψη
Βελτίωση

Θεσσαλονίκη 1991

Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

Φωτογραφία εξώφυλλου:
Δορυφορική εικόνα του SPOT - 1, σύνθεση καναλιών 1, 2, 3, Ιούνιος 1987.

Στην Πολυάνθη, τη μάνα μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος 9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΞΙΝΩΝ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	11
1.1 ΘΕΩΡΙΑ - ΑΡΧΕΣ	11
1.12 Ικανότητα εξουδετέρωσης Πρωτονίων (ANC)	14
1.121 Συνεισφορά των διαφόρων στοιχείων του εδαφικού συστήματος στην ANC	18
1.122 Ιδιαίτερες περιπτώσεις μελέτης του pH και της ANC του εδάφους	18
1.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ (ANC ή BNC) ΚΑΙ ΤΟΥ ΡΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	19
1.3 ΓΩΣ ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	23
1.31 Αντιδράσεις μεταξύ ζώτας ύλης και αβιοτικού περιβάλλοντος	24
1.32 Αντιδράσεις που συντελούνται στο εδαφικό διάλυμα	28
1.33 Αντιδράσεις μεταξύ στερεάς και υγρής φάσης του εδαφικού συστήματος	30
1.4 ΙΣΟΖΥΓΙΟ H^+ ΣΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	32
1.5 Η ΟΞΙΝΙΣΗ Η Η ΑΛΚΑΛΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ	43
2.1 ΑΛΑΤΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΛΟΓΩ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ Ή ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΘΕΣΕΩΣ	43
2.2 ΑΛΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ	45
2.21 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ	45
2.211 Αλάτωση του εδάφους	46

2.212 Διηθητικότητα του εδάφους	47
2.213 Τοξικότητα ιόντων	47
2.214 Διάφορα άλλα προβλήματα	48
2.22 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ	48
2.221 Η αλατότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί	52
2.222 Η διηθητικότητα του νερού στο έδαφος	52
2.2221 Εκτίμηση των προβλημάτων διηθητικότητας	54
2.2222 Πηγές ενισχύσεως του Ca του νερού αρδέσευσως	57
2.223 Η Τοξικότητα ορισμένων ιόντων	61
2.224 Το ποσό του νιτρικού αζώτου (NO_3^- - N), των όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO_3^-), καθώς και το pH	61
2.23 ΠΟΙΕΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΟΔΗΓΟΥΝ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΑΛΑΤΩΣΗ	63
2.24 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΣΤΕΡΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	65
2.241 Παράδειγμα 1	66
2.242 Παράδειγμα 2	67
2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΑ ΦΥΤΑ	64
2.4 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	75
2.41 Στράγγιση	77
2.42 Έλεγχος της αλατότητας με βαθειά διήθηση	80
2.421 Οι απαιτήσεις σε επί πλεον ποσότητα νερού	80
2.422 Χρονική κατανομή νερού για το ξέπλυμα των αλάτων	81
2.423 Παράδειγμα	82
2.424 Παρακολούθηση της έκπλυσης	86
2.43 Καλλιεργητικά μέτρα για την αντιμετώπιση της αλατότητας	87
2.431 Ισοπέδωση του εδέφους	87
2.432 Προγραμματισμός των αρδέσεων	88
2.433 Περιοχή τοποθέτησης του σπόρου	89
2.434 Λίπανση	91
2.435 Κατανομή των αλάτων στο έδαφος ανάλογα με την μέθοδο άρδευσης	94
2.5 ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	96
2.51 Παρατηρήσεις που αφορούν τον πίνακα 12	101

2.52 Υπολογισμός των στοιχείων ανθεκτικότητας των καλλιεργειών	107
2.521 Παράδειγμα	109
2.53 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα	111
2.54 Αντοχή στην αλατότητα όταν γίνεται άρδευση με καταιωνισμό	114
2.6 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΛΑΤΟΥΧΑ-ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΑ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ	119
3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΝΑΤΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΠΩΣ ΣΥΝΤΕΛΕΙΤΑΙ	119
3.2 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΛΑΤΩΣΗ-ΝΑΤΡΙΩΣΗ	121
3.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ-ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	129
4.1 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	131
4.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ-ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	131
4.21 Βελτίωση εδαφών με κλασική μέθοδο	134
4.22 Βελτίωση με αλατούχο νερό	136
4.221 Βελτίωση με τη μέθοδο Reeve και Doering (1966)	137
4.222 Βελτίωση με τη μέθοδο N. Μισοπολινού	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΑ ΟΞΙΝΑ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥΣ	143
5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΑ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	143
5.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	144
5.21 Η δράση του CaCO ₃ στα όξινα εδάφη	145
5.3 ΠΡΑΚΤΙΚΟΤΕΡΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	146
5.31 Από που προέρχεται η οξύτητα στο έδαφος	146
5.32 Τί είναι το ασβέστιο που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των όξινων εδαφών	147
5.33 Πλεονεκτήματα της ασβέστωσης του εδάφους	147
5.34 απαιτήσεις σε υλικά ασβεστώσεως	149

5.35 Τρόπος και χρόνος ασβέστωσης	150
5.36 Οδηγίες για ορισμένες καλλιέργειες	151
5.37 Υλικά ασβέστωσης και συγκρίσεις	152
5.371 Ταχύτητα αντιδράσεως των υλικών ασβέστωσης	153
5.372 Αιωρήματα υλικών ασβέστωσης	154
5.38 Ανάγκες σε μαγνήσιο	155
5.381 Δολομιτικός ασβεστόλιθος	156
5.382 Ασβεστόλιθοι	156
5.383 Μάργες και σβησμένος ασβέστης	156
5.39 Απώλειες υλικών ασβέστωσης από τό έδαφος	156

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	157
6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	158
6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ CO ₂ ΣΤΗ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ CA(OH) ₂ ΚΑΙ ΤΟΥ CACO ₃	159
6.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ CA(OH) ₂ ΣΕ ΟΞΙΝΗ ΑΡΓΛΟ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ Η ΧΩΡΙΣ CO ₂	161

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΤΑ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ	171
7.1 ΠΟΙΑ ΘΕΩΡΟΥΝΤΑΙ ΩΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ	171
7.2 Η ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	171
7.3 ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	172
7.4 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	174
 ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	179
ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ	185
ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	187

Πρόλογος β' εκδόσεως

Η σταδιακή μείωση των υδατικών αποθεμάτων της χώρας τα τελευταία χρόνια έχουν οδηγήσει σε μια σταδιακή μείωση των ποσοτήτων νερού που διατίθενται για τις αρδεύσεις των καλλιεργούμενων φυτών. Η σταδιακή αυτή μείωση των ποσοτήτων νερού καθώς και η μη κανονική πολλές φορές χρονική κατανομή των αρδεύσεων εμπεριέχει το σοβαρό κίνδυνο συσσωρεύσεως αλάτων στην εδαφική κατατομή με συνέπειες οι οποίες έχουν ήδη εμφανισθεί στη μείωση της παραγωγής. Η μείωση της παραγωγής της τάξεως του 10% περίπου δεν είναι άμεσα εμφανής με συνέπεια να μην απασχολεί ακόμη ούτε τους γεωργούς ούτε την πολιτεία διότι πολλές φορές αποδίδεται σε άλλους παράγοντες.

Εφόσον η σταδιακή μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, έστω και σε μικρά ποσοστά, και κατά συνέπεια των αποθεμάτων νερού αποτελεί πλέον μια ορατή πραγματικότητα, θα πρέπει ο προσανατολισμός της αρδευόμενης γεωργίας να οδηγεί προς τη γνώση και προληψη των πιθανών προβλημάτων και όχι την θεραπεία τους. Η σωστή θεωρητική γνώση της συγκνετρώσεως αλάτων στο εδαφικό προφίλ ανάλογα με τη μέθοδο αρδεύσεως, τη χρονική κατανομή των αρδεύσεων αλλά και τις συνθήκες περιβάλλοντος, θα αποτελούν στο μέλλον τους καθοριστικούς παράγοντες για τη σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος και τη διατήρηση των απόδοσεων των καλλιεργειών σε υψηλά επίπεδα.

Ο προηγούμενος προβληματισμός οδήγησε στη σκέψη ότι οι φοιτητές των γεωπονικών κλάδων θα πρέπει να είναι πλήρως ενημερωμένοι με τα πιθανά προβλήματα αλατότητας καθώς και με την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών. Έτσι λοιπόν στην αρχική ύλη των σημειώσεων των προβληματικών εδαφών προστέθηκαν λεπτομερή κεφάλαια που σχετίζονται με τα προβλήματα της αλατότητας για την ολοκλήρωση των γνώσεων στα προβλήματα της αλατότητας που σχετίζονται με την αρδευόμενη γεωργία.

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 1991.
Ν. Δ. Μισοπολινός.

Πρόλογος α΄ εκδόσεως

Οι σημειώσεις του μαθήματος Προβληματικά εδάφη αποτελεί μια σειρά μαθημάτων για τους φοιτητές του Τμήματος Γεωπονίας της Γεωτεχνικής Σχολής με θέματα που αφορούν τις κατηγορίες εδαφών που δημιουργούν προβλήματα τόσο στις καλλιεργητικές εργασίες όσο και στην ανάπτυξη των καλλιεργουμένων φυτών.

Η επαφή των φοιτητών με θέματα που αφορούν τα προβληματικά εδάφη έχει ως στόχο, 1. την κατανόηση των μηχανισμών οι οποίοι οδηγούν στο σχηματισμό τους, 2. την αναγνώριση των διαφόρων κατηγοριών προβληματικών εδαφών, 3. την απόκτηση γνώσεων για την αντιμετώπιση και βελτίωση των εδαφών αυτών και, 4. την αντοχή των καλλιεργούμενων φυτών στις διάφορες κατηγορίες των προβληματικών εδαφών.

Η ύλη του μαθήματος χωρίζεται σε εππά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει ορισμένες θεωρητικές αρχές για το σχηματισμό των δξινών και νατριωμένων εδαφών, το δεύτερο περιλαμβάνει τα αλατούχα εδάφη και τη βελτίωση τους, το τρίτο ορισμένες θεωρητικές αρχές που καθορίζουν τη συμπεριφορά του ασβεστίου στο έδαφος, το τέταρτο τα αλατούχα-νατριωμένα και νατριωμένα εδάφη, το πέμπτο τη βελτίωση των αλατούχων, αλατούχων-νατριωμένων και νατριωμένων εδαφών, το έκτο περιλαμβάνει τα δξινα εδάφη και το έβδομο τα ασβεστούχα.

Στη διαμόρφωση της ύλης ελήφθη υπόψη κυρίως η έρευνα των τελευταίων ετών η οποία αποτέλεσε και το πλαίσιο συγκρότησης των κεφαλαίων. Μάλιστα δε, ορισμένες ερευνητικές εργασίες της διεθνούς βιβλιογραφίας αναλύθηκαν με μεγάλη λεπτομέρεια. Παράλληλα καταβλήθηκε προσπάθεια η έκταση της ύλης να βρίσκεται μέσα σε λογικά όρια έτοις ώστε να μπορεί να αποτελεί ένα σημείο προσέλκυσης για τον αναγώστη.

Ευχαριστίες οφείλονται στον καθηγητή κ. Γεράκη για την κριτική ανάγνωση ορισμένων τμημάτων του πρώτου μέρους οι παραπρήσεις του οποίου υπήρξαν πολύτιμες για την καλύτερη παρουσίαση και ανάλυση των θεμάτων. Δυνατόν, παρά την προσπάθεια, να υπάρχουν λάθη ή παραλήψεις. Κάθε καλόπιστη κριτική θα γινόταν ευχαριστώς δεκτή. Ευχαριστίες, επίσης, οφείλονται στο μέλος του ΕΔΤΠ του Τομέα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής κ. Β.Βεζύρη για τη δακτυλογράφηση των χειρογράφων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Θεσσαλονίκη 1987
Ν.Δ Μισοπολινός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΞΙΝΩΝ ΚΑΙ ΑΛΚΑΛΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η πορεία δημιουργίας ακραίων καταστάσεων στα εδάφη δηλ. όξινων ή αλκαλικών εδαφών, γεγονός τόσο σημαντικό για την ανάπτυξη των καλλιεργουμένων φυτών απασχόλησαν τους ερευνητές ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία. Παλαιότερα η τελική αιτία της οξύτητας των εδαφών αποδιδόταν στη διάσταση του CO_2 ή των οργανικών οξέων, στην πρόσληψη των κατιόντων του εδαφικού διαλύματος από τα φυτά, ή στην έντροποίηση.

Λόγω της μεγάλης πρακτικής σημασίας της οξίνισης ή της αλκαλιώσης των εδαφών που συντελείται σε όλα τα εδάφη θεωρείται απαραίτητο να εξετασθούν πρώτα-πρώτα οι αρχές και οι διεργασίες οι οποίες οδηγούν τα εδάφη στις ακραίες αυτές καταστάσεις.

1.1 ΘΕΩΡΙΑ - ΑΡΧΕΣ

Οξύ κατά τον Brönsted είναι μία ένωση που μπορεί να δώσει πρωτόνια (δότης) και βάση είναι μία ένωση που μπορεί να δεχτεί (δέκτης). Μεταφορά πρωτονίων υφίσταται όταν σε ένα σύστημα υπάρχουν οξέα (HA) και βάσεις (B^-).



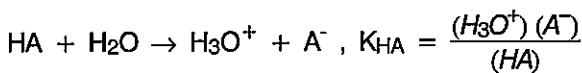
Τα HA και A^- , ή τα HB και B^- ονομάζονται συζυγή οξεο-βασικά ζεύγη. Στο σύστημα έδαφος-νερό τέτοια οξεο-βασικά ζεύγη είναι τα H_3O^+ - H_2O , Al(OH)_2^+ - Al(OH)_3 , H_2CO_3 - HCO_3^- και NH_4^+ - NH_3 .

Για να μπορούμε να κάνουμε υπολογισμούς σχετικούς με την πορεία της δημιουργίας όξινων και αλκαλιωμένων εδαφών μέσα σε ένα εδαφικό

σύστημα, θα πρέπει καταρχήν να διευκρινισθεί τι είναι παράγοντες **έντασης** και **ικανότητας**.

Παράγοντες **έντασης** είναι αυτοί που προσδιορίζονται από τις χημικές ιδιότητες και είναι ανεξάρτητοι από την ποσότητα και το μέγεθος του συστήματος, π.χ. η δύναμη ενός οξέος ή μιας βάσης (η τάση δηλαδή να δίνει ή να δέχεται πρωτόνια). Παράγοντες **ικανότητας** είναι αυτοί που δεν προσδιορίζονται από τις χημικές ιδιότητες αλλά αποτελούν συνάρτηση της ποσότητας και του μεγέθους του συστήματος, π.χ. η ποσότητα ενός οξέος ή μιας βάσης που υπάρχουν στο σύστημα.

Η δύναμη (παράγοντας έντασης) των οξεο/βασικών συστημάτων εκφράζεται από τη σταθερά διαστάσεως (ΚΗΑ). Η διάσταση ενός οξέος στο νερό θα δώσει:



$$\text{και } \frac{K_{\text{HA}}}{(\text{H}_3\text{O}^+)} = \frac{(\text{A}^-)}{(\text{HA})} \quad \text{ή } \log K_{\text{HA}} - \log \text{H}_3\text{O}^+ = \log \frac{(\text{A}^-)}{(\text{HA})}$$

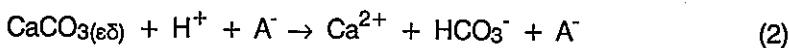
$$\text{ή } \text{pH} = \text{pK}_{\text{HA}} + \log \frac{(\text{A}^-)}{(\text{HA})}$$

Από τις προηγούμενες εξισώσεις φαίνεται ότι όσο πιο όξινο (χαμηλό pH) είναι το σύστημα, τόσο η διάσταση είναι μεγαλύτερη καθώς και η τιμή της ΚΗΑ.

Το έδαφος αποτελεί ένα μίγμα οξεο/βασικών συστημάτων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως διαφορετικές στάθμες ενέργειας. Οι στάθμες ενέργειας των πρωτονίων ενός οξεο/βασικού συστήματος είναι συνάρτηση της ΚΗΑ του συστήματος αυτού. Μικρή ΚΗΑ σημαίνει χαμηλή στάθμη ενέργειας, δηλαδή μεγάλη τάση να δεχτεί παρά να δώσει πρωτόνια. Όταν σέ ενα οξεο/βασικό σύστημα προστεθούν πρωτόνια αυτά θα αντιδράσουν με τις χαμηλές στάθμες ενέργειας, θα εναθούν δηλαδή με τη συζυγή βάση του πιο ασθενούς οξέος του συστήματος. Όταν προστίθενται συνεχώς πρωτόνια τότε συμπληρώνονται διαδοχικά οι στάθμες ενέργειας από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη. Αυτό σημαίνει ότι η αντίδραση του συστήματος στην εισροή πρωτονίων αρχίζει με τις συζυγείς βάσεις των οξέων που έχουν μικρό βαθμό διαστάσεως (ΚΗΑ).

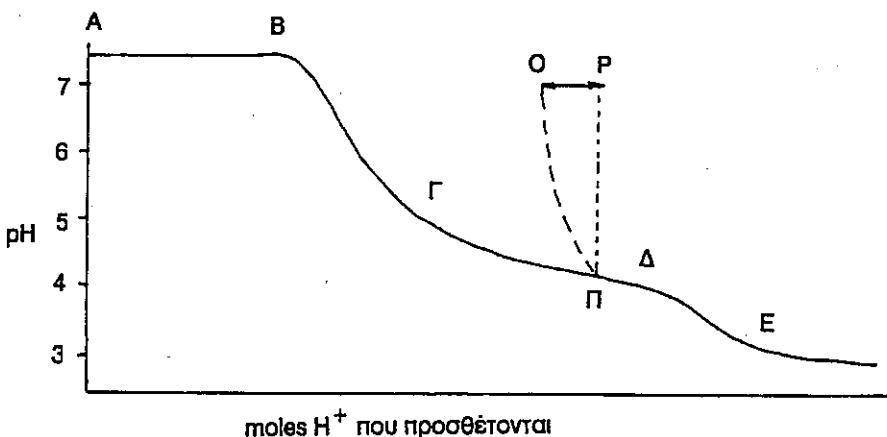
Για τη σαφέστερη κατανόηση των προηγουμένων ας θεωρήσουμε ένα ασβεστούχο αργιλώδες εδαφικό σύστημα (Σχ.1) στο οποίο προσθέ-

τουμε ένα ισχυρό οξύ (ΗΑ). Υποθέτουμε ότι το σύστημα στραγγίζει πλήρως οπότε η συγκέντρωση της συζυγούς βάσης A^- και η μερική πίεση (συγκέντρωση) του CO_2 στο εδαφικό περιβάλλον παραμένουν σταθερά σε όλη τη διάρκεια της εισροής των πρωτονίων του οξέος. Στην αρχή τα πρωτόνια θα αντιδράσουν με το $CaCO_3$ και θα αρχίσουν να το διαλύουν.



Η αντίδραση αυτή θα συνεχιστεί μέχρις ότου εξαντληθούν όλες οι ποσότητες του $CaCO_3$ του εδάφους. Σε όλη τη διάρκεια της αντιδράσεως (2) το pH του εδάφους παραμένει σταθερό γύρω στο 7,5 (τμήμα AB της καμπύλης στο Σχ. 1), γεγονός που δηλώνει ότι η παρουσία του $CaCO_3$ δίνει στο έδαφος μια ικανότητα να αντιστέκεται στις μεταβολές του pH (ρυθμιστική ικανότητα). Η ενεργειακή στάθμη του $CaCO_3$ στο σύστημα που θεωρήσαμε έχει τη χαμηλότερη ενέργεια δηλαδή η συζυγής βάση HCO_3^- που ανήκει στο H_2CO_3 έχει το μικρότερο βαθμό διαστάσεως.

Με την εξάντληση του $CaCO_3$ λόγω της αντιδράσεώς του με τα πρωτόνια του οξέος ΗΑ, το pH του εδαφικού διαλύματος αρχίζει να μειώνεται (τμήμα BG) μέχρι να αντιδράσουν τα πρωτόνια με την επόμενη



Σχήμα 1. Υποθετική ογκομετρική καμπύλη ενός επαρκώς στραγγιζόμενου ασβεστούχου αργιλώδους εδάφους με σταθερή pCO_2 , που ογκομετρήθηκε με ένα ισχυρό οξύ μέχρι $pH=3$ (Bremen et al, 1983).

διαθέσιμη (υψηλότερη) στάθμη ενέργειας. Η στάθμη αυτή στο σύστημά μας αντιπροσωπεύει τις εναλλακτικές θέσεις των ορυκτών της αργίλου. Σε όλη τη διάρκεια της εναλλαγής των πρωτονίων με τα άλλα κατιόντα των εναλλακτικών θέσεων το pH παραμένει σταθερό γύρω στο 4,5. Τελικά η τελευταία στάθμη ενέργειας αντιπροσωπεύει την τελική καταστροφή (αποσάρωση) των ορυκτών της αργίλου και τη δημιουργία οξειδίων μετά το τμήμα ΔΕ.

1.12 Ικανότητα εξουδετερώσεως πρωτονίων (ANC)

Στο παράδειγμα του σχήματος 1. το pH ήταν ένας παράγοντας **εντασης**, ενώ τα moles του οξέος που καταναλώθηκαν στις διάφορες στάθμες ενέργειας είναι παράγοντας **ικανότητας**. Η ογκομετρική καμπύλη του σχήματος 1 δείχνει ότι το pH του εδάφους δεν επηρεάστηκε αμέσως από την προσθήκη του ισχυρού οξέος ΗΑ λόγω της παρουσίας του οξειοβασικού συστήματος (CaCO_3 -άργιλος). Η ποσότητα του οξέος που απαιτείται για να μειωθεί το pH σε ένα σύστημα μέχρι μια τιμή αναφοράς καλείται **ικανότητα εξουδετερώσεως πρωτονίων (acid neutralizing capacity=ANC)**.

Στα υδατικά διαλύματα η ANC_(υδ) είναι το ισοδύναμο των βάσεων μείον το ισοδύναμο των οξέων του συστήματος και προσδιορίζεται ογκομετρικά με ισχυρό οξύ ως ένα pH αναφοράς που συνήθως είναι το ισοδύναμο σημείο του πορτοκαλεόχρου του μεθυλίου (pH 4- 5). Στα φυσικά συστήματα η ANC_(υδ) οφείλεται στην παρουσία των οξεινών ανθρακικών. Σε ακραίες εντούποις τιμές pH ή όταν υπάρχουν επιπρόσθετα και άλλες ασθενείς βάσεις (A^- π.χ. εάν η pK_{HA} είναι μεγαλύτερη από το pH αναφοράς), όπως οργανικά οξέα του εδαφικού διαλύματος, η ANC_(υδ) οφείλεται στο ισοδύναμο όλων των βάσεων που υπάρχουν στο υδατικό διάλυμα μείον το ισοδύναμο των οξέων (εξίσωση 3).

$$\text{ANC}_{(\text{υδ})} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] + [\text{A}^-] - [\text{H}^+] \quad (3)$$

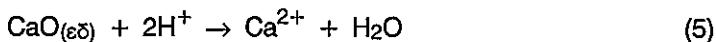
Ένα τέτοιο υδατικό σύστημα είναι και το νερό που στραγγίζει από τα εδάφη και με του οποίου την ANC θα ασχοληθούμε στη συνέχεια. Αρχικά θα ορίσουμε ως **έδαφος** όλο το ανόργανο τμήμα που περιλαμβάνει το εδαφικό διάλυμα, τα εδαφικά τεμαχίδια, καθώς και τα προσροφημένα ίόντα. Για απλοποίηση στους υπολογισμούς έχει καταρχήν παρατειφθεί η οργανική ουσία.

Στα περισσότερα εδάφη και κυρίως σ' αυτά που έχουν CaCO_3 η ικανότητα εξουδετερώσεως πρωτονίων, ANC_(εδ), είναι συνδεμένη με τα

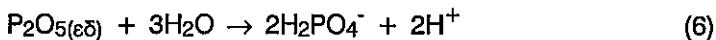
πυριτικά ορυκτά. Επειδή τα ορυκτά αυτά έχουν μικρή κινητική αποσάθρωσης πρακτικά δεν μπορούμε να τα ογκομετρήσουμε με ισχυρά οξέα για να προσδιορίσουμε την ANC_(εδ). Έτσι στην πράξη μπορούμε να υπολογίσουμε την ANC_(εδ) από τη σύνθεση των παραγόντων της. Θεωρούμε πάντοτε ότι οι υπολογισμοί γίνονται για ένα pH αναφοράς που είναι,

$$\begin{aligned} \text{ANC}_{(\text{εδ})} = & 6[\text{Al}_2\text{O}_3] + 2[\text{CaO}] + 2[\text{MgO}] + 2[\text{K}_2\text{O}] \\ & + 2[\text{Na}_2\text{O}] + 4[\text{MnO}_2] + 2[\text{MnO}] + 6[\text{Fe}_2\text{O}_3] \\ & + 2[\text{FeO}] - 2[\text{SO}_3] - 2[\text{P}_2\text{O}_5] - [\text{HCl}] \end{aligned} \quad (4)$$

όπου οι αγκύλες δηλώνουν μαριακή συγκέντρωση. Για να υπολογίσουμε τη συγκέντρωση των παραγόντων αυτών κάνουμε ολική ανάλυση του ανόργανου εδάφους. Οι ενώσεις που υπάρχουν στο εδαφικό διάλυμα αποτελούν τμήμα της ANC_(εδ). Η ανάλυση δύο παραγόντων της ANC_(εδ), σε σχέση με τα πρωτόνια που θα δεχθούν ή θα δώσουν, είναι απαραίτητη για να διευκρινισθούν κυρίως οι συντελεστές της εξίσωσης (4).



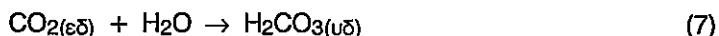
όπου το CaO δέχεται 2 πρωτόνια, και



όπου το P₂O₅ δίνει 2 πρωτόνια

1.121 Συνεισφορά των διαφόρων στοιχείων του εδαφικού συστήματος στην ANC.

Η ANC_(εδ) θεωρείται ότι αποτελεί το ισοδύναμο των βασικών στοιχείων του συστήματος από το οποίο αφαιρείται το ισοδύναμο των στοιχείων που είναι ισχυρώς οξινα (pK_{HA} < pH αναφοράς). Τα ασθενή οξέα που υπάρχουν στο σύστημα (pK_{HA} > pH αναφοράς) δεν συμβάλλουν στην τιμή της ANC_(εδ). Τα οξέα αυτά όπως το CO₂ και το SiO₂,



βρίσκονται σε πλήρως πρωτοιωμένη μορφή στο pH αναφοράς (3 ή 5) και γιαυτό δεν συνεισφέρουν στο σύστημα. Δηλαδή, ούτε δίνουν ούτε προσλαμβάνουν πρωτόνια. Εκτός από το CO₂ και το SiO₂, το ανόργανο άζωτο επίσης δεν συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό της ANC(εδ) επειδή αποτελεί, συνήθως, μικρό ποσοστό στο σύνολο των συστατικών του εδάφους.

Το ποιές τελικά ενώσεις θα συμμετέχουν στον υπολογισμό της ANC(εδ) εξαρτάται από το pH αναφοράς. Βεβαίως μπορεί να διαλέξει κανείς οποιοδήποτε pH ως pH αναφοράς. Θα πρέπειόμως το pH αυτό να σχετίζεται πάντοτε με τις καλλιέργειες και το έδαφος που μελετάται. Επειδή λόγου χάρη ένα pH=5 είναι οριακό για την αντοχή των καλλιεργούμενων φυτών σε όξινες συνθήκες μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο για τα γεωργικά εδάφη. Η εξίσωση (4) μπορεί να εφαρμοσθεί στην περίπτωση αυτή αφού αφαιρεθούν οι παράγοντες Fe₂O₃, Al₂O₃ και MnO₂ λόγω της μη σημαντικής διαλυτοποίησής τους σε pH μεγαλύτερο από 5.

$$\begin{aligned} \text{ANC}_{(\text{εδ}, \text{pH αναφοράς } 5)} = & 2[\text{CaO}] + 2[\text{MgO}] + 2[\text{K}_2\text{O}] \\ & + 2[\text{Na}_2\text{O}] + 2[\text{MnO}] + 2[\text{FeO}] - 2[\text{SO}_3] \\ & - 2[\text{P}_2\text{O}_5] - [\text{HCl}] \end{aligned} \quad (9)$$

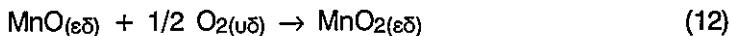
Για τα δασικά εδάφη ένα pH=3 θεωρείται ως το πιο κατάλληλο. Στις συνθήκες αυτές μπορούν και διαλύονται μεγάλες ποσότητες αργιλίου και γιαυτό στην εξίσωση (9) προστίθεται και ο παράγοντας Al₂O₃.

$$\begin{aligned} \text{ANC}_{(\text{εδ}, \text{pH αναφοράς } 3)} = & 6[\text{Al}_2\text{O}_3] + 2[\text{CaO}] + 2[\text{MgO}] \\ & + 2[\text{K}_2\text{O}] + 2[\text{Na}_2\text{O}] + 2[\text{MnO}] + 2[\text{FeO}] \\ & - 2[\text{SO}_3] - 2[\text{P}_2\text{O}_5] - [\text{HCl}] \end{aligned} \quad (10)$$

Σε συνθήκες εξαιρετικά όξινες, όπως σε συγκεκριμένα όξινα θειικά εδάφη, όπου είναι δύνατόν να έχουμε μεγάλη διαλυτοποίηση τρισθενούς σιδήρου (Fe₂O₃) και τετρασθενούς μαγγανίου (MnO₂), στην εξίσωση προστίθενται και οι παράγοντες αυτοί (εξίσωση 4).

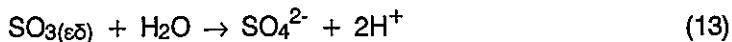
Η διαλυτοποίηση των οξειδίων του δισθενούς σιδήρου και μαγγανίου, τα οποία διαλύονται σχετικά εύκολα μέσα στο εδαφικό σύστημα, συνεισφέρει στην ANC(εδ) γιαυτό και οι ενώσεις τους περιλαμβάνονται στη γενική εξίσωση για pH=3. Εντούτοις διαλυτοποίηση και μεταφορά αυτών των ενώσεων έχουμε μόνο, κιαυτό σε μικρή έκταση, κάτω από

αναγωγικές ή όξινες συνθήκες. Διότι, όταν οι συνθήκες δεν είναι ούτε αναγωγικές ούτε όξινες αλλά οξειδωτικές με την παρουσία μοριακού οξυγόνου οι ενώσεις αυτές οξειδώνονται και μεταπίπτουν σε λιγότερο οξειδωμένες μορφές.



Έτσι οι μορφές αυτές δεν μπορούν να συνεισφέρουν ικανοποιητικά στην ANC_(εδ).

Η οξειδωμένη μορφή του θείου, το SO₃, στην πορεία του μετατρέπεται σε θειικό οξύ,



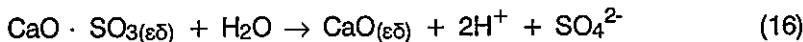
ενώ η αναγμένη μορφή του θείου, το H₂S, ως ασθενές οξύ (pK₁=7,0) δεν συνεισφέρει απευθείας στην ANC του εδάφους. Με την παρουσία όμως μοριακού οξυγόνου είναι δυνατόν να οξειδωθεί σε H₂SO₄. Έτσι λοιπόν το H₂S θεωρείται ως οξύτητα η οποία μπορεί να εκδηλωθεί μόνο κάτω από αερόβιες (οξειδωτικές) συνθήκες. Υποστράγγιση λοιπόν εδάφων που περιέχουν αναγμένες μορφές θείου μπορεί να μετατρέψει το έδαφος σε ισχυρά όξινα! Για να αντιληφθούμε το ρόλο του αναγμένου θείου σχετικά με την ANC ας θεωρήσουμε ένα υποθετικό σύστημα ασβεστίου-αναγμένου θείου. Αρχικά και πριν από κάθε μετασχηματισμό η ANC του εδάφους θεωρείται ισοδύναμη με την ποσότητα του ασβεστίου του εδάφους. Αν το υπάρχον H₂S απομακρυνθεί ως αέριο από το έδαφος δεν δημιουργείται κανένα πιρόβλημα για τη μεταβολή της ANC.



Με την παρουσία όμως μοριακού οξυγόνου το H₂S θα οξειδωθεί και θα μειώσει την ANC του εδάφους.



Αν το SO₃ διαλυθεί και απομακρυνθεί από το έδαφος η ANC_(εδ) θα επανέλθει στην αρχική της τιμή και το νερό της στράγγισης θα οξνισθεί.



Αλλά, το πιο πιθανό είναι να υπάρξει μεταφορά πρωτονίων στο CaO, το οποίο και θα διαλυτοποιηθεί.



Έτσι λοιπόν μέσα από την πορεία των εξισώσεων 15 έως 17 η ANC(εδ) είναι δυνατόν να μειωθεί σε σχέση με την αρχική της τιμή.

1.122 Ιδιαίτερες περιπτώσεις μελέτης του pH και της ANC του εδάφους.

Η ANC του εδάφους, όπως συμβαίνει και στα υδατικά συστήματα, σε αντίθεση με το pH του, αποτελεί μια θεμελιώδη και σταθερή παράμετρο για την οξείστη του. Οταν έχουμε αύξηση της ANC τότε σημαίνει ότι το έδαφος βρίσκεται σε πορεία για να αποκτήσει αλκαλικό pH.

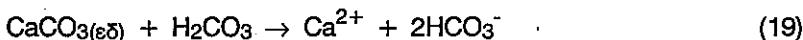
Μολονότι αν προσθέσουμε κάποιο οξύ σε ένα έδαφος το οξύ αυτό επιδρά και στο pH και στην ANC του, εντούτοις σε ορισμένες περιπτώσεις ακολουθείται διαφορετική πορεία. Για παράδειγμα θα πάρουμε την επίδραση του H₂CO₃ στον βολλαστονίτη (CaSiO₃) και το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃), για να διαπιστωθούν οι βασικές διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των δύο όρων, του pH και της ANC.

Σ'ένα κλειστό υδρολογικά σύστημα θα έχουμε:



Το ασθενές οξύ H₂CO₃ δίνει δύο moles H⁺ σε κάθε mole CaSiO₃ και προκαλεί πτώση του pH από το 10 γύρω στο 8. Η ANC όμως του εδάφους δεν μεταβάλλεται διότι δεν μεταβάλλεται η ποσότητα του CaO κατά την αντίδραση αυτή και το H₄SiO₄ ως ασθενές οξύ δεν συμβάλλει στην ANC_{εδ}.

Σ'ένα ανοικτό υδρολογικά σύστημα (με πλήρη στράγγιση) η αποσάθρωση του CaCO₃ υπό την επίδραση του H₂CO₃ και η απομάκρυνσή του από τα εδάφη έχει ως αποτέλεσμα τα αποθέματα του CaO του εδάφους να μειώνονται και ως εκ τούτου να μειώνεται και η ANC.



Στην περίπτωση αυτή η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, λόγω της ποσότητας του CaCO₃, φροντίζει ώστε το pH να διαπρείται γύρω

στο 8 και να μη μειώνεται. Εντούτοις, λόγω της μείωσης των αποθεμάτων του CaCO_3 (εξίσωση 19) η ANC του εδάφους μειώνεται.

Ασφαλώς, η ANC του εδάφους δεν είναι δυνατόν να εξισωθεί με την οξύτητα του εδάφους ως H^+ και Al^{3+} . Η οξύτητα του εδάφους μπορεί να προσδιορισθεί αν ογκομετρηθεί με μια ισχυρή βάση, όπως το Ca(OH)_2 , μέχρι $\text{pH}=7$ (Π - Ο, σχ.1). Και ενώ η ισχυρή αυτή βάση αυξάνει το pH στο 7, στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει ένα μικρό μέρος μόνο της ANC του εδάφους που χάθηκε με την οξίνιση του. Έτσι λοιπόν η ογκομέτρηση ενός εδάφους με μια ισχυρή βάση δεν παρέχει μια πλήρη εικόνα της ικανότητας του εδάφους να αντιστέκεται στις διάφορες μεταβολές.

1.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΕΩΣ Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ (ANC ή BNC) ΚΑΙ ΤΟΥ pH ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

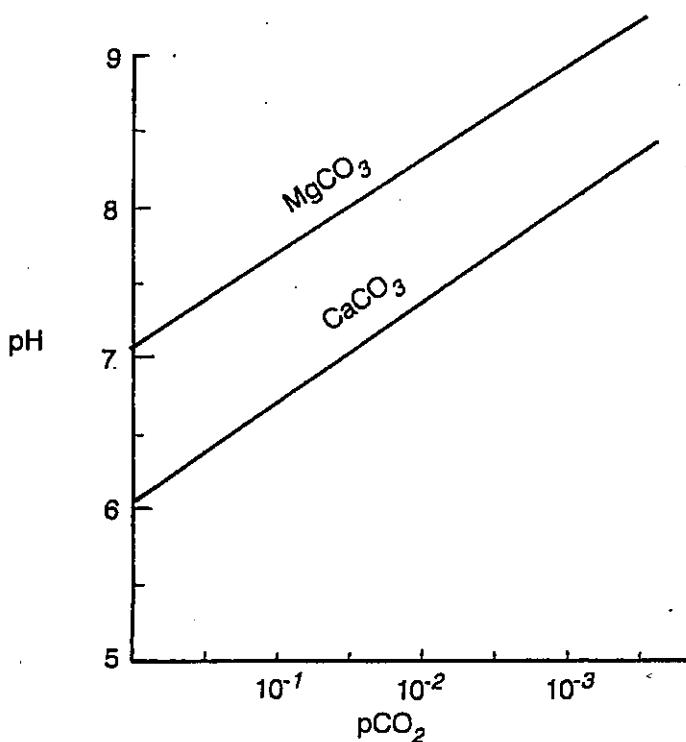
Στο τμήμα αυτό θα εξετασθεί πώς οι μεταβολές της ANC ή της BNC (basic neutralizing capacity = ικανότητα δημιουργίας πρωτονίων), οι οποίες δυνατόν να οφείλονται στην παρουσία ισχυρών οξέων ή βάσεων, επηρεάζουν το pH του εδάφους.

Οι καμπύλες της ρυθμιστικής ικανότητας ενός εδάφους, που εκφράζουν την ANC ή την BNC, σε συνάρτηση με το pH του, επηρεάζονται στο έδαφικό περιβάλλον από ορισμένους παράγοντες.

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν και καθορίζουν τις σχέσεις αυτές είναι: η περιεκτικότητα σε CO_2 του εδαφικού περιβάλλοντος, δηλ. η μερική του πίεση (pCO_2), και η συνολική συγκέντρωση των ανθρακικών ιόντων (όξινων και ουδέτερων). Η μελέτη και οι υπολογισμοί γίνονται για εδάφη με επαρκή αερισμό ($\text{pCO}_2=10^{-3.5}$) ή για εδάφη που είναι περιοδικά ($\text{pCO}_2=10^{-2}$) ή μόνιμα ($\text{pCO}_2=10^{-1}$) κατακλυσμένα με νερό.

Πριν από την ανάπτυξη των σχέσεων που προαναφέρθηκαν, είναι σημαντικό να έχει υπόψη κανείς τη μεταβολή του pH του εδάφους σε συνάρτηση με τη μερική πίεση του CO_2 στα ασβεστούχα και μαγνησιούχα εδάφη σε συνθήκες από πλήρως αναερόβιες (αναγωγικές) μέχρι πλήρως αερόβιες (οξειδωτικές). Το σχήμα 2, δείχνει μια τέτοια συνάρτηση, όπου μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι το pH του εδάφους μειώνεται με τη μεταβολή των συνθηκών από αερόβιες σε αναερόβιες.

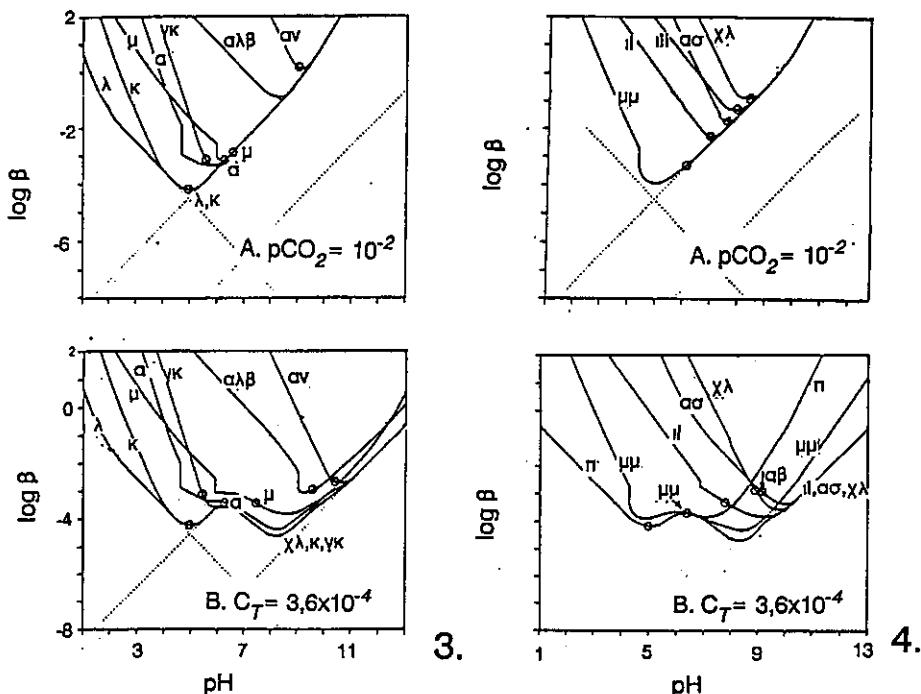
Η μεταβολή της ANC ή της BNC σε συνάρτηση με το pH, στην κατάσταση ισορροπίας, που πρακτικά αντιστοιχεί για τις περισσότερες ενώσεις του εδάφους με το pH λειτορίβησης, παρουσιάζεται στα επόμε-



Σχήμα 2. Σχέση μεταξύ pH και $p\text{CO}_2$ σε υδατικά ασβεστούχα συστήματα (Ponnaperuma et al, 1969).

να σχήματα. Οι συνθήκες του εδαφικού περιβάλλοντος είναι, $p\text{CO}_2=10^{-2}$ και $p\text{CO}_2=10^{-1}$ χωρίς ανθρακικά ιόντα στο εδαφικό διάλυμα ή $p\text{CO}_2=10^{-2}$ και $p\text{CO}_2=10^{-1}$ με ανθρακικά ιόντα σε συγκέντρωση $3,6 \cdot 10^{-4} \text{ M}$.

Στα σχήματα 3A,B και 4A,B σημειώμενα με μαύρους κύκλους είναι το pH ισορροπίας ορισμένων ορυκτών της αργίλου, χωρίς A) ή με ανθρακικά (B) ιόντα στο εδαφικό διάλυμα. Τα τμήματα της καμπύλης αριστερά και δεξιά από το σημείο ισορροπίας αντιστοιχούν στην ANC και BNC αντίστοιχα. Αν παρατηρήσει κανείς τα σχήματα 3A και 4A θα διαπιστώσει ότι το αριστερό τμήμα κάθε καμπύλης σε $\text{pH}<5,6$, όπου έχουμε την επίδραση του CO_2 στο εδαφικό περιβάλλον, χρειάζεται μεγαλύτερες ποσότητες οξέος (η κλίση της κάθε σχεδόν καμπύλης είναι μεγαλύτερη στο δεξιό από το αριστερό τμήμα) για την αντίστοιχη μεταβολή του pH, σε σχέση με την ποσότητα του αλκαλεως για το δεξιό τμήμα της καμπύλης. Αυτό δείχνει ότι το pH στην αλκαλική περιοχή της καμπύλης



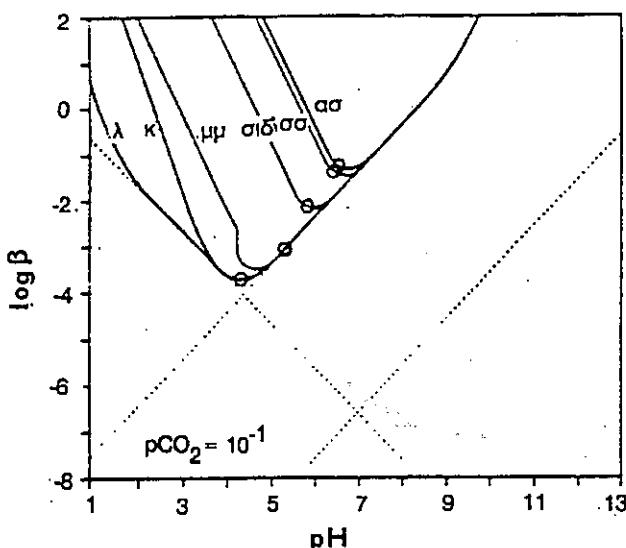
Σχήματα 3(A,B), 4(A,B). Μεταβολή^{*} της ANC και BNC ορισμένων ορυκτών σε υδατικά συστήματα με σταθερή pCO_2 και ποσότητα ανθρακικών (C) σε συνάρπτηση με το pH. λ =λειμωνίτης, κ =καολινίτης, μ =μικροκλινής, α =αλλοφανή, $\alpha\beta$ =αλβίτης, $\alpha\gamma$ =ανορθίτης, $\mu\mu$ =μοντμορίλλονίτης, II και III =ιλλίτες, ασ =ασβεστίτης, $\chi\lambda$ =χλωρίτης, π =άμμορφο SiO_2 , σιδ =σιδηρίτης, $\gamma\kappa$ =γκιποσίτης, σσ = $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$ - $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Breemen and Wielemaker, 1974).

*η ANC και BNC εκφράζεται με τον παράγοντα β (buffer intensity) ο οποίος δίνει την ποσότητα ενός σέξος ή μιας βάσης για να μεταβληθεί το pH κατά μία μονάδα.

δεν επηρεάζεται αισθητά από την παρουσία ανιόντων αργιλίου και πυριτίου τα οποία ελευθερώνονται κατά την αποικοδόμηση των ορυκτών στην αλκαλική περιοχή. Έτσι λοιπόν, στην όξινη περιοχή τα ορυκτά καολινίτης, μοντμορίλλονίτης, μικροκλινής, γκιποσίτης και ιλλίτης I σε $\text{pH} < 6$ και τα ορυκτά ιλλίτης II, ασβεστίτης, χλωρίτης (μαγνησιούχος) και σε ουδέτερο pH ο αλβίτης έχουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα επειδή το pH ισορροπίας τους βρίσκεται στις περιοχές αυτές. Ο ανορθίτης έχει ακόμη μεγαλύτερη ρυθμιστική ικανότητα διότι το pH ισορροπίας του βρίσκεται στην αλκαλική περιοχή < 9 .

Αν στο εδαφικό διάλυμα υπάρχουν ανθρακικά ιόντα τότε η μεταβολή της ρυθμιστικής ικανότητας στην αλκαλική περιοχή μειώνεται ακόμη περισσότερο όπως φαίνεται στα σχήματα 3B και 4B. Η μεταβολή αυτή διαπιστώνεται αφενός από τη μετατόπιση του pH ισορροπίας των ορυκτών προς αλκαλικότερες περιοχές και από την μείωση περαιτέρω της καμπύλης στο αριστερό τμήμα της. Εξαίρεση αποτελούν τα συστήματα που περιέχουν άμορφο SiO_2 ή Mg-μοντμορίλλονίτη σε πολύ υψηλά pH, και τα συστήματα που περιέχουν καολινίτη, οξείδια του σιδήρου και άμορφο SiO_2 όπου το pH ισορροπίας δεν μετακινείται προς υψηλότερες τιμές όταν στο σύστημα υπάρχουν διαλυμένα ανθρακικά.

Ενδιαφέρουσα είναι επίσης η μεταβολή της ποσότητας του οξέος ή της βάσης που απαιτείται για τη μεταβολή του pH κατά μία μονάδα στην κατάσταση ισορροπίας μιας χημικής ένωσης σε περιβάλλον μονίμως κατακλυσμένο από νερό (Σχήμα 5, $p\text{CO}_2=10^{-1}$). Το pH ισορροπίας των ενώσεων μετακινήθηκε προς περισσότερο όξινη περιοχή, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας του CO_2 . Χαρακτηριστικά, το σημείο ισορροπίας του ασβεστίτη από 7,5 περίπου σε περιβάλλον περιοδικά κατακλυσμένο (αρδευόμενες εκτάσεις) έπεισε σε περίπου 6,5 (βλέπε και σχήμα 2) σε μονίμως κατακλυσμένα εδάφη. Σε εδάφη με περιοδική κατακλυση η ανα-



Σχήμα 5. Ιδιες επεξηγήσεις με σχήματα 3 και 4.

γνωγή του τρισθενούς οξειδίου του σιδήρου σε δισθενή οδηγεί στην αύξηση του διαλυμένου Fe^{2+} και HCO_3^- . Στα εδάφη αυτά όμως, επειδή μετά από λίγο χρονικό διάστημα η pCO_2 φθάνει το 10^{-1} , η δισθενής μορφή του σιδήρου μεταπίπτει σε ένωση του τύπου $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$. Η παρουσία της ένωσης αυτής αυξάνει και τη ρυθμιστική ικανότητα αλλά και το pH των όξινων εδαφών. Στα ασβεστούχα εδάφη όπου το σημείο ισορροπίας του ασβεστίτη βρίσκεται στην αλκαλική περιοχή (σχ. 4B) η κατάκλυση (σχ.5) οδηγεί στην πτώση του σημείου ισορροπίας σε τιμές pH που βρίσκονται κοντά στο σημείο ισορροπίας των ενώσεων $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$ - $\text{Fe}(\text{OH})_3$, δηλαδή σε pH περίπου 6,5.

1.3 ΠΩΣ ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

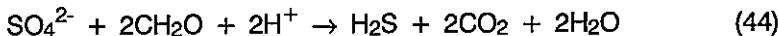
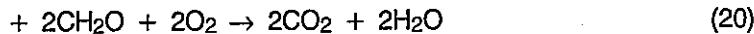
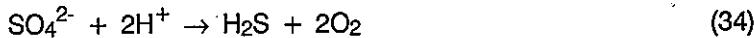
Στον πίνακα 1 περιλαμβάνονται οι ποσοτικά σημαντικές αντιδράσεις μεταφοράς πρωτονίων σε συστήματα έδαφος-νερό-βλάστηση και σε περιπτώσεις όπου έχουμε ανταλαγή αερίων μεταξύ μικροοργανισμών ή και μεταφορά πρωτονίων μεταξύ οργανικής ουσίας και ατμοσφαιρικού αέρα. Οι αντιδράσεις μεταφοράς (25-43) έχουν ταξινομηθεί σε τέσσερις κατηγορίες:

1. μεταξύ ζώσας ύλης και του περιβάλλοντος,
2. σ' αυτές που συντελούνται μέσα στην υγρή φάση,
3. μεταξύ υγρής φάσης και ατμοσφαιρικού αέρα,
4. μεταξύ στερεής και υγρής φάσης.

Όλες οι αντιδράσεις του πίνακα 1 είναι αμφίδρομες, όπως συμβαίνει στη φύση, και η πορεία τους σημειώνονται με Α από αριστερά προς δεξιά και Β αντίστροφα. Για παράδειγμα μπορεί να αναφέρει κανείς τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή ή την αφομοίωση και την ανοργανοποίηση των κατιόντων καθώς και άλλες. Στις αντιδράσεις 25-43 η πορεία Α έχει το H^+ ως προϊόν ενώ η πορεία Β έχει το H^+ ως αντιδρόν έτσι ώστε να είναι προφανής ο ρόλος των αντιδράσεων αυτών στη μεταφορά του H^+ . Στη φύση όμως συμβαίνει το εξής αξιοσημείωτο. Η πηγή η οποία προσφέρει πρωτόνια (H^+ ή καλύτερα H_3O^+) είναι συνήθως πολύ μικρή σε σχέση με το μέγεθος της μεταφοράς. Ως παράδειγμα θα αναφέρουμε την αντίδραση 42A. Η αντίδραση αυτή λαμβάνει χώρα σε εδάφη με pH όπου η τεράστια παραγωγή πρωτονίων, λόγω της οξείδωσης του FeS

προς H_2SO_4 , καταναλώνεται από τις εναλλακτικές θέσεις αλλά και κατά την αποσάθρωση των ορυκτών της αργίλου (αντιδράσεις 39B και 40B).

Οι αντιδράσεις οξειδαναγωγής στον πίνακα 1 είναι γραμμένες έτσι ώστε το O_2 να είναι ο δέκτης των ηλεκτρονίων. Στη φύση, ο δότης ηλεκτρονίων στις αναγωγικές αντιδράσεις (21A, 24A, 27B, 28B, 34B, 37B, 41B και 42B) είναι η οργανική ουσία, η οποία δεν εμφανίζεται στις αντιδράσεις αυτές παρά μόνο μέσα από την αντίδραση 20A όπου έχουμε παραγωγή O_2 κατά το σχηματισμό οργανικής ουσίας μέσα από την πορεία της φωτοσύνθεσης. Αν η αναγωγή, π.χ. των θειικών (34B), συντελείται με τη βοήθεια της οργανικής ουσίας που σχηματίσθηκε κατά τη φωτοσύνθεση (20A) και η οποία παίζει ρόλο δότη ηλεκτρονίων, τότε η συνολική πορεία μπορεί να φανεί μόνο με συνδυασμό των δύο αυτών αντιδράσεων.

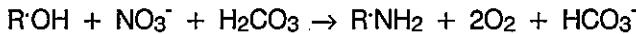
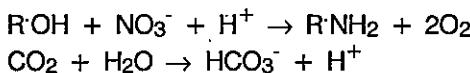


1.31 Αντιδράσεις μεταξύ ζώσας ύλης και αβιοτικού περιβάλλοντος

Είναι γνωστό ότι η ζώσα ύλη (φυτά, ζώα, μικροοργανισμοί του εδάφους) προσλαμβάνει ορισμένα αέρια από την ατμόσφαιρα όπως, CO_2 , O_2 , NH_3 , H_2S , N_2 και SO_2 . Επειδή τα αέρια αυτά δεν έχουν ελεύθερα φορτία η πρόσληψή τους δεν περιλαμβάνει και μεταφορά πρωτονίων (αντιδράσεις 20 έως 24). Οι οργανικές όμως ενώσεις, οι οποίες προκύπτουν από τις αντιδράσεις αυτές, κατά την ανοργανοποίησή τους (αντιδράσεις 26B, 27A, 28A και 29A) είναι δυνατόν να συμμετέχουν στην πορεία της μεταφοράς πρωτονίων. Η αντίδραση της δέσμευσης του αζώτου από την ατμόσφαιρα (αντίδραση 21) είναι βασικά μια αντίδραση μη αμφίδρομη. Μπορεί όμως να θεωρηθεί ως αντίστροφή της η ανοργανοποίηση του οργανικού αυτού αζώτου που στη συνέχεια κολουθεί την αμφίδρομη αντίδραση νιτροποίησης-απονιτροποίησης.

Η πρόσληψη κατιόντων από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς συνοδεύεται με παράλληλη μεταφορά H^+ από τα φυτά προς το εδαφικό διάλυμα. Αντίθετα η πρόσληψη ανιόντων συνοδεύεται και με παράλληλη μεταφορά H^+ από το εδαφικό διάλυμα προς τα φυτά (αντιδράσεις 25

έως 29). Κατά τη διάρκεια της πρόσληψης ιόντων τα φυτά ρυθμίζουν το pH του κυπταρικού τους χυμού με την αύξηση ή μείωση των καρβοξυλικών ιόντων. Όταν η πρόσληψη των ανιόντων υπερβαίνει αυτή των κατιόντων (όταν π.χ. όλο το άζωτο παρέχεται υπό μορφή NO_3^-), τότε η εξουδετέρωση των H^+ από το έδαφος, που έχει σχεδόν ουδέτερη αντίδραση, γίνεται με αποπρωτονίωση του H_2CO_3 ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) και σύγχρονο σχηματισμό και αύξηση των HCO_3^- . Αυτό φαίνεται αν συνδυάσει κανείς τις αντιδράσεις 27B και 31A.



Η πορεία που περιγράφηκε έχει ιδιαίτερη σημασία διότι η αύξηση των HCO_3^- σε ασβεστούχα εδάφη έχει αποδειχθεί με πρόσφατα πειράματα ότι συντελεί σε πολύ μεγάλο βαθμό στην αδυναμία πρόσληψης σιδήρου από ορισμένα φυτά (αμπέλι) με αποτέλεσμα να εμφανίζονται έντονα φαινόμενα χλώρωσης.

Στην περίπτωση που η πρόσληψη των κατιόντων υπερβαίνει αυτή των ανιόντων (π.χ. όταν όλο το άζωτο παρέχεται υπό μορφή NH_4^+) τότε τα πρωτόνια (H^+) που προκύπτουν από τις αντιδράσεις αυτές εξουδετερώνονται από τις διεργασίες της αποσάθρωσης ή τις αντιδράσεις εναλλαγής ιόντων (39B και 40B). Έτσι, στο σύστημα έδαφος-βλάστηση η θρέψη των φυτών με νιτρικό ή αμμωνιακό άζωτο κατέχει πρωτεύουσα θέση στον ισολογισμό των πρωτονίων. Ασφαλώς, αν η ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου προς νιτρικά ή/και αμμωνιακά ιόντα ισοσταθμίζεται από την αντίστοιχη πρόσληψη των ιόντων αυτών από τα φυτά τότε οι μεταφορές αυτές του H^+ είναι χωρίς σημασία για το γενικό ισολογισμό του συστήματος. Ακόμη, επειδή η πορεία της δέσμευσης του αζώτου δεν περιλαμβάνει μεταφορά H^+ και ο κύκλος του αζώτου στα εδάφη που καλύπτονται από αδιατάρακτη φυσική βλάστηση είναι κλειστός, με την έννοια ότι όλη η ποσότητα των NO_3^- και NH_4^+ επίστρέφει στα φυτά, οι μετατροπές γενικά του αζώτου δεν έχουν μεγάλη σημασία για τον κύκλο του H^+ σε ολόκληρο το σύστημα. Ομως, όταν έχουμε να κάνουμε με χειριζόμενα οικοσυστήματα στα οποία μέρος του αζώτου προέρχεται από λιπασμάτα (π.χ. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaNO_3 ή ουρία) ή από ατμοσφαιρική ρύπανση, ή ακόμη όταν ο φυσικός κύκλος του αζώτου διαταραχθεί δραστικά (απογύμνωση του εδάφους ή μεταβολή κλίματος), τότε οι αντιδράσεις

Πίνακας 1. Αντιδράσεις μεταφοράς H^+ (Bremen et al, 1984).

Η αντίδραση προχωρεί προς τα δεξιά	Εξίσωση αντιδράσεως	Η αντίδραση προχωρεί προς τα αριστερά	
ΠΟΡΕΙΕΣ ΜΗ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ H^+			
<u>ΖΩΣΑ ΥΛΗ / ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ</u>			
20A ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ	$CO_2 + H_2O = CH_2O + O_2$	ΑΝΑΠΝΟΗ	20B
21A N_2 -ΔΕΣΜΕΥΣΗ	$N_2 + H_2O + 2R^*OH = 2R^*NH_2 + 3/2O_2$		21B
22A ΠΡΟΣΛΗΨΗ NH_3	$NH_3 + R^*OH = R^*NH_2 + H_2O$	ΕΞΑΤΜΙΣΗ NH_3	22A
23A "" H_2S	$H_2S + R^*OH = R^*SH + H_2O$	"" H_2S	23B
24A "" SO_2	$SO_2 + R^*OH = R^*OH + 3/2O_2$		24B
ΠΟΡΕΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ H^+			
<u>ΠΗΓΗ H^+</u>			
<u>ΖΩΣΑ ΥΛΗ / ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ</u>			
<u>ΔΕΞΑΜΕΝΗ H^+</u>			
25A ΠΡΟΣΛ. ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ	$M^+ + RCOOH = RCOOM + H^+$	ΑΝΟΡΓ/ΠΟΙΗΣΗ M^+	25B
26A "" NH_4^+	$NH_4^+ + R^*OH = R^*NH_2 + H_2O + H^+$	"" ΟΡΓ. N	26B
27A ΑΝΟΡΓΑΝ. + ΝΙΤΡΟΠ. ΟΡΓ. N	$R^*NH_2 + 2O_2 = R^*OH + NO_3^- + H^+$	ΠΡΟΣΛΗΨΗ NO_3^-	27B
28A ΑΝΟΡΓΑΝ. + ΟΞΕΙΔ. ΟΡΓ. S	$R^*SH + 3/2H_2O + 7/4O_2 = R^*OH + SO_4^{2-} + 2H^+$	ΠΡΟΣΛΗΨΗ SO_4^{2-}	28B
29A ΑΝΟΡΓΑΝ. P	$R^*H_2PO_4 + H_2O = R^*OH + H_2PO_4^- + H^+$	ΠΡΟΣΛΗΨΗ P	29B

Πίνακας 1. Συνέχεια

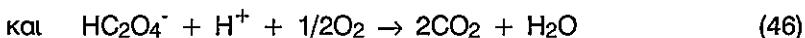
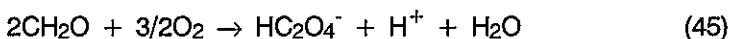
<u>ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ</u>				
<u>'Η ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ / ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ</u>				
30A ΔΙΑΣΤΑΣΗ H_2O	H_2O	$= OH^- + H^+$	ΠΡΩΤΟΝΙΩΣΗ OH^-	30B
31A ΔΙΑΣΤΑΣΗ CO_2	$CO_2 + H_2O$	$= HCO_3^- + H^+$	ΠΡΩΤΟΝΙΩΣΗ HCO_3^-	31B
32A ΔΙΑΣΤ. ΟΡΓ. ΟΞΕΩΝ	$ROOH$	$= ROO^- + H^+$	ΠΡΩΤ. ΟΡΓ. ΟΞΕΩΝ	32B
33A ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΠΛ.				
ΜΕΤΑΛ. ΙΟΝΤΩΝ	$HL + H^+$	$= ML + H^+$	ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΣΥΜΠΛ.	
L=οργ. ligand ή OH^-			ΜΕΤΑΛ. ΙΟΝΤΩΝ	33B
34A ΟΞΕΙΔΩΣΗ H_2S	$H_2S + 2O_2$	$= SO_4^{2-} + 2H^+$	ΑΝΑΓΩΓΗ ΘΕΙΙΚΩΝ	34B
35A ΟΞΕΙΔΩΣΗ SO_2	$SO_2 + 1/2O_2 + H_2O = SO_4^{2-} + 2H^+$			35B
36A ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ NH_4^+	$NH_4^+ + 2O_2$	$= NO_3^- + H_2O + 2H^+$		36B
37A " "	NO_x	$NO_x + 1/4(5-2x)O_2 + 1/2H_2O = NO_3^- + H^+$	ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ	37B
38A ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ N_2 (βλέπε κείμενο)		$N_2 + 5/2O_2 + H_2O = 2NO_3^- + 2H^+$	ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ	38B
<u>ΣΤΕΡΕΑ ΦΑΣΗ / ΕΔΑΦΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ</u>				
39A ΣΥΝΘΕΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ	$M^{n+} + n/2H_2O$	$= n/2M_2/O + nH^+$	ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ	39B
40A ΕΝΑΛΛΑΓΗ M^{n+}/H^+	$M^{n+} + nH^-$ εναλλακτ. = M^- εναλλακτ. + nH^+		ΕΝΑΛΛΑΓΗ	40B
41A ΟΞΕΙΔΩΣΗ Fe^{2+}	$Fe^{2+} + 1/4O_2 + 5/2H_2O = Fe(OH)_3 + 2H^+$	ΑΝΑΓΩΓΗ $Fe(OH)_3$		41B
42A ΟΞΕΙΔΩΣΗ FeS	$FeS + 9/4O_2 + 5/2H_2O = Fe(OH)_3 + SO_4^{2-} + 2H^+$	ΑΝΑΓΩΓΗ $Fe(OH)_3$ ΚΑΙ SO_4^{2-}		42B
43A ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ SO_4^{2-} SO_4^{2-}	εναλ. $SO_4^{2-} + 2H_2O = εναλ. (OH)_2 + SO_4^{2-} + 2H^+$	ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ SO_4^{2-}		43B

του αζώτου αποκτούν μεγάλη σημασία στον ισολογισμό του H^+ στα οικουστήματα αυτά.

Γενικά, όταν οι κύκλοι που περιλαμβάνουν άζωτο δεν είναι σημαντικοί από την άποψη της ποσοτικής τους έννοιας, δηλαδή οι κύκλοι δεν αποδίδουν ή δεν δεσμεύουν πρωτόνια, τότε υπάρχει καθαρά μια ροή πρωτονίων από τα φυτά προς το έδαφος λόγω της ανταλλαγής των κατιόντων με H^+ για τη θρέψη του φυτού. Η ροή αυτή δεν επηρεάζεται από την πρόσληψη των ανιόντων $H_2PO_4^-$ και SO_4^{2-} από τα φυτά διότι η πρόσληψη των κατιόντων είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την πρόσληψη των ανιόντων.

1.32 Αντιδράσεις που συντελούνται στο εδαφικό διάλυμα

Υπάρχουν δύο τύποι αντιδράσεων για τη μεταφορά H^+ μέσα στο εδαφικό διάλυμα ή μεταξύ εδαφικού διαλύματος και ατμόσφαιρας. Ο ένας τύπος είναι αντιδράσεις πρωτονιώσεως- αποπρωτονιώσεως (αντιδράσεις 30-33) και ο άλλος τύπος είναι αντιδράσεις οξειδαναγωγής (αντιδράσεις 34-38). Τα ασθενή οξέα στο εδαφικό περιβάλλον, όπως το CO_2 και τα περισσότερα οργανικά οξέα, αποτελούν σημαντικές πηγές πρωτονίων μόνον όταν το pH του εδαφικού διαλύματος πλησιάζει ή υπερβαίνει την αντίστοιχή τους pH_A (5). Από τα οξέα αυτά το CO_2 είναι το πιο σημαντικό για τις αντιδράσεις πρωτονιώσεως σε υδατικά διαλύματα. Μεγάλες ποσότητες CO_2 μεταφέρονται στο εδαφικό περιβάλλον με τον μηχανισμό φωτοσύνθεση - σχηματισμός οργανικής ύλης - οξειδωση (διάσπαση) της οργανικής ουσίας στο έδαφος. Τα οργανικά οξέα που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα είναι παραπροίοντα αυτής της διάσπασης, και ως ασταθή από θερμοδυναμικής απόψεως θα οξειδωθούν τελικά προς CO_2 . Μερικά από αυτά τα οξέα είναι σχετικά ισχυρά (όπως το οξαλικό) και είναι δυνατό να αποτελέσουν ορισμένες φορές πηγές πρωτονίων πριν από την τελική τους οξειδωση, ως εξής:



Η διάσταση των ασθενών οξέων (αντίδραση 32A), ως πηγή πρωτονίων, είναι λιγότερο σημαντική από το σχηματισμό οργανομεταλλικών ενώσεων (αντίδραση 33A) στο έδαφος. Ο σίδηρος και το αργύριο, συνήθη κατιόντα του εδάφους, ως κεντρικά μεταλλικά κατιόντα των οργανομεταλλικών ενώσεων, δείχνουν στενή συγγένεια προς τα οργανικά οξέα του

εδάφους. Διότι, παραπορήθηκε ότι μόνο το 30% των ενεργών θέσεων των οργανικών σχέων του εδαφικού διαλύματος συμβάλλει αμέσως στη μεταφορά πρωτονίων. Το υπόλοιπο 70% των θέσεων σχηματίζει σύμπλοκα με το σίδηρο και το αργύριο με παράλληλη ελευθέρωση πρωτονίων :

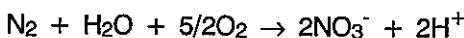
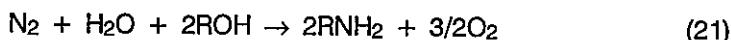


L = οργανικό Ligand ή OH⁻, M⁺ = μεταλλικό κατιόν.

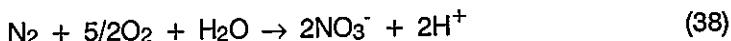
Στις αντιδράσεις πρωτοιώσεως και αποπρωτοιώσεως μπορούν να προστεθούν και αυτές που περιλαμβάνουν το βορικό οξύ και το NH₄⁺. Επειδή όμως είναι ποσοτικά ασήμαντες εμπεριέχονται στις εξισώσεις 26 και 27.

Όταν υπάρχει περίσεια μοριακού οξυγόνου, το θείο και το άζωτο μεταπίπτουν στη θερμοδυναμικά σταθερή μορφή τους που είναι τα θειικά (SO₄²⁻) και τα νιτρικά (NO₃⁻). Όταν λοιπόν στο εδαφικό διάλυμα υπάρχουν ή εισέλθουν ενώσεις θείου ή αζώτου, που είναι ενώσεις με κατώτερη βαθμίδα οξειδώσεως, τότε οι ενώσεις αυτές θα οξειδωθούν τελικά προς SO₄²⁻ και NO₃⁻ και συγχρόνως θα ελευθερώσουν στο περιβάλλον ισοδύναμη ποσότητα H⁺. Οι πιο πολλές από αυτές τις αντιδράσεις οξειδώσεως λαμβάνουν χώρα με τη μεσολάβηση των μικροοργανισμών του εδάφους. Τέτοιου τύπου είναι και οι αντιδράσεις 34Α-37Α.

Από θερμοδυναμική άποψη ευνοείται η οξείδωση του αζώτου (N₂) από μοριακό οξυγόνο σε συγκεντρώσεις σαν αυτές που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι σε κατάσταση ισορροπίας θα μπορούσε να δημιουργηθεί η οξειδωμένη μορφή του αζώτου το HNO₃ έτσι ώστε να έχει σχηματισθεί ένας ωκεανός νιτρικού οξέος με pH=1,1. Εντούτοις η διαδικασία αυτή στην ατμόσφαιρα αφαιρεί κάθε έτος μόνο το 10⁻³% του ατμοσφαιρικού αζώτου. Εκτός από αυτή υπάρχει και άλλη διαδικασία αφαίρεσης αζώτου από την ατμόσφαιρα, η δέσμευση του αζώτου. Τη δέσμευση ακολουθεί ανοργανοποίηση και νιτροποίηση του δεσμευόμενου αζώτου (21Α+27Α).

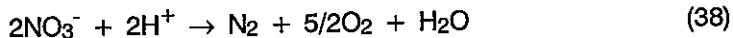
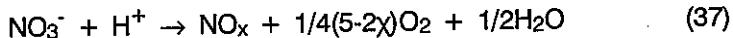
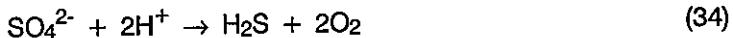


Η προηγούμενη αντίδραση είναι ταυτόσημη με την απευθείας οξείδωση του αζώτου (αντίδραση 38A):



Αν οι προηγούμενες πορείες εξετασθούν στα πλαίσια της γεωλογικής κλίμακας του χρόνου θα περίμενε κανείς να είχαν οξινισθεί από το παραγόμενο HNO_3 τόσο τα εδάφη όσο και τα νερά. Αυτό όμως δεν συμβαίνει διότι ένα τμήμα του παραγόμενου HNO_3 καταναλώνεται και ένα άλλο τμήμα του, που βρίσκεται κάτω από αναερόβιες συνθήκες, απονιτροποιείται (αντίδραση 38B). Έτσι λοιπόν, το ατμοσφαιρικό άζωτο και το οξυγόνο δεν φθάνουν ποτέ σε κατάσταση ισορροπίας, γεγονός που συνεπάγεται την ύπαρξη χαμηλών συγκεντρώσεων HNO_3 στα εδάφη και τα νερά.

Όταν δεν υπάρχει στο περιβάλλον μοριακό οξυγόνο, τότε τα θειικά και τα νιτρικά παίζουν το ρόλο των δεκτών ηλεκτρονίων κατά τη μικροβιακή αναπνοή. Η διεργασία αυτή οδηγεί σε παραγωγή αναγμένων μορφών θείου και αζώτου, και σε κατανάλωση πρωτονίων.

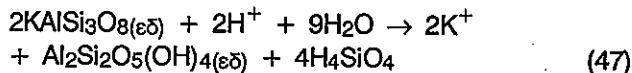
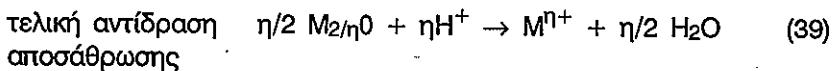


Το οξυγόνο που παράγεται από τις προηγούμενες αναγωγικές αντιδράσεις αντιπροσωπεύει ένα υποπροιόν του πραγματικού δότη ηλεκτρονίων, όπως π.χ. της οργανικής ουσίας. Για να ευνοηθούν οι προηγούμενες αντιδράσεις θα πρέπει να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες pH, υγρασίας και θρέψης.

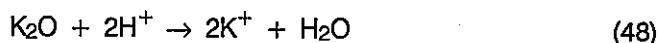
1.33 Αντιδράσεις μεταξύ στερεής και υγρής φάσης του εδαφικού συστήματος

Η τελευταία αυτή κατηγορία μεταφοράς H^+ περιλαμβάνει αντιδράσεις μεταξύ στερεής και υγρής φάσης του εδάφους. Η πιο μεγάλη σε σημασία πηγή ιόντων H^+ στο γήινο φλοιό είναι η ελευθέρωση των μεταλλικών κατιόντων που συνδέονται με δεσμούς οξυγόνου είτε στα πυριτικά είτε στα ανθρακικά ορυκτά (αντίδραση 39B). Για πληρέστερη κα-

τανόηση θα πάρουμε το παράδειγμα αποσάθρωσης των αστρίων σε καιλίντη :

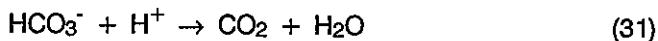


Στην αντίδραση 39 αν όπου Μ βάλουμε το κάλιο (Κ), τότε θα έχουμε,

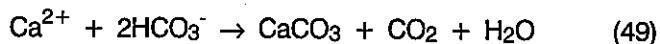


Η αντίδραση 47 ισοδυναμεί με μείωση της ANC_(εδ) εξαιτείας της διαλυτοποίησης του Κ₂O όπως φαίνεται στην αντίδραση 48. Τα πρωτόνια που χρειάζονται για τις αντιδράσεις αποσάθρωσης προέρχονται από πληθώρα διεργασιών (Πίνακας 1). Η ύπαρξη των κατιόντων Ca, Mg, K, και Na, λόγω της παρουσίας H⁺, κυριαρχεί όταν το pH είναι 5-9.

Επανασχηματισμό πυριτικών ή ανθρακικών ορυκτών έχουμε κατά την αντίστροφη πορεία της αποσάθρωσης αποτέλεσμα της οποίας είναι, αντίθετα με την αποσάθρωση, να αυξάνει η ANC_(εδ) (αντίδραση 39A). Το υδρογόνο που παράγεται στις αντίστροφες πορείες της αποσάθρωσης (σε pH7) εξουδετερώνεται γενικά από την πρωτονίωση των HCO₃⁻:



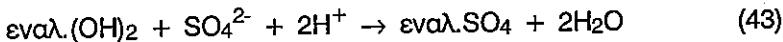
Στην περίπτωση του ανθρακικού ασβεστίου θα έχουμε :



Οι αντιδράσεις της εναλλαγής κατιόντων μοιάζουν με την αποσάθρωση και την αντίστροφη αποσάθρωση, διότι και οι δύο δεσμεύουν ή παρέχουν πρωτόνια στο εδαφικό διάλυμα. Με την αύξηση του pH, όπως είναι γνωστό, αυξάνουν τα αρνητικά φορτία των ορυκτών της αργιλού. Η οργανική ουσία αποτελεί κύρια πηγή πρωτονίων για τις αντιδράσεις εναλλαγής,



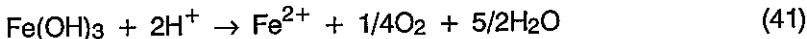
Με τη μείωση του pH(<5) υπάρχει αύξηση των θετικών φορτίων κυρίως στα υδροξείδια του Fe και του Al, τα οποία δεσμεύουν και απομακρύνουν το H⁺ από το εδαφικό διάλυμα,



Η συγκράτηση των θειικών σε εναλλακτικές θέσεις είναι στοιχειομετρικά ισοδύναμη με το σχηματισμό θειικών ορυκτών όπως του ουρβανίτη (Al(OHSO₄)₄·5H₂O) και του γιαροσίτη (KFe₃(SO₄)₂(OH)₆). Η προηγούμενη πορεία δημιουργεί μια εφεδρική οξύπητα στο έδαφος υπό μορφή SO₃ και αυτή ελευθερώνεται με την αύξηση του pH,



Η αναγωγή του Fe(OH)₃ και των SO₄²⁻ προς Fe²⁺ και σουλφίδια του σιδήρου ευνοείται από αναερόβιες συνθήκες και απαιτεί την ύπαρξη οργανικής ουσίας, η οποία παίζει το ρόλο του δότη ηλεκτρονίων στις αντιδράσεις αυτές.



Η πρόσληψη H⁺ στις προηγούμενες πορείες (αντιδράσεις 41 και 42) οδηγεί στην ύψωση του pH. Αν στη συνέχεια μεταβληθούν οι συνθήκες και υπάρξει οξειδωτικό περιβάλλον τότε ο Fe²⁺ και ο FeS θα ελευθερώσουν H⁺ με συνέπεια την πτώση του pH.

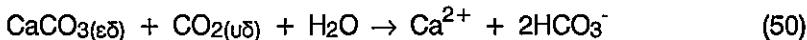
1.4 ΙΣΟΖΥΓΙΟ H⁺ ΣΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Αν προστεθεί ένα ισχυρό οξύ στο εδαφικό σύστημα τότε θα υπάρξει άμεση πτώση της ANC_(εδ). Οι μετασχηματισμοί όμως των ασθενών οξέων (όταν η αντίστοιχη pK_{HA}>pH αναφοράς) δεν επηρεάζουν απευθείας την ANC_(εδ) εκτός εάν η συζυγής τους βάση και το κατιόν που τη συνοδεύει απομακρύνονται από το έδαφος συνεχώς, οπότε η αντίδραση βαίνει συνεχώς προς τα δεξιά και η παραγωγή H⁺ είναι συνεχής. Τέτοιου είδους μετασχηματισμοί συνεπάγονται συνεχή ροή πρωτονίων μη αντιστρεπτή. Απομάκρυνση λοιπόν διαρκώς των προιόντων των αντιδράσεων με την υγρή ή την αέρια φάση ή ακόμη και με τη βιομάζα είναι υπεύθυνη για

τις μη αντιστρεπτές ροές των πρωτονίων στο εδαφικό σύστημα. Αν το SO_2 π.χ. από τον απομακρυτικό αέρα, εισέλθει σε ένα έδαφος με καλό αερισμό θα οξειδωθεί σε SO_3 και τελικά σε H_2SO_4 και θα οδηγήσει σε απευθείας μείωση της ANC_(εδ). Αυτή λοιπόν η είσοδος του SO_2 είναι μια μη αντιστρεπτή εισροή H^+ στο εδαφος.

Η διαλυτοποίηση επίσης του CaCO_3 από το CO_2 του εδαφικού διαλύματος (αντίδραση 50),



Θα μειώσει και αυτή την ANC_(εδ) τότε μόνον όταν το δέινο ανθρακικό ασβέστιο απομακρύνεται συνεχώς από τη ζώνη διαλυτοποίησης. Είναι απαραίτητη λοιπόν η απομάκρυνση της συζυγούς βάσης (HCO_3^-) από το έδαφος για να υπάρχει μια μη αντιστρεπτή ροή στις αντιδράσεις μεταφοράς πρωτονίων στις οποίες συμμετέχουν ασθενή οξέα.

Ο σχηματισμός H_2S από την αναγωγή του SO_3 θα αυξήσει την ANC_(εδ). Αν στη συνέχεια το H_2S παραμείνει στο έδαφος και οξειδωθεί προς SO_3 , η ANC_(εδ) θα πέσει ξανά στην αρχική της τιμή. Αν όμως το H_2S απομακρυνθεί ως αέριο από το έδαφος τότε η αύξηση της ANC_(εδ) θα είναι μόνιμη.

Οι μη αντιστρεπτές ροές H^+ είναι δυνατόν να δημιουργήσουν και αντίστροφες αντιδράσεις στους χώρους όπου τελικά θα βρεθούν τα προιόντα των αρχικών αντιδράσεων. Το $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ της αντίδρασης 50 είναι δυνατόν αφού εισέλθει σε μια λίμνη να καταπέσει ως ίζημα CaCO_3 και έτσι να έχουμε αύξηση στην ANC_(εδ) των ίζημάτων της λίμνης. Το H_2S που απομακρύνεται ως αέριο είναι δυνατόν να αποτεθεί σε ένα άλλο έδαφος με αερόβιες συνθήκες, εκεί θα οξειδωθεί και θα μειώσει την ANC του εδάφους αυτού.

Ολες οι αντιδράσεις που συζητήθηκαν στα προηγούμενα για το εδαφικό σύστημα, θα πρέπει να εξετάζονται πάντοτε αφού ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι στο ίδιο έδαφος είναι δυνατόν να μεταβληθούν οι συνθήκες από εποχή σε εποχή. Σε εποχές π.χ. που υπάρχει άφθονη ροή νερού δια της κατατομής εδαφών που δεν περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο η συνεχής απομάκρυνση των προιόντων των αντιδράσεων προκαλεί μεγάλη οξίνιση των εδαφών αυτών.

Αντίθετα, στις ξηρές περιόδους δεν υπάρχουν αλλαγές στην ANC_(εδ) των εδαφών αυτών.

Άλλοι παράγοντες που είναι σε θέση να μεταβάλλουν την ANC_(εδ) είναι η αφομοίωση των φυτών και η ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Η παραγωγή ή η κατανάλωση πρωτονίων είναι δυνατόν να ποικύλει χρονικά, σε ένα εδαφικό σύστημα λόγω της εξάρτησής της από τις μεταβολές του κλίματος και τη βιολογική δραστηριότητα. Πολλές φορές απαιτούνται μακροχρόνιες παρατηρήσεις και μετρήσεις για να έχει κανείς μια αντιπροσωπευτική εικόνα της πορείας της οξείσης ή της αλκαλίσης των εδαφών.

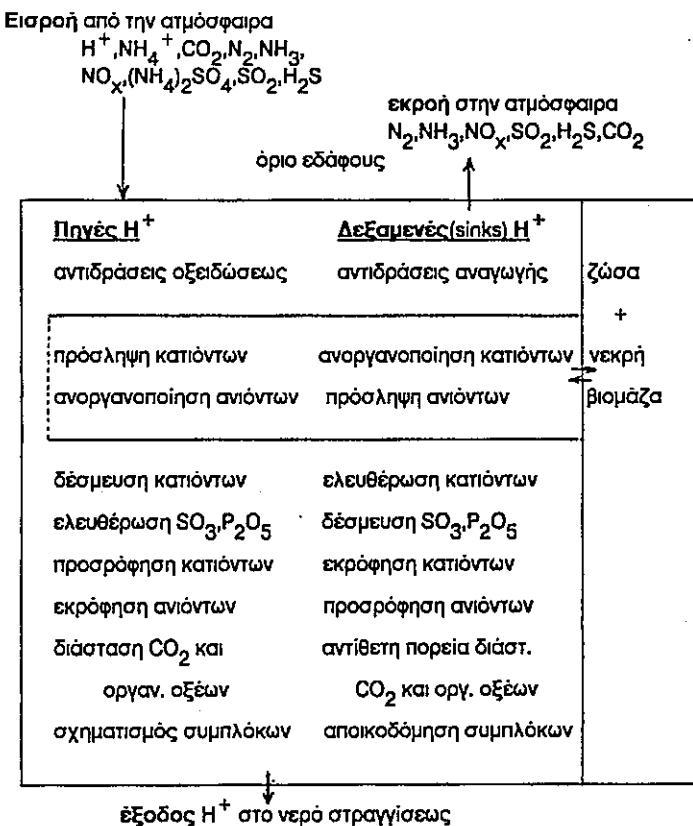
Είναι αξιοσημείωτο ότι η αλκαλίση (ή οξείση) του εδαφικού διαλύματος, το οποίο διέρχεται από το έδαφος, είναι μια πορεία αντίθετη από την οξείση (ή την αλκαλίση) του εδάφους. Όταν μεταφέρεται ένα πρωτόνιο από το εδαφικό διάλυμα στη στερεή φάση, η ANC_(εδ) μειώνεται ενώ η ANC_(υδ) αυξάνεται. Για παράδειγμα θα πάρουμε ένα έδαφος κορεσμένο με H⁺ από το οποίο αφήνουμε να διηθηθεί ένα διάλυμα NaCl. Στην προκειμένη περίπτωση το Na⁺ θα εναλλάξει το H⁺. Και, το μεν έδαφος θα αρχίσει να αλκαλιώνεται (συνεχής προσθήκη Na₂O) ενώ το νερό που διηθείται θα οξινισθεί (προσθήκη H⁺ και σχηματισμός HCl).

Η οξείση ή η αλκαλίση είναι διεργασίες τις οποίες μπορεί κανείς να μελετήσει είτε στην ιστορική τους εξέλιξη είτε στη σημερινή τους φάση. Στην ιστορική μπορεί να μελετηθεί είτε στο ίδιο έδαφος σε διαφορετικές χρονολογικά δειγματοληψίες είτε να μελετηθεί μια χρονοδιαδοχή ενός εδάφους, είτε να μελετηθεί το έδαφος σε συνδυασμό με το μητρικό υλικό. Η μελέτη της οξείσης και της αλκαλίσης στη σημερινή τους φάση περιλαμβάνει τη μέτρηση των εισροών και των εκροών όλων των παραγόντων που περιλαμβάνονται στις πορείες της μεταφοράς του H⁺. Μ'αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να κάνουμε τον ισοζύγιο του H⁺ σε ένα οικοσύστημα. Η μελέτη στη σημερινή εξέλιξη του φαινομένου έχει τα πλεονεκτήματα ότι είναι απαλλαγμένη από προβλήματα όπως : η χρονολόγηση ή η αυθεντικότητα ενός μητρικού υλικού.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται οι κυριότερες πορείες και αντιδράσεις που λαμβάνονται υπόψη κατά την κατάρτηση του ισοζυγίου του H⁺. Οπως παρατηρείται στο Σχήμα 6, στοιχεία απαραίτητα για το ισοζύγιο είναι οι εισροές όξινων ουσιών από την ατμόσφαιρα και οι εκροές όξινων ουσιών στην ατμόσφαιρα και στα νερά της στράγγισης. Επίσης παρουσιάζονται, οι πηγές και τα αποθέματα του H⁺ στο έδαφος και οι πορείες μεταφοράς του ανάμεσα στο έδαφος και στη ζώσα ή μη οργανική ύλη.

Οι μετρήσεις, που είναι απαραίτητες για να υπάρχει πλήρης εικόνα του ισοζυγίου του H⁺, πρέπει να περιλαμβάνουν :

1. Τη ροή των διαλυμένων στοιχείων που εισέρχονται και αποκαρύνονται από το σύστημα.
2. Την αφομοίωση (ή ανοργανοποίηση) των διαλυμένων στοιχείων από τη ζώσα ύλη ή από τη νεκρή βιομάζα.

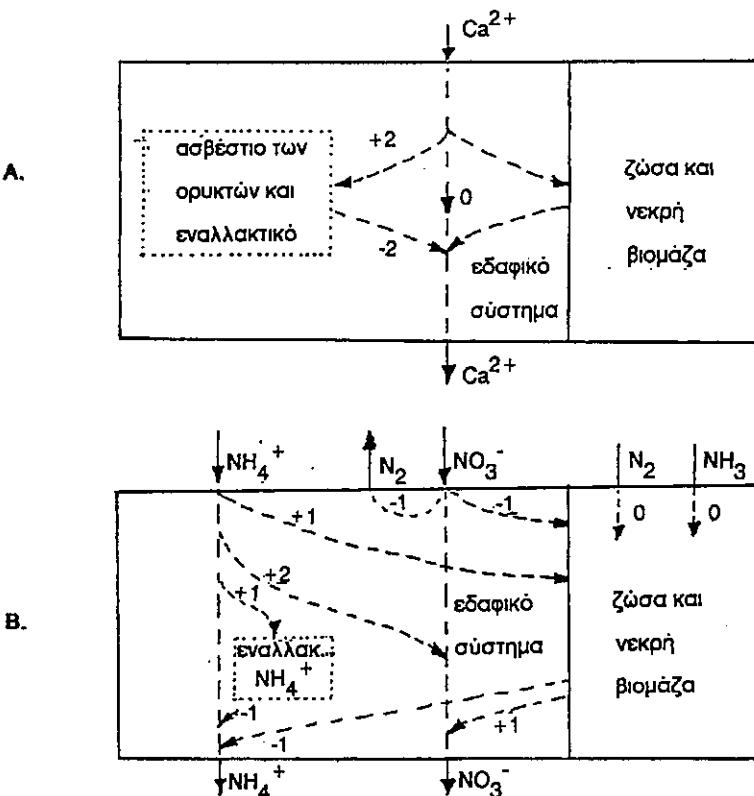


Σχήμα 6. Σχηματική παράσταση του ισοζυγίου του H^+ σ'ένα εδαφικό σύστημα (Breemen et al, 1983).

3. Τις ποσότητες των όξινων αερίων που εισέρχονται ή απομακρύνονται από το σύστημα.
 και, 4. Την προσρόφηση και την εκρόφηση των διαλυμένων στοιχείων από το έδαφος.

Από τα προηγούμενα φαίνεται ότι όταν κανείς μελετά ένα οικοσύστημα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη με λεπτομέρεια τον ρόλο του εδάφους και της βλάστησης στον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων με τη χρησιμοποίηση συλλεκτών του εδαφικού διαλύματος και μαθηματικών υδρο- εδαφικών ομοιωμάτων.

Στο σχήμα 7Α παρουσιάζεται η επίδραση, που έχει ο κύκλος των κατιόντων (και κυρίως του ασβεστίου) σ'ένα οικοσύστημα, στο ισοζύγιο του H^+ . Η εκροή κατιόντων αντιστοιχεί στο H^+ το οποίο έχει εξουδετε-



Σχήμα 7. Ο ρόλος του ασβεστίου και του αζώτου στο ισοζύγιο του H^+ . Οι αριθμοί αντιστοιχούν στο πρωτόνια που δημιουργούνται (+) ή εξουδετερώνονται (-) ανά ιόν Ca^{2+} ή $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ (Breemen et al., 1983).

ρωθεί στις αντιδράσεις αποσάθρωσης και εναλλαγής και αντιστοιχεί επίσης στη μείωση των κατιόντων που συμμετέχουν ως παράγοντες της ANC.

Είναι αρκετά δύσκολο να προσδιορίσει κανείς τη συμμετοχή των αερίων στοιχείων (C,N,S) στον ισοζύγιο του H^+ . Η δυσκολία προκύπτει από το γεγονός ότι δεν είναι δυνατόν (τουλάχιστον εύκολα) να μετρηθεί η εναλλαγή αερίων με το έδαφος ή γενικά με ένα υδρολογικά κλειστό οικοσύστημα. Η συμμετοχή όμως αυτή είναι δυνατόν να μετρηθεί έμμεσα. Η ποσότητα π.χ. των $\text{HCO}_3^- (+2\text{CO}_3^{2-})$ που μεταφέρεται από ένα σύστημα μπορεί να εξισωθεί με τη διάσταση του CO_2 που έχει επιδράσει στην κατανάλωση του CO_2 και κατά συνέπεια στη μείωση της ANC(εδ.).



Οι αντιδράσεις 51, 52, 53 δείχνουν τη συμμετοχή των HCO_3^- (με ένα H^+) και των CO_3^{2-} (με 2H^+) στην ANC(εδ).

Η ροή των πρωτονίων που προκύπτουν από τους ποικίλους μετασχηματισμούς του αζώτου μπορεί να υπολογισθεί από την εκροή των ιόντων αμμωνίου μείον την εκροή των νιτρικών, δηλαδή, (NH_4^+ εκροής - NH_4^+ εισροής) - (NO_3^- εκροής - NO_3^- εισροής), όπως φαίνεται στο σχήμα 7Β.

Αν προκύψει αρνητικό αποτέλεσμα στους υπολογισμούς αυτούς, σημαίνει ότι ο μετασχηματισμός του αζώτου παρέχει πρωτόνια στο οικοσύστημα, ενώ αν προκύψει θετικό τότε σημαίνει ότι απομακρύνονται πρωτόνια από το οικοσύστημα. Αυτό συμβαίνει ανεξάρτητα από την ποσότητα του αζώτου που μεταφέρεται προς και από το οικοσύστημα υπό μορφή ουδέτερων αερίων (NO_x , N_2 , NH_3) διότι τα αέρια αυτά δεν παίρνουν μέρος άμεσα στις αντιδράσεις μεταφοράς πρωτονίων (αντιδράσεις 21, 22). Έμμεσα είναι δυνατόν να συμμετέχουν μόνο αν μεταπέσουν σε μορφές NH_4^+ ή NO_3^- .

Τέλος, οι μετασχηματισμοί του θείου είναι από τους πιο δύσκολους να υπολογισθούν για το ισοζύγιο του H^+ . Οι ποσότητες αερίου SO_2 και H_2S που εισέρουν στο σύστημα θα οξειδωθούν στο οικοσύστημα και θα δημιουργήσουν πρωτόνια. Η δέσμευση των SO_4^{2-} από το έδαφος ή η πρόσληψή τους από τη βιομάζα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεξαμενή πρωτονίων. Γι αυτό στο ισοζύγιο για το θείο θα πρέπει να γίνουν υπολογισμοί α) της εισροής θείου, β) της εκροής θείου, γ) της αφομοίωσης θείου από τη βλάστηση και δ) της δέσμευσής του από τα εδάφη.

1.5 Η ΟΞΙΝΙΣΗ Ή ΑΛΚΑΛΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Στις επόμενες παραγράφους θα συζητηθούν οι πορείες οξίνισης ή αλκαλιώσης σε τρείς ομάδες εδαφών που διαφέρουν ως προς το υδρολογικό τους περιβάλλον :

1. Εδάφη με καλή στράγγιση όπου η βροχόπτωση υπερτερεί έναντι της εξατμισοδιαπνοής.
2. Εδάφη με μόνιμο ή περιοδικά αναγωγικό περιβάλλον.
3. Εδάφη σε ημιάνυδρες ή άνυδρες περιοχές.

Στον πίνακα 2 υπάρχουν τα ισοζύγια των οικοσυστημάτων από τις τρείς προηγούμενες περιπτώσεις.

Οι πηγές του H^+ στον πίνακα 2 εμφανίζονται ως :

- a) Ατμοσφαιρικές εισροές H^+ και SO_2 .
- β) Μετασχηματισμοί του αζώτου.
- γ) Ελευθέρωση ανιόντων (και κάθε πορεία δέσμευσης κατιόντων).
- δ) Αποπρωτονίωση του CO_2 ή των οργανικών οξέων.

και ε) Αφομοίωση των κατιόντων από τη βιομάζα (ή αναργανοποίηση).

Τα αποθέματα του H^+ περιλαμβάνουν :

- α) Μετασχηματισμούς αζώτου (εισροή νιτρικών μείον εισροή αμμωνιακών).
 - β) Ελευθέρωση κατιόντων (και πορεία δέσμευσης ανιόντων).
 - γ) Πρωτονίωση των όξινων ανθρακικών ή των οργανικών ανιόντων.
 - δ) Αφομοίωση ανιόντων από τη βιομάζα (ή αναργανοποίηση κατιόντων).
- και ε) Εκροή H^+ με τα νερά της στράγγισης από το οικοσύστημα.

Ο ρυθμός της μεταβολής για κάθε σύστημα εκφράζεται ως μεταβολή της $ANC_{(εδ)}$ (ανιονική αποσάθρωση μείον κατιονική αποσάθρωση), που ισοδυναμεί με την ποσότητα των H^+ που εξουδετερώνονται από το εδαφικό σύστημα.

Στον πίνακα 3 περιλαμβάνονται οι παράγοντες που συμμετέχουν και διαιμορφώνουν την ΔANC του εδάφους, την ΔANC του νερού που διηθείται από το έδαφος καθώς και τη μεταφορά της BNC στο νερό στράγγισης.

ΓΕΝΙΚΑ

- α. Σε εδάφη με καλή στράγγιση.** Οταν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι) είναι περισσότερα από την εξατμισοδιαπνοή τότε έχουμε πορεία οξίνισης του εδάφους (η $\Delta ANC_{(εδ)}$ είναι αρνητική). Σ αυτά, τα συστήματα όπου υπάρχει μεγάλη ροή νερού διαμέσου του εδάφους και επαρκές διάστημα επαφής του νερού αυτού με το ανόργανο

Πίνακας 2. Ισοζύγιο H^+ σε τρία οικοσυστήματα που διαφέρουν ως προς το εδαφικό καθεστός (Bremen et al, 1983).

'Εδαφος	Πηγές H^+ (kmol · ha ⁻¹ · έτος ⁻¹)			Αποθέματα H^+ (kmol · ha ⁻¹ · έτος ⁻¹)		
	εξωτερικές	οργ. οξέα	εσωτερικές	βιομάζα	αποσάθρ.	Σ· αποσάθρ. βιομάζα μετασχ.Ν ₂ στραγγ. ΔΑΝC(εδ)
1. Εδάφη με επαρκή υγρασία και αερισμό	ελαφρού CaCO ₃ 3,5% ph 7-8 γυμνό	εισροή 1,5	μετασχ.Ν ₂ 1,0	CO ₂ 12,6	βιομάζα 0,0	Σ· αποσάθρ. βιομάζα μετασχ.Ν ₂ στραγγ. 15,1 15,6
2. Εδάφη μόνιμα ή περιοδικά κατακλυσμένα με νερό	histosol Τεγέανη	0,9	0,0	0,5	0,1	0,0 1,6 1,3 0,4 0,3 0,1 0,5 -0,1
3. Εδάφη με ανεπαρκή υγρασία	αλκαλικό λίμνη	0,0	0,0	3,3	0,0	3,4 3,3 0,0 0,0 0,0 0,0 +3,4
4. Μέση ηπειροκάστρα κατάσταση		0,0	0,1	2,6	0,0	0,5 3,2 3,2 0,0 0,0 0,0 -2,7

Πίνακας 3. Παράγοντες οι οποίοι συνθέτουν την ΔANC του εδάφους (Bremen et al, 1983).

	ΔANC_{les} (kmol · ha ⁻¹ · έτος ⁻¹)	ΔANC_{les} (kmol · ha ⁻¹ · έτος ⁻¹)	ΔANC_{les} (kmol · ha ⁻¹ · έτος ⁻¹)	BNC_{les} (kmol · ha ⁻¹ · έτος ⁻¹)				
	Βασικά	Επίσια βροχόπτωση mm	ολική καπνότητα αιγάλιο	ολική HCO ₃	H ⁺	αλική H ⁺	αργύλιο H ⁺	pH νερού στράγγισης
1. Εδάφη με επαρκή υγρασία και αερισμό	800	-15,6	-15,6	0,0	0,0	14,1	12,6	0,0
2. Εδάφη μόνιμα ή περιοδικά κατακλυσμένα με νερό	1500	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,9	0,6	0,4
3. Εδάφη με ανεπαρκή υγρασία	275	3,4	3,4	0,0	0,0	-3,3	-3,3	0,0
4. Μέση πληκτόσημα κατάσταση	800	-2,7	-3,2	-0,5	0,0	2,6	2,6	0,0

* Τα στοιχεία είναι κυρίως εγδεικτικά και δεν αντιπροσωπεύουν δλεγκ τις περιπτώσεις των αντιστοίχων καταγγορών.

τιμήμα του εδάφους, ευνοείται η αποσάθρωση. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εισροών του H^+ εξουδετερώνεται από την οξίνιση του εδάφους, δηλαδή από το αποτέλεσμα της αποσάθρωσης. Εντούτοις, η προέλευση της οξύτητας σ' αυτή την κατηγορία εδαφών διαφέρει από οικοσύστημα σε οικοσύστημα και εξαρτάται από το pH, την ορυκτολογία και το ανάγλυφο του εδάφους, τον τύπο και τα ειδικά γνωρίσματα της βλάστησης και τη χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας στην περιοχή (φυσικοί και ανθρωπογενείς ρύποι).

β. Εδάφη με μόνιμο ή περιοδικά αναγωγικό περιβάλλον. Όταν είναι κορεσμένα με νερό, το pH του εδαφικού τους διαλύματος είναι ουδέτερο ως ελαφρά αλκαλικό, διότι η αναγωγική πορεία έχει εξουδετερώσει τα πρωτόνια (αντιδράσεις 34B, 37B, 38B, 41B και 42B). Αν τα εδάφη αυτά υποστούν στράγγιση και αποκτήσουν καλό αερισμό, οι αναγμένες ενώσεις με την παρουσία του CO_2 οξειδώνονται, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του pH (αντιδράσεις 34A, 36A, 41A και 42A). Γενικά μπορεί να πει κανείς ότι σε αναερόβιες συνθήκες υπάρχουν οι ενώσεις FeO , MnO και H_2S ενώ σε αερόβιες υπάρχουν οι οξειδωμένες τους μορφές Fe_2O_3 , MnO_2 και SO_3 . Όταν το σύστημα παραμένει κλειστό για τους παράγοντες που συνθέτουν την ANC_(εδ) τότε το σύστημα είναι δυνατόν να μεταβαίνει κυκλικά από αναγωγική σε οξειδωτική κατάσταση χωρίς να υπάρχει αλλαγή στην ANC_(εδ). Εντούτοις, αν κατά τη διάρκεια των αναγωγικών και οξειδωτικών συνθηκών υπάρξει μη αντιστρεπτή ροή H^+ που προκλήθηκε από διαφορετική κινητικότητα των εδαφικών ενώσεων, τότε είναι δυνατόν να αλλάξει (μόνιμα) η ANC_(εδ).

γ. Εδάφη ημιάνυδρων ή άνυδρων περιοχών. Χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη εξάτμιση σε σχέση με τη βροχόπτωση. Εποι, οι εισροές στο σύστημα των ενώσεων που είναι διαλυμένες ή στο νερό της βροχής ή στο νερό των ποταμών ή των αρδεύσεων, είναι μεγαλύτερες από τις εκροές. Ακόμη, αν στο νερό που εισέρχεται στο σύστημα έχει κάποια ANC (που πρακτικά έχουν όλα τα επιφανειακά και υπόγεια νερά), τότε θα αυξηθεί και η ANC_(εδ). Με την πορεία της αντίστροφης αποσάθρωσης (αντίδραση 39A) δημιουργείται ANC_(εδ) στο σύστημα υπό μορφή ανθρακικών ή πυριτικών ορυκτών (π.χ. σμεκτίτες, ζεόλιθοι και άστριοι). Η άνοδος του pH σε εδάφη ξερών περιοχών (9), λόγω του σχηματισμού ανθρακικού νατρίου, εξαρτάται από το ποσοστό του Ca^{2+} και Mg^{2+} και της ANC_(υδ) (HCO_3^-) του νερού που εισέρχεται στο σύστημα. Αν το $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ είναι μεγαλύτερο από την ANC_(υδ) τότε δεν θα σχηματιστεί ανθρακικό νάτριο και το pH θα παραμείνει κάτω από 8,5. Στην αντίθετη περίπτωση θα σχηματιστεί τελικά ανθρακικό νάτριο. Φυσικά, η αύξηση

της ANC(εδ) εξαρτάται μόνο από την ποσότητα των κατιόντων που συνδέονται με την ANC(υδ) και τα οποία έχουν δεσμευτεί λόγω μιας αντίθετης πορείας αποσάθρωσης, και όχι από τα υπάρχοντα ελεύθερα κατιόντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ

Γενικά

Αλατούχα εδάφη θεωρούνται τα εδάφη τα οποία έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στο νερό κορεσμού $EC_e > 2 \text{ mS/cm}$. Πάνω από αυτά τα επίπεδα αλατότητας τα περισσότερα από τα καλλιεργούμενα φυτά αρχίζουν να παρουσιάζουν προβλήματα στην ανάπτυξή τους. Μάλιστα, ορισμένα ευαίσθητα φυτά, παρουσιάζουν προβλήματα σε τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νερό κορεσμού μεταξύ 1 και 2 mS/cm .

Η ύπαρξη ή η δημιουργία αλατούχων εδαφών σχετίζεται κυρίως με δύο παράγοντες. Ο ένας είναι η τοπογραφική και η γεωγραφική θέση της περιοχής και ο άλλος σχετίζεται με την επέκταση των αρδευόμενων εκτάσεων και με την ποιότητα του νερού αρδεύσεως. Και οι δύο παράγοντες και για τη σύγχρονη γεωργία κυρίως ο δεύτερος, έχουν ιδιαίτερη σημασία διότι συνεχώς, μαζί με άλλες διαδικασίες, μειώνουν τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, διότι τις καθιστούν ακατάλληλες προς καλλιέργεια.

2.1 ΑΛΑΤΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΛΟΓΩ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ Ή ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΘΕΣΕΩΣ

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται οι περιοχές : 1) των δέλτα των ποταμών, ή οι παραθαλάσσιες περιοχές που κατακλύζονται εποχιακά από θάλασσα, 2) οι περιοχές που λόγω αναγλύφου βρίσκονται στα χαμηλότερα σημεία μιας ευρύτερης λεκάνης ή περιοχής και 3) περιοχές με εδάφη μικρής υδατοπερατότητας.

1) Περιοχές δέλτα ποταμών ή παραθαλάσσιες. Τα εδάφη των περιοχών αυτών λόγω της συνεχούς επαφής τους με το θαλασσινό νερό καθίστανται αλατούχα. Το θαλασσινό νερό περιέχει κατά μέσο όρο 600 me/l άλατα με κυριαρχούν στοιχείο το Na^+ υπό μορφή NaCl και

λιγότερο Ca+Mg. Ο λόγος Na/(Ca+Mg) στο θαλασσινό νερό είναι >3. Συνέπεια της επαφής των εδαφών αυτών με το θαλασσινό νερό είναι τα εδάφη να αλατώνονται σε πρώτο στάδιο και στη συνέχεια να νατριώνονται. Ενα άλλο σοβαρό σημείο αυτής της επαφής είναι ο εμπλουτισμός του εδάφους με βόριο το οποίο παραμένει επί μακρόν στο έδαφος ακόμη και μετά την βελτίωση των εδαφών αυτών. Τις παραπάνω περιοχές τις συναντάμε σε όλα σχεδόν τα πλάτη της γής.

2) Περιοχές σε χαμηλά σημεία του αναγλύφου. Στα χαμηλότερα σημεία του αναγλύφου μιας περιοχής συγκεντρώνονται τα αιτιορέοντα ή τα διηθούμενα νερά ολόκληρης της λεκάνης που περιβάλλει τη χαμηλή περιοχή. Ετσι στις περιοχές αυτές έχουμε υψηλή υπόγεια στάθμη. Αν η περιοχή δεν έχει φυσική διέξοδο προς ποταμούς ή τη θάλασσα τότε με τη βοήθεια της εξάτμισης τα εδάφη αυτά συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα αλάτων με αποτέλεσμα να καθίστανται τα εδάφη αλατούχα και στη συνέχεια νατριούχα.

3) Περιοχές με εδάφη μικρής διαπερατότητας. Στις περιοχές αυτές λόγω μικρής διαπερατότητας (συνήθως εδάφη με μεγάλο ποσοστό αργίλου) τα πάσης προέλευσης νερά δεν διηθούνται σχετικά γρήγορα, οπότε, λόγω εξάτμισης, επέρχεται συμπύκνωση και τελικά απόθεση των αλάτων στην κατατομή του εδάφους. Πολλά εδάφη αυτής της κατηγορίας, αν και ελαφρά ή μέσης μηχανικής σύστασης, περιέχουν στην κατατομή τους αδιαπέρατα στρώματα αργίλου ή άλλου είδους hardpans.

Οι κατηγορίες 2 και 3 παρατηρούνται σε περιοχές με ημίξηρο και ξερό κλίμα όπου, η μεν εξατμισοδιαπονή είναι μεγάλη ενώ η βροχόπτωση, η οποία θα βοηθούσε στη διάλυση και απομάκρυνση των αλάτων από το έδαφος, μικρή.

2.2 ΑΛΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ

Γενικά

Η ανάπτυξη της γεωργίας και η αναζήτηση νέων ποικιλιών και καλλιεργητικών μεθόδων για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής είναι στενά συνδεμένη με τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε αρδευτικό νερό. Το νερό που χρησιμοποιείται για τις αρδεύσεις προέρχεται από επιφανειακά (ποταμοί ή λίμνες) ή υπόγεια νερά. Τα νερά αυτά περιέχουν σε διάλυση ή αιώρηση ένα ποσό αλάτων ευδιάλυτων ή δυσδιάλυτων, το οποίο ποικίλει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με το κλίμα, τα πετρώματα, τα ορυκτά και το έδαφος από τα οποία διέρχεται. Συνήθως στα νερά της άρδευσης επικρατούν τα άλατα του ασβεστίου (όξινα ανθρακικά, θειικά, χλωριούχα, ανθρακικά). Σε μικρότερο ποσοστό και ανάλογα με την προέλευση των νερών υπάρχουν άλατα του Mg, του K, του Na και ενδεχόμενα ορισμένων στοιχείων τοξικών όπως Β ή ιχνοστοιχείων. Ενα μέρος από τα άλατα που περιέχουν τα νερά της αρδεύσεως αποτίθενται στο έδαφος. Το ποσό αυτό των αλάτων συνεχώς αυξάνει και αν δεν ληφθεί μέριμνα ή αν οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής είναι κατάλληλες τότε τα εδάφη οδηγούνται σε ισχυρή αλάτωση με συνέπεια την μερική ή την πλήρη υποβάθμισή τους.

Στη συνέχεια θα εξετασθεί η ποιότητα του νερού αρδεύσεως και οι συνέπειές της στα εδάφη, με σχετική λεπτομέρεια, λόγω της τεράστιας σημασίας που έχει η γνώση του προβλήματος σε όλη του την έκταση, για την προφύλαξη των συνεχώς αυξανομένων αρδευόμενων εκτάσεων.

2.21 Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ

Το ποσό και το είδος των αλάτων είναι τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν κυρίως την ποιότητα ενός νερού το οποίο είναι προορισμένο για άρδευση. Η ποιότητα του νερού αρδεύσεως καθορίζει ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής το είδος και τον βαθμό των προβλημάτων που θα προκύψουν στο έδαφος το οποίο πρόκειται να αρδευθεί.

Τα προβλήματα που προκύπτουν είναι :

- Αλάτωση του εδάφους

- β. Διηθητικότητα του εδάφους
- γ. Τοξικότητα ιόντων
- δ. Διάφορα άλλα προβλήματα

2.211 Αλάτωση του εδάφους

Τα άλατα που συμβάλλουν στην αλατότητα του εδάφους είναι άλατα ευδιάλυτα και μεταφέρονται εύκολα στο έδαφος με το νερό. Η αλατότητα σ' ένα καλλιεργούμενο έδαφος εκδηλώνεται με τη μείωση της παραγωγής η οποία συνοδεύεται με εμφανή ή όχι συμπτώματα στα καλλιεργούμενα φυτά. Τα συμπτώματα που εκδηλώνονται στα φυτά είναι μάρανση, σκούρο κυανοπτράσινο χρώμα και σε ορισμένες περιπτώσεις τα φύλλα παχύνονται και δημιουργούν κηρώδεις επιφάνειες. Τα συμπτώματα αυτά ποικίλουν ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και είναι πιο εμφανή όταν τα φυτά υποστούν την επίδραση των αλάτων στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους. Τα συμπτώματα αυτά είναι παρόμοια με αυτά της έλλειψης νερού για τα φυτά. Πολλές φορές έχουμε μια γενική μικρή μείωση της παραγωγής χωρίς ιδιαίτερα συμπτώματα στα φυτά, γεγονός που πρέπει να σημειωθεί ιδιαίτερα, διότι αποτελεί πρόδρομο φαινόμενο μιας επερχόμενης, ενδεχόμενα μεγάλης, μείωσης της παραγωγής.

Το ποσό των αλάτων ποικίλει με το βάθος του εδάφους και συγκεντρώνεται συνήθως στην περιοχή του ριζοστρώματος λόγω της άντλησης μεγάλης ποσότητας νερού (και κατά συνέπεια συμπύκνωση των αλάτων) για τις ανάγκες του φυτού. Με την πάροδο του χρόνου και τη συμπύκνωση του εδαφικού διαλύματος στην περιοχή των ριζών, το φυτό αναζητώντας νέες ποσότητες νερού συμπικνώνει όλο και περισσότερο το εδαφικό διάλυμα.

Ετσι λοιπόν, σε εδάφη που αρδεύονται, με τις κλασσικές μεθόδους, η μείωση της παραγωγής εξαρτάται από την αλατότητα του εδάφους στο βάθος όπου αναπτύσσεται το μεγαλύτερο τμήμα της ρίζας των φυτών. Οταν όμως αρδεύονται σε καθημερινή βάση με μεθόδους όπως στάγδην άρδευση, τότε η παραγωγή συνδέεται κυρίως με την αλατότητα του νερού που προσλαμβάνουν τα φυτά και όχι με αυτήν που δεν παίρνουν. Συνήθως η διαφορά με την προηγούμενη περίπτωση είναι μικρή. Οταν όμως η αλατότητα είναι μεγάλη τότε και η διαφορά αλατότητας είναι μεγάλη.

Ένα από τα προβλήματα αλατότητας που δημιουργούνται στις αρδευόμενες περιοχές είναι και η υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό της οποίας, λόγω εξατμισοδιαπνοής, εμπλουτίζεται όλο και περισσότερο σε άλατα. Η ανύψωση, εποχιακά, της υπόγειας αυτής στάθμης επηρεάζει

επιπρόσθετα την ανάπτυξη των φυτών. Η έκπλυση των αλάτων, όταν υπάρχει υψηλή υπόγεια στάθμη, με φυσικό (βροχές) ή τεχνητό (περίσσεια νερού άρδευσης) τρόπο οδηγεί σε πρόσθετη αύξηση των αλάτων. Τα προβλήματα είναι εντονότερα όταν τα αρδευόμενα εδάφη βρίσκονται σε χαμηλά τμήματα της περιοχής. Η έκπλυση των αλάτων από τα εδάφη αυτά όπως θα εξετασθεί στη συνέχεια πρέπει να συνοδεύεται με τη δημιουργία στραγγιστικού δικτύου. Ασφαλώς και πριν από τη δημιουργία τέτοιων καταστάσεων, πριν δηλαδή αρχίσει να αρδεύεται μια περιοχή, θα πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνεται μέριμνα για τη στράγγιση και απομάκρυνση των νερών της στράγγισης.

2.212 Διηθητικότητα του εδάφους

Ορισμένες φορές η ποιότητα του νερού αρδεύσεως μπορεί να επηρεάσει τη διηθητικότητα του εδάφους θετικά ή αρνητικά. Εάν το συνολικό ποσό των αλάτων είναι μεγάλο τότε η διηθητικότητα του εδάφους αυξάνει, στοιχείο που χρησιμοποιείται, όπως θα εξετασθεί στη συνέχεια, για τη βελτίωση των νατριωμένων εδαφών. Εάν το συνολικό ποσό των αλάτων είναι μικρό ή έαν ο λόγος νατρίου προς ασβέστιο (ή καλύτερα προς ασβέστιο + μαγνήσιο) είναι μεγάλος, τότε η διηθητικότητα του εδάφους μειώνεται αισθητά. Τα φαινόμενα αυτά είναι συνδεμένα με τη θρόμβωση και τη διασπορά της αργύλου.

Αποτέλεσμα της μείωσης της διηθητικότητας, είναι το νερό να παραμένει στην επιφάνεια και στην κατατομή επί περισσότερο χρόνο. Άν οι κλιματικές συνθήκες το επιτρέπουν (μεγάλη εξατμισοδιαπνοή), τότε η συμπύκνωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα είναι συνεχής.

2.213 Τοξικότητα ιόντων

Είναι δυνατόν με το νερό αρδεύσεως το έδαφος και κατά συνέπεια το φυτό να εφοδιάζεται με συγκεκριμένα ιόντα, τα οποία σε μεγάλες προσλήψεις καθίστανται τοξικά για το φυτό. Μεγαλύτερη ευαισθησία στα ιόντα αυτά δείχνουν οι δενδρώδεις καλλιέργειες οι οποίες όμως παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους ανάλογα με το είδος και την ποικιλία.

Τα ιόντα με τη μεγαλύτερη σημασία, ως προς την τοξικότητά τους για τα φυτά, είναι το Cl^- το Na^+ και το βόριο. Τα τοξικά ιόντα προσλαμβάνονται από το φυτό μέσω της λειπουργίας της διαπνοής και συγκεντρώνονται σε μεγάλες ποσότητες στα φύλλα και κυρίως στις κορυφές και τα άκρα των φύλλων.

Επίσης και κυρίως το νάτριο και χλώριο απορροφόνται από τα

φύλλα, όταν εφαρμόζεται άρδευση με καταιωνισμό ή καταιωνισμό με υψηλή πίεση. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του Na^+ και Cl^- στο νερό αρδεύσεως τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωσή τους στο φυτό και κατά συνέπεια η καταστροφή για την παραγωγή είναι μεγάλη έως καθοριστική σε ορισμένες ευαίσθητες καλλιέργειες.

Άλλα ίόντα όπως Cd , As , Cr , F , Hg κλπ, με τα οποία μολύνεται ορισμένες φορές το νερό αρδεύσεως, είναι δυνατόν αφενός να δράσουν τοξικά, αλλά κυρίως να μεταφερθούν, μέσω της τροφικής αλυσίδας, στον άνθρωπο με τις γνωστές συνέπειες.

2.214 Διάφορα άλλα προβλήματα

Τα διάφορα άλλα προβλήματα που προκύπτουν από την ποιότητα του νερού αρδεύσεως δεν σχετίζονται με το έδαφος και την υποβάθμισή του αλλά σχετίζονται είτε απευθείας με τα φυτά (όπως εφοδιασμός των φυτών με μεγαλύτερα ποσά αζώτου, όταν το άζωτο προστίθεται στο νερό αρδεύσεως με καταιωνισμό και σε περιεκτικότητες μεγαλύτερες από τις κανονικές, ή γύψου ή HCO_3^- ή σιδήρου) είτε με τα εργαλεία και τις κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την άρδευση (διάβρωση, ή έμφραξη αντλιών λόγω αιωρημάτων, κ.λ.π.).

Όλα τα προηγούμενα προβλήματα που είναι δυνατόν να προκύψουν από το νερό αρδεύσεως θα πρέπει πάντα να τα εξετάζει κανείς είτε μεμονωμένα, αλλά, κυρίως σε συνδυασμό μεταξύ τους. Η εκτίμηση των προβλημάτων μπορεί να γίνει μόνον όταν γνωρίζει κανείς τις τιμές πέρα από τις οποίες τα προβλήματα μπορούν να γίνουν καθοριστικά για τα φυτά. Στη συνέχεια θα εξετασθούν τα όρια και οι κατευθυντήριες γραμμές για την εκτίμηση ενός νερού αρδεύσεως.

2.22 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ

Για να αξιολογήσει κανείς το νερό το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για να αρδευθεί μια συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να έχει υπόψη του τις μεταβολές που θα δημιουργηθούν στο σύστημα έδαφος-νερό-φυτό. Οι μεταβολές αυτές οι οποίες θα επηρεάσουν το σύστημα έδαφος-νερό- φυτό μετά από συνεχή χρησιμοποίηση ενός νερού αρδεύσεως προκύπτουν από τις ιδιότητες που έχει το νερό αρδεύσεως και χρησιμοποιούνται καθοδηγητικά πριν από τη χρησιμοποίησή του. Οι ιδιότητες του νερού αρδεύσεως και οι μεταβολές που θα επέλθουν στο έδαφος και στα φυτά, συνοψίζονται στον πίνακα 4.

Η αξιολόγηση του νερού αρδεύσεως όπως φαίνεται στο πίνακα 4 καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συνθηκών στην αρδευόμενη γεωργία. Έχουν χρησιμοποιηθεί ορισμένες βασικές προυποθέσεις προκειμένου να καθορισθούν τα όρια της χρησιμοποίησης του πίνακα 4. Εάν βεβαίως χρησιμοποιηθεί το νερό κάτω από τελείως διαφορετικές συνθήκες είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένες διορθώσεις στον πίνακα 4. Εξάλλου εάν κάποιο νερό βρίσκεται στα όρια των προϋποθέσεων που ετέθησαν τότε είναι δυνατόν να υπάρχουν ευρείες αποκλίσεις και κατά συνέπεια λανθασμένη εκτίμηση. Εάν βεβαίως υπάρχει σε κάποια περιοχή τόσο η εμπειρία οσο και πειραματικά στοιχεία καθώς επίσης και επιστημονικές παραπτήσεις, τότε ο πίνακας 4 μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις τοπικές συνθήκες.

Βασικές προϋποθέσεις για τη χρήση του πίνακα 4.

α) **Μέγιστη απόδοση.** Η μέγιστη απόδοση για όλες τις καλλιέργειες επιτυγχάνεται όταν το νερό αρδεύσεως δεν έχει καμμιά επίπτωση σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 4. Επίπτωση μικρή ή μεγάλη σημαίνει ότι πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη καλλιέργεια ή ότι χρειάζεται ειδική μεταχείριση προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση. Ασφαλώς κάποια επίπτωση μικρή ή μεγάλη που προκύπτει από τον πίνακα 4 δεν σημαίνει υποχρεωτικά ότι το νερό είναι ακατάλληλο για χρήση.

β) **Τοπικές συνθήκες.** Η μηχανική σύσταση του εδάφους κυμαίνεται από αμμοπηλώδη έως αργιλοπηλώδη με καλή στράγγιση. Το κλίμα προυποτίθεται ότι είναι ημίξερο έως ξερό με χαμηλή βροχόπτωση. Η βροχόπτωση δεν επαρκεί τόσο για την κάλυψη των αναγκών των φυτών όσο και για τις επήσιες ανάγκες για ξέπλυμα των αλάτων του εδάφους (leaching requirement). Για περιοχές με υψηλή βροχόπτωση (Δυτική Ελλάδα) οι επιπτώσεις του πίνακα 4 είναι ασήμαντες έως μηδαμινές, διότι στις περιπτώσεις αυτές το νερό της βροχής πολλές φορές είναι αρκετό ώστε να καλύπτει τις επήσιες ανάγκες για ξέπλυμα των αλάτων από το έδαφος. Γενικά η υπόγεια στάθμη του νερού πρέπει να βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 2 μέτρα.

γ) **Μέθοδοι και χρόνος αρδεύσεως.** Για τον καθορισμό των στοιχείων του πίνακα 4 ως προτύπθεστη είναι οι επιφανειακές μέθοδοι άρδευσης ή ο καταιωνισμός. Το νερό παρέχεται κατά αραιά διαστήματα, σύμφωνα με τις ανάγκες, και το φυτό παίρνει τη μεγαλύτερη διαθέσιμη ποσότητα του εδαφικού νερού (50% ή περισσότερο) πρίν από την επόμενη άρδευση. Το 15% τουλάχιστον του νερού κάθε άρδευσης διηθείται δια μέσου του εδάφους κάτω από το ριζόστρωμα (το διηθούμενο

Πίνακας 4. Αξιολόγηση του νερού αρδεύσεως (Ayres και Westcot, 1985).

<i>Επιπτώσεις</i>					
Προβλήματα από την άρδευση Μονάδες καμμία μικρή έως μέση μεγάλη					
Αλατότητα(επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού)					
EC _{va}	dS/m	<0,7	0,7 - 3,0	>3,0	
ή					
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000	
Διηθητικότητα(επηρεάζει τη διηθητικότητα του εδάφους)					
SAR = 0 - 3 και EC _{va} =		>0,7	0,7 - 0,2	<0,2	
= 3 - 6	=	>1,2	1,2 - 0,3	<0,3	
= 6 - 12	=	>1,9	1,9 - 0,5	<0,5	
= 12 - 20	=	>2,9	2,9 - 1,3	<1,3	
= 20 - 40	=	>5,0	5,0 - 2,9	<2,9	
Τοξικότητα ιόντων(επηρεάζει τα ευαίσθητα φυτά)					
Νάτριο (Na⁺)					
επιφανειακή άρδευση me/l	<3	3 - 9	>9		
καταιωνισμός	me/l	<3	>3		
Χλωριούχα (Cl⁻)					
επιφανειακή άρδευση me/l	<4	4 - 10	>10		
καταιωνισμός	me/l	<3	>3		
Βόριο (B)	mg/l	<0,7	0,7 - 3,0	>3,0	
Ιχνοστοιχεία					

κλάσμα- Leaching Fraction- LF>15 %). Ο πίνακας 4 είναι πολύ περιοριστικός προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για ειδικές μεθόδους αρδεύσεως, όπως η στάγδην άρδευση, διότι η συχνότητα των αρδεύσεων είναι πολύ μεγάλη. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και για υπόγεια

άρδευση με την προϋπόθεση ότι παρέχονται οι επί πλέον πιο σότητες του νερού για στράγγιση των αλάτων.

δ) Πρόσληψη νερού από τις καλλιέργειες. Οι καλλιέργειες έχουν μεταξύ τους διαφορετικό τρόπο πρόσληψης νερού, όμως όλες γενικά προσλαμβάνουν νερό από τα σημεία εκείνα του ριζοστρώματος όπου αυτό είναι άφθονο. Κατά μέσο όρο το 40% προσλαμβάνεται από το ανώτερο τέταρτο του ριζοστρώματος του αντίστοιχου φυτού, το 30% από το δεύτερο τέταρτο, 20% από το τρίτο τέταρτο και το 10% από το βαθύτερο τέταρτο. Σε κάθε άρδευση εκπλύνεται το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος οπότε το τμήμα αυτό της καταπομής έχει και λιγότερα άλατα. Η αλατότητα αυξάνει με το βάθος και είναι μεγαλύτερη στο κατώτερο τμήμα του ριζοστρώματος. Η μέση αλατότητα του εδαφικού νερού είναι τριπλάσια από την αλατότητα του νερού με το οποίο αρδεύεται. Η αλατότητα αυτή αποτελεί και το μέγιστο για τον καθορισμό της αντοχής των διαφόρων καλλιεργειών στο αντίστοιχο έδαφος. Οι συνθήκη αυτή προκύπτει από ένα διηθούμενο κλάσμα (LF) της τάξεως του 15-20% και αρδεύσεις οι οποίες έχουν ρυθμισθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν επαρκώς τις ανάγκες καθόλη την περίοδο.

Τα άλατα που απομακρύνονται με στράγγιση από το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος συγκεντρώνονται σε ένα βαθμό στο κατώτερο τμήμα του ριζοστρώματος, εντούτοις όμως όταν υπάρχει επιαρκής στράγγιση επιτυγχάνεται ένα ισοζύγιο καθώς τα άλατα κινούνται τελικά κάτω από το ριζόστρωμα. Η υψηλή αλατότητα στο κατώτερο τμήμα δεν αποτελεί πρόβλημα για τα φυτά εάν επιτυγχάνεται αφενός επαρκής υγρασία στο ανώτερο (περισσότερο ενεργό) τμήμα των ριζών και αφετέρου συνεχής στράγγιση των αλάτων προς το κατώτερο τμήμα.

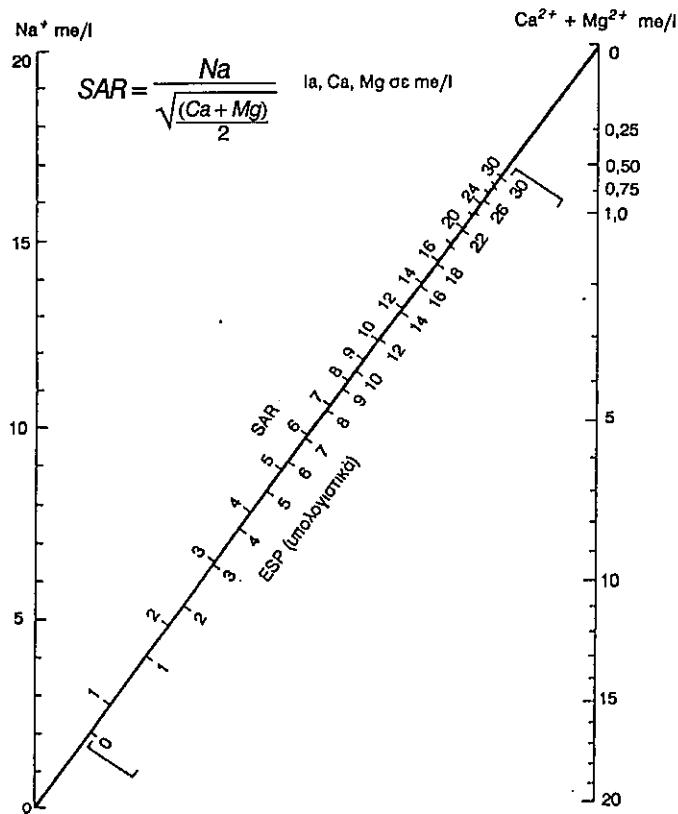
ε) Επιπτώσεις από τη χρήση του νερού. Οι επιπτώσεις από τη χρήση του νερού όπως φαίνεται στον πίνακα 4 διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος των τιμών, ως καμμία, μικρή έως μέση και μεγάλη. Ασφαλώς οι υποδιαιρέσεις είναι κάπως περιχαρακωμένες δεδομένου ότι η μετάβαση από τη μια υποδιαιρέση στην άλλη είναι σταδιακή. Μια απόκλιση κατά 10- 20% από τις τιμές του πίνακα 4 δεν αποτελεί πρόβλημα διότι είναι δυνατόν και άλλοι παράγοντες πέρα από τα άλατα να επηρεάζουν την απόδοση μιας καλλιέργειας. Παρατηρήσεις στον αγρό, ερευνητικά πειραματικά και άλλες παρατηρήσεις αποτελούν τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν αυτές οι υποδιαιρέσεις. Η πείρα όμως ενός απόμου που χρησιμοποιεί ένα νερό για άρδευση μπορεί πολλές φορές να τις διαφοροποιήσει. Οι τιμές του πίνακα 4 μπορούν να εφαρμοσθούν κάτω από ομαλές συνθήκες αγρού και ισχύουν για τις περισσότερες αρδεύσεις περιοχές με ξερό έως ημίξερο κλίμα.

2.221 Η αλατότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί.

Η αλατότητα του νερού αρδεύσεως εκφράζεται : α) με την ηλεκτρική αγωγιμότητά του (EC) που τη μετράμε σε millisiemens ανά cm (mS/cm) στους $25^{\circ}C$. και β) με το συνολικό ποσό των διαλυμένων αλάτων στο νερό σε mg/l. $EC=2.0\ mS/cm$ ή $\text{άλατα}=1.300\ mg/l$ αποτελούν το ανώτερο όριο υγιούς ανάπτυξης των περισσοτέρων φυτών.

2.222 Η διηθητικότητα του νερού στο έδαφος.

Η ταχύτητα διηθήσεως του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για αρδεύσεις εξαρτάται από τον συνδυασμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητάς



Σχήμα 8. Νομογράφημα για τον υπολογισμό του SAR και του ESP από τις τιμές Ca, Mg και Na του νερού αρδεύσεως (USDA/US Salinity Laboratory Staff, 1954).

του (EC) και του SAR. Το SAR εκφράζει τη δυνατότητα του νερού να εφοδιάζει την εναλλακτική φάση του εδάφους με ιόντα νατρίου επηρεάζοντας μ' αυτόν τον τρόπο τη διηθητικότητα του εδάφους. Το SAR προκύπτει από τη σχέση :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad (54)$$

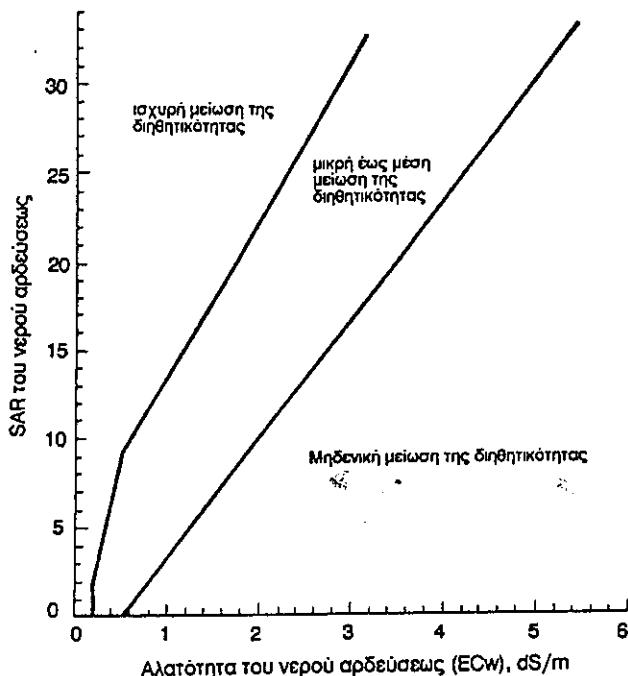
τα Na, Ca, Mg σε me/l προσδιορίζονται στο νερό αρδεύσεως, και το SAR υπολογίζεται εύκολα από το νομογράφημα του σχήματος 8. Συνδυασμός τιμών SAR και EC και επιπτώσεις στη διηθητικότητα δίνονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5. Επίπεδα SAR και ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\text{EC} \times 10^3$) του νερού αρδεύσεως που επηρεάζουν την ταχύτητα διηθήσεως του νερού στο έδαφος (Oster και Schroer, 1979).

SAR	Μείωση της διηθητικότητας		
	ασήμαντος	μικρή ως μέση	μεγάλη
		EC, mS/cm	
0 - 3	>0,7	0,7 - 0,2	<0,2
3 - 6	>1,2	1,2 - 0,3	<0,3
6 - 12	>1,9	1,9 - 0,5	<0,5
12 - 20	>2,9	2,9 - 1,3	<1,3
20 - 40	>5,0	5,0 - 2,9	<2,9

Η μειωμένη διηθητικότητα που οφείλεται στην ποιότητα του νερού αρδεύσεως, εμφανίζεται συνήθως στα πρώτα εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους, όμως ορισμένες φορές εμφανίζεται και σε μεγαλύτερα βάθη. Η ταχύτητα διηθήσεως της τάξεως των 3 mm/h θεωρείται μικρή, ενώ πάνω από 12 mm/h οχετικά μεγάλη. Ασφαλώς και άλλοι παράγοντες εκτός από την ποιότητα του νερού αρδεύσεως είναι δυνατόν να μειώσουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Τέτοιοι είναι η μηχανική σύσταση του εδάφους, το είδος των ορυκτών της αργύρου καθώς και το είδος και η σύνθεση των κατιόντων της εναλλακτικής φάσεως. Τα προβλήματα της διηθητικότητας του εδάφους σχετίζονται τόσο με την αλατότητα του εδάφους (EC_{va}) όσο και με τη σχετική περιεκτικότητά του σε νάτριο (SAR) όπως φαίνεται στο σχήμα 9.

Γενικά, η διηθητικότητα αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας και μειώνεται τόσο με τη μείωση της αλατότητας όσο και με τη αύξηση του SAR.



Σχήμα 9. Ταχύτητα διηθήσεως όπως επηρεάζεται από την αλατότητα (EC_{w}) και το SAR του νερού αρδεύσεως (Rhodes, 1977 ; Oster και Schroer, 1979).

2.2221 Εκτίμηση των προβλημάτων διηθητικότητας

Νερό με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα ($<0.5 \text{ mS/cm}$ ή ιδιαίτερα $<0.2 \text{ mS/cm}$) έχει την τάση να εκπλύνει τα ελεύθερα άλατα και κυρίως το ασβέστιο, το οποίο έχει ισχυρή επίδραση στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους ειδικότερα, καθώς και τη δομή του γενικότερα. Χωρίς την παρουσία αλάτων στο εδαφικό διάλυμα και ιδιαίτερα του ασβεστίου, η άργιλος του εδάφους διαμερίζεται και κλείνουν οι περισσότεροι από τους μικρούς πόρους του εδάφους, σφραγίζοντας με αυτόν τον τρόπο το επιφανειακό έδαφος και μειώνοντας τη διηθητικότητά του. Έτσι δημιουργείται επιφανειακή κρούστα από την οποία εμποδίζεται η εμφάνιση των φυταρίων, και η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στο έδαφος είναι μειωμένη και μπορεί να προκληθεί υδατική καταπόνηση μεταξύ δύο αρδεύσεων.

Μια πολύ μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αρδεύσεως (μι-

κρότερη από 0,2 mS/cm) δημιουργεί σχεδόν μη αντιστρεπτά προβλήματα ανεξάρτητα από το SAR. Όπως ήδη έχει αναφερθεί το νερό της βροχής έχει πολύ μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα και γιαυτό περιοχές που δέχονται πολλές βροχές παρουσιάζουν και μεγάλη επιφανειακή απορροή λόγω της μειωμένης διηθητικότητας που οφείλεται στο νερό της βροχής.

Περίσεια νατρίου στο νερό αρδεύσεως προωθεί διασπορά και καταστροφή των εδαφικών συσταμάτων, μόνον όταν το νάτριο έχει σχέση με το ασβέστιο (ή ασβέστιο συν μαγνήσιο) μεγαλύτερη από 3:1. Τότε έχουμε ισχυρότατα προβλήματα διηθητικότητας από διασπορά της αργίλου και κλείσιμο των εδαφικών πόρων όπως ακριβώς συμβαίνει και με το νερό μικρής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη ικανής ποσότητας ασβεστίου η οποία δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη συσταμάτωση του εδάφους. Εξάλλου περίσσεια νατρίου έχει ως αποτέλεσμα και τον ελλειπή εφοδιασμό των καλλιεργειών σε νερό. Εκτός από τα προηγούμενα παρουσιάζονται και άλλα δευτερογενή προβλήματα όπως επιφανειακή κρούστα, παρεμπόδιση στην εμφάνιση των φυταρίων, πλημμελής αερισμός, ασθένειες των ριζών και έλεγχος ζιζανίων και εντόμων (κυρίως κουνουπιών).

Παλαιότερα χρησιμοποιήθηκαν αρκετές διαδικασίες για την πρόβλεψη των προβλημάτων των σχετικών με τη διηθητικότητα. Μία από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ήταν η μέθοδος του υπολειματικού ανθρακικού νατρίου (RSC). Αυτή όμως που χρησιμοποιήθηκε ευρύτερα, αλλά και χρησιμοποιείται ακόμη, είναι η μέθοδος του SAR με τη γνωστή εξίσωση:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}.$$

Τελευταία το SAR αναφέρεται και ως R_{Na}. Οι δύο όροι είναι ταυτόσημοι. Η διαδικασία πρόβλεψης της διηθητικότητας από το SAR λαμβάνει υπόψη την περιεκτικότητα του νατρίου σε σχέση με το άθροισμα ασβεστίου και μαγνησίου του νερού αρδεύσεως. Δεν λαμβάνει υπόψη τις μεταβολές στη διαλυτότητα του ασβεστίου που προκύπτουν από καθίζηση ή διαλυτοποίηση κατά τη διάρκεια ή μετά από μία άρδευση. Το νάτριο, που αποτελεί ένα κύριο στοιχείο της αλατότητας του εδάφους, παραμένει πάντοτε εν διαλύσει και σε ισορροπία με το εναλλακτικό νάτριο. Συμπύκνωση του διαλύματος λόγω προσρόφησης νερού από τα φυτά ή στραγγίση δεν επηρεάζουν τη διαλυτότητα του νατρίου. Το αισβέστιο ως γνωστό δεν παραμένει όλο στο διάλυμα που εφοδιάζει σταθερά το εδαφικό διάλυμα αλλά η συγκέντρωσή του μεταβάλλεται μέχρι να αποκατασταθεί μια ισορροπία. Οι μεταβολές (αυξομειώσεις στο εδαφικό διάλυμα) στο αισβέστιο προέρχονται από τη διαλυτοποίηση

ορυκτών του εδάφους ή την καθίζησή του υπό μορφή κυρίως ανθρακικού ασβεστίου. Η διαλυτοποίηση επιταχύνεται από το CO₂ που είναι διαλυμένο στο εδαφικό διάλυμα, ενώ καθίζησή του από την περίσεια του και την ύπαρξη ικανής ποσότητας ανθρακικών, όξινων ανθρακικών ή θειϊκών. Σχετικά γρήγορα μετά από άρδευση αρχίζουν διαλυτοποίησεις και καθίζησεις που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέας ισορροπίας. Η νέα αυτή ισορροπία μεταβάλει το καθεστώς του ασβεστίου και το διαφοροποιεί από αυτό του νερού αρδεύσεως. Η εξίσωση του SAR η οποία δεν είναι σε θέση να υπολογίσει τις μεταβολές αυτές δημιουργεί εκ των πραγμάτων κάποιο σφάλμα. Εντούτοις η εξίσωση του SAR παραμένει αποδεκτή για τα περισσότερα από τα νερά αρδεύσεως που χρησιμοποιούνται.

Άλλη εναλλακτική διαδικασία είναι αυτή που χρησιμοποιεί την εξίσωση SAR και δίνει διορθωμένες τιμές για το ασβέστιο για την αναμενόμενη ισορροπία που θα προκύψει στο έδαφος, και περιλαμβάνει την επίδραση του CO₂, των HCO₃⁻ και της αλατότητας του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) στο ασβέστιο του νερού αρδεύσεως το οποίο αποτελεί μέρος του ασβεστίου του εδαφικού διαλύματος. Η διαδικασία θεωρεί ως πηγή ασβεστίου από το έδαφος το ανθρακικό ασβέστιο ή άλλα ορυκτά όπως τα πυριτικά, και ότι δεν υφίσταται καθίζηση μαγνησίου. Η παραδοχή αυτή βεβαίως θα πρέπει να εξετάζεται με σκεπτικισμό στα μαγνησιούχα εδάφη στα οποία απαιτείται ιδιαίτερη έρευνα.

Ο όρος ονομάζεται διορθωμένο SAR και συμβολίζεται ως adjR_{Na}. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακριβέστερη πρόβλεψη των προβλημάτων που θα προκύψουν στη διηθητικότητα λόγω της ύπαρξης υψηλής συγκέντρωσης νατρίου (ή χαμηλής ασβεστίου) στο νερό αρδεύσεως. Η εξίσωση είναι:

$$\text{adj R}_{\text{Na}} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca}_x + \text{Mg}}{2}}} \quad (55)$$

όπου Na και Mg οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις σε me/l στο νερό αρδεύσεως και, Ca_x είναι η τροποποιημένη τιμή του από τον πίνακα 6 σε me/l που αντιπροσωπεύει το Ca του νερού αρδεύσεως τροποποιημένο λόγω της αλατότητας (EC_{va}), και του κλάσματος HCO₃/Ca (σε me/l) και τη μερική πίεση του CO₂ στα πρώτα χλιοστά του επιφανειακού εδάφους (P_{CO2} = 0,0007 atm).

Από τον πίνακα 6 βρίσκουμε το Ca_x ως εξής: Πρώτα υπολογίζουμε το κλάσμα HCO₃/Ca και την EC_{va}. Σε me/l και mS/cm αντίστοιχα. Στο αριστερό μέρος του πίνακα υπάρχουν τιμές για το κλάσμα και στην

αρχή του πίνακα οι τιμές για την αλατότητα. Η τιμή του Ca_x αντιπροσωπεύει τα me/l του Ca που αναμένεται να παραμείνουν στο εδαφικό διάλυμα σε κατάσταση ισορροπίας με τη στερεά φάση.

Το διορθωμένο SAR (adj R_{Na}) που υπολογίζεται χρησιμοποιείται αντί του SAR στον πίνακα 4 για ακριβέστερη εκτίμηση των προβλημάτων διηθητικότητας από τη χρήση νερού αρδεύσεως. Με τη χρήση υπολογιστού μπορεί να σχεδιασθεί ένα μαθηματικό ομοίωμα προσομοίωσης για τον υπολογισμό των διορθωμένων τιμών adj R_{Na}.

Παράδειγμα

Δίδονται τα στοιχεία ανάλυσης του νερού αρδεύσεως:

$$\begin{array}{ll} \text{Ca} = 2,32 \text{ me/l} & \text{CO}_3 = 0,42 \text{ me/l} \\ \text{Mg} = 1,44 \text{ me/l} & \text{HCO}_3 = 3,66 \text{ me/l} \\ \text{Na} = 7,73 \text{ me/l} & \text{Σύνολο } 4,08 \text{ me/l} \\ \text{Σύνολο } 11,49 \text{ me/l} & \end{array}$$

$$\text{EC}_{\text{va}} = 1,15 \text{ mS/cm}$$

Το SAR υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$\text{SAR} = \text{Na}/\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2} \quad \text{ή SAR} = 7,73/\sqrt{(2,32 + 1,44)/2} = 5,64$$

Το διορθωμένο SAR (adj R_{Na}) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\text{SAR} = \text{Na}/\sqrt{(\text{Ca}_x + \text{Mg})/2}$$

$$\text{EC}_{\text{va}} = 1,15 \text{ mS/cm}, \text{ HCO}_3 / \text{Ca} = 1,58$$

Από τον πίνακα 6 βρίσκουμε ότι $\text{Ca}_x = 1,43 \text{ me/l}$

$$\text{adj R}_{\text{Na}} = 7,73/\sqrt{(1,43 + 1,44)/2} = 6,45$$

2.2222 Πηγές ενισχύσεως του Ca του νερού αρδεύσεως

Προκειμένου να επιτύχουμε επιθυμητές τιμές στο adjR_{Na} μπορούμε να ενισχύσουμε την ποσότητα του ασβεστίου στο νερό αρδεύσεως με τη διάλυση ορισμένων πηγών (αλάτων) ασβεστίου. Η πιό κοινή εν χρήσει πηγή, ως πιο φθηνή, είναι η γύψος η οποία χρησιμοποιείται σε μικρές κυρίως ποσότητες επιφανειακά (500 Kg έως και 5 τόνους). Οι συνήθεις ποσότητες κυμαίνονται κοντά στα 500kg. Η γύψος εφαρμόζεται επιφανειακά και σε μικρές ποσότητες ή στις διώρυγες αρδεύσεως.

Πίνακας 6. Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca_e) που αναμένεται να παραμείνει στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους μετά από άρδευση με νερό συγκεκριμένου κλάσματος HCO_3/Ca και EC_{va} .

HCO_3/Ca	Αλατότητα του νερού άρδευσεως (EC_{va}) σε $\mu\text{s}/\text{cm}$											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,9	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,0	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,0	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
30,0	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαλυτότητα της όταν τοποθετείται στις διώρυγες είναι 1 έως 4 me/l λόγω της ταχύτητας του νερού. Μικρότερες ταχύτητες και λεπτό κλάσμα της γύψου (<250μ) μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη διαλυτότητά της.

Θα πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερως ότι δεν θα πρέπει να συγχέεται η χρησιμοποίηση γύψου για την ενίσχυση του ασβεστίου στο νερό αρδεύσεως προκειμένου να επιτύχουμε καλύτερη διηθητικότητα στο έδαφος με την περίπτωση χρησιμοποίησης γύψου για τη βελτίωση των νατριωμένων εδαφών. Στην περίπτωση των νατριωμένων εδαφών έχουμε την αντιμετώπιση του μεγάλου ποσοστού του εναλλακτικού νατρίου γιατό τόσο οι ποσότητες της γύψου είναι μεγαλύτερες αλλά και η εφαρμογή της γίνεται με διαφορετική λογική.

Εκτός από τη γύψο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες χημικές ενώσεις οι οποίες μπορούν να αποδώσουν Ca στο νερό αρδεύσεως. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο ως πρόσθετα στο νερό νερό αρδεύσεως για την ενίσχυση του Ca όσο και για τη βελτίωση των νατριωμένων εδαφών. Ο πίνακας 7 περιλαμβάνει τις περισσότερες από τις ενώσεις που παρέχουν Ca στο νερό αρδεύσεως και την αντίστοιχη ισοδύναμη ποσότητα τους ως προς τη γύψο.

Πίνακας 7. Πρόσθετα του νερού αρδεύσεως και του εδάφους και η σχετική αποτελεσματικότητα ως προς την παροχή Ca (Fireman και Branson, 1965).

Πρόσθετο	Τόνοι ισοδύναμοι ως προς 1 τόνο γύψου καθαρότητας 100%
Γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1,00
Θείο (S)	0,19
Θειϊκό οξύ (H_2SO_4)	0,61
Θειϊκός σίδηρος ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)	1,09
Χλωριούχο ασβέστιο ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0,8
Νιτρικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1,06
Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3)	0,86

Η γύψος, το θειϊκό οξύ, το χλωριούχο ασβέστιο και νιτρικό ασβέστιο χρησιμοποιούνται τόσο ως πρόσθετα του νερού αρδεύσεως όσο και ως πρόσθετα του εδάφους (εδαφοβελτιωτικά). Ο θειϊκός σίδηρος ως εδαφοβελτιωτικό και το ανθρακικό ασβέστιο μόνο στην περίπτωση των οξινών εδαφών. Η χρήση του θειϊκού οξέος πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή διότι είναι αφενός επικίνδυνο για τους χρήστες (ως

Πίνακας 8. Μέση σύνθεση και ισοδύναμη οξύπητρα ή αλκαλικότητα λιπασμάτων
 (Soil Improvement Committee, 1975).

Λίπασμα	Χημική σύνθεση	Διαλυτό στο νερό αρδεύσεως				
		Ολικό (N)	Φωσφόρος (P ₂ O ₅)	Κάλιο (K ₂ O)	Ασβέστιο (Ca)	Θειό (S)
		%				
Αζυτούχα						
Νιτρική αμμωνία	NH ₄ NO ₃	33,5-34				62
Νιτρικό-θειϊκό						
Αμμώνιο	NH ₄ NO ₃ · (NH ₄) ₂ SO ₄	30			6,5	68
Φωσφορικό μονο-						
αμμώνιο	NH ₄ H ₂ PO ₄	11	48			58
Φωσφορικό-θειϊκό						
αμμώνιο	NH ₄ H ₂ PO ₄ · (NH ₄) ₂ SO ₄	13	39		7	69
Φωσφορικό-θειϊκό						
αμμώνιο	NH ₄ H ₂ PO ₄ · (NH ₄) ₂ SO ₄	16	20		15	88
Φωσφορικό-νιτρικό						
αμμώνιο	NH ₄ H ₂ PO ₄ · NH ₄ NO ₃	27	12		4,5	75
Φωσφορικό διαμμώνιο	(NH ₄) ₂ HPO ₄	16-18	46-48			70
θειϊκό αμμώνιο	(NH ₄) ₂ SO ₄	21			24	110
Άνυδρη αμμωνία	NH ₃	82				147
Αμμωνία (ένυδρη)	NH ₄ OH	20				36
Ασβεστούχας νιτρική						
αμμωνία (διάλυμα)	Ca(NO ₃) ₂ · NH ₄ NO ₃	17		8,8		9
Νιτρικό ασβέστιο	Ca(NO ₃) ₂	15,5		21		20
Κυαναμίδη του						
ασβέστιου	CaCN ₂	20-22		37		63
Νιτρικό νάτριο	NaNO ₃	16				29
Ουρία	CO(NH ₂) ₂	45-46				71
Ουριασόριμη						
(ουριασι+φορμαλδευδη)		38				60
Ουριασι-νιτρική αμμωνία	NH ₄ NO ₃ · CO(NH ₂) ₂	32				57
Φωσφορικά						
Υπερφωσφορικό (απλό)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	18-20		18-21	12	ουδέτερο
Υπερφωσφορικό (τριπλό)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	45-46		12-14	1	ουδέτερο
Φωσφορικό οξύ	H ₃ PO ₄	52-54				110
Υπερφωσφορικό οξύ		76-83				160
Καλιούχα						
Χλωριούχο κάλιο	KCl		60-62			ουδέτερο
Νιτρικό κάλιο	KNO ₃	13	44			23
θειϊκό κάλιο	K ₂ SO ₄		50-53		18	ουδέτερο
θειϊκό-κάλιο-						
μαγνήσιο	K ₂ SO ₄ · 2MgSO ₄		26	1	15	ουδέτερο

Σημείωση: Το υπερφωσφορικό οξύ είναι μείγμα των H₃PO₄, H₄P₂O₇, H₅P₃O₁₀, H₆P₄O₁₃ και άλλων υψηλότερων μορφών.

οξύ ισχυρό) και αφετέρου ως ισχυρό διαβρωτικό για τις σωληνώσεις, τους εκτοξευτήρες καθώς και για διάφορα αρδευτικά συστήματα.

Ορισμένες φορές η χρήση λιπασμάτων ικανοποιεί τις ανάγκες πρόσθετης ποσότητας Ca και γιαυτό θα πρέπει να είναι γνωστή τόσο η σύνθεση όσο εφενός τα στοιχεία που απελευθερώνονται στο έδαφος και αφετέρου τα άλλα χαρακτηριστικά τους. Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα εν χρήσει λιπάσματα με τα χαρακτηριστικά τους.

2.223 Η τοξικότητα ορισμένων ιόντων

Ορισμένα ιόντα που ενδεχομένως υπάρχουν στο νερό αρδεύσεως είναι δυνατόν, σε ορισμένες συγκεντρώσεις, να επηρεάσουν τα ευαίσθητα σ' αυτά φυτά. Τέτοια ιόντα είναι το νάτριο (Na^+) το χλώριο (Cl^-) το βόριο και τα περισσότερα ιχνοστοιχεία. Οταν το νερό παρέχεται με τη μέθοδο του καταιωνισμού (οποιασδήποτε μορφής) τότε συγκέντρωση Na^+ ή Cl^- μεγαλύτερη από 3 me/l νερού άρδευσης μπορεί να δημιουργήσει σοβαρότατα προβλήματα στις καλλιέργειες. Οταν το νερό παρέχεται απευθείας στην επιφάνεια (κατάκλυση, στάγην, κ.λ.π.) τότε η συγκέντρωση του Na^+ και Cl^- θα πρέπει να υπερβεί τα 10 me/l νερού αρδεύσεως για να δημιουργηθούν προβλήματα. Αυτό συμβαίνει διότι ο καταιωνισμός, σε συνδυασμό με χαμηλή σχετική υγρασία στην ατμόσφαιρα, συντελεί στο να απορροφώνται απευθείας από τα φύλλα των ευαίσθητων φυτών το Na^+ και Cl^- . Το βόριο γενικά, σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 3 mg/l (ppm), επηρεάζει τις περισσότερες καλλιέργειες. Ορισμένες όμως φορές, ακόμη και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 3 ppm, η κατάσταση των φυτών παραμένει σε υγιή επίπεδα. Αυτό εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο σε CaCO_3 , καθώς και από το pH του.

2.224 Το ποσό του νιτρικού αζώτου (NO_3^- -N), των όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO_3^-), καθώς και το pH.

Τα ιόντα αυτά σε ορισμένες συγκεντρώσεις επηρεάζουν σοβαρά ($\text{NO}_3^- > 30 \text{ mg/l}$, $\text{HCO}_3^- > 8,5 \text{ mg/l}$) μερικά ευαίσθητα φυτά ή είναι δυνατόν να επηρεάσουν την κινητικότητα ορισμένων άλλων ιόντων. Τα όξινα ανθρακικά σε περίσσεια, κάτω από ορισμένες συνθήκες, δρούν θετικά στη δέσμευση του σιδήρου στο έδαφος που έχει ως συνέπεια τη χλώρωση ορισμένων καλλιεργειών. Το pH του νερού αρδεύσεως θα καθορίσει και το pH του εδαφικού διαλύματος. Τα όρια του pH του νερού αρδεύσεως θα πρέπει να κυμαίνονται από 6,5 έως 8,4. Πέρα

από τα όρια αυτά τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά παρουσιάζουν προβλήματα.

Πίνακας 9. Εργαστηριακοί προσδιορισμοί απαραίτητοι για την εκτίμιση αρδευτικού νερού (Ayres και Westcot, 1985).

Υδατική παράμετρος	Συμβολισμός	Μονάδες	Σύνθετης εύρος πικών νερού αρδεύσεως			
ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ						
<i>Ποσό αλάτων</i>						
Ηλεκτρ. αγωγιμότητα	ECva	mS/cm	0 - 3	mS/cm		
ή Ολικό ποσό αλάτων	TDS	mg/l	0 - 2000	mg/l		
<i>Κατιόντα και ανιόντα</i>						
Ασβέστιο	Ca ²⁺	me/l	0 - 20	me/l		
Μαγνήσιο	Mg ²⁺	me/l	0 - 5	me/l		
Νάτριο	Na ⁺	me/l	0 - 40	me/l		
Ανθρακικά	CO ²⁻	me/l	0 - 0,1	me/l		
Οξεία ανθρακικά	HCO ⁻³	me/l	0 - 10	me/l		
Χλωριούχα	Cl ⁻	me/l	0 - 30	me/l		
Θειϊκά	SO ²⁻ ₄	me/l	0 - 20	me/l		
ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ						
Νιτρικό άζωτο	NO ₃ -N	mg/l	0 - 10	mg/l		
Αμμωνιακό άζωτο	NH ₄ -N	mg/l	0 - 5	mg/l		
Φωσφορικά	PO ₄ -P	mg/l	0 - 2	mg/l		
Κάλιο	K ⁺	mg/l	0 - 2	mg/l		
ΆΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ						
Βόριο	B	mg/l	0 - 2	mg/l		
Οξύτητα/αλκαλικότητα	pH	1 - 14	6,0 - 8,5	mg/l		
Κλάσμα προσρόφησης νατρίου	SAR	(me/l) ^{0,5}	0 - 15			

Όλα τα προηγούμενα στοιχεία, σχετικά με τις ιδιότητες του νερού αρδεύσεως τις μεταβολές που θα προκύψουν στο έδαφος και τελικά

την επίπτωσή τους στα καλλιεργούμενα φυτά, αποτελούν πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορεί να συμπεριληφθεί η πλειονότητα των καλλιεργούμενων φυτών. Ασφαλώς πάντοτε θα πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη του τις κλιματικές συνθήκες και τις διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει τα δεδομένα να προσαρμόζονται στις τοπικές συνθήκες.

Σε ορισμένες επί πλέον περιπτώσεις, όταν υπάρχει υποψία μόλυνσης του νερού αρδεύσεως από βαριά μέταλλα ή άλλα τοξικά στοιχεία, θα πρέπει απαραίτητα να γίνονται και ειδικές αναλύσεις.

Οι απαραίτητες εργαστηριακές αναλύσεις που θα πρέπει να έχει πάντοτε κανείς υπόψη του προκειμένου να αξιολογήσει ένα νερό το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση περιλαμβάνουν :

- Την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, σε mS/cm),
- Το ολικό ποσό των αλάτων (σε mg/l),
- Το pH,
- Τα κατιόντα και τα ανιόντα, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} (σε me/l),
- Τα θρεπτικά στοιχεία, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, K^+ (σε mg/l), και επιπλέον το B (σε mg/l).

Στόν πίνακα 9 υπάρχουν οι απαραίτητες εργαστηριακές αναλύσεις καθώς και το εύρος των κανονικών τιμών του νερού άρδευσης.

2.23 ΠΟΙΕΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΟΔΗΓΟΥΝ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΑΛΑΤΩΣΗ

Για να οδηγηθεί ένα έδαφος σε αλάτωση πρέπει να υπάρχουν δύο προϋποθέσεις. Πρώτη προϋπόθεση είναι να υπάρχει στο νερό αρδεύσεως ένα ποσό αλάτων και δεύτερη τα άλατα αυτά να παραμένουν στο έδαφος, είτε λόγω ανεπαρκούς ποσότητας νερού αρδεύσεως είτε λόγω κακής στραγγίσεως. Ανεπαρκής ποσότητα νερού αρδεύσεως και κακή στράγγιση του εδάφους οδηγούν σε απομάκρυνση μειωμένης μόνο ποσότητας νερού από το έδαφος, με συνέπεια την συνεχή αλάτωσή του.

Αν λάβει κανείς υπόψη το ύψος των βροχοπτώσεων μιας περιοχής καθώς και την εξατμισοδιαπνοή, τότε στην κατάσταση ισορροπίας θα ισχύει η σχέση :

$$\text{D}_{\text{va}} + \text{D}_{\text{v}\beta} = \text{D}_{\text{v}\sigma} + \text{D}_{\text{ve}} \quad (56)$$

όπου D_{va} = η ποσότητα του νερού αρδεύσεως,

D_{vb} = το επήσιο ύψος βροχής,

D_{vs} = η ποσότητα του νερού στραγγίσεως

και D_{ve} = η ποσότητα του νερού που απομακρύνεται με την εξατμισοδιαπνοή.

Όλες οι ποσότητες εκφράζονται σε ύψος νερού (cm).

Για να προστεθούν άλατα στο έδαφος με το νερό αρδεύσεως πρέπει να ισχύει η εξής ανισότητα :

$$D_{va} \cdot EC_{va} > D_{vs} \cdot EC_{vs}$$

όπου EC_{va} και EC_{vs} = η ηλεκτρική αγωγιμότητα αντίστοιχα του νερού αρδεύσεως και στραγγίσεως σε mS/cm.

Γενικά, η επήσια μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νερό κορεσμού του εδάφους εκφράζει και την ταχύτητα αλατώσεως του εδάφους αυτού,

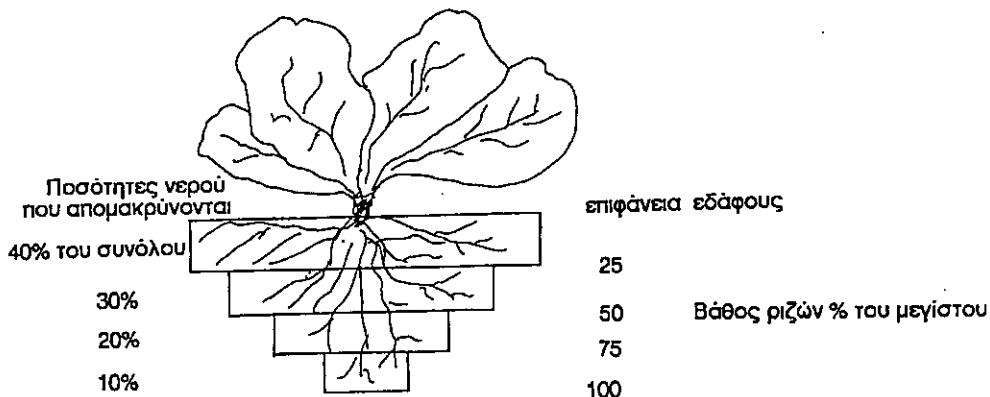
$$\Delta EC_e = \frac{(D_{va} \cdot EC_{va} - D_{vs} \cdot EC_{vs})}{D_e \cdot SP \cdot \rho / 100} \quad (57)$$

όπου D_e = το βάθος του εδάφους σε cm,

SP = ο βαθμός κορεσμού του εδάφους σε $cm^3/100g$,

και ρ = το φανόμενο ειδικό βάρος του εδάφους σε g/cm^3

Από την εξίσωση (57) προκύπτει ότι όσο λιγότερο είναι το νερό



Εικόνα 1. Απομάκρυνση ποσοτήτων νερού από τα διάφορα βάθη του εδάφους με το ριζικό σύστημα των φυτών.

στραγγίσεως (D_{νσ}) τόσο μεγαλύτερο ποσό αλάτων προστίθεται στο έδαφος.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού στραγγίσεως (EC_{νσ}) δεν αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος στο σημείο της υδατοικανότητάς του. Αυτό συμβαίνει διότι το είδος της αρδεύσεως, η κατανομή των αλάτων στην κατατομή του εδάφους, αλλά, και το διαφορετικό ποσοστό υγρασίας που παίρνει το φυτό από διάφορα βάθη του ριζικού συστήματος, αποτελούν παράγοντες οι οποίοι διαφοροποιούν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού στραγγίσεως και του εδαφικού διαλύματος στην κατάσταση της υδατοικανότητάς του.

Το φυτό με το ριζικό του σύστημα απομακρύνει από το έδαφος μεγαλύτερες ποσότητες νερού από το τμήμα του εδάφους το οποίο βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια και μικρότερες από το βάθος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.

2.24 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΣΤΕΡΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Τα άλατα που προστίθενται στο έδαφος με το νερό αρδεύσεως μειώνουν την απόδοση των φυτών όταν στο βάθος των ριζών η συγκέντρωσή τους φθάσει ορισμένα όρια. Το φυτό αφαιρεί από το έδαφος την ποσότητα εκείνη του νερού που του είναι απαραίτητη για την κάλυψη των αναγκών της εξαπλωσιδιάπνοής (ET) και με τον τρόπο αυτό εμπλουτίζει το έδαφος σε άλατα. Σε κάθε άρδευση προστίθενται άλατα τα οποία θα πρέπει να απομακρύνονται από το ριζόστρωμα πρωτού καταστεί κριτική για το φυτό η συγκέντρωσή τους. Η στράγιση επιτεύχνεται με την εφαρμογή ικανής ποσότητας νερού ώστε να επιτυγχάνεται η μερική απομάκρυνση των αλάτων. Το κλάσμα του αρδευτικού νερού το οποίο διηθείται από το έδαφος και απομακρύνεται κάτω από το ριζόστρωμα καλείται κλάσμα στράγγισης-Leaching Fraction (LF).

Κλάσμα στράγγισης

$$(LF) = \frac{\text{ποσότητα νερού που στραγγίζει κάτω από το βάθος των ριζών}}{\text{ποσότητα νερού που εφαρμόζεται στην επιφάνεια}}$$

Με τις συνεχείς αρδεύσεις τα άλατα που αποτίθενται στο έδαφος φθάνουν σε ένα επίπεδο το οποίο είναι συνάρτηση του νερού αρδεύσεως και του κλάσματος στράγγισης. Μεγάλη τιμή του κλάσματος (LF=0,5) έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη απόθεση αλάτων απότι μια

μικρή τιμή του. Εάν είναι γνωστή η αλατότητα του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) και η τιμή του κλάσματος στράγγισης ή είναι δυνατόν να υπολογισθούν, τότε μπορούν να υπολογισθούν τόσο η αλατότητα του νερού που απομακρύνεται κάτω από το ριζόστρωμα όσο και η μέση αλατότητα του ριζοστρώματος. Η αλατότητα του νερού στραγγίσεως μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση,

$$EC_{vs} = \frac{EC_{va}}{LF} \quad (58)$$

όπου, EC_{vs} , η αλατότητα του νερού που στραγγίζει κάτω από το ριζόστρωμα (είναι κατά προσέγγιση ίση με την αλατότητα του εδαφικού νερού). EC_{va} , η αλατότητα του νερού αρδεύσεως. LF , το κλάσμα στραγγίσεως.

2.241 Παράδειγμα 1.

Μια καλλιέργεια αρδεύεται με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_{va}) 1 mS/cm. Το κλάσμα αρδεύσεως είναι 0,15 που σημαίνει ότι το 85% του νερού αρδεύσεως καταναλώνεται από την καλλιέργεια ή εξαπιζεται από την επιφάνεια του εδάφους. Η συγκέντρωση του νερού στραγγίσεως ισούται κατά προσέγγιση με τη συγκέντρωση του εδαφικού νερού. Η αλατότητα του νερού στραγγίσεως μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση (58),

$$EC_{vs} = EC_{ev} = \frac{EC_{va}}{LF} \quad (58)$$

$$EC_{vs} = 1/0,15 = 6,7 \text{ mS/cm}$$

Η αλατότητα του εδαφικού νερού που διηθείται κάτω από το ριζόστρωμα είναι κατά προσέγγιση 6,7 mS/cm.

Στο προηγούμενο παράδειγμα υπολογίστηκε η αλατότητα του νερού στραγγίσεως ή κατά προσέγγιση του εδαφικού νερού στο βάθος της στράγγισης. Το φυτό εκτίθεται στην αλατότητα αυτή μόνο με το κατώτερο τμήμα των ριζών που είναι μεγαλύτερη από αυτή στο ανώτερο τμήμα. Το φυτό όμως αντιδρά σε μια μέση αλατότητα στην περιοχή του ριζοστρώματος και όχι στην αλατότητα ενός τμήματος του ριζοστρώματος.

Η εξίσωση (58) μπορεί να προσδιορίσει την αλατότητα στο εδαφικό διάλυμα με ορισμένους περιορισμούς που αφορούν την κατανά-

λωση νερού από τα διάφορα βάθη των ριζών του. Το 40, 30, 20 και 10% του νερού που πάρνει το φυτό από το έδαφος προέρχεται από το ανώτερο προς το κατώτερο τμήμα του ριζοστρώματος αντίστοιχα και το μοντέλο αυτό βρέθηκε ότι ισχύει στην πράξη κάτω από κανονικές συνθήκες αρδεύσεως.

2.242 Παράδειγμα 2. Προσδιορισμός της μέσης αλατότητας στη περιοχή των ριζών.

Η μέση αλατότητα στην περιοχή των ριζών μπορεί να υπολογισθεί ως μέσος όρος πέντε σημείων του βάθους ριζοστρώματος.

Δίδονται:

1. Η αλατότητα του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) = 1 mS/cm.
2. Η ποσότητα νερού που απαιτείται για μια καλλιέργεια για την καλλιεργητική περίοδο (ET) = 1000 mm.
3. Το μοντέλο νερού για τις καλλιέργεις είναι 40-30-20-10, που σημαίνει ότι η καλλιέργεια θα πάρει το 40% του ET από το πρώτο τέταρτο του ριζοστρώματος, το 30% από το δεύτερο τέταρτο κ.ο.κ. Οι ποσότητες του νερού που απομακρύνονται από το έδαφος θα αυξήσουν τη συγκέντρωση του νερού (EC_{ve}) το οποίο διηθείται προς τα επόμενα τέταρτα του ριζοστρώματος.
4. Το επιθυμητό κλάσμα στράγγισης (LF) είναι 0,15, το οποίο σημαίνει ότι το 15% του νερού αρδεύσεως στραγγίζει από το έδαφος και το 85% αντικαθιστά το νερό το οποίο καταναλώνεται από το φυτό για την κάλυψη των αναγκών του και από την εξάτμιση δια της επιφανείας (ET).

Υποθέσεις - Υπολογισμοί.

1. Προκειμένου να προσδιορισθεί η μέση αλατότητα του ριζοστρώματος χρησιμοποιείται η αλατότητα του εδαφικού νερού σε πέντε σημεία: 1) Στην επιφάνεια του εδάφους (EC_{ve0}), 2) Στο όριο του πρώτου τετάρτου του ριζοστρώματος (EC_{ve1}), 3) Στο όριο του δεύτερου τετάρτου (EC_{ve2}), 4) Στο όριο του τρίτου τετάρτου (EC_{ve3}), και 5) Στο όριο τελευταίου τετάρτου δηλαδή του νερού που ουσιαστικά εγκαταλείπει το ριζόστρωμα (EC_{ve4}) και που ισοδυναμεί με την αλατότητα του νερού στραγγίσεως (EC_{vo}).
2. Με κλάσμα νερού στράγγισης LF ίσο με 0,15 το νερό D που απαιτείται για να καλύψει τόσο τη εξατμισοδιαπνοή ET όσο και το LF δίνεται από την εξίσωση:

$$D = ET/(1-LF) = 1176 \text{ mm}$$

3. Η αλατότητα του νερού στην επιφάνεια του εδάφους (EC_{ve0}) είναι σχεδόν (ίδια με την αλατότητα του νερού αρδεύσεως διότι όλο το νερό εισέρχεται από την επιφάνεια του εδάφους και διηθείται μεταφέροντας σε διάλυση τα άλατα που τυχόν είχαν συγκεντρωθεί. Από την εξίσωση (3) και με $LF_0 = 1,0$ έχουμε:

$$EC_{ve0} = EC_{va0} = EC_{va}/LF_0 = 1/1 = 1 \text{ mS/cm}$$

4. Η αλατότητα του νερού στο όριο κάθε τετάρτου του ριζοστρώματος βρίσκεται από τον υπολογισμό του κλάσματος στράγγισης του αντίστοιχου τετάρτου του ριζοστρώματος. Χρησιμοποιούνται δηλαδή οι εξισώσεις.

$$LF = D_{va}/D_{va} \quad EC_{ve} = EC_{va}/LF$$

Στο όριο του πρώτου τετάρτου:

$$LF_1 = \frac{1176 - 0,40(1000)}{1176} = 0,66 \quad EC_{ve1} = EC_{va}/LF_1 = 1,5 \text{ mS/cm}$$

Στο όριο του δεύτερου τετάρτου:

$$LF_2 = \frac{1176 - 0,40(1000) - 0,30(1000)}{1176} = 0,40$$

$$EC_{ve2} = EC_{va}/LF_2 = 1/0,40 = 2,5 \text{ mS/cm}$$

Στο όριο του τρίτου τετάρτου:

$$LF_3 = \frac{1176 - 0,40(1000) - 0,30(1000) - 0,20(1000)}{1176} = 0,23$$

$$EC_{ve3} = EC_{va}/LF_3 = 1/0,23 = 4,3 \text{ mS/cm}$$

Στο όριο του βάθους των ριζών:

$$LF_4 = \frac{1176 - 0,40(1000) - 0,30(1000) - 0,20(1000) - 0,10(1000)}{1176} = 0,15$$

$$EC_{ve4} = EC_{va}/LF_4 = 1/0,15 = 6,7 \text{ mS/cm}$$

5. Η μέση αλατότητα του εδάφους στην περιοχή του ριζοστρώματος βρίσκεται από το μέσο όρο των 5 τιμών αλατότητας:

$$EC_{ev} = \frac{EC_{ev0} + EC_{ev1} + EC_{ev2} + EC_{ev3} + EC_{ev4}}{5}$$

$$EC_{ev} = \frac{1,0 + 1,5 + 2,5 + 4,3 + 6,7}{5} = 3,2 \text{ mS/cm}$$

6. Οι προηγούμενοι υπολογισμοί δείχνουν ότι η αλατότητα του νερού που απομακρύνεται με στράγγιση από το έδαφος είναι 3,2 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αρδευτικού νερού.

Το παράδειγμα 2. δείχνει ότι με κλάσμα στράγγισης $LF=0,15$ και σχήμα κατανάλωσης ύδατος 40-30-20-10, η μέση αλατότητα του εδαφικού νερού (EC_{ev}) είναι 3,2 φορές μεγαλύτερη από ότι το νερό με το οποίο αρδεύτηκε το έδαφος. Με κλάσμα στράγγισης 0,20 η αλατότητα του εδαφικού νερού είναι 2,7 φορές μεγαλύτερη. Στους περιορισμούς του πίνακα 4 έχει ληφθεί ως κλάσμα στράγγισης $LF = 0,15-0,20$ που σημαίνει ότι η αλατότητα του εδαφικού νερού είναι περίπου τρείς φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αρδευτικού νερού. Η αλατότητα του εδαφικού νερού που είναι ο μέσος όρος της αλατότητας του ριζοστρώματος είναι ένα μέγεθος που πολύ δύσκολα μπορεί να μετρηθεί. Η αλατότητα του εδάφους στην πράξη μετριέται στο νερό κορεσμού του εδάφους (πάστα) και αναφέρεται ως εδαφική αλατότητα (EC_e). Η αλατότητα αυτή είναι κατά προσέγγιση ίση με το μισό της αλατότητας του εδαφικού νερού. Γενικά με $LF=0,15-0,20$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αλατότητα του αρδευτικού νερού για να προσδιοριστεί ή να υπολογιστεί η αλατότητα του εδαφικού νερού (EC_{ev}) ή η εδαφική αλατότητα (EC_e) ως εξής:

$$EC_{ev} = 3 EC_{va}$$

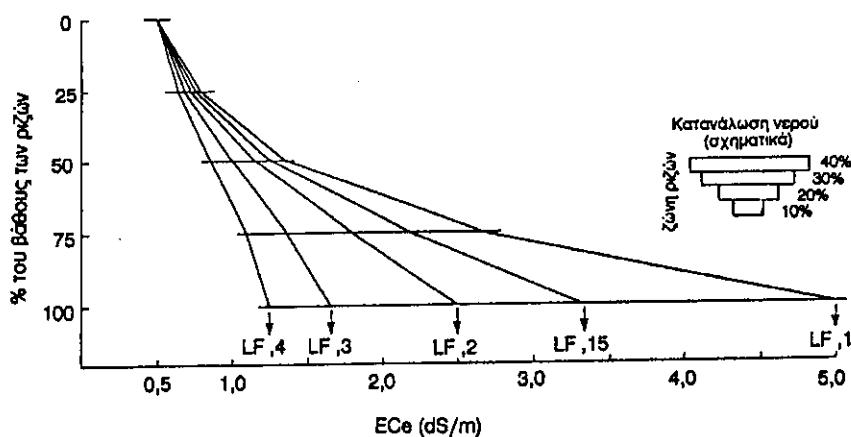
$$EC_e = 1,5 EC_{va}$$

$$EC_{ev} = 2 EC_e$$

Στην περίπτωση που το κλάσμα άρδευσης LF είναι εκτός των τιμών 0,15-0,20, χρησιμοποιείται ένας περισσότερο ακριβής συντελεστής συμπύκνωσης με τη χρήση ενός νέου υπολογισμένου παράγοντα στράγγισης (LF) και τους υπόλογισμούς του παραδείγματος 2. Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται οι συντελεστές συμπύκνωσης για ένα ευρύ φάσμα κλασμάτων στράγγισης ($LF=0,05-0,80$). Η προβλεπόμενη μέση εδαφική αλατότητα (EC_e) υπολογίζεται αν πολλαπλασιάστει η αλατότη-

Πίνακας 10. Συντελεστές συμπύκνωσης (X) γιά την πρόβλεψη της εδαφικής αλατότητας (EC_e) από την αλατότητα του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) και τα κλάσμα στραγγίσεως (LF) (Ayres και Westcot, 1985).

Κλάσμα Στραγγίσης (LF)	Απαιτούμενη ποσότητα νερού (% της ET)	Παράγοντας συμπύκνωσης (X)
0,05	105,3	3,2
0,10	111,1	2,1
0,15	117,6	1,6
0,20	125,0	1,3
0,25	133,3	1,2
0,30	142,9	1,0
0,40	166,7	0,9
0,50	200,0	0,8
0,60	250,0	0,7
0,70	333,3	0,6
0,80	500,0	0,6



Σχήμα 10. Κατανομή της αλατότητας όπως αναμένεται να διαμορφωθεί μετά από μακροχρόνια χρήση νερού αρδεύσεως $EC_{va} = 1,0 \text{ mS/cm}$ με διαφορετικά κλάσματα στράγγισης (LF) (Ayres και Westcot, 1985).

τα του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) επί τον κατάλληλο συντελεστή συμπύκνωσης και για την αντίστοιχη τιμή του LF. Οι προβλεπόμενες αυτές τιμές της εδαφικής αλατότητας ισχύουν για παρατεταμένη χρήση του νερού αρδεύσεως και όχι για αλλαγές που είναι δυνατόν να προέλθουν σε μικρά χρονικά διαστήματα όπως π.χ. σε μία καλλιεργητική περίοδο ή μεταξύ δύο αρδεύσεων. Στο σχήμα 10 παρουσιάζονται τυπικές εδαφοκατατομές με την κατανομή της αλατότητας στη ζώνη των ριζών μετά από μακροχρόνια άρδευση με το ίδιο νερό και με ίδιο LF.

Η προβλεπόμενη αλατότητα μετά από χρήση για αρκετά χρόνια ενός νερού αρδεύσεως (EC_{va}), δίδεται από τη σχέση:

$$EC_e \text{ (mS/cm)} = EC_{va} \text{ mS/cm) } \times$$

2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΑ ΦΥΤΑ

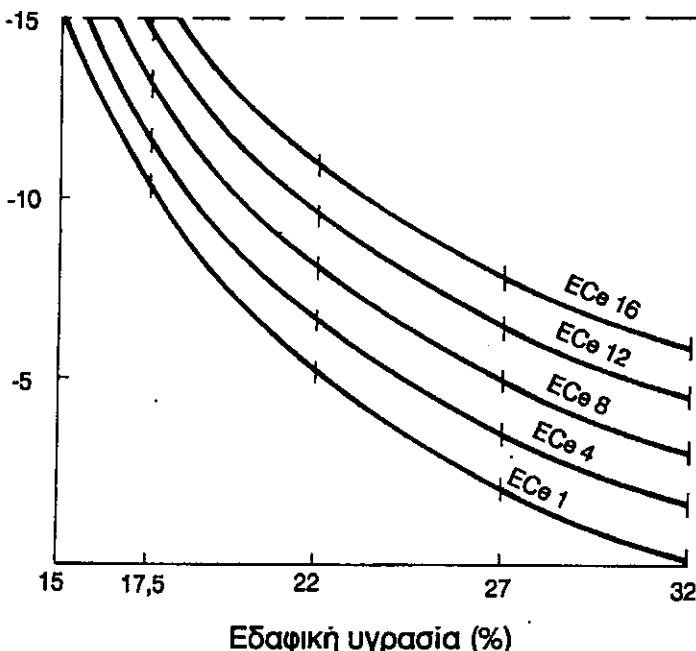
Ηδη έχουν αναφερθεί οι τρόποι με τους οποίους τα εδάφη καθίστανται αλατούχα. Οι διεργασίες οι οποίες οδηγούν τα εδάφη σε αλάτωση θα πρέπει να αποτελούν έναν οδηγό πρόληψης του σοβαρού αυτού κινδύνου ο οποίος απειλεί τα εδάφη λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης επέκτασης των αρδευομένων εκτάσεων. Αυτό ασφαλώς δεν σημαίνει ότι οι αρδευόμενες εκτάσεις θα πρέπει να περιοριστούν. Απεναντίας, θα πρέπει να αυξηθούν με την προυπόθεση όμως ότι θα λαμβάνονται όλα εκείνα τα απαραίτητα μέτρα τα οποία μπορούν να αποτρέψουν τον κίνδυνο.

Σκοπός μιας άρδευσης είναι να εφοδιάζει τις καλλιέργειες με τις απαραίτητες ποσότητες νερού στην κατάλληλη περίοδο, ώστε να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη υδατική καταπόνηση η οποία θα επιφέρει μείωση της παραγωγής. Και αυτό, διότι τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην έλλειψη νερού σε ορισμένα στάδια αναπτύξεως τους. Όμως, με τις συνεχείς αρδεύσεις τα άλατα του νερού αρδεύσεως παραμένουν σε ένα ποσοστό στο έδαφος μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την διαθέσιμη ποσότητα νερού για το φυτό. Η κατανόηση του μηχανισμού αυτού μπορεί να βοηθήσει στο να μπορούμε να αντιστρέψουμε το γεγονός αυτό και να μειώσουμε έτσι την πιθανότητα μείωσης της παραγωγής.

Τα φυτά αντλούν το νερό από το έδαφος με απόρροφητική δύναμη μεγαλύτερη από αυτή με την οποία συγκρατείται το νερό από το έδαφος. Εάν το φυτό δεν είναι σε θέση να ρυθμίσει τις λειτουργίες του (τους μηχανισμούς του) έτσι ώστε να εξασφαλίσει την ισχύ αυτή,

δεν είναι σε θέση να αντλήσει αρκετή ποσότητα νερού για τις ανάγκες του και ασφαλώς υποφέρει από υδατική καταπόνηση. Αυτό συμβιβίνει όταν το έδαφος ξηραίνεται. Τα άλατα στο εδαφικό διάλυμα αυξάνουν τη δύναμη που απαιτείται από τα φυτά για την άντληση νερού από το έδαφος και η δύναμη αυτή αναφέρεται ως **οσμωτικό φαινόμενο** ή **οσμωτικό δυναμικό**. Αν για παράδειγμα δύο κατά τα άλλα όμοια εδάφη έχουν την ίδια περιεκτικότητα σε νερό αλλά το ένα είναι αλατούχο ενώ το άλλο όχι, τότε τα φυτά είναι σε θέση να αντλήσουν περισσότερο νερό από το μή αλατούχο έδαφος. Αυτό διότι υπάρχει συγγένεια μεταξύ νερού και αλάτων. Εάν το νερό περιέχει άλατα τότε απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου νερού προκειμένου το φυτό να αντλήσει νερό απαλαγμένο αλάτων από ένα αλατούχο εδαφικό διάλυμα.

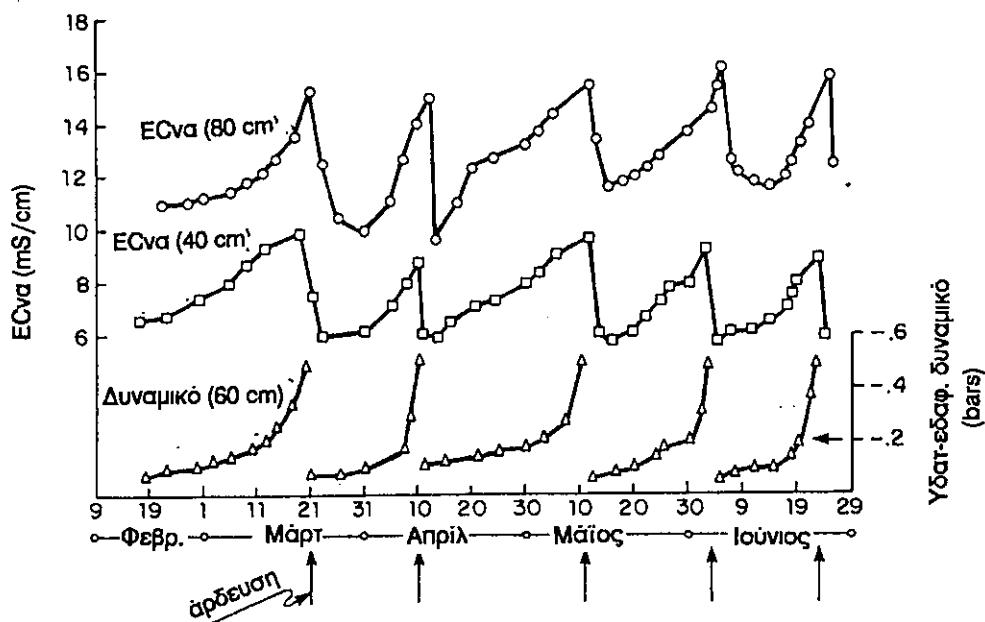
Η απαιτούμενη ενέργεια που απαιτείται για την άντληση νερού από αλατούχο έδαφος (οσμωτικό δυναμικό) προστίθεται στην ενέργεια που απαιτείται για τη άντληση νερού από μή αλατούχο έδαφος (εδαφο-υδατικό δυναμικό). Η προσθετική επίδραση φαίνεται στο σχήμα 11



Σχήμα 11. Καμπύλες συγκράτησης εδαφικής υγρασίας σε ένα αργιλοπηλώδες έδαφος με κυμαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ayres και Westcot, 1985).

και έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση στο διαθέσιμο νερό για τα φυτά καθώς η αλατότητα αυξάνεται. Η επίδραση της αλατότητας είναι παρόμοια με αυτήν της έλλειψης νερού καθώς και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται συμπτώματα υδατικής καταπόνησης και μείωση της ανάπτυξης των φυτών. Γενικός μαρασμός, έντονη επίδραση στα φύλλα, νεκρώσεις ιστών ή άλλη εμφανής βλάβη παρατηρείται μόνον μετά από παρατεταμένη έκθεση σε σχετικά υψηλή αλατότητα.

Στα προηγούμενα σχολιάστηκε πώς η συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος μεταβάλλεται με το κλάσμα στράγγισης (LF) και το βάθος του ριζοστρώματος και πώς αυξάνει η συγκέντρωση με τη μείωση του κλάσματος στράγγισης και αυξάνει με το βάθος στην περιοχή του ριζοστρώματος. Με την πρόοδο της ξήρανσης του εδάφους το φυτό εκτίθεται σε μία συνεχώς μεταβαλόμενη διαθεσιμότητα νερού σε κάθε τμήμα του ριζοστρώματος, διότι τόσο η ποσότητα του εδαφικού νερού (εδαφο-υδατικό δυναμικό) όσο και η αλατότητα του εδαφικού νερού (οσμωτικό δυναμικό) μεταβάλλονται από την κατανάλωση νερού από το



Σχήμα 12. Μεταβολή της αλατότητας του εδαφικού διαλύματος μεταξύ αρδεύσεων της μηδικής που οφείλεται στην κατανάλωση νερού από την εξατμισοδιαπνοή (ET) (Rhoades, 1972).

φυτό μεταξύ δύο αρδεύσεων. Το φυτό αντλεί νερό από το έδαφος και συγχρόνως αφήνει το πλείστο των αλάτων στο ριζόστρωμα σε έναν όγκο νερού ο οποίος συνεχώς μειώνεται. Κατά συνέπεια η συγκέντρωση των αλάτων στον όγκο αυτό του νερού συνεχώς αυξάνει. Το σχήμα 12 δείχνει ότι μετά από άρδευση η αλατότητα δεν είναι σταθερή με το βάθος. Αμέσως μετά από κάθε άρδευση, η περιεκτικότητα του εδαφικού νερού σε κάθε τμήμα του ριζοστρώματος βρίσκεται κοντά στο μέγιστο και η συγκέντρωση των αλάτων στο ελάχιστο. Κάθε ένα όμως από τα προηγούμενα μεταβάλλεται καθώς το φυτό αντλεί νερό από το έδαφος στο διάστημα μεταξύ δύο αρδεύσεων.

Το φυτό ασκεί την αντλητική του δύναμη σε όλη την περιοχή του ριζοστρώματος και αντλεί νερό από όπου αυτό είναι περισσότερο διαθέσιμο (παρουσιάζει τη μικρότερη αντίσταση στην άντληση). Συνήθως αυτό είναι το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος, η περιοχή δηλαδή η οποία συχνότερα υποβάλλεται σε έκπλυση τόσο από το νερό αρδεύσεως όσο και από το νερό της βροχής. Στο τμήμα δηλαδή αυτό του ριζοστρώματος η οσμωτική επίδραση είναι μικρότερη από ότι στα βαθύτερα στρώματα. Στο διάστημα όμως μεταξύ δύο αρδεύσεων το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος ξηραίνεται ταχύτερα από τα κατώτερο λόγω της μεγαλύτερης ανάπτυξης των ριζών (και κατά συνέπεια λόγω της μεγαλύτερης άντλησης νερού) από το τμήμα εκείνο του εδάφους στο οποίο το φυτό μπορεί να αντλήσει την άμεσα διαθέσιμη εδαφική υγρασία. Επειδή όμως η διαθέσιμη για το φυτό εδαφική υγρασία του ανωτέρου τμήματος του ριζοστρώματος συνήθως δεν επαρκεί για τις ανάγκες του φυτού, το φυτό αναζητά νερό από τα κατώτερα τμήματα του ριζοστρώματος. Στην περίπτωση όμως αυτή τόσο τα κατώτερα όσο και τα ανώτερα τμήματα του ριζοστρώματος παρουσιάζουν υψηλή αλατότητα και κατά συνέπεια υψηλό οσμωτικό δυναμικό. Με την πρόοδο της άντλησης νερού από το φυτό δημιουργείται ένα συγκεκριμένο προφίλ άντλησης. Το προφίλ που ελήφθη υπόψη για τη δημιουργία του πίνακα 4 είναι αυτό που ισχύει κάτω από κανονικές συνθήκες αρδευσης.

Το προφίλ άντλησης νερού σε ένα έδαφος είναι συνάρτηση της συχνότητας αρδεύσεων. Με αρδεύσεις κατά αραιά διαστήματα ισχύει το σχήμα 40-30-20-10, ενώ για συχνές αρδεύσεις επειδή το φυτό μπορεί και αντλεί μεγαλύτερες ποσότητες νερού από το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος το βάθος του ριζοστρώματος είναι μικρότερο. Οι ρίζες δηλαδή των φυτών εκτείνονται σε μικρότερο βάθος. Στην περίπτωση αυτή το σχήμα άντλησης θα είναι 60-30-7-3. Ανεξάρτητα από τη συχνότητα, οι αρδεύσεις θα πρέπει να προγραμματισθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να εφοδιάζουν στο φυτό την αναγκαιότα την αναγκαιότα νερού

και να αποτρέπουν κάποια υδατική καταπόνηση μεταξύ των αρδεύσεων, ιδιαίτερα εάν η εδαφική αλατότητα επηρεάζει και την διαθεσιμότητα του νερού.

Όταν το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος εφοδιάζεται επαρκώς με νερό, τότε η αλατότητα του κατώτερου καθίσταται λιγότερο σημαντική. Όμως, εάν η περίοδος μεταξύ των αρδεύσεων είναι μεγάλη και το φυτό είναι αναγκασμένο να αντλεί τις επι πλέον ποσότητες που του χρειάζονται από το κατώτερο τμήμα, τότε η αλατότητα του κατώτερου τμήματος καθίσταται σημαντική, ιδιαίτερα εάν οι ανάγκες του φυτού σε νερό είναι μεγάλες λόγω κάποιας ξηρής μέρας με δυνατό αέρα. Στην περίπτωση αυτή η άντληση και η κίνηση του νερού προς τις ρίζες είναι βραδεία, το φυτό δεν μπορεί να εφοδιαστεί με αρκετή υγρασία και παρουσιάζονται καταστάσεις υδατικής καταπόνησης. Μειωμένη απόδοση ή βλάβες στο φυτό υπάρχουν όταν η έλλειψη του νερού είναι παρατεταμένη.

Στην προηγούμενη ανάλυση ελήφθη ως περιορισμός ότι η αλατότητα μειώνει την διαθεσιμότητα του νερού καθ' όμοιο τρόπο για όλα τα είδη των φυτών. Όμως όλα τα είδη των φυτών δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά στην αλατότητα του εδάφους. Μερικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα στην άντληση νερού από αλατούχα εδάφη και κατά συνέπεια είναι περισσότερο ανθεκτικά στην αλατότητα. Τα αίτια για τη διαφοροποίηση αυτή δεν είναι πλήρως γνωστά, τα στοιχεία ανθεκτικότητας των φυτών όμως δείχνουν ότι υπάρχει μια 8-πλάσια έως 10-πλάσια διαφοροποίηση της αντοχής στα άλατα των καλλιεργούμενων φυτών. Σε περιοχές όπου με τη στράγγιση δεν είναι δυνατόν να ελεγχθεί η αλατότητα μέσα στα πλαίσια της αντοχής του συγκεκριμένου φυτού που καλλιεργείται, οπωσδήποτε θα υπάρξει μείωση της παραγωγής, εκτός εάν προτιμηθεί άλλη καλλιέργεια περισσότερο ανθεκτική στα άλατα. Λεπτομερής ανάλυση της αντοχής των φυτών στην αλατότητα θα εκτεθεί στη συνέχεια.

2.4 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΟΦΕΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Η αντιμετώπιση της αλατότητας του εδάφους σχετίζεται με ικανοποιητική απόδοση της καλλιέργειας που εξετάζεται κάθε φορά. Υπάρχουν ορισμένοι τρόποι για την αντιμετώπιση της αλατότητας οι οποίοι θα εξετασθούν στη συνέχεια. Όμως, θα πρέπει να τονισθεί ότι στην πράξη θα πρέπει να γίνουν συνδυασμοί προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα της αλατότητας.

Στα προηγούμενα αναλύθηκε η σπουδαιότητα τόσο της απομάκρυνσης με στράγγιση των αλάτων κάτω από τη ζώνη των ριζών πριν αυτά δημιουργήσουν πρόβλημα στο φυτό, όσο και της διατήρησης ικανής διαθέσιμης για το φυτό υγρασίας καθόλο το διάστημα της καλλιεργητικής περιόδου. Ικανοποιητική στράγγιση του εδάφους είναι εξίσου σημαντική και χωρίς αυτή δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί μακροχρόνιος έλεγχος της αλατότητας. Εάν η διηθητικότητα είναι ικανοποιητική τότε το νερό που απαιτείται για τη στράγγιση των αλάτων εξαρτάται από την ανθεκτικότητα της εκάστοτε καλλιέργειας στα άλατα και από την περιεκτικότητα σε άλατα του νερού αρδεύσεως. Όταν η αλατότητα είναι μεγάλη, η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την απομάκρυνση των αλάτων μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Πολλές φορές το γεγονός αυτό υποχρεώνει την αλλαγή της καλλιέργειας με άλλη περισσότερο ανθεκτική, εάν βέβαια η οικονομία της αγοράς το επιτρέπει και μόνο όταν όλες οι άλλες ενέργειες οι σχετικές με την ελλάτωση της αλατότητας έχουν αποτύχει. Η καλή στράγγιση πάντως ακόμη και στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης καλής ποιότητας αρδευτικού νερού, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να αποφευχθεί συμπύκνωση αλάτων στο ριζόστρωμα που θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης των φυτών. Ασφαλώς πάντοτε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η υπόγεια στάθμη του εδάφους για να μην αποτελέσει αυτή πηγή αλάτων από μόνη της.

Η στράγγιση, η απομάκρυνση των αλάτων, καθώς και η επιλογή πιο ανθεκτικών στα άλατα καλλιέργειών είναι μέτρα τα οποία μπορούν να ληφθούν προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της αλατότητας σε μακροχρόνια βάση. Επιπρόσθετα όμως θα πρέπει να λαμβάνονται και άλλες καλλιεργητικές φροντίδες για την αντιμετώπιση πρόσκαιρων αυξήσεων της τιμής της αλατότητας του εδάφους, διότι και αυτές είναι δυνατόν να δημιουργήσουν εξίσου παρόμοια προβλήματα με τα προηγούμενα. Αρκετές πρακτικές, όπως συχνότερες αρδεύσεις, φροντίδα του εδάφους, κανονική χρονική κατανομή των λιπασμάτων καθώς και κατάλληλη σπορά μπορούν να κάνουν την αλατότητα λιγότερο επιβλαβή στα φυτά.

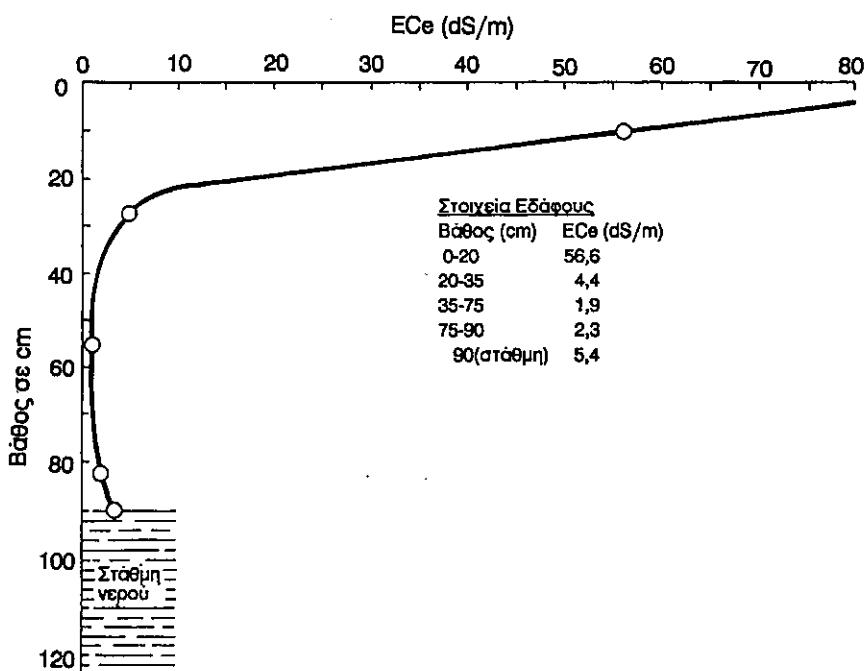
Εάν η αλατότητα του εδάφους είναι μεγάλη και δεν οφείλεται στην ποιότητα του νερού αρδεύσεως, είναι απαραίτητο να υιοθετηθεί ένα πρόγραμμα στράγγισης και βελτίωσης όπως και προσωρινή αλλαγή των καλλιέργειών. Μετά τη βελτίωση του εδάφους οι καλλιέργειες που θα ακολουθήσουν θα εξαρτηθούν από την ποιότητα του αρδευτικού νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις όταν διαθέτουμε δύο νερά για άρδευση ένα καλής και ένα κακής ποιότητας τότε είναι δυνατόν να γίνουν και αναμείξεις. Αυτές οι εναλλακτικές λύσεις που περιλαμβάνουν την

στράγγιση, τη διηθητικότητα, τις αλλαγές των καλλιεργειών με άλλες ανθεκτικότερες καθώς και άλλες καλλιεργητικές και μή πρακτικές θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

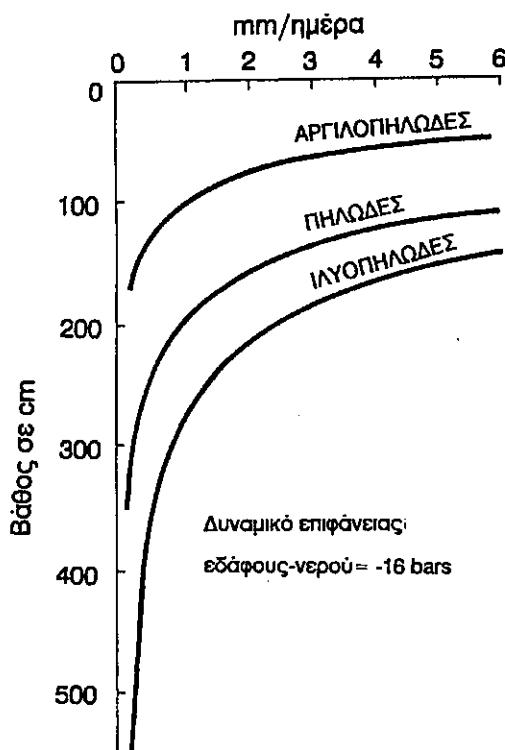
2.41 Στράγγιση

Πριν από την έναρξη οποιουδήποτε αρδευτικού προγράμματος θα πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια έτσι ώστε το νερό που διηθείται διαμέσου του εδάφους να διατηρείται σε τέτοιο βάθος από την επιφάνεια ώστε να μην είναι σε θέση να επηρεάσει τις καλλιέργειες. Βάθος 2 μέτρων για τις δικές μας κλιματικές συνθήκες είναι ικανοποιητικό. Η καλύτερη όμως αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η κατασκευή στραγγιστικού δίκτυου στην περιοχή.

Το στραγγιστικό δίκτυο απομακρύνει συνεχώς τα άλατα του εδά-



Σχ. 13. Εμφάνιση της αλατότητας στην κατατομή εδάφους με υψηλή υπόγεια στάθμη (Mohamed και Amer, 1972).



Σχ. 14. Σχέση μεταξύ της ταχύτητας τριχοειδούς ανύψωσης νερού και υπόγειας στάθμης (Van Hoorn, 1979).

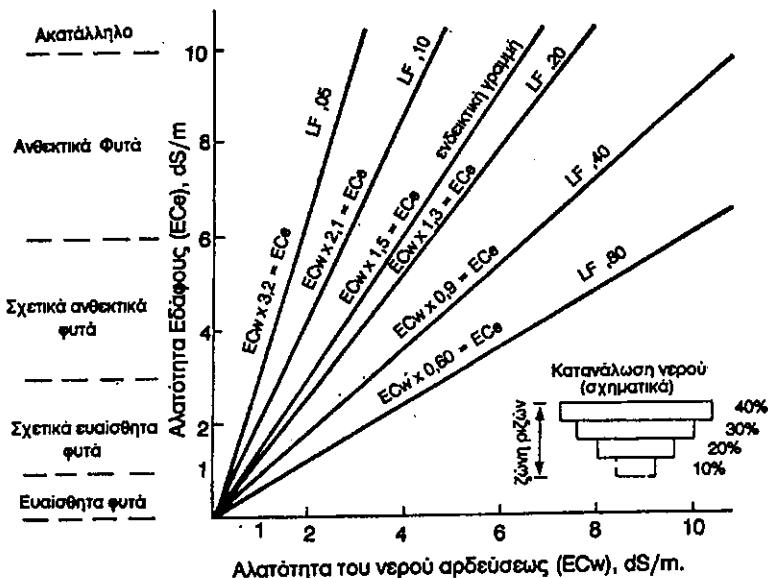
φους και τα οδηγεί, συνήθως, προς τη θάλασσα είτε με φυσική ροή είτε με άντληση. Εκείνο όμως το οποίο έχει ιδιαίτερη σημασία είναι να διατηρείται πάντοτε το στραγγιστικό δίκτυο σε καλή κατάσταση.

Υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες η κατασκευή του δίκτυου είναι τέτοια που δεν επιτρέπει να στραγγίζουν τα εδάφη σε βάθος μεγαλύτερο από ένα μέτρο. Τέτοιες περιπτώσεις υπάρχουν σε περιοχές όπου ο κεντρικός συλλέκτης (ποτάμι ή κεντρικός στραγγιστικός αγωγός) έχει πολύ μικρή υψομετρική διαφορά με την περιοχή που στραγγίζει. Σ αυτές τις περιπτώσεις συνιστάται να ανοιχθεί ένα όρυγμα σε σημείο του αγρού με το χαμηλότερο υψόμετρο και σε βάθος 2 μέτρα το οποίο θα συγκεντρώνει τα νερά στραγγίσεως. Στη συνέχεια με μια μικρή αντλία τα νερά του ορύγματος κατά διαστήματα θα στέλ-

νονται στη στραγγιστική τάφρο. Μ αυτόν τον τρόπο μπορούμε να διατηρούμε την υπόγεια στάθμη σε αρκετό βάθος.

Τα προβλήματα αλατότητας που έχουν σχέση με την αρδευόμενη γεωργία συνδέονται συχνά με την υπόγεια στάθμη του νερού όταν αυτή βρίσκεται μεταξύ ενός ή δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους (Σχ.13). Στα περισσότερα εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό ανέρχεται τριχοειδώς μέχρι το ριζόστρωμα και, εάν περιέχει άλατα, εφοδίαζει συνεχώς το ριζόστρωμα με άλατα καθώς το νερό χρησιμοποιείται από το φυτό ή εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους. Η αλάτωση του εδάφους σε αρδευόμενες περιοχές, που έχει σχέση με τα φαινόμενα αυτά, επιταχύνεται σε θερμές περιοχές όταν το έδαφος είναι δυνατόν να παραμείνει, επί μακρόν ακαλλιέργητο. Ο ρυθμός αλατώσεως του εδάφους από μία υψηλή υπόγεια στάθμη εξαρτάται από τον τρόπο αρδεύσεως, τη συγκέντρωση των αλάτων και το βάθος της στάθμης, τον τύπο του εδάφους καθώς και το κλίμα. Το σχ. 14 δείχνει ότι η τριχοειδής ανύψωση νερού από μια υψηλή υπόγεια στάθμη αποτελεί υπολογίσιμη εισροή αλάτων στο ριζόστρωμα.

Σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, η αλατότητα που συνδέεται με πλημμελή στράγγιση δεν είναι δυνατόν να ελεγθεί εάν προηγουμένως η υπόγεια στάθμη δεν σταθεροποιήθηκε σε ένα ασφαλές βάθος, συνήθως τουλάχιστον δύο μέτρων. Αυτό προϋποθέτει στράγγιση με ανοικτό δίκτυο ή σύστημα υπόγειας στράγγισης με σωληνώσεις ή φρεάτια το οποίο θα απομακρύνει μέρος των αλατούχου εδαφικού νερού προς τα βαθύτερα στρώματα όπου δεν θα δημιουργεί προβλήματα αλατότητας. Όταν η στράγγιση είναι αποτελεσματική, η αλατότητα η οποία συνδέεται στενά με την ποιότητα του νερού αρδεύσεως και τον τρόπο αρδεύσεως είναι δυνατόν να αποτελέσει πρόβλημα μόνον όταν η συγκέντρωση των αλάτων που αποτίθενται με το νερό αρδεύσεως φθάσει σε επίπεδο τέτοιο που να μειώσει την απόδοση. Έτσι λοιπόν η σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος των αλάτων πρέπει να περιλαμβάνει αποτελεσματική στράγγιση για να ελέγχεται και να σταθεροποιείται τόσο η υπόγεια στάθμη όσο και η ελεύθερη κίνηση του νερού, στοιχεία απαραίτητα για τη μείωση της ποσότητας των αλάτων που συγκεντρώθηκαν. Στην περίπτωση αυτή μια σταθερή ροή του νερού στην κατατομή του εδάφους μπορεί να εξασφαλίσει τον έλεγχο της αλατότητας. Οι περιορισμοί στον πίνακα 4 και αυτοί που συζητήθηκαν στη συνέχεια προϋποθέτουν ότι τα άλατα που συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα προέρχονται από το νερό αρδεύσεως.



Σχ. 15. Επίδραση της αλατότητας του νερού αρδεύσεως (EC_w) στην αλατότητα του ριζοστρώματος (EC_e) σε διαφορετικά κλάσματα στράγγισης (LF) (Ayres και Westcot, 1985)..

2.42 Έλεγχος της αλατόπητας με βαθιά διήθηση.

Όταν τα υδιατοδιαλυτά άλατα στο έδαφος είναι ή αναμένεται να γίνουν πολλά, εκπλύνονται με επί πλέον ποσότητες νερού από αυτές που απαιτούνται για την εξατμισοδιαπνοή για την τρέχουσα περίοδο. Η επί πλέον αυτή ποσότητα νερού απομακρύνει μία ποσότητα αλάτων προς τα βαθύτερα στρώματα. Η διήθηση αποτελεί το κλειδί για τον έλεγχο της αλατόπητας που προέρχεται από το νερό άρδευσης. Διαχρονικά, οι ποσότητες των αλάτων που απομακρύνονται με έκπλυση πρέπει να είναι ίσες ή μεγαλύτερες από αυτές που προστίθενται με το νερό αρδεύσεως, αλλιώς η συγκέντρωση των αλάτων θα φθάσει σε οριακά επίπεδα. Το ερώτημα είναι τί ποσότητες νερού απαιτούνται για την έκπλυση των αλάτων και πότε πρέπει να γίνει η έκπλυση.

2.421 Οι απαιτήσεις σε επί πλέον ποσότητες νερού.

Οι επί πλέον ποσότητες νερού για ξέπλυμα των αλάτων εκφράζονται με το LR (Leaching Requirement) ή το LF (Leaching Fraction-κλά-

σμα στράγγισης). Και το μεν LF εκφράζει την ποσότητα του νερού, ενώ το LR την εκφράζει και ως κλάσμα και ως ποσοστό του νερού αρδεύσεως. Για τον υπολογισμό του LR στοιχεία απαραίτητα είναι τόσο η αλατότητα του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) όσο και η ανθεκτικότητα του φυτού στα άλατα (EC_e). Η αλατότητα του νερού αρδεύσεως προσδιορίζεται από την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενώ η EC_e υπολογίζεται από τους πίνακες ανθεκτικότητας οι οποίοι δίδουν τιμές EC_e για μείωση της παραγωγής κατά 10% ή λιγότερο για κάθε καλλιέργεια.

Το LR υπολογίζεται από το σχήμα 15 για γενικές πληροφορίες. Για μεγαλύτερη ακρίβεια όμως για συγκεκριμένη καλλιέργεια χρησιμοποιείται η επόμενη εξίσωση.

$$LR = \frac{EC_{va}}{5(EC_e) - EC_{va}} \quad (60)$$

όπου LR, η ελάχιστη ποσότητα νερού που είναι αναγκαία για τον ελεγχό της αλατότητας για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια και κανονικές μεθόδους αρδεύσεως.

EC_{va} , η αλατότητα του νερού αρδεύσεως σε mS/cm.

EC_e , η μέση αλατότητα που μπορεί να ανεχθεί το φυτό, όπως μετράται στο εκχύλισμα κορεσμού.

Η ολική επίσια ποσότητα του νερού που απαιτείται τόσο για τις ανάγκες του φυτού όσο και για το LR υπολογίζονται από την εξίσωση,

$$AW = \frac{ET}{1-LR} \quad (61)$$

όπου AW = η ποσότητα του νερού που απαιτείται, mm/έτος

ET = ολική επίσια ποσότητα νερού για τις ανάγκες του φυτού, mm/έτος

LR = οι επί πλέον ποσότητα του νερού σε κλάσμα (LF).

2.4.22 Χρονική κατανομή νερού για το ξέπλυμα των αλάτων.

Οπωσδήποτε απαιτείται χρόνος για την συσσώρευση αλάτων στο ριζόστρωμα σε συγκέντρωση που να μειώνει την απόδοση των καλλιεργειών. Τα περισσότερα αρδευτικά νερά είναι τέτοιας ποιότητας ώστε, χωρίς στράγγιση, να χρειάζονται δύο ή και τρία έτη προκειμένου να δημιουργηθεί κατάσταση αλατότητας τέτοια ώστε να επηρεάσει την

απόδοση. Επί πλέον, όσο αργότερα αυξηθούν τα άλατα μέσα στην καλλιεργητική περίοδο τόσο λιγότερη ζημιά θα προκαλέσουν, που σημαίνει ότι το νερό (και χωρίς στράγγιση) θα είναι αποτελεσματικό 100%. Για την επόμενη χρονιά, βροχόπτωσεις και αρδεύσεις πρίν από τη σπορά, μόνες τους ή σε συνδυασμό μεταξύ τους μπορούν να λειτουργήσουν ώστε να ξεπλύνουν τα συγκεντρωθέντα άλατα. Συνήθως είναι ανέφικτο να εξασφαλισθούν κατά τη διάρκεια του ζεστού καλοκαιριού τόσο οι ποσότητες για τις ανάγκες του φυτού όσο και οι ποσότητες για την έκπλυση των αλάτων. Εκείνο που θα πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα είναι, ότι δεν απαιτείται έκπλυση μέχρι να φθάσει η αλατότητα στο επίπεδο ανοχής του συγκεκριμένου φυτού.

Το πότε χρονικά θα χορηγηθεί το νερό για έκπλυση των αλάτων δεν αποτελεί το κύριο στοιχείο μιας σώστης αντιμετώπισης των αλάτων. Εκείνο που έχει σημασία είναι ότι πρέπει να γνωρίζουμε το πρόβλημα που δημιουργείται έτσι ώστε να παρέχουμε τις επι πλέον ποσότητες του νερού. Αυτό μπορεί να γίνεται σε κάθε άρδευση, σε κάθε δεύτερη άρδευση ή λιγότερο συχνά όπως εποχιακά ή ακόμη και κατά αραιότερα χρονικά διαστήματα. Σε πολλές περιπτώσεις οι συνήθεις παροχές του νερού είναι αρκετές για να ικανοποιήσουν το LR, και οι επί πλέον ποσότητες του νερού αποτελούν απλώς σπατάλη (βλέπε παράδειγμα). Όταν χρειάζονται μικρά LF (<0,10), όπως στις περιπτώσεις νερού καλής ποιότητας, η παροχή νερού αρδεύσεως εξυπηρετεί και την στράγγιση των αλάτων. Σε άλλες περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων στο νερό αρδεύσεως, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού για απομάκρυνση των αλάτων που μπορεί να δημιουργήσουν και πρόβλημα διήθησης ακόμη.

2.423 Παράδειγμα

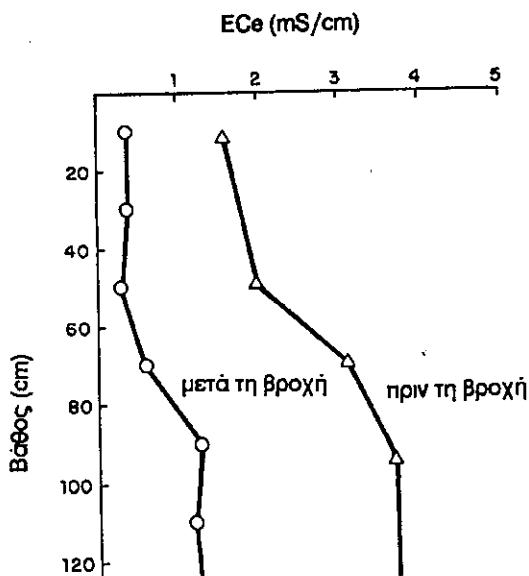
Καλλιέργεια αραβόσιτου αρδεύεται με αυλάκια. Το έδαφος είναι πηλώδες ομοιόμορφο και το νερό αρδεύσεως έχει $EC_{va} = 1,2 \text{ mS/cm}$. Η εξατμισοδιαγνοή της καλλιέργειας είναι $ET = 800\text{mm}$ για την καλλιεργητική περίοδο. Η αποδοτικότητα του νερού είναι 0,65 οπότε η ολική ποσότητα του νερού που απαιτείται για την κάλυψη της ET είναι $800/0,65 = 1230 \text{ mm/περίοδο}$. Πόση επί πλέον ποσότητα νερού απαιτείται για την έκπλυση των αλάτων.

Δεδομένα:

$$EC_{va} = 1,2 \text{ mS/cm}$$

$EC_e = 2,5 \text{ mS/cm}$ (από τον πίνακα 12 για τον αραβόσιτο για απόδοση 90%)

$EC_e = 1,7 \text{ mS/cm}$ (από τον πίνακα 12 για απόδοση 100%)



Σχ. 16. Εδαφική αλατότητα (EC_e) ενός αμμοπιηλώδους εδάφους πρίν και μετά την πτώση 150 mm βροχής (Aziz, 1968).

Το LR μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση (60) με αντικατάσταση της κατάλληλης τιμής της EC_e για την ανάλογη απόδοση.

$$LR = \frac{EC_{va}}{5(ET) - EC_{va}} = \frac{1,2}{5(2,5) - 1,2} = 0,10 \text{ για } 90\% \text{ απόδοση}$$

$$LR = \frac{1,2}{5(1,7) - 1,2} = 0,16 \text{ για } 100\% \text{ απόδοση}$$

Η ολική ποσότητα του νερού που απαιτείται τόσο για τις ανάγκες του φυτού όσο και για την έκπλυση των αλάτων υπολογίζεται από την εξίσωση 61.

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{800}{1 - 0,10} = 890 \text{ mm/περίοδο}$$

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα απαιτούνται 1230 mm αρδευτικού νερού νερού προκειμένου να εξασφαλισθεί κανονική άρδευση στην καλλιέργεια του άραβοσίτου και τα απαραίτητα 800 mm για την

εξατμισοδιαπνοή. Τα 1230 μη όμως είναι περισσότερα από τα 890 μη που χρειάζονται τόσο για την ΕΤ όσο και για την έκπλυση των αλάτων. Το ερώτημα είναι κατά πόσο οι απώλειες στην περίσσεια της ΕΤ είναι απώλειες βαθιάς διήθησης και κατά πόσο αυτές οι απώλειες μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις σε επί πλέον νερό για κλάσμα στράγγισης 0,15. Οι απώλειες νερού λόγω βαθιάς διήθησης είναι συχνά περισσότερες από το τυπικό κλάσμα στράγγισης (LF) ίσο με 0,15 που ελήφθη υπόψη για την αντοχή του φυτού στον πίνακα 4. Εάν, στο προηγούμενο παράδειγμα, οι απώλειες οφείλονται στη βαθιά διήθηση, δεν απαιτούνται επί πλέον ποσότητες νερού για έκπλυση των αλάτων, διότι το LR που απαιτείται της τάξεως του 0,10 ή 0,16, σύμφωνα με τους προηγούμενους υπολογισμούς, ικανοποιείται από την αναποτελεσματικότητα της άρδευσης (απώλειες) κατά τη διάρκεια της άρδευσης.

Η βροχόπτωση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του LR. Το νερό της βροχής το οποίο εισέρχεται στο έδαφος ικανοποιεί τόσο τις ανάγκες του φυτού (ΕΤ), όσο και το LR. Το νερό της βροχής το οποίο διηθείται δια του εδάφους συμπληρώνει τις απώλειες της εξατμισοδιαπνοής. Εάν υπερκαλύπτει τις ανάγκες της εξατμισοδιαπνοής τότε η υπόλοιπη ποσότητα εξυπήρετεί εν μέρει ή πλήρως και τις ανάγκες του LR. Το πλεονέκτημα του νερού της βροχής για το LR είναι ότι εφαρμόζεται ομοιόμορφα στο έδαφος ένα νερό απαλαγμένο από άλατα ($EC_{va} < 0,05 \text{ mS/cm}$). Το ξέπλυμα στη συνέχεια επιταχύνεται έαν ο ρυθμός της βροχής είναι μικρότερος από τη διηθητικότητα του εδάφους. Εάν η συνολική ποσότητα της βροχής που διέρχεται από το έδαφος είναι ικανοποιητική, θα μειώσει τη μέση αλατότητα που χρησιμοποιείται για το νερό αρδεύσεως (EC_{va}) στους υπολογισμούς του LR και έτσι θα μειώσει αναλογικά την απαιτούμενη ποσότητα νερού για έκπλυση. Το σχήμα 16 δείχνει πώς η βροχή μειώνει γρήγορα την αλατότητα στην περιοχή του ριζοστρώματος.

Σε έτη ή περιοχές με μικρή βροχόπτωση, είναι δυνατόν το νερό της βροχής να μη επαρκεί προκειμένου το έδαφος να καλύψει την υδατοχωρητικότητά του με αποτέλεσμα να μήνυνται έκπλυση αλλά απλώς να γίνεται μετακίνηση των αλάτων από το άνω τμήμα του ριζοστρώματος προς τα βαθύτερα. Στην περίπτωση αυτή τα ανώτερα τμήματα του ριζοστρώματος έχουν το μικρό ποσό των αλάτων που περιέχει το νερό της βροχής, γεγονός που είναι θετικό για τη βλάστηση.

Σε περιοχές με βροχοπτώσεις κυρίως κατά τους ψυχρούς μήνες (Φθινόπωρο-Χειμώνα) είναι δυνατόν να επιταχύνουμε την έκπλυση ακόμη και στα ξηρά έτη. Συνιστάται στις περιπτώσεις αυτές να αρδεύεται το έδαφος μέχρι το σημείο της υδατοχωρητικότητας πρίν από την έ-

ναρξη των βροχών. Στη συνέχεια οι βροχές του χειμώνα θα ολοκληρώσουν την έκπλυση και θα κάνουν την έκπλυση με νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα.

Ο υπολογισμός του LR που μπορεί να γίνει από την εξίσωση 60, αποτελεί προσέγγιση μόνον του βαθμού έκπλυσης που πραγματικά λαμβάνει χώρα. Η παρακολούθηση της καλλιεργείας και του εδάφους αποτελούν χρήσιμα πάντοτε μέσα για τον προσδιορισμό των αναγκών σε έκπλυση. Υπάρχει σημαντική ποικιλότητα από μια καλλιεργητική περίοδο στην άλλη, γιαυτό και η παρακολούθηση μπορεί να δώσει τις κατευθύνσεις και τις μεταβολές της αλατότητας του εδάφους.

Μελέτες, πειραματικά στον αγρό και παρατηρήσεις έδειξαν ότι υπάρχουν πρακτικές οι οποίες μπορούν να αυξήσουν τόσο την αποτελεσματικότητα της έκπλυσης όσο και να μειώσουν την αναγκαιούσα ποσότητα νερού. Οι πρακτικές αυτές είναι:

-Έκπλυση κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα λόγω μειωμένων απιωλειών της εξατμισοδιαπνοής,

-Χρησιμοποίηση ανθεκτικών καλλιεργειών στα άλατα που έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε νερό,

-Επιφανειακές καλλιεργητικές φροντίδες για τη μείωση της επιφανειακής απορροής και των επιφανειακών ρωγμών οι οποίες επιπρέπουν την απευθείας απώλεια του νερού στα βαθύτερα στρώματα και ως εκ τούτου την μικρότερη αποτελεσματικότητά του,

-Άρδευση με καταιωνισμό με ρυθμό μικρότερο από την διηθητικότητα του εδάφους που επιπρέπει ακόρεστη ροή η οποία είναι αποτελεσματικότερη από την κορεσμένη ροή για την έκπλυση. Απαιτείται ασφαλώς περισσότερος χρόνος απότι στην κατάκλυση αλλά είναι περισσότερο αποτελεσματική,

-Εναλλαγή κατάκλυσης και ξήρανσης αντί συνεχούς κατάκλυσης. Είναι πιό αποτελεσματικό στην έκπλυση, καταναλώνει λιγότερο νερό, ο χρόνος όμως που απαιτείται για την έκπλυση είναι μεγαλύτερος. Σε περιοχές με υψηλή υπόγεια στάθμη είναι δυνατόν να έχουμε δευτερογενή αλάτωση κατά τις περιόδους ξηρασίας,

-Εάν είναι δυνατόν οι εκπλύσεις να γίνονται σε περιόδους που το φυτό έχει μικρές απαιτήσεις σε νερό ή οι εκπλύσεις να αναβληθούν μετά το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου,

-Να αποφεύγονται οι θερινές αγραναπαύσεις κατά τα θερμά κυρίως έπει ίσταν υπάρχει υψηλή υπόγεια στάθμη στην περιοχή,

-Εάν η διηθητικότητα του εδάφους είναι μικρή, η έκπλυση πρέπει να γίνεται πρίν από τη σπορά ή σε περιόδους εκτός καλλιεργητικής περιόδου, για να αποφευχθούν υπερβολικές ποσότητες νερού σε περίοδο που ο αγρός καλλιεργείται,

-Εφαρμογή άρδευσης πρίν από την έναρξη των βροχοπτώσεων εάν προβλέπεται ότι η ποσότητα της βροχής δεν θα επαρκέσει για την έκπλυση των αλάτων. Γενικά το νερό της βροχής αποτελεί την πιο αποτελεσματική πηγή διότι παρέχει υψηλής ποιότητας νερό, σε μικρές ποσότητες και κατά τακτά διαστήματα.

2.424 Παρακολούθηση της έκπλυσης.

Με ένα ισορροπημένο πρόγραμμα αρδεύσεως επιτυγχάνουμε να δώσουμε τις απαραίτητες ποσότητες νερού για τις ανάγκες αφενός του φυτού και αφετέρου του εδάφους για την έκπλυση των αλάτων. Τόσο οι ανάγκες του φυτού (ET) όσο και οι ανάγκες για έκπλυση των αλάτων (LR) μπορούν να υπολογισθούν και κατά συνέπεια και οι αντίστοιχες ποσότητες του νερού. Σε πολλές όμως περιπτώσεις οι εκτιμήσεις για τις ποσότητες του νερού δεν είναι ακριβείς ή δεν υπάρχουν καθόλου και γαιτάρ οι εκτιμήσεις της αποτελεσματικότητας της έκπλυσης για τον έλεγχο της αλατότητας δεν είναι ασφαλείς. Εκτιμήσεις για την αποτελεσματικότητα από προηγούμενες εκπλύσεις μπορούν να γίνουν σε ένα βαθμό από την ανάλυση εδαφικών δειγμάτων. Από τα εδαφικά δείγματα μπορούν να προσδιορισθούν τόσο το LF όσο και η μέση αλατότητα του ριζοστρώματος, ως αποτέλεσμα προηγούμενων επεμβάσεων. Η πορεία θα μπορούσε να σκιαγραφηθεί ως ακολούθως:

α. Υπολογισμός του πιθανού βάθους του ριζοστρώματος από παρατηρήσεις στον αγρό ή των εδαφικών δειγμάτων, ή από προηγούμενη εμπειρία. Η εκτίμηση του βάθους του ριζοστρώματος θα πρέπει να περιλαμβάνει το 75-85% του παρατηρηθέντος.

β. Λήψη αντιπροσωπευτικών εδαφικών δειγμάτων από κάθε τμήμα του ριζοστρώματος και ανάλυση του κάθε δείγματος ξεχωριστά για την EC_e στην πάστα.

γ. Σχεδίαση ανάλογη με αυτήν του σχήματος 10 για το βάθος και την αλατότητα κάθε τετάρτου και σύγκριση με αυτές που απεικονίζουν διάφορα τυπικά LF ($LF=0,1, 0,15, 0,2, 0,3, 0,4$). Στη συνέχεια υπολογισμός του LF για το τμήμα του αγρού που ελήφθησαν τα δείγματα με βάση το σχήμα της κατανομής των αλάτων στην κατατομή του εδάφους.

δ. Από τη EC_e των τεσσάρων δειγμάτων (ένα για κάθε τέταρτο του ριζοστρώματος) υπολογίζεται η μέση αλατότητα και συγκρίνεται με τα στοιχεία για την αντοχή της καλλιέργειας, που πρόκειται να εγκατασταθεί, στην αλατότητα (EC_e) από τον πίνακα 12.

ε. Από το LF και τη μέση EC_e του ριζοστρώματος, μπορούν να

γίνουν όλοι οι απαραίτητοι προγραμματισμοί και να ληφθούν αποφάσεις για τις αρδεύσεις και την αυξομείωση του LF έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στην αντοχή της συγκεκριμένης καλλιέργειας στην αλατότητα του εδάφους. Εναλλακτικά μπορούμε, εάν αυτό είναι δυνατόν, να αντικαταστήσουμε την καλλιέργεια με άλλη η οποία θα ανταποκρίνεται στις υφιστάμενες συνθήκες αλατότητας.

2.43 Καλλιεργητικά μέτρα για την αντιμετώπιση της αλατότητας.

Εκτός από την κανονική στράγγιση του εδάφους, την απομάκρυνση της μεγαλύτερης ποσότητας των αλάτων ώστε η συγκέντρωσή τους να φθάσει σε ανεκτά επίπεδα από το φυτό, ή, ως τελευταίο ίσως μέσο, την αλλαγή της καλλιέργειας με περισσότερο ανθεκτική, υπάρχουν και άλλα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται προκειμένου τα φυτά να αντιμετωπίσουν ή να παρακάμψουν τον κίνδυνο από την αλατότητα του εδάφους. Τα κυριότερα από αυτά είναι η κατά το δυνατόν ισοπέδωση του εδάφους, ο προγραμματισμός των αρδεύσεων, η τόπιοθέτηση των σπόρων κατά τη σπορά ή των φυταρίων στις κατάλληλες θέσεις, η κατάλληλη χρήση των λιπασμάτων και η επιλογή του κατάλληλου τρόπου αρδεύσεως.

2.431 Ισοπέδωση του εδάφους

Ο έλεγχος της αλατότητας συνδέεται με την κανονική κατανομή του νερού στο έδαφος και κατά συνέπεια με την ισοπέδωση του εδάφους. Μικρές ή μεγάλες εξάρσεις στην επιφάνεια του εδάφους επιτρέπουν μεγαλύτερη εξάτμιση νερού στα σημεία αυτά του αγρού και μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων (υπό μορφή συνήθως επανθισμάτων). Η ισοπέδωση του εδάφους γίνεται κατά την αρχική εγκατάσταση του στραγγιστικού και αρδευτικού δικτύου και στη συνέχεια συντηρείται κάθε ένα ή δύο χρόνια με καλλιεργητικές εργασίες.

Επειδή η αλατότητα σχετίζεται με επίπεδα ή σχεδόν επίπεδα εδάφη ή θύλακες η ισοπέδωση είναι σχετικά εύκολη και δεν περιέχει συνήθως κινδύνους. Η μεταφορά εδάφους από ένα τμήμα της περιοχής στο άλλο είναι μικρή και δεν υπάρχει κίνδυνος στις πρόσφατες αλλούβιακές περιοχές να φέρουμε στην επιφάνεια τμήματα εδάφους ανεπιθύμητα (με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων, βαριάς μηχανικής σύστασης κλπ.). Ασφαλώς ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει δίνεται στα παλιά αλλούβιακά εδάφη ή τα εδάφη με ώριμη κατατομή διότι σ' αυτά υπάρχει ο

κίνδυνος να έλθει στην επιφάνεια τμήμα της κατατομής με συγκέντρωση αλάτων, συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου ή άλλα τμήματα πιο βαθμισμένα.

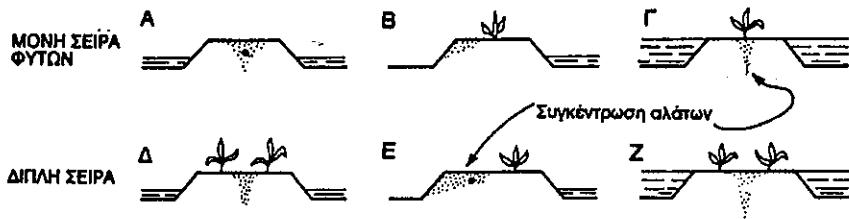
2.432 Προγραμματισμός των αρδεύσεων

Ο προγραμματισμός των αρδεύσεων θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιμετωπίζονται συνεχώς καθόλη την καλλιεργητική περίοδο οι ανάγκες του φυτού ανάλογα με το είδος του φυτού, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την κατάσταση υγρασίας του περιβάλλοντος και τους ανέμους (ένταση και διεύθυνση). Έτσι λοιπόν σε περιπτώσεις κινδύνου από άλατα μπορεί να αυξηθεί η συχνότητα των αρδεύσεων ή να προηγηθούν ορισμένες αρδεύσεις πριν από την έναρξη των βροχών του φθινοπώρου ή του χειμώνα. Στόχος του προγραμματισμού των αρδεύσεων θα πρέπει να είναι η μείωση της αλατότητας και η αποφυγή υδατικής καταπόνησης στα φυτά στο χρονικό διάστημα μεταξύ των αρδεύσεων.

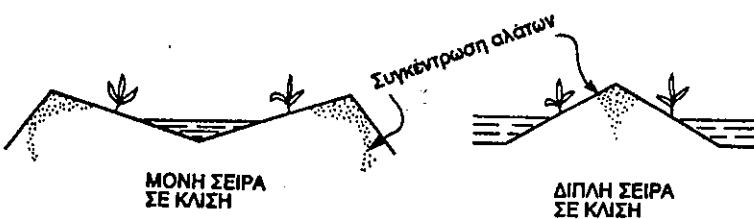
Η αύξηση της συχνότητας των αρδεύσεων θα πρέπει να γίνεται μετά από εμπεριστατωμένη μελέτη τόσο σχετικά με την εφαρμοζόμενη μέθοδο αρδεύσεως, όσο και με την εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργούμένων φυτών σε νερό (ΕΤ). Η αύξηση της συχνότητας π.χ. σε αρδεύσεις με κατάκλυση πολλές φορές δεν συνιστάται διότι είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προβλήματα τόσο διηθητικότητας όσο και κίνδυνοι ανυψώσεως της υπόγειας στάθμης.

Ο καταιωνισμός ή η στάγδην άρδευση προτιμώνται, όπου βεβαίως αυτό είναι δυνατόν, διότι δεν περιέχουν τους κινδύνους που προαναφέρθηκαν. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι με τον καταιωνισμό είναι δυνατόν να εμφανισθούν φαινόμενα τοξικότητας από νάτριο ή χλώριο στα φύλλα σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις απότι με την κατάκλυση. Η γνώση τόσο των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, όσο και των χαρακτηριστικών του εδάφους αφενός, αλλά και της χημικής σύστασης αφετέρου του νερού αρδεύσεως μπορεί να συμβάλλει αποφασιστικά στην εφαρμογή της μιάς ή της άλλης μεθόδου αρδεύσεως. Όμως και ο καταιωνισμός και η στάγδην άρδευση δημιουργούν και αυτές προβλήματα αλατότητας στο έδαφος και είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς πώς κατανέμονται τα άλατα στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο αρδεύσεως.

Ένα απαραίτητο στοιχείο που θα πρέπει να γνωρίζει κανείς προκειμένου να αντιμετωπίσει την αλατότητα κατά την φύτρωση του σπόρου και κατά την ανάπτυξη των φυτών κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης, που είναι και περισσότερο ευαίσθητα στην αλατότητα, είναι



Σχ. 17. Σαμάρια με επίπεδη οροφή και διαφορετική πρακτική αρδεύσεως (Bernstein et al., 1955).

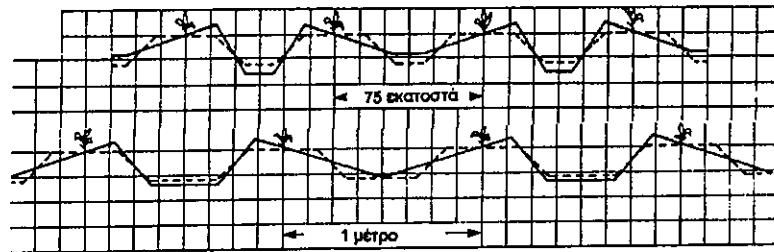


Σχ. 18. Αντιμετώπιση της αλατότητας με κεκλιμένα σαμάρια (Bernstein και Fireman, 1957).

η περιοχή ή οι περιοχές συγκέντρωσης των αλάτων ανάλογα με τη μέθοδο και τις καλλιεργητικές φροντίδες που εφαρμόζονται.

2.4.33 Περιοχή τοποθέτησης του σπόρου.

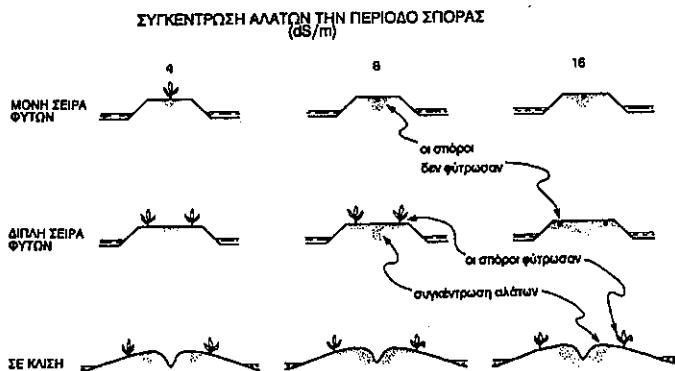
Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται σαμάρια για την τοποθέτηση του σπόρου ή των φυταρίων και άρδευση με αυλάκια, θα πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη η κατανομή των αλάτων στα σαμάρια διότι όπως είναι γνωστό η αλατότητα μειώνει την φυτρωτική ικανότητα του σπόρου και την ανάπτυξη των φυταρίων. Βεβαίως μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς μεγαλύτερη ποσότητα σπόρων για την αναπλήρωση αυτών που δεν θα φυτρώσουν, όμως αυτή η πρακτική μπορεί να δώσει πικνότερη βλάστηση και τελικά φυτά μικρότερης ανάπτυξης. Σε πολλές περιπτώσεις τα σαμάρια με τραπεζοειδή μορφή μπορούν να αντικατασταθούν με άλλα διαφορετικού σχήματος για να επιτευχθεί καλύτερο φύτρωμα. Στα σχήματα 17, 18, 19 και 20 εμφανίζονται οι θέσεις με τη



Σχ. 19. Σαμάρια με κλίση σε σύγκριση με σαμάρια που έχουν επίπεδη οριζόντια οροφή (Bernstein και Ayres, 1955).



Σχ. 20. Κεκλιμένα σαμάρια για την αντιμετώπιση της αλατότητας και της θερμοκρασίας.



Σχ. 21. Αποτελέσματα αλατότητας ανάλογα με τα σχήματα των σαμαριών και την περιεκτικότητα σε άλατα του νερού αρδεύσεως (Bernstein et al, 1955).

μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων καθώς επίσης και διαφορετικά είδη σαμαριών. Στο σχήμα 21 ιδιαίτερα φαίνονται και τα αποτελέσματα της κατανομής της αλατότητας μετά από άρδευση με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας 4, 8 και 16 mS/cm. Ο προσανατολισμός και το σχήμα των σαμαριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση τόσο της αλατότητας όσο και την κατάλληλη έκθεση των σαμαριών για την καλύτερη εκμετάλευση της ηλιακής θερμότητας ή, σε άλλες περιπτώσεις, την αποφυγή της μεγάλης θερμότητας.

2.434 Λίπανση

Τα λιπάσματα ενεργούν στο έδαφος κατά τρείς διαφορετικούς τρόπους. Καταρχάς ως πηγή θρεπτικών ουσιών για το φυτό. Αυτή είναι η θετική δράση τους. Τα λιπάσματα όμως είναι δυνατόν να δημιουργήσουν και προβλήματα τόσο αλατότητας όσο και τοξικότητας στα φυτά και ως συνέπεια αυτών η μεταφορά τους σε κεντρικούς συλλεκτήρες (ποταμούς λίμνες) με τα γνωστά αποτελέσματα. Αυτές είναι οι αρνητικές τους δράσεις. Οι αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να υπάρχουν όταν οι ποσότητές τους υπερβούν τις κανονικές, τοποθετηθούν σε ακατάλληλη θέση ή δεν εφαρμοσθούν στην κατάλληλη χρονική περίοδο. Εάν π.χ. διασκορπισθούν ομοιόμορφα 5 Kg/στρέμμα αζώτου (θεϊκή αμμωνία 24Kg/στρέμμα) δεν θα δημιουργηθεί κανένα πρόβλημα αλατότητας. Εάν όμως τοποθετηθεί στο έδαφος συγχρόνως μαζί με το σπόρο (με τη σπαρτική) τότε πιθανότατα θα υπάρχουν προβλήματα στη φύτρωση των σπόρων αλλά και στην ανάπτυξη των φυταρίων.

Η χρονική περίοδος και η θέση του λιπάσματος έχουν ιδιαίτερη σημασία στη δημιουργία ή μή προβλημάτων αλατότητας. Τα φυτάρια που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αλατότητα έχουν μικρές απαιτήσεις σε λίπασμα. Μιά μικρή ποσότητα μπορεί να εφαρμοσθεί πριν ή κατά τη σπορά, και η υπόλοιπη μετά τη φύτρωση και πρίν την κύρια βλαστική περίοδο σε μία ή περισσότερες δόσεις.

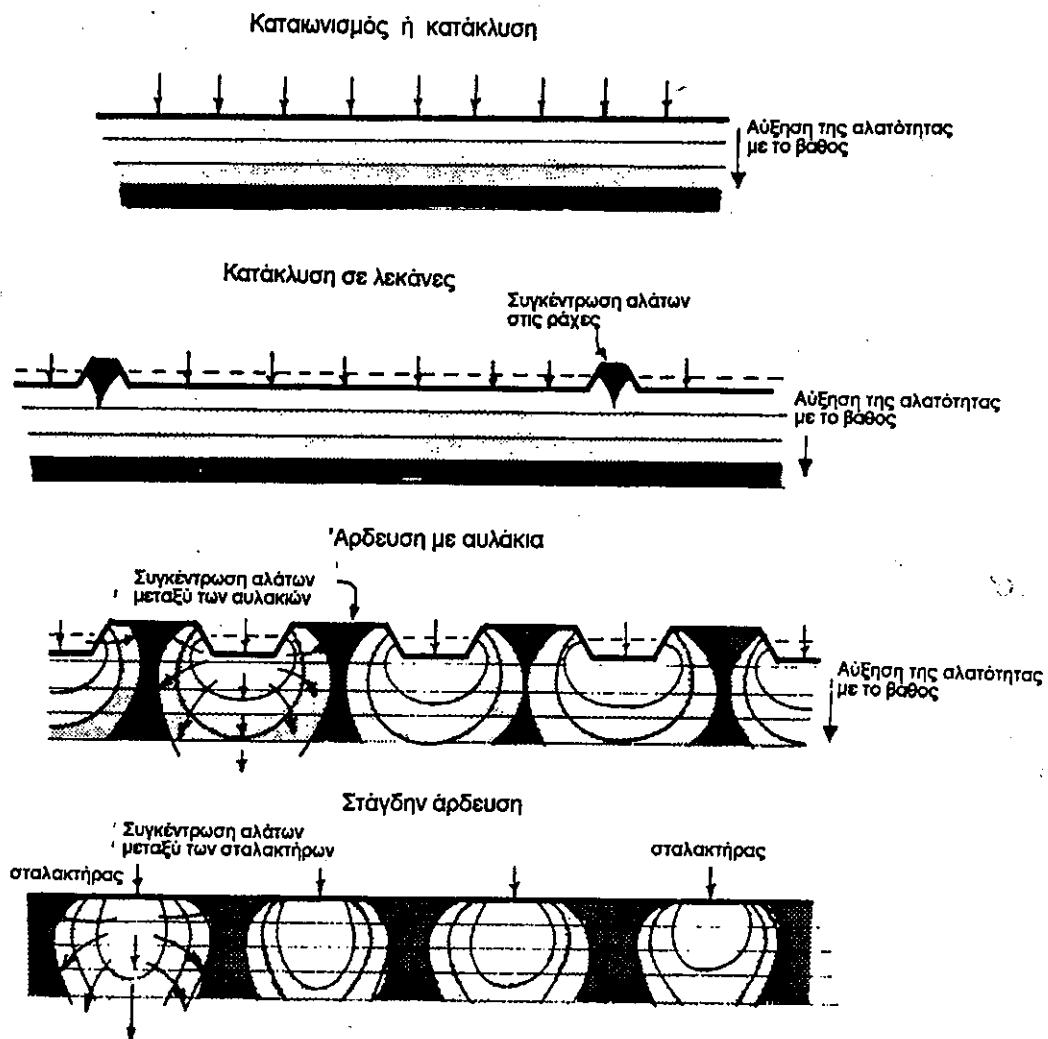
Εκείνο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τις λιπάνσεις είναι ο δείκτης αλατότητας του λιπάσματος (Πίνακας 11). Τί επίδραση έχει δηλαδή στην αλατότητα του εδαφικού διαλύματος η χρήση συγκεκριμένης ποσότητας ενός λιπάσματος. Δείκτης αλατότητας θεωρείται για τα λιπάσματα όταν αυτά εφαρμόζονται σε ίσες ποσότητες (βάρη). Το νιτρικό νάτριο με δείκτη 100 χρησιμεύει ως αφετηρία για τον δείκτη αλατότητας. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης του λιπάσματος τόσο μικρότερος ο κίνδυνος εγκαυμάτων στα φυτάρια από το λίπασμα.

Πίνακας 11. Δείκτες αλατόπηγας λιπασμάτων (Rader, 1943).

Λίπασμα	Δείκτης αλατ.	Μερικός δείκτης αλατ./μονάδα θρεπτ. στοιχείου
Άνυδρη αμμωνία	47,1	0,572
Ασβεστόλιθος	4,7	0,083
Γύψος	8,1	0,247
Δολομίτης	0,8	0,042
Θειϊκή αμμωνία	69,0	3,253
Θειϊκό κάλιο	46,1	0,853
Θειϊκό κάλιο-μαγνήσιο	43,2	1,971
Κυαναμίδη του ασβεστίου	31,0	1,476
Νιτρική αμμωνία	104,6	2,990
Νιτρικό ασβέστιο	52,5	4,409
Νιτρικό κάλιο	73,6	5,336
Νιτρικό νάτριο	100,0	6,060
Ουρία	75,4	1,618
Ουραμόν(ουρία-νιτρικό αμμώνιο)	66,4	1,579
Υπερφωσφωρικό (16%)	7,8	0,487
Υπερφωσφωρικό (20%)	7,8	0,390
Υπερφωσφωρικό (45%)	10,1	0,224
Υπερφωσφωρικό (48%)	10,1	0,210
Φωσφορική αμμωνία (11-48)	26,9	2,442
Φωσφορικό διαμμώνιο	29,9	1,614
Φωσφορικό μονοαμμώνιο	34,2	2,453
Φωσφορικό μονοασβέστιο	15,4	0,274
Χλωριούχο κάλιο (50%)	109,4	2,189
Χλωριούχο κάλιο (60%)	116,3	1,936
Χλωριούχο κάλιο (63%)	114,3	1,812
Χλωριούχο νάτριο	153,8	2,899

Γενικά θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι ισχύουν οι εξής αρχές:

1. Η αντοχή των φυτών στην αλατόπηγα δεν επηρεάζεται εάν αυξηθεί το επίπεδο γονιμότητας του εδάφους πάνω από εκείνο που επιτρέπει την παροχή των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για την βέλτιστη ανάπτυξη.



Σχ. 22. Συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο αρδεύσεως (Ayers και Westcot, 1985).

2. Εάν τόσο η αλατότητα όσο και η μικρή γονιμότητα περιορίζουν την απόδοση των φυτών, τότε διόρθωση του ενός από τους δύο ή και των δύο παραγόντων θα αυξήσουν την απόδοση.

3. Εάν η γονιμότητα του εδάφους είναι ικανοποιητική και η αλατότητα είναι ο περιοριστικός παράγοντας, αύξηση της γονιμότητας του εδάφους δεν αυξάνει την απόδοση αλλά και ούτε την αντοχή τους στην αλατότητα.

2.4.35 Κατανομή των αλάτων στο έδαφος ανάλογα με τη μέθοδο αρδεύσεως.

Η αποτελεσματική χρήση του νερού αρδεύσεως και ο τρόπος καθώς και η θέση συγκεντρώσεως των αλάτων στο έδαφος, σχετίζονται απευθείας με τη μέθοδο αρδεύσεως. Η κατανομή των αλάτων ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο αρδεύσεως φαίνονται στο σχ. 22.

Όπως παρατηρείται στο σχήμα 22 οι διάφορες μέθοδοι αρδεύσεως δίδουν το δικό τους προφίλ συγκεντρώσεως αλάτων στο έδαφος. Γενικά τόσο ο καταιονισμός, όσο και η κατάκλυση με λεκάνες δημιουργούν μια αυξανόμενη συγκέντρωση με το βάθος του εδάφους με την διαφοροποίηση στη δεύτερη ότι υπάρχει επί πλέον συγκέντρωση αλάτων στα υπερυψωμένα τμήματα μεταξύ των λεκανών. Στις μεθόδους τόσο με αυλάκια όσο και στάγδην παρατηρείται το ίδιο απιοειδές σχήμα μεταξύ τους με συγκέντρωση των αλάτων περιφερειακά του απιοειδούς σχήματος. Από τα προηγούμενα σχήματα αλατότητας μπορεί να συμπεράνει κανείς και ποιά θα πρέπει να είναι η θέση του φυτού ή του σταλακτήρα στο έδαφος προκειμένου το φυτό να βρίσκεται σε περιβάλλον χαμηλής συγκεντρώσεως αλάτων.

Όταν σε μια περιοχή σε ορισμένες θέσεις υπαρχει πρόβλημα διηθητικότητας τότε δημιουργούνται θύλακες συγκεντρώσεως αλάτων. Στον αγρό οι θύλακες αυτοί εντοπίζονται από το γεγονός ότι η ανάπτυξη των φυτών είναι μειωμένη ή τα φυτά δεν αναπτύσσονται καθόλου.

Εάν θέλουμε να επιτύχουμε έλεγχο της αλατότητας με την άρδευση τότε θα πρέπει να αξιολογήσουμε όλα τα γνωστά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων μεθόδων αρδεύσεως.

Στις μεθόδους κατακλύσεως (λεκάνες, αυλάκια ή ολική κατάκλυση) η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στο έδαφος δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια του αγρού διότι τόσο η διηθητικότητα όσο και το διάστημα που απαιτείται για την ολοκληρωμένη διήθηση του νερού δεν είναι ομοιόμορφα. Οι διαφορές στη διηθητικότητα παραπορύνται λόγω διαφορετικής μηχανικής συστάσεως, κλίσης, βαθμού συ-

μπιέσεως από γεωργικά μηχανήματα και χημικών ιδιοτήτων. Ο χρόνος τον οποίο παραμένει το νερό στην επιφάνεια του αγρού είναι ανομοιόμορφος για τα διάφορα τμήματά του. Στα τμήματα στα οποία πρώτα εισέρχεται το νερό αρδεύσεως (υψηλότερα τμήματα αγρού, αρχή των αυλακιών) παραμένει το νερό επί πολύ μακρύτερο χρονικό διάστημα απότι στα υπόλοιπα. Το περισσότερο έντονο τμήμα βρίσκεται στα δύο τρίτα της αποστάσεως προς τα χαμηλότερα σημεία. Στις μεθόδους κατακλύσεως χρησιμοποιούνται συνήθως 80- 100 mm νερού σε κάθε άρδευση. Αυτό σημαίνει ότι εάν εφορμοσθούν συχνότερες αρδεύσεις για τη μείωση πιθανής υδατικής καταπόνησης, τότε θα έχουμε σπατάλη νερού, συνεχή κατάκλυση του εδάφους και προβλήματα διηθητικότητας. Προκειμένου να αντιμετωπισθούν περιπτώσεις υδατικής καταπόνησης είναι ευκολότερο να αυξηθεί η συχνότητα των αρδεύσεων με καταιωνισμό ή στάγδην παρά με κατάκλυση. Επειδή όμως τόσο ο καταιωνισμός όσο και η στάγδην έχουν η κάθε μιά τα δικά της προβλήματα δεν εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις αρδευτικών νερών, εδαφών, κλίματος ή καλλιεργειών.

Το σύστημα με καταιωνισμό έχει καλή κατανομή του νερού στην επιφάνεια και σε παροχές τέτοιες που ελέγχεται η επιφανειακή απορροή. Όταν εφαρμόζεται σωστά τότε τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά τόσο για κανονική παροχή νερού στα φυτά όσο και για την ομοιόμορφη έκπλυση των αλάτων. Ορισμένες φορές ο αέρας μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα με τη μετακίνηση της δέσμης του νερού από τους εκτοξευτήρες ή το κανόνι και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Με τον καταιωνισμό μπορούν να αντιμετωπισθούν και προβλήματα θερμοκρασίας περιβάλλοντος στα φυτά, φυτρώματος όπου το φυτό είναι ευαίσθητο στα άλατα και επιφανειακή κρούστα του εδάφους. Θα πρέπει όμως να εστιασθεί η προσοχή στο γεγονός ότι ο καταιωνισμός μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα τοξικότητας από νάτριο ή χλώριο με εγκαύματα στα φυτά.

Τα διάφορα συστήματα στάγδην παρέχουν νερό σε ημερήσια ή σχεδόν ημερήσια βάση με πολύ μικρές παροχές (συνήθως 2-8 λίτρα νερού ανά σταλακτήρα). Η παροχή αυτή διατηρεί σχεδόν συνεχώς το έδαφος στην υδατοχωρητικότητά του αντικαθιστώντας σε σχεδόν ημερήσια βάση το νερό που καταναλώνεται από τα φυτά. Η άρδευση με τον τρόπο αυτό διατηρεί μία συνεχή έκπλυση των αλάτων προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Η αποτελεσματικότητά της εγγίζει το 100%. Γίνεται δηλαδή σχεδόν πλήρης εκμετάλευση του νερού αρδεύσεως. Όμως και στην περίπτωση αυτή υπάρχει απόθεση αλάτων στο έδαφος μεταξύ των σταλακτήρων και περιφερειακά του απιδιού που σχηματίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα 22. Με την πάροδο του

χρόνου η συγκέντρωση αυτή μπορεί να φθάσει σε επίπεδα υψηλά και μια μετακίνησή τους προς το ριζόστρωμα από τη βροχή μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα αλατότητας στο φυτό. Εξάλλου για ετήσια φυτά, αν αυτά βρεθούν στη ζώνη μεταξύ των σταλακτήρων θα υποστούν άμεσα τις συνέπειες της αλατότητας. Ασφαλώς αν το ετήσιο ύψος βροχής είναι σημαντικό, τότε τα άλατα είναι δυνατόν να εκπλυθούν και να μετακινηθούν κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος και τα φυτά δεν θα υποστούν τις συνέπειες. Η πιο επικίνδυνη περίοδος είναι αυτή αμέσως μετά την πρώτη βροχόπτωση διότι αφενός τα άλατα έχουν μετακινηθεί στο ριζόστρωμα και αφετέρου δεν έχει πέσει ακόμη αρκετή βροχή για την μετακίνηση των αλάτων κάτω από τη ζώνη των ριζών. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται να συνεχίζονται οι αρδεύσεις μέχρι να πέσουν 50-100 mm βροχής ανάλογα με το έδαφος. Εάν η βροχή δεν είναι αρκετή η περεταίρω έκπλυση θα πρέπει να γίνει με συνέχιση της στάγδην άρδευσης. Η έκπλυση με καταιωνισμό ή κατάκλυση μετά από στάγδην και πρίν από την επόμενη βλαστική περίοδο είναι επιτυχής, απαιτεί όμως ένα δεύτερο σύστημα αρδεύσεως και μεγάλες ποσότητες νερού. Εντούτοις πολλές φορές είναι απαραίτητη προκειμένου να επιτύχουμε καλές αποδόσεις όταν χρησιμοποιείται σχετικά αλατούχο νερό με στάγδην άρδευση.

Με τη χρήση καλής ποιότητας νερού, οι αποδόσεις με τη στάγδην άρδευση είναι εξίσου καλές ή και καλύτερες από άλλες μεθόδους. Με νερό όμως μεγαλύτερης αλατότητας ($EC_{va} > 1,0 \text{ mS/cm}$), οι αποδόσεις με τη στάγδην άρδευση είναι συχνά καλύτερες για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Συχνές αρδεύσεις με καταιωνισμό μπορούν να δώσουν εξίσου καλά αποτελέσματα, όμως υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος από εγκαύματα στα φύλλα και αποφύλλωση από προσρόφηση νατρίου και χλωρίου. Γενικά, εάν η αλατότητα του εδάφους είναι μεγαλύτερη από την αλατότητα αντοχής των φυτών τότε καλύτερα αποτελέσματα παρέχει η στάγδην άρδευση.

Τέλος σύστημα υπόγειας άρδευσης συνήθως δεν συνιστάται στις περιπτώσεις κινδύνου από αλατότητα διότι μπορεί πολύ εύκολα να υψώσει την υπόγεια στάθμη του νερού με τα γνωστά αποτελέσματα.

2.5 ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Τα φυτά δεν παρουσιάζουν την ίδια αντίδραση στην αλατότητα. Ορισμένα φυτά έχουν αξιόλογη απόδοση σε αλατούχο περιβάλλον απότι άλλα. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν την

οσμωτική τους πίεση ώστε να μπορούν να εκμεταλεύονται μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε ένα αλατούχο έδαφος. Η ικανότητα αυτή ορισμένων καλλιεργειών είναι πολύ χρήσιμη. Σε περιοχές όπου η αλατότητα δεν είναι δυνατόν να μειωθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα για τα φυτά που ήδη υπάρχουν, υπάρχει η λύση της εναλλακτικής καλλιέργειας η οποία είναι περισσότερο ανθεκτική στο συγκεκριμένο επίπεδο αλατότητας και μπορεί να έχει οικονομική απόδοση.

Υπάρχει ένα οκταπλάσιο έως δεκαπλάσιο εύρος ανθεκτικότητας στα άλατα των καλλιεργούμενων φυτών. Το γεγονός αυτό επιτρέπει ευρύτερη χρήση αλατούχων εδαφών που τα περισσότερα από αυτά στο παρελθόν θεωρούντο ακατάλληλα προς χρήση. Εξάλλου με τον τρόπο αυτό διευρύνεται η χρήση αρδευτικών νερών με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων απότι στο παρελθόν.

Η σχετική ανθεκτικότητα των περισσότερων από τα καλλιεργούμενα φυτά είναι γνωστή πλέον και αυτό επιτρέπει να υπαρχει ένας γενικός οδηγός σχετικός με την αντοχή τους στην αλατότητα. Η ανθεκτικότητα πολλών κοινών καλλιεργειών, χαμηλών, δενδρωδών ή λαχανικών δίδεται στον πίνακα 12. Στον πίνακα αυτόν περιέχονται στοιχεία για καλλιέργειες που έχουν αναπτυχθεί σε περιβάλλον αρδευόμενο ημίξερο. Σε περιπτώσεις όπου δεν υφίστανται στοιχεία για να δοθούν αριθμητικές τιμές ανθεκτικότητας, παρατίθεται μια σχετική διαβάθμιση η οποία προέρχεται από πειραματικά στον αγρό, από ύπαρξη ορισμένων σχετικών στοιχείων ή από διάφορες άλλες παραπτήρησεις. Για λόγους καθαρά συγκριτικούς στον πίνακα 13 παρατίθεται μια διαβάθμιση ανθεκτικότητας πολλών καλλιεργειών που πολλές από αυτές υπάρχουν και στον πίνακα 12. Σχηματικά και καθ' ομάδες ανθεκτικότητας δίδονται στο σχήμα 23. Τα στοιχεία σχετικής ανθεκτικότητας, ακόμη και εάν βασίζονται σε περιορισμένα στοιχεία, είναι πολύ χρήσιμα για συγκρίσεις μεταξύ των καλλιεργειών.

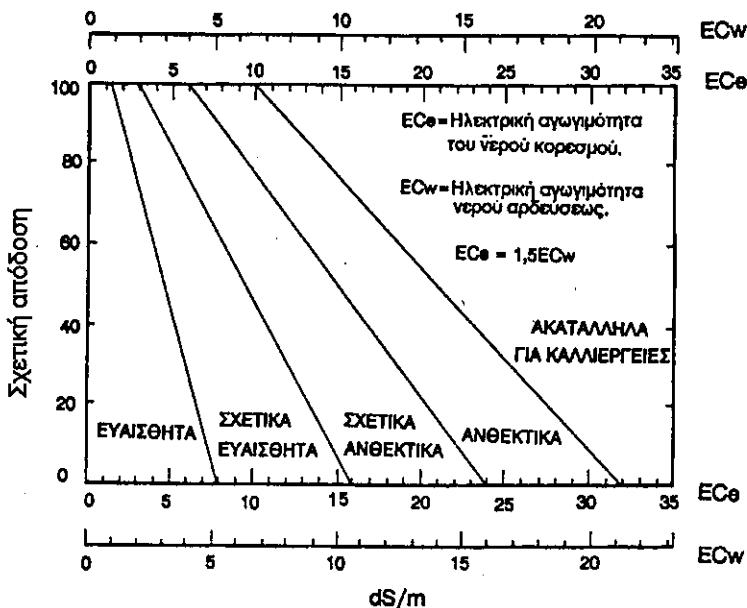
Η σχετική διαβάθμιση της ανθεκτικότητας των φυτών στα άλατα ελήφθη υπόψη προκειμένου να δοθεί ο βαθμός "περιορισμού στη χρήση" στον πίνακα 4. Για παράδειγμα τα στοιχεία του πίνακα 12 δείχνουν ότι η μέγιστη απόδοση όλων γενικά των καλλιεργειών μπορεί να επιτευχθεί με νερό που έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 0,7 mS/cm. Ο πίνακας 4 δείχνει ότι η χρήση νερού τέτοιας αλατότητας δεν έχει κανένα 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 διαπρήσουμε την αλατότητα μέσα στα πλαίσια της ανθεκτικότητας της συγκεκριμένης καλλιέργειας. Για χρήση νερού με μεγαλύτερη αλατότητα και καλλιέργειες ευαίσθητες στα άλατα, αύξηση

Πίνακας 12. Αντοχή των φυτών στα άλατα και προβλεπόμενη απόδοση ορισμένων καλλιεργειών όπως επηρεάζονται από την ποιότητα του νερού αρδεύσεως (EC_w) και την εδαφική αλατότητα (EC_e) (Maas και Hoffman, 1977; Maas, 1984).

Εκτικές καλλιέργειες	Προβλεπόμενη Απόδοση									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w
Κριθόρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	8,0	5,3	10	6,7	13	8,7	18	12	28	19
Βαμβάκι (<i>Gossypium hirsutum</i>)	7,7	5,1	9,6	6,4	13	8,4	17	12	27	18
Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>)	7,0	4,7	8,7	5,8	11	7,5	15	10	24	16
Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)	6,8	4,5	7,4	5,0	8,4	5,6	9,9	6,7	13	8,7
Σιτάρι (<i>Triticum aestivum</i>)	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,3	13	8,7	20	13
Σιτάρι ακληρό (<i>T. turgidum</i>)	5,7	3,8	7,6	5,0	10	6,9	15	10	24	16
Σέγιος (<i>Glycine max</i>)	5,0	3,3	5,5	3,7	6,3	4,2	7,5	5,0	10	6,7
Κτην. Μπιζέλι (<i>Vigna unguiculata</i>) ?	4,9	3,3	5,7	3,8	7,0	4,7	9,1	6,0	13	8,8
Φυστικιά (<i>Arachis hypogaea</i>)	3,2	2,1	3,5	2,4	4,1	2,7	4,9	3,3	6,6	4,4
Ρύζι (<i>Oryza sativa</i>)	3,0	2,0	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8	11	7,6
Καλαμόπικι (<i>Zea mays</i>)	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7
Λινόρι (<i>Linum usitatissimum</i>)	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7
Φακή (<i>Vicia faba</i>)	1,5	1,1	2,6	1,8	4,2	2,0	6,8	4,5	12	8,0
Φασόλι (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	-1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
Λαχανοκομικά										
Κολοκυθόκια (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10	6,7	15	10
Τεύτλα (<i>Beta vulgaris</i>)	4,0	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4	15	10
Κολοκύθι (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	3,2	2,1	3,8	2,6	4,8	3,2	6,3	4,2	9,4	6,3
Μπρόκολα (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14	9,1
Ντομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	13	8,4
Αγγούρι (<i>Cucumis sativus</i>)	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2	10	6,8
Σπανάκι (<i>Spinacea oleracea</i>)	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15	10
Σέλινο (<i>Apium graveolens</i>)	1,8	1,2	3,4	2,3	5,8	3,9	9,9	6,6	18	12
Λάχανο (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6	12	8,1
Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i>)	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7
Γλυκοπατάτο (<i>Ipomoea batatas</i>)	1,5	1,0	2,4	1,6	3,8	2,5	6,0	4,0	11	7,1
Πιπεριά (<i>Capsicum annuum</i>)	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Μαρούλι (<i>Lactuca sativa</i>)	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9,0	6,0
Ρεπάνι (<i>Raphanus sativus</i>)	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4	8,9	5,9
Κεμμύδι (<i>Allium cepa</i>)	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	5,0
Καρρότο (<i>Daucus carota</i>)	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,0	8,1	5,4
Φασόλι (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
Γαγγύλι (<i>Brassica rapa</i>)	0,9	0,6	2,0	1,3	3,7	2,5	6,5	4,3	12	8,0

Πίνακας 12 συνέχεια

Οπιμοφόρα	Προβλεπόμενη Απόδοση									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w
Φοίνικας (<i>Phoenix dactylifera</i>)	4,0	2,7	6,8	4,5	11	7,3	18	12	32	21
Ελιά (<i>Olea europaea</i> L.)	-	1,5	-	2,6	-	6,5	-	13,4	-	26
Καρυνθίκη	-	1,5	-	3,0	-	5,6	-	11,2	-	22
Αμφισσής	-	1,5	-	3,0	-	5,6	-	10,2	-	20
Μεγαρίτικη	-	1,5	-	3,0	-	5,6	-	-	-	-
Χανδρολιά Χαλκιδικής	-	1,5	-	1,8	-	3,6	-	8,4	-	19
Υποκείμενα Μηλιάς										
M-9	-	<0,7	-	0,7	-	1,7	-	3,7	-	7,5
M-106	-	<0,8	-	0,8	-	1,6	-	3,3	-	6,6
M-26	-	<0,6	-	0,6	-	1,3	-	3,0	-	6,3
Γκραπάνηρούτ (<i>Citrus Paradisi</i>)	1,8	1,2	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3	8,0	5,4
Πορτοκαλιά (<i>Citrus sinensis</i>)	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	8,0	5,3
Ροδακινιά (<i>Prunus persica</i>)	1,7	1,1	2,2	1,5	2,9	1,9	4,1	2,7	6,5	4,3
Βερικοκιά (<i>Prunus armeniaca</i>)	1,6	1,1	2,0	1,3	2,6	1,8	3,7	2,5	5,8	3,8
Αμπέλι (<i>Vitis sp.</i>)	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12	7,9
Αμυγδαλιά (<i>Prunus dulcis</i>)	1,5	1,0	2,0	1,4	2,8	1,9	4,1	2,8	6,8	4,5
Δαμασκηνιά (<i>Prunus domesticus</i>)	1,5	1,0	2,1	1,4	2,9	1,9	4,3	2,9	7,1	4,7
Φράουλα (<i>Fragaria sp.</i>)	1,0	0,7	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7	4,0	2,7
Χορτοδαστικά φυτά										
<i>Agropyron elongatum</i>	7,5	5,0	9,9	6,6	13	9,0	19	13	31	21
<i>Agropyron cristatum</i>	7,5	5,0	9,0	6,0	11	7,4	15	9,8	22	15
<i>Cynodon dactylon</i> (ογριάδα)	6,9	4,6	8,5	5,6	11	7,2	15	9,8	23	15
<i>Hordeum vulgare</i> (κριθόρι)	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,4	13	8,7	20	13
<i>Lolium perenne</i>	5,6	3,7	6,9	4,6	8,9	5,9	12	8,1	19	13
<i>Lotus corniculatus</i>										
<i>tenellifolium</i>	5,0	3,3	6,0	4,0	7,5	5,0	10	-6,7	15	10
<i>Phalaris tuberosa</i>	4,6	3,1	5,9	3,9	7,9	5,3	11	7,4	18	12
<i>Festuca elatior</i>	3,9	2,6	5,5	3,6	7,8	5,2	12	7,8	28	13
<i>Agropyron sibiricum</i>	3,5	2,3	6,0	4,0	9,8	6,5	16	11	28	19
<i>Vicia angustifolia</i>	3,0	2,0	3,9	2,6	5,3	3,5	7,6	5,0	12	8,1
<i>Sorghum sudanense</i>	2,8	1,9	5,1	3,4	8,6	5,7	14	9,6	26	17
<i>Elymus triticoides</i>	2,7	1,8	4,4	2,9	6,9	4,6	11	7,4	19	13
<i>Vigna unguiculata</i>	2,5	1,7	3,4	2,3	4,8	3,2	7,1	4,8	12	7,8
<i>Lotus uliginosus</i>	2,3	1,5	2,8	1,9	3,6	2,4	4,9	3,3	7,6	5,0
<i>Sesbania exaltata</i>	2,3	1,5	3,7	2,5	5,9	3,9	9,4	6,3	17	11
<i>Sphaerophysa salsula</i>	2,2	1,5	3,6	2,4	5,8	3,8	9,3	6,2	16	11
<i>Medicago sativa</i> (μηδική)	2,0	1,3	3,4	2,2	5,4	3,6	8,8	5,9	16	10
<i>Eragrostis sp.</i>	2,0	1,3	3,2	2,1	5,0	3,3	8,0	5,3	14	9,3
<i>Zea mays</i> (κολομπόκι)	1,8	1,2	3,2	2,1	5,2	3,5	8,6	5,7	15	10
<i>Trifolium alexandrinum</i>	1,5	1,0	3,2	2,2	5,9	3,9	10	6,8	19	13
<i>Dactylis glomerata</i>	1,5	1,0	3,1	2,1	5,5	3,7	9,6	6,4	12	12
<i>Alopecurus pratensis</i>	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12	7,9
<i>Trifolium pratense</i>	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
<i>Trifolium hybridum</i>	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
<i>Trifolium repens</i>	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
<i>Trifolium fragiferum</i>	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6



Σχ. 23. Σχετική αντοχή στην αλατότητα των καλλιεργούμενων φυτών (Maas 1984).

της ποσότητας του νερού για στράγγιση προκειμένου να επιτευχθεί LR μεγαλύτερο από 0,25- 0,30 πολλές φορές δεν είναι εφικτό διότι απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού. Σ' αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να έχουμε ως στόχο την αλλαγή της καλλιέργειας με περισσότερο ανθεκτική η οποία θα απαιτεί μικρότερες ποσότητες νερού για στράγγιση. Με την αύξηση της αλατότητας του νερού αρδεύσεως (ECva) στα όρια "μικρή έως μέση", η απόδοση των φυτών μπορεί να περιορισθεί σε χαμηλότερα επίπεδα διότι δεν υπάρχει ήδυνατότητα να επιτευχθεί το υψηλό κλάσμα στράγγισης (LF), ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των εδαφών με βαριά μηχανική σύσταση. Εάν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αρδεύσεως υπερβεί τα 3,0 mS/cm, όπως φαίνεται στον πίνακα 12 για "μεγάλη επίπτωση" στη χρήση, το νερό είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί, όμως η χρήση του θα πρέπει να περιορισθεί σε εδάφη με μεγαλύτερη υδατοδιαπερατότητα και σε περισσότερο ανθεκτικές καλλιέργειες όπου πιό εύκολα μπορούμε να πετύχουμε τα υψηλά κλάσματα στράγγισης (LF).

Τα δεδομένα της αντοχής των καλλιεργειών στην αλατότητα, όπως φαίνονται στον πίνακα 12 χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του LR. Εάν είναι γνωστή η περιοχή αντοχής στην αλατότητα και η αλατότητα

του νερού αρδεύσεως, τότε είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε και το σχήμα 23. Εάν δεν είναι γνωστά η εναλλαγή και το μοντέλο νερού της καλλιέργειας σε άγνωστη π.χ. περιοχή τότε το LR θα πρέπει να βασισθεί στις λιγότερο ανθεκτικές καλλιέργειες που υπάρχουν στην περιοχή. Στις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατόν η αλατότητα του νερού αρδεύσεως να συνδυαστεί με τις λιγότερο ανθεκτικές καλλιέργειες τότε είναι προτιμότερο να προτιμήσουμε περισσότερο ανθεκτικές καλλιέργειες προκειμένου να επιτύχουμε τις μεγαλύτερες δυνατές αποδόσεις. Γενικά όμως στις περιπτώσεις αμφιβολιών, είναι προτιμότερη η εγκατάσταση ενός πειραματικού (πιλότου) για να διαπιστωθεί πρώτον κατά πόσο είναι εφικτή η σχεδιαζόμενη άρδευση και δεύτερον η οικονομικότητα της συγκεκριμένης καλλιέργειας.

2.51 Παρατηρήσεις που αφορούν τον πίνακα 12.

Τα περισσότερα στοιχεία του πίνακα 12 ελήφθησαν από τις εργασίες των Maas και Hoffman (1977) και Maas (1984). Αποτελούν ουσιαστικά ένα οδηγό για την σχετική αντοχή μεταξύ των καλλιέργειών. Η απόλυτη αντοχή κάθε καλλιέργειας είναι δυνατόν να ποικιλεί ανάλογα με το μικροκλίμα της περιοχής, τις εδαφικές συνθήκες και τις καλλιεργητικές εργασίες. Σε εδάφη που περιέχουν γύψο, η αντοχή των φυτών μπορεί να είναι υψηλότερη κατά 2 mS/cm στην εδαφική αλατότητα, παραμένει όμως η ίδια για την αλατότητα του νερού αρδεύσεως.

Η EC_e αποτελεί τη μέση αλατότητα του ριζοστρώματος όπως προσδιορίστηκε από τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της πάστας του εδάφους σε mS/cm στους 25°. Η σχέση μεταξύ της EC_e και της EC_w είναι EC_e=1,5EC_w και προϋποθέτει αφενός κλάσμα στράγγισης (LF), που είναι 15-20%, και το προφύλ αλατόπτητας 40-30-20-10.

Η μηδενική απόδοση δείχνει την θεωρητική εδαφική αλατότητα (EC_e) στην οποία μηδενίζεται η ανάπτυξη των φυτών.

Τόσο η βρώμη όσο και η μηδική είναι λιγότερο ανθεκτικές στο στάδιο του φυτρώματος και το στάδιο των πρώτων φύλλων. Η EC_e 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 EC_e δεν θα πρέπει για υπερβαίνει τα 3 mS/cm στην περιοχή του σπόρου (τόσο στα κοινά τεύτλα όσο και στα ζαχαρότευτλα).

Η αντοχή των φυτών αποτελεί το μέσο όρο ορισμένων ποικιλιών εκτός από τις περιπτώσεις της ελιάς και των υποκειμένων της μηλιάς.

Για τα οπωροφόρα γενικά τα δεδομένα του πίνακα είναι εφαρμόσιμα όταν τα υποκείμενα που χρησιμοποιούνται δεν συγκεντρώνουν γρήγορα Na^+ και Cl^- ή όταν τα ιόντα αυτά δεν υπερισχύουν στο εδαφικό διάλυμα.

Τα στοιχεία της αντοχής για το γκραίπτ φρούτ, την βερυκοκιά, το αμπέλι, την αμυγδαλιά και τη δαμασκηνιά, βασίζονται στην ανάπτυξη του φυτού. Για την ελιά και τη μηλιά τα στοιχεία αντοχής βασίζονται στην ξηρή φυλλική μάζα και βασίζονται στις εργασίες των Therios and Misopolinos (1988 και 1989).

Πίνακας 13. Σχετική ανθεκτικότητα στην αλατότητα ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών (Maas, 1984).

Ανθεκτικά

Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάραρη

Κριθάρι (*Hordeum vulgare*)

Βαμβάκι (*Gossypium hirsutum*)

Ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris*)

Χορτοδοτικά

Puccinellia aeroides

Sporobolus airoides

Cynodon dactylon

Diplachne fusca

Distichlis stricta

Agropyron cristatum

Agropyron elongatum

Elymus angustus

Elymus junceus

Λαχανικά

Σπαράγγι (*Asparagus officinalis*)

Οπωροφόρα

Φοίνικας (*Phoenix dactylifera*)

Σχετικώς ανθεκτικά

Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάχαρη

Κτηνοτρ. μπιζέλι (*Vigna unguilata*)

Πίνακας 13. Συνέχεια

- Βρώμη (*Avena sativa*)
- Σίκαλη (*Secale cereale*)
- Σαφράνα (*Carthamus tinctorius*)
- Σόργο (*Sorghum bicolor*)
- Σόγια (*Glycine max*)
- Σιτάρι μαλακό (*Triticum aestivum*)
- Σιτάρι σκληρό (*Triticum turgidum*)

Χορτοδοτικά

- Hordeum vulgare* (για χόρτο)
- Bromus marginatus*
- Phalaris arundinacea*
- Melilotus alba*
- Melilotus*
- Festuca pratensis*
- Festuca elatior*
- Phalaris tuberosa*
- Panicum antidotale*
- Brassica napus*
- Bromus unioloides*
- Chloris gayana*
- Lolium italicum multiflorum*
- Lolium perene*
- Sorghum sudanese*
- Lotus corniculatus tenuifolium*
- Lotus corniculatus arvensis*
- Triticum aestivum*
- Agropyron sibiricum*
- Agropyron intermedium*
- Agropyron trahycaulum*
- Agropyron smithii*
- Elymus triticoides*
- Elymus canadensis*

Πίνακας 13. Συνέχεια

Λαχανικά

Αγγινάρα (*Helianthus tuberosus*)

Κοκκινογούλια (*Beta vulgaris*)

Κολοκυθάκια (*Cucurbita pepo melopepo*)

Οπωρωφόρα

Συκιά (*Ficus carica*)

Ελιά (*Olea europea*)

Ανανάς (*Ananas comosus*)

Ροδιά (*Punica granatum*)

Σχετικά ευαίσθητα

Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάχαρη

Φακή (*Vicia faba*)

Ρετσινολαδιά (*Ricinus communis*)

Καλαμπόκι (*Zea mays*)

Λινάρι (*Linum usitatissimum*)

Κεχρί (*Setaria italica*)

Φυστικιά, υπόγεια (*Arachis hypogaea*)

Ρύζι (*Oryza sativa*)

Ηλίανθος (*Helianthus annuus*)

Χορτοδοτικά φυτά

Μηδική (*Medicago sativa*)

Agrostis stolonifera palustris

Dichanthium aristatum

Bromus inermis

Cenchrus ciliaris

Poterium sanguisorba

Trifolium hydridum

Trifolium alexandricum

Trifolium repens (*Ladino*)

Trifolium pratense

Trifolium fragiferum

Trifolium repens (*White Dutch*)

Πίνακας 13. Συνέχεια

- Καλαμπόκι (*Zea mays*)
- Κτηνοτρ. Μπιζέλι (*Vigna unguiculata*)
- Paspalum dilatatum*
- Alopecurus pratensis*
- Bouteloua gracilis*
- Eragrostis* sp.
- Astragalus cicer*
- Arrhenatherum, *Danthonia*
- Βρώμη (*Avena sativa*)
- Dactylis glomerata*
- Σίκαλη (*Secale cereale*)
- Sesbania exaltata*
- Macroptilium atropurpureum*
- Sphaerophysa salsula*
- Lotus uliginosus*
- Vicia angustifolia*

Λαχανικά

- Μπρόκολα (*Brassica oleracea botrytis*)
- Λάχανα Βρυξελών (*Br. oleracea gemmifera*)
- Λάχανο (*Br. oleracea botrytis*)
- Κουνουπίδι (*Br. oleracea botrytis*)
- Σέλινο (*Apium graveolens*)
- Καλαμπόκι (*Zea mays*)
- Αγγούρι (*Cucumis sativus*)
- Μελιτζάνα (*Solanum melongena esculentum*)
- Brassica oleracea acephala* Br. *oleracea gongylode*
- Μαρούλι (*Latusca sativa*)
- Πεπόνι (*Cucumis melo*)
- Πιπεριά (*Capsicum annum*)
- Πατάτα (*Solanum tuberosum*)
- Ρεπάνι (*Raphanus sativus*)
- Σπανάκι (*Spinacia oleracea*)

Πίνακας 13. Συνέχεια

Κολοκύθι (Cucurbita pepo melopero)

Γλυκοπιτάτα (Ipomoea batatas)

Ντομάτα (Lycopersicon lycopersicum)

Γογγύλι (Brassica rapa)

Καρπούζι (Citrullus lanatus)

Οπωροφόρα

Αμπέλι (Vitis sp.)

Ευαίσθητα

Φυτά για σπόρο, ίνες, ζάχαρι

Φασόλι (Phaseolus vulgaris)

Parthenium argentatum

Σουσάμι (Sesamum indicum)

Λαχανικά

Φασόλι (Phaseolus vulgaris)

Καρότο (Daucus carota)

Μπάμια (Abelmoschus esculentus)

Κρεμμύδι (Allium cepa)

Pastinaca sativa

Οπωροφόρα

Αμυγδαλιά (Prunus dulcis)

Μηλιά (Malus sylvestris)

Βερυκοκιά (Prunus armeniaca)

Αβοκάντο (Persea americana)

Rubus sp.

Rubus ursinus

Annona cherimola

Κερασά (Prunus avium)

Prunus bessyi

Ribes sp.

Γκραίπτ φρούτ (Citrus paradisi)

Λεμονιά (Citrus limon)

Γλυκολεμονιά (Citrus aurantifolia)

Πίνακας 13. Συνέχεια

- Μουσμουλιά (*Eriobotrya japonica*)
- Μάνγκο (*Mangifera indica*)
- Πορτοκαλιά (*Citrus sinensis*)
- Passiflora edulis*
- Ροδακινιά (*Prunus persica*)
- Αχλαδιά (*Pyrus communis*)
- Diospyros virginiana*
- Δαμασκηνιά (*Prunus domestica*)
- Citrus maxima*
- Rubus idaeus*
- Syzgium jambos*
- Casimiroa edulis*
- Φράουλα (*Fragaria sp.*)
- Μανδαρινιά (*Citrus reticulata*)

2.52 Υπολογισμός των στοιχείων ανθεκτικότητας των καλλιεργειών.

Οι αριθμητικές τιμές του πίνακα 12 προέκυψαν από δεδομένα των Maas και Hoffman (1977) και Maas (1984). Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι ο βαθμός απόδοσης των καλλιεργούμενων φυτών μειώνεται γραμμικά καθώς η αλατότητα αυξάνεται πάνω από μία οριακή συγκέντρωση. Η γραμμική αυτή μείωση της απόδοσης βρίσκεται σε συμφωνία με τα δεδομένα από τους αγρούς μέσα στα συνήθη όρια αλατότητας. Αποκλίσεις από τη γραμμική μείωση υπάρχουν σε αποδόσεις αισθητά μικρότερες από 50% της κανονικής, όριο το οποίο είναι μη οικονομικά αποδεκτό.

Η επόμενη εξίσωση εκφράζει τη γραμμική σχέση της αλατότητας στην απόδοση και χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των τιμών του πίνακα 12.

$$Y = 100 - b \cdot (EC_e - a) \quad (62)$$

όπου, Y η σχετική απόδοση της καλλιέργειας (%)

EC_e η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ύδατος κορεσμού, mS/cm

α η οριακή τιμή της συγκέντρωσης των ολάτων

b η πτώση της απόδοσης ανά μονάδα αυξήσεως της αλατότητας

Οι τιμές των a και b μπορούν να υπολογισθούν από τον πίνακα 12. Η τιμή a (η οριακή δηλαδή τιμή της αλατότητας) είναι η EC_e για απόδοση 100% του πίνακα 12. Η τιμή b υπολογίζεται από τον πίνακα 12 ως εξής:

$$b = \frac{100}{EC_e (\text{σε } 0\% \text{ απόδοση}) - EC_e (\text{σε } 100\% \text{ απόδοση})} \quad (63)$$

Οι τιμές EC_e του πίνακα για άλλες από αυτές που συνδέονται με απόδοση 100% υπολογίστηκαν από την εξίσωση των Maas και Hoffman (1977) με ανασχηματισμό της εξίσωσης (62) ως εξής:

$$EC_e = \frac{100 + ab - y}{b} \quad (64)$$

όπου, EC_e είναι η εδαφική αλατότητα η οποία συνδέεται με ένα καθορισμένο ποσοστό απόδοσης y (παράδειγμα 4).

Οι τιμές στον πίνακα 12 παρουσιάζονται για απόδοση 100, 90, 75, 50 και 0%. Στον πίνακα 12 παρατίθενται επίσης οι τιμές αλατότητας του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) και η ισοδύναμη με την εδαφική αλατότητα (EC_e) που προήλθε από την εξίσωση 58. Ο συντελεστής που προκύπτει από τη σχέση της αλατότητας του νερού προς την αλατότητα του εδάφους και ισούται με 1,5 είναι αντιπροσωπευτικός για κλάσμα στράγγισης (LF) 15- 20%. Ο συντελεστής χρησιμοποιήθηκε στον πίνακα 4, και οι συντελεστές συμπύκνωσης για άλλες τιμές κλάσματος στράγγισης δίνονται στον πίνακα 10. Τα όρια του πίνακα 12 για την ανθεκτικότητα στα άλατα προϋποθέτουν ότι η αλατότητα του εδάφους (EC_e) προέρχεται από την συγκέντρωση των άλατων που υπάρχουν στο νερό αρδεύσεως. Εάν υφίσταται και άλλη πηγή άλατων, όπως για παράδειγμα υψηλή υπόγεια στάθμη, η σχέση της συγκέντρωσης μεταξύ της αλατότητας του νερού αρδεύσεως (EC_{va}) και της αλατότητας του εδάφους (EC_e) δεν είναι εφαρμόσιμη. Οι τιμές όμως της EC_e που δίνονται στον πίνακα 12 εξακολουθούν να είναι χρήσιμες. Θα πρέπει να τονισθεί για μια ακόμη φορά ότι η αλατότητα του εδάφους (EC_e) που αναμένεται να προέλθει μετά από τη χρήση για αρκετά χρόνια ενός νερού, προέρχεται κυρίως από τα υδατοδιαλυτά άλατα. Εάν υπάρχει υψηλή υπόγεια στάθμη, αυτή αποτελεί μια επιπρόσθετη πηγή η οποία δεν περιέχεται στη σχέση $EC_e = 1,5EC_{va}$.

Εάν οι συνθήκες μιας περιοχής δείχνουν σταθερά ότι το κλάσμα στράγγισης είναι διαφορετικό από 0,15 έως 0,20, ο συντελεστής συγκέντρωσης ($1,5EC_{va} = EC_e$) θα είναι και αυτός διαφορετικός και η

ισοδύναμη αλατόπητα του νερού (EC_e) στον πίνακα 12 θα πρέπει να αλλάξει και να δημιουργηθεί ένας νέος πίνακας. Εντούτοις, αυτό θα πρέπει να γίνει μόνον όταν η τοπική εμπειρία δείξει ότι ο συντελεστής συγκέντρωσης 1,5 είναι μή εφαρμόσιμος. Οι τιμές της εδαφικής αλατόπητας (EC_e) του πίνακα 12 για την αντοχή των καλλιεργειών πιστεύεται ότι αποτελούν τα προσφορότερα στοιχεία που υπάρχουν και δεν είναι σκόπιμο να μεταβληθούν. Είναι στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα και έχουν δοκιμασθεί σε παγκόσμια κλίμακα. Ένα μέτρο που παίρνουμε για τον έλεγχο της εδαφικής αλατόπητας είναι να μεταβάλλεται το κλάσμα στράγγισης προκειμένου να μεταβληθεί ο συντελεστής συμπύκνωσης. Ο πίνακας 10 περιέχει τους συντελεστές συμπύκνωσης για διάφορα κλάσματα στράγγισης. Τα στοιχεία αυτά είναι χρήσιμα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για την πρόβλεψη της αλατόπητας (EC_e) που αναμένεται από τη χρήση ενός νερού με δεδομένη αλατόπητα και κλάσμα στράγγισης.

Η πλειονότητα των στοιχείων απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της γραμμικής σχέσης (εξίσωση 61) είναι για αποδόσεις από 50 έως 100% της μεγίστης. Η γραμμική εξίσωση προβλέπει με επιτυχία αυτές τις αποδόσεις, γιατρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της κατά προσέγγιση θεωρητικής τιμής της εδαφικής αλατόπητας (EC_e), αλατόπητα στην οποία το φυτό αδυνατεί να προσφέρει νερό από το έδαφος, οπότε και η απόδοση μηδενίζεται. Η μέγιστη τιμή της EC_e ή η μηδενική που προκύπτει από την διαδικασία αυτή δίδεται στην τελευταία στήλη του πίνακα 12. Στο σχήμα 24 φαίνεται η πορεία αυτή από την αναμενόμενη αλατόπητα για μηδενική απόδοση.

2.521 Παράδειγμα Υπολογισμός της απόδοσης καλλιεργειών σε αλατούχο περιβάλλον.

Για καλλιέργεια βαμβακιού, από τον πίνακα 12:

$a = \eta$ οριακή τιμή συγκέντρωσης αλάτων (για απόδοση 100% της μεγίστης)

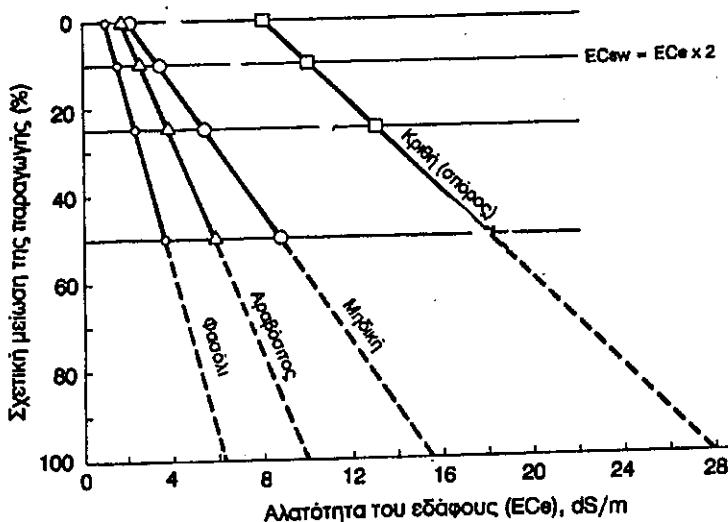
$$a = 7,7 \text{ mS/cm}$$

Από την εξίσωση 63 και τον πίνακα 12 προκύπτει:

$b = 5,2\%$ μείωση της απόδοσης ανά μονάδα αύξησης της εδαφικής αλατόπητας (EC_e)

Με αντικατάσταση των a και b στη εξίσωση 64 για απόδοση (γ) 100%,

$$EC_e = (100 + ab - \gamma)/b = 7,7 \text{ mS/cm}$$



Σχ. 24. Μέθοδος προσδιορισμού της μεγίστης EC_e (Ayres και Westcot, 1985).

Τα επόμενα δείχνουν τις τιμές EC_e που αντιστιχούν σε αποδόσεις:

Απόδοση %	EC _e
100	7,7
90	9,6
75	13
50	17
0	27

Εάν τα στοιχεία αντοχής παρουσιασθούν σε γραφική μορφή, καλλιέργειες με όμοια αντοχή στα άλατα σχηματίζουν ομάδες, οπότε φαίνονται τα όρια και η σχετική διαβάθμιση της αντοχής των καλλιεργειών. Το σχήμα 23 αποδίδει τη διαβάθμιση της σχετικής αντοχής που υπάρχει στον πίνακα 13. Οι υποδιαιρέσεις, αν και λίγο αύθαίρετες, είναι χρήσιμες για γενικούς σχεδιασμούς και συγκρίσεις μεταξύ των καλλιεργειών. Στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία, δύνεται μια σχετική διαβάθμιση αντοχής για την καλλιέργεια που στηρίζεται στην καλύτερη δυνατή εκτίμηση από πειράματα στον αγρό και από

παρατηρήσεις. Σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 24, η αντοχή των καλλιεργειών έχει ομαδοποιηθεί ως εξής:

Σχετική διαβάθμιση αντοχής των καλλιεργειών στα άλατα

Εδαφική αλατόπητα (EC_e) όπου αρχίζει πτώση της απόδοσης

Ευαίσθητα	< 1,3 mS/cm
Σχετικά ευαίσθητα	1,3 - 3,0 mS/cm
Σχετικά ανθεκτικά	3,0 - 6,0 mS/cm
Ανθεκτικά	6,0 - 10,0 mS/cm
Ακατάλληλη για καλλιέργεια (εκτός εάν είναι δεκτές μειωμένες απόδόσεις)	>10,0 mS/cm

Εάν υπάρχει μικρός αριθμός καλλιεργειών σε μια περιοχή, θα είναι σκόπιμο να ετοιμασθεί ένας ξεχωριστός πίνακας αξιολόγησης για κάθε καλλιέργεια ή ομάδα καλλιεργειών παρά να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός τα στοιχεία του πίνακα 4. Παράδειγμα για ένα τέτοιο ειδικό πίνακα είναι ο πίνακας 12.

2.53 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα.

Η απόδοση των φυτών, όταν αρδεύονται με ένα συγκεκριμένο νερό, κυμαίνεται από 100 έως 0%. Συχνά όμως υπάρχουν παράγοντες ανεξάρτητοι από την ποιότητα του νερού οι οποίοι επηρεάζουν την παραγωγή. Οι τιμές ανθεκτικότητας στον πίνακα 12 αντιπροσωπεύουν απόδόσεις όπου η αλατόπητα είναι ο μόνος περιοριστικός παράγοντας. Βεβαίως τέτοιες συνθήκες δεν υφίστανται πάντοτε. Και άλλοι παρόγοντες ασφαλώς επηρεάζουν την απόδοση. Ομως η σχετική μείωση της απόδοσης που οφείλεται αποκλειστικά στην αλατόπητα είναι αυτή που δίνεται από τον πίνακα 12.

Η αντοχή των φυτών στην αλατόπητα (πίνακας 12) έχει εφαρμογή στις καλλιέργειες κυρίως από το τελευταίο στάδιο του φυτρώματος έως την ωριμότητα. Η αντοχή κατά την φύτρωση και τα πρόωρα στάδια της φύτρωσης μπορούν να διαφέρουν και είναι γνωστή μόνο για ορισμένα φυτά. Στον πίνακα 15 υπάρχουν στοιχεία για ορισμένες καλλιέργειες που δείχνουν τη μείωση στην απόδοση ή τη μείωση στην εμφάνιση του αριθμού των βλαστιδίων κατά 50%. Γενικά εάν η εδαφική αλατόπητα στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (περιοχή τοποθέτησης του σπόρου) είναι μεγαλύτερη από 4 mS/cm, μπορεί να εμποδίσει ή να καθυστερήσει τη βλάστηση και την ανάπτυξη του βλαστιδίου κατά τα πρώτα στάδια. Η καθυστερημένη αυτή βλάστηση μπορεί να καθυ-

στερήσει την εμφάνιση του βλαστίδιου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο τη διατήρηση της επιφανειακής κρούστας και τη δημιουργία κινδύνων ασθενειών που τελικά έχουν επιπτώσεις στην παραγωγή γενικά. Βροχή ή άρδευση πρίν από τη σπορά συχνά ωφελούν στην αντιμετώπιση της αλατότητας, καθιστώντας τη δημιουργία κρούστας και δημιουργούν τις προϋποθέσεις για ένα καλό φύτρωμα.

Πίνακας 14. Ενδεικτικές τιμές για την εκτίμηση από εργαστηριακά δεδομένα της καταλληλότητας νερού για άρδευση αμπελώνων (Neja και συνεργάτες, 1978).

		Επιπτώσεις		
Πρόβλημα από την άρδευση		μονάδες	καμμία μικρή έως μέση μεγάλη	
Αλατότητα (επηράζει την διαθεσιμότητα του νερού στο φυτό)	EC_{va}	mS/cm	<1 1,0 - 2,7	>2,7
Τοξικότητα				
Νάτριο (Na ⁺)	me/l	<20	-	-
Χλώριο (Cl ⁻) "	me/l	<4	4 - 15	>15
Βόριο (B)	mg/l	<1	1 - 3	>3
Άλλα αίτια				
όξινα ανθρακικά (HCO ₃ ⁻)	me/l	<1,5	1,5 - 7,5	>7,5
νιτρικό άζωτο (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5 - 30	>30

Σημείωση: Με καταιωνισμό το νάτριο και το χλώριο κάτω από ξηροθερμικές συνθήκες σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 3 me/l μπορούν να προκαλέσουν συμπτώματα τοξικότητας στα φυτά και μείωση παραγωγής.

Υποκείμενα που χρησιμοποιούνται για ορισμένες ποικιλίες δένδρων και αμπέλου επηρεάζουν αισθητά την αντοχή στα άλατα. Τα υποκείμενα διαφέρουν μεταξύ τους στην ικανότητα να "αφαιρούν", να μη προσφέρουν δηλαδή, τα άλατα ιδιαίτερα τα τοξικά ιόντα χλωρίου και νατρίου. Με αυτή τη μείωση επιτυγχάνεται μικρότερη συγκέντρωση αλάτων στο

φυτό. Η χαρακτηριστική αυτή ικανότητα επιτρέπει τον συνδυασμό κατάλληλων υποκειμένων και ποικιλιών (εμβολίων) για την βελτίωση της απόδοσης σε συνθήκες αλατόπητας εδάφους ή νερού αρδεύσεως.

Διαφορές μεταξύ των ποικιλιών υφίστανται επίσης στα επήσια φυτά. Οι μεγαλύτερες διαφορές στη αντοχή στα άλατα εμφανίζονται μεταξύ των φυτών με τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Ορισμένα από αυτά έχουν αισθητά μεγαλύτερη ή μικρότερη αντοχή από αυτή του πίνακα 12. Προσεκτική επιλογή ανάμεσα από στις ποικιλίες που υπάρχουν είναι απαραίτητη εάν η αλατόπητα του νερού αρδεύσεως είναι τέτοιου βαθμού ώστε να βρίσκεται στα όρια αντοχής των φυτών.

Ο πολλαπλασιασμός και η ανάπτυξη των φυτών με σκοπό την επιλογή για την αντοχή τους στα άλατα άρχισε μόνο τελευταία να λαμβάνει έκταση. Τα μέχρι σήμερα υπάρχοντα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά και έχουν προωθήσει νέα πεδία έρευνας στην γενετική της αντοχής στα άλατα, ιδιαίτερα μεταξύ συγγενών ποικιλιών ή σειρών εντός των ποικιλιών. Η επιτυχία της έρευνας αυτής θα είναι πολύ σημαντική για την χρήση περισσότερο αλατούχων νερών, θα πρέπει όμως να εφαρμοσθεί με περίσκεψη. Κάθε νέα ποικιλία με μεγαλύτερη αντοχή θα πρέπει να αξιολογηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα που παρέχει. Οπιωσδήποτε απαιτείται χρόνος όχι μικρότερος της δεκαετίας πριν κυκλοφορήσουν στο εμπόριο ποικιλίες ανθεκτικότερες από τις ήδη υπάρχουσες. Η αντοχή στα άλατα των φυτών όπως φαίνεται στον πίνακα 12 θα είναι και στην περίπτωση αυτή η βάση για την αξιολόγηση των περισσότερων καλλιεργειών.

Το κλίμα επηρεάζει επίσης την αντοχή στην αλατόπητα ή την ξηρασία. Γενικά, καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε δροσερότερες περιοχές ή κατά την ψυχρότερη περίοδο του έτους έχουν μεγαλύτερη αντοχή στα άλατα απότι εάν καλλιεργούντο σε θερμότερα κλίματα ή θερμότερες και ξηρότερες συνθήκες. Από τη στιγμή που η ανάγκη του φυτού για νερό είναι μεγαλύτερη κατά τη ψυχρή περίοδο (διότι τότε αναπτύσσεται το φυτό), το αποτέλεσμα της μικρότερης διαθεσιμότητας του νερού λόγω αλατόπητας δεν είναι τόσο οριακό και έτσι ένα μεγαλύτερο ποσοστό βροχής ή αρδευτικού νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το ξέπλυμα των συγκεντρωθέντων αλάτων. Αντίθετα σε περιόδους με μεγάλη ανάγκη νερού για την εξατμισοδιαπνοή (ΕΤ) κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, κάτω από ξηρές και θερμές συνθήκες, το νερό μπορεί να μη είναι αρκετό για αραίωση ή την απομάκρυνση των αλάτων από την περιοχή του ριζοστρώματος. Κάτω από τέτοιες συνθήκες τα φυτά παρουσιάζουν νωρίτερα συμπτώματα υδατικής καταπόνησης και αυτές είναι ακόμα εντονότερες όταν συνδιάζονται με ξηρούς ανέμους.

Το κλίμα επηρεάζει περιόστερο τις ευαίσθητες στα άλατα ποικιλίες των φυτών απότι τις ανθεκτικές.

Πίνακας 15. Σχετική αντοχή στα άλατα ορισμένων καλλιεργειών στο στάδιο του φυτρώματος (Maas, 1984).

Καλλιέργεια	Μείωση της απόδοσης ή ικανότητας του βλαστιδίου κατά 50% (EC _e σε mS/cm)
Hordeum vulgare	16 - 24
Gossypium hirsutum	15,5
Beta vulgaris	6 - 12,5
Sorgum bicolor	13
Carthamus tinctorius (αγριοσαφράνα)	12,3
Triticum aestivum	14 - 16
Beta vulgaris	13,8
Medicago sativa	8,2 - 13,4
Lycopersicon lycopersicum	7,6
Oryza sativa	18
Brassica oleaceae capitata	13
Cucumis melo	10,4
Zea mays	21 - 24
Lactuca sativa	11,4
Allium cepa	5,6 - 7,5
Phaseolus vulgaris	8,0

Η λίπανση έχει μικρή επίδραση στην αντοχή στα άλατα. Εάν η λίπανση είναι απαραίτητη, πρόωρη λίπανση αυξάνει τις αποδόσεις, αλλά εάν δεν είναι περιοριστικός παράγοντας τότε επιπρόσθετο λίπασμα δεν βελτιώνει την αντοχή στα άλατα. Από τη στιγμή που τα λιπάσματα είναι υδατοδιαλυτά άλατα, η χρονική κατανομή τους και ο τρόπος εφαρμογής τους έχει σημασία, διότι λανθασμένες πρακτικές μπορούν να οδηγήσουν σε επιπρόσθετη αλάτωση ή δημιουργία αλατότητας (όπως π.χ. στα θερμοκήπια).

2.54 Αντοχή των φυτών στην αλατότητα όταν αρδεύονται με καταιωνισμό.

Καθώς η ποσότητα νερού μειώνεται ανάμεσα σε δύο αρδεύσεις, η συγκέντρωση των άλατων αυξάνει και κατά συνέπεια τα φυτά εκτί-

θενται σε μια αυξανόμενη αλατότητα του εδάφους όσο αυξάνεται ο χρόνος μεταξύ δύο αρδεύσεων. Εάν το νερό είναι ο περιοριστικός παράγων, τα φυτά πιθανόν να υποστούν καταπόνηση υδατική ή οσμωτική. Κατά συνέπεια αναμένεται, στις περιπτώσεις αυτές, τα φυτά να μπορούν να αντέξουν σε μια μέση αλατότητα τού νερού αρδεύσεως όταν οι αρδεύσεις είναι συχνότερες. Η άρδευση με καταιωνισμό δίνει τη δυνατότητα για συχνότερες και περισσότερο ομοιόμορφες εφαρμογές νερού απότι οι επιφανειακές μέθοδοι. Όμως παρατεταμένη άρδευση μπορεί να προκαλέσει κακές συνθήκες αερισμού του εδάφους, ιδιαίτερα σε βαρειά εδάφη με κακή στράγγιση. Ανεπαρκής στράγγιση σε περιπτώσεις υψηλής υπόγειας στάθμης μπορεί να επηρεάσει την αντοχή των φυτών στην αλατότητα. Τα φυτά τότε είναι δυνατόν να αναζητήσουν και να πάρουν τις ποσότητες νερού κατευθείαν (μέσω του φυλλώματός τους) από την αρχική πηγή και, ανάλογα με την ποιότητα του νερού αρδεύσεως, να συμπεριφερθούν με διαφορετικό από ό,τι αναμενόταν τρόπο ως προς τα επίπεδα αλατότητας του εδάφους.

Εκτός από τα αρνητικά αποτελέσματα που είναι δυνατόν να παρουσιαστούν από τον καταιωνισμό σε ό,τι αφορά την εδαφική αλατότητα, καλλιέργειες που αρδεύονται με αυτό το σύστημα άρδευσης είναι επιτηρεπείς σε καταστροφές των φύλλων τους λόγω προσρόφησης αλάτων. Ο βαθμός καταστροφής συνδέεται με την περιεκτικότητα άλατος στα φύλλα, και επιτείνεται με τις καιρικές συνθήκες και την υδατική καταπόνηση. Για παράδειγμα, τα φύλλα είναι δυνατόν να περιέχουν Na^+ και Cl^- σε επίπεδα που μπορεί να είναι τοξικά για αρκετές εβδομάδες χωρίς να παρουσιάζουν συμπτώματα τοξικότητας. Όμως η πρώτη υψηλή θερμοκρασία με ξηρό καιρό θα δημιουργήσει έντονη νέκρωση των φύλλων. Γιαυτό και δεν υπάρχει ασφαλής συσχέτιση μεταξύ της νέκρωσης των φύλλων και της συγκέντρωσης των αλάτων σ' αυτά.

Τα ιόντα Na^+ , Ca^{++} και Cl^- , όταν περιέχονται στο νερό αρδεύσεως, απορροφώνται αμέσως από τα φύλλα των περισσότερων φυτών όταν αρδεύονται με καταιωνισμό. Η ταχύτητα απορροφήσεως αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων αυτών. Αν κρι η απορρόφηση εξαρτάται από την ενέργεια μεταβολισμού, εντούτοις φαίνεται ότι δεν απαιτεί την παρουσία φωτός. Τα άναφερόμενα μέχρι τώρα αποτελέσματα αντικρούονται μεταξύ τους στο κατά πόσο το φώς είναι απαραίτητο στην απορρόφηση των ιόντων. Εντούτοις, όταν ο καταιωνισμός γίνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας η απορρόφηση των ιόντων, και κατά συνέπεια οι καταστροφές στα φύλλα, είναι μικρότερες. Εφόσον η ταχύτητα απορροφήσεως αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, η συγκέντρωση των αλάτων θα είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια θερμών περιόδων.

Πίνακας 16. Σχετική αντοχή καλλιέργειών, που αρδεύονται με καταιωνισμό, στην αλατότητα που υπάρχει στα φύλλα ή στις ρίζες (Maas, 1985).

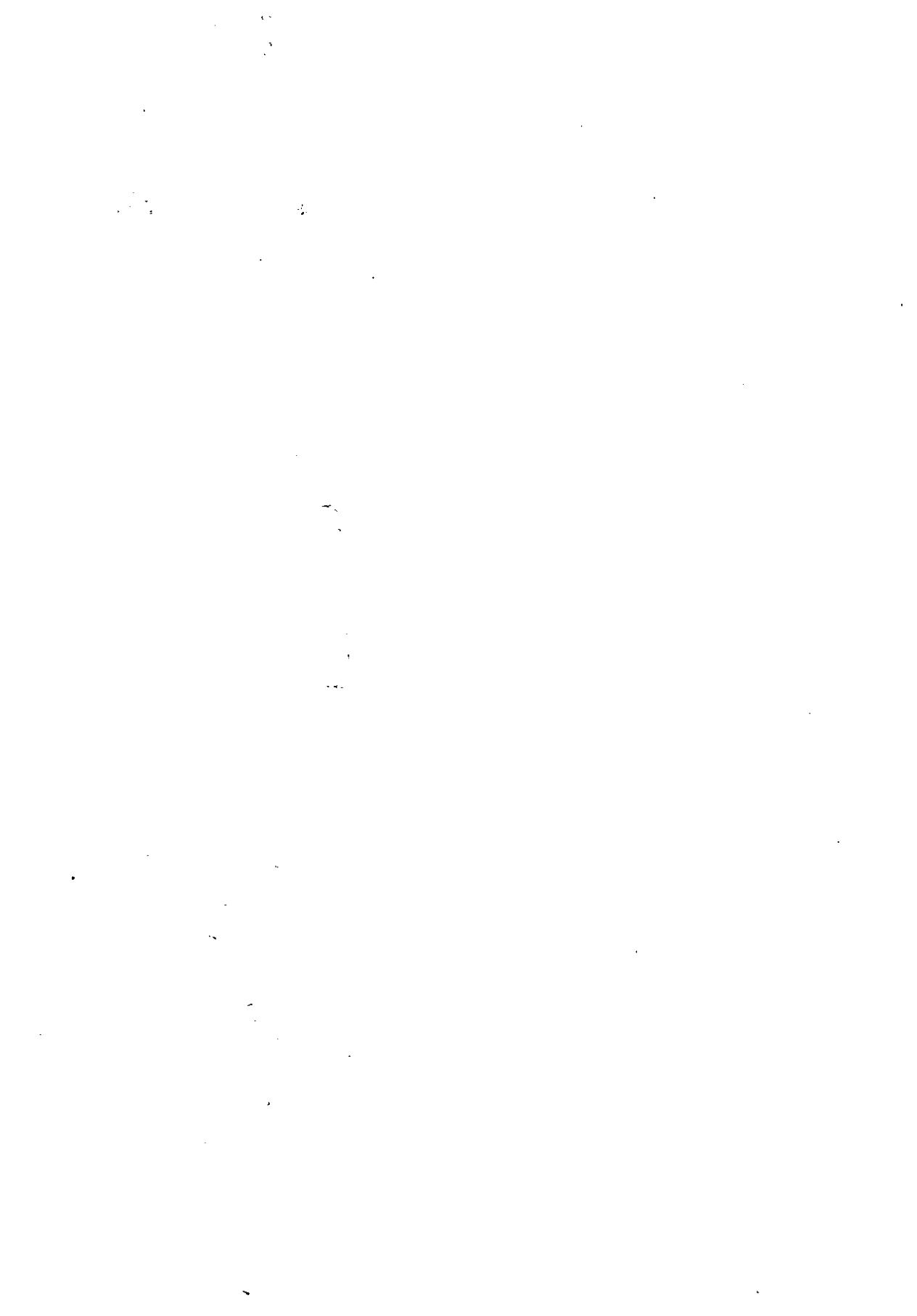
Καλλιέργεια	όριο αλατότητας	
	Μεγίστη EC ₁₀₀ χωρίς βλάβη από απορρόφηση στα φύλλα, mS/cm.	Μεγίστη EC ₁₀₀ χωρίς μείωση απόδοσης από εδαφική αλατότητα, mS/cm.
	Αμυγδαλιά <0,5	1,0
Βερυκοκιά <0,5	1,1	
Εσπεριδοειδή <0,5	1,1	
Δαμασκηνιά <0,5	1,0	
Αμπέλι 0,5-1,0	1,0	
Πιπεριά 0,5-1,0	1,0	
Πατάτα 0,5-1,0	1,1	
Ντομάτα 0,5-1,0	1,7	
Μηδική 1,0-2,0	1,3	
Βρώμη 1,0-2,0	5,3	
Άραβόστιος 1,0-2,0	1,1	
Αγγούρι 1,0-2,0	1,7	
Σουσάμι 1,0-2,0	-	
Σόργο 1,0-2,0	4,5	
Φράουλα 2,0-4,0	0,7	
Βαμβάκι 3,0-6,0	5,1	
Ζαχαρότευτλα 3,0-6,0	4,7	
Ηλίανθος 3,0-6,0	-	

Υπάρχουν πολύ περιορισμένα στοιχεία σχετικά με τη μείωση των αποδόσεων των φυτών όταν αρδεύονται με καταιωνισμό και με σχετικά αλατούχο νερό. Ο πίνακας 16 δίνει τα κατώτερα όρια αλατότητας πέρα από τα οποία αρχίζουν συμπτώματα βλάβης των φύλλων και μείωση της παραγωγής τόσο από καταιωνισμό όσο και από την εδαφική αλατότητα. Τα φυτά του πίνακα 16 που έχουν όρια καταστροφής, λόγω αλατότητας από καταιωνισμό, μικρότερα από αυτά της εδαφικής αλατότητας, υφίστανται μεγάλες καταστροφές όταν καταιωνίζονται με νερό ίσης ή μεγαλύτερης αλατότητας με αυτήν του εδάφους. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τα όρια του πίνακα 16 έχουμε τόσο καταστροφές στα φύλλα όσο και μείωση της απόδοσης. Εάν τα αποτελέσματα είναι προσθετικά (από την απορρόφηση αλάτων από τα φύλλα και από

την εδαφική αλατόπητα) αναμένεται μείωση της παραγωγής μεγαλύτερη από αυτήν που εμφανίζεται στον πίνακα 12. Τα αλατούχα νερά (κυρίως από NaCl) με τιμές EC υψηλότερες από τις οριακές του πίνακα 16 αναμένεται να προκαλέσουν βλάβες στα φύλλα των καλλιεργειών που καταιωνίζονται επί 5 ή περισσότερες ώρες την εβδομάδα κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Ο βαθμός καταστροφής επηρεάζεται από τις καλλιεργητικές φροντίδες και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

2.6 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η αλάτωση μιας περιοχής, σχεδόν πάντοτε είναι συνδεμένη και με τη νατρίωση του εδάφους της. Ετσι λοιπόν θεωρείται σκόπιμο να αναπυχθεί η βελτίωση μετά το τέλος του κεφαλαίου των νατριωμένων εδαφών για να εξετασθούν τα δύο προβλήματα συγχρόνως διότι κατά κανόνα συνυπάρχουν στο έδαφος.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΛΑΤΟΥΧΑ - ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΑ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ

Γενικά

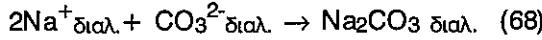
Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάστηκε μια κατηγορία εδαφών, τα αλατούχα, καθώς και οι διεργασίες οι οποίες οδηγούν μια περιοχή σε αλάτωση. Από τη στιγμή που αρχίζουν οι διεργασίες της αλάτωσης μιας περιοχής δημιουργούνται και οι προϋποθέσεις οι οποίες στη συνέχεια θα οδηγήσουν το έδαφος της περιοχής σε νατρίωση. Και, εάν μεν η αλάτωση μιας περιοχής μπορεί να θεωρηθεί ως μία μεταβολή του εδαφικού περιβάλλοντος που μπορεί να αποκατασταθεί σχετικά εύκολα, η νατρίωση είναι μεταβολή η οποία αποκαθίσταται πολύ δύσκολα. Για να οδηγηθεί δύμως ένα έδαφος, μετά την αλάτωσή του, σε νατρίωση, απαιτείται ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΝΑΤΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΠΩΣ ΣΥΝΤΕΛΕΙΤΑΙ

Το έδαφος ως γνωστόν βρίσκεται σε ισορροπία με την υγρή και αέρια φάση που το περιβάλλει. Αυτό σημαίνει ότι η εναλλακτική φάση του εδάφους βρίσκεται σε ισορροπία με τα ιόντα τα οποία υπάρχουν στο εδαφικό διάλυμα. Πρωτού το έδαφος καταστεί αλατούχο, επειδή στην υγρά φάση επικρατούν τα ιόντα του Ca^{2+} , λιγότερο του Mg^{2+} και ακόμη λιγότερο του Na^+ και του K^+ , οι εναλλακτικές θέσεις των ορυκτών της αργίλου είναι δεσμευμένες κυρίως με ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου (80%) και λιγότερο με τα άλλα καπιόντα.

Από τη στιγμή που το εδαφικό διάλυμα εμπλουτίζεται με άλατα, αρχίζουν και μεταβάλλονται πλέον οι σχέσεις των ανιόντων και καπιόντων στο διάλυμα. Με την πρόοδο της αλάτωσης, η συμπύκνωση του διαλύματος οδηγεί ορισμένα άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου σε σταδιακή καθίζηση. Το εδαφικό διάλυμα ως γνωστό περιέχει, κυρίως,

χλωριούχα και θειικά άλατα του Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ και K^+ . Με το CO_2 του εδαφικού περιβάλλοντος δημιουργούνται και τα αντίστοιχα ανθρακικά άλατα. Τα ανθρακικά άλατα του Ca^{2+} και Mg^{2+} και στη συνέχεια τα θειικά του Ca^{2+} με τη σταδιακή συμπύκνωση αρχίζουν και καθιζάνουν λόγω μεγάλων πιμών στους αρνητικούς λογάριθμους του γινόμενου διαλυτόπτητάς τους (pL). Το Na_2CO_3 , ως ευδιάλυτο άλας, παραμένει στο εδαφικό διάλυμα. Λόγω όμως της αλκαλικής του αντίδρασης δημιουργεί αλκαλικό περιβάλλον το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της καθίζησης των ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και Mg^{2+} και των θειικών του Ca^{2+} ,



Με τους μηχανισμούς που περιγράφηκαν γίνεται η αρχή στο αλατούχο έδαφος μιας σταδιακής διαφοροποίησης στη σύνθεση του εδαφικού διαλύματος. Τα ιόντα του ασβεστίου και μαγνησίου που αποτελούσαν καταρχήν το κυρίαρχο ποσοστό (80%) στο εδαφικό διάλυμα αρχίζουν και μειώνονται. Τα άλατα του νατρίου (NaCl και Na_2CO_3) ως ευδιάλυτα παραμένουν στο διάλυμα και το ποσοστό τους συνεχώς αυξάνει.

Η μεταβολή αυτή του εδαφικού διαλύματος αρχίζει στη συνέχεια και διαταράσσει την ισορροπία της στρεγής και της υγρής φάσης του συστήματος. Για να καταστεί, όμως, η μεταβολή αυτή καθοριστική για το έδαφος θα πρέπει το νάτριο να αποτελεί το 50% τουλάχιστον του συνόλου των κατιόντων του εδαφικού διαλύματος για να μπορεί να αντικαταστήσει το ασβέστιο και το μαγνήσιο από τις εναλλακτικές θέσεις.

Με τη πρόοδο της καθίζησης του ανθρακικού ασβεστίου και του μαγνησίου καθώς και του θειικού ασβεστίου, η περιεκτικότητα του νατρίου στο εδαφικό διάλυμα αυξάνει έναντι των άλλων κατιόντων μέχρι την τέλεια επικράτησή της. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνει και το ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου.

Όταν η περιεκτικότητα του νατρίου στην εναλλακτική φάση δηλαδή το ESP υπερβεί το 15% τότε το έδαφος θεωρείται νατριωμένο.

Έτσι λοιπόν με την πάροδο του χρόνου τα εδάφη γίνονται πρώτα αλατούχα και στη συνέχεια αλατούχα-νατριωμένα. Αν, για κάποιο λόγο

με φυσικό ή τεχνητό τρόπο το αλατούχο εδαφικό διάλυμα, αντικαταστάθει με διάλυμα μικρής περιεκτικότητας σε άλατα (mS/cm), τότε το έδαφος μεταπίπτει σε μη αλατούχο - νατριωμένο.

Η περιεκτικότητα σε νάτριο της εναλλακτικής φάσης εκφράζεται, ως ποσοστό της συνολικής περιεκτικότητας των καπιόντων, με ESP (exchangeable-sodium-percentage) :

$$ESP = \frac{Ναεναλ (me/100g)}{CEC (me/100g)} \cdot 100 \quad (69)$$

Αντίστοιχο είναι και το ESF :

$$ESF = \frac{Ναεναλ (me/100g)}{CEC (me/100g)} \quad (70)$$

Γενικά διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες εδαφών που προκύπτουν από τις ίδιες διεργασίες :

1. Εδάφη αλατούχα, $EC_e > 2 \text{ mS/cm}$, $ESP, pH, 5$.
2. Εδάφη αλατούχα-νατριωμένα,
 $EC_e > 2 \text{ mS/cm}$, $SAR > 13$, $ESP > 15$,
 $pH < 8,5$.
3. Εδάφη μη αλατούχα-νατριωμένα, $EC_e < 2 \text{ mS/cm}$, $SAR > 13$,
 $ESP > 15$, $pH = 8,5-10$.

3.2 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΛΑΤΩΣΗ-ΝΑΤΡΙΩΣΗ

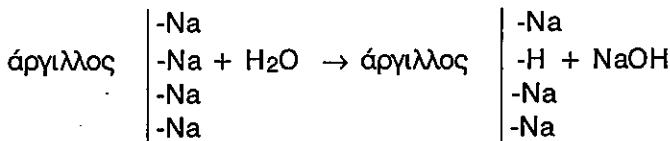
Ήδη έχουν περιγραφεί ορισμένες μεταβολές που συμβαίνουν τόσο στο εδαφικό διάλυμα όσο και στην εναλλακτική φάση του εδάφους. Οι μεταβολές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του νατρίου στο εδαφικό διάλυμα και στην εναλλακτική φάση.

Όταν το έδαφος είναι αλατούχο τότε έχουμε μόνο την επίδραση της συγκεντρώσεως των αλάτων του εδαφικού διαλύματος στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και κυρίως στη διηθητικότητά του. Όταν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μεγάλη (πιθανόν να φθάνει στο νερό κορεσμού και τα 1.300 me/l), τότε η άργιλος του εδάφους βρίσκεται σε κατάσταση ισχυρής θρόμβωσης. Η ισχυρή θρόμβωση δημιουργεί στο έδαφος μεγάλη διηθητικότητα. Αν η συγκέντρωση των αλάτων είναι μικρή τότε μειώνεται και η διηθητικότητά του.

Όταν το έδαφος είναι αλατούχο- νατριωμένο τότε υπάρχουν δύο παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν και διαμορφώνουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Ο ένας παράγοντας είναι η συγκέντρωση των αλάτων του εδαφικού διαλύματος και ο άλλος είναι το εναλλακτικό νάτριο της στερεάς φάσης. Η μεγάλη συγκέντρωση των αλάτων δημιουργεί προυποθέσεις θρόμβωσης της αργίλου ενώ το υψηλό ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου (ESP > 15) δημιουργεί τις προυποθέσεις διόγκωσης και διαμερισμού της. Το πιο ακριβώς θα συμβεί σ' ένα συγκεκριμένο αλατούχο-νατριωμένο έδαφος εξαρτάται από τους συνδυασμούς της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού κορεσμού (EC_e) και του ESP όπως φαίνεται και στο σχήμα 25.

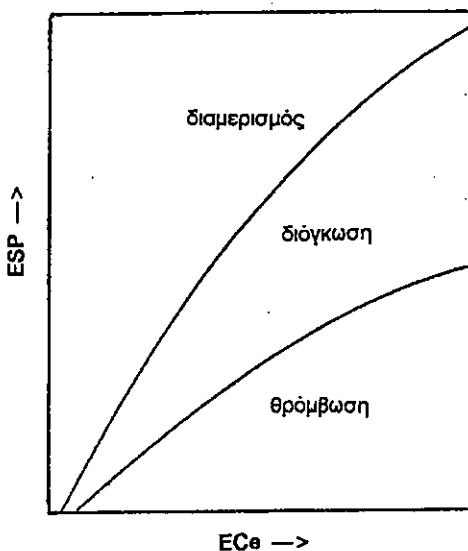
Όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται (σχήμα 25) έναντι του ESP τότε η άργιλος βρίσκεται σε θρόμβωση και έτσι διατηρείται η διηθητικότητα σε ικανοποιητική κατάσταση. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη σημασία για τη βελτίωση των εδαφών αυτών, όπως θα αναπτυχθεί στη συνέχεια.

Τέλος όταν το έδαφος είναι μη αλατούχο- νατριωμένο τότε το υψηλό ποσοστό του εναλλακτικού νατρίου και το υψηλό pH (>8,5) καθορίζουν τη διηθητικότητα του εδάφους. Η πολύ μικρή συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα των εδαφών αποτελεί παράγοντα αυξήσεως της ταχύτητας υδρολύσεως ενός ποσοστού του εναλλακτικού νατρίου που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία NaOH και την αύξηση του pH.

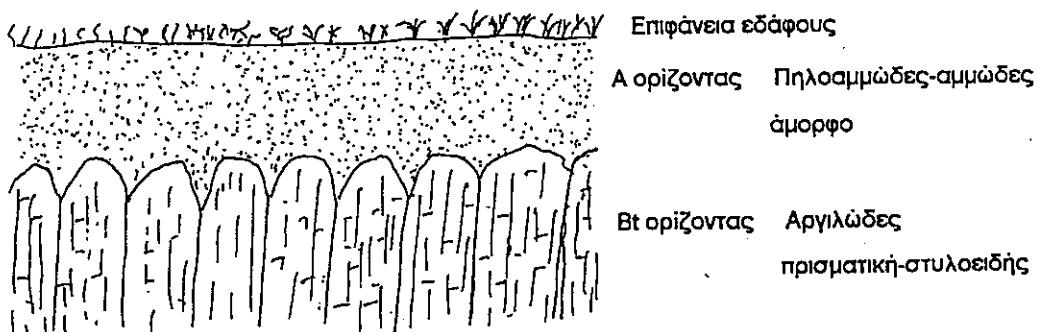


Όπως φαίνεται στο σχήμα 25 η μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα και το μεγάλο ESP σε συνδυασμό με το pH δημιουργούν τις προυποθέσεις διόγκωσης και διαμερισμού της αργίλου που συνεπάγεται το κλείσιμο των πόρων του εδάφους και την πτώση, σε μηδενικά σχεδόν επίπεδα, της διηθητικότητάς του. Η άργιλος που βρίσκεται σε κατάσταση διαμερισμού αρχίζει στο αλκαλικό περιβάλλον του εδάφους και μετακινείται προς βαθύτερα στρώματα (μετακίνηση από τον ορίζοντα A προς τον B) ή απομακρύνεται με τη διάβρωση της επιφάνειας του εδάφους.

Λόγω της μετακίνησης και της απομάκρυνσης της αργίλου εμπλουτίζεται ο A ορίζοντας με σκελετικά συστατικά (χονδρή ιλύ και άμμο) και ο B με άργιλο. Η μεγάλη συγκέντρωση της αργίλου στον B ορίζοντα δημιουργεί συμπαγή υφή και δομή πρισματική ή στυλοειδή. Στη συνέχεια



Σχήμα 25. Σχηματικό διάγραμμα το οποίο δείχνει τη συμπεριφορά της αργίλου στις μεταβολές του ESP και της ECe (Bolt και Bruggenwert, 1976).

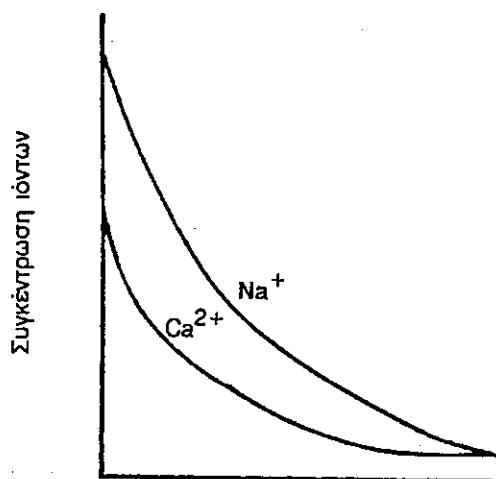


Εικόνα 2. Κατατομή νατριωμένου εδάφους.

η διάβρωση απομακρύνει τα σκελετικά συστατικά από τον Α ορίζοντα και εμφανίζεται στην επιφάνεια ο Β ορίζοντας με την πρισματική του δομή, με συνέπεια η επιφάνεια του εδάφους να παρουσιάζει μικροεξάρσεις και βυθίσματα (Εικόνα 2) λόγω των ανωμαλιών του επάνω τμήματος του Β ορίζοντα.

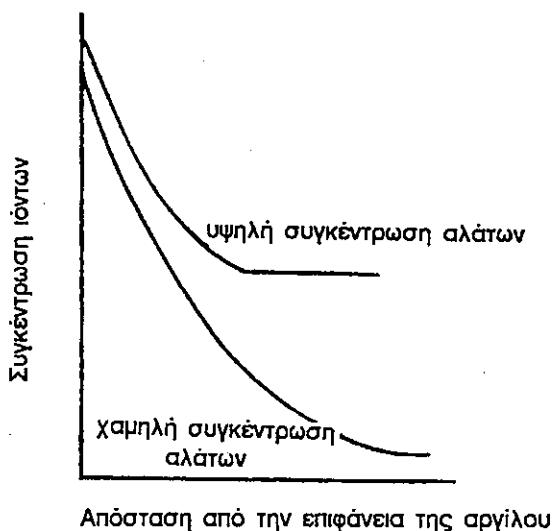
3.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Σύμφωνα με τη θεωρία της διπλοστοιβάδας σε αιωρήματα αργίλου το αρνητικό φορτίο των τεμαχίδων της αργίλου περιβάλλεται από έναν αντίστοιχο αριθμό αντίθετα φορτισμένων ιόντων. Ένα τέτοιο σύστημα υποβάλλεται σε δύο αντίθετες τάσεις. Η μία είναι οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις οι οποίες έλκουν τα θετικώς φορτισμένα ιόντα στην άργιλο που έχει αρνητικό φορτίο, και, η δεύτερη, που ενεργεί ταυτόχρονα με την προηγούμενη, είναι η απώθηση των θετικώς φορτισμένων ιόντων μακριά από την επιφάνεια της αργίλου στο εδαφικό διάλυμα που έχει μικρότερη συγκέντρωση από αυτήν κοντά στην επιφάνεια της αργίλου. Ήτοι η συγκέντρωση των ιόντων είναι μεγάλη κοντά στην επιφάνεια των τεμαχι-



Απόσταση από την επιφάνεια της αργίλου

Σχ. 26. Κατανομή δισθενών και μονοσθενών καπιόντων της αυτής συγκεντρώσεως κοντά στην επιφάνεια της αργίλου (Shainberg, 1975).



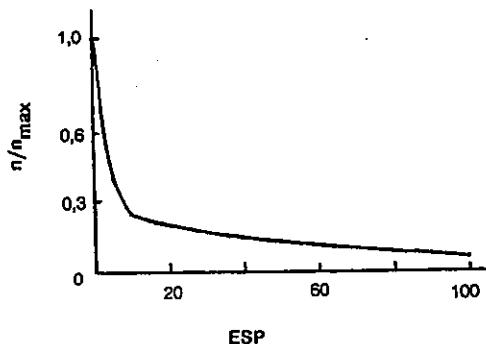
Σχ. 27. Σχηματική καπιονική κατανομή (με μονοσθενή καπιόντα) σε δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις (Shainberg, 1975).

δίων της αργίλου και ελαττώνεται ανάλογα με την απόστασή της από την επιφάνεια της.

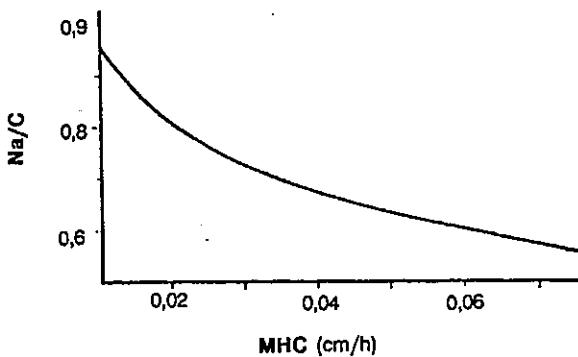
Η έλξη προς την επιφάνεια, για την ίδια συγκέντρωση, είναι διπλάσια για τα δισθενή απ' όπι για τα μονοσθενή καπιόντα (Σχ. 26).

Εξάλλου σ'ένα ομοιονικό σύστημα, όπως είναι μια άργιλος κορεσμένη με νάτριο, όταν η συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα είναι μεγάλη τότε η τάση διάχυσης των καπιόντων που περιβάλουν την άργιλο είναι μικρή (Σχ. 27). Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του εδαφικού διαλύματος συμπιέζει τη διπλοστοιβάδα προς την επιφάνεια της αργίλου. Με αυτά τα φαινόμενα μπορούμε να εξηγήσουμε τη διόγκωση και τη διασπορά της αργίλου σε τέτοια συστήματα (αλατούχα-νατριωμένα εδάφη ή νατριωμένα εδάφη).

Όταν η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος είναι μεγάλη, όταν δηλαδή το έδαφος είναι αλατούχο-νατριωμένο, η διπλοστοιβάδα συμπιέζεται και η άργιλος βρίσκεται σε θρόμβωση. Όταν η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος αρχίζει και ελλατώνεται, όταν δηλαδή από το έδαφος αρχίζουν και απομακρύνονται με έκπλυση τα άλατα του νατρίου, η διπλοστοιβάδα εκτείνεται και η άργιλος βρίσκεται σε διόγκωση. Όταν το ESP του εδάφους είναι αυξημένο τότε έχουμε και διαμερισμό της αργίλου. Ο μηχανισμός του διαμερισμού αυτού είναι η υποκατάσταση



Σχ. 28. Μέσος αριθμός φυλλιδίων ανά τακτοειδές σε διάφορα ESP. Το n είναι ο αριθμός των φυλλιδίων ανά τακτοειδές και n_{max} είναι ο αριθμός των φυλλιδίων ανά τακτοειδές όταν το Ca είναι 100% (Shomer και Mingelgrin, 1978).



Σχ. 29. Σχέση του Na/C του διηθήματος και της μέσης μδραυλικής αγωγιμότητας σε έδαφος με βαριά μηχανική σύσταση και μοντμοριλλονιτική άργιλο. C, η ολική συγκέντρωση του διηθήματος (Misopolinos, 1987).

του Ca^{2+} από Na^+ στα τεμαχίδια της αργίλου (που ονομάζονται τακτοειδή), και τη θραύση και διαχωρισμό των τακτοειδών προς μικρότατα φυλλίδια. Η θραύση των τακτοειδών φαίνεται ότι αρχίζει όταν το ESP ξεπεράσει το 5% και είναι πλήρης όταν φθάσει σχεδόν το 50% (Σχ. 28).

Η ιδιότητα του εδάφους που βρίσκεται σε άμεση σχέση με τα ιόντα του νατρίου, εκτός βεβαίως από τα τοξικά ή οσμωτικά φαινόμενα, είναι η κίνηση του νερού στο έδαφος. Η διόγκωση και η διασπορά είναι δύο έχωριστες διαδικασίες πολύ σπουδαίες που μπορούν καθε μία από αυ-

τές να μειώσουν την υδραυλική αγωγιμότητα σ'ένα έδαφος Επειδή υπάρχει άμεση εξάρτηση μεταξύ αφενός της διόγκωσης και της διασποράς και αφετέρου της σχέσης Na/Ca, η υδραυλική αγωγιμότητα είναι στενά συνδεμένη με αυτή τη σχέση (Σχ. 29). Η διόγκωση είναι μία αντιστρεπτή διαδικασία και αρχίζει σε ESP μεγαλύτερο από 20 έως 25%. Αντίθετα, η διασπορά και το κλείσιμο των εδαφικών πόρων από τη μετακίνηση της αργίλου είναι μία διαδικασία μη αντιστρεπτή και κατά συνέπεια η μείωση στη διαπερατότητα μπορεί να είναι μόνιμη.

Η διασπορά μπορεί να αρχίσει από $ESP=5$ όταν η συκέντρωση του εδαφικού διαλύματος είναι μικρή.

Η ταχύτητα διηθήσεως γενικά είναι μικρή σε υψηλές τιμές ESP και είναι δυνατόν να μειωθεί ακόμη περισσότερο σε τιμές ESP έως και 2 ακόμη όταν η EC του εδαφικού διαλύματος είναι χαμηλή (νερό της βροχής).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ, ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ - ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η πορεία δημιουργίας αυτών των κατηγοριών εδαφών συνεπάγεται την επιαναφορά τους στις συνθήκες εκείνες στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλλιέργεια της πλειονότητας των καλλιεργουμένων φυτών. Οι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι :

1. Η μεγάλη συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα ($>2 \text{ mS/cm}$),
2. Η πιθανή κατάκλωση της περιοχής από νερά,
3. Η περιεκτικότητα σε νάτριο του εδαφικού διαλύματος ($\text{SAR} > 13$) και κατά συνέπεια της εναλλακτικής φάσης ($\text{ESP} > 15$),
- και 4. Η διηθητικότητα του εδάφους.

Οι προηγούμενοι παράγοντες είναι δυνατόν να συνυπάρχουν σε ορισμένες κατηγορίες ενώ σε άλλες να υφίστανται μόνοι τους. Όσο περισσότεροι παράγοντες συνδυάζονται τόσο και οι δυσκολίες της βελτίωσης είναι μεγαλύτερες.

4.1 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Τα αλατούχα εδάφη έχουν μεγάλη συγκέντρωση αλάτων ($>2 \text{ mS/cm}$) στο εδαφικό τους διάλυμα. Η μεγάλη συγκέντρωση όμως δεν συνεπάγεται κατ'ανάγκη και υψηλή αναλογία νατρίου έναντι των άλλων κατιόντων στο διάλυμα. Τα εδάφη αυτά είναι δυνατόν να είναι κατακλυσμένα από νερά ή η υπόγεια στάθμη να βρίσκεται σε μικρό ή σε μεγαλύτερο βάθος κάτω από την επιφάνεια. Αυτή η κατηγορία αποτελεί και την ευκολότερη στη βελτίωση από τις άλλες.

Πρώτη ενέργεια είναι να χαμηλώσει η υπόγεια στάθμη έτσι ώστε να μην υπάρχει τριχοειδής ανύψωση του νερού και η εκ νέου αλάτωση του εδάφους. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την κατασκευή ενός στραγγιστικού δίκτυου στην περιοχή. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των κεντρικών συλλεκτήρων καθώς και οι τύποι των υπόγειων αγωγών (πη-

λοσωλήνων ή πλαστικών) βρίσκονται εκτός των ορίων του μαθήματος αυτού και γιατρό δεν αναπτύσσονται. Αυτό όμως που θα πρέπει να τονισθεί εδώ είναι ότι το βάθος των στραγγιστικών τάφρων δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 1,5-2 μέτρα για να αποφευχθεί τριχοειδής ανύψωση του νερού. Όπου αυτό δεν είναι δυνατόν τότε κατασκευάζεται, ξεχωριστά σε κάθε αγροτεμάχιο, συλλεκτήριο όρυγμα όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα.

Από τη στιγμή που η στάθμη του νερού βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους το επόμενο βήμα είναι η ισοπέδωση της περιοχής. Αν η προς βελτίωση περιοχή δεν είναι κατακλυσμένη από νερά τότε η ισοπέδωση μπορεί να γίνει και πριν από την κατασκευή του στραγγιστικού δικτύου. Η ισοπέδωση γίνεται για να μη υπάρχουν στην επιφάνεια του εδάφους τρίμματα όπου μπορεί να παραμένει το νερό. Βεβαίως η ισοπέδωση εμπεριέχει πάντοτε τον κίνδυνο να έρθει στην επιφάνεια κάποια διάστρωση του εδάφους με ανεπιθύμητες ιδιότητες. Αυτό είναι πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζεται κατά περίπτωση και ανάλογα με το μέγεθός του.

Μετά την ισοπέδωση του εδάφους και την πτώση της υπόγειας στάθμης αρχίζει η έκπλυση των αλάτων που παρέμειναν στο έδαφος. Οι ποσότητες του νερού που απαιτούνται για την έκπλυση εξαρτώνται από την εξέλιξη της διηθητικότητας του εδάφους η οποία διαμορφώνεται σταδιακά με την έκπλυση. Επειδή η τιμή της ΕCε σταδιακά μειώνεται επέρχεται και μια σταδιακή μείωση της διηθητικότητας. Αυτό πρέπει να ελέγχεται κανονικά με μετρήσεις έτσι ώστε η διήθηση του νερού να είναι συνεχής και να μην παραμένει στην επιφάνεια νερό το οποίο με την εξάτμιση μπορεί να δημιουργήσει συμπύκνωση αλάτων. Προτιμότερο είναι να αποφεύγονται οι θερμοί μήνες του έτους για βελτίωση διόπι κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών η εξάτμιση είναι μεγάλη.

Από τη στιγμή που θα βελτιωθεί το έδαφος θα πρέπει να έχει κανείς υπόψη του ορισμένους περιορισμούς ή υποχρεώσεις όπως :

α) Εάν η υπόγεια στάθμη παραμένει σχετικά ψηλά τότε οι αρδεύσεις θα πρέπει να είναι συχνές και με λίγο νερό.

β) Θα πρέπει, σε κάθε περίπτωση, να αποφεύγεται υπεράρδευση.

γ) Θα πρέπει να παρακολουθείται και να φροντίζεται το στραγγιστικό δίκτυο διόπι τυχόν παρεμπόδιση της κατακόρυφης κίνησης νερού δημιουργεί προυποθέσεις ανύψωσης της υπόγειας στάθμης

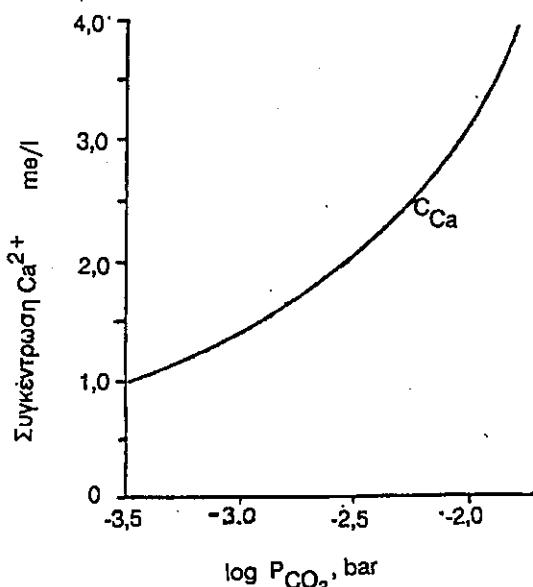
δ) Οι στραγγιστικοί τάφροι θα πρέπει περιοδικά να καθαρίζονται από τα πάστης φύσεως ζιζάνια.

4.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ-ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η βελτίωση των εδαφών της κατηγορίας αυτής συνεπάγεται την απομάκρυνση των υδατοδιαλυτών αλάτων από την κατατομή του εδάφους (όπου υπάρχουν) και την εναλλαγή του Na^+ της εναλλακτικής φάσης με Ca^{2+} . Με τις κλασσικές μεθόδους βελτιώσεως προηγείται η απομάκρυνση των αλάτων (όπου υπάρχουν) και έπειτα η εναλλαγή του Na^+ , ενώ στις μεθόδους που χρησιμοποιούν αλατούχο νερό για βελτίωση, οι δύο διεργασίες μπορούν να προχωρούν και παράλληλα.

Ως πηγές Ca^{2+} (για την αντικατάσταση του εναλλακτικού Na^+ του εδάφους) χρησιμοποιούνται CaCO_3 , CaSO_4 , CaCl_2 , S και FeSO_4 . Οι ενώσεις αυτές είτε προστίθενται στο έδαφος είτε υπάρχουν ήδη στην κατατομή του εδάφους (CaCO_3 , CaSO_4).

Το CaCO_3 , λόγω πολύ μικρής διαλυτότητας, πρακτικά δεν χρησιμοποιείται παρά μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις σε εδάφη με ισχυρή νατρίωση. Στις περιπτώσεις αυτές το CaCO_3 χρησιμοποιείται επιφανειακά υπό μορφή λεπτής οκόνης (παραπροϊόν της ζαχαροβιομηχανίας). Τα εδάφη κατακλύζονται με νερό (όπως στις περιπτώσεις καλλιέργειας ρι-



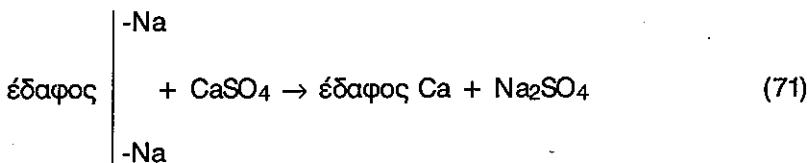
Σχήμα 30. Διαλυτοποίηση CaCO_3 στο νερό σε διαφορετικές τιμές πιέσεως του CO_2 (Bolt και Brugenhwert, 1976).

ζιού) όπου η αύξηση της πίεσης του CO_2 (λόγω της δραστηριότητας των ριζών) επιφέρει και αύξηση της διαλυτότητας του CaCO_3 (σχήμα 30). Βεβαίως, η ταχύτητα βελτίωσης στην περίπτωση αυτή είναι μικρή διότι η συγκέντρωση του Ca^{2+} παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (10^{-3} M) ακόμη και σε πίεση 10 mbar. Ενα άλλο στοιχείο αυτής της διεργασίας είναι ότι η βελτίωση προχωρεί μόνο στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους.

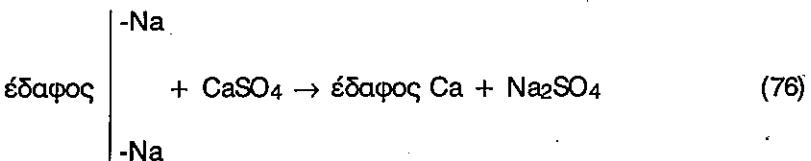
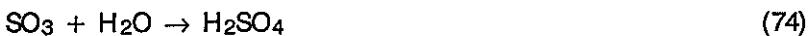
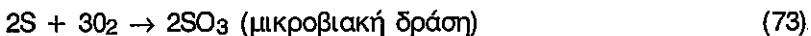
Η συνθέστερη πηγή ιόντων ασβεστίου για τη βελτίωση των εδαφών είναι η γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Η γύψος αποτελεί ένα υλικό φθηνό (παραπροιόν της βιομηχανίας λιπασμάτων, ή ορυκτή) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευκολία στη βελτίωση των εδαφών. Σχετικά με τη γύψο που προέρχεται από βιομηχανίες λιπασμάτων θα πρέπει να εξετάζεται αν οι τιμές του περιεχομένου συνήθως Cd, As, F ή άλλων στοιχείων υπερβαίνουν τα όρια που έχει καθορίσει η αντίστοιχη οδηγία της EOK.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες συντελούνται στο έδαφος κατά τη διάρκεια της βελτίωσης μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής :

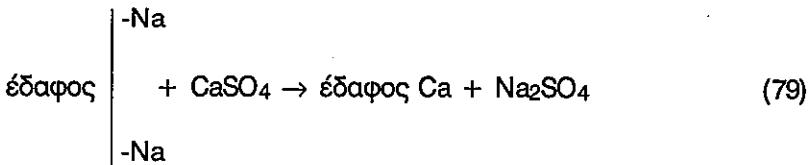
Αντιδράσεις της γύψου, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



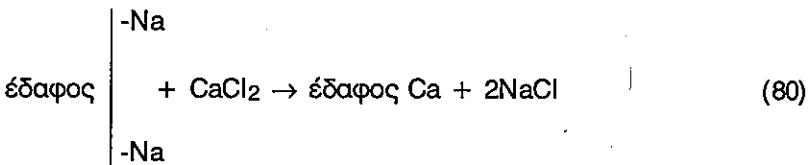
Αντιδράσεις του θείου, S



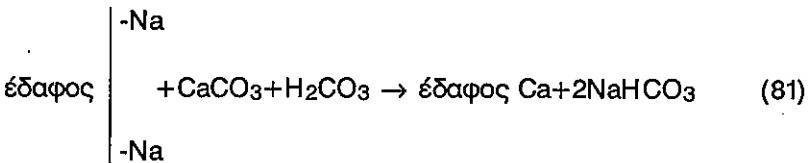
Αντιδράσεις θειικού σιδήρου, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$



Αντιδράσεις $CaCl_2$



Αντιδράσεις ανθρακικού οξέος (στην περιοχή των ριζών)



Σπις προηγούμενες αντιδράσεις το εναλλακτικό νάτριο αντικαθίσταται από το ασβέστιο και σχηματίζονται, άργιλος με εναλλακτικό ασβέστιο και διαλυτά άλατα του νατρίου ($NaCl$, Na_2SO_4 , $NaHCO_3$) τα οποία απομακρύνονται με την έκπλυση. Για να μπορούν οι αντιδράσεις να προχωρούν με ταχύ ρυθμό θα πρέπει αφενός να υπάρχουν σε περίσεια ιόντα ασβεστίου στο εδαφικό διάλυμα και αφετέρου να απομακρύνονται συνεχώς από την κατατομή του εδάφους τα άλατα του νατρίου. Με αυτόν τον τρόπο οι αντιδράσεις προχωρούν συνεχώς προς τα δεξιά. Οι αντιδράσεις που αναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ποσότητας του εδαφοβελπιωτικού που απαιτείται για τη βελτίωση των εδαφών με τις κλασσικές μεθόδους. Στους υπολογισμούς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα κρυσταλλικά νερά των ενώσεων της γύψου και του θειικού σιδήρου.

Η γύψος χρησιμοποιείται ως το κατεξοχήν εδαφοβελπιωτικό. Η δια-

λυπότητά της όμως στο νερό είναι σχετικά μικρή (30 me/l) και δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε ορισμένες περιπτώσεις βελτιώσεως. Στα βαριά π.χ. εδάφη με υψηλό ESP, τα οποία έχουν μεγάλες ποσότητες εναλλακτικού νατρίου, η γύψος ενεργεί με πολύ βραδύ ρυθμό. Η δράση της εξαρτάται από την αλληλεπίδραση των παραγόντων οι οποίοι ευνοούν τη διόγκωση του εδάφους (βλέπε σχήμα 5). Η μικρή συγκέντρωση της γύψου (λόγω μικρής διαλυτότητας), που συνεπάγεται χαμηλή τιμή EC, ευνοεί τη διόγκωση. Εποι, λοιπόν, όταν χρησιμοποιείται νερό με μικρή EC και γύψος για τη βελτίωση, το μεν επιφανειακό στρώμα βελτιώνεται, τα κατώτερα όμως στρώματα, επειδή σε αντικατάσταση του αλατούχου εδαφικού τους διαλύματος, δέχονται το νερό από τη στράγγιση των ανωτέρων στρωμάτων (με μικρή EC), διογκώνονται και εμποδίζουν την περαιτέρω στράγγιση. Σ αυτές τις περιπτώσεις συνιστώνται πιό ευδιάλυτα άλατα του αιθερού, όπως το CaCl_2 ή ο $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (όταν το έδαφος διαθέτει CaCO_3).

Στις περιπτώσεις όπου πρέπει να χρησιμοποιηθεί γύψος προστίθενται και άλατα νατρίου για να υπάρχει αύξηση της EC του εδαφικού διαλύματος και αποφυγή διόγκωσης της αργίλου.

Πριν από κάθε βελτίωση απαιτείται, όπως και για τα αλατούχα εδάφη, ισοπέδωση της περιοχής και δημιουργία λεκανών με αναχώματα. Η βελτίωση πρέπει να ξεκινά με δοκιμαστικές λεκάνες διαστάσεων $6\text{X}6$ περίπου μέτρων. Μετά την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου βελτίωσης καθώς και του κατάλληλου εδαφοβελτιωτικού, η περιοχή διαμορφώνεται σε λεκάνες με διαστάσεις που ποικίλουν ($9\text{X}40$, $30\text{X}100$ μ. ή άλλων διαστάσεων) ανάλογα με την περιοχή, το έδαφος και άλλους τοπικούς παράγοντες.

4.21 Βελτίωση εδαφών με τις κλασσικές μεθόδους

Στις κλασσικές μεθόδους λαμβάνεται υπόψη κυρίως το ESP (ή το ESF) του εδάφους που πρόκειται να βελτιωθεί. Στη συνέχεια το ESP, στο οποίο θεωρείται ότι πρέπει να καταλήξει η βελτίωση, εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας που θα αναπτυχθεί μετά τη βελτίωση και από τις αντιδράσεις του εδάφους (διόγκωση κ.λ.π.) στις διαφορετικές τιμές του ESP. Η τιμή του ESP συνδέεται με το SAR του εδαφικού διαλύματος με τη σχέση,

$$\frac{\text{ESP}}{100 - \text{ESP}} = 0.015 \cdot \text{SAR} \quad (82)$$

Το SAR του εδαφικού διαλύματος ταυτίζεται με το SAR του νερού

αρδεύσεως που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για βελτίωση. Εχοντας λοιπόν δεδομένη την τιμή του ESP στην οποία υποτίθεται ότι θα καταλήξει η βελτίωση, υπολογίζουμε την πιμή του SAR που χρειάζεται να έχει το νερό (μετά τη διάλυση της γύψου ή άλλου εδαφοβελτιωτικού) που θα χρησιμοποιηθεί. Από τη σχέση του SAR με τα καπόντα του εδαφικού διαλύματος είναι δυνατόν να υπολογισθεί η ποσότητα της γύψου που θα πρέπει να προστεθεί στο νερό αρδεύσεως, από την εξίσωση,

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg + x)/2}} \quad (83)$$

όπου $x =$ η ποσότητα του Ca^{2+} (της γύψου) σε me/l. Οι συγκεντρώσεις του Ca και Mg σε me/l επίσης

Η συνολική ποσότητα των δισθενών καπόντων, που χρειάζεται ένα έδαφος για τη βελτίωσή του (σε Keq/ha*) με το νερό αρδεύσεως, δίνεται από την εξίσωση,

$$(Ca + Mg) = (ESP_1 - ESP_2) \cdot CEC \cdot \rho \cdot D \quad (84)$$

*1 ha (εκτάριο) = 10 στρέμματα

ESP_1 και ESP_2 = η αρχική και τελική τιμή του ESP του εδάφους, CEC = η συνολική εναλλακτική ικανότητα του εδάφους σε me/100g, ρ = το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους (g/cm^3) και D = το βάθος του εδάφους που θέλει κανείς να βελτιώσει σε cm.

Όταν είναι γνωστή η ποσότητα των δισθενών καπόντων που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο βάθος και επιφάνεια (Keq/ha), καθώς και η ποσότητα των καπόντων αυτών ανά μονάδα νερού αρδεύσεως (me/ml), τότε μπορεί κανείς να υπολογίσει και την ποσότητα του νερού αρδεύσεως σε mm από την εξίσωση,

$$D_{va} = \frac{10 \cdot (Ca + Mg) \text{ που απαιτείται}}{(Ca + Mg + x) \text{ του νερού}} \text{ mm νερού αρδεύσεως} \quad (85)$$

όπου $(Ca + Mg)$ σε Keq/ha και $(Ca + Mg + x)$ σε me/ml.

Η ποσότητα της γύψου που θα προστεθεί στο νερό αρδεύσεως θα πρέπει να διορθώνεται πάντοτε για την ποσότητα της γύψου που πιθανόν να υπάρχει στο έδαφος.

Από την ποσότητα του νερού αρδεύσεως που απαιτείται για τη βελτίωση είναι δυνατόν να υπολογισθεί και ο χρόνος βελτιώσεως αν ληφθεί

υπόψη η επήσια ποσότητα νερού που μπορεί να διαθέσει κανείς ανάλογα με τη μέθοδο αρδεύσεως. Πάντως προτιμάται η μέθοδος με συνεχή κατάκλυση διότι η διήθηση είναι ταχύτερη απ' ότι με διακοπόμενη άρδευση.

Οι κλασσικές μέθοδοι είναι σχεδόν αδύνατο να εφαρμοσθούν σε εδάφη με βαριά μηχανική και κυρίως σε εκείνα που περιέχουν μοντμορίλλονιτική άργιλο, λόγω της διόγκωσης της αργίλου και της παρεμπόδισης της κίνησης του νερού προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Σ αυτές τις περιπτώσεις βελτιώνεται μόνο ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα. Πολλές φορές για τη διευκόλυνση της κίνησης του νερού διαμέσου του εδάφους προστίθενται άλατα νατρίου.

4.22 Βελτίωση με αλατούχο νερό

Κατά την τελευταία εικοσαετία προτάθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι βελτιώσεως, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν και εδάφη με βαριά μηχανική σύσταση που περιέχουν μοντμορίλλονιτική άργιλο. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν για τη βελτίωση νερό αλατούχο (θαλασσινό ή άλλο με ανάλογη σύνθεση) με πολύ μεγάλη EC. Λόγω της μεγάλης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού διευκολύνεται η κίνηση του νερού στο έδαφος διότι διατηρείται η άργιλος σε κατάσταση θρόμβωσης. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα στο νερό αρδεύσεως να βελτιώσει το έδαφος σε μεγάλο βάθος.

Οι μέθοδοι στηρίζονται στη θεωρία σθένους-αραιώσεως. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, σε ένα έδαφος, η δυνατότητα μεταβολής της ισορροπίας των προσροφημένων κατιόντων και των κατιόντων του διαλύματος εξαρτάται από το είδος των διαλυμένων κατιόντων στο νερό που προστίθεται. Αν τα κατιόντα είναι του ιδίου σθένους τότε η εναλλαγή θα είναι μικρή ή μηδενική. Αν τα κατιόντα, όμως, είναι διαφορετικού σθένους, τότε τα κατιόντα με χαμηλότερο σθένος τείνουν να αντικατασταθούν από τα κατιόντα με μεγαλύτερο σθένος όταν το διάλυμα αραιώνεται. Μπορεί να συμβεί και η αντίθετη πορεία όταν το διάλυμα είναι πυκνό. Ετοιμοπόν, αν χρησιμοποιηθεί για βελτίωση νερό με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων, αλλά με μεγάλη αναλογία Ca+Mg ως προς την ολική συγκέντρωση, τότε με διαδοχικές αραιώσεις είναι δυνατόν αφενός να επιτευχθεί εναλλαγή του Na⁺ και αφετέρου να διατηρηθεί η διηθητικότητα σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Δύο κυρίως θεωρίες υπάρχουν σήμερα σχετικά με τις μεθόδους αυτές. Η πρώτη των Reeve και Doering από το 1966 και η δεύτερη του N. Μισοπολινού (Misopolinos, 1985, Misopolinos 1987, Misopolinos and Ambas 1989).

4.221 Βελτίωση με τη μέθοδο των Reeve και Doering (1966)

Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αλατούχα-νατριωμένα και σε νατριωμένα εδάφη.

Η μείωση του ESP (ή του ESF) που θα προκύψει, μελετάται σε δύο στάδια : 1. το στάδιο της μειώσεως της τιμής του ESP (ή του ESF) από την αρχική του τιμή σε μια τιμή ESP_0 (ή ESF_0) η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα της χρήσης ενός νερού με συγκεκριμένη συγκέντρωση κατιόντων, και 2. το στάδιο της μείωσης του ESP_0 μέχρι μια τιμή ESP_n (ή ESF_n) μετά από η διαδοχικές αραιώσεις.

Η τιμή ESP_0 και ESP_n εξαρτάται από την αναλογία $Ca+Mg$ προς το σύνολο των καπιόντων του νερού που χρησιμοποιείται. Η αναλογία αυτή εκφράζεται με τον παράγοντα R και δίνεται από τη σχέση,

$$R = \frac{Ca + Mg}{Ca + Mg + Na + K} \quad (86)$$

Ca, Mg, Na, K σε me/l.

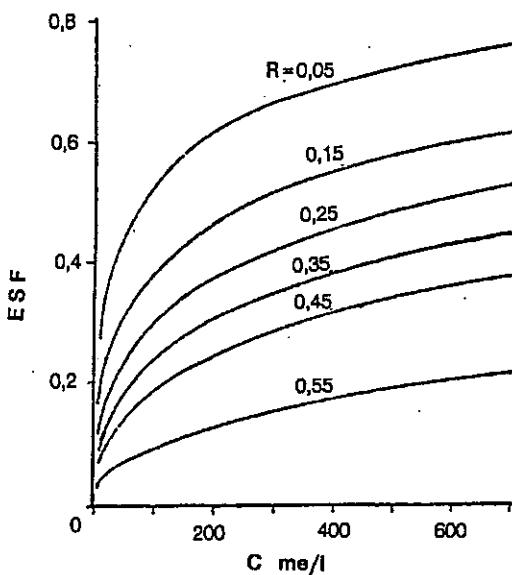
Η τιμή του ESF_n (ή ESP_n) που θα προκύψει τελικά, δίνεται από την εξίσωση,

$$ESF_n = \frac{1}{1 + \frac{1}{k [2C_n ((1/R) + R - 2)]^{1/2}}} \quad (87)$$

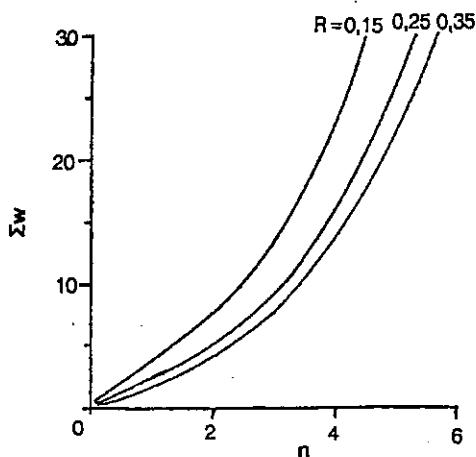
όπου k = εδαφική σταθερά η οποία κυμαίνεται από 0,01 έως 0,025 (me/l) $^{-1/2}$, και C_n = η συγκέντρωση του συνόλου των καπιόντων στην αραίωση n σε me/l.

Η μεταβολή του ESF (ή του ESP) σ' ένα έδαφος, στο οποίο χρησιμοποιούνται αλατούχα νερά με διαφορετικά R, δίνεται στο σχήμα 31. Από τη μελέτη του σχήματος 31 προκύπτει όπι, όσο μεγαλύτερο είναι το R του νερού τόσο καλύτερη και ταχύτερη βελτίωση επιτυγχάνεται. Στην πράξη όμως τα αλατούχα νερά που υπάρχουν (όπως το θαλασσινό και άλλα) έχουν $R \approx 0,2$.

Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για βελτίωση με νερό μεγάλης συγκέντρωσης αλάτων (700 me/l), μετά από την αραίωσή του 1/1 και $\eta = 4$ διαδοχικές αραιώσεις φαίνεται στο σχήμα 32. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται ότι όσο αραιώνεται το νερό τόσο οι ποσότητες του νερού αυξάνονται με ταχύτατο ρυθμό. Έτσι προκύπτει πολλές φορές πρόβλημα



Σχήμα 31. Μεταβολή του κλάσματος του εναλλακτικού νατρίου (ESF) σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση, C , του νερού βελτιώσεως για διαφορετικά R (Reeve και Doering, 1966).



Σχήμα 32. Μεταβολή της ποσότητας του νερού βελτιώσεως (Σw) σε συνάρτηση με τον αριθμό των διαδοχικών αραιώσεων (n) για $R = 0,15$ και $0,35$ (Reeve και Doering, 1966).

αφενός εξεύρεσης μεγάλων ποσοτήτων νερού και αφετέρου δυνατότητας χρησιμοποιήσεως τόσο μεγάλων ποσοτήτων νερού (διότι η διηθητικότητα του εδάφους είναι συγκεκριμένη).

Η μη ύπαρξη αφενός στην πράξη νερών με μεγάλο $R > 0,2$ και αφετέρου η χρησιμοποίηση με την πρόσδο της βελτίωσης μεγάλων ποσοτήτων νερού (που μπορεί και να μην υπάρχουν), αποτελούν και τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου που περιγράφηκε με αδρές γραμμές. Η λεπτομερής, με εξισώσεις, παρουσίαση της μεθόδου ξεφεύγει από τα όρια του μαθήματος.

4.2.22 Βελτίωση με τη μέθοδο Ν. Μισοπολινού (Misopolinos, 1985)

Οι μεγάλες ποσότητες που απαιτούνται κατά τα τελευταία στάδια της βελτίωσης, καθώς επίσης και η δυσκολία εξεύρεσης νερού με υψηλό $R (> 0,2)$ υπήρξαν η αφορμή αναζήτησης νέας μεθόδου για τη βελτίωση των εδαφών με βαριά μηχανική σύσταση.

Η έρευνα του θέματος αυτού κατέληξε σε μια θεωρητική ανάλυση της βελτίωσης κατά στάδια λαμβάνοντας υπόψη ότι, έπρεπε να διατηρηθεί αφενός ο παράγοντας R σε υψηλές τιμές και αφετέρου (ως συνέπεια του πρώτου) να μειωθούν οι διαρκώς μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατά την πρόσδο της βελτίωσης. Παράλληλα, έπρεπε να διατηρηθεί η διηθητικότητα του εδάφους σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Έτσι λοιπόν, η μέθοδος χρησιμοποιεί αλατούχο νερό (θαλασσινό) με $R=0,2$ στο πρώτο στάδιο της βελτίωσης. Στη συνέχεια, κατά τις διαδοχικές αραιώσεις του νερού, διαλύεται μια σταθερή ποσότητα άλατος του Ca^{2+} (κυρίως γύψος) σε συγκέντρωση έως 25 me/l. Με αυτόν τον τρόπο, σε κάθε διαδοχικό στάδιο αραιώσεως, το ποσό του $\text{Ca}+\text{Mg}$ αυξάνεται έναντι του συνόλου των κατιόντων στο διάλυμα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη διαδοχική αύξηση του R .

Οι υπολογισμοί του ESF_n (ή ESP_n) καθώς και των ποσοτήτων νερού που απαιτούνται για κάθε στάδιο βελτίωσεως γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή λόγω της πολυπλοκότητας των αντιδράσεων που προκύπτουν.

Το R_n , το ESF_n (ή το ESP_n) καθώς και οι ποσότητες του νερού για κάθε στάδιο είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων του νερού το οποίο χρησιμοποιείται κατά την έναρξη της βελτίωσης (του θαλασσινού δηλαδή) καθώς και της εκάστοτε προστιθέμενης ποσότητας του Ca^{2+} .

To R_n δίνεται από την εξίσωση,

$$R_n = \frac{(Ca + Mg)_0 + \frac{B^n - 1}{B - 1} x}{C_0 + \frac{B^n - 1}{B - 1} x} \quad (88)$$

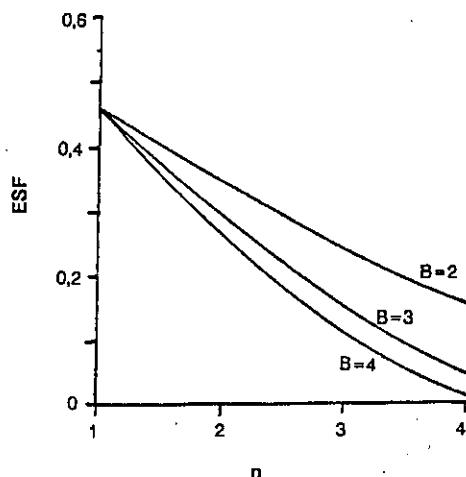
όπου B = ο συντελεστής αραιώσεως, και x = η προστιθέμενη ποσότητα του Ca^{2+} σε me/l.

To ESF_n δίνεται από τη σχέση,

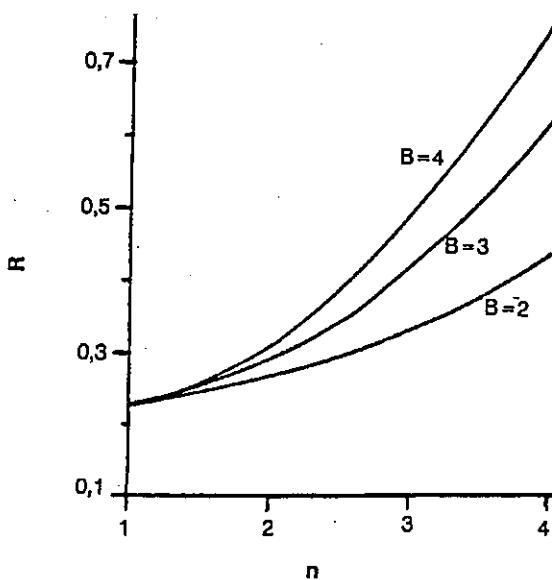
$$ESF_n = \frac{\frac{1}{\left[\left(C_0 R_0 + \frac{B^n - 1}{B - 1} x \right) B^{n-1} \right]^{1/2}}}{1 + \frac{1}{1,414 k C_0 (1 - R_0)}} \quad (89)$$

όπου k = εδαφική σταθερά που κυμαίνεται από 0,01 έως 0,025 $(me/l)^{-1/2}$, C_0 , R_0 = αναφέρονται στην αρχική σύνθεση του νερού, B = ο βαθμός αραιώσεως και n = ο αριθμός των αραιώσεων.

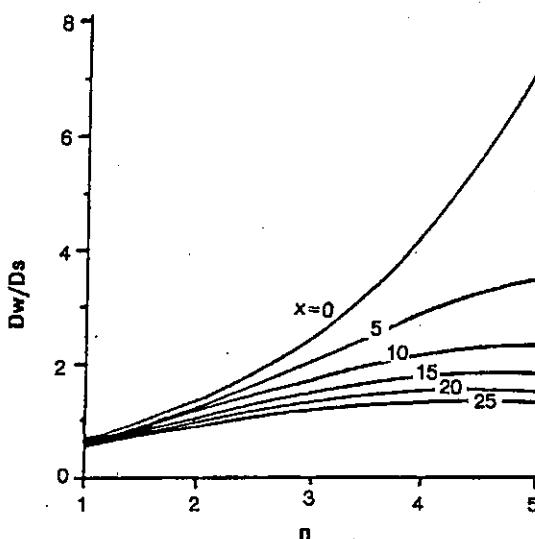
Στο σχήμα 33 φαίνεται η μεταβολή του ESF (ή του ESP) κατά τη διάρκεια της βελτίωσης για η αραιώσεις και διάφορους συντελεστές αραιώσεως (B). Όταν $B=2$ π.χ. σημαίνει ότι στα διαδοχικά στάδια οι



Σχήμα 33. Μεταβολή του κλάσματος του εναλλακτικού νατρίου(ESF) σε συνάρτηση με τον αριθμό των διαδοχικών αραιώσεων (n), για προστιθέμενη ποσότητα Ca^{2+} , $x=15$ me/l (Misopolinos, 1985).



Σχήμα 34. Μεταβολή του R σε συνάρτηση με τον αριθμό των διαδοχικών αραιώσεων (η), για προστιθέμενη ποσότητα Ca^{2+} , $x=15 \text{ me/l}$ (Misopolinos, 1985).



Σχήμα 35. Μεταβολή της ποσότητας του νερού βελτιώσεως (D_w/D_s) σε συνάρτηση με τον αριθμό των διαδοχικών αραιώσεων (η), για προστιθέμενη ποσότητα Ca^{2+} , $x=0,5, 10, 15, 20$ και 25 me/l (Misopolinos, 1985).

αραιώσεις με καθαρό νερό είναι 1/1, για B=3, 1/2 (δύο μέρη καθαρού νερού) και ούτω καθεξής.

Στο σχήμα 34 παρουσιάζεται η μεταβολή του R κατά τη διάρκεια της βελτίωσης για η αραιώσεις και διάφορους συντελεστές αραιώσεως (B).

Από τα δύο προηγούμενα σχήματα παρατηρείται ότι το R αυξάνεται στα διαδοχικά στάδια (n). Η αύξηση είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός αραιώσεως (B). Η μεταβολή του R έχει ως συνέπεια την ταχεία πτώση του ESF στα διάφορα στάδια αραιώσεως.

Η ποσότητα του νερού, που απαιτείται στα διάφορα στάδια αραιώσεως και για διαφορετική ποσότητα προστιθέμενου Ca^{2+} , είναι σχεδόν σταθερή για κάθε στάδιο αραιώσεως (σχήμα 35). Αντίθετα, η μή χρησιμοποίηση πρόσθετης ποσότητας Ca^{2+} ($x=0$) όπως γίνεται στη μέθοδο των Reeve και Doeiring, μετά την τρίτη αραιώση, έχει ως συνέπεια την εξαιρετικά μεγάλη αύξηση των ποσοτήτων του νερού.

Από τα αναφερθέντα συνάγεται ότι, η μέθοδος που περιγράφηκε έχει τη δυνατότητα να παρακάμπτει τα μειονεκτήματα όλων των προηγούμενων μεθόδων (κλασσικών και μή) και να διατηρεί, α) τη διηθητικότητα του εδάφους σε ικανοποιητικά επίπεδα κατά τη διάρκεια της βελτίωσης, β) το R σε υψηλές τιμές, και γ) την ποσότητα του νερού που απαιτείται σε χαμηλά επίπεδα. Η μέθοδος δίνει ιδιαίτερα εντυπωτικά αποτελέσματα στις περιπτώσεις των εδαφών με βαριά μηχανική σύσταση που περιέχουν μοντμιοριλλονιτική άργιλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΑ ΟΞΙΝΑ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥΣ

5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Κάτω από συνθήκες συνεχούς αποσάθρωσης και ανάλογα με το κλίμα και τη χρήση του εδάφους η ANC μειώνεται συνεχώς με αποτέλεσμα το pH να πέφτει σε χαμηλές τιμές (μικρότερες από 7,0 και μέχρι 4,0) σε ορισμένες περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την μη καλή ανάπτυξη των περισσοτέρων από τα καλλιεργούμενα φυτά και τελικά τη μείωση της παραγωγής σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Τα εδάφη με $\text{pH} < 7,0$ θεωρούνται όξινα και όσο πιο χαμηλό είναι το pH τόσο τα προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση τους για ορισμένες καλλιέργειες είναι μεγαλύτερα. Η οξίνιση των εδαφών οφείλεται στις αντιδράσεις μεταφοράς πρωτονίων από τη στερεά, την υγρά ή την αέρια φάση του εδάφους, όπως ήδη αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Οι κυριότερες πηγές πρωτονίων είναι οι αντιδράσεις πρόσληψης καπιόντων από τα φυτά, η προσρόφηση καπιόντων από τη στερεά φάση καθώς και η διάσταση του CO_2 και των οργανικών οξέων του εδάφους.

Η πτώση του pH του εδάφους εξάλλου επηρεάζει και τη διαλυτότητα και επομένως τη διαθεσιμότητα ορισμένων θρεπτικών στοιχείων στα φυτά. Η μεγάλη διαλυτότητα ορισμένων θρεπτικών στοιχείων (όπως Mn, Fe, Cu και Zn) είναι δυνατόν να προκαλέσει τοξικά φαινόμενα στα φυτά ή σε άλλες περιπτώσεις την ταχεία έκπλιση και απομάκρυνση τους από το έδαφος. Σε άλλες περιπτώσεις είναι δυνατό να παρουσιαστεί στο έδαφος έλλειψη Mg ιδιαίτερα σε όξινα εδάφη αμμοπηλώδη, πηλοαμμώδη και αμμώδη επιφανειακά και ελαφρύτερα βαθύτερα. Η έλλειψη του Mg στα εδάφη αυτά δημιουργεί προβλήματα ιδιαίτερα σε ορισμένα ευαίσθητα στην έλλειψη του Mg φυτά όπως, στο λάχανο, στο σέλινο, την τομάτα, την πατάτα, το σιτάρι, το κριθάρι και τη σίκαλη.

5.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΞΙΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η εξουδετέρωση της οξύτητας ενός εδάφους προουποθέτει τη γνώση και τη μέτρηση της οξύτητας αυτής με διάφορες μεθόδους.

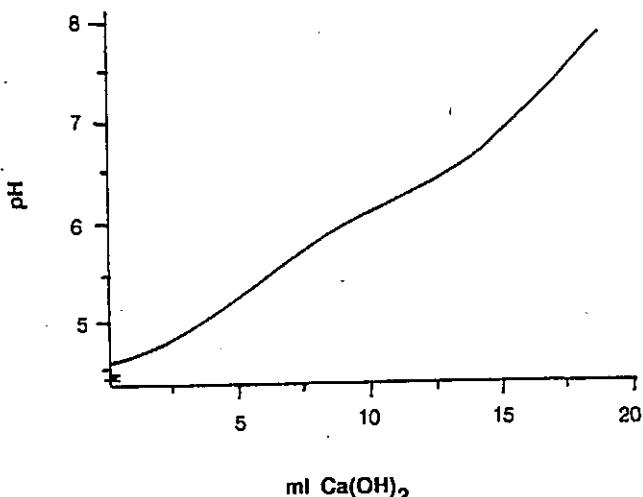
Οι πιο συνηθισμένες από αυτές είναι :

1) Ογκομέτρηση του εδάφους με μια βάση ή εξισορρόπιση με CaCO_3 .

2) Εκπλυση του εδάφους με ρυθμιστικό διάλυμα (π.χ. BaCl_2 -τριαλθανολαμίνης pH 8,2) και στη συνέχεια ανάλυση του διηθήματος για τον προσδιορισμό του ποσού της βάσης που έχει αντιδράσει με το έδαφος, και 3) Αφαίρεση του συνόλου των εναλλακτικών βάσεων (Ca, Mg, Na, K) από την CEC.

Η μέθοδος της ογκομέτρησης θεωρείται απλούστερη από τις άλλες δύο και δεδομένου ότι και οι τρείς δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα κρίνεται σκόπιμη η ανάπτυξη μόνο της μεθόδου αυτής.

Σε αιώρημα γνωστής ποσότητας εδάφους προστίθενται σταδιακά μικρές ποσότητες $\text{Ca}(\text{OH})_2$ με σύγχρονη μέτρηση του pH του αιωρήματος. Η διαδικασία είναι δυνατόν να συνεχιστεί μέχρι το pH 8,2 που θεωρείται ως σημείο κορεσμού του εδάφους με ιόντα ασβεστίου. Βεβαίως είναι δυνατόν η ογκομέτρηση να διακοπεί και σε χαμηλότερο pH ανάλογα με το επιθυμητό pH του εδάφους. Από τις αντιστοιχίες του pH του εδάφους και των ml $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που καταναλώθηκαν σχηματίζεται η χαρακτηριστική ογκομετρική καμπύλη για κάθε όξινο έδαφος όπως φαίνεται στο σχήμα 36.



Σχήμα 36. Καμπύλη ογκομετρήσεως όξινου εδάφους.

Στη συνέχεια ανάλογα με το επιθυμητό pH υπολογίζουμε την ανάλογη ποσότητα Ca^{2+} ως CaCO_3 που απαιτείται για κάθε στρέμμα και για ανάλογο βάθος εδάφους. Οι ποσότητες CaCO_3 που υπολογίζονται εργαστηριακά πρέπει να διπλασιάζονται για τις συνθήκες του χωραφιού.

Η δραστικότητα του CaCO_3 ή του διολομίτη, $(\text{Ca}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$, εξαρτάται από το μέγεθος των τεμαχιδίων τους. Μέγεθος >60 mesh (<250μ.) θεωρείται δραστικό 100%, μέγεθος 8-60 mesh (250μ.-2000μ.) 50% και <8 mesh 0%. Η εφαρμογή του CaCO_3 στο έδαφος θα πρέπει να γίνεται 6 μήνες έως ένα χρόνο πριν από την καλλιέργεια και θα πρέπει το έδαφος να ελέγχεται ανά 3-4 χρόνια.

Απώλειες Ca με έκπλυση, πρόσληψή του από τα φυτά που γίνεται ακόμη εντονότερη (η πρόσληψη) λόγω της χρήσης λιπασμάτων και κατά συνέπεια μεγαλυτέρων αναγκών σε Ca των φυτών, καθιστούν αδύνατο τον υπολογισμό της απομάκρυνσης του Ca από το έδαφος. Από το γεγονός αυτό προκύπτει και η αναγκαιότητα του περιοδικού ελέγχου του εδάφους. Επιπρόσθετα, η χρήση λιπασμάτων δημιουργεί όξινο υπόλειμμα στο έδαφος που για την εξουδετέρωσή του απαιτούνται πρόσθετες ποσότητες CaCO_3 (Πίνακας 17).

5.21 Η δράση του CaCO_3 στα όξινα εδάφη

Η δράση του CaCO_3 στα όξινα εδάφη περιλαμβάνει την αντίδρασή του με την εναλλακτική οξύπητα καθώς και με τις άλλες πηγές οξύπητας του εδάφους. Βεβαίως η δράση του CaCO_3 , στην κατηγορία αυπή των εδαφών, αποτελεί ένα σύμπλοκο μηχανισμό και πολλά από τα προιόντα των αντιδράσεων αυτών δεν είναι γνωστά. Γιαυτό, η ανάλυση της δράσεως του CaCO_3 , όπως θα αναπτυχθεί στη συνέχεια αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση του θέματος.

Το ανθρακικό ασβέστιο διαλύεται στο νερό σύμφωνα με την επόμενη αντίδραση.



Η ταχύπητα της αντιδράσεως εξαρτάται από την ύπαρξη πρωτονίων στο εδαφικό περιβάλλον καθώς και από την απομάκρυνση των ιόντων OH^- από το διάλυμα. Η αύξηση των πρωτονίων αυξάνει και τη συγκέντρωση του Ca^{2+} και HCO_3^- στο διάλυμα ενώ η μείωση των πρωτονίων δημιουργεί ελάττωση της διαλυτότητας του CaCO_3 .

Πίνακας 17. Ποσότητα CaCO_3 που απαιτείται για την εξουδετέρωση της οξύτητας που δημιουργείται από 1 Kg N διαφόρων πηγών.

Πηγή N	ποσότητα CaCO_3 Kg CaCO_3 /Kg N
νιτρική αμμωνία	1,8
άνυδρη αμμωνία	1,8
ουρία	1,9
φωσφορική αμμωνία	1,9
θειική αμμωνία	5,5

Η συγκέντρωση πρωτονίων (H^+) στα όξινα εδάφη είναι συνάρτηση της ταχύτητας υδρολύσεως των ιόντων Al ή υδροξυ-Al ή υδροξυ- Fe^{3+} . Η υδρόλυση του Al και των υδροξυλιωμένων μορφών Al αυξάνεται με την ύπαρξη διαλυτών αλάτων στο έδαφος και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας διαλυτοποίησεως του CaCO_3 . Αντίθετα η προσρόφηση των ενδιαμέσων προιόντων της υδρολύσεως όπως π.χ. $[\text{Al(OH)}_2^+]$ πειώνει την ταχύτητα διαλυτοποίησεώς του και η αύξηση του pH του εδάφους γίνεται με πολύ βραδύ ρυθμό.

5.3 ΠΡΑΚΤΙΚΟΤΕΡΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κάθε δαπάνη που γίνεται για την ασβέστωση των όξινων εδαφών επιστρέφει στο πενταπλάσιο έως δεκαπλάσιο στο γεωργό.

5.3.1 Από που προέρχεται η οξύτητα στο έδαφος.

Η οξύτητα του εδάφους οφείλεται στην παρουσία των θετικώς φορτισμένων κατιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα και στην επιφάνεια της αργίλου και της οργανικής ουσίας του εδάφους. Τα κατιόντα ψδρογόνου του εδάφους θεωρούνται ως ενεργός οξύτητα. Με το pH μετράται η ενεργός αυτή οξύτητα. Τιμές pH μικρότερες από 7,0 ανήκουν στη όξινη περιοχή, 7,0 στην ουδέτερη και μεγαλύτερες από 7,0 στην αλκαλική.

Η συγκέντρωση των ενεργών υδρογόνων στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται σε συνάρτηση με την ποσότητα των κατιόντων υδρογόνου που είναι προσροφημένα στην επιφάνεια της αργίλου και της οργανικής ουσίας. Τα κατιόντα υδρογόνου στις επιφάνειες αυτές (εναλλακτικά ιό-

ντα), μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα από κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου ή καλίου. Τα κατιόντα αυτά υδρογόνου αποτελούν μέρος της δυναμικής ή αποταμιευμένης οξύτητας του εδάφους και η διαδικασία εξασφάλισης ουδέτερου pH μπορεί εύκολα να προχωρήσει διότι τα ιόντα αυτά είναι εναλλάξιμα.

Πολλά όξινα εδάφη εξάλλου περιέχουν σημαντικές ποσότητες θετικώς φορτισμένων ιόντων αργιλίου. Τα ιόντα αυτά στο εδαφικό διάλυμα παράγουν κατιόντα υδρογόνου. Έτσι, το αργιλίο αποτελεί μια δεύτερη πηγή της δυναμικής οξύτητας.

Στα προγράμματα ασβέστωσης απαιτείται να εφαρμοσθεί ποσότητα ασβεστίου τέτοια ώστε να εξουδετερώνεται τόσο η ενεργός όσο και η δυναμική οξύτητα. Για ένα δεδομένο pH απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα ασβεστίου σε βαριά εδάφη απότι σε ελαφριά. Διότι τα βαριά εδάφη, λόγω της μεγαλύτερης εναλλακτικής τους ικανότητας, περιέχουν μεγαλύτερο ποσό εναλλακτικού υδρογόνου και αργιλίου. Εδάφη με μεγάλο ποσοστό οργανικής ουσίας χρειάζονται μεγαλύτερο ποσό ασβεστίου από ότι αυτά με μικρό ποσοστό για τους ίδιους όπως και προηγούμενα λόγους.

5.32 Τί είναι το ασβέστιο που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των όξινων εδαφών.

Το ασβέστιο για την ασβέστωση των όξινων εδαφών είναι χημικώς το CaO ή και το CaCO₃. Γενικά στη γεωργία, ο όρος ασβέστης χρησιμοποιείται για πολλά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν το pH του εδάφους. Συνήθη υλικά για ασβέστωση είναι οι ασβεστόλιθοι, οι μάργες και το CaCO₃ που προκύπτει ως παραπροϊόν της βιομηχανίας ζαχάρεως.

5.33 Πλεονεκτήματα της ασβέστωσης του εδάφους.

Η ασβέστωση του εδάφους έχει ως στόχο να να βελτιώσει την απόδοση των καλλιεργειών. Μερικά από τα πλεονεκτήματα πού προκύπτουν από την ασβέστωση των οξίνων εδαφών είναι:

1. Με την ασβέστωση, λόγω αύξησης του pH, μειώνεται το υδατοδιαλυτό αργιλίο και το μαγγάνιο του εδάφους σε επίπεδα τα οποία δεν είναι τοξικά για τις καλλιέργειες.
2. Η ασβέστωση αυξάνει τη διαθεσιμότητα του αζώτου, του φωσφόρου, του καλίου, του μαγνησίου, του ασβεστίου, του θείου, του βορίου και του μολυβδανίου.
3. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για ασβέστωση εμπλουτίζουν το

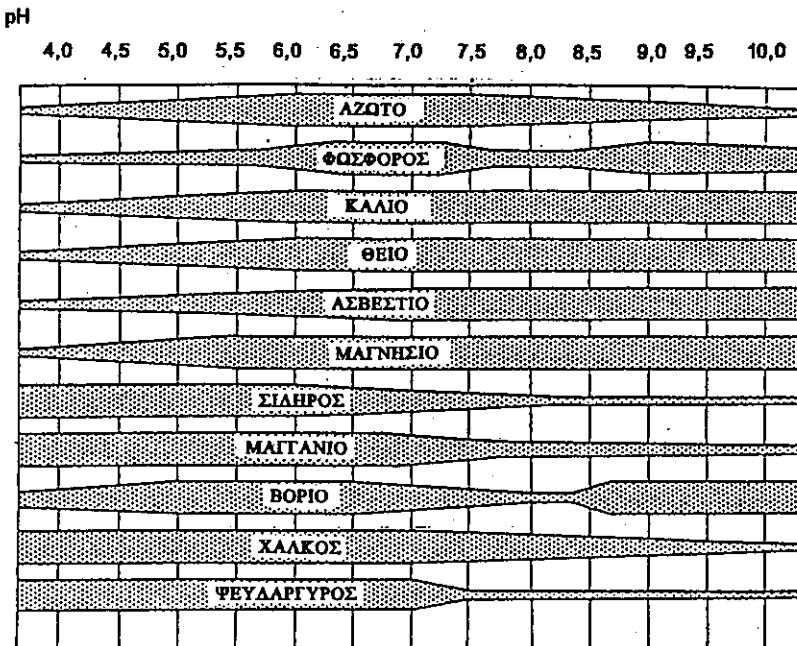
εδαφικό διάλυμα με ασβέστιο, στοιχείο απαραίτητο για τα φυτά. Αυτά δε που προέρχονται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους εμπλουτίζουν τόσο με ασβέστιο όσο και με μαγνήσιο.

4. Η ασβέστωση προωθεί τη μικροβιακή δραστηριότητα (δια της ταχύτερης και καλύτερης ανάπτυξης των φυτών) και έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαθεσιμότητα του αζώτου για τα φυτά και τη μικρότερη απώλεια αζώτου υπό μορφή αερίων από το έδαφος.

5. Βοηθά στη δημιουργία καλύτερης δομής του εδάφους καθώς και στην καλύτερη κατεργασία λόγω της αυξημένης μικροβιακής δραστηριότητας, με την αύξηση εν μέρει των φυτικών υπολειμάτων λόγω της αυξημένης φυτικής μάζας και εν μέρει λόγω των χημικών αποτελεσμάτων με τη μείωση της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου και την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου.

6. Η ασβέστωση βοηθά στο να μή πλαγιάζουν τα ψυχανθή, ιδιαίτερα η μηδική, λόγω της μεγάλης ανάγκης τους σε ασβέστιο. Αυξάνει επίσης τη δέσμευση του αζώτου από τα φυτά αυτά.

Η επίδραση του pH στη διαθεσιμότητα των στοιχείων στα ανόργανα εδάφη δίνεται στο σχ. 37. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το εύρος των λωρίδων στο σχήμα 37. σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα των στοιχείων. σο



Σχ. 37. Διαθεσιμότητα στοιχείων ανάλογα με το pH του εδάφους (Truog, 1947)

ευρύτερη η λωρίδα, τόσο μεγαλύτερη η διαθεσιμότητα του στοιχείου. Η αντοχή των καλλιεργειών στη οξύτητα του εδάφους ποικίλει.

Το εύρος του pH στο οποίο αποδίδουν το μέγιστο δίνεται στον πίνακα 18.

Πίνακας 18. Επιθυμητό εύρος pH σε ανόργανα εδάφη για διάφορες καλλιέργειες.

Ελαφρώς ανθεκτικά στην οξύτητα	
Μηδική	6,3 - 7,8
Σπαράγγι	6,0 - 8,0
Κριθάρι	6,5 - 7,8
Φασόλι	6,0 - 7,5
μπιζέλι	6,0 - 7,5
Κόκκινο τριφύλι (red clover)	6,0 - 7,5
Σόγια	6,0 - 7,0
Ζαχαρότευτλα	6,0 - 7,5
Γλυκό τριφύλλι	6,5 - 7,8
Σχετικά ανθεκτικά	
Σίκαλη	5,0 - 7,0
Βρώμη	5,0 - 7,0
Πατάτα	5,2 - 6,5
Φράουλα	5,0 - 6,5
Λαθούρι	5,0 - 7,0
Μέσης ανθεκτικότητας	
Καλαμπόκι	5,5 - 7,5
Φυτά χλόης	5,5 - 7,5
Τριφύλι	5,5 - 7,0

5.34 απαιτήσεις σε υλικά ασβεστώσεως.

Όταν δεν υφίστανται στοιχεία για την απαίτηση σε ασβέστιο που να είναι βασισμένα σε μεθόδους που χρησιμοποιούν ρυθμιστικά διαλύματα, οι ανάγκες σε ανθρακικό ασβέστιο μπορούν να υπολογισθούν κατά προσέγγιση από το pH του εδάφους και τη μηχανική σύσταση (Πίνακας 19). Ασφαλώς ο τρόπος αυτός δεν είναι ικανοποιητικός όπως οι εργαστηριακές μετρήσεις που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα, διότι με τον τρόπο αυτό οι συνιστώμενες ποσότητες CaCO_3 .

Για τη μετατροπή για μεγαλύτερο βάθος εδάφους διαιρούμε δια 25 και πολλαπλασιάζουμε επί το επιθυμητό βάθος.

Η μέγιστη συνιστώμενη ποσότητα του υλικού ασβέστωσης για μια καλλιεργητική περίοδο δεν μπορεί να υπερβαίνει τον 1,5 τόνο ανά στρέμμα και σε κάθε μία εφαρμογή τον 1 τόνο ανά στρέμμα.

5.35 Τρόπος και χρόνος ασβέστωσης.

Η μέγιστη συνιστώμενη ποσότητα ασβέστη σε κάθε καλλιεργητική περίοδο είναι 1,5 τόνος ανά στρέμμα στα ανόργανα εδάφη. Το έδαφος θα πρέπει να επανελέγχεται για πρόσθετη ασβέστωση στη διετία εάν ο δείκτης ασβέστωσης είναι μικρότερος από 65. Η μέγιστη συνιστώμενη δόση ασβέστωσης είναι 1 τόνος το στρέμμα λόγω της δυσκολίας τέλειας ανάμειξης μεγαλύτερων ποσοτήτων με το έδαφος. 'Όταν απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες θα πρέπει να χωρίζονται σε δόσεις. Το ήμισυ της ποσότητας θα πρέπει να διασκορπισθεί και να αναστραφεί με όργανα. Στη συνέχεια το υπόλοιπο μισό θα πρέπει να διασκορπισθεί και να ενσωματωθεί στο έδαφος.

Πίνακας 19. Τόνοι ασβεστολίθου που έχουν υπολογισθεί από το pH και τη μηχανική σύσταση για την αύξηση του pH του επιφανειακού στρώματος (περίπου 17-18 cm) άρωσης, μέχρι pH 6,5.

Μηχαν. σύσταση	εύρος pH			
	4,5-4,9	5,0-5,4	5,5-5,9	6,0-6,4
.....Kg ασβεστολίθου*/στρ.....				
Αργιλώδη, ιλυοαργιλώδη	1500	1250	1000	625
Αργιλωπλάδη, πηλώδη	1250	1000	750	500
Αμμοπηλώδη	1000	750	625	375**
Πηλοαμμώδη	750	625	500	250**
Αμμώδη	625	500	375**	125**

*Το υλικό είναι κατά 25% μ. με τιμή εξουδετέρωσης 90%.

** Στις μικρές ποσότητες P Kg/στρ. συνιστάται να αυξάνονται σε 500 Kg/στρ. για πιο ομοιόμορφη κατανομή.

Τα μηχανήματα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να διασκορπίζουν το ανθρακικό ασβέστιο ισόποσα στην επιφάνεια του εδάφους. Το ανθρακικό ασβέστιο ενσωματώνεται στο έδαφος καλύτερα με δισκοσβάρνα ή φρέζα πρίν από την άρωση. Εάν είναι δυνατόν το ανθρακικό ασβέστιο θα πρέπει να ενσωματωθεί στο έδαφος ένα χρόνο πρίν, ιδιαίτερα για καλλιέργειες που απαιτούν μεγάλες ποσότητες ασ-

βεστίου. Προκειμένου για τη μηδική ή άλλα χορτοδοτικά ψυχανθή η εφαρμογή θα πρέπει να γίνεται μετά την τελευταία κοπή και πρίν από το όργωμα. Η καλύτερη εποχή είναι πιολύ αργά το καλοκαίρι και πρίν από τα φθινοπωρινά οργώματα, διότι αν γίνει την άνοιξη υπάρχει ο κίνδυνος να συμπτευθεί το έδαφος.

5.36 Οδηγίες για ορισμένες καλλιέργειες.

Για μηδική, ασβέστωση στο pH 6,8.

Για πατάτα στο pH 6,0. Στο pH 6,5 άν δεν υπάρχει στην περιοχή ιστορικό προσβολών από νηματώδεις της πατάτας. Διότι η ανάπτυξη των νηματωδών ευνοείται σε ασβεστούχα εδάφη. Δεν συνιστάται η εφαρμογή πέραν των 500 kg ανά στρέμμα σε κάθε δόση προκειμένου να επιτύχουμε περιορισμό των νηματωδών. Επίσης η εφαρμογή του υλικού ασβέστωσης θα πρέπει να γίνει μετά τη συγκομιδή προκειμένου να υπάρξει μεγάλο διάστημα μεταξύ εφαρμογής και επόμενης ανάπτυξης των φυτών για την καλύτερη αντίδραση του υλικού με το έδαφος.

Στις εκτατικές καλλιέργειες, Εάν πρόκειται να εγκατασταθούν ψυχανθή, θα πρέπει να εφαρμοσθεί η συνιστώμενη ποσότητα προκειμένου να αυξηθεί το pH σε επίπεδα που να μήν επιτρέπουν πλάγιασμα των φυτών. Στα αγροστώδη η ασβέστωση μέχρι pH 6,0 συνήθως είναι ικανοποιητική.

Στα οργανικά εδάφη οι ποσότητες ρυθμίζονται ανάλογα με την καλλιέργεια. Συνιστώμενες ενδεικτικές δόσεις υπάρχουν στον πίνακα 20 μέχρι pH 5,5. Ορισμένα οργανικά εδάφη έχουν όξινο υπέδαφος ενώ άλλα (τα περισσότερα) αλκαλικό. Επειδή υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος να έρθουν στην επιφάνεια τμήματα του υπεδάφους με το όργωμα, συνιστάται να λαμβάνονται δείγματα μέχρι το σχεδιαζόμενο βάθος αναστροφής για τον υπολογισμό της ποσότητας του υλικού ασβέστωσης.

Πίνακας 20. Απαιτήσεις ασβέστωσης οργανικών εδαφών για την αύξηση του pH τους στ 5,5.

pH	απαιτηση σε CaCO ₃
4,9-5,0	Kg/στρ.
4,6-4,8	750
4,2-4,5	1250
3,8-4,1	2000*
	2500*

*Το μισό αναστρέφεται με άρωση και το υπόλοιπο μισό ενσωματώνεται με δισκοσβάρνα.

5.37 Υλικά ασβέστωσης και συγκρίσεις.

Επειδή τα συνήθη υλικά ασβέστωσης είναι οι διάφοροι ασβευτόλιθοι οι οποίοι περιέχουν διαφορετικά μεταξύ τους ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου, ως μέτρο σύγκρισης λαμβάνεται το καθαρό ανθρακικό ασβέστιο.

Το καθαρό ανθρακικό ασβέστιο έχει τιμή εξουδετέρωσης 100. Κατά συνέπεια ένας ασβεστόλιθος με περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο 98% έχει τιμή εξουδετέρωσης 98. Η ικανότητα εξουδετέρωσης των υλικών κυμαίνεται κάτω και πάνω από το 100 καθότι η ικανότητα εξουδετέρωσης τους διαφέρει από αυτήν του ανθρακικού ασβεστίου.

Πίνακας 21. Συντελεστής διώρθωσης για τιμές εξουδετέρωσης διαφορετικές από 90. Για τον υπολογισμό της ποσότητας υλικού με διαφορετική τιμή πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή επί την συνιστώμενη ποσότητα.

Τιμή εξουδετέρωσης	Συντελεστής διώρθωσης*
170	0,53
160	0,56
150	0,60
140	0,64
130	0,69
120	0,75
110	0,80
100	0,90
90	1,00
80	1,12
70	1,28

*Το 90 διαιρεμένο με την αντίστοιχη τιμή εξουδετέρωσης δίνει το συντελεστή διώρθωσης.

Οι συνιστώμενες δόσεις που αναφέρονται στον πίνακα 19 είναι για ικανότητα εξουδετέρωσης 90. Εάν τα υλικά που χρησιμοποιούνται απέχουν πολύ από την τιμή 90 τότε οι ποσότητες θα πρέπει να διορθωθούν κατάλληλα. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 21. Για παράδειγμα εάν η συνιστώμενη ποσότητα από τον πίνακα 19 είναι 1 τόνος και η ικανότητα εξουδετέρωσης του υλικού είναι 120, τότε η ποσότητα που θα εφαρμοσθεί είναι 750 Kg (0,75 x1 τόνο). Στον πίνακα 22 δίνονται οι τιμές εξουδετέρωσης ορισμένων εν χρήσει υλικών.

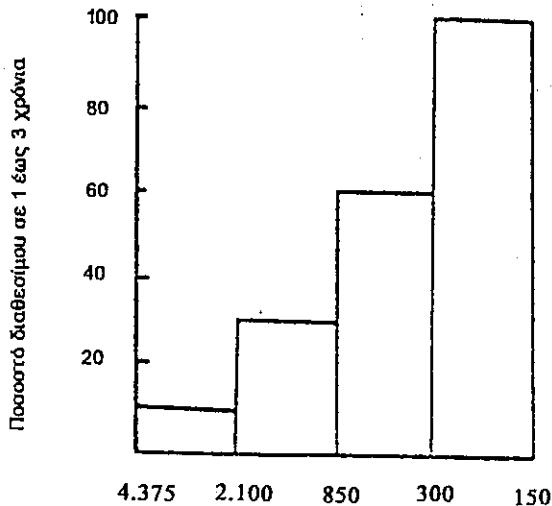
Πίνακας 22. Τιμές εξουδετέρωσης (ισοδύναμο ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου) διαφόρων υλικών ασβέστωσης.

Υλικό	Τιμή Εξουδετέρωσης
Ανθρακικό ασβέστιο (καθαρό)	100
Ανθρακικό Μαγνήσιο (καθαρό)	119
Υδροξείδιο το ασβεστίου (καθαρός ασβέστη)	135
Υδροξείδιο του μαγνησίου (καθαρό)	172
Ασβεστόλιθοι	<100
Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι	<108

Η έκφραση "ισοδύναμο ανθρακικό ασβέστιο" πρακτικά σημαίνει την αυτή τιμή εξουδετέρωσης

5.371 Ταχύπητα αντιδράσεως των υλικών ασβέστωσης.

Τα υλικά ασβέστωσης έχουν διαφορετική ταχύπητα αντιδράσεως λογώ της διαφορετικής χημικής τους σύνθεσης, της σκληρότητάς τους και του μεγέθους των τεμαχιδίων στα οποία είναι λειτριβημένα. Όσο λεπτότερο είναι το υλικό τόσο η δραστικότητά του είναι μεγαλύτερη όταν αναμιγνύονται πλήρως με το έδαφος. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη επιφάνεια του λεπτού κλάσματος του υλικού. Στο σχήμα 38 φαίνεται η δραστικότητα του ανθρακικού ασβεστίου ανάλογα με το μέγεθος του.



Μέγεθος κόκκων CaCO_3 σε μ .

Σχ. 38. Ταχύπητα αντιδράσεως υλικών ασβέστωσης ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων του.

Οι ασβεστόλιθοι θα πρέπει να λειοτριβηθούν ώστε όλο το υλικό νά πιεράσει από κόσκινο 250 μ.

Για τη σύγκριση υλικών διαφορετικής κοκκομετρικής συστάσεως και τιμής εξουδετέρωσης, υπολογίζεται ένας νέος αριθμός που οναμάζεται ενεργό ανθρακικό ασβέστιο. Κατ' αρχήν υπολογίζεται ένας συντελεστής κοκκομετρικής συστάσεως. Στη συνέχεια η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται επί την τιμή εξουδετέρωσης προκειμένου να πάρουμε την τιμή του ενεργού ανθρακικού ασβέστιου. Το ποσοστό του υλικού που είναι χονδρότερο από 2 mm πολλαπλασιάζεται επί 0 (0% δραστικό). Το ποσοστό του υλικού μεταξύ 2mm και 250μ επί 0,50 και αυτό που μικρότερο από 250μ επί 1,0. Οι τιμές αυτές προστίθενται προκειμένου να έχουμε τον συντελεστή κοκκομετρικής συστάσεως του υλικού.

Στο παράδειγμα του πίνακα 23, τα δύο δείγματα έχουν το ίδιο ενεργό ανθρακικό ασβέστιο, αλλά διαφορετικές τιμές εξουδετέρωσης και κοκκομετρικής σύστασης. Η υπολογιζόμενη μπορεί να υποκατασταθεί από την τιμή εξουδετέρωσης στον πίνακα 22 προκειμένου να υπολογισθούν οι ποσότητες του υλικού ασβέστωσης.

Πίνακας 23. Παράδειγμα υπολογισμού ενεργού ανθρακικού ασβέστιου δύο υλικών ασβέστιου με διαφορετική κοκκομετρική σύσταση.

	Δείγμα A	Δείγμα B
Τιμή εξουδετέρωσης	90	100
Κοκκομετρική ανάλυση		
>8-mesh (%)	2	10
8-60 mesh (%)	18	20
<60 mesh (%)	80	70
υπολογισθείς δείκτης λεπτότητας		
% >8 mesh X 0% ενεργότητα	0	0
% 8-60 μεση X 50%	9	10
% <60 mesh X 100%	80	70
Δείκτης λεπτότητας	89	80
ενεργό CaCO ₃ X τιμή εξουδετέρωσης	80	80

5.372 Αιωρήματα υλικών ασβέστωσης.

Τα αιωρήματα ασβέστωσης έχουν την ίδια ακριβώς συμπεριφορά στο έδαφος με αυτή των ξηρών υλικών ασβάστωσης.

Ο ασβεστόλιθος που χρησιμοποιείται στα αιωρήματα συνήθως είναι λεπτότερος από 250μ. Το αιώρημα γίνεται σε νερό ή σε υγρό λί-

πασμα σε συνδυασμό με ένα διαμεριστικό και άργιλο προκειμένου να παραμένει σε αιώρηση. Τα αιωρήματα περιέχουν συνήθως 50 έως 70% υλικό ασβέστωσης, 0,5 έως 5,0% άργιλο και μικρή ποσότητα διαμεριστικού. Το υπόλοιπο είναι υγρό λίπασμα ή νερό. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαλύματα αζωτούχων λιπασμάτων, όπως και διαλύματα αζωτοκαλιούχων. Λιπάσματα που περιέχουν φωσφόρο θα πρέπει να αποφεύγονται. Υλικά ασβέστωσης που περιέχουν μεγάλες ποσότητες (CaO) δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με αζωτούχα διαλύματα λόγω απωλειών αζώτου.

Τα αιωρήματα υλικών σβέστωσης έχουν τα επόμενα πλεονεκτήματα:

1. Έχουν ταχύτερη αντίδραση με το έδαφος απότι τα χονδρόκοκκα υλικά.
2. Μπορούν να συνδυασθούν στο αυτό αιώρημα με διαλύματα λιπασμάτων N, K και S.
3. Δεν δημιουργούνται προβλήματα σκόνης κατά τη διάρκεια της εφαρμογής τους.
4. Μπορεί να γίνει ομοιόμορφη κατανομή τους στο έδαφος.

Μειονεκτήματα:

1. Πρέπει να εφαρμόζονται κάθε χρόνο.
2. Το κόστος μακροπρόθεσμα μπορεί να είναι μεγάλο.
3. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με φωσφορικά λιπάσματα.
4. Δεν μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλη διαφοροποίηση με μικρές ποσότητες.
5. Δεν συνιστάται σύγχρονη εφαρμογή τους με ζιζανιοκτόνα.

5.38 Ανάγκες σε μαγνήσιο.

Είναι δυνατόν να υπάρξει έλλειψη μαγνησίου σε αμμοπηλώδη, πηλώδη και σε αμμώδη στρώση άρωσης με υπέδαφος αμμώδες ή με χονδρότερα υλικά, και σε παρόμοια με τα προηγούμενα εδάφη τα οποία έχουν ασβεστωθεί με μη δολομητικό ασβεστόλιθο ή μάργα. Τα φυτά που αντιδρούν στην έλλειψη μαγνησίου είναι τα, λάχανο, σέλινο, ντομάτα, πατάτα, σιτάρι, κριθάρι και σίκαλις.

Τα εδαφικά κρητήρια ενδεικτικά είναι: α) Εάν το εναλλακτικό μαγνήσιο είναι λιγότερο από 8,5 Kg το στρέμμα, ή β) Εάν το ποσοστό του εναλλακτικού καλίου υπερβαίνει αυτό του μαγνησίου, ή γ) Εάν το ποσοστό του εναλλακτικού μαγνησίου είναι λιγότερο από το 3% των συνολικών βάσεων.

Όταν υπάρχουν ελλείψεις μαγνησίου θα πρέπει να διασπείρονται τουλάχιστον 120 kg το στρέμμα δολομιτικού ασβεστολίθου.

5.381 Δολομιτικός ασβεστόλιθος.

Ο δολομιτικός ασβεστόλιθος περιέχει σημαντικές ποσότητες ανθρακικού μαγνησίου. Μπορεί να εφαρμοσθεί και σε περιπτώσεις μη ελλείψεως μαγνησίου διότι δεν έχει αρνητικά αποτελέσματα.

Η συγκέντρωση του μαγνησίου (Mg) εκφράζεται ως ποσοστό ανθρακικού μαγνησίου στις αναλύσεις δολομιτικών υλικών, αλλά στις συστάσεις λίπανσης και αναλύσεις εδαφών ως στοιχείο μαγνήσιο. Για τη μετατροπή σε Mg πολλαπλασιάζεται το ποσοστό του $MgCO_3$ επί 0,29. Ένας δολομιτικός ασβεστόλιθος που περιέχει π.χ. 30% $MgCO_3$ περιέχει 79 Kg Mg ανά τόνο ($0,30 \times 0,29 \times 2000$).

5.382 Ασβεστόλιθοι.

Οι περισσότεροι ασβεστόλιθοι περιέχουν συνήθως μαγνήσιο σε ποσοστό μικρότερο από 5%.

5.383 Μάργες και σβησμένος ασβέστης.

Οι μάργες και ο σβησμένος ασβέστης αποτελούν ικανοποιητικά υλικά ασβέστωσης και περιέχουν και ένα μικρό ποσοστό μαγνησίου το οποίο όμως δεν υπερβαίνει το 3,5%. Οι ποσότητες της μάργας ποικίλουν ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε ανθρακικό ασβέστιο.

5.39 Απώλειες υλικών ασβέστωσης από τό έδαφος

Από τις απώλειες του ασβεστίου λόγω διαλυτοποίησης και απομάκρυνσής του με βαθειά διήθηση, τις ανάγκες των φυτών και την εξουδετέρωσή του από λιπάσματα, είναι αδύνατον να υπολογίσουμε την χρονική διάρκεια της ασβέστωσης που θα εφαρμόσουμε. Έτσι, απώλειες της τάξεως των 50 έως 300 Kg ασβέστου ανά έτος το στρέμμα είναι φυσιολογικό να αναμένονται στα εδάφη. Σε προγράμματα εντατικής λίπανσης οι απώλειες μπορεί να είναι και μεγαλύτερες και η πτώση του pH μεγάλη. Ασβεστωμένα χωράφια θα πρέπει να ελέγχονται ανά 3 ή 4 χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Τα περισσότερα κεφάλαια της χημείας του εδάφους περιλαμβάνουν αντιδράσεις που αφορούν το Ca^{2+} . Τα πυριγενή πετρώματα που αποτελούν τα πρωταρχικά μητρικά υλικά όλων των εδαφών, περιέχουν γύρω στο 5% CaO . Σε αναλύσεις νερού, το οποίο διέρχεται από πετρώματα ή εδάφη ή του νερού των ποταμών, το Ca^{2+} αποτελεί το κυριότερο κατιόν. Κατά ένα μεγάλο ποσοστό το ασβέστιο αυτό (στα ιζηματογενή πετρώματα) καθιζάνει υπό μορφή CaCO_3 και λιγότερο ως $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Εξάλλου, το εναλλακτικό Ca^{2+} στα περισσότερα εδάφη αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της CEC (μπορεί να φθάσει και το 80%).

Στη βελτίωση των όξινων εδαφών χρησιμοποιούμε ενώσεις του Ca^{2+} (CaCO_3). Κατά τη βελτίωση των νατριωμένων εδαφών χρησιμοποιούμε είτε απευθείας κάποια ένωση του ασβεστίου (όπως $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) για την εναλλαγή του Na^+ , ή, όταν στο έδαφος υπάρχει CaCO_3 , ενώσεις, οι οποίες δημιουργούν οξύπητα στο έδαφος και κατά συνέπεια διαλυτοποιούν σημαντικές ποσότητες CaCO_3 . Το ασβέστιο αποτελεί επίσης ένα από τα κυριότερα στοιχεία πολλών λιπασμάτων.

Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι πιο σημαντικές αντιδράσεις του ασβεστίου, διότι, λόγω του αμφιδρόμου των αντιδράσεων που περιέχουν ασβέστιο, είναι αδύνατο να περιγραφούν όλες με λεπτομέρεια.

Αντιδράσεις του ασβεστίου στο έδαφος στη γενική τους μορφή:

- [πρωτογενή ορυκτά] $\text{Ca}_x + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ [πρωτογενή ορυκτά] $\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$
υδρόλυση
- $2\text{Ca}(\text{OH})_2 + 3\text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
σχηματισμός ανθρακικών
- [πρωτογενή ορυκτά] $\text{Ca}_x \rightarrow$ [δευτερογενή ορυκτά] Ca
αποσάθρωση-σύνθεση
- [δευτερογενή ορυκτά] $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow$ [δευτερογενή ορυκτά] $\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
εναλλαγή

Κάτω από κανονικές εδαφικές συνθήκες, δηλ. ήπιο κλίμα με κανονική βροχόπτωση, η πορεία των αντιδράσεων είναι κυρίως από αριστερά προς τα δεξιά και κατά συνέπεια δημιουργούνται στο έδαφος, α) ανθρακικές ενώσεις από υδρόλυση και β) Προιόντα αποσάθρωσης, και τελικά έχουμε οξίνιστη των εδαφών. Η ένταση της αντιδράσεως εξαρτάται πάντοτε από το διαθέσιμο στο έδαφος νερό για τις αντιδράσεις, καθώς και από την απομάκρυνση συνεχώς των προιόντων των αντιδράσεων αυτών. Κάτω από ορισμένες συνθήκες και ορισμένα οργανικά οξέα, σε αντικατάσταση του H_2CO_3 , παίζουν σημαντικό ρόλο στις αντιδράσεις του ασβεστίου. Επίσης, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν σύμπλοκες αλληλοαντιδράσεις στο έδαφος. Η παρουσία π.χ. ορυκτών της αργίλου μπορεί να επιταχύνει την υδρόλυση των πρωτογενών ορυκτών με την προσρόφηση των προιόντων της αντιδράσεως.

6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Στη συνέχεια θα δοθεί έμφαση σε μερικές βασικές αρχές που διέπουν το μεγαλύτερο μέρος των αντιδράσεων του ασβεστίου.

Πολλές φορές στις αντιδράσεις του εδάφους, δεν λαμβάνονται υπόψη παράγοντες οι οποίοι παίζουν πρωταρχικό ρόλο. Συνηθισμένη παράληψη είναι η μή λήψη υπόψη της παρουσίας του CO_2 της ατμόσφαιρας, που είναι σε επαφή με το έδαφος και το ασβέστιο, και το οποίο ασκεί συγκεκριμένη πίεση. Το αέριο αυτό παίζει σοβαρότατο ρόλο σε όλες τις αντιδράσεις του ασβεστίου με το έδαφος. Η ατμόσφαιρα περιέχει περίπου 0,03% CO_2 . Μέσα στο έδαφος, ως αποτέλεσμα της δράσεως των μικροοργανισμών, η μερική πίεση του CO_2 είναι συνήθως 10 και συχνά 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της ατμόσφαιρας.

Στους βαθύτερους ορίζοντες, ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, είναι δυνατόν το οξυγόνο να αντικατασταθεί τελείως από το CO_2 , το οποίο μπορεί να φθάσει το 20%.

Το CO_2 έχει μικρή διαλυτότητα στο νερό. Η διαλυτότητά του σύμφωνα με το νόμο του Henry είναι σχεδόν ανάλογη προς τη μερική του πίεση στην ατμόσφαιρα που περιβάλει το νερό. Η πραγματική διαλυτότητά του στο νερό στους $18^{\circ}C$ φαίνεται στον Πίνακα 24.

Πίνακας 24. Διαλυτότητα του CO_2 στο νερό ανάλογα με τη μερική του πίεση.

Μερική πίεση του CO_2 , atm	περιεχόμενο CO_2 στο νερό, mg/L	pH διαλύματος
0,0003	0,54	5,72
0,0030	5,4	5,22
0,0100	17,9	4,95
0,1000	178,7	4,45
1,0000	1787,0	3,95

Από τη διάλυση του CO_2 στο νερό δημιουργείται το ασθενές οξύ (H_2CO_3) με σταθερές διαστάσεως:

$$K_1 = 3,4 \times 10^{-7}$$

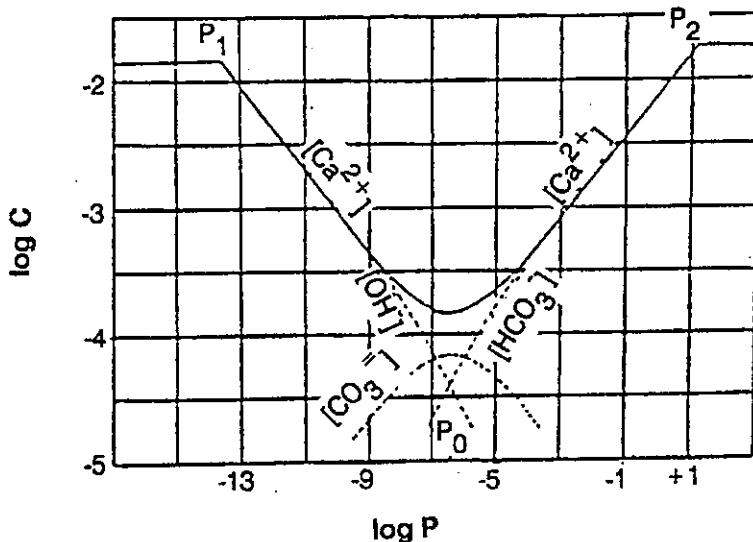
$$K_2 = 6,0 \times 10^{-11}$$

6.11 Επίδραση του CO_2 στη διαλυτότητα του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και του CaCO_3

Είναι γνωστό ότι, εάν εκθέσουμε ένα διαυγές διάλυμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στην ατμόσφαιρα, η επιφάνεια του διαλύματος καλύπτεται από μία κρούστα CaCO_3 . Από τη στιγμή που το υδροξειδίο του ασβεστίου μετατραπεί σε ανθρακικό η επίδραση του CO_2 στη διαλυτότητά του δεν είναι τόσο προφανής, αν και πρακτικά είναι μεγάλης σημασίας. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα όταν το CaCO_3 είναι διαλυμένο στο νερό και έρχεται σε ισορροπία με το CO_2 διαφορετικής πίεσης παρουσιάζονται σε μορφή καμπύλης στο Σχ. 39.

Στον άξονα των X περιέχεται ο λογάριθμος της πίεσης ($\log P$) του CO_2 και στον άξονα των Ψ ο λογάριθμος της μοριακής συγκέντρωσης ($\log C$) των διαφόρων ιόντων. Η P_1 είναι η μεταβατική πίεση μεταξύ του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και του CaCO_3 της στερεάς φάσης. Στο τμήμα της καμπύλης αριστερά από την P_1 το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ παραμένει σταθερό σε στερεή κατάσταση. Από το P_1 έως το P_2 η σταθερή στερεά ένωση είναι το CaCO_3 .

Στο τμήμα δεξιά από το P_2 το $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ αποτελεί τη σταθερή στερεά ένωση. Το P_o είναι η πίεση του CO_2 καθαρού CaCO_3 . Είναι άξιο παραπήρησης ότι η διαλυτότητά του $[\text{Ca}^{2+}]$ πέφτει στο ελάχιστο στην πίεση P_o . Αύξηση ή μείωση της πίεσης του CO_2 σημαίνει αύξηση των ιόντων " Ca^{2+} ".



Σχ. 39. Γραφική παράσταση του $\log C$ (C =ιονική συγκέντρωση) σε σχέση με το $\log P$ (P =μερική πίεση του CO_2 σε atm) για τα ιόντα στο σύστημα $\text{CaO}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ στους 16°C . Σταθερή στερεά κατάσταση αριστερά του P_1 είναι το υδροξείδιο του ασβεστίου, μεταξύ P_1 και P_2 το ανθρακικό και δεξιά του P_2 το όξινο ανθρακικό. Με διακεκομένες οι καμπύλες διαλυτότητας των ανιόντων στο διάλυμα (Johnston και Williamson, 1916).

Στο έδαφος έχει σημασία κυρίως το δεξιό τμήμα της καμπύλης στο Σχ. 39. Είναι δύxiο παρατήρησης ότι στο τμήμα των τιμών της μερικής πίεσης του CO_2 που αφορά τα εδάφη, $10^{-3,5}$ έως 10^{-1} , η καμπύλη της διαλυτότητας των όξινων ανθρακικών ιόντων πρακτικά συμπίπτει με την καμπύλη, της διαλυτότητας των ιόντων Ca .

Αυτό δείχνει ότι στις εδαφικές συνθήκες όλο το διαλυμένο Ca βρίσκεται υπό μορφή όξινων ανθρακικών, ενώ το υπό μορφή $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή CaCO_3 διαλυτό ασβέστιο είναι αμελητέο.

Στον Πίνακα 25, παρουσιάζεται η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου και ανθρακικού μαγνησίου σε διαφορετικές πιέσεις CO_2 . Εάν το Ca του διαλύματος παρουσιασθεί σε μορφή καμπύλης και σε συνάρτηση με την κυβική ρίζα της μερικής πίεσης του CO_2 τότε σχηματίζεται ευθεία γραμμή.

Πίνακας 25. Διαλυτότητα του CaCO_3 και $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ στο νερό στους 25°C σε διαφορετικές pCO_2 (Bradfield, 1941).

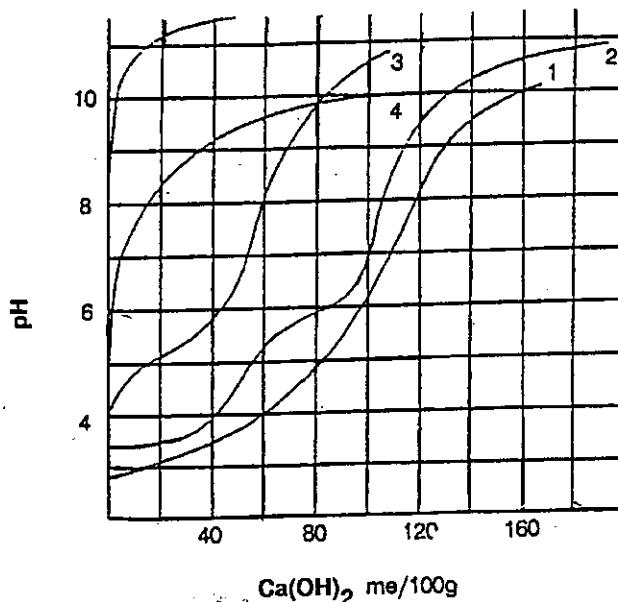
$\text{P}(\text{CO}_2\text{atm})$	$\text{P}^{1/3}$	CaCO_3		$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	
		$\text{Ca}^{++} \times 10^3$	pH	$\text{Mg}^{++} \times 10^3$	pH
0,00031	0,0677	0,52	8,30	10,13	9,85
0,00334	0,1494	1,17	7,62	22,10	9,39
0,0160	0,2513	2,01	7,18	31,27	8,58
0,0432	0,3509	2,87	6,90	46,01	8,35
0,1116	0,4814	4,03	6,64	62,66	—
0,9684	0,9893	8,91	6,05	212,5	—

6.12 Επίδραση του Ca(OH)_2 σε όξινη άργιλο με παρουσία ή χωρίς CO_2 .

Μετά την ανάλυση της επίδρασης του CO_2 στο Ca(OH)_2 και το CaCO_3 θα εξετασθεί στη συνέχεια τί συμβαίνει όταν επιδράσουμε σε μια όξινη άργιλο διαδοχικά αυξανόμενες ποσότητες Ca(OH)_2 . Στό σχήμα 40 παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες διαφόρων αργίλων καθώς και αυτή του πυριτικού οξέος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι άργιλοι στην περιοχή pH μεταξύ 4 και 6 έχουν καλή ρυθμιστική ικανότητα λόγω των εναλλακτικών θέσεων. Όμως και στην αλκαλική περιοχή, και μάλιστα πάνω από pH 10, η ρυθμιστική ικανότητα είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Η ποσότητα της βάσης που εξουδετερώθηκε από τις διάφορες αργίλους σε διάφορες τιμές pH, μπορεί να υπολογισθεί από τη διαφορά μεταξύ ποσότητας της βάσεως που απαιτείται για να φθάσει στο ίδιο pH τόσο η άργιλος όσο και το νερό. Οι καμπύλες του σχήματος 41 είναι με τον τρόπο αυτό.

Οι καμπύλες Β και Γ (σχ. 41) δείχνουν μια τάση να γίνουν παράλληλες προς τον άξονα των Ψ μέχρι το ουδέτερο σημείο (διακεκομένη γραμμή). Στη συνέχεια, με την αύξηση του pH δείχνουν πάλι μια τάση να γίνουν παράλληλες προς τον άξονα των Ψ στις μεγαλύτερες τιμές pH (10). Αυτό δείχνει ότι η άργιλος έχει την ικανότητα να εξουδετερώνει βάσεις και πέρα από το σημείο κορεσμού της, όταν αντιδρά με υδροξείδια βάσεων (Ca, Na κλπ) απουσία αέρα.

Δεδομένου όμως ότι οι κανονικές εδαφικές συνθήκες προουποθέτουν αέρα στο περιβάλλον (εκτός των εδαφών με μόνιμη κατάκλυση),

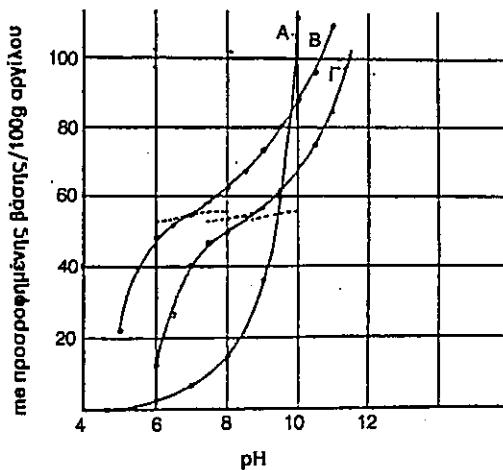


Σχ. 40. Καμπύλες ογκομετρήσεως ορισμένων αργίλων (1,2,3) και του πυριτικού οξέος (4) με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Καλόβουλος και Μισοπόλινός, 1977).

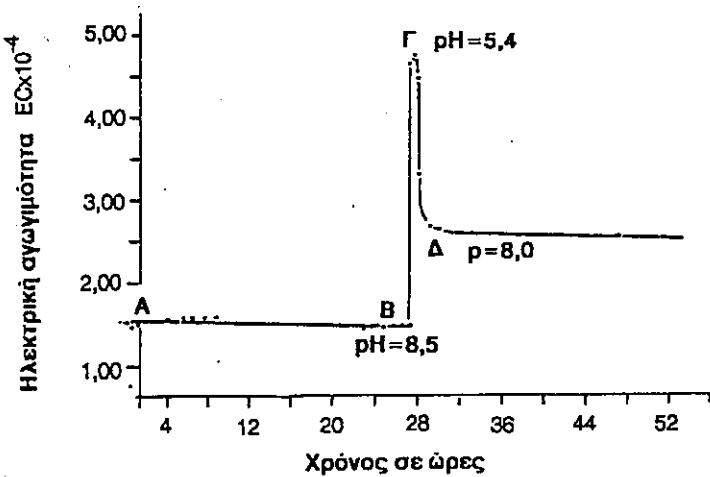
Θα εξετασθούν στη συνέχεια οι μεταβολές που υφίστανται όταν το σύστημα έρθει σε επαφή με τον αέρα. Για να πάρει κανείς μια ιδέα πόσο γρήγορα αντιδρά το CO_2 του αέρα με τέτοια συστήματα, μπορεί να θεωρήσει ένα κολλοειδές αιώρημα αργίλου κορεσμένο με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στο οποίο διαβιβάζουμε CO_2 .

Η ταχύτητα της αντιδράσεως μπορεί να υπολογισθεί εύκολα με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά τακτά χρονικά διασπήματα. Τα δεδομένα από ένα τέτοιο πείραμα φαίνονται στο Σχ. 42.

Στο σημείο Α της καμπύλης του σχήματος 42 προστέθηκε το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στο αιώρημα της αργίλου και το αιώρημα παρέμεινε σε σταθερή θερμοκρασία υπό συνεχή ανάδευση για περισσότερο από 24 ώρες. Στο σημείο Β διαβιβάστηκε καθαρό CO_2 . Η αγωγιμότητα αυξήθηκε ακαριαία μέχρι την τιμή που αντιστοιχεί στο σημείο Γ. Στο σημείο αυτό παρέμεινε μέχρι που να διαβιβαστεί στο αιώρημα ρεύμα αέρα. Η αγωγιμότητα έπεισε απότομα και διατηρήθηκε σταθερή μέχρι το τέλος του πειράματος. Μέτρηση του pH κατά τη διάρκεια του πειράματος σε μικρά δείγματα του αιωρήματος έδωσαν τις εξής τιμές: Β $\text{pH}=8,5$, στο Γ $\text{pH}=5,37$ και στο Δ $\text{pH}=7,94$. Η αγωγιμότητα στο σημείο Δ είναι



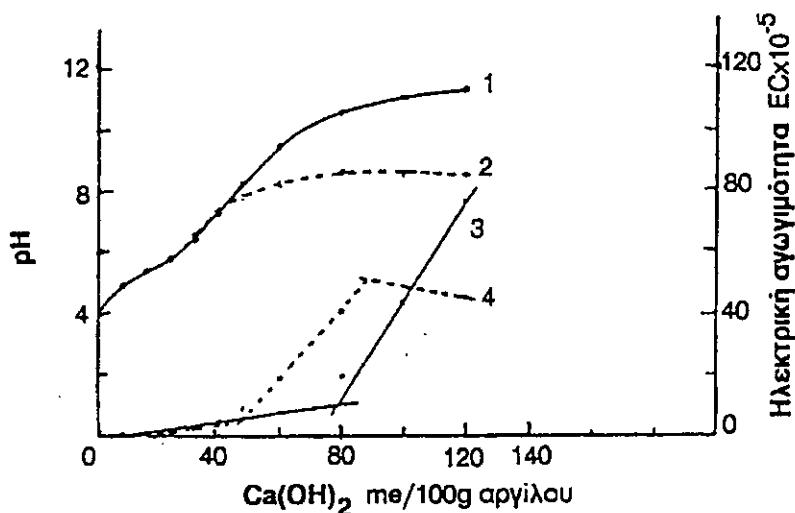
Σχ. 41. Ποσότητα βάσεως που εξουδετερώθηκε από αργίλους (Β,Γ) και πυριτικό οξύ (Α) σε διαφορετικό pH (Καλόβουλος και Μισοπολινός, 1977).



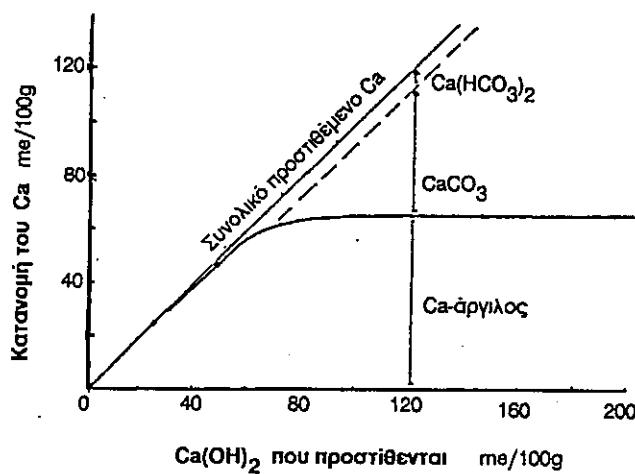
Σχ. 42. Μεταβολές της αγωγιμότητας αιωρίματος 1% αργίλου στο οποίο διαβιβάστηκε περίσεια $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (1,0 με/γ αργίλου). Τμήμα AB πρίν από τη διαβίβαση CO_2 , κατά τη διάρκεια διαβίβασης καθαρού CO_2 1atm (ΒΓ), και κατά τη διάρκεια διαβίβασης αέρα (ΓΔ) (Bradfield, 1941).

σχεδόν διπλάσια από αυτή στο σημείο Β και δείχνει ότι η συγκέντρωση ελευθέρων ιόντων είναι μεγαλύτερη στο σύστημα μετά τη διαβίβαση αέρα. Το πείραμα αυτό δείχνει καθαρά ότι ένα αιώρημα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και αργίλου αντιδρά πολύ γρήγορα στις μεταβολές της συγκέντρωσης του CO_2 .

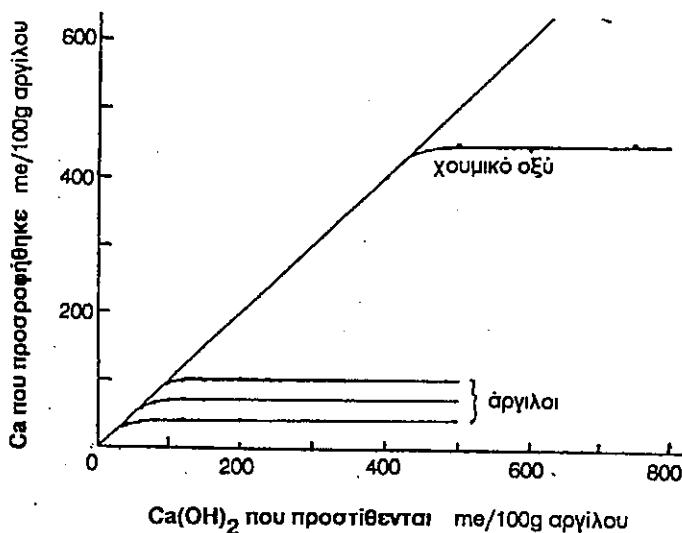
Εάν βάλουμε ίσες ποσότητες αιωρήματος αργίλου σε σειρά από ογκομετρικές φυάλες, προσθέσουμε στη συνέχεια διαδοχικά αυξανόμενες ποσότητες $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και μετρούμε το pH και την αγωγιμότητα σε περιβάλλον χωρίς αέρα τότε θα πάρουμε την τυπική καμπύλη 1 και 3 του σχήματος 43. Εάν το προηγούμενο σύστημα έρθει σε ισορροπία με το CO_2 που υπάρχει στον αέρα τότε, μετά από μερικές ώρες, θα πάρουμε τις καμπύλες 2 και 4. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι η παρουσία του CO_2 μείωσε το pH από 10 σε 8,4 περίπου. Η ποσότητα του Ca που συγκρατήθηκε από την άργιλο, όταν αυτό παρέχεται υπό μορφή $\text{Ca}(\text{OH})_2$, αυξάνεται αισθητά με την αύξηση του pH. Εξάλλου από το σχήμα 43 φαίνεται ότι, μετά τον αερισμό, το pH παραμένει στο 8,4 παρά την αύξηση της ποσότητας του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και η συγκέντρωση του ασβεστίου στο διάλυμα σταθερή (καμπύλη 4, Σχ. 43) και ανεξάρτητη από την ποσότητα του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που προστίθεται στο αιώρημα.



Σχ.43. Καμπύλες ογκομετρήσεως αργίλου χωρίς ή με αερισμό (Bradfield, 1941).



Σχ.44. Μορφές Ca ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 , και "άργιλος"-Ca), που κατά την προσθήκη σταδιακά $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε αιώρημα αργύλου στο σημείο ισορροπίας με το CO_2 του αέρα στους 25°C (Bradfield, 1941).



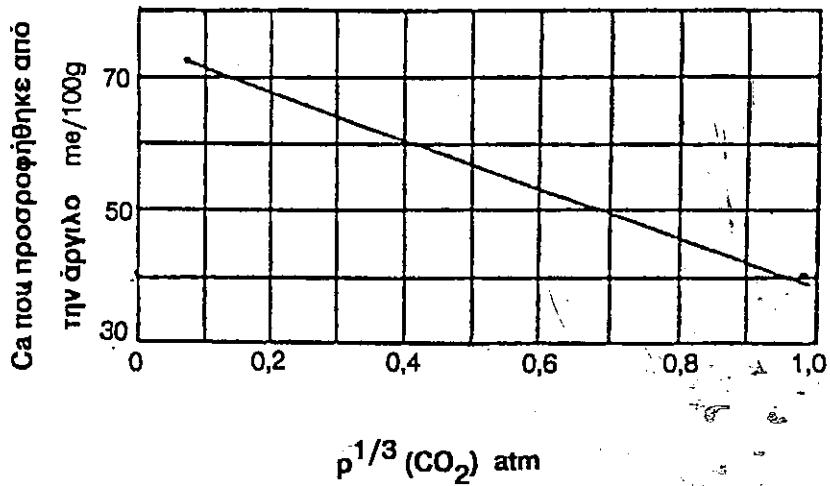
Σχ.45. Ποσότητα Ca που δεσμεύτηκε από αργύλους και χουμικό οξύ στην κατάσταση ισορροπίας με το CO_2 της ατμόσφαιρας (Bradfield, 1941).

Ας εξετάσουμε στη συνέχεια πως κατανέμεται το Ca, που προστίθεται στο σύστημα, μεταξύ των δύινων συστατικών που είναι παρόντα. Επειδή σε κάθε σταθερή ποσότητα αιωρήματος προστέθηκε γνωστή ποσότητα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και επειδή εκτός από την άργιλο το μόνο παρόν συστατικό είναι το CO_2 , το Ca θα υπάρχει σε τρείς μορφές, α) ως "άργιλος"-Ca, β) ως στερεό CaCO_3 , και γ) ως $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ στο διάλυμα. Πρώτα προσδιορίζουμε τη συνολική ποσότητα του CO_2 που υπάρχει σε κάθε δείγμα με την προσθήκη οξέος και τη μέτρηση του CO_2 που εκλύεται. Το τμήμα του CO_2 που αντιστοιχεί στο $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ υπολογίζεται από το Σχ.39. Με αφαίρεση του CO_2 που αντιστοιχεί στο $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ από τη συνολική ποσότητα του CO_2 βρίσκουμε την ποσότητα του CO_2 που αντιστοιχεί στο CaCO_3 . Με αφαίρεση στη συνέχεια του Ca του $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και του CaCO_3 από την ποσότητα του ασβεστίου που προσθέσαμε αρχικά στο δείγμα, βρίσκουμε την ποσότητα του Ca που συγκρατήθηκε από την άργιλο.

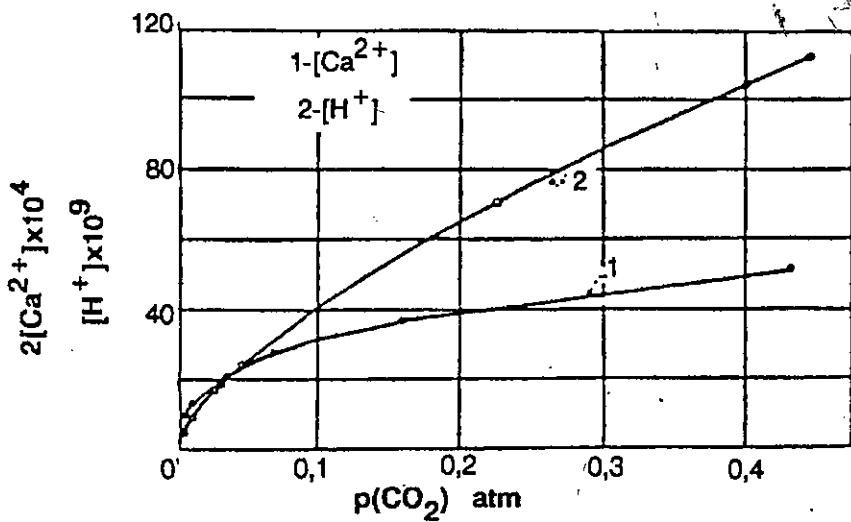
Στο σχήμα 44 φαίνεται ότι, στο σημείο κορεσμού, το Ca το οποίο συγκρατείται από την άργιλο είναι ανεξάρτητο από την ποσότητα του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ που προστίθεται. Μέχρι την επίτευξη του σημείου ισορροπίας όλο το Ca που προστίθεται συγκρατείται από την άργιλο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προηγουμένου πειράματος, τόσο η ποσότητα του $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ όσο και η ποσότητα του Ca που δεσμεύεται από την άργιλο παραμένουν σταθερά.

Κάθε αύξηση της ποσότητας του Ca που προστίθεται στο αιώρημα καθίζανει ως CaCO_3 . Στο σχήμα 45, παρουσιάζονται καμπύλες ογκομετρήσεως διαφορετικών αργίλων καθώς και χουμικού οξέος. Το χουμικό οξύ δίνει καμπύλη ίδιας μορφής με αυτές των αργίλων αλλά ασφαλώς με μεγαλύτερη ικανότητα κορεσμού λόγω μεγαλύτερης εναλλακτικής ικανότητας. Η εναλλακτική ικανότητα, στα εδάφη που περιέχουν CaCO_3 , επειδή παρουσιάζει διαφορές για την ίδια άργιλο ανάλογα με το pH είναι πιο σωστό να τη μετρούμε γύρω στο 8,3 που θεωρείται το σημείο κορεσμού του εδάφους με Ca ή άλλες βάσεις. Είναι δηλαδή το σημείο όπου το έδαφος βρίσκεται σε ισορροπία με περίσεια CaCO_3 στη μερική πίεση του CO_2 της ατμόσφαιρας. Οταν το έδαφος δεν είναι κορεσμένο με βάσεις είναι σε θέση να δεσμεύσει το Ca που του παρέχεται υπό μορφή $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή CaCO_3 . Μετά όμως από τον κορεσμό του εδάφους με βάσεις και το σχηματισμό ιζήματος CaCO_3 η συγκέντρωση του Ca^{2+} στο διάλυμα αυξάνει αρκετά. Η αύξηση π.χ. της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο σχήμα 43 (καμπύλη 4) δείχνει ακριβώς αυτή την κατάσταση.

Στα εδάφη λοιπόν που περιέχουν CaCO_3 και βρίσκονται σε ισορροπία με το CO_2 της ατμόσφαιρας το Ca υπάρχει σε ικανή ποσότητα



Σχ.46. Επίδραση του CO₂ στην απορρόφηση Ca (από Ca(OH)₂) σε υγρό άργιλο (Simmons, 1939).



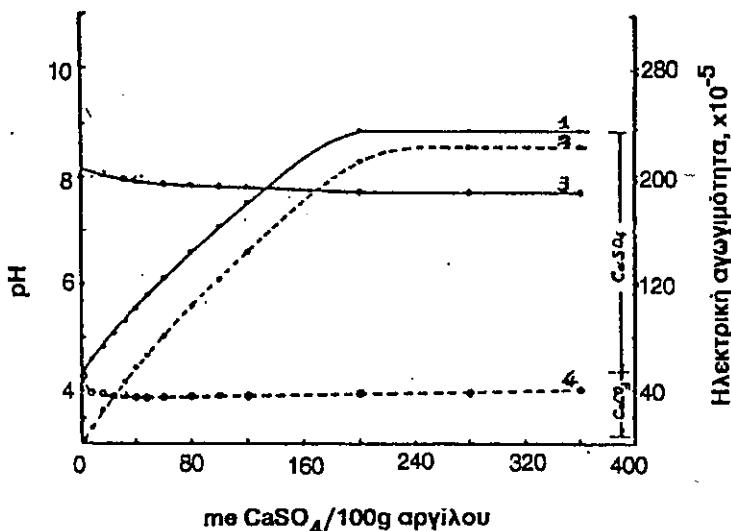
Σχ.47. Συγκέντρωση H⁺ και Ca²⁺ σε υδατικό διάλυμα ασβεστίτη σε συνάρτηση με την αύξηση της πίεσης του CO₂ στους 25°C (Simmons, 1939).

στο εδαφικό διάλυμα και κρατάει την άργιλο σε κατάσταση θρομβώσεως. Αυτό έχει μεγάλη πεδολογική σημασία διότι μ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ελουβιακή μετακίνηση της αργίλου. Μόνον όταν εξαντληθούν τα αποθέματα του CaCO_3 έχουμε μετακίνηση της αργίλου προς βαθύτερους ορίζοντες.

Μέχρι τώρα εξετάσαμε καταστάσεις στις οποίες η μερική πίεση του CO_2 ήταν ίδια με αυτήν της ατμόσφαιρας. Ομως η πίεση του CO_2 στο έδαφος συχνά είναι 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της ατμόσφαιρας. Γιαυτό θα πρέπει να εξετάσουμε πώς οι μεταβολές στην ποσότητα του CO_2 επηρεάζουν την ποσότητα του Ca που δεσμεύεται από την άργιλο. Η σχέση αυτή φαίνεται στο σχήμα 46 όπου στον άξονα των X είναι η κυβική ρίζα της μερικής πίεσης του CO_2 και στον άξονα των Ψ τα που δεσμεύτηκαν ανά 100g αργίλου. Η καμπύλη είναι ευθεία και παρουσιάζει πιώση με την αύξηση της μερικής πίεσης του CO_2 . Αυτό συμβαίνει για τον εξής λόγο. Με την αύξηση της πίεσης του CO_2 , οι συγκεντρώσεις τόσο του Ca^{2+} όσο και του H^+ αυξάνονται. Η αύξηση όμως αυτή γίνεται με διαφορετικούς ρυθμούς, όπως φαίνεται στο σχήμα 47. Η αύξηση του H^+ γίνεται με ταχύτερο ρυθμό απ' ότι του Ca^{2+} . Η ταχύτηρη αύξηση του H^+ και ο ανταγωνισμός των δύο αυτών κατιόντων για τα αρνητικά φορτία της αργίλου έχουν ως αποτέλεσμα να μειώνεται η ποσότητα του Ca^{2+} που προστροφάται από την άργιλο καθώς αυξάνει η πίεση του CO_2 .

Στην περίπτωση των ασβετούχων εδαφών, η διαφοροποίηση στην πίεση του CO_2 του περιβάλλοντος έχει μεγάλη σημασία και πολλές φορές δυστυχώς δεν τη λαμβάνουμε υπόψη. Η επίδραση αυτή στο pH των εδαφών αυτών όταν είναι σε κατάσταση καλού αερισμού (μικρή πίεση του CO_2) ή κατακλυσμένα (μεγάλη πίεση CO_2) έχει εξετασθεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Γενικά, οι μικρότερες από 8,2-8,4 τιμές του pH που παρατηρούνται στα εδάφη που περιέχουν CaCO_3 είναι αποτέλεσμα της περίσειας του CO_2 που περιέχουν. Όταν ένα τέτοιο έδαφος αφεθεί για μερικές ώρες (4-8) στην ατμόσφαιρα, θα έρθει σε ισορροπία με το CO_2 της ατμόσφαιρας και το pH θα έρθει στα φυσιολογικά για τις καταστάσεις αυτές επίπεδα (8,2-8,3).

Από όλα τα προηγούμενα που αναφέρθηκαν δεν θα πρέπει να βγεί το συμπέρασμα ότι υποχρεωτικά όλη η μάζα του εδάφους θα πρέπει να κορεσθεί με Ca^{2+} για να λειτουργήσει αυτή η ισορροπία που αναφέρθηκε προηγουμένως. Όταν σε ένα έδαφος π.χ. προστίθεται CaCO_3 για τη βελτίωσή του, τότε για τις περιοχές γύρω από τα τεμαχίδια του CaCO_3 δημιουργούνται συνθήκες ισορροπίας με το CO_2 που υπάρχει στο περιβάλλον, ενώ μερικά εκατοστά μακρύτερα οι συνθήκες είναι διαφορετικές. Η συγκέντρωση του Ca^{2+} , επομένως, θα μεταβάλλεται



Σχ.48. Επίδραση της γύψου στις τιμές του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μιας κορεσμένης με H^+ και μιας με Ca^{2+} αργίλου, 1 και 2 ηλεκτρική αγωγιμότητα Ca -αργίλου και H -αργίλου αντίστοιχα 3 και 4 pH Ca -αργίλου και H -αργίλου αντίστοιχα (Bradfield, 1941).

ανάλογα με το στενό εδαφικό περιβάλλον. Εντυπωσιακές καταστάσεις έχουμε στις περιπτώσεις ελαφράς ασβεστώσεως των όξινων εδαφών.

Σε περιοχές με περιορισμένη βροχόπτωση, συχνά στο έδαφος υπάρχει και άλλη ένωση του Ca , η γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), εκτός από το $CaCO_3$. Η διαλυτότητα της γύψου είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτήν του $CaCO_3$. Η επίδρασή της στο pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός ασβεστούχου και ενός όξινου εδάφους σε ισορροπία με το CO_2 της ατμόσφαιρας φαίνεται στο σχήμα 48.

Η καμπύλη 4 στο σχήμα 48 δείχνει την επίδραση της προσθήκης αυξανομένων ποσοτήτων γύψου σε ένα όξινο έδαφος. Με την προσθήκη αρχικά μικρής ποσότητας γύψου το pH έπεσε κατά μισή περίπου μονάδα. Η περαιτέρω προσθήκη γύψου δεν είχε καμπιά σοβαρή επίδραση στο pH. Το ίδιο συμβαίνει (καμπύλη 3) και με το ασβεστούχο έδαφος, με μικρότερη όμως από μισή μονάδα αρχική πτώση στο pH. Οι καμπύλες 1 και 2 δείχνουν την επίδραση της προσθήκης γύψου στην ηλεκτρική αγωγιμότητα τόσο στις όξινες όσο και στις ασβεστούχες αργίλους. Από όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα θα περίμενε κανείς να υπήρχε σημαντική διαφορά στις καμπύλες της ηλεκτρικής αγωγιμό-

τητας του όξινου και του ασβεστούχου εδάφους. Ομως, η διαφορά αυτή γίνεται μικρότερη με την αύξηση της ποσότητας της γύψου.

Όπως θα περίμενε κανείς το CaSO_4 εφοδιάζει με πολύ μεγαλύτερα ποσά Ca^{2+} απ' ότι το CaCO_3 στη μερική πίεση του CO_2 της ατμόσφαιρας. Πράγματι σε ατμοσφαιρική πίεση CO_2 η ηλεκτρική αγωγιμότητα του συστήματος Ca-άργιλος- $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_4$ είναι πενταπλάσια ($23,6 \times 10^{-4}$) από αυτήν του συστήματος Ca-άργιλος- CaCO_3 σε κορεσμένη ατμόσφαιρα CO_2 ($4,7 \times 10^{-4}$).

Συμπερασματικά θα μπορούσαν να λεχθούν ότι: Η χημεία του συστήματος εδάφος- $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$, επηρεάζει όλες τις άλλες αντιδράσεις του εδάφους άμεσα ή έμμεσα. Επηρεάζονται τόσο αυτές των μεγαλοστοιχείων όσο και αυτές των μικροστοιχείων και από τα μικροστοιχεία κυρίως το σίδηρο, το μαγγάνιο και το βόριο. Ετσι η γνώση της χημείας του συστήματος Εδάφος- $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ είναι βασική για όλη τη χημεία του εδάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΤΑ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥΣ

7.1 ΠΟΙΑ ΘΕΩΡΟΥΝΤΑΙ ΩΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

Ως ασβεστούχα εδάφη χαρακτηρίζονται τα εδάφη τα οποία περιέχουν CaCO_3 σε ποσοστό μεγαλύτερο από 10%. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε CaCO_3 επηρεάζει καθοριστικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών αυτών, όπως τις σχέσεις εδάφους νερού και τη δυνατότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων. Περιεκτικότητες CaCO_3 μικρότερες από 10% συνήθως δεν επηρεάζουν αρνητικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατό να ενταχθούν στην κατηγορία των προβληματικών εδαφών.

Η κατηγορία των ασβεστούχων εδαφών αποτελεί ένα μεγάλο τμήμα περιοχών με χαμηλή βροχόπτωση και μεγάλη εξατμισοδιαπνοή. Οι παράγοντες αυτοί σε συνάρτηση με το μητρικό υλικό δημιουργούν την κατατομή των ασβεστούχων εδαφών. Εποι, στον ελληνικό χώρο η πληθώρα ασβεστολιθικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι, μάργες, μάρμαρα, κ.λ.π.), η χαμηλή βροχόπτωση (με εξαίρεση τη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα) και οι υψηλές θερμοκρασίες αποτελούν τις προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες έχουν δημιουργηθεί τα ασβεστούχα εδάφη.

7.2 Η ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Τα ασβεστούχα εδάφη διακρίνονται σε δύο ομάδες οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την κατανομή του CaCO_3 στην κατατομή τους και τη δημιουργία ή όχι calcic ορίζοντα.

Στη πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα εδάφη τα οποία δεν έχουν αναπτυγμένη κατατομή, όπως π.χ. σκελετικά ή προσχωσιγενή εδάφη, και η κατανομή του CaCO_3 δεν παρουσιάζει χαρακτηριστικά σχηματισμού calcic ορίζοντα.

Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται τα εδάφη με λιγότερο ή πε-

ρισσότερο αναπτυγμένη κατατομή και ύπαρξη calcic ορίζοντα. Ο ορίζοντας calcic βρίσκεται συνήθως στο μέσο της κατατομής, στον Bca ορίζοντα, όπου το CaCO₃, λόγω της συγκέντρωσής του, είναι εν μέρει ορατό. Στον ορίζοντα A το CaCO₃ βρίσκεται σε μικρότερες ποσότητες ή λείπει τελείως, ενώ στον C ορίζοντα το ποσοστό του CaCO₃ ακολουθεί το ποσοστό του μητρικού υλικού (αν είναι ασβεστούχο) ή λείπει τελείως αν το μητρικό υλικό δεν είναι ασβεστούχο.

Ο Bca ορίζοντας είναι αυτός που έχει τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα στη μελέτη των ασβεστούχων εδαφών. Διακρίνονται ανάλογα με τη μορφολογία του τρείς κυρίως τύποι εδαφοκατατομής:

α) **Ασβεστούχα εδάφη με μικρή διαφοροποίηση.** Το πάχος του Bca ορίζοντα είναι 20-50εκ. και η ανάπτυξή του μικρή. Η περιεκτικότητα σε CaCO₃ είναι μόλις 10% μεγαλύτερη από του A και C ορίζοντα.

β) **Ασβεστούχα εδάφη με μέση διαφοροποίηση.** Η συγκέντρωση του CaCO₃ είναι μεγαλύτερη και ο ορίζοντας Bca μπορεί να είναι σκληρός ή μαλακός και τα όριά του είναι ασαφή. Το CaCO₃ είναι μέχρι 60% περισσότερο από του A και C ορίζοντα και το πάχος του κυμαίνεται από 20 έως 100εκ.

γ) **Ασβεστούχα εδάφη με ισχυρή διαφοροποίηση.** Ο Bca ορίζοντας σε ένα τμήμα του είναι πολύ σκληρός και ονομάζεται **petrocalcic**. Το CaCO₃ υπερβαίνει το 60% των A και C.

7.3 ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.

Οι φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες των εδαφών αυτών έχουν ως συνέπεια την εμφάνιση ορισμένων προβλημάτων σχετικών με την καλλιέργεια και την ανάπτυξη των περισσότερων καλλιεργούμενων φυτών.

Τα προβλήματα αυτά είναι:

- α) Σχηματισμός κρούστας στην επιφάνεια του εδάφους.
- β) Δημιουργία σκληρού στρώματος στο υπέδαφος.
- γ) Μικρή διαθεσιμότητα του φωσφόρου.
- δ) Προβλήματα σχετικά με την διαθεσιμότητα του Mg και K λόγω ύπαρξης μεγάλων ποσοτήτων ασβεστίου στο έδαφος.
- ε) Μικρή διαθεσιμότητα ιχνοστοιχείων.
- η) Προβλήματα σχετικά με τη διαθεσιμή υγρασία των εδαφών αυτών, δεδομένου ότι τα εδάφη αυτά έχουν μικρή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας.

Τα περισσότερα από τα προηγούμενα προβλήματα σχετίζονται με το ποσοστό του CaCO₃ το οποίο είναι συγκεντρωμένο στο κλάσμα

ιλύος και αργίλου και το οποίο ονομάζεται **ενεργό ανθρακικό ασβέστιο**.

Η μικρή διαθεσιμότητα της υγρασίας στα ασβεστούχα εδάφη οφείλεται στο σχηματισμό σταθερών συσσωματωμάτων και στην κανονική κατανομή των μικρών και μεγάλων πόρων στο έδαφος. Ανθρακικό ασβέστιο μέχρι 15% στο έδαφος δημιουργεί μεγαλοπορώδες, ενώ αύξηση του CaCO_3 στο 25%, με την καθίζηση του CaCO_3 μέσα στους μεγάλους πόρους, δημιουργεί μικροπορώδες. Όταν το ποσοστό του CaCO_3 υπερβαίνει το 25% τότε το μέγεθος των πόρων σχετίζεται με το μέγεθος των τεμαχιδίων του CaCO_3 και όσο μεγαλύτερα τα τεμαχίδια, τόσο μεγαλύτεροι και οι πόροι.

Μεταξύ των ασβεστούχων εδαφών συμπεριλαμβάνονται και τα ασβεστούχα εδάφη που περιέχουν μεγάλο ποσοστό οργανικής ουσίας, όπως είναι ορισμένα εδάφη παλαιών πυθμένων λιμνών οι οποίες έχουν αποστραγγιστεί. Τα προβλήματα στα εδάφη αυτά εξαρτώνται από το μικρό ή μεγάλο ποσοστό της οργανικής ουσίας. Όσο το ποσοστό της οργανικής ουσίας παραμένει υψηλό (4-5%) τόσο και τα προβλήματα (κρούστα, διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, κ.λ.π.) είναι σχεδόν ανύπαρκτα. Όσο το ποσοστό της οργανικής ουσίας μειώνεται και πλησιάζει ή ξεπερνά το 2% τόσο τα προβλήματα, λόγω της παρουσίας μεγάλου ποσοστού CaCO_3 στο επιφανειακό στρώμα καθώς και στο υπέδαφος, γίνονται έντονα έως καθοριστικά.

Τα προβλήματα τα σχετικά με τα μεγαλοστοιχεία και μικροστοιχεία οφείλονται στους εξής παράγοντες :

1. Τη μη διαθεσιμότητα του φωσφόρου που υπάρχει στο έδαφος και οφείλεται στο υψηλό pH των εδαφών αυτών.
2. Στην ίδια αιτία οφείλεται και η μικρή διαθεσιμότητα σε ψευδάργυρο και σίδηρο.
3. Στο μικρό ποσοστό σε οργανική ουσία των εδαφών αυτών που συνεπάγεται μικρή διαθεσιμότητα σε άζωτο.

Όλα τα προηγούμενα προβλήματα τα σχετικά με τα θρεπτικά στοιχεία μπορούν να εξουδετερωθούν με την παροχή στα εδάφη αυτά των αντίστοιχων ποσοτήτων τους με τους εξής όμως περιορισμούς :

α) Οι ποσότητες αζώτου θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της κάθε καλλιέργειας και μόνο, διότι είναι δυνατόν η παρουσία ενός αδιαπέρατου στρώματος να οδηγήσει σε συγκέντρωση του $\text{NO}_3\text{-N}$ στην περιοχή των ριζών. Τα αμμωνιακά λιπάσματα και η ουρία θα πρέπει να ενσωματώνονται στο έδαφος για τον κίνδυνο της απώλειάς τους από την επιφάνεια.

β) Οι ποσότητες του P θα πρέπει επίσης να ανταποκρίνονται στις ανάγκες κάθε καλλιέργειας, διότι περίσεια φωσφόρου στο έδαφος θα

έχει ως αποτέλεσμα έλλειψη Ζη ή Fe. Θεωρείται σκόπιμο το 60% του φωσφόρου, που πρόκειται να εφαρμοσθεί στο έδαφος, να δίδεται σε υδατοδιαλυτή μορφή. Θα πρέπει να λαμβάνεται επίσης υπόψη ότι άπαξ και δημιουργηθεί ένα επιθυμητό επίπεδο φωσφόρου στο έδαφος, τότε, λόγω της σταδιακής απελευθέρωσής του από τη στερεά φάση, ο διαθέσιμος φωσφόρος είναι επαρκής για τα επόμενα χρόνια. Οι ποσότητες αυτές κυμαίνονται γύρω στα 240 kg/στρ. υπερφωσφορικού για πρώτη λίπανση.

γ) Σχετικά με τις απαιτούμενες ποσότητες Mg, K, SO_4^{2-} , Cl^- και B στα ασβεστούχα εδάφη θεωρείται (στις περισσότερες τουλάχιστον περιπτώσεις) ότι παρέχονται σε ικανοποιητικές ποσότητες με το νερό αρδεύσεως.

δ) Οι ελλείψεις Ζη και Fe (όταν παρουσιάζονται) μπορούν να αντιμετωπιστούν στην κατάλληλη εποχή και με μεγάλη επιτυχία με τη χρήση διαφυλλικών χηλικών ενώσεων των στοιχείων αυτών.

7.4 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η βελτίωση των ασβεστούχων εδαφών συνεπάγεται τη μελέτη και αντιμετώπιση ορισμένων σοβαρών προβλημάτων, όπως, τις σχέσεις εδάφους-νερού, τη δημιουργία επιφανειακής κρούστας, την ισοπεδώση (όπου είναι δυνατή), την κατάλληλη μέθοδο αρδεύσεως, τις καλλιεργητικές εργασίες, την ανάπτυξη των κατάλληλων καλλιεργειών και τα προβλήματα των θρεπτικών στοιχείων.

Τα σχετικά με την αντιμετώπιση της έλλειψης των θρεπτικών στοιχείων αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες σελίδες.

Η μικρή ικανότητα των εδαφών αυτών να συγκρατήσουν υγρασία οφείλεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του CaCO_3 είναι στο μέγεθος της ιλύος. Αυτό συνεπάγεται και τη χαλαρή (μη χημική) συγκράτηση του νερού στο έδαφος και την άμεση (και όχι σταδιακή) μείωσή του. Το νερό της άρδευσης θα πρέπει να παρέχεται σε μικρές ποσότητες και σε μικρά χρονικά διαστήματα έχοντας υπόψη στους υπολογισμούς τους κινδύνους αλάτωσης του εδάφους.

Η δημιουργία κρούστας, λόγω συνήθως του μικρού ποσοστού της οργανικής ουσίας των εδαφών αυτών, είναι συνήθης σ'ένα αρδεύμενο έδαφος. Η διάλυση του CaCO_3 και η καθίζησή του με την ξήρανση του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σκληρής επιφανειακής κρούστας η οποία εκτός της ξήρανσης είναι συνάρτηση και της μηχανικής σύστασης όπως επίσης και της ύπαρξης άλλων αλάτων εκτός του CaCO_3 . Η ύπαρξη αλάτων Na π.χ. δημιουργεί μια εύθρυπτη επιφανειακή κρούστα. Η στάγην άρδευση και οι κατάλληλες καλλιεργητικές ερ-

γαστίς είναι δυνατόν να μειώσουν τη δυνατότητα δημιουργίας της κρούστας. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι με την άρδευση το τμήμα του εδάφους πίου υπόκειται σε διύγρανση και ξήρανση αποκτά μια σκληρότητα και κατά συνέπεια αντίσταση στη διείσδυση των ριζών. Βαθειά άρωση (στα 25έκ.) κάτω από κατάλληλες συνθήκες υγρασίας του εδάφους (3-4 μέρες μετά την άρδευση), που διαμορφώνει συνεχώς καλή δομή, αποτελούν την πιο πρόσφορη λύση.

Ασφαλώς το πρόβλημα της υγρασίας και της κρούστας μπορεί να βελτιωθεί αισθητά, μέχρι την πλήρη αποκατάστασή του, με την προσθήκη ικανής ποσότητας κοπριάς, όμως αυτή η λύση αντιμετωπίζει πάντοτε το πρόβλημα ανεύρεσης μεγάλων ποσοτήτων κοπριάς γιατρό και συνήθως δεν είναι εφικτή.

Εκείνο που θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα για την διατήρηση του επιφανειακού στρώματος των εδαφών αυτών που είναι και το πιο παραγωγικό τμήμα του. Έκθεση στους παράγοντες της διάβρωσης ή πολύ βαθειά άρωση έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του calcic ορίζοντα με τα γνωστά καταστροφικά αποτελέσματα.

Η επιλογή των καλλιεργειών στα ασβεστούχα εδάφη θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερη προσοχή διότι μόνο οι ανθεκτικές σε μεγάλα ποσοστά CaCO₃ μπορούν να αποδώσουν. Τέτοιες καλλιέργειες είναι τα ψυχανθή και η μηδική όταν υπάρχει διαθέσιμη ικανή ποσότητα νερού για άρδευση. Ο ηλίανθος είναι από τις καλλιέργειες που αναπτύσσονται ικανοποιητικά στα ασβεστούχα εδάφη. Από τις δενδρώδεις καλλιέργειες το αμπέλι με κατάλληλο υποκείμενο, η ελιά και ορισμένα άλλα οπωροφόρα όπως δαμασκηνιά, βερυκοκιά εμβολιασμένα στο κατάλληλο υποκείμενο μπορούν να αναπτυχθούν πολύ ικανοποιητικά στα ασβεστούχα εδάφη.

Γενικά, αυτό που ονομάζουμε βελτίωση στα ασβεστούχα εδάφη δεν ταυτίζεται με την χρησιμοποιούμενη έννοια του όρου. Ο όρος βελτίωση στην περίπτωση των ασβεστούχων εδαφών σημαίνει ότι λαμβάνονται μια σειρά μέτρων για να αντιμετωπίσουμε περισσότερο, παρά να μεταβάλλουμε τις ιδιότητες των εδαφών αυτών.

ΕΠΕΞΗΓΗΣΙΣ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.

Αλατούχο έδαφος : Έδαφος μη νατριωμένο που περιέχει υδατοδιαλυτά άλατα σε ποσότητες τέτοιες οι οποίες αναστέλλουν την ανάπτυξη των περισσοτέρων φυτών. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού είναι μεγαλύτερο από 2 mS/cm στους 25° C , το ποσοστό εναλλακτικού νατρίου (ESP) θίγαι <15 και το pH συνήθως $<8,5$.

Αλάτωση : Η πορεία της συγκέντρωσης υδατοδιαλυτών αλάτων στο έδαφος.

Αλκαλικό έδαφος : Έδαφος με αντίδραση αλκαλική, όπως π.χ. ένα έδαφος που έχει pH στο εκχύλισμα κορεσμού >7 .

Απαιτούμενο νερά στράγγισης (Leaching requirement, LR) : Το τμήμα του νερού αρδεύσεως το οποίο εισέρχεται και διέρχεται με ενεργό τρόπο διαμέσου του εδάφους έως κάτω από το ριζόστρωμα για να εμποδίσει το σχηματισμό αλατότητας. Μπορεί να εκφρασθεί είτε ως κλάσμα είτε ως ποσοστό του νερού αρδεύσεως.

Ασβέστης (lime) : Γενικά το CaO, όλλα χρησιμοποιούνται στη γεωργία και για το CaCO₃ καθώς και για Ca(OH)₂.

Βελτιωτικά νερού αρδεύσεως : Χημικά πρόσθετα στο νερό προκειμένου να βελτιωθούν ορισμένες εδαφο-υδατικές ιδιότητες όπως αύξηση της ταχύτητας διηθήσεως, με τη μεταβολή στη σύνθεση του εδαφο-υδατικού συμπλόκου.

Γυψώδη έδαφη : Εδάφη που περιέχουν ένα αυγκεκριμένο ελάχιστο ποσοστό γύψου. Διαφέρει από χώρα σε χώρα μεταξύ 1 και 5%.

Δείκτης αλατότητας : Αφορά λιπάσματα. Δείκτης της έκτασης στην οποία μια ποσότητα λιπάσματος αιχάνει την οσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος.

Δείκτης κορεσμού : Υπολογισμός καθίζησης ανθρακικών από το νερό αρδεύσεως ως αποτέλεσμα του βαθμού κορεσμού σε ανθρακικό ασβέστιο του εδαφικού διαλύματος.

Διαπνοή : Η ταχύτητα απώλειας νερού δια του φυτού η οποία ρυθμίζεται από φυσικές και φυσιολογικές λειτουργίες.

Διηθητικότητα : Η κατακόρυφη διέλευση του νερού από το έδαφος.

Δυναμικό εδαφικού νερού ή εδαφοϋδατικό δυναμικό : Το έργο που απαιτείται ανά μονάδα ποσότητας καθαρού νερού προκειμένου να μεταφέρει με αντιστρεπτό τρόπο και ισοθέρμως μια απειροστή ποσότητα νερού από μια δεξαμενή καθαρού νερού καθορισμένου υψομέτρου, και στην αποσφαιρική πίεση, στο εδαφικό νερό και στο σημείο το οποίο μελετάται. Το συνολικό εδαφοϋδατικό δυναμικό είναι το άθροισμα του δυναμικού λόγω βαρύτητας και των οιμωτικών δυναμικών.

Εδαφική κρούστα : Η εδαφική κρούστα σχηματίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ως αποτέλεσμα της συμπίεσης από εξωτερική δύναμη. Η δύναμη αυτή προέρχεται κυρίως από την πώση των σταγόνων της βροχής, και το νερό αρδεύσεως καθώς το έδαφος διαβρέχεται και στη συνέχεια ξηραίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία.

Εδαφική υγρασία αμέσως διαθέσιμη : Η ποσότητα του νερού μεταξύ του σημείου της υδατοϊκανότητας και του σημείου μαράνσεως που βρίσκεται στην περιοχή του ριζοστρώματος και είναι άμεσα διαθέσιμη στο φυτό.

Εδαφικό διάλυμα : Το υδατικό διάλυμα που είναι σε ισορροπία με ένα έδαφος και συγκρατείται με μία συγκεκριμένη δύναμη ορισμένων αποσφαιρών.

Εδαφικό νερό : Η ποσότητα (το ύψος) νερού που είναι διαθέσιμη στην περιοχή του ριζοστρώματος από προηγούμενη βροχή, χιόνι ή άρδευση, η οποία καλύπτει τις ανάγκες της καλλιέργειας εν μέρει ή στο σύνολό της.

Εναλλαγή κατιόντων : Η αντιστρεπτή ανταλλαγή (εναλλαγή) κατιόντων του εδαφικού διαλύματος με άλλα κατιόντα που είναι προσφροφημένα στην αρνητικώς φορτισμένη επιφάνεια της αργίλου.

Εδαφοβελτιωτικά : Χημικές ενώσεις ή υλικά (οργανικά ή ανόργανα) τα οποία βελτιώνουν το έδαφος με τη διαφοροποίηση των φυσικών κυρίως ιδιοτήτων του παρά με την προσθήκη ικανής ποσότητας θρεπτικών στοιχείων.

Έδαφος σε διασπορά : Έδαφος στο οποίο η άργιλος σχηματίζει ευκολότατα κολλοειδές διάλυμα (λόγω θραύσης και διαχωρισμού των τακτοειδών). Τα εδάφη που βρίσκονται σε διασπορά έχουν μικρή διηθητικότητα, έχουν τάση να συρικνώνονται, να σχίζονται, να καθίστανται

σκληρά με την ξήρανση, ή να κολλούν και να γίνονται πλαστικά όταν διαβρέχονται.

Ειδική επιφάνεια : Η επιφάνεια ανά μονάδα βάρους εδάφους εκφρασμένη συνήθως σε m^2/gr εδάφους.

Έκπλυση : Η διαδικασία της απομάκρυνσης υδατοδιαλυτών ενώσεων με νερό το οποίο διέρχεται από το έδαφος.

Εκχύλισμα κορεσμού : Το διάλυμα που εκχυλίζεται από την πάστα.

Εντοπισμένη άρδευση : Συστήματα αρδεύσεως τα οποία διαβρέχουν την περιοχή του εδάφους στο βάση του φυτού. Είναι ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για συστήματα όπως της στάγδην άρδευσης ή άλλων ανάλογων συστημάτων σταγόνας ή ροής σταγόνων.

Εξατμισοδιαπνοή (ET) : Ο ρυθμός της απώλειας νερού από τη διαπνοή των φυτών σύν την εξάτμισή του από το έδαφος.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_e) : της πάστας εδάφους στους 25°C. Η ιδιότητα μιας ουσίας να μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο (το αντίστροφο της αντίστασης). Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ποσού των αλάτων του εδαφικού εκχυλίσματος της πάστας (του νερού κορεσμού). Η μέτρηση γίνεται σε dS/m, mS/cm, μS/cm.

Ικανότητα εναλλαγής καπιόντων : Η συνολική ποσότητα καπιόντων που είναι δυνατόν να προσφέρει το εδαφικό σύμπλοκο. Εκφράζεται σε me/100g ή mmole/Kg και η τιμή της εξαρτάται από τη μέθοδο προσδιορισμού της.

Ικανότητα διηθήσεως : Ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο ένα έδαφος με δεδομένες συνθήκες και χρόνο μπορεί να απορροφήσει το νερό της βροχής ή νερό αρδεύσεως με κατάκλυση όταν η περιοχή θεωρείται με άπειρο μέγεθος ή όταν λαμβάνονται μέτρα ώστε να μην υπάρχουν αποκλίσεις ροής στα όρια της περιοχής. Αντιστοιχεί στον όγκο του νερού που εισέρχεται στο έδαφος ανά μονάδα επιφανείας και χρόνου και έχει τις διαστάσεις της ταχύτητας, l/t.

Κατατομή αλατότητας : Διαγραμματική αναπαράσταση των ζωνών διαφορετικών επιπέδων αλατότητας, όπως εμφανίζεται σε μία εδαφοτομή.

Καμπύλες συγκρατήσεως υγρασίας : Γραφική παράσταση που δείχνει τη σχέση μεταξύ της ποσότητας του νερού που είναι στο έδαφος σε κατάσταση ισοροπίας και της δύναμης που απαιτείται για την αποδέ-

σμευστή του. Ονομάζονται επίσης και "χαρακτηριστικές καμπύλες εδαφικής υγρασίας".

Κλάσμα εναλλακτικού νατρίου (ESF) : Ο βαθμός κορεσμού του εδαφικού συμπλόκου με νάτριο. Υπολογίζεται από τη σχεση:

$$\text{ESF} = \frac{\text{εναλλακτικό νάτριο (mg/100g εδάφους)}}{\text{εναλλακτική ικανότητα (mg/100g εδάφους)}}$$

Κλάσμα στράγγισης (LF) : Το τμήμα του νερού αρδεύσεως το οποίο εισέρχεται και διέρχεται με ενεργό τρόπο διαμέσου του εδάφους έως κάτω από το ριζόστρωμα για να εμποδίσει το σχηματισμό αλατότητας. Το LF δείχνει ότι η τιμή πρέπει να εκφρασθεί ως κλάσμα του νερού αρδεύσεως.

Νατριωμένο έδαφος : Έδαφος που περιέχει ικανή ποσότητα εναλλακτικού νατρίου ώστε να εμποδίζεται η κανονική ανάπτυξη των περισσότερων φυτών, άσχετα αν στο εδαφικό διάλυμα περιέχονται πολλά ή λίγα άλατα.

Οσμωτικό αποτέλεσμα : Η δύναμη που απαιτείται να καταβάλει το φυτό προκειμένου να αντλήσει νερό από το έδαφος. Η παρουσία αλάτων στο εδαφικό διάλυμα αυξάνει τη δύναμη που χρειάζεται να καταβάλει το φυτό.

Οσμωτικό δυναμικό : Η επιπρόσθετη ενέργεια που απαιτείται για την αντληση και απορρόφηση νερού από ένα αλατούχο έδαφος.

Οσμωτική πίεση : Η ισοδύναμη αρνητική πίεση η οποία επηρεάζει την ταχυτητα διάχυσης του νερού διαμέσου ημιπερατής μεμβράνης. Η πειραματική της τιμή για ένα διάλυμα είναι η διαφορά της πιέσεως που απαιτείται για την εξίσορρότητη των ταχυτήτων διαχύσεως μεταξύ διαλύματος και καθαρού νερού μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης.

Πάστα : Ένα συγκεκριμένο μείγμα εδάφους και νερού. Στο σημείο κορεσμού η επιφάνεια του εδάφους είναι γυαλιστερή διότι ανακλά το φώς και άν δημιουργηθεί αυλάκι με τη σπάσουλα τότε τα χείλη του έχουν την τάση να ενωθούν βραδέως.

Πορώδες : Το κλάσμα του όγκου του εδάφους που δεν καταλαμβάνεται από εδαφικά τεμαχίδια, π.χ. ο λόγος του αθροίσματος των όγκων της υγράς και αερίου φάσεως, προς το άθροισμα των όγκων στερεάς, υγράς και αερίου φάσεως του εδάφους.

Ποσοστό εναλλακτικού νάτριου (ESP) : Το ποσοτό του εναλλακτικού νάτριου στο εδαφικό σύμπλοκο. Υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\text{ESP} = \frac{\text{εναλλακτικό νάτριο (me/100g εδάφους)}}{\text{εναλλακτική ικανότητα (me/100g εδάφους)}} \times 100$$

Προσρόφηση (α.absorption και β.adsorption) : α. Η πορεία κατά την οποία μια ουσία εισέρχεται και περιλαμβάνεται μέσα σε μια άλλη. Προσρόφηση νερού από το έδαφος ή προσρόφηση νερού, αερίων, θρεπτικών συστατικών ή άλλων ουσιών από τα φυτά. β. Η αυξανόμενη συγκέντρωση ιόντων σε μια επιφάνεια, κυρίως εναλλακτικών κατιόντων και ανιόντων στην επιφάνεια εδαφικού τεμαχίδιου.

Ριζόστρωμα : Το τμήμα του εδάφους από το οποίο οι ρίζες των φυτών αντλούν νερό και θρεπτικά στοιχεία.

Σημείο μαράνσεως ή ποσοστό των 15 atm : Το ποσοστό υγρασίας, επί ξηρής βάσεως, ενός εδαφικού δείγματος το οποίο έχει διαβραχεί και έχει έρθει σε ισορροπία σε συκευή με πιεστική μεμβράνη σε πίεση 15 atm (221 psi). Η χαρακτηριστική αυτή τιμή της υγρασίας αποτελεί και το περίπου κατώτερο όριο διαθέσιμου νερού για την ανάπτυξη των φυτών.

Στάγδην άρδευση: Είδος εντοπισμένης άρδευσης στην οποία το νερό πέφτει στο έδαφος από σωλήνα (πλαστικό συνήθως) ή σταλακτήρα σε μορφή σταγόνων.

Στράγγιση : α. Η πορεία της απορροής νερού από μια επιφάνεια εδάφους λόγω καθολικής επιφανειακής ή αιλακωτής ροής (επιφανειακή στράγγιση), καθώς και η απομάκρυνση της περίσειας νερού από τη μάζα του εδάφους με κατακόρυφη ροή δια μέσου του εδάφους (εσωτερική στράγγιση). β. Τα μέσα για να προκαλέσουμε την απομάκρυνση του νερού από το έδαφος, όπως επιφανειακά κανάλια, υπόγειους αγωγούς, στραγγιστικό δίκτυο, στραγγιστικά φρεάτια κ.ο.κ.

Σχέση προσρόφησης νατρίου (SAR) : Μια σχέση για εδαφικά εικυλίσματα και νερά αρδεύσεως που χρησιμοποιείται για την έκφραση της σχετικής ενεργότητας των ιόντων νατρίου σε αντιδράσεις εναλλαγής με το έδαφος. Εκφράζεται σε me/l.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}}$$

Συσσωμάτωμα : Σύνολο εδαφικών τεμαχιδίων συγκολημένων που συμπεριφέρονται μηχανικά ως ενιαία μονάδα.

Ταχύπτητα διηθήσεως : Όπως της ικανότητας διηθήσεως και επιπρόσθετα ότι οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν με μέθοδο η οποία θα τηρεί τις προϋποθέσεις που προαναφέρθηκαν.

Υγρασία εδάφους % : α. Επι ξηρού βάρους. Το % κατά βάρος ποσοστό νερού του εδάφους το οποίο ξηράνθηκε (συνήθως στους 104 °C) μέχρι σταθερού βάρους. β. Κατ' όγκο. Το % ποσοστό υγρασίας κατ'όγκο.

Υδατοϊκανότητα : Η περιεχόμενη υγρασία στον αγρό 2 έως 3 μέρες μετά από μια πλήρη διαβροχή του εδαφικού του προφίλ (σημείο υδατοχωρητικότητας) από βροχή ή άρδευση. Εκφράζεται ως ποσοστό υγρασίας του εδάφους επι ξηρής βάσεως.

Υπόγεια στάθμη : Το ανώτερο όριο του νερού στην εδαφική κατατομή. Η ανώτερη επιφάνεια των σημείων στα οποία η πίεση του νερού της κατατομής του εδάφους είναι ίση με την ατμοσφαιρική.

Υπολειματικό ανθρακικό νάτριο : Τιμή που δείχνει τον κίνδυνο νατρίου από τη χρήση ενός αρδευτικού νερού λόγω της απώλειας ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από αντίδρασή τους με όξινα ανθρακικά και ανθρακικά ιόντα.

Φυτά δείκτες αλατούχων εδαφών : Φυτά της περιοχής που δείχνουν με την ιδιαίτερη συμπεριφορά τους τις εδαφικές συνθήκες ως προς την υγρασία και την αλατότητα. Χαρακτηριστικά είδη αποτελούν τους σημαντικότερους δείκτες τέτοιων συνθηκών, όπως π.χ. η *Salicornia*, η *Salsola* κ.λ.π.

ΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε me/l:

$me/l = 10 \times EC \times 10^3$, για νερά αρδεύσεως και εδαφικά εκχυλίσματα σε εύρος από 0,1 έως 5,0 mS/cm.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε οσμωτική πίεση σε atm :

$OP = 0,36 \times EC \times 10^3$ για εδαφικά εκχυλίσματα από 3 έως 30 mS/cm.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε ppm:

$ppm = 0,64 \times EC \times 10^6$ για νερά αρδεύσεως από 100 έως 5.000 μS/cm.

me/l (από χημική ανάλυση) σε ppm :

Πολλαπλασιάζονται τα me/l για κάθε ιόν με το ισοδύναμο βάρος.

Ισοδύναμο βάρος της γύψου (CaSO4.2H2O) = 86,09.

Κορεσμένο διάλυμα γύψου στους 25°C περιέχει:

30,5 me/l ή 2,63 g/l ή 2.630 ppm.

ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aziz, M.H.A. 1968. Crop water requirements and water quality. Salinity control in Kuwait. FAO project.
- Ayers,R.S. and Westcot,D.W. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper No. 29. FAO, Rome.
- Bolt,G.M. and Bruggenwert,M.G.M. 1976. Soil Chemistry. A. Basic elements. Elsevier Sci. Publ. Company.
- Bernstein, L., Fireman, N. and Reeve, R.C. 1955. Control of salinity in the Imperial valey. USDA, Agric. Researcce Service Bulletin 41(4).
- Bernstein, L. and Fireman, N. 1957. Laboratory studies on salt distribution in furrow irrigated soil with special reference to the pre- emergence period. *Soil Sci.* 83:249-263.
- Bernstein, L. and Francois, L.E. 1973a. Com- parison of drip, furrow and sprinkler irrigation. *Soil Sci.* 115:73-86.
- Bernstein, L., Francois, L.E and Clark,R.A. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agron. J.* 66:412-421.
- Bradfield, R. 1941. Physico-chemical relations of soil calcium *Soil Science* 194:8-15.
- Breemen,N. van, Driscoll,C.T. and Mulder,J. 1984. Acidic deposition nand interal proton sources in acidification of soils and waters. *Nature* 307:599-604.
- Breemen,N. van, Mulder,J. and Driscoll,C.T. 1983. Acidification and alkalinization of soils. *Plant and Soil* 75:283-308.
- Breemen,N. van and Wielemaker,W.G. 1974. Buffer intensities and equilibrium pH of minerals and soils : I. The contribution of minerals and aqueous carbonate to pH buffering. *S.S.S. Am. Pr.* 38:55-60.
- Breemen,N. van and Wielemaker,W.G. 1974. Buffer intensities and equilibrium pH of minerals and soils : II. Theoretical and actual pH of minerals and soils. *S.S.S. Am. Pr.* 38:61-66.
- Chapman,H:D. 1966. Alkali and saline soils. In Diagnostic criteria for plants and soils. Chapman, H. editor. University California, Div. Agric. Sci.
- Fireman, M. and Branson, R.L. 1965. Gypsum and other chemical amendmends for soil improvmnt. California Exp. Stat. and Extns. serv. Leaflet No. 149.

- Frenkel,H. and Meiri,A. 1985. Soil Salinity. Van Nostrand Reinhold Soil Sci. Series. New York.
- Θεριός,Ι. και Μισοπολινός,Ν.Δ. 1986. Αντοχή τεσσάρων ποικιλιών ελιάς στο NaCl. Πρακτικά του 12ου Πανελλήνιου Συμποσίου της Εταιρείας Οπωροκηπευτικών.
- Johnston, J and Williamson, E 1916. The complete solubility curve of calcium carbonate. *J. Amer. Chem. Soc.* 38:975-982. From Bradfield: Physico-chemical relations of soil calcium, *Soil Science*, 1941.
- Καλόβουλος, Ι. Μ. 1981. Εφαρμοσμένη Εδαφολογία. Μέρος πρώτο. Θεσσαλονίκη.
- Καλόβουλος, Ι και Μισοπολινός, 1977, Ελευθέρωση αργιλίου από Η-Μοντμοριλονίτη. Επιστ. Επετ. Γ/Δ Σχολής. Τόμος Κ:571-586.
- Krug,E. and Frink,C. 1983. Acid rain on acid soil : A new perspective. *Science* 221:520-525.
- Maas, E.V. 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water. *Plant and Soil* 89:273-284.
- Maas, E.V. 1984. Salt tolerance of plants. In: *The handbook of plant science in agriculture*. B.R. Cristie (ed). CRC Press, Florida.
- Maas, E.V. and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance - Current assessment. *J. Irrigation and drainage division, ASCE 103(IRZ)*: 115-134. Proceeding páper 12993.
- Mengel,K., Breininger,M.Th. and Bubl,W. 1984. Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soil. *Plant and Soil* 81:333-344.
- Μισοπολινός,Ν.Δ. 1983. Κίνδυνοι υποβαθμίσεως εδαφών-Βελτίωση νατριωμένων εδαφών. Θεσσαλονίκη.
- Μισοπολινός,Ν.Δ. 1985. Κίνδυνοι υποβαθμίσεως εδαφών-Βελτίωση νατριωμένων εδαφών. Θεσσαλονίκη.
- Misopolinos,N.D. 1985. A new concept for reclaiming sodic soils with High-Salt-Water. *Soil Sci.* 140:69-74.
- Misopolinos, N.D. 1987. Reclamation of a fine clayey montmorillonitic soil with high-salt water under laboratory conditions. *Z. Pflanz. Bodenk.* 150:395.
- Misopolinos, N.D. and Ambas A. 1989. A computer program for calculating parameters necessary for reclaiming sodic soils using high-salt-water. *Soil Technology*. 2:243.
- Mohamed, N. A. and Amer, F. 1972. Sodium car- bonate formation in Ferhash area and pos- sibility of biological dealkalinization. Proc. Intern. Symp. on New Developments in the field of salt affected soils. Ministry of Agricul- ture, Cairo. p. 346.

- Neja, R.A., Ayres, R.S. and Kassimatis, A.N. 1978. Salinity appraisal of soil and water for successful production of grapes. Leaflet 21056, Division of agricultural sciences, University of California, Berkley.
- Oster, J.D. and Shroer, F.W. 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43:444-447.
- Ponnamperuma,F.N., Castro,R.U. and Valen- cia,C.M. 1969. Experimental study of the influence of the partial pressure of carbon dioxide on the pH values of aqueous carbonate systems. *S.S.S. Am. Pr.* 33:239-241.
- Rader, L.F. 1943. Salt Index for fertilizers. *Soil Sci.* 55:201-208.
- Reeve,R.C. and Doering,E.J. 1966. The Hing- Salt-Water dilytion method for reclaiming sodic soils. *S.S.S. Am. Proc.* 30:498-504.
- Rhoades,J. D. 1972. Quality of water for agriculture. *Soil Science* 113:277-284.
- Rhoades, J.D. 1974. Drainage for salinity con- trol. In: *Drainage for agriculture*. Van Schilfgaarde J. (ed). Amer. Soc. Agron. Monograph No. 17, pp 433-462.
- Rhoades, J.D. and Merrill, S.D. 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. In: *Prognosis of salinity and alkalinity*. FAO soils bulletin 31. FAO, Rome.
- Shainberg, I. 1975. Salinity of Soils: Effects of Salinity on the physics and chemistry of Soils. In "Plants in Saline Environment. Polyakoff- Meyber A. and Gale J. Edts. Springer Verlag. New York.
- Shalhavet, J. 1984. Managment of irrigation with brackish water. In: *Soil salinity under irrigation*. I. Shainberg and J, Shalhavet (eds).Ecological studies 51:298-318. Springer-Verlag.
- Shomer, I. and Mingelgrin, U. 1978. A direct procedure for determining the number of platew in tactoids of smectites: The Na/Ca-montmorillonite case. *Clayw and Clay Miner.* 26:135.
- Simmons, C. 1939. The effect of carbon dioxide pressure upon equilibrium of the system: H-colloidal Clay-H₂O-CaCO₃. Abs. Doctor's Dissertations. No. 25:417-431. Ohio St. un. Press.
- Soil improvement committee. 1975. Western Fer- tilizer Handbook. California Fert. Assoc., Sacramento, California. 250p.
- Sommerfeldt,T.G. and Rapp,E. 1982. Management of saline soils Agric. Canada, Publ. 1624/E.
- Stumm,W. and Morgan,J.J. 1970. *Aquatic chemistry*. Wiley-Interscience New York.
- Suarez, D.L. 1981. Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45:469-475.

- Suarez, D.L. 1982. Graphical calculation of ion concentration in calcium carbonate and/or gypsum soil solutions. *J. Environmental Quality* 11:302-308.
- Szabolcs, I. 1989. Salt affected Soils. CRC Press, Inc. Florida.
- Therios, I. and Misopolinos, N.D. 1988. Genotypic response to sodium chloride salinity on four olive cultivars. *Plant and Soil* 106:105-111.
- Therios, I. and Misopolinos, N.D. 1989. Differences in tolerance to sodium chloride salinity between three commercial apple rootstocks. *Soiless culture* V:55-71.
- USDA/US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agric. Handbook No. 60*.
- Van Hoorn, J.W. 1979. Effect of capillary flow on salinization and the concept of critical depth for determining drain depth. *Proc. International Drainage Workshop. ILRI Publication No. 25, Wageningen.* pp. 686-700.