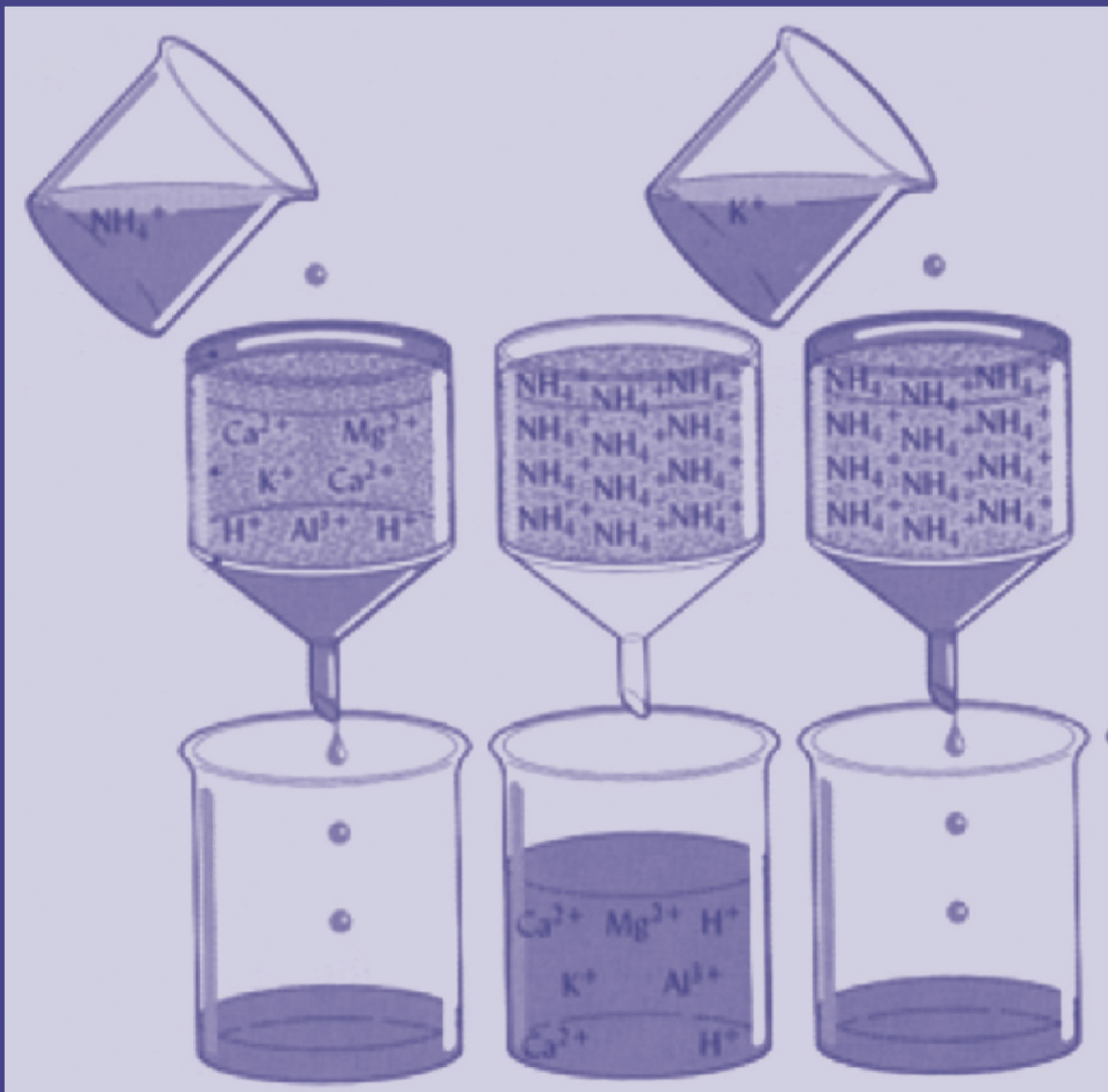


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΙΝΑΝΗΣ
Καθηγητής ΤΕΙ Κρήτης



Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά
Συγγράμματα και Βοηθήματα
www.kallipos.gr

HEALLINK
Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ανάπτυξη στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

Συγγραφή

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΙΝΑΝΗΣ, Καθηγητής ΤΕΙ Κρήτης

Κριτικός αναγνώστης

ΒΗΣΣΑΡΙΩΝ ΚΕΡΑΜΙΔΑΣ, Ομότιμος καθηγητής ΑΠΘ

Συντελεστές έκδοσης

Γραφιστική επιμέλεια - Τεχνική επεξεργασία: Σοφία Λουκέρη

Copyright: © ΣΕΑΒ, 2015



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 3.0.

Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου

www.kallipos.gr

ISBN: 978-960-603-100-7

Αφιερώνεται
σε δυο βασιλικούς – Βασιλικές,
στη μάνα μου και στην κόρη μου

Περιεχόμενα

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Εξώφυλλο..... | 1 |
| ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ | 10 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 11 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 12 |
| ΛΗΨΗ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΩΝ ΕΛΑΦΩΝ | 12 |
| 1.1 Λήψη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους..... | 12 |
| 1.1.1 Απαιτούμενος εξοπλισμός για τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος..... | 12 |
| 1.1.2 Διαδικασία λήψης αδιατάρακτου δείγματος..... | 13 |
| 1.1.3 Δειγματοληψία από την επιφάνεια του εδάφους..... | 13 |
| 1.1.4 Δειγματοληψία από το όρυγμα της εδαφοτομής..... | 13 |
| 1.1.5 Δειγματοληψία δια μέσου της οπής του δειγματολήπτη..... | 14 |
| 1.2 Προσδιορισμός της υγρασίας αδιατάρακτου δείγματος εδάφους..... | 15 |
| 1.3 Δειγματοληψία αλατούχων ή νατριομένων εδαφών..... | 16 |
| 1.4 Προετοιμασία και φύλαξη των δειγμάτων | 16 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 19 |
| ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ | 19 |
| 2.1 Η ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ..... | 19 |
| 2.1.1 Εισαγωγή..... | 19 |
| 2.1.2 Μέθοδοι | 19 |
| 2.1.3 Διαδικασία προσδιορισμού - Υπολογισμοί..... | 20 |
| 2.2. Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ | 20 |
| 2.2.1 Εισαγωγή..... | 20 |
| 2.2.2 Μέθοδοι | 20 |
| 2.2.2.1 Μέθοδος της ληκύθου, Υλικά και όργανα, Αντιδραστήρια..... | 20 |
| 2.2.2.2 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 21 |
| 2.2.2.3 Υπολογισμοί..... | 21 |
| 2.3 Η ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ | 21 |
| 2.3.1 Εισαγωγή..... | 21 |
| 2.3.2 Μέθοδοι | 22 |
| 2.3.2.1 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 23 |
| 2.3.2.2 Υπολογισμοί..... | 24 |
| 2.3.2.3 Αξιολόγηση του αποτελέσματος | 24 |
| 2.4 ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΕΛΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ | 25 |
| 2.4.1 Εισαγωγή..... | 25 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.2 Τασίμετρα | 26 |
| 2.4.2.1 Προετοιμασία και έλεγχος πριν από την εγκατάσταση..... | 26 |
| 2.4.2.2 Εγκατάσταση..... | 27 |
| 2.4.2.3 Η σημασία των ενδείξεων του τασιμέτρου | 28 |
| 2.5 ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΕΛΑΦΙΚΟ ΝΕΡΟ..... | 30 |
| 2.5.1 Εισαγωγή | 30 |
| 2.6 ΥΛΑΤΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ..... | 30 |
| 2.6.1 Εισαγωγή | 30 |
| 2.6.1.1 Υλικά και όργανα | 31 |
| 2.6.1.2 Αντιδραστήρια..... | 31 |
| 2.6.1.3 Δείγματα..... | 33 |
| 2.6.1.4 Προετοιμασία των δειγμάτων..... | 33 |
| 2.6.1.5 Κορεσμός των δειγμάτων με νερό - Μέτρηση..... | 34 |
| 2.6.1.6 Υπολογισμοί..... | 34 |
| 2.7 ΣΗΜΕΙΟ ΜΟΝΙΜΗΣ ΜΑΡΑΝΣΗΣ | 35 |
| 2.7.1 Εισαγωγή | 35 |
| 2.7.1.1 Υλικά και όργανα | 35 |
| 2.7.1.2 Αντιδραστήρια..... | 35 |
| 2.7.1.3 Χρήση διαταραγμένων δειγμάτων εδάφους..... | 35 |
| 2.7.1.4 Κορεσμός των δειγμάτων με νερό – Μέτρηση | 36 |
| 2.7.1.5 Υπολογισμοί..... | 36 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 38 |
| ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ | 38 |
| 3.1 Εισαγωγή | 38 |
| 3.2 Δειγματοληψία νερού..... | 38 |
| 3.3 Ειδική Ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης | 39 |
| 3.4 Λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR, Sodium Adsorption Ratio)..... | 40 |
| 3.4.1 Ογκομετρικός προσδιορισμός της συνολικής συγκέντρωσης Ca^{2+} και Mg^{2+} στο νερό άρδευσης | 40 |
| 3.4.1.1 Θεωρητικές αρχές..... | 40 |
| 3.4.1.2 Υλικά και όργανα | 40 |
| 3.4.1.3 Αντιδραστήρια | 40 |
| 3.4.1.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 41 |
| 3.4.1.5 Υπολογισμοί..... | 41 |
| 3.4.2 Προσδιορισμός του Na^{+} | 41 |
| 3.4.2.1 Υλικά και όργανα | 41 |
| 3.4.2.2 Αντιδραστήρια | 42 |
| 3.4.2.3 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 42 |
| 3.4.2.4 Υπολογισμοί..... | 42 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.3 Εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών | 42 |
| 3.5 Υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC, Residual Sodium Carbonate) | 43 |
| 3.5.1 Προσδιορισμός των CO_3^{2-} | 43 |
| 3.5.1.1 Θεωρητικές αρχές..... | 43 |
| 3.5.1.2 Υλικά και όργανα | 43 |
| 3.5.1.3 Αντιδραστήρια | 44 |
| 3.5.1.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 44 |
| 3.5.1.5 Υπολογισμοί..... | 44 |
| 3.5.2 Προσδιορισμός των HCO_3^- | 45 |
| 3.5.2.1 Θεωρητικές αρχές..... | 45 |
| 3.5.2.2 Υλικά και όργανα | 45 |
| 3.5.2.3 Αντιδραστήρια | 45 |
| 3.5.2.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 45 |
| 3.5.2.5 Υπολογισμοί..... | 45 |
| 3.5.3 Κατάταξη του νερού άρδευσης, ανάλογα με την τιμή RSC | 45 |
| 3.6 Ειδικές επιδράσεις των ιόντων του νερού άρδευσης | 46 |
| 3.6.1 Προσδιορισμός του βορίου. Μέθοδος κατά John et al (1975)..... | 46 |
| 3.6.1.1 Θεωρητικές αρχές..... | 46 |
| 3.6.1.2 Υλικά και όργανα..... | 46 |
| 3.6.1.3 Αντιδραστήρια | 46 |
| 3.6.1.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 47 |
| 3.6.2 Χρωματικός προσδιορισμός του βορίου κατά Keren (1996)..... | 47 |
| 3.6.2.1 Αντιδραστήρια..... | 47 |
| 3.6.2.2 Χάραξη της καμπύλης βαθμονόμησης | 47 |
| 3.6.2.3 Μετρήσεις..... | 48 |
| 3.6.3 Προσδιορισμός του Cl, μέθοδος Mohr | 49 |
| 3.6.3.1. Θεωρητικές αρχές..... | 49 |
| 3.6.3.2 Υλικά και όργανα | 49 |
| 3.6.3.3 Αντιδραστήρια | 49 |
| 3.6.3.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 49 |
| 3.6.3.5 Υπολογισμοί..... | 49 |
| 3.7 Ταξινόμηση του νερού άρδευσης (σύμφωνα με USDA) | 50 |
| 3.7.1 Ταξινόμηση του νερού άρδευσης, με βάση την EC..... | 51 |
| 3.7.2 Ταξινόμηση του νερού άρδευσης με βάση την τιμή SAR | 51 |
| 3.7.3 Νεότερα στοιχεία αξιολόγησης του αρδευτικού νερού..... | 52 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | 56 |
| Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ pH ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ..... | 56 |
| 4.1 Εισαγωγή..... | 56 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2 Ενεργός οξύτητα | 56 |
| 4.2.1 Μέθοδοι | 56 |
| 4.2.2 Υλικά και όργανα | 57 |
| 4.2.3 Αντιδραστήρια | 57 |
| 4.2.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 57 |
| 4.3 Ανάγκες σε άσβεστο (LR, Lime Requirement)..... | 57 |
| 4.3.1 Εισαγωγή | 57 |
| 4.3.2 Μέθοδοι | 58 |
| 4.3.3.1 Τιτλοδότηση με διάλυμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή τμηματική προσθήκη στερεού $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 59 |
| 4.3.3.2 Υλικά και όργανα | 59 |
| 4.3.3.3 Αντιδραστήρια | 59 |
| 4.3.3.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 59 |
| 4.3.3.5 Υπολογισμός του αποτελέσματος | 59 |
| 4.3.4.1 Προσδιορισμός αναγκών σε άσβεστο, με τμηματική προσθήκη στερεού $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (κλασική μέθοδος κατά Charman and Pratt, 1961, με τροποποίηση)..... | 60 |
| 4.3.4.2 Αντιδραστήρια | 60 |
| 4.3.4.3 Διαδικασία | 60 |
| 4.3.5.1 Μέθοδος SMP (Shoemaker, McLean and Pratt) ενός ρυθμιστικού διαλύματος όπως τροποποιήθηκε από Van Lierop, 1990..... | 61 |
| 4.3.5.2 Υλικά και όργανα | 61 |
| 4.3.5.3 Αντιδραστήρια..... | 61 |
| 4.3.5.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 61 |
| 4.3.5.5 Σχόλια..... | 62 |
| 4.3.6.1 Μέθοδος SMP, διπλού ρυθμιστικού διαλύματος (όπως περιγράφεται από τον Mc Lean 1982)..... | 63 |
| 4.3.6.2 Υλικά και όργανα | 63 |
| 4.3.6.3 Αντιδραστήρια | 63 |
| 4.3.6.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 63 |
| 4.3.6.5 Υπολογισμός του αποτελέσματος | 64 |
| 4.3.7.1 Εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού των αναγκών σε άσβεστο με τη χρήση ρυθμιστικού διαλύματος, προταθείσα από Sikora, (2006) | 64 |
| 4.3.7.2 Ρυθμιστικό διάλυμα S (για 1 L)..... | 64 |
| 4.3.7.3 Μέτρηση pH εδάφους-ρυθμιστικού..... | 65 |
| 4.4 Εκτέλεση της ασβέστωσης..... | 65 |
| 4.5 Η βελτίωση των ασβεστούχων εδαφών | 66 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 | 69 |
| Η ΕΝΑΛΛΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ..... | 69 |
| 5.1 Εισαγωγή..... | 69 |
| 5.2 Μέθοδοι | 69 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.1 Παρασκευή της πάστας κορεσμού του εδάφους | 70 |
| 5.2.1.1 Υλικά και όργανα | 70 |
| 5.2.1.2 Αντιδραστήρια | 70 |
| 5.2.1.3 Διαδικασία παραλαβής του εκχυλίσματος κορεσμού..... | 70 |
| 5.2.2 Προσδιορισμός της αλατότητας | 70 |
| 5.2.2.1 Υλικά και όργανα | 70 |
| 5.2.2.2 Αντιδραστήρια | 71 |
| 5.2.2.3 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 71 |
| 5.2.2.4 Αξιολόγηση του αποτελέσματος | 71 |
| 5.3 Βελτίωση των αλατούχων εδαφών | 71 |
| 5.4 Υδατοδιαλυτά κατιόντα-ανιόντα στο εκχύλισμα κορεσμού..... | 72 |
| 5.4.1 Υδατοδιαλυτά Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} | 72 |
| 5.4.1.1 Υλικά και όργανα | 72 |
| 5.4.1.2 Αντιδραστήρια | 72 |
| 5.4.1.3 Αρχές φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης Σύγκριση με φλογοφωτομετρία ατομικής εκπομπής | 74 |
| 5.4.1.4 Φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης | 75 |
| 5.4.1.5 Εκτέλεση προσδιορισμού και υπολογισμός του αποτελέσματος | 78 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 | 80 |
| Η ΝΑΤΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ | 80 |
| 6.1 Εισαγωγή | 80 |
| 6.2 Μέθοδοι | 80 |
| 6.3 Υπολογισμός του SAR_{ex} | 81 |
| 6.3.1 Σχόλια..... | 81 |
| 6.4 Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων..... | 81 |
| 6.4.1 Εισαγωγή | 81 |
| 6.4.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της CEC (IAK) | 82 |
| 6.4.2.1 Μέθοδος των Polemio και Rhoades | 83 |
| 6.4.2.2 Θεωρητικές αρχές..... | 83 |
| 6.4.2.3 Υλικά και όργανα | 83 |
| 6.4.2.4 Αντιδραστήρια..... | 84 |
| 6.4.2.5 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 84 |
| 6.4.2.6 Υπολογισμοί..... | 84 |
| 6.4.3 Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου Na..... | 85 |
| 6.4.3.1 Θεωρητικές αρχές | 85 |
| 6.4.3.2 Υλικά και όργανα | 85 |
| 6.4.3.3 Αντιδραστήρια | 85 |
| 6.4.3.4 Διαδικασία προσδιορισμού..... | 85 |
| 6.4.4.1 Προσδιορισμός της IAK κατά ISO 23470 (με τροποποιήσεις) | 86 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4.4.2 Θεωρητικές αρχές..... | 86 |
| 6.4.4.3 Υλικά και όργανα | 87 |
| 6.4.4.4 Αντιδραστήρια..... | 87 |
| 6.4.4.5 Διαδικασία ανταλλαγής (εκχύλισης) | 87 |
| 6.4.4.6 Προσδιορισμός της ΙΑΚ κατόπιν προσδιορισμού του αμμωνίου με απόσταξη | 88 |
| 6.4.4.7 Υπολογισμός της ΙΑΚ σε cmol _c /kg εδάφους..... | 88 |
| 6.4.4.8 Προσδιορισμός της ΙΑΚ φασματοφωτομετρικά..... | 88 |
| 6.5 Υπολογισμός του ESP | 89 |
| 6.6 Αξιολόγηση του αποτελέσματος – Βελτίωση νατριομένων εδαφών..... | 90 |
| 6.7 Βελτίωση αλατούχων - νατριομένων εδαφών..... | 91 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 | 93 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΛΥΜΕΝΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ..... | 93 |
| Πίνακας αντιστοίχισης ελληνόγλωσσων και ξενόγλωσσων όρων | 107 |

ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

| | |
|-------------------|---------------------------------------------------------|
| AB | Ατομικό βάρος |
| BKB | Βαθμός Κορεσμού από Βάσεις |
| ΙΑΚ | Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων |
| MB | Μοριακό Βάρος |
| ΣΔ | Συντελεστής Διόρθωσης |
| ΦΕΒ | Φαινομενικό Ειδικό Βάρος |
| ΦΑΑ | Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης |
| ΦΠ | Φαινομενική Πυκνότητα |
| ΦΦ | Φλογοφωτόμετρο |
| CEC | Cation Exchange Capacity |
| EC | Electrical Conductivity |
| EC _{ex} | Electrical Conductivity of the saturation extract |
| ESP | Exchangeable Sodium Percentage |
| EB-T | Eriochrome Black-T |
| EDTA | Ethyldiaminetetraceticacid |
| FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| ICP | Inductively Coupled Plasma |
| L | Liter |
| LR | Lime Requirement |
| M | Molarity |
| ppm | Parts per million |
| RSC | Residual Sodium Carbonate |
| SAR | Sodium Adsorption Ratio |
| SAR _{ex} | Sodium Adsorption Ratio of the Saturation Extract |
| SMP | Shoemaker, McLean and Pratt |
| TEA | Triethathanolamine |
| TDS | Total Dissolved Solids |
| USDA | United States Department of Agriculture |

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι εργαστηριακές και φροντιστηριακές ασκήσεις του μαθήματος «**Διαχείριση των εδαφών**», αποτελούν μια θεματική συνέχεια των αντίστοιχων ασκήσεων του μαθήματος «**Εδαφολογία**». Βασικό αντικείμενο των τελευταίων είναι η άντληση πληροφοριών, σχετικών με τις φυσικοχημικές ιδιότητες και τη γονιμότητα του εδάφους, ως μέσου για την ανάπτυξη των φυτών.

Οι απαιτήσεις του διεθνούς ανταγωνισμού και της αγοράς αγροτικών προϊόντων επέβαλαν, αφενός τη μετεξέλιξη των παραδοσιακών καλλιεργειών σε εντατικές και αφετέρου, την παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής σε θερμοκήπια, που συνήθως καταλαμβάνουν παραθαλάσσιες περιοχές. Το γεγονός αυτό, έχει οδηγήσει στην αλόγιστη χρήση χημικών λιπασμάτων και κακής ποιότητας αρδευτικού νερού, πράγμα που συμβάλλει στην υποβάθμιση των καλλιεργούμενων εδαφών, κυρίως των εδαφών υπό κάλυψη.

Αντικείμενο των «Εργαστηριακών ασκήσεων της διαχείρισης των εδαφών», είναι η απόκτηση πληροφοριών σχετικών με ορισμένες βασικές φυσικές ιδιότητες των εδαφών, με την ποιότητα του αρδευτικού νερού και τη διαχείρισή του, με τις διάφορες κατηγορίες προβληματικών εδαφών και την αποτίμηση του βαθμού στον οποίο αυτά είναι προβληματικά, έτσι ώστε να βελτιώνονται αν κρίνεται αναγκαίο, πριν αποδοθούν για γεωργική χρήση.

Στο παράρτημα, επιδιώκεται με μια σειρά λυμένων ασκήσεων, η εξοικείωση του φοιτητή με το υπολογιστικό μέρος που προηγείται πάντα μιας προσπάθειας βελτίωσης ενός προβληματικού εδάφους.

Κάθε υπόδειξη για τη βελτίωση αυτού του βιβλίου, θα είναι ευχάριστα αποδεκτή.

Ευχαριστίες εκφράζονται στον Ομότιμο καθηγητή του Α.Π.Θ κ. Βησσαρίωνα Κεραμίδα, για την κριτική ανάγνωση του εγχειριδίου και την ουσιαστική του συμβολή στην τελική του μορφή.

Ευχαριστίες επίσης, εκφράζονται στους συντελεστές της δράσης Κάλλιπος, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα για την προβολή αυτού του έργου.

Ηράκλειο Κρήτης, 2015

Κ. Σινάνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΛΗΨΗ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Στις «Εργαστηριακές ασκήσεις Εδαφολογίας» αναπτύχθηκε, η μεθοδολογία που ακολουθείται για τη λήψη ενός σύνθετου δείγματος εδάφους, η ανάλυση του οποίου στοχεύει κυρίως στον έλεγχο της γονιμότητάς του. Στο βιβλίο αυτό, αναπτύσσεται η διαδικασία λήψης αδιατάρακτου δείγματος, που είναι απαραίτητο για τη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, καθώς επίσης και η μεθοδολογία με την οποία δειγματολογούνται τα προβληματικά εδάφη.

1.1 Λήψη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους

Πολλές από τις φυσικές ιδιότητες των εδαφών μελετώνται επί τόπου και επομένως δεν απαιτείται η λήψη και μελέτη αδιατάρακτου δείγματος. Ορισμένες από τις ιδιότητες αυτές αφορούν την μορφολογία του εδαφικού προφίλ (εδαφικής κατατομής) σε βάθος μεγαλύτερο του ριζοστρώματος, όπως είναι η παρουσία ή όχι διαφόρων στρώσεων, αργιλικών ή ασβεστιτικών, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα, όπως το βάθος, το πάχος και η συμπίκνωσή τους και τέλος η ύπαρξη και το βάθος της υπεδάφειας στάθμης του νερού. Η μελέτη αυτών των ιδιοτήτων μπορεί να γίνει σε φυσικά εδαφικά προφίλ. Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η εξεύρεση τέτοιων προφίλ, είναι απαραίτητη η διάνοιξη ειδικών εδαφοτομών.

Το αδιατάρακτο δείγμα είναι απαραίτητο για τη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων των εδαφών, όταν αυτή γίνεται στο εργαστήριο. Ορισμένες από τις ιδιότητες των εδαφών, η μελέτη των οποίων απαιτεί την ύπαρξη αδιατάρακτου δείγματος είναι:

- Η υγρασία του εδάφους σε διάφορες τιμές μύζησης. Πολλά ζεύγη τέτοιων τιμών επιτρέπουν τη χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών συγκράτησης του εδαφικού νερού.
- Η υδατοπερατότητα.
- Οι σχέσεις εδάφους - νερού και αέρα στο σημείο της υδατοχωρητικότητας.
- Η φαινομενική πυκνότητα και το πορώδες των εδαφών.
- Η αεροπερατότητα και η διάχυση του οξυγόνου.

1.1.1 Απαιτούμενος εξοπλισμός για τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος

Βασικό εξοπλισμό για τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους, αποτελούν ειδικοί μεταλλικοί κύλινδροι οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από ατσάλι, είναι λείοι εσωτερικά και εξωτερικά και στο κάτω μέρος καταλήγουν σε γωνία κοπής 15°, πράγμα που διευκολύνει τη διείσδυσή τους στο έδαφος. Οι διαστάσεις τους και επομένως ο όγκος τους, είναι γνωστός και απολύτως ακριβής. Οι πιο συνηθισμένες εξωτερικές διαστάσεις μεταλλικών κυλίνδρων είναι:

53 x 50 mm (όγκος 100 cm³)

60 x 56 mm (όγκος 150 cm³)

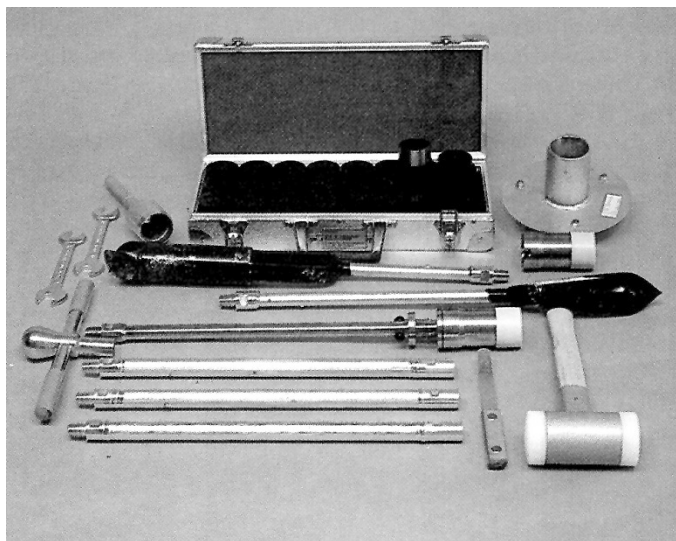
84 x 80 mm (όγκος 450 cm³)

Για να αποφεύγεται η αποξήρανση του δείγματος του εδάφους που υπάρχει μέσα στους μεταλλικούς κυλίνδρους, μετά τη δειγματοληψία, οι κύλινδροι καλύπτονται και από τα δύο άκρα τους με ειδικά καπάκια από πλαστικό ή από αλουμίνιο. Επίσης, για να αποφεύγεται η διατάραξη του δείγματος του εδάφους κατά τη μεταφορά των κυλίνδρων από το χωράφι στο εργαστήριο, η μεταφορά γίνεται μέσα σε ειδικά μεταλλικά κιβώτια ανθεκτικά στη θερμότητα και την υγρασία.

Για τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους, διατίθενται διάφορα set, που είναι εφοδιασμένα με τους απαραίτητους για τη δειγματοληψία δακτυλίους. Διαφέρουν ως προς τα παρελκόμενα με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατή η δειγματοληψία, ανάλογα με τις ιδιότητες του εδάφους και το βάθος δειγματοληψίας. Τα set αυτά επιτρέπουν τη δειγματοληψία σε ομοιόμορφα, χωρίς πέτρες, μαλακά ή σκληρά εδάφη, λίγο κάτω από την επιφάνεια ή σε εδάφη που εμφανίζουν μαλακές ή σκληρές στρώσεις, σε βάθος μικρότερο ή μεγαλύτερο από το βάθος της υπεδάφειας στάθμης του νερού. (Σχήμα. 1.1)

1.1.2 Διαδικασία λήψης αδιατάρακτου δείγματος

Το αδιατάρακτο δείγμα εδάφους μπορεί να ληφθεί με τη βοήθεια των μεταλλικών κυλίνδρων, είτε από την επιφάνεια του εδάφους, είτε από κάποιο βάθος, χρησιμοποιώντας το όρυγμα της εδαφοτομής ή τις οπές που ανοίγονται με τη βοήθεια δειγματοληπτών. Λεπτομέρειες για τη λήψη του αδιατάρακτου δείγματος, ανάλογα με την περίπτωση, δίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 1.1 Σειτ για δειγματοληψία αδιατάρακτου δείγματος εδάφους, μέχρι βάθους 2 m βασικά του εξαρτήματα αποτελούν το κιβώτιο από αλουμίνιο με τους κυλίνδρους δειγματοληψίας, οι δειγματολήπτες Edelman και Riverside για τη διάνοιξη της οπής δειγματοληψίας και η διάταξη συγκράτησης των κυλίνδρων με τις προεκτάσεις της

1.1.3 Δειγματοληψία από την επιφάνεια του εδάφους

Η δειγματοληψία αυτή αφορά τα πέντε πρώτα εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους. Η διαδικασία της λήψης του αδιατάρακτου δείγματος είναι απλή και αρκεί η βύθιση με πίεση του κυλίνδρου στο έδαφος.

Στη συνέχεια, απομακρύνεται το έδαφος γύρω από το δακτύλιο, ο οποίος με τη βοήθεια ενός μαχαιριού ή ειδικής σπάτουλας, αποκολλάται από το υποκείμενο έδαφος. Αν η αποκόλληση δεν γίνει ομαλά, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν εσοχές στην κάτω επιφάνεια του εδάφους, επαναλαμβάνεται η προσπάθεια. Στη συνέχεια κρατώντας τον κύλινδρο υπό γωνία, με τη βοήθεια ενός οδοντωτού μαχαιριού εξομαλύνεται η επιφάνεια αποκόλλησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2.

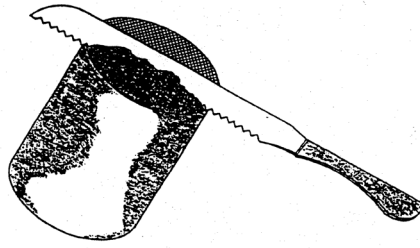
Επειδή κατά κανόνα, οι εργαστηριακές αναλύσεις γίνονται εις διπλούν, για κάθε περίπτωση θα πρέπει να λαμβάνονται δύο αδιατάρακτα δείγματα.

1.1.4 Δειγματοληψία από το όρυγμα της εδαφοτομής

Στην περίπτωση αυτή, ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο λαμβάνεται το αδιατάρακτο δείγμα, η δειγματοληψία μπορεί να γίνει είτε κατακόρυφα, είτε οριζόντια.

Η δειγματοληψία σύμφωνα με την κατακόρυφο, γίνεται συνήθως μετά τη μελέτη της εδαφοτομής, οπότε και αποφασίζεται από ποια βάθη είναι απαραίτητο να ληφθούν αδιατάρακτα δείγματα. Στη συνέχεια, σκάφεται το έδαφος κλιμακωτά με τις αναβαθμίδες στα αντίστοιχα βάθη από όπου πρόκειται να ληφθούν τα δείγματα. Ακολουθεί η διαδικασία που αναφέρεται στη 1.1.3

Οριζόντια η δειγματοληψία γίνεται ως εξής. Στο επιθυμητό βάθος, η επιφάνεια της εδαφοτομής, κόβεται τελείως κατακόρυφα. Στη συνέχεια ο μεταλλικός κύλινδρος βυθίζεται με πίεση οριζόντια και ακολουθεί η διαδικασία που περιγράφεται στην 1.1.3



Σχήμα 1.2 Εξομάλυνση της επιφάνειας του αδιατάρακτου δείγματος με τη βοήθεια οδοντωτού μαχαιριού.

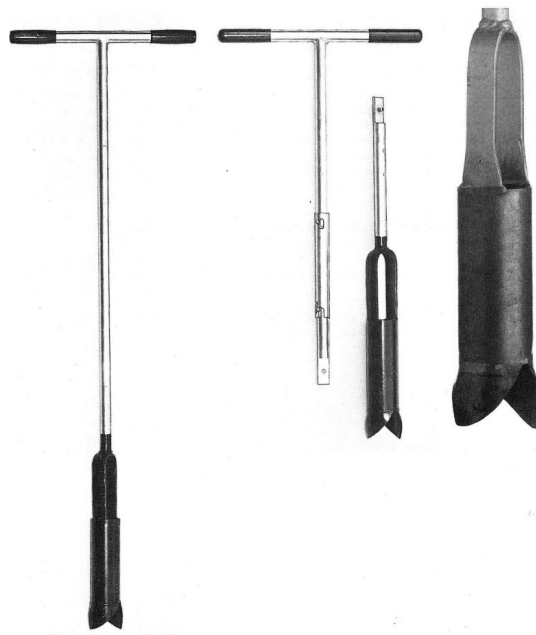
1.1.5 Δειγματοληψία δια μέσου της οπής του δειγματολήπτη

Η δειγματοληψία αυτή γίνεται μόνο κατακόρυφα, ως εξής: Έστω ότι είναι επιθυμητό να ληφθεί αδιατάρακτο δείγμα από βάθος 1 m. Αρχικά, ανοίγεται μια οπή με τη βοήθεια δειγματολήπτη τύπου Edelman (Σχήμα. 1.3), μέχρι βάθους 90 cm. Η οπή αυτή ανάλογα με τη σταθερότητα του εδάφους και το βάθος υπεδάφειας στάθμης του νερού, πιθανόν να χρειάζεται διασωλήνωση για να διατηρηθεί η γεωμετρία της και η στεγανότητά της. Επειδή ο πυθμένας της οπής που ανοίγεται με τη βοήθεια δειγματολήπτη τύπου Edelman, δεν είναι επίπεδος, τα τελευταία 10 cm της οπής και μέχρι βάθος 1 m, ανοίγονται με δειγματολήπτη τύπου Riverside (Σχήμα. 1.4), ο οποίος εξασφαλίζει οπή με επίπεδο πυθμένα.

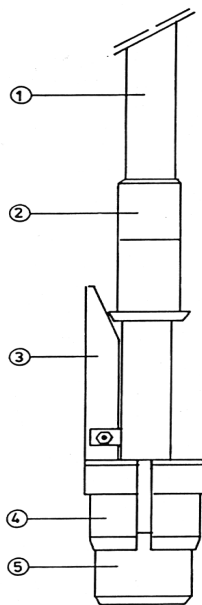
Στη συνέχεια, εισάγεται μέσα στην οπή και μέχρι τον πυθμένα της, ο δακτύλιος δειγματοληψίας με τη βοήθεια ενός μεταλλικού στελέχους, στο κάτω μέρος του οποίου υπάρχει ένας μηχανισμός ο οποίος συγκρατεί τον δακτύλιο. Ο δακτύλιος βυθίζεται με πίεση στο έδαφος και με μισή στροφή αποσπάται στη συνέχεια από αυτό, μαζί με το περιεχόμενο αδιατάρακτο δείγμα. Ακολουθεί η διαδικασία που περιγράφεται στην 1.1.3 Στο Σχήμα 1.5, φαίνεται ο μηχανισμός με τη βοήθεια του οποίου φέρεται ο δακτύλιος δειγματοληψίας σε διάφορα βάθη για τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους.



Σχήμα 1.3 Δειγματολήπτης τύπου Edelman πριν, μετά τη δειγματοληψία και άδειασμα.



Σχήμα 1.4 Δειγματολήπτης τύπου Riverside.



Σχήμα 1.5 Γραφική απεικόνιση δειγματολήπτη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους. 1. Άξονας, 2. Μηχανισμός προέκτασης του άξονα, 3. Μηχανισμός σύσφιξης, 4. Μηχανισμός στήριξης, 5. Κύλινδρος συγκράτησης δακτυλίου δειγματοληψίας.

1.2 Προσδιορισμός της υγρασίας αδιατάρακτου δείγματος εδάφους

Ο υπολογισμός της υγρασίας αδιατάρακτων δειγμάτων εδάφους, μπορεί να γίνει σε δείγματα που έχουν ληφθεί, για τον υπολογισμό της φαινομενικής πυκνότητας. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνεται μέριμνα να αποτραπεί η απώλεια νερού και εδάφους κατά τη μεταφορά των δειγμάτων από τον αγρό στο εργαστήριο, με κάλυψη των ειδικών κυλίνδρων δειγματοληψίας, που περιέχουν τα αδιατάρακτα δείγματα, με τα ειδικά πλαστικά καπάκια που συνοδεύουν το set των κυλίνδρων δειγματοληψίας για αδιατάρακτο δείγμα.

Τα υγρά δείγματα ζυγίζονται μαζί με τους προζυγισμένους κυλίνδρους δειγματοληψίας και στην συνέχεια τοποθετούνται σε πυριατήριο για 16 έως 24 ώρες και ξηραίνονται σε θερμοκρασία 104^o C. Στη συνέχεια τοποθετούνται σε ξηραντήρα για να αποκτήσουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ζυγίζονται εκ νέου.

Το ποσοστό της υγρασίας του αδιατάρακτου δείγματος εδάφους επί τοις εκατό κατά βάρος υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Υγρασία σε gr, \%} = \frac{B_3 - B_1}{B_1 - B_2} \times 100$$

όπου:

B₁ = Το βάρος του μεταλλικού κυλίνδρου δειγματοληψίας με το ξηρό στους 104^o C βάρος εδάφους

B₂ = Το βάρος του κενού κυλίνδρου δειγματοληψίας

B₃ = Το βάρος του μεταλλικού κυλίνδρου δειγματοληψίας με το υγρό δείγμα εδάφους

1.3 Δειγματοληψία αλατούχων ή νατριομένων εδαφών

Η αλατότητα των εδαφών είναι μια από τις πιο ευμετάβλητες ιδιότητές τους και γενικά είναι αποδεκτό ότι, η παραλλακτικότητά της στο χωράφι είναι μεγαλύτερη από το αναλυτικό σφάλμα. Αυτό, έχει ως συνέπεια, το σφάλμα δειγματοληψίας να επηρεάζει πολύ την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η παραλλακτικότητα της νατρίωσης, συνήθως είναι μικρότερη από εκείνη της αλατότητας σε αρδευόμενα χωράφια, αλλά μπορεί να γίνει μεγάλη σε μη αρδευόμενα. Ακόμα, κάτω από συνθήκες άρδευσης, η αλατότητα αυξάνεται κατά προσέγγιση εκθετικά σε σχέση με το βάθος στα αμμώδη εδάφη και γραμμικά στα αργιλώδη. Τέλος, η αλατότητα των εδαφών επηρεάζεται από τη μέθοδο άρδευσης και τον τρόπο καλλιέργειας του εδάφους.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση άρδευσης με αυλάκια, παρατηρείται αυξημένη αλατότητα στα σαμάρια που παρεμβάλλονται μεταξύ των αυλακίων άρδευσης, ενώ στην περίπτωση άρδευσης με σταλακτήρες, παρατηρείται αυξημένη αλατότητα στην περίμετρο του υγρού δακτυλίου που σχηματίζεται γύρω από τον κάθε σταλακτήρα. Τα σημεία αυτά πρέπει να αποφεύγονται κατά τη δειγματοληψία, ή να δειγματολογούνται χωριστά.

Γενικά, η μέθοδος που θα ακολουθηθεί κατά τη δειγματοληψία εξαρτάται από το σκοπό για τον οποίο λαμβάνεται το δείγμα και από την ομοιομορφία της περιοχής που δειγματολογείται. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν πληροφορίες από εδαφολογικούς χάρτες για τα εδάφη, μπορεί να εφαρμοσθεί για τη δειγματοληψία του εδάφους η μέθοδος του ζικ ζακ. Τα δείγματα του εδάφους πρέπει να λαμβάνονται κυρίως από το χώρο από όπου τα φυτά παραλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες νερού.

Ο **εξοπλισμός** που απαιτείται για τη δειγματοληψία αλατούχων ή νατριομένων εδαφών, είναι ίδιος με εκείνο που απαιτείται για δειγματοληψία κανονικών εδαφών.

Ο **χρόνος δειγματοληψίας** καθορίζεται από την εποχή που τα εδάφη είναι στεγνά. Πριν τη δειγματοληψία θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα, να αφαιρείται από κάθε σημείο δειγματοληψίας οποιοδήποτε φυτικό υπόλειμμα. Εάν υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους «κρούστα» αλάτων, είτε δειγματολογείται χωριστά, είτε, όπως συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις, συμπεριλαμβάνεται στο κυρίως δείγμα. Για την ανάλυση, είναι αρκετά 200 g δείγματος για αργιλώδη και 400 g για αμμώδη εδάφη.

Τα δείγματα πρέπει να μεταφέρονται στο εργαστήριο μέσα σε πλαστικές σακούλες που κλείνουν αεροστεγώς. Μέσα στις σακούλες εφόσον το δείγμα είναι σχετικά στεγνό, εσωκλείεται σημείωμα στο οποίο αναφέρονται λεπτομέρειες, για τη μέθοδο άρδευσης, την ποιότητα του αρδευτικού νερού, τις συνθήκες καλλιέργειας, το επίπεδο εδαφικής υγρασίας, το χρόνο από την τελευταία άρδευση και τη διαπερατότητα του εδάφους. Οι λεπτομέρειες αυτές είναι χρήσιμες για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

1.4 Προετοιμασία και φύλαξη των δειγμάτων

Όταν τα δείγματα πρόκειται να αναλυθούν σύντομα, η φύλαξή τους μπορεί να γίνει χωρίς να απαιτείται προηγούμενη αποξήρανση, σε ένα δροσερό χώρο ή αν υπάρχει διαθέσιμο, σε ψυγείο. Όταν όμως πρόκειται να παραμείνουν για πολύ, πριν τη φύλαξή τους απαιτείται να γίνει αεροξήρανσή τους. Παρατεταμένη ξήρανση των δειγμάτων πρέπει να αποφεύγεται, ειδικά όταν γίνεται κάτω από θερμές και ξηρές συνθήκες, γιατί η διαλυτοποίηση και στη συνέχεια η εκχύλιση των αλάτων είναι δύσκολη. Είναι ευνόητο ότι η αποξήρανση των δειγμάτων με τη βοήθεια πυριατηρίου πρέπει να αποφεύγεται.

Μετά την αποξήρανση ακολουθεί ήπια λειοτρίβηση των δειγμάτων με τη βοήθεια ξύλινων ή ελαστικών κυλίνδρων, ή οποιουδήποτε άλλου μέσου, σε τεμαχίδια με διάμετρο < 4 mm. Κατά τη λειοτρίβηση θα πρέπει να δίδεται προσοχή, ώστε τα δείγματα να μην κονιοποιούνται.

Τέλος, αφού σε ένα υπόδειγμα για κάθε δείγμα, γίνει ο προσδιορισμός της υγρασίας, τα δείγματα φυλάσσονται σε πλαστικά κουτιά που σφραγίζουν καλά, μέχρις ότου η ροή εργασιών του εργαστηρίου επιτρέψει την ανάλυσή τους.

Βιβλιογραφία

- Dampney, R.P. 1983.** Sampling soil for analysis. Leaflet 655. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Lion House, Willow burn Estate, Alnwick, Northumberland NE66 2PF.
- James, W.D., and K.L. Wells 1990.** Soil sample collection and handling: Technique based on source and degree of field variability. p.25-43. In R.L. Westerman (ed.) Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. of Am., book series: 3, Madison, WI.
- Sabbe, W.E., and D.B. Marx. 1987.** Soil sampling. Spatial and temporal variability. p.1-14. In J.R. Brown (ed.) Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation, Soil sci. soc. Am., Spec, Publ. 21 Am. Soc. of Agron., Crop. Sci. Soc.of Am., and SSA, Madison, WI.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1 Η ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1.1 Εισαγωγή

Ως φαινομενική πυκνότητα του εδάφους (bulk density) ορίζεται ο λόγος συγκεκριμένης μάζας ξηρού εδάφους προς τον συνολικό της όγκο (bulk volume). Ο συνολικός όγκος του εδάφους ή αλλιώς ο όγκος του εδάφους στη φυσική του κατάσταση, περιλαμβάνει τον όγκο των στερεών τεμαχιδίων και το πορώδες. Η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους είναι μια ιδιότητά του με ευρύτετη εφαρμογή. Χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, όταν αυτή εκφράζεται κατά βάρος, σε περιεκτικότητα κατ' όγκο. Για τον υπολογισμό του πορώδους, όταν είναι γνωστή η πυκνότητα των εδαφικών τεμαχιδίων και για τον υπολογισμό του βάρους ενός πολύ μεγάλου όγκου εδάφους, που πρακτικά δεν είναι δυνατό να ζυγιστεί, όπως π.χ. το βάρος ενός στρέμματος εδάφους σε βάθος 30 cm.

Η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους, (ΦΠ) που παλιότερα αναφέρονταν ως φαινομενικό ειδικό βάρος (ΦΕΒ), είναι μια ιδιότητά του που μεταβάλλεται εύκολα, σχετίζεται με τη δομή του και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ευρύτατα ως ένα μέτρο εκτίμησής της. Η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους, εκφράζεται συνήθως σε g/cm^3 και η τιμή της κυμαίνεται από $1,2 \text{ g/cm}^3$ για τα αργιλώδη εδάφη, έως $1,6 \text{ g/cm}^3$ για τα αμμώδη.

2.1.2 Μέθοδοι

Ο προσδιορισμός της φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους, μπορεί να γίνει είτε στο χωράφι, είτε στο εργαστήριο σε αδιατάρακτο δείγμα εδάφους.

Στο χωράφι, για τον προσδιορισμό της φαινομενικής πυκνότητας, εφαρμόζεται η μέθοδος της απόσβεσης ή ο σκεδασμός των ακτίνων-γ (γάμμα). Η μέθοδος αυτή απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλες βαθμονομήσεις και διορθώσεις του οργάνου, για την εξουδετέρωση των επιδράσεων που ασκεί στις μετρήσεις η υγρασία και η αέρια φάση του εδάφους.

Στο εργαστήριο εφαρμόζονται μέθοδοι, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους, ως προς τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνεται το δείγμα από το χωράφι και εκτιμάται στη συνέχεια ο όγκος του. Η πιο συνηθισμένη εργαστηριακή μέθοδος για τον προσδιορισμό της φαινομενικής πυκνότητας, στηρίζεται στη λήψη αδιατάρακτου δείγματος με τη βοήθεια μεταλλικών κυλίνδρων. Στην περίπτωση όμως που το εξεταζόμενο έδαφος έχει πολλά χαλίκια, τότε η λήψη αδιατάρακτου δείγματος με τη χρήση κυλίνδρων, είναι αρκετά δύσκολη και όχι αξιόπιστη. Ο λόγος είναι προφανής, αφού η ύπαρξη χαλικιών από τη μια, παρεμποδίζει τη βύθιση του κυλίνδρου και από την άλλη, τα χαλίκια συμπιέζουν το έδαφος, καθώς ο βυθιζόμενος κύλινδρος τα μετατοπίζει κατά την εισχώρησή του.

Εναλλακτικά στην περίπτωση αυτή, ο όγκος που καταλαμβάνεται από μια ποσότητα εδάφους, υπολογίζεται ως εξής. Αφού ισοπεδωθεί το έδαφος στο σημείο της δειγματοληψίας και αφαιρεθούν από την επιφάνειά του πέτρες, ρίζες, υπολείμματα καλλιεργειών κ.τ.λ., ανοίγεται ένας λάκκος με όγκο $500-1000 \text{ cm}^3$ και το έδαφος που αφαιρείται συλλέγεται σε μια σακούλα από πολυαιθυλένιο η οποία σφραγίζεται καλά και οδηγείται στο εργαστήριο. Στη συνέχεια εκτιμάται ο όγκος του λάκκου, που αντιστοιχεί στον όγκο του εδάφους που αφαιρέθηκε, με τη «μέθοδο της αντικατάστασης». Αυτή συνίσταται στο γέμισμα του λάκκου με ένα υλικό γνωστής φαινομενικής πυκνότητας, (άμμος, μικρά γυάλινα σφαιρίδια). Η μάζα του υλικού αυτού που απαιτείται για να γεμίσει ο λάκκος, σε συνδυασμό με τη φαινομενική του πυκνότητα, δίνει τον όγκο του υλικού ο οποίος αντιστοιχεί στον όγκο του λάκκου που γέμισε. Η μέθοδος αυτή στερείται ικανοποιητικής αξιοπιστίας.

Στο εργαστήριο στη συνέχεια, ακολουθεί η ίδια διαδικασία όπως και στην περίπτωση του υπολογισμού της φαινομενικής πυκνότητας με τη βοήθεια μεταλλικών κυλίνδρων, η ανάλυση της οποίας ακολουθεί.

2.1.3 Διαδικασία προσδιορισμού - Υπολογισμοί

Η δειγματοληψία του εδάφους, γίνεται με τη βοήθεια ειδικών μεταλλικών κυλίνδρων, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο για τη λήψη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους. Αφού ληφθεί το αδιατάρακτο δείγμα, ο όγκος του οποίου είναι ίσος με τον όγκο του μεταλλικού κυλίνδρου, ο κύλινδρος σκεπάζεται και από τα δυο άκρα του με ειδικά καπάκια για να αποτραπεί η απώλεια υγρασίας και μεταφέρεται στο εργαστήριο, μέσα σε σακούλες από πολυαιθυλένιο.

Στο εργαστήριο, ο προσδιορισμός της ΦΠ συνδυάζεται με τον προσδιορισμό της υγρασίας (βλέπε 1.2). Το βάρος του ξηρού δείγματος ($B_1 - B_2$) διαιρείται με το γνωστό όγκο του κυλίνδρου δειγματοληψίας και έτσι ευρίσκεται η ΦΠ του δείγματος. Δηλαδή, από τα δεδομένα των ζυγίσεων για τον προσδιορισμό της υγρασίας του αδιατάρακτου δείγματος εδάφους, υπολογίζεται η μάζα ξηρού εδάφους ($B_1 - B_2$) και γνωρίζοντας τον όγκο η φαινομενική πυκνότητα (ΦΠ) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{ΦΠ σε g/cm}^3 = B/V$$

Όπου:

ΦΠ = η φαινομενική πυκνότητα, σε g/cm^3

V = ο όγκος του δείγματος του εδάφους σε cm^3

B = $B_1 - B_2$ = η μάζα του ξηρού δείγματος εδάφους σε g.

2.2. Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ

2.2.1 Εισαγωγή

Ως πυκνότητα των εδαφικών τεμαχιδίων (Particle density) ορίζεται ο λόγος της μάζας ξηρού εδάφους, προς τον όγκο των στερεών τεμαχιδίων μη συμπεριλαμβανομένου του πορώδους. Για την έκφραση της πυκνότητας των εδαφικών τεμαχιδίων χρησιμοποιείται η ίδια μονάδα, όπως και για την φαινομενική πυκνότητα του εδάφους δηλαδή, g/cm^3 .

Η τιμή της πυκνότητας των εδαφικών τεμαχιδίων κυμαίνεται και εξαρτάται βασικά από την ορυκτολογική σύσταση του μητρικού υλικού, από την αποσάθρωση του οποίου προέκυψε το έδαφος. Για συνήθεις υπολογισμούς λαμβάνεται μια μέση τιμή για την πυκνότητα των εδαφικών τεμαχιδίων, ίση με $2,65 \text{ g/cm}^3$.

Για ερευνητικούς σκοπούς όμως και επομένως για ακριβείς υπολογισμούς, για παράδειγμα του ολικού πορώδους, είναι απαραίτητος ο εργαστηριακός προσδιορισμός της πυκνότητας των εδαφικών τεμαχιδίων. Η ακριβής γνώση της πυκνότητας των εδαφικών τεμαχιδίων είναι απαραίτητη και κατά τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών, για τον ακριβή υπολογισμό της ταχύτητας καθίζησης των εδαφικών τεμαχιδίων

2.2.2 Μέθοδοι

Οι εφαρμοζόμενες σήμερα μέθοδοι για τον προσδιορισμό της πυκνότητας των εδαφικών τεμαχιδίων στηρίζονται σε δύο μετρούμενα μεγέθη. Το ένα είναι η μάζα και το άλλο ο όγκος του δείγματος. Η μάζα προσδιορίζεται με ζύγιση και ο όγκος υπολογίζεται από τη μάζα και την πυκνότητα του νερού το οποίο εκτοπίζεται από το δείγμα.

Η μέθοδος της «ληκύθου» και η μέθοδος της καταβύθισης είναι δύο ευρύτατα εφαρμοζόμενες μέθοδοι. Η πρώτη δίδει ακριβέστερα αποτελέσματα, αλλά η δεύτερη είναι απλούστερη στην εφαρμογή της.

2.2.2.1 Μέθοδος της ληκύθου, Υλικά και όργανα, Αντιδραστήρια

Λήκυθοι. Είναι γυάλινες φιάλες, με ακριβή όγκο συνήθως 50 mL και εσφυρισμένο πάμα που καθόλο το μήκος του διατρέχεται από μια τριχοειδή κοιλότητα.

Αποσταγμένο νερό ελεύθερο αέρα και CO_2 . Παρασκευάζεται με έντονο βρασμό για 5-10 λεπτά, αποσταγμένου νερού. Φυλάσσεται σε φιάλη προστατευμένη από το CO_2 της ατμόσφαιρας.

2.2.2.2 Διαδικασία προσδιορισμού

Ζυγίζεται μια καθαρή και στεγνή λήκυθος. (Αντί αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μικρότερη βέβαια ακρίβεια, μια ογκομετρική φιάλη των 100 mL). Προστίθενται περίπου 10 g αεροξηραμένο έδαφος, το οποίο έχει περάσει από κόσκινο με διάμετρο οπών 2 mm. Αφού καθαριστεί εξωτερικά η λήκυθος από το έδαφος που πιθανόν να έχει πέσει κατά τη μεταφορά, ζυγίζεται μαζί με το περιεχόμενο και το πόμα. Σε δύο ξεχωριστά δείγματα εδάφους υπολογίζεται η υγρασία με θέρμανση στους 105° C.

Γεμίζεται η λήκυθος στο μισό περίπου με νερό εκπλύνοντας ταυτόχρονα το έδαφος που πιθανόν να έχει κατακρατηθεί στο λαιμό ή στα τοιχώματα κατά τη μεταφορά. Με ήπια θέρμανση στους 60-80° C για αρκετά λεπτά και περιοδική ανάδευση, απομακρύνεται ο αέρας που βρίσκεται ανάμεσα στα εδαφικά τεμαχίδια.

Ακολουθεί η ψύξη της λήκυθου και του περιεχομένου της σε θερμοκρασία δωματίου και στη συνέχεια γεμίζεται με αποσταγμένο νερό ελεύθερου αέρος και CO₂. Η λήκυθος αφού πωματιστεί, καθαρίζεται και ξηραίνεται εξωτερικά με διηθητικό χαρτί ή με στεγνό ύφασμα και ζυγίζεται, σε θερμοκρασία του δωματίου.

Τέλος, αδειάζεται η λήκυθος από το περιεχόμενό της και αφού πλυθεί καλά, γεμίζεται εκ νέου με αποσταγμένο νερό ελεύθερου αέρος και CO₂. Καθαρίζεται εξωτερικά με διηθητικό χαρτί ή στεγνό ύφασμα και αφού αποκτήσει τη θερμοκρασία του δωματίου, ζυγίζεται.

2.2.2.3 Υπολογισμοί

Η πυκνότητα των εδαφικών τεμαχιδίων βρίσκεται από τον τύπο.

$$P_p = \frac{P_w (W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)}$$

όπου:

P_p = η πυκνότητα των εδαφικών τεμαχιδίων, σε g/cm³

P_w = η πυκνότητα του αποσταγμένου νερού σε, (g/cm³) στη θερμοκρασία δωματίου

W_s = η μάζα της λήκυθου με το βάρος του εδαφικού δείγματος διορθωμένο για την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό

W_a = η μάζα της λήκυθου κενής, σε g

W_{sw} = η μάζα της λήκυθου με το εδαφικό δείγμα και το νερό, σε g

W_w = η μάζα της λήκυθου γεμάτη με αποσταγμένο νερό, σε g

2.3 Η ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

2.3.1 Εισαγωγή

Το νερό στο έδαφος, συγκρατείται αλλά και κινείται υπό την επίδραση πολλών και ποικίλων δυνάμεων.

Η συγκράτηση του εδαφικού νερού (water retention), εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και σχετίζεται με την ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει νερό. Η υδραυλική αγωγιμότητα (Hydraulic conductivity) εκφράζει την ευκολία με την οποία το έδαφος επιτρέπει την κίνηση – διέλευση του νερού και η τιμή της αντανακλά κατά κάποιο τρόπο τις εδαφικές συνθήκες που επηρεάζουν αυτή την κίνηση - διέλευση.

Ο σπουδαιότερος εδαφικός παράγοντας που επηρεάζει την υδραυλική αγωγιμότητα, είναι το μέγεθος και η γεωμετρία των εδαφικών πόρων, οι οποίοι με τη σειρά τους επηρεάζονται από την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους και τη δομή του. Συμπληρωματικά, την υδραυλική αγωγιμότητα επηρεάζει το ιξώδες και η πυκνότητα του εδαφικού διαλύματος. Οι επιδράσεις αυτές αποκτούν ουσιαστικό χαρακτήρα στα αργιλώδη εδάφη, λόγω των εντονότερων αλληλεπιδράσεων μεταξύ του εδαφικού διαλύματος και της στερεής φάσης, σε σχέση με αυτές των αμμωδών.

Τέλος, η υδραυλική αγωγιμότητα επηρεάζεται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Καθώς η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό μειώνεται, αδειάζουν πρώτα οι μεγάλοι πόροι που εξασφαλίζουν και τις μεγάλες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας (μικρές τιμές μύζησης) και η κίνηση του νερού περιορίζεται στο μικροπορώδες. Με άλλα λόγια μειώνονται οι δρόμοι μέσα από τους οποίους μπορεί να κινηθεί το νερό στο έδαφος, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πυκνότητα και επομένως το ιξώδες του εδαφικού διαλύματος, με αποτέλεσμα αθροιστικά οι δυο αυτοί παράγοντες να οδηγούν στην ταχεία πτώση της τιμής της υδραυλικής του

αγωγιμότητας.

Στη βελτίωση των εδαφών η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας αποτελεί στοιχείο το οποίο καθορίζει τον χρόνο που θα απαιτηθεί για τη βελτίωση, είτε αυτή αφορά την αλατότητα, είτε τη νατρίωσή τους.

2.3.2 Μέθοδοι

Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας των εδαφών, κατά καιρούς έχουν προταθεί και έχουν τύχει εφαρμογής ποικίλες μέθοδοι. Η επιλογή και η εφαρμογή μιας μεθόδου για τον προσδιορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας ενός εδάφους, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

1. Από το διαθέσιμο εργαστηριακό εξοπλισμό.
2. Από τη φύση του προς εξέταση εδάφους.
3. Από το είδος των διαθέσιμων δειγμάτων.
4. Από την τιμή μύζησης του εδαφικού νερού, στην οποία γίνεται ο προσδιορισμός.
5. Από τον σκοπό για τον οποίο γίνεται ο προσδιορισμός και
6. Από την εμπειρία του αναλυτή.

Οι μετρήσεις που αφορούν την υδραυλική αγωγιμότητα των εδαφών είναι προτιμότερο να γίνονται στο χωράφι. Αν αυτό δεν είναι δυνατό, οι μετρήσεις στο εργαστήριο, θα πρέπει να γίνονται σε αδιατάρακτα δείγματα και όσο το δυνατό αντιπροσωπευτικότερα της δομής των εδαφών. Οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν, είτε υπό συνθήκες κορεσμένης ροής, είτε υπό συνθήκες ακόρεστης ροής. Οι τελευταίες είναι σχετικά δύσκολες στην εφαρμογή και λιγότερο αξιόπιστες και γιαυτό εφαρμόζονται ελάχιστα.

Οι κυριότερες εργαστηριακές διατάξεις για τη μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμένων εδαφικών δειγμάτων, είναι το περατόμετρο σταθερού υψομετρικού φορτίου και το περατόμετρο μεταβαλλόμενου υψομετρικού φορτίου.

Στο περατόμετρο σταθερού υψομετρικού φορτίου (Σχήμα.2.1) το αδιατάρακτο δείγμα εδάφους, με εμβαδόν διατομής E και ύψος Y , αρχικά κορεννύεται με νερό και στη συνέχεια φέρεται στη συσκευή. Ανοίγεται η στρόφιγγα του δοχείου με το νερό και το δείγμα δέχεται και στις δύο επιφάνειές του (πάνω και κάτω) μια σταθερή διαφορά δυναμικού (υψομετρικό φορτίο) $\Delta\Psi$. Με την εμφάνιση της πρώτης σταγόνας στο δοχείο συλλογής, αρχίζει η μέτρηση του χρόνου, t , που απαιτείται για να συλλεχθεί ορισμένος όγκος (Q) από το νερό που διέρχεται μέσω του αδιατάρακτου δείγματος εδάφους.

Ο υπολογισμός της τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμού, K_{sat} , σύμφωνα με το νόμο του Darcy, γίνεται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$K_{sat} = \frac{QY}{Et\Delta\Psi}$$

Όπου:

K_{sat} = Η υδραυλική αγωγιμότητα σε cm/h

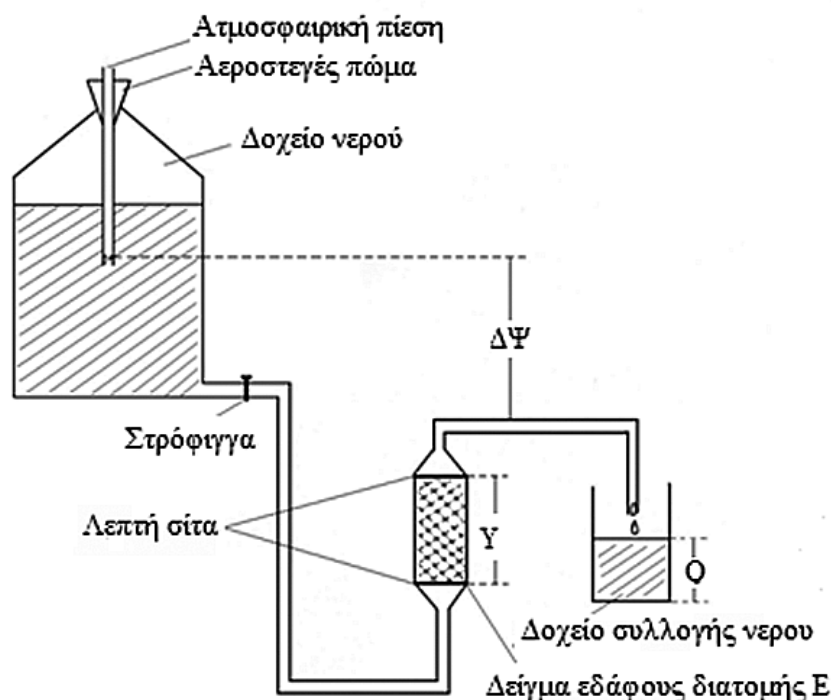
Q = Η ποσότητα του νερού σε cm^3 , που διήλθε δια μέσου του αδιατάρακτου δείγματος του εδάφους σε χρόνο t

Y = Το ύψος του εδάφους μέσα στο περατόμετρο

E = Η διατομή του περατόμετρου σε cm^2

t = Ο χρόνος σε ώρες (h) που απαιτείται για να διέλθει η ποσότητα Q του νερού, δια μέσου του αδιατάρακτου δείγματος του εδάφους

$\Delta\Psi$ = το υψομετρικό φορτίο



Σχήμα 2.1 Σχηματική παράσταση περατόμετρου σταθερού υψομετρικού φορτίου (Παναγιωτόπουλος, 2009).

Η διαδικασία υπολογισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας σε αδιατάρακτο κορεσμένο δείγμα εδάφους, με τη βοήθεια περατόμετρου μεταβαλλόμενου υψομετρικού φορτίου, είναι πιο πολύπλοκη από την προηγούμενη γι' αυτό παραλείπεται. (Ο έχων σχετικό ενδιαφέρον παραπέμπεται στη βιβλιογραφία, στο τέλος του βιβλίου)

Στη συνέχεια, αναπτύσσεται μια απλή εργαστηριακή μέθοδος προσδιορισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας ενός δείγματος εδάφους, η οποία αποτελεί μια τροποποίηση της μεθόδου του περατόμετρου σταθερού υψομετρικού φορτίου. Στη μέθοδο αυτή δε χρησιμοποιείται αδιατάρακτο δείγμα εδάφους και είναι προσαρμοσμένη για να εξυπηρετήσει τις εκπαιδευτικές ανάγκες του εργαστηρίου.

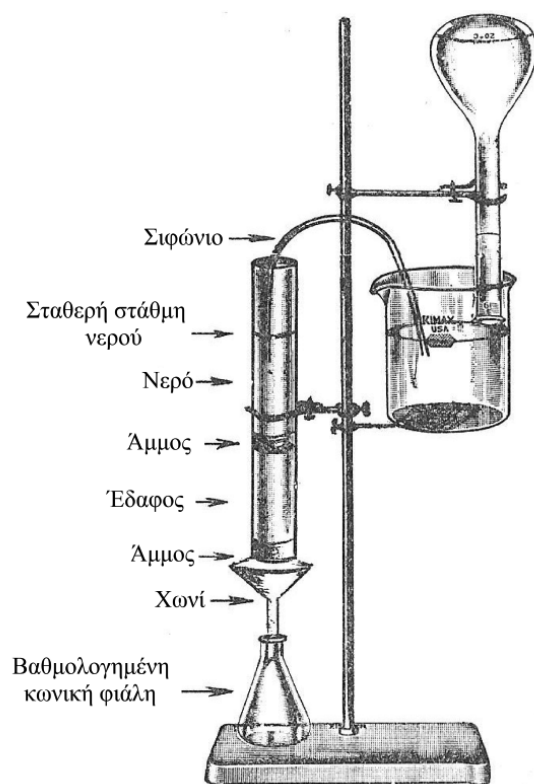
2.3.2.1 Διαδικασία προσδιορισμού

Για τον προσδιορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους, με τη μέθοδο που αναπτύσσεται στη συνέχεια, χρησιμοποιείται διαταραγμένο δείγμα εδάφους (λεπτή γη) και ως εκ τούτου το αποτέλεσμα έχει ελάχιστη φυσική σημασία, προτείνεται όμως για να ικανοποιήσει την ανάγκη άσκησης των σπουδαστών.

Για τη διεξαγωγή της άσκησης, απαιτείται ένας γυάλινος σωλήνας κλειστός από το ένα άκρο του με λεπτό συρμάτινο πλέγμα. Στο σωλήνα αυτό, προστίθεται αρχικά, μια ποσότητα χονδρής άμμου αρκετής ώστε να φθάσει το ύψος των 2 cm μέσα στο σωλήνα. Στη συνέχεια προστίθεται το δείγμα του εδάφους τμηματικά, με ενδιάμεσες κατακόρυφες κρούσεις του σωλήνα, μέχρις ότου να καταλάβει στήλη ύψους 10 cm μέσα σε αυτόν. Τέλος προστίθεται πάλι χονδρή άμμος ώστε να σχηματισθεί στρώση ύψους 2 cm.

Μετά την προσθήκη του δείγματος του εδάφους, ο σωλήνας φέρεται σε στήριγμα προχοϊδας όπου συγκρατείται κατακόρυφα με τη βοήθεια ελατηριωτού σφιγκτήρα (Σχήμα.2.2). Κατόπιν ο σωλήνας γεμίζεται με νερό έτσι ώστε, από την άνω επιφάνεια του εδάφους μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια του νερού να σχηματισθεί στήλη ύψους 10 cm. Η στάθμη του νερού μέσα στο σωλήνα διατηρείται σταθερή, με ρύθμιση της παροχής του νερού με τη βοήθεια της στρόφιγγας της δοχείου πληρώσεως, που συγκρατείται με σφιγκτήρα πάνω από το σωλήνα με το δείγμα.

Κάτω από τον σωλήνα, υπάρχει μια κωνική φιάλη, βαθμολογημένη σε όγκο, μέσα στην οποία συλλέγεται το νερό που διέρχεται δια μέσου της μάζας του εδάφους στο σωλήνα. Με την εμφάνιση της πρώτης σταγόνας νερού στο κάτω άκρο του σωλήνα, αρχίζει να μετράται ο χρόνος που απαιτείται για να διέλθει δια μέσου της μάζας του εδάφους ορισμένος όγκος νερού.



Σχήμα 2.2 Συσκευή προσδιορισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας σε διαταραγμένο δείγμα εδάφους (λεπτή γη) (Αλεξιάδης, 1980).

2.3.2.2 Υπολογισμοί

Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους δίδεται από τη σχέση:

$$K_{\text{κορ}} = \frac{QY}{E.H.t}$$

όπου:

$K_{\text{κορ}}$ = Η υδραυλική αγωγιμότητα σε cm/h

Q = Η ποσότητα του νερού σε cm³, που διήλθε δια μέσου του δείγματος του εδάφους σε χρόνο t.

Y = Το ύψος του εδάφους μέσα στον κύλινδρο (10 cm)

E = Η διατομή του γυάλινου σωλήνα σε cm²

t = Ο χρόνος σε ώρες (h) που απαιτείται για να διέλθει η ποσότητα

Q του νερού, δια μέσου του δείγματος του εδάφους

H = Το ύψος της στήλης του νερού στο σωλήνα (10 cm)

2.3.2.3 Αξιολόγηση του αποτελέσματος

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας των εδαφών, στην κορεσμένη ροή όπως αναφέρθηκε, εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από τη κοκκομετρική σύσταση του εδάφους.

Επομένως η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας ανάλογα με τη κοκκομετρική σύσταση των εδαφών, μειώνεται με την ακόλουθη σειρά:

αμμώδη > πηλώδη > ιλώδη > αργιλώδη.

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας ($K_{\text{κορ}}$), στα αμμώδη είναι μεγάλη ($K_{\text{κορ}} = 10$ έως 100 μm/s), στα βαριά αργιλώδη μικρή έως πολύ μικρή ($K_{\text{κορ}} = 0,1$ έως 0,01 μm/s). Η άριστη επιθυμητή τιμή της $K_{\text{κορ}}$, για τα εδάφη είναι ίση με 0,1 έως 10 μm/s, αυτή δηλαδή που αντιστοιχεί στα καλώς στραγγιζόμενα, μέσης σύστασης, πηλώδη εδάφη.

Σημείωση: Για την απλοποίηση των υπολογισμών η απόδοση της $K_{\text{κορ}}$ στην άσκηση, γίνεται σε cm/h, ενώ στην ανωτέρω ερμηνεία του αποτελέσματος δίδονται τιμές σε μm/s, που είναι οι διεθνώς ισχύουσες τιμές.

2.4 ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΕΛΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

2.4.1 Εισαγωγή

Το δυναμικό του εδαφικού νερού εκφράζει την ικανότητα του νερού να μετέχει σε αντιδράσεις ή την ικανότητά του να παράγει ωφέλιμο έργο (π.χ. να μετακινείται). Κάθε παράγοντας που τείνει να περιορίσει την ελευθερία του νερού και επομένως την ικανότητα του να παράγει έργο, μειώνει το δυναμικό του, για παράδειγμα: το αποσταγμένο νερό σε ένα δοχείο του οποίου τα τοιχώματα δεν ασκούν επίδραση στα μόρια του νερού έχει το υψηλότερο δυναμικό. Αν όμως στο νερό προστεθεί ένα άλας (όπως στο εδαφικό νερό που είναι αραιό διάλυμα ηλεκτρολυτών) ή τα τοιχώματα του δοχείου ασκούν έλξη στα μόρια του νερού, όπως στο έδαφος που το νερό έλκεται από τη στερεή φάση, το δυναμικό του μειώνεται. Το δυναμικό του εδαφικού νερού εκφράζεται από τη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό και οφείλονται στα επιμέρους δυναμικά της βαρύτητας, της στερεής φάσης και της οσμωτικής πίεσης.

Η κύρια συνιστώσα του δυναμικού του εδαφικού νερού είναι εκείνη που οφείλεται στη στερεή φάση του εδάφους και αναφέρεται ως μύζηση. Η μύζηση του εδαφικού νερού εκφράζει τη δύναμη συγκράτησής του από το έδαφος ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους και επειδή αντιπροσωπεύει έλξη του νερού προς την στερεή φάση, εκφράζεται με αρνητική πίεση άρα θα έπρεπε να έχει αρνητική τιμή. Κατά συνθήκη όμως ορίστηκε να έχει θετική. Η τιμή της μύζησης μεταβάλλεται από μηδέν ατμόσφαιρες (είναι η τιμή μύζησης του κορεσμένου με νερό εδάφους – υψηλό δυναμικό νερού) μέχρι και χίλιες ατμόσφαιρες = 10^5 kPa (μύζηση αεροξηραμένου εδάφους – χαμηλό δυναμικό νερού).

Η ποσότητα του νερού που συγκρατεί ένα έδαφος εξαρτάται από τους παράγοντες που επηρεάζουν τα παραπάνω επιμέρους δυναμικά συγκράτησης του νερού. Έτσι, σε ένα έδαφος στη σύσταση του οποίου συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό τα λεπτόκοκκα συστατικά (ίλύς και άργιλος) η συνεισφορά των δυνάμεων που οφείλονται στη στερεή φάση είναι η σημαντικότερη. Πράγματι, τα λεπτόκοκκα συστατικά συμβάλλουν στη δημιουργία μέσα στο έδαφος πόρων με μικρή διάμετρο, με αποτέλεσμα η επιφανειακή τάση που ασκείται στους μηνίσκους του νερού να είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον η άργιλος, λόγω του αρνητικού της φορτίου, συμβάλλει σημαντικά στη συγκράτηση του νερού με μια ποικιλία μηχανισμών.

Επίσης, το είδος των ορυκτών που επικρατούν στην άργιλο των εδαφών επηρεάζει τη συμπεριφορά της στερεής φάσης στη συγκράτηση του νερού. Ο μοντμοριλλονίτης, όπως είναι γνωστό, έχει την ικανότητα να προσροφά νερό μεταξύ των στιβάδων του και να διογκώνεται. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση του μεγέθους των πόρων του εδάφους, πράγμα που συνεπάγεται την αύξηση της δύναμης συγκράτησης του νερού στο έδαφος, γεγονός που αποβαίνει σε βάρος της στράγγισής του. Αν το κλείσιμο των πόρων γίνει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, τότε το νερό δεν μπορεί να διηθηθεί προς στα βαθύτερα στρώματα και απορρέει επιφανειακά αυξάνοντας την επιφανειακή διάβρωση.

Στην περίπτωση των αλατούχων εδαφών, σημαντική συμμετοχή στο ολικό δυναμικό του νερού έχει και η οσμωτική πίεση που εκδηλώνεται στο εδαφικό διάλυμα εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσής του σε άλατα.

Στα αμμώδη εδάφη, το δυναμικό βαρύτητας επικρατεί των δύο άλλων, με αποτέλεσμα το νερό να μη συγκρατείται από τη στερεή φάση, αλλά να κινείται προς την υπεδάφεια στάθμη.

Η κατεύθυνση της μετακίνησης του νερού στο έδαφος καθορίζεται από την τιμή του ολικού δυναμικού του σε δύο διαφορετικά σημεία και έχει φορά από το σημείο με υψηλή τιμή ολικού δυναμικού (συνήθως υγρό έδαφος) προς το σημείο με μικρή τιμή (συνήθως ξηρό έδαφος).

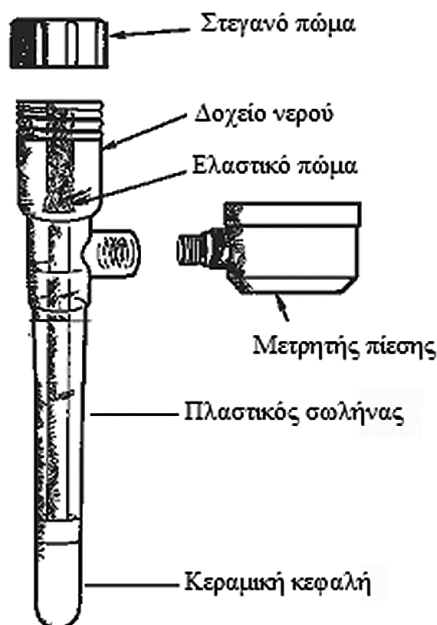
Σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση του νερού στο έδαφος διαδραματίζει και η οργανική του ουσία. Η συνεισφορά της είναι άμεση και έμμεση. Ο άμεσος ρόλος της οργανικής ουσίας είναι ανάλογος με εκείνο της αργίλου και ο έμμεσος έχει σχέση με την επίδραση που ασκεί η παρουσία της στη δομή των αργιλωδών και των αμμωδών εδαφών. Στα αργιλώδη μειώνει την ολική ποσότητα του νερού που συγκρατούν, διευκολύνοντας την στράγγισή τους, ενώ αυξάνει τη διαθέσιμη ποσότητα του νερού για τα φυτά. Στα αμμώδη αυξάνει και την ολική ποσότητα του νερού που συγκρατούν και το διαθέσιμο νερό για τα φυτά.

Από τη συνολική ποσότητα του εδαφικού νερού μόνο ένα μέρος του είναι διαθέσιμο στα φυτά (βλέπε επόμενη άσκηση). Ένα μέρος από το προσροφημένο νερό καθώς και αυτό που βρίσκεται μέσα σε πόρους με

διάμετρο μικρότερη ή ίση με 0,2 μm, δεν μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά, γιατί συγκρατείται στο έδαφος με υψηλές μυζητικές δυνάμεις.

2.4.2 Τασίμετρα

Η μέτρηση του δυναμικού του εδαφικού νερού (εδαφικού διαλύματος), μπορεί να γίνει στο χωράφι με το τασίμετρο. Το τασίμετρο είναι μια απλή συσκευή που αποτελείται από ένα κυλινδρικό πλαστικό σωλήνα διαμέτρου 2,5 περίπου εκατοστών, με μια πορώδη κεραμική κεφαλή στο κάτω μέρος (και τα δυο γεμάτα με νερό) και με ένα μετρητή πίεσης (μανόμετρο) στο πάνω. Βλέπε Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Σχηματική παράσταση τασίμετρου

Δεδομένου ότι τα τασίμετρα, εγκαθίστανται για μια καλλιεργητική ή και περισσότερες περιόδους, μας παρέχουν ενδείξεις του δυναμικού του εδαφικού νερού στην ίδια θέση, για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι ενδείξεις των τασίμετρων δεν επηρεάζονται από την αλατότητα του εδαφοδιαλύματος και η ερμηνεία τους είναι απλή και εύκολη. Τα τασίμετρα είναι ιδανικά στην εφαρμογή τους σε αυτοματοποιημένα συστήματα άρδευσης, διότι με βάση το μετρούμενο δυναμικό του εδαφικού νερού, που αντανακλά την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, πληροφορούν το χρόνο στον οποίο θα πρέπει να γίνει άρδευση, ή στην περίπτωση αυτοματοποιημένων δικτύων, το χρόνο στον οποίο το αρδευτικό δίκτυο αυτόματα θα τεθεί σε λειτουργία για την άρδευση μιας καλλιέργειας.

2.4.2.1 Προετοιμασία και έλεγχος πριν από την εγκατάσταση

Πριν την εγκατάστασή τους στον αγρό, τα τασίμετρα πρέπει να υποστούν μια συγκεκριμένη προετοιμασία και να ελεγχθεί η λειτουργικότητά τους, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια.

Αφαιρείται το πάμα από το πάνω μέρος της συσκευής η οποία εμβαπτίζεται σε όρθια θέση μέσα σε νερό για μια νύχτα, προκειμένου η πορώδης κεραμική κεφαλή του τασίμετρου να διαποτιστεί με νερό. Το νερό αφού διαποτίσει την κεραμική κεφαλή εισέρχεται στο εσωτερικό του οργάνου και συγκεντρώνεται στον πλαστικό σωλήνα. Εάν δεν συμβεί αυτό, οι πόροι της κεραμικής κεφαλής μάλλον είναι φραγμένοι και γιαυτό παρεμποδίζεται η διείσδυση του νερού. Στην περίπτωση αυτή η κεφαλή είναι δυνατό να καθαριστεί εξωτερικά με συνδυασμό τριψίματος με γυαλόχαρτο και εμβαπτίσεως σε θερμό διάλυμα HCl (1:3 νερό). Εάν και μετά από αυτή τη μεταχείριση το πρόβλημα εξακολουθεί να υφίσταται, θα πρέπει να γίνει αλλαγή της κεραμικής κεφαλής.

Το νερό, που συγκεντρώνεται στον πλαστικό σωλήνα στη διάρκεια της προετοιμασίας του, αφαιρείται και το όργανο πληρούται με νερό από το οποίο απαραίτητα έχει αφαιρεθεί ο αέρας. Εάν δεν γίνει η αφαίρεση του αέρα, που περιέχεται εν διαλύσει στο νερό, τότε συμβαίνει είσοδος φυσαλίδων από το νερό, όταν η συσκευή υπόκειται σε πιέσεις μικρότερες της ατμοσφαιρικής, με αποτέλεσμα τη μειωμένη ακρίβεια των ενδείξεων.

Νερό απαλλαγμένο από αέρα παρασκευάζεται με βρασμό και στη συνέχεια ψύξη, με ελαχιστοποίηση της ελεύθερης επιφάνειας για να αποτρέπεται η επαναδιαλυτοποίηση του αέρα στο νερό. Στη συνέχεια προσαρμόζεται μια χειροκίνητη αντλία κενού στο τασίμετρο όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4 και εφαρμόζεται κενό 60 – 80 kPa. Η εφαρμογή κενού έχει ως στόχο να αφαιρεθούν οι φυσαλίδες του αέρα από την πορώδη κεραμική κεφαλή και τον μετρητή πίεσεως της συσκευής. Η εφαρμογή του κενού διατηρείται για 30 – 60 s, για να δοθεί χρόνος στις φυσαλίδες να συγκεντρωθούν στο πάνω μέρος του πλαστικού σωλήνα. Επιπλέον, κρατώντας το όργανο υπό κλίση και με ελαφρά κτυπήματα, διευκολύνεται η διαδικασία απομάκρυνσης των φυσαλίδων. Αφαιρείται η αντλία κενού και ο χώρος που είχαν συγκεντρωθεί οι φυσαλίδες του αέρα γεμίζεται με νερό ελεύθερο αέρα.

Το στεγανό πόμα επανατοποθετείται και το όργανο αφήνεται στον αέρα (24 – 48 ώρες), ώστε να δημιουργηθεί υποπίεση 60 – 80 kPa μέσω της ελεύθερης εξάτμισης νερού από την κεραμική κεφαλή. Είναι ενδεχόμενο να συγκεντρωθεί αέρας στο άνω μέρος του πλαστικού σωλήνα. Εάν συμβεί αυτό, γεμίζεται ο πλαστικός σωλήνας με νερό ελεύθερο αέρα και αφήνεται πάλι να δημιουργηθεί υποπίεση μέσω της εξάτμισης του νερού από την κεραμική κεφαλή. Αντί της ελεύθερης εξάτμισης, στο τασίμετρο μπορεί να δημιουργηθεί υποπίεση ταχύτερα με την εφαρμογή εξωτερικού κενού. Τέτοιοι κύκλοι επαναλαμβάνονται μέχρις ότου η συγκέντρωση του αέρα είναι μηδαμινή. Στην περίπτωση που η διαδικασία αυτή αποτύχει, είναι ένδειξη ότι η στεγανότητα του οργάνου δεν είναι επαρκής και θα πρέπει να αναζητηθεί η αιτία της διαρροής. Η διαρροή μπορεί να οφείλεται σε ελαττωματική κεραμική κεφαλή (κεραμική κεφαλή με ρωγμές), ή σε μη στεγανή σύνδεση της κεφαλής με τον πλαστικό σωλήνα. Ο έλεγχος των διαρροών γίνεται ως ακολούθως. Η κεφαλή βυθίζεται στο νερό για να διωγρυνθεί, αφαιρείται το μανόμετρο και εισάγεται ένας σωλήνας για τη διοχέτευση αέρα. Το νερό του τασιμέτρου αφαιρείται και εφαρμόζεται πίεση αέρα μέχρι 100 kPa, με την κεραμική κεφαλή και το σημείο σύνδεσής της με τον πλαστικό σωλήνα βυθισμένα στο νερό. Αν υπάρχουν διαρροές θα παρατηρηθεί ένα ρεύμα φυσαλίδων αέρα από την κεραμική κεφαλή ή το σημείο σύνδεσής της με τον πλαστικό σωλήνα.

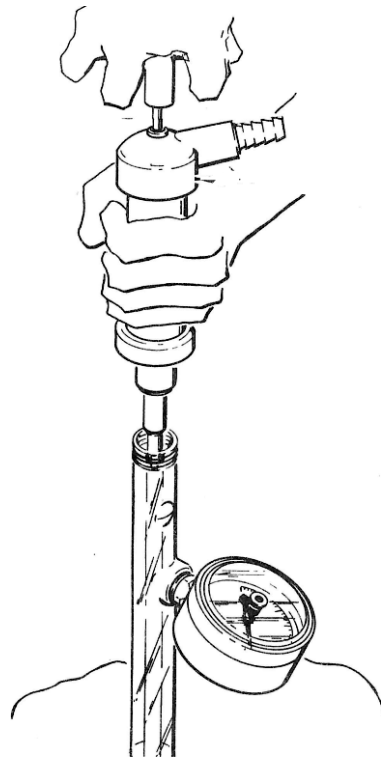
Ο χρόνος ανταπόκρισης του τασιμέτρου πρέπει να ελεγχθεί ως εξής. Δημιουργείται υποπίεση 60 – 80 kPa στο όργανο μέσω της ελεύθερης εξάτμισης νερού από την κεφαλή και κατόπιν βυθίζεται σε νερό. Η ένδειξη του μετρητή πίεσης (μανόμετρο) θα πρέπει να πέσει στο 0 έως 5 kPa μέσα σε 5 λεπτά. Εάν η ένδειξη του μανόμετρου δεν πλησιάζει το μηδέν τότε ο μετρητής πίεσεως είναι ελαττωματικός ή απαιτείται επαναβαθμονόμησή του ή υπάρχει παγιδευμένος αέρας στη συσκευή. Εάν ο χρόνος ανταπόκρισης είναι μεγάλος η κεφαλή πρέπει να καθαριστεί ή να αντικατασταθεί. Η κεραμική κεφαλή πρέπει να διατηρείται υγρή, μέχρι την εγκατάσταση του τασιμέτρου στον αγρό.

2.4.2.2 Εγκατάσταση

Για την εγκατάσταση του τασιμέτρου στον αγρό, ανοίγεται μια οπή στο επιθυμητό σημείο και βάθος στο έδαφος, στις διαστάσεις του τασιμέτρου. Χύνονται 50 mL νερού, ή ανάλογη ποσότητα αιωρήματος εδάφους με νερό (αραιή λάσπη), στην οπή και εισάγεται το τασίμετρο με ελαφρά περιστροφική κίνηση. Εάν η οπή είναι μεγαλύτερης διαμέτρου από το σωλήνα του τασιμέτρου, γεμίζεται με έδαφος που συμπιέζεται καλά γύρω από το τασίμετρο. Το έδαφος πρέπει να σχηματίζει ένα κώνο 5 – 8 cm γύρω από το λαιμό του τασιμέτρου. (Σχήμα 2.5). Μετά την εγκατάσταση, γεμίζεται το όργανο με νερό ελεύθερο αέρα, αν χρειάζεται και αφήνεται να έρθει σε ισορροπία με το εδαφοδιάλυμα (περίπου 3 – 6 ώρες), πριν ληφθεί η πρώτη ανάγνωση. Το σημείο εγκατάστασης του τασιμέτρου επιλέγεται να βρίσκεται στην περιοχή της μέγιστης πυκνότητας των ριζών και το βάθος εγκατάστασης πρέπει να φτάνει στο ένα τέταρτο έως ένα τρίτο του βάθους του ριζικού συστήματος της καλλιέργειας που είναι εγκατεστημένη.

Συνιστάται επίσης, να εγκαθίσταται ένα άλλο τασίμετρο στο βάθος μέχρι το οποίο φτάνει το ριζικό σύστημα των φυτών, για να ελέγχεται ότι το αρδευτικό νερό φτάνει μέχρις εκεί. Αν η ένδειξη του τασιμέτρου, μετά την άρδευση δεν μεταβάλλεται ή συνεχίζει να αυξάνει, αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η αρδευτική δόση είναι ανεπαρκής.

Ο αριθμός των σημείων εγκατάστασης των τασιμέτρων, εξαρτάται από το εφαρμοζόμενο σύστημα άρδευσης, την ομοιομορφία του εδάφους καθώς και το σύστημα διαχείρισής του. Σε ομοιόμορφους εδαφικούς τύπους η ελάχιστη πυκνότητα σταθμών εγκατάστασης τασιμέτρων είναι ένα ανά ογδόντα στρέμματα. Οι θέσεις των σταθμών πρέπει να βρίσκονται στα σημεία εκείνα που είναι αντιπροσωπευτικά της υγρασιακής κατάστασης της συνολικής έκτασης του αγροτεμαχίου, ενώ στις προβληματικές περιοχές με διαφορετικές εδαφικές συνθήκες πρέπει να εγκαθίστανται χωριστοί σταθμοί. Περιοχές επίσης με διαφορετικές καλλιέργειες, αντιμετωπίζονται με ανεξάρτητους σταθμούς η κάθε μια, αφού οι καλλιέργειες παρουσιάζουν διαφορές στις απαιτήσεις σε νερό και στο βάθος του ριζικού τους συστήματος.



Σχήμα 2.4 Διαδικασία προετοιμασίας του τασιμέτρου

2.4.2.3 Η σημασία των ενδείξεων του τασιμέτρου

Σε ένα ακόρεστο έδαφος το δυναμικό του εδαφικού νερού, λέγεται συχνά και μύζηση, (όπως αναφέρθηκε και στην Εισαγωγή) και παίρνει τιμές κάτω της ατμοσφαιρικής, αφού στην πραγματικότητα πρόκειται για αρνητική πίεση. Καθώς ένα υγρό έδαφος ξηραίνεται, η μύζηση του εδαφικού νερού αυξάνει, προκαλώντας έτσι την έξοδο του νερού από το τασίμετρο, μέσω της πορώδους κεραμικής κεφαλής, η οποία δεν επιτρέπει στο αέρα να εισέλθει μέσα στο όργανο. Η έξοδος του νερού από το τασίμετρο, δημιουργεί υποπίεση στο εσωτερικό του οργάνου η οποία αυξάνει την ένδειξη του μετρητή πίεσεως. Εάν το έδαφος διαβραχεί εκ νέου με άρδευση, το νερό επανέρχεται στο εσωτερικό της συσκευής, μειώνει την υποπίεση που είχε δημιουργήσει η έξοδος του και έτσι η ένδειξη του μετρητή μειώνεται ανάλογα.

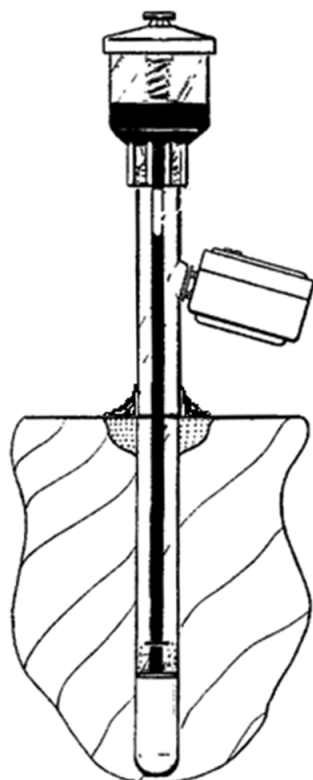
Σημειώνεται ότι η παλαιά μονάδα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης ήταν το bar ή η Atm. Σήμερα αποδεκτή είναι η μονάδα Pascal. Η σχέση μεταξύ των δυο μονάδων είναι: $1 \text{ bar} = 0,987 \text{ Atm} = 760 \text{ mmHg} = 10^3 \text{ cm H}_2\text{O} = 10^5 \text{ Pascal} = 100 \text{ kPa}$. $1 \text{ centibar} = 1 \text{ kPa}$.

Η ένδειξη του μανομέτρου, αναφέρεται στη μύζηση του εδαφικού νερού στην παλιότερη μονάδα το centibar, που είναι ίσο με 1 kPa και μεταβάλλεται σε μια κλίμακα από 0 έως 100. Μια ένδειξη 0 αναφέρεται σε ένα κορεσμένο με νερό έδαφος, στο οποίο οι ρίζες των φυτών θα υποφέρουν από την έλλειψη αέρα. Μια ένδειξη από 10 – 25 kPa, υποδηλώνει ότι το έδαφος βρίσκεται στην κατάσταση της υδατοχωρητικότητας.

Η χαμηλότερη τιμή αφορά την υδατοχωρητικότητα των αμμωδών εδαφών και η μεγαλύτερη την υδατοχωρητικότητα των αργιλωδών.

Ενδείξεις από 70 – 80 kPa, χαρακτηρίζουν ξηρά εδάφη. Τα τασίμετρα δεν επιτρέπεται να υποβληθούν σε μεγαλύτερες τιμές υποπίεσης, γιατί ξηραίνεται η πορώδης κεραμική κεφαλή του οργάνου και οι ενδείξεις τους στην συνέχεια δεν έχουν αξιοπιστία.

Τα τασίμετρα δίνουν πληροφορίες για το πότε πρέπει να αρδεύσει ένας καλλιεργητής, δεν δίνουν όμως καμιά πληροφορία για την ποσότητα του νερού που πρέπει να προσφέρει ανά αρδευτική δόση, εκτός και αν έχουν βαθμολογηθεί για αυτό το σκοπό για κάθε ένα εδαφικό τύπο ξεχωριστά. Οι πληροφορίες για την αρδευτική δόση αντλούνται από τις τιμές της υδατοχωρητικότητας των εδαφών και του σημείου μόνιμης μάρανσής τους, που καθορίζουν τη διαθέσιμη υγρασία για τα φυτά, από την οποία προκύπτει και η αρδευτική δόση. (Ο υπολογισμός των δυο αυτών υγρασιακών καταστάσεων των εδαφών περιγράφεται στη συνέχεια).



Σχήμα 2.5 Σχηματική παράσταση τοποθέτησης τασιμέτρου στον αγρό

Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι οριακές τιμές του τασιμέτρου, ανά καλλιέργεια, πάνω από τις οποίες πρέπει να πραγματοποιείται άρδευση.

| Καλλιέργεια | kPa |
|------------------------------|------------|
| Μηδική | 70-80 |
| Αβοκάντο | 40-50 |
| Σέλινο | 20-30 |
| Εσπεριδοειδή | 50-70 |
| Καλαμπόκι | 50-80 |
| Βαμβάκι | 70-80 |
| Φυλλοβόλα δέντρα | 60-80 |
| Σταφύλια | 40-60 |
| Μαρούλι | 40-50 |
| Ντομάτα | 60-70 |
| Πατάτα | 30-50 |
| Σιτάρι | 70-80 |
| Βλαστικό στάδιο καλλιεργειών | 40-50 |

Πίνακας 2.1 Οριακές τιμές της τάσης του εδαφικού νερού ανά καλλιέργεια.

2.5 ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΝΕΡΟ

2.5.1 Εισαγωγή

Η ποσότητα του εδαφικού νερού που μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά, χαρακτηρίζεται και ως διαθέσιμη υγρασία ή διαθέσιμο νερό. Η ποσότητα αυτή συγκρατείται από το έδαφος, με δυνάμεις μεγαλύτερες εκείνης της βαρύτητας και μικρότερες εκείνων που μπορούν να αναπτύξουν τα φυτά στο ριζικό τους σύστημα για να το παραλάβουν και πρακτικά γίνεται δεκτό ότι καταλαμβάνει τους πόρους του εδάφους με διάμετρο από 0,2 έως 10 μm .

Η σχέση μεταξύ της **ποσότητας** του εδαφικού νερού και της **μύζησης** (δύναμης) που ασκείται σε αυτό, από το έδαφος, συνιστά βασικό παράγοντα για τον χαρακτηρισμό των υδραυλικών του ιδιοτήτων. Κατά καιρούς στη σχέση αυτή έχουν δοθεί διάφορα ονόματα, όπως χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης υγρασίας, συνάρτηση της συγκράτησης του νερού από το έδαφος και καμπύλη τριχοειδούς πίεσεως – κορεσμού. Η σχέση συνδέει δυο παραμέτρους, δηλαδή την **ποσότητα** νερού, με την **ένταση** (δύναμη) με την οποία συγκρατείται από το έδαφος. Στην προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση αποτιμήθηκε μόνο η παράμετρος της έντασης με τη βοήθεια τασιμέτρου και η μεταβολή της, ανάλογα με τη μεταβολή της περιεκτικότητας του εδάφους με νερό.

Στην άσκηση που ακολουθεί περιγράφεται η μεθοδολογία ολοκληρωμένης εκτίμησης της σχέσης, δηλαδή η δυνατότητα υπολογισμού της **ποσότητας** του νερού που συγκρατεί ένα έδαφος σε διάφορες τιμές **εντάσεως** (μύζησης), δηλαδή, συγκρατήσεώς του από το έδαφος. Επειδή όμως η ολοκληρωμένη εκτίμηση της σχέσης είναι χρονοβόρα (πολλά σημεία), στην άσκηση περιγράφεται ο προσδιορισμός δύο μόνο σημαντικών, από πρακτικής απόψεως, υγρασιακών μεγεθών των εδαφών, που είναι η **υδατοχωρητικότητα** και το **σημείο μόνιμης μάρανσης**, γιατί από τη διαφορά τους προκύπτει το διαθέσιμο για τα φυτά νερό.

2.6 ΥΔΑΤΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

2.6.1 Εισαγωγή

Ως **υδατοχωρητικότητα ενός εδάφους σε συνθήκες αγρού**, ορίζεται η ποσότητα νερού που συγκρατεί το έδαφος, δυο έως τρεις μέρες μετά την πλήρη διαβροχή του και όταν η ελεύθερη στράγγισή του είναι μηδαμινή.

Η υδατοχωρητικότητα εξαρτάται από:

- Την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους
- τη δομή του εδάφους
- το ποσοστό της οργανικής ουσίας
- τη φύση των κolloειδών και
- το είδος των προσροφημένων κατιόντων

Η δύναμη που συγκρατείται το νερό στο έδαφος, όπως ήδη έχει αναφερθεί, αποδίδεται κυρίως στη στερεή του φάση και χαρακτηρίζεται ως μύζηση του εδαφικού νερού. Επειδή αντιπροσωπεύει έλξη του νερού προς τη στερεή φάση εκφράζεται ως αρνητική πίεση, (κατά συνθήκη λαμβάνεται ως θετική) και ισούται αριθμητικά με τη δύναμη (πίεση) που θα πρέπει να ασκηθεί ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους, έτσι ώστε το νερό να απομακρυνθεί από αυτό. Η υδατοχωρητικότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης, (βλέπε επόμενα) είναι ιδιότητες των εδαφών που αφορούν συνθήκες αγρού και απλώς προσεγγίζονται εργαστηριακά με συγκεκριμένα δυναμικά πίεσης που εφαρμόζονται σε δείγμα εδάφους. Έτσι στους εργαστηριακούς προσδιορισμούς γίνεται η συμβατική παραδοχή ότι στο νερό του εδάφους που αντιπροσωπεύει την υδατοχωρητικότητά του, ασκείται μύζηση ίση με 0,1 Atm ή 10 kPa (πλέον της ατμοσφαιρικής).

Σημείωση: Η τιμή 0,1 Atm για τη μύζηση του εδαφικού νερού στην υδατοχωρητικότητα των εδαφών, γίνεται σήμερα αποδεκτή από τους περισσότερους ερευνητές. Παρόλα αυτά κατά καιρούς έχουν προταθεί στο παρελθόν τιμές που κυμαίνονται από 0,05 μέχρι 1/3 Atm.

Η γνώση της ποσότητας του νερού στο σημείο της υδατοχωρητικότητας του εδάφους είναι χρήσιμη σε συνδυασμό με το νερό που αντιστοιχεί στο σημείο μόνιμης μάρανσης, γιατί η διαφορά τους θα καθορίσει την ποσότητα του διαθέσιμου νερού για τα φυτά, η δε ποσότητα του νερού στο σημείο της υδατοχωρητικότητας, τη μέγιστη ποσότητά νερού που πρέπει να εφαρμόζεται σε κάθε άρδευση. Η υπέρβαση αυτή της ποσότητας σημαίνει σπατάλη πόρων, γιατί το επιπλέον νερό αφού δεν συγκρατείται από το έδαφος, θα απομακρυνθεί με τη δύναμη της βαρύτητας.

2.6.1.1 Υλικά και όργανα

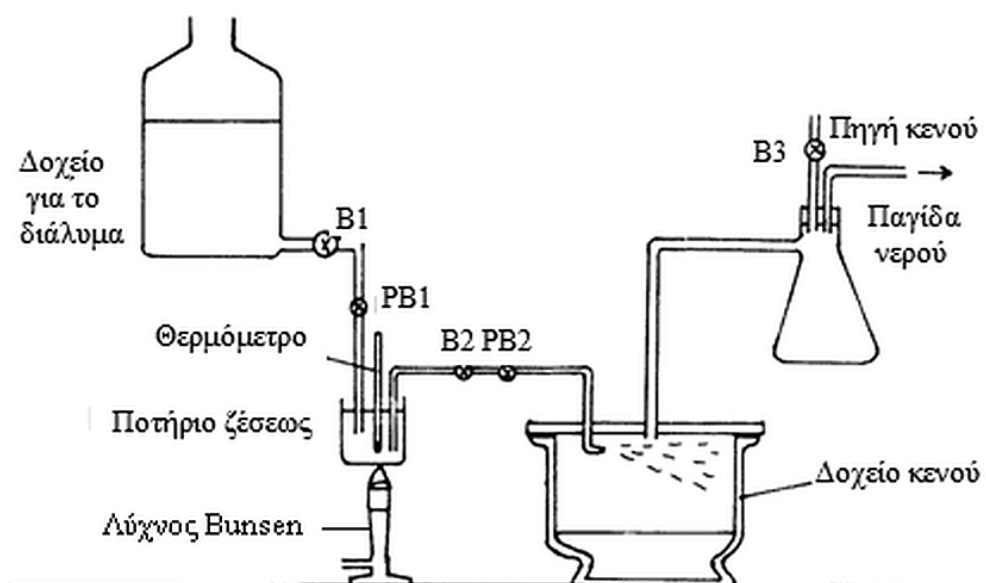
- Αδιατάρακτα δείγματα εδάφους
- Συσκευή πιεζόμενης κεραμικής πλάκας
- Δειγματολήπτης για αδιατάρακτο δείγμα εδάφους
- Ένα set δακτυλίων δειγματοληψίας με δυνατότητα προσαρμογής στο δειγματολήπτη.
- Μια σπάτουλα με ευρύ έλασμα για την αποκόλληση των δειγμάτων στο τέλος των μετρήσεων από την πορώδη κεραμική πλάκα.

2.6.1.2 Αντιδραστήρια

Διάλυμα περίπου 0,01 M $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - θυμόλης, απαλλαγμένο από το διαλυμένο αέρα.

Το διάλυμα αυτό χρησιμοποιείται, αντί καθαρού νερού, γιατί προσεγγίζει καλύτερα τη σύσταση του εδαφικού διαλύματος και παρασκευάζεται ως εξής. Σε ένα δοχείο χωρητικότητας 6 L προστίθενται 16 – 18 g $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και 1 – 1,5 g θυμόλης και συμπληρώνεται με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό. Το διάλυμα ανακινείται περιοδικά μέχρι πλήρους διαλυτοποίησής του $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Από αυτό το διάλυμα παρασκευάζεται νέο, σε αναλογία 1:1 με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό, το οποίο μεταφέρεται στο δοχείο της συσκευής που φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Με τις βαλβίδες B_1 και B_2 κλειστές, εφαρμόζεται κενό στο δοχείο κενού της συσκευής που φαίνεται στο Σχήμα. Στη συνέχεια ανοίγεται η βαλβίδα B_1 επιτρέποντας στο διάλυμα να κινηθεί μέχρι να γεμίσει το ποτήρι ζέσεως της συσκευής, οπότε η βαλβίδα κλείνεται. Εφαρμόζεται θέρμανση στο ποτήρι μέχρι ότου το διάλυμα αποκτήσει θερμοκρασία 50 έως 60° C. Όταν το νερό στο ποτήρι θερμανθεί, ανοίγεται η βαλβίδα B_2 και ρυθμίζεται, με τη βαλβίδα PB_2 , η ροή προς το δοχείο κενού, ώστε να ψεκάζεται ποσότητα διαλύματος στο δοχείο με ρυθμό 200 mL/ λεπτό και να γεμίζει το δοχείο σε 15 – 30 λεπτά. Στη συνέχεια ανοίγεται η βαλβίδα B_1 και ρυθμίζεται με τη βαλβίδα PB_1 η ροή προς το ποτήρι ζέσεως, ώστε το επίπεδο του διαλύματος να διατηρείται σταθερό.

Όταν το δοχείο κενού της συσκευής γεμίσει, κλείνονται οι βαλβίδες B_1 και B_2 και ανοίγεται η βαλβίδα B_3 ώστε να εκτονωθεί το κενό. Το ελεύθερο αέρος διάλυμα μεταφέρεται σε δοχείο αποθήκευσης, μέσω διηθητικού ηθμού, αν έχει αιωρούμενα στερεά. Στη συνέχεια φυλάσσεται επί αόριστο, αρκεί το δοχείο να είναι κλειστό και πλήρες διαλύματος. Μπορεί επίσης να διατηρηθεί σε ανοικτά δοχεία, με μικρή ελεύθερη επιφάνεια και χωρίς ανατάραξη, για μια – δυο μέρες.



Σχήμα 2.6 Διάταξη για την παραγωγή διαλύματος 0,01 M $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ απαλλαγμένου αέρα (Klute and Dirksen, 1986., Copyright by SSSA)

Συσκευή πιεζόμενης κεραμικής πλάκας.

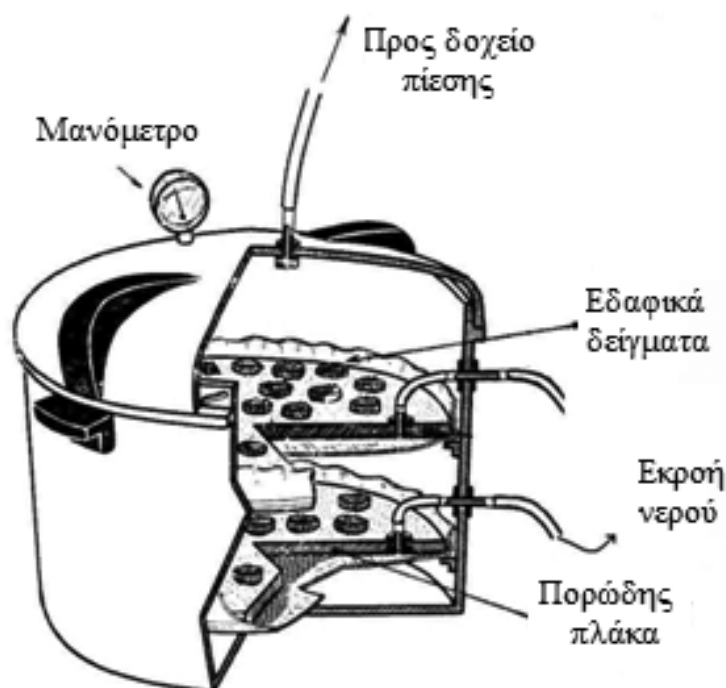
Αποτελεί το βασικό εργαστηριακό εξοπλισμό για τον προσδιορισμό της υδατοχωρητικότητας των εδαφών. Η συσκευή επιτρέπει να εφαρμοστούν συγκεκριμένες εξωτερικές πιέσεις σε αδιατάρακτα υγρά δείγματα εδά-

φους, έτσι ώστε να απομακρύνεται η ποσότητα του νερού που συγκρατείται με μικρότερες μυζητικές δυνάμεις και να παραμένει στα δείγματα, το νερό που συγκρατείται με δυνάμεις ίσες και μεγαλύτερες της εφαρμοζόμενης με τη συσκευή πίεσης. Η συνήθης εξωτερική πίεση που ασκείται στη συσκευή, για το προσδιορισμό της υδατοχωρητικότητας των εδαφών είναι 10 kPa (πλέον της ατμοσφαιρικής).

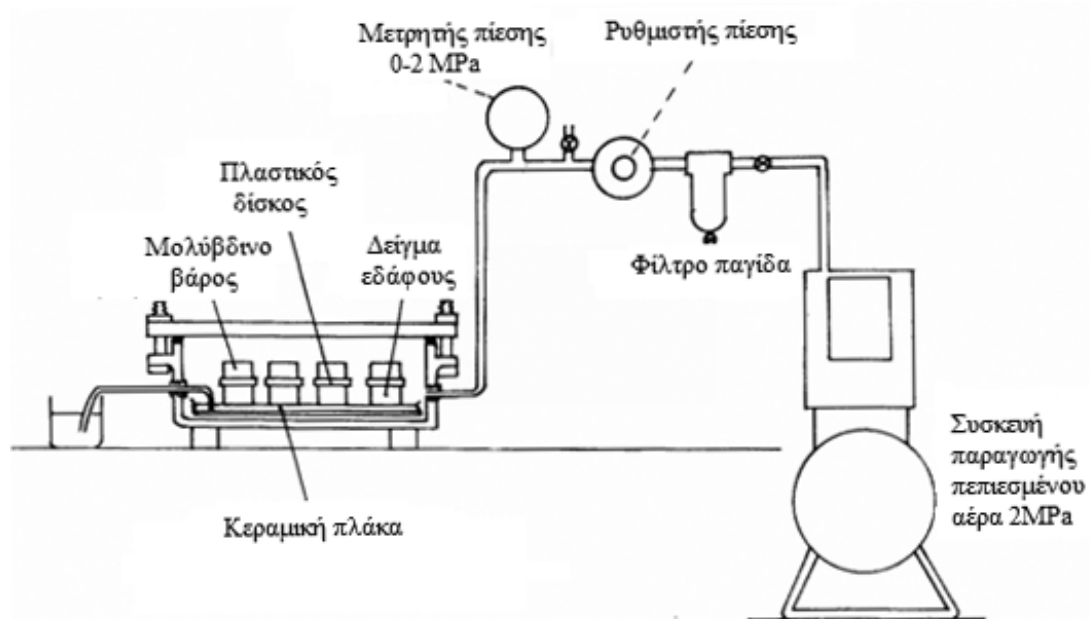
Η συσκευή της πιεζόμενης κεραμικής πλάκας ή δίσκος πίεσης (Βλέπε Σχήμα 2.7) αποτελείται από ένα μεταλλικό θάλαμο ανθεκτικό στις υψηλές πιέσεις, εφοδιασμένο στο εσωτερικό του με μια πορώδη κεραμική πλάκα, που είναι διαπερατή στο νερό και τα διαλυμένα σε αυτό συστατικά και μη περατή από τα εδαφικά τεμαχίδια και τον αέρα. Η κάτω επιφάνεια της κεραμικής πλάκας επικοινωνεί με το περιβάλλον και επομένως βρίσκεται υπό ατμοσφαιρική πίεση. Στο θάλαμο διοχετεύεται αέρας υπό ελεγχόμενη, με τη βοήθεια μανομέτρου, πίεση με αποτέλεσμα τα υγρά δείγματα του εδάφους που βρίσκονται σε αυτόν, να τελούν υπό την επίδραση διαφοράς πίεσης. Αυτή η διαφορά οδηγεί στην απομάκρυνση από τα δείγματα του εδάφους, μέσω της κεραμικής πλάκας και δια του σωλήνα εκροής, της ποσότητας του νερού που συγκρατείται από τα δείγματα με μικρότερη τιμή μύζησης. Όταν η μύζηση του εδαφικού νερού, που απομένει στα δείγματα γίνει ίση με την εφαρμοζόμενη εξωτερική πίεση, σταματά η εκροή νερού. Στο σημείο αυτό γίνεται δεκτό ότι το άθροισμα της πίεσης στο θάλαμο της συσκευής και της μύζησης του εδαφικού νερού είναι μηδέν. Οι διαστάσεις των πόρων της κεραμική πλάκας στην προαναφερόμενη συσκευή, της επιτρέπουν να παραμένει κορεσμένη με νερό, ακόμα και αν δεχτεί πιέσεις 1500 kPa.

Η συσκευή που φαίνεται στο Σχήμα 2.8 αποτελεί μια νεότερη εξέλιξη ανάλογων συσκευών, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα εύρος τιμών μύζησης από 100 έως 1500 kPa (1 – 15 bar). Τα βασικά εξαρτήματα της συσκευής, όπως φαίνονται στο Σχήμα, είναι:

- ένας θάλαμος πίεσης,
- μια κεραμική πλάκα για πιέσεις τουλάχιστον 1500 kPa, και
- μια συσκευή παραγωγής πεπιεσμένου αέρα με τον κατάλληλο ρυθμιστή για έλεγχο των πιέσεων μέσα σε ένα εύρος τιμών από 0,1 έως τα 1,5 MPa.



Σχήμα 2.7 Συσκευή πιεζόμενης κεραμικής πλάκας (παλαιότερου τύπου) (Αλεξιάδης, 1980)



Σχήμα 2.8 Συσκευή πιεζόμενης κεραμικής πλάκας (νεότερου τύπου) (Klute, 1986., Copyright by SSSA).

2.6.1.3 Δείγματα

Οι μετρήσεις που αφορούν την ποσότητα του νερού που συγκρατεί ένα έδαφος σε κάθε τιμή μύζησης, γίνονται σε αδιατάρακτα δείγματα εδάφους, αφού η δομή του παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση αυτών των δυνάμεων. Για τη δειγματοληψία των εδαφών πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες που δίδονται στην αρχή του βιβλίου και αφορούν τη διαδικασία λήψης αδιατάρακτου δείγματος εδάφους.

Οι διαστάσεις των δειγμάτων μπορεί να κυμαίνονται από 5 έως 15 cm διάμετρο και από 1 έως 5 cm ύψος και ασκούν επίδραση στο χρόνο που απαιτείται για να έρθουν σε ισορροπία τα δείγματα με την εφαρμοζόμενη εξωτερικά πίεση στη συσκευή. Επειδή ο χρόνος αυτός είναι ανάλογος του τετραγώνου του ύψους των δειγμάτων, καλό είναι να χρησιμοποιούνται δείγματα με μικρό ύψος. Βέβαια και δείγματα με ύψος 1 cm για παράδειγμα είναι δύσκολα στη μεταχείρισή τους, γιατί ένα μέσο ύψος δειγμάτων 2 – 3 cm θεωρείται ότι είναι το βέλτιστο, αφού ικανοποιεί και τις δυο προηγούμενες συνθήκες. Σε σχέση με τη διάμετρο, αυτή θα πρέπει να είναι ανάλογη των μονάδων δομής του εδάφους, γεγονός που δημιουργεί πρόβλημα στην οικονομία του χώρου στη συσκευή, σε περίπτωση που πρέπει να χρησιμοποιηθούν δείγματα με μεγάλη διάμετρο. Πρακτικά μια μέση διάμετρος 5 – 8 cm ικανοποιεί την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

2.6.1.4 Προετοιμασία των δειγμάτων

Όταν χρησιμοποιούνται αδιατάρακτα δείγματα εδάφους, θα πρέπει οπωσδήποτε η κάτω επιφάνεια του αδιατάρακτου δείγματος μέσα στο δακτύλιο, να είναι όσο γίνεται πιο επίπεδη, για να έρχεται σε καλή επαφή με την πιεζόμενη κεραμική πλάκα ή μεμβράνη.

Εναλλακτικά, ένα λεπτό στρώμα εδάφους αφαιρείται από το κάτω μέρος του δακτυλίου και προστίθεται πολτός γύψου, ο οποίος μετά την ξήρανσή του, λειαίνεται στο ύψος των χειλέων του δακτυλίου. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η καλή επαφή με την κεραμική πλάκα και αποφεύγεται ο διασκορπισμός του εδάφους, όταν ο δακτύλιος με το δείγμα αφαιρεθεί από τη συσκευή.

Υπάρχουν δυο τρόποι προετοιμασίας του δείγματος, όσον αφορά την υγρασιακή του κατάσταση, για τον προσδιορισμό της υδατοχωρητικότητας και του σημείου μόνιμης μάρανσης:

- α) πλήρως κορεσμένο με νερό δείγμα από το οποίο αφαιρείται νερό με εφαρμογή πίεσεως (χαρακτηριστική καμπύλη στραγγίσεως) και
- β) αεροξηραμένο δείγμα στο οποίο προστίθεται νερό (χαρακτηριστική καμπύλη διαβροχής).

Ο συνηθέστερος εργαστηριακός τρόπος είναι ο πρώτος, δηλαδή πλήρως κορεσμένο με νερό δείγμα από το οποίο αφαιρείται νερό με την εφαρμογή συγκεκριμένης πίεσεως και οποίος περιγράφεται στη συνέχεια.

2.6.1.5 Κορεσμός των δειγμάτων με νερό - Μέτρηση

Το υγρό που χρησιμοποιείται για τον κορεσμό των δειγμάτων, πρέπει να προσεγγίζει τις ιδιότητες και τη σύσταση του φυσικού εδαφικού διαλύματος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα διάλυμα $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, (ελεύθερου αέρα υπό την επίδραση κενού, βλέπε & 2.6.1.2) το οποίο εκλαμβάνεται ως μια προσέγγιση της σύστασης του εδαφοδιαλύματος.

Τόσο στην περίπτωση προσδιορισμού της υδατοχωρητικότητας των εδαφών, όσο και του σημείου μονίμου μάρανσης τα αδιατάρακτα δείγματα εδάφους που χρησιμοποιούνται, πρέπει να κορεσθούν με το διάλυμα κορεσμού. Η χορήγηση του διαλύματος κορεσμού γίνεται βαθμιαία και όχι ακαριαία για να αποτρέπεται η καταστροφή των συσσωματωμάτων, από την παγίδευση φυσαλίδων αέρα στο εσωτερικό τους. Η πίεση αυτών των φυσαλίδων αυξάνει, καθώς το μέτωπο νερού προχωρεί προς το εσωτερικό των συσσωματωμάτων, γεγονός που σε συνδυασμό με τη μείωση της συνοχής τους η οποία επέρχεται με τη διαβροχή, οδηγεί στην καταστροφή τους. Η καταστροφή των συσσωματωμάτων αποτρέπεται εάν ο κορεσμός του δείγματος γίνει με αργή απορρόφηση από ένα λεπτό στρώμα νερού που περιβάλλει το δείγμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ίδιο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται όταν κατά την απορρόφηση του νερού γίνεται ταυτόχρονη εφαρμογή κενού, η οποία διευκολύνει τη διαφυγή του αέρα και αποτρέπει την παγίδευσή του στο εσωτερικό των συσσωματωμάτων. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η συσκευή του Σχήματος 2.8, ο κορεσμός γίνεται στην κεραμική πλάκα της συσκευής. Στην περίπτωση της συσκευής 2.7, τα δείγματα τοποθετούνται σε ξεχωριστή πορώδη κεραμική πλάκα, προκειμένου να υποστούν τον κορεσμό και η πλάκα με τα δείγματα τοποθετείται σε ξεχωριστό θάλαμο παραγωγής κενού. Στη συνέχεια διοχετεύεται διάλυμα, από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο αέρας, στο θάλαμο μέχρι να καλύψει τα δείγματα, με ταυτόχρονη εφαρμογή κενού. Όταν τα δείγματα καλυφθούν από το διάλυμα, παύει η εφαρμογή του κενού, μεταφέρονται στη συσκευή όπου θα εξισορροπηθούν υγρασιακά, και προστίθεται στο πάνω μέρος τους ένας πλαστικός δίσκος και ένα μολύβδινο βάρος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8.

Σημείωση. Με τον τρόπο αυτό κορεσμού του δείγματος προσδιορίζεται η παλαιότερα ονομαζόμενη μέγιστη υδατοχωρητικότητα, δηλαδή, η κατάσταση στην οποία όλοι οι πόροι του εδάφους είναι πλήρεις νερού, διότι έχει εκδιωχθεί όλος ο αέρας και επομένως ο όγκος του νερού στην μέγιστη υδατοχωρητικότητα αντιστοιχεί στο ολικό πορώδες του εδάφους.

Αφαιρείται όλη η περίσσεια του διαλύματος από την πορώδη πλάκα με τη βοήθεια σύριγγας ή σιφωνίου και συνδέεται ο σωλήνας μέσω του οποίου θα ρέει το διάλυμα στο δοχείο συλλογής με την εφαρμογή κενού. Με τη βοήθεια μαλακού διηθητικού χαρτιού απομακρύνεται η περίσσεια του υγρού και στη συνέχεια τα δείγματα καλύπτονται με μερικά φύλλα από υγρό διηθητικό χαρτί. Τέλος αφού κλειστεί ο θάλαμος, εφαρμόζεται η επιθυμητή εξωτερική πίεση, στην προκειμένη περίπτωση 10 kPa και αφήνονται τα δείγματα να έρθουν σε ισορροπία για δυο με τρεις ημέρες.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης της συσκευής (Σχήμα 2.7), επειδή ο επιπλέον θάλαμος κενού μπορεί να μην είναι διαθέσιμος, ο κορεσμός των δειγμάτων με το διάλυμα κορεσμού, γίνεται στον ίδιο θάλαμο υγρασιακής εξισορρόπησης με αργή απορρόφηση από ένα στρώμα νερού η στάθμη του οποίου φτάνει λίγο κάτω από τα χείλη του άνω μέρους του δακτυλίου που περιέχει το δείγμα.

Σημείωση. Ο τρόπος αυτός κορεσμού με νερό και η κατόπιν προσδιοριζόμενη υδατοχωρητικότητα, προσεγγίζει πιστότερα τις συνθήκες αγρού και ονομάζεται φυσικός κορεσμός. Στην περίπτωση αυτή ο όγκος του νερού στην υδατοχωρητικότητα είναι κατά τι μικρότερος του ολικού πορώδους του εδάφους, λόγω της μικρής ποσότητας αέρος που παραμένει παγιδευμένος στους πόρους.

2.6.1.6 Υπολογισμοί

Με τη βοήθεια σφικτήρα απομονώνεται ο σωλήνας, μέσω του οποίου μεταφέρεται το διάλυμα κορεσμού στο δοχείο συλλογής, για να αποτραπεί η εισροή του διαλύματος στο εσωτερικό του θαλάμου και στη συνέχεια παύει η εφαρμογή της εξωτερικής πίεσης. Τα δείγματα με τους φέροντες δακτυλίου μεταφέρονται σε υγρά μεταλλικά κουτιά και ζυγίζονται ως υγρό μικτό βάρος, B_v . Στη συνέχεια μεταφέρονται σε πυριατήριο και ξηραίνονται στους 105°C και στη συνέχεια αφού αποκτήσουν τη θερμοκρασία του δωματίου, ζυγίζονται εκ νέου ως ξηρό μικτό βάρος, B_x .

Το κατ'όγκο ποσοστό νερού, Θ , και η φαινομενική πυκνότητα κάθε δείγματος, ρ , υπολογίζονται από τις σχέσεις.

$$\Theta = \frac{B_{\xi} - B_{\delta}}{dV_s} 100$$

$$\rho = \frac{B_{\xi} - B_{\delta}}{V_s}$$

Όπου:

V_s = ο όγκος του δακτυλίου δειγματοληψίας

d = η πυκνότητα του νερού

B_{δ} = βάρος του δακτυλίου δειγματοληψίας

B_v = μικτό βάρος με το υγρό έδαφος

B_{ξ} = μικτό βάρος με το ξηρό έδαφος

2.7 ΣΗΜΕΙΟ ΜΟΝΙΜΗΣ ΜΑΡΑΝΣΗΣ

2.7.1 Εισαγωγή

Ως σημείο μόνιμης μάρανσης σε συνθήκες αγρού, χαρακτηρίζεται η υγρασιακή κατάσταση του εδάφους στην οποία τα φυτά πέφτουν στην κατάσταση του μόνιμου μαρασμού, ο οποίος οδηγεί στη νέκρωσή τους, δηλαδή δεν ανακτούν τη σπαργή τους, ακόμα και αν βρεθούν σε ατμόσφαιρα κορεσμένη με υδρατμούς. Η ποσότητα του νερού που συγκρατείται από τα εδάφη στην κατάσταση του σημείου της μόνιμης μάρανσης, διαφέρει από έδαφος σε έδαφος και σε γενικές γραμμές εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες που επηρεάζουν και την υδατοχωρητικότητα των εδαφών. Η ποσότητα αυτή κυμαίνεται από 2% για τα αμμώδη, μέχρι 30% για τα αργιλώδη.

Εργαστηριακά, η δύναμη (μύζηση) με την οποία συγκρατείται το νερό στο σημείο της μόνιμης μάρανσης, από τη στερεή φάση του εδάφους, συμβατικά ορίζεται ίση με 15 Atm ή 1500 kPa.

Η γνώση της υγρασιακής κατάστασης των εδαφών στο σημείο μόνιμης μάρανσης, είναι σημαντική, γιατί σε συνδυασμό με το νερό που αντιστοιχεί στην υδατοχωρητικότητα των εδαφών, θα καθορίσει, όπως αναφέρθηκε, τη διαθέσιμη ποσότητα νερού για τα φυτά, αλλά επιπλέον και το χρόνο που θα πρέπει να προσφερθεί νερό στα φυτά με άρδευση.

2.7.1.1 Υλικά και όργανα

- Αδιατάρακτα δείγματα εδάφους, ή ελλείπει τούτων, δείγματα με ορισμένη φαινομενική πυκνότητα.
- Συσσκευή κεραμικής πλάκας
- Σύστημα συμπίεσης για την απόκτηση δειγμάτων με επιθυμητή φαινομενική πυκνότητα.
- Μια σπάτουλα με ευρύ έλασμα για την αποκόλληση των δειγμάτων στο τέλος των μετρήσεων από την κεραμική πλάκα.

2.7.1.2 Αντιδραστήρια

Ίδια όπως και για την υδατοχωρητικότητα

2.7.1.3 Χρήση διαταραγμένων δειγμάτων εδάφους

Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατό, για διάφορους λόγους, να μην είναι διαθέσιμα για ανάλυση αδιατάρακτα δείγματα εδάφους. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθούν και διαταραγμένα δείγματα εδάφους, των οποίων όμως απαραίτητα θα πρέπει να είναι γνωστή η φαινομενική πυκνότητα. Η εφαρμογή αυτή έχει τις μικρότερες επιπτώσεις στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων, σε εδάφη ελαφρά όπως είναι τα αμμώδη, τα οποία ως γνωστό δεν έχουν καλά αναπτυγμένη τη δομή τους.

Η διαδικασία που εφαρμόζεται για να αποκτήσει ένα δείγμα εδάφους μια ορισμένη φαινομενική πυκνότητα, είναι η ακόλουθη:

Τοποθετείται μια ποσότητα εδάφους, ικανή για τις επαναλήψεις των μετρήσεων, μέσα σε μια πλαστική σακούλα, και προστίθεται μια μικρή ποσότητα νερού για να αυξηθεί η συνοχή του. Η ποσότητα του προστιθέ-

μενου νερού είναι περίπου 5% για αμμώδη εδάφη και 8 - 10% για αργιλώδη. Η πλαστική σακούλα κλείνεται, για να ελαχιστοποιηθεί η εξάτμιση του νερού και αναδεύεται τρεις έως πέντε φορές μέσα σε ένα διάστημα, δυο έως τριών ημερών, προκειμένου να διαχυθεί το νερό σε όλη τη μάζα του εδάφους.

Μετά την παρέλευση των 2 – 3 ημερών προσδιορίζεται η υγρασία του δείγματος κατά βάρος.

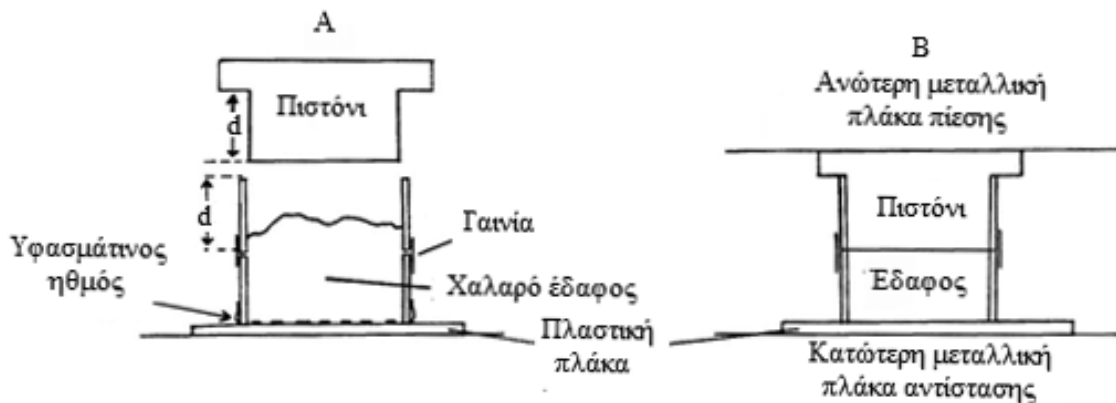
Από τον όγκο του κυλίνδρου δειγματοληψίας, V , την επιθυμητή φαινομενική πυκνότητα, ρ_e , και την υπολογισθείσα υγρασία του δείγματος κατά βάρος, Y_β , μπορεί να υπολογιστεί το βάρος του υγρού εδάφους, M , που απαιτείται για να αποκτήσει το δείγμα την επιθυμητή φαινομενική πυκνότητα, μέσα στο δακτύλιο, με τη βοήθεια του τύπου.

$$M = \rho_e (1 + Y_\beta) V$$

Στη συνέχεια, τοποθετείται στην κάτω επιφάνεια του κυλίνδρου δειγματοληψίας, ένας υφασμάτινος ηθμός ο οποίος συγκρατείται στον κύλινδρο με τη βοήθεια ενός ελαστικού ιμάντα. Στο πάνω μέρος του κυλίνδρου δειγματοληψίας τοποθετείται και συγκρατείται με συγκολλητική ταινία, ο δακτύλιος του εμβόλου συμπίεσης (πιστόνι). Τέλος, ο κύλινδρος τοποθετείται πάνω σε μια πλαστική βάση.

Ζυγίζεται η ποσότητα του δείγματος του εδάφους που εξασφαλίζει την επιθυμητή φαινομενική πυκνότητα και τοποθετείται μέσα στον κύλινδρο. Εισάγεται το έμβολο συμπίεσης μέσα στον κύλινδρο και συμπιέζεται το δείγμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9.

Στο τέλος της διαδικασίας το δείγμα έχει αποκτήσει την επιθυμητή φαινομενική πυκνότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις μετρήσεις.



Σχήμα 2.9 Διάταξη προετοιμασίας του δείγματος του εδάφους για ορισμένη φαινομενική πυκνότητα (Klute, 1986., Copyright by SSSA).

2.7.1.4 Κορεσμός των δειγμάτων με νερό – Μέτρηση

Ίδια διαδικασία όπως και στην υδατοχωρητικότητα, με τη διαφορά ότι η έξωθεν ασκούμενη πίεση φτάνει τα 1500 kPa.

2.7.1.5 Υπολογισμοί

Ίδια όπως και στην υδατοχωρητικότητα

Βιβλιογραφία

- Αλεξιάδης, Κ. Α. 1980.** Φυσική και χημική ανάλυση του εδάφους. Θεσσαλονίκη.
- Blake, R.G., and K.H. Hartge 1986.** Bulk density p. 363-375 In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Blake, R.G., and K.H. Hartge 1986.** Particle density p. 377-382. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Cassel, K. D., and A. Klute 1986.** Water Potential: Tensiometry p. 563 – 596. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Klute, A. 1986.** Water retention: Laboratory methods. p. 636 – 662. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Klute, A., and C. Dirksen 1986.** Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory Methods p. 687-734. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. SSSA book series: 5, Madison, WI.
- Παναγιωτόπουλος, Π. Κ. 2009.** Εδαφοφυσική. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη. Ελλάς Ε.Ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της εντατικοποίησης των καλλιεργειών για μεγιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής, η χρήση του νερού παίζει σημαντικό ρόλο. Εξαιτίας της σπουδαιότητας αυτής του νερού, η χρήση του συνεχώς αυξάνεται και οι εφαρμοζόμενες δόσεις του, πολλές φορές, ειδικότερα σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες υπερβαίνουν τις κανονικές.

Ενώ όμως, είναι γενικά αποδεκτό ότι η χρήση του νερού είναι αναγκαία για την αύξηση της γεωργικής παραγωγής, δεν είναι πάντα και ικανή συνθήκη για κάτι τέτοιο. Ο λόγος είναι ότι εξαιτίας της ποικιλομορφίας της προέλευσής του, (ποτάμια, λίμνες, πηγάδια, γεωτρήσεις), το νερό άρδευσης εμφανίζει αισθητές διαφορές ως προς την ποιότητά του, με δυσμενείς επιπτώσεις, πολλές φορές, στα εδάφη και στις καλλιέργειες. Γι' αυτό το λόγο επιβάλλεται ο περιοδικός ποιοτικός έλεγχός του, για τη σωστή διαχείρισή του. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του νερού άρδευσης που παίζουν το σημαντικότερο ρόλο στο χαρακτηρισμό της ποιότητάς του είναι:

1. Η συνολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων. Εκτιμάται με τη μέτρηση της **ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητάς** του (EC, Electrical Conductivity).
2. Η σχετική αναλογία της συγκέντρωσης του νατρίου και των άλλων κατιόντων, κυρίως του ασβεστίου και του μαγνησίου. Η αναλογία αυτή εκτιμάται με τον υπολογισμό του **λόγου προσρόφησης νατρίου** (SAR, Sodium Adsorption Ratio).
3. Η σχέση των συγκεντρώσεων των HCO_3^- και CO_3^{2-} ιόντων, προς το άθροισμα των συγκεντρώσεων του Ca^{2+} και Mg^{2+} . Η σχέση αυτή εκτιμάται με υπολογισμό του **υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου** (RSC, Residual Sodium Carbonate).
4. Η **συγκέντρωση του βορίου** και άλλων στοιχείων τα οποία είναι δυνατό να προκαλέσουν τοξικά φαινόμενα στα φυτά.

Οι αναλύσεις στις οποίες υποβάλλεται ένα δείγμα νερού άρδευσης και οι οποίες στοχεύουν στην εκτίμηση των παραπάνω χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, αναφέρονται στον προσδιορισμό της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας, και των συγκεντρώσεων των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- και B.

3.2 Δειγματοληψία νερού

Όπως και στην περίπτωση του εδάφους, έτσι και για το νερό άρδευσης, η δειγματοληψία και επομένως η αντιπροσωπευτικότητα του λαμβανόμενου δείγματος, παίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η μεταχείριση του δείγματος, μετά τη δειγματοληψία.

Για μια πλήρη ανάλυση είναι αρκετή μια ποσότητα νερού περίπου 1,5 L. Οι φιάλες που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά και φύλαξη του νερού πρέπει να είναι από αδρανές υλικό (συνήθως πλαστικές) και να κλείνουν αεροστεγώς. Πριν τη χρησιμοποίησή τους, πρέπει να εκπλύνονται τουλάχιστον δυο φορές με το νερό που πρόκειται να αναλυθεί. Στη συνέχεια, γεμίζονται τελείως και πωματίζονται με προσοχή, ώστε να μην εγκλωβιστεί καθόλου αέρας, μέσα σε αυτές.

Για να αποτραπούν αλλοιώσεις, χημικής αλλά κυρίως μικροβιακής φύσης, τα δείγματα συνιστάται να αναλύονται αμέσως. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατόν, διατηρούνται σε ψυγείο στους 4° C για λίγες ημέρες. Η σύσταση του νερού διαφέρει από εποχή σε εποχή και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην αξιολόγηση του αποτελέσματος.

Η δειγματοληψία του νερού άρδευσης ανάλογα με την προέλευσή του γίνεται ως εξής:

Νερό γεωτρήσεων

Αφήνεται να αντληθεί νερό για αρκετή ώρα και στη συνέχεια λαμβάνεται ένα ή περισσότερα δείγματα κατά κανονικά διαστήματα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η σύσταση του νερού άντλησης επηρεάζεται από την εποχή που γίνεται η δειγματοληψία και την περιοχή. Στα νερά γεωτρήσεων που βρίσκονται κοντά σε θάλασσα, ειδικότερα κατά τους

θερινούς μήνες είναι δυνατόν να εμφανισθούν υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων. Το φαινόμενο αυτό, έχει παροδικό χαρακτήρα και οφείλεται στην εξάντληση των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα λόγω υπεράντλησης νερού, οπότε μετατοπίζεται η υφάλμυρη ζώνη, η οποία επηρεάζει τη σύσταση του νερού.

Νερό λίμνης

Η δειγματοληψία γίνεται από διάφορες θέσεις και βάθη της λίμνης. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση νερού λίμνης, επηρεάζονται από τη θέση και το βάθος δειγματοληψίας, από τις βροχοπτώσεις που προηγήθηκαν της δειγματοληψίας και τη συνεπαγόμενη απορροή των γύρω περιοχών, και τέλος, από τους ανέμους.

Νερό ποταμού

Συνήθως λαμβάνεται δείγμα, από μια μέση απόσταση από τις όχθες και από ένα μέσο βάθος του ποταμού. Η ποιότητα του νερού ποταμού, εξαρτάται από την εποχή που γίνεται η δειγματοληψία, από τη ροή του ποταμού, από το βάθος δειγματοληψίας και τέλος, από την απόσταση των σημείων δειγματοληψίας από τις όχθες.

3.3 Ειδική Ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης

Ένας απλός και σχετικά ακριβής τρόπος για την εκτίμηση της περιεκτικότητας του νερού άρδευσης σε άλατα, είναι η μέτρηση της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας (EC). Ο ίδιος δείκτης χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο της περιεκτικότητας των εδαφών σε υδατοδιαλυτά άλατα, όπου ως όριο μεταξύ κανονικών και αλατούχων εδαφών έχει ορισθεί η τιμή των 4 dS/m (παλαιότερη μονάδα 4 mmho/cm) στο εκχύλισμα κορεσμού.

Η αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού συσχετιζόμενη με εκείνη του νερού άρδευσης, είναι 2 έως και 10 φορές μεγαλύτερη, ακόμα και αν το έδαφος δεν δέχεται άλατα από οποιαδήποτε άλλη πηγή. Αυτό οφείλεται στην κατά κάποιο τρόπο «συμπύκνωση» του αρδευτικού νερού, εξαιτίας της εξάτμισής του από το έδαφος και της διαπνοής μιας ποσότητάς του από τα φυτά.

Η χρησιμοποίηση επομένως νερού άρδευσης με μέση ή μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα, κάτω από συνθήκες που ευνοούν την εξατμισοδιαπνοή, οδηγεί στη δημιουργία αλατούχων εδαφών, ακόμα και αν η στράγγιση του εδάφους είναι ικανοποιητική. Η μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης γίνεται, όπως και στο εκχύλισμα κορεσμού (βλ. Κεφ. για την Εναλάτωση του εδάφους). Με βάση την τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ανάλογα με τον κίνδυνο αλατώσεως των εδαφών, τα νερά άρδευσης κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες.

- **Κατηγορία 1.** $EC < 250 \mu S/cm$ (σύνολο αλάτων $< 160 mg/L$, παλαιότερα ppm) κίνδυνος αλατώσεως μικρός.
- **Κατηγορία 2.** $250 < EC < 750 \mu S/cm$ (σύνολο αλάτων $160-480 mg/L$) κίνδυνος αλατώσεως μέσος.
- **Κατηγορία 3.** $750 < EC < 2.250 \mu S/cm$ (σύνολο αλάτων $480-1.440 mg/L$) κίνδυνος αλατώσεως μεγάλος.
- **Κατηγορία 4.** $EC > 2.250 \mu S/cm$ (σύνολο αλάτων $> 1.440 mg/L$) κίνδυνος αλατώσεως μέγιστος.

Σημείωση: Η παραδοσιακή μονάδα μέτρησης της EC ήταν το mho/cm και τα υποπολλαπλάσιά του, mmho/cm και μmho/cm. Σήμερα η αποδεκτή μονάδα είναι το Siemens και τα υποπολλαπλάσιά του, η δε ισοδυναμία των δυο μονάδων είναι: $dS/m = mS/cm = mmho/cm$.

Η παραδοσιακή μονάδα μικρών συγκεντρώσεων ήταν το ppm (parts per million, μέρη στο εκατομμύριο). Σήμερα αποδεκτή και ισοδύναμη μονάδα είναι το mg/L προκειμένου περί υγρού διαλύτου (νερό) ή mg/kg προκειμένου περί στερεού.

Η συνολική συγκέντρωση αλάτων του νερού άρδευσης σε mg/L, υπολογίζεται από την EC_{25C} εκφρασμένη σε $\mu S/cm$ αν πολλαπλασιαστεί επί τον συντελεστή 0,64.

Ο κίνδυνος αλατώσεως ενός εδάφους, όπως αναφέρθηκε, δεν εξαρτάται μόνο από την τιμή της EC του νερού άρδευσης, αλλά και από την εξατμισοδιαπνοή και τις συνθήκες στράγγισης του εδάφους. Στον Πίνακα 3.1, φαίνεται το ποσοστό από το εφαρμοζόμενο νερό άρδευσης, που πρέπει να στραγγίζει στο έδαφος για να παραμένει η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος κορεσμού του εδάφους, (EC_{ex}) στο ίδιο επίπεδο που υπήρχε αρχικά.

| EC $\mu\text{S/cm}$ | Τιμή EC _{ex} και ποσοστό % του νερού που πρέπει να στραγγίζει | | | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------|---------|----------|----------|
| | 4 mS/cm | 8 mS/cm | 12 mS/cm | 16 mS/cm |
| | % | % | % | % |
| 100 | 2,5 | 1,2 | 0,8 | 0,6 |
| 250 | 6,2 | 3,1 | 2,1 | 1,6 |
| 750 | 18,8 | 9,4 | 6,2 | 4,7 |
| 2.250 | 56,2 | 28,1 | 18,8 | 1 |
| 5.000 | | 62,5 | 41,7 | |

Πίνακας 3.1 Ποσοστό % από το εφαρμοζόμενο νερό άρδευσης που πρέπει να στραγγίζει, ανάλογα με την τιμή της ειδικής ηλεκτρικής του αγωγιμότητας

3.4 Λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR, Sodium Adsorption Ratio)

Για την εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών, χρησιμοποιείται ευρύτατα, ο λόγος προσρόφησης του νατρίου (SAR). Για τον υπολογισμό του SAR, είναι απαραίτητη η γνώση των συγκεντρώσεων των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} και Na^+ . Το Na^+ προσδιορίζεται είτε με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ), είτε φλογοφωτομετρικά (ΦΦ). Τα κατιόντα ασβέστιο, μαγνήσιο προσδιορίζονται, είτε με τη βοήθεια (ΦΑΑ), (βλ. Κεφ. για τη Νατρίωση του εδάφους), είτε ογκομετρικά σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στη συνέχεια.

Σημείωση: Σε όλους τους προσδιορισμούς που ακολουθούν, η συγκέντρωση των αντιδραστηρίων εκφράζεται με την παλιά μονάδα της κανονικότητας (N) η οποία δεν είναι αποδεκτή από το Διεθνές Σύστημα Μονάδων, αλλά χρησιμοποιείται παραδοσιακά και άτυπα.

3.4.1 Ογκομετρικός προσδιορισμός της συνολικής συγκέντρωσης Ca^{2+} και Mg^{2+} στο νερό άρδευσης

3.4.1.1 Θεωρητικές αρχές

Ο προσδιορισμός του αθροίσματος $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ στο νερό άρδευσης, στηρίζεται στην συμπλοκομετρική ογκομέτρησή τους, με πρότυπο διάλυμα EDTA παρουσία δείκτη EBT, σε περιβάλλον με $\text{pH} = 10,2$. Κατά την ογκομέτρηση, αρχικά συμπλοκοποιείται με το EDTA το ασβέστιο και στη συνέχεια το μαγνήσιο. Το τελικό σημείο της ογκομέτρησης, καθορίζεται από την αλλαγή του ερυθροϊώδους χρώματος του διαλύματος (χρώμα του σύμπλοκου Mg-EBT) σε μπλε (χρώμα του ελεύθερου δείκτη EBT σε $\text{pH} = 10,2$). Λεπτομέρειες για την ακριβή διαδικασία συμπλοκοποίησης, βλέπε Εργαστηριακές ασκήσεις Εδαφολογίας (Σινάνης, 2015).

3.4.1.2 Υλικά και όργανα

- Σιφόνια των 10 mL
- Κωνικές φιάλες των 150 mL
- Προχοΐδα των 25 mL
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Ογκομετρικός κύλινδρος

3.4.1.3 Αντιδραστήρια

1. **Διάλυμα EDTA 0,01 N** (versenate MB = 372,25 g). Παρασκευάζεται με διάλυση 2 g του μετά νατρίου άλατος του αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικού οξέος (EDTA) και 0,039 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ανά λίτρο διαλύματος. Επειδή απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στην κανονικότητα του διαλύματος EDTA, χρησιμοποιείται πρότυπο διάλυμα. Αν δεν υπάρχει, το διάλυμα του EDTA παρασκευάζεται σύμφωνα με τις παραπάνω οδηγίες και τιτλοδοτείται με τη βοήθεια προτύπου διαλύματα CaCl_2 0,01 N. Η τιτλοδότηση αυτή επαναλαμβάνεται περιοδικά και επιφέρεται η αναγκαία διόρθωση του τίτλου του

EDTA, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Το διάλυμα αναφοράς 0,01N CaCl₂ είναι δυνατό να παρασκευαστεί με διάλυση 0,5 g αεροξηραθέντος CaCO₃ και 10 mL διαλύματος HCl περίπου 3 N (30 mL πυκνού HCl αραιώνονται με νερό σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL).

Από το διάλυμα αναφοράς λαμβάνονται με ακρίβεια 10 mL σε κωνική φιάλη των 150 mL.

Προστίθενται 15 mL αποσταγμένο νερό, 10 σταγόνες του παρακάτω ρυθμιστικού διαλύματος και 5 σταγόνες δείκτη EBT. Ακολουθεί η ογκομέτρηση με το τιτλοδοτούμενο διάλυμα EDTA. Η ακριβής κανονικότητα του EDTA υπολογίζεται από το πηλίκο της αναμενόμενης κατανάλωσης προς την πειραματική. Π.χ. για τα 10 mL του διαλύματος αναφοράς, αναμένεται να καταναλωθούν 10 mL διαλύματος EDTA. Αν καταναλωθούν 9,8 mL EDTA τότε η ακριβής κανονικότητα είναι, N EDTA = 10/9,8 = 1,02.

2. **Ρυθμιστικό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου - υδροξειδίου του αμμωνίου, με pH = 10,2.** Παρασκευάζεται με διάλυση 6,75 g NH₄Cl και 57 mL πυκνής αμμωνίας σε νερό, μέχρι τελικό όγκο 100 mL.
3. **Δείκτης EBT.** Παρασκευάζεται με διάλυση 0,2 g Eriochrome Black-T, σε 50 mL αιθυλικής αλκοόλης. Το διάλυμα του δείκτη πρέπει να ανανεώνεται κάθε δύο μήνες.

3.4.1.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Με σιφώνιο σταθερού όγκου μεταφέρονται 10-20 mL, του υπό ανάλυση νερού σε κωνική φιάλη των 150 mL, προστίθενται 15 mL αποσταγμένου νερού, 10 mL ρυθμιστικού διαλύματος με pH = 10,2 και 5 σταγόνες διαλύματος δείκτη EBT.

Το διάλυμα εφόσον περιέχει ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου χρωματίζεται ερυθροϊώδες. Στη συνέχεια ακολουθεί ογκομέτρηση του διαλύματος με το διάλυμα EDTA, προσθέτοντας τον τιτλοδότη σε μικρές δόσεις και προς το τέλος της ογκομέτρησης, στάγδην, με ταυτόχρονη ανάδευση. Το τέλος της ογκομέτρησης, γίνεται αντιληπτό με την αλλαγή του χρώματος από ερυθροϊώδες σε μπλε.

Σημείωση: Μια από τις παραδοσιακές μονάδες εκφράσεως της συγκέντρωσης ενώσεων ή ιόντων, ήταν το γραμμοισοδύναμο (eq) ή το υπο-πολλαπλάσιό του χιλιοστο-ισοδύναμο (meq). Σήμερα ισοδύναμη μονάδα είναι το γραμμομόριο θετικού ή αρνητικού φορτίου (συμβολιζόμενο ως mol₍₊₎ και mol₍₋₎ ή mol_c και mol_a αντίστοιχα) ή το υπο-πολλαπλάσιό του mmol₍₊₎ και mmol₍₋₎ ή mmol_c και mmol_a αντίστοιχα. Είναι δε 1 mmol_c = 1 meq.

3.4.1.5 Υπολογισμοί

Η συνολική συγκέντρωση ασβεστίου και μαγνησίου σε mmol_c/L υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ σε mmol}_c/\text{L} = V_{\text{EDTA}} \times N_{\text{EDTA}} \times \frac{1000}{V_{\text{δείγματος}}}$$

όπου:

V_{EDTA} = Ο όγκος σε mL του διαλύματος EDTA που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση

N_{EDTA} = Η κανονικότητα του EDTA

$V_{\text{δείγματος}}$ = Ο όγκος του νερού που χρησιμοποιήθηκε για ανάλυση.

3.4.2 Προσδιορισμός του Na⁺

Στο Κεφάλαιο για τη Νατρίωση του εδάφους, αναπτύσσεται ο προσδιορισμός του νατρίου με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης. Στη συνέχεια αναλύεται ο προσδιορισμός του με τη βοήθεια φλογοφωτομέτρου.

3.4.2.1 Υλικά και όργανα

- Ογκομετρικές φιάλες των 100 mL και 1L.
- Σιφόνια των 10, 25, 50 mL.
- Πλαστικές φιάλες για τη φύλαξη των προτύπων διαλυμάτων
- Φλογοφωτόμετρο

3.4.2.2 Αντιδραστήρια

1. **Διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης σε νάτριο (1000 mg/L).** Παρασκευάζεται με διάλυση 2,5422 g NaCl ανά λίτρο διαλύματος.
2. **Διάλυμα 100 mg/L Na⁺.** Παρασκευάζεται αν από το διάλυμα των 1000 mg/L, ληφθούν 100 mL και αραιωθούν μέχρις 1000 mL με αποσταγμένο νερό.
3. **3) Διαλύματα 10-25-50-75 mg/L Na⁺.** Παρασκευάζονται αν από το διάλυμα των 100 mg/L ληφθούν 10-25-50-75 mL αντίστοιχα και αραιωθούν μέχρις 100 mL με αποσταγμένο νερό.

Όλα τα παραπάνω διαλύματα φυλάσσονται στο ψυγείο σε φιάλες από πολυαιθυλένιο, οι οποίες κλείνουν αεροστεγώς.

3.4.2.3 Διαδικασία προσδιορισμού

Τίθεται σε λειτουργία το φλογοφωτόμετρο. Επιλέγεται το μήκος κύματος εκπομπής του νατρίου (είτε με την εισαγωγή φίλτρου Νατρίου ή με τον μονοχρωμάτορα ανάλογα με τον τύπο του οργάνου) και αφού ρυθμισθεί το φλογοφωτόμετρο, λαμβάνεται η ένδειξη για κάθε ένα διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης σε νάτριο και χαράσσεται η καμπύλη βαθμονόμησης του οργάνου.

Στη συνέχεια, τοποθετείται στον υποδοχέα του οργάνου το αναλυόμενο δείγμα νερού ή μια αραιώσή του και λαμβάνεται η ένδειξη. Με τη βοήθεια της καμπύλης βαθμονόμησης του οργάνου υπολογίζεται η συγκέντρωση του νερού σε νάτριο, στην οποία αντιστοιχεί η ένδειξη.

3.4.2.4 Υπολογισμοί

Η συγκέντρωση του νατρίου σε mmol/L υπολογίζεται από τη σχέση

$$\text{Na}^+ \text{ σε mmol/L} = C \times n/23$$

όπου:

C = Η συγκέντρωση του νατρίου σε mg/L που μετρήθηκε στο φλογοφωτόμετρο

n = Ο αριθμός που εκφράζει την αραιώση του δείγματος (εφόσον γίνει)

23 = Το ατομικό βάρος του νατρίου

3.4.3 Εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών

Ο κίνδυνος νατρίωσης των εδαφών, από τη χρήση νερού άρδευσης, εξαρτάται από τις σχετικές συγκεντρώσεις των κατιόντων, όπως προσδιορίστηκαν προηγούμενα. Αν η αναλογία της συγκέντρωσης του νατρίου σε σχέση με τη συνολική συγκέντρωση του ασβεστίου και μαγνησίου είναι υψηλή, ο κίνδυνος νατρίωσης είναι μεγάλος, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν η συνολική συγκέντρωση του ασβεστίου και μαγνησίου υπερέχει ποσοτικά της συγκέντρωσης του νατρίου. Για την εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης των εδαφών χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\left(\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}\right)^{1/2}}$$

όπου: SAR = Sodium Adsorption Ratio (Λόγος προσρόφησης νατρίου)

Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων εκφράζονται σε mmol/L.

Η εκτίμηση της τιμής του SAR μπορεί να γίνει, είτε υπολογιστικά με βάση την προηγούμενη σχέση, είτε και με τη βοήθεια του νομογραφήματος που φαίνεται στο Σχήμα 3.1.

Από το νομογράφημα αυτό, μπορεί ακόμα να εκτιμηθεί και η τιμή του ESP (Exchangeable Sodium Percentage, ποσοστό προσροφημένου νατρίου) που θα προκύψει σε ένα έδαφος, όταν αυτό έλθει σε ισορροπία με το εφαρμοζόμενο νερό άρδευσης. Ο SAR και το ESP συνδέονται και με την παρακάτω σχέση:

$$\text{ESP} = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ SAR})}$$

Ανάλογα με την τιμή SAR και την τιμή της ειδικής ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας τα νερά άρδευσης, διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες.

Οι κατηγορίες αυτές για $EC = 100 \mu S/cm$ είναι:

- **Κατηγορία 1.** $SAR < 10$, κίνδυνος νατρίωσης μικρός.
- **Κατηγορία 2.** $10 < SAR < 18$, κίνδυνος νατρίωσης μέσος.
- **Κατηγορία 3.** $18 < SAR < 26$, κίνδυνος νατρίωσης μεγάλος.
- **Κατηγορία 4.** $SAR > 26$, κίνδυνος νατρίωσης πολύ μεγάλος.

Ένα γενικό όριο χαρακτηρισμού των νερών άρδευσης ως επικίνδυνων για νατρίωση των εδαφών, θεωρείται η τιμή $SAR = 10-15$.

Οι τιμές SAR και EC εμφανίζουν μια αλληλεξάρτηση έτσι ώστε τα όρια επικινδυνότητας του SAR, μειώνονται δραστικά όσο η EC αυξάνει. Π.χ. για τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας $2250 \mu S/cm$, η τιμή SAR της κατηγορίας 1 γίνεται < 4 .

3.5 Υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC, Residual Sodium Carbonate)

Η σημασία της παρουσίας HCO_3^- ιόντων στο νερό άρδευσης είναι πολύ μεγάλη, εξαιτίας της τάσεώς τους να αντιδρούν με τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου και να τα καταβυθίζουν με δημιουργία δυσδιάλυτων ενώσεων. Οι αντιδράσεις αυτές, λαμβάνουν χώρα μετά την εφαρμογή του νερού στο έδαφος και έχουν ως συνέπεια την αύξηση της αναλογίας του νατρίου στο εδαφικό διάλυμα, γεγονός που συνεπάγεται και την αύξηση του κινδύνου νατρίωσης του εδάφους. Την ίδια δράση έχουν και τα CO_3^{2-} ιόντα, όμως ο βαθμός συμμετοχής τους είναι περιορισμένος επειδή απαντώνται συνήθως σε αμελητέες ποσότητες στο νερό, εξαιτίας της υδρόλυσής τους.

Για την επίδραση των όξινων ανθρακικών και των ανθρακικών ιόντων στη σχέση νατρίου προς το άθροισμα ασβεστίου, μαγνησίου (SAR) έχει διατυπωθεί μια εμπειρική προσέγγιση, για να προβλέπει τον κίνδυνο νατρίου σε συνδυασμό με την καταβύθιση $CaCO_3$, που στηρίζεται στον υπολογισμό του «υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου» βάση της εξίσωσης:

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

όπου:

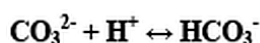
RSC (Residual Sodium Carbonate) υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο και οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε $mmol_{(±)}/L$. Η προσέγγιση όμως αυτή μειονεκτεί ως προς το θεωρητικό υπόβαθρο γιατί προβλέπει πλήρη καταβύθιση μιας ποσότητας ασβεστίου ισοδύναμης με ποσότητα HCO_3^- (κυρίως). Από παλαιότερα όμως έχει δειχθεί ότι αυτή δεν είναι μια ρεαλιστική υπόθεση στις περισσότερες περιπτώσεις (Bower et al. 1968). Η ποσότητα HCO_3^- και Ca ενός νερού που θα καταβυθιστεί ως $CaCO_3$ εξαρτάται από την ποσότητα νερού που διέρχεται από το ριζόστρωμα και από το pH του νερού. Η τιμή του RSC αν και συχνά αναφέρεται στις αναλύσεις αρδευτικών νερών, η χρήση της δεν δικαιολογείται θεωρητικά.

Για την εκτίμηση του υπολειμματικού ανθρακικού νατρίου, περιγράφεται στη συνέχεια ο ογκομετρικός προσδιορισμός των όξινων ανθρακικών και ανθρακικών ιόντων, για τα $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ισχύουν ό,τι στην 3.4.1.

3.5.1 Προσδιορισμός των CO_3^{2-}

3.5.1.1 Θεωρητικές αρχές

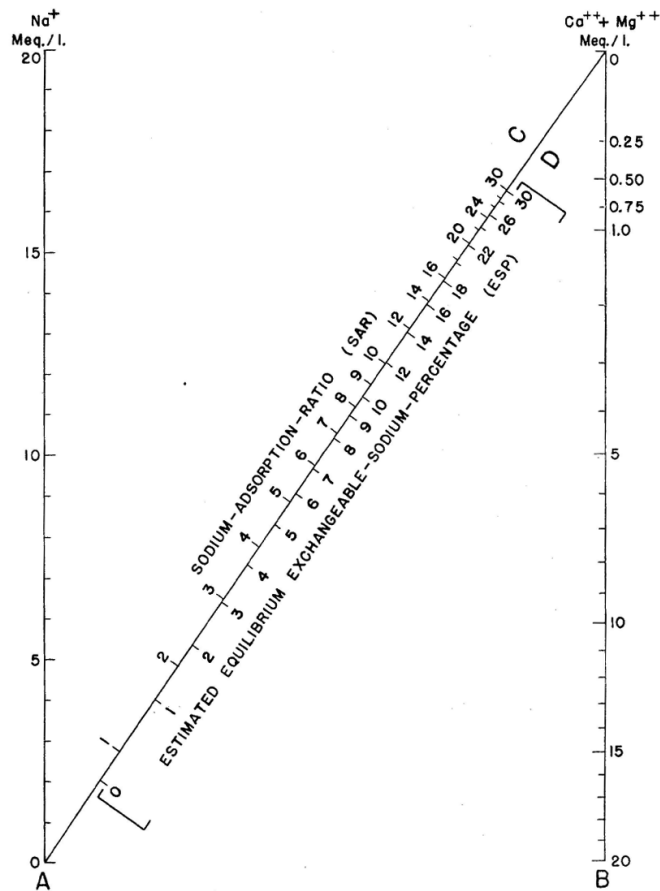
Ο ογκομετρικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης των CO_3^{2-} ιόντων στο νερό άρδευσης, στηρίζεται στον προσδιορισμό της ποσότητας πρότυπου διαλύματος HCl, που απαιτείται για την πρωτονίωση των CO_3^{2-} σε HCO_3^- σύμφωνα με την αντίδραση:



3.5.1.2 Υλικά και όργανα

- Προχοΐδα των 25 mL
- Κωνική φιάλη των 200 mL

- Σιφώνιο των 50 mL
- Μαγνητικός αναδευτήρας



Σχήμα 3.1 Νομογράφημα για τον υπολογισμό του SAR με τη βοήθεια των συγκεντρώσεων του Na^+ και $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ σε mmol/L που προσδιορίστηκαν στο νερό άρδευσης. Με το νομογράφημα αυτό υπολογίζεται προσεγγιστικά και η τιμή ESP ενός εδάφους που βρίσκεται σε ισορροπία με το συγκεκριμένο νερό άρδευσης. (USDA/US Salinity Laboratory Staff 1954).

3.5.1.3 Αντιδραστήρια

1. **Διάλυμα HCl 0,01 N.** Χρησιμοποιείται πρότυπο διάλυμα.
2. **Διάλυμα δείκτη φαινολοφθαλεΐνης 1%.** Παρασκευάζεται με διάλυση 0,5 g φαινολοφθαλεΐνης σε 50 mL αιθυλικής αλκοόλης, καλή ανάδευση μέχρι διαλύσεως και προσθήκη 50 mL H_2O Αν δημιουργηθεί ίζημα, ακολουθεί διήθηση.

3.5.1.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Από το δείγμα του προς ανάλυση νερού, λαμβάνονται με το σιφώνιο σταθερού όγκου 50 mL και μεταφέρονται σε κωνική φιάλη των 200 mL. Προστίθενται 3-5 σταγόνες διαλύματος δείκτη φαινολοφθαλεΐνης. Η εμφάνιση ρόδινου χρώματος σημαίνει την παρουσία ανθρακικών ιόντων στο διάλυμα. Ακολουθεί η ογκομέτρηση των ανθρακικών ανιόντων, με τιτλοδότη πρότυπο διάλυμα HCl 0,01 N μέχρι να αποχρωματιστεί το δείγμα ($\text{pH} = 8,3$).

3.5.1.5 Υπολογισμοί

Η συγκέντρωση των CO_3^{2-} σε mmol_a/L στο νερό άρδευσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ σε } \text{mmol}_a/\text{L} = 2(V_{\text{HCl}} \times N) \frac{1000}{V_{\text{δειγμ}}}$$

όπου:

V_{HCl} = Τα mL HCl 0,01 N που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση του νερού.

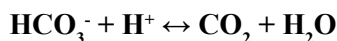
$V_{\text{δειγμ}}$ = Τα mL του νερού άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν (50).

44 N = Η κανονικότητα του HCl (0,01).

3.5.2 Προσδιορισμός των HCO_3^-

3.5.2.1 Θεωρητικές αρχές

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των HCO_3^- ιόντων, στηρίζεται στον προσδιορισμό της ποσότητας πρότυπου διαλύματος HCl , που απαιτείται για τη μετατροπή των HCO_3^- , σε CO_2 και νερό, σύμφωνα με την αντίδραση:



Η συγκέντρωση των προσδιοριζόμενων HCO_3^- , αποτελεί το άθροισμα των συγκεντρώσεων των ιόντων που υπήρχαν αρχικά στο δείγμα και εκείνων που σχηματίζονται από την πρωτονίωση των CO_3^{2-} , με την προσθήκη του οξέος.

Για τον υπολογισμό λοιπόν της συγκέντρωσης HCO_3^- των ιόντων, που αρχικά υπήρχαν στο δείγμα, πρέπει από την ποσότητα του διαλύματος του οξέος που καταναλώνεται κατά την ογκομέτρηση, να αφαιρείται η ποσότητα που καταναλώθηκε για την ογκομέτρηση των CO_3^{2-} στον προηγούμενο προσδιορισμό.

3.5.2.2 Υλικά και όργανα

- Προχοΐδα των 25 mL
- Κωνική φιάλη των 200 mL
- Σιφόνιο των 50 mL
- Μαγνητικός αναδευτήρας

3.5.2.3 Αντιδραστήρια

1. Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος 0,01 N. Χρησιμοποιείται πρότυπο διάλυμα.
2. Διάλυμα δείκτη ηλιανθίνης (πορτοκαλόχρουν του μεθυλίου) 0,1%. Παρασκευάζεται με διάλυση 0,1 g ηλιανθίνης σε 100 mL νερού

3.5.2.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των HCO_3^- , μπορεί να γίνει στο ίδιο δείγμα μετά τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των CO_3^{2-}

Στο αναλυόμενο διάλυμα, προστίθενται 3-5 σταγόνες δείκτη ηλιανθίνης. Η εμφάνιση κίτρινου χρώματος, υποδηλώνει την παρουσία HCO_3^- ιόντων στο διάλυμα. Ακολουθεί η ογκομέτρηση των HCO_3^- , με τιτλοδοτή πρότυπο διάλυμα HCl , μέχρι την αλλαγή του χρώματος σε πορτοκαλί ($\text{pH} = 4,5$).

3.5.2.5 Υπολογισμοί

Η συγκέντρωση των HCO_3^- , σε mmol_a/L στο νερό άρδευσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{HCO}_3^- \text{ σε } \text{mmol}_a/\text{L} = (V_{\text{HCl}} - V_{\text{HCl}(\text{CO}_3)}) \times N_{\text{HCl}} \frac{1000}{V_{\text{δειγμ}}}$$

όπου:

V_{HCl} = Τα mL HCl 0,01N που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση του νερού

$V_{\text{HCl}(\text{CO}_3)}$ = Τα mL HCl 0,01 N που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση των CO_3^{2-}

N_{HCl} = Η κανονικότητα του HCl (0,01)

$V_{\text{δειγμ}}$ = Τα mL του νερού άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν (50)

Σημείωση: Αν ο προσδιορισμός των HCO_3^- γίνει σε άλλο δείγμα από αυτό που προσδιορίστηκαν τα CO_3^{2-} ο τύπος υπολογισμού τους παίρνει την παρακάτω μορφή.

$$\text{HCO}_3^- \text{ σε } \text{mmol}_a/\text{L} = (V_{\text{HCl}} - 2V_{\text{HCl}(\text{CO}_3)}) \times N_{\text{HCl}} \frac{1000}{V_{\text{δειγμ}}}$$

3.5.3 Κατάταξη του νερού άρδευσης, ανάλογα με την τιμή RSC

Η υπολογιζόμενη τιμή RSC, βοηθά κυρίως στο να διακριθούν τα αρδευτικά νερά που παρουσιάζουν υψηλή

τάση να καταβυθίζουν ανθρακικά άλατα. Δεν ποσοτικοποιεί τις αντιδράσεις καταβύθισης του CaCO_3 κατά τρόπον που θα μπορούσε να χρησιμεύσει στη λήψη μελλοντικών αποφάσεων για τη διαχείριση του αρδευτικού νερού και επομένως, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, η χρήση του RSC δεν εφαρμόζεται σε πλατιά κλίμακα.

Βάση της τιμής του RSC ένα νερό άρδευσης χαρακτηρίζεται ως:

Ακατάλληλο για άρδευση, αν $\text{RSC} > 2,5 \text{ mmol/L}$.

Οριακό για άρδευση, αν $2,5 > \text{RSC} > 1,25 \text{ mmol/L}$.

Κατάλληλο για άρδευση, αν $\text{RSC} < 1,25 \text{ mmol/L}$.

Η παραπάνω διάκριση του νερού άρδευσης έχει ενδεικτικό χαρακτήρα, γιατί δεν είναι η μόνη που θα χαρακτηρίσει το νερό κατάλληλο ή ακατάλληλο. Ένα νερό που χαρακτηρίζεται επικίνδυνο ή ακατάλληλο, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με παράλληλη εφαρμογή γύψου ή κάποιου άλλου ευδιάλυτου άλατος του ασβεστίου, ώστε να μη μεταβληθεί η τιμή του SAR στο εδαφικό διάλυμα.

3.6 Ειδικές επιδράσεις των ιόντων του νερού άρδευσης

Εκτός από τον κίνδυνο που ενέχει η ολική αλατότητα και το νάτριο του αρδευτικού νερού, ορισμένες καλλιέργειες παρουσιάζουν ευαισθησία στη υψηλή συγκέντρωση ορισμένων ιόντων στο νερό άρδευσης. Παράδειγμα τέτοιων ιόντων είναι το χλώριο και το βόριο. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των ιόντων επηρεάζουν τα φυτά με δυο τρόπους. Είτε αποβαίνουν τοξικά στις διάφορες λειτουργίες του φυτού, είτε προκαλούν διατροφικές ανισορροπίες. Οι ανεπιθύμητες αυτές δράσεις του αρδευτικού νερού στις διάφορες καλλιέργειες εξαρτώνται επίσης από πολλούς παράγοντες όπως είναι, αυτή καθεαυτή η συγκέντρωση των προαναφερομένων ιόντων στο νερό άρδευσης, το εφαρμοζόμενο σύστημα άρδευσης και η ευαισθησία της καλλιέργειας. Παραδείγματος χάριν, μια συγκέντρωση χλωρίου 10 mg/L , στο νερό άρδευσης, αν εφαρμοσθεί με κατάκλυση ή στάγδην, δεν δημιουργεί πρόβλημα στις καλλιέργειες. Αν όμως το νερό εφαρμοσθεί με καταιονισμό η συγκέντρωση αυτή πρέπει να μειωθεί στα 3 mg/L . Αυτό συμβαίνει γιατί η εφαρμογή του νερού με καταιονισμό, αν συνδυαστεί και με χαμηλή σχετική υγρασία στην ατμόσφαιρα, συμβάλλει στην απευθείας απορρόφηση του χλωρίου από τα φύλλα των φυτών.

Επίσης, μια συγκέντρωση βορίου 8 mg/L στο νερό άρδευσης, ενώ είναι ανεκτή για τα λάχανα, τα μαρούλια και τα καρότα, προκαλεί τοξικά φαινόμενα στη φράουλα, στη μηλιά και στην αχλαδιά.

Εξαιτίας λοιπόν του σημαντικού ρόλου που παίζουν τα δύο προαναφερόμενα ιόντα στις δυσμενείς δράσεις του νερού άρδευσης, κρίθηκε σκόπιμη η ανάλυση του προσδιορισμού τους, που ακολουθεί.

3.6.1 Προσδιορισμός του βορίου. Μέθοδος κατά John et al (1975)

3.6.1.1 Θεωρητικές αρχές

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του βορίου στο νερό άρδευσης, γίνεται με τη μέθοδο της Azomethine-H, όπως τροποποιήθηκε από τους John et al. (1975). Η μέθοδος αυτή είναι ευαίσθητη, απλή ταχεία και χωρίς σημαντικές παρεμβολές και στηρίζεται στο φασματοφωτομετρικό προσδιορισμό του βορίου, με τη μορφή ενός έγχρωμου σύμπλοκου βορικού οξέος - Azomethine-H, σε, $\text{pH} = 5,1$

3.6.1.2 Υλικά και όργανα

1. Φασματοφωτόμετρο
2. Δοκιμαστικοί σωλήνες από πολυπροπυλένιο των 20 mL
3. Σιφόνια 1 mL , 2 mL

3.6.1.3 Αντιδραστήρια

1. **Ρυθμιστικό διάλυμα.** Παρασκευάζεται με διάλυση 250 g οξικού αμμωνίου και 15 g E.D.T.A. disodium salt, σε 400 mL δισ-αποσταγμένου νερού και προσθήκη με αργό ρυθμό 125 mL οξικού οξέος.
2. **Διάλυμα Azomethine-H.** Παρασκευάζεται με διάλυση $0,45 \text{ g}$ Azomethine-H, σε 100 mL διαλύματος L-ασκορβικού οξέος 1% . Το διάλυμα αυτό διατηρείται μια εβδομάδα στο ψυγείο.

3. **Πρότυπο διάλυμα 20 mg /L B.** Παρασκευάζεται με διάλυση 0,1143 g βορικού οξέος ανά λίτρο διαλύματος. Φυλάσσεται σε πλαστική φιάλη.
4. **Διαλύματα εργασίας 2-4-6-8 και 10 mg /L B.** Παρασκευάζονται αν από το προηγούμενο διάλυμα των 20 mg /L B, ληφθούν ποσότητες 10-20-30-40-50 mL αντίστοιχα και αραιωθούν σε ογκομετρικές φιάλες με αποσταγμένο νερό, μέχρι τελικό όγκο 100 mL.

3.6.1.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Επειδή πολλά από τα γυάλινα σκεύη περιέχουν στη σύστασή τους βόριο, η παρασκευή των διαλυμάτων για την ανάλυση του αρδευτικού νερού, γίνεται σε δοκιμαστικούς σωλήνες από πολυπροπυλένιο των 10mL, ή σε σκεύη ελεύθερα βορίου.

Αρχικά παρασκευάζεται το «τυφλό» διάλυμα, ως εξής:

Στο δοκιμαστικό σωλήνα μεταφέρονται 1 mL αποσταγμένου νερού και 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος. Μετά την ανάδευση, προστίθενται 2 mL διαλύματος Azomethine-H. Το διάλυμα αναμιγνύεται καλά και αφήνεται σε ηρεμία για 30 λεπτά, σε θερμοκρασία δωματίου. Το αναλυόμενο διάλυμα παρασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και το «τυφλό», με τη μόνη διαφορά ότι αντί για αποσταγμένο νερό χρησιμοποιείται το προς ανάλυση νερό άρδευσης.

Για τη ρύθμιση και βαθμονόμηση του οργάνου, λαμβάνονται ποσότητες 1 mL από τα διαλύματα εργασίας των 2, 4, 6, 8 και 10 mg /L και τοποθετούνται σε δοκιμαστικούς σωλήνες, όπου αναπτύσσεται χρώμα με την ίδια διαδικασία όπως και για το αναλυόμενο δείγμα.

Το φασματοφωτόμετρο ρυθμίζεται και βαθμονομείται με τη βοήθεια του τυφλού και των προτύπων διαλυμάτων εργασίας και χαράσσεται η καμπύλη βαθμονόμησης του. Στη συνέχεια μετράται η απορρόφηση του αναλυόμενου δείγματος σε μήκος κύματος 420 nm.

Με τη βοήθεια της καμπύλης βαθμονόμησης του οργάνου, η λαμβανόμενη ένδειξη μετατρέπεται σε συγκέντρωση. Η συγκέντρωση αυτή αποτελεί και την τελική συγκέντρωση του αναλυόμενου δείγματος νερού σε βόριο, εκφρασμένες σε mg B/L.

Η χρωματομετρική μέθοδος κατά Keren (1996), που περιγράφεται εν συνεχεία, χρησιμοποιεί ενεργό άνθρακα προς αποχρωματισμό των προς μέτρηση διαλυμάτων. Προτιμάται για εφαρμογή αντί της προηγούμενης μεθόδου στην περίπτωση που το νερό άρδευσης δεν είναι άχρωμο.

3.6.2 Χρωματικός προσδιορισμός του βορίου κατά Keren (1996)

3.6.2.1 Αντιδραστήρια

1. **Ρυθμιστικό διάλυμα, pH = 5,1.** Σε 500 mL H₂O διαλύονται 250 g οξικού αμμωνίου (CH₃COONH₄) και ακολουθεί προσθήκη οξικού οξέος (περίπου 300 mL CH₃COOH) ώστε το τελικό pH να είναι 5,1
2. **Διάλυμα EDTA 0,025 M.** Διαλύονται 2,2815 g του μετά Νατρίου άλατος EDTA σε 100 mL H₂O και φέρονται σε όγκο 250 mL.
3. **Διάλυμα Azomethine-H.** 0,45 g. Azomethine-H διαλύονται σε 100 mL διαλύματος ασκορβικού οξέος 1 %. Το αντιδραστήριο φυλάσσεται σε ψυγείο και η διάρκεια ζωής του είναι 1 εβδομάδα. Επομένως είναι προτιμότερο να παρασκευάζεται τόση ποσότητα όση απαιτείται για τα προς μέτρηση δείγματα και τα πρότυπα διαλύματα (είναι και ακριβό αντιδραστήριο).
4. **Πρότυπο (μητρικό) διάλυμα βορίου, 100 mg B/L.**
Σε ογκομ. φιάλη του 1 L διαλύονται 0,57174 g H₃BO₃ και συμπληρώνεται ο όγκος με H₂O.
5. **Από το μητρικό διάλυμα B,** λαμβάνονται 10 mL και αραιώνονται σε όγκο 100 mL ώστε να παρασκευασθεί διάλυμα **10 mg B/L.**
6. **Εκπλυμένος ενεργός άνθρακας.** 500 g ενεργού άνθρακα τοποθετούνται σε χωνί Buchner με ηθμό Whatman No 42 και εκπλύνονται με 1 L αποσταγμένο νερό σε δόσεις των 200 mL και ξηραίνονται στο πυριατήριο στους 60⁰ C.

3.6.2.2 Χάραξη της καμπύλης βαθμονόμησης

Ετοιμάζονται πρότυπα διαλύματα εργασίας 0, - 0,4 – 0,8 – 1,2 – 1,6 – και 2 mg B/L προς απόκτηση της **καμπύλης βαθμονόμησης.** Από το διάλυμα των **10 mg B/L** λαμβάνονται 0, 1, 2, 3, 4, και 5 mL, μεταφέρονται

σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL και προστίθεται H₂O μέχρι όγκου περίπου 10 mL. Προστίθενται κατόπιν 1 mL του διαλύματος EDTA, 2 mL του ρυθμιστικού διαλύματος και ακολουθεί καλή ανάμιξη. Ακολουθεί προσθήκη 5 mL διαλύματος Azomethine-H, συμπλήρωση μέχρι όγκου των 25 mL με H₂O και καλή ανάμιξη. Τα διαλύματα εργασίας παραμένουν επί 2 ώρες και ακολουθεί μέτρηση της απορρόφησης των διαλυμάτων σε μήκος κύματος 420 nm.

3.6.2.3 Μετρήσεις

Τα διαλύματα προς μέτρηση (νερό άρδευσης), πρέπει να είναι άχρωμα. Αν όχι, προστίθεται μικρή ποσότητα (όχι υπερβολική που μπορεί να επιφέρει απώλεια B) ενεργού άνθρακα, ανακινούνται επί 5 λεπτά και διηθούνται με ηθμό Whatman no 42. Μικρή ποσότητα δείγματος (2 – 15 mL, ώστε η τελική συγκέντρωση B να είναι στο εύρος συγκεντρώσεων της καμπύλης βαθμονόμησης) από το άχρωμο διάλυμα μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL. Εάν το δείγμα είναι μικρότερο των 15 mL, προστίθεται H₂O μέχρι όγκου 15 mL πριν προστεθούν τα υπόλοιπα αντιδραστήρια. Προστίθενται 1 mL του διαλύματος EDTA, 2 mL του ρυθμιστικού διαλύματος και ακολουθεί καλή ανάμιξη. Ακολουθεί προσθήκη 5 mL διαλύματος Azomethine-H, συμπλήρωση μέχρι όγκου των 25 mL με H₂O και καλή ανάμιξη. Τα δείγματα παραμένουν επί 2 ώρες και ακολουθεί μέτρηση της απορρόφησης σε μήκος κύματος 420 nm.

Με τη βοήθεια της καμπύλης βαθμονόμησης, η απορρόφηση των δειγμάτων μετατρέπεται σε mg B/ L νερού.

Σημείωση: Η καμπύλη βαθμονόμησης πρέπει να επαναλαμβάνεται τακτικά (σχεδόν σε κάθε σειρά δειγμάτων) διότι δεν είναι σταθερή (όπως π.χ. του φωσφόρου).

Στον Πίνακα 3.2, φαίνονται οι ασφαλείς συγκεντρώσεις βορίου στο νερό άρδευσης, ανάλογα με τις εποχιακές ανάγκες των φυτών σε νερό. Με την έννοια «ασφαλείς» εννοούνται οι συγκεντρώσεις πάνω από τις οποίες εμφανίζονται προβλήματα στην καλλιέργεια.

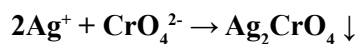
| Αντοχή φυτών σε βόριο | Είδος φυτού | Εποχιακές ανάγκες σε νερό (mm)/στρεμ. | | |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|
| | | 50 | 100 | 200 |
| Ασφαλής συγκέντρωση σε βόριο (mg/L) | | | | |
| Ευαίσθητα | Δαμασκηλιά Μηλιά Φράουλα Αχλαδιά Κερασιά | 4 | 2 | 1 |
| Ενδιάμεσα | Κριθάρι Πατάτα Σιτάρι Αρακάς Καλαμπόκι Ραδίκι Βρώμη Τομάτα | 6 | 3 | 1,5 |
| Ανθεκτικά | Σπαράγγι Κρεμμύδι Κοκκινογούλι Λάχανο Μηδική Μαρούλι Καρότο | 8 | 4 | 2 |

Πίνακας 3.2 Ασφαλής συγκέντρωση βορίου στο νερό άρδευσης, ανάλογα με τις εποχιακές ανάγκες των φυτών σε νερό

3.6.3 Προσδιορισμός του Cl⁻, μέθοδος Mohr

3.6.3.1. Θεωρητικές αρχές

Σύμφωνα με τη μέθοδο Mohr, ο προσδιορισμός των ιόντων χλωρίου (Cl⁻) επιτυγχάνεται με ογκομέτρησή τους σε αλκαλικό περιβάλλον με διάλυμα AgNO₃ γνωστής συγκέντρωσης, παρουσία χρωμικών ιόντων (CrO₄²⁻) ως δείκτη. Τα προστιθέμενα ιόντα αργύρου αντιδρούν με τα ιόντα χλωρίου προς σχηματισμό λευκής δυσδιάλυτης ένωσης AgCl (Ag⁺ + Cl⁻ → AgCl). Όταν όλα τα ιόντα χλωρίου έχουν, με την αντίδραση αυτή, συνδεθεί τα πρώτα ιόντα αργύρου που προστίθενται αντιδρούν με τα χρωμικά ιόντα προς σχηματισμό κεραμόχρωμης ένωσης Ag₂CrO₄, σύμφωνα και με την αντίδραση:



Αυτή η αλλαγή του χρώματος καθορίζει και το τελικό σημείο της ογκομέτρησης.

Το pH του αναλυόμενου διαλύματος, πρέπει να είναι, όπως αναφέρθηκε, μεταξύ 7 και 10, πράγμα που επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο αναλυόμενο διάλυμα, μικρής ποσότητας διαλύματος Na₂CO₃ και ελέγχεται με την προσθήκη μιας σταγόνας δείκτη φαινολοφθαλεΐνης, η οποία αν το pH του είναι μεγαλύτερο του 8, προσδίδει στο διάλυμα ρόδινο χρώμα. Η περιοχή pH μεταβολής του χρώματος του δείκτη είναι μεταξύ 8,2 και 10.

3.6.3.2 Υλικά και όργανα

- Προχοΐδα των 25 mL
- Κωνική φιάλη των 200 mL
- Σιφόνιο των 50 mL
- Μαγνητικός αναδευτήρας

3.6.3.3 Αντιδραστήρια

1. **Διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,01 N.** Παρασκευάζεται με διάλυση 1, 6988 g AgNO₃ ανά λίτρο διαλύματος. Το διάλυμα αυτό διατηρείται σε φιάλες σκοτεινού χρώματος και η κανονικότητά του ελέγχεται με πρότυπα διαλύματα NaCl ή KCl 0,01 N.
2. **Δείκτης χρωμικού καλίου 5%.** Παρασκευάζεται με διάλυση 5 g K₂CrO₄ σε 100 mL νερού.
3. **Διαλύματα H₂SO₄, Na₂CO₃ 0,1 N.**
4. **Δείκτης φαινολοφθαλεΐνης.** Παρασκευάζεται με διάλυση 0,5 g δείκτη ανά 100 mL διαλύματος αλκοόλης 50%.
5. **Διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης σε Cl⁻ (0,01N).** Παρασκευάζεται με διάλυση 0,5846 g NaCl σε 1L νερό.

3.6.3.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Από το αναλυόμενο δείγμα νερού, λαμβάνονται με το σιφόνιο 50 mL και μεταφέρονται σε κωνική φιάλη των 200 mL. Ακολουθεί η ρύθμιση του pH του διαλύματος σε pH≈8,2 ως εξής. Προστίθενται σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης και αν το δείγμα παραμείνει άχρωμο, προστίθενται σταγόνες Na₂CO₃ 0,1 N, μέχρι να γίνει ρόδινο. Στη συνέχεια προστίθεται μια σταγόνα H₂SO₄ 0,1 N ώστε να αποχρωματιστεί το δείγμα οπότε το pH του διαλύματος είναι ≈ 8,2. Τέλος, προστίθενται 3-5 σταγόνες δείκτη K₂CrO₄.

Το διάλυμα αποκτά κίτρινο χρώμα και ογκομετρείται με μεγάλη προσοχή (σταγόνα - σταγόνα) με διάλυμα AgNO₃ 0,01 N, μέχρι την αλλαγή του χρώματος σε ανοικτό κεραμόχρωμο.

3.6.3.5 Υπολογισμοί

Η συγκέντρωση του Cl⁻ σε mmol_a/L στο νερό άρδευσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Cl}^-, \text{ σε mmol}_a/\text{L} = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times N \times 1000}{V_{\text{δειγμ}}}$$

όπου:

$V_{\text{AgNO}_3} = T_a \text{ mL}$ του AgNO_3 που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση της ποσότητας των ιόντων Cl^- που υπήρχαν στο αναλυόμενο δείγμα νερού.

$V_{\text{δειαγμ}} = T_a \text{ mL}$ του νερού άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν (50)

$N = H$ ακριβής κανονικότητα του προτύπου διαλύματος AgNO_3 , προσδιορίζεται τιτλοδοτώντας το με το ανωτέρω διάλυμα NaCl , 0,01 N.

Στον Πίνακα 3.3, φαίνονται οι ασφαλείς συγκεντρώσεις του χλωρίου στο νερό άρδευσης, ανάλογα με τις εποχιακές ανάγκες των φυτών σε νερό.

Τέλος, στον Πίνακα 3.4 σε ανακεφαλαίωση όλων όσων αναφέρθηκαν προηγουμένα, σχετικά με την ποιότητα του νερού άρδευσης, φαίνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ποιοτική εκτίμησή του.

3.7 Ταξινόμηση του νερού άρδευσης (σύμφωνα με USDA)

Η ποιοτική αξιολόγηση του νερού άρδευσης σύμφωνα με το Αμερικανικό σύστημα, που αναφέρεται στη συνέχεια, έχει μόνο ενδεικτικό χαρακτήρα. Ο λόγος είναι ότι η τελική επίδραση στις ιδιότητες του εδάφους αλλά και στην ανάπτυξη των φυτών, από την εφαρμογή νερού με ορισμένη ποιότητα, αποτελεί τη συνισταμένη πολλών επί πλέον παραμέτρων όπως η δομή του εδάφους, οι συνθήκες στράγγισης, η ταχύτητα διήθησης, οι κλιματικές συνθήκες (οι οποίες θα καθορίσουν το μέγεθος της εξατμισοδιαπνοής) και τέλος η αντοχή της καλλιέργειας. Έτσι, ένα νερό που από την ανάλυσή του χαρακτηρίζεται ακατάλληλο για άρδευση, είναι δυνατό υπό ορισμένες προϋποθέσεις και με κατάλληλη διαχείριση να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό.

| Αντοχή φυτών | Είδος Φυτού | Εποχιακές ανάγκες σε νερό (mm) | | | |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|------|------|
| | | 25 | 50 | 100 | 200 |
| | | Ασφαλής συγκέντρωση σε χλώριο (mmola /L) | | | |
| Πολύ Ευαίσθητα | Αρακάς Δαμασκηλιά Φράουλα Βατόμουρο | 300* | 200 | 100 | 50 |
| Μέτρια Ευαίσθητα | Μηλιά Μαρούλι Ραπανάκι Κρεμμύδι Αχλαδιά Σέλινο Καλαμπόκι Τριφύλλι | 400* | 400* | 300 | 150 |
| Λίγο Ευαίσθητα | Λάχανο Πατάτα Καρότο Κουνουπίδι Αμπέλι Σιτάρι Βρώμη Μηδική Ryegrass | 700* | 700* | 500 | 250 |
| Ελάχιστα Ευαίσθητα | Ζαχαρότευτλο Κοκκινογούλι Σπανάκι Σπαράγγι Κριθάρι | 900* | 900* | 900* | 450* |

Πίνακας 3.3 Ασφαλής συγκέντρωση Cl^- στο νερό άρδευσης, ανάλογα με τις εποχιακές ανάγκες των φυτών σε νερό

*Δεν επιτρέπεται η υπέρβαση των τιμών αυτών εξαιτίας του υψηλού κινδύνου να εμφανισθούν ξηράνσεις στο φύλλωμα.

| Καταλληλότητα | EC σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Συγκέντρωση σε άλατα mg/L | SAR για EC100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | Βόριο σε mg/L | RSC σε mmol_a/L |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Πολύ κατάλληλο | <250 | <160 | <10 | 0,33-1,00 | <<1,25 |
| Κατάλληλο | 250-750 | 160-480 | 10-18 | 0,67-2,00 | <1,25 |
| Μέτρια κατάλληλο. | 750-2.250 | 480-1.440 | 18-26 | 1,00-3,00 | 1,25-2,50 |
| Ακατάλληλο | >2.250 | >1.440 | >26 | >3,00 | >2,50 |

Πίνακας 3.4 Στοιχεία απαραίτητα για την ποιοτική εκτίμηση του νερού άρδευσης

Για την ταξινόμηση του νερού άρδευσης χρησιμοποιείται με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, το νομογράφημα που φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Για τη χρήση του νομογραφήματος αυτού, απαιτείται η γνώση της EC του νερού και του SAR.

Ο τρόπος υπολογισμού του SAR όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ έχει ήδη αναφερθεί. Εάν η συγκέντρωση ή μόνο του αθροίσματος $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, ή μόνο του Na^+ είναι γνωστή, τότε η συγκέντρωση του αγνώστου Na^+ ή $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, αντίστοιχα υπολογίζεται με αρκετή ακρίβεια βάση των παρακάτω εξισώσεων, γνωστού όντος ότι ισχύει η εμπειρική σχέση:

$$\text{EC (dS/m)} \times 10 = \text{σύνολο κατιόντων ή ανιόντων σε mmol}_\pm/\text{L}$$

$$\text{Na}^+, \text{mmol}_\pm/\text{L} = \text{EC (dS/m)} \times 10 - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{mmol}_\pm/\text{L})$$

$$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{mmol}_\pm/\text{L}) = \text{EC (dS/m)} \times 10 - \text{Na}^+, \text{mmol}_\pm/\text{L}$$

υπό την προϋπόθεση ότι οι συγκεντρώσεις των άλλων κατιόντων στο αρδευτικό νερό είναι αμελητέες

3.7.1 Ταξινόμηση του νερού άρδευσης, με βάση την EC

- 1. Νερό με μικρή περιεκτικότητα σε άλατα (C_1) ($\leq 250 \mu\text{S}/\text{cm}$).**
Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιείται χωρίς κανένα κίνδυνο για τα περισσότερα εδάφη και τις περισσότερες καλλιέργειες. Μετά από μακροχρόνια εφαρμογή του σε εδάφη με πολύ μικρή υδατοπερατότητα, είναι πιθανόν να παρατηρηθεί αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων του εδαφικού διαλύματος.
- 2. Νερό με μέση περιεκτικότητα σε άλατα (C_2) ($250-750 \mu\text{S}/\text{cm}$).**
Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακίνδυνα για άρδευση καλλιεργειών με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα και σε εδάφη με μέση τιμή υδατοπερατότητας ($2 \text{ cm}/\text{h}$). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα νερά των περισσότερων ποταμών.
- 3. Νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα (C_3) ($750-2250 \mu\text{S}/\text{cm}$).**
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση ανθεκτικών στα άλατα φυτών και σε εδάφη με υδατοπερατότητα ($>2 \text{ cm}/\text{h}$), με ταυτόχρονη λήψη μέτρων για έλεγχο της αλατώσεως των εδαφών.
- 4. Νερό με πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα (C_4) ($\geq 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$).**
Το νερό αυτό στην ουσία είναι ακατάλληλο για άρδευση, ακόμα και ανθεκτικών στα άλατα καλλιεργειών. Χρησιμοποιείται μόνο για εδάφη με μεγάλη υδατοπερατότητα ($>12,5 \text{ cm}/\text{h}$) και σε μεγάλες δόσεις για να επιτυγχάνεται με τη στράγγιση η έκπλυση των αλάτων.

3.7.2 Ταξινόμηση του νερού άρδευσης με βάση την τιμή SAR

- 1. Νερό μικρής περιεκτικότητας σε νάτριο (S_1) ($\text{SAR} \leq 10$).**
Το νερό της κατηγορίας αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση όλων των τύπων των εδαφών και ανεξάρτητα από τη κοκκομετρική τους σύσταση. Πολύ ευαίσθητα φυτά, όπως τα πυρηνόκαρπα και το avocado, είναι δυνατό να εμφανίσουν τοξικές επιδράσεις νατρίου.

2. **Νερό μέσης περιεκτικότητας σε νάτριο (S_2)** ($10 < SAR < 18$).
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άφοβα σε ελαφρά εδάφη με υδατοπερατότητα $> 0,5$ cm/h. Σε εδάφη όμως συνεκτικά, με υψηλή τιμή CEC και μικρή υδατοπερατότητα ($< 0,5$ cm/h) είναι δυνατό η χρήση του να οδηγήσει σε νατρίωση, εκτός και αν περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο ή γύψο.
3. **Νερό μεγάλης περιεκτικότητας σε νάτριο (S_3)** ($18 < SAR < 26$).
Το νερό αυτό κρίνεται ακατάλληλο όταν παρουσιάζει και μεγάλη αγωγιμότητα (C_3S_3, C_4S_3). Σε αντίθετη περίπτωση, η παρατεταμένη χρήση του θα οδηγήσει σε νατρίωση του εδάφους, η εκδήλωση της οποίας είναι δυνατό να παραταθεί ή και να αποφευχθεί αν το έδαφος περιέχει γύψο (αν όχι, τότε προστίθεται) και ταυτόχρονα να εξασφαλισθεί καλή στράγγιση. Η προσθήκη επίσης οργανικής ουσίας, στο έδαφος, όπου είναι δυνατό είναι χρήσιμη, γιατί βελτιώνει τις συνθήκες στράγγισης.
4. **Νερό πολύ μεγάλης περιεκτικότητας σε νάτριο (S_4)** ($SAR \geq 26$).
Το νερό αυτό σε γενικές γραμμές κρίνεται ακατάλληλο για άρδευση, εκτός και αν παρουσιάζει μικρή EC (C_1S_4, C_2S_4), οπότε είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη που περιέχουν γύψο και η υδατοπερατότητά τους είναι υψηλή (> 2 cm/h).
Ως γενικός κανόνας πρέπει να εφαρμόζεται η αρχή: Όταν, με κριτήριο την κατηγορία του νερού άρδευσης και τη κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, προβλέπεται έστω και μακροπρόθεσμα η νατρίωσή του, επιβάλλεται κατά καιρούς η προσθήκη γύψου σε αυτό ακόμα και αν το έδαφος περιέχει $CaCO_3$, καθώς και η έκπλυσή του με υποστράγγιση, εφαρμόζοντας υψηλές δόσεις νερού.

3.7.3 Νεότερα στοιχεία αξιολόγησης του αρδευτικού νερού

Όσα στοιχεία αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, στηρίχθηκαν σε δεδομένα του USDA/US Salinity Laboratory Staff (1954). Νεότερα στοιχεία έχουν δημοσιευθεί σε εκδόσεις του FAO το 1984 και φαίνονται στους Πίνακες 3.5 και 3.6.

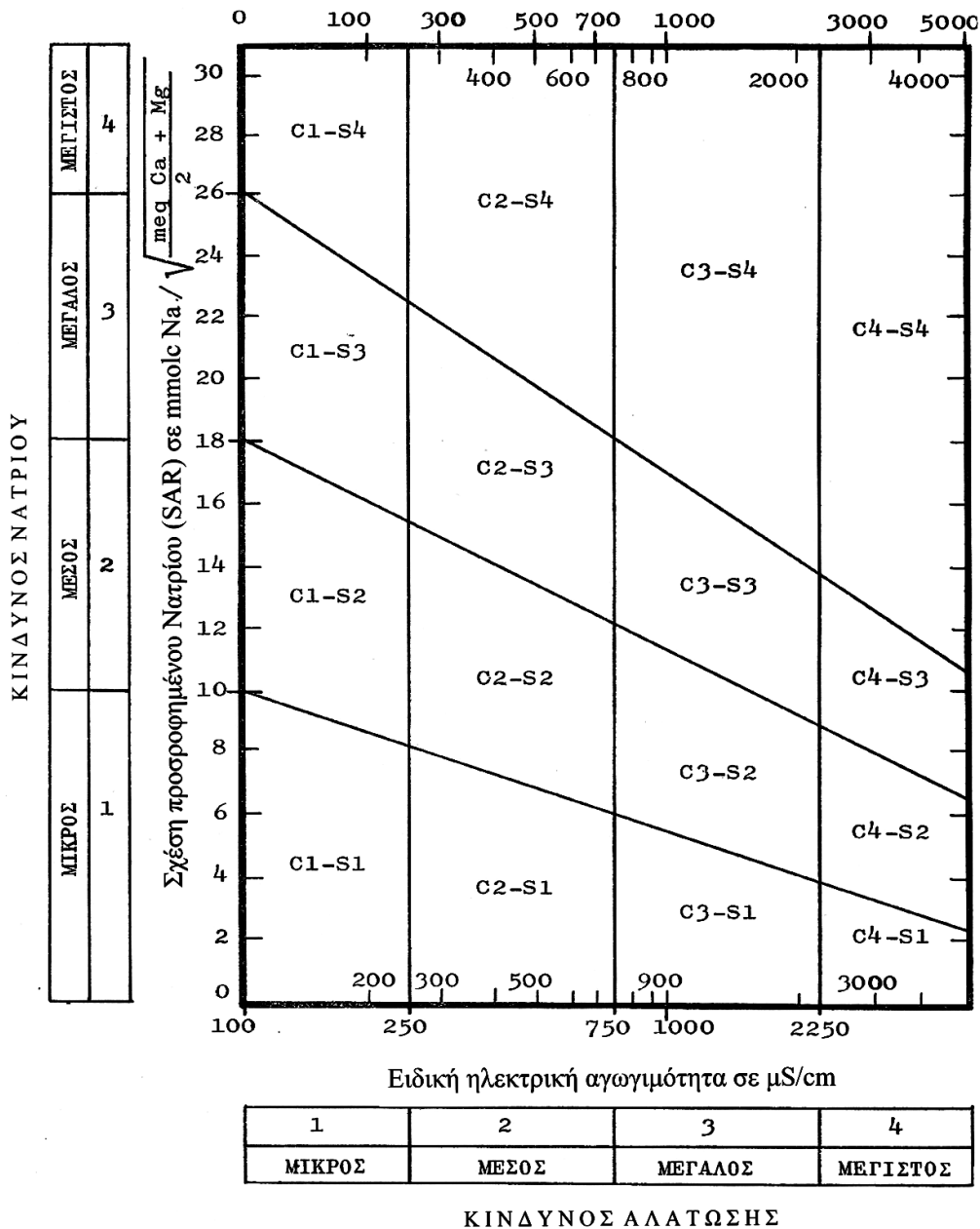
Η αξιολόγηση του νερού άρδευσης όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6 καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συνθηκών στην αρδευόμενη γεωργία. Για τη χρήση των ορίων που καθορίζονται στον Πίνακα αυτό, έχουν τεθεί ορισμένες βασικές προϋποθέσεις, η μη τήρηση των οποίων επιβάλλει διορθώσεις των στοιχείων του Πίνακα. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι:

1. **Μέγιστη απόδοση.** Η μέγιστη απόδοση για όλες τις καλλιέργειες επιτυγχάνεται όταν το νερό άρδευσης δεν έχει καμιά επίπτωση σε αυτές σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3.6. Επίπτωση μικρή ή μεγάλη, σημαίνει ότι πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη καλλιέργεια, ή ότι χρειάζεται ειδική μεταχείριση προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοσή της.
2. **Τοπικές συνθήκες.** Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους κυμαίνεται από αμμοπηλώδη έως αργιλλοπηλώδη με καλή στράγγιση. Το κλίμα αναφέρεται ως ημίξηρο έως ξερό με μικρό ύψος βροχοπτώσεων, επομένως οι βροχές δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των φυτών σε νερό και πολύ περισσότερο για την έκπλυση των αλάτων του εδάφους. Για περιοχές με μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων (Δυτική Ελλάδα) τα στοιχεία του Πίνακα 3.6 δεν ισχύουν, αφού αφενός μεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες των φυτών και επομένως δεν υπάρχει ανάγκη άρδευσης και αφετέρου το νερό καλύπτει τις ετήσιες ανάγκες για έκπλυση των αλάτων στο έδαφος.
3. **Μέθοδοι και χρόνος άρδευσης.** Για να ισχύουν τα στοιχεία του Πίνακα 3.6 βασική προϋπόθεση είναι το νερό να εφαρμόζεται με επιφανειακές μεθόδους άρδευσης ή με καταιονισμό. Το νερό παρέχεται σε δόσεις και το φυτό παραλαμβάνει το 50% του νερού ή και περισσότερο πριν από την επόμενη άρδευση. Το 15% τουλάχιστον του εφαρμοζόμενου νερού με κάθε άρδευση διηθείται σε βάθος μεγαλύτερο του βάθους του ριζοστρώματος.
4. **Πρόσληψη νερού από τις καλλιέργειες.** Οι καλλιέργειες γενικά διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την πρόσληψη του νερού από το έδαφος. Σε γενικές γραμμές, όμως γίνεται δεκτό, ότι κατά μέσο όρο παραλαμβάνουν το 40% του νερού από το πρώτο τέταρτο του ριζοστρώματος αντίστοιχου φυτού, το 30% από το δεύτερο τέταρτο, το 20% από το τρίτο τέταρτο και το 10% από το τελευταίο και βαθύτερο τέταρτο.

Σε κάθε άρδευση, εκπλύνεται το ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος, οπότε το τμήμα αυτό της κατατομής έχει και τα λιγότερα άλατα. Η αλατότητα αυξάνει με το βάθος και είναι μεγαλύτερη στο κατώτερο τμήμα του ριζοστρώματος. Παρόλα αυτά, η υψηλή αλατότητα του κατώτερου τμήματος του ριζοστρώματος, δεν αποτελεί πρόβλημα για τα φυτά, εάν εξασφαλίζεται επαρκής

υγρασία στο ανώτερο τμήμα του ριζοστρώματος και συνεχής στράγγιση των αλάτων προς το κατώτερο τμήμα.

5. **Επιπτώσεις από τη χρήση του νερού.** Οι επιπτώσεις από τη χρήση νερού για άρδευση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6, διαίρουνται σε τρεις κατηγορίες. Μια απόκλιση κατά 10-20% δεν πρέπει να αξιολογείται, διότι είναι δυνατό και άλλοι παράγοντες εκτός από τα άλατα να επηρεάζουν την απόδοση της καλλιέργειας. Τα στοιχεία του Πίνακα αυτού, προέκυψαν από παρατηρήσεις στον αγρό και ερευνητικά πειράματα.



Σχήμα 3.2 Κατάταξη του νερού άρδευσης με τη βοήθεια της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας και του SAR (USDA/US Salinity Laboratory Staff, 1954).

| Υδατική παράμετρος | Συμβολισμός | Μονάδες | Σύνηθες εύρος τιμών νερού άρδευσης |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ Ποσό αλάτων Ηλεκτρική αγωγιμότητα ή Ολικό ποσό αλάτων | EC _{va} * TDS | mS/cm mg/L | 0 - 3 0 - 2000 |
| ΚΑΤΙΟΝΤΑ ΚΑΙ ΑΝΙΟΝΤΑ Ασβέστιο Μαγνήσιο Νάτριο Ανθρακικά Όξινα ανθρακικά Χλώριο Θειικά | Ca ²⁺ Mg ²⁺ Na ⁺ CO ₃ ²⁻ HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ²⁻ | mmol _c /L mmol _c /L mmol _c /L mmol _a /L mmol _a /L mmol _a /L mmol _a /L | 0 - 20 0 - 5 0 - 40 0 - 0,1 0 - 10 0 - 30 0 - 20 |
| ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ Νιτρικό άζωτο Αμμωνιακό άζωτο Φωσφορικά Κάλιο | NO ₃ ⁻ - N NH ₄ ⁺ - N PO ₄ ³⁻ - P K ⁺ | mg/L mg/L mg/L mg/L | 0 - 10 0 - 5 0 - 2 0 - 2 |
| ΆΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ Βόριο Οξύτητα /αλκαλικότητα Λόγος προσρόφησης νατρίου | B pH SAR | mg/L 1 - 14 (mmol _c /L) ^{0,5} | 0 - 2 6,0 - 8,5 0 - 15 |

Πίνακας 3.5 Εργαστηριακοί προσδιορισμοί απαραίτητοι για την ποιοτική εκτίμηση του νερού άρδευσης Εργαστηριακοί προσδιορισμοί απαραίτητοι για την ποιοτική εκτίμηση του νερού άρδευσης (Ayres and Westcof, 1985., Copyright by FAO).
EC_{va} * = EC νερού άρδευσης

| Προβλήματα από την άρδευση | Μονάδες | Επιπτώσεις | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| | | Καμία | Μικρή έως μέση | Μεγάλη |
| Αλατότητα (επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού) EC _{va} ή TDS | dS/m mg/L | 0,7 450 | 0,7 - 3,0 450 - 2000 | 3,0 2000 |
| Διηθητικότητα (επηρεάζει την κίνηση του νερού στο έδαφος) SAR = 0 - 3 και EC _{va} = = 3 - 6 = = 6 - 12 = = 12 - 20 = = 20 - 40 = | | >0,7 >1,2 >1,9 >2,9 >5,0 | 0,7 - 0,2 1,2 - 0,3 1,9 - 0,5 2,9 - 1,3 5,0 - 2,9 | <0,2 <0,3 <0,5 <1,3 <2,9 |
| Τοξικότητα ιόντων (επηρεάζει τα ευαίσθητα φυτά) Νάτριο (Na ⁺) επιφανειακή άρδευση καταιονισμός | mmol _c /L mmol _c /L | <3 <3 | 3 - 9 >3 | >9 >9 |
| Χλωρίοντα (Cl ⁻) επιφανειακή άρδευση καταιονισμός | mmol _a /L mmol _a /L | <4 <3 | 4 - 10 >3 | >10 >10 |
| Βόριο (B) | mg/L | <0,7 | 0,7 - 3,0 | >3,0 |

Πίνακας 3.6 Αξιολόγηση του νερού άρδευσης (Ayres and Westcof, 1985., Copyright by FAO).

Βιβλιογραφία

- Αλεξιάδης, Κ. Α. 1980.** Φυσική και χημική ανάλυση του εδάφους. Θεσσαλονίκη.
- Ayers, R.S., and W.D. Westcot. 1985.** Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper No29. FAO, Rome.
- John, K. Matt, Hong, H. Chna and J. H. Neufeld. 1975.** Application of improved Azomethine H method to the determination of boron in soils and plants. Analytical Letters 8: 559-568.
- Keren, R. 1996.** Boron. pp 603-626. In, Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
- Mohr, C. F. 1856.** Neue Massanalytische Bestimmung des Chlors in Verbindungen. Justun Liebig's Annalen der Chimie, Vol. 97, pp. 335-338. Leipzig.
- USDA/US Salinity Laboratory Staff 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric Handbook, No 60.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2015.** Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα-Κάλλιπος, Ηράκλειο Κρήτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ pH ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

4.1 Εισαγωγή

Ως pH του εδάφους, ορίζεται η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο εδαφικό διάλυμα, το οποίο βρίσκεται σε ισορροπία με τη στερεή φάση. Η ποσότητα των ιόντων H^+ στο εδαφικό διάλυμα, αντιπροσωπεύει την **ενεργό οξύτητα**, η οποία θεωρείται μέτρο έντασης, για την εκτίμηση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας του εδάφους. Η τιμή του pH ενός εδάφους, αποτελεί κριτήριο για τη λήψη απόφασης κυρίως για την ανάγκη ασβέστωσης του.

Η ποσότητα όμως αυτή των ιόντων H^+ του εδαφικού διαλύματος είναι σε ισορροπία με πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ιόντων H^+ και Al^{3+} (τα τελευταία υδρολυόμενα παρέχουν H^+), που βρίσκονται στη στερεή φάση και οι οποίες αντιπροσωπεύουν την **ανταλλάξιμη οξύτητα**. Η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στη στερεή φάση, αποτελεί μέτρο ποσότητας και η γνώση της αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον προσδιορισμό της ορθής ποσότητας του εδαφοβελτιωτικού, που πρέπει να προστεθεί σε ένα όξινο έδαφος, προκειμένου να ανέβει το pH του σε μια επιθυμητή τιμή. Τέλος, υπάρχει και η **μη ανταλλάξιμη οξύτητα** που αντιπροσωπεύεται από τα υδροξείδια και τα πολυυδροξυλιωμένα παράγωγα του Al που ευρίσκονται ως επικαλύψεις ή στους διαστιβαδικούς χώρους των ορυκτών της αργίλου και το Al που είναι συνδεδεμένο με την οργανική ουσία όπως και το H^+ και διίστανται σε $pH > 5,5$. Η μη ανταλλάξιμη οξύτητα είναι σημαντική σε ορισμένες κατηγορίες εδαφών (όξινα, ισχυρώς αποσαθρωμένα). Το άθροισμα της ενεργού, ανταλλάξιμου και μη ανταλλάξιμου οξύτητας αποτελεί την **ολική οξύτητα**, το δε άθροισμα της ανταλλάξιμου και μη, ονομάζονταν παλαιότερα **εφεδρική οξύτητα**.

Τα αποθέματα των ιόντων H^+ στη στερεή φάση διαφέρουν από έδαφος σε έδαφος, εξαρτώμενα από το βαθμό αποσάθρωσής του, από το είδος του μητρικού υλικού και από την περιεκτικότητά του σε άργιλο και οργανική ουσία. Είναι επόμενο λοιπόν να διαφέρει και η ποσότητα του εδαφοβελτιωτικού που απαιτείται, για τη βελτίωση των εδαφών που διαφέρουν ως προς αυτά τα χαρακτηριστικά.

Στη σημερινή εδαφολογική πρακτική, ο διαχωρισμός της οξύτητας γίνεται **μεθοδολογικά** σε δυο κατηγορίες, δηλαδή:

1. την **ενεργό οξύτητα** (active acidity) που προσδιορίζεται με τη χρήση ενός ουδέτερου άλατος (π.χ. KCl) και περιλαμβάνει τόσο τα H^+ του εδαφικού διαλύματος όσο και τις ανταλλάξιμες μορφές H^+ και Al^{3+} και
2. την **εν δυνάμει ολική οξύτητα** (total potential acidity) που προσδιορίζεται με ένα ρυθμιστικό διάλυμα με pH 8,2 παρουσία ενός κατιόντος με ισχυρή ικανότητα ανταλλαγής, π.χ. Ba^{2+} . Αυτή η κατηγορία οξύτητας περιλαμβάνει όλες τις δυνατές πηγές υδρογονοκατιόντων. Η εν δυνάμει ολική οξύτητα είναι πάντοτε πολλές φορές μεγαλύτερη από την ενεργό, π.χ. αρκετές δεκάδες φορές σε ένα αμμώδες έδαφος με μικρή Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) και αρκετές εκατοντάδες φορές σε ένα αργιλώδες, πλούσιο σε οργανική ουσία, έδαφος.

Πράγματι, ένα αμμώδες έδαφος με μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (μικρή ΙΑΚ) και $pH = 4$, χρειάζεται μόνο 100 kg ανθρακικού ασβεστίου ανά στρέμμα, για να αυξηθεί η τιμή του pH στο 6,5. Ένα αργιλώδες έδαφος όμως, με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (μεγάλη ΙΑΚ) και το ίδιο pH, όπως και το προηγούμενο έδαφος, χρειάζεται περίπου 2.500 kg $CaCO_3$ ανά στρέμμα για το ίδιο αποτέλεσμα.

4.2 Ενεργός οξύτητα

4.2.1 Μέθοδοι

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για τον προσδιορισμό της ενεργού οξύτητας των εδαφών, μπορεί να είναι χρωματομετρικές ή ηλεκτρομετρικές. Οι πρώτες στηρίζονται στη χρήση κατάλληλων χρωστικών ουσιών ή δεικτών, των οποίων το χρώμα αλλάζει ανάλογα με το pH. Οι δεύτερες στηρίζονται στη χρήση οργάνων, των pH-μέτρων με τα οποία γίνεται η μέτρηση του pH με τη βοήθεια εκλεκτικών ως προς τα ιόντα H^+ ηλεκτροδίων

ύαλου, σε συνδυασμό με ηλεκτρόδια αναφοράς, εκ καλομέλανος, τα οποία στα σύγχρονα pH μετρα είναι ενσωματωμένα σε ένα συνδυασμένο ηλεκτρόδιο.

Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε αιωρήματα ή εκχυλίσματα εδάφους, τα οποία προκύπτουν με τη χρήση νερού ή κανονικού διαλύματος KCl ή διαλύματος 0,01 M CaCl₂. Σε κάθε περίπτωση η τιμή του μετρούμενου pH είναι διαφορετική, γι' αυτό πρέπει πάντα να γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τη μέτρηση, προκειμένου να ληφθεί υπόψη στην ερμηνεία του αποτελέσματος.

Την τιμή του μετρούμενου pH την επηρεάζουν και άλλοι παράγοντες, όπως ο τύπος των ανόργανων και οργανικών συστατικών του εδάφους που συμβάλλουν στην οξύτητά του, η αναλογία εδάφους/νερού, του μέσου στο οποίο μετράται το pH, η συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών αλάτων, η παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα στο έδαφος, η επίδραση του αιωρήματος και λάθη που σχετίζονται με τη ρύθμιση του οργάνου.

Για περισσότερες λεπτομέρειες για τα ανωτέρω, ο φοιτητής παραπέμπεται στο εγχειρίδιο των Εργαστηριακών ασκήσεων της Εδαφολογίας (Σινάνης, 2015). Στη συνέχεια, περιγράφεται ο προσδιορισμός του pH σε νερό και σε διάλυμα 0,01 M CaCl₂. Η χρήση διαλύματος 0,01 M CaCl₂ είναι ευρύτατα διαδεδομένη στα εδαφολογικά εργαστήρια, οι τιμές δε του μετρούμενου pH εμφανίζονται ανεξάρτητες από την αναλογία εδάφους/εκχυλιστικού και από την επίδραση του αιωρήματος.

4.2.2 Υλικά και όργανα

- Ηλεκτρονικό pH-μετρο (πεχάμετρο) με συνδυασμένο ηλεκτρόδιο.
- Φορητός αναδευτήρας.
- Κατάλληλα γυάλινα σκεύη.

4.2.3 Αντιδραστήρια

Διάλυμα 0,01 M CaCl₂ (CaCl₂ · 2H₂O, MB = 147,02).

Παρασκευάζεται με διάλυση 1,47 g CaCl₂ · 2H₂O, σε 1 L αποσταγμένο νερό.

4.2.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Ζυγίζονται 5 g αεροξηρανθέντος εδάφους και μεταφέρονται ποσοτικά σε ένα μικρό χάρτινο δοχείο μιας χρήσεως. Προστίθενται 10 mL αποσταγμένου νερού και ακολουθεί η ανάδευσή τους, με τη βοήθεια του φορητού αναδευτήρα για 5 sec. Το σχηματιζόμενο αιώρημα, αφήνεται σε ηρεμία για 10 λεπτά. Στη συνέχεια, εισάγεται το ηλεκτρόδιο του pH-μετρου στο αιώρημα και με ταυτόχρονη ελαφριά ανάδευση του δείγματος, λαμβάνεται η ένδειξη και σημειώνεται ως pH στο νερό ή pH_w.

Στην περίπτωση που το pH πρόκειται να μετρηθεί σε αιώρημα με διάλυμα 0,01 M CaCl₂, τότε σε 5 g εδάφους προστίθενται 10 mL διαλύματος 0,01 M CaCl₂, ακολουθεί η ίδια διαδικασία, όπως και προηγούμενα και το pH σημειώνεται ως pH_s.

4.3 Ανάγκες σε άσβεστο (LR, Lime Requirement)

4.3.1 Εισαγωγή

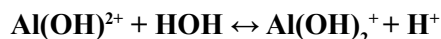
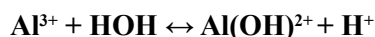
Ο όρος «ανάγκες σε άσβεστο» ενός όξινου εδάφους, αναφέρεται στην ποσότητα «γεωργικής ασβέστου» (που είναι CaCO₃, Ca(OH)₂, ή δολομίτης) που απαιτείται για να ανέβει το pH του σε μια επιθυμητή τιμή. Η ποσότητα αυτή όπως και αλλού αναφέρθηκε, διαφέρει από έδαφος σε έδαφος και εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα των ιόντων H⁺ της στερεής φάσης, που μπορούν να αντιδράσουν με την προστιθέμενη γεωργική άσβεστο. Αναλυτικότερα:

Είναι γνωστό ότι στην οξύτητα των εδαφών δεν συμβάλλουν μόνο αυτά καθαυτά τα ιόντα H⁺, αλλά και άλλα κατιόντα, που συμβάλλουν στη δημιουργία H⁺, με σπουδαιότερο το αργίλιο. Τα κατιόντα αυτά, όπως και το H⁺ συγκατατούνται στη στερεή φάση σε διάφορες θέσεις και με διάφορους μηχανισμούς και κατά την όξινη υδρόλυσή τους δημιουργούν υδρογονοκατιόντα.

Η υδρόλυση των ιόντων Al³⁺ καθώς επίσης και των ιόντων Fe³⁺ συμβαίνει κυρίως σε πολύ όξινα εδάφη που έχουν pH < 4,5. Κατ' αυτή τα ιόντα Al³⁺ και Fe³⁺ ενώνονται με τα OH⁻, μετατρέπονται αρχικά σε υδροξυλιωμένα παράγωγα και τελικά σε δυσδιάλυτα οξείδια, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ιόντων H⁺. Σε τιμές pH μεταξύ

4,5 και 7 η υδρόλυση αυτή αφορά κυρίως, ή μόνο πολυυδροξυλιωμένα παράγωγα του αργιλίου $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ τα οποία έχουν προσροφηθεί στη στερεή φάση.

Οι προαναφερόμενες διαδοχικές υδρολύσεις φαίνονται στη συνέχεια



Η απομάκρυνση αυτών των υδροξυλιωμένων παραγώγων από τη στερεή φάση, έχει ως αποτέλεσμα και την αύξηση της ΙΑΚ των κολλοειδών. Η αύξηση αυτή, αποδίδεται στην απελευθέρωση θέσεων ανταλλαγής στους διαστιβαδικούς χώρους, ορυκτών με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1, οι οποίες ήταν εξουδετερωμένες από τα υδροξυλιωμένα παράγωγα του αργιλίου.

Ο δεύτερος τρόπος εμπλουτισμού του εδαφοδιαλύματος με ιόντα H^+ , αφορά τη στερεή φάση λόγω διάστασης ιόντων OH από τις θραυστιγενείς ακμές των ορυκτών της αργίλου και τις ενεργές ομάδες της οργανικής ουσίας, (COOH , OH) όπου συγκρατούνται με ομοιοπολικούς δεσμούς και δίστανται καθώς το pH αυξάνει.

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, όταν σε ένα έδαφος με $\text{pH} = 4$ προστίθεται ανθρακικό ασβέστιο, σε επαρκή ποσότητα για να αυξήσει το pH του στο 7, καθώς το pH αυξάνει, οι διάφοροι παράγοντες που συμβάλουν στην εκδήλωση της εδαφικής οξύτητας, εξουδετερώνονται με την ακόλουθη σειρά. H^+ , Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ και τέλος τα ιόντα H^+ , που προέρχονται από τη διάσταση των ενεργών ομάδων της οργανικής ουσίας και από τις θραυστιγενείς ακμές της αργίλου.

Η διάσταση σε υψηλό pH των ιόντων H^+ , από τις ενεργές ομάδες της οργανικής ουσίας και από τις θραυστιγενείς ακμές των ορυκτών της αργίλου, έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση αρνητικού φορτίου από τη στερεή φάση. Το φορτίο αυτό χαρακτηρίζεται ως **εξαρτώμενο από το pH** (pH dependent charge) και για την εκδήλωσή του, συνεισφέρει περισσότερο η οργανική ουσία από ότι η άργιλος. Πράγματι βρέθηκε ότι, ενώ σε $\text{pH} = 2,5$ η συμβολή της οργανικής ουσίας και των ορυκτών της αργίλου είναι ίδια, σε $\text{pH} = 8$ η συμβολή της οργανικής ουσίας γίνεται εξαπλάσια, εκείνης των ορυκτών της αργίλου.

Επομένως, η προσθήκη γεωργικής ασβέστου στα εδάφη και η συνεπαγόμενη αύξηση του pH , συμβάλλει και στην αύξηση της ΙΑΚ των εδαφών, είτε με την απελευθέρωση θέσεων ανταλλαγής από τα θετικά φορτισμένα υδροξυλιωμένα παράγωγα του αργιλίου, είτε με αύξηση του βαθμού διάστασης των ιόντων H^+ , από τις ενεργές ομάδες της οργανικής ουσίας και τις θραυστιγενείς ακμές των ορυκτών της αργίλου.

4.3.2 Μέθοδοι

Από την προηγούμενη ανάλυση έγινε σαφές ότι στην οξύτητα του εδάφους συνεισφέρουν πολλοί παράγοντες και μάλιστα κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Είναι αναμενόμενο λοιπόν ότι, οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των αναγκών σε άσβεστο, θα διαφέρουν ως προς τον βαθμό αντίδρασης με αυτούς τους παράγοντες και επομένως θα εκτιμούν διαφορετικά τις πραγματικές ανάγκες.

Πριν την ανάπτυξη ταχέων εργαστηριακών δοκιμών, για την εκτίμηση των αναγκών σε άσβεστο για κάθε έδαφος, η ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου, υπολογίζονταν με πειράματα στο χωράφι. Τα πειράματα αυτά ήταν χρονοβόρα, γι' αυτό αντικαταστάθηκαν από ταχείες εργαστηριακές μεθόδους. Παρόλα αυτά, τα πειράματα στο χωράφι εξακολουθούν και σήμερα να χρησιμοποιούνται, για την αξιολόγηση των εργαστηριακών μεθόδων.

Στις εργαστηριακές μεθόδους που έχουν καθιερωθεί σήμερα, εφαρμόζονται τεχνικές οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Επώαση διωγραμένων δειγμάτων εδάφους με διάφορες ποσότητες ανθρακικού ασβεστίου ή υδροξειδίου του ασβεστίου (κλασική μέθοδος). Η μέτρηση του pH καθενός δείγματος ξεχωριστά, μετά το τέλος του χρόνου επώασης, βοηθά στον υπολογισμό της ποσότητας του ανθρακικού ασβεστίου, που απαιτείται για την άνοδο του pH στην επιθυμητή τιμή.
- Τιτλοδότηση δειγμάτων εδάφους με διαλύματα μιας βάσης. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη βάση είναι το διάλυμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$, το οποίο προστίθεται σε προοδευτικά αυξανόμενες ποσότητες, σε ίσα δείγματα εδάφους. Μετά από αρκετές ημέρες παραμονής, μετράται το pH κάθε δείγματος και χαράσσεται η καμπύλη ογκομέτρησης. Με τη βοήθεια αυτής της καμπύλης, υπολογίζεται η ισοδύναμη ποσότητα CaCO_3 που απαιτείται για την αύξηση του pH του εδάφους σε μια επιθυμητή τιμή.
- Ισορροπία εδάφους με ρυθμιστικά διαλύματα. Για την εκτίμηση των αναγκών σε άσβεστο, οι περισσότερες μέθοδοι της κατηγορίας αυτής, στηρίζονται στην μεταβολή του pH ενός ρυθμιστικού διαλύματος, που επιφέρει η οξύτητα του προς μελέτη εδάφους.

Οι μέθοδοι της τελευταίας κατηγορίας είναι ταχύτερες και παράλληλα ακριβέστερες, γι' αυτό τείνουν να καθιερωθούν. Από τις πιο γνωστές μεθόδους ήταν η μέθοδος Woodruff (1948), η οποία όμως πολύ αργότερα αποδείχθηκε από τους Mc Lean et al., 1976, ότι εκτιμά σχεδόν τις μισές από τις πραγματικές ανάγκες ασβέστωσης των εδαφών, γιαυτό και βελτιώθηκε. Άλλες μέθοδοι είναι η μέθοδος Mehlich (1976) με απλό ρυθμιστικό διάλυμα, η μέθοδος Yuan (1974, 1976) με διπλό ρυθμιστικό διάλυμα, η μέθοδος SMP (1961) με απλό ρυθμιστικό διάλυμα και η βελτίωσή της (1977, 1978) με διπλό ρυθμιστικό διάλυμα.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση μεθόδων που ανήκουν στις τρεις προαναφερόμενες κατηγορίες.

4.3.3.1 Τιτλοδότηση με διάλυμα Ca(OH)_2 ή τμηματική προσθήκη στερεού Ca(OH)_2

Οι δύο μέθοδοι, χωρίς να είναι πιο ακριβείς από τη μέθοδο SMP (αναλυτική παρουσίασή της, ακολουθεί) αναφέρονται εδώ, γιατί η εφαρμογή τους ανταποκρίνεται στις εργαστηριακές συνθήκες του μαθήματος.

4.3.3.2 Υλικά και όργανα

- Δοκιμαστικοί σωλήνες
- Σιφόνια μετρήσεως
- Προχοΐδα των 25 mL
- Παλινδρομικός ανακινητήρας
- Ηλεκτρονικό pH-μετρο

4.3.3.3 Αντιδραστήρια

Κορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου $\approx 0,04 \text{ N}$.

Παρασκευάζεται με προσθήκη περίπου 10 g Ca(OH)_2 σε 4-5 L αποσταγμένου νερού, απαλλαγμένου από το CO_2 . Το διάλυμα ανακινείται περιοδικά και αφήνεται να αντιδράσει για δύο ημέρες. Η περίσσεια των στερεών αφήνεται στον πυθμένα της φιάλης και το υπερκείμενο διαυγές διάλυμα, μεταφέρεται με σιφωνισμό, σε άλλη φιάλη εφοδιασμένη με σύστημα δέσμευσης του CO_2 της ατμόσφαιρας. Η ακριβής συγκέντρωση του Ca(OH)_2 προσδιορίζεται, τιτλοδοτώντας το διάλυμα με πρότυπο διάλυμα 0,1 N HCl.

4.3.3.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Σε οκτώ δοκιμαστικούς σωλήνες, μεταφέρονται ποσοτικά από 2,5 g αεροξηρανθέντος εδάφους στον καθένα. Στη συνέχεια σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα προστίθενται νερό και διάλυμα Ca(OH)_2 συνολικού όγκου 11 mL και σε αναλογίες όπως φαίνεται παρακάτω:

| | | | | | | | | |
|-------------------------|----|----|---|---|---|---|---|---|
| Δοκ. Σωλήνας | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| mL H_2O | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 |
| mL Ca(OH)_2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Οι δοκιμαστικοί σωλήνες αφού πωματιστούν, ανακινούνται για λίγο και στη συνέχεια το περιεχόμενο αφήνεται σε ηρεμία για τρεις ημέρες. Στο διάστημα των τριών ημερών, γίνεται περιοδική ανακίνηση των δειγμάτων. Μετά το τριήμερο εξισορρόπησης, μετράται το pH σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα.

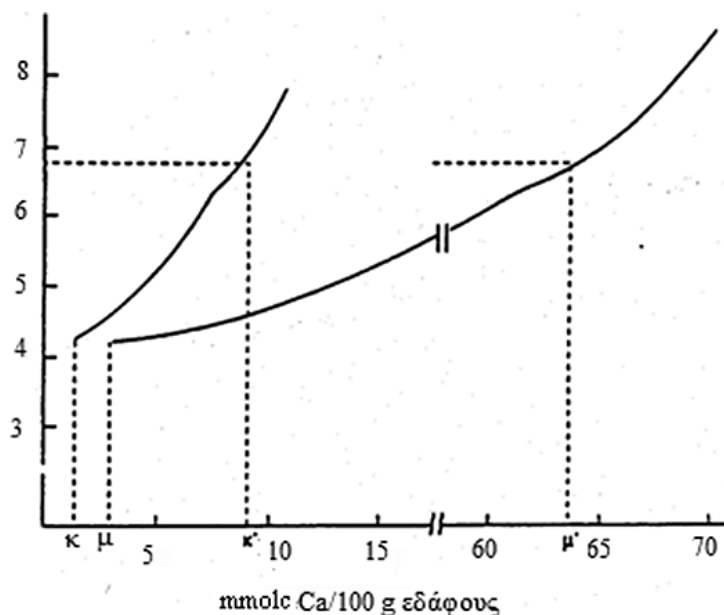
Σημείωση:

1. Πειραματικά έχει βρεθεί ότι η αποκατάσταση της ισορροπίας μεταξύ του προστιθέμενου Ca(OH)_2 και της στερεής φάσης, απαιτεί περισσότερες των τριών ημερών. Στις τρεις μέρες έχει αποκατασταθεί η ισορροπία σε ποσοστό 97% που θεωρείται ικανοποιητικό.
2. Επειδή ο χρόνος παραμονής των αιωρημάτων είναι μεγάλος, συνιστάται η προσθήκη σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα μιας σταγόνας χλωροφορμίου ή θυμόλης, για την αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών

4.3.3.5 Υπολογισμός του αποτελέσματος

Οι ποσότητες του Ca(OH)_2 που προστέθηκαν στους δοκιμαστικούς σωλήνες, εκφράζονται σε $\text{mmol}_e/100 \text{ g}$ ή ισοδύναμης ποσότητας CaCO_3 εκφρασμένης σε kg/στρέμμα. Στη συνέχεια, οι τιμές αυτές συσχετίζονται με

τις επιτευχθείσες τιμές pH σε κάθε προσθήκη $\text{Ca}(\text{OH})_2$, αντίστοιχα και λαμβάνεται η γραφική παράσταση σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Η παράσταση αυτή (Σχήμα 4.1) δίδει την ποσότητα του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή ισοδύναμη ποσότητα CaCO_3 , που απαιτείται για την επίτευξη μιας επιθυμητής τιμής pH, στο συγκεκριμένο έδαφος.



Σχήμα 4.1 Καμπύλη ογκομέτρησης δύο εδαφών (κ. Καολινιτικού, μ. Μοντοριλλονιτικού)

Εναλλακτική μέθοδος (για έδαφη με μικρή ρυθμιστική ικανότητα)

Αντιδραστήριο. 0,025 N $\text{Ca}(\text{OH})_2$, δηλ. 0,925 g $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{L}$.

Διαδικασία. (η αναλογία εδάφους : νερό διατηρείται στο 1:5).

Ζυγίζονται 2 g εδάφους σε 7 σωλήνες των 50 mL ή ποτήρια και 0 - 1,2 - 2,4 - 4,8 - 6 - 7,2 - 9,6 - mL του 0,025 N $\text{Ca}(\text{OH})_2$ με προσθήκη νερού μέχρι όγκου 10 mL.

Οι ποσότητες αυτές του διαλύματος $\text{Ca}(\text{OH})_2$ αντιστοιχούν σε: 0 - 1,5 - 3 - 6 - 7,5 - 9 - 12 mmol_c/100 g. εδάφους ή 0 - 300 - 600 - 1200 - 1500 - 1800 - 2400 kg CaCO_3 ανά στρ. βάθους 30 cm.

Τα αιωρήματα αφήνονται προς εξισορρόπηση επί 3 ημέρες με περιοδική ανακίνηση. Κατόπιν μετράται το pH του αιωρήματος και ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως στην πρώτη μέθοδο.

4.3.4.1 Προσδιορισμός αναγκών σε άσβεστο, με τμηματική προσθήκη στερεού $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (κλασική μέθοδος κατά Charman and Pratt, 1961, με τροποποίηση)

4.3.4.2 Αντιδραστήρια

$\text{Ca}(\text{OH})_2$, αναλυτικό

4.3.4.3 Διαδικασία

Ζυγίζονται 10 g. εδάφους σε καθένα από 8 σωλήνες των 100 mL, (ή μικρά ποτήρια), οι οποίοι αριθμούνται από 1 έως 8 και προστίθενται 0 - 5,55 - 11,1 - 14,8 - 22,2 - 33,3 - 44,6 - 88,8 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$, στους σωλήνες 1 έως 8, αντίστοιχα.

Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν σε:

0 - 1,5 - 3 - 4 - 6 - 9 - 12 - 24 mmol_c βάσεως ανά 100 g εδάφους.

ή 0 - 300 - 600 - 800 - 1200 - 1800 - 2400 - 4800 kg CaCO_3 ανά στρέμμα και για βάθος 30 cm.

Γίνεται ανάμιξη του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ με το έδαφος και προστίθενται 50 mL νερού σε όλους τους σωλήνες.

Τα αιωρήματα αφήνονται προς εξισορρόπηση επί 3 ημέρες με περιοδική ανάμιξη με τη βοήθεια ναλίνης ράβδου και κατόπιν μετράται το pH του αιωρήματος.

Χαράσσεται η καμπύλη ογκομετρήσεως του εδάφους (μεταβολή του pH συναρτήσει της ποσότητας βάσεως εκφρασμένης σε mmol_c/100 g. εδάφους ή kg CaCO₃ ανά στρέμμα) από την οποία ευρίσκεται το ποσόν ασβέστου που απαιτείται να προστεθεί στο έδαφος για να ανέλθει το pH σε κάποια επιθυμητή τιμή.

Σημείωση. Εφόσον η καμπύλη ογκομετρήσεως δεν είναι ικανοποιητική με τα 8 σημεία, (π.χ. εδάφη με μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα) αυτά μπορεί να αυξηθούν με επακόλουθη αύξηση της ποσότητας βάσεως.

4.3.5.1 Μέθοδος SMP (Shoemaker, McLean and Pratt) ενός ρυθμιστικού διαλύματος όπως τροποποιήθηκε από Van Lierop, 1990

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο διαδεδομένη, αφού αποτελεί μια ταχεία εργαστηριακή δοκιμή και τα αποτελέσματα που δίνει (ειδικότερα η βελτιωμένη της μορφή που ακολουθεί) είναι ακριβή.

4.3.5.2 Υλικά και όργανα

- pH-μετρο
- Ρυθμιστικά διαλύματα με pH 7 και 4
- Παλινδρομικός ανακινητήρας

4.3.5.3 Αντιδραστήρια

Ρυθμιστικό διάλυμα, SMP buffer (1L)

1. Σε περίπου 500 mL αποσταγμένου νερού διαλύουμε τα εξής αντιδραστήρια:
 - a. 1,8 g p-nitrophenol (MB = 139,11) [ή 4-nitrophenol]
 - b. 3,0 g χρωμικού καλίου (K₂CrO₄, MB = 194,2)
 - c. 53,1 g γλωριούχου ασβεστίου ενύδρου [CaCl₂·2H₂O, MB = 147,02]
2. Διαλύουμε 2,0 g οξικού-Ca [Ca(CH₃COO)₂·H₂O, MB = 176,19] σε περίπου 200 mL αποσταγμένου νερού.

Αναμιγνύουμε τα διαλύματα 1 και 2 με έντονη ανάδευση επί περίπου 2 h. Η ανάμιξη μπορεί να γίνει σε μεγάλο ποτήρι (βαθμολογημένο για 1 L) ή σε ογκομετρική φιάλη του 1 L.

Προσθέτουμε 2,5 mL τριαιθανολαμίνης [N(NH₂·CH₂OH)₃, MB = 149,19] με ανάδευση και προσθέτουμε αποσταγμένο νερό μέχρι το 1 L. Συνεχίζουμε την ανάδευση μέχρι πλήρους διαλύσεως. Επειδή η τριαιθανολαμίνη είναι υγρό πυκνόρρευστο και η προσθήκη 2,5 mL με σιφόνιο είναι ανακριβής, προετοιμάζουμε συνήθως ένα αραιότερο διάλυμα (και από αυτό χρησιμοποιούμε 10 mL ανά L του ρυθμιστικού SMP. Το αραιότερο αυτό διάλυμα παρασκευάζεται με ζύγιση 70,12 g τριαιθανολαμίνης [62,5 mL x 1,122 (πυκνότητα τριαιθανολ.) = 70,12] και αραιώση σε τελικό όγκο 250 mL.

Ρυθμίζουμε το pH στο 7,5 ± 0,02 με 4 N NaOH ή 4 N HCl. Διηθούμε από υαλοβάμβακα (αν χρειάζεται).

Σημείωση: Το ρυθμιστικό SMP πρέπει να προστατεύεται από το CO₂ και την υγρασία της ατμόσφαιρας με ειδική συστοιχία προσροφητικών μέσων (drierite-ascarite-drierite). Τότε το pH του παραμένει σταθερό και μάλιστα μπορεί να χρησιμοποιείται και ως standard για τον έλεγχο της καλής λειτουργίας του πεχαμέτρου.

Τιτλοδότηση (προαιρετική)

Η ρυθμιστική ικανότητα του ρυθμιστικού ελέγχεται με ογκομέτρηση 20 mL του ρυθμιστικού από το pH 7,5 στο pH 5,0, με χρησιμοποίηση 0,1 N HCl. Θα πρέπει να καταναλώνονται 0,28 mmol_c HCl/pH (2,8 mL HCl ανά μονάδα pH).

4.3.5.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Παίρνουμε 10 cm³ του αεροξηρανθέντος εδάφους με την ειδική μεζούρα των 10 cm³ (ή ζυγίζουμε περίπου 12 g). Η μέτρηση του όγκου των 10 cm³ γίνεται ως εξής: Γεμίζουμε τη μεζούρα πάνω από το χείλος της, τη χτυπάμε ελαφρά 2-3 φορές στο πάγκο για να συμπιέσουμε ελαφρά το έδαφος και απομακρύνουμε την περίσσεια του εδάφους με μια λεπτή σπάτουλα. Μεταφέρουμε το έδαφος σε κωνική φιάλη των 150 mL, προσθέτουμε 20 mL του SMP buffer, κλείνουμε τη φιάλη αεροστεγώς και ανακινούμε σε μηχανικό ανακινητήρα με ρυθμό 200-250 παλινδρομήσεων ανά λεπτό. Η ανακίνηση διαρκεί 15 min. Οι φιάλες ανοίγονται, παραμένουν σε ηρεμία επί 15 min και ακολουθεί η μέτρηση του pH. Ο χρόνος ανακινήσεως και παραμονής είναι βαρύνουσας σημασίας, ενώ ο ρυθμός ανακινήσεως δεν επηρεάζει τόσο το αποτέλεσμα. Οι ανάγκες σε άσβεστο υπολογίζονται από την τιμή του pH εδάφους-ρυθμιστικού (BrH) και την βοήθεια του Πίνακα 4.1 ή των εξισώσεων 1, 2, 3 και 4).

4.3.5.5 Σχόλια

Συνήθως ασβεστώνουμε για να επιτύχουμε τελικό pH = 6,5 (εξάιρεση τα οργανικά εδάφη). Ποιά εδάφη χρειάζονται ασβέστωση εξαρτάται από το αρχικό pH εδάφους-νερού και το είδος της καλλιέργειας. Η αρχική SMP μέθοδος ενός ρυθμιστικού διαλύματος, συνήθως υπερεκτιμούσε τις ανάγκες εδαφών με μικρές απαιτήσεις σε άσβεστο (ελαφρά αμμώδη εδάφη) Για τέτοια εδάφη είχε προταθεί η μέθοδος SMP διπλού ρυθμιστικού διαλύματος, η οποία όμως δεν έχει εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα. Επιπλέον, ο Van Lierop (1990) επεσήμανε το δύσχρηστο και το επιπλέον κόστος εφαρμογής της μεθόδου του διπλού ρυθμιστικού διαλύματος και πρότεινε την περιγραφόμενη τροποποιημένη βαθμολόγηση της SMP μεθόδου του ενός ρυθμιστικού διαλύματος, σχεδιασμένη ώστε να βελτιώνει την ακρίβεια υπολογισμού των αναγκών σε άσβεστο, εδαφών με μικρή ρυθμιστική ικανότητα. Ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις, για να αποφευχθεί η υπερασβέστωση, στόχος- pH θα είναι το 6 και η εκ νέου μέτρηση του pH μετά την προσθήκη της ασβέστου. Όταν οι ανάγκες σε άσβεστο είναι μεγάλες π.χ. 2000 kg/στρέμμα, τότε πάλι στόχος-pH θα είναι γύρω στο 6 με 6,4 και η εφαρμογή της ασβέστου γίνεται τμηματικά για να διευκολυνθεί η εφαρμογή και η ανάμιξη της με το έδαφος.

Αν είναι επιθυμητό να γίνει βελτίωση μέχρι βάθους 30 cm, αυξάνεται αναλογικά η ποσότητα του CaCO₃.

Αν η γεωργική άσβεστος είναι μικροτέρας εξουδετερωτικής ικανότητας του καθαρού CaCO₃ (100%) τότε πάλι η ποσότητα της υπολογίζεται ανάλογα. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί CaO (πράγμα σπάνιο) τότε τα kg CaCO₃ του Πίνακα πολλαπλασιάζονται επί 0,56 για να ευρεθούν τα kg CaO που πρέπει να προστεθούν. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί υδράσβεστος [Ca(OH)₂] τότε ο συντελεστής είναι 0,74.

| BpH | pH-στόχος | | | |
|-----|-----------|--------|--------|--------|
| | pH 5,5 | pH 6,0 | pH 6,5 | pH 7,0 |
| 6,9 | 50 | 60 | 70 | 90 |
| 6,8 | 60 | 100 | 120 | 150 |
| 6,7 | 70 | 140 | 180 | 220 |
| 6,6 | 90 | 180 | 250 | 280 |
| 6,5 | 120 | 230 | 330 | 360 |
| 6,4 | 160 | 290 | 400 | 440 |
| 6,3 | 200 | 350 | 490 | 520 |
| 6,2 | 250 | 420 | 570 | 600 |
| 6,1 | 310 | 490 | 660 | 700 |
| 6,0 | 380 | 560 | 750 | 800 |
| 5,9 | 450 | 650 | 850 | 900 |
| 5,8 | 530 | 730 | 950 | 1000 |
| 5,7 | 610 | 820 | 1050 | 1120 |
| 5,6 | 700 | 920 | 1160 | 1240 |
| 5,5 | 800 | 1020 | 1270 | 1360 |
| 5,4 | 910 | 1130 | 1400 | 1490 |
| 5,3 | 1020 | 1240 | 1500 | 1620 |
| 5,2 | 1140 | 1360 | 1620 | 1760 |
| 5,1 | 1270 | 1480 | 1750 | 1900 |
| 5,0 | 1400 | 1610 | 1880 | 2040 |
| 4,9 | 1550 | 1740 | 2010 | 2200 |

Πίνακας 4.1 Ανάγκες σε άσβεστο(καθαρό CaCO₃) σε kg ανά στρέμμα για βάθος 20 cm (Van Lierop, W. 1990., Copyright by SSSA).

$$\text{pH στόχος} = 5,5$$

$$\text{ανάγκες σε άσβεστο (CaCO}_3 \text{ kg/στρ.)} = 350 (\text{BpH})^2 - 4877 (\text{BpH}) + 17046 \text{ (εξισ. 1)}$$

$$\text{pH στόχος} = 6,0$$

$$\text{ανάγκες σε άσβεστο (CaCO}_3 \text{ kg/στρ.)} = 257,3 (\text{BpH})^2 - 3876 (\text{BpH}) + 14558 \text{ (εξισ. 2)}$$

$$\text{pH στόχος} = 6,5$$

$$\text{ανάγκες σε άσβεστο (CaCO}_3 \text{ kg/στρ.)} = 187 (\text{BpH})^2 - 3182 (\text{BpH}) + 13123 \text{ (εξισ. 3)}$$

$$\text{pH στόχος} = 7,0$$

$$\text{ανάγκες σε άσβεστο (CaCO}_3 \text{ kg/στρ.)} = 245,5 (\text{BpH})^2 - 3950 (\text{BpH}) + 15685 \text{ (εξισ. 4)}$$

Σημείωση:

1. **BpH** συμβολίζει το pH εδάφους-ρυθμιστικού
2. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα, οι τιμές αναγκών σε άσβεστο είναι πολύ μικρότερες των παλαιών και αυτών που πρότεινε στην αρχική SMP μέθοδο του ενός ρυθμιστικού διαλύματος (McLean, 1982). Αυτό οφείλεται: α) στην τροποποίηση που επέφερε ο Van Lierop στη βαθμολόγηση της μεθόδου, ώστε να αποφευχθεί η υπερασβέστωση και β) στην αμφισβήτηση της παλιότερης πίστης ότι οι θεωρητικά υπολογιζόμενες ανάγκες σε άσβεστο πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί ένα συντελεστή (1,4 ή 1,5 ή και 2) για να επιτευχθεί το επιθυμητό pH στο χωράφι. Σήμερα όμως δεχόμαστε ότι η χρήση τέτοιου αυθαίρετου συντελεστή δεν δικαιολογείται (εκτός και αν ευρεθεί πειραματικά) διότι οι περισσότεροι εμπορικά χρησιμοποιούμενοι ασβεστόλιθοι έχουν αποτελεσματικότητα 100% .
3. Ο ασβεστόλιθος (CaCO₃ ή δολομίτης) για να είναι αποτελεσματικός πρέπει να είναι **επαρκώς λειοτριβημένος**. Η ποιότητα του ασβεστόλιθου, όσον αφορά τον βαθμό λειοτριβήσεώς του ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Ως γενικός κανόνας αναφέρεται: Πρέπει το σύνολο των κόκκων του ασβεστόλιθου να είναι μικρότερο των 2 mm και τουλάχιστον το 50 % αυτών να είναι μικρότερο των 0,15 mm. Μέγεθος κόκκων μικρότερο των 0,84 mm (20 mesh) είναι γενικά ικανοποιητικό.

4.3.6.1 Μέθοδος SMP, διπλού ρυθμιστικού διαλύματος (όπως περιγράφεται από τον Mc Lean 1982)

Είναι εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού των αναγκών σε άσβεστο εδαφών με μικρή ΙΑΚ (μικρές απαιτήσεις σε γεωργική άσβεστο). Είναι, όπως αναφέρθηκε, μέθοδος σχετικά χρονοβόρος και κοστοβόρος και δεν έχει εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα, αν και τα πρώτα πειράματα έδειξαν ότι είναι αρκετά ακριβής για εδάφη με μικρές απαιτήσεις σε γεωργική άσβεστο, γιαντό και συνιστάται για τέτοιου είδους εδάφη (Sims, 1996).

4.3.6.2 Υλικά και όργανα

Ίδια όπως και στην 4.3.5.2

4.3.6.3 Αντιδραστήρια

Ίδια όπως και στην 4.3.5.3 και επιπλέον διάλυμα HCl 0,206 N.

4.3.6.4 Διαδικασία προσδιορισμού

5g αεροξηραθέντος εδάφους μεταφέρονται σε κωνική φιάλη των 100 mL, προστίθενται 5 mL νερού και 10 mL του ρυθμιστικού διαλύματος, με pH 7,5. Η φιάλη πωματίζεται και ακολουθείται η διαδικασία ανακίνηση – παραμονή – μέτρηση pH (pH₁) όπως στην προηγούμενη μέθοδο.

Στη συνέχεια προστίθεται στο αιώρημα μια ποσότητα HCl ισοδύναμη με την ποσότητα που απαιτείται για να μειώσει το pH σε 10 mL ρυθμιστικού διαλύματος από 7,5 σε 6,0 (ευρίσκεται σε ξεχωριστό δείγμα του ρυθμιστικού διαλύματος και είναι περίπου 1 mL, 0,206 N HCl = 0,206 mmol).

Επαναλαμβάνεται η ανακίνηση του αιωρήματος για 10 λεπτά και στη συνέχεια αφού αφεθεί σε ηρεμία για

30 λεπτά, λαμβάνεται η τιμή του pH (pH₂).

Η οξύτητα A, με βάση τις μετρηθείσες τιμές pH₁ και pH₂ σε mmol_c/5g εδάφους υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A = \Delta pH_2 \frac{\Delta d_2^0}{\Delta pH_2^0} + \left[\left(\Delta pH_1 \frac{\Delta d_1^0}{\Delta pH_1^0} - \Delta pH_2 \frac{\Delta d_2^0}{\Delta pH_2^0} \right) \left(\frac{6,5 - pH_2}{pH_1 - pH_2} \right) \right]$$

όπου: pH₁ και pH₂ οι τιμές pH που μετρήθηκαν μετά την προσθήκη του ρυθμιστικού διαλύματος με pH=7,5 και μετά τη μείωσή του στο 6,0, αντίστοιχα.

$$\Delta pH_1 = 7,5 - pH_1$$

$$\Delta pH_2 = 6,0 - pH_2$$

$\Delta d_1^0 / \Delta pH_1^0$ = Μεταβολή της οξύτητας, ανά μονάδα μεταβολής του pH στα 10 mL ρυθμιστικού διαλύματος με pH = 7,5. Ευρίσκεται με τιτλοδότηση, σε ξεχωριστό δείγμα του ρυθμιστικού διαλύματος (αναφέρθηκε παραπάνω), με τη βοήθεια πρότυπου διαλύματος HCl. Η παραπάνω μεταβολή είναι περίπου 0,137 mmol_c/μονάδα pH. (0,206 mmol_c/1,5 = 0,137).

$\Delta d_2^0 / \Delta pH_2^0$ = Μεταβολή οξύτητας, ανά μονάδα μεταβολής του pH στα 10 mL ρυθμιστικού διαλύματος με pH = 6,0, η οποία είναι περίπου 0,129 mmol_c/μονάδα pH και ευρίσκεται σε ξεχωριστό δείγμα του ρυθμιστικού διαλύματος

6,5 = Η επιθυμητή τιμή pH ή οποιαδήποτε άλλη τιμή pH επιλεγεί.

4.3.6.5 Υπολογισμός του αποτελέσματος

Η ποσότητα της απαιτούμενης ασβέστου υπολογίζεται από τις εξισώσεις:

$$\text{Ποσότητα ασβέστου σε mmol}_c/100 \text{ g} = 1,69 (20A) - 0,86 = 33,8 A - 0,86$$

$$\text{ή σε kg/στρεμ. (για βάθος 20 cm)} = 4550 A - 116$$

4.3.7.1 Εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού των αναγκών σε άσβεστο με τη χρήση ρυθμιστικού διαλύματος, προταθείσα από Sikora, (2006)

Το ρυθμιστικό διάλυμα κατά SMP περιέχει p-nitrophenol και εξασθενές χρώμιο (λόγω της παρουσίας του χρωμικού καλίου). Οι δύο αυτές ουσίες θεωρούνται καρκινογόνες και επομένως για τα απόβλητα ενός Εργαστηρίου που χρησιμοποιεί αυτές τις ουσίες και πρέπει να ακολουθείται ένα αυστηρό πρωτόκολλο χειρισμού τους. Για τον λόγο αυτό ο Sikora (2006) πρότεινε ένα νέο ρυθμιστικό διάλυμα (συμβολιζόμενο με S) που δεν περιέχει τις επικίνδυνες αυτές ουσίες και που είναι ισοδύναμο με το ρυθμιστικό διάλυμα SMP. Δηλαδή, το pH εδάφους-ρυθμιστικού S (ενός οξίνου εδάφους) είναι ίδιο με το pH εδάφους-ρυθμιστικού SMP και οι υπολογιζόμενες ανάγκες σε άσβεστο είναι ίδιες με εκείνες που υπολογίζονται με την εφαρμογή του ρυθμιστικού SMP.

4.3.7.2 Ρυθμιστικό διάλυμα S (για 1 L).

- Χλωριούχο κάλιο (KCl, M.B. = 74,55): **149 g**
- Οξικό οξύ πυκνό (CH₃COOH, MB = 60,05): 5,36 g ή **5,11 mL**
- MES [2-(N-morpholino) ethanesulfonic acid] monohydrate (C₆H₁₃NO₄S · H₂O, MB = 213,24): **6,7 g**
- Imidazole (C₃H₄N₂, MB = 68,08): **0,936 g**
- Triethanolamine (HOCH₂CH₂)₃N, MB = 149,19): 10,38 g ή **9,23 mL**
- Καυστικό Νάτριο (40% NaOH): **5 mL**

Διαλύεται πλήρως το KCl σε περίπου 750 mL νερού. Προστίθενται τα υπόλοιπα συστατικά **με τη σειρά που αναφέρεται παραπάνω**, προσέχοντας να διαλύεται πλήρως το καθένα πριν την προσθήκη του επομένου. Το οξικό οξύ, η τριαιθανολαμίνη και το καυστικό νάτριο προστίθενται ως υγρά, τα άλλα ως στερεά. Συμπληρώνεται ό όγκος (1 L) με νερό και προστίθενται μερικές σταγόνες 40% NaOH ή 1:1 HCl ώστε να επιτευχθεί pH = 7,7 ± 0,01.

Έλεγχος pH. Μετά την πάροδο αρκετού χρόνου ώστε να σταθεροποιηθεί το pH, 50 mL του διαλύματος

φέρονται σε ποτήρι των 100 mL και μετράται το pH. Πρέπει να είναι $7,7 \pm 0,01$. Προστίθενται 50 mL νερού στο ρυθμιστικό διάλυμα, γίνεται ανάδευση και μετράται το pH. Πρέπει να είναι $7,53 \pm 0,03$. Προστίθενται 5 mL HCl, 0,5 N, γίνεται ανάδευση και μετράται το pH. Πρέπει να είναι $5,68 \pm 0,06$.

4.3.7.3 Μέτρηση pH εδάφους-ρυθμιστικού.

Σε κωνική φιάλη των 200 mL, μεταφέρονται 10 cm³ εδάφους και 10 mL νερού, το αιώρημα αναδεύεται με υαλινή ράβδο και μετά παραμονή 10 λεπτών μετράται το pH. Κατόπιν προστίθενται 10 mL του ρυθμιστικού διαλύματος S, το αιώρημα ανακινείται επί 10 λεπτά σε μηχανικό ανακινητήρα (με ρυθμό 200 περίπου παλινδρομήσεων ανά λεπτό) και κατόπιν μετράται το pH εδάφους-ρυθμιστικού διαλύματος. Βάσει αυτού του BpH, υπολογίζονται οι ανάγκες σε άσβεστο από τον Πίνακα 4.1.

Προσοχή !!! Αν το pH εδάφους-ρυθμιστικού S είναι μικρότερο του 5,3, οι ανάγκες σε άσβεστο πρέπει να υπολογίζονται με χρήση του ρυθμιστικού διαλύματος SMP.

4.4 Εκτέλεση της ασβέστωσης

Τα πιο συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται για την ασβέστωση όξινων εδαφών, είναι ο ασβεστόλιθος (CaCO₃), ο δολομίτης (CaCO₃ MgCO₃), το οξείδιο του ασβεστίου ή πυρωθείς ασβεστόλιθος (CaO) και το υδροξείδιο του ασβεστίου ή σβησμένη άσβεστος (Ca(OH)₂). Τα δύο τελευταία υλικά, ο κοινός ασβέστης δηλαδή και η σβησμένη άσβεστος, είναι καυστικά και γι' αυτό είναι δύσκολα στην εφαρμογή τους. Αφού υπολογισθεί η ποσότητα του υλικού ασβέστωσης, που απαιτείται για να αυξηθεί η τιμή του pH ενός όξινου εδάφους μέχρι μια επιθυμητή τιμή, το υλικό θα πρέπει να διασκορπισθεί και να ενσωματωθεί ομοιόμορφα στο έδαφος μέχρι βάθος 20-30 cm.

Τα σοβαρότερα προβλήματα της ασβέστωσης των όξινων εδαφών είναι, η ομοιομορφία στο διασκορπισμό και την ενσωμάτωση του υλικού ασβέστωσης. Για καλύτερα αποτελέσματα συνιστάται, ειδικά στην περίπτωση εδαφών με μεγάλες ανάγκες ασβέστωσης, η εφαρμογή του υλικού να γίνεται σε δύο ή τρεις δόσεις (όπως αναφέρθηκε). Π.χ. αν οι ανάγκες ασβέστωσης ενός όξινου εδάφους είναι 1500 kg/στρεμ., είναι καλό η ποσότητα αυτή να εφαρμόζεται σε τρεις δόσεις των 500 kg η κάθε μια και μάλιστα σε διαφορετικές καλλιεργητικές περιόδους. Εφαρμογή του υλικού ασβέστωσης σε δόσεις, γίνεται και όταν αυτό δεν ενσωματώνεται στο επιθυμητό βάθος, αλλά αφήνεται στην επιφάνεια του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή, το υλικό ασβέστωσης εφόσον οι συνθήκες υγρασίας και στράγγισης είναι ικανοποιητικές, εξουδετερώνει την οξύτητα του εδάφους και προχωρεί προς τα κάτω με ταχύτητα 1 έως 2 cm ανά έτος.

Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι, στην περίπτωση που το υλικό ασβέστωσης ενσωματωθεί στα 10cm αντί στα 20 cm, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μισή ποσότητα. Οι αλλαγές στο pH ενός όξινου εδάφους μετά την εφαρμογή του υλικού ασβέστωσης, επέρχονται σχετικά γρήγορα. Πειράματα στο χωράφι έχουν δείξει, ότι το pH στόχος επιτυγχάνεται συνήθως 8 έως 12 εβδομάδες μετά την εφαρμογή και ενσωμάτωση του υλικού. Θα πρέπει να τονισθεί ότι το αποτέλεσμα εξαρτάται κυρίως από την αρχική τιμή pH ενός όξινου εδάφους. Είναι δηλαδή δυσκολότερο να αυξηθεί το pH ενός εδάφους από το 6,5 στο 7, από ότι από το 5 στο 6,5.

Διάφοροι ερευνητές κατά καιρούς έχουν προτείνει, οι προσδιοριζόμενες ανάγκες ασβέστωσης, σε CaCO₃, να πολλαπλασιάζονται επί ένα συντελεστή 1,4 έως 1,5 ή και 2. Ο συντελεστής αυτός είχε ως στόχο να εξουδετερώνει σφάλματα στην ασβέστωση όξινων εδαφών, που σχετίζονται με την ομοιομορφία του διασκορπισμού του υλικού ασβέστωσης και την αδυναμία μεγάλων τεμαχιδίων ασβεστόλιθου του εμπορίου να αντιδράσουν γρήγορα. Η χρήση αυτού του συντελεστή, αφενός εγκυμονούσε σοβαρό κίνδυνο υπερασβέστωσης και αφετέρου (όπως αναφέρθηκε) η χρήση τέτοιων αυθαιρέτων συντελεστών δεν δικαιολογείται.

Από τα χρησιμοποιούμενα υλικά ασβέστωσης που αναφέρθηκαν στην αρχή, το πιο διαδεδομένο είναι ο ασβεστόλιθος. Είναι δυνατό όμως αντί αυτού, σε εδάφη πτωχά σε μαγνήσιο, να χρησιμοποιηθεί ο δολομίτης. Ακόμα σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατό ο ασβεστόλιθος να αντικατασταθεί από τη σβησμένη άσβεστο. Στην περίπτωση αυτή, οι ανάγκες ασβέστωσης που όπως έχει αναφερθεί αλλού εκφράζονται σε kg CaCO₃/στρεμ. πρέπει να μειώνονται περίπου κατά 26% με τη βοήθεια ενός συντελεστή ίσου με 0,74.

Η σβησμένη άσβεστος στοιχίζει περισσότερο απ' ότι ο ασβεστόλιθος, προτιμάται όμως πολλές φορές, γιατί πιστεύεται ότι εξουδετερώνει την οξύτητα του εδάφους και αυξάνει το pH του πολύ γρηγορότερα απ' ότι ο ασβεστόλιθος. Για να αξιοποιηθεί όμως αυτό το πλεονέκτημα της σβησμένης ασβέστου, θα πρέπει να ενσωματωθεί αμέσως μετά την εφαρμογή της στο έδαφος. Αν αφεθεί έστω και για λίγο στην επιφάνεια του εδάφους, προσροφά CO₂ από την ατμόσφαιρα και μετατρέπεται σε CaCO₃.

4.5 Η βελτίωση των ασβεστούχων εδαφών

Ασβεστούχα εδάφη, χαρακτηρίζονται τα εδάφη εκείνα που περιέχουν ελεύθερο ανθρακικό ασβέστιο με συνέπεια το pH τους να κυμαίνεται από 7,1-8,4.

Η παρουσία CaCO_3 θεωρήθηκε υπεύθυνη για τη χλώρωση σιδήρου στις καλλιέργειες. Σήμερα όμως γνωρίζουμε ότι και άλλοι παράγοντες συντελούν στην εμφάνιση τροφopenίας σιδήρου. Επίσης οι παλαιότεροι χαρακτηρισμοί «έδαφος πτωχό» ή «έδαφος πλούσιο» σε CaCO_3 δεν έχουν φυσιολογική σημασία διότι δεν έχει βρεθεί κάποιος κανόνας ότι ένα έδαφος με CaCO_3 6% είναι «καλλίτερο» από ένα έδαφος με CaCO_3 12%

Ο τρόπος αντιμετώπισης του CaCO_3 του εδάφους είναι ότι διατηρεί το εδαφικό pH στην αλκαλική περιοχή, ευαίσθητες καλλιέργειες στην παρουσία CaCO_3 πρέπει να αποφεύγονται, η ύπαρξη CaCO_3 καθιστά πιθανή αλλά όχι βεβαία την εμφάνιση τροφopenιών σιδήρου και άλλων μικροθρεπτικών, το έδαφος με CaCO_3 αντέχει στην εφαρμογή οξινοποιών λιπασμάτων (π.χ. θειική αμμωνία) και ότι η παρουσία ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος σε μικρά ποσοστά, είναι επωφελής για τις φυσικές κυρίως, αλλά και τις χημικές του ιδιότητες. Η μεγάλη περιεκτικότητα όμως των εδαφών σε CaCO_3 επηρεάζει καθοριστικά τις παραπάνω ιδιότητες και κυρίως την αφομοιωσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.

Σε πολλές περιπτώσεις η περιεκτικότητα των εδαφών σε CaCO_3 υπερβαίνει ακόμα και το 40%, πράγμα που αποβαίνει εις βάρος της παρουσίας άλλων ενεργών ωφέλιμων συστατικών του εδάφους π.χ. άργιλος. Στην περίπτωση αυτή επηρεάζεται η παραγωγικότητά τους, κατά συνέπεια είναι δυνατόν να ενταχθούν στην κατηγορία των προβληματικών εδαφών.

Τα ασβεστούχα εδάφη είναι διαδεδομένα σε περιοχές με ξηρό κλίμα, όπως συμβαίνει με όλη την Ελλάδα με εξαίρεση τη δυτική και βέβαια σε περιοχές των οποίων το μητρικό υλικό ήταν πλούσιο σε ανθρακικό ασβέστιο, όπως π.χ. ασβεστόλιθοι, μάργες κ.τ.λ. Η παρουσία του ανθρακικού ασβεστίου στα περισσότερα εδάφη είναι εμφανής σε όλο το βάθος της κατατομής, με συμμετοχή και στα τρία κλάσματα μηχανικής σύστασης. Σε μεγάλης ηλικίας εδάφη, με ανεπτυγμένη κατατομή, είναι δυνατό να εμφανισθεί στον Β ορίζοντα ένας calcic διαγνωστικός ορίζοντας. Στην περίπτωση αυτή, ο Α ορίζοντας περιέχει λιγότερο CaCO_3 ή καθόλου. Τα πιο σοβαρά προβλήματα των ασβεστούχων εδαφών είναι:

- Ο σχηματισμός κρούστας στην επιφάνεια του εδάφους.
- Η δημιουργία σκληρού στρώματος στο υπέδαφος.
- Η μικρή διαθεσιμότητα του φωσφόρου και των μικροθρεπτικών, ιδιαιτέρως του σιδήρου
- Η αδυναμία πολλών από αυτά να συγκρατούν νερό.

Τα περισσότερα από τα προαναφερόμενα προβλήματα, σχετίζονται με το ποσοστό του CaCO_3 που ανήκει στο κλάσμα της ιλύος και της αργίλου, το οποίο χαρακτηρίζεται και ως «ενεργό ανθρακικό ασβέστιο» και πολλές φορές προσδιορίζεται ξεχωριστά.

Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος «βελτίωση» για την περίπτωση των ασβεστούχων εδαφών, ο οποίος όμως δεν ταυτίζεται με την ακριβή έννοια του όρου. Κατά κανόνα αναφέρεται στη λήψη μιας σειράς μέτρων, για την αντιμετώπιση πιο πολύ των προβλημάτων τους, παρά για τη μεταβολή των ιδιοτήτων τους. Ο λόγος είναι προφανής, αφού κάθε προσπάθεια απομάκρυνσης ή εξουδετέρωσης του ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος, με την εφαρμογή θείου, είναι ή οικονομικά ασύμφορη ή τεχνικά ανεφάρμοστη.

Παράδειγμα: Η απομάκρυνση του CaCO_3 επιτυγχάνεται με την εφαρμογή θείου το οποίο οξειδώνεται βιοχημικά προς H_2SO_4 , που αντιδρά με το CaCO_3 προς σχηματισμό θειικού ασβεστίου, το οποίο ως ευδιάλυτο εκπλύνεται. Ένα στρέμμα εδάφους με περιεκτικότητα σε CaCO_3 ίση με 10% και βάθος 30 cm, έχει μάζα 360 τόννους από τους οποίους οι 36 τόννοι είναι CaCO_3 . Αυτό ισοδυναμεί με $36/50 = 0,72$ τόννοι-ισοδύναμα CaCO_3 (50 = ισοδύναμο βάρους CaCO_3). Για την εξουδετέρωσή τους θα πρέπει να εφαρμοστούν οι αντίστοιχοι τόννοι-ισοδύναμα θείου, δηλαδή $0,72 \times 32/2 = 11,52$ τόννοι θείου (ΑΒ θείου = 32, σθένος = 2), πράγμα που είναι ασύμφορο και πρακτικά ανεφάρμοστο.

Πρώτο μέτρο για την αντιμετώπιση των προβλημάτων των ασβεστούχων εδαφών, είναι η επιλογή της κατάλληλης καλλιέργειας, αφού μόνο ανθεκτικές καλλιέργειες μπορούν να αποδώσουν σε εδάφη με αλκαλικό pH. Τέτοιες καλλιέργειες είναι τα ψυχανθή, η μηδική και ηλιάνθος από τα φυτά μεγάλης καλλιέργειας, το αμπέλι στο κατάλληλο υποκείμενο, η ελιά, η δαμασκηλιά και η βερικοκιά, από τις δενδρώδεις. Δεύτερο μέτρο είναι η αποφυγή εγκατάστασης καλλιεργειών ευαίσθητων σε αλκαλικό pH. Τέτοιες καλλιέργειες είναι το ακτινίδιο και η κασταλιά από τις δενδρώδεις και η αζαλέα και η γαρδένια από τα ανθοκομικά φυτά. Τρίτο μέτρο είναι η συστηματική χρήση οξινοποιών λιπασμάτων (π.χ. θειική αμμωνία) για τη λίπανση καλλιεργειών που εγκαθίστανται σε ασβεστούχα εδάφη. Η εφαρμογή τέτοιων λιπασμάτων δημιουργεί όξινους θύλακες στο έδαφος, στους οποίους διευκολύνεται η εκμετάλλευση από τις ρίζες του φωσφόρου και των μικροθρεπτικών.

Για την αποφυγή δημιουργίας κρούστας, η παρουσία της οποίας συνδέεται και με το γεγονός ότι πολλά ασβεστούχα εδάφη είναι πτωχά σε οργανική ουσία, συνιστάται η επιλογή του συστήματος στάγδην άρδευσης.

Η αδυναμία των ασβεστούχων εδαφών να συγκρατούν αρκετό νερό προς διάθεση των φυτών, αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού κατά τις αρδεύσεις, σε μικρά χρονικά διαστήματα. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ο κίνδυνος αλάτωσης του εδάφους.

Τέλος, η αδυναμία των ασβεστούχων εδαφών να εφοδιάζουν τα φυτά με φώσφορο και ιχνοστοιχεία, αντιμετωπίζεται με γενναίες, κατά δόσεις, φωσφορικές λιπάνσεις και διαφυλλική εφαρμογή των μικροθρεπτικών.

Βιβλιογραφία

- Chapman, D.H., and P.F. Pratt 1961.** Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California Press.
- Μισοπολινός, Ν.Δ., 1991.** Προβληματικά εδάφη. Μελέτη – πρόβλεψη – βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη Θεσσαλονίκη.
- Mc Lean, O.E. 1982.** Soil pH and lime requirement. p. 199-223. In. A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds) Methods of soil analysis. Part 2. Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Mehlich, A., S. S. Bowling, and A. L. Hatfield. 1976.** Buffer pH acidity in relation to nature of soil acidity and expression of lime requirement. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 7:253-263
- Shoemaker, H.E., E.O. McLean, and P.F. Pratt. 1961.** Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:274-277.
- Sikora, F. J. 2006.** A buffer that mimics the SMP buffer for determining lime requirements of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 474-486.
- Sims, T. J. 1996.** Lime Requirement. In D. L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis Part 3. Chemical methods, Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2015.** Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα-Κάλλιπος, Ηράκλειο Κρήτης.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2008.** Διαχείριση Εδαφών. Εκδόσεις του ιδίου. Ηράκλειο Κρήτης.
- Van Lierop, W. 1990.** Soil pH and Lime requirement determination. p. 73-126. In R.L. Westerman (ed.) Soil testing and plant analysis. Soil sci. soc. Am., book series:3, Madison, WI.
- Woodruff, C. M. 1948.** Testing soils for lime requirement by means of a buffer solution and the glass electrode. Soil Sci. 66: 53 – 63.
- Yuan, T. L. 1974.** A double buffer method for the determination of lime requirement of acid soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 38: 437 – 440.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η ΕΝΑΛΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

5.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό, στο εδαφικό διάλυμα των κανονικών εδαφών, υπάρχει μια μικρή ποσότητα υδατοδιαλυτών κατιόντων σε ισορροπία με μια πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ανταλλάξιμων κατιόντων, που βρίσκονται προσροφημένα στη στερεή φάση. Επίσης είναι γνωστό ότι, τα φυτά παραλαμβάνουν το σύνολο σχεδόν των απαιτούμενων για την ανάπτυξή τους θρεπτικών στοιχείων από το εδαφικό διάλυμα. Με βάση αυτά τα δεδομένα, θα ήταν λογικό να υποθέσει κανείς, ότι μια αύξηση της συγκέντρωσης των υδατοδιαλυτών αλάτων στο εδαφικό διάλυμα, θα είχε θετική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών.

Στην πραγματικότητα όμως αυτό δεν είναι επιθυμητό, για δυο κυρίως λόγους. Ο πρώτος λόγος συνδέεται με τις απώλειες θρεπτικών στοιχείων λόγω έκπλυσης του εδαφικού διαλύματος το χειμώνα και ο δεύτερος, με την αδυναμία των φυτών να παραλαμβάνουν νερό και θρεπτικά στοιχεία, εξαιτίας του αυξημένου οσμωτικού δυναμικού, που συνεπάγεται η μεγάλη συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα. Παρόλα αυτά, η εντατικοποίηση των καλλιεργειών που συνεπάγεται αλόγιστη χρήση χημικών λιπασμάτων και συνήθως κακής ποιότητας νερού, μοιραία συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των υδατοδιαλυτών αλάτων, η οποία οδηγεί στην εναλάτωση των εδαφών.

Η εναλάτωση των εδαφών επίσης, εκδηλώνεται σε περιοχές με ξηρό και θερμό κλίμα, όπου τα φαινόμενα της εξατμισοδιαπνοής είναι έντονα, οπότε αφενός ευνοείται η συσσώρευση αλάτων στο επιφανειακό έδαφος και αφετέρου αυξάνεται η τριχοειδής ανύψωση του νερού της υπεδάφειας στάθμης (που συνήθως έχει αυξημένη αλατότητα) και επομένως η εναπόθεση αλάτων στο επιφανειακό έδαφος. Τέλος, αλατούχα εδάφη σχηματίζονται σε λεκάνες απορροής που δέχονται τα νερά των γύρω περιοχών, κοντά σε θάλασσα όπου δέχονται την επίδραση του θαλάσσιου νερού και όταν η υπεδάφεια στάθμη του νερού βρίσκεται υψηλά.

5.2 Μέθοδοι

Η αλατότητα του εδάφους μέσω μετρήσεως των συγκεντρώσεων των επιμέρους υδατοδιαλυτών αλάτων ή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, EC, θα πρέπει θεωρητικώς να μετράται στο φυσικό εδαφικό διάλυμα. Η μέτρηση αυτή όμως είναι πρακτικά δύσκολη και γιαυτό το λόγο, η αλατότητα στο εργαστήριο μετράται στα εξής εδαφικά εκχυλίσματα.

1. **Σε υδατικά εκχυλίσματα που προκύπτουν από διάφορες σχέσεις εδάφους : νερού.** Οι πιο συνηθισμένες σχέσεις είναι οι 1:1, 1:2 και 1:5. Στις περιπτώσεις αυτές, το αεροξηραμένο έδαφος και η ανάλογη ποσότητα νερού ανακινούνται για μια ώρα και στη συνέχεια το εκχύλισμα παραλαμβάνεται με διήθηση σε κενό, με τη βοήθεια ηθμού Whatman No 42.

Η χρήση των παραπάνω εκχυλισμάτων για τις προαναφερόμενες μετρήσεις τείνει να εγκαταλειφθεί, γιατί τα λαμβανόμενα αποτελέσματα δεν συσχετίζονται αξιόπιστα με τις αντιδράσεις των φυτών. Ο λόγος είναι ότι αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, όπως φαινόμενα υδρόλυσης, ιονικής ανταλλαγής, διάλυσης κ.τ.λ. Η διάλυση επηρεάζει πολύ τα αποτελέσματα σε εδάφη πλούσια σε γύψο.

2. **Στο εκχύλισμα της πάστας κορεσμού του εδάφους.** Είναι το πιο διαδεδομένο μέσο για μετρήσεις της αλατότητας και των συγκεντρώσεων των επιμέρους υδατοδιαλυτών αλάτων, τα δε λαμβανόμενα αποτελέσματα είναι σχετικά αξιόπιστα, διότι: α) το εκχύλισμα κορεσμού προσομοιάζει περισσότερο το φυσικό εδαφικό διάλυμα και β) τα λαμβανόμενα αποτελέσματα συσχετίζονται ικανοποιητικά με τις αντιδράσεις των φυτών.

Σχεδόν όλα τα δεδομένα αντοχής των καλλιεργειών στην αλατότητα, στηρίζονται σε μετρήσεις στο εκχύλισμα κορεσμού, όπως επίσης και η πρόβλεψη του ESP μέσω της SAR.

3. **Στο χωράφι,** η συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών αλάτων υπολογίζεται με τη βοήθεια διάφορων συσκευών, όπως ο ανιχνευτής τεσσάρων ηλεκτροδίων, ο ανιχνευτής ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής κ.ά. Οι συσκευές αυτές, χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκτίμηση του συνόλου των υδατοδιαλυτών αλάτων και επομένως και της αλατότητας, δεν μπορούν όμως να μας πληροφορήσουν για τις συγκεντρώσεις των επιμέρους υδατοδιαλυτών ιόντων.

Ακολουθούν, ο τρόπος παρασκευής της πάστας, της παραλαβής του εκχυλίσματος κορεσμού και οι μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_{ex}) και των υδατοδιαλυτών αλάτων.

5.2.1 Παρασκευή της πάστας κορεσμού του εδάφους

5.2.1.1 Υλικά και όργανα

- Αναλυτικός ζυγός
- Πλαστικά δοχεία
- Προχοΐδες 100 mL
- Σπάτουλες
- Φυγόκεντρος ή
- Χωνιά Buchner με ηθμό Whatman No 42 και
- Αντλία κενού

5.2.1.2 Αντιδραστήρια

Διάλυμα εξαμεταφωσφορικού νατρίου 0,1% W/V. Παρασκευάζεται με διάλυση 0,1 g $(NaPO_3)_6$ σε νερό και αραιώση μέχρι τα 100 mL.

5.2.1.3 Διαδικασία παραλαβής του εκχυλίσματος κορεσμού

Ζυγίζονται 200 g αεροξηραμένου εδάφους γνωστής υγρασίας και μεταφέρονται σε ένα πλαστικό δοχείο. Προστίθενται σταδιακά μικρές ποσότητες αποσταγμένου νερού και αναμιγνύονται με το έδαφος με τη βοήθεια σπάτουλας, μέχρι περίπου τον κορεσμό του. Η πάστα του εδάφους καλύπτεται και αφήνεται για μισή περίπου ώρα, προκειμένου να διαποτιστεί το έδαφος από το νερό. Στη συνέχεια, προστίθεται νερό μέχρι τον κορεσμό της.

Το σημείο κορεσμού έχει επιτευχθεί, όταν η πάστα αποκτήσει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

α) Η επιφάνεια της πάστας πρέπει να γυαλίζει, χωρίς όμως να εμφανίζει περίσσεια νερού.

β) Αν με τη σπάτουλα χαραχθεί ένα αυλάκι στην πάστα, τότε αυτό θα πρέπει να κλείνει σιγά-σιγά με μετακίνηση υγρής μάζας εδάφους.

γ) Η πάστα πρέπει να γλιστρά ελεύθερα πάνω στη σπάτουλα, όταν αφεθεί να πέσει από αυτή.

Μετά τον έλεγχο του κορεσμού του δείγματος με βάση τα προαναφερόμενα κριτήρια, στη συνέχεια η πάστα αφήνεται σε ηρεμία, κατά προτίμηση για όλη τη νύχτα ή το λιγότερο για 4 ώρες. Γίνεται επανέλεγχος των χαρακτηριστικών της και αν διαπιστωθεί ότι η ποσότητα του νερού που προστέθηκε, υπερβαίνει το νερό κορεσμού, προστίθεται ακόμα μια μικρή προζυγισμένη ποσότητα εδάφους, προκειμένου να αποκτήσει η πάστα τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά. Η συνολική ποσότητα του νερού που προστέθηκε στο έδαφος, ανάγεται επί τοις εκατό ξηρού βάρους εδάφους και αντιπροσωπεύει το SP (Saturation percentage).

Μετά την παρέλευση του 4ωρου ισορροπίας και τον τελικό έλεγχο, ακολουθεί η διήθηση της πάστας του εδάφους με τη βοήθεια χωνιού Buchner με ηθμό Whatman No 42 και συσκευής κενού. Η διήθηση σταματά όταν αρχίζει να περνά αέρας από το χωνί. Όταν το παραλαμβανόμενο εκχύλισμα είναι θολό, η διήθηση επαναλαμβάνεται. Τέλος, για κάθε 25 mL εκχυλίσματος προστίθεται μια σταγόνα διαλύματος $(NaPO_3)_6$ 0,1% για να αποφευχθεί η καθίζηση του υδατοδιαλυτού Ca^{2+} ως $CaCO_3$ κατά την παραμονή του εκχυλίσματος. Μια εναλλακτική λύση, αντί της προσθήκης εξαμεταφωσφορικού νατρίου, είναι η αραιώση του εκχυλίσματος σε αναλογία 1:1 με αποσταγμένο νερό. Τέλος, προς αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών είναι δυνατή η προσθήκη θυμόλης, στο εκχύλισμα.

Το εκχύλισμα φυλάσσεται σε ψυγείο στους 4° C μέχρι να υποβληθεί σε ανάλυση. Είναι ευνόητο ότι η προσθήκη του $(NaPO_3)_6$ είναι περιττή αν το εκχύλισμα αναλυθεί αμέσως. Η ποσότητα του εκχυλίσματος που παραλαμβάνεται διηθώντας με τη βοήθεια χωνιού Buchner αντιστοιχεί, στο ένα τέταρτο έως ένα τρίτο περίπου του νερού κορεσμού.

5.2.2 Προσδιορισμός της αλατότητας

5.2.2.1 Υλικά και όργανα

Αγωγιμόμετρο

5.2.2.2 Αντιδραστήρια

Πρότυπα διαλύματα KCl 0,01 και 0,1 N. Παρασκευάζονται, το πρώτο με διάλυση 0,7456 g KCl σε νερό και αραιώση μέχρι τελικό όγκο 1 L στους 25° C. Το διάλυμα αυτό έχει αγωγιμότητα 1,412 dS/m στους 25° C (ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα). Το δεύτερο, με διάλυση 7,456 g KCl σε νερό και αραιώση μέχρι τελικό όγκο 1L στους 25° C. Το διάλυμα αυτό έχει αγωγιμότητα 12,90 dS/m στους 25° C.

5.2.2.3 Διαδικασία προσδιορισμού

Αρχικά εκπλύνεται η κυψελίδα του οργάνου και στη συνέχεια γεμίζεται διαδοχικά, με τα πρότυπα διαλύματα του KCl. Ρυθμίζεται το όργανο να δείχνει την καθορισμένη για τα συγκεκριμένα διαλύματα, αγωγιμότητα. Στη συνέχεια, εκπλύνεται η κυψελίδα, γεμίζεται με το εκχύλισμα κορεσμού και λαμβάνεται η ένδειξη του οργάνου.

5.2.2.4 Αξιολόγηση του αποτελέσματος

Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος κορεσμού της πάστας του εδάφους (EC_{ex}), αποτελεί δείκτη της περιεκτικότητάς του σε υδατοδιαλυτά άλατα και η οποία περιεκτικότητα εκφράζεται στις παρακάτω διάφορες μονάδες.

$$EC_{ex} \text{ σε dS/m} \times 10 = \text{mmol}_{(\pm)}/L \text{ υδατοδιαλυτών κατιόντων ή ανιόντων}$$

ή

$$EC_{ex} \text{ σε dS/m} \times 640 = \text{mg/L υδατοδιαλυτών αλάτων}$$

ή

$$EC_{ex} \text{ σε dS/m} \times 740 = \text{mg/L υδατοδιαλυτών αλάτων για εδάφη πλούσια σε γύψο.}$$

Πειράματα στο χωράφι με πολλές καλλιέργειες, στα οποία συσχετίστηκε η EC_{ex} με τη συμπεριφορά των φυτών, έδειξαν ότι η πλειονότητά τους ζημιώνεται όταν η EC_{ex} είναι μεγαλύτερη των 4 dS/m. Η τιμή αυτή των 4 dS/m απετέλεσε το όριο για τον εδαφολογικό χαρακτηρισμό των εδαφών ως «αλατούχων». Όπως φαίνεται όμως από τα δεδομένα του Πίνακα 5.1, για πολλές καλλιέργειες η απόδοση μειώνεται ακόμα και όταν η EC_{ex} είναι μικρότερη των 4 dS/m, π.χ. το κρίσιμο όριο για τις δενδρώδεις είναι τα 2 dS/m, ή για αρκετές ποώδεις το κρίσιμο όριο είναι το 1 dS/m. Επίσης, ανθεκτικές καλλιέργειες (π.χ. σπαράγγι, ζαχαρότευτλα), ευδοκμούν και σε τιμές μεγαλύτερες των 4 dS/m. Επομένως, το κριτήριο για την εξυγίανση των «αλατούχων» εδαφών (έκπλυση αλάτων), εξαρτάται από την τιμή της EC_{ex} και το κρίσιμο όριο αντοχής της καλλιέργειας στην αλατότητα. Λεπτομέρειες για τη διαδικασία της εξυγίανσης των αλατούχων εδαφών, παρατίθενται στο θεωρητικό μέρος του μαθήματος της Διαχείρισης των Εδαφών (Σινάνης, 2008). Στο υποκεφάλαιο 5.3 που ακολουθεί, δίδονται οι βασικές μόνο αρχές που διέπουν την εξυγίανση των αλατούχων εδαφών.

Τα υδατοδιαλυτά άλατα, όπως αναφέρθηκε, είναι υπεύθυνα για την αύξηση του οσμωτικού δυναμικού στο εδαφικό διάλυμα, με συνέπεια την αδυναμία των ριζών να προσλάβουν νερό ή την έξοδο νερού από τα κύτταρα της ρίζας, γεγονός που οδηγεί στην νέκρωσή τους. Η σχέση που συνδέει την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος κορεσμού και του οσμωτικού δυναμικού του εδαφοδιαλύματος είναι η ακόλουθη:

$$EC_{ex} \text{ σε dS/m} \times 0,4 = \text{Οσμωτικό δυναμικό σε bar}$$

Στον Πίνακα 5.1 φαίνεται η αντοχή των διάφορων καλλιεργειών στην αλατότητα του εδάφους.

5.3 Βελτίωση των αλατούχων εδαφών

Σημειώνεται ότι οι τεχνικές λεπτομέρειες της βελτίωσης των αλατούχων εδαφών, όπως και των νατριομένων που ακολουθούν, είναι εκτός του αντικειμένου του παρόντος βιβλίου και γιαυτό το λόγο δίδονται μόνο οι γενικές αρχές.

Όπως αναφέρθηκε, ο συνήθης τρόπος εξυγίανσης των αλατούχων εδαφών είναι η έκπλυσή τους, που περιλαμβάνει διαλυτοποίηση των ευδιάλυτων αλάτων, μετακίνησή τους στην εδαφική κατατομή και την απομάκρυνσή τους από τη ζώνη του ριζοστρώματος. Ο βαθμός εκπλύσεως εξαρτάται από την αρχική τιμή της EC_{ex} ,

την αντοχή της καλλιέργειας στην αλατότητα και το βάθος της υπεδάφειας στάθμης. Η έκπλυση των αλάτων δημιουργεί στραγγιστικό νερό υψηλής αλατότητας που μπορεί να ρυπάνει τον υπόγειο υδροφορέα και επομένως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της έκπλυσης των αλάτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε πρόγραμμα εξυγίανσης αλατούχων εδαφών. (Tanji, 1996) Βάση των ανωτέρω, οι εργασίες που απαιτούνται για την εξυγίανση των αλατούχων εδαφών περιλαμβάνουν, (Μισοπολινός, 1991, Σινάνης, 2008):

- Την κατασκευή στραγγιστικού δικτύου, ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία της έκπλυσης των αλάτων, αλλά και να ταπεινωθεί η υπόγεια στάθμη του νερού και επομένως να ελαττωθεί η τριχοειδής ανύψωση του νερού και η εκ νέου αλάτωση του εδάφους.
- Ισοπέδωση της επιφάνειας του εδάφους, ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση του νερού σε θύλακες.
- Πριν την έναρξη της διαδικασίας της έκπλυσης, θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το εφαρμοζόμενο στην επιφάνεια νερό, θα φτάνει μέχρι το στραγγιστικό δίκτυο, γιατί αν η δομή του εδάφους είναι υποβαθμισμένη, (νατριωμένο) ή υπάρχει αδιαπέραστος ορίζοντας μέχρι το στραγγιστικό δίκτυο, η δομή πρέπει πρώτα να ανακτηθεί και ο αδιαπέραστος ορίζοντας να καταστραφεί.
- Έναρξη της έκπλυσης των αλάτων, μετά τις ως ανωτέρω προπαρασκευαστικές εργασίες, με παροχή νερού σταδιακά και με ρυθμό μικρότερο της διηθητικότητας, γεγονός που καθιστά την έκπλυση πιο αποτελεσματική. Η διηθητικότητα ελέγχεται σταδιακά γνωστού όντως ότι μειώνεται με την πρόοδο της έκπλυσης λόγω της μείωσης της συγκέντρωσης των αλάτων και ρυθμίζεται ανάλογα η προσφερόμενη ποσότητα νερού έκπλυσης.

5.4 Υδατοδιαλυτά κατιόντα-ανιόντα στο εκχύλισμα κορεσμού

Τα πιο ενδιαφέροντα ιόντα στο εκχύλισμα κορεσμού (που προσεγγίζει το εδαφικό διάλυμα) είναι, από τα κατιόντα τα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ και από τα ανιόντα, τα CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- και Cl^- . Στο Κεφάλαιο περί Νερού Άρδευσης και στις Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας (Σινάνης, 2015) έχει αναπτυχθεί ο ογκομετρικός προσδιορισμός τους. Στη συνέχεια ακολουθεί ο προσδιορισμός των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης, πράγμα που καθιστά την ανάλυση ακριβέστερη, απλούστερη και ταχύτερη.

Η γνώση της ποσότητας των υδατοδιαλυτών κατιόντων είναι απαραίτητη, εκτός των άλλων και για τον υπολογισμό της SAR_{ex} ως δείκτη εκτίμησης της νατρίωσης του εδάφους, όπως θα αναπτυχθεί στο αντίστοιχο Κεφάλαιο.

5.4.1 Υδατοδιαλυτά Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+

5.4.1.1 Υλικά και όργανα

- Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης
- Ακετυλένιο (C_2H_2) κατάλληλο για την ατομική απορρόφηση
- Ογκομετρικές φιάλες

5.4.1.2 Αντιδραστήρια

1. **Διάλυμα για παρεμπόδιση των φωσφορικών (στον προσδιορισμό Ca^{2+} και Mg^{2+}).**
Παρασκευάζεται με διάλυση 29 g La_2O_3 σε 250 mL πυκνού HCl και αραίωση με αποσταγμένο νερό μέχρι τελικού όγκου 500 mL. Από αυτό το διάλυμα παρασκευάζεται το τελικό με περιεκτικότητα 10% κατ' όγκο σε LaCl_3 .
2. **Καταστολέας ιονισμού στον προσδιορισμό Na^+**
Παρασκευάζεται με διάλυση 6,358 g LiCl σε αποσταγμένο νερό μέχρι όγκου 1 L (0,15 N). Από αυτό το διάλυμα παρασκευάζεται το τελικό με περιεκτικότητα 10% κατ' όγκο σε LiCl .
3. **Πρότυπα μητρικά διαλύματα για Ca^{2+} , Mg^{2+} και Na^+ .**
Ασβέστιο. 500 mg/L. Σε 1,249 g CaCO_3 (πρότυπο αντιδραστήριο) προστίθενται 50 mL νερού. Κατόπιν προστίθεται στάγδην η ελάχιστη ποσότητα HCl (συνήθως 10 mL προς πλήρη διαλυτοποίηση του CaCO_3 και φέρεται σε όγκο 1 λίτρου με νερό.
Μαγνήσιο. 1000 mg/L. 1,000 g μετάλλου διαλυτοποιούνται προσεκτικά στον ελάχιστο όγκο 1:1 HCl και φέρονται σε όγκο 1 λίτρου με 1% HCl .
Νάτριο. 1000 mg/L. 2,5422 g NaCl διαλυτοποιούνται με νερό και φέρονται σε όγκο 1 λίτρου με νερό.

| Κοινό όνομα | Επιστημονικό όνομα | % μείωσης της αποδόσεως ανά dS/m αύξηση | Κρίσιμο όριο* dS/m |
|----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|
| Ευαίσθητες καλλιέργειες | | | |
| Αμυγδαλιά | Prunus dulcis | 18,0 | 1,5 |
| Μηλιά | Malus sylvestris | 20,0 | 1,0 |
| Βερυκοκιά | Prunus armeniaca | 23,0 | 1,6 |
| Αβokάντο | Persea americana | 30,0 | 1,0 |
| Αχλαδιά | Pyrus spp. | 20,0 | 1,0 |
| Δαμασκηλιά | Prunus domestica | 18,2 | 1,5 |
| Ροδακινιά | Prunus persica | 18,8 | 3,2 |
| Πορτοκαλιά | Citrus sinensis | 15,9 | 1,7 |
| Λεμονιά | Citrus limon | 20,0 | 1,0 |
| Βοτρυόκαρπος | Citrus paradisi | 16,1 | 1,8 |
| Φασόλι | Phaseolus vulgaris | 18,9 | 1,0 |
| Βατόμουρα | Rubus spp. | 22,2 | 1,5 |
| Καρότο | Daucus carota | 14,1 | 1,0 |
| Σέλινο | Apium graveolens | 20,0 | 1,0 |
| Κρεμμύδι | Allium cepa | 16,1 | 1,2 |
| Φράουλα | Fragaria vesca | 33,3 | 1,0 |
| Μετρίως ευαίσθητες καλλιέργειες | | | |
| Μηδική | Medicago sativa | 7,3 | 2,0 |
| Κουκιά | Vicia faba | 9,6 | 1,6 |
| Κουνουπίδι | Brassica oleracea | 8,0 | 2,5 |
| Λάχανο | Brassica oleracea var.capitata | 9,7 12,0 | 1,8 1,5 |
| Τριφύλλι | Trifolium spp. | 7,4 | 1,8 |
| Καλαμπόκι κτηνοτροφικό. | Zea mays | 12,0 | 1,7 |
| Καλαμπόκι γλυκό | Zea mays | 13,0 | 2,5 |
| Αγγούρι | Cucumis sativus | 13,0 | 1,3 |
| Μαρούλι | Lactuca sativa | 12,0 | 1,7 |
| Λινάρι | Linum usitatissimum | 9,5 | 1,5 |
| Αμπέλι | Vitis vinifera | 9,0 | 2,5 |
| Πεπόνι | Cucumis melo | 5,0 | 2,5 |
| Μπιζέλι | Pisum sativum | 7,0 | 2,5 |
| Φυστίκι | Arachis hypogaea | 28,6 | 3,2 |
| Πιπεριά | Capsicum annum | 14,1 | 1,5 |
| Πατάτα | Solanum tuberosum | 12,0 | 1,7 |
| Ρύζι | Oryza sativa | 12,2 | 3,0 |
| Σπανάκι | Spinacea oleracea | 7,6 | 2,0 |

| | | | |
|----------------------------------------|-------------------------|------|-----|
| Κολοκύθι | Cucurbita maxima | 15,0 | 2,5 |
| Ντομάτα | Lycopersicum esculentum | 9,9 | 2,5 |
| Μετρίως ανθεκτικές καλλιέργειες | | | |
| Κριθάρι (για σανό) | Hordeum vulgare | 7,0 | 6,0 |
| Παντζάρι | Beta vulgaris | 9,0 | 4,0 |
| Φεστούκα | Festuca elatior | 5,3 | 3,9 |
| Συκιά | Ficus carica | 5,0 | 4,2 |
| Ελιά | Olea europaea | 5,0 | 4,0 |
| Ροδιά | Punica granatum | 5,0 | 4,0 |
| Δακτυλίδα | Dactylis glomerata | 6,2 | 1,5 |
| Σόργο | Sorghum bicolor | 4,0 | 4,8 |
| Σόγια | Glycine maximum | 20,0 | 5,0 |
| Σιτάρι | Triticum aestivum | 7,1 | 6,0 |
| Ανθεκτικές καλλιέργειες | | | |
| Σπαράγγι | Asparagus officinalis | 2,0 | 7,2 |
| Κριθάρι (για καρπό) | Hordeum vulgare | 5,0 | 8,0 |
| Χλόη | Cynodon dactylon | 6,4 | 6,9 |
| Βαμβάκι | Gossypium hirsutum | 5,2 | 7,7 |
| Ζαχαρότευτλα | Beta vulgaris | 5,9 | 7,0 |

*Ως «κρίσιμο όριο» ορίζεται η τιμή της EC_{ex} πάνω από την οποία οι αποδόσεις μειώνονται.

Πίνακας 5.1 Ανθεκτικότητα των κυριότερων καλλιεργειών στην περιεκτικότητα σε άλατα στην περιοχή του ριζοστρώματος. Η περιεκτικότητα σε άλατα εκφράζεται ως ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού, EC_{ex} , dS/m, (Bresler et al. 1982., Copyright by CRC Press. Agricultural salinity assessment and management. 1996., Copyright by ASCE).

5.4.1.3 Αρχές φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης Σύγκριση με φλογοφωτομετρία ατομικής εκπομπής

Η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ), αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Walsh το 1955. Έκτοτε κατέχει κυρίαρχη θέση στην ενόργανη χημική ανάλυση, εξαιτίας των πολλαπλών συγκριτικών πλεονεκτημάτων της, σε σχέση με άλλες διαγνωστικές μεθόδους. Η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης ως διαγνωστική μέθοδος, βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης που υφίσταται μια μονοχρωματική ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος, από τα άτομα ενός στοιχείου, που βρίσκονται στη θεμελιώδη τους κατάσταση, προκειμένου να διεγερθούν. Αυτή ακριβώς η αρχή, της εξασφαλίζει την ακρίβεια στους υπολογισμούς. Πιο αναλυτικά, στη φλογοφωτομετρία (ΦΦ), οι μετρήσεις στηρίζονται στη διέγερση με φλόγα ενός μικρού αριθμού ατόμων, ενώ ο μεγαλύτερος αριθμός εξακολουθεί να παραμένει στη θεμελιώδη κατάσταση. Στη φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης, **υπάρχει μεγάλος αριθμός ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση τα οποία διεγείρονται και έτσι το αποτέλεσμα είναι ακριβέστερο.** Η ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου στη ΦΑΑ γίνεται με φλόγα, όπως και στη ΦΦ, με τη διαφορά ότι η φλόγα δεν παίζει το ρόλο και του διεγέρτη των ατόμων, όπως στη ΦΦ.

Συγκρινόμενη η ΦΑΑ προς την ΦΦ, εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

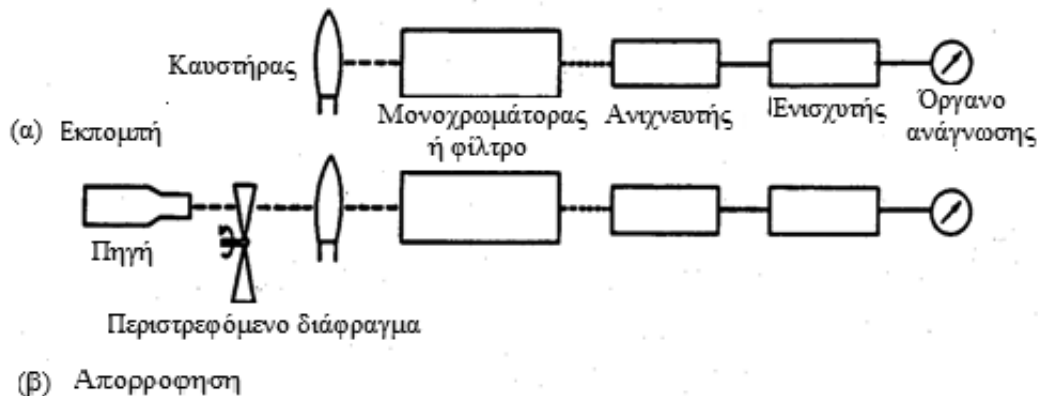
- Οι φασματικές παρεμποδίσεις είναι ελάχιστες.
- Η απορρόφηση της ακτινοβολίας επηρεάζεται από τη θερμοκρασία πολύ λιγότερο από ότι η ισχύς

της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στη ΦΦ.

- Είναι δυνατός ο προσδιορισμός περισσότερων στοιχείων σε μεγάλη περιοχή συγκεντρώσεων και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Στο μόνο σημείο που μειονεκτεί η ΦΑΑ έναντι της ΦΦ είναι το υψηλό κόστος των οργάνων της και ότι είναι πιο πολύπλοκα από ένα φλογοφωτόμετρο.

Η ΦΑΑ χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα για αναλύσεις νερών, βιολογικών δειγμάτων, φαρμακευτικών ειδών, καλλυντικών, τροφίμων, λιπασμάτων στη μεταλλουργία κ.τ.λ. Με τη ΦΑΑ είναι δυνατός ο προσδιορισμός ενός μεγάλου αριθμού μετάλλων (περισσότερα από 70) σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0,1-100 mg/L). Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται τα διάφορα μέρη ενός φλογοφωτομέτρου και ενός ΦΑΑ απλής δέσμης.



Σχήμα 5.1. Φλογοφωτόμετρο (α) και φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης απλής δέσμης (β).

5.4.1.4 Φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης

Τα φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης διακρίνονται σε δύο κυρίως τύπους:

- απλής δέσμης
- διπλής δέσμης

Στα ΦΑΑ απλής δέσμης η μονοχρωματική ακτινοβολία που παράγεται από τη λυχνία του οργάνου, διέρχεται συνέχεια μέσα από τη φλόγα. Στην περίπτωση αυτή, οποιαδήποτε διακύμανση της έντασης της ακτινοβολίας, που δεν οφείλεται στην ατομική απορρόφηση επηρεάζει την ένδειξη του οργάνου (Σχήμα 5.2). Αυτό το μειονέκτημα εξουδετερώνεται με το περιστρεφόμενο διάφραγμα (βλέπε ακόλουθα). Στα ΦΑΑ διπλής δέσμης το μειονέκτημα αυτό εξουδετερώνεται πάλι με τη βοήθεια του περιστρεφόμενου διαφράγματος ώστε, η ακτινοβολία που παράγεται από τη λυχνία του οργάνου, να διέρχεται μέσα από τη φλόγα και έξω από αυτή. Μετά τη φλόγα οι δύο δέσμες ακτινοβολιών συνδυάζονται ξανά και ακολουθούν την ίδια διαδρομή, μέχρι τον ανιχνευτή (Σχήμα 5.2). Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, το περιστρεφόμενο διάφραγμα διακόπτει την ακτινοβολία της πηγής με σταθερή συχνότητα (και στο απλής και στο διπλής δέσμης όργανο). Ο ανιχνευτής είναι συντονισμένος στην ίδια ακριβώς συχνότητα και ανιχνεύει μόνο την ακτινοβολία της πηγής αγνοώντας τη συνεχή ακτινοβολία της φλόγας. Η ένδειξη του οργάνου προκύπτει από το λόγο των δύο δεσμών, ο οποίος είναι ανεξάρτητος από τις διακυμάνσεις της φωτεινής δέσμης, που οφείλεται σε άλλες αιτίες εκτός της απορρόφησης.

Τα κυριότερα μέρη ενός ΦΑΑ είναι τα παρακάτω:

1. Πηγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας.

Παρέχει ακτινοβολία σταθερού και συγκεκριμένου μήκους κύματος, ανάλογα με το προσδιοριζόμενο στοιχείο. Ως κλασσικές πηγές μονοχρωματικής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται λυχνίες κοίλης καθόδου (Σχήμα 5.3), οι οποίες διακρίνονται σε μόνο ή πολυστοιχειακές. Στις μονοστοιχειακές λυχνίες, η κάθοδος αποτελείται από το μέταλλο του στοιχείου που προσδιορίζεται και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό αυτού του στοιχείου και μόνο. Στις πολυστοιχειακές, η κάθοδος αποτελείται από κράμα διαφόρων μετάλλων, ή από ξεχωριστούς δακτυλίους μετάλλων και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό περισσότερων του ενός στοιχείων.

2. Σύστημα εξαέρωσης και καύσης

Αποτελείται από τον εκνεφωτή και τον καυστήρα (Σχήμα 5.4). Σκοπός του συστήματος αυτού είναι να παράγει και να διατηρεί σταθερή τη φλόγα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του οργάνου, ενώ

παράλληλα δημιουργεί ένα νέφος σταγονιδίων του προς μέτρηση διαλύματος, το οποίο οδηγείται στη φλόγα. Ο ρόλος της φλόγας στα ΦΑΑ περιορίζεται όπως ήδη έχει αναφερθεί, σε αντίθεση με τα ΦΦ, στην ατομοποίηση του μετρούμενου στοιχείου και για την παραγωγή της χρησιμοποιείται συνήθως ακετυλένιο με καθαρότητα κατάλληλη για ΦΑΑ.

3. Μονοχρωμάτορας

Ο μονοχρωμάτορας είναι ένα όργανο (πρίσμα ή φράγμα) που έχει σαν σκοπό να διαχωρίσει από το φάσμα μηκών κύματος, που παράγονται από τη λυχνία κοίλης καθόδου, εκείνο το μήκος κύματος που μας ενδιαφέρει και να περάσει προς τον ανιχνευτή.

4. Ανιχνευτής

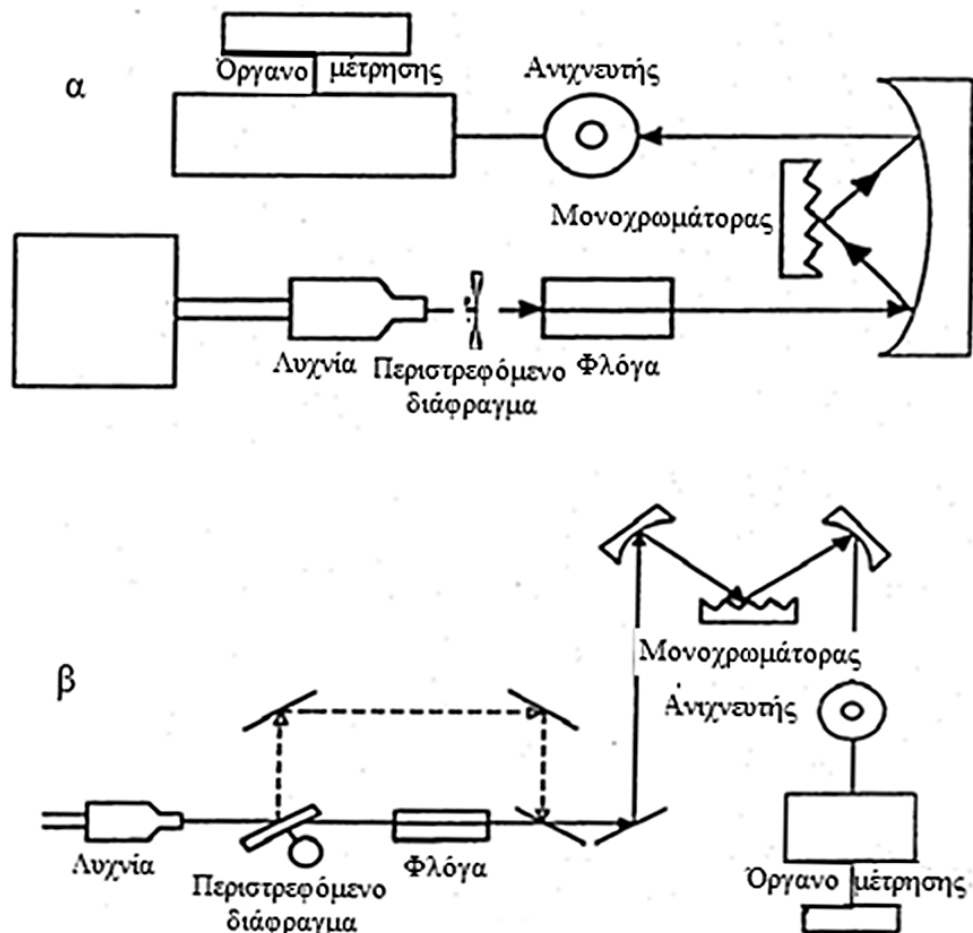
Ως ανιχνευτές χρησιμοποιούνται διάφοροι φωτοπολλαπλασιαστές, οι οποίοι δέχονται την ακτινοβολία από τον μονοχρωμάτορα και την μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα.

5. Ενισχυτής

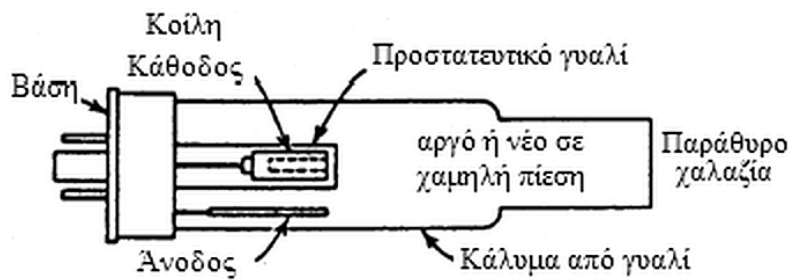
Συνήθως χρησιμοποιείται ενισχυτής εναλλασσόμενου ρεύματος, ο οποίος ενισχύει το ηλεκτρικό ρεύμα του ανιχνευτή.

6. Όργανο μέτρησης

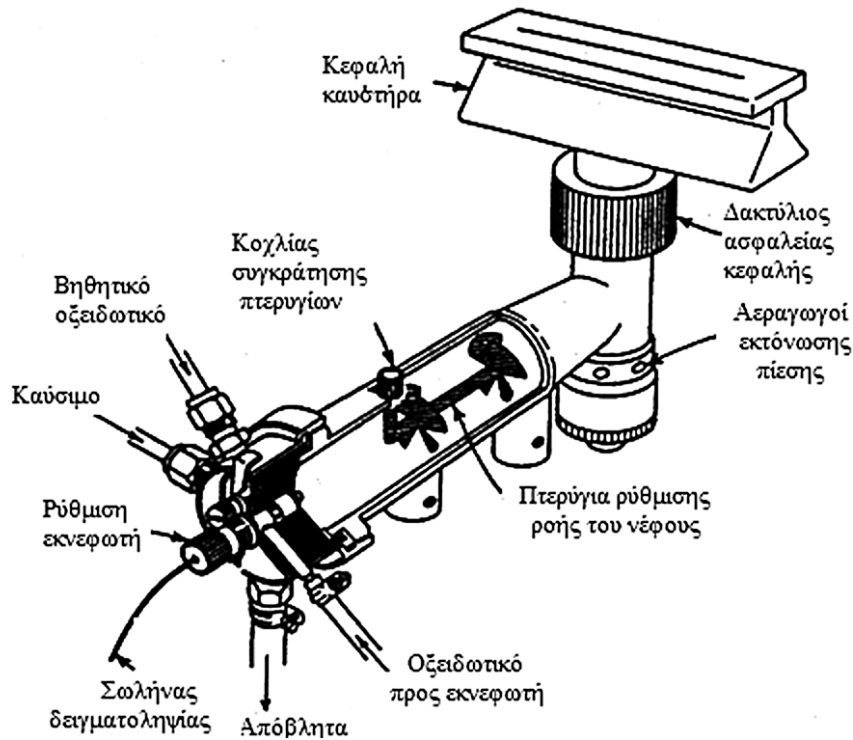
Το όργανο αυτό αξιοποιεί το ενισχυμένο ρεύμα και το αποδίδει ως ένδειξη. Στα σύγχρονα ΦΑΑ το όργανο μέτρησης είναι συνδεδεμένο με Η/Υ, ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα για επεξεργασία των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 5.2 Σχηματικό διάγραμμα φασητοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης απλής (α), διπλής δέσμης (β).

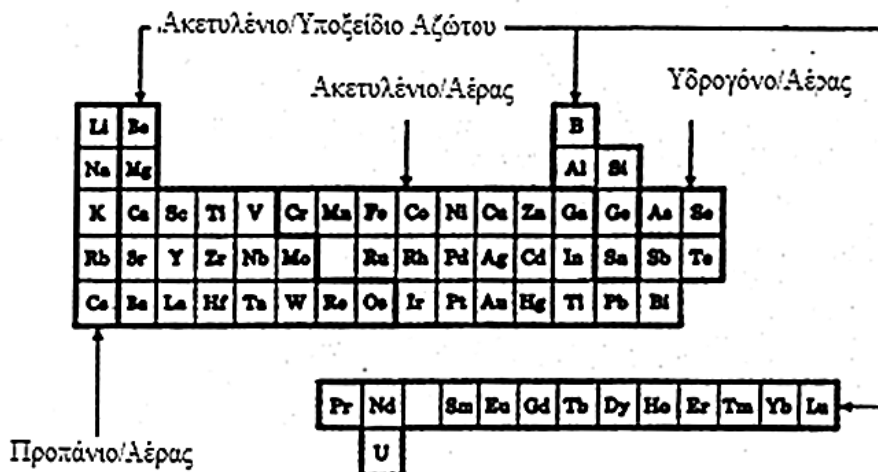


Σχήμα 5.3 Λυχνία κοίλης καθόδου.



Σχήμα 5.4 Σύστημα εξαέρωσης και καύσης του ΦΑΑ.

Στο Σχήμα 5.5 φαίνονται τα είδη των καυσίμων μιγμάτων που απαιτούνται ανάλογα με το προσδιοριζόμενο στοιχείο.



Σχήμα 5.5 Είδη καυσίμων μιγμάτων για το ΦΑΑ ανάλογα με το προσδιοριζόμενο στοιχείο.

5.4.1.5 Εκτέλεση προσδιορισμού και υπολογισμός του αποτελέσματος

Επιλέγεται η κατάλληλη λυχνία ανάλογα με το προσδιοριζόμενο στοιχείο και ρυθμίζεται το όργανο σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Προετοιμάζεται μια σειρά διαλυμάτων, από τα μητρικά διαλύματα κάθε στοιχείου που να καλύπτει το ευθύγραμμο τμήμα της σχέσης συγκέντρωση – απορρόφηση βάσει των οδηγιών του εγχειριδίου του ΦΑΑ. Ακολουθεί η βαθμονόμηση του οργάνου με τη βοήθεια των πρότυπων διαλυμάτων και στη συνέχεια γίνονται οι μετρήσεις των δειγμάτων. Για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων για κάθε είκοσι αναλυόμενα δείγματα επαναλαμβάνεται η βαθμονόμηση του οργάνου.

Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} και Na^+ στο εκχύλισμα κορεσμού σε mg/L υπολογίζονται από την ένδειξη του οργάνου (mg/L) επί τον συντελεστή αραιώσης και μπορούν να εκφραστούν και σε mmol/L.

Εδώ θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι, επειδή στην περίπτωση που τα δείγματα δεν αναλύονται αμέσως, υφίστανται μια αραιώση 1:1 για να αποτραπεί η καταβύθιση του Ca^{2+} ως CaCO_3 , η αραιώση αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Βιβλιογραφία

- Agricultural salinity assessment and management. 1996.** Kenneth K. Tanji, Editor. American Society of Civil Engineers. New York, N. Y.
- Baker, E.D., and N.H. Suhr 1982.** Atomic absorption and flame emission spectrometry p. 13-26. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keency. (ed.) Methods of soil analysis Part 2. Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Bresler, E., B. L. McNeal and D. L. Carter. 1982.** Saline and sodic soils. Principles-Dynamics-Modeling. Springer-Verlag, New York.
- Bower, C.A., Ogata, G. and Tucker, J.M. 1968.** Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation on solution as calcium carbonate. Soil Sci. 106: 24-34.
- FAO, 1984.** Prognosis of salinity and alkalinity. Soils Bull. 31, Rome, Italy
- Μισοπολινός, Ν.Δ., 1991.** Προβληματικά εδάφη. Μελέτη – πρόβλεψη – βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη Θεσσαλονίκη.
- Rhoades, D.J. 1982.** Soluble salts. p. 167-178. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keeney (eds). Methods of soil analysis Part 2. Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2008.** Διαχείριση Εδαφών. Εκδόσεις του ιδίου. Ηράκλειο Κρήτης.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2015.** Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα-Κάλλιπος, Ηράκλειο Κρήτης.
- Tanji,k.k., 1996.** (Ed). Agricultural salinity assessment and management. American Society of Civil Engineers. New York, N.Y. USA.
- Walsh, A. 1955.** Application of atomic absorption spectra to chemical analysis. Spectrochim. Acta. 7: 108 - 117.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Η ΝΑΤΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

6.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό, στην άργιλο των εδαφών συγκρατούνται με ηλεκτροστατικές δυνάμεις, τα ανταλλάξιμα κατιόντα. Σε ένα κανονικό έδαφος τα κατιόντα αυτά κατά φθίνουσα σειρά είναι τα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , ενώ στα όξινα εδάφη συμμετέχουν σε σημαντικό ποσοστό και τα ιόντα H^+ και Al^{3+} . Όταν η ποσότητα του νατρίου στη στερεή φάση αρχίζει να αυξάνει και αυτό συμβαίνει συνήθως εξαιτίας της χρήσης κακής ποιότητας νερού, τότε αρχίζουν τα προβλήματα στο έδαφος. Ως όριο για τον χαρακτηρισμό ενός εδάφους ως νατριωμένου, είναι η ποσότητα του νατρίου στη στερεή φάση να αντιπροσωπεύει ποσοστό μεγαλύτερο του 15% (ESP) των υπολοίπων ανταλλάξιμων κατιόντων. Συνήθως, παράλληλα με την αύξηση του νατρίου στο έδαφος παρατηρείται μια γενικότερη αύξηση της ποσότητας των υδατοδιαλυτών αλάτων, οπότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αλατούχο-νατριωμένο.

Η καταλληλότητα ενός εδάφους ως μέσου για την ανάπτυξη των φυτών, κατά ένα μεγάλο ποσοστό, καθορίζεται από την ικανότητά του να τους εξασφαλίζει νερό, αέρα και κατάλληλες συνθήκες για τη βλάστηση των σπόρων. Η νατρίωση επηρεάζει τις φυσικές ιδιότητες των εδαφών που σχετίζονται με την κίνηση του νερού και του αέρα, ενώ η άμεση τοξική επίδραση του νατρίου, περιορίζεται σε λίγες μόνο καλλιέργειες. Οι παραπάνω επιδράσεις οφείλονται στο ότι το νάτριο στη στερεή φάση, εξαιτίας του μεγάλου ενυδατώματός του δεν επιτρέπει τη θρόμβωση της άργιλου. Επιπλέον όταν το ESP υπερβεί το 15, τα ιόντα Na^+ εισέρχονται στους διαστιβαδικούς χώρους των ορυκτών με τύπο κρυσταλλικού πλέγματος 2:1 όπως είναι οι σμεκτίτες και προκαλούν τη διόγκωσή τους. Ο διαμερισμός λοιπόν της άργιλου από τη μια και η διόγκωσή της από την άλλη, συμβάλλουν στην υποβάθμιση της δομής του εδάφους και του πορώδους και επομένως η κυκλοφορία του νερού και του αέρα γίνεται δύσκολα.

6.2 Μέθοδοι

Η εκτίμηση της νατρίωσης του εδάφους στηρίζεται στον υπολογισμό του ποσοστού του ανταλλάξιμου νατρίου, το οποίο ονομάζεται ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου έχει καθιερωθεί να εκφράζεται ως ESP (Exchangeable Sodium Percentage). Ο υπολογισμός αυτός προϋποθέτει τη γνώση της CEC του εδάφους και της ποσότητας του ανταλλάξιμου νατρίου. Ως πρώτη, απλούστερη και ταχύτερη η εκτίμηση της νατρίωσης του εδάφους μπορεί να γίνει μέσω του SAR_{ex} .

Ο όρος SAR_{ex} (Sodium Adsorption Ratio), αποδίδεται στα ελληνικά ως ο «λόγος προσρόφησης νατρίου» και υπολογίζεται με μετρήσεις των κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , και Na^+ , που γίνονται στο εκχύλισμα κορεσμού. Ο αναλυτικός προσδιορισμός των κατιόντων αυτών γίνεται με τρόπο απλό και γρήγορο, τη βοήθεια της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης. Στη συνέχεια δίδεται η εξίσωση υπολογισμού του SAR_{ex} .

Οι τιμές των ESP και SAR_{ex} συσχετίζονται ποσοτικά και είναι περίπου οι ίδιες μέσα σε μια κλίμακα τιμών από 0 - 30 για τα εδάφη και συνθήκες που μελετήθηκαν από το US Salinity Laboratory Staff (1954) Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο περί νερού άρδευσης, η τιμή του SAR ευρίσκεται υπολογιστικά ή με τη βοήθεια του νομογραφήματος που εμφανίζεται στο Σχήμα 3.1. Από το ίδιο νομογράφημα μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά η τιμή του ESP του εδάφους που είναι σε ισορροπία με το εν λόγω νερό άρδευσης ή υπολογιστικά από την εξίσωση της σελίδας 44.

Για το εκχύλισμα κορεσμού έχουν προταθεί εξισώσεις που συνδέουν το ESP με το SAR_{ex} , αλλά είναι και αυτές προσεγγιστικές, όπως η εξίσωση που αναφέρεται στο υποτήμα 6.6, ή ισχύουν για τη συγκεκριμένη κατηγορία εδαφών που μελετήθηκαν. Επειδή όμως, για τη βελτίωση ενός νατριωμένου εδάφους, απαιτείται ένας ακριβέστερος υπολογισμός του ESP, γεγονός που απαιτεί τον προσδιορισμό της CEC και του ανταλλάξιμου νατρίου, θα ακολουθήσει η περιγραφή των μεθόδων που συνήθως χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των δύο αυτών παραμέτρων και η εκτίμηση της νατρίωσης του εδάφους μέσω του ESP.

6.3 Υπολογισμός του SAR_{ex}

Για τον υπολογισμό του SAR_{ex} είναι απαραίτητη η γνώση της ποσότητας των υδατοδιαλυτών κατιόντων Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, στο εκχύλισμα κορεσμού, όπως αυτά προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την εναλάτωση του εδάφους. Με βάση τις τιμές αυτές, ο SAR_{ex} υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{SAR}_{\text{ex}} = \frac{[\text{Na}^+]}{\left[\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2} \right]^{1/2}}$$

Η σχέση αυτή αναφέρεται και στο Κεφάλαιο περί νερού άρδευσης όπου οι ποσότητες των υδατοδιαλυτών κατιόντων εκφράζονται σε mmol/L.

6.3.1 Σχόλια

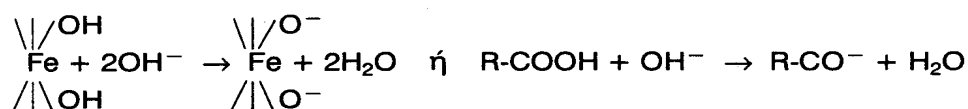
Ο SAR_{ex} γίνεται παραδεκτό από τα δεδομένα του US, Salinity Laboratory Staff (1954), ότι έχει περίπου την ίδια τιμή με το ESP μέσα σε όρια τιμών από 0 έως 30. Σε εδάφη όμως που περιέχουν γύψο, το ESP συνήθως παίρνει μεγαλύτερες τιμές από τον SAR_{ex}. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ότι, μαζί με τα υδατοδιαλυτά ιόντα Ca²⁺ και Mg²⁺ υπολογίζεται μια επιπλέον ποσότητα ιόντων Ca²⁺ που προέρχονται από τη γύψο (CaSO₄ · 2H₂O) εξαιτίας της σχετικά υψηλής της διαλυτότητας. Στην περίπτωση αυτή, αν είναι γνωστή η συγκέντρωση των SO₄²⁻ ανιόντων είναι δυνατή η διόρθωση της τιμής του SAR_{ex}. Επίσης, σε εδάφη που είναι πλούσια σε ορυκτά τα οποία περιέχουν ασβέστιο, όπως π.χ. ο ασβεστίτης (CaCO₃), η τιμή του SAR_{ex} μειώνεται, όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την παραλαβή του εκχυλίσματος. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή του SAR_{ex} στο εκχύλισμα κορεσμού ενός τέτοιου εδάφους, είναι μεγαλύτερη από ότι στο εκχύλισμα που παραλαμβάνεται από μια σχέση εδάφους : νερό = 1:5. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό, είναι ότι η επιπλέον ποσότητα νερού, συμβάλλει στη διαλυτοποίηση των παραπάνω ορυκτών και επομένως στην αύξηση της συγκέντρωσης των υδατοδιαλυτών κατιόντων Ca²⁺.

Στο εκχύλισμα κορεσμού όπου γίνονται οι παραπάνω μετρήσεις, είναι δυνατό να γίνουν και άλλες, είτε σε πρόσφατα δείγματα, είτε σε παλαιότερα, στα οποία όμως απαραίτητα πρέπει να έχει προστεθεί μια σταγόνα διαλύματος (NaPO₃)₆ 0,1% ανά 25 mL εκχυλίσματος για να αποτραπεί η καταβύθιση του Ca²⁺ ως CaCO₃. Οι αναλύσεις αυτές αφορούν την αλκαλικότητα (CO₃²⁻ + HCO₃⁻), την EC, το pH και τα διάφορα ανιόντα.

6.4 Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων

6.4.1 Εισαγωγή

Τα φυλλόμορφα αργιλιοπυριτικά ορυκτά της αργίλου των εδαφών εκδηλώνουν αρνητικά φορτία, τα οποία οφείλονται είτε στις ισόμορφες αντικαταστάσεις του Si⁴⁺ των τετραέδρων ή του Al³⁺ των οκταέδρων, από Al³⁺ ή Mg²⁺ και Fe²⁺ αντίστοιχα, είτε σε μη πλήρως εξουδετερωμένους ιονικούς δεσμούς, στην εξωτερική επιφάνεια των κρυστάλλων (θραυσιγενείς ακμές). Το αρνητικό φορτίο που προκύπτει από τις ισόμορφες αντικαταστάσεις είναι σταθερό, ανεξάρτητο του pH και χαρακτηρίζεται ως «μόνιμο φορτίο». Το φορτίο όμως των θραυσιγενών ακμών που αντιπροσωπεύει ένα μικρό ποσοστό του ολικού αρνητικού φορτίου, δεν είναι σταθερό, εξαρτάται από το pH και χαρακτηρίζεται ως «μεταβλητό φορτίο». Εκδηλώνεται όταν το pH είναι μεγαλύτερο από 6 και η τιμή του αυξάνει όσο αυξάνει το pH, γι' αυτό και χαρακτηρίζεται ως «φορτίο εξαρτώμενο από το pH». Το φορτίο αυτό οφείλεται στη διάσταση των H⁺ από τα OH⁻ των θραυσιγενών ακμών των ορυκτών. Στην άργιλο των εδαφών υπάρχουν επίσης και άλλα συστατικά με μεταβλητό φορτίο, όπως τα υδροξείδια του σιδήρου και αργιλίου και οι χουμικές ενώσεις της οργανικής ουσίας. Το φορτίο των συστατικών αυτών εξαρτάται από το pH και οφείλεται στην απο-πρωτονίωση ή πρωτονίωση των υδροξυλίων των υδροξειδίων ή των ενεργών ομάδων των χουμικών ενώσεων, όπως παράδειγμα από-πρωτονίωσης φαίνεται παρακάτω:



Ας σημειωθεί ότι σε $\text{pH} < 6,0$ συμβαίνει πρωτονίωση των OH^- , κυρίως των υδροξειδίων Al και Fe και η άργιλος αποκτά θετικό φορτίο. Στα συνήθη εδάφη, που δεν επικρατούν τα υδροξείδια Al και Fe , το θετικό φορτίο είναι μικρό, γιατί το καθαρό φορτίο της άργιλου είναι αρνητικό.

Γύρω από κάθε τεμαχίδιο της άργιλου, εξαιτίας του αρνητικού του φορτίου, έλκονται και προσανατολίζονται τα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος σε τέτοια ποσότητα, όση απαιτείται για να το εξουδετερώσουν. Τα κατιόντα αυτά χαρακτηρίζονται ως ανταλλάξιμα γιατί ανταλλάσσονται από άλλα κατιόντα που ευρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα, σε χημικώς ισοδύναμα ποσά. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται ως «**ιονική ανταλλαγή**». Η ικανότητα των εδαφών να συγκρατούν και να ανταλλάσσουν τα κατιόντα, χαρακτηρίζεται ως Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) ή ξενικά ως CEC (Cation Exchange Capacity).

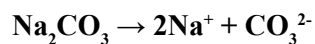
Τα ανταλλάξιμα κατιόντα ευρίσκονται σε χημική ισορροπία με τα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος. Σε περίπτωση που διαταραχθεί η ισορροπία αυτή (απομάκρυνση μέσω των φυτών ή έκπλυση, ή προσθήκη λιπασμάτων), παρατηρείται μετακίνηση κατιόντων από ή προς τη στερεή φάση, προκειμένου να αποκατασταθεί η ισορροπία.

Στα συνήθη εδάφη των εύκρατων περιοχών, τα ανταλλάξιμα κατιόντα κατά φθίνουσα σειρά είναι τα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ενώ στα εδάφη βοριότερων περιοχών ή μεγάλων υψομέτρων (όξινά λόγω εντονότερης έκπλυσης) ή στα έντονα αποσαθρωμένα εδάφη, συμμετέχουν σε σημαντικές ποσότητες και τα ιόντα H^+ και Al^{3+} . Στα νατριωμένα εδάφη το Na^+ αντιπροσωπεύει ποσοστό μεγαλύτερο του 15% της CEC.

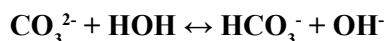
Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των εδαφών είναι η σημαντικότερη ίσως φυσικοχημική τους ιδιότητα, γιατί αφενός συμβάλλει στην αποτροπή απωλειών των θρεπτικών στοιχείων μέσω του νερού στράγγισης και αφετέρου λειτουργεί ως αποθήκη θρεπτικών εξασφαλίζοντας έτσι την επαρκή θρέψη των φυτών. Το μέγεθός της, που εκφράζονται παλιότερα σε $\text{meq}/100 \text{ g}$ εδάφους ή στην αποδεκτή σήμερα μονάδα των cmol/kg κυμαίνεται από 10-40, εξαρτάται από την περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο, από την ορυκτολογική σύσταση της άργιλου, από την περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία, από το pH τους και από την ολική συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα (ιονική ισχύ).

Με βάση όσα προαναφέρθηκαν, τα αμμώδη εδάφη που δεν περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό άργιλο και που κατά κανόνα είναι πτωχά και σε οργανική ουσία, εκδηλώνουν μικρή CEC και δεν μπορούν να συγκρατήσουν ανταλλάξιμα κατιόντα σε μεγάλες ποσότητες και γι' αυτό χρειάζονται ειδική μεταχείριση, για να γίνουν παραγωγικά σε ικανοποιητικό βαθμό. Το αντίθετο συμβαίνει με τα άργιλωδη εδάφη.

Το μέγεθος της CEC των εδαφών σε συνδυασμό και με την αναλογία των διαφόρων ανταλλάξιμων κατιόντων, επιδρά και στη διαμόρφωση των φυσικών τους ιδιοτήτων. Έτσι, αν μεταξύ των ανταλλάξιμων κατιόντων, επικρατούν τα δισθενή κατιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} , προκαλούν θρόμβωση της άργιλου πράγμα που συμβάλλει, σε συνδυασμό και με την οργανική ουσία, στη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων, άρα και καλής δομής. Εδάφη με καλή δομή, ως γνωστό στραγγίζουν καλά, αερίζονται και δεν προβάλλουν μεγάλη μηχανική αντίσταση στην ανάπτυξη των ριζών και στο φύτεμα των σπόρων. Το αντίθετο συμβαίνει, αν στα ανταλλάξιμα κατιόντα συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό τα μονοθενή και ιδιαίτερα το νάτριο, εξαιτίας της ιδιότητάς του να διαμερίζει την άργιλο. Επιπλέον, η παρουσία νατρίου στο εδαφικό διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του pH , το οποίο κυμαίνεται στην αλκαλική περιοχή και σε πολλές περιπτώσεις είναι $> 8,5$. Στις περιπτώσεις αυτές συμβαίνουν, συνήθως οι παρακάτω αντιδράσεις



και στη συνέχεια



6.4.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της CEC (ΙΑΚ)

Από όσα προηγήθηκαν καθίσταται σαφές ότι το φορτίο (άρα και η CEC) των εδαφικών συστατικών, επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον εδαφικό διάλυμα. Αυτό σημαίνει ότι η χημική συμπεριφορά των εδαφικών συστατικών μεταβλητού φορτίου, αλλάζει δραστικά λόγω της συγκέντρωσης και του σθένους των ιόντων στο διάλυμα ισορροπίας. Επιπλέον, εκλεκτική προσρόφηση κατιόντων και ανιόντων έχει σημαντική επίδραση στην τιμή της CEC (Sumner and Miller, 1996). Ο προσδιορισμός της CEC ενός εδάφους στο εργαστήριο είναι ιδανικό να γίνεται σε συνθήκες pH και ιονικής ισχύος, όμοιες με εκείνες που επικρατούν στον αγρό. Ιστορική ανασκόπηση των μεθοδολογιών για τον προσδιορισμό της CEC δείχνει ότι έχουν χρησιμοποιηθεί ρυθμιστικά διαλύματα (με pH 7,0 και 8,2), διαφορετικά κατιόντα κορεσμού (NH_4^+ , Ba^{2+}), διαλύματα με διαφορετική ιονική ισχύ και τέλος διαλύματα ουδετέρων αλάτων στην προσπάθεια να εκτιμη-

θεί η λεγόμενη «CEC αγρού». Είναι επομένως φανερό ότι η CEC ορίζεται «μεθοδολογικά» βάση ορισμένων μεταβλητών όπως είναι το pH, η συγκέντρωση, το είδος και το σθένος του κατιόντος κορεσμού, η ρυθμιστική ικανότητα του διαλύματος κορεσμού, η φύση του διαλύματος έκπλυσης (βλέπε ακόλουθα) και η θερμοκρασία.

Ο προσδιορισμός της CEC μεθοδολογικά μπορεί να γίνει σε δύο ή τρία στάδια. Στην πρώτη κατηγορία, (δύο στάδια) ανήκουν οι αθροιστικές μέθοδοι με τη βοήθεια των οποίων προσδιορίζεται η CEC των εδαφών, από το άθροισμα των ανταλλάξιμων κατιόντων που αντικαθίστανται στο έδαφος από κάποιο κατιόν (μέθοδος οξικού αμμωνίου).

Στη δεύτερη κατηγορία (τρία στάδια) στο πρώτο στάδιο, επιδιώκεται ο κορεσμός όλων των θέσεων ανταλλαγής στη στερεή φάση με ένα κατιόν **δείκτη**. Στο δεύτερο στάδιο απομακρύνεται με έκπλυση η περίσσεια του κατιόντος δείκτη, που χρησιμοποιήθηκε για τον κορεσμό της στερεής φάσης. Στο τρίτο στάδιο, αντικαθίσταται το κατιόν δείκτη από κάποιο άλλο (**αντικατάστασης**) και προσδιορίζεται ποσοτικά.

Από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για τα όξινα εδάφη είναι η μέθοδος Gillman (1979), στην οποία χρησιμοποιείται ως κατιόν δείκτης το Ba^{2+} ($BaCl_2$). Το Ba^{2+} στη συνέχεια αντικαθίσταται από Mg^{2+} ($MgSO_4$) και η CEC υπολογίζεται από την απώλεια του διαλύματος αντικατάστασης σε Mg^{2+} .

Η μέθοδος του οξικού αμμωνίου με $pH = 7$, δε συνιστάται για τον προσδιορισμό της CEC ασβεστούχων εδαφών ή εδαφών που περιέχουν στην άργιλο τους βερμικουλίτη ή αποσαθρωμένους μαρμαρυγίες. Στην περίπτωση των ασβεστούχων εδαφών, διαλυτοποιείται το $CaCO_3$, με αποτέλεσμα η CEC των εδαφών να υπερεκτιμάται. Στην περίπτωση των βερμικουλιτικών εδαφών, το κατιόν αντικατάστασης (NH_4^+) κλείνει τις στιβάδες εμποδίζοντας την έξοδο των ανταλλάξιμων κατιόντων ή εφόσον το ιόν NH_4^+ επιθυμείται να χρησιμοποιηθεί ως κατιόν δείκτης για τον προσδιορισμό της CEC, είναι δυνατόν να παγιδευτεί μεταξύ των στιβάδων και δεν είναι δυνατό στη συνέχεια να παραληφθεί όλη η ποσότητά του από το κατιόν αντικατάστασης, άρα η CEC υποεκτιμάται.

Τέλος, για εδάφη ξηρών περιοχών ή αλκαλικά εδάφη ή ασβεστόχα εδάφη, η πιο αξιόπιστη μέθοδος για τον προσδιορισμό της CEC, είναι των Polemio και Rhoades που αναπτύσσεται στη συνέχεια.

6.4.2.1 Μέθοδος των Polemio και Rhoades

6.4.2.2 Θεωρητικές αρχές

Η μέθοδος των Polemio και Rhoades (1977), αποτελεί μια τροποποίηση της δεύτερης κατηγορίας μεθόδων. Η τροποποίησή της συνίσταται στο ότι παρακάμπτεται το στάδιο της έκπλυσης της περιόδου του ιόντος δείκτη ώστε να αποφεύγεται η υδρόλυση και απώλεια των προσροφημένων ιόντων του δείκτη και έτσι ο υπολογισμός της CEC γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο κορεννύεται η στερεή φάση με Na^+ με τη χρήση διαλύματος οξικού Na-χλωριούχου Na. Στο δεύτερο στάδιο αντικαθίσταται το Na^+ από Mg^{2+} με τη χρήση διαλύματος νιτρικού μαγνησίου και στη συνέχεια εκτιμάται η ποσότητα του ανταλλάξιμου Na^+ . Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Στο προσλαμβανόμενο μετά την αντικατάσταση διάλυμα, προσδιορίζονται οι ολικές ποσότητες Na και Cl, ούτως ώστε το διαλυτό Na της περιόδου του διαλύματος κορεσμού να μπορεί να αφαιρεθεί από το ολικό Na, για να εκτιμηθεί το ανταλλάξιμο που είναι ισοδύναμο με τη CEC.

Η μέθοδος είναι απλή και απαιτεί μικρό αριθμό αναλύσεων αλλά προσδιορίζει μόνο την IAK (όχι τα επιμέρους ανταλλάξιμα κατιόντα), εδαφών που περιέχουν ανθρακικά άλατα, γύψο και ζεολίθους. Εάν είναι επιθυμητό να μετρηθούν τόσο η IAK όσο και τα ανταλλάξιμα κατιόντα, σε ίδιας κατηγορίας εδάφη, χρησιμοποιείται η μέθοδος των Amrheim και Suarez (1990) η οποία περιγράφεται από τους Sumpter και Miller (1996). Η μέθοδος είναι χρονοβόρος, περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό μετρήσεων και είναι πέραν του σκοπού του βιβλίου αυτού. Για όλα τα άλλα εδάφη, για τη μέτρηση της IAK, εφαρμόζεται η μέθοδος που αναφέρθηκε, του Gillman (1979) όπως τροποποιήθηκε από τους Gillman and Supter (1986) και περιγράφεται από τους Sumner και Miller (1996). Για τον προσδιορισμό της IAK και των ανταλλάξιμων κατιόντων σε εδάφη μη ασβεστόχα και όχι ισχυρώς όξινα, χρησιμοποιείται η μέθοδος του οξικού αμμωνίου, με $pH = 7$ που περιγράφεται στη συνέχεια. Τέλος, για όλα τα εδάφη και μέτρηση της IAK και των ανταλλάξιμων κατιόντων έχει προταθεί πρόσφατα η μέθοδος του εξαμινοκοβαλτίου η οποία, επίσης περιγράφεται στα επόμενα.

6.4.2.3 Υλικά και όργανα

- Αναλυτικός ζυγός
- Ατομική απορρόφηση, ή φλογοφωτόμετρο

- Φυγόκεντρος
- Σωλήνες φυγοκέντρου των 50 mL με κωνικό πυθμένα και στενό λαιμό.
- Παλινδρομικός ανακινητήρας

6.4.2.4 Αντιδραστήρια

- **Διάλυμα κορεσμού NaOAc 0,4N-NaCl 0,1 N, σε αιθανόλη 60%, pH 8,2.** Παρασκευάζεται με ανάμιξη 54,43 g οξικού νατρίου (NaOAc 3H₂O), 5,84 g χλωριούχου νατρίου (NaCl) και 0,6 L αιθανόλης. Το διάλυμα αραιώνεται μέχρι το 1 L με αποσταγμένο νερό και ρυθμίζεται το pH με τη βοήθεια σταγόνων διαλύματος, NaOH 6 N στο 8,2 υπό συνεχή ανάδευση. Στο διάλυμα αυτό προσδιορίζεται στη συνέχεια, η σχέση Na⁺/Cl⁻.

Σημείωση: Η χρησιμοποίηση του μίγματος αιθανόλης-νερού ως διαλύτη έχει το πλεονέκτημα ότι το διάλυμα κορεσμού δεν διαλυτοποιεί τα ανθρακικά άλατα και τη γύψο.

- **Διάλυμα αντικατάστασης νιτρικού μαγνησίου 0,5 N.** Παρασκευάζεται με διάλυση 64,11 g Mg(NO₃)₂ · 6H₂O σε αποσταγμένο νερό και αραιώση στο 1 L.

6.4.2.5 Διαδικασία προσδιορισμού

Ζυγίζονται 5 g αεροξηρανθέντος εδάφους και μεταφέρονται σε σωλήνα φυγοκέντρωσης.

Πρώτο στάδιο (κορεσμός)

Προστίθενται 33 mL διαλύματος κορεσμού, πωματίζεται ο σωλήνας και ανακινείται επί 5 λεπτά. Στη συνέχεια εκπωματίζεται ο σωλήνας και ακολουθεί φυγοκέντρωση στις ανάλογες στροφές (για περίπου 5 λεπτά) ώστε να επιτευχθεί διαχωρισμός της στερεής από την υγρή φάση. Το υπερκείμενο υγρό απορρίπτεται και προστίθεται μια νέα ποσότητα 33 mL διαλύματος κορεσμού. Η ίδια διαδικασία (ανακίνηση - φυγοκέντρωση - απόχυση), επαναλαμβάνεται για τέσσερις συνολικά φορές, στο τέλος των οποίων γίνεται δεκτό ότι η στερεή φάση έχει κορεσθεί πλέον από ιόντα Na⁺.

Η περίσσεια του διαλύματος κορεσμού, που έχει απομείνει στο έδαφος, δεν απομακρύνεται με έκπλυση και τούτο συνιστά την πρωτοτυπία της μεθόδου.

Δεύτερο στάδιο (αντικατάσταση του Na⁺)

Προστίθενται 33 mL διαλύματος αντικατάστασης στο σωλήνα φυγοκέντρωσης, που περιέχει το κορεσμένο με Na⁺ δείγμα εδάφους. Ακολουθεί ανακίνηση για 5 λεπτά και φυγοκέντρωση όπως και προηγούμενα, για τρεις συνολικά φορές. Το υπερκείμενο διάλυμα συλλέγεται κάθε φορά σε μια ογκομετρική φιάλη των 100 mL. Στο τέλος η φιάλη συμπληρώνεται μέχρι τη χαραγή με νερό και προσδιορίζονται το Na_{ολικ} και Cl_{ολικ}.

Για τη βαθμονόμηση του οργάνου με το οποίο θα μετρηθεί το Na⁺, χρησιμοποιούνται πρότυπα διαλύματα τα οποία παρασκευάζονται με διαλύτη το διάλυμα αντικατάστασης.

6.4.2.6 Υπολογισμοί

Ο υπολογισμός της CEC βασίζεται στην παρακάτω σχέση:

$$CEC = Na_{αντ} = Na_{ολικ} - Na_{διαλ} = Na_{ολικ} - (Cl_{διαλ}) (Na/Cl)_{διαλ κορ}$$

όπου:

Na_{αντ} = Η ποσότητα του ανταλλάξιμου νατρίου

Na_{ολικ} = Η συγκέντρωση του νατρίου που προσδιορίστηκε στο διάλυμα που συλλέχθηκε στην ογκομετρική φιάλη. Η ποσότητα αυτή είναι το άθροισμα του νατρίου που ανταλλάχθηκε από τη στερεή φάση και εκείνου που παρέμεινε, από το διάλυμα κορεσμού, στο σωλήνα φυγοκέντρωσης μαζί με το δείγμα του εδάφους στο τέλος του πρώτου σταδίου.

Na_{διαλ} = Η ποσότητα του νατρίου που παρέμεινε στο σωλήνα φυγοκέντρωσης μαζί με το δείγμα εδάφους, στο τέλος του πρώτου σταδίου (υπολογιζόμενη).

Cl_{ολικ} = Η ποσότητα του χλωρίου που προσδιορίστηκε στο διάλυμα που συλλέχθηκε στην ογκομετρική φιάλη. Αυτή που παρέμεινε δηλαδή στο σωλήνα φυγοκέντρωσης, μαζί με το δείγμα του εδάφους στο τέλος του πρώτου σταδίου. Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται ώστε να υπολογιστεί το Na_{διαλ}, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$(\text{Na}/\text{Cl})_{\text{διαλ. κορ}} = \text{Η σχέση ιόντων νατρίου και χλωρίου στο διάλυμα κορεσμού.}$
Επομένως:

$$\text{CEC σε cmol}_c/\text{kg} = \left(\frac{10}{A}\right) [(\text{Na}_{\text{ολικ}})(\Sigma A_{\text{Na}}) - (\text{Cl}_{\text{ολικ}})(\Sigma A_{\text{Cl}}) (\text{Na}/\text{Cl})_{\text{διαλ. κορ}}]$$

όπου:

$A = \text{Tα g του χρησιμοποιηθέντος εδάφους}$

$\text{Na}_{\text{ολικ}}$ και $\text{Cl}_{\text{ολικ}} = \text{Το ίδιο όπως και προηγούμενα σε mmol}_c/\text{L}$

ΣA_{Na} και $\Sigma A_{\text{Cl}} = \text{Συντελεστές αραιώσης νατρίου και χλωρίου αντίστοιχα.}$

Σημείωση: Αν το έδαφος που πρόκειται να αναλυθεί περιέχει άλατα σε μεγάλη ποσότητα ($\text{EC} \geq 4 \text{ mS/cm}$), επλύνεται μια φορά με 33 mL νερού, πριν αρχίσει το πρώτο στάδιο.

6.4.3 Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου Na

6.4.3.1 Θεωρητικές αρχές.

Με την εφαρμογή της μεθόδου των Polemio and Rhoades (υπο-τμήμα 6.4.2.1) προσδιορίζεται η CEC του νατριομένου εδάφους. Για τον υπολογισμό του ESP απαιτείται και ο προσδιορισμός του ανταλλάξιμου Na, ο οποίος μπορεί να γίνει με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου, 1N, pH = 7. Σημειώνεται ότι η μέθοδος αυτή έχει επίσης εφαρμογή στον προσδιορισμό των άλλων ανταλλάξιμων κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} και εκ του αθροίσματος αυτών της CEC. Είναι όμως όπως αναφέρθηκε, ακατάλληλη για τα ασβεστούχα εδάφη, ή εδάφη που περιέχουν μαρμαρυγιακά ορυκτά και βερμικουλίτη. Επειδή δε πολλά νατριομένα εδάφη περιέχουν CaCO_3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό μόνο του ανταλλάξιμου Na. Το ανταλλάξιμο νάτριο μπορεί επίσης, όπως αναφέρθηκε, όπως και όλα τα ανταλλάξιμα κατιόντα, να προσδιορισθεί με τη μέθοδο του εξαμινοκοβαλτίου που ακολουθεί.

6.4.3.2 Υλικά και όργανα

- Αναλυτικός ζυγός
- Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης ή φλογοφωτόμετρο
- Φυγόκεντρος
- Σωλήνες φυγοκέντρου 50 mL
- Παλινδρομικός ανακινητήρας
- Ογκομετρικές φιάλες 50 mL

6.4.3.3 Αντιδραστήρια

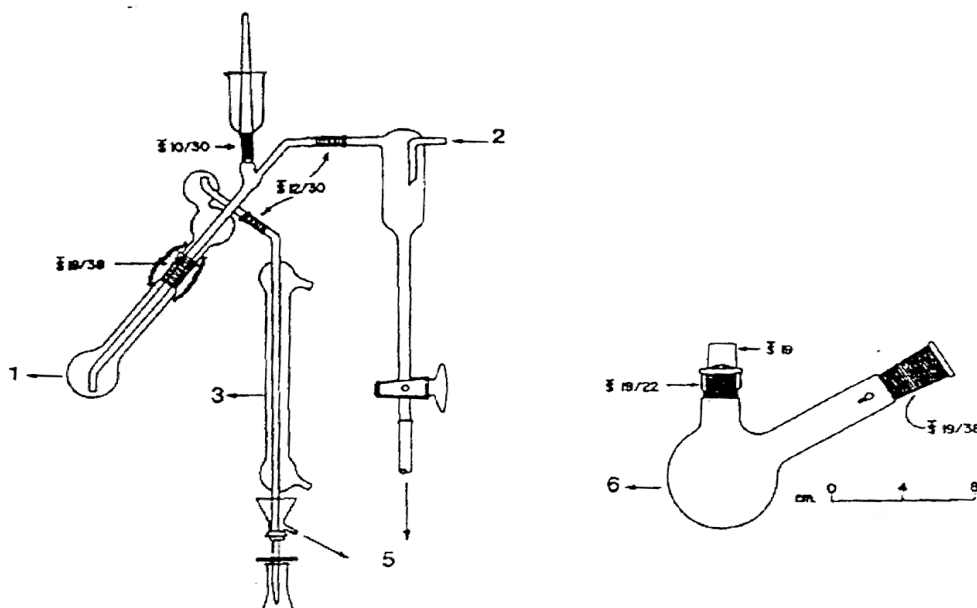
Διάλυμα οξικού αμμωνίου 1 N με pH = 7. Παρασκευάζεται είτε με ανάμιξη 70 mL χημικώς καθαρού NH_4OH και 57 mL 99,5% CH_3COOH , είτε με διάλυση 77 g οξικού αμμωνίου ανά 1 L διαλύματος. Η ρύθμιση του pH στο 7 γίνεται είτε με NH_4OH , είτε με CH_3COOH .

6.4.3.4 Διαδικασία προσδιορισμού

Σε ένα σωλήνα φυγοκέντρου των 50 mL, μεταφέρονται 5 g αεροξηραμένης λεπτής γης, μαζί με 25 mL NH_4OAc . Το σχηματιζόμενο αιώρημα ανακινείται σε παλινδρομικό ανακινητήρα για 30 λεπτά. Ακολουθεί φυγοκέντρωση στις 2.000 στροφές για 10 λεπτά και μετάγγιση του υπερκείμενου διαυγούς διαλύματος σε μια ογκομετρική φιάλη των 50 mL. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για άλλη μια φορά με το ίδιο δείγμα εδάφους και τελικά συμπληρώνεται η ογκομετρική φιάλη στα 50 mL με διάλυμα NH_4OAc 1 N.

Στο διάλυμα της ογκομετρικής φιάλης προσδιορίζεται το νάτριο φλογοφωτομετρικά ή με το Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης. Η ανάλυση του ποσοτικού προσδιορισμού του νατρίου παραλείπεται γιατί έχει αναπτυχθεί, είτε στις Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας, (Σινάνης, 2015) είτε σε άλλα σημεία αυτού του εγχειριδίου. (3.4.2 – 5.4.1)

Αν η τιμή της CEC του εδάφους είναι μεγαλύτερη από 20 cmol_c/ kg χρησιμοποιούνται αντί 5 g εδάφους, μόνο 2 g. Σημειώνεται επίσης ότι αν το έδαφος περιέχει μεγάλη ποσότητα υδατοδιαλυτών αλάτων, ιδίως νατρίου, πρέπει να απομακρύνονται με έκπλυση, ή τα αποτελέσματα να διορθώνονται για τα υδατοδιαλυτά.



Σχήμα 6.1 Συσκευή απόσταξης με υδρατμούς

1. Φιάλη απόσταξης.
2. Παροχή ατμού για την απόσταξη της αμμωνίας.
3. Ψυκτήρας.
4. Φιάλη συλλογής αποστάγματος.
5. Εξόδος αποβλήτων.
6. Φιάλη απόσταξης με πλευρικό άνοιγμα για την προσθήκη του κράματος Devarda. Η φιάλη αυτή χρησιμοποιείται σε αντικατάσταση της φιάλης 1.

6.4.4.1 Προσδιορισμός της ΙΑΚ κατά ISO 23470 (με τροποποιήσεις)

6.4.4.2 Θεωρητικές αρχές

Έγινε φανερό από τα προηγούμενα δύο υπο-τμήματα ότι ο προσδιορισμός της ΙΑΚ και των ανταλλάξιμων κατιόντων γίνεται σε δύο ξεχωριστά δείγματα εδάφους (ένα δείγμα για τον κάθε προσδιορισμό), γεγονός που καθιστά τη διαδικασία χρονοβόρα και σχετικά πολύπλοκη. Ο Διεθνής Οργανισμός Προτύπων (International Organization for Standardization) καθόρισε μία μέθοδο (**μέθοδος ISO 23470**) για τον προσδιορισμό της ΙΑΚ και των ανταλλάξιμων κατιόντων (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+}) στα εδάφη, στο ίδιο δείγμα εδάφους, με τη χρήση διαλύματος τριχλωριούχου εξαμινοκοβαλτίου ως διαλύματος αντικατάστασης (εκχυλιστικού).

Τα ανταλλάξιμα κατιόντα του εδάφους αντικαθίστανται από ιόντα εξαμινοκοβαλτίου σε υδατικό διάλυμα και η ΙΑΚ υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ της αρχικής ποσότητας εξαμινοκοβαλτίου και εκείνης που παραμένει στο διάλυμα μετά την ανταλλαγή. Ο αναλυτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης του εξαμινοκοβαλτίου, τόσο στο αρχικό διάλυμα όσο και στο τελικό μετά την ανταλλαγή, μπορεί να γίνει με μέτρηση του ολικού αμμωνίου (μέθοδος απόσταξης κατά Kjeldahl) ή με άμεση φασματοφωτομετρική μέθοδο ή με μέτρηση της ολικής συγκεντρώσεως κοβαλτίου. Οι ποσότητες των ανταλλάξιμων κατιόντων στο τελικό διάλυμα μπορούν να προσδιορισθούν με φασματοσκοπία εκπομπής επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP), ή με Ατομική Απορρόφηση, ή με φλογοφωτομετρία εκπομπής ειδικά για το Νάτριο, που μας ενδιαφέρει, για τον υπολογισμό του ESP.

Σημείωση:

- Επειδή το pH αιωρήματος εδάφους-διαλύματος τριχλωριούχου εξαμινοκοβαλτίου είναι περίπου ίδιο με το pH αιωρήματος εδάφους-νερού, η μέθοδος θεωρείται ότι προσδιορίζει την ΙΑΚ σε συνθήκες εδαφικού pH (ΙΑΚ αγρού ή ενεργός ΙΑΚ).

- Όταν τα ανταλλάξιμα κατιόντα συγκρατούνται σε εδαφικούς μικροπόρους στους οποίους τα ιόντα του εξαμινοκοβαλτίου δεν μπορούν να εισχωρήσουν, η ΙΑΚ και οι ποσότητες των ανταλλαξίμων κατιόντων, που προσδιορίζονται με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να είναι μικρότερες εκείνων που προσδιορίζονται με μεθόδους που χρησιμοποιούν ως κατιόν αντικαταστάσεως NH_4^+ ή Ba^{2+} τα οποία, σε αντίθεση με το εξαμινοκοβάλτιο, μπορούν να εισχωρήσουν στους μικροπόρους. Αυτό έχει παρατηρηθεί σε εδάφη που περιέχουν αλλοφανή και ιμογγολίτη.

6.4.4.3 Υλικά και όργανα

- Αναλυτικός ζυγός.
- Σκληροί διηθητικοί ηθμοί που βεβαιωμένα συγκρατούν αμελητέα ποσότητα εξαμινοκοβαλτίου (απαιτείται έλεγχος).
- Δοχεία χωρητικότητας 100 mL, που κλείνουν αεροστεγώς για την ανακίνηση του δείγματος.
- Περιστροφικός ανακινητήρας (end-over-end shaker). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και παλινδρομικός ανακινητήρας.
- Φυγόκεντρος με τους κατάλληλους σωλήνες φυγοκέντρωσης. Χρησιμοποιείται αντί των ηθμών για την επίτευξη διαυγούς εκχυλίσματος. Επαρκείς συνθήκες φυγοκέντρωσης θεωρούνται οι 4000 στρ./λεπτό, επί 20 λεπτά.
- Συσκευή απόσταξης Προτιμητέα η συσκευή απόσταξης με υδρατμούς κατά Kjeldahl (βλέπε Σχήμα 6.1)
- Εναλλακτικά για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του εξαμινοκοβαλτίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί φασματοφωτόμετρο ορατού-υπεριώδους με κυψελίδες οπτικής διαδρομής 10 mm.
- Ατομική Απορρόφηση ή ICP.
- Φλογοφωτόμετρο για τον προσδιορισμό του Νατρίου

6.4.4.4 Αντιδραστήρια

- **Αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό**, ελεύθερο των προς ανάλυση μετάλλων και με ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη των 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- **Διάλυμα τριχλωριούχου εξαμινοκοβαλτίου $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_3]$ 0,0166 M**. Ζυγίζονται 4,458 g της ουσίας και μεταφέρονται σε ογκομετρική φιάλη του 1 L, που περιέχει περίπου 700 mL αποσταγμένου νερού. Μετά την διάλυση συμπληρώνεται ο όγκος με νερό.
- **Διάλυμα βορικού οξέος-μικτού δείκτη (κατά Bremner, 1996)**. 40 g βορικού οξέος (H_3BO_3) μεταφέρονται σε μεγάλο ποτήρι ζέσεως (με ένδειξη στα 2 L) με περίπου 900 mL νερού και διαλυτοποιούνται με ελαφρά θέρμανση και ανάδευση. Μετά από ψύξη, προστίθενται 40 mL διαλύματος μικτού δείκτη, το οποίο παρασκευάζεται με διάλυση 50 mg πρασίνου βρωμοκρεσόλης (bromocresol green) και 33 mg ερυθρού του μεθυλίου (methyl red) σε 50 mL αιθανόλης. Στο όλο διάλυμα του βορικού οξέος-μικτού δείκτη προστίθενται κατόπιν, προσεκτικά, σταγόνες διαλύματος 0,1 M καυστικού νατρίου (NaOH), μέχρις ότου το διάλυμα αποκτήσει ένα ερυθρο-ιώδες χρώμα (pH περίπου 4,8-5,0) και συμπληρώνεται ο όγκος των 2 L με νερό. Ακολουθεί καλή μίξη.
- **Πρότυπο διάλυμα θειικού οξέος (H_2SO_4), 0,025 M**.
- **Διάλυμα καυστικού νατρίου (NaOH), 33%**.
- **Διάλυμα θειικού αμμωνίου $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ για έλεγχο της συσκευής και της τεχνικής της απόσταξης**. Παρασκευάζεται με διάλυση 0,24 g της ενώσεως σε 100 mL νερού.
- **Πρότυπο διάλυμα Na^+ 1000 mg/L**. 2,542 g NaCl διαλυτοποιούνται με νερό και φέρονται σε όγκο 1 λίτρο με νερό.

6.4.4.5 Διαδικασία ανταλλαγής (εκχύλισης)

- Για τα συνήθη ελληνικά εδάφη με ΙΑΚ μεταξύ 10-32 cmol/kg , 2,5 g λεπτής γης τοποθετούνται στο δοχείο ανακίνησης με 50 mL διαλύματος εξαμινοκοβαλτίου και ανακινούνται επί 60 ± 5 λεπτά, στους $20^\circ \pm 0,2$ C. (για εδάφη με μικρότερη ΙΑΚ χρησιμοποιούνται 5 g εδάφους ή 1,25 g για εδάφη με ΙΑΚ μεγαλύτερη των 32 cmol/kg). Αμέσως μετά, το αιώρημα διηθείται ή φυγοκεντρείται και στο διαυγές εκχύλισμα γίνονται όλοι οι προσδιορισμοί εντός 24 ωρών.
- Για τον προσδιορισμό της ακριβούς συγκέντρωσης του εξαμινοκοβαλτίου στο διάλυμα αντικατάστασης, εκτελείται ένας «λευκός» προσδιορισμός με τις ίδιες ως άνω συνθήκες και 50 mL διαλύματος εξαμινοκοβαλτίου αλλά χωρίς έδαφος.

6.4.4.6 Προσδιορισμός της ΙΑΚ κατόπιν προσδιορισμού του αμμωνίου με απόσταξη

- 10 mL του εδαφικού εκχυλίσματος μεταφέρονται στο δοχείο απόσταξης της συσκευής και προστίθενται 50 mL νερού.
- Σε κωνική φιάλη των 200 mL προστίθενται 50 mL διαλύματος βορικού οξέος- μικτού δείκτη και η φιάλη τοποθετείται στην έξοδο του ψυκτήρα της συσκευής (έξοδος αποστάγματος).
- Προστίθενται 5 mL διαλύματος καυστικού νατρίου στη φιάλη απόσταξης, η συσκευή συναρμολογείται, τίθεται σε λειτουργία η οποία διαρκεί τόσο ώστε ο όγκος του αποστάγματος στον υποδοχέα να φθάσει τα 150 mL.
- Ακολουθεί ογκομέτρηση του αμμωνίου με το πρότυπο διάλυμα θειικού οξέος (έστω V_1 ο όγκος του καταναλωθέντος θειικού οξέος σε mL).
- Ακολουθεί κατά τον ίδιο τρόπο απόσταξη 10 mL του «λευκού» δείγματος (έστω V_2 ο όγκος του καταναλωθέντος θειικού οξέος σε mL).
- Εκτελείται και ένας «τυφλός» προσδιορισμός με την χρήση νερού. Η ποσότητα του θειικού οξέος που καταναλώνεται πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,2 mL, οπότε συνήθως αγνοείται. Σε αντίθετη περίπτωση ελέγχεται η καθαρότητα των αντιδραστηρίων και των διαφόρων σκευών.
- Περιοδικά ελέγχεται η λειτουργία της συσκευής και η όλη τεχνική της απόσταξης με απόσταξη 10 mL του διαλύματος θειικού αμμωνίου (περιέχουν 5 mg N). Ο όγκος του θειικού οξέος (0,025 N) που καταναλώνεται θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6,95 και 7,35 mL (θεωρητική τιμή = 7,15 mL)

6.4.4.7 Υπολογισμός της ΙΑΚ σε cmol_c/kg εδάφους

Γίνεται από την γενική εξίσωση:

$$ΙΑΚ = (V_2 - V_1) \times M \times 2 \times 50 \times 100 / 2 \times V \times B$$

Όπου:

V_2 = ο όγκος του θειικού οξέος, σε mL, στην ογκομέτρηση του «λευκού».

V_1 = ο όγκος του θειικού οξέος, σε mL, στην ογκομέτρηση του δείγματος.

M = η μοριακότητα του θειικού οξέος, (0,025 M).

V = ο όγκος του εκχυλίσματος που αποστάχθηκε.

B = το βάρος του εδαφικού δείγματος.

Παράδειγμα:

Έστω ότι χρησιμοποιήθηκαν 2,62 g εδάφους και ελήφθησαν 15 mL εκχυλίσματος για την απόσταξη (πολλές φορές λαμβάνεται μεγαλύτερος όγκος εκχυλίσματος αντί των 10 mL που προτείνει η μέθοδος) για μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση του όγκου του θειικού οξέος. Οι όγκοι θειικού οξέος που καταναλώθηκε ήταν: $V_2 = 14,8$ mL και $V_1 = 9,2$ mL. Τότε:

$$ΙΑΚ \text{ εδάφους} = (14,8 - 9,2) \times 0,025 \times 2 \times 50 \times 100 / 2 \times 15 \times 2,62 = 17,8 \text{ cmol}_c/\text{kg}$$

6.4.4.8 Προσδιορισμός της ΙΑΚ φασματοφωτομετρικά

Ο φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης του εξαμινοκοβαλτίου γίνεται με μέτρηση της απορρόφησης (absorbance), του αναλυομένου διαλύματος, σε μήκος κύματος 475 nm, χωρίς την προκατεργασία του. Απαιτείται επομένως η εύρεση της σχέσεως συγκέντρωση-απορρόφηση (καμπύλη βαθμολόγησης) με τη χρήση διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης σε εξαμινοκοβάλτιο, Η σχέση είναι ευθύγραμμη μέχρι συγκέντρωσης 0,0166 mol/L εξαμινοκοβαλτίου (αρχική συγκέντρωση).

Διαδικασία ανταλλαγής (εκχύλισης)

Η ίδια όπως περιγράφεται ανωτέρω.

Καμπύλη βαθμολόγησης – Μέτρηση – Υπολογισμός ΙΑΚ

Προετοιμάζονται διαλύματα συγκέντρωσης 0,000 - 0,0033 – 0,0066 – 0,0099 – 0,0132 και 0,0166 mol/L. Τα διαλύματα παρασκευάζονται με αραιώση του αρχικού 1/5, 2/5, 3/5, και 4/5, αντίστοιχα. Μετρίεται η απορρόφηση στα 475 nm και χαράσσεται η καμπύλη βαθμολόγησης σε χιλιοστομετρικό χαρτί. Εναλλακτικά, γίνε-

ται ευθύγραμμη συμμεταβολή μεταξύ απορρόφησης και συγκέντρωσης και παράγεται η εξίσωση που συνδέει τα δύο μεγέθη μεταξύ τους.

Πρίν από κάθε σειρά μετρήσεων ελέγχεται το ευθύγραμμο της σχέσης με τη χρήση αποσταγμένου νερού και του αρχικού διαλύματος εξαμινοκοβαλτίου.

Μέρος του εκχυλίσματος από το δείγμα μεταφέρεται στην κυψελίδα του φασματοφωτομέτρου, μετρίεται η απορρόφηση και υπολογίζεται η συγκέντρωση του απομείναντος εξαμινοκοβαλτίου, σε mol/L, με τη βοήθεια της γραφικής καμπύλης βαθμολόγησης ή της μαθηματικής εξίσωσης. Η συγκέντρωση αυτή αφαιρείται από την αρχική συγκέντρωση του εξαμινοκοβαλτίου (0,0166 mol/L) ώστε να υπολογισθεί η συγκρατηθείσα (ανταλλαχθείσα) ποσότητα στο έδαφος (Q).

Η ΙΑΚ του εδάφους υπολογίζεται από τη γενική εξίσωση:

$$\text{ΙΑΚ σε cmol/kg} = 300 \times Q \times V/B$$

Όπου:

Q = η ποσότητα εξαμινοκοβαλτίου που συγκρατήθηκε, σε mol/L

V = ο όγκος του διαλύματος εξαμινοκοβαλτίου που χρησιμοποιήθηκε (50 mL)

B = το βάρος του εδάφους

Παράδειγμα

Έστω ότι χρησιμοποιήθηκαν 2,55 g εδάφους και μετά την φασματοσκοπική μέτρηση η συγκέντρωση του εξαμινοκοβαλτίου βρέθηκε ίση με 0,0125 mol/L. Η ΙΑΚ του εδάφους είναι:

$$\text{ΙΑΚ} = 300 \times (0,0166 - 0,0125) \times 50/2,55 = 24,1 \text{ cmol/kg}$$

Διόρθωση λόγω παρουσίας διαλυτών οργανικών ενώσεων

Οι οργανικές ενώσεις που διαλυτοποιούνται κατά την διαδικασία της αντικατάστασης (εκχύλισης), απορροφούν ακτινοβολία επίσης στα 475 nm. Όταν επομένως τα εκχυλίσματα είναι έντονα χρωματισμένα (ένδειξη ύπαρξης μεγάλης συγκέντρωσης διαλυτών οργανικών ουσιών), ο υπολογισμός της ΙΑΚ επηρεάζεται και πρέπει να γίνει κάποια διόρθωση. Η διόρθωση γίνεται με μετρήσεις στα 475 και 380 nm, ως εξής:

- Μετρίεται η απορρόφηση του καθαρού διαλύματος εξαμινοκοβαλτίου στα 475 και 380 nm. Ο λόγος των δύο απορροφήσεων, R_1 , είναι 8,13.
- Από μετρήσεις σε οργανικές ενώσεις, που εκχυλίζονται με διάλυμα 0,05 mol/L χλωριούχου αμμωνίου, από εδάφη με διαφορετική περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, βρέθηκε ότι ο αντίστοιχος λόγος των απορροφήσεων, R_2 , είναι 0,2.
- Μετρίεται η απορρόφηση του αναλυόμενου δείγματος στα 475 nm (A_1) και στα 380 nm (A_2), η δε απορρόφηση που οφείλεται στο εξαμινοκοβάλτιο, $A_{εξ}$, δίνεται από τη σχέση:

$$A_{εξ} = (A_1 - R_2 A_2) R_1 / (R_1 - R_2)$$

Η τιμή της $A_{εξ}$ χρησιμοποιείται για να ευρεθεί η συγκέντρωση του εξαμινοκοβαλτίου, με τη βοήθεια της καμπύλης αναφοράς, η οποία αφαιρείται από την αρχική συγκέντρωση εξαμινοκοβαλτίου για να ευρεθεί η ποσότητα που ανταλλάχθηκε, Q_1 .

Η σχέση υπολογισμού της ΙΑΚ είναι η ίδια ως ανωτέρω, δηλαδή,

$$\text{ΙΑΚ σε cmol/kg} = 300 \times Q_1 \times V/B$$

6.5 Υπολογισμός του ESP

Αφού υπολογισθούν η CEC και το ανταλλάξιμο νάτριο, στη συνέχεια η ποσότητα του ανταλλάξιμου νατρίου εκφράζεται ως ποσοστό της CEC και το αποτέλεσμα συνιστά το **ζητούμενο ESP**.

Επιπλέον η τιμή του ESP συνδέεται με το SAR_{ex} του εδαφικού διαλύματος με τη σχέση:

$$\frac{ESP}{100 - ESP} = 0,015 SAR_{ex}$$

Το SAR_{ex} του εδαφικού διαλύματος μπορεί να ταυτισθεί με το SAR του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση ενός εδάφους.

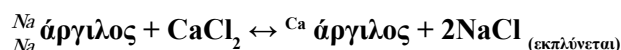
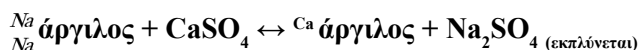
6.6 Αξιολόγηση του αποτελέσματος – Βελτίωση νατριομένων εδαφών

Προηγούμενα αναλύθηκε ο τρόπος υπολογισμού του SAR_{ex} και του ESP, ως δεικτών για την εκτίμηση της νατρίωσης του εδάφους. Ένα έδαφος χαρακτηρίζεται ως νατριομένο όταν, είτε η τιμή του SAR_{ex}, υπερβεί το 13, είτε η τιμή του ESP υπερβεί το 15 (Πίνακας 6.1). Από τη στιγμή που ένα έδαφος κριθεί ως νατριομένο, επιβάλλεται άμεσα η εξυγίανσή του, πριν αποδοθεί για γεωργική χρήση.

Ακολουθούν οι βασικές αρχές που διέπουν την εξυγίανση των νατριομένων εδαφών, ενώ οι ειδικότερες λεπτομέρειες για τη συνολική προσπάθεια εξυγίανσης νατριομένων εδαφών, δίδονται στο θεωρητικό μέρος του μαθήματος. Επίσης, στο παράρτημα των εργαστηριακών ασκήσεων, δίδονται υπολογιστικά παραδείγματα, σχετιζόμενα με την προσπάθεια της εξυγίανσης ενός νατριομένου εδάφους.

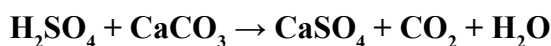
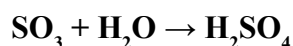
Η λογική της εξυγίανσης των νατριομένων εδαφών, στηρίζεται στην αντικατάσταση του ανταλλάξιμου νατρίου από ιόντα ασβεστίου. Τα ιόντα ασβεστίου μπορεί να προέρχονται από την προσθήκη βελτιωτικών όπως η γύψος ή το χλωριούχο ασβέστιο, από τη διαλυτοποίηση υπαρχόντων στο έδαφος ενώσεων του ασβεστίου, ή από το νερό άρδευσης. Σημαντικός παράγοντας στην εξυγίανση των νατριομένων εδαφών είναι η διατήρηση επαρκώς υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητας, πράγμα που επιτυγχάνεται με την εξασφάλιση υψηλής συγκέντρωσης ηλεκτρολυτών στο εδαφικό διάλυμα. Έχει δειχθεί ότι η εφαρμογή ενός βελτιωτικού, που διαλύεται με αργό ρυθμό, εξασφαλίζει ικανοποιητική συγκέντρωση ηλεκτρολυτών ώστε να εμποδιστεί ο διαμερισμός της αργίλου, γεγονός που θα οδηγήσει στη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας, του προς βελτίωση εδάφους. (Keren and Shainberg, 1981)

Τα συνηθέστερα βελτιωτικά που χρησιμοποιούνται για την παροχή ιόντων ασβεστίου είναι η γύψος (CaSO₄ · 2H₂O) και το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl₂ · 2H₂O). Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι:



Για να χωρήσει η αντίδραση προς τα δεξιά πρέπει τα ευδιάλυτα προϊόντα να απομακρύνονται, γεγονός που συμβαίνει με την ύπαρξη ή τη δημιουργία στραγγιστικού δικτύου, και την εξασφάλιση της καλής περατότητας του εδάφους. Η αποτελεσματικότητα των δυο ως άνω βελτιωτικών εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους και το βαθμό διαλυτότητάς τους. Σε μη ασβεστούχα νατριομένα εδάφη, η γύψος ήταν πιο αποτελεσματική του χλωριούχου ασβεστίου, διότι διατηρούσε επαρκή συγκέντρωση ηλεκτρολυτών στο εδαφικό διάλυμα με συνέπεια να εξασφαλιζόταν υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Αντίθετα, η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, με τη χρήση χλωριούχου ασβεστίου, μειώνονταν σημαντικά προφανώς λόγω της γρήγορης έκπλυσής του, με συνέπεια τη μείωση των ηλεκτρολυτών στο εδαφικό διάλυμα. (Keren and Shainberg, 1981) Σε ασβεστούχα νατριομένα εδάφη η αποτελεσματικότητα των δυο βελτιωτικών ήταν η ίδια. Τα συμπεράσματα αυτά σημαίνουν ότι σε μη ασβεστούχα νατριομένα εδάφη συνιστάται η εφαρμογή συνδυασμού των δυο βελτιωτικών για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. (Prather et.al. 1978).

Βελτιωτικά που επίσης εφαρμόζονται σε ασβεστούχα εδάφη, ώστε να μετατρέψουν το υπάρχον CaCO₃ σε γύψο, είναι το θειικό οξύ το θειόν, ο θειικός σίδηρος και το θειικό αργίλιο. Το θείο σε πρώτη φάση οξειδώνεται βιολογικά προς θειικό οξύ, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Το θειικό ασβέστιο αντιδρά με το νατριούχο εδαφικό σύμπλοκο, σύμφωνα με την αναφερθείσα πρώτη αντίδραση.

Έχει δειχθεί ότι η εφαρμογή H₂SO₄ σε ασβεστούχα νατριομένα εδάφη αύξησε τη διηθητικότητά τους πιο αποτελεσματικά από ότι η γύψος (Prather et.al. 1978). Βέβαια, απαιτείται προσοχή στην εφαρμογή του H₂SO₄ (ισχυρό διαβρωτικό) και την αποφυγή επαφής του με ζωντανούς ζωικούς ιστούς ή την εφαρμογή του σε νερό που θα περάσει από μεταλλικά συστήματα.

Τέλος, επειδή όπως αναφέρθηκε, η διατήρηση της αργίλου σε κατάσταση θρόμβωσης με συνέπεια την αυξημένη διηθητικότητα, είναι σημαντικός παράγοντας στην εξυγίανση των νατριομένων εδαφών έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί μέθοδοι βελτίωσης με τη χρήση αλατούχου νερού (θαλασσινού ή άλλου με ανάλογη σύνθεση) με πολύ μεγάλη EC. Η μεγάλη EC του νερού διευκολύνει την κίνησή του στο έδαφος, επειδή διατηρεί την αργίλο σε κατάσταση θρόμβωσης, γεγονός που συνεπάγεται την εξυγίανση του εδάφους σε

μεγάλο βάθος. Οι μέθοδοι αυτές είναι κυρίως κατάλληλες για εδάφη με βαριά κοκκομετρική σύσταση (ιδίως μοντμοριλλονικά) στα οποία οι κλασσικές μέθοδοι είναι δύσκολο να εφαρμοστούν με αποτελεσματικότητα λόγω διόγκωσης της αργίλου και της συνεπαγόμενης παρεμπόδισης της κίνησης του νερού προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

Οι μέθοδοι που έχουν προταθεί και εφαρμοστεί στη βελτίωση των νατριωμένων εδαφών με τη χρήση νερού με υψηλή EC είναι κυρίως δύο. Η πρώτη είναι των Reeve and Doering, (1966) και η δεύτερη του Μισοπολινού, (1991). Για τις λεπτομέρειες των δυο μεθόδων ο αναγνώστης παραπέμπεται στην αντίστοιχη βιβλιογραφία.

6.7 Βελτίωση αλατούχων - νατριωμένων εδαφών

Αυτή η κατηγορία αφορά εδάφη στα οποία τόσο η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα είναι υψηλή, όσο και η ποσότητα του ανταλλάξιμου νατρίου υπερβαίνει το 15% της CEC. Τα γενικά χαρακτηριστικά των εδαφών αυτών και των άλλων προαναφερθέντων, συνοψίζονται στον Πίνακα 6.1

| Κατηγορία εδάφους | EC _{ex} * | pH | SAR | ESP | Διηθητικότητα |
|-----------------------|--------------------|------|-----|-----|---------------|
| Αλατούχα | >4 | <8,5 | <13 | <15 | Καλή |
| Νατριωμένα | <4 | >8,5 | >13 | >15 | Κακή |
| Αλατούχα - Νατριωμένα | >4 | <8,5 | >13 | >15 | Μέτρια |

*Υπάρχει τάση το όριο της EC_{ex} να ορίζεται το 2 dS/m

Πίνακας 6.1 Χαρακτηριστικά των προβληματικών εδαφών

Για τη βελτίωση αυτών των εδαφών με τις κλασσικές μεθόδους που αναφέρθηκαν, προηγείται η έκπλυση των αλάτων και έπεται η αντικατάσταση του ανταλλάξιμου νατρίου με ασβέστιο. Με τις νεώτερες μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούν αλατούχο νερό, οι δύο διεργασίες χωρούν παράλληλα.

Βιβλιογραφία

- Bower, C.A., Ogata, G. and Tucker, J.M. 1968.** Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation on solution as calcium carbonate. *Soil Sci.* 106: 24-34.
- Bremner, J. M., 1996.** Nitrogen-Total. In D. L. Sparks et al (eds). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* Soil sci. soc. Am., Madison WI.
- FAO, 1984.** Prognosis of salinity and alkalinity. *Soils BuII.* 31, Rome, Italy
- ISO 23470, 2007.** Soil quality – Determination of effective cation exchange capacity (CEC) and exchangeable cations using a hexamminecobalt trichloride solution.
- Keren, R., and Shainberg, I. 1981.** Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. *Soil sci. soc. Am J* 45:103-107.
- Μισοπολινός, Ν.Δ., 1991.** Προβληματικά εδάφη. Μελέτη – πρόβλεψη – βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη Θεσσαλονίκη.
- Polemio, M., and J. D. Rhoades. 1977.** Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:524-528.
- Prather, R. J., Goertzen, J. O., Rhoades, J.D., and Frenkel, H. 1978.** Efficient amendment use in sodic soil reclamation. *Soil Sci. Soc. Am J.* 42:782-786.
- Reeve, R. C., and Doering, E. J. 1966.** The high-salt-water dilution method for reclaiming sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:498-504.
- Rhoades, D.J. 1982.** Cation exchange capacity. p. 149-157. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keeney (eds). *Methods of soil analysis Part 2.* SSSA, Madison, WI.
- Rhoades, D.J. 1982.** Soluble salts. p. 167-178. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keeney (eds). *Methods of soil analysis Part 2.* Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Rhoades, D.J., and S. Miyamoto 1990.** Testing soils for salinity and sodicity p. 299-336. In R.L. Westerman (ed.) *Soil testing and plant analysis.* SSSA book series:3, Madison, WI.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2015.** Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα-Κάλλιπος, Ηράκλειο Κρήτης.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2008.** Διαχείριση Εδαφών. Εκδόσεις του ιδίου. Ηράκλειο Κρήτης.
- Soil Survey Staff, 1992.** Soil survey laboratory methods manual. Version No. 2.0. USDANRCS. Soil Survey Investigations Report No. 42. U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996.** Cation exchange capacity, and exchange coefficients. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties (3rd ed.).* Am. Soc. of Agron., Soil sci. soc. Am., Crop. Sci. Soc. of Am., Madison, WI.
- Thomas, W.G. 1982.** Exchangeable cations. p. 159-164. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keeney (eds) *Methods of soil analysis Part 2.* Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- U.S. Salinity laboratory staff. 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dep. Agr. Handbook 60. Government Printing Office, Washington, D.C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΛΥΜΕΝΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

1) Ένα πολύ όξινο έδαφος με $\text{pH} = 4$ έχει βαθμό κορεσμού από βάσεις 20%. Όταν το pH του ανέβει στο 6,5 ο βαθμός κορεσμού από βάσεις γίνεται 70%. Αν η CEC του είναι $20 \text{ cmol}_c/\text{kg}$, να βρεθεί πόση ποσότητα CaCO_3 απαιτείται για να ανέβει το pH ενός στρέμματος εδάφους από την τιμή 4 στην τιμή 6,5 και για βάθος 20 cm (ΦΕΒ του εδάφους = $1,2 \text{ g/cm}^3$).

Λύση

Η μεταβολή του βαθμού κορεσμού από βάσεις, όταν ανεβαίνει το pH από το 4 στο 6,5 είναι $70-20 = 50\%$. Επομένως το 50% της CEC πρέπει να κορεσθεί με ιόντα ασβεστίου, που θα δοθούν υπό μορφή CaCO_3 .

Η CEC του συγκεκριμένου εδάφους είναι $20 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ άρα χρειάζονται $10 \text{ cmol}_c \text{ Ca}^{2+}/\text{kg}$ εδάφους ή $10 \text{ cmol}_c \text{ CaCO}_3/\text{kg}$ εδάφους. Έτσι:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ cmol}_c \text{ CaCO}_3 & \text{είναι } 500 \text{ mg CaCO}_3 \\ 10 & \text{x;} \end{array}$$

$$\text{x} = 5 \text{ g CaCO}_3 \text{ ή } 5 \times 10^{-3} \text{ kg CaCO}_3/\text{kg} \text{ εδάφους}$$

Το 1 στρέμμα εδάφους σε βάθος 20 cm με ΦΕΒ= $1,2 \text{ g/cm}^3$ ζυγίζει 240 tn, επομένως:

$$\begin{array}{ll} \text{Αφού στο } 1 \text{ kg} \text{ εδάφους} & \text{απαιτούνται } 5 \times 10^{-3} \text{ kg CaCO}_3 \\ \text{Στα } 240 \times 10^3 \text{ kg} & \text{x;} \end{array}$$

$$\text{x} = 240 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-3} \text{ kg} = 1200 \text{ kg} \text{ ή } 1,2 \text{ tn (στρεμ. CaCO}_3)$$

Επομένως, απαιτούνται 1,2 tn CaCO_3 ανά στρέμμα εδάφους για βάθος 20 cm.

Συγκρίνετε την ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου που απαιτείται εδώ, για την εξουδετέρωση της οξύτητας της στερεής φάσης, με την ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου που απαιτείται για την εξουδετέρωση της ενεργού οξύτητας, όπως φαίνεται στην επόμενη άσκηση.

Η άσκηση που ακολουθεί, έχει βέβαια θεωρητικό χαρακτήρα αφού στην πράξη, εξαιτίας της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ υγρής και στερεής φάσης ποτέ δεν μπορεί να επιτευχθεί στη φύση η εξουδετέρωση των ιόντων υδρογόνου της μιας ή της άλλης φάσης ξεχωριστά.

2) Πόσο ανθρακικό ασβέστιο θα απαιτηθεί για να εξουδετερωθούν τα ιόντα H^+ στο διάλυμα ενός στρέμματος εδάφους με υγρασία 35% κατά βάρος, για βάθος 20cm, όταν το pH του μεταβάλλεται από 4 στο 6,5 (ΦΕΒ του εδάφους = $1,2 \text{ g/cm}^3$).

Λύση

$\text{pH} = 4$ σημαίνει $\rightarrow [\text{H}^+] = 1 \times 10^{-4} \text{ gr-ion/L}$ επομένως και

$\text{pH} = 6,5$ σημαίνει $\rightarrow [\text{H}^+] = 1 \times 10^{-6,5} \text{ gr-ion/L}$ άρα η διαφορά στην ποσότητα των ιόντων υδρογόνου από το $\text{pH} = 4$ σε $\text{pH} = 6,5$ είναι ίση με:

$$[\text{H}^+] = 9,97 \times 10^{-5} \text{ gr-ion/L} \text{ ή } 9,97 \times 10^{-2} \text{ mmol}_c \text{ H}^+/\text{L}.$$

Η ποσότητα του νερού στο έδαφος είναι: Βάρος ενός στρέμματος εδάφους σε βάθος 20cm, με ΦΕΒ = $1,2 \text{ g/cm}^3$ ίσο με $2,4 \times 10^5 \text{ kg}$.

Αν η περιεκτικότητά του σε νερό είναι ίση με 35%, η ποσότητα του νερού είναι $2,4 \times 10^5 \times 0,35 = 8,4 \times 10^4$ kg. Επομένως:

Αν για 1 L νερού προκειμένου να μεταβληθεί το pH του από το 4 στο 6 απαιτείται ποσότητα ιόντων H^+ ίση με $9,97 \times 10^{-2}$ mmol_e

Για $8,4 \times 10^4$ L νερού $\rightarrow \gg \rightarrow X; \rightarrow \gg$

$$X = 9,97 \times 10^{-2} \times 8,4 \times 10^4 = 8,38 \times 10^3 \text{ mmol}_e H^+$$

Για την εξουδετέρωση της παραπάνω ποσότητας ιόντων H^+ απαιτείται ισοδύναμη ποσότητα $CaCO_3$, δηλαδή:

$$8,38 \times 10^3 \text{ mmol}_e CaCO_3 \text{ ή } 419 \text{ g } CaCO_3 \text{ αφού } 1 \text{ mmol}_e CaCO_3 = 50 \text{ mg}$$

3) Ένα έδαφος έχει pH = 6,5 όταν ο βαθμός κορεσμού του από βάσεις, ΒΚΒ είναι = 65% και pH = 6,0 όταν ο ΒΚΒ = 55%. Αν η CEC του εδάφους είναι 20 cmol_e/kg και δέχεται ετησίως 800 mm όξινης βροχής με pH = 4. Να βρεθεί πόσα χρόνια θα χρειασθούν για να μεταβάλλει η βροχή το pH ενός στρέμματος εδάφους από 6,5 σε 6,0 μέχρι βάθος 20 cm (ΦΕΒ του εδάφους = 1,2 g/cm³)

Λύση

Η μεταβολή του βαθμού κορεσμού από βάσεις, για να μειωθεί το pH του εδάφους από 6,5 στο 6,0 είναι 65 - 55 = 10%. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί, για ένα έδαφος με CEC = 20 cmol_e/kg, με $10 \frac{20}{100} = 2$ cmol_e/kg εδάφους. Ένα στρέμμα εδάφους σε βάθος 20 cm με ΦΕΒ = 1,2 g/cm³ ζυγίζει $10^7 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm} \times 1,2 \text{ g/cm}^3 = 2,4 \times 10^8 \text{ g} = 2,4 \times 10^5 \text{ kg}$ επομένως

αφού στο 1 kg αντιστοιχούν 2 cmol_e

στα $2,4 \times 10^5 \text{ kg} \rightarrow \gg \rightarrow x;$

$x = 2 \times 2,4 \times 10^5 = 4,8 \times 10^5$ cmol_e τα οποία πρέπει να εξουδετερωθούν από ισάριθμα cmol_e H^+ που θα προσφερθούν με την όξινη βροχή.

Η συγκέντρωση του H^+ στο νερό της όξινης βροχής με pH = 4 είναι

$$[H^+] = 1 \times 10^{-4} \text{ gr-ion ή } 1 \times 10^{-4} \text{ mol}_e \text{ ή } 1 \times 10^{-2} \text{ cmol}_e/L$$

Το έδαφος ετησίως δέχεται 800 mm βροχής που αυτό σημαίνει 800 tn νερό στο στρέμμα. Η ποσότητα αυτή του νερού σε συνδυασμό με την περιεκτικότητά της σε υδρογόνο εφοδιάζει το έδαφος ετησίως με $8 \times 10^5 \text{ kg} \times 10^{-2} \text{ cmol}_e/L = 8 \times 10^3 \text{ cmol}_e H^+$.

Επομένως για να εφοδιασθεί το έδαφος με τα $4,8 \times 10^5$ cmol_e H^+ που απαιτούνται για να κατέβει το pH

$$\text{του από 6,5 στο 6,0 χρειάζονται } \frac{4,8 \times 10^5}{8 \times 10^3} = 0,6 \times 10^2 = 60 \text{ χρόνια.}$$

4) Ένα έδαφος περιέχει $CaCO_3$ σε ποσοστό 10% και δέχεται ετησίως 1200 mm όξινης βροχής με pH = 4,5. Να βρεθεί πόσα χρόνια θα χρειασθούν για να εξουδετερώσει η βροχή το $CaCO_3$ ενός στρέμματος εδάφους σε βάθος 20 cm (ΦΕΒ του εδάφους = 1,2 g/cm³).

Λύση

Η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο νερό της βροχής είναι:

$$[H^+] = 1 \times 10^{-4,5} \text{ gr-ion/L ή } 3,16 \times 10^{-5} \text{ g-ion/L ή } 3,16 \cdot 10^{-2} \text{ mmol}_e H^+/L$$

Η ποσότητα του νερού που δέχεται ετησίως το έδαφος είναι 1200 mm ή 1200 tn/στρεμ. ή $1,2 \times 10^6 \text{ kg/στρεμ}$. Το νερό αυτό, εφοδιάζει το έδαφος με $3,16 \times 10^{-2} \times 1,2 \times 10^6 = 3,79 \times 10^4 \text{ mmol}_e H^+$, τα οποία εξουδετερώνουν ισάριθμα mmol_e $CaCO_3$.

Ένα στρέμμα έδαφος σε βάθος 20 cm με ΦΕΒ = 1,2 g/cm³, ζυγίζει 240 tn και αν η περιεκτικότητά του σε $CaCO_3$ είναι 10%, το ανθρακικό ασβέστιο είναι ίσο με:

Στα 100 kg εδάφους περιέχονται 10 kg CaCO₃
στα 2,4 x 10⁵

$$x = \frac{2,4 \times 10^5 \times 10}{100} = 2,4 \times 10^4 \text{ kg CaCO}_3$$

Το 1 mmol_c CaCO₃ είναι ίσο με 50 mg, επομένως η παραπάνω ποσότητα CaCO₃, ισοδυναμεί με

$$\frac{2,4 \times 10^4 \times 10^6}{50} = 4,8 \times 10^8 \text{ mmol}_c \text{ CaCO}_3$$

Επομένως για την εξουδετέρωση του CaCO₃ χρειάζονται

$$\frac{4,8 \times 10^8}{3,79 \times 10^4} = 12.665 \text{ χρόνια.}$$

Η άσκηση αυτή έχει μόνο θεωρητικό χαρακτήρα και εξυπηρετεί την ανάγκη εξοικείωσης των σπουδαστών με τις διάφορες έννοιες, μονάδες και αριθμητικές πράξεις. Στην πραγματικότητα η παραπάνω ποσότητα νερού, θα έχει απομακρύνει από το βάθος των 20 cm με διάλυση, το ανθρακικό ασβέστιο πολύ νωρίτερα, όπως φαίνεται σε επόμενη άσκηση.

5) Στην προηγούμενη άσκηση, αν στο έδαφος προστίθεται ετησίως ποσότητα 100 kg θειϊκής αμμωνίας (NH₄)₂SO₄ ανά στρέμμα, να βρεθεί πόσα χρόνια θα χρειασθούν για την εξουδετέρωση του ανθρακικού ασβεστίου.

Λύση

Το mol_c της (NH₄)₂SO₄ είναι ίσο με $\frac{MB}{2}$ ή $\frac{132}{2} = 66g$

Επομένως τα 100 kg θειϊκής αμμωνίας ισοδυναμούν με:

$$\frac{100 \times 10^3}{66} = 1,5 \times 10^3 \text{ mol}_c$$

Άρα για την εξουδετέρωση 4,8 x 10⁵ mol_c CaCO₃ απαιτούνται:

$$\frac{4,8 \times 10^5}{1,5 \times 10^3} = 3,2 \times 10^2 = 320 \text{ χρόνια}$$

Και στην άσκηση αυτή η ουσιαστική οξινοποιός δράση της αμμωνίας οφείλεται στη νιτροποίησή της οπότε παράγονται 2 H⁺. Μάλιστα έχει βρεθεί ότι ως εκ του λόγου τούτου, για κάθε kg N που προστίθεται στο έδαφος με τη μορφή θειϊκής αμμωνίας αφαιρούνται 5 kg CaCO₃.

6) Σε συνδυασμό των δύο προηγούμενων ασκήσεων αν το έδαφος δέχεται ετησίως και την όξινη βροχή και την ίδια ποσότητα θειϊκής αμμωνίας, όπως στις προηγούμενες ασκήσεις, να βρεθεί πόσα χρόνια θα χρειασθούν για την εξουδετέρωση του ανθρακικού ασβεστίου.

Λύση

Με τη βροχή, το έδαφος δέχεται 38 mol_c H⁺ και με τη θειϊκή αμμωνία 1500 mol_c, επομένως ετησίως εξουδετερώνονται 1538 mol_c CaCO₃.

Το έδαφος περιέχει $4,8 \times 10^5 \text{ mol}_c \text{ CaCO}_3$ τα οποία για να εξουδετερωθούν απαιτούνται:

$$\frac{4,8 \times 10^5}{1538} = 312 \text{ χρόνια}$$

7) Ένα έδαφος περιέχει CaCO_3 σε ποσοστό 10%. Αν η υδατοχωρητικότητα του είναι 38% κατ'όγκο και δέχεται ετησίως 1200 mm βροχής, πόσος χρόνος θα απαιτηθεί για να απομακρυνθεί με διάλυση το ανθρακικό ασβέστιο ενός στρέμματος εδάφους από τα πρώτα 20 cm; ΦΕΒ εδάφους $1,2 \text{ g/cm}^3$.
(Διαλυτότητα $\text{CaCO}_3 = 0,0013 \text{ g/100 mL H}_2\text{O}$)

Λύση

Η ποσότητα του νερού που δέχεται το έδαφος ετησίως είναι 1200 mm ή 1200 tn για ένα στρέμμα.

Η ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένα στρέμμα εδάφους στα πρώτα 20cm είναι:

Όγκος ενός στρέμματος σε βάθος 20cm = $1000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 200 \text{ m}^3 \times 38\%$ υδατοχωρητικότητα κατ'όγκο = 76 m^3 ή 76 tn νερού.

Επομένως από τα πρώτα 20cm του εδάφους διηθούνται $1200 - 76 = 1124 \text{ tn}$ νερού το οποίο διαλύει και παρασύρει ανθρακικό ασβέστιο σε ποσότητα

$$\frac{1124 \times 10^6 \times 0,001}{10^2} = 112.40 \text{ g ή } 11,2 \text{ kg CaCO}_3$$

Η ποσότητα του CaCO_3 που περιέχει ένα στρέμμα εδάφους με περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο 10% και σε βάθος 20 cm είναι $1000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 200 \text{ m}^3 \times 1,2 \text{ g/cm}^3 = 2,4 \times 10^4 \text{ kg}$ επομένως για την απομάκρυνσή του απαιτούνται:

$$\frac{2,4 \times 10^4}{11,24} = 2135 \text{ χρόνια}$$

8) Ένα έδαφος έχει CEC ίση με $20 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ εδάφους. Αν η CEC είναι κορεσμένη σε ποσοστό 5% με ιόντα νατρίου, βρείτε:

α) Πόσα mg ανταλλάξιμου νατρίου υπάρχουν σε 1 kg εδάφους;

β) Πόσα kg ανταλλάξιμου νατρίου υπάρχουν σε ένα στρέμμα εδάφους σε βάθος 20 cm;

γ) Πόσα ppm ανταλλάξιμου Na^+ υπάρχουν στο έδαφος;

Δεδομένα: ΦΕΒ του εδάφους = $1,2 \text{ g/cm}^3$, Ατομ. Βάρος $\text{Na}^+ = 23$.

Λύση

α)

Στα $100 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ CEC υπάρχουν $5 \text{ cmol}_c/\text{kg Na}^+$

στα 20 x ;

$$x = 5 \frac{20}{100} = 1 \text{ cmol}_c \text{ Na}^+/\text{kg} \text{ εδάφους}$$

$1 \text{ mmol}_c \text{ Na}^+ = 23 \text{ mg}$ επομένως υπάρχουν $230 \text{ mg Na}^+/\text{kg}$ εδάφους.

Το αποτέλεσμα είναι και η απάντηση στην ερώτηση γ, δηλαδή 230 ppm Na.

β)

1 στρέμμα εδάφους σε βάθος 20cm με ΦΕΒ = $1,2 \text{ g/cm}^3$ ζυγίζει

$$10^7 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm} \times 1,2 \text{ g/cm}^3 = 2,4 \times 10^8 \text{ g} = 2,4 \times 10^5 \text{ kg}$$

Επομένως:

Στο 1 kg εδάφους υπάρχουν $2,3 \times 10^{-4}$ kg ανταλλάξιμου Na^+
στα $2,4 \times 10^5$ kg x;

$$x = 2,3 \times 10^{-4} \cdot 2,4 \times 10^5 = 55,2 \text{ kg/στρεμ.}$$

9) Από μια ανάλυση ενός δείγματος εδάφους προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

pH = 7,8

$\text{EC}_{\text{ex}} = 4,2$ dS/m

Ανταλλάξιμα $\text{Ca}^{2+} = 8$ cmol_c/kg, $\text{Mg}^{2+} = 6$ cmol_c/kg,

$\text{K}^+ = 2$ cmol_c/k, $\text{Na}^+ = 5$ cmol_c/kg, $(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) = 6$ cmol_c/kg.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία πώς θα χαρακτηρίζατε το έδαφος, από άποψη αλατότητας και νατρίωσης;

Λύση

Το στοιχείο που λείπει είναι η CEC του εδάφους, η οποία βρίσκεται εύκολα από το άθροισμα των ανταλλάξιμων κατιόντων.

Έτσι $\text{CEC} = 8 + 6 + 2 + 5 + 6 = 27$ cmol_c/kg. Ένα άλλο στοιχείο που λείπει είναι το ESP, η ποσότητα δηλαδή του ανταλλάξιμου νατρίου, ως ποσοστό της CEC. Έτσι:

Στα 27 cmol_c/kg CEC αντιστοιχούν 5 cmol_c/kg Na^+
στα 100 x;

$$x = 5 \frac{100}{27} = 18,5\% \text{ (ESP)}$$

Επομένως το έδαφος με βάση την τιμή της EC_{ex} που είναι μεγαλύτερη από 4 και του ESP που είναι μεγαλύτερο από 15, χαρακτηρίζεται ως αλατούχο - νατριομένο.

10) Από μια ανάλυση ενός δείγματος εδάφους προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

pH = 9,6

$\text{EC}_{\text{ex}} = 1,7$ dS/m

CEC = 18 cmol_c/kg

Ανταλλάξιμο $\text{Na}^+ = 5$ cmol_c/kg

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία πώς θα χαρακτηρίζατε το έδαφος από άποψη αλατότητας και νατρίωσης;

Λύση

Η τιμή της EC_{ex} αποτελεί ένδειξη ότι το έδαφος δεν είναι αλατούχο. Η τιμή του pH δίνει ένδειξη ότι το έδαφος θα πρέπει να είναι νατριομένο, πράγμα που θα πρέπει να επιβεβαιώσει ο υπολογισμός του ESP.

Έτσι:

Στα 18 cmol_c/kg CEC αντιστοιχούν 5 cmol_c/kg Na^+
στα 100 x;

$$x = 5 \frac{100}{18} = 27,8\% \text{ (ESP)}$$

Επομένως αφού και το ESP είναι μεγαλύτερο του 15, επιβεβαιώνεται ότι το έδαφος είναι νατριομένο.

11) Από μια ανάλυση του εκχυλίσματος κορεσμού ενός εδάφους βρέθηκε να περιέχει:

$$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 10 \text{ mmol}_c/\text{L}$$

$$\text{Na}^+ = 25 \text{ mmol}_c/\text{L}$$

$$(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) = 1 \text{ mmol}_a/\text{L}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 14 \text{ mmol}_a/\text{L}$$

$$\text{Cl}^- = 20 \text{ mmol}_a/\text{L}$$

Εξετάσετε αν η ανάλυση είναι σωστή. Υπολογίστε το SAR, την EC_{ex} και το ESP. Κατατάξτε το έδαφος από άποψη αλατότητας και νατρίωσης.

Λύση

Για να είναι η ανάλυση σωστή, θα πρέπει το άθροισμα των κατιόντων (AK) σε mmol_c/L να είναι ίσο με το άθροισμα των ανιόντων (AA).

$$\text{AK} = 10 + 25 = 35 \text{ και } \text{AA} = 1 + 14 + 20 = 35.$$

Άρα η ανάλυση είναι σωστή

$$\text{Το SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} = \frac{25}{\sqrt{\frac{10}{2}}} = 11,21$$

$$\text{EC}_{\text{ex}} \text{ σε } \text{dS/m} \times 10 = \text{άθροισμα κατιόντων ή ανιόντων σε } \text{mmol}_{(\pm)}/\text{L}$$

Επομένως:

$$\text{EC}_{\text{ex}} = \frac{35}{10} = 3,5 \text{ dS/m}$$

$$\frac{\text{ESP}}{100 - \text{ESP}} = 0,015 \text{ SAR επομένως } \frac{\text{ESP}}{100 - \text{ESP}} = 0,015 \times 11,21$$

$$\text{ESP} = 0,17(100 - \text{ESP}) \Rightarrow \text{ESP} = 17 - 0,17 \text{ESP} \Rightarrow 1,17 \text{ESP} = 17 \Rightarrow \text{ESP} = \frac{17}{1,17} = 14,5$$

Επομένως, το έδαφος με βάση τις τιμές EC_{ex} και ESP χαρακτηρίζεται ως κανονικό, όμως είναι πολύ κοντά για να χαρακτηριστεί αλατούχο - νατρίωμένο.

12) Από μια ανάλυση ενός δείγματος νατριομένου εδάφους προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία:

$$\text{CEC} = 40 \text{ cmol}_c/\text{kg}$$

$$\text{ESP} = 50\%$$

$$\text{CaCO}_3 = 0,5\%$$

Να βρεθεί αν η υπάρχουσα ποσότητα του CaCO_3 είναι αρκετή για τη βελτίωση του εδάφους.

Λύση

Η ποσότητα του CaCO_3 που περιέχεται σε 1 kg εδάφους είναι:

$$\begin{array}{ll} \text{Στα } 100 \text{ kg εδάφους περιέχονται} & 0,5 \text{ kg } \text{CaCO}_3 \\ \text{στο } 1 \text{ kg} & x; \end{array}$$

$$x = 0,5 \frac{1}{100} = 0,5 \times 10^{-2} \text{ kg ή } 5 \text{ g } \text{CaCO}_3$$

Το 1 cmol_c CaCO₃ είναι ίσο με 0,5 g, επομένως η παραπάνω ποσότητα αντιστοιχεί σε 10 cmol_c CaCO₃/kg εδάφους.

Η ποσότητα του ανταλλάξιμου νατρίου ανά kg εδάφους είναι:

$$\begin{array}{ll} \text{Στα 100 cmol}_c/\text{kg εδάφους ανταλλάξιμων} & \text{τα 50 cmol}_c \text{ είναι Na}^+ \\ \text{στα 40} \gg & \text{x;} \end{array}$$

$$x = 20 \text{ cmol}_c \text{ Na}^+/\text{kg εδάφους}$$

Επομένως, η ποσότητα των 10 cmol_c CaCO₃/kg δεν επαρκεί για την εξυγίανση του εδάφους, η οποία βέβαια σε κάθε περίπτωση για να επιτευχθεί θα πρέπει με κάποιο τρόπο να διαλυτοποιηθεί όλο το υπάρχον CaCO₃.

Η άσκηση αυτή έχει μόνο θεωρητικό, υπολογιστικό χαρακτήρα, αφού στην πραγματικότητα και η εξωτερική εφαρμογή CaCO₃ για τη βελτίωση νατριωμένων εδαφών δεν έχει πρακτική σπουδαιότητα λόγω της μικρής του διαλυτότητας του.

13) Από μια ανάλυση ενός δείγματος νατριωμένου εδάφους προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία:

CEC = 30 cmol_c/kg

ESP = 42

ΦΕΒ του εδάφους = 1,2g/cm³

Να βρεθεί η ποσότητα του (Ca²⁺ + Mg²⁺) και του νερού που απαιτούνται για να βελτιωθεί ένα στρέμμα εδάφους μέχρι βάθος 80 cm. Αν η ποσότητα του (Ca²⁺ + Mg²⁺) στο νερό άρδευσης είναι ίση με 5 mmol_c/L, πόση γύψος θα απαιτηθεί για τη βελτίωση του εδάφους. Διαλυτότητα γύψου στο συγκεκριμένο νερό ίση με 23 mmol_c/L (20° C).

Λύση

Αφού ESP = 42 και CEC = 30 cmol_c/kg το ανταλλάξιμο Na⁺ θα είναι:

$$\text{Na}^+ = \frac{42 \times \text{CEC}}{100} = \frac{42 \times 30}{100} = 12,6 \text{ cmol}_c/\text{kg}$$

για να αντικατασταθεί αυτή η ποσότητα νατρίου, θα απαιτηθεί ισοδύναμη ποσότητα ιόντων (Ca²⁺ + Mg²⁺).

Το βάρος 1 στρέμ. εδάφους σε βάθος 80 cm με ΦΕΒ = 1,2g/cm³ είναι:

$$1000 \text{ m}^2 \times 0,80 \text{ m} \times 1,2 \text{ tn/m}^3 = 960 \text{ tn} \text{ επομένως}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Για 1 kg εδάφους απαιτούνται} & 12,6 \text{ cmol}_c \text{ (Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \\ \text{για } 9,6 \times 10^5 & \text{x;} \end{array}$$

$$x = 12,6 \cdot 9,6 \times 10^5 = 12,1 \times 10^6 \text{ cmol}_c \text{ ή } 12,1 \times 10^4 \text{ mol}_c \text{ (Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Κάθε 1 tn νερού εφοδιάζει το έδαφος με τα ήδη υπάρχοντα ιόντα Ca²⁺+Mg²⁺(5mmol_c) συν τα προερχόμενα από την διάλυση του γύψου ιόντα Ca²⁺(23mmol_c). Δηλαδή σύνολο 28mmol_c. Άρα για τα 12,1x10⁴ mmol_c Ca²⁺+Mg²⁺ θα απαιτηθούν:

$$x = \frac{12,1 \times 10^4}{28} = 4321 \text{ tn νερού}$$

Με βάση τη διαλυτότητα της γύψου υπολογίζεται η ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί στην παραπάνω ποσότητα νερού.

$$\begin{array}{ll} \text{Στο 1 tn νερού διαλύονται} & 23 \text{ mol γύψου} \\ \text{στους 4321 tn} & \text{x;} \end{array}$$

$$x = 99.383 \text{ mol}_c \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Το 1 mol}_c \text{ γύψου είναι ίσο με} & 86 \text{ g} \\ \text{Τα 99383 mol}_c & \text{x;} \end{array}$$

$$x = 8547 \text{ kg ή } 8,55 \text{ tn γύψου.}$$

Η παραπάνω ποσότητα γύψου μαζί με την περιεκτικότητα του νερού άρδευσης σε ιόντα ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), θα εξασφαλίσουν την ποσότητα του ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) που απαιτείται για την αντικατάσταση του νατρίου από τη στερεή φάση πράγμα που θα εξασφαλίσει και την εξυγίανση του εδάφους. Η άσκηση είναι σχετικά απλουστευμένη, έχει θεωρητικό χαρακτήρα και στοχεύει στην εξοικείωση με τους υπολογισμούς. Στην πράξη, η εξυγίανση ενός νατριωμένου εδάφους με την προσθήκη γύψου είναι πιο πολύπλοκη και απαιτεί την εκτίμηση αρκετών εδαφικών παραγόντων.

14) Από μια ανάλυση εδάφους προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία:

$$\text{CEC} = 25 \text{ cmol}_c/\text{kg}$$

$$\text{ΦΕΒ του εδάφους} = 1,2 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Ανταλλάξιμο } \text{Na}^+ = 230 \text{ mg/100g}$$

Αν το έδαφος είναι νατριωμένο, πόση ποσότητα γύψου ανά στρέμμα απαιτείται για τη βελτίωσή του σε βάθος 30 cm.

$$(\text{MB } \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 172, \text{Ατομ. Βάρος Na} = 23)$$

Λύση

Το ανταλλάξιμο Na θα πρέπει να εκφρασθεί σε cmol_c/kg . Επομένως η ποσότητα των 230mg/100g είναι ισοδύναμη με: $10 \text{ cmol}_c/\text{kg}$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το ESP

$$\begin{array}{ll} \text{Στα } 25 \text{ cmol}_c/\text{kg CEC αντιστοιχούν} & 10 \text{ cmol}_c/\text{kg Na}^+/\text{kg} \\ \text{στα } 100 & x; \end{array}$$

$$x = 10 \frac{100}{25} = 40\%$$

Επομένως αφού το ESP = 40, είναι μεγαλύτερο του 15 το έδαφος είναι νατριωμένο.

Για την εξυγίανσή του θα πρέπει να προστεθεί ισοδύναμη ποσότητα γύψου, για τη μερική ή πλήρη αντικατάσταση του Na, από τη στερεή φάση.

Ένα στρέμμα εδάφους με ΦΕΒ = $1,2 \text{ g/cm}^3$ σε βάθος 30cm ζυγίζει 360 tn, επομένως περιέχει $36 \times 10^4 \times 10 = 36 \times 10^5 \text{ cmol}_c \text{ Na}^+$.

$$\text{Το } 1 \text{ mol}_c \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{172}{2} = 86 \text{ g επομένως το } 1 \text{ cmol}_c = 0,86 \text{ g}$$

Επομένως ποσότητα απαιτούμενης γύψου
 $36 \times 10^5 \times 0,86 = 30,96 \times 10^5 \text{ g ή } 3,096 \text{ tn γύψου.}$

15) Σε συνέχεια της προηγούμενης άσκησης, αν η διαλυτότητα της γύψου είναι $30 \text{ mmol}_c/\text{L}$, (25C°)η διηθητικότητα του εδάφους $2,5 \text{ cm/h}$ και η υδατοχωρητικότητα του 40% κατ' όγκο, να βρεθεί η ποσότητα του νερού και ο χρόνος που θα απαιτηθεί για την εξυγίανση του εδάφους.

Λύση

Για την πλήρη αντικατάσταση του νατρίου από τη στερεή φάση βρέθηκε ότι απαιτούνται 3,096 tn γύψου, που ισοδυναμούν με $36 \times 10^6 \text{ mmol}_c$. Η διαλυτότητα της γύψου δίδεται ότι είναι ίση με $30 \text{ mmol}_c/\text{L}$, επομένως για τη διάλυσή της θα απαιτηθούν:

$$\frac{36 \times 10^6}{30} = 1,2 \times 10^6 \text{ L ή } 1200 \text{ tn νερού}$$

Το προς εξυγίανση έδαφος για να έρθει στο σημείο της υδατοχωρητικότητας στα πρώτα 30cm θα χρειασθεί για ένα στρέμμα:

$$1000 \text{ m}^2 \times 0,30 \text{ m} = 300 \text{ m}^3 \times 40\% = 120 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Η ποσότητα αυτή του νερού για να διηθηθεί σε βάθος 30 cm θα απαιτηθούν $30 : 2,5 = 12$ ώρες.

Η υπόλοιπη ποσότητα νερού, δηλαδή $1200 - 120 = 1080$ tn για ένα στρέμμα αντιστοιχεί με 1080 mm νερού ή 108 cm.

Εάν η παροχή του σε όλη την επιφάνεια του εδάφους διατηρηθεί σταθερή, θα απαιτηθούν 43,2 ώρες για να διηθηθεί. Έτσι, για την εξυγίανση του εδάφους θα απαιτηθούν συνολικά $43,2 + 12 = 55,2$ ώρες.

Αν η ποσότητα του νερού χορηγηθεί σε δύο ίσες δόσεις σε διάστημα ενός μήνα, ο χρόνος που θα απαιτηθεί θα είναι:

$$12 \text{ h} + (54:2,5) \text{ h} + 30 \text{ ημέρες} + 12 \text{ h} + (54:2,5) \text{ h} \text{ ή } 32 \text{ ημέρες και } 19,2 \text{ h}$$

16) Η ανάλυση ενός δείγματος νερού έδωσε τα παρακάτω στοιχεία:

$$\text{Na}^+ = 440 \text{ ppm}$$

$$\text{Ca}^{2+} = 73 \text{ ppm}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 21 \text{ ppm}$$

$$\text{Ατομ. βαρ. Na} = 23, \text{ Ca} = 40, \text{ Mg} = 24,3$$

Εξετάσετε αν το νερό είναι κατάλληλο για άρδευση.

Λύση

Με τα στοιχεία που δίδονται, είναι δυνατή η εκτίμηση του κινδύνου νατρίωσης του εδάφους, με τη βοήθεια του SAR. Για τον υπολογισμό του SAR η συγκέντρωση των ιόντων που δίδει η άσκηση πρέπει να εκφρασθεί σε mmol/L

Έτσι,

$$\text{Na}^+ = \frac{440}{23} = 19,1 \text{ mmol}_c/\text{L}, \text{ Ca}^{2+} = \frac{73}{20} = 3,7 \text{ mmol}_c/\text{L},$$

$$\text{Mg}^{2+} = \frac{21}{12,2} = 1,7 \text{ mmol}_c/\text{L}$$

Επομένως

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}} \text{ ή } \frac{19,1}{\sqrt{(3,7 + 1,7)/2}} = 11,6$$

Από την υπολογισθείσα τιμή SAR και με βάση όσα αναφέρονται, στην παράγραφο 4.3 του κεφαλαίου για το νερό άρδευσης, εκτιμάται ότι ο κίνδυνος νατρίωσης του εδάφους είναι μέτριος.

17) Σε συνέχεια της προηγούμενης άσκησης, αν ένα έδαφος με CEC = 40 cmol_c/kg και ανταλλάξιμο νάτριο ίσο με 3 cmol_c/kg, αρδεύεται με 200 mm νερό ετησίως, να βρεθεί πόσος χρόνος θα απαιτηθεί για να νατριωθεί ένα στρέμμα εδάφους σε βάθος 30 cm (θεωρήστε ότι δεν παρατηρούνται απώλειες νατρίου. ΦΕΒ = 1,2g/cm³).

Λύση

Το ESP του εδάφους είναι:

$$\text{Στα } 40 \text{ cmol}_c/\text{kg CEC} \quad \text{αντιστοιχούν } 3 \text{ cmol}_c/\text{kg Na}^+$$

$$\text{στα } 100 \quad \text{x;}$$

$$x = 3 \frac{100}{40} = 7,5\%$$

Για να χαρακτηριστεί ένα έδαφος ως νατριωμένο πρέπει $\text{ESP} > 15$, επομένως υπολείπονται $15 - 7,5 = 7,5$ ποσοστιαίες μονάδες της CEC που αντιστοιχούν με:

Ατομικά και Μοριακά Βάρη

Ατομικά και μοριακά βάρη στοιχείων και ενώσεων που είναι χρήσιμα σε ένα Εδαφολογικό εργαστήριο. Τα ατομικά βάρη που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται με βάση το 1/12 του βάρους του ισοτόπου του άνθρακα, δηλαδή του C¹²

| | | | |
|-------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Ag | 107,868 | Fe | 55,847 |
| AgCl | 143,321 | FeCl ₃ | 162,206 |
| AgNO ₃ | 169,873 | FeCl ₃ ·6H ₂ O | 270,298 |
| Ag ₃ PO ₄ | 418,575 | FeCO ₃ | 115,856 |
| Ag ₂ SO ₄ | 311,798 | Fe(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O | 349,954 |
| Al | 26,9815 | FeO | 71,8464 |
| Al(OH) ₃ | 78,004 | Fe ₂ O ₃ | 159,6922 |
| Ba | 137,34 | Fe ₃ O ₄ | 2w31,5386 |
| BaCO ₃ | 197,349 | Fe(OH) ₃ | 106,8691 |
| BaC ₂ O ₄ | 225,360 | FeS ₂ | 119,975 |
| BaO | 153,339 | FeSO ₄ ·7H ₂ O | 278,01598 |
| Ba(OH) ₂ | 171,355 | FeSO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄ ·6H ₂ O | 392,139 |
| BaSO ₄ | 233,402 | H | 1,00797 |
| Br | 79,904 | HCOOH | 46,02589 |
| Br ₂ | 159,808 | C ₆ H ₅ COOH | 122,12467 |
| Ca | 40,08 | HCl | 36,46097 |
| CaCl ₂ | 110,986 | HClO ₄ | 100,45857 |
| CaCl ₂ ·2H ₂ O | 147,017 | HNO ₃ | 63,01287 |
| CaCO ₃ | 100,089 | H ₂ O | 18,01534 |
| Ca(NO ₃) ₂ | 164,089 | H ₂ O ₂ | 34,01474 |
| CaO | 56,079 | H ₃ PO ₄ | 97,99531 |
| Ca(OH) ₂ | 74,095 | H ₂ S | 34,07994 |
| Ca ₃ (PO ₄) ₂ | 310,183 | H ₂ SO ₄ | 98,07754 |
| CaSO ₄ | 136,142 | Hg | 200,59 |
| C | 12,011 | Hg ₂ Cl ₂ | 472,086 |
| CCl ₄ | 153,923 | I | 126,904 |
| CH ₃ COOH | 60,053 | K | 39,102 |
| CO | 28,011 | KCl | 74,555 |
| CO ₂ | 44,010 | KCN | 65,11985 |
| CO(NH ₂) ₂ | 60,056 | K ₂ CO ₃ | 138,21335 |
| Cl | 35,453 | K ₂ CrO ₄ | 194,1976 |
| Cr | 51,996 | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 294,1918 |
| Cu | 63,546 | KMnO ₄ | 158,0376 |
| CuO | 79,545 | KNO ₃ | 101,1069 |
| F | 18,99846 | KOH | 56,10937 |

| | | | |
|----------------|-----------|--------------|-----------|
| K_2SO_4 | 174,2656 | NaCl | 58,4428 |
| Li | 6,939 | Na_2CO_3 | 105,98895 |
| LiCl | 42,392 | $Na_2C_2O_4$ | 133,99950 |
| LiOH | 23,94637 | $NaHCO_3$ | 84,00712 |
| Mg | 24,305 | $NaNO_3$ | 84,9947 |
| $MgCl_2$ | 95,211 | NaOH | 39,99717 |
| $MgCO_3$ | 84,31435 | Ni | 58,71 |
| MgO | 40,3044 | O | 15,9994 |
| $Mg(OH)_2$ | 58,31974 | P | 30,9738 |
| $MgSO_4$ | 120,3666 | P_2O_5 | 141,9446 |
| Mn | 54,938 | Pb | 207,19 |
| MnO_2 | 86,9368 | S | 32,064 |
| Mo | 95,94 | SO_2 | 64,0628 |
| N | 14,0067 | Si | 28,086 |
| NH_3 | 17,0306 | SiO_2 | 60,0848 |
| NH_4Cl | 53,49158 | Sn | 118,69 |
| $(NH_4)_2SO_4$ | 132,13876 | $SnCl_2$ | 189,596 |
| NO_2 | 46,0655 | Zn | 65,37 |
| Na | 22,9898 | $ZnSO_4$ | 161,4316 |

Βιβλιογραφία

- Αλεξιάδης, Κ. Α. 1980.** Φυσική και χημική ανάλυση του εδάφους. Θεσσαλονίκη.
- Agricultural salinity assessment and management. 1996.** Kenneth K. Tanji, Editor. American Society of Civil Engineers. New York, N. Y.
- Ayers, R.S., and W.D. Westcot. 1985.** Water quality for agriculture. Irrigation and drainage. Paper No29. FAO, Rome.
- Baker, E.D., and N.H. Suhr 1982.** Atomic absorption and flame emission spectrometry p. 13-26. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keency. (eds.) Methods of soil analysis Part 2. Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Blake, R.G., and K.H. Hartge 1986.** Bulk density p. 363-375 In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Blake, R.G., and K.H. Hartge 1986.** Particle density p. 377-382. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Bower, C.A., Ogata, G. and Tucker, J.M. 1968.** Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation on solution as calcium carbonate. Soil Sci. 106: 24-34.
- Bremner, J. M., 1996.** Nitrogen-Total. In D. L. Sparks et al (eds). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil sci. soc. Am., Madison WI.
- Bresler, E., B. L. McNeal and D. L. Carter. 1982.** Saline and sodic soils. Principles-Dynamics-Modeling. Springer-Verlag, New York.
- Cassel, K. D., and A. Klude 1986.** Water Potential: Tensiometry p. 563 – 596. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Chapman, D.H., and P.F. Pratt 1961.** Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California Press.
- Dampney, R.P. 1983.** Sampling soil for analysis. Leaflet 655. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Lion House, Willow burn Estate, Alnwick, Northumberland NE66 2PF.
- FAO, 1984.** Prognosis of salinity and alkalinity. Soils BuII. 31, Rome, Italy
- Gillman, G.P. 1979.** A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. Aust. J. Soil. Res. 17:129-139.
- ISO 23470, 2007.** Soil quality – Determination of effective cation exchange capacity (CEC) and exchangeable cations using a hexamminecobalt trichloride solution.
- Jacobs, S.H, R.M. Reed, S.J. Thien., and L.V. Withee. 1971.** Soils laboratory exercise source book. Crop Sci. Soc of Am., Madison, WI.
- James, W.D., and K.L. Wells 1990.** Soil sample collection and handling: Technique based on source and degree of field variability. p.25-43. In R.L. Westerman (ed.) Soil testing and plant analysis. Soil sci. soc. Am., book series: 3, Madison, WI.
- John, K. Matt, Hong, H. Chna and J. H. Neufeld. 1975.** Application of improved Azomethine H method to the determination of boron in soils and plants. Analytical Letters 8: 559-568.
- Keren, R. 1996.** Boron. pp 603-626. In, Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Keren, R., and Shainberg, I. 1981.** Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. Soil sci. soc. Am J 45:103-107.
- Klute, A. 1986.** Water retention: Laboratory methods. p. 636 – 662. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Klute, A., and C. Dirksen 1986.** Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory Methods p. 687-734. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil sci. soc. Am., book series: 5, Madison, WI.
- Μισοπολινός, Ν.Α., 1991.** Προβληματικά εδάφη. Μελέτη – πρόβλεψη – βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη Θεσσαλονίκη.
- Mc Lean, O.E. 1982.** Soil pH and lime requirement. p. 199-223. In. A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds) Methods of soil analysis. Part 2. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Mehlich, A., S. S. Bowling, and A. L. Hatfield. 1976.** Buffer pH acidity in relation to nature of soil acidity and expression of lime requirement. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 7:253-263

- Mohr, C. F. 1856.** Neue Massanalytische Bestimmung des Chlors in Verbindungen. Justun Liebig's Annalen der Chimie, Vol. 97, pp. 335-338. Leipzig.
- Παναγιωτόπουλος, Π. Κ. 2009.** Εδαφοφυσική. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη. Ελλάς Ε.Ε.
- Polemio, M., and J. D. Rhoades. 1977.** Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:524-528.
- Prather, R. J., Goertzen, J. O., Rhoades, J.D., and Frenkel, H. 1978.** Efficient amendment use in sodic soil reclamation. *Soil Sci. Soc. Am J.* 42:782-786.
- Reeve, R. C., and Doering, E. J. 1966.** The high-salt-water dilution method for reclaiming sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:498-504.
- Rhoades, D.J. 1982.** Cation exchange capacity. p. 149-157. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keeney (eds). *Methods of soil analysis Part 2.* Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Rhoades, D.J. 1982.** Soluble salts. p. 167-178. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keeney (eds). *Methods of soil analysis Part 2.* Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Rhoades, D.J., and S. Miyamoto 1990.** Testing soils for salinity and sodicity p. 299-336. In R.L. Westerman (ed.) *Soil testing and plant analysis.* Soil sci. soc. Am., book series:3, Madison, WI.
- Sabbe, W.E., and D.B. Marx. 1987.** Soil sampling. Spatial and temporal variability. p.1-14. In J.R. Brown (ed.) *Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation,* Soil sci. soc. Am., Spec, Publ. 21 Am. Soc. of Agron., Crop Sci. Soc of Am., and SSA, Madison, WI.
- Shoemaker, H.E., E.O. McLean, and P.F. Pratt. 1961.** Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:274-277.
- Sikora, F. J. 2006.** A buffer that mimics the SMP buffer for determining lime requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 474-486.
- Sims, T. J. 1996.** Lime requirement. In D. L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis Part 3. Chemical methods,* SSSA, Madison, WI.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2008.** Διαχείριση Εδαφών. Εκδόσεις του ιδίου. Ηράκλειο Κρήτης.
- Σινάνης, Κ. Ν. 2015.** Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφολογίας, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα-Κάλλιπος, Ηράκλειο Κρήτης.
- Skoog, D.A., and D.M. West 1976.** *Fundamentals of Analytical Chemistry.* Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Soil Survey Staff, 1992.** *Soil survey laboratory methods manual.* Version No. 2.0. USDANRCS. Soil Survey Investigations Report No. 42. U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996.** Cation exchange capacity, and exchange coefficients. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties (3rd ed.).* Am. Soc. of Agron., Soil sci. soc. Am., Crop Sci. Soc of Am., Madison, WI.
- Tanji, k.k., 1996.** (Ed). *Agricultural salinity assessment and management.* American Society of Civil Engineers. New York, N.Y. USA.
- Thomas, W.G. 1982.** Exchangeable cations. p. 159-164. In A.L. Page, R.H. Miller, and R. Keeney (eds) *Methods of soil analysis Part 2.* Soil sci. soc. Am., Madison, WI.
- Tisdale, L.S. W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985.** *Soil fertility and fertilizers.* 4th ed. Macmillan Publishing Co. N.Y.
- USDA/US Salinity Laboratory Staff 1954.** *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* Agric Handbook, No 60.
- Van Lierop, W. 1990.** Soil pH and Lime requirement determination. p. 73-126. In R.L. Westerman (ed.) *Soil testing and plant analysis.* Soil sci. soc. Am., book series:3, Madison, WI.
- Walsh, A. 1955.** Application of atomic absorption spectra to chemical analysis. *Spectrochim. Acta.* 7: 108 – 117.
- Woodruff, C. M. 1948.** Testing soils for lime requirement by means of a buffer solution and the glass electrode. *Soil Sci.* 66: 53 – 63.
- Yuan, T. L. 1974.** A double buffer method for the determination of lime requirement of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 38: 437 – 440.

Πίνακας αντιστοίχισης ελληνόγλωσσων και ξενόγλωσσων όρων

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Ανάγκες σε άσβεστο | Lime Requirement (LR) |
| Διεθνής Οργανισμός Προτύπων | International Organization for Standardization (ISO) |
| Ειδική συστοιχία προσροφητικών μέσων | Drierite-ascarite-drierite |
| Ενεργός οξύτητα | Active acidity |
| Ηλεκτρική αγωγιμότητα | Electrical conductivity (EC) |
| Ηλεκτρική αγωγιμότητα εκχύλισματος κορεσμού | Electrical conductivity of the saturation extract (ECex) |
| Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) | Cation Exchange Capacity (CEC) |
| Λόγος προσρόφησης νατρίου | Sodium Adsorption Ratio (SAR) |
| Λόγος προσρόφησης νατρίου στο εκχύλισμα κορεσμού | Sodium Adsorption Ratio of the saturation extract (SARex) |
| Μέρη στο εκατομμύριο | Parts per million (ppm) |
| Ολική οξύτητα | Total potential acidity |
| Περιστροφικός ανακινητήρας | End-over-end shaker |
| Ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου | Exchangeable Sodium Percentage (ESP) |
| Ποσοστό υγρασίας κορεσμού | Saturation Percentage (SP) |
| Πυκνότητα των εδαφικών τεμαχιδίων | Particle density |
| Συγκράτηση του εδαφικού νερού | Water retention |
| Συνολικός όγκος (ξηρού εδάφους) | Bulk volume |
| Τριαιθανολαμίνη | Triethanolamine (TEA) |
| Υδραυλική αγωγιμότητα | Hydraulic conductivity |
| Υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο | Residual Sodium Carbonate (RSC) |
| Φαινομενική πυκνότητα | Bulk density |
| Φασματοσκοπία εκπομπής επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος | Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP) |
| Φορτίο εξαρτώμενο από το pH | pH dependent charge |