ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΟΔΙΑΛΥΤΩΝ NH_4^+, K^+, Ca^{2+} και Mg^{2+} ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΧΟΙΡΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΑ ΣΙΔΗΡΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων καθηγητής : **ΛΙΟΔΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ**

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2012

Πρόλογος

Το πειραματικό μέρος της παρούσης εργασίας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, της σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και αποτελεί μέρος ενός ερευνητικού έργου που αφορά την μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας κτηνοτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέπων καθηγητή της σχολής Χημικών Μηχανικών κ. Σ.Λιοδάκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Χαράλαμπο Μιχαλόπουλο για την καθοριστική συμβολή του στη διεξαγωγή του πειραματικού σκέλους της εργασίας, καθώς και για τις εύστοχες υποδείξεις του στην συγγραφή του θεωρητικού μέρους.

Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής αποτελούν το αποτέλεσμα πολλών ωρών μελέτης, εργασίας και δημιουργικής ενασχόλησης. Αν και καταβλήθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια για όσο το δυνατόν πληρέστερη αντιμετώπιση του θέματος, είναι πιθανόν να υπάρχουν παραλείψεις. Τυχόν επισημάνσεις ή διορθώσεις από τρίτους θα χαροποιούσαν ιδιαίτερα τον συγγραφέα, αφού θα είχαν ως αποτέλεσμα ένα άρτιο επιστημονικό αποτέλεσμα.

Η παρούσα συγγραφική προσπάθεια αφιερώνεται κατά μεγάλο ποσοστό στην οικογένειά μου, για την αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2012

Ιωάννα Σιδηροπούλου

Περίληψη

Η λειτουργία μιας κτηνοτροφικής μονάδας υψηλής δυναμικότητας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλης ποσότητας ζωικών, υγρών και στερεών αποβλήτων καθώς επίσης και την εκπομπή πολλών αέριων ρύπων τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα ρυπάνσεως, μόλυνσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Από τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται ο κυριότερος είναι η αμμωνία, η επίδραση της οποίας στο περιβάλλον έχει επιπτώσεις, όπως οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων, ευτροφισμό οικοσυστημάτων, αυξημένη ευπάθεια των φυτών και επίδραση στις ατμοσφαιρικές διεργασίες.

Πολλές εργασίες έχουν γίνει σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας κτηνοτροφικών μονάδων μεγάλης δυναμικότητας. Ωστόσο, ελάχιστες αναφέρονται σε Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα και ειδικότερα της Ελλάδος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η υποβάθμιση του εδάφους προερχόμενη από τις μονάδες παραγωγής κρέατος και πάχυνσης της βιομηχανικής σταβλικής εγκατάστασης. Η εξεταζόμενη χοιροτροφική μονάδα βρίσκεται σε ασβεστολιθικά εδάφη, δίπλα σε ακτογραμμή, με θάλασσα στα βόρεια και λόφους στα νότια. Το γεγονός αυτό επηρεάζει την εξάπλωση της εκπεμπόμενης αμμωνίας. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών των μεσογειακών οικοσυστημάτων, έχει εκτιμηθεί ότι η εξάπλωση των εκπεμπόμενων ρύπων είναι εντονότερη και κατά συνέπεια η υποβάθμιση του γειτνιάζοντος εδάφους μεγαλύτερη σε σχέση με άλλες βορειότερες ευρωπαικές χώρες. Για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας, εδαφικά επιφανειακά δείγματα (0-30 cm) ελήφθησαν σε διάφορες περιόδους και αποστάσεις από τα όρια χοιροτροφικής μονάδας (10-1500 m) σε διαφορετικούς προσανατολισμούς (Νότια, ανατολικά και δυτικά). Στα εδαφικά δείγματα μετρήθηκαν οι περιεκτικότητες των υδατοδιαλυτών NH_4^+, K^+, Ca^{2+} και Mg^{2+}. Τα εξεταζόμενα δείγματα ελήφθησαν από την περιοχή Λατζιμά του Νομού Ρεθύμνης (στη Βόρεια Κρήτη), όπου βρίσκεται βιομηχανική χοιροτροφική μονάδα δυναμικότητας 1.800 χοιρομητέρων.

ABSTRACT

Animal production has changed from subsistence to an industrial model, lowering production costs but giving rise to higher potential environmental impact. One of the main environmental impacts of concentrated animal feeding operations (CAFOs) is the soil degradation in vicinity with the livestock breeding facilities due to substances, such as ammonia, emitted from the various stages of the process. In this research, the soil degradation effects of a large meat producing (pigs rearing), processing and packaging unit have been investigated. The investigated hog industry is located at a limestone soil coastal area with sea to the north and hills to the south. This fact has an important influence to the dispersion of ammonia emitted from the various compartments of the facility. Owing to the high temperatures of the Mediterranean ecosystems, it has been estimated that the dispersion of the emitted gases is more extensive and the soil degradation is consequently more severe than those obtained in northern European countries. For the needs of the present study soil samples of the upper mineral soil (0-30 cm) were taken in various distances and directions (10-1500 m) from the CAFO boundaries. The soil samples were analysed on NH_4^+, K^+, Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations by applying standard methods.

Περιεχόμενα

Θεωρητικό Μέρος 10
Κεφάλαιο 1ο Ζωική Βιομηχανία 10
1.1 Γενικά 10
1.2 Ορισμός εκτροφείου 10
1.3 Χαρακτηριστικά εκτροφείων 10
1.4 Ανάπτυξη της βιομηχανίας ζωικής παραγωγής 10
1.5 Συνθήκες διατήρησης και εκτροφής των ζώων 11
1.6 Παραγόμενα απόβλητα 11
1.7 Επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη διάθεση των κτηνοτροφικών αποβλήτων 12
1.8 Ρύπανση προερχόμενη από εκλυόμενα αέρια 13
1.9 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις 14
1.10 Διαχείριση των αποβλήτων 14
Κεφάλαιο 2ο Έδαφος 15
2.1Γενικά 15
2.2 Ορισμός 15
2.3 Σχηματισμός του εδάφους 15
2.4 Κατηγορίες εδαφών 16
2.5 Ταξινόμηση των εδαφικών οργανισμών 16
2.6 Φυσικές ιδιότητες 17
2.7 Φυσικοχημικές ιδιότητες 19
2.8 Ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους 18
2.9 Έκπλυση των βάσεων στα όξινα εδάφη 22
2.10 Ορίζοντες του εδάφους 23
2.11 Έδαφος και νερό 24
Α) Κύκλος του νερού 25
Β) Εδαφική κυκλοφορία νερού 25
Γ) Εδαφικό διάλυμα 25
Δ) Υδατικές μεταφορές 26
Ε) Η προσρόφηση στο προσροφητικό πλέγμα 27
ΣΤ) Η κάθετη και οριζόντια μεταφορά 27
2.12 Ρύπανση του εδάφους 28
Κεφάλαιο 3ο Ελληνική Νομοθεσία για την Προστασία Του Εδάφους 30
3.1 Γενικά 30
3.2 Νόμοι για προστασία του περιβάλλοντος 30
3.3 Μέτρα για την προστασία του εδάφους 30
3.4 Μέτρα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων 30
Κεφάλαιο 4ο Κάλιο 32
4.1 Γενικά για το Κάλιο 32
4.2 Εδαφικό κάλιο 32
4.3 Το δυναμικό σύστημα εδαφικού καλίου 32
4.4 Περιεκτικότητα Καλίου στο εδαφικό διάλυμα 33
4.5 Το Δομικό κάλιο των πρωτογενών ορυκτών 34
4.6 Ανταλλάξιμο κάλιο 34
4.7 Το μη ανταλλάξιμο κάλιο 33
4.8 Ροή και διαθεσιμότητα εδαφικού καλίου 35
4.9 Απομάκρυνση καλίου με την έκπλυση του εδάφους 36
4.10 Πρόσληψη του καλίου από τα φυτά 36

4.11 Ο ρόλος του καλίου στη φυσιολογία των φυτών 37
4.12 Αλληλεπίδραση K και N 38
Κεφάλαιο 5ο Ασβέστιο 39
5.1 Γενικά για το Ασβέστιο 39
5.2 Μορφές ασβεστίου στο έδαφος 39
5.3 Απώλειες ασβεστίου με την έκπλυση του εδάφους 40
5.4 Οι απαιτήσεις των φυτών και συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου 41
Κεφάλαιο 6ο Μαγνήσιο 42
6.1 Γενικά για το Μαγνήσιο 42
6.2 Μορφές μαγνησίου στο έδαφος 42
6.3 Απώλειες μαγνησίου με την έκπλυση του εδάφους 43
6.4 Οι απαιτήσεις των φυτών και συμπτώματα έλλειψης μαγνησίου 43
6.5 Αλληλεπίδραση με άλλα θρεπτικά συστατικά 44
Κεφάλαιο 7ο Άζωτο 45
7.1 Γενικά 45
7.2 Άζωτο 45
7.3 Κύκλος του αζώτου 45
7.4 Αζωτοδέσμευση 46
7.5 Μορφές αζώτου στο έδαφος 46
7.6 Μετασχηματισμοί αζώτου στο έδαφος 47
7.7 Διεργασίες εδαφικού αζώτου 47
7.8 Απώλειες αζώτου από το έδαφος 50
7.9 Προέλευση των εκπομπών αμμωνίας 51
7.10 Επιδράσεις στον τύπο της φυσικής χλωρίδας 53
Πειραματικό Μέρος 54
1.Τοποθέτηση του προβλήματος 54
2.Πειραματική Διαδικασία 55
3.Μέθοδοι και Υλικά 56
Αποτελέσματα 58
Συμπεράσματα 69
Συζήτηση 70

Εισαγωγή

Το περιβαλλοντικό πρόβλημα αποτελεί αναμφισβήτητα τον πιο άμεσο κίνδυνο, τον οποίο πρέπει να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα κ οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η κτηνοτροφία είναι από τις πιο παλιές δραστηριότητες του ανθρώπου, που επηρεάζουν το περιβάλλον και επηρεάζονται από αυτό .

Η ζωική παραγωγή, έχει αλλάξει ουσιωδώς τα τελευταία σαράντα χρόνια: από την πατροπαράδοτη ελεύθερη βοσκή στην εκτροφή σε οργανωμένες σταβλικές εγκαταστάσεις. Υπήρξε γρήγορη ανάπτυξη των κτηνοτροφικών μονάδων, χωρίς όμως να δοθεί η κατάλληλη προσοχή στους επικίνδυνους ρύπους, οι οποίοι εκπέμπονται και στα προβλήματα που δημιουργούν αυτοί.

Η παραγωγή χοιρείου κρέατος στην Ε.Ε στηρίζεται στην ενσταβλισμένη διαχείριση των ζώων και στην διατροφή τους με κατάλληλα μίγματα ζωοτροφών. Μέτα την Κίνα, η Ε.Ε έρχεται δεύτερη στην σειρά, με παραγωγή 21,6 εκατ.τόνων χοιρείου κρέατος(2006).

Η χοιροτροφία στην Ελλάδα θεωρείται από τους δυναμικούς κλάδους της κτηνοτροφίας και της αγροτικής οικονομίας. Η προσπάθεια ανάπτυξης της χοιροτροφίας άρχισε την δεκαετία του 1970, με στόχο την κάλυψη των αναγκών της εσωτερικής αγοράς σε χοίρειο κρέας.

Πολύ σύντομα, με την ανάπτυξη των υψηλής δυναμικότητας κτηνοτροφικών μονάδων, διεθνώς (Concentrated Animal Feeding Operations, CAFOs), διαπιστώθηκαν σοβάρα προβλήματα υγείας(κυρίως αναπνευστικά). Τα προβλήματα αύτα εμφανίστηκαν όχι μόνο στους εργαζόμενους στις βιομηχανικές αυτές μονάδες αλλά και στους κατοίκους που ζουν πλησίον των κτηνοτροφικών αυτών μονάδων, λόγω των αέριων ρύπων που παράγονται από τις μοναδες.

Εκτός από τα προβλήματα υγείας που στον άνθρωπο,επιπλεόν λόγω της μεγάλης ποσότητας των αέριων,υγρών και στερεών αποβλήτων που παράγονται,προκαλούνται σοβαρά προβλήματα ρύπανσης και μόλυνσης του περιβάλλοντος.

Στις κτηνοτροφικές μονάδες δημιουργούνται προβλήματα οσμών και ρυπογόνων αερίων. Τα κυριότερα αέρια που προκαλούν δυσοσμία στις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις είναι το υδρόθειο και η αμμωνία, καθώς επίσης και μικροποσότητες από πλήθος οργανικών ουσιών. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει τις σοβαρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις , από τους αέριους ρύπους που παράγονται από τις κτηνοτροφικές μονάδες, τις προκαλεί η αμμωνία. Έχει παρατηρηθεί αύξηση των εκπομπών της αμμωνίας, τα τελευταία χρόνια, στην Ευρώπη κατά 50%, το οποίο οφείλεται κυρίως στην εντατικοποίηση της κτηνοτροφικής παραγωγής, αντιπροσωπεύοντας το 80% των ετήσιων εκπομπών. Το διοξείδιο του αζώτου, σε μεγάλες συγκεντρώσεις, είναι ερεθιστικό για τον ανθρώπινο οργανισμό. Λόγω της μετατροπής του σε οξύ προκαλεί διάβρωση στα μέταλλα και τα υλικά, ενώ είναι τοξικό και για τη βλάστηση. Προκαλεί οξίνιση του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων.

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων που έχουν οι βιομηχανικές δραστηριότητες μεγάλης χοιροτροφικής μονάδας στη ρύπανση του εδάφους. Οι περιβαλλοντικές αυτές επιβαρύνσεις οφείλονται στην μεταβολή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, οι οποίες επηρεάζονται από τους διάφορους ρύπους των χοιροτροφικών μονάδων. Πιο συγκεκριμένα εκτιμάται η ρύπανση που προκαλείται στο έδαφος και συγκεκριμένα γίνεται προσδιορισμός των υδατοδιαλυτών κατιόντων NH_4^+, Ca^{2+},Mg^{2+} και των K^+.

Στο θεωρητικό μέρος αρχικά παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των μεγάλης έκτασης χοιροτροφικών μονάδων(CAFOs) και η ρύπανση που προκαλεί η λειτουργία αυτών. Στην συνέχεια ασχολούμαστε με την περιγραφή του εδάφους και της σύστασης του και γίνεται αναφορά στις πηγές ρύπανσής του. Επίσης περιγράφεται και η αλληλεπίδραση των υδάτινων συστημάτων με το έδαφος. Ακολουθεί ανάλυση των βασικών κατιόντων καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου καθώς επίσης και του αζώτου παρουσιάζοντας τα κυριότερα χαρακτηριστικά των στοιχείων και πως λειτουργούν στο έδαφος και στα φυτά.

Στο πειραματικό μέρος αρχικά γίνεται περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας. Αναφέρεται η τεχνική λήψης των δειγμάτων και η διαδικασία ανάλυσής τους. Επίσης, περιγράφονται οι αναλυτικές μέθοδοι προσδιορισμού του καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου καθώς και οι μέθοδοι προσδιορισμού των αμμωνιακών ιόντων.Στη συνέχεια γίνεται παράθεση, επεξεργασία και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.Τέλος γίνεται η εξαγωγή των συμπερασμάτων. [**Η ΟΔΗΓΙΑ 96/61/ΕΚ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (IPPC) ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ,2001]**

Θεωρητικό Μέρος

Κεφάλαιο 1ο Ζωική Βιομηχανία

1.1 Γενικά

Η ζωική παραγωγή έχει αλλάξει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου λύνοντας πολλά προβλήματα, όσον αναφορά την ικανοποίηση των διατροφικών αναγκών των ανθρώπων δημιουργώντας όμως, άλλα. Οι αλλαγές που έγιναν είναι η μαζική χρήση νέων αρδευτικών συστημάτων καθώς και η εγκατάλειψη των παραδοσιακών τρόπων καλλιέργειας και εκτροφής των ζώων (εντατική κτηνοτροφία). Όλα αυτά έδωσαν νέα ώθηση στους κλάδους της κτηνοτροφίας, η οποία αύξησε μεν το κτηνοτροφικό εισόδημα, αλλά παράλληλα δημιούργησε προβλήματα τόσο στην αγροκτηνοτροφική εκμετάλλευση, όσο και στο ευρύτερο κοινωνικό σύνολο.[**Α. Α. Χαρτσά,2007]**

Ο περιορισμός των ζώων με υψηλό δείκτη πυκνότητας είναι ένα μέρος μιας συστηματικής προσπάθειας να παραχθεί υψηλότερη παραγωγή με χαμηλότερο κόστος, στηριζόμενη στις οικονομίες κλίμακας, τα σύγχρονα μηχανήματα και τη βιοτεχνολογία. Υπάρχει, όμως, μια συνεχής συζήτηση που αφορά τα οφέλη αλλά και τους κινδύνους από τα εργοστάσια εκτροφής ζώων. Τα ζητήματα περιλαμβάνουν: την αποδοτικότητα της παραγωγής τροφίμων, την ευημερία των ζώων, τη σημασία της βιομηχανίας αυτής για τη σίτιση του αυξανόμενου παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού, την περιβαλλοντική επιβάρυνση και τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.[1].

1.2 Ορισμός εκτροφείου

Σύμφωνα με το διεθνή Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος EPA (Environmental Protection Agency), υψηλής δυναμικότητας εκτροφείο ζώων (Concentrated Animal Feeding Operations, CAFOs) ορίζεται εκείνο που διαθέτει τουλάχιστον 1000 ζωικές μονάδες, για παράδειγμα 2500 ανεπτυγμένα γουρούνια ή 100.000 κοτόπουλα (ισοδύναμα περίπου με 600 χοιρομητέρες) [**D. Osterberg and D. Wallinga, 2004**].

1.3 Χαρακτηριστικά εκτροφείων

Τα βιομηχανικά εκτροφεία ζώων (CAFOs) εγκαθίστανται σε πολύ αραιοκατοικημένες περιοχές όπου υπάρχει σε αφθονία νερό και ζωοτροφές (π.χ. καλαμπόκι ή σιτηρά) [**C. Johnen**]. Αποτελούνται από μεγάλους αριθμούς ζώων, όπως αγελάδες, χοίροι, γαλοπούλες ή κοτόπουλα, συχνά σε εσωτερικές εγκαταστάσεις, και σε σχετικά υψηλές πυκνότητες. Ο στόχος της λειτουργίας των εργοστασίων αυτών είναι να παραχθεί κρέας, αυγά και γάλα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Ο περιορισμός, όμως, αυτός σε τόσο υψηλό δείκτη πυκνότητας απαιτεί αντιβιοτικά για να μετριάσει την εξάπλωση ασθενειών που επιδεινώνονται υπό αυτές τις συνθήκες. Νέες μέθοδοι υιοθετούνται για την υγεία των ζώων και την βελτίωση της παραγωγής όπως η χρήση αντιμικροβιακών εμβολίων, συμπληρωματικών βιταμινών και ορμονών αύξησης [1].

1.4 Ανάπτυξη της βιομηχανίας ζωικής παραγωγής

Η παγκόσμια ζωική παραγωγή υπεροκταπλασιάστηκε μεταξύ 1820-2004. Τη δεκαετία του 1930, το 24% του αμερικανικού πληθυσμού εργαζόταν στη γεωργία, ενώ το 2002 το ποσό αυτό μειώθηκε στο 1,5% [**M. Scully,2002**].

Ο αριθμός των αγροκτημάτων μειώθηκε και η κυριότητά τους συγκεντρώθηκε σε λίγους. Στις ΗΠΑ, τέσσερις εταιρείες παράγουν το 81% των αγελάδων, 73% των προβάτων, 57% των χοίρων και το 50% των πουλερικών [**M. Scully,2002**]. Ενδεικτικά αναφέρεται η μείωση κατά 90% των χοιροτροφικών μονάδων στις Ηνωμένες Πολιτείες την περίοδο 1970-2000 και η αντικατάσταση τους με υψηλής συγκέντρωσης μονάδες (CAFOs), ενώ η παραγόμενη ποσότητα χοιρινού κρέατος παρέμεινε σχεδόν σταθερή [**K. M. Thu,2002**]. Παγκοσμίως, σύμφωνα με το Worldwatch Institute, το 74% των πουλερικών, το 43% του βοδινού κρέατος, και το 68% των αυγών παράγονται με αυτό τον τρόπο [**State of the World 2006**].

Αν και, η Ευρώπη έχει γίνει όλο και περισσότερο δύσπιστη για αυτού του είδους αναπαραγωγής ζώων, μετά από μια σειρά ασθενειών όπως η EBS (νόσος τρελών αγελάδων) και ο αφθώδης πυρετός, οι οποίες είχαν επιπτώσεις στις κτηνοτροφικές βιομηχανίες, υπάρχουν ενδείξεις ότι η βιομηχανοποιημένη παραγωγή των ζώων θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο.

Σύμφωνα με τον Denis Avery του Ινστιτούτου Hudson, στην Ασία αυξήθηκε η κατανάλωση του χοιρινού κρέατος κατά 18 εκατομμύρια τόνους στη δεκαετία του 1990. Η παγκόσμια παραγωγή χοιριδίων προβλέπεται να ανέλθει από 900 εκατομμύρια (1997), σε 2,5 δισεκατομμύρια 2050.

Τα Ηνωμένα Έθνη και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εκτιμούν ότι στις ερχόμενες δεκαετίες θα υπάρξουν δισεκατομμύρια πρόσθετων καταναλωτών στις αναπτυσσόμενες χώρες που θα σιτίζονται με «εργοστασιακό κρέας» που θα παράγεται στις αναπτυσσόμενες χώρες [**D, Avery,1997**].

Η μεγάλη συγκέντρωση ζώων και ζωικών αποβλήτων σε μικρό χώρο θέτει ηθικά ζητήματα. Αναγνωρίζεται ότι ορισμένες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της εντατικής ζωικής παραγωγής μπορεί να βασανίζουν τα ζώα. Καθώς όμως η συνειδητοποίηση των προβλημάτων των εντατικών τεχνικών έχει αυξηθεί, έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες από τις κυβερνήσεις και τη βιομηχανία για την άρση των ακατάλληλων τεχνικών [1] [**M. Kaufmann,2007**].

1.5 Συνθήκες διατήρησης και εκτροφής των ζώων

Οι συνθήκες διατήρησης/εκτροφής των ζώων στην ελληνική βιομηχανία, παρά τις βελτιώσεις εκσυγχρονισμού που έγιναν και εξακολουθούν να γίνονται, μεγάλος αριθμός χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων παρουσιάζουν σοβαρό πρόβλημα τεχνολογικής απαξίωσης των εγκαταστάσεών τους.

Κύριες αδυναμίες είναι, συνήθως, ο κακός εξαερισμός, οι μεγάλες πυκνότητες ζώων που δεν ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις, τα συστήματα πρόσδεσης ή περιορισμού κίνησης χοιρομητέρων, που απαγορεύονται πλέον σύμφωνα με τους κανόνες ευζωίας, οι αδυναμίες στη μόνωση και θέρμανση των κτιρίων με εξαιρετικά δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη, κυρίως των νεαρών χοιριδίων, αδυναμίες στην εφαρμογή κανόνων καθαριότητας και απολυμάνσεων κ.ο.κ.

Σοβαρό πρόβλημα συνιστά, επίσης, το γεγονός ότι, οι παρεμβάσεις που γίνονται για τη βελτίωση των χοιροτροφικών εγκαταστάσεων, σχεδιάζονται από τους ίδιους τους χοιροτρόφους, οι οποίοι, μη έχοντας τις τεχνικές γνώσεις, αυτοσχεδιάζουν σε κρίσιμους τομείς, όπως ο εξαερισμός, οι μονώσεις, η διαχείριση των αποβλήτων κ.α. Η εκπαίδευση και η επαγγελματική κατάρτιση του προσωπικού αποτελεί βασική προτεραιότητα και επιβάλει, με ευθύνη της επιχείρησης τον σχεδιασμό και την εκτέλεση κατάλληλου προγράμματος εκπαίδευσης, με την συμμετοχή όλων των εργαζομένων.

Επομένως, οι επιπτώσεις των βελτιώσεων αυτών στην παραγωγικότητα της χοιροτροφίας είναι χαμηλή και οι χοιροτρόφοι δεν μπορούν να εκμεταλλευθούν τις σύγχρονες τεχνολογικές δυνατότητες που είναι διεθνώς διαθέσιμες για τον κλάδο της χοιροτροφίας [**Δρ.Φ. Βακάκης,2008**].

1.6 Παραγόμενα απόβλητα

Κατά τον σταβλισμό των ζώων μέσα στους στάβλους παράγονται υγρά ή στερεά απόβλητα, αποτέλεσμα του μεταβολισμού των τροφών που παρέχονται σε αυτά. Η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων είναι ανάλογη του βαθμού εντατικοποίησης της εκτροφής και της πυκνότητας των εκτρεφόμενων ζώων. Αποτέλεσμα της παραγωγής των αποβλήτων είναι η έκλυση ενοχλητικών οσμών και η μεταφορά προς το περιβάλλον οργανικής και ανόργανης μορφής ρύπων, που μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα του τελικού τους αποδέκτη, υδάτινου ή εδαφικού.

Αναλυτικά, τα κτηνοτροφικά απόβλητα χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες. Η οργανική ουσία προέρχεται κατά κύριο λόγο από τις ζωοτροφές που δεν αφομοιώθηκαν από το πεπτικό σύστημα των ζώων και κατά μικρότερο ποσοστό από τις ζωοτροφές που παρασύρθηκαν ή διασκορπίστηκαν μέσα στα αποχετευτικά κανάλια.Συνέπεια της προέλευσης αυτής είναι ο εμπλουτισμός τους με μικροοργανισμούς, κυρίως μεθανοβακτήρια από το πεπτικό σύστημα των ζώων. Τα προϊόντα ανάπτυξης των μικροοργανισμών είναι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο, η αμμωνία, το μεθάνιο και διάφορες άλλες δύσοσμες ουσίες π.χ αμίνες. Τα εκλυόμενα αυτά προϊόντα είναι οι γνωστές μας δυσάρεστες οσμές και προκαλούν ανεπιθύμητες καταστάσεις, διάφορης έντασης, στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στους ανθρώπους. Η ένταση των οσμών αυτών εξαρτάται από τις συνθήκες διατήρησης των αποβλήτων.

Με βάση τη σχέση νερού και στερεών συστατικών τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να θεωρηθούν στερεής, ημιστερεής, ημιρευστής και υγρής μορφής. [**Δρ.Φ. Βακάκης,2008**].

1.7 Επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη διάθεση των κτηνοτροφικών αποβλήτων

Οι ζωντανοί οργανισμοί βρίσκονται σε συνεχή επαφή με το φυσικό τους περιβάλλον, από το οποίο προσλαμβάνουν τις πρώτες ύλες (τροφές κλπ) και στο οποίο αποδίδουν ότι δεν τους χρειάζεται. Ο όρος περιβάλλον περιλαμβάνει, το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση καθώς και τις αισθητικές αξίες.

Ο άνθρωπος είναι εκείνος που κατάφερε τα τελευταία χρόνια να διαταράξει με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό, τις λεπτές αυτές ισορροπίες στη φύση με τις κάθε είδους δραστηριότητές του προκαλώντας σε μεγάλο ή μικρό βαθμό υποβάθμιση του περιβάλλοντος του. Όπως κάθε οργανισμός, έτσι και ο άνθρωπος, πάντοτε ρύπαιναν το περιβάλλον με τα υποπροϊόντα των δραστηριοτήτων τους. Τη ρύπανση αυτή όμως ήταν σε θέση να αντιμετωπίσουν τα οικοσυστήματα μέσω των ομοιοστατικών μηχανισμών που διαθέτουν. Από τη στιγμή όμως που οι δραστηριότητες του ανθρώπου απέκτησαν εντατικό χαρακτήρα, η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων άχρηστων υλικών ή υποπροϊόντων σε μικρό χώρο δημιούργησε τα προβλήματα ρύπανσης, που είναι εντονότερα, όσο εντονότερες και πιο συγκεντρωμένες είναι οι δραστηριότητες αυτές. Μέσα σε αυτές τις δραστηριότητες υπάγεται και η πτηνοκτηνοτροφική παραγωγή που τις τελευταίες δεκαετίες απέκτησε έντονα επιχειρηματική μορφή με συγκέντρωση μεγάλου αριθμού ζώων σε μικρό χώρο.

Συνέπεια αυτής της εντατικοποίησης είναι η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων, οργανικής κυρίως μορφής , γύρω από τις μονάδες και η επιτακτική ανάγκη διάθεσής τους στο γύρω περιβάλλον. Το μεγάλο μέγεθος των αποβλήτων ξεπέρασε τις δυνατότητες των οικοσυστημάτων να αντεπεξέλθουν προκαλώντας έτσι υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Το πρόβλημα σε ορισμένες περιοχές γίνεται εντονότερο με την προσθήκη αποβλήτων κι από άλλες δραστηριότητες. Τα προβλήματα που δημιουργούνται σε μια περιοχή από την διάθεση κτηνοτροφικών αποβλήτων (κοπριά, ούρα, νερό πλυσίματος χώρων, υπολείμματα ζωοτροφών, νερά βροχής σε ακάλυπτους χώρους διακίνησης των ζώων) οφείλονται στην προκαλούμενη μόλυνση και ρύπανση.

Μόλυνση: Αφορά την ανάπτυξη και διάδοση των παθογόνων μικροοργανισμών και εξαρτάται κυρίως από την υγιεινή κατάσταση και την καθαριότητα των ζώων, καθώς και των χώρων διαβίωσής τους στην μονάδα. Παρά το ότι οι επιδημιολογικοί παράγοντες που είναι δυνατόν να εμφανισθούν στα απόβλητα είναι ακίνδυνοι για τον άνθρωπο, δεν για τα ζώα. Ο σωστός χειρισμός των αποβλήτων αδρανοποιεί ή καταστρέφει αυτούς τους παράγοντες σε μεγάλο βαθμό. Ο κίνδυνος της μόλυνσης επιπλέον μπορεί να αντιμετωπισθεί στην πράξη με φυσική ή χημική απολύμανση.

Ως φυσική απολύμανση ορίζεται η εφαρμογή φυσικών μεθόδων όπως αερισμός, υψηλές θερμοκρασίες και παρατεταμένος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους.

Ως χημική απολύμανση ορίζεται η προσθήκη χλωρίου, ασβεστίου κλπ. Γενικά, μπορεί να λεχθεί ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, τόσο αβλαβέστερα γίνονται από υγειονομικής πλευράς, ιδιαίτερα μάλιστα αν συνδυάζονται και με εδαφική διάθεση. Σε πολλές περιπτώσεις που ο τελικός αποδέκτης είναι υδάτινος, η φυσική απολύμανση είναι απαραίτητο να συμπληρώνεται με χημική απολύμανση.

Ρύπανση: Στην οποία υπάγονται η αισθητική υποβάθμιση, η έκλυση δυσοσμίας και η ανόργανη και οργανική ρύπανση. Η αισθητική υποβάθμιση αφορά την εμφάνιση των χώρων μέσα και γύρω από τις κτηνοτροφικές μονάδες. Πεταμένα αντικείμενα ή ψόφια ζώα και διασκορπισμένα εδώ και εκεί υγρά ή στερεά απόβλητα, αποτέλεσμα κακού χειρισμού ή ανεπάρκειας ή βλάβης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας προδιαθέτουν άσχημα τον επισκέπτη ή τον γείτονα και επισύρουν ευκολότερα διαμαρτυρίες και ενοχλήσεις. Η έκλυση δυσοσμίας είναι από τις συνηθέστερες αιτίες προστριβών με τους περίοικους και παρά το ότι τα αέρια που εκλύονται δεν προκαλούν ασθένειες, η ενόχληση που προκαλούν είναι ανάλογη της συγκέντρωσής τους. Σε εξαιρετικά ακραίες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει μέχρι και στον θάνατο ανθρώπων και ζώων. Γίνεται με αυτό τον τρόπο κατανοητό ότι κατά την επιλογή της θέσης της μελλοντικής μονάδας και του χώρου διάθεσης των επεξεργασθέντων αποβλήτων θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψιν η κατεύθυνση

των επικρατούντων ανέμων στην περιοχή, το ανάγλυφο του εδάφους και η ιδιαιτερότητα των προσκείμενων κατοικημένων περιοχών.

Η ανόργανη ρύπανση προκαλείται από τα διάφορα ανόργανα στοιχεία των αποβλήτων. Κατά σειρά σπουδαιότητας τα συστατικά αυτά είναι το άζωτο, ο φωσφόρος, το κάλιο και ακολουθούν τα άλατα ασβεστίου, μαγνησίου και νατρίου και τέλος τα βαρέα μέταλλα χαλκού, σιδήρου, μαγγανίου, ψευδαργύρου και άλλων. Η κύρια επίπτωση αυτών είναι η εμφάνιση ευτροφισμού σε στάσιμα νερά. Επίσης μπορεί να προκληθεί αύξηση της αλατότητας στα νερά ή στο έδαφος καθώς επίσης και η εμφάνιση τοξικότητας από υπερβολική συγκέντρωση ορισμένων συστατικών π.χ. αμμωνίας [**Α. Α. Χαρτσά,2007**]. Τα πρωτογενή (ακατέργαστα) απόβλητα των χοιροτροφικών μονάδων είναι πολύ μεγάλου ρυπαντικού φορτίου (π.χ. 12.400 mg/l BOD_5, 38.400 mg/l COD) συγκρινόμενα με αυτά των αστικών λυμάτων που είναι κατά μέσο όρο 310 mg/l BOD_5 και 650 mg/l COD [**Α. Στάμου,2004**].

Η οργανική ρύπανση αφορά στη διάθεση οργανικών ουσιών στον αποδέκτη, συνέπεια της οποίας είναι η ανάπτυξη κατά προτεραιότητα αερόβιων μικροοργανισμών που ενυπάρχουν σε αυτά ή στον αποδέκτη με ρυθμό ανάλογο με την ποσότητα της οργανικής ύλης και το βαθμό βιοαποικοδομησιμότητάς της. Συνέπεια αυτής της ανάπτυξης είναι η κατανάλωση του οξυγόνου του αποδέκτη σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από λίγες ώρες, έως λίγες εβδομάδες. Ο βαθμός μείωσης τελικά του διαθέσιμου οξυγόνου στον αποδέκτη, εξαρτάται από τον ρυθμό αναπλήρωσης του σε αυτόν. Συνεπώς αν ο ρυθμός κατανάλωσης υπερέχει σε σχέση με τον ρυθμό αναπλήρωσης, όπως συνήθως συμβαίνει στους υδάτινους αποδέκτες, τότε γρήγορα δημιουργείται έλλειψη οξυγόνου και θάνατος των αερόβιων οργανισμών από ασφυξία [**Α. Α. Χαρτσά,2007**].

1.8 Ρύπανση προερχόμενη από εκλυόμενα αέρια

Πιο συγκεκριμένα για την ρύπανση που προέρχεται από τα εκλυόμενα αέρια μιας χοιροτροφικής μονάδας, που όπως είπαμε και πιο πάνω τα αέρια αυτά είναι δύσοσμα και συνίστανται από 330 τουλάχιστον πτητικές ουσίες. Η έκλυση αυτών των οσμών είναι η κύρια και συνηθέστερη αιτία προστριβής με τους κατοίκους, των γύρω από την μονάδα, περιοχών. Για παράδειγμα η απαιτούμενη ζώνη απομόνωσης για την προστασία του περιβάλλοντος (από οσμές), γύρω από κτίριο σταβλισμού 1200 χοίρων παχύνσεως φτάνει τα 1800 m (ανάλογα με τη φορά και την ένταση των ανέμων) [**Α. Α. Χαρτσά,2007**].

Τα πιο σημαντικά οσμηρά πτητικά συστατικά τα οποία έχουν ανιχνευθεί στα απόβλητα χοιροτροφείων είναι:

• **Πτητικά λιπαρά οξέα:** Η περιεκτικότητα των υγρών ζωικών αποβλήτων σε πτητικά λιπαρά οξέα κυμαίνεται από 4-27 g L^{-1}. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα οξέα από C_1 έως C_{13} (κυρίως το οξικό οξύ, προπανικό οξύ, βουτυρικό, ισοβουτυρικό οξύ), το βενζοϊκό οξύ, το φαινυλαιθανικό και το 3-φαινυλοπροπανικό οξύ.

• **Φαινόλες και ινδόλες:** Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τη φαινόλη, π-κρεσόλη (μεθυλοφαινόλη), 3-μεθυλοϊνδόλη, ινδόλη και αιθυλοφαινόλη.

• **Θειούχες ενώσεις (υδρόθειο, μερκαπτάνες, σουλφίδια και δισουλφίδια):** Το υδρόθειο και η μεθυλική μερκαπτάνη είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά συστατικά αυτής της ομάδας. Το υδρόθειο παρουσιάζει θανατηφόρο δράση σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 100.000 ppb, οι οποίες παρατηρούνται συνήθως κατά τη διάρκεια της ανάδευσης των αποβλήτων πριν την απομάκρυνση τους από τα κτήρια εκτροφής σε συνδυασμό με ανεπαρκή αερισμό. Επίσης, το 50% των συστατικών που χαρακτηρίζονται ως κύριοι συντελεστές για την έκλυση οσμών στις χοιροτροφικές μονάδες περιέχουν θείο. Τα αέρια που παράγονται κατά την αναερόβια αποικοδόμηση ζωικών αποβλήτων περιέχουν συνήθως 0,01-1% υδρόθειο.

• **Αμμωνία και αμίνες:** Οι κυριότερες αμίνες που ανιχνεύονται στα απόβλητα των χοίρων είναι η διμεθυλαμίνη και η μεθυλαμίνη. Η αμμωνία και τα αμμωνιακά ιόντα προέρχονται από την αποικοδόμηση της ουρίας. Αύξηση του pH, εξαιτίας της οξείδωσης των πτητικών λιπαρών οξέων, που παρατηρείται κατά τη διάρκεια του αερισμού των αποβλήτων, μεταβάλλει το λόγο αμμωνιακά /αμμωνία προς όφελος σχηματισμού αμμωνίας. Τα αέρια που παράγονται κατά την αναερόβια αποικοδόμηση ζωικών αποβλήτων περιέχουν συνήθως 2-6% αμμωνιακό άζωτο. Η αμμωνία είναι πολύ πτητική και μετακινείται γρήγορα προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Η αμμωνία προσροφάται από τα σταγονίδια που βρίσκονται στα σύννεφα, εξουδετερώνοντας τα οξέα που υπάρχουν σε αυτά. σχηματίζοντας αερολύματα. Τα αερολύματα αυτά με την εξάτμιση τους δημιουργούν μικρά εσπνεύσιμα σωματίδια τα οποία επηρεάζουν άμεσα την υγεία του ανθρώπου.

• **Αλκοόλες, αλδεύδες, κετόνες και εστέρες:** Οι ενώσεις αυτές ανιχνεύονται σε μικρά ποσοστά στα ζωικά απόβλητα.
• **Διοξίνες και φουράνια:** Οι διοξίνες (πολυχλωριομένες διβενζοδιοξίνες, PCDD) και τα φουράνια (PCDF) είναι πολύ επικίνδυνοι ρύποι που προέρχονται από τη μονάδα αποτέφρωσης. Η επικινδυνότητα των παραπάνω ενώσεων συμβαδίζει με ενδείξεις για τη συμβολή τους σε διαδικασίες καρκινογένεσης σε ανθρώπους. Οι διοξίνες και τα φουράνια παράγονται σχεδόν σε όλες τις διαδικασίες καύσης σε μικρές ποσότητες, ωστόσο, ο ακριβής μηχανισμός δημιουργίας τους δεν είναι ακόμη γνωστός.
• **Αιωρούμενα σωματίδια-Ιπτάμενη τέφρα:** Αποτελεί το ελαφρύτερο ρεύμα τέφρας και είναι αυτό που παρασύρεται από τα καυσαέρια, κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης [**Γ. Τζίχα,2007] [Μ. Όξενκιουν-Πετροπούλου,2002**].

1.9 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Πολλές από τις παραπάνω ουσίες ανιχνεύονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, ωστόσο, δρουν κατά αθροιστικό τρόπο με αποτέλεσμα το αέριο μίγμα να είναι εξόχως τοξικό και να προκαλεί κυρίως αναπνευστικά προβλήματα και καρδιοπάθειες στους εργαζόμενους στις εν λόγω χοιροτροφικές μονάδες και περιοίκους, ενώ σε μεγάλες συγκεντρώσεις επιφέρουν το θάνατο. Ωστόσο, ιδιαίτερα μνεία θα γίνει για την η αμμωνία, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων που έχει, και τη σημαντική συμμετοχή της στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

1.10 Διαχείριση των αποβλήτων

Ένας τρόπος χειρισμού των αποβλήτων είναι μέσα στα κτίρια στέγασης των ζώων και αποβλέπει στην διατήρηση καθαρών χώρων και επίσης καθιστούν το περιβάλλον των ζώων απαλλαγμένο από οσμές και αέρια, που επηρεάζουν δυσμενώς την ανάπτυξή τους και τις συνθήκες εργασίας του προσωπικού. Κατ' επέκταση αποβλέπει στην ελαχιστοποίηση των ενοχλήσεων των περιοίκων και περαστικών από την δυσοσμία, που συνήθως επικρατεί γύρω από τις πτηνοκτηνοτροφικές μονάδες.

Ο άλλος τρόπος είναι η διαχείριση των αποβλήτων έξω από τους χώρους παραγωγής τους είναι ουσιαστικά θέμα επεξεργασίας και διάθεσης του τελικού προϊόντος. Πριν από κάθε προσπάθεια διαχείρισης οφείλουμε να εξετάζουμε με κάθε λεπτομέρεια τον τρόπο λειτουργίας της μονάδας που παράγει τα απόβλητα και τις δυνατότητες του τελικού αποδέκτη που προορίζεται να τα δεχτεί. Ένα σύστημα διαχείρισης αποβλήτων με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος θεωρείται επιτυχημένο, όταν συνδυάζει διάφορες εναλλακτικές λύσεις που παρέχουν αποδεκτό επίπεδο ποιότητας περιβάλλοντος και παράλληλα επιτρέπουν οικονομία και απλότητα στη λειτουργία και συντήρηση των εγκαταστάσεων. Οι διάφορες εναλλακτικές λύσεις μπορεί να επηρεάζονται από νομικούς, διοικητικούς, δανειοδοτικούς και κοινωνικοπολιτικούς περιορισμούς, ανάλογα με τις απαιτήσεις προστασίας του περιβάλλοντος σε κάθε περιοχή [**Α. Α. Χαρτσά,2007**].

Κεφάλαιο 2ο Έδαφος

2.1Γενικά

Το έδαφος αποτελεί το μέσο στήριξης και θρέψης των φυτών, συνιστά τη βάση της αγροτικής και δασικής παραγωγής, το φυσικό φίλτρο και το προστατευτικό στρώμα των αποθεμάτων του υπόγειου νερού, καθώς επίσης και το χώρο όπου ζουν μεγάλοι αριθμοί μικροοργανισμών που συμμετέχουν στη διαδικασία ανακύκλωσης στοιχείων, όπως του αζώτου και άνθρακα.

Το επιφανειακό έδαφος είναι το επιφανειακό στρώμα του στερεού φλοιού της γης στο οποίο στηρίζονται και αναπτύσσονται τα φυτά. Το στρώμα κάτω από το επιφανειακό έδαφος λέγεται υπέδαφος. Το υπέδαφος φτάνει στο 1,5 m ως 2 m., ως εκεί δηλαδή που προχωρούν οι ρίζες των φυτών και μπορεί να γίνει γεωργική εκμετάλλευσή του. Το έδαφος σχηματίζεται με φυσικό τρόπο από την αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων της γης που συντελείται με την επίδραση ορισμένων παραγόντων, όπως οι συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας, η βροχή, ο παγετός, ο άνεμος, οι μικροοργανισμοί, τα ανώτερα φυτά και οι ζωικοί οργανισμοί.

Για να σχηματισθεί ένα εκατοστό εδάφους απαιτούνται δεκάδες χρόνια, που μπορεί να είναι και ένας αιώνας. Το έδαφος, ένας φυσικός πόρος που χρειάζεται πάρα πολύ καιρό για να δημιουργηθεί, αποτελεί τη βάση για την παραγωγή τροφίμων και καταλαμβάνεται από ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως πόλεις και γενικά κατοικημένες περιοχές. Είναι επίσης αναγκαίος πόρος για την οικοδόμηση πόλεων και χωριών, σύγχρονων έργων υποδομής, οδικών δικτύων κλπ. Συνεπώς το έδαφος καταλαμβάνεται και χρησιμοποιείται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Πολλές φορές παρατηρείται σύγκρουση στόχων, όταν τροποποιείται η χρήση για την οποία προοριζόταν. Επομένως, η προστασία του εδάφους αφορά τόσο το έδαφος και τις ιδιότητές του όσο και τη χρήση για την οποία προορίζεται [**Μ.Σφακιαννάκη**].

Το έδαφος μαζί με τα υδάτινα συστήματα, είναι ο κυριότερος αποδέκτης της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Οι βιομηχανικές, βιοτεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το έδαφος. Τα υγρά και στερεά απόβλητα αρχικά εναποτίθενται και επεξεργάζονται σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, λιπάσματα και φυτοφάρμακα ρυπαίνουν καλλιεργούμενες εκτάσεις. Ατυχήματα και διαρροές πετρελαίου, απόβλητα ορυχείων και λατομείων είναι μερικές άλλες αιτίες ρύπανσης εδαφών. Το έδαφος γίνεται αποδέκτης και των ατμοσφαιρικών ρύπων που κατακρημνίζονται με αργούς ρυθμούς ανάλογα με τις συνθήκες και τη γεωμορφολογία των περιοχών.

Το έδαφος δέχεται όλες τις τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες και παρασκευάσματα ή απόβλητα, τα οποία ανάλογα με τη γεωμορφολογία του εδάφους και άλλες εξωγενείς συνθήκες ρυπαίνουν τοπικά το έδαφος ή διασκορπίζονται σε άλλα περιβαλλοντικά διαμερίσματα (π.χ. υπόγεια νερά) ή εκπλύνονται στα διάφορα υδάτινα συστήματα.

Συστατικά οργανικών και ανόργανων ρύπων στο νερό της βροχής μέσω του εδάφους καταλήγουν στα υπόγεια νερά. Οι συντελεστές κατανομής ρύπων μεταξύ εδαφών και νερού, εδάφους και ατμόσφαιρας, εδάφους και οργανικών συστατικών, παίζουν σημαντικό ρόλο για τον τελικό διασκορπισμό, μεταφορά, επανεξάτμιση και συσσώρευση ρύπων στα εδάφη. Οι συντελεστές κατανομής προκαθορίζουν και την τοξικότητα ρύπων στα φυτά και τα χερσαία ζώα, μέσα στο έδαφος και την βιοαποικοδόμισή τους μέσω των εδαφικών μικροοργανισμών [**Βαλαβανίδης,2008**]

2.2 Ορισμός

Το έδαφος είναι το επιφανειακό κομμάτι του γήινου φλοιού που τροποποιείται από τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες (βροχές, άνεμος, εναλλαγή ζέστης και κρύου, κ.λ.π.) και από τα έμβια όντα τα οποία διαφυλάσσει (χλωρίδα, πανίδα, μικροοργανισμοί). Είναι ένα μη-συμπαγές πολυφασικό υλικό, που αποτελείται από ασύνδετους ή ελαφρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους, τα κενά μεταξύ των οποίων (πόροι) περιέχουν υγρά, (συνήθως νερό) ή/και αέρια (συνήθως αέρα). **[L.Rowell ,1994**]

2.3 Σχηματισμός του εδάφους

Ο τρόπος σχηματισμού και εξέλιξης των εδαφών ονομάζεται εδαφογένεση. Η εδαφογένεση περιλαμβάνει μια σειρά από πολύπλοκες διεργασίες μεταξύ των οποίων τη φυσική, χημική και βιολογική αποσάρθρωση των πετρωμάτων. Η αποσάρθρωση μετατρέπει τα επιφανειακά πετρώματα σε τεμάχια μικρού

μεγέθους τα οποία και αποτελούν το μητρικό υλικό του εδάφους. Στις εδαφογενετικές διεργασίες ανήκουν επίσης η μετακίνηση και η έκπλυση των εδαφικών συστατικών καθώς και η προσθήκη υλικών στο έδαφος [**Ανδρουλιδάκης Σ.,1981**].

Οι διεργασίες μέσω των οποίων σχηματίζεται το έδαφος είναι φυσικές (από τη δράση νερού, ανέμου, θερμότητας, βαρύτητας), χημικές (ανταλλαγές χημικών στοιχείων στα συστατικά του εδάφους) και βιολογικές (αποικοδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων από οργανισμούς). Η πιο σημαντική βιολογική διαδικασία είναι η διάσπαση και χουμοποίηση, δηλαδή η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων των ζώων και φυτών και των νεκρών μικροοργανισμών με τελικό προϊόν ένα υλικό σκοτεινό και πολύπλοκο, χωρίς ιδιαίτερη δομή που ονομάζεται χούμος **[S.E. Manahan,1993] [N.C. Brady,1974]**.

2.4 Κατηγορίες εδαφών

Όλα τα εδάφη δεν σχηματίστηκαν με τον ίδιο τρόπο. Αλλού επέδρασε πιο πολύ το νερό και απόθεσε σε αυτά περισσότερο άμμο, αλλού έζησαν κατά εποχές περισσότερα ζώα και φυτά και πλούτισαν ανάλογα τα εδάφη με θρεπτικές ουσίες, πολλές από αυτές μεταφέρθηκαν με τα νερά των βροχών στις κοιλάδες, αλλού τα γύρω βουνά ήταν ασβεστολιθικά κλπ. Έτσι σήμερα τα καλλιεργήσιμα εδάφη χωρίζονται στις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

• Σε **αμμώδη**. Αυτά έχουν για κύριο συστατικό τους την άμμο. Το νερό, ο ήλιος και ο αέρας περνούν μέσα τους εύκολα και σε μεγαλύτερο βάθος. Όμως δε συγκρατούν εύκολα υγρασία και οι θρεπτικές ουσίες της επιφάνειάς τους ξεπλένονται εύκολα. Ακόμα και το χειμώνα ψύχονται γρήγορα και το καλοκαίρι θερμαίνονται πολύ. Τα φυτά, που δεν έχουν βαθιές ρίζες, δε βρίσκουν πολλές θρεπτικές ουσίες στα εδάφη αυτά, δε στηρίζονται γερά και όταν φυσά δυνατός άνεμος, τα ρίχνει κάτω ή τα ξεριζώνει και όταν έχει ζέστη παύουν να αναπτύσσονται, αν δεν ξεραθούν τελείως.

• Σε **αργιλώδη**. Σε αυτά πλεονάζει η άργιλος (χώμα που χρησιμοποιείται στη κεραμοποιία). Τα εδάφη αυτά έχουν μεγάλη συνεκτικότητα και δύσκολα περνούν μέσα τους βαθιά το νερό, ο ήλιος και ο αέρας. Το χειμώνα δεν τα διαπερνά το κρύο, αλλά στην επιφάνειά τους είναι ψυχρά. Το καλοκαίρι κρατούν υγρασία , αλλά στις μεγάλες ζέστες σκάζουν, δημιουργώντας βαθιές ρωγμές. Οι ρίζες των φυτών δυσκολεύονται να προχωρήσουν βαθιά, υποφέρουν από ασφυξία και στις ξηρασίες, όταν εξατμίζεται όλη η επιφανειακή υγρασία, παύει κάθε ανάπτυξη τους και μαραζώνουν. Τα αργιλώδη εδάφη γίνονται κατάλληλα για καλλιέργεια, όταν ρίξουμε άμμο ή κοπριά χωνευμένη ή και αχώνευτη.

• Σε **πηλώδη**. Κατάλληλα για την ανάπτυξη φυτών. Όταν εμπλουτίζονται με οργανική ουσία θερμαίνονται ευκολότερα και έχουν καλό αερισμό.

• Σε **ασβεστολιθικά ή ασπροχώματα**. Αυτά προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα και έχουν τα μειονεκτήματα των αργιλωδών εδαφών. Διορθώνονται, αν τους προσθέσουμε άμμο ή κοπριά, όπως στα αργιλώδη.

• Σε **οργανικά εδάφη**. Αυτά έχουν πολλές οργανικές ουσίες και το χρώμα τους είναι σκούρο (καστανό). Είναι αφράτα και καλλιεργούνται εύκολα. Διατηρούν τη ζέστη το χειμώνα και τη δροσιά το καλοκαίρι. Απορροφούν και συγκρατούν το νερό, τα διαπερνά εύκολα ο ήλιος και ο αέρας και μέσα τους ζουν σκουλήκια, μικρόζωα και μικρόβια, που μεγαλώνουν τη γονιμότητά τους. Είναι τα πιο κατάλληλα εδάφη για καλλιέργεια και με το χώμα τους μπορούμε να πλουτίσουμε άλλα εδάφη φτωχά (αργιλώδη, αμμώδη και ασβεστολιθικά) [**Μ.Σφακιαννάκη**]

2.5 Ταξινόμηση των εδαφικών οργανισμών

Οι εδαφικοί οργανισμοί ανάλογα με το μέγεθός τους ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες

α. Μακροπανίδα

Περιλαμβάνει ασπόνδυλους οργανισμούς όπως μεγάλους γεωσκώληκες, καθώς και αρκετά σπονδυλόζωα όπως ασπάλακες, τυφλοπόντικες, λαγούς, κουνέλια, νυφίτσες, φίδια, σαύρες, κ.λ.π.

β. Μεσοπανίδα

Περιλαμβάνει μια ετερόκλιτη ομάδα ασπόνδυλων οργανισμών μεταξύ των οποίων νηματώδεις, αννελίδες και αρθρόποδα.

γ. Μικροπανίδα και μικροχλωρίδα (εδαφικοί μικροοργανισμοί)

Οι μικροοργανισμοί του εδάφους ταξινομούνται σε 5 μεγάλες κατηγορίες: Βακτήρια, μύκητες, ακτινομύκητες, φύκη και πρωτόζωα

Η ποικιλία της ζωής του εδάφους είναι τεράστια και, ενώ οι περισσότερες μορφές της είναι αόρατες στο γυμνό μάτι,οι αριθμοί τους είναι τόσο υπέρογκοι ώστε το συνολικό τους βάρος είναι αξιόλογο. Η διάσπαση, η σήψη και η επακόλουθη ανακύκλωση των χημικών στοιχείων της οργανικής ύλης αποτελούν μια κύρια λειτουργία της ζωής του εδάφους. Χωρίς την αποικοδόμηση οι θρεπτικές ουσίες θα παρέμεναν στα οργανικά υπολείμματα και δεν θα ήταν στη διάθεση των ζωντανών φυτών.[**Μ. Σακκάλλης,2011**]

Στα εδαφικα συστατικά περιλαμβάνονται διάφοροι μικροοργανισμοί και γεωσκώληκες, που επηρεάζουν σε σημαντικότατο βαθμό τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών.

Η κύρια δουλειά των μικροοργανισμών είναι να διασπούν το οργανικό υλικό πρώτα σε χούμο, έπειτα σε χουμικό οξύ και τέλος σε βασικά ανόργανα στοιχεία. Τα μικρόβια πρέπει να έχουν διαθέσιμη μια συγκεκριμένη ποσότητα οργανικού υλικού, διαφορετικά ο αριθμός τους μειώνεται σημαντικά.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους μικροοργανισμούς είναι η θερμοκρασία, το pH, ο αερισμός του εδάφους, η οργανική ύλη και τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά.

Αναμφίβολα ο μεγαλύτερος οργανικός αποσυντιθετής είναι οι γεωσκώληκας και η κύρια δουλειά του είναι η αποσύνθεση και η εναπόθεση εδαφικών ουσιών. Καθώς το εδαφικό υλικό περνάει από το πεπτικό του σύστημα διασπάται και ομογενοποιείται από εκκρίσεις ανθρακικού ασβεστίου των αδένων στο στομάχι του γεωσκώληκα. Το οργανικό υλικό που αποβάλει αποτελεί την καλύτερη ποιότητα χούμου[**N.A.Krasil'nikov,1958**]

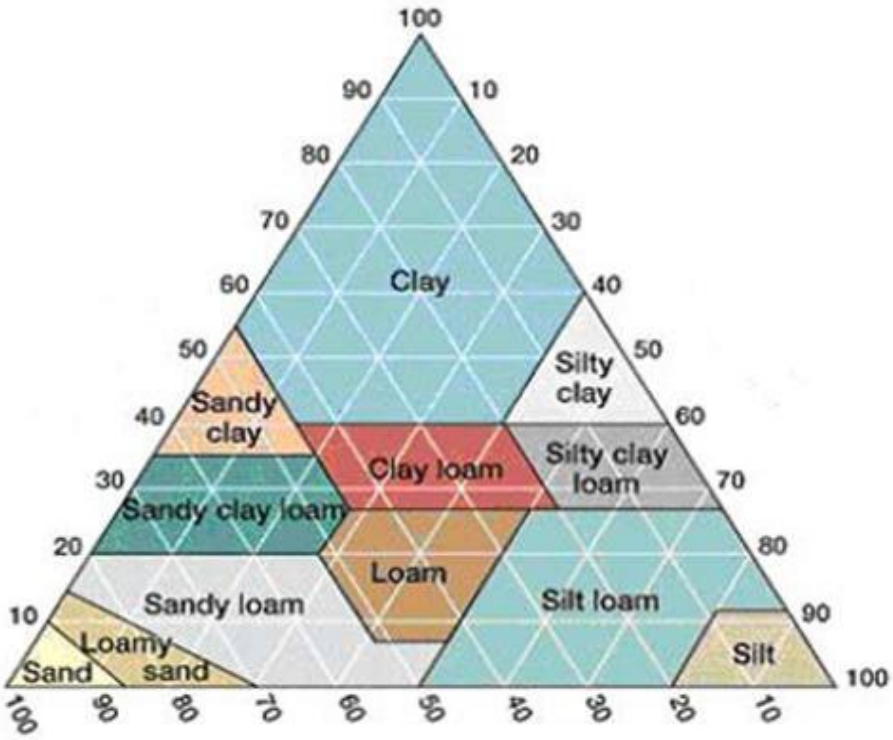
2.6 Φυσικές ιδιότητες

Οι κυριότερες φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι οι εξής:

• **Σύσταση:** Η σύσταση του εδάφους διαμορφώνεται από την αναλογία των υλικών που το αποτελούν μίγμα άμμου, ιλύος αργίλου και οργανικών υλικών, νερού και αέρα που έχει εγκλωβισθεί στο έδαφος, και ζωντανών μικροοργανισμών. Τα εδάφη συνήθως αποτελούνται από μίγματα αργίλου, λάσπης (ιλύς) και άμμου και η υφή τους χαρακτηρίζεται από τα μεγέθη των σωματιδίων των τριών αυτών υλικών. Τα κυριότερα στοιχεία στο επιφανειακό έδαφος είναι τα στοιχεία: οξυγόνο (υπό μορφή οξειδίων), πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρος, ασβέστιο, νάτριο, κάλιο και μαγνήσιο. Μερικά από τα κλασικά οξείδια του εδάφους είναι: SiO_2, Fe_3O_4, MnO_2, Fe_2O_3, και τα ορυκτά $KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$, $CaO.3(AlFe)_2O_3.6SiO_2.H_2O$, $CaCO_3$, $CaCO_3.MgCO_3$ **[H. Siegrist and PL. McCarty,1987] [KW. Brown et al.,1990]**.

• **Υφή:** Γενικά,το μέγεθος των ανόργανων υλικών καθορίζει την υφή του εδάφους. Η υφή (ή μηχανική σύσταση) του εδάφους περιγράφει πόσο χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο είναι το έδαφος. Τα πιο χονδρόκοκκα εδάφη είναι τα αμμώδη, τα αργιλώδη είναι τα πλέον λεπτόκοκκα, ενώ τα σωματίδια ιλύος είναι ενδιάμεσου μεγέθους. Η υφή επηρεάζει το πορώδες, καθώς επίσης και τη χημική δραστικότητα στο έδαφος. Τα αμμώδους συστάσεως εδάφη εμπεριέχουν πολύ μεγαλύτερους πόρους, παρακρατούν λίγο νερό και το υπόλοιπο ρέει εύκολα ανάμεσα στους πόρους. Ο συνδυασμός χαμηλής δραστικότητας και γρήγορης κίνησης του νερού στα αμμώδη εδάφη τα καθιστά περισσότερο ευπρόσβλητα σε στραγγίσματα επιμολύνσεων από τα λεπτής υφής εδάφη. Εδάφη που είναι κυρίως ιλυώδη ή αργιλώδη έχουν πολύ μικρότερους πόρους, που δεν επιτρέπουν εύκολα τη ροή νερού μέσα από αυτά. Ο κίνδυνος της επιμόλυνσης των υπογείων υδάτων είναι πολύ μικρότερος σε αυτών των κατηγοριών τα εδάφη. Τα μέσης σύστασης εδάφη (loam) αποτελούνται από ισορροπημένο μίγμα αμμώδους, ιλυώδους και αργιλώδους εδάφους. Τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν εντονότερη χημική δραστηριότητα από τα αμμώδη εδάφη και παρακρατούν περισσότερο νερό, προσφέροντας μεγαλύτερη προστασία στα υπόγεια νερά [**Μ.Σφακιαννάκη**] [**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**].

Τα εδάφη ανάλογα με την εκατοστιαία περιεκτικότητα τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο μπορούν να καταταχθούν σε 12 κατηγορίες που είναι γνωστές ως υφή του εδάφους και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα [**Ανδρουλιδάκης Σ.,1981**].



Σχήμα 2.1 *Κατηγορίες εδάφους*

• **Δομή:** Η δομή του εδάφους αναφέρεται στο σύνολο των συστατικών του. Ξεχωριστά σωματίδια άμμου, ιλύος και αργίλου τείνουν να ομαδοποιηθούν στο έδαφος. Αυτή η ομαδοποίηση των σωματιδίων σε συσσωματώματα συνιστά τη δομή του εδάφους. Οι κόκκοι του εδάφους που μπορούμε να δούμε κολλημένους σε ρίζες χόρτων όταν σκάβουμε τον χλοοτάπητα είναι ένας τύπος εδαφικής δομής.

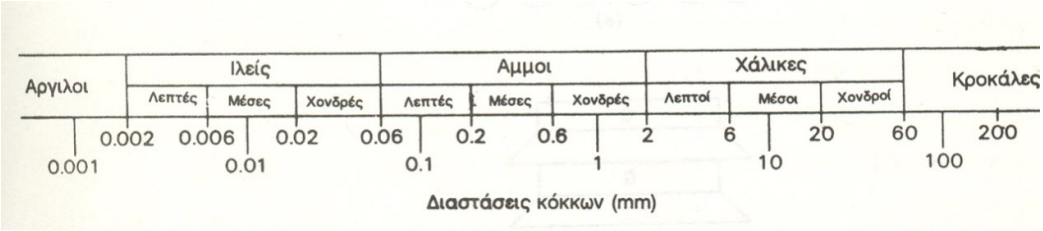
Η δομή είναι σημαντική γιατί είναι συνάρτηση του αριθμού των μεγάλων πόρων στο έδαφος. Σε λεπτόκοκκα εδάφη η δομή καθορίζει την κίνηση του νερού (διήθηση) και του αέρα στο έδαφος. Καλά δομημένα εδάφη οδηγούν βαθύτερα τα στραγγίσματα επιμολυντικών ουσιών με αποτέλεσμα μια αύξηση του κινδύνου επιμόλυνσης των υπογείων νερών. Εν τούτοις είναι επιθυμητό το καλά δομημένο έδαφος, γιατί αυξάνει τον αερισμό του εδάφους βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας την διάβρωση [**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**].

<u>Τύποι συστατικών της δομής του εδάφους</u>

Κολλοειδή: Είναι υδρόφιλα μακρομόρια που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

•Ορυκτά: αργιλικά άλατα (ένυδρα SiAl), ένυδρα άλατα σιδήρου ή αργιλίου.
•Οργανικά: Χούμος (Ο χούμος είναι το σύνολο των οργανικών υλικών στο έδαφος, τα οποία είναι κυρίως προϊόντα μεταβολισμού φυτών και ζώων. Αποτελείται κυρίως από αρωματικά μόρια. Ανά χρονικές περιόδους διασπάται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, γι' αυτό και πρέπει να αναπληρώνεται διαρκώς).

Στερεά μόρια: Προέρχονται από τον κατακερματισμό του μητρικού πετρώματος: πυριτικοί κόκκοι ή πυριτικά άλατα (πυριτικοί βράχοι), ανθρακικό ασβέστιο (ανθρακικοί βράχοι), καθώς και ορυκτά προερχόμενα από την μεταβολή αυτού του μητρικού πετρώματος (κυρίως άργιλος). Η μέση διάμετρος τους προσδιορίζει την υφή του εδάφους και η κοκκομετρική τους σύσταση είναι συνάρτηση της αναλογίας αυτών των μορίων στο έδαφος [**Η.Κρεμμύδας,2006] [Κ.Χ.Σκούφη,2006**].



Σχήμα 2.2: *Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών [***Μ.Καββαδάς,1992***]*

• **Πορώδες και ειδικό βάρος:** Το πορώδες καθορίζεται από τον όγκο που έχουν τα διάκενα του εδάφους. Το πραγματικό ειδικό βάρος (λόγος του βάρους ενός όγκου κόκκων εδάφους προς ίσο όγκο αποσταμένου νερού στους 4^{o}C) είναι γύρω στα 2,5. Το πορώδες καθορίζεται από τον όγκο που έχουν τα διάκενα του εδάφους. Είναι αποτέλεσμα της γενικής δομής και της πολύπλοκης συνάθροισης των στερεών μορίων στα εδάφη, όπου σχηματίζονται κάποια κενά ή αλλιώς πόροι. Η βιολογική δραστηριότητα του εδάφους συντελείται μέσα σ' αυτούς τους πόρους. Εδαφικό πορώδες ονομάζουμε το συνολικό όγκο όλων των πόρων που περιέχονται σ' ένα κυβικό εκατοστό εδάφους και είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη γονιμότητα των εδαφών. Ο συνολικός όγκος των πόρων ποικίλει ανάλογα την τοποθεσία, τις κλιματικές αλλαγές και τη βλάστηση.

Το μέγεθος των στερεών μορίων ανήκει στους σημαντικούς παράγοντες εκείνους που επηρεάζουν το πορώδες και αναφέρθηκε παραπάνω. Ο προσδιορισμός του ολικού πορώδους γίνεται από τον ειδικό όγκο και την ειδική βαρύτητα του εδάφους, σύμφωνα με τον τύπο:

Πορώδες (%) = (1-ΦΠ/Π).100

Όπου:

ΦΠ = η φαινόμενη πυκνότητα (μάζα του ξηρού εδάφους ανά μονάδα όγκου συμπεριλαμβανομένων και των πόρων και εκφράζεται σε g/cm^3)

Π = η πραγματική πυκνότητα των στερεών συστατικών του εδάφους (2,65 g/cm^3),

ενώ η σχέση ΦΠ/Π δείχνει το κλάσμα του όγκου του εδάφους που καταλαμβάνεται από στερεά συστατικά. Το πραγματικό ειδικό βάρος (λόγος του βάρους ενός όγκου κόκκων εδάφους προς ίσο όγκο αποσταγμένου νερού στους 4 ^{o}C) είναι γύρω στα 2,5 [12,13].

• **Υγροσκοπικότητα:** Η Υγροσκοπικότητα του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητα πρόσληψης και απόδοσης υγρασίας. Όταν όλα τα διάκενα του εδάφους είναι γεμάτα νερό η υγροσκοπικότητα του εδάφους φτάνει το μέγιστο [**Μ.Σφακιαννάκη**].

• **Ειδική θερμότητα:** Αφορά στην ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1^{o}C. Η θερμοκρασία είναι ένας από τους συντελεστές της ανάπτυξης των φυτών και εξαρτάται από τα συστατικά του εδάφους, το χρώμα του, την υγρασία του κλπ [**Μ.Σφακιαννάκη]**

• **Οργανική σύσταση εδαφών:** Οι οργανικές ουσίες που περιέχονται στο έδαφος βοηθούν τη συσσωμάτωση των τεμαχιδίων του εδάφους και αυξάνουν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Ο γενικός κανόνας είναι ότι, καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, αυξάνεται το μέγεθος και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων [**Δ. Αλιφραγκής,2008**].

• **Διηθητικότητα του εδάφους:** Διηθητικότητα λέγεται το φαινόμενο κατά το οποίο το νερό (άρδευσης ή βροχοπτώσεων) εισχωρεί στην κυρίως μάζα του εδάφους από την επιφάνεια του [**Μ. Σακκάλλης,2011**].

• **Υδατοδιαπερατότητα:** Η υδατοδιαπερατότητα αφορά στην κίνηση του νερού μέσα στην κυρίως μάζα του εδάφους. Εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό, την κατανομή και το μέγεθος των πόρων αλλά αυξάνεται και λόγω υδροστατικής πίεσης όταν η επιφάνεια είναι καλυμμένη από νερό. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την υδατοδιαπερατότητα είναι τα γενικά δομικά χαρακτηριστικά του εδάφους και η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία [**Μ. Σακκάλλης,2011**].

2.7 Φυσικοχημικές ιδιότητες

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες καθορίζουν το πώς κατανέμονται και μετακινούνται οι ρύποι του εδάφους και το πόσο αποτελεσματικά μπορούν να απομακρυνθούν με τις διαθέσιμες μεθόδους.

i. PH εδάφους

Το pH καθορίζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του εδάφους. Ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκεντρώσεως των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα. Όταν το pH παίρνει τιμές κάτω από 7, τότε το διάλυμα είναι όξινο ενώ όταν οι τιμές είναι πάνω από 7, αλκαλικό. Η ανάπτυξη των φυτών και η βλάστηση κάθε είδους επηρεάζεται από το pH του εδάφους, καθώς η τιμή του pH καθορίζει την απορρόφηση και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του pH στο έδαφος είναι:

•Η βροχόπτωση,
•Το είδος των καλλιεργούμενων φυτών, και
•Η χρησιμοποίηση λιπασμάτων
•Η εναπόθεση αέριων, υγρών ή στερών ρύπων **[A.Miles and M.Brown, 2003].**

ii. Ανταλλαγή κατιόντων

Η ανταλλαγή κατιόντων είναι μία από τις σημαντικές χημικές δράσεις των εδαφών (ή ιζημάτων). Η δράση αυτή των εδαφών (ή ιζημάτων) εκφράζεται με τον όρο ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC, cation-exchange capacity): την ποσότητα μονοσθενών κατιόντων που μπορούν να ανταλλαγούν ανά 100 g εδάφους, και εξαρτάται από το pH του εδάφους και το pE (οξειδοαναγωγικό δυναμικό των ουσιών που εναλλάσσονται). Τα ορυκτά και η οργανική ύλη των εδαφών ανταλλάσσουν κατιόντα. Τα αργιλικά ορυκτά και η οργανική ύλη, όπως τα χουμικά οξέα, έχουν μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η ανταλλαγή αυτή στα εδάφη διευκολύνει την παραλαβή από τα φυτά του νατρίου, καλίου, μαγνησίου και ασβεστίου με αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης κατιόντων υδρογόνου, που καθιστά τα εδάφη όξινα **[A.Miles and M.Brown, 2003].**

iii. Ανταλλαγή ανιόντων

Είναι η ιδιότητα των εδαφών να απορροφούν και να αποδίδουν ανιόντα. Τα ανιόντα δεν δεσμεύονται από το έδαφος στις ίδιες θέσεις με τα κατιόντα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τόσο η εδαφική ιλύς, όσο και το οργανικό υλικό, έχουν μόνο αρνητικά φορτισμένες θέσεις δέσμευσης. Θρεπτικά συστατικά τα οποία βρίσκονται σε ανιοντική μορφή είναι το άζωτο (NO_3^-), ο φώσφορος ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}), θείο (SO_4^{2-}), χλώριο (Cl^-), βόριο ($B_4O_7^{2-}$) και μολυβδένιο (MoO_4^-). Ένα αρνητικά φορτισμένο ιόν, που δεσμεύεται πάνω ή κοντά σε στερεή επιφάνεια, με θετικά φορτισμένη θέση δέσμευσης, μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί από ένα άλλο ανιόν **[A.Miles and M.Brown, 2003].**

iv. Οργανική ουσία του εδάφους

Όλα τα εδάφη περιέχουν μία ποσότητα οργανικού υλικού το οποίο αποτελείται σε γενικές γραμμές από τρία μέρη:

1. Πρόσφατα – αναλλοίωτα ή σχεδόν αναλλοίωτα – φυτικά και ζωικά υπολείμματα
2. Ζωικά και φυτικά υπολείμματα τα οποία ήδη έχουν υποστεί διάσπαση ή άλλου τύπου αλλοίωση
3. Ανθεκτικά σε περαιτέρω διάσπαση προϊόντα (χούμος) [2].

v. Διαλυτότητα – pH

Η συγκέντρωση των υδρογονιόντων είναι ένας σημαντικός παράγοντας διαλυτότητας των δυσδιάλυτων ενώσεων και λειτουργεί ρυθμιστικά, όσον αφορά τη συγκέντρωση των ιόντων του εδαφοδιαλύματος, που βρίσκονται σε ισορροπία με τη στερεά φάση του εδάφους.

Σε γενικές γραμμές, τα ουδέτερα εδάφη παρουσιάζουν υψηλότερες ιοντικές συγκεντρώσεις απ' ότι τα όξινα εδάφη. Η διαλυτότητα των υδροξειδίων του Al και του Fe εξαρτάται από τη συγκέντρωση των υδροξειδίων (OH^-) και ελαττώνεται καθώς το pH αυξάνεται. Επίσης, τα υδρογονιόντα (H^+) ανταγωνίζονται με άλλα όξινα (κατά Lewis) κατιόντα για την κατάληψη σημείων ιοντικής ανταλλαγής στα σύμπλο-

κα. Κατά αυτόν τον τρόπο, η διαλυτότητα κατιόντων όπως ο Cu και ο Zn αυξάνεται όταν το pH μειώνεται.

Η διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων Fe, Al και Ca αυξάνεται με το pH. Ειδικότερα, η διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων με Al και Fe αυξάνεται καθώς το pH ανέρχεται μέχρι το σημείο ουδετερότητας. Αντίθετα, η διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων του ασβεστίου μειώνεται όσο το pH γίνεται πιο αλκαλικό.

Επίσης, το pH ελέγχει τη διαλυτότητα των ανθρακικών και πυριτικών ορυκτών [**J.A.A.R. Schuurkes et al., 1987] [H.R. Pruppacher et al.,1983] [H.F.G. Van Dijk et al., 1989] [J.I. Drever,1997].**

Τα αλκαλικά εδάφη χαρακτηρίζονται από πλεόνασμα στην εν διαλύσει φάση του ιόντος υδροξυλίου (OH^-) που υπερβαίνει αρκετά το σημείο ουδετερότητας (>7,0). Στα αλκαλικά εδάφη η παρουσία ελεύθερων διαλυτών αλάτων είναι περιορισμένη, αλλά υπάρχει περίσσεια ελεύθερων ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου (ασβεστίτης και δολομίτης). Υπό τις συνθήκες αυτές στην εν διαλύσει φάση του εδάφους (σε ισορροπία με την αέρια φάση) επικρατεί το σύστημα $CaCO_3$ - CO_2 και το pH δεν υπερβαίνει το 8,5. Τα αρνητικά φορτία των οργανικών και κρυσταλλικών κολλοειδών είναι κορεσμένα με μεταλλικά κατιόντα (K^+, $Nα^+$, Ca^{2+}, Mg^{2+}), τα οποία έχουν εκτοπίσει τα όξινα κατιόντα υδρογόνου και αργιλίου.

Στα εδάφη των ημιξηρικών και ξηρικών κλιματικών ζωνών απαντώνται οι συνθήκες εκείνες που επιτρέπουν τη μόνιμη παρουσία των μεταλλικών κατιόντων, δηλαδή συσσώρευση αλάτων και περιορισμένη έκπλυση.

Υπό τις ως άνω συνθήκες ήπιας αλκαλικότητας και περίσσειας $CaCO_3$ η γονιμότητα του εδάφους επηρεάζεται κατά διάφορους τρόπους. Κύριο χαρακτηριστικό είναι η μειωμένη διαθεσιμότητα του P, λόγω δεσμευσης του κυρίως υπό μορφή δυσδιάλυτων ενώσεων με το Ca. Επίσης, η μειωμένη διαθεσιμότητα των μεταλλικών μικροθρεπτικών καθώς και του βορίου.

Στα αλκαλικά ασβεστολιθικά εδάφη πολλά καλλιεργούμενα είδη, ή και ποικιλίες βοτανικών ειδών, παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα ανεπάρκειας Fe λόγω μειωμένης πρόσληψης αλλά και αδρανοποίησης του μικροθρεπτικού αυτού συστατικού στο φύλλωμα. Δεν είναι εξάλλου ασυνήθη τα φαινόμενα ανταγωνισμού κατιόντων, που οφείλονται σε μη ισόρροπη παρουσία τους στο εδαφικό σύστημα. Ειδικότερα, ο ανταγωνισμός των K-Mg, ίσως δε και των Ca-Mg οδηγεί συχνά σε τροφοπενία Mg.

Σε αλκαλικό pH η νιτροποίηση του αμμωνιακού N είναι ταχεία το δε παραγόμενο νιτρικό N εάν δε συλληφθεί από τις ρίζες, απομακρύνεται εύκολα δι' εκπλύσεως. Στα ασβεστολιθικά εδάφη οι απώλειες N υπό μορφή αέριας αμμωνίας είναι συχνά σοβαρές μετά από προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων ή ουρίας.

Στην πλειονότητάς τους τα ελληνικά εδάφη είναι ελαφρώς αλκαλικά και περιέχουν αρκετές ποσότητες ανθρακικών και δισανθρακικών αλάτων. Στα εδάφη αυτά, το pH ρυθμίζεται από τη μερική πίεση του CO_2 στην ατμόσφαιρα του εδάφους εν ισορροπία με το εδαφοδιάλυμα. Εάν η μερική πίεση του CO_2 είναι η ίδια με την εξωτερική ατμόσφαιρα το pH ισούται με 8,5. Αν όμως η μερική πίεση του CO_2 αυξηθεί κα-τά 0,02 atm το pH υποβιβάζεται στο 7,5 [**Σ.Ε. Κουφοπούλου**,**2008] [D.L. Rowell**,**1994] [Δ.Α. Αναλογίδης,2000**].

vi. Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα διάλυμα. Η αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού εξαρτάται, κυρίως, από την ολική συγκέντρωση των ιοντιζομένων ουσιών, που περιέχονται στο δείγμα και τη θερμοκρασία, στην οποία έγινε η μέτρηση.Μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το μmhos/cm ή mS/m (1 mS/m =10 μmhos/cm).

Τα συνήθη φυσικά ύδατα έχουν τιμές ειδικής αγωγιμότητας από 50-500 μmhos.cm^{-1} και τα ιαματικά από 500-1000 και περισσότερο. Σε ορισμένες περιπτώσεις βιομηχανικών αποβλήτων η τιμή μπορεί να φτάσει στα 10.000 μmhos.cm^{-1}. [**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**].

2.8 Ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους

Ως ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους ορίζεται η αντίσταση του σε κάθε αλλαγή των συνθηκών οξύτητας ή αλκαλικότητας που μπορεί να προκληθεί από την προσθήκη όξινων ή βασικών ενώσεων σε αυτό.

Ασβεστολιθικά εδάφη με pH πάνω από 7 (τα περισσότερα ελληνικά εδάφη, όπως και το έδαφος από όπου πάρθηκαν τα δείγματα για την προκείμενη μελέτη, ανήκουν σε αυτή την κατηγορία) βρίσκονται στην «ασβεστολιθική εξισορροπητική κατάσταση» και εξισορροπούνται κυρίως με $CaCO_3$.

$$CaCO_3 + H^+ + HCO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2 \qquad (I)$$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HO^- + 2H_2CO_3 \qquad (II)$$

Έτσι αν για κάποιο λόγο προστεθούν στο έδαφος ιόντα H^+ τότε η αντίδραση (I) θα μετατοπισθεί προς τα δεξιά. Αντίθετα αν προστεθούν OH^- η αντίδραση (II) θα μετατοπισθεί προς τα αριστερά και το διαλυτό $Ca(HCO_3)_2$ θα μετατραπεί σε αδιάλυτο $CaCO_3$.
Εδάφη που έχουν pH που κυμαίνεται από 5 – 6,5 βρίσκονται στην «πυριτική εξισορροπητική κατάσταση» και εξισορροπούνται με ορθοκλάστη ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) που προκαλεί την απελευθέρωση θρεπτικών κατιόντων, όπως:

$$CaO.Al_2O_3.2SiO_2 + 2H^+ + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O \text{ (καολινίτης)}$$

Τα όξινα μετεωρικά κατακρημνίσματα προκαλούν οξίνιση του εδάφους και έκπλυση του εναλλακτικού Ca και Mg, όπως και αύξηση της διαλυτότητας του Al.

Η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους επηρεάζεται επίσης από:

- Την υδρόλυση των υδροξειδίων του αργιλίου και του σιδήρου
- Την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων
- Τις υδροξυλικές ομάδες της οργανικής ουσίας (R-OH)

[**GG. Briggs,1990**].

Οικολογική σημασία του pH του εδάφους

Το pH του εδαφικού διαλύματος είναι η ιδιότητα που επηρεάζει την αύξηση όλων των οργανισμών. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι μη προσαρμοσμένα σε συνθήκες υψηλής οξύτητας είδη παρουσιάζουν ευαισθησία σε υψηλές συγκεντρώσεις Al^{3+}, Mn^{2+} και H^+, και εμφανίζουν συμπτώματα έλλειψης θρεπτικών στοιχείων, όπως Ca^{2+}, Mg^{2+}, Mo και P. Αντίθετα σε συνθήκες υψηλής αλκαλικότητας πολλά είδη παρουσιάζουν ευαισθησία σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων Na, καθώς και σε ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων όπως Fe, Zn και P λόγω μετατροπής τους σε αδιάλυτες μορφές.
Τα εδάφη με pH < 5 παρουσιάζουν έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, ιδιαίτερα Ca, K, Mg. Επίσης τα εδάφη αυτά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, παρουσιάζουν μεγάλη διαλυτότητα των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών και εμφανίζουν συνήθως υψηλές συγκεντρώσεις Mn, Cu, και Al με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τοξικές για την ανάπτυξη των φυτών συνθήκες. Επίσης κάτω από αυτές τις συνθήκες τα φωσφορικά ανιόντα σχηματίζουν αδιάλυτα σύμπλοκα με το Mn, Al και Fe με αποτέλεσμα να μειώνονται σημαντικά οι ποσότητες της βιοδιαθέσιμης μορφής φωσφόρου.
Παράλληλα στα εδάφη αυτά η βιολογική δραστηριότητα περιορίζεται με αποτέλεσμα να περιορίζεται η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες επικρατεί η δράση των μυκήτων και περιορίζεται η δράση των βακτηρίων και των αμινομυκήτων και μειώνεται η ταχύτητα νιτροποίησης του αμμωνιακού αζώτου.
Αντίθετα σε εδάφη με pH >7,5 παρουσιάζονται συνθήκες έλλειψης βιοδιαθέσιμων μορφών Fe, Cu, Mn, B και P. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα θρεπτικά αυτά στοιχεία δεσμεύονται σε αδιάλυτες μορφές. Επίσης, ο βαθμός κορεσμού των κολλοειδών της αργίλου σε Na αυξάνεται, με αποτέλεσμα η άργιλος να διασπείρεται, να περιορίζεται η αποστράγγιση και ο αερισμός του εδάφους. Στα εδάφη αυτά εμφανίζονται διάφοροι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

2.9 Έκπλυση των βάσεων στα όξινα εδάφη

Η έκπλυση των βάσεων από το έδαφος γίνεται ταυτόχρονα με την κίνηση του εδαφικού διαλύματος και συνδέεται με την παράλληλη έκπλυση και των ανιόντων. Όλες οι ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζουν

την ταχύτητα κίνησης του εδαφικού διαλύματος μέσα από τη μάζα του εδάφους επηρεάζουν και την έκπλυση των βάσεων. Μεταξύ αυτών η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο. Η μεγάλη επίσης ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων μειώνει την ποσότητα των εκπλυνομένων βάσεων.

Σε πρώτο στάδιο εκπλύνονται τα περισσότερο ευκίνητα κατιόντα και ιδιαίτερα αυτά που σχηματίζουν διαλυτά άλατα, όπως το Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}. Τα κατιόντα αυτά του εδαφικού διαλύματος βρίσκονται συνήθως σε χημική ισορροπία με τα αντίστοιχα που βρίσκονται στις θέσεις εναλλαγής. Τα ανιόντα που μετακινούνται είναι ανόργανης μορφής, όπως για παράδειγμα είναι τα NO_3^-, CO_3^{2-}, SO_4^{2-} ή οργανικής μορφής, όπως τα γαλακτικά ιόντα. Τα πολυσθενή κατιόντα σπάνια μετακινούνται ως άλατα, εκτός από το Mn^{2+} και τον Fe^{2+} όταν βρεθούν σε αναγωγικό περιβάλλον και το Al^{3+} όταν βρεθεί σε πολύ όξινες συνθήκες. Η μετακίνηση των κατιόντων Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} οδηγεί σε μια σταδιακή αντικατάσταση τους με Al^{3+} ή H^+ τα οποία σιγά-σιγά οδηγούν σε οξίνιση της στερεάς φάσης του εδάφους.

Η ταχύτητα έκπλυσης των βάσεων εξαρτάται από το είδος του ιόντος. Τα μονοσθενή κατιόντα εκπλύνονται ευκολότερα σε σχέση με τα δισθενή. Το Na^+ θεωρείται ότι είναι ένα από τα περισσότερο ευκίνητα κατιόντα του εδάφους [**Δ. Αλιφραγκής,2008**].

Η κύρια δουλειά των μικροοργανισμών είναι να διασπούν το οργανικό υλικό πρώτα σε χούμο, έπειτα σε χουμικό οξύ και τέλος σε βασικά ανόργανα στοιχεία. Τα μικρόβια πρέπει να έχουν διαθέσιμη μια συγκεκριμένη ποσότητα οργανικού υλικού, διαφορετικά ο αριθμός τους μειώνεται σημαντικά.

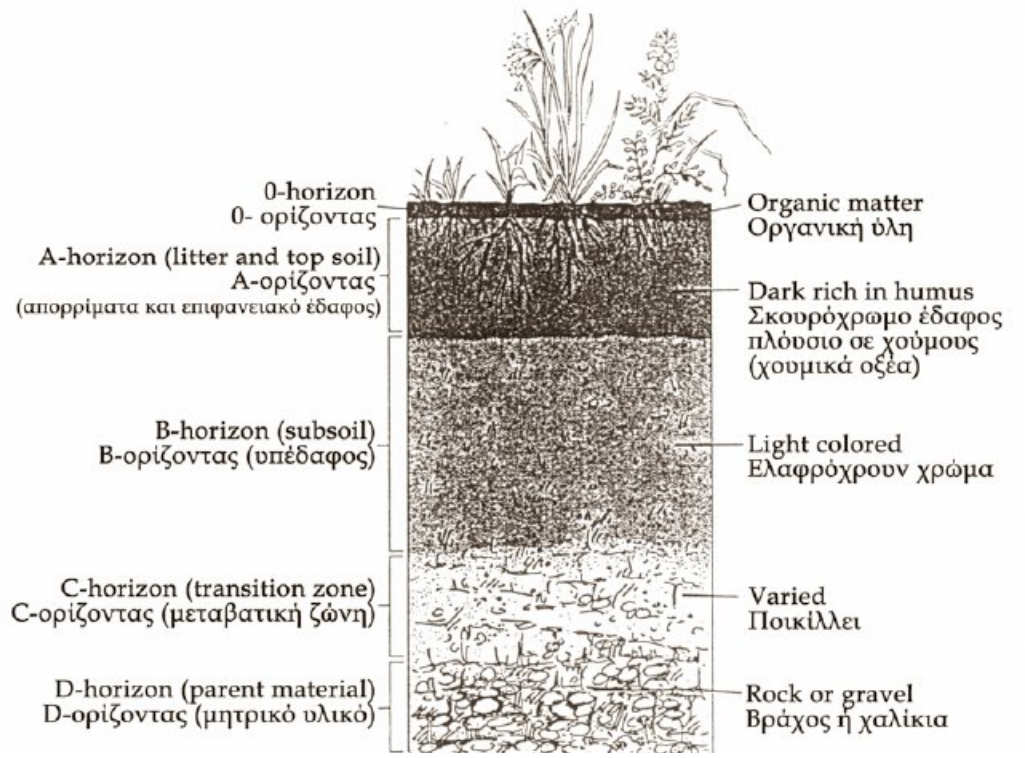
Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους μικροοργανισμούς είναι η θερμοκρασία, το pH, ο αερισμός του εδάφους, η οργανική ύλη και τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά.

Αναμφίβολα ο μεγαλύτερος οργανικός αποσυντιθετής είναι οι γεωσκώληκας και η κύρια δουλειά του είναι η αποσύνθεση και η εναπόθεση εδαφικών ουσιών. Καθώς το εδαφικό υλικό περνάει από το πεπτικό του σύστημα διασπάται και ομογενοποιείται από εκκρίσεις ανθρακικού ασβεστίου των αδένων στο στομάχι του γεωσκώληκα. Το οργανικό υλικό που αποβάλει αποτελεί την καλύτερη ποιότητα χούμου[**N.A.Krasil'nikov,1958**]

2.10 Ορίζοντες του εδάφους

Σε μια κάθετη τομή του εδάφους διακρίνονται μια σειρά από οριζόντια στρώματα που είναι οι εδαφικοί ορίζοντες. Οι εδαφικοί ορίζοντες διαφέρουν ως προς την υφή, το χρώμα και τη σύσταση.

- **0-ορίζοντας:** ανώτατο στρώμα εδάφους με φυτά, οργανικά υπολείμματα, πεσμένα φύλλα δένδρων και μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη.
- **Α-ορίζοντας:** τα πρώτα 30-50 cm του μέτρου εδάφους (topsoil) με χουμικά οξέα, μερικά ανόργανα ορυκτά, ζωντανούς οργανισμούς, οργανική ύλη, με τη μεγαλύτερη βιολογική δραστικότητα από τις άλλες στιβάδες.
- **Ε-ορίζοντας:** η ζώνη που διαχωρίζει το επιφανειακό έδαφος από το υπέδαφος. Η διαλυμένη ή αιωρούμενη ύλη κινείται προς τη στιβάδα αυτή και για αυτό καλείται η ζώνη αποπλυμάτων (leaching zone).
- **Β-ορίζοντας:** το υπέδαφος είναι ορίζοντας εμπλουτισμού όπου συγκεντρώνονται τα χουμικά οξέα, ο άργιλος, σίδηρος και αργίλιο μετά το στράγγισμα από τις πάνω ζώνες.
- **C-ορίζοντας:** ελαφρά διαβρωμένο βραχώδες έδαφος που περιέχει τα ορυκτά συστατικά του κυρίου εδάφους.
- **D-ορίζοντας:** βραχώδες έδαφος (bedrock) που δεν επηρεάζεται από τη διάβρωση [20,23].
- **(ζ) R**: βραχώδες έδαφος (bedrock) που δεν επηρεάζεται από διάβρωση.



Σχήμα 2.4: *Ορίζοντες του εδάφους* [**I. Williams,2001] [Boca Raton,1993**]

2.11 Έδαφος και νερό

Το νερό που αποτελεί την υγρή φάση του εδάφους είναι ο σημαντικότερος συντελεστής της αποσάθρωσης και γενικότερα της εδαφογένεσης. Επιπλέον είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών, της μικροχλωρίδας και της μικροπανίδας. Το νερό του εδάφους προέρχεται κυρίως από τη βροχή που πέφτει πάνω σ' αυτό. Μπορεί επίσης να προέρχεται από ποτάμια, ρυάκια, λίμνες, έλη κλπ, αλλά και αυτών το νερό προέρχεται από τη βροχή. Μέρος επίσης του νερού του εδάφους προέρχεται από συμπύκνωση των υδρατμών αυτού, σε περιοχές μάλιστα ξηρές και θερμές η συμπύκνωση των υδρατμών του εδάφους έχει αρκετή σημασία.

Το νερό της βροχής που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους συναντάει αρκετά εμπόδια πριν περάσει στο έδαφος. Η κοκκομετρική σύσταση, η κατάσταση της επιφάνειας, η κλίση του εδάφους και η βλάστηση είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που ρυθμίζουν το ποσό του νερού που εισέρχεται στο έδαφος. Στην περίπτωση που η παροχή του νερού της βροχής είναι μεγαλύτερη από την ικανότητα του εδάφους να το απορροφήσει και να το διοχετεύσει στα κατώτερα στρώματα, τότε ή λιμνάζει στην επιφάνεια ή όταν το έδαφος παρουσιάζει κλίση γίνεται επιφανειακή απορροή με συνέπεια να παρασύρεται μέρος του επιφανειακού εδάφους και να διαβρώνεται.

Τα εδάφη με μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ύλης συγκρατούν περισσότερο νερό. Επίσης, υπάρχει αρκετή αλληλεπίδραση νερού με τον άργιλο του εδάφους. Όταν όμως το νερό εγκλωβισθεί και ξεπεράσει ορισμένα επίπεδα οι μικροοργανισμοί διάσπασης της οργανικής ύλης ενεργοποιούνται, το οξυγόνο χρησιμοποιείται ταχύτατα για την αναπνοή τους και η συνεκτικότητα των κολλοειδών σωματιδίων που συγκρατεί το έδαφος μειώνεται.

Το ποσό του νερού στο έδαφος εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία του αέρα, η εποχή του έτους, η διεύθυνση και η ένταση των ανέμων. Γι' αυτό το έδαφος παρουσιάζει μεγάλες διαφορές σε νερό όχι μόνο σε μεγάλες εκτάσεις με διαφορετικό κλίμα, αλλά και από σπιθαμή σε σπιθαμή. [**Ε. Λυκούδη,2005] [Greenland DJ, 1978**]

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των εδαφών και στη μεταφορά θρεπτικών υλικών που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών. Το έδαφος διασπάται, το οξυγόνο που απαιτούν οι ρίζες των φυτών μειώνεται και αρχίζει η αποσύνθεση της φυτικής ύλης. Η περίσσεια νερού στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση διαλυτών αλάτων σιδήρου και μαγγανίου που σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικά στα φυτά.[**Greenland DJ, 1978**]

Α) Κύκλος του νερού

Η μέγιστη απαίτηση για νερό οφείλεται στην γεωργική δραστηριότητα. Στην Ευρώπη, περισσότερα από τα δύο τρίτα του νερού που λαμβάνει από τους ποταμούς και τις λίμνες χρησιμοποιούνται για την άρδευση.

Το μεγαλύτερο μέρος του πόσιμου νερού παγκοσμίως, προέρχεται από βροχοπτώσεις ως αποτέλεσμα της εξατμίσεως του θαλασσινού νερού. Η υδατική αυτή μεταφορά από την θάλασσα στην στεριά και αντίστροφα ονομάζεται κύκλος του νερού.

Τα δύο τρίτα της βροχόπτωσης που καταλήγει στην επιφάνεια του εδάφους, επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με εξάτμιση. Το υπόλοιπο της βροχόπτωσης καταλήγει στην θάλασσα μέσω του εδάφους και των υπόγειων υδατικών μεταφορών.

• **Επιφανειακό νερό:** Τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για πόση, προέρχονται από λίμνες ποτάμια, κανάλια και απορροές. Οι συνθήκες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού μπορούν να αλλάξουν δραματικά σε μικρό χρονικό διάστημα. Το επιφανειακό νερό από τους ποταμούς είναι το ευκολότερα διαθέσιμο νερό.

• **Υπόγεια νερά:** Τα υπόγεια νερά βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και οι πηγές τους περιλαμβάνουν φρεάτια και σχισμές. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο παραπάνω σχήμα, όταν η βροχή φτάνει στο έδαφος, μέρος του νερού κυκλοφορεί στην επιφάνεια προς τις λίμνες και τα ποτάμια, άλλο μέρος του νερού εξατμίζεται, άλλο μέρος απορροφάται από τα φυτά και τέλος ένα μέρος διεισδύει στο υπέδαφος. Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση των υπόγειων νερών.

• **Επαναχρησιμοποιούμενο νερό:** Μια επιπλέον μορφή νερού πρέπει να συμπεριληφθεί σε κάθε συζήτηση σχετική με υδατικές πηγές, και ονομάζεται επαναχρησιμοποιούμενο νερό. Περιλαμβάνει το αφαλατωμένο θαλάσσιο νερό, το ανακυκλωμένο και επεξεργασμένο νερό διάφορων διεργασιών [3][**Η.Κρεμμύδας,2006] [Κ.Χ.Σκούφη,2006]**.

Β) Εδαφική κυκλοφορία νερού

Οι κινήσεις του νερού μέσα στο έδαφος καθορίζονται από τη βαρύτητα, η οποία προκαλεί την κίνηση του νερού προς τα κάτω, και από τις τριχοειδείς δυνάμεις, που εκφράζονται από τις μεταβολές του τριχοειδούς δυναμικού από το ένα σημείο στο άλλο (Σχήμα 2.6).

Όταν παρατηρείται κάποια τοπική μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, σε κάποιο σημείο του εδάφους (η επιφανειακή στιβάδα που υπόκειται σε εξάτμιση ή η στιβάδα που περιέχει ένα σημαντικό δείκτη ριζών), προκαλείται μια ανύψωση της δύναμης μύζησης (αρνητική πίεση). Από αυτό συνεπάγεται μια ζήτηση του νερού που υπάρχει σε περίσσευμα σε γειτονικές περιοχές με περισσότερη υγρασία[**Η.Κρεμμύδας,2006 [Κ.Χ.Σκούφη,2006**]

Γ) Εδαφικό διάλυμα

Το εδαφικό διάλυμα είναι στην πραγματικότητα το πιο ενεργό τμήμα του εδάφους όπου συμβαίνουν διάφορες χημικές και βιολογικές διεργασίες. Η σύσταση του εδαφικού διαλύματος έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των φυτών και των μικροοργανισμών.

Στο εδαφικό διάλυμα ανιχνεύονται οι εξής ουσίες: αμμωνιακά, νιτρώδη, νιτρικά, χλωρίδια και θειικά ιόντα, σε μορφή αλάτων, με τα στοιχεία: ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και κάλιο, καθώς επίσης ενώσεις του σιδήρου, μαγνησίου, αργιλίου και πυριτίου. Τέλος, ανιχνεύονται στοιχεία, όπως βανάδιο, βόριο, μολυβδαίνιο, ράδιο κ.ά. Στον πίνακα παρουσιάζονται στοιχεία για την διαλυτότητα των πιο διαδεδομένων αλάτων στο εδαφικό διάλυμα. Η διαλυτότητα αυτή είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και επηρεάζεται επίσης βαθύτατα από την παρουσία αερίων.

Πίνακας : *Διαλυτότητα εδαφικών αλάτων (g/l)*

Άλας	**0°C**	**10°C**	**20°C**	**30°C**	**40°C**	**50°C**
K_2CO_3	10,53	10,83	11,05	11,37	11,69	12,13
KCl	276	310	340	370	400	426
KNO_3	133	209	316	458	639	426
K_2S0_4	74	92	111	130	148	166
Na_2C0_3	7	125	215	388	485	--
$NaHCO_3$	69	82	96	111	138	--
NaCl	357	358	360	363	366	370
$NaNO_3$	721	779	845	916	984	1,041
Na_2SO_4	50	90	194	408	--	--
$CaCO_3$	--	--	0.0145	--	--	0,0152
$Ca(HCO_3)_2$	161,5	--	166	--	--	--
$CaCl_2$	595	650	745	1,020	--	--
$Ca(NO_3)_2$	1,021	1,153	1,293	1,526	--	--
$Ca(H_2PO_4)_2$	--	--	153	--	170,5	--
$CaSO_4$	1,759	1,928	--	2,090	2,097	--
$MgCl_2$	528	535	545	--	575--	--
$MgSO_4$	408	423	445	454	--	504

Όταν το έδαφος στεγνώσει, η συγκέντρωση του διαλύματος σε άλατα αυξάνεται και στην συνέχεια κρυσταλλώνονται. Αρχικά έχουμε την κρυστάλλωση των ανθρακικών αλάτων των αλκαλίων και στην συνέχεια των ευδιάλυτων στοιχείων. Από έρευνες έχουν ανιχνευτεί στο εδαφικό διάλυμα μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου, που προέρχονται από την ατμόσφαιρα ή δημιουργούνται μέσα σ' αυτό. Η διαλυτότητα των παραπάνω αερίων εξαρτάται από παράγοντες όπως η βαρομετρική πίεση και η θερμοκρασία. Η υψηλότερη θερμοκρασία συνεπάγεται μείωση της διαλυτότητας των αερίων. Η υψηλότερη πίεση συνεπάγεται αύξηση της διαλυτότητας των αερίων.

Τα κολλοειδή συστατικά του εδάφους αποτελούν το 5-20% της ξηρής φάσης του εδαφικού διαλύματος. Πυριτικό οξύ, υδροξείδιο του σιδήρου και αργιλίου μπορεί να ανιχνευτούν σε κολλοειδή μορφή.

Το εδαφικό διάλυμα, τέλος, περιέχει όλες τις αδιάλυτες ουσίες που δημιουργούνται και απελευθερώνονται από τα φυτά, τα ζώα και τους μικροοργανισμούς, καθώς και τις ουσίες που παράγονται από τις προηγούμενες με τη βοήθεια ενζύμων. Λόγω αυτού ανιχνεύουμε στο εδαφικό διάλυμα χουμικά οξέα, άλατα και διάφορα είδη αλκοολών, εστέρων και τοξινών.

Από τον παραπάνω πίνακα που δίνονται οι τιμές της διαλυτότητας των αλάτων του εδαφικού διαλύματος παρατηρούμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η διαλυτότητα των αλάτων. Επίσης η διαλυτότητα των αλάτων επηρεάζεται πολύ από την παρουσία αερίων. [**N.A.Krasil'nikov,1958**]

Δ) Υδατικές μεταφορές

Το υδατικό διάλυμα ορυκτών στοιχείων και οργανικών ουσιών, δηλαδή το εδαφικό διάλυμα, αποτελεί την υγρή φάση του εδάφους. Το διάλυμα αυτό είναι υπεύθυνο για την τροφοδοσία της βλάστησης. Επειδή ο ορίζοντας υγρασίας και το σκέπασμα ενός εδάφους είναι πολύ διαπερατά, εξωγενείς ιοντικές συνεισφορές, που προέρχονται από τις βροχές και τις αγροτικές πρακτικές, τροφοδοτούν περισσότερο ή λιγότερο γρήγορα το εδαφικό διάλυμα. Τα ιόντα που περιλαμβάνονται στο διάλυμα αυτό μπορούν να καταλήξουν είτε στο πλέγμα προσρόφησης του εδάφους, είτε στην τροφοδοσία της βλάστησης(μέσω του

μηχανισμού της μοριακής διάχυσης λόγω διαφοράς της συγκέντρωσης), είτε στην οριζόντια ή κάθετη μεταφορά. [**Η.Κρεμμύδας,2006] [Κ.Χ.Σκούφη,2006**]

Ε) Η προσρόφηση στο προσροφητικό πλέγμα

Προσρόφηση είναι η διαδικασία κατά την οποία μια ουσία προσκολλάται στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων ή στη διεπιφάνεια στερεών και νερού. Η έλξη οφείλεται σε ασθενείς δυνάμεις van der Waals. Η ικανότητα προσρόφησης των στερεών σωματιδίων των υδροφορέων αυξάνεται με την ειδική επιφάνεια. Τα σωματίδια της αργίλου, τα αδρομερέστερα σωματίδια με επικάλυψη από οργανικό υλικό και τα οξείδια και 40 υδροξείδια του σιδήρου έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια. Συνεπώς η ικανότητα προσρόφησης σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά, σε οργανικά υλικά και σε οξείδια και υδροξείδια.

Ιοντοανταλλαγή (ion exchange) είναι η διαδικασία κατά την οποία ανταλλάσσονται ιόντα μεταξύ ρυπαντών και εδάφους, λόγω των αρνητικών επιφανειακών φορτίων που προέρχονται από τη δομή των αργιλοπυριτικών ορυκτών που υπάρχουν στο έδαφος (ηλεκτροστατική προσρόφηση).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την προσκόλληση των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα του εδάφους σε αυτό το προσροφητικό πλέγμα είναι:

- **Ο αριθμός οξείδωσης και ο βαθμός ενυδάτωσης των ιόντων**
- **Η φύση και η διάταξη των φύλλων αργίλου**
- **Η φύση των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα του εδάφους**
- **Η αραίωση του εδαφικού διαλύματος**
- **Το pH του εδάφους** [**Η.Κρεμμύδας,2006**][4]

ΣΤ) Η κάθετη και οριζόντια μεταφορά

Το έδαφος είναι ένας χώρος κυκλοφορίας του νερού. Το νερό όμως είναι φορέας των ουσιών που βρίσκονται σε διάλυση και έχουν ενδογενή ή εξωγενή προέλευση προς τα στρώματα νερού ή προς την ατμόσφαιρα. Ιοντικές ουσίες εκπλένονται από τα νερά των βροχών προς το βάθος, παρά το ότι υπάρχει η ικανότητα φιλτραρίσματος σε ορισμένα εδάφη. Η παράσυρση προς τους ελεύθερους υδροφορείς μπορεί να προκαλέσει κάποιες φορές αναντίστρεπτη ρύπανση ανάλογα με την τοξικότητα και την ανοχή του ιόντος που εκπλένεται.

<u>α) Οριζόντια μεταφορά</u>

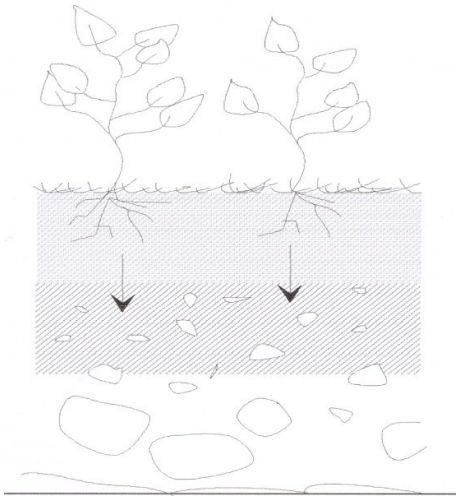
Υπάρχουν δυο είδη οριζόντιας ροής:

- **Η επιφανειακή ροή**, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο της απορροής που πραγματοποιείται πάνω στην πιο μεγάλη κλίση ούτως ώστε να δημιουργήσει μεγαλύτερες η μικρότερες συγκεντρώσεις που ονομάζονται ροές. Το σύνολο των επιφανειακών ροών συνιστά το υδρογραφικό δίκτυο. Διακρίνουμε πολλά επίπεδα της απορροής, που έτσι δημιουργούν ένα δενδρικό πεδίο.
- **Η υπόγεια ροή**, μοιάζει με ροή που πραγματοποιείται από προνομοιούχες υπόγειες διαδρομές αναλόγως με την φύση του εδάφους ή από την βλάστηση. Αυτή η υπόγεια ροή επιτρέπει σε μια απορροή να συναντήσει ένα μεγαλύτερο αποδέκτη(ποτάμι).

<u>β) Κατακόρυφη ροή</u>

Συνήθως ονομάζεται διήθηση και είναι το αποτέλεσμα της διείσδυσης του νερού μέσα στο έδαφος. Το νερό συμπαρασύρει μόρια ή ιόντα που περιέχονται στο έδαφος. Οπότε μιλάμε για έπλυση. Η έκπλυση είναι η μετακίνηση ορυκτών (άλατα και άργιλοι) και οργανικών (χουμικά οξέα) συστατικών μέσω του νερού, κάτω από την επίδραση ρευμάτων που κυκλοφορούν κυρίως προς τα κάτω, μετά από βροχές, αλλά ενίοτε και προς την επιφάνεια, σε περιόδους ξηρές ή κάτω από την επίδραση της βλάστησης.

Η διήθηση απαιτεί έδαφος διαπερατό, ούτως ώστε να επιτρέπει την διείσδυση του νερού που υπάρχει στην επιφάνεια. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στις δυνάμεις βαρύτητας και στο πορώδες του εδάφους που αυξάνει ή μειώνει την ταχύτητα διήθησης.[**Η.Κρεμμύδας,2006**]



Ορίζοντας Α- φτωχός σε στοιχεία

ΟρίζονταςΒ-πλούσιος σε στοιχεία

Μητρικός-λίθος

Σχήμα 2.7: *Σχηματική διάταξη μιας έκπλυσης*
[**Η.Κρεμμύδας,2006**]

2.12 Ρύπανση του εδάφους

Το έδαφος δεν αποτελεί ανανεώσιμο φυσικό πόρο αφού οι διαδικασίες σχηματισμού του εξελίσσονται με εξαιρετικά αργό ρυθμό. Επίσης τα εδάφη που μπορούν να καλλιεργηθούν δεν αντιπροσωπεύουν παρά ένα 10 % της συνολικής εδαφικής επιφάνειας. Τα υπόλοιπα βρίσκονται σε περιοχές με πολύ ξηρό κλίμα, σε περιοχές με διαρκείς παγετούς ή παρουσιάζουν τα ίδια τα εδάφη έλλειψη ανόργανων στοιχείων (περιορισμένη γονιμότητα). Τα δεδομένα αυτά καθιστούν το έδαφος ιδιαίτερα ευαίσθητο. Μια σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων απειλούν όχι μόνο την εγγενή και οικολογική αξία, αλλά και τις κοινωνικο-οικονομικές λειτουργίες που επιτελεί. Τα αίτια που συνιστούν την απειλή για υποβάθμιση του εδάφους μπορεί να είναι φυσικά, τα κυριότερα όμως από αυτά είναι ανθρωπογενή. Αναφερόμαστε στη διάβρωση, αλάτωση ή ερημοποίηση.[**Μ. Σακκάλλης,2011**]

Τα υγρά και στερεά απόβλητα αρχικά εναποτίθενται και επεξεργάζονται σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, λιπάσματα και φυτοφάρμακα ρυπαίνουν καλλιεργημένες εκτάσεις. Ατυχήματα και διαρροές πετρελαίου, απόβλητα ορυχείων και λατομείων είναι μερικές άλλες αιτίες ρύπανσης εδαφών. Το έδαφος γίνεται αποδέκτης και των ατμοσφαιρικών ρύπων (οργανικών και ανόργανων) που κατακρημνίζονται με αργούς ρυθμούς, ανάλογα με τις συνθήκες και τη γεωμορφολογία των περιοχών, απορροφούνται από το έδαφος και παρασύρονται με τη βροχή στα διάφορα εδαφικά περιβαλλοντικά διαμερίσματα και στα υπόγεια νερά. Οι συντελεστές κατανομής ρύπων μεταξύ εδαφών και νερού, εδάφους και ατμόσφαιρας, εδάφους και οργανικών συστατικών, παίζουν σημαντικό ρόλο για την τελική διασπορά, μεταφορά, επανεξάτμιση και συσσώρευση ρύπων στα εδάφη **[J. Dragun,1988]|[H. Siegrist,1987]**.

Οι συντελεστές κατανομής προκαθορίζουν και την τοξικότητα ρύπων στα φυτά και τα χερσαία ζώα, τη διάσπαση από φυσικές διεργασίες μέσα στο έδαφος και την βιοαποικοδόμιση τους μέσω των εδαφικών μικροοργανισμών. Αυτά είναι τα βασικά προβλήματα της περιβαλλοντικής τοξικολογίας σε σχέση με τους τοξικούς και επικίνδυνους χημικούς ρύπους στα εδάφη. Μελέτες για τις συγκεντρώσεις τους και τους μηχανισμούς τοξικότητας χρησιμεύουν για την εκτίμηση του κινδύνου για το περιβάλλον των ζωντανών οργανισμών και την υγεία του ανθρώπου **[KW. Brown et al., 1990]| P. Lagas,1988]| WA. Jury et al.,1987**].

Ορισμένες από τις βασικές αιτίες ρύπανσης των εδαφών είναι:
• Τα λιπάσματα και φυτοφάρμακα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων
• Τα υγρά και στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων
• Τα υγρά και στερεά απόβλητα των χημικών βιομηχανιών

• Τα αστικά και νοσοκομειακά απόβλητα που διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής και αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες
• Η ρύπανση από την εκμετάλλευση του πετρελαίου, λιπαντικών υλών και ελαστικών τροχοφόρων
• Η ρύπανση από απόβλητα μεταλλευτικών και λατομικών επιχειρήσεων
• Η ρύπανση από βαρέα μέταλλα που προέρχονται από χημικές βιομηχανίες, καύση στερεών και υγρών ορυκτών καυσίμων και άλλες διεργασίες εμπλουτισμού ή καθαρισμού μεταλλευμάτων

Το έδαφος δέχεται όλες αυτές τις τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες και παρασκευάσματα ή απόβλητα, τα οποία ανάλογα με τη γεωμορφολογία του εδάφους και άλλες εξωγενείς συνθήκες ρυπαίνουν τοπικά το έδαφος ή διασπείρονται σε άλλα περιβαλλοντικά διαμερίσματα (π.χ. υπόγεια νερά) ή εκπλύνονται στα διάφορα υδάτινα συστήματα. Στην περίπτωση των **λιπασμάτων** (νιτρικό και θειικό αμμώνιο, ουρία, φωσφορικά άλατα, άλατα καλίου) το έδαφος εμπλουτίζεται με θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, χωρίς όμως να προστίθεται χούμος η απαραίτητα εδαφικά ιχνοστοιχεία. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της οργανικής ύλης, η αλλοίωση της πορώδους υφής του εδάφους και μείωση της συγκράτησης του νερού στο έδαφος. Με τη μείωση του νερού αυξάνεται η απώλεια θρεπτικών συστατικών και μειώνεται η γονιμότητα του εδάφους. Η προσπάθεια των γεωργών να αυξήσουν την απόδοση των καλλιεργειών (χωρίς τη σωστή διαχείριση του προβλήματος) οδηγεί στο περαιτέρω εμπλουτισμό του εδάφους και των νερών με τα τοξικά πλέον για αυτά νιτρικά και άλλα λιπασμάτων [**Βαλαβανίδης και Βλαχογίαννης, 2008] [KH. Domsch et al., 1983**].

Τα **βαρέα μέταλλα** είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας ρύπανσης των εδαφών. Αν και οι χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μπορούν να γίνουν αποδεκτές από ορισμένα φυτά χωρίς να προκαλούν τοξικές βλάβες, οι υψηλές συγκεντρώσεις έχουν αρνητικές επιδράσεις στα χερσαία ζώα, στους γαιοσκώληκες, στους νηματώδεις και στους μικροοργανισμούς των εδαφών [**G. Tyler,1974][G. Tyler,1984][WHM. Van Kessel et al., 1989**].

Οι γαιοσκώληκες αποτελούν ιδανικά πειραματόζωα και χρησιμοποιούνται σε πειράματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας και οικοτοξικολογίας ως ευαίσθητοι βιοδείκτες για βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και άλλους τοξικούς ρύπους. Για τις τοξικολογικές αυτές δοκιμασίες έχουν δημιουργηθεί ειδικά πρωτόκολλα πειραματικών τεχνικών. Τα τοξικά απόβλητα από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, λόγω των τοξικών και επικίνδυνων ουσιών που περιέχουν (αλογονομένες ουσίες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τοξικοί διαλύτες, βαρέα μέταλλα, κλπ) προκαλούν διάφορα προβλήματα ρύπανσης στο έδαφος και στα βιολογικά συστήματα. Τα υγρά απόβλητα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό μεταλλαξιγόνου δράσης.**[KC. Donnelly et al.,1990][VS. Houk and DM. DeMarini 1988].**

Παρόμοια γονοτοξική δράση παρουσιάζουν και οι στάχτες των αποβλήτων που έχουν κατεργασθεί με πυρολυτική καύση σε αποτεφρωτήρες. Τα απόβλητα και η διαχείριση τους αποτελεί μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα ιδιαίτερα για την ποιότητα των εδαφών σε πολλές αναπτυγμένες χώρες [**MA. Silkowski and MJ. Plewa,1990**].

Το έδαφος υπόκειται σε μία σειρά διαδικασιών υποβάθμισης. Ορισμένες από αυτές σχετίζονται άμεσα με τη γεωργία: διάβρωση λόγω του νερού, του ανέμου και του οργώματος, συμπύκνωση, μείωση του οργανικού άνθρακα και της βιοποικιλότητας του εδάφους, αλάτωση και νατρίωση, καθώς και μόλυνση του εδάφους (από βαρέα μέταλλα και παρασιτοκτόνα ή από μεγάλη συγκέντρωση νιτρικών και φωσφορικών αλάτων).

Η εδαφική υποβάθμιση είναι η μείωση της παραγωγικότητας του εδάφους για μια ή περισσότερες χρήσεις γης, που μπορεί να προκληθεί από φυσικά φαινόμενα και να επιταχυνθεί από ανθρώπινες παρεμβάσεις. Οι τύποι υποβάθμισης εδάφους είναι η **υδάτινη υποβάθμιση** (είναι η απώλεια επιφανειακού χώματος λόγω κίνησης του νερού που το συμπαρασύρει), η **αιολική υποβάθμιση**(στην περίπτωση αυτή οι άνεμοι παρασύρουν το επιφανειακό χώμα), η **χημική υποβάθμιση** (μείωση των θρεπτικών συστατικών,αλατοποίηση, οξύνιση, ρύπανση από διάφορους ρύπους) και **φυσική υποβάθμιση** (είναι η κυριότερη υποβάθμιση, όταν το έδαφος γίνεται συμπαγές δηλαδή μειώνεται ο όγκος του αέρα).[**Μ.Σφακιαννάκη]**

Οι διαδικασίες υποβάθμισης του εδάφους συνεπάγονται την ανάγκη για προστασία, διατήρηση και βελτίωση της ποιότητας του εδάφους. Οι ιδιότητες του εδάφους, καθώς και οι παράγοντες διαμόρφωσής του, όπως το κλίμα, η χρήση της γης ή η διαχείριση του εδάφους καθορίζουν το βαθμό της υποβάθμισής του. Ορισμένα γεωργικά συστήματα και πρακτικές βοηθούν στην αντιμετώπιση μιας ή περισσότερων διαδικασιών υποβάθμισης του εδάφους και με αυτόν τον τρόπο συντελούν στην καλύτερη προστασία και διατήρηση των φυσικών πόρων.[5]

Κεφάλαιο 3ο Ελληνική Νομοθεσία για την Προστασία Του Εδάφους

3.1 Γενικά

Η λειτουργία των κτηνοτροφικών μονάδων υψηλής δυναμικότητας, λόγω της μεγάλης ποσότητας ζωικών αποβλήτων που παράγουν, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων ρυπάνσεως, μόλυνσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί νόμοι σχετικά με την λειτουργία των CAFO για να αντιμετωπίσουν την κατάσταση αυτή και να προστατέψουν το περιβάλλον.

3.2 Νόμοι για προστασία του περιβάλλοντος

Σκοπός του νόμου **ΝΟΜΟΣ 1650/1986 (ΦΕΚ 160^{Α}/18-10-1986)** είναι η θέσπιση θεμελιωτών κανόνων και η καθιέρωση κριτηρίων και μηχανισμών για την προστασία του περιβάλλοντος. Βασικοί στόχοι του νόμου αυτού είναι: Η αποτροπή της ρύπανσης και γενικότερα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και η λήψη όλων των αναγκαίων προληπτικών μέτρων, η διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας από τις διάφορες μορφές υποβάθμισης του περιβάλλοντος και ειδικότερα από τη ρύπανση, η προώθηση της ισόρροπης ανάπτυξης του εθνικού χώρου συνολικά και των επιμέρους γεωγραφικών ενοτήτων του και μέσα από την ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος, η διασφάλιση της δυνατότητας ανανέωσης φυσικών πόρων και η ορθολογική αξιοποίηση των μη ανανεώσιμων ή σπάνιων και με κριτήρια την προστασία του περιβάλλοντος, η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας των φυσικών οικοσυστημάτων και η διασφάλιση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας και τέλος η αποκατάσταση του περιβάλλοντος.

3.3 Μέτρα για την προστασία του εδάφους

Σύμφωνα με το **άρθρο 11** του νόμου αυτού καθορίζονται τα μέτρα και οι τρόποι προστασίας των εδαφών από π.χ υπερλίπανση ή ακατάλληλη λίπανση, προσθήκη τοξικών ουσιών από τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, για τη διατήρηση και αύξηση της παραγωγικότητάς τους καθώς επίσης και οι χώροι όπου επιτρέπεται η τελική διάθεση τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων και ιλύος.

3.4 Μέτρα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων

Σύμφωνα με το **άρθρο 12** του νόμου αυτού η διαχείριση των στερεών αποβλήτων πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να μην δημιουργούνται κίνδυνοι για την υγεία και το περιβάλλον και ενοχλήσεις από δυσοσμίες, να μην προκαλείται υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος σε χώρους που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικολογικό, πολιτιστικό και αισθητικό ενδιαφέρον και να εξοικονομούνται πρώτες ύλες ώστε να μπορεί να γίνει η μεγαλύτερη δυνατή επαναχρησιμοποίησή τους.

Ειδικότερα σύμφωνα με το **άρθρο 2** του νόμου **ΚΥΑ Ε1β. 221/1965 (ΦΕΚ 138Β/24-2-1965)** επιτρέπεται η διάθεση λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος μόνο κατόπιν άδειας και εφ' όσον αποφεύγονται:

- Η δημιουργία κινδύνων για τη Δημόσια Υγεία, ως μολύνσεων, οχλήσεων ή αντιαισθησιακών καταστάσεων
- Η παρακώλυση του φυσικού αυτοκαθαρισμού του εδάφους.

Η διάθεση και ο τρόπος διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος καθορίζονται από τα **άρθρα 7 και 8** του νόμου αυτού σύμφωνα με τα οποία αυτή επιτρέπεται εφ' όσον :

- Το έδαφος είναι πορώδες και άνευ ρωγμών ή οπών έτσι ώστε αν είναι δυνατόν να διαφύγουν και να φτάσουν μέσω επαρκούς διηθήσεως και καθαρισμού μέχρι τα υπόγεια ύδατα.
- Πληρούνται οι καθοριζόμενοι ειδικοί όροι του άρθρου 8.
- Έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία τουλάχιστον ισοδύναμη προς αυτή της σχάρας ανοίγματος 2,5 εκ.
- Τα λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα δε βρίσκονται σε κατάσταση σήψης και λαμβάνονται τα απαιτούμενα μέτρα αερισμού και χλωριώσεως.
- Η έκταση της περιοχής διάθεσης είναι επαρκής και η επιφάνεια αυτής έχει ομαλή κλίση ώστε να εξασφαλίζεται κανονική κατανομή και να προλαμβάνεται η υπερφόρτιση του εδάφους, καθώς και η δημιουργία στάσιμων νερών.

Πίνακας 3.1: *Κατευθυντήριων Τιμών αποβλήτων κτηνοτροφικής μονάδας*

Είδος Εγκαταστάσεως	Χαρακτηριστικά αποβλήτων	Ανώτατη μέση τιμή 24ώρου	Μέσος όρος τιμών για 30 συνεχείς ημέρες
Σφαγή ζώων, πλήν πουλερικών	(χλ/μα ανά τόννο ζώντος ζώου)		
	Στερεά	2,00	1,00
	Λίπη	0,53	0,26
	Άζωτο	0,20	0,10

Πίνακας 3.2: *Μικροβιολογικές παράμετροι*

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100ml)
Escherichia coli (E.coli)	0
Εντερόκοκκοι	0

[Χ.Μιχαλοπούλου,2004]

Κεφάλαιο 4ο Κάλιο

4.1 Γενικά για το Κάλιο

Το Κ είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό καθώς ρυθμίζει λειτουργίες των οργανισμών ακόμα και των ζωικών. Συναντάται σε σημαντικά ποσά στην ξηρή ουσία των φυτικών ιστών, στους κονδύλους και στα μανιτάρια (7%). Από φυσικοχημικής απόψεως ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ιόντος K^+ είναι ότι έχει το μεγαλύτερο μέγεθος σε αφυδατωμένη κατάσταση (r=0,133nm) από όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία-κατιόντα. Επίσης ο αριθμός ιόντων οξυγόνου που περιβάλλουν το K^+ στις κρυσταλλικές δομές των ορυκτών είναι μεγάλος, πράγμα που δείχνει ότι οι δεσμοί Κ-Ο είναι ασθενείς και διασπώνται εύκολα.

Είναι στοιχείο πολύ ευκίνητο μέσα στα φυτά με πολλαπλό ρόλο. Ενεργοποιεί τη φωτοσύνθεση, συμβάλλει στην παραγωγή πρωτεϊνών και ρυθμίζει την ένταση της εξατμισοδιαπνοής.

Τα άλατα Κ είναι οι άμεσα αφομοιώσιμες μορφές και οι μη αφομοιώσιμες μορφές (ή δύσκολα αφομοιώσιμες) ανέρχονται σε ποσοστά 90-98% του εδαφικού Κ. Η εφαρμογή εξαρτάται από τα επίπεδα του εδάφους σε αφομοιώσιμο Κ και τις ανάγκες της καλλιέργειας. Επίσης το Κ υπόκειται σε σχετική έκπλυση, πολύ μεγαλύτερη από το Ρ, μικρότερη από το νιτρικό Ν αλλά η έκπλυση ευνοείται στα χονδρόκοκκα εδάφη. Στα ασβεστούχα και λεπτόκοκκα εδάφη (βαριά) ευνοείται αντίθετα η δέσμευση.

Οι ποσότητες του Κ που απομακρύνονται κάθε χρόνο από το έδαφος είναι πολύ μεγάλες ως συνέπεια των αυξημένων ρυθμών πρόσληψης του Κ από τα φυτά, αλλά και της έκπλυσης του από το εδαφικό νερό. Τόσο το ανταλλάξιμο εδαφικό Κ, όσο και το Κ των λιπασμάτων είναι μορφές αρκετά ευκίνητες.

Απώλειες Κ προκαλεί η διάβρωση, η στράγγιση και η δέσμευση από τα ορυκτά της αργίλου (2:1), ενώ η αποσάθρωση ευνοεί την παραγωγή αφομοιώσιμων ποσοστών. Η ενδεχόμενη συσσώρευση Κ στα οικοσυστήματα δεν προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, σε αντίθεση με το Ν και το Ρ. Το Κ δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα βιοτικής ανάπτυξης στα υδατικά συστήματα και κατά συνέπεια δεν ενέχεται στο φαινόμενο του ευτροφισμού.[**Ν. Α. Χουλιαράς,2010**][**Δ.Α. Αναλογίδης,2000][Ι. Ν. Θεριός,2005**]

4.2 Εδαφικό κάλιο

Το Κ αποτελεί το 2,4% του στερεού φλοιού της γης και είναι το έβδομο σε αφθονία χημικό στοιχείο της. Το Κ του εδάφους συναντάται στο εδαφικό διάλυμα σε αφομοιώσιμη μορφή, συγκρατείται σε ανταλλάξιμη(αφομοιώσιμη)μορφή από τα κολλοειδή του εδάφους στο εσωτερικό των φυλλιδίων της αργίλου(αυτό δύσκολα απελευθερώνεται για να μετατραπεί στις προηγούμενες αφομοιώσιμες μορφές) και τέλος συναντάται στη σύσταση των πρωτογενών ορυκτών που βραδέως υπόκεινται στην αποσάθρωση. Μεταξύ όλων των θρεπτικών στοιχείων το Κ παρουσιάζει την μεγαλύτερη ολική περιεκτικότητα στα εδάφη.

Τα περισσότερα μη οργανικά εδάφη (πλην εκείνων που είναι αμμώδους συστάσεως) περιέχουν μεγάλες ποσότητες ολικού Κ, κατά μέσο όρο 0,17-3,3%, ή συνήθως άνω των 4.000 kg/στρ. στο στρώμα της βλάστησης. Όμως η ποσότητα που ανά πάσα στιγμή απαντάται στην άμεσα διαθέσιμη μορφή του ανταλλάξιμου καλίου είναι μικρότερη του 1% της ολικής, συχνά δε (στα ελληνικά εδάφη) μεταξύ 80 και 200 mg/kg, και βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα και στην εναλλακτική φάση του εδάφους. Κατά το μέγιστο μέρος, 90-98%, το Κ απαντάται ενσωματωμένο στα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά της αργίλου του εδάφους, σε μη διαθέσιμη μορφή. Επίσης, απαντάται δεσμευμένο στις κρυσταλλικές αργίλους σε μορφές ελάχιστα διαθέσιμες σε ποσοστό 1-10%.

Εκτός από τα πρωτογενή ορυκτά (μοσχοβίτης, βιοτίτης), στο έδαφος υπάρχουν και δευτερογενή ορυκτά της αργίλου(βερμικουλίτης, χλωρίτης, ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης). Το Κ που απελευθερώνεται από τα παραπάνω ορυκτά χάνεται με έκπλυση ή χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς ή συγκρατείται στην εναλλακτική φάση του εδάφους ή μετατρέπεται σε βραδέως διαθέσιμη μορφή.

4.3 Το δυναμικό σύστημα εδαφικού καλίου

Με βάση το βαθμό διαθεσιμότητας στις ρίζες των φυτών, το σύστημα του εδαφικού Κ μπορεί να ταξινομηθεί σε 4 μέρη (υποσυστήματα). Κατά σειρά αυξανόμενης διαθεσιμότητας τα υποσυστήματα αυτά είναι:

• **Δομικό Κ** των πρωτογενών ορυκτών, από 5.000 έως 25.000 mg/kg,

• **Δυσκόλως ανταλλάξιμο** (βραδέως διαθέσιμο, ή δεσμευμένο),
• **Ανταλλάξιμο**, 40 έως 600 mg/kg και
• **Υδατοδιαλυτό** K^+ , 1-10 mg/kg.

Το δομικό κάλιο των ορυκτών απελευθερώνεται με την αποσάθρωση των ορυκτών και μεταφέρεται στο εδαφικό διάλυμα. Ένα μέρος του μπορεί να απορροφηθεί αμέσως από τα φυτά ενώ το υπόλοιπο προσροφάται στα κολλοειδή του εδάφους. Ουσιαστικά, δηλαδή, υπάρχει ένας κύκλος όπου το εδαφικό κάλιο μεταπίπτει από τη μια μορφή στην άλλη συν τις αναπόφευκτες απώλειες και απομακρύνσεις.

Με την προσθήκη ή αφαίρεση καλίου διαταράσσεται η υφιστάμενη δυναμική ισορροπία με αποτέλεσμα τα ιόντα καλίου να διακινούνται από το ένα σύστημα στο άλλο. Η ταχύτητα των κινητικών αυτών των αντιδράσεων διαφέρει σημαντικά. Η εξισορρόπηση μεταξύ διαλυτού και ανταλλάξιμου K^+ είναι ταχύτατη και ολοκληρώνεται μέσα σε λίγα λεπτά. Η εξισορρόπηση μεταξύ δυσκόλως ανταλλάξιμου και ανταλλάξιμου K^+, ή μεταξύ δυσκόλως ανταλλάξιμου και διαλυτού K^+ είναι πολύ βραδύτερη και απαιτεί πολλές μέρες, ή ακόμη και μήνες μέχρις ότου αποκατασταθεί πλήρως. Τέλος, η απόσπαση καλίου από τα πρωτογενή ορυκτά είναι τόσο βραδεία ώστε η άμεση συμμετοχή των καλιούχων αυτών ορυκτών στην τροφοδοσία των φυτών να είναι συνήθως αμελητέα.

Οι άμεσα διαθέσιμες μορφές καλίου, για την πρόσληψη από τις ρίζες των φυτών είναι τα κλάσματα του υδατοδιαλυτού και ανταλλάξιμου K^+.

Συνήθως επικρατεί μια συνεχής βραδεία μεταφορά Κ από τα πρωτογενή καλιούχα ορυκτά προς τις δυσκόλως ανταλλάξιμες και τις άμεσα ανταλλάξιμες μορφές του κατιόντος, λόγω της συνεχούς απομάκρυνσης των άμεσα διαθέσιμων κλασμάτων με τις γεωργικές καλλιέργειες και με την έκπλυση.

Υπό ορισμένες εδαφικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης και της εφαρμογής περίσσειας καλιούχων λιπασμάτων, είναι δυνατό να υπάρξει αντίστροφη μετατόπιση του K^+ από την υδατοδιαλυτή μορφή του προς τις δυσκόλως ανταλλάξιμες και βραδέως διαθέσιμες μορφές. Η τελευταία διαδικασία είναι γνωστή ως δέσμευση του καλίου.[**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**] [6]

4.4 Περιεκτικότητα Καλίου στο εδαφικό διάλυμα

Το κάλιο βρίσκεται σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα. Η συγκέντρωση είναι της τάξεως των ppm. Το υπόλοιπο μέρος του καλίου του εδάφους που είναι διαθέσιμο στα φυτά δεσμεύεται χαλαρά στα αρνητικά φορτία των ορυκτών της αργίλου και γενικά των εδαφικών κολλοειδών. Η στάθμη του υδατοδιαλυτού Κ στα εδάφη της υγρής κλίματικής ζώνης κυμαίνεται μεταξύ 1 και 80 ppm με τυπική μέση τιμή τα 4 ppm. Το υδατοδιαλυτό Κ μπορεί να απαντάται σε πολύ μεγαλύτερες τιμές, λόγω της παρουσίας ελεύθερων διαλυτών αλάτων, του Κ, ανθρακικών, θειικών και χλωριούχων, σε ορισμένα αλατούχα και ξηροθερμικά εδάφη. Στο εκχύλισμα κορεσμού των εδαφών η συγκέντρωση του Κ κυμαίνεται από 3 έως 156 ppm, αλλά και πάλι οι τιμές στο εκχύλισμα είναι μεγαλύτερες στα αλατούχα και ξηροθερμικά εδάφη. Τέλος, υπό συνθήκες αγρού η συγκέντρωση K^+ του εδαφοδιαλύματος υπόκειται σε ευρεία διακύμανση, λόγω εξάτμισης ή βροχοπτώσεων που προκαλούν τα φαινόμενα συμπύκνωσης ή αραίωσης αντίστοιχα. [**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**]

4.5 Το Δομικό κάλιο των πρωτογενών ορυκτών

Τα ορυκτά πηγές του καλίου είναι όπως είπαμε παραπάνω, καλιούχοι άστριοι, ορυκτά τύπου μίκας, καθώς και 2:1 φυλλώδη πυριτικά ορυκτά αργίλου. Τα ορυκτά τύπου μίκας (βιοτίτη, μοσχοβίτη) καθώς και τα 2:1 φυλλοπυριτικά ορυκτά(μοντμοριλονίτης) αποτελούνται από ένα οκταεδρικό φύλλο αργίλου ή μαγνησίου, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δυο τετραεδρικά φύλλα πυριτίου. Ανάμεσα στα φύλλα υπάρχει κενός χώρος που ονομάζεται ενδοστρωματικός χώρος. Τα ιόντα του καλίου καταλμβάνουν τον ενδοστρωματικό χώρο και στην κατάσταση αυτή, η απόσταση μεταξύ των στρώσεων είναι μικρή. Το κάλιο που βρίσκεται εντός των στρώσεων είναι ευαίσθητο στη διάβρωση και διαχέεται προς τα έξω, αντικαθιστάμενο με ενυδατωμένα κατιόντα όπως Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}.

Αντίθετα στους καλιούχους άστριους το κάλιο βρίσκεται στα ενδοδιαστήματα του τρισδιάστατου πλέγματος των τετραέδρων πυριτίου και εκεί συγκρατείται ισχυρά με ομοιοπολικούς δεσμούς. Η αποσάρθρωση των αστρίων αρχίζει από την επιφάνεια και η απελευθέρωση του καλίου είναι αρχικά ταχεία.

Τα πρωτογενή καλιούχα ορυκτά δεν συμμετέχουν ευθέως στην καλιούχο τροφοδοσία των φυτών, αλλά αποτελούν τη βασική παρακαταθήκη καλίου στο έδαφος. Η κύρια αυτή πηγή εδαφικού καλίου μόνο

μακροπρόθεσμα συνεισφέρει στην καλιούχο γονιμότητα, με τη βραδεία χημική αποσάρθρωσητων ορυκτών της.

Η ταχύτητα αποσάθρωσης και απελευθέρωσης του Κ σε διαθέσιμες μορφές εξαρτάται από την φύση των πρωτογενών ορυκτών και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Διάφορες έρευνες έχουν δείξει ότι η απελευθέρωση K^+ από τεμαχίδια παρόμοιου μεγέθους είναι κατά σειρά: Βιοτίτης > Μουσκοβίτης > Ορθόκλαστο > Μικροκλινής [**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**] [6]

4.6 Ανταλλάξιμο κάλιο

Όπως όλα τα ανταλλάξιμα κατιόντα, το K^+ συγκρατείται πέριξ των αρνητικά φορτισμένων κολλοειδών με ηλεκτροστατική έλξη. Το ανταλλάξιμο Κ αποτελεί το σπουδαιότερο κλάσμα του παράγοντα ποσότητας του εδαφικού καλίου και βρίσκεται σε άμεση δυναμική ισορροπία με τον παράγοντα έντασης. Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν οι δυο μορφές μεταπίπτουν ταχέως από την μια στην άλλη. Το ανταλλάξιμο Κ αν και είναι πολύ αφθονότερο του υδατοδιαλυτού, αποτελεί μόνο μικρό ποσοστό, κάτω του 1%, του ολικού Κ. Συνήθως οι εν λόγω άμεσα διαθέσιμες μορφές Κ προσδιορίζονται από κοινού και εκφράζονται συνολικά ως «ανταλλάξιμο Κ».

Η κατανομή του K^+ μεταξύ υδατοδιαλυτού και ανταλλάξιμου K^+ είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από το ιοντικό περιβάλλον του εδάφους. Επίσης είναι συνάρτηση των ειδών και συγκεντρώσεων των λοιπών κατιόντων, της συγκέντρωσης ανιόντων καθώς και των ιδιοτήτων των ηλεκτροστατικά φορτισμένων εδαφικών συστατικών που συμμετέχουν στο φαινόμενο ανταλλαγής κατιόντων.

Το ανταλλάξιμο Κ μπορεί είτε να αυξηθεί είτε να μειωθεί σε περίοδο ξηρασίας και εξαρτάται από την παρουσία μεταλλευμάτων αργίλου. Η σταθεροποίηση καλίου ξηρού εδάφους μπορεί να πραγματοποιηθεί με υψηλό ανταλλάξιμο Κ ή με λιπάνσεις με Κ. Η σταθεροποίηση είναι ένα αποτέλεσμα παγίδευσης του Κ ανάμεσα στα στρώματα αργίλου καθώς αυτά ξεραίνουν και καταρρέουν. Όταν απελευθερώνεται Κ (το Κ γίνεται ανταλλάξιμο) σε έδαφος χαμηλό σε ανταλλάξιμο Κ αυτό ξεραίνεται επειδή τα στρώματα αργίλου κυλούν πίσω και απελευθερώνουν Κ. Η καθαρή επίδραση εξαρτάται από το εάν η σταθεροποίηση ή η απελευθέρωση υπερτερούν και εξαρτάται από τους τύπους αργίλων και το ποσοστό της διάβρωσης που έχουν υποστεί. Κατά συνέπεια, ο χρόνος της εδαφολογικής δειγματοληψίας σε σχέση με το βρέξιμο περιοχών και τους κύκλους ξηρασίας μπορούν να επηρεάσουν τα επίπεδα εδαφολογικής δοκιμής Κ.

Στο έδαφος με μη αμελητέα ποσότητα αργίλου μαρμαρυγίας,το πάγωμα και ξεπάγωμα απελευθερώνει σταθερή ποσότητα άργιλου. Σε έδαφος που περιέχουν μικρότερη ποσότητα μαρμαρυγίας και μεγαλύτερα ποσά ανταλλάξιμου Κ, το πάγωμα και ξεπάγωμα δεν έχει καμία επίδραση στη σταθεροποίηση/απελευθέρωση Κ. επομένως, ανάλογα με την παρούσα ορυκτολογία αργίλου στο έδαφος και το πως ήταν ο καιρός τον χειμώνα,τα δείγματα Κ την άνοιξη μπορεί να διαφοροποιούνται από αυτά που λαμβάνονται το φθινόπωρο.

Το κύριο κατιόν που απαντάται στα εδάφη τόσο ως ανταλλάξιμο όσο και ως διαλυτό είναι το Ca^{2+}(με εξαίρεση ορισμένα παθογενή εδάφη). Οπότε ενδιαφέρον παρουσιάζει η αναλογία K/Ca^{2+} στη διαλυτή και την ανταλλάξιμη κατάσταση. Το αντίθετο ισχύει όταν κύριο ανταλλάξιμο κατιόν είναι το Al^{3+}, το οποίο εκτοπίζεται από το Ca^{2+} πολύ δύσκολα.

Γενικότερα τα όξινα εφάδη με χαμηλό βαθμό κορεσμού βάσεως είναι επιρρεπή σε έκπλυση K^+ και η ασβέστωση αυτών των εδαφών μεταξύ των άλλων ευργετημάτων, περιορίζει την απώλεια καλίου. [**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**][7][**A.Miles and M.Brown,2003]**

4.7 Το μη ανταλλάξιμο κάλιο

Το μη-ανταλλάξιμο K^+ είναι ένα στοιχείο απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών και η σημασία του στη γεωργία είναι καλά αναγνωρισμένη. Το μη ανταλλάξιμο, ή δυσκόλως ανταλλάξιμο K^+ συγκρατείται μεταξύ των στι-βάδων των αργίλων, σε θέσεις οι οποίες δεν είναι άμεσα προσιτές για αντιδράσεις ανταλλαγής με άλλα κατιόντα του εδαφοδιαλύματος.

Η πρόσληψη γίνεται μέσω των ριζών που απομακρύνει από το έδαφος το διαλυτό και το ανταλλάξιμο K^+ και λαμβάνει χώρα μετακίνηση μη ανταλλάξιμου K^+ σε θέσεις ανταλλαγής και στο εδαφοδιάλυμα. Αντίθετα όταν προστίθενται στο έδαφος καλιούχα λιπάσματα, ιόντα K^+ μετακινούνται από το εδαφο-διάλυμα και από θέσεις ανταλλαγής σε μη ανταλλάξιμες θέσεις.

Το μη-ανταλλάξιμο K^+ μπορεί να αποτελέσει σημαντικό απόθεμα K^+ στο έδαφος. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι το μη-ανταλλάξιμο K^+ από το απόθεμα έχει μια σημαντική συμβολή στον ανεφοδιασμό των φυτών με K^+. Για τη βέλτιστη τροφοδότηση των καλλιεργειών, η επανατροφοδότηση του απεμπλουτισμένου K^+ εδαφοδιαλύματος επηρεάζεται κυρίως από την απελευθέρωση μη-ανταλλάξιμου K^+, από τα μεταλλεύματα αργίλου και την οργανική ύλη. Επομένως, για τη μέγιστη αύξηση των καλλιεργειων, το K^+ εδαφοδιαλύματος και το ανταλλάξιμο K^+ είναι ανάγκη να επανατροφοδοτούνται συνεχώς με K^+ με την απελευθέρωση του μη-ανταλλάξιμου K^+, μέσω της διάβρωσης των αποθεμάτων του K^+ ή με την προσθήκη λιπασμάτων K^+. Το ποσό του μη-ανταλλάξιμου K^+ στο έδαφος επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε άργιλο και από τους παρόντες τύπους μεταλλευμάτων αργίλου. Vermiculite, μίκα και illite είναι τα μεταλλεύματα αργίλου που έχουν τη μέγιστη ικανότητα σταθεροποίησης του K^+. Η σταθεροποίηση και η απελευθέρωση εξαρτώνται από το επίπεδο K^+ στα εδαφοδιαλύματα, τους τύπους μεταλλευμάτων αργίλου που είναι παρόντα στο έδαφος και από την υγρασία και την ξηρασία.

Τελικά το μη ανταλλάξιμο κάλιο είναι βραδέως ανταλλάξιμο και κινητοποιείται όταν αρχίσουν να εξαντλούνται τα αποθέματα ανταλλάξιμου καλίου.[**Δ.Α. Αναλογίδης,2000]** [**M. Jalali,2004**]

4.8 Ροή και διαθεσιμότητα εδαφικού καλίου

Η ικανότητα και ο ρυθμός τροφοδοσίας καλίου των εδαφών κυμαίνονται όχι μόνο λόγω αμέσως διαθέσιμων και βραδέως διαθέσιμων αποθεμάτων του θρεπτικού στοιχείου, αλλά και εξ αιτίας των εδαφικών συνθηκών οι οποίες αλληλεπιδρούν θετικά ή αρνητικά με τη στάθμη του διαθέσιμου καλίου. Κύριο λόγω παίζουν οι παράμετροι οι οποίες ρυθμίζουν τη ροή του K^+ δια του εδαφικού μέσου προς την επιφάνεια των ριζών, ήτοι υγρασία, θερμοκρασία και περιεκτικότητα αργίλου του εδάφους.

Επίσης σημαντικός είναι ο ρόλος του υπεδάφους, εάν οι συνθήκες του επιτρέπουν την ανάπτυξη και λειτουργία του ριζικού συστήματος. Επισημαίνεται δε ότι η ενεργός απορρόφηση του K^+ εξαρτάται από τις συνθήκες εκείνες οι οποίες ελέγχουν τις βιολογικές λειτουργίες και την εν γένει ανάπτυξη των ριζών, κυρίως δε της θερμοκρασίας και του αερισμού. Ο αερισμός του εδάφους εξαρτάται από το πορώδες και περιορίζεται από την πλεονάζουσα υγρασία.

Σε ότι αφορά το ρόλο των εδαφικών συστατικών δεσπόζουσα θέση κατέχουν η φύση και η περιεκτικότητα των ορυκτών της αργίλου από τα οποία εξαρτάται τόσο η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, όσο και το ανταλλάξιμο K^+.

Η κατάσταση του εγγενούς καλίου του εδάφους εξαρτάται από το ποσοστό και το ποσό της απελευθέρωσης μη-ανταλλάξιμου καλίου (ΝΕΚ). Εδάφη που έχουν ικανοποιητικά αποθέματα μη-ανταλλάξιμου καλίου (όπως ορισμένες περιοχές των Ιμαλαΐων) δεν σημαίνει ότι τα αποθέματα αυτά είναι διαθέσιμα για τα φυτά των καλλιεργειών.

Η διαθεσιμότητα αυτής της μορφής καλίου εξαρτάται από την ποσοτική απελευθέρωσή του από τα αποθέματα που περαιτέρω εξαρτάται, από την ορυκτολογική σύνθεση του αργίλου, τη εδαφολογική ποιότητα και τη σταθερότητα του καλίου στο έδαφος αυτό. Ο ιλλίτης είναι το σημαντικότερο μετάλλευμα που φέρει Κ που επηρεάζει την απελευθέρωση ΝΕΚ και αυτός ο ιλλίτης στα κλάσματα αργίλου επηρεάζεται περεταίρω από τη διαχείριση Κ. Παρόλο που τα αποθέματα Κ στο έδαφος είναι απαραίτητα και επιθυμητά για να ρυθμίσουν τον ανεφοδιασμό Κ σε δυσμενείς συνθήκες εδάφους και κλίματος, είναι υπό συζήτηση μέχρι ποιό σημείο αυτά τα αποθέματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να χάσουν την δυνατότητα αποθήκευσής τους.

Η σταθεροποίηση του καλίου είναι το αποτέλεσμα της παγίδευσης Κ+ των ιόντων μεταξύ των στρωμάτων 2:1 των τύπων των μεταλλευμάτων και ειδικότερα του ιλλίτη. Η εναλλαγή υγρασίας σε ξηρασία των μεταλλευμάτων μπορεί να βοηθήσει στην αργή απελευθέρωση του σταθεροποιημένου καλίου. Η απελευθέρωση και ο ανεφοδιασμός του Κ χρησιμοποιούνται συχνά ως συνώνυμα, αλλά αυτοί οι δύο όροι έχουν διαφορετικές επιπτώσεις. Το πρώτο αναφέρεται στην ολική διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος, ενώ το τελευταίο δείχνει την πραγματική λήψη του από τα φυτά η οποία εξαρτάται περαιτέρω από την επιφάνεια της ρίζας και τη χωροταξική κατανομή της ρίζας. Όσο φτωχότερη η πυκνότητα της ρίζας τόσο υψηλότερη πρέπει να είναι η συγκέντρωση του Κ στο εδαφικο διάλυμα για να υποστηρίξει ένα ιδιαίτερο ποσοστό λήψης Κ. Η δύναμη απελευθέρωσης ΝΕΚ καθορίζει τη διαθεσιμότητά της στο εδαφολογικό σύστημα που επηρεάζεται από τα λεπτότερα μέρη του εδάφους. Στην γεωργία είναι έτσι επιτακτικό να ξέρει κανείς για την απελευθέρωση ΝΕΚ και την αφαίρεσή του από τις συγκομιδές ειδικά στις οικονομικά

εξαρτημένες χώρες από την γεωργία, όπως η Ινδία, όπου οι εισαγωγές καλύπτουν τις απαιτήσεις σε MOP δεδομένου ότι δεν υπάρχουν γνωστά φυσικά αποθέματα ανθρακικού καλίου στη χώρα.

Τέλος το pH του εδάφους αποβαίνει ο κύριος ρυθμιστικός παράγοντας ανταγωνισμού ιόντων, διότι ελέγχει την παρουσία των Al^{3+}, υδροξυαργιλίων και H^+, τα οποία ανταγωνίζονται και εκτοπίζουν το K^+ από τις αρνητικά φορτισμένες θέσεις συγκράτησης κατιόντων των κρυσταλλικών αργίλων και του χούμου. [**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**][**A. Sharma et al.,2009]**

4.9 Απομάκρυνση καλίου με την έκπλυση του εδάφους

Το κάλιο μπορεί να απομακρύνεται από το έδαφος μέσω έκπλυσης, πρόσληψης από τα φυτά και επιφανειακής διάβρωσης. Το κάλιο εκπλύνεται εύκολα από το έδαφος. Το νερό που διηθείται από το έδαφος περιέχει σημαντικές ποσότητες καλίου. Υπολογίζεται ότι ετήσια έκπλυση του στοιχείου αυτού από το έδαφος ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 25-50 kg/ha. Η ποσότητα του καλίου που εκπλύνεται εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που διηθείται μέσω του εδάφους, την υφή του εδάφους, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, το pH του εδάφους, το είδος των ορυκτών της αργίλου, την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία και τέλος την ποσότητα του ανταλλάξιμου K^+.

Η υφή του εδάφους θεωρείται ως ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την έκπλυση του καλίου για δυο κυρίως λόγους. Γιατί όσο περισσότερο λεπτόκοκκα είναι τα συστατικά του εδάφους τόσο μεγαλύτερες ποσότητες καλίου συγκρατούνται από τα κολλοείδη. Επίσης, η υφή του νερού επηρεάζει τη διήθηση του νερού. Έτσι στα αμμώδη εδάφη εκτός από τη μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, μεγάλες ποσότητες νερού διηθούνται με αποτέλεσμα η έκπλυση στα εδάφη αυτά να είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την έκπλυση καλίου είναι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και το είδος των κολλοειδών του εδάφους. Τα εδάφη που έχουν μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, με μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, και τα εδάφη με προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης, χάνουν το κάλιο επειδή αυτό δεν μπορεί να συγκρατηθεί στο έδαφος. Επίσης σε όξινες εδαφικές συνθήκες τα καλιούχα ορυκτά είναι αρκετά διαλυτά με αποτέλεσμα να ελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες καλίου. Ένα μέρος του καλίου συγκρατείται από τα κολλοειδή του εδάφους, ενώ το υπόλοιπο παραμένει στο εδαφικό διάλυμα από το οποίο είτε προσλαμβάνεται από τα φυτά, είτε εκπλύνεται. Σε περιοχές με πολλές βροχοπτώσεις, όπου και παρατηρούνται οι όξινες εδαφικές συνθήκες, η έκπλυση του καλίου είναι εντονότερη. Η ασβέστωση των εδαφών αυτών οδηγεί σε μείωση της απώλειας του καλίου με έκπλυση. Στην περίπτωση αυτή τα ιόντα ασβεστίου αντικαθιστούν σε πρώτη φάση τα προσροφημένα από τα κολλοειδή ιόντα αργίλου που υπάρχουν και ακολούθως ένα μέρος των ιόντων του καλίου του εδαφικού διαλύματος προσροφάται από τα κολλοειδή του εδάφους στις θέσεις στις οποίες προηγουμένως κατείχαν ιόντα αργίλου. Στην περίπτωση που απαντάται το Al^{3+} σε ανταλλάξιμη μορφή με τα K^+, Na^+ και NH_4^+, τα τελευταία αυτά ιόντα εκτοπίζονται πολύ ευκολότερα από το εδαφοσύμπλοκο, λαμβάνει χώρα μεταφορά του K^+ στο εδαφοδίαλυμα και αυξάνουν οι απώλειες έκπλυσης καλίου. Η κατανομή του K^+ είναι κατά κανόνα πιο επιφανειακή απ' ότι των Ca^+, Mg^+. [7][**Δ. Αλιφραγκής,2008]**

4.10 Πρόσληψη του καλίου από τα φυτά

Τα φυτά προσλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες καλίου από το έδαφος(πέντε ως δέκα φορές περισσότερο από το φωσφορικό και σχεδόν ίση ποσότητα με αυτή του αζώτου). Το κάλιο προσλαμβάνεται υπό μορφή ιόντος, είτε μέσω του εδαφοδιαλύματος είτε απ' ευθείας από τα προσροφημένα κολλοειδή του εδάφους ιόντα με αντίδραση εναλλαγής. Επίσης μια μικρή ποσότητα καλίου μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά από τα μη αποσαθρωμένα καλίουχα ορυκτά με τη βοήθεια της μυκόριζας.

Μόνο ένα μικρό ποσοστό του ολικού ποσού του καλίου που βρίσκεται στο έδαφος προσλαμβάνεται από τα φυτά λόγω άμεσης επαφής των ριζών με τα εδαφοτεμαχίδια. Η συντριπτική πλειοψηφία του καλίου πρέπει να μεταφερθεί πρώτα στο εδαφικό διάλυμα και από εκεί στην ενεργό ριζόσφαιρα και τα ριζικά τριχίδια από τα οποία απορροφάται. Όσο περισσότερο κάλιο είναι διαλυμένο στο εδαφικό διάλυμα τόσο περισσότερο είναι διαθέσιμο στα φυτά, λόγω του ότι τα φυτά προσλαμβάνουν τα θρεπτικά από το εδαφοδιάλυμα.

Το κάλιο που προσλαμβάνουν τα φυτά από το εδαφοδιάλυμα αναπληρώνεται από τα προσροφημένα στα κολλοειδή του εδάφους ιόντα, καθώς και με την απελευθέρωση καλίου από τις δύο άλλες μορφές, δηλαδή του

δομικού και του δευσμευμένου. Η περιεκτικότητα καλίου στα φύλλα καλώς αυξανομένων φυτών κυμαίνεται από 1 έως 4%, συγκέντρωση που είναι πορόμοια με αυτή του αζώτου.

Η σχέση $[K^+]/([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])^{1/2}$ είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκδήλωση ή μη ανωμαλιών στα φυτά και είναι καθοριστική για την ποιότητα των φυτών. Η συγκέντρωση του Ca^{2+} και Mg^{2+} στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζει την πρόσληψη του K^+ από τα φυτά λόγω της ανταγωνιστικής σχέσης που υπάρχει μεταξύ των ιόντων στην πρόσληψη τους από τις ρίζες των φυτών. Ακριβώς επειδή η πρόσληψη του καλίου από τις ρίζες των φυτών επηρεάζεται από την ενεργότητα άλλων κατιόντων του εδαφοδιαλύματος είναι προτιμότερη η σχέση $[K^+]/([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])^{1/2}$ από την χρησιμοποίηση μόνο της συγκέντρωση του καλίου.

Το ποσό του διαθέσιμου καλίου προς τα φυτά εξαρτάται από τον ρυθμό απελευθέρωσης του καλίου από την ανόργανη άργιλο των εδαφοτεμαχιδίων. Η δυνατότητα του εδάφους προς απελευθέρωση καλίου σε επαρκή ποσότητα προς το εδαφοδιάλυμα εξαρτάται από τον κορεσμό των εδαφοτεμαχιδίων αργίλου σ ε κάλιο. Ένα έδαφος με έλλειψη καλίου προσροφά με μεγάλη δύναμη κατιόντα καλίου και δεν μπορεί να αποδώσει στο εδαφοδιάλυμα ικανοποιητικές ποσότητες κατιόντων καλίου.

Ο ρυθμός πρόσληψης του καλίου από τα φυτά δεν είναι σταθερός, αλλά ποικίλει ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών με την εποχή του έτους. Επίσης η ποσότητα που προσλαμβάνεται διαφέρει ανάλογα με τα οικοσυστήματα, και εξαρτάται από τον τύπο του οικοσυστήματος. Ένα μεγάλο μέρος του καλίου που προσλαμβάνεται επανέρχεται σε σύντομο χρονικό διάστημα εκ νέου στο έδαφος, είτε με την έκπλυση της υπέργειας βιομάζας, είτε με τα φυτικά υπολείμματα. Έτσι στα φυσικά οικοσυστήματα η μεγαλύτερη ποσότητα καλίου που προσλαμβάνεται ετησίως επιστρέφει εκ νέου στο έδαφος. [6][8]

4.11 Ο ρόλος του καλίου στη φυσιολογία των φυτών

Το κάλιο είναι το σημαντικότερο κατιόν από άποψη περιεκτικότητας των φυτικών ιστών αλλά και από βιοχημικών και φυσιολογικών λειτουργιών. Ο ρόλος του είναι περισσότερο λειτουργικός και όχι δομικός. Δεν έχει πολλά κοινά σημεία με το ρόλο του Ν.Στα υγιή πλήρως ανεπτυγμένα ώριμα φύλλα το τυπικό εύρος επάρκειας για το κάλιο είναι μεταξύ 1,5 και 4% σε ξηρή βάση και με λόγο N:K (w/w)= 1:1. Οι κύριες λειτουργίες του καλίου στα φυτά είναι:

Ηλεκτρική ισορροπία κυτταροπλάσματος: Σε κυτταρικό επίπεδο, το K^+ είναι το κυριότερο κατιόν το οποίο εξισορροπεί τα αρνητικά φορτία των θρεπτικών ανιόντων, θειικών, φωσφορικών, νιτρικών, χλωριόντων, ακόμα δε και οργανικών ιόντων. Σε αντίθεση με τα Ν και Ρ, το K^+ δεν έχει τάση σχηματισμού ομοιοπολικών δεσμών με άτομα Άνθρακα και δεν συμμετέχει ως δομικό συστατικό συμπλόκων οργανικών ενώσεων.

Ενεργοποίηση ενζυμικών συστημάτων: Έχουν προσδιορισθεί περισσότερα από 60 ένζυμα που απαιτούν K^+. Η ενεργοποίηση λαμβάνει χώρα όταν ένα ή περισσότερα κατιόντα K^+ προσκολλώνται στην επιφάνεια του μορίου του ενζύμου.

Υδατικές σχέσεις των κυττάρων: Η κινητήρια δύναμη μέσω της οποίας αντλείται το εδαφικό νερό από τις ρίζες και επιτυγχάνεται η ρύθμιση ανοίγματος των στομάτων (των φύλλων του φυτού) είναι οσμωτικής φύσεως, ο δε ρόλος του K^+ στη ρύθμιση του οσμωτικού δυναμικού των κυττάρων είναι βασικής σημασίας, δεδομένης της ποσοτικής υπεροχής του ιόντος αυτού στον κυτταρικό χυμό σε σχέση με όλα τα λοιπά κατιόντα. Από έρευνες έχει βρεθεί πως τα επαρκώς τροφοδοτούμενα με κάλιο φυτά μπορούν να εκμεταλλευτούν την εδαφική υγρασία ενώ τα φυτά με έλλειψη καλίου όχι.

Ενεργειακές σχέσεις: Το Κ είναι αναγκαίο για τη βιοσύνθεση του μορίου της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), που αποτελεί τον κύριο αγωγό μεταφοράς της ενέργειας η οποία παράγεται κατά την φωτοσύνθεση. Υπό συνθήκες ανεπάρκειας καλίου μειώνεται κατακόρυφα η αφομοίωση του CO_2 και ο σχηματισμός ζαχάρων. Το Κ παίζει σημαντικό ρόλο στη φωτοσύνθεση, με συγκέντρωση μέχρι και 50% του Κ των φύλλων στους χλωροπλάστες.

Μεταφορά προϊόντων φωτοσύνθεσης (από τα φύλλα όπου συνθέτονται τα ζάχαρα σε άλλα όργανα του φυτού): Καθώς το κάλιο είναι ζωτικής σημασίας για την δραστηριότητα πολλών ενζύμων που δρούν στην φωτοσύνθεση, έμμεσα συμμετέχει κι αυτό στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Έρευνες έχουν δείξει πως υψηλές συγκεντρώσεις Κ στα φύλλα συνδέονται άμεσα με μεγαλύτερη αφομοίωση CO2. Το βιοχημικό σύστημα μεταφοράς χρησιμοποιεί την ενέργεια του ATP, του οποίου η βιοσύνθεση όπως προαναφερθεί απαιτεί κάλιο.

Πρόσληψη αζώτου και βιοσύνθεση πρωτεϊνών: Καθώς η πρόσληψη και αξιοποίηση αζώτου προάγεται από το κάλιο, η αποτελεσματικότητα της αζωτούχου λίπανσης τελικά εξαρτάται από την καλιούχο λίπανση που πρέπει να είναι ανάλογη. Ανεπαρκής τροφοδοσία καλίου έχει σαν συνέπεια τη μείωση του

προσλαμβανόμενου από τις ρίζες αζώτου και τελικά την ελαττωμένη σύνθεση πρωτεϊνών και τη συσσώρευση στους ιστούς ενδιάμεσων προϊόντων (αμιδίων). Εξ αυτού του λόγου η κανονική στάθμη θρέψεως του Κ ενισχύει την ευνοϊκή επίδραση του Ν περιορίζοντας τις αρνητικές του παρενέργειες σε περιπτώσεις πλεονασματικής αζωτούχου θρέψεως. Ο θρεπτικός αυτός συνεργισμός αποκαλείται θετική αλληλεπίδραση, απαντάται δε και με άλλα θρεπτικά στοιχεία.

Βιοσύνθεση του αμύλου: Το ένζυμο που καταλύει την εν λόγω σύνθεση (αμυλοσυνθετάση) απαιτεί για την ενεργοποίηση του την παρουσία ιόντων K^+. Η αμυλοσυνθετάση είναι απαραίτητη για την ενσωμάτωση της γλυκόζης στο μακρομόριο του αμύλου. Έτσι οι διαλυτοί μονοσακχαρίτες μετατρέπονται σε άμυλο, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται στα αποθησαυρικά όργανα, όπως π.χ. στον καρπό των σιτηρών κατά τη φάση «γεμίσματος» του καρπού. [**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**][9]

4.12 Αλληλεπίδραση Κ και Ν

Η αλληλεπίδραση αυτή αποκτά σημαντική σημασία όταν ένα από τα δύο είναι σε έλλειψη και το άλλο σε περίσσεια. Πλησίον χοιροτροφικών μονάδων παρατηρείται υψηλή διαθεσιμότητα αζώτου, λόγω εκπομπών αμμωνίας, και χαμηλή διαθεσιμότητα καλίου λόγω αυξημένης έκπλυσης. Ο Kemp αναφέρει ότι η αυξημένη συγκέντρωση αζώτου στους φυτικούς ιστούς εξαρτάται από τη βιοδιαθεσιμότητα του Κ στη ριζόσφαιρα. Κάτω από συνθήκες αυξημένης διαθεσιμότητας Κ, η αύξηση του διαθέσιμου αζώτου έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται και η πρόσληψη του Κ, ενώ σε περίπτωση μικρής διαθεσιμότητας Κ, η συγκέντρωση του στοιχείου αυτού στους ιστούς μειώνεται λόγω της αύξησης της παραγόμενης βιομάζας.

Επίσης η αυξημένη διαθεσιμότητα αζώτου βοηθά στην γρήγορη ανάπτυξη των φυτών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνονται και οι απαιτήσεις των φυτών σε θρεπτικά στοιχεία. Αποτέλεσμα αυτών είναι η συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στους ιστούς να μειώνεται, λόγω του ότι οι συγκεντρώσεις είναι μικρότερες από αυτές που απαιτούν τα φυτά.

Στα υγιή πλήρως ανεπτυγμένα ώριμα φύλλα το τυπικό εύρος επάρκειας για το κάλιο είναι μεταξύ 1,5 και 4% σε ξηρή βάση και με λόγο N:K (w/w)= 1:1.

Σχέσεις ανταγωνισμού ή θετικής αλληλεπίδρασης έχουμε μεταξύ των περισσότερων στοιχείων και γι' αυτό στη λίπανση θα πρέπει να εξετάζουμε και την αναλογία Ν-Ρ-Κ σε κάθε καλλιέργεια. Η ανθεκτικότητα του φυτού στις χαμηές θερμοκρασίες εξαρτάται από το ισοζύγιο μεταξύ Ν και Κ. με την αύξηση αζωτούχου λίπανσης με Ν χωρίς την παράλληλη αύξηση του διαθέσιμου Κ παρατηρείται μείωση της αντοχής των φυτών στις χαμηλές θερμοκρασίες και αύξηση της θνησιμότητας τους κατά τους χειμερινούς μήνες. [**Δ. Αλιφραγκής,2008**]

Κεφάλαιο 5ο Ασβέστιο

5.1 Γενικά για το Ασβέστιο

Το ασβέστιο στο έδαφος βρίσκεται κυρίως σε μέταλλα. Το θειικό ασβέστιο (γύψος) και το ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστίτη),που εμφανίζονται σε άγονα και ασβεστολιθικά εδάφη, αντίστοιχα, ελέγχουν την συγκέντρωση Ca σε αυτά τα εδάφη. Το ασβέστιο είναι βασικό θρεπτικό στοιχείο για τα φυτά. Τα φυτά το προσλαμβάνουν από το έδαφος και συσσωρεύεται στους μεσικυττάριους χώρους των φυτών καθώς και στον κυτταρικό χυμό υπό μορφή κρυστάλλων οξαλικού ασβεστίου. Επίσης μεγάλες ποσότητες ασβεστίου συσσωρεύονται στους ξυλώδεις ιστούς των φυτών.

Το ασβέστιο παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στις φυσικές όσο και στις χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Για παράδειγμα τα ιόντα του ασβεστίου (Ca^{2+}) θρομβώνουν τους κόκκους της αργίλου του εδάφους και έτσι διευκολύνεται ο σχηματισμός καλής και σταθερής δομής. Επίσης το ασβέστιο επηρεάζει το pH του εδάφους, γιατί το πτωχό σε ασβέστιο έδαφος είναι όξινο, ενώ το πλούσιο είναι αλκαλικό και μειώνει την τοξικότητα ορισμένων στοιχείων όπως του Mn, του Cu κ.α. Το ασβέστιο επηρεάζει τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους, γιατί εξουδετερώνει την οξύτητα των οργανικών οξέων που παράγονται κατά την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας του εδάφους και αυξάνει τη δράση των μικροοργανισμών.

Ο ρόλος του ασβεστίου στα φυτά είναι πολύ σημαντικός. Είναι απαραίτητο στοιχείο για την διαίρεση και επιμήκυνση των κυττάρων. Ρυθμίζει την πρόσληψη K, Mg, Na και δραστηριοποιεί ορισμένα ένζυμα. Ο βασικός ρόλος του είναι η σταθεροποίηση των κυτταρικών δομών. Ισχυροποιεί τα κυτταρικά τοιχώματα και αυξάνει την πλαστικότητά τους. Τέλος περιορίζει τις φυσιολογικές ανωμαλίες των καρπών και αυξάνει την αντοχή τους σε μυκητολογικές και βακτηριακές προσβολές ιδίως κατά τη συντήρησή τους στους ψυκτικούς θαλάμους και έτσι αυξάνεται η συντηρησιμότητά τους.

Η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων ασβεστίου στο έδαφος μειώνει την διαλυτότητα των φωσφορικών ενώσεων, αδιαλυτοποιεί το βόριο, σίδηρο, μαγγάνιο, ψευδάργυρο κ.α. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στα φυτά να περιορίζονται οι διαθέσιμες μορφές θρεπτικών στοιχείων για αυτά, οπότε να παρουσιάζουν συμπτώματα έλλειψης κάτω από αυτές τις συνθήκες. Τέλος μεγάλες συγκεντρώσεις ασβεστίου στο έδαφος παρεμποδίζουν την πρόσληψη του K από τα φυτά λόγω της μεγάλης ανταγωνιστικότητας μεταξύ των ιόντων Ca^{2+} και K^{+} .Έλλειψη ασβεστίου περιορίζει την ανάπτυξη των φυματίων και την αζωτοδέσμευση στα ψυχανθή. [**Ι. Ν. Θεριός,2005**] [**Δ. Αλιφραγκής,2008**][**Στυλιανίδη, Σιμώνη, Συργιαννίδη,2002**] [**N S Bolan and P Loganathan,2005**]

5.2 Μορφές ασβεστίου στο έδαφος

Το ασβέστιο του εδάφους βρίσκεται κυρίως υπό:

- **ανταλλάξιμη μορφή** προσροφημένη από τα κολλοειδή
- **μορφή συμπλόκων** με την οργανική ουσία του εδάφους
- **κρυσταλλική μορφή στα ορυκτά** που περιέχουν Ca
- **μορφή ευδιάλυτων αλάτων**
- **υδατοδιαλυτό**

Η ποσότητα του ασβεστίου που βρίσκεται ενωμένη με την οργανική ουσία υπό μορφή συμπλόκων είναι πολύ μικρή. Το ασβέστιο στο εδαφικό διάλυμα εμφανίζεται με διάφορες ιοντικές μορφές. Η ενεργότητα των ιοντικών αυτών μορφών δεν είναι σταθερή αλλά επηρεάζεται από το pH του εδαφικού διαλύματος, την περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε Ca^{2+}, την ενεργότητα των ανιόντων καθώς και την περιεκτικότητα του εδάφους σε CO_2. Έτσι σε όξινα εδάφη το $CaHCO_3^{+}$ βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες. Οι ποσότητες αυτές αυξάνονται σημαντικά με την αύξησης της τιμής του pH και την αύξηση του CO_2 στο έδαφος.

Οι ιοντικές μορφές του Ca στο εδαφικό διάλυμα είναι οι εξής [9]:

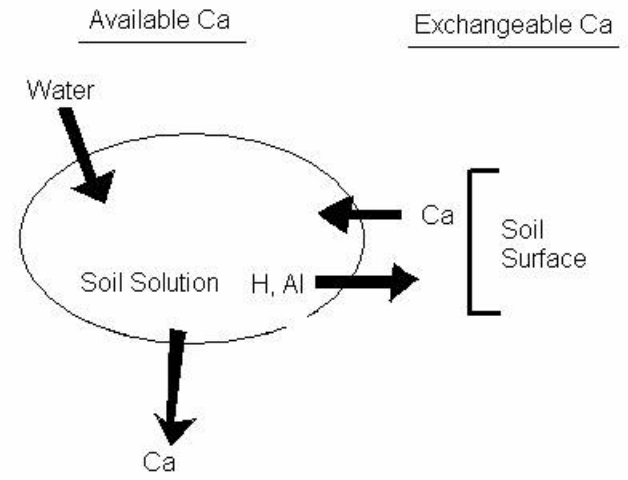
$$Ca^{2+} + Cl^{-} \rightleftharpoons CaCl^{+}$$

$$Ca^{2+} + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons CaHCO_3^{+} + H^{+}$$

$$Ca^{2+} + NO_3^{-} \rightleftharpoons CaNO_3^{+}$$

$$Ca^{2+} + H_2PO_4^{-} \rightleftharpoons CaH_2PO_4^{+}$$

$$Ca^{2+} + H_2PO_4^{-} \rightleftharpoons CaPO_4^{-} + 2H^{+}$$



Σχήμα 5.1: *Ο κύκλος του ασβεστίου στο έδαφος* [**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008]**

5.3 Απώλειες ασβεστίου με την έκπλυση του εδάφους

Η έκπλυση του ασβεστίου επηρεάζεται κυρίως από τους εξής παράγοντες :

- η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους
- η δομή του εδάφους
- η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία του εδάφους
- το pH του εδάφους
- τα κατακρημνίσματα
- ο τύπος βλάστησης

Οι ποσότητες του ασβεστίου που εκπλύνονται από τα διάφορα οικοσυστήματα ετησίως φθάνουν ακόμη και τα 193 kg/ha.

Ακόμη και σε μη διαταραγμένα οικοσυστήματα οι απώλειες του ασβεστίου κυρίως λόγω της έκπλυση αλλά και άλλων μηχανισμών είναι σε πολλές περιπτώσεις μεγαλύτερη σε σχέση με τις ποσότητες που εισάγονται στο έδαφος με τις αποθέσεις σκόνης από την ατμόσφαιρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ισοζύγιο μεταξύ της προσθήκης ασβεστίου και της απώλειας είναι αρνητικό με αποτέλεσμα να έχουμε μια σταδιακή μείωση αυτού και οξίνιση της στεράς φάσης του εδάφους. Το αρνητικό αυτό ισοζύγιο επιβαρύνεται από τα όξινα κατακρημνίσματα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι απώλειες ασβεστίου από ένα ιλυοπηλώδες έδαφος, όπως είναι και το έδαφος πλησίον της χοιροτροφικής μονάδας, είναι περίπου 115kg/ha [**Δ. Αλιφραγκής,2008**].

5.4 Οι απαιτήσεις των φυτών και συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου

Το ασβέστιο είναι σημαντικό συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτών και εμπλέκεται στη διατήρηση και διόγκωση των φυτών. Το ασβέστιο απαιτείται για την επιμήκυνση και την κυτταρική διαίρεση. Ενεργοποιεί τα ένζυμα, ιδιαίτερα αυτά που δεσμεύονται σε μεμβράνες και είναι σημαντική στη διαπερατότητα μεμβράνης και τη διατήρηση της ακεραιότητας του κυττάρου. Συνεπώς, το ασβέστιο παρέχει προστασία έναντι της ξηρασίας, της αλατότητας, της μηχανικής καταπόνησης και των τοξικών στοιχείων. Τα χαμηλά επίπεδα ασβεστίου σε όργανα αποθήκευσης προκαλούν υψηλή διαπερατότητα μεμβράνης και επιτρέπουν τη διάχυση της διαλυμένης ουσίας σε αυτούς τους ιστούς, κάτι που αποτελεί σημαντικό μηχανισμό για τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων σακχάρων από το φύλλωμα στα αποθηκευτικά όργανα των φρούτων και άλλων φυτών. Το ασβέστιο κινείται πολύ αργά στα φυτά και δε μεταφέρεται από τα παλαιότερα φύλλα στα νεαρότερα. Κατά συνέπεια, τα συμπτώματα ανεπάρκειας ασβεστίου είναι που παρατηρούνται πρώτα στους βλαστούς, κάτι που απαιτεί συνεχή παροχή ασβεστίου.

Το Ca σχηματίζει πηκτινικό Ca και ισχυροποιεί τα κυτταρικά τοιχώματα. Επίσης μπορεί να συνενωθεί με τα ΙΑΑ και αυξάνει την πλαστικότητα του κυτταρικού τοιχώματος. Η ικανότητα του DNA να σχηματίζει σύμπλοκα με το Ca μπορεί να εξηγήσει την ανωμαλία των χρωμοσωμάτων με έλλειψη Ca. Μεταξύ των ενζύμων που ενεργοποιούνται από το Ca περιλαμβάνονται η α-αμυλάση και η ΑΤΡάση. Επίσης το Ca παίζει σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία των κυττάρων μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται διότι το Ca και η πρωτεΐνη calmodium διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση ενζυμικών λειτουργιών.
Άλλες λειτουργίες όπου παρεμβαίνει το Ca είναι : ο γεωτροπισμός, το πρωτοπλασματικό ρεύμα, η ενεργός απέκκριση και οι ορμονικές μεταβολές.

Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου σπάνια παρατηρούνται στα φυτά που αναπτύσσονται σε περιοχές με ξηρό κλίμα, γιατί το στοιχείο αυτό αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των ανταλλάξιμων κατιόντων των εδαφών στις περιοχές αυτές. Η ανεπάρκεια ασβεστίου χαρακτηρίζεται από μείωση στην ανάπτυξη των μερισματικών ιστών, όπου ο πληχθείς ιστός μαλακώνει εξαιτίας της διάσπασης των κυτταρικών τοιχωμάτων. Η ανεπάρκεια ασβεστίου παρατηρείται σπάνια στις καλλιέργειες, με την εξαίρεση των φρούτων όπως των μήλων. Από όλα τα μεταλλικά στοιχεία, το ασβέστιο έχει τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στην ποιότητα των σπορώδων φρούτων μετά τη συγκομιδή. Στα μήλα, η ασθένεια αποκαλείται «bitter pit» και στη ντομάτα είναι γνωστή ως «blossed and rot».

Μεγαλύτερες απαιτήσεις έχουν τα πλατύφυλλα είδη σε σχέση με τα κωνοφόρα. Η έλλειψη στα κωνοφόρα εκδηλώνεται με την εμφάνιση ορφνού χρώματος στις άκρες των βελονών οι οποίες αργότερα ξεραίνονται. Επίσης νεκρώνεται ένα μέρος του ριζικού συστήματος, αναστέλλεται η ανάπτυξη των φυτών και τελικά τα φυτά γίνονται νάνα και καχεκτικά. Στα πλατύφυλλα τα νέα φύλλα εμφανίζονται νωρίτερα, είναι μικρότερα από τα κανονικά και στη συνέχεια εμφανίζονται ορφνυρές ξηρές κηλίδες, ενώ σπανιότερα παρατηρείται και ξήρανση των οφθαλμών.

Με εφαρμογή μεγάλων ποσοτήτων οργανικών λιπασμάτων καθώς και οι υπερβολικές λιπάνσεις με άζωτο και κάλιο (υψηλή σχέση N/Ca, K/Ca)επιτείνουν το πρόβλημα. Κάποιες καλλιέργειες αλλά και ποικιλίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία.

Τα εδάφη στα οποία είναι πιθανόν να παρατηρηθεί έλλειψη ασβεστίου είναι :
• τα όξινα εδάφη, όταν ο βαθμός κορεσμού με Ca είναι μικρότερος του 25%
• τα αμμώδη εδάφη υγρών περιοχών που προέρχονται από όξινα πυριγενή πετρώματα
• τα εδάφη που προέρχονται από περιδοτίτες σε σερπεντίνη
• τα τυρφώδη εδάφη [**Ι. Ν. Θεριός,2005][Δ. Αλιφραγκής,2008**][**NS.Bolan and P.Loganathan2005]**

Κεφάλαιο 6ο Μαγνήσιο

6.1 Γενικά για το Μαγνήσιο

Τα φυτά χρειάζονται μικρότερες ποσότητες μαγνησίου σε σχέση με το ασβέστιο. Υπολογίζεται ότι η συγκέντρωση του μαγνησίου στα φυτά κυμαίνεται από 0,15 έως 0,75%. Το μαγνήσιο είναι συστατικό στοιχείο του μορίου της χλωροφύλλης και ως εκ τούτου ο ρόλος του στη φωτοσύνθεση είναι σημαντικός. Επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στη σύνθεση των πρωτεινών και στο μεταβολισμό των φυτών, στη μεταφορά του φωσφόρου και των καρβοξυλικών ομάδων και στη σύνθεση ATP, ενώ ενεργοποιεί ένα μεγάλο αριθμό ενζύμων. Επίσης προωθεί τη σύνθεση ελαίων και λιπών.

Το μαγνήσιο είναι ένα συστατικό των πύρινων και ιζηματωιδή πετρωμάτων, και των εδαφών που αναπτύσσονται από τέτοια πετρώματα. Εδάφη που αναπτύσσονται από τα βασικά πετρώματα γενικά περιέχουν υψηλά επίπεδα μαγνησίου(2.7–28.6 g kg1) ενώ αυτά που αναπτύσσονται στην παράκτιο άμμο, ο γρανίτης και οι ψαμμίτες περιέχουν χαμηλά επίπεδα μαγνησίου(0.1–3.4 g kg1). Στα περισσότερα εδάφη, το μαγνήσιο παρουσιάζεται ως ανταλλάξιμο κατιόν, και επίσης ως υδατοδιαλυτό. Εντούτοις, η πλειοψηφία του εδαφικού μαγνησίου είναι σε μορφές που δεν είναι εύκολα διαθέσιμες στις καλλιέργειες.

Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε μαγνήσιο εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 2,1% ενώ στα εδάφη η μέση περιεκτικότητα ανέρχεται σε 0,5%. Η συγκέντρωση του μαγνησίου διαφέρει στα διάφορα πετρώματα. Για παράδειγμα η συγκέντρωση αυξάνεται ακολουθώντας τη σειρά: βασικά πυριγενή > όξινα πυριγενή > ιζηματιγενή. Γενικώς τα εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε ορυκτά εκτατού πλέγματος περιέχουν και περισσότερο μαγνήσιο. Επίσης στα εδάφη των ξηρών περιοχών η μέση περιεκτικότητα σε Mg, είναι διπλάσια σε σχέση με την αντίστοιχη των υγρών περιοχών.

Από τα ορυκτά, με την χημική αποσάθρωση ελευθερώνονται ιόντα Mg^{2+} . Χαρακτηριστικές είναι οι αντιδράσεις απελευθέρωσης μαγνησίου:

$$Mg(OH)_2 + 2H^+ \rightarrow Mg^{2+} + 2H_2O$$

$$Mg_2SiO_4 + 4H^+ \rightarrow Mg^{2+} + H_4SiO_4$$

$$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8 + 16H^+ \rightarrow 5Mg^{2+} + 2Al^{3+} + 3H_4SiO_4 + 6H_2O$$

Η διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν μαγνήσιο δεν είναι η ίδια για όλα τα εδάφη. Για παράδειγμα σταπυριτικά ορυκτά που περιέχουν μαγνήσιο η διαλυτότητα μειώνεται με την σειρά : ολιβίνης > φορστερίτης > κλινοεσταντίτης > βερμικουλίτης > διοψίδιος.

Οι παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν τη διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν μαγνήσιο είναι κυρίως το pH και η περιεκτικότητα του σε CO_2 (για το $MgCO_3$). Όταν το pH του εδάφους είναι μικρότερο από 7,5 τότε τα περισσότερα μαγνησιούχα ορυκτά είναι αρκετά διαλυτά. Αντίθετα σε υψηλότερες τιμές του pH τα ορυκτά αυτά είναι πολύ ανθεκτικά στην αποσάθρωση. Από τα οξείδια και υδροξείδια του Mg το περισσότερο διαλυτό είναι το περίκλαστο (MgO), το οποίο και υδρολύεται σε $Mg(OH)_2$ (βρουσίτης). Το υδροξείδιο αυτό, όταν υπάρχουν στο έδαφος ορυκτά εκτατού πλέγματος, εισέρχεται στον ενδοκρυσταλλικό χώρο και έτσι σχηματίζεται ο πεδογενής χλωρίτης, ενώ σε αντίθετη περίπτωση καθιζάνει ως αδιάλυτημορφή.

6.2 Μορφές μαγνησίου στο έδαφος

Οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το μαγνήσιο στο έδαφος είναι:

- **το ανταλλάξιμο**, δηλαδή το προσροφημένο από τα κολλοειδή του εδάφους
- **το υδατοδιαλυτό μαγνήσιο**
- **το μαγνήσιο των διαστιβαδικών χώρων των ορυκτών 2:1**
- **το δομικό,** δηλαδή το μαγνήσιο το οποίο συμμετέχει στην δομή των κρυστάλλων των ορυκτών του εδάφους
- **το μαγνήσιο της οργανικής ουσίας**
- **το μαγνήσιο των ανθρακικών αλάτων**

Τα ιόντα Mg^{2+} που απελευθερώνονται κατά την αποσάθρωση των ορυκτών καθώς και αυτά που προέρχονται από την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας εισέρχονται στο εδαφικό διάλυμα και από εκεί για την αποκατάσταση της χημικής ισορροπίας ένα μέρος τους προσροφάται από τα κολλοειδή του εδάφους υπό ανταλλάξιμη μορφή, ένα μέρος εκπλύνεται, ενώ ένα μικρό μέρος δημιουργεί διάφορες ιοντικής μορφής ενώσεις. Ο σχηματισμός των διαφόρων ιονικών αυτών μορφών του μαγνησίου στο εδαφικό διάλυμα επηρεάζεται από την ενεργότητα των ανιόντων, το pH καθώς και την περιεκτικότητα του εδάφους σε CO_2. Στην ουσία οι περισσότερες από τις μορφές αυτές είναι και σύμπλοκες ενώσεις [**Δ. Αλιφραγκής,2008**].

Οι μορφές του μαγνησίου στο εδαφικό διάλυμα είναι οι εξής :

$$Mg^{2+} + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons MgHCO_3^+ + H^+$$

$$Mg^{2+} + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons MgCO_3 + 2H^+$$

$$Mg^{2+} + H_2PO_4^- \rightleftharpoons MgHPO_4^+ + H^+$$

$$Mg^{2+} + SO_4^{2-} \rightleftharpoons MgSO_4$$

$$Mg^{2+} + 2NO_3^- \rightleftharpoons Mg(NO_3)_2$$

6.3 Απώλειες μαγνησίου με την έκπλυση του εδάφους

Έκπλυση του μαγνησίου παρατηρείται κυρίως στα αμμώδη, όξινα και με μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εδάφητων υγρών περιοχών. Αναφέρεται για παράδειγμα ότι η ετήσια έκπλυση μαγνησίου από δασικό οικοσύστημα *Populus tremuloides* ανέρχεται σε 9 kg/ha. Η μέθοδος καλλιέργειας επηρεάζει την ποσότητα μαγνησίου που εκπλύνεται από το έδαφος. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι από μια καλλιέργεια καλαμποκιού, η ετήσια απώλεια μαγνησίου λόγω έκπλυσης ανήλθε σε 104 kg/ha, ενώ σε καλλιέργεια *Poa pratensis* στο ίδιο έδαφος η ποσότητα αυτή μειώθηκε στα 48 kg/ha.

Η προσθήκη ασβεστίου στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της έκπλυσης του μαγνησίου γιατί τα ιόντα Ca^{2+} αντικαθιστούν τα προσροφημένα στα κολλοειδή του εδάφους ιόντα Mg^{2+} με αποτέλεσμα αυτά να εκπλύνονται. Επίσης η μείωση του pH του εδάφους που οφείλεται στη χρήση αμμωνιακών λιπασμάτων οδηγεί σε αύξηση της έκπλυσης, γιατί κάτω από αυτές τις συνθήκες τα ιόντα Al^+ και H^+ αντικαθιστούν τα προσροφημένα από τα κολλοειδή του εδάφους ιόντα Mg^{2+} [**Δ. Αλιφραγκής,2008**].

6.4 Οι απαιτήσεις των φυτών και συμπτώματα έλλειψης μαγνησίου

Το μαγνήσιο είναι η κεντρική μονάδα και το μόνο μεταλλικό ιόν της χλωροφύλλης στα φύλλα των φυτών και δε μπορεί να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο ιόν μετάλλου. Η παρουσία το μαγνησίου σε ανεπαρκείς ποσότητες ελαττώνει το σχηματισμό της χλωροφύλλης. γεγονός που πιθανώς να επηρεάσει την φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών. Επειδή το Mg είναι ένα δομικό στοιχείο της χλωροφύλλης, κατέχει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στη ζωή του φυτού. Όμως, δεν είναι μόνο αυτός ο λόγος που το μαγνήσιο θεωρείται αναπόσπαστο στοιχείο των φυτών. Η ικανότητά του να σχηματίζει σύμπλοκα με το νερό μπορεί να έχει ακόμα περισσότερη σημασία, αφού με αυτό τον τρόπο το Mg επιδρά ρυθμιστικά στη θρόμβωση του πλάσματος. Το μαγνήσιο συμμετέχει επίσης στην παραγωγή του αμύλου κατά τη φωτοσύνθεση και έχει κύριο ρόλο στη λειτουργία πολλών φυτικών ενζύμων.

Επίσης ισχυρή ανταγωνιστική σχέση στην πρόσληψη του Mg^{2+} παρατηρείται και με το Mn^{2+}. Αυτό συμβαίνει γιατί το Mn ακινητοποιεί το Mg με αποτέλεσμα να μη μετακινείται στο φυτό εύκολα

Συμπτώματα έλλειψης μαγνησίου στα φυτά εμφανίζονται όταν το ανταλλάξιμο Mg^{2+} είναι λιγότερο από 6 mg/100g εδάφους. Τα συμπτώματα αυτά γενικά εμφανίζονται στα φύλλα των φυτών, αφού αυτά αποτελούν το κύριο φυτικό όργανο στο οποίο πραγματοποιείται η αφομείωση των προς φωτοσύνθεση ουσιών. Κατά κανόνα, η έλλειψη Mg οδηγεί στην χλώρωση (chlorosis) των φύλλων, το σχηματισμό δηλαδή ελαφρώς κίτρινων σημαδιών και γραμμών, που είναι αποτέλεσμα τοπικών αποτυχιών στο σχηματισμό της χρωστικής των πράσινων φύλλων. Η έλλειψη αυτή αρχικά χαρακτηρίζεται από μία ενδοφλέβια (interveinal) χλώρωση, η οποία στη συνέχεια και στα εντονότερα στάδια μπορεί να εξελιχθεί σε εμφάνιση ελείψεων τόσο σε πράσινες

όσο και σε κίτρινες χρωστικές, γεγονός που ίσως να προκαλέσει νέκρωση στα σημεία του φύλλου στα οποία εμφανίστηκε η έλλειψη αρχικά. Η έλλειψη σε μαγνήσιο παρεμποδίζει και το σχηματισμό ανθοκυανινών σε ορισμένα είδη όπως το βαμβάκι. Μία από τις σημαντικότερες ασθένειες που σχετίζονται με την έλλειψη μαγνησίου, γνωστή και ως "sand drown", εντοπίστηκε σε φύλλα του καπνού τα οποία περιείχαν λιγότερα από 2.5g kgl Mg. Ομοίως, βοσκοτόπια τα οποίο περιέχουν λιγότερο από 2.0 g kgl Mg οδηγούν σε "grass tetany" στα ζώα τα οποία βοσκούν εκεί.

Στα κωνοφόρα η έλλειψη μαγνησίου εκδηλώνεται με την εμφάνιση χλώρωσης στις άκρες των βελονών. Συνήθως εμφανίζεται ένα κίτρινο-χρυσοκίτρινο, ερυθροκίτρινο ή ελαφρώς πορτοκαλί χρώμα στην άκρη των βελονών, το οποίο και προχωρά σιγά-σιγά προς τη βάση και καθώς η έλλειψη συνεχίζεται οι βελόνες παίρνουν ορφνό χρώμα και ξηραίνονται. Η αλλαγή του χρώματος είναι εντονότερη κατά το φθινόπωρο. Κατά τους Baule and Fricker (1970) στα κανονικώς αυξανόμενα πεύκα η περιεκτικότητα των βελονών σε μαγνήσιο ανέρχεται σε 1,5-2 mg/g. Όταν η ποσότητα αυτή γίνει μικρότερη από 0,8 mg/g αρχίζουν να εμφανίζονται συμπτώματα έλλειψης. Στα πλατύφυλλα τα συμπτώματα έλλειψης (χλώρωση) σε ορισμένες περιπτώσεις αρχίζουν και από την περιφέρεια του φύλλου ή την κορυφή του φύλλου και η χλώρωση συνεχίζεται στο εσωτερικό μέρος του φύλλου. Σε περιπτώσεις έντονης έλλειψης παρατηρείται πρώιμη φυλλόπτωση που έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της αύξησης των δένδρων.

Τα συμπτώματα αυτά σε αμμώδη με μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εδάφη, μοιάζουν με αυτά που προκαλούνται από έλλειψη οξυγόνου σε κατακλυζόμενα εδάφη.

Αντίθετα με το ασβέστιο, το μαγνήσιο μετακινείται με ευχέρεια εντός των φυτών, από τα παλαιότερα φύλλα στα νεότερα τα οποία παρουσιάζουν έλλεψη μαγνησίου. Έτσι, τα πρώτα συμπτώματα της έλλειψης εμφανίζονται στα παλαιότερα φύλλα. Τα φυτά διαφέρουν σημαντικά στις αντιδράσεις τους όταν παρατηρείται χαμηλή συγκέντρωση μαγνησίου στο έδαφος. Γενικώς, η γονιμοποίηση του εδάφους με Mg επιδρά σημαντικά στην ευαίσθητη σε μεταβολές μαγνησίου σίκαλη, ενδιάμεσα στο καλαμπόκι και ελάχιστα στα μικρά σιτηρά, το γρασίδι και το τριφύλλι. [**Ι. Ν. Θεριός,2005][Δ. Αλιφραγκής,2008**][**NS.Bolan and P.Loganathan, 2005]**

6.5 Αλληλεπίδραση με άλλα θρεπτικά συστατικά

Τα συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου είναι πολύ σπάνια. Λόγω των χαμηλών απαιτήσεων που έχουν τα φυτά για την ανάπτυξή τους. Το περισσότερο ποσοστό του ασβεστίου των φυτών ή του εδάφους λειτουργεί κυρίως σαν παρεμποδιστικά ή αποτοξινωτικά άλλων στοιχείων όπως το Al και βαρέα μέταλλα που ειδάλλως θα λειτουργούσαν ως τοξικά. Τα θρεπτικά προβλήματα σχετικά με το ασβέστιο και το μαγνήσιο κυρίως προκαλούνται από την εξασθένιση της δυνατότητας διακίνησης ή τον ανταγωνισμό στην λήψη των ιόντων NH_4^+, K^+, Al^{3+} . Η χρησιμοποίηση λιπασμάτων που περιέχουν κάλιο έχει αποδείξει ότι οδηγεί σε ανεπάρκεια ασβεστίου και μαγνησίου στις καλλιέργειες.

Παρότι η προσθήκη υλικών ασβέστωσης χωρίς μαγνήσιο (π.χ. ασβεστίτης) αυξάνει την παροχή ασβεστίου, επιφέρει το αντίθετο αποτέλεσμα στη διαθεσιμότητα του μαγνησίου. Οι μειώσεις στα επίπεδα μαγνησίου του ιστού και στην πρόσληψη μαγνησίου από τα φυτά εξαιτίας της ασβέστωσης αποτελούν απόρροια της αύξησης στην προσρόφηση μαγνησίου εξαιτίας αύξησης των εξαρτώμενων από το pH σημείων προσρόφησης σε εδάφη που περιέχουν συστατικά μεταβλητού φορτίου. Η ασβέστωση δε δημιουργεί μόνο νέα, άμορφα πολυμερή αργίλου, αλλά επίσης μεταβάλλει τον χαρακτήρα φορτίου των επιφανειών τους. Σε τέτοια υλικά μεταβλητού επιφανειακού φορτίου σχηματίζονται περισσότερα σημεία αρνητικού φορτίου και συνεπώς προτιμάται η προσρόφηση κατιόντων. Το μαγνήσιο προτιμάται από τα άλλα κατιόντα για συνεχή προσρόφηση από τέτοια υλικά εξαιτίας της ύπαρξης σημείου παγίδευσης μαγνησίου. Όμως η υπερβολική προσθήκη ασβεστούχων υλικών όπως ο ασβεστίτης και ο γύψος αποδεδειγμένα αυξάνει την πιθανότητα έκπλυσης του μαγνησίου κυρίως επειδή το ασβέστιο που προστίθεται διά της ασβέστωσης ανταλλάσσεται με το μαγνήσιο στην επιφάνεια του εδάφους, οδηγώντας στην έκπλυση μαγνησίου στο εδαφικό διάλυμα. [**NS. Bolan and P.Loganathan, 2005**]

Κεφάλαιο 7ο Άζωτο

7.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα αναφερθούμε στις μορφές και τις διεργασίες του αζώτου στο έδαφος. Στην παρούσα εργασία μελετάμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η λειτουργία χοιροτροφικής μονάδας μεγάλης δυναμικότητας στο έδαφος. Αυτές οι επιπτώσεις οφείλονται κυρίως στην συσσώρευση και την εναπόθεση του αζώτου, υπό μορφή αμμωνίας, στο έδαφος.

7.2 Άζωτο

Το άζωτο είναι το απαραίτητο στοιχείο για την παρασκευή του πρωτεϊνικού μορίου. Στη φύση καταλαμβάνει τα 4/5 της ατμόσφαιρας και συναντάται σε κάθε κυτταρική σύσταση. Τα φυτά ως αυτότροφοι οργανισμοί, μετατρέπουν το ανόργανο άζωτο (νιτρικό και αμμωνιακό) σε οργανικό (αμινοξέα, πρωτεΐνες) και τα ζώα (ετερότροφα), το προσλαμβάνουν έτοιμο στην οργανική του μορφή. [**Ν. Α. Χουλιαράς, 2010**]
Η κύρια πηγή Ν για το έδαφος είναι η ατμόσφαιρα. Οι κυριότερες αζωτούχες ενώσεις στην ατμόσφαιρα είναι τα NO, NO_2, N_2O, και NH_3,N_2 καθώς και μικρότερες ποσότητες NO_3^- και NH_4^+. Εκτιμάται ότι το άζωτο της ατμόσφαιρας είναι 2.500 φορές περισσότερο σε σχέση με αυτό που βρίσκεται δεσμευμένο στο έδαφος και τα πετρώματα. Η περιεκτικότητα των πετρωμάτων σε άζωτο είναι πολύ μικρή (0,002%).

Η ανοργανοποίηση (αποδόμηση) της οργανικής ύλης του εδάφους απελευθερώνει το αμμωνιακό Ν και τα φυτά μέσω των ριζών τους απορροφούν το άζωτο υπό μορφή νιτρική ή αμμωνιακή.[**Ν. Α. Χουλιαράς**,**2010**][**Δ. Αλιφραγκής,2008**]
Το άζωτο (Ν) είναι το συχνότερο ελλιπές θρεπτικό συστατικό στις καλλιέργειες, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο για τις περισσότερες από αυτές. Η κατανόηση της συμπεριφοράς του αζώτου στο έδαφος είναι σημαντική για την μεγιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής και αποδοτικότητας, μειώνοντας ταυτόχρονα τις επιδράσεις της γονιμοποίησης του αζώτου στο περιβάλλον. Πολλές πηγές αζώτου είναι διαθέσιμες για τον εμπλουτισμό των καλλιεργειών. Σε αντίθεση με το ανόργανο, το οργανικό άζωτο, το οποίο προέρχεται από κοπριά ζώων και άλλα απορρίμματα αλλά και από την παραγωγή μορίων αζώτου (N2) από καλλιέργειες ελλοβόκαρπων φυτών, μπορούν να εμπλουτίσουν με αρκετό άζωτο για την βελτιστοποίηση των καλλιεργειών.[**Ε. Χ. Κουτρουμπίνα,2008**]

Η μέση περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο κυμαίνεται από 200 εώς 4000 ppm με μέσο όρο γύρω στα 1400 ppm (0,14%). Η διαφορά μεταξύ της μέσης περιεκτικότητας σε άζωτο των πετρωμάτων και του εδάφους δείχνει μια διαδικασία συσσώρευσης του στοιχείου αυτού στο έδαφος. Πράγματι λεπτομερείς έρευνες έχουν δείξει ότι το περισσότερο άζωτο που προσλαμβάνουν τα φυτά κάτω από φυσικές συνθήκες έχει προέλθει από τη διαδικασία συσσώρευσης του στο έδαφος και δεν είναι το άζωτο που περιέχεται στα πετρώματα.

Η διαδικασία της συσσώρευσης του αζώτου στο έδαφος γίνεται με τον **εμπλουτισμό** του εδάφους με αζωτούχες ενώσεις που φθάνουν σ' αυτό μαζί με τα κατακρημνίσματα και με την **βιολογική δέσμευση** του ατμοσφαιρικού αζώτου που γίνεται από διάφορους μικροοργανισμούς που ζούν στο έδαφος είτε μεμονωμένοι, είτε σε συμβίωση με ορισμένα φυτά.[**Δ. Αλιφραγκής,2008**]

7.3 Κύκλος του αζώτου

Η βασική πηγή αζώτου που χρησιμοποιείται από τα φυτά, είναι το αέριο άζωτο, το οποίο αποτελεί το 78% της ατμόσφαιρας της Γης. Τα ανώτερα φυτά δεν μπορούν να μεταβολίσουν απευθείας το άζωτο σε πρωτεΐνη. Το αέριο άζωτο μετατρέπεται αρχικά σε κατάλληλη μορφή για τα φυτά, με μια από τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Δέσμευση από μικροοργανισμούς, οι οποίοι ζουν συμβιωτικά στις ρίζες ελλοβόκαρπων φυτών (οσπρίων) και ορισμένων άλλων φυτών
- Δέσμευση από ελεύθερους ή μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς
- Δέσμευση σαν οξείδια του αζώτου από ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις
- Δέσμευση ως NH_3, NO_3^-, ή CN_{22}^- από συνθετικά λιπάσματα

Η απεριόριστη προμήθεια ατμοσφαιρικού αζώτου βρίσκεται σε ισορροπία με τις διάφορες δεσμευμένες μορφές του εδάφους. Τα μόρια του αζώτου δεσμεύονται, με τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παράλληλα πολυάριθμες μικροβιακές και χημικές διαδικασίες απελευθερώνουν άζωτο στην ατμόσφαιρα. Ο κύκλος του αζώτου στο σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα περιλαμβάνει πολλές μετατροπές αυτού μεταξύ ανόργανης και οργανικής μορφής. Ο κύκλος του αζώτου μπορεί να διαχωριστεί στις εισροές του αζώτου, στις εκροές του και στον κύκλο του στο έδαφος, όπου ούτε απορροφάται ούτε χάνεται. Εκτός της δέσμευσης από την βιομηχανία και την καύση, όλες οι μετατροπές τα αζώτου συντελούνται φυσικά. Παρόλα αυτά ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να επηρεάσει πολλές από αυτές τις διαδικασίες μέσω δραστηριοτήτων διαχείρισης εδαφών και καλλιεργειών.

7.4 Αζωτοδέσμευση

Βιολογική αζωτοδέσμευση

Αζωτοδέσμευση από μικροοργανισμούς, οι οποίοι ζουν συμβιωτικά στο ριζικό σύστημα των ελλοβόρων και συγκεκριμένα μη-ελλοβόρων φυτών.

Μη βιολογική αζωτοδέσμευση

Αζωτοδέσμευση ως οξείδια του αζώτου από ηλεκτρικές εκκενώσεις στην ατμόσφαιρα:
κεραυνός + N2 + O2 ->2 NO (οξείδια του αζώτου) και αζωτοδέσμευση ως NH3, NO3- , ή CN22- από την παραγωγή συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων [**Ε. Χ. Κουτρουμπίνα, 2008**]

7.5 Μορφές αζώτου στο έδαφος

Η αναλογία στο έδαφος κυμαίνεται από λιγότερο από 0,02% στο υπέδαφος σε περισσότερο από 2,5 % στην τύρφη. Η μορφές του αζώτου στο έδαφος είναι το ανόργανο και οργανικό, με το 95% ή περισσότερο που βρίσκεται στα επιφανειακά εδάφη να είναι οργανικό.

Ανόργανο άζωτο

Οι ανόργανες μορφές του αζώτου που βρίσκονται στο έδαφος περιλαμβάνουν αμμώνιο (NH_4^+), διοξείδιο (NO_2^-), νιτρικά (NO_3^-), υποξείδιο (N_2O), μονοξείδιο (NO), αμμωνία (NH_3) και το ατμοσφαιρικό άζωτο (N_2), το οποίο είναι αδρανές εκτός από την χρησιμοποίηση του από ριζόβια και άλλους αζωτοδεσμευτικούς μικροοργανισμούς. Το υποξείδιο, το μονοξείδιο και το διοξείδιο βρίσκονται τόσο στο εδαφικό διάλυμα όσο και στον εδαφικό αέρα, ενώ το NH_4^+ βρίσκεται ως ανταλλάξιμο ή δεσμευμένο ιόν. . Το μοριακό άζωτο βρίσκεται στον εδαφικό αέρα υπό μορφή αερίου, καθώς και διαλυμένο στο εδαφικό διάλυμα. Τέλος τα νιτρικά και νιτρώδη ανιόντα βρίσκονται κυρίως στο εδαφικό διάλυμα. Στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται λιγότερο από το 2% της ολικής ποσότητας του αζώτου. Το άζωτο αυτό συναντάται στις μορφές NO_2^-, NO_3^- και NH_4^+ .Τα αμμώνιο, διοξείδιο και νιτρικά είναι τα πιο σημαντικά και παράγονται από αερόβια αποσύνθεση της εδαφικής οργανικής ύλης ή από τις προσθήκες αζωτούχων λιπασμάτων. Αυτές οι τρεις μορφές συνήθως αντιπροσωπεύουν το 2 με 5% του ολικού αζώτου που υπάρχει στο έδαφος. [**Δ. Αλιφραγκής,2008**][**Ε. Χ. Κουτρουμπίνα,2008**]

Τα ***αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)*** αποτελούν μία από τις μορφές του αζώτου και παίζουν σημαντικό ρόλο στο κύκλο του. Συμμετέχουν σε εδαφικές διεργασίες του αζώτου όπως η ανοργανοποίηση, η ακινητοποίηση και η νιτροποίηση και μαζί με την αμμωνία αποτελούν το αμμωνιακό άζωτο. Τα αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) συνυπάρχουν με την ελεύθερη αμμωνία (NH_3) ανάλογα με το pH και τη θερμοκρασία του διαλύματος, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ισορροπίας :

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

Τα ***νιτρικά ιόντα (NO_3^-)*** αποτελούν το τελικό στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων

$$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$$

Τα νιτρικά ιόντα, αποτελούν βασικό θρεπτικό παράγοντα για την ανάπτυξη φωτοσυνθετικών αυτότροφων οργανισμών, όπως τα φύκη και σε ορισμένα κλειστά υδατικά συστήματα έχει βρεθεί ότι τα νιτρικά αποτελούν περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης του ευτροφισμού.[**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**]

Οργανικό άζωτο

Το οργανικό άζωτο απαντάται σαν πρωτεϊνες, αμινοξέα, αμινοσάκχαρα, πεπτίδια και πρωτείνες και άλλα σύμπλοκα αζώτου. Σε πολύ μικρές ποσότητες συναντώνται νουκλεικά οξέα, χλωροφύλλη, φωσφολιπίδια, αμίνες, βιταμίνες καθώς και προιόντα μετασχηματισμού των παραπάνω ενώσεων του εδάφους. Η αναλογία του αζώτου στα διάφορα αυτά κλάσματα είναι η εξής:

- Δεσμευμένα αμινοξέα, 20 με 40%
- Αμινοσάκχαρα, 5 με 10%
- Παράγωγα πυρίνης και πυριμιδίνης, 1% ή λιγότερο

Πολύ λίγα είναι γνωστά για τη χημική φύση του υπόλοιπου 50% του οργανικού αζώτου που δεν περιέχεται στα κλάσματα αυτά. [**Δ. Αλιφραγκής,2008**] [**Ε. Χ. Κουτρουμπίνα,2008]**

7.6 Μετασχηματισμοί αζώτου στο έδαφος

Το άζωτο στο έδαφος συνεχώς κινείται από τη μια μορφή στην άλλη λόγω των δράσεων των φυτών και των μικροοργανισμών. Το οργανικό άζωτο μπορεί να ορυκτοποιηθεί σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση :

$$\text{οργανικό } –NH_2 \rightarrow NH_4^+$$

Το NH_4^+ που σχηματίζεται υπόκειται σε νιτροποίηση μέσω οξείδωσης σε νιτρώδη και νιτρικά με τη βοήθεια συγκεκριμένων μικροοργανισμών κατά το ακόλουθο σχήμα:

$$NH_4^+ + 3/2\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

$$NO_2^- + 1/2\ O_2 \rightarrow NO_3^-$$

Το ορυκτοποιημένο Ν μπορεί να μετασχηματιστεί σε οργανικό άζωτο, όταν οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους σε Ν από τις οργανικές ουσίες:

$$NH_4^+ \text{ και } NO_3^- \rightarrow \text{ οργανικό–}NH_2$$

Κάτω από αλκαλικές συνθήκες τα αμμωνιακά ιόντα μετατρέπονται σε αμμωνιακά μόρια σε διάλυμα το οποίο μπορεί να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα του εδάφους

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_3 + H_2O\ (pH > 7,0)$$

Τα νιτρώδη και τα νιτρικά μπορούν να υποστούν απονιτροποίηση σε αέριο άζωτο από μικροοργανισμούς::

$$NO_3^- \text{ και } NO_2 \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

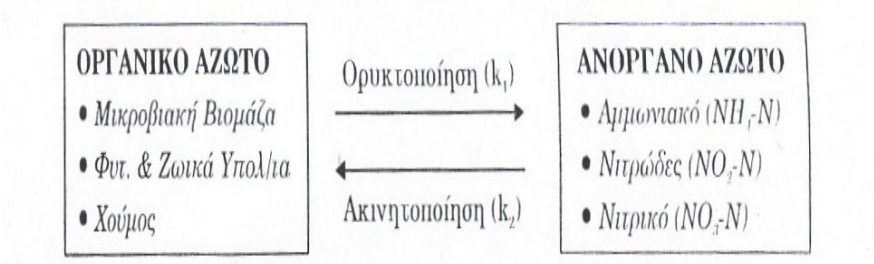
Στη συνέχεια, οργανικό Ν μπορεί να παραχθεί κατά το ακόλουθο σχήμα:

$N_2 \rightarrow NH_4^+ \rightarrow$ οργανικό $–NH_2$ [**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**]

7.7 Διεργασίες εδαφικού αζώτου

- **Ανοργανοποίηση και ακινητοποίηση**

Οι διεργασίες αυτές είναι δυο αντίθετες διεργασίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Η διαφορά των αντιστοίχων ρυθμών μετατροπής (k_1-k_2), δηλαδή το επίπεδο ισορροπίας μεταξύ ακινητοποίησης και ανοργανοποίησης καθορίζει τελικά διαθεσιμότητα Ν στα ανώτερα φυτά, παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω.



Ανοργανοποίηση

Η ανοργανοποίηση του αζώτου συνίσταται στην μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμώνιο (NH4). Αυτή η διεργασία περιλαμβάνει δύο αντιδράσεις, την αμινοποίηση (aminization) και την αμμωνιοποίηση (ammonification), η οποία λαμβάνει χώρα μέσω της δραστηριότητας των ετεροτροφικών μικροοργανισμών.Η αμμωνιοποίηση πραγματοποιείται με ικανοποιητικό ρυθμό σε καλώς στραγγιζόμενα και αεριζόμενα εδάφη πλούσια σε βασικά κατιόντα. Μπορεί όμως να προχωρήσει, αλλά με μικρότερους ρυθμούς, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, λόγω του μεγάλου πλήθους διαφορετικών μικροοργανισμών που είναι σε θέση να απελευθερώνουν αμμωνιακό Ν από το οργανικό Ν.

Το απελευθερούμενο ιόν NH_4^+ μπορεί ανάλογα με τις συνθήκες:
• να μετατραπεί σε NO_3^- με τη διαδικασία της νιτροποίησης, η οποία και επικρατεί υπό κανονικές συνθήκες.
• να απορροφηθεί απευθείας από τα φυτά
• να δεσμευθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα αργίλων τύπου 2:1, καθιστάμενο στη μορφή αυτή μη διαθέσιμο για τις ρίζες των ανωτέρων φυτών
• να ακινητοποιηθεί από ετερότροφους μικροοργανισμούς οι οποίοι διασπούν οργανικά υπολείμματα πλούσια σε άνθρακα.
Η ανοργανοποίηση αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και εμπλουτίζεται με επαρκή, αλλά όχι υπερβολική, υγρασία στο έδαφος και καλή παροχή οξυγόνου. Η αποσύνθεση συνεχίζεται κάτω από συνθήκες κορεσμού του εδάφους σε νερό, αλλά σε μικρότερο ρυθμό χωρίς να μπορεί να ολοκληρωθεί. Αερόβιες και σε μικρότερο βαθμό αναερόβιες συνθήκες, αναπνοής απελευθερώνουν το περιεχόμενο άζωτο στην μορφή του αμμωνίου (NH_4^+).

Ακινητοποίηση

Η διαδικασία της ακινητοποίησης του αζώτου είναι η μετατροπή του ανόργανου αζώτου σε οργανικό. Αν η αποσυντιθέμενη οργανική ύλη περιέχει μικρές ποσότητες αζώτου σε σύγκριση με τον άνθρακα, οι μικροοργανισμοί θα ακινητοποιήσουν την NH_4 και NO_3 στο έδαφος. Τα μικρόβια χρειάζονται άζωτο σε αναλογία C:N περίπου 8:1 συνεπώς το ανόργανο άζωτο στο έδαφος χρησιμοποιείται από τον ραγδαία αναπτυσσόμενο πληθυσμό. Η ακινητοποίηση του αζώτου κατά την διάρκεια της αποσύνθεσης των γεωργικών υπολειμμάτων, μπορεί να μειώσει την συγκέντρωση της NH_4 ή NO_3 στο έδαφος σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους συναγωνίζονται αποτελεσματικά με τα φυτά για την NH_4 ή NO_3 κατά την διάρκεια της ακινητοποίησης και τα φυτά εύκολα μπορεί να μείνουν ελλιπή σε άζωτο.[**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**][**Ε. Χ. Κουτρουμπίνα, 2008**][**Σ.Ε. Κουφοπούλου, 2008**]

- **Νιτροποίηση**

Νιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία δυο σταδίων κατά την οποία η αμμωνία μετατρέπεται σε νιτρικά ιόντα με ενδιάμεση βαθμίδα τα νιτρώδη ιόντα.
Είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε δύο στάδια, αρχικά η NH_4 μετατρέπεται σε NO_2 και στην συνέχεια σε NO_3. Η βιολογική οξείδωση της NH_4 σε NO_3 παρουσιάζεται παρακάτω σχηματικά

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2\ NO_2^- + 2H_2O + 4H \text{ (παρουσιά Nitrosomonas)}$$

Η αλλαγή αριθμού οξείδωσης του Ν από -3 σε +3 με ταυτόχρονη παραγωγή 65 kcal ενέργειας, που είναι αρκετή για τη βιοσύνθεση και τη συντήρηση του βακτηρίου. Η υδροξυλαμίνη (NH_2OH) θεωρείται ως πιθανό ενδιάμεσο προϊόν. Λόγω της μεγάλης μεταβολής του αριθμού οξείδωσης του Ν εικάζεται η συμμετοχή ενός άλλου ασταθούς ενδιαμέσου προϊόντος του νιτροξυλίου (NOH). Τα υπεύθυνα για την οξείδωση ένζυμα είναι η οξυγενάση και η υδροξυλαμινο-οξυδορεδουκτάση.
Στην δεύτερη αντίδραση που ακολουθεί το NO_2 οξείδωνεται σε NO_3:

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^- \text{ (παρουσία Nitrobacter)}$$

με αύξηση του αριθμού οξείδωσης του Ν από +3 σε +5 και παραγωγή ενέργειας ίση με 17,8 kcal. Η αντίδραση καταλύεται από το ενζυματικό σύστημα νιτρώδους οξειδάσης.
Η άμεση αλληλουχία των δύο σταδίων οξείδωσης του NH_4^+ σε NO_3^- αποτρέπει τη συσσώρευση νιτρωδών ιόντων, τα οποία είναι τοξικά για τα ανώτερα φυτά, ακόμα και σε πολύ μικρή συγκέντρωση. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι σε πολύ αλκαλικά εδάφη μετά από προσθήκη ισχυρών δόσεων αμμωνιακών

λιπασμάτων, η δράση του Nitrobacter παρεμποδίζεται έως ότου το NH_4^+ κατέλθει σε χαμηλά επίπεδα, με συνέπεια τη συσσώρευση ενδιαμέσως του NO_2^-, σε συγκέντρωση αρκετή για να έχει τοξική επίδραση.

Εξάλλου η συσσώρευση αυτή του NO_2^- μπορεί να οδηγήσει και σε απώλειες εξαερώσεως μοριακού N_2, δηλαδή απονιτροποίηση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διεργασία της νιτροποίησης στα εδάφη είναι:

- Η παροχή NH_4

Πρέπει να υπάρχουν αποθέματα υποστρώματος αμμωνίας από ορυκτοποιημένο Ν ή από προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων.

- Πληθυσμός των νιτροποιητικών οργανισμών
- pH του εδάφους

Ο ρυθμός νιτροποίησης υποχωρεί απρόσκοπτα όταν υπάρχει ικανοποιητική διαθεσιμότητα βασικών κατιόντων σε ανταλλάξιμη μορφή. Ακριβώς δε στην ελλιπή διαθεσιμότητα βάσεων οφείλεται κυρίως ο μειωμένος ρυθμός νιτροποίησης των όξινων εδαφών χωρίς να αποκλείεται και η άμεση επίδραση της υψηλής οξύτητας.

- Αερισμός του εδάφους

Η νιτροποίηση είναι μια οξειδωτική διαδικασία της οποίας ο ρυθμός περιορίζεται σε πολύ υγρά ή συμπαγή εδάφη.

- Υγρασία του εδάφους

Ο ρυθμός νιτροποίηση επιβραδύνεται όταν η υγρασία είναι υπερβολική, ή αντίθετα πολύ χαμηλή.

- Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία εδάφους που θεωρείται ευνοϊκή είναι μεταξύ 27^0 και 32^0 C.

- Γεωργικά φάρμακα

Οι μικροοργανισμοί νιτροποίησης παρουσιάζουν ευαισθησία σε ορισμένα γεωργικά φάρμακα, μυκητοκτόνα και νηματωδοκτόνα, που περιορίζουν επίσης και τη δράση των μικροοργανισμών οξειδωτικής διάσπασης του οργανικού *N*. Αν οι δόσεις των φυτοφαρμάκων τηρούνται στα συνιστώμενα επίπεδα, ο ρυθμός της νιτροποίησης δεν ανακόπτεται αισθητά [**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**][**Ε. Χ. Κουτρουμπίνα, 2008**][**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**].

- **Απονιτροποίηση**

Απονιτροποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη βιολογική διεργασία κατά την οποία τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε αέριο άζωτο**.**

Όταν τα εδάφη είναι κορεσμένα από νερό, υπάρχει εμπόδιση του οξυγόνου με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται αναερόβια αποσύνθεση. Μερικοί αναερόβιοι μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να εξασφαλίζουν το οξυγόνο τους από το NO_2 και NO_3 με ταυτόχρονη απελευθέρωση αζώτου και οξειδίων του αζώτου. Η πιο πιθανή βιοχημική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι:

$2HNO_3^- > 2HNO_2^- > 2NO^- > N_2O^- > N_2$

Η πιθανότητα ένψαρξης της διαδικασίας της απονιτροποίησης στα εδάφη είναι πολύ μεγάλη, αλλά πρέπει να υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες για να αλλάξουν οι αεροβικές μεταβολικές συνήθειες των οργανισμών σε απονιτροποιητικές, περιλαμβάνοντας την χρήση NO_3 σαν δέκτη ηλεκτρονίων απουσία οξυγόνου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απονιτροποίηση είναι οι εξής:

•Αποσυνθέσιμη οργανική ύλη
•Περιεχόμενο του εδάφους σε νερό
•Αερισμός
•Ποσότητα NO_3^- έδαφος
•Εδαφικό pH
•Θερμοκρασία
•Παρουσία φυτών [**Ε. Χ. Κουτρουμπίνα,2008]**

7.8 Απώλειες αζώτου από το έδαφος

Από τις ποσότητες αζωτούχων λιπασμάτων που προσθέτουμε στο έδαφος, το ποσοστό το οποίο εκμεταλλεύονται τα φυτά είναι γύρω στο 50%. Ουσιαστικά η μισή ποσότητα αζώτου χάνεται και ως εκ τούτου το άζωτο έχει μικρή αποτελεσματικότητα στις καλλιέργειες. Για παράδειγμα, στα οπορωφόρα οι απώλειες φτάνουν και το 80%, στα αμπέλια το 63%, στα λαχανικά το 45% και στο χόρτο το 30%. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στους εξής παράγοντες:

α)Απονιτροποίηση (όπως αναλύθηκε παραπάνω)

β)Εξαέρωση αμμωνίας: η απώλεια αζώτου από το έδαφος υπό μορφή αέριας NH_3 αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές διαφυγής του Ν προς την ατμόσφαιρα και μια από τις πιο σημαντικές αιτίες για το χαμηλό βαθμό αξιοποίησης του Ν από τις καλλιέργειες.

Η συγκέντρωση της αμμωνίας στο εδαφικό διάλυμα αυξάνεται σημαντικά κατά την προσθήκη αμμωνιακών λιπασμάτων και νωπής κοπριάς σε αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη. Έτσι όταν τα λιπάσματα εφαρμοσθούν επιφανειακά ή σε μικρό βάθος, τότε έχουμε μεγάλες απώλειες σε αέρια αμμωνία.

Η εξαέρωση της αμμωνίας επηρεάζεται από τις συνθήκες του εδάφους. Επηρεάζεται από την παρουσία ανθρακικού ασβεστίου σε συνδυασμό με το αλκαλικό pH . Επίσης από την θερμοκρασία, την δοσολογία εφαρμογής, την ικανότητα ανταλλαγής, την οργανική ύλη και τα αποσυνθέσιμα υλικά και τέλος από την εδαφική υγρασία. Για την εδαφική υγρασία προκύπτει ότι η απότομη ξήρανση του εδάφους μετά από προσθήκη αμμωνιακών αλάτων συνήθως οδηγεί σε αύξηση των απωλειών. [10] [**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**][**Δ.Α. Αναλογίδης,2000**]

γ)'Εκπλυση των νιτρικών στα υπόγεια ύδατα : η συγκεκριμένη αρνητικά φορτισμένη μορφή του αζώτου και απωθούνται από τα σωματίδια του εδάφους που είναι επίσης αρνητικά φορτισμένα και λόγω αυτού είναι ιδιαίτερα ευκίνητα στο έδαφος και εκπλύνεται εύκολα συντελόντας παράλληλα και στην ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Στα φυσικά οικοσυστήματα το NO_3^- δεν συσσωρεύεται στο έδαφος, διότι υπάρχει ισορροπία εισροών–εκροών Ν, και το NO_3^- αφομοιώνεται με τον ίδιο ρυθμό που σχηματίζεται. Στη γεωργική εκμετάλλευση, η ισορροπία αυτή διαταράσσεται, αφού η καλλιεργητική αναμόχλευση του εδάφους επιταχύνει την ορυκτοποίηση του οργανικού Ν. Συγχρόνως δε, όταν η λίπανση είναι πλεονασματική προκαλείται επισώρευση «υπολειμματικού Ν». Αυτό συμβαίνει διότι οι καλλιέργειες πέραν ενός ορίου δεν μπορούν να ανταποκριθούν στο ρυθμό απελευθέρωσης NO_3^- με εξίσου ταχεία πρόσληψη του. Το πλεονάζον NO_3^- δεν συγκρατείται στη στερεά φάση και απομακρύνεται με έκπλυση.

Προκειμένου να λάβει χώρα έκπλυση μεγάλης έκτασης του NO_3^- πρέπει να ικανοποιούνται δύο βασικές προϋποθέσεις:

- υψηλή συγκέντρωση του NO_3^- στο έδαφος και
- έντονη (καθοδική ή πλευρική) κίνηση του ύδατος.

Οι ποσότητες των νιτρικών που εκπλύνονται εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

i. *Την ένταση και το ύψος της βροχόπτωσης*. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση και το ύψος της βροχόπτωσης τόσο πιο μεγάλος είναι ο κίνδυνος απώλειας θρεπτικών στοιχείων από βαθιά διήθηση και επιφανειακή απορροή.
ii. *Την φυτική κάλυψη*. Η μεγαλύτερη έκπλυση νιτρικών προέρχεται από εδάφη που βρίσκονται σε αγρανάπαυση. Αυξάνεται δηλαδή η έκπλυση με την ανεπαρκή φυτική κάλυψη.
iii. *Τη κτηνοτροφία*. Η υπερβόσκηση μειώνει την φυτική κάλυψη και διευκολύνη έτσι την έκπλυση.
iv. *Τη μηχανική σύσταση του εδάφους*. Η διήθηση του νερού είναι μικρότερη στα βαριά απ' ό, τι στα ελαφρά εδάφη, γεγονός που έχει επίπτωση στην έκπλυση νιτρικών.
v. *Εποχικές επιδράσεις***.** Κατά το φθινόπωρο στην εύκρατη ευρωπαϊκή ζώνη εξαιτίας των βροχοπτώσεων τα εδάφη παρουσιάζουν αυξημένη υγρασία, με σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και περιορισμένες απαιτήσεις των καλλιεργειών. Σε αυτές τις συνθήκες ενεργοποιούνται τα νιτροποιητικά βακτήρια. Το χειμώνα που ακολουθεί, η νιτροποίηση αναστέλλεται, αλλά οι βροχοπτώσεις αναλόγως εντάσεως και διάρκειας, συντελούν στην σε βάθος μετακίνηση του NO_3^-

και τη μεταφορά του προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Οι ίδιες συνθήκες απαντώνται με χρονική μετατόπιση 2-3 μηνών, στην παραμεσόγεια ζώνη, όπου ανήκει και η Ελλάδα.

vi. *Τη στάθμη υπεδάφιου νερού-στράγγιση*. Όταν το βάθος του υπεδάφιου νερού είναι μικρό η συσσώρευση νιτρικών, λόγω έκπλυσης τους, είναι μεγαλύτερη ειδικά όταν τα εδάφη είναι ελαφρά(αμμώδη).

vii. *Τη χρήση λιπασμάτων*. Η έκπλυση νιτρικών στο έδαφος αυξάνεται με την χρήση λιπασμάτων. [**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008]** [**Χ.Σαράφης, 2004**]

7.9 Προέλευση των εκπομπών αμμωνίας

Η αμμωνία είναι μια χημική ένωση η οποία τελευταία βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος, καθώς συνδέεται με την ατμοσφαιρική εναπόθεση αζώτου στα οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα τον ευτροφισμό και την αύξηση της οξύτητάς τους. Στην Ελλάδα, οι εκπομπές της προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από τη γεωργία, 96% (ενώ μικρό ποσοστό συνδέεται με τις οδικές μεταφορές, μόλις 4%). Από το 1990 έως το 2008, παρατηρείται στην Ελλάδα μείωση των εκπομπών αμμωνίας κατά 20%. Συνολικά η Ελλάδα σεινεισφέρει το 1,7% των συνολικών εκπομπών NH_3 στην ζώνη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Επίσης έχουμε τις εκπομπές NH_3 που οφείλονται στη ζωική παραγωγή. Τα αποτελέσματα βασίστηκαν τόσο σε υπολογιστικές τιμές, όσο και σε μετρήσεις εκπομπών και απωλειών Ν, λαμβανομένων υπόψη και των τοπικών συνθηκών. Εξάλλου, οι εκπομπές από τα ανόργανα λιπάσματα υπολογίστηκαν με βάση τις χημικές αντιδράσεις των λιπασμάτων στο έδαφος, λαμβάνοντας υπόψη τις «τυπικές» συνθήκες εδάφους κάθε χώρας. Το σύνολο των εκπομπών NH_3 για τη Δ. Ευρώπη υπολογίζεται σε 4.10^6 tn. Συγκριτικά αναφέρεται ότι για το σύνολο της γήινης ατμόσφαιρας οι εκπομπές NH_3 είναι της τάξης των 62.10^6 tn /έτος, εκ των οποίων οι 43.10^6 t είναι ανθρωπογενούς προέλευσης. Η δε συνεπακόλουθη εναπόθεση στα εδάφη των ποσοτήτων αυτών NH_3 υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί με το 40-60% των άμεσων εισροών Ν από αζωτούχα λιπάσματα.

Στον παρακάτω Πίνακα βλέπουμε ότι μόνο το 13% των εκπομπών NH_3 στη Δ. Ευρώπη οφείλεται στα αζωτούχα λιπάσματα, ενώ ένα κατά πολύ μεγαλύτερο ποσοστό, 74%, προέρχεται από την κτηνοτροφία. Οι εκπομπές NH_3 μπορεί να συνεπάγονται τοπικές, ή ευρύτερα ζωνικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, εξαρτώμενες από την πληθυσμιακή πυκνότητα των κτηνοτροφικών ζώων. Στη Β.Δ. Ευρώπη (Ολλανδία, Βέλγιο, Γερμανία) οι πυκνοί ζωικοί πληθυσμοί συνεπάγονται αυξημένη εκπομπή – εναπόθεση στα εδάφη NH_3/ NH_4^+ που έχει σαν αποτέλεσμα την ταχύτερη οξίνιση των εδαφών της εν λόγω ζώνης. Αντίθετα, στη Ν. Ευρώπη (Ελλάδα, Ισπανία) με αραιότερους πληθυσμούς αγροτικών ζώων, οι εκπομπές NH_3 είναι μικρότερες και υπερισχύουν τα ασβεστολιθικά εδάφη, τα οποία είναι πολύ λιγότερο επιρρεπή στην οξίνιση. Ειδικότερα, για την Ελλάδα τα μεγέθη εκπομπών που αναφέρει η μελέτη της ECETOC είναι (σε ktn): κτηνοτροφία 57, λιπάσματα 19, διάφορες πηγές 22, σύνολο 98. [**Σ.Ε. Κουφοπούλου, 2008][Δ.Α. Αναλογίδης, 2000] [11]**

Πίνακας 7.1 : *Προέλευση και ποσότητες των εκπομπών αμμωνίας στην ατμόσφαιρα στη Δ. Ευρώπη κατά το 1990 (ECETOC,1994)*

	Εκπομπή (Mtn NH_3-N/έτος)	**Εύρος (Mtn NH_3-N/έτος)**	**Προέλευση (% του συνόλου)**
Ζωική παραγωγή			
Στάβλοι και κόπρος	1,4		34
Επιφ. Διασπορά κόπρου	1,3		32
Βόσκοντα ζώα	0,3		8
Υποσύνολο	**3,0**		**74**
Λιπάσματα			
Παραγωγή	0,02		0,5
Εφαρμογή	0,5		12,5
Εκπομπές από το φύλλωμα των καλλιεργιών	0,2		5
Διάφορες Πηγές	0,3		8
ΣΥΝΟΛΟ		**2,8 – 5,2**	**100**

Η αμμωνία είναι σημαντικό υποπροιόν της μικροβιακής αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων αζώτου των κτηνοτροφικών αποβλήτων(κοπριά) **[US Environmental Protection Agency, 2002].** Η αμμωνία λαμβάνει μέρος σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις, σχηματίζοντας αερολύματα, τα οποία έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής και ως εκ τούτου μπορούν να μεταφέρονται και να κατακάθονται στο έδαφος από την ξηρή ή/και υγρή εναπόθεση **[Aneja et al. 2001].** Τα αυξημένα ποσοστά απόθεσης αζώτου, κοντά σε χοιροτροφικές μονάδες συμφωνα με την κατεύθυνση του ανέμου, μπορεί να αυξήσουν την συγκέντρωση NH_4^+[**Skiba et al., 1998**]. Οι εκομπές του αζώτου στο έδαφος επιταχύνονται με την παρουσία ανθρακικού ασβεστίου σε συνδιασμό με το αλκαλικό pH εδάφους. Επίσης οι εκπομπές αζώτου επηρεάζονται από την υψηλή θερμοκρασία, τα βακτήρια του περιβάλλοντος και από την απονιτροποίηση που λαμβάνει χώρα στο έδαφος. **[Krupa 2003] [Coyne and Frye 2005]**

Η απόθεση αμμωνίας στο έδαφος βοηθά στο εκτοπισμό των βασικών κατιόντων ασβεστίου,μαγνησίου και καλίου από τα σημεία σύνδεσής τους με το έδαφος. Συγκεκριμένα τα ιόντα NH_4^+ εκτοπίζουν τα βασικά κατιόντα,μειώνουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και μπορεί να αυξήσουν τις συγκεντρώσεις αυτές στο έδαφος[**Liu et al., 1990**]. Μέσα από μια σειρά χημικών διεργασίων τα βασικά κατιόντα εκπλένονται και παίρνουν μη διαθέσιμα μορφές για τα φυτά,για τα οποία τα βασικά κατιόντα είναι οπώς είπαμε και παραπάνω θρεπτικά συστατικά. Επιπλέον, οι όξινες εναποθέσεις μπορεί να αυξήσουν την αποσάρθρωση των ορυκτών, το οποίο οδηγεί σε απώλεια της δομής και πιθανή μείωση της γονιμότητας[**Zhang et al. 2007].** Επίσης μελέτες έχουν ασχοληθεί με την αναλογία αμμωνιακών προς βασικά κατιόντα στο εδαφικό διάλυμα, με στόχο να δώσουν εξηγήσεις σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Σε κωνοφόρα δάση της Βόρειας Ευρώπης με χαμηλή ζωτικότητα η κρίσιμη τιμή της αναλογίας NH_4^+ / K^+ είναι 5. Σε πευκοδάση της Βόρειας Ευρώπης οι κρίσιμες τιμές των αναλογίων NH_4^+ / Ca^{2+} και NH_4^+ / Mg^{2+} είναι 50 και 100 αντίστοιχα(οι τιμές αυτές προέρχονται από εργαστηριακά πειράματα)**[Heij, G.J 1991].**

Η απόθεση αμμωνίας έχει επιπτώσεις και στα φυλλώματα των φυτών και μπορεί να προκαλέσει μια σειρά από έμμεσες επιδράσεις στα φυτα, αλλάζοντας την χημεία του εδάφους και αλλάζοντας την ισορροπία του ανταγωνισμού μεταξύ των φυτών**[Bobbink et al, 1998] [Clark et al ,2007].**

7.10 Επιδράσεις στον τύπο της φυσικής χλωρίδας

Επιπτώσεις παρατηρούνται και στην φυσική χλωρίδα λόγω της διατάραξης της ισορροπίας μεταξύ των βοτανικών ειδών που οφείλονται στην λίπανση. Με αναφορά την γονιμότητα του εδάφους τα φυτά από οικολογική άποψη διακρίνονται σε **ανταγωνιστικά, αδιάφορα και ανθεκτικά είδη**. Όσο χαμηλότερο είναι το αρχικό επίπεδο γονιμότητας του εδάφους τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές της φυσικής χλωρίδας που προκύπτουν μετά την υιοθέτηση των λιπάνσεων. Γενικά οι λιπάνσεις τείνουν να περιορίσουν το πλήθος των βοτανικών ειδών δηλ. τη φυτική βιοποικιλότητα. Επομένως, οι αλλαγές στη σύνθεση της φυσικής χλωρίδας είναι δυνατό να επιφέρουν αλλαγές και στη σύνθεση της πανίδας.[**Σ.Ε. Κουφοπούλου,2008**]

Πειραματικό Μέρος

1.Τοποθέτηση του προβλήματος

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων των βιομηχανικών δραστηριοτήτων στις χοιροτροφικές μονάδες στην ρύπανση του εδάφους. Μία από τις κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων στις μεγάλης έκτασης χοιροτροφικές μονάδες (CAFOs) είναι η εδαφολογική υποβάθμιση καθώς πλησιάζουμε τις εγκαταστάσεις αναπαραγωγής των ζώων, λόγω κυρίως των ανόργανων ουσιών όπως η αμμωνία που εκπέμπονται από τα διάφορα στάδια των διαδικασιών εκτροφής. Οι ανόργανοι ρυπαντές επιδρούν στις φυσικές και χημικές ιδιότητες με άμεσες επιπτώσεις στην βλάστηση. Επίσης κατακάθονται υπό μορφή στερεολυμάτων ή αερολυμάτων(π.χ. όξινη βροχή), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η οξύτητα του εδάφους(μείωση του pH), κυρίως λόγω νιτροποίησης της αμμωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια θρεπτικών συστατικών και την μείωση της γονιμότητας του εδάφους. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών των Μεσογειακών οικοσυστημάτων, η εξέλιξη των αερίων ρύπων είναι πιο εκτενής και συνεπώς η εδαφολογική υποβάθμιση είναι πιο σοβαρή σε σχέση με εκείνη που συμβαίνει στην βόρεια Ευρώπη.

Η περιοχή όπου έγινε η μελέτη βρίσκεται στην Κρήτη, περίπου 15 χλμ ανατολικά του Ρεθύμνου. Η επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής έγινε λόγω της αξιοπρόσεκτης επίγειας και θαλάσσιας βιοποικιλότητας. Η βλάστηση της περιοχής, ειδικά κοντά στην βιομηχανία, είναι πυκνή έτσι λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο μειώνοντας την απόθεση της εκπεμπόμενης αμμωνίας. Οι άνεμοι στην περιοχή της δειγματοληψίας είναι κυρίως βόρειοι, σύμφωνα με τα επίσημα μετεωρολογικά στοιχεία κατά την διάρκεια των ετών 1957-2001. Σύμφωνα με τον σχετικό γεωλογικό χάρτη της γεωλογίας και του ιδρύματος ερευνών ορυκτών Ελλάδος, το ελλοχεύον στρώμα βράχου στην βόρεια πλευρά της βιομηχανίας είναι μειόκενο (βιογονικοί ασβεστόλιθοι, εύφορο χώμα, άργιλοι και συσσωματώματα) ενώ το ελλοχεύον στρώμα βράχου στην νότια πλευρά της βιομηχανίας είναι ανώτερο κρητιδικό (έντονα διαβρωμένοι ασβεστόλιθοι). Η βιομηχανία χοίρων που γίνεται η έρευνα εκτρέφει περίπου 16.000 ζώα (2,392 AU, 1 AU = 500 kg βάρος του κάθε ζώου) και ήταν σε λειτουργία 40 χρόνια. Η συνολική εκπομπή αμμωνίας υπολογίζεται περίπου 3,733 mg NH_3 h-1 AU-1 (~ 78,220 Kg NH_3 yr-1) (Liodakis et al. 2012).

Η περιοχή που μελετήσαμε είναι εδαφολογικά ασβεστολιθική με θάλασσα στον βορρά και λόφους στον νότο. Τα εδαφολογικά δείγματα λήφθηκαν σε διάφορες αποστάσεις και κατευθύνσεις γύρω από την χοιροτροφική μονάδα. Δεκατρείς πειραματικοί κύκλοι πραγματοποιήθηκαν στην διάρκεια 1,5 ετών που αρχίζουν από το Μάρτιο του 2009 μέχρι τον Οκτώβρη του 2010.

Στα δείγματα μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις του συνολικού και υδατοδιαλύτου ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου καθώς και του υδατοδιαλυτού αμμωνίου. Οι σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις των υδατοδιαλύτων κατιόντων βάσεων παρατηρήθηκαν στα εδαφολογικά δείγματα που λήφθηκαν από τα νότια όρια πλησιάζοντας την χοιροτροφική μονάδα και κατά την κατεύθυνση του ανέμου. Οι νότιες εδαφολογικές συγκεντρώσεις υδατοδιαλύτων Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} και NH_4^{+} κυμαίνονται μεταξύ 22.96 – 87.1 mg Ca^{2+} Kg^{-1} χώμα, 4.9 – 21.7 mg Mg^{2+} Kg^{-1} χώμα, 18.9 - 37 mg K^{+} Kg^{-1} χώμα και 80.2 – 0.3 mg NH_4^{+} Kg^{-1} , αντίστοιχα.

2.Πειραματική Διαδικασία

Το σχέδιο εδαφολογικής δειγματοληψίας σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας ένα σύστημα παγκόσμιας πλοήγησης(GPS), με τις θέσεις δειγματοληψίας στις κατευθύνσεις νότια, ανατολικά και δυτικά της βιομηχανίας, όπου ήταν δυνατό, και μεγάλος αριθμός δειγμάτων λήφθηκε κοντά στην βιομηχανία. Πρέπει να σημειωθεί ότι η νοτιοδυτική και η νοτιοανατολική κατεύθυνση θεωρούνται ως νότιας κατεύθυνσης. Κανένα δείγμα δεν λήφθηκε από την βόρεια κατεύθυνση της βιομηχανίας χοίρων, δεδομένου ότι το ερευνημένο IHFO βρίσκεται σε μια παραλιακή περιοχή με την θάλασσα από την βόρεια πλευρά και πολύ κοντά στα σύνορα της βιομηχανίας. Λήφθηκαν συνολικά 66 δείγματα, σύμφωνα με τις τυποποιημένες διαδικασίες που περιγράφηκαν από την αμερικάνικη Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος [(US EPA) Environmental Response Team 2000], από την περιοχή μελέτης και σε βάθος 30cm (Liodakis et al. 2012). Για να ληφθεί ένα αντιπροσωπευτικό εδαφολογικό δείγμα από μια μικρή περιοχή λίγων τετραγωνικών μέτρων, η στρατηγική δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται είναι να περπατήσει κατά μήκος διαμορφωμένη πορεία 'W' λαμβάνοντας τουλάχιστον 15 υπο-δείγματα.

Προκειμένου να γίνει σωστή συλλογή των δειγμάτων σε μικρά βάθη σύμφωνα με τη S.O.P. (standard operating procedure) της U.S. E.P.A.(environmental response team) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία κατά βήματα :

• Χρησιμοποιώντας καθαρό φτυάρι προσεκτικά μετακινείται το επάνω στρώμα του εδάφους μέχρι το επιθυμητό βάθος των 30 cm.

• Με μία καθαρή ανοξείδωτου χάλυβα σέσουλα ή ένα πλαστικό κουτάλι αφαιρείται και απομακρύνεται το λεπτό στρώμα εδάφους που ήρθε σε επαφή με το φτυάρι.

• Το δείγμα μεταφέρεται απευθείας σε κατάλληλο δοχείο, με ανοξείδωτου χάλυβα εργαστηριακό κουτάλι, και σφραγίζεται καλά.

• Το υπόλοιπο μέρος του δείγματος, τοποθετείται σε ανοξείδωτου χάλυβα, πλαστικό ή κατάλληλο ομογενές δοχείο και ανακινείται αρκετά ώστε να ληφθεί ομοιογενές δείγμα, αντιπροσωπευτικό ολόκληρης της περιοχής. Έπειτα τοποθετείται και αυτό σε δοχείο και σφραγίζεται καλά. Όλα τα εδαφολογικά δείγματα στεγνώθηκαν, αλέστηκαν και κοσκινίστηκαν 2 mm πριν από την ανάλυση.

Πίνακας 1: Πρωτόκολλο Δειγματοληψίας επιφανειακών δειγμάτων εδάφους. Οι κωδικοί των δειγμάτων υποδεικνύουν τον προσανατολισμό και την απόσταση από την μονάδα. (Ν: Νότια, Α: Ανατολικά, Δ: Δυτικά, ΝΑ: Νότια Ανατολικά, ΝΔ: Νότια Δυτικά)

Ημερομηνία δειγμα/ψίας	**Θέση δειγματοληψίας**							
15-3-2009	Α1200	Α1500						
19-4-2009	Ν10	Ν40	Ν100					
13-7-2009	Α20	Α40	Α100	Α400	Α600	ΝΔ900		
19-8-2009	Ν10	Δ20	Δ100	Ν100	Α400	Α600	Α700	ΝΔ900
6-9-2009	Ν100	Ν200	Α400	Α600				
13-9-2009	ΝΔ150	Α200	Ν300	Α600	Ν940			
27-9-2009	ΝΔ70	ΝΔ220	ΝΑ250	Α300	Α400	Ν940		
17-1-2010	Ν10	ΝΔ200	ΝΔ300	ΝΔ530	ΝΑ800	Ν900		
31-1-2010	Ν10	Α120	Ν150	Α200	Δ400	ΝΔ600	ΝΑ800	ΝΔ900
20-2-2010	Ν10	Ν100	Α200	ΝΔ530				
7-3-2010	Ν70	ΝΔ400	ΝΔ1100					
16-5-2010	Ν100	Ν200	ΝΔ530	ΝΔ1100				
23-10-2010	Ν60	Ν110	Ν220	Α250	Ν270	Ν320	ΝΔ1300	

Οι κωδικές ονομασίες των επιφανειακών δειγμάτων εκφράζουν τον προσανατολισμό και την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας (m).

3.Μέθοδοι και Υλικά

Α) Προσδιορισμός συγκεντρώσεων NH_4^+

Μια ευαίσθητη φασματοφωτομετρική διαδικασία έχει αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό των υδατοδιαλυτών ιόντων αμμωνίου που βασίζεται στο σχηματισμό ενός έγχρωμου συμπλόκου κατά την αντίδραση των ιόντων αμμωνίου με σαλικυλικό παρουσία υποχλωριώδους νατρίου και νιτροπρωσσικού. Το κατάλληλο εύρος βασικότητας για τον σχηματισμό του έγχρωμου συμπλόκου είναι 0,006 – 0,023 M NaOH και η στοιχειομετρική αναλογία είναι 1:2 (NH_4^+ : σαλικυλικό).

Το μήκος κύματος της μέγιστης απορρόφησης είναι 697,5nm και το σύστημα υπακούει το νόμο Lambert-Beer μεταξύ 0 και 2 μg ml^{-1}των ιόντων αμμωνίου. Έχει ληθφεί μια μοριακή απορροφητικότητα των $\hat{I}\mu=1.5 \times 10^4$ l mol^{-1} cm^{-1} και μια ευαισθησία Sandell των 9.3×10^{-4}μg cm^{-2}. Το όριο ανίχνευσης των ιόντων αμμωνίου είναι 10 μg L^{-1}. Η διαδικασία έχει καλή επιλεκτικότητα και ως εκ τούτου μπορεί να εφαρμοστέι στον άμεσο φασματοφωτομετρικό προσδιορισμό στα ίχνη ιόντων αμμωνίου του έδάφους. Για τον προσδιορισμό του υδατοδιαλυτού αμμωνίου αναμίχθηκαν 5g χώματος με 25 ml νερού για 30 λεπτά. Το διάλυμα ήταν φιλτραρισμένο, και ένα μέρος(2 ως 8 ml) του διηθήματος(που περιέχει ≤10 μg of NH_3-N) αναμίχθηκε με σαλικυλικό οξύ – κιτρικό Na (1 ml) και aq. 1% νιτροπρωσσικού νατρίου Na2[Fe(CN)5NO]·$2H_2O$ (0,1 ml). Το διάλυμα αραιώθηκε σε 9 ml με H_2O, 0,1ml NaClO σε 2M-NaOH και το μείγμα διαλύθηκε σε 10 ml με H_2O. Qiu et al. (1987).

Β)Προσδιορισμός των εδαφικών βασικών κατιόντων Ca^{2+}, Mg^{2+} και K^+

Για τον προσδιορισμό των συνολικών βασικών κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου στο έδαφος, έλαβε χώρα χώνευση σε ποσότητα ξηρού (στους 105 ^{0}C για 12h) χώματος σε συσκευή Digesdahl Digestion για βασικά κατιόντα και στη συνέχεια τα βασικά κατιόντα προσδιορίστηκαν σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου AAS.

Συσκευή Digesdahl Digestion για μέταλλα

Η διαδικασία της χώνευσης περιγράφεται ως εξής:

1. Λαμβάνεται δείγμα ξηρής λάσπης βάρους 0.50g, λειοτριβημένου. Προστίθενται 4ml πυκνού H_2SO_4.
2. Ταυτόχρονα ανοίγεται η συσκευή και θερμαίνεται στους 440 ^{0}C. Αφού επιτευχθεί η θερμοκρασία, το δείγμα τοποθετείται και ανοίγεται η βάνα του νερού για δημιουργία κενού.
3. Το δείγμα βράζει για περίπου έξι (6) λεπτά. Δεν πρέπει να φύγει όλο το οξύ. Εάν διαφύγει τότε η διαδικασία πρέπει να σταματήσει.
4. Προστίθενται 15ml H_2O_2 30%v/v και συνεχίζεται η θέρμανση για περίπου εφτά (7) λεπτά. Αν το δείγμα δε γίνει άχρωμο, χρειάζεται να προστεθούν επιπλέον 5 ml H_2O_2 30%v/v.
5. Η θέρμανση συνεχίζεται για περίπου έξι (6) λεπτά, όμως όχι έως ξηρού.
6. Το δείγμα ψύχεται στο *cooling pad*.
7. Προστίθενται αργά μερικά ml απιονισμένου νερού και το δείγμα διηθείται.

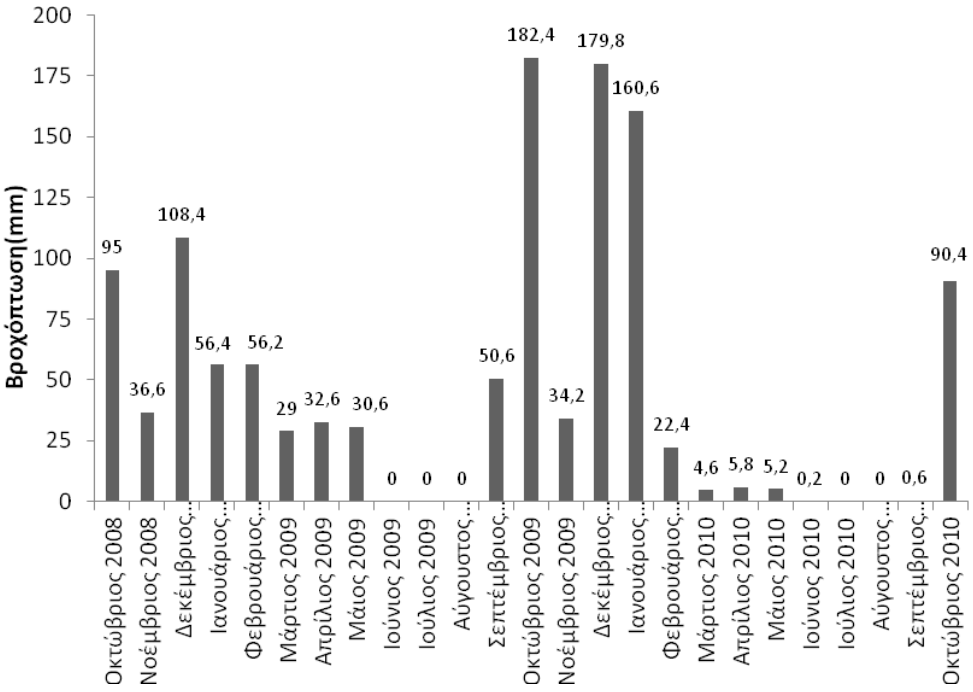
Το διάλυμα φέρεται με απιονισμένο νερό σε όγκο συνήθως 15ml και σε αυτό προσδιορίζονται τα βασικά κατιόντα στο φασματοφωτόμετρο της ατομικής απορρόφησης. Τα διαλύματα είτε αναλύονται αμέσως είτε αποθηκεύονται σε ψυγείο στους 4 ^{0}C πριν την ανάλυση. Κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας εκτελούνται και μετρήσεις τυφλών δειγμάτων (δοχεία + αντιδραστήρια χωρίς λάσπη). Πριν τις μετρήσεις, όλα τα σκεύη πλύθηκαν με αραιό διάλυμα HNO_3 (10%v/v) και μετά με απιονισμένο νερό.

Τα υδατοδιαλυτά Ca^{2+}, Mg^{2+} και K^+ μετρήθηκαν μέσω της ανάμιξης 5g ξηρού χώματος με 25 ml νερού για 5 λεπτά. Σε όλα τα εκχυλίσματα το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο καθορίστηκαν από την μέθοδο AAS.

Αποτελέσματα

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ύψος των βροχοπτώσεων σε mm στην περιοχή που μελετάμε από τον οκτώβριο του 2008 μέχρι τον οκτώβριο του 2010. Το ύψος των βροχοπτώσεων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην μελέτη διότι επηρεάζει τις υδάτινες μεταφορές. Αυξάνεται το ποσοστό του νερού στο έδαφος με συνέπεια να αυξάνεται και η κίνηση των ιόντων που υπάρχουν στο έδαφος.

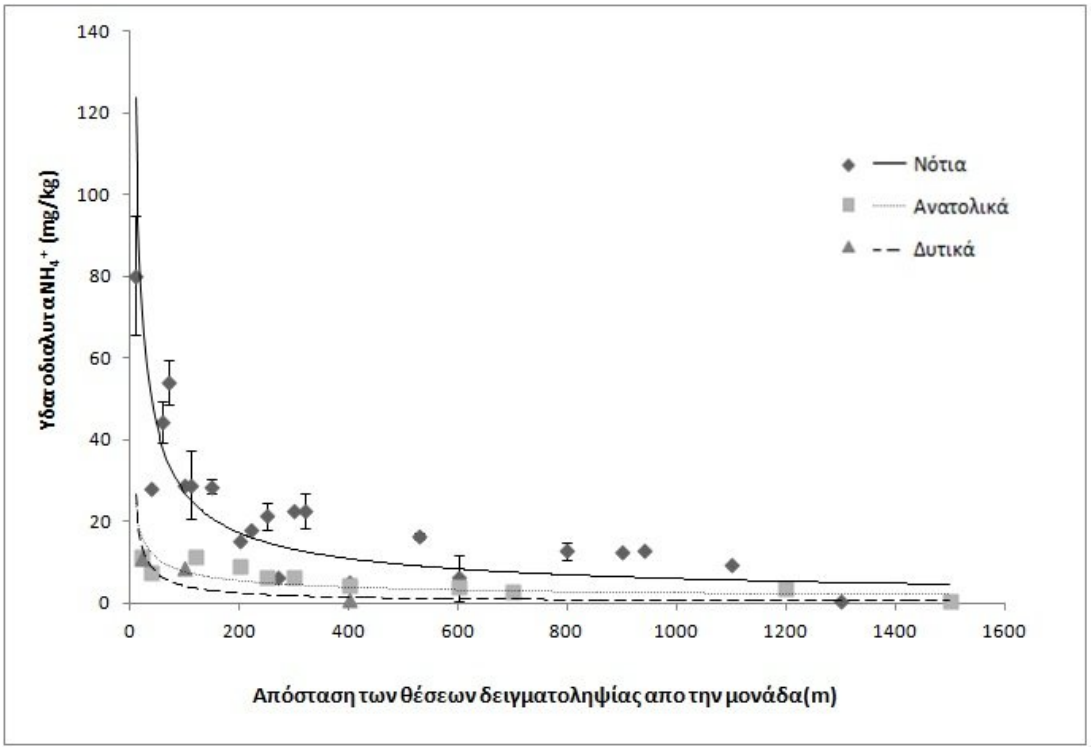
Πίνακας 1.1:Βροχόπτωση στο χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας στην περιοχή της δειγματοληψίας.[Meteo.gr]



Παρατηρούμε ότι οι βροχοπτώσεις είναι αυξημένες τους μήνες από Οκτώβρη μέχρι Μάιο και τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο βλέπουμε μηδενικό αριθμό βροχοπτώσεων. Οι βροχοπτώσεις τον χειμώνα ευνοούν την εναπόθεση αμμωνίας στο έδαφος σε αντίθεση με το καλοκαίρι όπου με την αύξηση τις θερμοκρασίας αυξάνεται και ο ρυθμός εκπομπών αμμωνίας από το έδαφος (Liodakis et al. 2012).

1) Υδατοδιαλυτά αμμωνιακά στο έδαφος

Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών NH_4^+ του επιφανειακού εδάφους σε σχέση με τις αποστάσεις των θέσεων δειγματοληψίας από τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας στις κατευθύνσεις νότια, ανατολικά και δυτικά. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην εικόνα 1 είναι οι μέσες τιμές των ακατέργαστων μετρήσεων από 13 πειραματικούς κύκλους.



Εικόνα 1:Μέση συγκέντρωση υδατοδιαλυτών NH_4^+-N σε συνάρτηση με την απόσταση της θέσης δειγματοληψίας από τα όρια της μονάδας στις νότιες, ανατολικές υδατοδιαλυτών NH_4^+ και δυτικές κατευθύνσεις.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 1, προσεγγίζοντας τα όρια της IHFO, ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό, οι μέσες συγκεντρώσεις των τείνουν να αυξηθούν λόγω της ξηρής απόθεσης και της διαπερατής εισαγωγής αμμωνίου στο χώμα.

Μία σημαντική πτυχή είναι η αξιολόγιση του αντίκτυπου των κατευθύνσεων του ανέμου στην απόθεση του αζώτου. Οι νότιες εδαφολογικές μέσες συγκεντρώσεις υδατοδιαλυτών NH_4^+ είναι υψηλότερες από εκείνες που λαμβάνονται από τις ανατολικές και δυτικές συγκεντρώσεις. (εικόνα 1). Έτσι, είναι προφανές ότι τα NH_4^+ που συγκεντρώνονται στο έδαφος είναι λόγω των βόρειων ανέμων που επικρατούν.

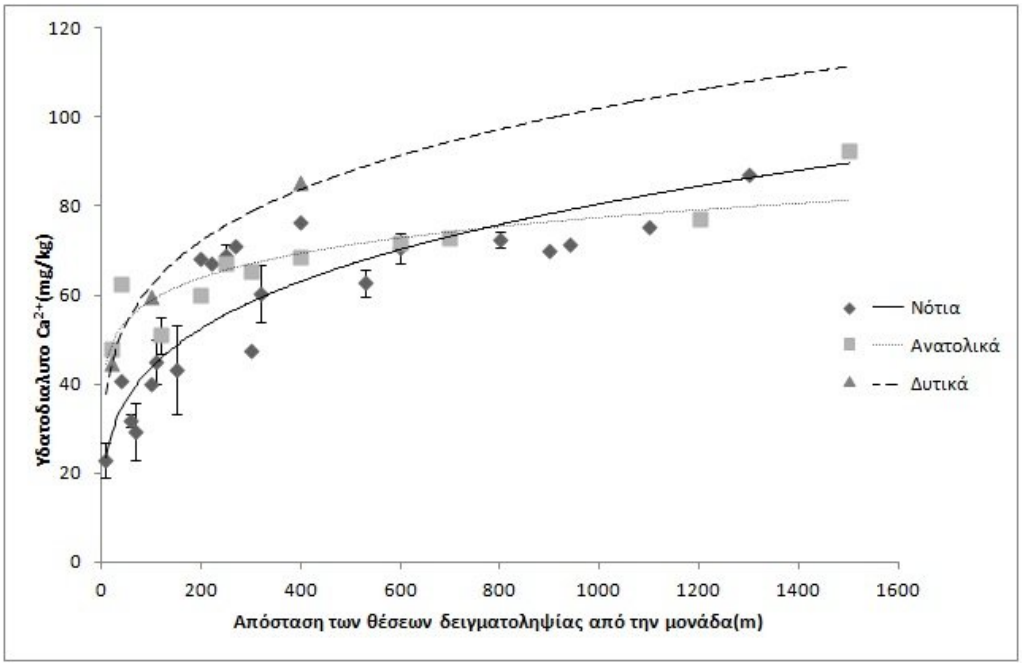
Στην νότια κατεύθυνση, μέχρι 100 μέτρα μακριά από τα όρια της IHFO, παρατηρούμε τη δραματική μείωση των συγκεντρώσεων των υδατοδιαλυτών NH_4^+ πάνω από το 50%(εικόνα 1). Παρόμοια αποτελέσματα δίνονται από Skiba et al. (1998) ο οποίος μελέτησε μία μονάδα πουλερικών 340.000 πτηνών (850 AU) και διαπίστωσε ότι τα ποσοστά απόθεσης N μειώθηκαν γρήγορα με την απόσταση μακριά από την μονάδα, και μειώθηκε κατά τουλάχιστον 50% σε μια απόσταση 100 μέτρων στην κατεύθυνση που φυσάει ο άνεμος.

Οι μέσες συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών NH_4^+ στα νότια, ανατολικά και δυτικά επιφανειακά δείγματα χώματος (0-30 cm βάθος) κυμαίνονται μεταξύ 80.2 -0.3 mg NH_4^+ Kg^{-1} χώματος, 11.3 – 0.5 mg NH_4^+ Kg^{-1} χώματος και 10.8 – 0.9 mg NH_4^+ Kg^{-1} χώματος, αντίστοιχα.

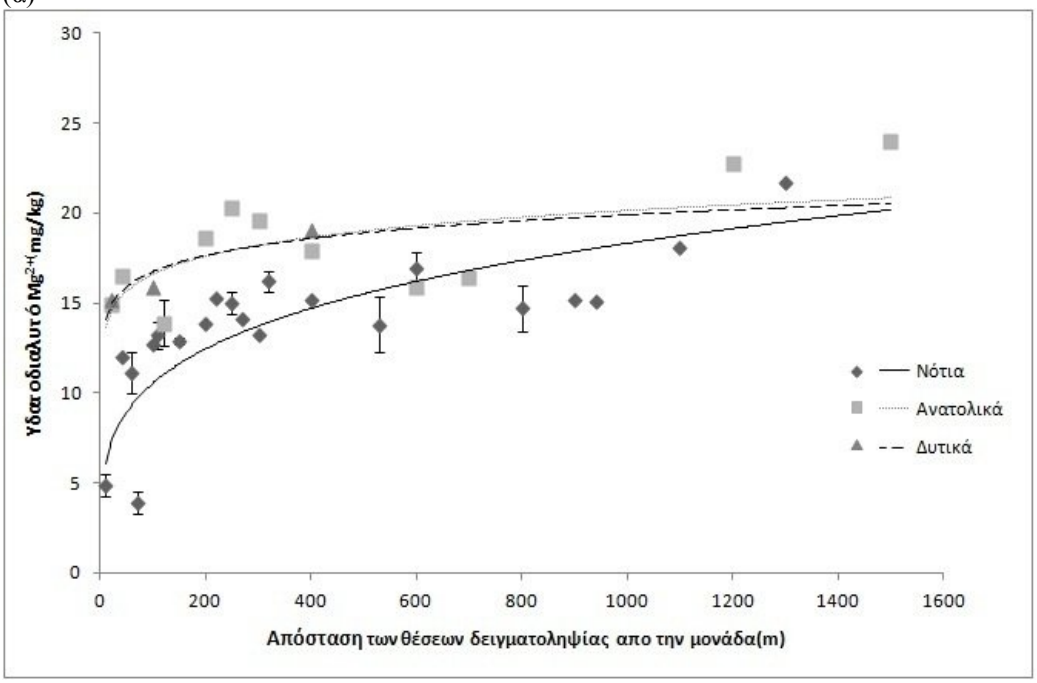
Η αμμωνία μετατρέπεται εύκολα σε νιτρικό άλας μέσω της διαδικασίας νιτροποίησης, η οποία αμμωνία μπορεί να απορροφηθεί από τις ρίζες των φυτών ή/και να εκπλυθεί κάτω από την εδαφοτομή. Ένα μικρό ποσοστό των ιόντων NH_4^+ μπορεί να κρατηθεί από τα μόρια του εδάφους ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άργιλο και την ορυκτολογία. Φαίνεται να υπάρχει συγκέντρωση NH_4^+ στα ανώτερα στρώματα του εδάφους , που ενδεχομένως οφείλεται στην συχνή απόθεση N στην περιοχή που μελετάμε.

2) Υδατοδιαλυτά κατιόντα στο εδαφος

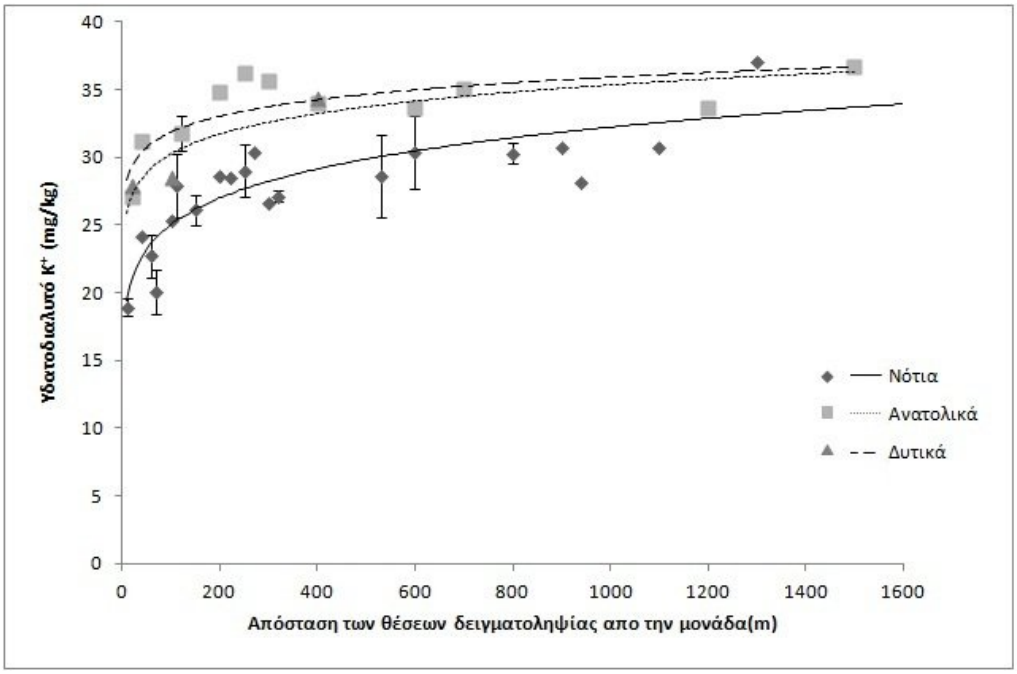
Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου επιφανειακού εδάφους συναρτήση της απόστασης ανάμεσα στις θέσεις της δειγματοληψίας στα νότια,ανατολικά και δυτικά όρια της μονάδας. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εικόνα 2 είναι οι μέσες τιμές των πρώτων μετρήσεων από τους 13 κύκλους μετρήσεων.



(α)

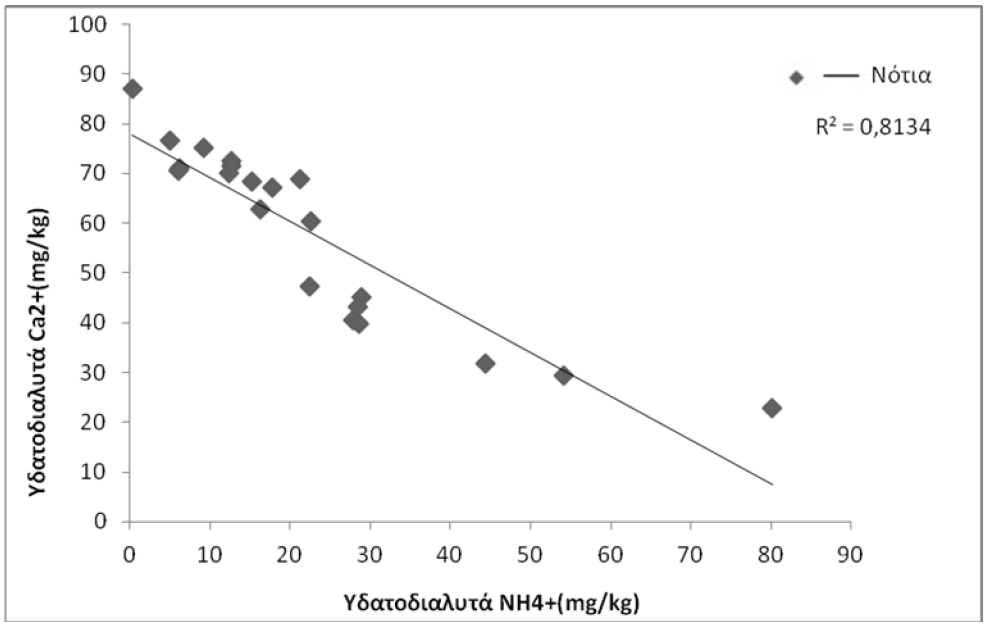


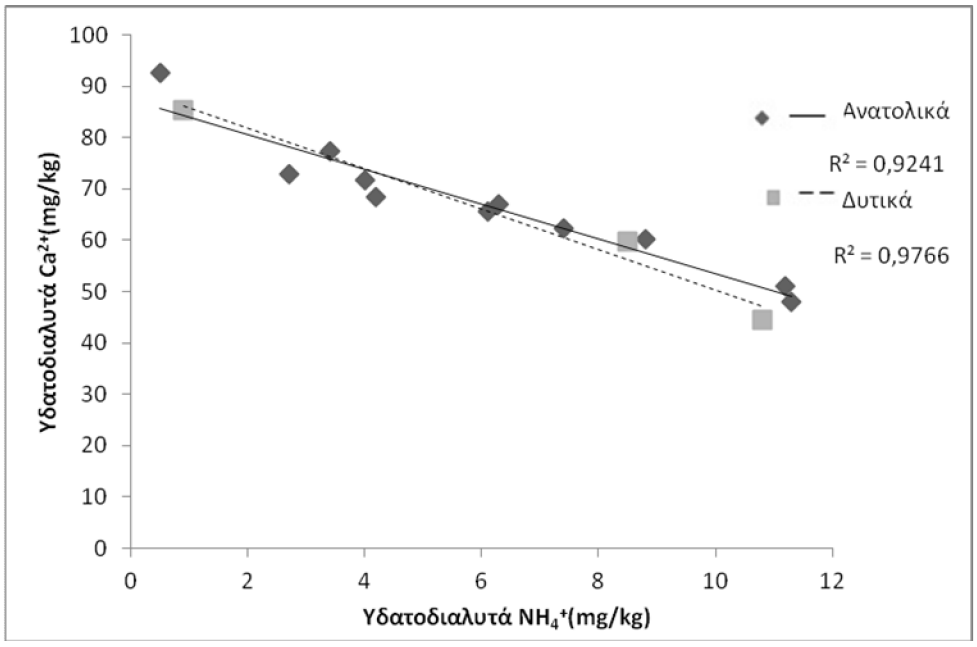
(β)

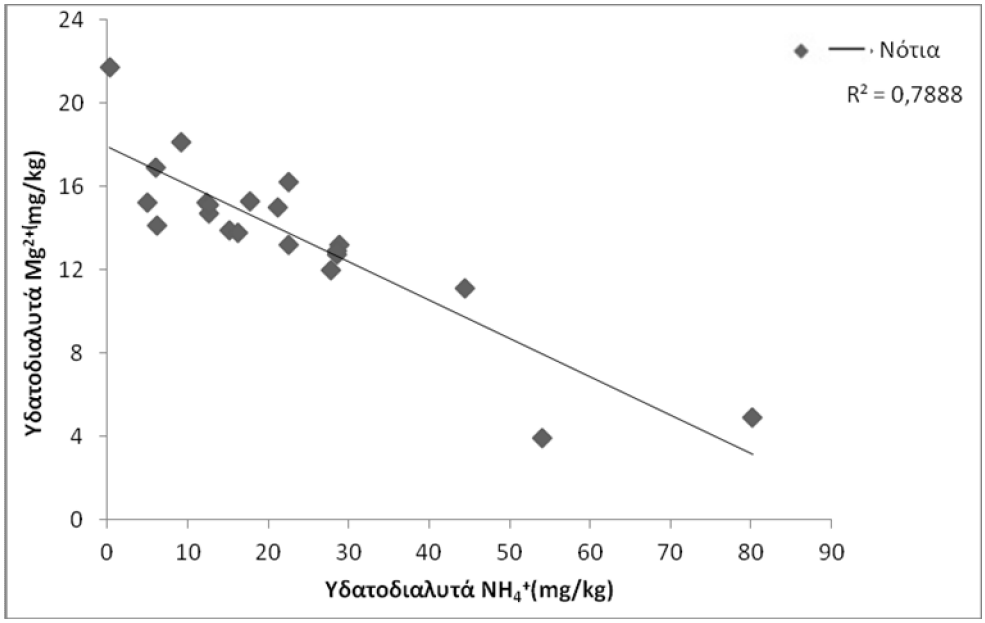


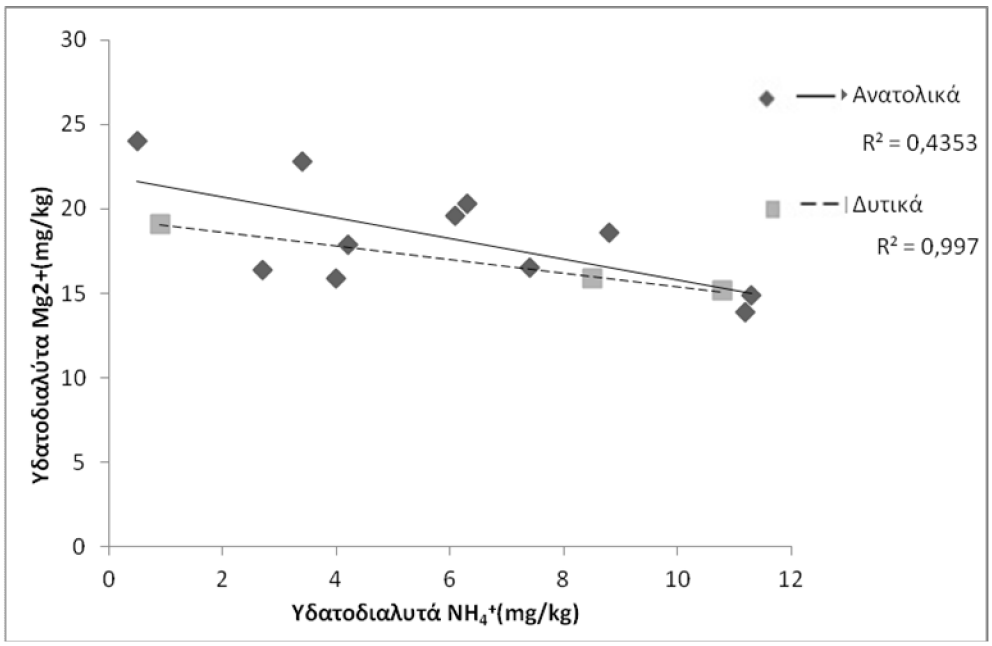
(γ)

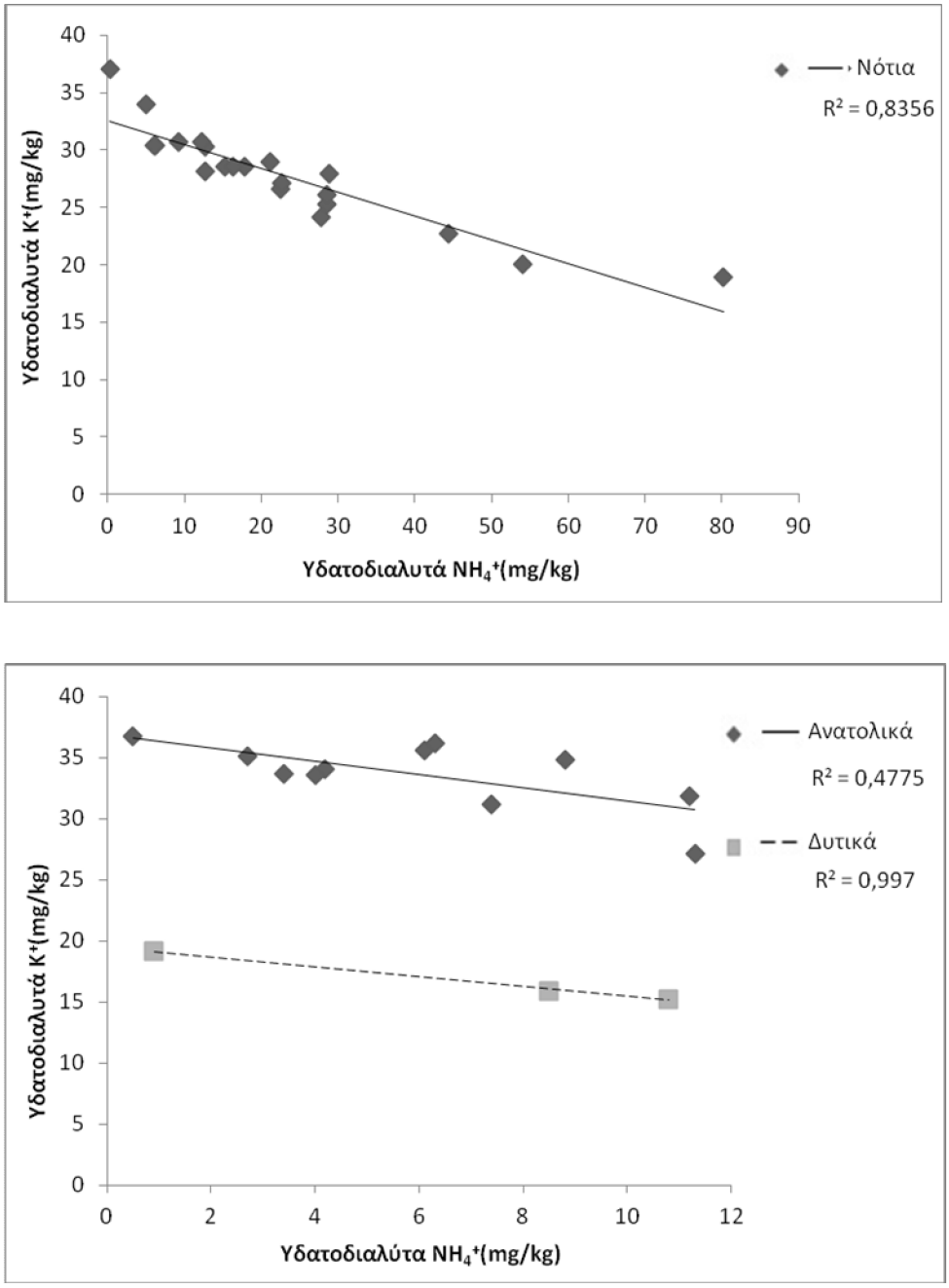
Εικόνα 2:οι μέσες συγκεντρώσεις βασικών κατιόντων των επιφανειακών δειγμάτων στις διάφορες κατευθύνσεις ανάλογα με την χοιροτροφική μονάδα στα νότια, ανατολικά και δυτικά (α)υδατοδιαλυτό Ca^{2+}, (β) υδατοδιαλυτό Mg^{2+} και (γ) υδατοδιαλυτό K^{+}


Νότια
R² = 0,8134
Υδατοδιαλυτά Ca2+(mg/kg)
Υδατοδιαλυτά NH4+(mg/kg)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


Ανατολικά
R² = 0,9241
Δυτικά
R² = 0,9766
Υδατοδιαλυτά Ca²⁺(mg/kg)
Υδατοδιαλυτά NH₄⁺(mg/kg)
0
2
4
6
8
10
12
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


Νότια
R² = 0,7888
Υδατοδιαλυτά Mg²⁺(mg/kg)
Υδατοδιαλυτά NH₄⁺(mg/kg)
0
4
8
12
16
20
24
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90


Ανατολικά
R² = 0,4353
Δυτικά
R² = 0,997
Υδατοδιαλύτα Mg2+(mg/kg)
Υδατοδιαλυτά NH₄⁺(mg/kg)
0
5
10
15
20
25
30
0
2
4
6
8
10
12



Εικόνα 3: Οι μέσες συγκεντρώσεις των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου σε συνάρτηση με της μέση συγκέντρωση αμμωνιακών στις κατευθύνσεις νότια, ανατολικά και δυτικά.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2, πλησιάζονται τα όρια της IHFO ανεξάρτητα της κατεύθυνσης, οι συγκεντρώσεις της μέσης υδατοδιαλυτής βάσης κατιόντων τείνει να μειωθεί λόγω της ξηρής και/ή της υγρής απόθεσης αμμωνίου στο έδαφος(φαινόμενο ανταλλαγης κατιόντων) **(Liodakis et al. 2012**).

Οι μέσες συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών Ca^{2+}, Mg^{2+} and K^{+} στα νότια, ανατολικά και δυτικά επιφανειακά δείγματα χώματος (0-30 cm βάθος) κυμαίνονται μεταξύ 22.96 – 87,1 mg Ca^{2+} Kg^{-1} χώματος (μείωση ~ 74 %, πλησιάζοντας τα όρια της IHFO), 4.9 – 21.7 mg Mg^{2+} Kg^{-1} χώματος (μείωση ~ 82 %) και 18.9 - 37 mg K^{+} Kg^{-1} χώματος (μείωση ~ 50 %) στα νότια, 48 – 92,5 mg Ca^{2+} Kg^{-1} χώματος (μείωση ~ 48 %), 14.9 - 24 mg Mg^{2+} Kg^{-1} χώματος (μείωση~ 42 %) και 27.1 – 36.7 mg K^{+} Kg^{-1} χώματος (μείωση ~ 27 %) στα ανατολικά, 44,6 – 85,4 mg Ca^{2+} Kg^{-1} χώματος (μείωση ~ 48 %), 15.2 – 19.1 mg Mg^{2+} Kg^{-1} εδάφους (μείωση ~ 20 %) και 27.9 – 34.3 mg K^{+} Kg^{-1} εδάφους (μείωση ~ 19 %) στα δυτικά, αντίστοιχα.

Παρατηρούμε στην εικόνα 3 ότι υπάρχει γραμμική αναλογία μεταξύ των αμμωνιακών με τα βασικά κατιόντα. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των αμμωνιακών, καθώς πλησιάζουμε τα όρια της βιομηχανίας, τόσο μειώνεται η συγκέντρωση των βασικών κατιόντων, λόγω την ξηρής ή/και υγρής απόθεσης αμμωνίου στο έδαφος.

3)Συνολικές συγκεντρώσεις κατιόντων

Οι μέσες συγκεντρώσεις του συνολικού ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου στα νότια, ανατολικά και δυτικά των επιφανειακών εδαφικών δειγμάτων (0-30 cm βάθος) κυμαίνεται μεταξύ 817.72 - 942.78 mmol Ca Kg^{-1} χώματος, 252.02 - 294.87 mmol Mg Kg^{-1} χώματος και 786.85 - 820.39 mmol K Kg^{-1} χώματος στα νότια, 893.36 - 926.29 mmol Ca Kg^{-1} χώματος, 268.39 - 291.85 mmol Mg Kg^{-1} χώματος και 804.82 - 820.16 mmol K Kg^{-1} χώματος στα ανατολίκα, 898.41 - 910.08 mmol Ca Kg^{-1} χώματος, 272.04 - 283.03 mmol Mg Kg^{-1} χώματος και 805.33 - 815.02 mmol K Kg^{-1} εδάφους στα δυτικά, αντίστοιχα.

Πίνακας 2:Εύρος των μέσων συγκεντρώσεων του ανώτερου στρώματος του εδάφους των συνολικών και υδατοδιαλυτών Ca, Mg και K και υδατοδιαλυτού αμμωνίου σε τρείς διευθύνσεις έως 400 μέτρα μακριά από τα όρια της μονάδας(N: Νότια, A: Ανατολικά, Δ: Δυτικά)

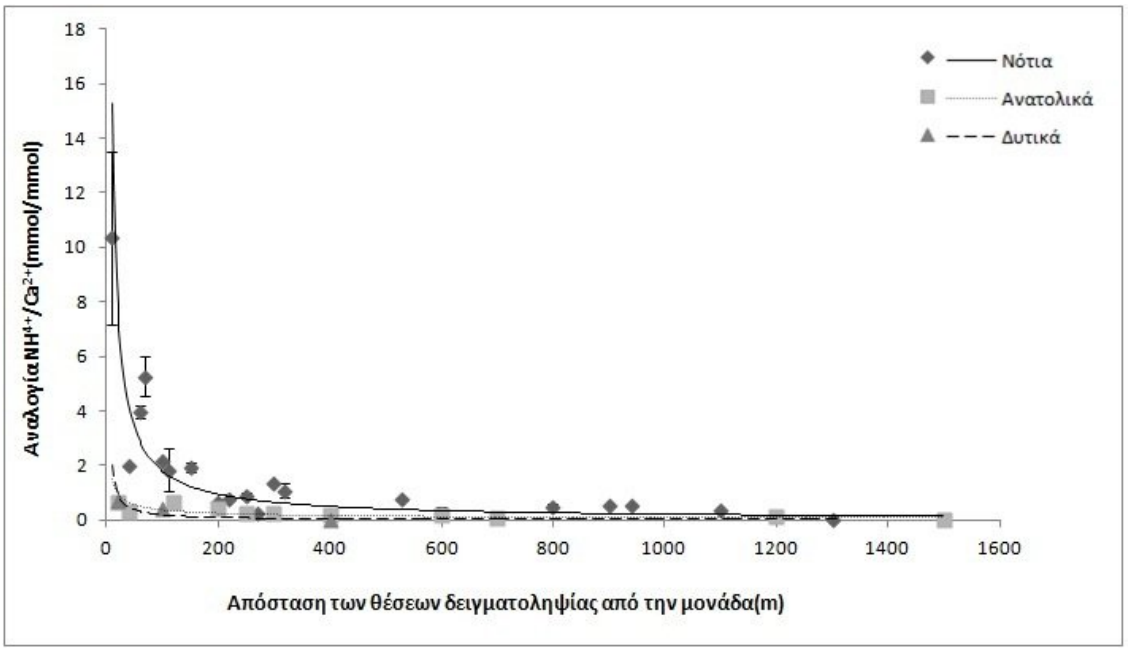
	Συστατικό	**Κατεύθυνση**	**Εύρος μέσης συγκέντρωσης (mmol Kg^{-1})**
	Ca	N	817.72 - 898.76
		A	893.36 - 922.79
		Δ	898.41 - 910.08
	Mg	N	252.02 - 282.73
Συνολικά		A	268.39 - 291.85
		Δ	272.04 - 283.03
	K	N	786.85 - 814.07
		A	804.82 - 820.16
		Δ	805.33 - 815.02
	Συστατικό	**Κατεύθυνση**	**Εύρος μέσης συγκέντρωσης (mmol Kg^{-1})**
	NH_4^+-N	N	0.36 - 5.73
		A	0.3 - 0.81
		Δ	0.06 - 0.77
	Ca^{2+}	N	0.57 - 1.91
		A	1.2 - 1.71
Υδατοδιαλυτά		Δ	1.11 - 2.13
	Mg^{2+}	N	0.16 - 0.67
		A	0.57 - 0.84
		Δ	0.63 - 0.79
	K^{+}	N	0.48 - 0.87
		A	0.69 - 0.93
		Δ	0.71 - 0.88

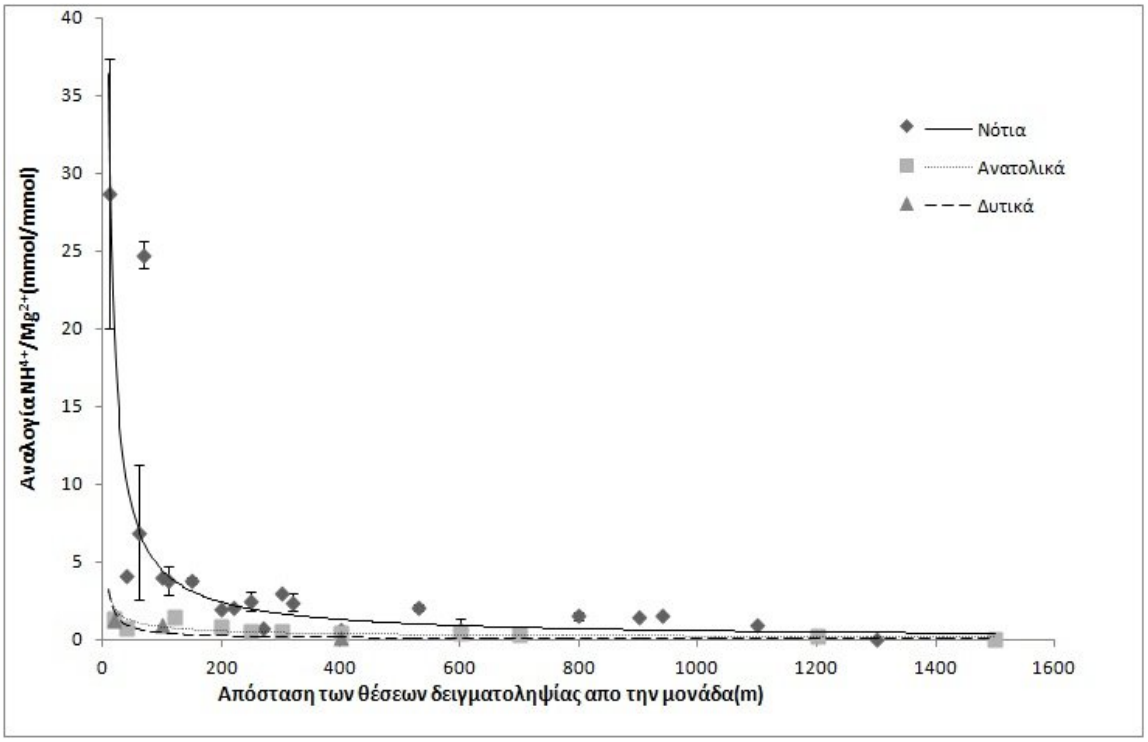
Πλησιάζοντας τα όρια ΙΗFO, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση, οι μέσες συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών ασβεστίων, μαγνησίων και καλίων του επιφανειακού χώματος τείνουν να μειωθούν εξαιτίας της αυξανόμενης οξύτητας(ξηρή ή/και υγρή απόθεση αμμωνίου) στα εδάφη κόντα στα όρια της βιομηχανίας το οποίο είναι αποτέλεσμα της μετακίνησης και της έκπλυσης των κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου στο έδαφος. Το συνολικό ασβέστειο, μαγνησίο και κάλιο θεωρείται σταθέρο λόγω του μικρού σφάλματος στην μέθοδο ανάλυσης.

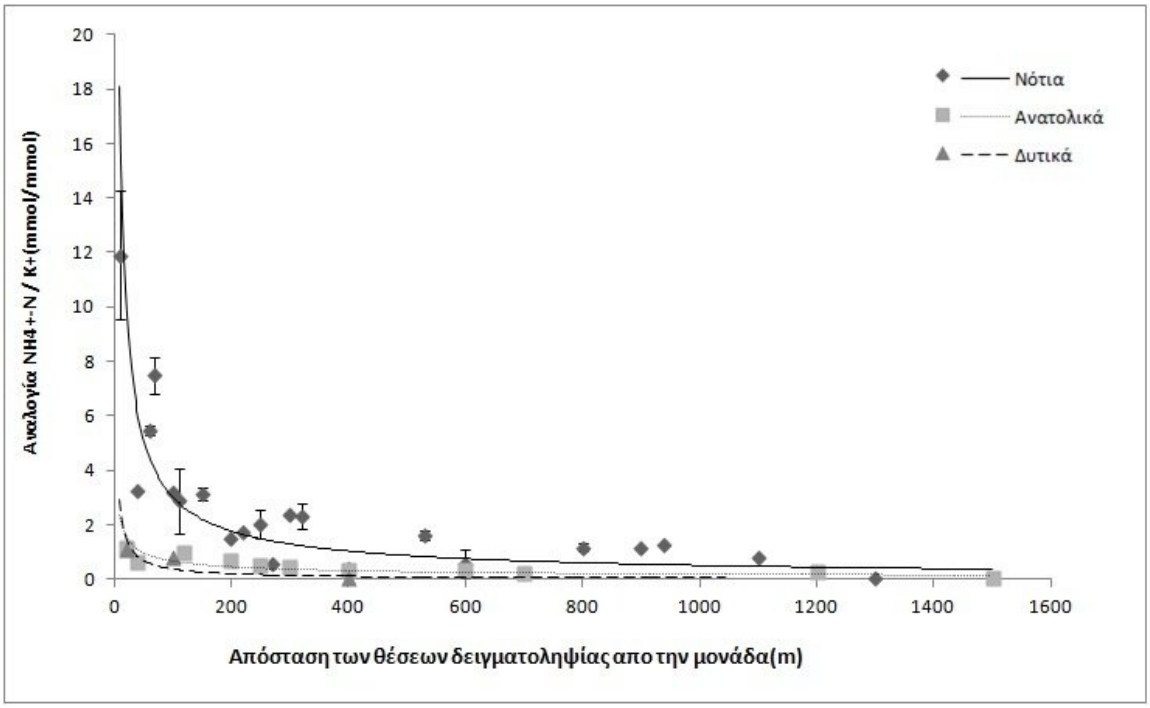
Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η εκτίμηση της επίδρασης της διεύθυνσης του ανέμου στις συγκεντρώσεις του επιφανειακού χώματος σε ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο. Στον πίνακα 2 δίνεται το εύρος των μέσων συγκεντρώσεων των συνολικών και υδατοδιαλυτών κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου του ανώτερου στρώματος του εδάφους καθώς επίσης και του υδατοδιαλυτού αμμωνίου σε τρείς διευθύνσεις (νότια, ανατολικά και δυτικά) έως 400 μέτρα μακριά από τα όρια της ΙΗFO.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 2υπήρχε ένας σημαντικός βαθμός μεταβλητότητας ανάμεσα στις μέσες συγκεντρώσεις των νότιων υδατοδιαλυτών κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου στα 400 μέτρα μακριά από τα όρια του χοιροστασίου. Οι μέσες συγκεντρώσεις των υδατοδιαυτών Ca^{2+}, Mg^{2+} και K^{+} είναι πολύ μικρότερες από αυτή που πήραμε κατά την μελέτη στο ανατολικό και δυτικό μέρος. Οπότε είναι προφανές ότι όσο υψηλότερη είναι η πρόσληψη NH_4^{+} (στην περιοχή κοντά στην χοιροτροφική μονάδα όπου επικρατούν κυρίως βόρειοι άνεμοι)τόσο περισσότερο οδηγεί σε σοβαρή εξάντληση του ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου.

Παρακάτω στην εικόνα 4 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των υδατοδιαλυτών NH_4^{+}-N : Ca^{2+}, NH_4^{+}-N : Mg^{2+} και NH_4^{+}-N : K^{+} του επιφανειακού χώματος συναρτήσει της απόστασης ανάμεσα στην θέσης δειγματοληψίας και τα όρια της μονάδας στην νότια, ανατολική και δυτική κατεύθυνση. Τα αποτελέσματα που φαίνονται στην εικόνα 3 είναι οι μέσες τιμές των πρώτων μετρήσεων από 13 πειραματικούς κύκλους.







Εικόνα 4:Μέσες τιμές των υδατοδιαλυτών NH_4^+-N : Ca^{2+}, NH_4^+-N : Mg^{2+} και NH_4^+-N : K^+ του επιφανειακού χώματος συναρτήσει της απόστασης ανάμεσα στην θέσης δειγματοληψίας και τα όρια της μονάδας στην νότια, ανατολική και δυτική κατεύθυνση.

Όπως φαίνονται στην εικόνα 4, πλησιάζοντας τα όρια της IHFO, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση, ο μέσος όρος των υδατοδιαλυτών NH_4^+-N : Ca^{2+}, NH_4^+-N : Mg^{2+} και NH_4^+-N : K^+ τιμών τείνει να αυξηθεί λόγω της πρόσληψης των αμμωνιακών από το έδαφος καθώς τα υδατοδιαλυτά ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο μειώνονται.

Στα νότια επιφανειακά εδάφη οι μέσες τιμές των υδατοδιαλυτών NH_4^+-N : Ca^{2+}, NH_4^+-N : Mg^{2+} και NH_4^+-N : K^+ είναι πολύ υψηλότερες από αυτές που λήφθηκαν στα ανατολικά και δυτικά εδάφη(εικόνα 4), ξεπερνώντας την κρίσιμη τιμή των 5 για NH_4^+-N : K^+, η οποία είναι προτιμώμενη για τα βόρεια Ευρωπαϊκά δάση, σε κοντινή απόσταση από τα όρια της μονάδας. Ωστόσο, δεν υπήρχε προφανής μείωση της γονιμότητας του εδάφους, που κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στην ύπαρξη επαρκών κατιόντων βάσης στο εδαφικό διάλυμα. Οι μέσες τιμές των υδατοδιαλυτών NH_4^+-N : Ca^{2+}, NH_4^+-N : Mg^{2+} and NH_4^+-N : K^+ στα νότια, ανατολικά και δυτικά επιφανειακά δείγματα εδάφους (0-30 cm βάθος) κυμαίνονται μεταξύ 0.01 - 10.35 mol NH_4^+-N mol^{-1} Ca^{2+}, 0.02 - 28.7 mol NH_4^+-N mol^{-1} Mg^{2+} και 0.02 - 11.91 mol NH_4^+-N mol^{-1} K^+ στα νότια, 0.02 - 0.68 mol NH_4^+-N mol^{-1} Ca^{2+}, 0.04 - 1.4 mol NH_4^+-N mol^{-1} Mg^{2+} και 0.04 - 1.17 mol NH_4^+-N mol^{-1} K^+ στα ανατολικά, 0.03 - 0.69 mol NH_4^+-N mol^{-1} Ca^{2+}, 0.08 - 1.22 mol NH_4^+-N mol^{-1} Mg^{2+} και 0.07 - 1.08 mol NH_4^+-N mol^{-1} K^+ στα δυτικά, αντίστοιχα (εικόνα 4).

Συμπεράσματα

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα είναι :

1.Οι εκπομπές NH_3 από την χοιροτροφική μονάδα οδηγούν σε υψηλή απόθεση υδατοδιαλυτου NH_4^+ όσο πλησιάζουμε τα όρια της χοιροτροφικής μονάδας, μέσω της διαδικασίας της ξηρής και υγρής εναπόθεσης.

2.Όλες οι εδαφολογικές ιδιότητες που μετρούνται σε αυτή την μελέτη, εκτός από το NH_4^+ που τείνει να αυξηθεί, τείνουν να μειωθούν σημαντικά κοντά στα όρια της χοιροτροφικής μονάδας. Κατά συνέπεια, είναι προφανές ότι οι κατατεθειμένη εναέριοι ρύποι συγκεντρώνονται στην περιοχή κοντά στην χοιροτροφική μονάδα.

3.Οι μέσες συγκεντρώσεις NH_4^+ στο έδαφος μειώθηκαν από 80.2, 54.1 και 28.6 mg NH_4^+ Kg^{-1} χώματος, , στα 10, 70 και 100 μέτρα από την μονάδα, κατά την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτή η τάση συμφωνεί με τα προηγούμενα ερευνητικά συμπεράσματα, όπου οι εδαφολογικές συγκεντρώσεις N αυξήθηκαν κοντά στις αντίστοιχες μονάδες ζωικής παραγωγής.

4.Η εναπόθεση N στα επιφανειακά εδάφη αυξάνεται καθώς πλησιάζουμε τα σύνορα της βιομηχανίας χοίρων και οδηγεί σε εξάντληση των βασικών κατιόντων (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+).

7.Σύμφωνα με τα δεδομένα των επιφανειακών χωμάτων, η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού αμμωνίου και τα βασικα κατιόντα(Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+) σχετίζονται γραμμικά, κατά την επιτόπια μελέτη εξαιτίας του εκτοπισμού κατιοντικής βάσης από NH_4^+ .

8.Τα υδατοδιαλυτα Ca^{2+}, Mg^{2+} και K^+ τείνουν να μειωθούν σημαντικά κοντά στις νότιες περιοχές της χοιροτροφικής μονάδας. Έτσι, είναι προφανές ότι η απόθεση αμμωνίας στην γύρω περιοχή συσχετίζεται με τις συγκεντρώσεις των Ca^{2+}, Mg^{2+} και K^+ του εδάφους αλλά και με την κατεύθυνση του ανέμου που είναι κύριως βόρειοι στην περιόχη που μελετάμε.

9. Οι μέσες τιμές των υδατοδιαλυτών NH_4^+-N : K^+ είναι υψηλότερες στα νότια, ξεπερνώντας την κρίσιμη τιμή των 5, η οποία είναι προτινόμενη για τα βόρεια Ευρωπαικά δάση. Ωστόσο, δεν υπήρχε προφανής μείωση της γονιμότητας του εδάφους, που κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στην ύπαρξη επαρκών βασικών κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα.

Συζήτηση

Παρατηρούμε ότι η λειτουργία κτηνοτροφικών μονάδων μεγάλης δυναμικότητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του εδαφικού αμμωνίου πλησίον αυτής και την μείωση των βασικών μεταλλικών κατιόντων του εδάφους (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}).

Διάφορες εργαστηριακές μελέτες που έχουν δημοσιευθεί σχετικά με την οξίνιση του εδάφους και την έκπλυση κατιόντων βάσεων παρουσιάζουν όμοια αποτελέσματα με τα δικά μας. Σε αυτές τις μελέτες, οι αναλύσεις εδάφους πραγματοποιήθηκαν μετά από προσομοίωση ετήσιας εναπόθεσης N (υγρή εναπόθεση). Σε μια έρευνα που διεξήχθη από Horswill et al. (2005), η εναπόθεση του αζώτου είχε επιπτώσεις στις συγκεντρώσεις των στοιχείων του εδάφους που διερευνήθηκαν σε όξινα και ασβεστολιθικά λιβάδια, στο Ηνωμένο Βασίλειο, σε εκτάσεις που χρησιμοποιούνταν για 8-10 χρόνια με 35-140 kg N ha^{-1} yr^{-1}. Η εναπόθεση του αζώτου προκαλεί την μείωση 23-35 % των συνολικών διαθέσιμων βάσεων, στα λιβάδια. Ο Lucas et al. (2011) μελέτησε τα αποτελέσματα της εναπόθεσης αζώτου στα βασικά κατιόντα (μέσος όρος απόθεσης 38 Kg N ha^{-1} yr^{-1}) στα εδάφη της νότιας Ευρώπης και της Αμερικής. Προσθήκες αζώτου οδηγούν σε σημαντική συνολική μείωση των υδατοδιαλυτών Ca^{2+}, Mg^{2+}, και K^+ στο μεγαλύτερο μέρος του εδάφους από 8, 11, και 4 %, αντίστοιχα. Σε εύκρατα δάση, λιβάδια και αρκτικά βιοσυστήματα που αντιμετωπίζουν σημαντικές μειώσεις στον μέσο όρο των υδατοδιαλυτών Ca^{2+}, Mg^{2+} και K^+ από 26, 25, και 22 %,αντίστοιχα.

Σε προηγούμενες μελέτες τα ασβεστούχα αλκαλικά εδάφη διαθέτουν καλή ρυθμιστική ικανότητα κατά της οξύνισης και η κατάστασή τους σε υψηλή βάση κατιόντων παρέχει βλάστηση με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις επιδράσεις των αποθέσεων N. Ωστόσο, τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι τα μεσογειακά ασβεστολιθικά χώματα, μπορούν να υποβληθούν σε μεγαλύτερη απώλεια βασικών κατιόντων πιθανώς εξαιτίας της υπερβολικά υψηλής απόθεσης N.

Οι μακροπρόθεσμες αλλαγές στα βασικά κατιόντα του επιφανειακού εδάφους στο σημείο της μελέτης μας, εφόσον η μελετούμενη βιομηχανία χοίρων λειτουργεί εδώ και 40 χρόνια, είναι άξια ιδιαίτερης σημασίας αφού δείχνουν ότι η εξάντληση βασικών κατιόντων και η απώλεια ρυθμιστικής ικανότητας έγινε ιστορικά, το οποίο θα μπορούσε να μειώσει την αντοχή του εδάφους σε τωρινά και μελλοντικά φορτία N. Η μελέτη μας είναι η πρώτη πειραματική απόδειξη ότι οι επιδράσεις της απόθεσης N μπορούν να επηρεάσουν την κατάσταση της βάσης του παράκτιου κρητικού ασβεστολιθικού χώματος με παρόμοιους τρόπους, όπως αυτοί που έχουν παρουσιαστεί σε δάση με χώματα φτωχά σε βάση, λιβάδια, και οικοσυστήματα βάλτων **(Falkengren-Grerup et al. 1987,Schulze 1989, Pilkington et al. 2005, Horswill et al. 2008).**

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. **Δ.Α. Αναλογίδης**, «Εδαφος, θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή», Εκδόσεις Αγρότυπος, Αθήνα 2000, σελ 307-361.

2. **Ανδρουλιδάκης Σ., Παπαδοπούλου-Ανδρουλιδάκη Ν., Τζιβανόπουλος Κ**., Στοιχεία εδοφολογίας και γεωργικών μηχανημάτων, Ίδρυμα ευγενίδου, Αθήνα 1981

3. **Δ. Αλιφραγκής**, «Το έδαφος, Γένεση-Ιδιότητες-Ταξινόμηση», Τόμος 1, Πρώτη έκδοση, Εκδόσεις Αιβαζή, Θεσσαλονίκη 2008, σελ 154-175, 231-247, 405-487

4. **Βαλαβανίδης, Βλαχογιάννη**, «Περιβαλλοντική Χημεία και Τοξικολογία» 2008

5. **Ι. Ν. Θεριός**, «Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα», εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 2005

6. **Μ.Καββαδάς**, «Στοιχεία εδαφομηχανικής», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1992.

7. **Ε. Χ. Κουτρουμπίνα**, «Αντιδράσεις αζώτου και φωσφόρου σε ιζήματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ευρώτα: κάθετη κατανομή» διπλωματική εργασία, Χανιά 2008

8. **Σ.Ε. Κουφοπούλου,** «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις επιβραδυντών δασικών πυρκαγιών σε έδαφος και υπόγεια νερά, μελέτη σε εργαστηριακή κλίμακα», Διδακτορική διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα 2008, σελ. 56-70, 75-84, 101-126.

9. **Η.Κρεμμύδας**, «Επίδραση επιβραδυντών δασικών πυρκαγιών στο έδαφος, Μελέτη απορροής φωσφορικών ιόντων από δασικό έδαφος σε εργαστηριακή κλίμακα», Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα 2006, σελ 4-19, 24-29.

10. **Ε. Λυκούδη** « Έδαφος: ανόργανα- οργανικά συστατικά» , Αθήνα 2005

11. **Χ. Μιχαλοπούλου**, «Νομοθεσία για το περιβάλλον», εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2004, σελ. 18-25, 372.

12. **Μ. Όξενκιουν-Πετροπούλου,** «Περιβάλλον Ατμοσφαιρική Ρύπανση », εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα **2002, σελ 71, 72, 90**

13. **Μ. Σακκάλλης** «Σημειώσεις εδαφολογίας 2011» ,δασικός λειτουργός

14. **Χ. Σαράφης,** «Διαχρονική πορεία της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων του Δήμου Αλμυρού από νιτρικά γεωργικής προέλευσης», 2004

15. **Κ.Χ.Σκούφη,** «Επίδραση επιβραδυντή μακράς διάρκειας σε στραγγίσματα δασικού εδάφους με ή χωρίς καύση της βλάστησης. Μελέτη παραμέτρων pH, Αγωγιμότητας, TDS, Χλωριόντων και Ολικής Σκληρότητας», Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα 2006, σελ 2-8, 34-44.

16. **Α. Στάμου**, «Βιολογικός καθαρισμός αστικών λυμάτων», εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2004, σελ. 20.

17. **Στυλιανίδη, Σιμώνη, Συργιαννίδη** « Θρέψη Λίπανση Φυλλοβόλων Οπωροφόρων Δένδρων » 2002

18. **Μ.Σφακιαννάκη, Κ.Μαγαλίου, Ι.Μπότσαρης**, « Έδαφος, Διάβρωση-Ερημοποίηση-Ρύπανση»

19. **Γ. Τζίχα**, «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των παραγόμενων αερίων ρύπων κατά τη διαχείριση πτηνο-κτηνοτροφικών αποβλήτων – Μέτρα αντιμετώπισης», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2005.

20. **Δρ.Φώτιος Βακάκης** Γεωπόνος- Γεωργοοικονομολόγος Γεωργία-Κτηνοτροφία, τεύχος 1/2008«Ελληνική χοιροτροφία- υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές»

21. **Α. Α. Χαρτσά -**Διατριβή 'Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων Νομού Ευβοίας' -Μυτιλήνη Νοέμβριος 2007

22. **Ν. Α. Χουλιαράς** «Η λίπανση στη βιολογική γεωργία», Λάρισα 2010

Ξένη βιβλιογραφία

1. **Aneja, V.P., Roelle, P.A., Murray, G.C., Southerland, J., Willem Erisman, J., Fowler, D., Asman, W.A.H., Patni, N., et al.** (2001). Atmospheric nitrogen compounds II: emissions, transport, transformation, deposition and assessment. *Atmospheric Environment, 35*(11), 1903-1911.

2. **D, Avery.** "Big Hog Farms Help the Environment," Published by Des Moines Register, December 7, 1997, cited in M. Scully, «Dominion», Published by St. Martin's Griffin, pp. 30.

3. **Bobbink**, **R., Hornung, M., Roelofs, J.G.M., et al.** (1998). The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology, 86*(5), 717-738.

4. **Boca Raton** Soil and agricultural chemistry. In: Manahan SE. *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Lewis Publishers, FL, 1993: 516-543.

5. **N S Bolan and P Loganathan, S Saggar** « Calcium and Magnesium in soils », 2005 New Zealand

6. **N.C. Brady**, «The Nature and Properties of Soils», Published by Macmillan Publishing Co, New York, 1974.

7. **GG. Briggs** «Predicting the behaviour of pesticides in soil from their physical and chemical properties», Published in the journal «Philosophical Transactions of the *Royal Society* B», London, 1990, **329:**pp. 375-382.

8. **KW. Brown, GC. Barbee, JC. Thomas, HE. Murray**, «Detecting organic contaminants in the unsaturated zone using soil and soil-pore water samples», Published in the journal «Hazard Waste Hazard Mat» (Publisher**:** Mary Ann liebert, Inc.), 1990, **7:** pp. 151-168.
9. **Coyne**, **M.S., & Frye, W.W**. (2005). Nitrogen in soils. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp: 13-21). USA: Elsevier Ltd.

10. **Clark, C.M., Cleland, E.E., Collins, S.L., Fargione, J.E., Gough, L., Gross, K.L., Pennings, S.C., Suding, K.N., Grace, J.B., et al**. (2007). Environmental and plant community determinants of species loss following nitrogen enrichment. *Ecology Letters, 10*(7), 596-607.

11. **David L. Rowell, 1994; Robert T. Meurise, 1990**

12. **H.F.G. Van Dijk, R.C.M. Creemers, J.P.L.W.M. Rijniers, J.G.M. Roelofs**, «Impact of artificial Ammonium – enriched rainwater on soils and young coniferous trees in a greenhouse. Part 1 – effects on the soils», Published in the journal «Environmental Pollution» (Publisher**:** Elsevier), Volume 62, Issue 4, 1989, pp. 317-336.

13. **KH. Domsch, G. Jagnow, T-H. Anderson**, «An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms», Published by Res Rev, 1983, **86:** pp. 65-105.

14. **KC. Donnelly, KW. Brown KW, JC. Thomas** «Bacterial mutagenicity of leachate water from municipal sewage sludge-amended soils», Published in the journal «Environmental Toxicology & Chemistry» (Publisher**:**John Wiley and Sons), 1990, **9:** pp. 443-451.

15. ***J. Dragun,*** *«The Soil Chemistry of Hazardous Materials», Published by Hazardous* Materials Control Research Institute, Silver Spring Maryland, 1988, pp.458-470.

16. **J.I. Drever**, «The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments», published by Prentice Hall, 3rd ed. Englewood Cliffs New Jersey, 1997.

17. **U. Falkengren-Grerup, H. Eriksson,** «Changes in soil, vegetation and forest yield between 1947 and 1988 in beech and oak sites of southern Sweden», Published in the journal «Forest Ecology and Management» (Publisher: Elsevier), 1990, 38: 37-53

18. **Greenland DJ, Hayes MHM**, eds. The Chemistry of Soil Constituents. John Wiley & Sons, New York, 1978.

19. **Heij, G.J., De Vries, W., Posthumus, A.C., Mohren, G.M.J., et al**. (1991). Effects of air pollution and acid deposition on forests and forest soils. In G.J. Heij, & T. Schneider (Eds.), Acidification research in the Netherlands - Final report of the Dutch priority programme on acidification (pp. 97-139). Amsterdam, London, New York, Tokyo: Elsevier.

20. **VS. Houk, DM. DeMarini,** «Use of the microscreen phage-induction assay to assess the genotoxicity of 14 hazardous industrial wastes», Published in the journal «Environmental and Molecular Mutagenesis», 1988, **11:** pp. 13-29.

21. **M. Jalali** « Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran »Received 21 October 2004

22. **C. Johnen,** «Raising a stink, The struggle over factory hog farms in Nebraska», Published by University of Nebraska Press, Lincoln and London, 2003, pp. 7, 15, 11

23. **WA. Jury, DD. Focht, WJ. Farmer**, Evaluation of pesticide groundwater pollution potential from standard indices of soil-chemical adsorption and biodegradation», Published in the journal «*Journal* of *Environmental Quality*», 1987, **16:** pp. 422-428.
24. **M. Kaufmann,** «Largest Pork Processor to Phase Out Crates», Published by The Washington Post, January 26, 2007.

25. **WHM. Van Kessel, RW. Brocades Zaalberg, W. Seinen** «Testing environmental pollutants on soil organisms: a simple assay to investigate the toxicity of environmental pollutants on soil organisms using cadmium chloride and nematodes». Published in the journal «Ecotoxicology and Environmental Safety» (Publisher**:** Elsevier), 1989, **18:** pp. 181-190.

26. **N.A.Krasil'nikov**, «Soil microorganisms and higher plants», Moscow 1958, Published by the Academy of Sciences of the USSR, Copublished for THE NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, WASHINGTON, D.C. and THE DE-PARTMENT OF AGRICULTURE, USA by THE ISRAEL PROGRAM FOR SCIENTIFIC TRANSLATIONS 1961, Part II

27. **Krupa**, S.V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH_3) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution, 124*, 179-221.

28. **P. Lagas**, «Sorption of chlorophenols in soil», Published in the journal «Chemosphere» (Publisher**:** Elsevier), 1988, **17:**pp. 205-216

29. **Liodakis, S.,** Michalopoulos, Ch., Efthymiou, E., Katsigiannis, G., et al. (2012). Soil Degradation Due to Vicinal Intensive Hog Farming Operations Located in East Mediterranean. *Water, Air & Soil Pollution*, *223*(1), 169-179.

30. **Liu**, **K.H., Mansell, R.S., Rhue, R.D., et al**. (1990). Cation removal during application of acid solution into air dry soil columns. *Soil Science Society of America Journal, 54*(6), 1747-1753.

31. **S.E. Manahan**, «Fundamentals of Environmental Chemistry: Soil and agricultural chemistry», Published by Lewis Publishers, Boca Raton Florida, 1993, pp. 516-543.

32. **A.Miles, M.Brown,** « Teaching Organic Farming and Gardening, Recourses for Instructors», Published by the university of California: Center for Agroecology and Sustainable Food Systems, manual, part II, unit 2.2. USA Santa Cruz 2003

33. **D. Osterberg and D. Wallinga,** «Addressing externalities from swine production to produce public health and environmental impacts», Published in the journal «American Journal of Public Health» (Publisher**:**American Health Association), 2004, pp.1703-1708.

34. **H.R. Pruppacher, R.G. Semonin, W.G.N. Slinn**, «Precipitation Scavenging, Dry Deposition and resuspension», Published by Elsevier, Vols. 1 and 2, New York, 1983.

35. **D.L. Rowell**, «Soil Science: Methods and applications», Published by Pearson/ Prentice Hall, 1994.

36. **J.A.A.R. Schuurkes, M.A. Elbers, J.J.F. Gudden, J.G.M. Roelofs**, «Effects of simulated ammonium sulphate and sulphuric acid rain on acidification, water quality and flora of small – scale soft water systems», Published by Aquatic Botany, 1987, 28: 199-226.

37. **M. Scully,** «Dominion», Published by St. Martin's Griffin, 2002, pp. 259, 29

38. **A. Sharma, V.K. Jalali, Sanjay** Arora « Non-exchangeable potassium release and its removal in foot-hill soils of North-west Himalayas »Received 7 December 2009

39. **H. Siegrist, PL. McCarty**, «Column methodologies for determining sorption and biotransformation potential of chlorinated aliphatic compounds in aquifers», Published in the journal «Contam Hydrol» (Publisher**:** Elsevier), 1987, **2:** pp. 31-50.

40. **MA. Silkowski, MJ. Plewa,** «Analysis of the genotoxicity of municipal incinerator ash», Published in the journal «Environmental and Molecular Mutagenesis», 1990, **15:** pp. 55-59.

41. **Skiba**, **U., Sheppard, L., Pitcairn, C.E.R., Leith, I., Crossley, A., van Dijk, S., Kennedy, V.H., Fowler, D., et al**. (1998). Soil nitrous oxide and nitric oxide emissions as indicators of elevated atmospheric N deposition rates in semi-natural ecosystems. *Environmental Pollution, 102*(1), 457-467.

42. **«State of the World 2006»,** Published by World watch Institute, pp. 26.

43. **K. M. Thu**, «Public Health Concerns for Neighbors of Large-Scale Swine Production Operations», Published in the journal «Journal of Agricultural and Safety Health» (Publisher**:**American Society of Agricultural and Biological Engineers), 2002, 8(2) pp. 175-184.

44. **G. Tyler** «Heavy metal pollution and soil enzymatic activity». Published in the journal «Plant Soil» (Publisher:Springer Netherlands), **1974**, **41:** pp. 303-311.

45. **G. Tyler** «The impact of heavy metal pollution on forests: a case study of Gusum», Published in the journal «Ambio» (Publisher:Springer Netherlands), Sweden, **19**84, **123:** pp. 18-24.

46. **US Environmental Protection Agency (US EPA). (2002).** Non-Water Quality Impact Estimates for Animal Feeding Operations. In: *Proposed Rule Development Document for Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs)*, EPA-821-R-01-003 (Chapter 13). Available from:
    a. http://www.epa.gov/npdes/pubs/cafo_nonwaterquality.pdf Accessed 25 Feb 2011.

47. **B. Walna, S. Drzymala, J. Siepak,** «The impact of acid rain on calcium and magnesium status in typical soils of the Wielkopolski National Park»,Published in the journal «The Science of the Total Environment» (Publisher**:** Elsevier), 1998, 220: 115-120.

48. **I. Williams**, «Environmental Chemistry: The composition and properties of soil», Published by Wiley & Sons, Chichester, 2001, pp. 130-135

49. **Zhang, J.E., Ouyang, Y., Ling, D.J., et al.** (2007). Impacts of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China. *Chemosphere*, 67(11), 2131-2137.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

1. «Factory farming» http://en.wikipedia.org/wiki/Factory_farming (Νοέμβριος 2009)

2. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους .prosodol http://www.prosodol.gr/?q=el/node/480#pH & οξύτητα – ρυθμιστική ικανότητα

3. http://www.frelectra.gr/pdf/sessiongr/Session24.pdf
   Αλληλεπίδραση νερού και περιβάλλοντος ,κεφάλαιο 4

4. http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_4.pdf

5. http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/ELFactSheet-01.pdf

6. http://fyta.createforumhosting.com/topic-t5231.html

7. http://fyi.uwex.edu/discoveryfarms/files/2011/06/Laboski-k-variability.pdf

8. http://www.haifa-group.com/greek/files/Articles/Articles_Greek/new_K.pdf

9. http://www.haifa-group.com/greek/files/Articles/Articles_Greek/contribution_of_potassium.pdf

10. http://fyta.createforumhosting.com/topic-t4741.html

11. http://www.scribd.com/doc «Πηγές και εκπομπές αέριων ρύπων στην Ελλάδα»