

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΜΑ

**«ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΞΙΝΩΝ
ΕΛΑΦΩΝ»**



ΚΟΤΣΙ ΜΑΡΙΖΑ , Α.Μ.: 12522
ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΝΙΚΟΣ, Α.Μ.: 12534

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΜΠΑΡΟΥΧΑΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών:

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτητές

Βασιλειάδης Νικόλαος

Κότσι Μαρίζα

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους εκείνους που συνέβαλαν και βοήθησαν στην πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής διατριβής. Τις θερμές ευχαριστίες μας εκφράζουμε στον επιβλέποντα καθηγητή μας κύριο Π. Μπαρούχα, Αναπληρωτή Καθηγητή, για την πολύτιμη βοήθεια του ώστε να έρθει εις πέρας το πείραμα αυτό. Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε την κ. Καυγά Α. και τον κ. Μπουραντά Γ. μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής μας για τον χρόνο που αφιέρωσαν στην πτυχιακή μας διατριβή καθώς επίσης και για τις σημαντικές παρατηρήσεις και συμβουλές τους. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τις οικογένειές μας για την οικονομική και ηθική υποστήριξη, υπομονή και κατανόηση σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	2
Κατάλογος Πινάκων	6
Κατάλογος Εικόνων	6
Περίληψη	7
Abstract	8
Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 1 ^ο : Το έδαφος στο χωράφι	11
1.1 Γενικά στοιχεία για το έδαφος	11
1.2 Η ποιότητα του εδάφους	12
1.3 Μέτρηση της οξύτητας των εδαφών – Ο ρόλος του pH	13
1.4 Η επίδραση του pH στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους	15
	3

1.4.1 Η υφή του εδάφους	15
1.4.2 Η δομή του εδάφους	15
1.4.3 Η διαπερατότητα του εδάφους	16
1.4.4 Η συνεκτικότητα του εδάφους	17
1.4.5 Το χρώμα του εδάφους	17
1.4.6 Η θερμοκρασία του εδάφους	17
1.5 Η επίδραση του pH στις χημικές ιδιότητες του εδάφους	18
1.5.1 CEC – AEC	18
1.5.2 Βαθμός κορεσμού με βάσεις	19
1.5.3 Ρυθμιστική Ικανότητα του Εδάφους ως προς το pH	20
1.6 Η επίδραση του pH στις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους	21
1.6.1 Οι μικροοργανισμοί του εδάφους	21
1.6.2 Οι μύκητες και τα βακτήρια του εδάφους	22
1.6.3 Γαιοσκώληκες	22
1.6.4 Πανίδα	23
Κεφάλαιο 2: Δημιουργία όξινων εδαφών και κατάταξη όξινων εδαφών	24
2.1 Δημιουργία όξινων εδαφών	24
2.3 Η προβληματικότητα των όξινων εδαφών	25
2.3 Η χημεία της εδαφικής αντίδρασης	28
2.4 Κατάταξη των όξινων εδαφών	29
2.4.1 Μετρίως όξινα εδάφη	31
2.4.2 Ισχυρώς όξινα εδάφη	33
2.4.3 Όξινα θειικά εδάφη	35
2.5 Τα όξινα εδάφη της Ελλάδας	36
Κεφάλαιο 3 ^ο : Οι παράγοντες που προκαλούν οξίνιση των εδαφών	39
3.1 Φυσικές συνθήκες που προκαλούν οξίνιση των εδαφών	40
3.1.1 Μητρικό υλικό	40
3.1.2 Μορφολογία – Ανάγλυφο εδάφους	40
3.1.3 Εκκρίσεις ριζών	41
3.1.4 Αργιλοπυριτικά υλικά	42
3.1.5 Διαλυτοποίηση ιόντων Al^{+3} και Fe^{+3}	42
3.1.6 Οργανική ουσία	43
3.1.7 Η αποσάθρωση των πετρωμάτων	43
3.2 Ανθρωπογενείς επιδράσεις που προκαλούν την οξίνιση του εδάφους	44
3.2.1 Χημικά λιπάσματα	44

3.2.2 Όξινη βροχή	46
3.3 Διαπίστωση όξινων εδαφών	50
Κεφάλαιο 4° : Η επίδραση της οξύτητας	51
4.1 Γενικά στοιχεία για την επίδραση της οξύτητας	51
4.2 Επίδραση του pH στους μικροοργανισμούς του εδάφους και στη διάσπαση της οργανικής ουσίας	51
4.3 Επίδραση του pH στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων	53
4.3.1 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του ασβεστίου στα φυτά	53
4.3.2 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του αζώτου στα φυτά	56
4.3.3 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του μολυβδαινίου στα φυτά	57
4.3.4 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του μαγνησίου στα φυτά	58
4.3.5 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του καλίου στα φυτά	59
4.3.6 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα φυτά	60
4.3.7 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του βορίου στα φυτά	63
4.4 Επίδραση της οξύτητας στα φυτά	64
4.5 Επίδραση της οξύτητας στο έδαφος	69
Κεφάλαιο 5° : Βελτίωση των όξινων εδαφών	70
5.1 Γενικά στοιχεία για την ασβέστωση των εδαφών	70
5.2 Μέθοδος Απαίτησης Εδάφους σε Ασβέστιο	73
5.3 Βελτίωση των Όξινων Εδαφών	78
5.3.1 Πρώτη μέθοδος	78
5.3.2 Δεύτερη μέθοδος	80
5.4 Η επίδραση των ασβεστούχων υλικών στα όξινα εδάφη	81
5.5 Οι στόχοι της ασβέστωσης	83
5.6 Η επιλογή του κατάλληλου υλικού ασβέστωσης	84
5.7 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ασβέστωση του εδάφους	85
Συμπεράσματα – Συζήτηση	88
Βιβλιογραφία	91
Ελληνική βιβλιογραφία	91
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	93
Πηγές διαδικτύου	95

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Οι εκτάσεις των όξινων εδαφών στην Βόρεια Ελλάδα	37
Πίνακας 2: Η τιμή του pH του εδάφους κάτω της οποίας η καλλιέργεια των φυτών θεωρείται προβληματική	73
Πίνακας 3: Περίληψη των μεθόδων απαίτησης εδάφους σε άσβεστο που χρησιμοποιούνται περισσότερο στις ΗΠΑ (με βάση μία έρευνα που διεξήχθη στα εργαστήρια δοκιμών εδάφους το 1995)	76

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Η κλίμακα του pH	30
Εικόνα 2: Ποσοστά συγκέντρωσης των σπουδαιότερων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους ανάλογα με την τιμή του pH	30
Εικόνα 3: Ο σχηματισμός της όξινης βροχής και οι αρνητικές επιπτώσεις της στο περιβάλλον	47
Εικόνα 4: Τροφοπενία ασβεστίου σε καρπούς τομάτας	55
Εικόνα 5: Τροφοπενία ασβεστίου σε καρπούς πιπεριάς	56
Εικόνα 6: Τροφοπενία αζώτου	57
Εικόνα 7: Τροφοπενία μολυβδαινίου	58
Εικόνα 8: Τροφοπενία μαγνησίου	59
Εικόνα 9: Τροφοπενία φωσφόρου	62
Εικόνα 10: Τροφοπενία βορίου	64

Περίληψη

Η ανάπτυξη των φυτών μιας καλλιέργειας προϋποθέτει την ύπαρξη ορισμένων εδαφικών και κλιματικών συνθηκών που θα επιτρέψουν τα φυτά να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο χωρίς προβλήματα. Σε κάποιες περιοχές διάφοροι παράγοντες συμβάλλουν στην μείωση της τιμής του pH που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση των όξινων προβληματικών εδαφών. Το φαινόμενο αυτό ενδέχεται να προκαλείται είτε εξαιτίας φυσικών συνθηκών είτε εξαιτίας διάφορων ανθρώπινων δραστηριοτήτων που διαταράσσουν το έδαφος. Εδάφη με ισχυρά όξινο pH είναι μικρής παραγωγικότητας και μειωμένης γονιμότητας. Ελάχιστες καλλιέργειες μπορούν επιτυχώς να αναπτυχθούν και να ευδοκιμήσουν σ' αυτά τα εδάφη. Στα

μετρίως όξινα εδάφη, ενδεχομένως μπορεί να αναπτυχθούν περισσότερα φυτά, αλλά υπό την προϋπόθεση ότι θα είναι γόνιμα, διαφορετικά, τόσο τα ισχυρώς όξινα όσο και τα μετρίως θα πρέπει να βελτιωθούν τόσο με τη χρήση υλικών ασβέστωσης όσο και ανόργανων λιπασμάτων. Η χαμηλή παραγωγικότητα των όξινων εδαφών οφείλεται στο γεγονός ότι το χαμηλό pH επιδρά δυσμενώς στις βασικές χημικές, βιολογικές και φυσικές διεργασίες. Το χαμηλό pH του εδάφους έχει αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς του εδάφους, στην διάσπαση της οργανικής ουσίας, στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών, στο έδαφος και κατ' επέκταση στην φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών της καλλιέργειας. Για τους παραπάνω λόγους η βελτίωση της τιμής του pH των όξινων εδαφών σε επιθυμητά επίπεδα με την προσθήκη ασβεστούχων υλικών, δηλαδή με την ασβέστωση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση της διαχείρισης του εδάφους προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγή αλλά και να βελτιωθεί η ποιότητα των αγροτικών προϊόντων. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή τόσο στο υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση του αγρού όσο και στην προστιθέμενη ποσότητα.

Λέξεις κλειδιά: pH εδάφους, όξινα εδάφη, ασβέστωση

Abstract

The growth of a crop's plants presupposes certain soil and climatic conditions that will allow the plants to complete their biological cycle without problems. In some areas, various factors contribute to the acidification of the soil and, mainly, to the creation of acidic problem soils. The creation of acidic soils can be due to natural conditions or human disturbance of the soil. Soils with a strongly acidic pH have low productivity and reduced fertility. Few crops can successfully grow and thrive in these soils. In moderately acidic soils, possibly more plants can be grown, but only if they are fertile; otherwise, both strongly acidic and moderately acidic soils should be improved with both liming materials and mineral fertilisers. The low productivity of acidic soils

is because low pH adversely affects basic chemical, biological, and physical processes. Low soil pH harms soil microorganisms, the decomposition of organic matter, the availability of nutrients, the soil, and, by extension, the normal growth of crop plants. For the above reasons, improving the pH value of acidic soils to desired levels by adding calcareous materials, i.e., by liming, is one of the most important tasks that must be done to achieve optimal soil management with the aim of not only increasing production but also improving the quality of the produced products. Special attention must be paid to the material used for liming the field and the amount added.

Keywords: Soil pH, acid soils, liming

Εισαγωγή

Το κλίμα, το έδαφος, η χλωρίδα και η πανίδα είναι πολύ στενά συνδεδεμένα με την ιστορία και την εξέλιξη του ανθρώπου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Το έδαφος αποτελεί το σπουδαιότερο συστατικό του φυσικού οικοσυστήματος. Οι εδαφικές ιδιότητες του εδάφους είναι συνέπεια των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν χώρα σ' αυτό το σύστημα.

Το σύστημα είναι αναγκαίο υλικό για πληθώρα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο άνθρωπος έχει την ικανότητα να το αξιοποιεί μόνο στην περίπτωση που έχει τις απαραίτητες γνώσεις για τον τρόπο με τον οποίο δημιουργήθηκε καθώς επίσης και

για τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να επηρεαστούν οι ιδιότητες του από τις μεταβολές που παρατηρούνται στο φυσικό σύστημα (Βαλαβανίδη & Βλαχογιάννη, 2012).

Μπορεί το φαινόμενο της οξίνισης των εδαφών να είναι γνωστό από την αρχαιότητα αλλά ο άνθρωπος και οι δραστηριότητες του ευθύνονται σε ένα μεγάλο βαθμό για την υποβάθμιση της γης των ευαίσθητων οικοσυστημάτων, η οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι μη αναστρέψιμη. Από την πρώτη στιγμή που ο άνθρωπος ξεκίνησε να εκμεταλλεύεται τους φυσικούς πόρους προέκυψαν και διάφοροι άλλοι παράγοντες, εκτός από τους φυσικούς, που επιδρούν και καθορίζουν το pH του εδάφους μιας περιοχής. Σε γενικές γραμμές οι κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες σε συνδυασμό με τις πρακτικές διαχείρισης της γης ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την καταστροφή της φυσικής βλάστησης και την γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος που παρατηρείται ολοένα και εντονότερα τα τελευταία χρόνια (Tyler Miller, 2006)

Τις τελευταίες δεκαετίες λοιπόν είναι εντονότερη η ανάγκη να γίνει ορθολογική χρήση του εδάφους. Ο άνθρωπος δεν έχει την ικανότητα να επέμβει στην βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους αλλά μπορεί να ελέγξει και να τροποποιήσει τις χημικές του ιδιότητες προκειμένου να εξασφαλίσει την ομαλή ανάπτυξη των καλλιεργειών και την εξασφάλιση των υψηλών αποδόσεων τους.

Η παρακάτω εργασία αναφέρεται στα όξινα εδάφη και πιο συγκεκριμένα στον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται, τους παράγοντες που επιδρούν στην δημιουργία τους καθώς επίσης και στο τρόπο οξίνισης του εδάφους ανάλογα με τις πηγές εφοδιασμού του με H^+ . Παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των εδαφών με βάση τον δείκτη pH καθώς επίσης και η μέτρηση της οξύτητας του εδάφους (ρόλος του pH) και η ρυθμιστική ικανότητα του pH έτσι ώστε να μπορέσουμε να φτάσουμε στο αρχικό και επιθυμητό pH. Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια να αναλυθεί η προβληματικότητα αυτών των εδαφών και η επίδραση που έχει η οξύτητα στους φυτικούς οργανισμούς, στο έδαφος, στους μικροοργανισμούς του εδάφους, στη διάσπαση της οργανικής ουσίας αλλά και στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Τέλος, παρατίθενται οι μέθοδοι βελτίωσης των όξινων εδαφών και η

ουδετεροποίηση αυτών σύμφωνα με το pH έτσι ώστε τα εδάφη αυτά να είναι πιο παραγωγικά και λειτουργικά ως προς την καλλιέργεια (Tyler Miller, 2006).

Ο αντικειμενικός σκοπός της παρακάτω εργασίας είναι ο αναγνώστης να κατανοήσει αρχικά πώς δημιουργούνται τα όξινα εδάφη, τα χαρακτηριστικά τους και πώς λειτουργούν ως προς τα φυτά, το έδαφος, τους μικροοργανισμούς και τέλος τα θρεπτικά στοιχεία. Ενώ ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι ότι με τις παραπάνω πληροφορίες, γνώρισματα, μεθόδους βελτίωσης και ουδετεροποίηση του pH, τα όξινα εδάφη από προβληματικά όπως χαρακτηρίζονται λόγω του μειωμένου τους pH, μέσα από κατάλληλους χειρισμούς να επιτευχθεί επαναφορά του pH σε φυσιολογικά επίπεδα (5.5-6.5 pH). Έτσι ώστε να ναι τα εδάφη αυτά πιο παραγωγικά και λειτουργικά ως προς καλλιέργεια (Tyler Miller, 2006).

Κεφάλαιο 1^ο : Το έδαφος στο χωράφι

1.1 Γενικά στοιχεία για το έδαφος

Η επιφάνεια της γης αποτελείται από 3 διαφορετικά ανόργανα υλικά, το νερό (συμπεριλαμβανομένου του χιονιού), τα πετρώματα και το έδαφος. Τα υλικά αυτά απαντούν σε ποικίλους συνδυασμούς και ποσοστά.

Με τον όρο έδαφος αναφερόμαστε στο ανώτερο στρώμα της επιφάνειας της γης πάνω στο οποίο οι φυτικοί οργανισμοί ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο. Το έδαφος

σχηματίζεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων είτε αυτή είναι φυσική είτε είναι χημική. Στην φυσική αποσάθρωση παρατηρείται θρυμματισμός των πετρωμάτων σε διάφορα σημεία. Στην χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων παρατηρείται μεταβολή της χημικής τους σύνθεσης (Αλιφραγκής, 2008).

Το έδαφος σε μια κάθετη τομή εμφανίζει οριζόντια στρώματα, τους ορίζοντες. Κάθε ένας από τους ορίζοντες λοιπόν έχει προκύψει από διάφορους παράγοντες που συνέβαλαν στην εδαφογένεση και διαθέτει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Πιο αναλυτικά, το έδαφος φιλοξενεί φυτά, ζώα, μικροοργανισμούς και είναι ιδιαίτερα σημαντικές οι διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτό. Στο έδαφος φυτρώνουν οι σπόροι, αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών και το έδαφος αναλαμβάνει να εφοδιάσει τα φυτά με τα απαραίτητα για την ανάπτυξη τους θρεπτικά συστατικά. Σε κάθε περίπτωση οι διεργασίες εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή. Από τις ίδιες συνθήκες εξάλλου εξαρτάται και το μεγάλο εύρος εδαφών με διαφορετικές ιδιότητες που κατανέμεται σε ολόκληρο τον πλανήτη (Μήτσιος, 2004).

Οι φυσικοχημικές και οι βιολογικές ιδιότητες του εδάφους ποικίλλουν από έδαφος σε έδαφος και οι περισσότερες από τις ιδιότητες αυτές επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το pH του εδάφους. Μάλιστα είναι τόσο μεγάλη η επίδραση που έχει η τιμή του pH σε μια καλλιέργεια που είναι πιθανό να θεωρηθεί ένα έδαφος ακατάλληλο για μια καλλιέργεια εξαιτίας της τιμής του pH του.

1.2 Η ποιότητα του εδάφους

Με τον όρο ποιότητα του εδάφους αναφερόμαστε σε όλα τα φυσικοχημικά και βιολογικά του χαρακτηριστικά. Σε περίπτωση που επιθυμούμε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της ποιότητας του εδάφους είναι σημαντικό να μετρώνται όλες οι κατηγορίες ιδιοτήτων οι οποίες περιγράφουν τα συστατικά αυτά παρόλο που τα συστατικά αυτά δεν είναι το ίδιο σημαντικά για όλους τους εδαφικούς τύπους. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία δεν είναι μια σημαντική παράμετρος σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα αλατότητας.

Η ποιότητα του εδάφους εκτιμάται με δύο τρόπους, ο πρώτος είναι με την μέτρηση της σε περιοδικά διαστήματα προκειμένου να ελέγχονται οι μεταβολές της και ο δεύτερος τρόπος περιλαμβάνει την σύγκριση των αριθμητικών τιμών που προκύπτουν από τις μετρήσεις με standards.

Σε κάθε περίπτωση η ποιότητα του εδάφους αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη αειφορίας του αφού έχει άμεση επίδραση που έχει στην παραγωγή μιας καλλιέργειας, στην θρέψη των φυτών, την υγεία των ζώων και των ανθρώπων. Η ποιότητα του εδάφους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την γονιμότητα του εδάφους, την ικανότητα του να στραγγίζει, την τιμή του pH του, την οργανική ουσία που περιέχει, την ηλεκτρική του αγωγιμότητα καθώς επίσης και την συγκέντρωση του σε νιτρικά ιόντα. (Mausbach & Tugel 1997)

Για να μπορεί όμως να εκτιμηθεί η ποιότητα του εδάφους με τρόπο αποτελεσματικό είναι σημαντικό να υιοθετηθούν όλες εκείνες οι προσεγγίσεις οι οποίες επιτρέπουν την ολιστική έρευνα μέσα από την συμμετοχή ερευνητών αλλά και παραγωγών με την βοήθεια πάντα των διαθέσιμων τεχνολογικών μέσων.

1.3 Μέτρηση της οξύτητας των εδαφών – Ο ρόλος του pH

Υπάρχουν δύο τύποι οξύτητας του εδάφους: Η ενεργή οξύτητα που εμφανίζεται λόγω της υψηλής συγκέντρωσης ιόντων H^+ στο εδαφικό διάλυμα που αποδίδεται στο ανθρακικό οξύ (H_2CO_3), υδατοδιαλυτά οργανικά οξέα, υδρολυτικά όξινα άλατα. και ανταλλάξιμη οξύτητα που αναφέρεται σε εκείνα τα ιόντα H και Al που προσροφούνται στα κolloειδή του εδάφους. Υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ των προσροφημένων και των ιόντων του εδαφικού διαλύματος (δηλαδή της ενεργού και της ανταλλακτικής οξύτητας), επιτρέποντας την έτοιμη μετακίνηση από τη μια μορφή

στην άλλη. Μια τέτοια κατάσταση ισορροπίας έχει μεγάλη πρακτική σημασία, καθώς παρέχει τη βάση για τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους ή την αντίστασή του στη μεταβολή του pH. Δεδομένου ότι τα προσροφημένα ιόντα H και Al μετακινούνται στο εδαφικό διάλυμα, η οξύτητά του αναφέρεται επίσης ως προσροφημένη, δυνητική ή εφεδρική. Η οξίνιση του εδάφους λαμβάνει χώρα λόγω της έκπλυσης βασικών κατιόντων που προκαλείται από το ανθρακικό οξύ, της διάβρωσης των όξινων μητρικών υλικών, της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και της εναπόθεσης ατμοσφαιρικών αερίων όπως SO₂ , NH₃ , HNO₃ και HCl (Goulding 2016; Rahman , 2018)

Ο όρος «εδαφική αντίδραση» αναφέρεται στο βαθμό οξύτητας του εδάφους ή στη συγκέντρωση των ιόντων H⁺ στο εδαφοδιάλυμα. Εκφράζεται με το σύμβολο pH το οποίο ισούται με:

$$\text{pH} = - \log[\text{H}^+]$$

όπου (H⁺) = γ [H⁺], γ είναι ο συντελεστής ενεργότητας του H⁺ και [H⁺] είναι η συγκέντρωση των ιόντων H⁺ στο διάλυμα σε mol / l. Η αντίδραση των εδαφών ενδέχεται να είναι όξινη, ουδέτερη ή αλκαλική και εκφράζεται ως pH. Με τον όρο pH ορίζεται η ενεργότητα των ιόντων του H⁺ στο εδαφικό διάλυμα εκφραζόμενη ως αρνητικός λογάριθμος. Το pH το οποίο απαριθμεί τα ιόντα H⁺ στο εδαφικό διάλυμα ονομάζεται ενεργός οξύτητα. Το pH του εδαφικού διαλύματος που αποτελεί και την ενεργό οξύτητα του καταλαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 2 έως 10,5. Για παράδειγμα η ενεργότητα των ιόντων του υδρογόνου κυμαίνεται από 10⁻² έως 3 * 10⁻¹¹ mol / l. Επειδή το υδρογόνο βρίσκεται στο υδατικό διάλυμα με την ιοντική του μορφή, η ενεργός οξύτητα βρίσκεται σε ισορροπία με τα ιόντα του υδρογόνου ή και του αργιλίου ή με τις πολύ υδροξυλιωμένες μορφές του αργιλίου που είναι προσροφημένες στη στερεή φάση του εδάφους.

Το pH σε ένα εδαφικό διάλυμα μειώνεται μέσω της στιβάδας διάχυσης η οποία απαντά σε κοντινή απόσταση από την επιφάνεια που φέρει αρνητικό φορτίο. Από πρακτικής άποψης επιλέγεται να θεωρείται η τιμή του pH του εδάφους ως την τιμή του pH του εδαφικού διαλύματος σε εδαφικούς όρους σε ένα υγρό έδαφος και ο λόγος συμβαίνει αυτό είναι εξαιτίας του εδαφικού διαλύματος το οποίο είναι σε άμεση επαφή με το ριζικό σύστημα των φυτών. Το εδαφικό διάλυμα περιέχει όλα εκείνα τα θρεπτικά συστατικά τα οποία έχουν ανάγκη οι φυτικοί οργανισμοί για να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο (Σκούφη , 2006).

Επιπλέον, το ριζικό σύστημα των φυτών είναι σε άμεση επαφή με τις επιφάνειες της στερεής φάσης του εδάφους και παίζει καθοριστικό ρόλο στις τιμές του pH του εδάφους. Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια την αποσάθρωση των ορυκτών που υπάρχουν στο έδαφος να επηρεάζονται από την ύπαρξη ιόντων H^+ στις επιφάνειες των ορυκτών.

Το pH είναι ίσως ένα από τα χαρακτηριστικά εκείνα του εδάφους που μετράται στο εργαστήριο περισσότερο από οτιδήποτε άλλο. Επίσης είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο κριτήριο για τον καθορισμό του βαθμού οξίνισης του εδάφους. Για την μέτρηση της τιμής του pH χρησιμοποιείται το πεχάμετρο, ωστόσο τα ιόντα του H^+ και του Al^{3+} απαντούν με ανταλλάξιμη μορφή στις επιφάνειες ανταλλαγής της στερεής φάσης του εδάφους. Κατ' επέκταση λοιπόν τα ανταλλάξιμα κατιόντα τόσο του H^+ όσο και του Al^{3+} επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την τιμή του pH. Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε πως ένα πεχάμετρο δεν έχει την ικανότητα να μετρήσει τα ιόντα του H^+ της στερεής φάσης στην περίπτωση που αυτά δεν έχουν ήδη απομακρυνθεί από τη στερεή φάση με ανταλλαγή τους με άλλα κατιόντα και εάν δεν έχουν μετακινηθεί στην υγρή φάση. Με την ανταλλαγή αυτή των ιόντων H^+ και Al^{3+} θα προκληθεί μια μείωση στην τιμή του pH η οποία λέγεται ανταλλάξιμη οξύτητα και είναι αντίθετη με την ενεργό οξύτητα. Η ενεργός οξύτητα αθροιστικά με την ανταλλάξιμη οξύτητα αποτελούν την ολική οξύτητα ενός εδάφους.

Η ολική οξύτητα μετριέται σε αιώρημα εδαφους με ένα αλατούχο διάλυμα, για παράδειγμα 10 mM $CaCl_2$ ή 0.1 M KCl ενώ η ενεργός οξύτητα μετριέται σε αιώρημα εδαφους με την βοήθεια του απεσταγμένου νερού. Η ύπαρξη του άλατος στη μέτρηση

της ολικής οξύτητας οδηγεί στην ανταλλαγή των ανταλλάξιμων ιόντων του H^+ και του Al^{3+} τα οποία είναι προσροφημένα στη στερεή φάση του εδάφους, με το κατιόν του άλατος (Χουλιαράς , 2002).

Το μέγεθος της ανταλλάξιμης οξύτητας είναι άμεσα συνυφασμένο με τον βαθμό τον οποίο έχουν απομακρυνθεί τα ανταλλάξιμα κατιόντα του ασβεστίου, του μαγνησίου, του νατρίου και του καλίου από τη στερεή φάση. Έτσι όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό των στοιχείων που έχουν προσροφηθεί στη στερεή φάση του εδάφους τόσο χαμηλότερη είναι η τιμή της ανταλλάξιμης οξύτητας.

Η τιμή του pH του εδάφους επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό της χημικές, βιολογικές, και έμμεσα τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (εναλλακτική ικανότητα, διαθεσιμότητα των θρεπτικών, διάσπαση της οργανικής ουσίας, νιτροποίηση, αζωτοδέσμευση κλπ.) Επομένως το pH συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των καλλιεργειών (Μήτσιος , 2004).

Το pH σχετίζεται επίσης με τη προστασία του περιβάλλοντος και την ποιότητα του, διότι επηρεάζει το ρυθμό της χημικής διάσπασης, της διαλυτότητας και της διάσπασης των ρυπαντών, καθώς και της προσρόφησης του στα κολλοειδή σωματίδια, οργανικής ή ανόργανης προέλευσης, του εδάφους. Έτσι το pH συνιστά ένα κρίσιμο παράγοντα πρόβλεψης της ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών καθώς και της τροφικής αλυσίδας (Tyler Miller , 2006).

1.4 Η επίδραση του pH στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους

Πολλές από τις φυσικές ιδιότητες ενός εδάφους επηρεάζονται από την τιμή του pH του εδάφους. Για τις ιδιότητες αυτές λοιπόν θεωρείται πρακτικά αδύνατο να πραγματοποιηθούν επεμβάσεις από τον άνθρωπο με στόχο να τις μεταβάλλει για ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες. Οι σπουδαιότερες ιδιότητες του εδάφους είναι οι παρακάτω:

1.4.1 Η υφή του εδάφους

Η υφή του εδάφους εκφράζει την περιεκτικότητα του σε διάφορα εδαφικά τεμαχίδια. Με βάση λοιπόν το Αμερικάνικο σύστημα κατάταξης των μηχανικών κλασμάτων του εδάφους υπάρχουν 3 κατηγορίες εδάφους, η άμμος (2 - 0,05 mm), η ίλυς (0,05 – 0,002 mm) και η άργιλος (< 0,002 mm). Επίσης θα πρέπει να τονίσουμε πως η υφή αποτελεί την βάση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους ωστόσο δεν επηρεάζεται από την τιμή του pH του (Σινάνης , 2011).

1.4.2 Η δομή του εδάφους

Με τον όρο δομή του εδάφους αναφερόμαστε στον σχηματισμό, στο μέγεθος των πρωτογενών κόκκων του εδάφους και στην διευθέτησή τους στον χώρο. Η δομή του εδάφους είναι ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών αφού δρα αυξάνοντας την διαπερατότητα προκειμένου να μπορεί το ριζικό σύστημα της καλλιέργειας να αναπτυχθεί και να εκμεταλλευτεί την διαθέσιμη υγρασία που υπάρχει σε μεγαλύτερο όγκο εδάφους, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει σημαντικά την επιφανειακή απορροή και κατ' επέκταση την διάβρωση του εδάφους. Η καλή δομή εδάφους εξασφαλίζει την ύπαρξη τόσο των μεγάλων πόρων όσο μικρών αφού οι πρώτοι ευνοούν την αποστράγγιση του εδάφους ενώ οι δεύτεροι έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν νερό και θρεπτικά στοιχεία. (Καλόβας, 2003)

Η δομή του εδάφους είναι ένα χαρακτηριστικό που επηρεάζεται σημαντικά από την τιμή του pH εξαιτίας της αδυναμίας να επιτευχθεί καλή συσσωμάτωση κόκκων του εδάφους.

1.4.3 Η διαπερατότητα του εδάφους

Με τον όρο διαπερατότητα του εδάφους αναφερόμαστε στην κίνηση του νερού και του αέρα εντός της εδαφομάζας η οποία επηρεάζεται τόσο από τον όγκο όσο και από τον τύπων των πόρων του εδάφους. Για παράδειγμα ένα έδαφος με μεγάλο πορώδες δεν σημαίνει αυτόματα ότι διαθέτει και υψηλή διαπερατότητα αφού οι πόροι του είναι πολύ πιθανό να έχουν μικρό μέγεθος.

Η διαπερατότητα του εδάφους είναι ένα χαρακτηριστικό που σχετίζεται τόσο με το μέγεθος όσο και συνεχές των πόρων τα οποία σχετίζονται άμεσα τόσο με την υφή όσο και την δομή του εδάφους. Όπως γίνεται κατανοητό λοιπόν, η διαπερατότητα του εδάφους είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο επηρεάζεται έμμεσα από την τιμή του pH του εδάφους. Τα χονδρόκοκκα εδάφη έχουν μικρότερα πορώδες συγκριτικά με τα λεπτόκοκκα παρόλο που το μέσο μέγεθος των πόρων είναι μεγαλύτερο στα χονδρόκοκκα.

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως δεν μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα με την αφή ενώ ιδιαίτερα δύσκολη χαρακτηρίζεται και η βελτίωση της διότι πραγματοποιείται μόνο μέσα από την μεταβολή της υφής ή της δομής. Όπως γίνεται κατανοητό λοιπόν η επέμβαση του ανθρώπου προκειμένου να βελτιώσει την διαπερατότητα του εδάφους θεωρείται πρακτικά αδύνατη εξαιτίας του μεγάλου κόστους που απαιτείται γι' αυτό εφαρμόζεται μόνο σε μικρές εκτάσεις.

1.4.4 Η συνεκτικότητα του εδάφους

Με τον όρο συνεκτικότητα του εδάφους αναφερόμαστε στις δυνάμεις συνοχής και συνάφειας που ασκούνται στο έδαφος οι οποίες συνδέουν τα μικρότερα τεμαχίδια του εδάφους δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο συσσωματώματα. Η συνεκτικότητα του εδάφους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του pH του, έτσι χαμηλές τιμή pH έχουν σαν αποτέλεσμα να αδυνατούν τα τεμαχίδια του εδάφους να συνδεθούν μεταξύ τους προκειμένου να σχηματιστούν τα συσσωματώματα.

1.4.5 Το χρώμα του εδάφους

Το χρώμα του εδάφους αποτελεί το πιο εμφανές και εύκολα παρατηρήσιμο μορφολογικό χαρακτηριστικό του εδάφους. Στο παρελθόν στο χρώμα του εδάφους στηρίζονταν οι παραγωγοί προκειμένου να κατατάξουν τα εδάφη από άποψη παραγωγικότητας. Έτσι τα εδάφη σκούρου χρώματος θεωρούνταν παραγωγικά ενώ για τα ανοιχτόχρωμα εδάφη πίστευαν ότι διέθεταν λιγότερα θρεπτικά συστατικά. Τα συμπεράσματα αυτά πολλές φορές δεν ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα.

Οι επιστημονικές έρευνες των τελευταίων χρόνων έχουν αποδείξει τις ιδιότητες του εδάφους σχετικά με το χρώμα του. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι στο υγρό έδαφος το

χρώμα είναι πιο σκούρο συγκριτικά με ένα έδαφος που δεν έχει καθόλου υγρασία. Συμπερασματικά λοιπόν, το χρώμα του εδάφους αποτελεί μια ένδειξη ύπαρξης μόνιμης ή προσωρινής στάθμης νερού σε κάποιο βάθος (Αντωνιάδης Β.)

1.4.6 Η θερμοκρασία του εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι ένα χαρακτηριστικό του που επηρεάζει τις περισσότερες από τις διεργασίες που συμβαίνουν εντός του. Η θερμοκρασία θα καθορίσει το φύτρωμα των σπόρων, το ρυθμό ανάπτυξης της καλλιέργειας, την αφομοίωση των θρεπτικών στοιχείων της καλλιέργειας από το έδαφος, την δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους και σε γενικότερο πλαίσιο όλες εκείνες τις χημικές και βιολογικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εντός του εδάφους. Οι παράγοντες εκείνοι οι οποίοι επιδρούν στην θερμοκρασία του εδάφους είναι η θερμική αγωγιμότητα, το χρώμα του εδάφους, ο προσανατολισμός του (ανατολικός, δυτικός κ.α.), το χρώμα του εδάφους (ο σκουρότερος χρωματισμός εδάφους αυξάνει την θερμοκρασία του), η θερμοχωρητικότητα, η κλίση του κ.α.

1.5 Η επίδραση του pH στις χημικές ιδιότητες του εδάφους

Οι χημικές ιδιότητες του εδάφους είναι άμεσα συνυφασμένες με το pH του εδάφους, ενώ επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες επεμβάσεις. Το αργιλοχουμικό σύμπλοκο το οποίο αποτελείται από την άργιλο των ανόργανων κολλοειδών (ένυδρα οξείδια και υδροξείδια σιδήρου και αργίλου) και τον χούμο που απαντά στα οργανικά κολλοειδή. Όταν οι τιμές pH του εδάφους είναι χαμηλές τότε δυσχεραίνεται ο σχηματισμός των ορυκτών της αργίλου αλλά και του χούμου. Το αργιλοχουμικό σύμπλοκο τις περισσότερες φορές έχει αρνητικό ακόρεστο φορτίο ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις είναι ακόρεστο θετικό φορτίο (όταν οι τιμές του pH του εδάφους είναι χαμηλές). Έτσι τα κολλοειδή αυτά συγκρατούν στην επιφάνεια τους αντίθετα φορτισμένα ιόντα. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η σειρά με την οποία προσροφώνται τα κατιόντα έχει ως εξής:

$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+} > NH_4$ οξινίζοντα $H^{+} > Al^{3+} > Fe^{2+}$ και για τα ανιόντα $SiO_4^{4-}, PO_4^{3-} \gg SO_4^{2-} > NO_4^{-}, Cl^{-}$

Όταν στην καλλιέργεια γίνει προσθήκη λιπάσματος τα κολλοειδή συγκρατούν τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στο λίπασμα και αποτρέπουν την έκπλυση τους στο περιβάλλον λειτουργώντας κοινώς σαν αποθήκες των θρεπτικών συστατικών (Σφακιανάκη, 2011).

1.5.1 CEC – AEC

Η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του εδάφους και είναι καθοριστικής σημασίας για την θρέψη της καλλιέργειας. Η ικανότητα ανταλλαγής παρατηρείται είτε μεταξύ των κατιόντων CEC - Cation Exchange Capacity - (η οποία είναι και η συχνότερα εμφανιζόμενη) είτε μεταξύ των ανιόντων AEC - Anion Exchange Capacity (Μισοπολίνος , 1991).

Όταν η τιμή του pH του εδάφους κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα τότε παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου εξαιτίας των πολύ ισχυρών δυνάμεων συγκράτησης που δημιουργούνται με συνέπεια να εναλλάσσονται τα ιόντα υδρογόνου με τα κατιόντα του εδαφοδιαλύματος και να μην μπορούν να δεσμευτούν από την καλλιέργεια.

Επίσης, η υψηλή συγκέντρωση των ανταλλάξιμων ιόντων υδρογόνου οδηγεί στην απελευθέρωση ιόντων αργιλίου τα οποία γίνονται ανταλλάξιμα μειώνοντας ακόμη περισσότερο την τιμή του pH προκαλώντας τοξικότητες στους φυτικούς οργανισμούς.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι όσο υψηλότερες είναι οι τιμές pH του εδάφους τόσο μεγαλύτερη η CEC και τόσο καλύτερα γίνεται η θρέψη των φυτών. Η εναλλακτική ικανότητα των ανιόντων (AEC) από την άλλη πλευρά έχει ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό. Σε χαμηλές τιμές pH του εδάφους απαντούν υψηλές συγκεντρώσεις και ανταλλάξιμα ιόντα αργιλίου, σιδήρου και μαγνησίου. Έτσι τα ανιόντα έχουν την ικανότητα να δεσμεύονται από τα κολλοειδή και να σχηματίζουν σύμπλοκες ενώσεις με τα μεταλλικά ιόντα που προαναφέρθηκαν οι οποίες είναι ιδιαίτερα ισχυρές. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ανιόντα να μην μπορούν να δεσμευτούν από τα φυτά (Doran and Smith 1996).

1.5.2 Βαθμός κορεσμού με βάσεις

Τόσο στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) όσο και στην ικανότητα ανταλλαγής ανιόντων (AEC) οι χαμηλές τιμές pH του εδάφους συνοδεύονται από προβλήματα στην θρέψη της καλλιέργειας. Η τιμή της CEC (ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων) μπορεί να δώσει μια αρχική αλλά σαφή εικόνα σχετικά με την γονιμότητα του εδάφους. Εκτός όμως από την τιμή της CEC είναι σημαντικό να γνωρίζουμε και τον βαθμό κορεσμού με βάσεις (V), το οποίο είναι το ποσοστό των εναλλακτικών βασικών κατιόντων και δίνεται από τον εξής τύπο:

$$V = \text{με εναλλακτικών βάσεων (S)} / \text{CEC (T)}$$

$$\text{Όπου } S = (\text{Ca}) + (\text{Mg}) + (\text{K}) + (\text{Na})$$

$$T = \text{CEC} = ([\text{Ca}] + (\text{Mg}) + (\text{K}) + (\text{Na}) + (\text{H}))$$

Όταν το V (βαθμός κορεσμού) έχει τιμή μεταξύ του 40 και του 60% τότε αυτό σημαίνει ότι το έδαφος έχει ουδέτερη αντίδραση. Σε περιπτώσεις που η τιμή του V είναι μικρότερη από το 40% τότε το έδαφος είναι όξινο έχουν εκπλυθεί από το έδαφος οι βάσεις ενώ υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε H⁺ και Al³⁺ στα κolloειδή με συνέπεια το έδαφος να γίνεται όλο και πιο άγονο καθιστώντας ανέφικτη την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Από την άλλη πλευρά, σε τιμές V μεγαλύτερες του 60% παρατηρείται μια ευκολία στην απελευθέρωση των προσροφημένων κατιόντων και απορρόφηση τους από τα φυτά. Έτσι το έδαφος γίνεται περισσότερο γόνιμο και οι αποδόσεις των καλλιεργειών αυξάνονται. Για να είναι κάτι τέτοιο εφικτό όμως οι τιμές του pH του εδάφους θα πρέπει να ξεπερνούν το 6,5.

1.5.3 Ρυθμιστική Ικανότητα του Εδάφους ως προς το pH

Όλα τα εδάφη έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν τα pH, ήτοι να διατηρούν την τιμή του σε σχετικά σταθερό επίπεδο. Έτσι, τα εδάφη ανθίστανται στις μεταβολές του pH που μπορεί να προκληθούν από οξέα ή τις βάσεις. Αυτή η ικανότητα του εδάφους είναι όντως πολύ σπουδαία, διότι σε διαφορετική περίπτωση, εάν δηλαδή το pH άλλαζε εύκολα, τότε θα επέρχονταν σημαντικές ζημιές στα φυτά και στη βιολογική

δραστηριότητα του εδάφους και όχι μόνο. Θα ανατρέπονταν τα πάντα στο έδαφος και όχι μόνο. Θα ανατρέπονταν τα πάντα στο έδαφος, εάν π.χ. από pH 7 άλλαζε εύκολα σε pH 4. Ευτυχώς κάτι τέτοιο δε μπορεί να συμβεί κάτω από φυσικές συνθήκες παρά μόνο με δραστικές επεμβάσεις του ανθρώπου και έτσι μπορεί να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του εδαφικού συστήματος.

Η οξύτητα του εδάφους χαρακτηρίζεται: (α) ως «δυναμική», και αναφέρεται στα προσροφημένα ιόντα H^+ στην επιφάνεια των κolloειδών και (β) ως «ενεργός», και σχετίζεται με τα H^+ του εδαφοδιαλύματος. Για να κατανοηθεί η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, παριστάνουμε την οξύτητα μ' ένα δοχείο, που εκτός από το κύριο χώρο του διαθέτει και ένα ενδεικτικό σωλήνα που είναι τοποθετημένος εξωτερικά και δείχνει τη στάθμη του υγρού δηλαδή της οξύτητας στον κύριο χώρο. Έτσι, ο κύριος χώρος του δοχείου αντιπροσωπεύει τη δυναμική οξύτητα και ο ενδεικτικός σωλήνας την ενεργό. Εδάφη με λεπτόκοκκη υφή έχουν υψηλή ρυθμιστική ικανότητα, ενώ τα αδρομερή ή ελαφράς σύστασης έχουν χαμηλή δυναμική οξύτητα και άρα χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα. Η ρυθμιστική ικανότητα είναι συνάρτηση της μηχανικής σύστασης του εδάφους και φυσικά της CEC.

1.6. Η επίδραση του pH στις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους

Η τιμή του pH του εδάφους είναι καθοριστικής σημασίας για τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Η μικροχλωρίδα του εδάφους είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού αναλαμβάνει μια πολύ σημαντική διεργασία, αυτή της διάσπασης της οργανικής ύλης και της απελευθέρωσης θρεπτικών συστατικών στους φυτικούς οργανισμούς. Την μικροχλωρίδα ενός εδάφους την απαρτίζουν οι μικροοργανισμοί οι οποίοι απαντούν σε αυτό, οι γαιοσκώληκες, οι μύκητες, τα βακτήρια καθώς επίσης και η πανίδα αυτού.

1.6.1 Οι μικροοργανισμοί του εδάφους

Οι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για της διεργασίες της νιτροποίησης, της αμμωνιοποίησης, της χουμοποίησης καθώς επίσης και της δέσμευσης του αζώτου από την ατμόσφαιρα. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως σε πολύ χαμηλές τιμές pH του εδάφους παρατηρείται αύξηση του διαλυτού Al^{3+} , Mn^{2+} καθώς

επίσης και διάφορων άλλων μεταλλικών ιόντων που συνοδεύεται από μεταβολή του πληθυσμού αλλά και της δραστηριότητας των μικροοργανισμών του εδάφους (Αντωνιάδης Β). Η διατήρηση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών είναι οι κύρια οργανική εισροή για την ενίσχυση της οργανικής ύλης του εδάφους και την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Μελέτες έχουν δείξει ότι η οργανική ύλη προάγει τη μικροβιακή δραστηριότητα, βελτιώνει την δομή εδάφους, τον αερισμό, την διατήρηση θρεπτικών ουσιών και το νερό. (Amede, 2021)

1.6.2 Οι μύκητες και τα βακτήρια του εδάφους

Οι μύκητες και τα βακτήρια που απαντούν στο έδαφος δεν επηρεάζονται από την τιμή του pH του. Ωστόσο οι μύκητες πιο συγκεκριμένα δρουν ευεργετικά στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους εξαιτίας της δράσης τους η οποία ευνοεί τον σχηματισμό και την σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων αλλά και εξαιτίας της συγκόλλησης οργανικών ενώσεων οι οποίες προκύπτουν από τον κύκλο ζωής του μυκηλίου τους. Η δράση των βακτηρίων θεωρείται εξίσου ευεργετική στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους αφού μέσω της αποσύνθεσης παράγονται διάφορες ενώσεις οι οποίες δρουν ευνοϊκά τόσο στον σχηματισμό όσο και στην σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων (Χουλιάρης , 2002).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε πως τόσο τα βακτήρια όσο και οι μύκητες του εδάφους ευνοούνται όταν οι τιμές του pH είναι χαμηλές. Πιο αναλυτικά, οι ιδανικές τιμές pH για τους μύκητες είναι από το 4,0 έως το 6,0, για τους ακτινομύκητες από το 5,0 έως το 9,0 και για τα βακτήρια από το 5,5 έως το 9,0.

Δεν θα πρέπει όμως να παραβλέπουμε το γεγονός ότι η ύπαρξη ενός μύκητα στο έδαφος μιας καλλιέργειας είναι πιθανό να προκαλέσει προβλήματα μυκητολογικής φύσεως στα φυτά (Χουλιάρης , 2002).

1.6.3 Γαιοσκώληκες

Οι γαιοσκώληκες είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που δρουν ευνοώντας την συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων. Τα εδαφικά συσσωματώματα δημιουργούνται με δύο τρόπους:

1. Στην περίπτωση που το έδαφος συμπιέζεται, τα εδαφικά τεμαχίδια έρχονται σε στενότερη επαφή μεταξύ τους εξαιτίας της μη κίνησης των γαιοσκωλήκων με συνέπεια να δημιουργούνται οι στοές στο έδαφος
2. Με την δίοδο εδαφικών υλικών είτε πρόκειται για οργανικές είτε για ανόργανες ουσίες οι οποίες μέσω του πεπτικού τους σωλήνα πέπτονται και αποβάλλονται στο περιβάλλον.

Οι ανόργανες ουσίες αναμειγνύονται με τις οργανικές εμπλουτίζονται με ασβέστιο με αποτέλεσμα να αυξάνεται το pH του εδάφους. Οι οργανικές ουσίες που θα βρεθούν στον πεπτικό σωλήνα του γαιοσκώληκα θα δεχτούν ολική ή μερική διάσπαση και θα αποβληθούν στο περιβάλλον σε ένα μείγμα οργανικών και ανόργανων υλικών, μικροοργανισμών. Το μείγμα αυτό που προκύπτει λοιπόν έχει διαφορετικές φυσικές ιδιότητες από το έδαφος και αποτελεί τα συσσωματώματα.

Για να μπορούν να πραγματοποιηθούν όλες αυτές οι διεργασίες οι συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος θα πρέπει να επιτρέπουν την παρουσία πολυάριθμων γαιοσκωλήκων, την επάρκεια σε εδαφική υγρασία και ικανοποιητικές ποσότητες οργανικών ουσιών. Ενώ οι τιμές pH του εδάφους θα πρέπει να είναι υψηλότερες από 7,0. Όταν οι τιμές του pH κυμαίνονται κάτω από 7,0 δυσχεραίνεται η ανάπτυξη και η αναπαραγωγή των γαιοσκωλήκων με συνέπεια να μην είναι εφικτός ο σχηματισμός συσσωματωμάτων εξαιτίας της αδυναμίας ανάμειξης των αποσαθρωμένων φυτικών υπολειμμάτων που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους (Χουλιάρας , 2009).

1.6.4 Πανίδα

Σε επιστημονικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν αποδείχθηκε ότι ζώα όπως τα πρόβατα και οι αγελάδες προτιμούν να βόσκουν σε βοσκοτόπια που οι τιμές pH του εδάφους κυμαίνεται πάνω από 6,5. Στην ίδια έρευνα μάλιστα αποδείχθηκε ότι τα συγκεκριμένα ζώα δεν έδειχναν ιδιαίτερη προθυμία για βοσκή σε βοσκοτόπια που το pH του κυμαίνονταν κάτω από 5.

Κεφάλαιο 2: Δημιουργία όξινων εδαφών και κατάταξη όξινων εδαφών

2.1 Δημιουργία όξινων εδαφών

Όταν επικρατούν συνθήκες αποσάθρωσης και σε εξάρτηση πάντα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή και την χρήση του εδάφους η ικανότητα εξουδετέρωσης πρωτονίων (acid neutralizing capacity = A N C) περιορίζεται σημαντικά με συνέπεια το pH να παίρνει μικρές τιμές (μικρότερες από 7.0 και μέχρι 4.0. Το φαινόμενο συνδέεται στενά με προβλήματα στην φυσιολογική ανάπτυξη των περισσότερων καλλιεργούμενων φυτών και κατ' επέκταση στην μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος , 2007).

Το pH μέτρα τα διαθέσιμα ιόντα υδρογόνου και περιγράφει το σχετικό επίπεδο της οξύτητας ή την αλκαλικότητα. Η κλίμακα του pH είναι λογαριθμική, με 14 διαβαθμίσεις και μετριέται σε μια κλίμακα από το 1 (οξύ) έως 14 (βασικό), με 7,0 το ουδέτερο. Τα εδάφη με $pH < 7,0$ χαρακτηρίζονται ως όξινα και όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του pH τόσο μεγαλύτερα είναι και τα προβλήματα που προκύπτουν. Τα όξινα εδάφη κατατάσσονται στις εξής ακόλουθες κατηγορίες:

i. Μερικώς όξινα με $\text{pH} < 6,5 - 5,5$.

ii. Εντόνως όξινα με $\text{pH} < 5,5 - 3,5$

(Παρακάτω ακολουθεί ανάλυση της κατάταξης των όξινων εδαφών.)

Η οξίνιση των εδαφών προκαλείται εξαιτίας της μεταφοράς πρωτονίων από τη στερεά, την υγρή ή την αέρια φάση του εδάφους. Η μείωση της τιμής του pH του εδάφους εξάλλου επηρεάζει και τη διαλυτότητα και επομένως τη διαθεσιμότητα ορισμένων θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς οργανισμούς. Τα θρεπτικά του εδάφους είναι διαθέσιμα στα φυτά για πρόσληψη μόνο όταν είναι διαλυμένα σε νερό όπως τα ιόντα. Η διαθεσιμότητα των θρεπτικών διαφέρει ανάλογα με το pH του εδαφικού διαλύματος. Οι τιμές του pH που κυμαίνονται μεταξύ 6,0 και 7,0 παρέχουν την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα των θρεπτικών για πρόσληψη, ενώ η απομάκρυνση των τιμών από αυτήν την περιοχή κάνει ορισμένα θρεπτικά συστατικά περισσότερο διαθέσιμα, ενώ παράλληλα μειώνει την διαθεσιμότητα κάποιων άλλων (Αλιφραγκής, 2008).

Η υψηλή διαλυτότητα ορισμένων θρεπτικών συστατικών (όπως Mn , Fe , Cu και Zn) είναι δυνατόν να προκαλέσει τοξικότητες στις καλλιέργειες ή σε άλλες περιπτώσεις την γρήγορη έκπλυση των στοιχείων αυτών και απομάκρυνση τους από το έδαφος. Συχνά παρατηρείται στο έδαφος έλλειψη Mg ιδιαίτερα σε όξινα εδάφη αμμοπηλώδη, πηλοαμμώδη και αμμώδη επιφανειακά και ελαφρύτατα βαθύτερα. Η έλλειψη του Mg από το έδαφος αυτά δημιουργεί προβλήματα στην φυσιολογική ανάπτυξη κάποιων καλλιεργειών. Τα όξινα εδάφη έχουν τιμή pH χαμηλότερη από 7,0. Εδάφη με pH χαμηλότερο από μπορεί να χρειάζονται ειδική μεταχείριση, όταν το pH του εδάφους πέσει κάτω από 4,5 εμφανίζονται πολλά προβλήματα ανάπτυξης για πολλά δέντρα και θάμνους. Τα προβλήματα αυτά ξεπερνιούνται είτε με ειδική τροποποίηση για την αύξηση του pH είτε με προσεκτική επιλογή των φυτών (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

2.3 Η προβληματικότητα των όξινων εδαφών

Τα όξινα εδάφη θεωρούνται προβληματικά λόγω του χαμηλού τους pH, με συνέπεια αυτή η υψηλή οξύτητα να δημιουργεί εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Τα έντονα όξινα εδάφη ευνοούν την ανάπτυξη μυκήτων. Οι μύκητες που έχουν προσαρμοστεί και επιβιώνουν σε αυτά τα εδάφη, προκαλούν ασθένειες σε ψυχρές και υγρές συνθήκες. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή και στην οικονομία γενικότερα. Το χαμηλό pH του εδάφους συνδέεται με μια σειρά χημικών και των βιολογικών χαρακτηριστικών εδάφους και μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ανάπτυξη των φυτών.

Όταν τα εδάφη οξινίζουν (δηλαδή οι τιμές του pH υποβαθμίζονται από την τιμή 7 στην τιμή 3) συμβαίνουν πολλές χημικές αλλαγές. Μερικά από τα προβλήματα που συνδέονται με τα όξινα εδάφη είναι τα ακόλουθα:

- Τοξικότητα μαγγανίου
- Τροφοπενία μολυβδαινίου
- Τροφοπενία ασβεστίου και μαγνησίου
- Αύξηση των ασθενειών των φυτών και
- Αποτυχία σχηματισμού φυματίων στα όσπρια.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται στα φυτά οφείλονται κυρίως λόγω του χαμηλού pH, την περιορισμένη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών και στην αυξημένη διαλυτότητα του Al, η οποία σε υψηλές είναι τοξική για τα φυτά. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η τοξικότητα του Al δεν κάνει την εμφάνισή της με την ίδια ένταση σ' όλες τις κατηγορίες των όξινων εδαφών. Στα μετρίως όξινα εδάφη το πρόβλημα είναι περίπου ανύπαρκτο, ενώ στα ισχυρώς όξινα η τοξικότητα του Al είναι πολύ έντονη με δυσμενέστερες επιπτώσεις στα φυτά. Ιδιαίτερα τοξικό είναι το αργίλιο στα όξινα θειικά εδάφη, που είναι και γνωστά ως Thionic Fluvisols. Τα εδάφη αυτά βρίσκονται κυρίως σε τροπικά κλίματα και χαρακτηρίζονται από την παρουσία του θειικού ορίζοντα, που συνήθως απαντά στο ανώτερο τμήμα της κατανομής. Όταν τα εδάφη στραγγίζουν σχηματίζεται θειικό οξύ επειδή οξειδώνεται το θείο (S). Όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων, οι χαμηλές τιμές pH έχει αρνητικές επιπτώσεις κατά κύριο λόγο στον φώσφορο (P), ο οποίος δεσμεύεται ως αδιάλυτος φωσφορικός σίδηρος ενώ στα μικροθρεπτικά συστατικά όπως είναι για παράδειγμα ο ψευδάργυρος, ο σίδηρος, το μαγγάνιο η διαθεσιμότητα

τους αυξάνεται όταν μειώνονται οι τιμές του pH εξαιτίας της αύξησης της διαλυτότητας τους. Από την άλλη πλευρά, όταν επικρατούν χαμηλές τιμές pH παρατηρείται σημαντική μείωση της διαθεσιμότητας του Mo, καθώς επίσης και των βάσεων ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου, εξαιτίας κορεσμού του εδαφοσυμπλόκου με ιόντα H^+ και της εν συνεχεία έκπλυσης των βάσεων. Εκτός από τις παραπάνω συνέπειες του χαμηλού (όξινου) pH, παρατηρούνται εποικοδομητικές επιδράσεις στη δομή του εδάφους (Βαλαβανίδης & Βλαχογιάννη , 2008).

Πιο αναλυτικά, οι ποσότητες των ανταλλάξιμων κατιόντων του Ca^{2+} και των ανταλλάξιμων κατιόντων του Mg^{2+} καταγράφουν αξιόλογη μείωση. Τα κατιόντα του Ca^{2+} και τα κατιόντα του Mg^{2+} , K^+ , του Na^+ και της NH_4^+ είναι γνωστά ως βασικά κατιόντα. Η συνολική ποσότητα των βασικών αυτών κατιόντων εκφράζεται επί της εκατό (%) της CEC και χαρακτηρίζεται ως βαθμό κορεσμού σε βάσεις.

Επίσης σε εδάφη με χαμηλές τιμές pH το αρνητικό φορτίο του χούμου μειώνεται και αυξάνεται το θετικό φορτίο του γκιψίτη, του γκαιτίτη, του αιματίτη και των ενύδρων υδροξειδίων του σιδήρου.

Στο έδαφος το μαγγάνιο βρίσκεται σε ισορροπία και είναι διαθέσιμο στα φυτά σε μορφή Mg^{3+} και Mg^{2+} . Τα φυτά υποφέρουν από τοξικότητα όταν απορροφήσουν πολύ Mg^{2+} . Η ισορροπία μεταξύ των διαθέσιμων και των μη διαθέσιμων μορφών του μαγγανίου επηρεάζεται από την χημική φύση του μαγγανίου στο έδαφος και την αερόβιο βιολογική δραστηριότητα στο έδαφος γεγονός που μειώνει τα επίπεδα Mg^{2+} . Δυσμενείς συνθήκες από βιολογική μείωση προκαλείται εξαιτίας υπεράρδευσης ή από ζεστές και ξηρές περιόδους. Σε pH κάτω από 4,6 η τοξικότητα μπορεί να είναι μόνιμο πρόβλημα, όπου η υψηλή συγκέντρωση Mg^{2+} στο έδαφος προκαλείται κατά κύριο λόγο από το χαμηλό pH. Η αύξηση του pH σε τιμή 5,6 μειώνει συνήθως την συγκέντρωση Mg^{2+} σε μη τοξικά επίπεδα (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος , 2007).

Τροφοπενία Μολυβδαινίου (Mo) είναι πιθανότερο να συμβεί όταν το pH είναι μικρότερο από 5,6 αλλά μπορεί να προκύψει και σε τιμές pH μεταξύ 5,6 - 6,0.

Ο κορεσμός του εδαφосυμπλόκου με H^+ και η συνέπεια τούτου απομάκρυνση των βάσεων επιδρά δυσμενώς στη δομή του εδάφους. Έτσι, παρατηρείται μια αποικοδόμηση στην συσσωμάτωση του εδάφους και ως εκ τούτου αποδιοργανώνεται η δομή του. Το Ca^{2+} , ως γνωστό, αποτελεί παράγοντα συσσωμάτωσης και η απομάκρυνσή του από το έδαφος συνεπάγεται την καταστροφή της δομής. Τέλος, η αυξημένη περιεκτικότητα των ιόντων H^+ του εδαφοδιαλύματος, έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη της ρίζας των φυτικών οργανισμών. Αυτό έχει σαν συνέπεια να περιορίζεται η ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος των φυτών και κατ' επέκταση μειώνεται η απόδοση της καλλιέργειας όχι μόνο ποσοτικά αλλά και ποιοτικά (Βαλαβανίδης & Βλαχογιάννη, 2008; Καρακατσούλης, 1994.).

Τέλος, η δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους σημειώνει σημαντική μείωση γεγονός που συνδέεται με την συσσώρευση οργανικής ουσίας στα όξινα εδάφη μεγάλη καθώς επίσης και με μείωση του ρυθμού ανοργανοποίησης του οργανικού αζώτου αλλά και μείωση του ρυθμού διαθεσιμότητας του αζώτου, του φωσφόρου και του θείου.

2.3 Η χημεία της εδαφικής αντίδρασης

Η εδαφική αντίδραση εκφράζεται ποσοτικά με μονάδες της κλίμακας του pH, η οποία εκτείνεται από 0 - 14. Η οξύτητα ή αλκαλικότητα του εδάφους προσδιορίζεται βασικά από τη σύγκριση των ιόντων H^+ και των ανιόντων του OH^- .

Το αποσταγμένο νερό έχει μια ισορροπία του υδρογόνου (H^+) και υδροξυλίου (OH^-) ιόντα και ως εκ τούτου έχει ουδέτερο pH (pH 7). Όταν το νερό δεν είναι αποσταγμένο μπορεί να έχει pH μεγαλύτερο ή μικρότερο από 7.

Το καθαρό αποσταγμένο νερό περιέχει τα ιόντα αυτά σε ίσες συγκεντρώσεις, τα οποία παράγονται κατά τη διάσπαση του νερού ως εξής:



Η σταθερά διάστασης της πιο πάνω αντίδρασης ισούται με:

$$K_w = 1 * 10^{-14}$$

Εφόσον η συγκέντρωση του $[H^+]$ είναι ίση με τα $[OH^-]$, το γινόμενο τους θα ισούται με:

$$[H^+] * [OH^-] = K_w = 10^{-14}$$

ή

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$$

(Μισοπολίνος, 1991)

Επειδή οι συγκεντρώσεις αυτές είναι πολύ μικρές, χρησιμοποιούμε τον αριθμητικό λογάριθμο τους, ο οποίος αποτελεί την έκφραση του pH. Ήτοι, εάν $pH = 6$, τότε $[H^+] = 10^{-6}$ και βεβαίως $[OH^-] = 10^{-8}$, εφόσον $[H^+] * [OH^-] = 10^{-14}$

Έτσι το pH αφενός μεν άμεσα μας δίνει ένα μέτρο της οξύτητας και αφετέρου μας πληροφορεί έμμεσα για το βαθμό της αλκαλικότητας του εδάφους. Η εδαφική αντίδραση υποδιαιρείται στα εξής είδη:

1. Όξινη, κατά την οποία $[H^+] > [OH^-]$
2. Ουδέτερη, κατά την οποία $[H^+] = [OH^-]$
3. Βασική, κατά την οποία $[H^+] < [OH^-]$

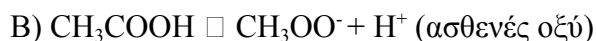
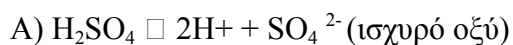
Εάν θεωρήσουμε ως μια πηγή H^+ το υδροχλωρικό οξύ, τότε θα έχουμε την αντίδραση:



δηλαδή το οξύ αυτό δίσταται πλήρως και παράγει H^+ . Αντίθετα, μια ένωση που παρέχει ιόντα OH^- καλείται βάση, όπως π. χ. το υδροξείδιο του νατρίου ($NaOH$), το οποίο καθιστά το διάλυμα βασικό. Η προσθήκη μιας βάσεως, όπως το $NaOH$, σ' ένα οξύ, παράγει άλας και νερό, ήτοι:



Τα οξέα διακρίνονται σε ισχυρά, τα οποία στο διάλυμα δίστανται 100% (HCl, H₂SO₄, HNO₃, H₃PO₄), και στα ασθενή, τα οποία δίστανται μερικώς (CH₃COOH, CH₃-CH₂COOH κ.λπ.), ήτοι:



Στην περίπτωση των ισχυρών οξέων η αντίδραση είναι μονόδρομοι, ενώ στην αντίστοιχη των ασθενών οξέων αμφίδρομη, με μεγαλύτερη τάση προς τη δημιουργία μορίων CH₃COOH (οξικού οξέος).

(Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

2.4 Κατάταξη των όξινων εδαφών

Μια λογαριθμική κλίμακα χρησιμοποιείται για να μετρήσει το pH εδάφους. Δηλαδή η αλλαγή μιας μονάδας της κλίμακας του pH αποτελεί 10 φορές αλλαγή στην οξύτητα ή την αλκαλικότητα. Για παράδειγμα pH εδάφους 5,0 είναι 10 φορές πιο όξινο από το έδαφος με pH 6,0 και 100 φορές πιο όξινο από το έδαφος με pH 7,0 (Μήτσιος, 2001).

Τα όξινα εδάφη από απόψεως βαθμού οξύτητας κατατάσσονται στις εξής τρεις κατηγορίες.

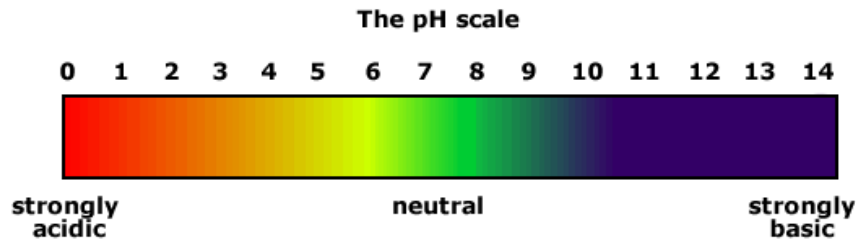
I. Μετρίως όξινα εδάφη pH < 6,5 - > 5,0

II. Ισχυρώς όξινα εδάφη pH < 5,0

III. Όξινα θειικά εδάφη pH < 5,5

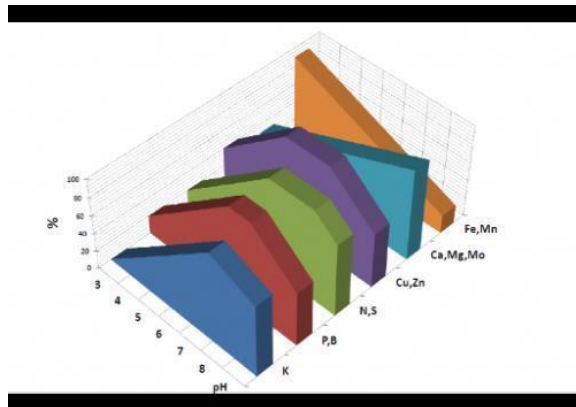
Εικόνα 1. Η κλίμακα το PH

(Farmacon Team, 2018)



Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα ποσοστά συγκέντρωσης των σπουδαιότερων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους ανάλογα με την τιμή του pH του εδάφους.

Εικόνα 2: Ποσοστά συγκέντρωσης των σπουδαιότερων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους ανάλογα με την τιμή του pH ([FMoeckel](#), 2010)



http://en.wikipedia.org/wiki/Soil_pH

2.4.1 Μετρίως όξινα εδάφη

Πρόκειται για εδάφη με $pH < 6.5$ αλλά > 5.0 . Τα αναπτυσσόμενα στα εδάφη αυτά φυτά δεν διαφέρουν ως προς τις απαιτήσεις τους σε οξύτητα για την κανονική ανάπτυξη τους. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα επίπεδα του pH και τις απαιτήσεις των φυτών που απαιτούνται για φυσιολογική αύξηση και ανάπτυξη.

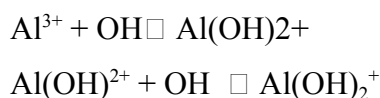
Σε μετρίως όξινα εδάφη δεν υπάρχουν βασικές διαφορές σε σχέση με τις απαιτήσεις των καλλιεργειών και αποκλείεται τοξικότητα Al. Στα εδάφη αυτά μπορεί να αναπτυχθούν φυτά που απαιτούν και ουδέτερο pH, όπως τεύτλα, σιτάρι και κριθάρι,

υπό τη βασική προϋπόθεση ότι θα έχουν επαρκές βάθος και ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος (Χουλιάρης , 2002)

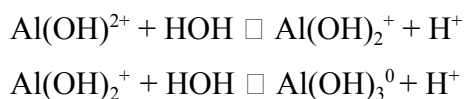
Για όλα τα φυτά υπάρχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο pH που παράγει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Αυτό το επίπεδο ποικίλει από φυτό σε φυτό αλλά σε γενικές γραμμές τα περισσότερα φυτά προτιμούν ελαφρώς όξινα εδάφη (μεταξύ 5,5 με 6,0) αν και τα περισσότερα φυτά μπορούν να επιβιώσουν σε ένα περιβάλλον με pH μεταξύ 5,0 και 7,5.

Υπεύθυνα για την οξύτητα των εδαφών αυτών είναι το Al και οι ενώσεις του υδρογόνου. Όμως, τα ιόντα H^+ παράγονται με διαφορετικούς μηχανισμούς απ' ότι συμβαίνει στα ισχυρώς όξινα εδάφη.

Εφόσον τα μετρίως όξινα έχουν υψηλότερο pH από τα ισχυρώς όξινα, έχουν επομένως και κατά τη μεγαλύτερο ποσοστό κορεσμού με βάσεις από τα προαναφερθέντα ισχυρώς όξινα εδάφη. Επομένως, το Al δεν μπορεί να βρίσκεται στο διάλυμα ως Al^{3+} , λόγω της ύπαρξης ανιόντων OH^- , αλλά ως ιόντα υδροξειδίου του Al, τα οποία σχηματίζονται ως εξής:



Μερικά από τα πιο πάνω κατιόντα προσροφώνται στην επιφάνεια των κολλοειδών, ενώ άλλα δίστανται, παράγοντας ιόντα H^+ ως εξής:



Στα μετρίως όξινα εδάφη οι αρνητικές επιπτώσεις του pH στα χαρακτηριστικά τους είναι πολύ μικρές. Αυτές μπορεί να αντιμετωπιστούν με ελαφρά ασβέστωση ή μπορούν να αντισταθμιστούν εν μέρει με από την υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη. Όσο χαμηλότερο είναι το pH τόσο υψηλότερη θα πρέπει να είναι η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη του εδάφους. Η υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική

ύλη συμβάλει στην επίτευξη ευνοϊκών συνθηκών στο όργανο και τον αερισμό του εδάφους. Κατά συνέπεια θα πρέπει να δοθεί η δέουσα προσοχή στην αύξηση της οργανικής ύλης στα μετρίως όξινα εδάφη (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Τα μετρίως όξινα εδάφη απαντούν συνήθως στις εξής τάξεις, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του FAO : Acrisols, Ferrasols και Podzols. Ειδικότερα, όσον αφορά τα podzols, αυτά περιλαμβάνουν το λεγόμενο σποραδικό ορίζοντα, ο οποίος περιέχει συσσωρευμένη οργανική ουσία, σίδηρο και αργίλιο και βρίσκεται σε βάθος 200 cm από την επιφάνεια (FAO prosoil - data base 2002). Η διεργασία της μεταφοράς και συσσώρευσης αποδεικνύεται από την ύπαρξη του αλβικού ορίζοντα (albic) που κείται αμέσως κάτω από το σποραδικό ορίζοντα. Ακολουθεί μια οργανική στρώση που δημιουργείται από τη φυτοκάλυψη της περιοχής και στη συνέχεια έπεται η παρουσία του εκπλυμένου ορίζοντα που σχηματίζεται λόγω έκπλυσης του Fe, Al και χούμου. Σε περίπτωση έντονης έκπλυσης δημιουργούνται ισχυρώς όξινες συνθήκες, όποτε ευνοείται ο σχηματισμός του χούμου τύπου mor και παράλληλα διασπώνται τα ορυκτά της αργίλου. Κατά τη διάσπαση της οργανικής ουσίας ο Fe και το Al μεταφέρονται από τον ελουβιακό ορίζοντα (eluvial horizon) στον σποραδικό ορίζοντα, όπου και εναποτίθενται. Τα εδάφη podzols αναπτύσσονται σε αμμώδη υποστρώματα και συναντώνται κυρίως στις Βόρειες ψυχρές περιοχές όπου ευδοκούν τα κωνοφόρα. Καλύπτουν μια έκταση η οποία σε παγκόσμιο επίπεδο ανέρχεται σε 487 εκατ. Ha και βρίσκονται κυρίως στην Ηπειρωτική ζώνη του Β. Ημισφαιρίου, καθώς και σε μικρότερη έκταση (32 εκατόν. ha) στις τροπικές περιοχές (FAO, 2000).

Στη χώρα μας βρίσκονται στις ορεινές περιοχές. Πρόκειται για εδάφη πολύ μικρής γονιμότητας, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας τους σε διαθέσιμα θρεπτικά και της αδρομερούς (αμμώδους) κοκκομετρικής σύστασης τους, καθώς και του χαμηλού pH. Κατά συνέπεια, η γεωργική τους αξιοποίηση είναι περιορισμένη. Συνήθως καλύπτονται από δασικά οικοσυστήματα κωνοφόρων δέντρων. Μπορεί όμως να καταστούν παραγωγικά, εάν εφαρμοστούν κατάλληλα προγράμματα καλλιέργειας με ανθεκτικά φυτά, με την εφαρμογή της ορθολογικής λίπανσης και βεβαίως βελτίωσης του pH με προσθήκη ασβεστούχων υλικών (Σινάνης, 2011).

2.4.2 Ισχυρώς όξινα εδάφη

Τα εδάφη αυτά έχουν $pH < 5,5$, το δε εδαφικό τους σύμπλοκο είναι κεκορεσμένο με κατιόντα Al^{3+} κατά 60%. Λόγω της ισχυρής οξύτητάς τους ένα σημαντικό μέρος του Al^{3+} καθίσταται διαλυτό και είτε δεσμεύεται ισχυρά από την οργανική ουσία, ή βρίσκεται ως κατιόν (Al^{3+}) στο εδαφοδιάλυμα ή απαντά ως υδροξείδιο του αργιλίου $\{Al(OH)^{2+}\}$. Τα κατιόντα του υδροξειδίου μπορούν ωσαύτως να προσροφηθούν στις επιφάνειες των κolloειδών (εδαφοσυμπλόκων), αλλά δε θεωρούνται ως εναλλακτικά κατιόντα λόγω πολυμερισμού. Τα κατιόντα του Al^{3+} βρίσκονται στο εδαφοδιάλυμα σε ισορροπία με τα αντίστοιχα προσροφημένα, της ισορροπίας εχούσης ως εξής: (Σινάνης, 2011).

Εδαφσύμπλοκο – $Al \rightleftharpoons Al^{3+}$ (εδαφοδιάλυμα)

Τα ευρισκόμενα στο εδαφοδιάλυμα κατιόντα αργιλίου υδρολύονται και σχηματίζουν κατιόντα υδροξειδίου και ιόντα υδρογόνου ως εξής:



Με τον τρόπο αυτό παράγονται ιόντα H^+ , τα οποία συμβάλλουν στη δημιουργία της οξύτητας στα ισχυρώς όξινα εδάφη. Αποτελούν έτσι τα υδροξείδια τη βασική πηγή εφοδιασμού του εδάφους H^+ . Επίσης και ο Fe^{2+} υδρολύεται κατά τον ίδιο τρόπο, αλλά σε μικρότερο βαθμό, παράγοντας υδροξείδια και κατ' επέκταση κατιόντα H^+ όπως και το Al^{3+} . Μια άλλη πηγή κατιόντων H^+ στα ισχυρώς όξινα εδάφη είναι και τα προσροφημένα κατιόντα H^+ στην επιφάνεια των κolloειδών, τα οποία απελευθερώνονται κατά τις ιοντοανταλλακτικές αντιδράσεις στο εδαφοδιάλυμα. Αυτή η πηγή όμως είναι πολύ υποδεέστερη εκείνης της υδρόλυσης του Al (Radtke, 1998).

Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων του Al^{3+} στο εδαφοδιάλυμα των ισχυρώς όξινων εδαφών επιδρά δυσμενώς (τοξικά) στην ανάπτυξη των φυτών. Τα συμπτώματα τοξικότητας από Al μοιάζουν με τα συμπτώματα από τροφοπενίες φωσφόρου και ασβεστίου. Τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στις ρίζες. Οι ρίζες

αποκτούν έναν καφέ χρωματισμό και μειώνεται η παραγωγή ριζικών τριχιδίων. Αν η τοξικότητα συνεχιστεί επηρεάζονται διάφορες φυτικές και μεταβολικές διεργασίες όπως η πρόσληψη και μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων (ειδικά η ακινητοποίηση του φωσφόρου στις ρίζες), η κυτταρική διαίρεση, η αναπνοή, η ακινητοποίηση του αζώτου και η φωσφοριλίωση της γλυκόζης των φυτών.

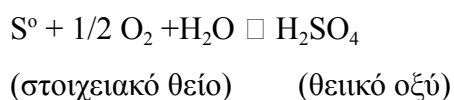
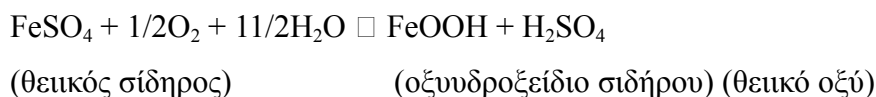
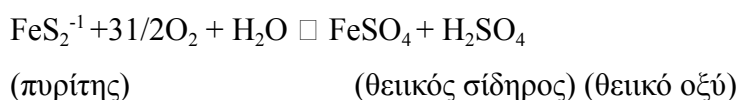
Όσον αφορά στην ανθεκτικότητα των φυτών στα ισχυρώς όξινα εδάφη, αυτή είναι η συνάρτηση της ανθεκτικότητας τους στο Al. Ως προς το θέμα αυτό, παρατηρούνται πολλές διαφορές μεταξύ των φυτών. Αλλά υπάρχουν μερικές καλλιέργειες όπως το τσάι που μπορεί να συσσωρεύονται μεγαλύτερες ποσότητες Al στις ρίζες του, χωρίς να επηρεαστεί η ανάπτυξη του.

Η ανθεκτικότητα των φυτών στο Al εξαρτάται από: (α) τη μορφολογία του ριζικού συστήματος των φυτών, (β) την ικανότητα που έχει ένα φυτό να αυξήσει την τιμή του pH της ριζικής ζώνης, (γ) τους μηχανισμούς μεταφοράς του Al από το ριζικό σύστημα στους βλαστούς και τέλος (δ) το βαθμό συσσώρευσης του Al στα φύλλα και στους βλαστούς (Radtke. 1998).

Η βελτίωση των ισχυρώς όξινων εδαφών επιτυγχάνεται με την ασβέστωση και αποτελεί ένα κοινό μέσο για την αύξηση του pH του εδάφους και κατά συνέπεια της μείωσης του ποσού στο διάλυμα του εδάφους. Είναι διαθέσιμες αρκετές ποικιλίες διαφόρων καλλιεργειών με αντοχή στο Al, ειδικά ποικιλίες ρυζιού, μάνγκο, εσπεριδοειδών, ανανά και διάφορα όσπρια μπορούν να δώσουν ικανοποιητική παραγωγή σε αυτά τα εδάφη.

2.4.3. Όξινα θειικά εδάφη

Τα όξινα θειικά εδάφη (acid sulfate soils) χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη σε βάθος περίπου 125 cm μιας στρώσης θεικών υλικών ή ενός θεικού ορίζοντα (sulfuric horizon) ή και των δυο μαζί. Απαντούν στην τάξη των Fluvisols και είναι γνωστά ως Thionic fluvisols (FAO, 2000). Δημιουργούνται στις ελώδεις περιοχές και μετά τη στράγγιση των νερών. Περιέχουν πυρίτη (FeS_2), ο οποίος οξειδώνεται προς θειικό οξύ. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι οι εξής:



Μελετώντας τις πιο πάνω αντιδράσεις, παρατηρούμε ότι η πηγή των κατιόντων H^+ είναι η οξειδωση του S του πυρίτη και του στοιχειακού S^0 . Οι αντιδράσεις αυτές της οξειδοαναγωγής μπορούν να συμβούν και με καθαρά χημικές διαδικασίες, αλλά στο έδαφος συνήθως λαμβάνουν χώρα με τη δράση των βακτηρίων όπως του *Thiobacillus ferroxidans* και *Ferroplasma acidiphilum*. Οι μικροοργανισμοί αυτοί επιτυγχάνουν σημαντικά το ρυθμό των εν λόγω αντιδράσεων, ιδιαίτερα βέβαια όταν η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους είναι ευνοϊκές.

Στη χώρα μας δεν έχει αναφερθεί η ύπαρξη όξινων θεικών εδαφών. Αυτά απαντούν στις Η.Π.Α., Ν.Α. Ασία, Β. Αυστραλία και Δ. Αφρική. Μάλιστα, όταν βρίσκονται υπό συνθήκες κατάκλυσης (ελώδεις) τα εδάφη αυτά θεωρούνται ως «εν δυνάμει» όξινα θεικά. Όταν όμως τα νερά απομακρυνθούν δια της στραγγίσεως, τότε υπεισέρχεται ο αέρας στους πόρους του εδάφους και αρχίζει η διεργασία της οξειδωσης του S και του Fe, οπότε σχηματίζονται σε όξινα θεικά εδάφη.

Συμπερασματικά, τα όξινα θεικά εδάφη δημιουργούνται σε ελώδεις περιοχές και η γέννησή τους οφείλεται στην ύπαρξη του πυρίτη, ο οποίος οξειδώνεται τελικά προς θεικό οξύ, εξ ου και αποκαλούνται όξινα θεικά εδάφη. Η ισχυρή οξύτητα των εδαφών αυτών συμβάλλει στη διαλυτοποίηση του Al, γεγονός που καθιστά το έδαφος εξαιρετικά τοξικό και ακατάλληλο τη γεωργία και, για να αξιοποιηθούν, θα πρέπει βέβαια να βελτιωθούν με ασβεστώσεις. Παγκοσμίως, η έκταση των όξινων θεικών εδαφών ανέρχεται σε $12 \cdot 10^6$ ha και τα βρίσκουμε κυρίως σε περιοχές της Ινδονησίας, του Βιετνάμ κ.α. (FAO, 2000). Τα υπόψη εδάφη καλύπτονται κυρίως από

φυσική βλάστηση που αξιοποιείται για δασικούς σκοπούς. Συνήθως δεν χρησιμοποιούνται για γεωργικούς σκοπούς, καθόσον οι βασικοί περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης των καλλιεργειών που επικρατούν σ' αυτά, όπως τοξικότητα Al, χαμηλό pH και πολύ χαμηλή διαθεσιμότητα P, περιορίζουν τις δυνατότητες ανάπτυξης των καλλιεργειών (Manahan , 1993).

2.5 Τα όξινα εδάφη της Ελλάδας

Από επιστημονικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν εκτιμάται ότι 15% των εδαφών της χώρας μας έχει χαμηλές τιμές pH. Τα όξινα εδάφη στην Ελλάδα βρίσκονται η δημιουργία όξινων εδαφών ευνοείται από την παρουσία μητρικών υλικών (κατά κύριο λόγο γρανιτών, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων κ.α). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε πως η δημιουργία όξινων εδαφών παρατηρείται ακόμη και σε ασβεστολιθικά ή βασικά πετρώματα. Εκτός όμως από τα όξινα πετρώματα, η δημιουργία όξινων εδαφών ενδέχεται να είναι αποτέλεσμα συχνών βροχοπτώσεων αλλά και μικρού ρυθμού εξάτμισης. Η μηχανική σύσταση του εδάφους σε ορεινές και ημιορεινές κατά κανόνα είναι ελαφρά. Το γεγονός αυτό δρα ευνοϊκά στην έκπλυση των θρεπτικών συστατικών. Ακόμη και σε χαμηλές λοφώδεις περιοχές, ακόμη και εάν οι βροχοπτώσεις είναι λίγες, τις περισσότερες φορές οι τιμές pH του εδάφους είναι μικρότερες από 5,5 (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος , 2007).

Οι λόγοι που ευθύνονται είναι :

- i. η πολυετής χρήση οξινοποιών αζωτούχων λιπασμάτων (θειική αμμωνία κ.λπ.),
- ii. η εφαρμογή υψηλών δόσεων αζώτου και
- iii. η μονοκαλλιέργεια με σιτάρι, που εφαρμόζεται εδώ και πάρα πολλά χρόνια.

Τα περισσότερα όξινα ελληνικά εδάφη έχουν τιμές από 5,5 έως 4,8 και πολλές φορές ενδέχεται να είναι γύρω στο 4,3. Τα όξινα εδάφη των πεδινών περιοχών της χώρας οφείλουν τη γένεση τους στη μακροχρόνια χρήση οξινοποιών λιπασμάτων, καθώς επίσης και στην ύπαρξη μητρικού πετρώματος όξινης προέλευσης (π.χ. περιοχή της Ν. Καβάλας), ή και παρουσία όξινων εδαφών που καλύπτονται από ασβεστόχα

υλικά (περιοχή Χρυσούπολης). Ωστόσο, έχουμε σχετικές πληροφορίες της κατ' εκτίμηση έκτασης των όξινων εδαφών στη Βόρεια Ελλάδα. Τα στοιχεία αυτά παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Οι εκτάσεις των όξινων εδαφών στην Βόρεια Ελλάδα

Νομός	Έκταση (στρ.)
Θεσσαλονίκης	180.000
Χαλκιδικής	120.000
Κιλκίς	500.000
Ημαθίας	25.000
Πέλλας	40.000
Πιερίας	30.000
Κοζάνης	35.000
Γρεβενών	50.000
Καστοριάς	100.000
Φλώρινας	60.000
Καβάλας	30.000
Δράμας	70.000
Σερρών	16.000
Ξάνθης	90.000
Ροδόπης	70.000
Έβρου	120.000

Πηγή : Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος , 2007.

Από αυτόν προκύπτει ότι ο Νομός Κιλκίς έχει τα περισσότερα όξινα εδάφη με δεύτερο το Ν. Θεσσαλονίκης. Το σύνολο των όξινων εδαφών στη Β. Ελλάδα ανέρχεται περίπου σε 1.536.000 στρ.

Το pH των εδαφών αυτών είναι < 5,50. Πρόκειται κυρίως για ερυθρογαίες σε παλιές πεδιάδες ή χαμηλές λοφώδεις περιοχές, που καλλιεργούνται ως επί το πλείστον με σιτάρια. Επίσης, μπορεί να είναι και πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις.

Κεφάλαιο 3^ο : Οι παράγοντες που προκαλούν οξίνιση των εδαφών

Όπως όλα τα εδάφη έτσι και τα όξινα σχηματίζονται με την επίδραση των κλιματικών παραγόντων, του τοπογραφικού ανάγλυφου, της βλάστησης, του μητρικού υλικού και του χρόνου. Ειδικότερα όμως, όσον αφορά την επίδραση του κλίματος, τα όξινα εδάφη έχουν ιδιαίτερα έντονη παρουσία κάτω από της τροπικές συνθήκες, κατανέμονται δε μεταξύ των εδαφικών τάξεων των Acrisols και Ferrasols και δημιουργούνται σε παλιές εδαφικές επιφάνειες, ενώ τα όξινα θειικά εδάφη (acid sulfate soils) γεννιούνται στις χαμηλές παράκτιες ελώδεις περιοχές. Όσον αφορά τα όξινα Podzols, αυτά απαντούν στις βόρειες περιοχές του ημισφαιρίου.

Οι διάφοροι τύποι των όξινων εδαφών διαφέρουν ως προς το pH και τα λοιπά χαρακτηριστικά τους, τα οποία μεταβάλλονται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, το είδος του μητρικού υλικού, την ορυκτολογική σύσταση, τη βλάστηση (βιομάζα) και το κλίμα.

Σε γενικές γραμμές θα πρέπει να αναφέρουμε πως η οξίνιση του εδάφους είναι άμεσα συνυφασμένη με τις ήδη εκτεθείσες πηγές παραγωγής H^+ . Εκτός όμως από αυτό πληθώρα άλλων παραγόντων λειτουργούν ευνοϊκά για την δημιουργία των όξινων προβληματικών εδαφών. Η δημιουργία όξινων εδαφών είναι αποτέλεσμα διαφόρων φυσικών συνθηκών ή διαταραχών που προκλήθηκαν από τον άνθρωπο. Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις που συνδέονται με την οξίνιση των εδαφών μακροχρόνια εφαρμογή οξινοποιών λιπασμάτων (θειική αμμωνία, ουρία κ.λπ.).

Στις ηπειρωτικές περιοχές τα όξινα εδάφη δημιουργούνται κυρίως στις ορεινές περιοχές, λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων που επικρατούν. Οι βροχοπτώσεις, ως βασική παράμετρος του κλίματος, σχετίζονται άμεσα με τη δημιουργία των όξινων εδαφών. Όταν το έδαφος δέχεται συχνές βροχοπτώσεις (ορεινές περιοχές με ύψος βροχής $>1000\text{mm}$) ευνοείται η έκπλυση βάσεων. Μάλιστα παρατηρείται σταδιακή αντικατάστασή τους με τα ιόντα H^+ στην επιφάνεια των κolloειδών. Με τον τρόπο αυτό σε βάθος χρόνου δημιουργούνται τα όξινα εδάφη. Σαν διαδικασία απαιτείται χρόνος ενώ η ταχύτητα γίνεται επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Όσο, πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) και άρα απαιτείται περισσότερος χρόνος για την οξινοποίηση του. Το αντίθετο συμβαίνει με τα ελαφράς σύστασης εδάφη (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Εδάφη που βρίσκονται κάτω από το καθεστώς κατάκλυσης συνήθως έχουν βασικό pH (αλκαλικό), δεδομένου ότι κάτω από τέτοιες συνθήκες τα ιόντα του H^+ εξουδετερώνονται από το αναγωγικό περιβάλλον στο οποίο επικρατούν ουσίες που προκαλούν την ανάγωγη, δηλαδή καταναλώνουν πρωτόνια, ήτοι H^+ . Τέτοιες ουσίες μπορεί να είναι Fe^0 , MnO , H_2S κ.λπ. Αντίθετα, κάτω από αερόβιες συνθήκες επικρατούν οι οξειδωμένες μορφές, όπως FeO_3 , SO_3 κ.ο.κ. Επίσης, στις περιοχές όπου

η εξαμισοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη από τις βροχόπτωσης, έχουμε συσσώρευση βάσεων, λόγω της περιορισμένης έκπλυσης, οι οποίες και αυξάνουν το pH λόγω κυρίως της υδρόλυσης (Σινάνης, 2011).

3.1 Φυσικές συνθήκες που προκαλούν οξίνιση των εδαφών

3.1.1 Μητρικό υλικό

Το μητρικό υλικό από το οποίο σχηματίζεται το έδαφος είναι πιθανό να προέρχεται από όξινα μητρικά πετρώματα όπως είναι για παράδειγμα οι γρανίτες και κάποια τύποι σχιστόλιθων. Τα μητρικά αυτά υλικά κρατούν χαμηλό το pH του εδάφους με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην ανάπτυξη των περισσότερων καλλιεργειών. Στην Ελλάδα τέτοια πετρώματα απαντούν σε περιοχές της Ηπείρου, της Ευρυτανίας, της Πελοποννήσου και της Θράκης.

3.1.2 Μορφολογία – Ανάγλυφο εδάφους

Η μορφολογία και γενικότερα το ανάγλυφο του εδάφους επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αποστράγγιση, την διάβρωση και την αποστράγγιση του εδάφους και κατ' επέκταση επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό και την έκπλυση του εδάφους από τις βάσεις με συνέπεια να μειώνεται το pH του εδάφους (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως σε εδάφη που στραγγίζουν ικανοποιητικά ακόμη και εάν είναι ίδιας προέλευσης και στις ίδιες κλιματολογικές συνθήκες η πυκνότητα ιόντων H^+ θα είναι μεγαλύτερη από τα εδάφη τα οποία δεν αποστραγγίζουν ικανοποιητικά.

Επίσης, σε εδάφη σε επικλινείς περιοχές που παρατηρείται έντονη έκπλυση των θρεπτικών συστατικών και διάβρωση των ήδη φτωχών μητρικών υλικών

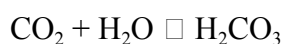
παρατηρείται σε γενικές γραμμές μεγαλύτερη πυκνότητα ιόντων H^+ από εδάφη τα οποία βρίσκονται σε επίπεδες περιοχές. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ο εμπλουτισμός των επίπεδων περιοχών με βάσεις οι οποίες προέρχονται από την έκπλυση των επικλινών περιοχών (Σινάνης, 2011) Επιπλέον Τα υπολείμματα καλλιεργειών μπορούν να ανακυκλώσουν τα θρεπτικά συστατικά που αφαιρούνται από το έδαφος και από τις καλλιέργειες, ενώ οι πράσινες κοπριές συνεισφέρουν σημαντικό ποσό N σε μεταγενέστερες καλλιέργειες και ταυτόχρονα προστατεύουν το έδαφος από την διάβρωση (Kumar & Sukul 2020)

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι σε περιοχές όπου επικρατούν υψηλές βροχοπτώσεις, τόσο σε πεδινές όσο και κυρίως σε ορεινές, η έκπλυση των βάσεων στα ελαφρότερης μηχανικής σύστασης εδάφη είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την οξίνιση του εδάφους και φυσικά τη μείωση του pH. Η έκπλυση των βάσεων είναι ένα φαινόμενο το οποίο παίζει σπουδαίο ρόλο στη δημιουργία των όξινων εδαφών.

3.1.3 Εκκρίσεις ριζών

Τα ριζικά συστήματα των φυτών εκκρίνουν οργανικά οξέα, ενώ παράγουν ταυτόχρονα CO_2 , το οποίο μπορεί να συμβάλλει στην παραγωγή κατιόντων H^+ και άρα οι ρίζες ασκούν στη περιοχή της ριζόσφαιρας οξινοποιό δράση. Εξάλλου, η πρόσληψη μεγάλων ποσοτήτων βάσεων μπορεί ωσαύτως να αποτελεί μια αιτία για την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων H^+ και της οξίνισης της ριζόσφαιρας.

Το CO_2 παράγεται κατά βιολογική διάσπαση της οργανικής ουσίας καθώς και κατά τη δραστηριότητα των ριζών. Το CO_2 αντιδρά με το νερό (H_2O) και παράγει το ασθενές ανθρακικό οξύ ως εξής:



Το H_2CO_3 όντας ασθενές διάσταται σε ιόντα H^+ και διττανθρακικά ανιόντα, ήτοι:



3.1.4 Αργιλοπυριτικά υλικά

Άλλος ένας παράγοντας που ευνοεί την οξίνιση των εδαφών είναι τα αργιλοπυριτικά ορυκτά. Το αρνητικό φορτίων των υλικών αυτών ευθύνεται για την συγκράτηση διάφορων κατιόντων και κατ' επέκταση την μείωση του pH.

Πιο αναλυτικά, τα διάφορα είδη αργίλου του εδάφους, ήτοι του τύπου 1 : 1 ή 2 : 1, ενεργούν ως ρυθμιστικοί παράγοντες του pH του εδάφους, δεδομένου ότι αποτελούν μια πηγή παραγωγής H^+ . Για παράδειγμα ο τύπος του αργίλου 1:1 παρέχει H^+ από τις τετρασμένες άκρες του καολινίτη. Γενικά, όσο μεγαλύτερη εναλλακτική ικανότητα έχει ο άργιλος, όσο περισσότερα κατιόντα H^+ παρέχει στο εδαφοδιάλυμα και άρα ένα τέτοιο έδαφος μπορεί να ανθίσταται στις μεταβολές του pH, δηλαδή έχει πολύ καλή ρυθμιστική ικανότητα και επομένως το pH των εδαφών αυτών δε μεταβάλλεται εύκολα.

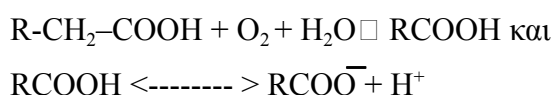
3.1.5 Διαλυτοποίηση ιόντων Al^{+3} και Fe^{+3}

Σε όξινα εδάφη, τα κατιόντα υδρογόνου ευνοούν την απελευθέρωση των ιόντων Al^{+3} τα οποία βρίσκονται προσροφημένα στα αργιλικά ιόντα, τα αντικαθιστούν. Έτσι τα ιόντα Al^{+3} μεταφέρονται στο εδαφικό διάλυμα όπου και υδρολύονται. Η παραγωγή ιόντων υδρογόνου οδηγεί σε ακόμη μεγαλύτερη μείωση του pH του εδάφους. Όμοια είναι και η συμπεριφορά με την διαλυτοποίηση του σιδήρου (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

3.1.6 Οργανική ουσία

Όταν η οργανική ουσία αποσυντίθεται με την βοήθεια των μικροοργανισμών που απαντούν στο έδαφος παράγονται διάφορα οργανικά και ανόργανα οξέα όπως π.χ. οξικό οξύ, αμινοξέα, ασκορβικό οξύ, βενζοϊκό οξύ κ.α.

Τα οξέα αυτά συνιστούν μια σημαντική πηγή πρωτονίων (H^+), τα οποία παράγονται κατά την εξής γενική αντίδραση:



Επιπλέον, η οργανική ουσία, δεδομένου ότι αποτελεί το οργανικό κολλοειδές κλάσμα του εδάφους, έχει προσροφημένα στην επιφάνεια της. Αυτά εναλλάσσονται με βάσεις, όπως Ca^{2+} , Mg^{2+} κλπ και μεταφέρονται στο εδαφοδιάλυμα, καθιστώντας το pH όξινο. Εξάλλου, επειδή η οργανική ουσία περιέχει πολλές λειτουργικές ομάδες όξινης φύσεως, ελευθερώνει H^+ κατά τη διάσπαση τους (υπό την επίδραση του pH), συνιστώντας έτσι μια επιπρόσθετη πηγή H^+ .

Επίσης, τα οξέα αυτά εκτός από το γεγονός ότι ευνοούν την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου διευκολύνουν και την διαλυτοποίηση των ιόντων Al^{+3} από τις επιφάνειες των ορυκτών (Σινάνης, 2011).

3.1.7 Η αποσάθρωση των πετρωμάτων

Η αποσάθρωση των πετρωμάτων συμβάλλει στη παρουσία στο έδαφος διαλυτών αλάτων, η ύπαρξη των οποίων μπορεί να μειώσει κατά 0,4-0,6 το pH και μάλιστα η μείωση αυτή μπορεί να λάβει την τιμή 1, 2 της κλίμακας του pH. Βέβαια, η μείωση αυτή λαμβάνει χώρα μόνο σε μη αλατούχα εδάφη. Αντίθετα, η προσθήκη ή δημιουργία αλάτων, λόγω αποσάθρωσης σε εδάφη που ήδη είναι αλατούχα, δεν μπορεί να έχει επίδραση στο pH. Γενικά, η προσθήκη υδατοδιαλυτών ανόργανων αλάτων, π.χ. υπό μορφή λιπάσματος, συμβάλλει στη μείωση του pH. Μάλιστα, στα γόνιμα εδάφη, η επίδραση των αλάτων στο pH είναι πολύ συνηθισμένη για παράδειγμα αυξημένη συγκέντρωση NO_3 μειώνει το pH. Η επίδραση των υδατοδιαλυτών αλάτων στο pH εξηγείται με βάση τις αντιδράσεις της

ιοντοανταλλαγής. Δηλαδή οι προστιθέμενες βάσεις που αποτελούν συστατικά των διαφόρων αλάτων (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), αντικαθιστούν τα προσροφημένα κατιόντα H^+ των κolloειδών με συνέπεια τη μείωση του pH, δηλαδή την οξίνιση του εδάφους (Αλιφραγκής, 2008).

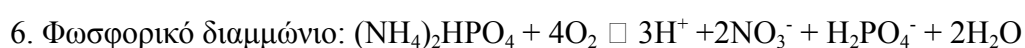
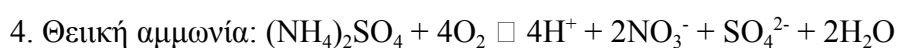
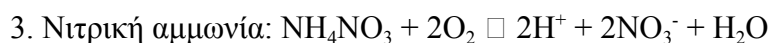
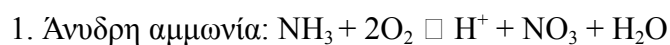
3.2 Ανθρωπογενείς επιδράσεις που προκαλούν την οξίνιση του εδάφους

Γενικά, οι παρεμβάσεις του ανθρώπου στο έδαφος περιλαμβάνουν τη χρήση λιπασμάτων, την προσθήκη κόπρου και διάφορων άλλων οργανικών ενώσεων που στόχο έχουν να αυξήσουν την απόδοση της καλλιέργειας. Η εφαρμογή τέτοιων πρακτικών για μεγάλα χρονικά διαστήματα είχαν ως συνέπεια να παρατηρούνται ολοένα και συχνότερα προβλήματα οξίνισης των εδαφών. Η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων και η εφαρμογή του στοιχειακού θείου αποτελούν έναν σπουδαίο παράγοντα οξίνισης του εδάφους. Επιπλέον η διατήρηση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών είναι η κύρια οργανική εισροή για την ενίσχυση της οργανικής ύλης του εδάφους και την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Μελέτες έχουν δείξει ότι η οργανική ύλη προάγει τη μικροβιακή δραστηριότητα, βελτιώνει την δομή εδάφους, τον αερισμό, την διατήρηση θρεπτικών ουσιών και το νερό (Vanlauwe. 2015, Agegnehu & Amede 2017, Amede. 2021).

3.2.1 Χημικά λιπάσματα

Τα χημικά λιπάσματα προστίθενται στις καλλιέργειες με στόχο την βελτίωση της θρέψης των φυτικών οργανισμών και κατ' επέκταση την αύξηση της παραγωγής της καλλιέργειας. Ωστόσο σε περιπτώσεις που η χρήση τους δεν γίνεται με τον ενδεδειγμένο τρόπο με συνέπεια να εμφανίζονται αρνητικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στα φυτά. Μια τέτοια περίπτωση είναι και η αύξηση της οξύτητας του εδάφους εξαιτίας της οξινοποιού δράσης που εμφανίζουν κάποια λιπάσματα στο έδαφος. Ορισμένα από αυτά, όπως π.χ. τα αμμωνιακά, έχουν σημαντική επίδραση στο pH του εδάφους. Αντίθετα, τα νιτρικά λιπάσματα έχουν ελάχιστη επίδραση, διότι μεταφέρουν βασικά κατιόντα (Θεριός, 2005).

Η οξינוποιός δράση των διαφόρων αζωτούχων λιπασμάτων φαίνεται στις πιο κάτω αντιδράσεις τους.



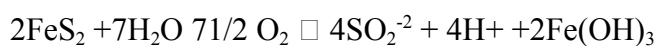
Οι αντιδράσεις αυτές λαμβάνουν χώρα κατά τη νιτροποίηση του NH_4 οξειδώνεται βιολογικά, μετατρέπόμενο σε NO_3 , μορφή υπό την οποία κατά το μεγαλύτερο ποσοστό προσλαμβάνεται από τα φυτά. Διαπιστώνεται ότι η μεγαλύτερη ποσότητα H^+ δημιουργεί κατά τη νιτροποίηση η θεϊκή αμμωνία ακολουθούμενη από το φωσφορικό διαμμώνιο, ενώ τη μικρότερη επίδραση την ασκεί ή άνυδρη αμμωνία (Μήτσιος, 2001).

Μερικά άλλα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στην γεωργία και ευθύνονται για την μεταβολή της αντίδρασης του εδάφους είναι το φωσφορικό μονοασβέστιο, ο θειούχος σίδηρος και το θείο. Πιο αναλυτικά, το φωσφορικό μονοασβέστιο το οποίο είναι διαλυτό στο νερό και είναι αφομοιώσιμο από τα φυτά αποτελεί ένα από τα πλέον όξινα λιπάσματα κυρίως όταν εφαρμόζεται κατά λωρίδες.

Το φωσφορικό μονοασβέστιο διασπάται ως εξής:



Ο θειούχος σίδηρος είναι άλλη μια ένωση που συντελεί σε μεγάλο βαθμό στην δημιουργία όξινων εδαφών αφού κατά την αντίδραση του σχηματίζονται 8 πρωτόνια καθώς επίσης και αέρια SO_4 τα οποία είναι πολύ πιθανό να προκαλέσουν όξινη βροχή διότι αντιδρούν με το νερό της βροχής. Πιο αναλυτικά, η αντίδραση για τον θειούχο σίδηρο δίνεται παρακάτω:



Τέλος, το θείο το οποίο οξειδώνεται έχει σαν αποτέλεσμα να σχηματίζονται ιόντα H^+ . Το θείο χρησιμοποιείται ευρέως στα λιπάσματα αλλά και σε κάποια φυτοπροστατευτικά σκευάσματα προκειμένου να προστατέψει τις καλλιέργειες από προσβολές μυκητολογικής φύσης. Η αντίδραση του θείου είναι η εξής:



(Θερίος, 2005).

3.2.2 Όξινη βροχή

Κύριες αιτίες για την οξύτητα του εδάφους είναι η βροχόπτωση και η έκπλυση. Οι έντονες βροχοπτώσεις είναι η κύρια αιτία για την αφαίρεση των βασικών κατιόντων για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσω της έκπλυσης. Αυτό μπορεί να επιδεινώσει μια οξύτητα του εδάφους αφήνοντας τις τοξικές και αδιάλυτες ενώσεις των υπολειμμάτων Al και Fe στο έδαφος. Η φύση αυτών των ενώσεων είναι όξινη, τα οξείδια και τα υδροξείδια τους αντιδρούν με το νερό απελευθερώνοντας ιόντα υδρογόνου (H^+) σε διάλυμα εδάφους και το έδαφος γίνεται όξινο. Εκτός αυτού, όταν χάνονται οι διαλυτές βάσεις, τα ιόντα H^+ από το ανθρακικό οξύ και τα άλλα οξέα που αναπτύσσονται στο έδαφος αντικαθιστούν τα βασικά κατιόντα του κολλοειδούς συμπλόκου. Τα αμμώδη εδάφη είναι συχνά πιο όξινα και περιέχουν επίσης μόνο μια μικρή δεξαμενή στοιχείων βάσεων λόγω του χαμηλού περιεχομένου αργίλου και οργανικής ύλης. Από την επίδραση των βροχοπτώσεων στο όξινο έδαφος η ανάπτυξη είναι πολύ αργή και μπορεί να πάρει πολλά από τα έτη για σχηματισμό του νέου μητρικού υλικού για να γίνει όξινο κάτω από περιοχές υψηλών βροχοπτώσεων (Zhang, 2016).

Ο όρος όξινη βροχή αναφέρεται στην παρουσία όξινων διαλυμένων ρύπων. Πιο αναλυτικά, οι ουσίες αυτές είναι αέριες είτε όχι σε φυσιολογικές συνθήκες δεν θα έπρεπε να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, ωστόσο απαντούν στον ατμοσφαιρικό αέρα είτε εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων είτε εξαιτίας διαφόρων άλλων αιτιών όπως για παράδειγμα η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα καυσαέρια που παράγονται από τα ορυκτά καύσιμα πολλές φορές περιέχουν οξείδια θείου και αζώτου με

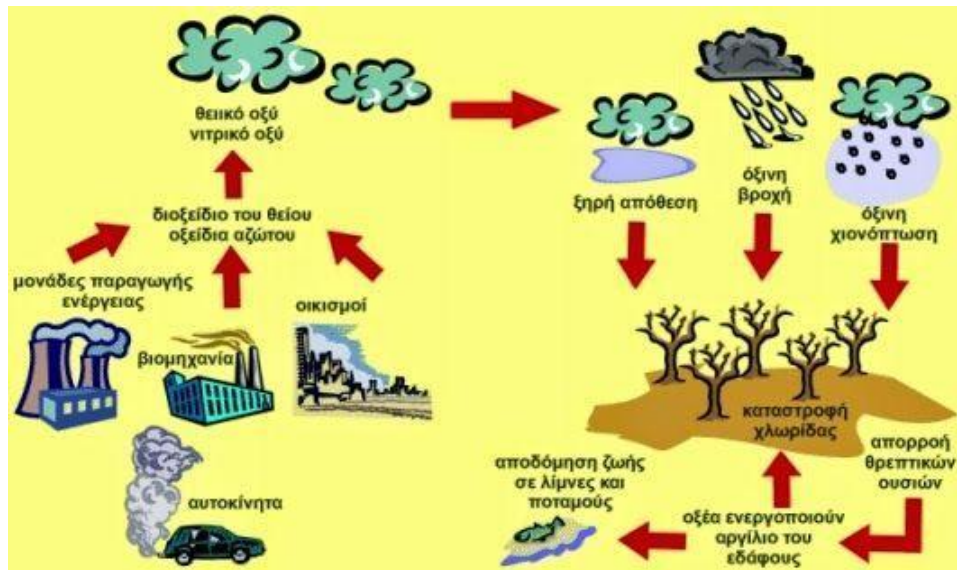
συνέπεια να παράγεται όξινη βροχή που περιέχει σε διάλυση τα αντίστοιχα οξέα (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Η όξινη βροχή έχει πολύ σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε οικοσυστήματα, καλλιέργειες, πολιτιστικά μνημεία και περιουσιακά στοιχεία των πολιτών (π.χ. αυτοκίνητα). Οι σπουδαιότερες επιπτώσεις της όξινης βροχής τις τελευταίες δεκαετίες οδήγησαν πολλές χώρες να θεσπίσουν νόμους και άλλα μέτρα προκειμένου να μειωθεί το φαινόμενο και κατ' επέκταση οι επιπτώσεις του.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας με SO_2 , N_2O , NO , που παράγονται λόγω των βιομηχανικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, αποτελεί την κύρια αιτία της δημιουργίας της όξινης βροχής. Τα πιο πάνω αέρια οξειδώνονται περαιτέρω και μετατρέπονται σε θειικό και νιτρικό οξύ, τα οποία μέσω των βροχοπτώσεων μεταφέρονται στην επιφάνεια του εδάφους και προσθέτουν, επομένως, ιόντα H^+ στο περιβάλλον, συμβάλλοντας στην οξίνιση του εδάφους (Όξενκιουν-Πετροπούλου, 2002).

Η όξινη βροχή έχει σοβαρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, μάλιστα σε σοβαρές περιπτώσεις διάφοροι οργανισμοί οδηγούνται μέχρι και στον θάνατο με άμεσο ή έμμεσο τρόπο. Εκτός από το φυσικό περιβάλλον η όξινη βροχή έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε ιστορικούς και πολιτιστικούς χώρους αφού προκαλεί διαβρώσεις. Σημαντικές είναι οι ζημιές που καταγράφονται και σε κτίρια και οχήματα ενώ βλάπτεται η υγεία του ανθρώπου. Η μείωση της τιμής του pH στα επιφανειακά ύδατα από την όξινη βροχή (ή και άλλες πηγές ρύπανσης) αρνητικές συνέπειες σε πολλούς υδρόβιους οργανισμούς και κυρίως στα ωά τα νεογνά τους τα οποία τις περισσότερες φορές έχουν μεγάλη ευαισθησία.

Εικόνα 3: Ο σχηματισμός της όξινης βροχής και οι αρνητικές επιπτώσεις της στο περιβάλλον.



Τόσο η βιολογία, όσο και η χημεία του εδάφους βλάπτονται σοβαρά από την όξινη βροχή. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι τα οξέα που περιέχονται στην όξινη βροχή ενσωματώνονται με την πάροδο του χρόνου στο έδαφος μεταβάλλοντας σταδιακά το pH του σε τιμές που κυμαίνονται γύρω στο 4 και μπορεί να φτάσουν ακόμη και το 2 σε πολύ σοβαρές περιπτώσεις. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλές εδαφώβιες μορφές ζωής να μην ανέχονται τις χαμηλές τιμές του pH και να οδηγούνται στον θάνατο.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται όλη η διαδικασία σχηματισμού της όξινης βροχής που ξεκινά από τα καυσαέρια, την μετατροπή τους σε οξέα, τον τρόπο με τον οποίο καταλήγουν στο έδαφος και τις αρνητικές επιπτώσεις που επιφέρει η όξινη βροχή στο περιβάλλον (Καϊλίδης, 2000).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος δύο τρόποι έχουν προταθεί. Ο πρώτος τρόπος περιλαμβάνει τον περιορισμό των καυσαερίων που εκπέμπονται από τις βιομηχανίες και τα οχήματα και ο δεύτερος τρόπος περιλαμβάνει την ασβέστωση των εδαφών. Και οι δύο περιπτώσεις θεωρούνται μη εφαρμόσιμες στην πράξη αφού στην πρώτη περίπτωση το θείο που αποτελεί το σπουδαιότερο στοιχείο του κάρβουνου δεν μπορεί να αφαιρεθεί από αυτό πριν την καύση του και στην δεύτερη περίπτωση θεωρείται αδύνατο να πραγματοποιηθεί ασβέστωση σε τόσες εκτάσεις πολλές από τις οποίες είναι δασικές. Ωστόσο σήμερα εφαρμόζεται η ασβέστωση των εδαφών σε καλλιεργούμενες εκτάσεις εξαιτίας της αύξησης της απόδοσης της καλλιέργειας, της

βελτίωσης της ποιότητας του αγροτικού προϊόντος αλλά και χάρη στα περιβαλλοντικά οφέλη που προκαλεί στο έδαφος.

3.2.3 Οργανικά απόβλητα

Έχει αποδειχθεί ότι η εναπόθεση οργανικών αποβλήτων στο έδαφος συνδέεται με την αύξηση της οξύτητας του. Πιο αναλυτικά, η αποσύνθεση τεράστιων ποσοτήτων οργανικών αποβλήτων και η αποσύνθεσή τους είναι μια διαδικασία που προκαλεί την παραγωγή είτε οργανικών είτε ανόργανων οξέων. Τα τελευταία χρόνια έχουν θεσπιστεί αυστηροί κανονισμοί οι οποίοι κάνουν υποχρεωτική την επεξεργασία των οργανικών αυτών αποβλήτων πριν αυτά καταλήξουν το έδαφος. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι μετά από μια τέτοιου είδους επεξεργασία τα οργανικά απόβλητα έχουν πλέον pH που κυμαίνεται γύρω στο 8 γεγονός αποτρέποντας με τον τρόπο αυτό την δημιουργία όξινων εδαφών.

3.2.4 Στράγγιση μερικών παράκτιων υγρών περιοχών

Σε κάποιες περιοχές η στράγγιση μερικών παράκτιων υγρών περιοχών έχει αποδειχθεί ότι συνδέεται με την δημιουργία όξινων θειούχων εδαφών. Χαρακτηριστικό αυτών των περιοχών είναι ότι τα εδάφη τους έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (S) καθώς επίσης και σε θειούχο σίδηρο (FeS). Έχει παρατηρηθεί λοιπόν ότι οι περιοχές αυτές όταν στραγγίζουν ο θειούχος σίδηρος και το θείο οξειδώνονται με συνέπεια την δημιουργία διαφόρων θειικών οξέων συνοδευόμενο από όλες τις αρνητικές επιπτώσεις. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος με την χρήση ανθρακικού ασβεστίου πρακτικά θεωρείται αδύνατη εξαιτίας του υψηλού κόστους που απαιτεί. Για τους παραπάνω λόγους σε τέτοιες περιοχές συνίσταται η αποφυγή στράγγιση τους προκειμένου να μην υποβαθμιστεί το περιβάλλον.

3.2.5 Συστήματα άρδευσης

Η άρδευση που πραγματοποιείται σε μια καλλιέργεια όπως δείχνουν τα επιστημονικά δεδομένα επηρεάζει το pH του εδάφους κυρίως όταν αυτή πραγματοποιείται με την μέθοδο της κατάκλισης. Πιο αναλυτικά, οι συχνές και μεγάλες σε ποσότητα αρδεύσεις προκαλούν έκπλυση των βασικών εναλλακτικών κατιόντων. Πιο αναλυτικά, εξαιτίας της κατάκτησης ενός αγρού προκαλείται επιφανειακή απορροή και κατά συνέπεια διάβρωση του εδάφους η οποία είναι στενά συνυφασμένη με την καταστροφή της δομής του εδάφους (Bronick & Lal, 2005).

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι με την εφαρμογή άλλων μεθόδων άρδευσης αποφεύγεται η έκπλυση των θρεπτικών συστατικών και κατ' επέκταση η δημιουργία όξινων εδαφών. Σε κάθε περίπτωση τα τελευταία χρόνια συνίσταται η εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού σε συχνά χρονικά διαστήματα γιατί με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η σπατάλη του νερού και περιορίζεται σημαντικά η επιφανειακή απορροή του που προκαλεί πολυάριθμα προβλήματα στην καλλιέργεια. (Καρακατσούλης, 1994).

3.3 Διαπίστωση όξινων εδαφών

Η διαπίστωση ότι το έδαφος είναι όξινο πραγματοποιείται με δύο τρόπους, ο πρώτος είναι ο εμπειρικός και ο λιγότερο αξιόπιστος και βασίζεται στην εμπειρία του παραγωγού και ο δεύτερος στηρίζεται σε εργαστηριακές αναλύσεις.

Σε αυτό το σημείο είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αναφέρουμε πως οι παρατηρήσεις του παραγωγού στο χωράφι θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές και με τον τρόπο αυτό μπορούν να διεξαχθούν αξιόλογα συμπεράσματα σχετικά με την οξύτητα ενός αγρού. Κάποιες σημαντικές παρατηρήσεις για παράδειγμα που μπορεί να κάνει κάποιος σχετίζονται με την αδυναμία ενός αγρού να ενσωματώσει την κοπριά ακόμη και αφού έχει περάσει ένα έτος από την εφαρμογή της στο χωράφι. Το συγκεκριμένο γεγονός αποτελεί μια σοβαρή ένδειξη οξύτητας. Μια ακόμη αξιόλογη παρατήρηση που αποτελεί ένδειξη οξύτητας είναι η παρουσία κάποιων αυτοφυών φυτών όπως για

παράδειγμα των λάπατων (*Runex acetosella*), της φτέρης (*Polypodium vulgare*) και της οξαλίδας (*Oxalis corniculata*) (Μήτσιος , 2001).

Όπως είναι φυσικό όμως οι παρατηρήσεις αυτές αποτελούν σοβαρές ενδείξεις και όχι αποδείξεις ότι ένα έδαφος είναι όξινο για τον λόγο αυτό απαιτείται εργαστηριακός έλεγχος προκειμένου να διαπιστωθεί το pH του εδάφους. Οι εργαστηριακές αναλύσεις μετρούν είτε την διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ του αιωρήματος μιας ποσότητας εδάφους σε συγκεκριμένο όγκο νερού και ενός ζεύγους ηλεκτροδίων είτε με την χρήση ειδικών δεικτών και την σύγκριση αυτών με χρωματισμούς οι οποίοι προκύπτουν από γνωστής οξύτητας ρυθμιστικά διαλύματα. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται χρήση πεχαμέτρου προκειμένου να μετρηθούν τα ιόντα H^+ στο διαλυτό μέρος του δείγματος εδάφους – νερού. Με τον τρόπο αυτό μετράται η ενεργός οξύτητα και όχι η συνολική οξύτητα του εδάφους ενός δείγματος. (Aneja.2001).

Κεφάλαιο 4^ο : Η επίδραση της οξύτητας

4.1 Γενικά στοιχεία για την επίδραση της οξύτητας

Εδάφη με ισχυρά όξινο pH είναι μικρής παραγωγικότητας και μειωμένης γονιμότητας. Ελάχιστες καλλιέργειες μπορούν επιτυχώς να αναπτυχθούν και να ευδοκιμήσουν σ' αυτά τα εδάφη. Στα μετρίως όξινα εδάφη, ενδεχομένως μπορεί να αναπτυχθούν περισσότερα φυτά, αλλά υπό την προϋπόθεση ότι θα είναι γόνιμα, διαφορετικά, τόσο τα ισχυρώς όξινα όσο και τα μετρίως θα πρέπει να βελτιωθούν τόσο με τη χρήση υλικών ασβέστωσης όσο και ανόργανων λιπασμάτων. Η χαμηλή παραγωγικότητα των όξινων εδαφών οφείλεται στο γεγονός ότι το χαμηλό pH επιδρά δυσμενώς στις βασικές χημικές, βιολογικές και φυσικές διεργασίες. Ιδιαίτερα δυσμενή επίδραση έχει η χαμηλή διαθεσιμότητα των στοιχείων που παρατηρείται στα όξινα εδάφη. Ακόμη, ορισμένα στοιχεία, όπως το Al, Zn, κ.λπ., έχουν μεγάλη διαλυτότητα στις όξινες συνθήκες, με συνέπεια να δρουν τοξικά στα φυτά. Επίσης, το ισχυρώς όξινο pH μπορεί να δράσει καυστικά κατά τη απευθείας επαφή του εδάφους με τις ρίζες ορισμένων μη οξύφιλων φυτών (Μισοπολίνος , 1991).

4.2 Επίδραση του pH στους μικροοργανισμούς του εδάφους και στη διάσπαση της οργανικής ουσίας

Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί επηρεάζονται δυσμενώς από το pH των ισχυρών όξινων εδαφών και η ενεργότητά τους αναστέλλεται από μερικώς έως τελείως, όταν το pH <5,5. Ωστόσο, υπάρχει μια ομάδα μικροοργανισμών που δραστηριοποιείται σε σχετικά χαμηλό pH κατά τρόπο αποτελεσματικό. Γενικά, με τη βαθμιαία αύξηση της οξύτητας, δηλαδή τη σταδιακή μείωση του pH, παρατηρείται στο έδαφος μια μεταβολή στη μικροβιακή σύνθεση του. Ήτοι, ο πληθυσμός των βακτηριδίων αρχίζει να μειώνεται βαθμιαία, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μια αύξηση του πληθυσμού των ακτινομυκήτων και, καθώς το pH γίνεται περισσότερο όξινο, ανέρχεται και ο πληθυσμός των μυκήτων. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αποτελούν την ομάδα που απλά μπορεί να επιβιώνει στα όξινα περιβάλλοντα και όχι μόνο, αλλά δραστηριοποιείται αποτελεσματικά.

Αντίθετα, οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τη νιτροποίηση και τη συμβιωτική αζωτοδέσμευση απενεργοποιούνται σε πολύ χαμηλά επίπεδα pH, όταν το εδαφικό περιβάλλον ή το υπόστρωμα δράσης τους καθίσταται εντόνως όξινο. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη π.χ. των ριζοβίων (*Rhizobes*) εξαρτάται από το επίπεδο του pH, η δε ανθεκτικότητα των ψυχανθών, των βασικών αυτών ξενιστών των ριζοβίων, συναρτάται άμεσα από το pH του εδάφους και μεταβάλλεται με το είδος (species) των ριζοβίων, καθώς επίσης και με το είδος του φυτού. Π.χ. τα ριζόβια της μηδικής είναι πιο ευαίσθητα από τα αντίστοιχα του *Trifolium spp.*, δηλαδή του clover. Τα ριζόβια της σόγιας μπορεί να επιβιώνουν σε pH 4, του Red Clover σε pH 4,5 και της μηδικής σε pH 5 (Αλιφραγκής, 2008).

Η δυσμενής αυτή επίδραση της εδαφικής αντίδρασης στα ριζόβια, λόγω της απευθείας δράσης του χαμηλού pH, είναι αποτέλεσμα της επίδρασης ενός ή περισσότερων παραγόντων που επηρεάζουν τη φυτική ανάπτυξη. Όμως, η απευθείας επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης των ιόντων H⁺ μπορεί να είναι πιο σημαντική για τα ριζόβια των ανώτερων φυτών.

Επειδή τα όξινα εδάφη είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα με Mg και δεδομένου ότι τα ριζόβια έχουν υψηλές απαιτήσεις στο υπόψη θρεπτικό, η επίδραση της υψηλής οξύτητας, ήτοι του χαμηλού pH, στα ριζόβια, μπορεί να θεωρηθεί ως επίδραση της έλλειψης του Mg, ενίοτε δε και του Ca, η έλλειψη του οποίου ωσαύτως επιδρά δυσμενώς στην ανάπτυξη των ριζοβίων. Περίπου οκτώ φορές περισσότερο Mg από Ca απαιτούν τα ριζόβια για την αυτή ανάπτυξη των φυτών. Ωστόσο, παρά τις υψηλές απαιτήσεις των ριζοβίων για Mg, η έλλειψη του στοιχείου αυτού προκαλεί αναστολή της ανάπτυξης των φυτών μόνο όταν το επίπεδο του στο έδαφος είναι πολύ χαμηλό (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Όσον αφορά το Ca, επειδή στα όξινα εδάφη βρίσκεται συνήθως σε πολύ χαμηλά επίπεδα, είναι δυνατόν να περιορίζει την ανάπτυξη των φυματίων, δεδομένου ότι αυτά έχουν αυξημένες ανάγκες σε Ca κατά το σχηματισμό τους, και μάλιστα υψηλότερες από τις αντίστοιχες ανάγκες σε Ca των ανώτερων φυτών.

Αναφορικά, με τη νιτροποίηση οι διαλαμβανόμενοι μικροοργανισμοί στη βιολογική αυτή διεργασία είναι αυτότροφοι και εξαρτούν την ενεργότητά τους από το pH. Συγκεκριμένα, η *Nitrosomonas* και το *Nitrobacter* ενεργοποιούνται σε pH>5,5. Στα όξινα εδάφη η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα με πολύ χαμηλούς ρυθμούς και εντόνως ισχυρά όξινα περιβάλλοντα αναστέλλεται σχεδόν καθ' ολοκληρίαν. Αυτό βέβαια έχει ως συνέπεια τη συσσώρευση αμμωνιακού αζώτου (NH₄ - N) στα όξινα εδάφη.

Ως προς την ανοργανοποίηση του S⁰ αυτή ευνοείται από την οξύτητα του εδάφους και ακολουθεί μια αυξητική πορεία με τη μείωση του pH. Ο Nelson (1964) αναφέρει ότι η παραγωγή θεικών (SO₄²⁻) αυξήθηκε κατά 3-4 φορές μετά από την επώαση του εδάφους για 3 μήνες, όταν το pH διατηρούν μεταξύ 4-5, ενώ μικρή αύξηση θεικών διαπιστώθηκε, όταν το pH ανήλθε από 5 σε 7. Γενικά η βιολογική οξείδωση του λαμβάνει χώρα σ' ένα εύρος pH που είναι σχετικά μεγάλο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην οξείδωση αυτή λαμβάνουν μέρος διάφοροι μικροοργανισμοί (*Thiobacillus*, *Chlorobium* και *Chromatium*). Όμως, το κυριότερο είδος, ο *Thiobacillus oxidans*, απαιτεί ένα pH 4 ή μικρότερο για να ενεργοποιηθεί αποτελεσματικά και να παράγει θειικά (SO₄²⁻) (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

4.3 Επίδραση του pH στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων

Οι μεταβολές του pH στο έδαφος επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των θρεπτικών του και κατ' επέκταση την πρόσληψή τους και ανάπτυξη των φυτών. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη σε ορισμένα μακροθρεπτικά όπως π.χ. στο P και σε μικροθρεπτικά όπως στο Zn, Fe, Mn (Θεριός, 2005).

4.3.1 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του ασβεστίου στα φυτά

Το ασβέστιο απαντά στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτικών οργανισμών δίνοντας τους την ικανότητα σε συνδυασμό με το μαγνήσιο και το κάλιο να εξουδετερώνουν τα οργανικά οξέα.

Το ασβέστιο ασκεί ρυθμιστικό ρόλο στην περατότητα των μεμβρανών και σχηματίζει άλατα με πηκτινικές ουσίες, οι οποίες βρίσκονται στις μεσοκυττάριας πλάκες. Το ασβέστιο είναι ένα απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την φυσιολογική ανάπτυξη των κυττάρων (κυτταρικές μεμβράνες, κυτταρικά τοιχώματα). Ωστόσο σε κάποιες περιόδους που τα κύτταρα αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς είναι πιθανό οι νέοι ιστοί οι οποίοι βρίσκονται σε περιφερειακά τμήματα του φύλλου να μη δεχτούν επαρκές ποσότητες ασβεστίου και έτσι εκδηλώνονται τα συμπτώματα της τροφοπενίας (Τζάμος, 2004).

Στην εκδήλωση της τροφοπενίας ασβεστίου συντελούν διάφοροι εδαφικοί και περιβαλλοντολογικοί και ίσως γενετικοί παράγοντες. Οι υψηλές θερμοκρασίες και η απουσία βροχοπτώσεων που ακολουθούνται από περιόδους με άφθονο αριθμό βροχοπτώσεων φαίνεται ότι επιδεινώνουν την κατάσταση. Άλλοι παράγοντες είναι οι χαμηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου στο έδαφος, οι χαμηλές τιμές pH, οι υψηλές θερμοκρασίες, τα αζωτούχα λιπάσματα και κυρίως τα αμμωνιακά, η υψηλές συγκεντρώσεις διαλυτών αλάτων στο έδαφος (NH_4^+ , K, Mg ή Na) ή το νερό που χρησιμοποιείται για την άρδευση της καλλιέργειας.

Αντιθέτως, στις περισσότερες περιπτώσεις η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων δημιουργεί συνθήκες που οδηγούν σε έντονη τροφοπενία σιδήρου και άλλων ιχνοστοιχείων (υψηλό pH). Μερικές ασθένειες που έχουν έντονη σχέση με το ασβέστιο οφείλονται σε μη κανονική κατανομή του στοιχείου στους διάφορους ιστούς και όχι στην έλλειψη του στο έδαφος ή σε μη ικανοποιητική παραλαβή του από το φυτό. Γενικά, υπάρχει δυσχέρεια στην τροφοδοσία epάκριων οργάνων με ασβέστιο, οπότε η τροφοπενία ασβεστίου καταλήγει στη νέκρωση ακραίων οφθαλμών. (Τζάμος, 2004)

Η ξηρή κορυφή είναι μια σοβαρή πάθηση των καρπών που υπάρχει σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην χώρα μας είναι πολύ συνήθης σε καλλιέργειες ντομάτας και πιπεριάς προκαλώντας συχνά σοβαρές ζημιές. Τα συμπτώματα της τροφοπενίας κάνουν την εμφάνιση τους στην κορυφή του καρπού και πιο συγκεκριμένα σε εκείνο το τμήμα του καρπού που βρίσκεται ακριβώς αντίθετα με το σημείο πρόσφυσης του ποδίσκου. Τα συμπτώματα σε αρχικό στάδιο περιλαμβάνουν μικρές κηλίδες, υδατώδεις ή ελαιώδεις περιοχές στην κορυφή των πράσινων καρπών, οι οποίες αργότερα θα αποκτήσουν ένα πιο έντονο χρωματισμό ενώ θα αυξηθούν και σε μέγεθος (διάμετρο 6 - 12mm). Οι κηλίδες τις περισσότερες φορές έχουν μέγεθος 2 - 3cm, καστανόμαυρο χρωματισμό και σαφή όρια, ενώ σε σοβαρές περιπτώσεις έχουν δερματώδη υφή, ξηρή σύσταση και γίνονται νεκρωτικές. Όταν οι καρποί ωριμάζουν, στους νεκρούς ιστούς πολλές φορές αναπτύσσονται σαπροφυτρωτικοί μικροοργανισμοί που σχηματίζουν ανάλογες εξανθήσεις και προκαλούν μαλακή επιφανειακή σήψη. Η ασθένεια αυτή οφείλεται σε ανεπαρκή (τοπικώς) εφοδιασμό των καρπών με ασβέστιο στο στάδιο που αναπτύσσονται με ταχύ ρυθμό. (Παναγόπουλος, 2000)

Εικόνα 4: Τροφοπενία ασβεστίου σε καρπούς τομάτας (Παπάζογλου, 2013)



Πηγή(<https://www.kalliergo.gr/laxanika-cat/diagnosi-threptikis-katastasis-fytoy-trofopenies-2/>)

Εικόνα 5: Τροφοπενία ασβεστίου σε καρπούς πιπεριάς



Πηγή:(<https://plantpro.gr/post/521>)

4.3.2 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του αζώτου στα φυτά

Όταν οι τιμές pH του εδάφους είναι χαμηλές τότε τα βακτήρια και οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να δραστηριοποιηθούν επαρκώς προκειμένου να μετατρέψουν το άζωτο σε μορφή τέτοια που θα μπορεί να δεσμευτεί από τους φυτικούς οργανισμούς (Τζάμος , 2004).

Το άζωτο κατέχει έναν πολύ σπουδαίο ρόλο στις περισσότερες οργανικές ενώσεις των κυτταρικών κυττάρων (π.χ. πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα, χλωροφύλλη, αμινοξέα, αλκαλοειδή, κάποιους από τους ρυθμιστές αύξησης και ανάπτυξης) ενώ συμμετέχει ενεργά στην σύνθεση των πρωτεϊνών και την γενικότερη δομή της χλωροφύλλης.

Το άζωτο είναι αναγκαίο θρεπτικό στοιχείο σε μεγάλες ποσότητες για μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις. Χαρακτηριστικά συμπτώματα της τροφοπενίας αζώτου συμπεριλαμβάνουν άτυπες χλωρώσεις και κιτρινισμα, που εμφανίζονται στα κατώτερα φύλλα.

Τα συμπτώματα της έλλειψης αζώτου παρατηρούνται σε ολόκληρα αγροτεμάχια και όχι σε μεμονωμένα φυτά γιατί κάτι τέτοιο θα μπορούσε να συνδέεται με συμπτώματα που οφείλονται σε ασθένειες της ρίζας. Μερικά ακόμη συμπτώματα της τροφοπενίας αζώτου είναι επίσης τα κιτρίνισμα στις νευρώσεις των φύλλων, η πτώση των ανθέων και η καθυστερημένη και καχεκτική ανάπτυξη των βλαστών (Τζάμος , 2004, Coyne & Frye 2005).

Εικόνα 6: Τροφοπενία αζώτου (Παπάζογλου ,2013)



Πηγή:<https://www.kalliergo.gr/laxanika-cat/diagnosi-threptikis-katastasis-fytoy-trofopenies-2/>

4.3.3 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του μολυβδαινίου στα φυτά

Σε γενικές γραμμές η διαθεσιμότητα των περισσότερων μικροθρεπτικών αυξάνει όταν μειώνονται οι τιμές του pH του εδάφους, δηλαδή στο όξινο περιβάλλον, αντίθετα του

μολυβδαινίου (Mo) μειώνεται. Και τούτο διότι στο όξινο pH το Mo άπαντα υπό τη μορφή H_2MoO_4 ή $HMoO_4^-$ που δεν είναι πολύ διαθέσιμη στα φυτά. Η πλέον διαθέσιμη μορφή υπό την οποία κυρίως προσλαμβάνεται είναι η MoO_4^{2-} και άπαντα σε εδάφη με μέτρια οξύτητα, ήτοι με pH 5 - 6. Γενικά, τα όξινα εδάφη κατά κανόνα είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα με διαθέσιμο Mo που είναι απαραίτητο για τη κανονική ανάπτυξη των φυτών.

Ο κύριος γνωστός ρόλος του μολυβδαινίου είναι η συμμετοχή του στο μόριο του ενζύμου αναγωγή του νιτρικού οξέος, με αποτέλεσμα τα συμπτώματα της τροφопενίας μολυβδαινίου να μοιάζουν με εκείνα της τροφопενίας αζώτου (Τζάμος , 2004).

Το κυριότερο σύμπτωμα είναι το κιτρίνισμα των φύλλων που εμφανίζεται πρώτα στα φύλλα της βάσεως κάθε βλαστού. Στην συνέχεια παρατηρείται κάμψη του ελάσματος προς τα πάνω και περιφερειακή ξήρανση. Αργότερα παρατηρείται έντονος μαρασμός, έντονη καθυστέρηση ανάπτυξης των φυτών και αδυναμία σχηματισμού καρπών (Τζάμος , 2004).

Εικόνα 7: Τροφопενία μολυβδαινίου(Παπάζογλου,2013)



Πηγή:<https://www.kalliergo.gr/laxanika-cat/diagnosi-threptikis-katastasis-fytoy-trofopenies-2/>

Συχνή είναι η έλλειψη μολυβδαινίου και σε καλλιέργειες πεπονιάς. Πρώτη φορά διαπιστώθηκε τροφопενία μολυβδαινίου σε καλλιέργεια πεπονιάς το 1983 στην Δυτική Πελοπόννησο. (Παναγόπουλος , 2000)

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η τροφοπενία του μολυβδαινίου ευνοείται στα όξινα εδάφη με pH 5,0 ή χαμηλότερο και ενδεχομένως να εμφανιστεί και σε καλώς αποστραγγιζόμενα αλκαλικά εδάφη. Για την αντιμετώπιση της ασθένειας συνίσταται συνήθως προσθήκη ασβέστου στα όξινα εδάφη, με τον τρόπο αυτό αυξάνεται το αφομοιώσιμο μολυβδαίνιο. Σε περιπτώσεις όμως που παρατηρείται τροφοπενία σε αλκαλικά εδάφη, τότε είναι απαραίτητη η προσθήκη στο έδαφος μολυβδαινικού νατρίου 225 γραμμ./στρέμμα για την αντιμετώπιση της παθήσεως (Παναγόπουλος, 2000).

4.3.4 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του μαγνησίου στα φυτά

Το μαγνήσιο αποτελεί ένα εναλλακτικό κατιόν και σε χαμηλές τιμές pH του εδάφους εκπλύνεται και αντικαθίσταται από ιόντα H^+ και Al^{+3} ως εκ τούτου η διαθεσιμότητα του στην καλλιέργεια είναι άμεσα συνυφασμένη με την τιμή pH του εδάφους.

Εικόνα 8: Τροφοπενία μαγνησίου (Παπάζογλου, 2013)



Πηγή:<https://www.kalliergo.gr/laxanika-cat/diagnosi-threptikis-katastasis-fytoy-trofopenies-2/>

Το μαγνήσιο μετέχει στο μόριο της χλωροφύλλης και είναι συμπαράγοντας σε πολλές ενζυμικές αντιδράσεις, συμπεριλαμβανομένης της πρωτεϊνοσύνθεσης. Η τροφοπενία μαγνησίου εμφανίζεται συνήθως αργά κατά την καλλιεργητική περίοδο και δημιουργεί κατά κανόνα μεσονεύρια χλώρωση στα κατώτερα φύλλα, συνήθως με

διάχυτα όρια, μεταξύ εντόνως πράσινων νεύρων. Η περιφέρεια του ελάσματος είναι συνήθως πράσινη. Τα συμπτώματα με την πάροδο του χρόνου κάνουν την εμφάνιση τους και στα νέα φύλλα. Σε σοβαρές προσβολές εμφανίζονται νεκρωτικές κηλίδες μικρού μεγέθους και καστανού χρωματισμού. Σε μερικά φυτά, όπως στο βαμβάκι εκδηλώνεται και το σύμπτωμα της ερυθριάσεως (Τζάμος , 2004; Παναγόπουλος , 2000).

4.3.5 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του καλίου στα φυτά

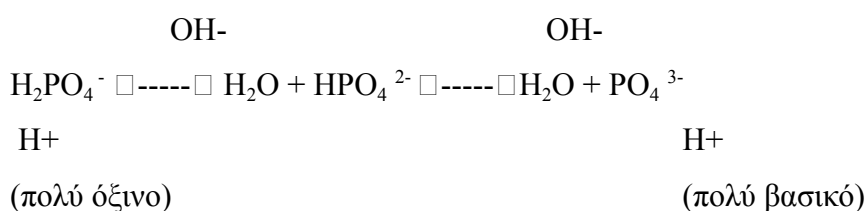
Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του καλίου στα φυτά μοιάζει με την επίδραση που έχει το pH στο ασβέστιο και στο μαγνήσιο. Πιο αναλυτικά, το κάλιο είναι καταλύτης πολλών βιοχημικών αντιδράσεων εντός του κυττάρου που κατέχει σημαντικό ρόλο στην ιοντική ισορροπία και τον μεταβολισμό των υδατανθράκων. Χαρακτηριστικά συμπτώματα της τροφοπενίας καλίου σε πολλά φυτά είναι οι περιφερειακές και μεσονεύριες νεκρώσεις των φύλλων, ενώ το χρώμα των νεύρων παραμένει πράσινο. Σε κάποιες περιπτώσεις μάλιστα τα φύλλα καρουλιάζουν προς τα κάτω, το έλασμα του φύλλου νεκρώνεται περιφερειακά και αποκτούν έναν καφετί χρωματισμό. Τα συμπτώματα αρχικά κάνουν την εμφάνιση τους στα παλιά φύλλα. (Τζάμος , 2004)

Οι βλαστοί γίνονται λεπτοί, ξυλώσεις και σκληροί, ενώ στους σαρκώδεις ιστούς προκαλείται επάκρια νέκρωση ή περιφερειακά σκισίματα. Το φυτό παράγει μικρό αριθμό καρπών με μαλακή υφή και αλλοιωμένο σχήμα οι οποίοι μάλιστα δεν ωριμάζουν κανονικά. Σε κάποιες περιπτώσεις μάλιστα στην επιφάνεια αναπτύσσονται κιτρινοπράσινες περιοχές χωρίς σαφή όρια. Η τροφοπενία καλίου συνδέεται με έλλειψη οξύτητας των καρπών με συνέπεια συχνά να προκαλείται εσωτερικός μεταχρωματισμός των ιστών. (Παναγόπουλος , 2000)

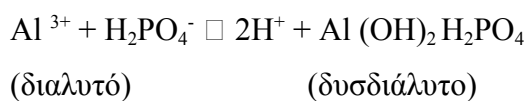
Εκτός από τα όξινα εδάφη η τροφοπενία καλίου εντοπίζεται σε ελαφρά αμμώδη εδάφη, σε εδάφη τα οποία έχουν εκπλυθεί συνέπεια συχνών βροχοπτώσεων αλλά και σε οργανικά εδάφη εξαιτίας ανεπάρκειας στην χορήγηση καλιούχου λίπανσης κ.α.

4.3.6 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του φωσφόρου στα φυτά

Όσον αφορά τον φώσφορο, η διαθεσιμότητα του σχετίζεται με τη μορφή των φωσφορικών ανιόντων. Η παρουσία των ανιόντων αυτών είναι άμεσα εξαρτημένη από το pH. Έτσι, σε ισχυρά όξινο περιβάλλον άπαντα το ανιόν $H_2PO_4^{3-}$, σε μετρίως όξινο το HPO_4^{2-} και σε υψηλότερο pH το PO_4^{3-} . Τα ανιόντα αυτά φαίνονται στην πιο κάτω αντίδραση:



Στο pH 7 οι συγκεντρώσεις των $H_2PO_4^-$ και HPO_4^{2-} είναι περίπου ίσες. Και επειδή οι ως άνω μορφές είναι εκείνες υπό τις οποίες προσλαμβάνεται ο P από τα φυτά, η τιμή 7 θεωρείται ως το κρίσιμο pH στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη διαθεσιμότητα του στοιχείου αυτού. Βέβαια, η ανωτέρω σχέση ισχύει για τα καθαρά διαλύματα. Στο έδαφος όμως δεν ισχύει για τα καθαρά διαλύματα. Στο έδαφος όμως δεν ισχύει αυτή η «ιδανική» κατάσταση, διότι παρεμβαίνουν διάφοροι παράγοντες, όπως π.χ. ο Fe και το Al, τα οποία κάτω από όξινες συνθήκες του εδάφους μπορεί να δεσμεύσουν το HPO_4^{2-} ή το H_2PO_4 ως εξής: (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).



Η αντίδραση αυτή λαμβάνει χώρα, διότι το Al^{3+} και ο Fe^{3+} είναι πολύ διαλυτά στα όξινα εδάφη και η διαλυτότητα τους υπερβαίνει την αντίστοιχη του $H_2PO_4^-$. Κατά συνέπεια, λόγω της δέσμευσης αυτής, μικρές ποσότητες P είναι διαθέσιμες στα φυτά, που αναπτύσσονται στα όξινα εδάφη. Επίσης, ο P αντιδρά με τα ένυδρα οξειδία του Al^{3+} , Fe^{3+} και ως Mn^{3+} εξής:



(διαλυτο)

(αδιάλυτο)

Με βάση την παραπάνω αντίδραση ο P δεσμεύεται στο έδαφος χημικώς, πέρα βέβαια από το γεγονός ότι το στοιχείο αυτό δεσμεύεται και από τα ορυκτά της αργίλου, δηλαδή τα πυριτικά ορυκτά, γεγονός που επιτείνει ακόμη περισσότερο τη μείωση της διαθεσιμότητας του P στα όξινα εδάφη.

Ο φώσφορος είναι απαραίτητος για την σύνθεση των νουκλεϊκών οξέων, των φωσφολιπιδίων που μετέχουν στη δόμηση των μεμβρανών, του ATP και άλλων βιολογικά σημαντικών βιομορίων. Η έλλειψη φωσφόρου οδηγεί αρχικά στην εμφάνιση ερυθρών ή πορφυρών κηλίδων στην κάτω επιφάνεια των φύλων. Στην συνέχεια η τροφοπενία φωσφόρου οδηγεί συνήθως στην εμφάνιση μεγάλων ποσοτήτων ανθοκυανών, οι οποίες προσδίδουν στο φύλλωμα σκούρο χρώμα με ερυθρωπές αποχρώσεις και φυλλόπτωση των κατώτερων φύλων. Τα κατώτερα φύλλα μπορεί να αποκτήσουν χρώμα ορείχαλκου με ερυθρωπές ή καστανές κηλίδες. Παρατηρούνται επίσης βραδεία ωρίμανση των καρπών, ανωμαλίες στην ανάπτυξη με εμφάνιση βραχέων, λεπτών και όρθιων βλαστών (Τζάμος , 2004).

Εικόνα 9: Τροφοπενία φωσφόρου (Παπάζογλου, 2013)



Πηγή:<https://www.kalliergo.gr/laxanika-cat/diagnosi-threptikis-katastasis-fytoy-trofopenies-2/>

Η τροφοπενία φωσφόρου ευνοείται από τα συμπιεσμένα εδάφη, τα όξινα ή τα αλκαλικά εδάφη, από τις χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες δυσχεραίνουν τον

εφοδιασμό των φυτών με θρεπτικά συστατικά από το έδαφος και από την ανεπάρκεια χορήγησης φωσφορικής λίπανσης (Παναγόπουλος , 2000).

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε πως το όξινο pH επηρεάζει την διαθεσιμότητα όχι μόνο των μακροθρεπτικών συστατικών αλλά και των μικροθρεπτικών. Τα περισσότερα ισχυρώς εκπλενόμενα ελαφρά όξινα εδάφη είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα (φτωχά) σε μικροθρεπτικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά από τα μικροθρεπτικά είναι πολύ διαλυτά κάτω από όξινες συνθήκες και, καθώς τα εδάφη είναι ελαφρά, εκπλύνονται πολύ εύκολα και απομακρύνονται από το έδαφος. Στα ισχυρώς όξινα εδάφη αφθονούν οι διαθέσιμες μορφές των μικροθρεπτικών (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} και Zn^{2+}). Ορισμένες φορές η συγκέντρωση μερικών από αυτά είναι τόσο υψηλή, που μπορεί ενδεχομένως να δράσουν τοξικά σε βάρος των φυτών. Με την αύξηση του pH οι ιοντικές μορφές των στοιχείων αυτών μετατρέπονται σε υδροξείδια και οξείδια, τα οποία έχουν διάφορη διαλυτότητα. Γενικά τα υδροξείδια των μικροθρεπτικών έχουν μικρή διαλυτότητα ή ακόμη μπορεί να είναι και τελείως αδιάλυτα. Ο βαθμός της διαλυτότητας τους ποικίλει με το είδος του στοιχείου. Έτσι, έχουν μεγάλη διαλυτότητα στο όξινο περιβάλλον, όπως π.χ. το βορικό ανιόν H_2BO_3^- ή το μόριο H_3BO_3 με συνέπεια τη διαθεσιμότητα του να αυξάνει σημαντικά (Coyne & Frye 2005).

4.3.7 Η επίδραση του pH στην διαθεσιμότητα του βορίου στα φυτά

Η συμβολή του βορίου στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών δεν είναι πλήρως γνωστή. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η έλλειψη του βορίου οδηγεί σε περίσσεια φαινολικών ουσιών που προκαλεί νεκρώσεις και τελικώς νέκρωση του φυτού. Υποστηρίζεται επίσης ότι το βόριο είναι απαραίτητο στοιχείο για τις κυτταροδιαιρέσεις (Τζάμος , 2004).

Η τροφопενία βορίου εκτός από τα προβλήματα που προκαλεί σε καλλιέργειες ελιάς και μηλοειδών σε περιοχές με υψηλές βροχοπτώσεις είναι συχνό πρόβλημα σε καλλιέργειες λαχανικών. Παρόλο που όλες οι κηπευτικές καλλιέργειες έχουν ανάγκη το βόριο προκειμένου να αναπτυχθούν, είδη που ανήκουν στην οικογένεια των

σταυρανθών έχουν ανάγκη από λίγο υψηλότερες συγκεντρώσεις βορίου συγκριτικά με τις υπόλοιπες κηπευτικές καλλιέργειες.

Η έλλειψη βορίου προκαλεί νέκρωση του μεριστώματος της κορυφής. Τα συμπτώματα της τροφοπενίας στα φύλλα περιλαμβάνει περιφερειακές χλωρώσεις και μέγεθος μικρότερο του κανονικού. Στους μίσχους, στο κεντρικό νευρικό σύστημα και στο στέλεχος εντοπίζονται ιστοί οι οποίοι είτε είναι αποφελλωμένοι είτε παρουσιάζουν αποφελλωμένες σχισμές. Στο εσωτερικό μέρος του στελέχους, στην περιοχή της εντεριώνης, εντοπίζονται διακεκομμένες ή συνεχόμενες κοιλότητες (συνήθως στο άνω μέρος) οι οποίες εξελίσσονται σε νέκρωση των παρακείμενων ιστών καθώς τα φυτά φτάνουν στο στάδιο της ωρίμανσης. (Παναγόπουλος, 2000).

Σε ένα φυτό είναι πιθανό να εντοπίζεται τροφοπενία βορίου αλλά ταυτόχρονα είναι πιθανό να καταγράφονται ελλείψεις σε θρεπτικά συστατικά όπως είναι το μολυβδαίνιο και το μαγνήσιο. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται σύγχυση στα συμπτώματα που εμφανίζονται, για τον λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η εργαστηριακή διάγνωση της ασθένειας. Συνθήκες ξηρασίας ενδέχεται να προκαλέσουν τροφοπενία βορίου σε περιπτώσεις που η περιεκτικότητα του εδάφους σε βόριο είναι περιορισμένη. Ελαφρά όξινα εδάφη υγρών περιοχών είναι φτωγά σε βόριο αφού οφείλεται στο γεγονός ότι σε χαμηλές τιμές pH του εδάφους παρατηρείται έκπλυση του βορίου με αποτέλεσμα την τροφοπενία σε αυτό το στοιχείο.

Εικόνα 10 : Τροφοπενία βορίου (Παπάζογλου, 2013)



Πηγή: <https://www.kalliergo.gr/laxanika-cat/diagnosi-threptikis-katastasis-fytoy-trofopenies-2/>

Συμπερασματικά, η τροφοπενία του βορίου γίνεται περισσότερο ορατή όταν επικρατούν συνθήκες ξηρασίας καθώς επίσης και σε εδάφη με ουδέτερο ή αλκαλικό pH. Θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι η τροφοπενία βορίου ευθύνεται για σοβαρές σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται με γρήγορους ρυθμούς και έχουν περίσσεια αζώτου και καλίου (Παναγόπουλος , 2000; Παναγόπουλος , 2007).

Κατά την προσθήκη βορίου για θεραπεία της τροφοπενίας απαιτείται προσοχή, γιατί η προσθήκη ελαφρώς ανώτερων ποσοτήτων μπορεί να προκαλέσει τοξικότητα. Συνίσταται η προσθήκη στο έδαφος βόρακος 1-2,5 kg ανά στρέμμα ή ψεκασμός φυλλώματος με διάλυμα βόρακος 0,1 - 0,2% ή άλλα βοριούχα υλικά του εμπορίου.

4.4 Επίδραση της οξύτητας στα φυτά

Η τιμή του pH παρουσιάζει μεγάλο εύρος στα εδάφη σε όλο παγκόσμιο επίπεδο καθρεφτίζοντας με τον τρόπο αυτό τις διαφορές που υπάρχουν στην χωροδιάταξη της φυσικής βλάστησης ή στη χωροδιάταξη των καλλιεργούμενων φυτών. Έρευνες μέχρι και σήμερα δεν έχουν τεκμηριώσει εάν οι διαφορές αυτές που παρατηρούνται στη χωροδιάταξη της φυσικής βλάστησης οφείλονται στην ευαισθησία του ριζικού συστήματος των φυτικών οργανισμών από την παρουσία ιόντων H^+ ή από την παρουσία του ιόντων OH^+ στο έδαφος. Επιπλέον, δεν έχει αποδειχθεί αν οι δευτερογενείς επιδράσεις ευθύνονται για την εμφάνιση τοξικών συμπτωμάτων στην καλλιέργεια και δυσχεραίνουν την λειτουργία του ριζικού συστήματος. Επιστημονικά δεδομένα που προέρχονται από την καλλιέργεια φυτών (μη – ψυχανθή) σε θρεπτικά διαλύματα με τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 3 και 9, δείχνουν ότι η αύξηση των ριζών καθώς επίσης και η γενικότερη λειτουργία τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος του φυτικού οργανισμού (Whitlow , 2000).

Τα τοξικά συμπτώματα που εντοπίζονται σε φυτικούς οργανισμούς όταν οι τιμές pH είναι από 4 έως 5, είναι δυνατό να εξουδετερωθούν με την προσθήκη ασβεστίου στο έδαφος. Η ευνοϊκή αυτή επίδραση του ασβεστίου δεν παρατηρήθηκε σε τιμές pH

κοντά στο 3. Η αύξηση των φυτών σε εδάφη με τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 5 και 8 είναι ικανοποιητική.

Το αργίλιο είναι στοιχείο που ευθύνεται για την εμφάνιση τοξικών συμπτωμάτων στα φυτά, ωστόσο είναι ένα στοιχείο απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών και είναι σημαντικό να απαντά στο έδαφος σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Στο τριφύλλι, η συγκέντρωση του αργιλίου κοντά στα 7 μM είναι ωφέλιμη για τα φυτά αυτά. Ομοίως στο λόλιο το πολυετές (*Lolium perenne*) και σε κάποια άλλα αγρωστώδη όταν η συγκέντρωση του αργιλίου στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνεται κοντά στα 186 μM είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή για τους συγκεκριμένους φυτικούς οργανισμούς. Σε άλλα φυτικά είδη μεταξύ των οποίων και το καλαμπόκι πολύ ευεργετική για την ανάπτυξη τους θεωρείται η συγκέντρωση γύρω στο 18 μM (Μήτσιος , 2001).

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονίσουμε πως οι ενεργότητες του αργιλίου σε ένα εδαφικό διάλυμα είναι δύσκολο να προσδιοριστούν, οι αρνητικές επιπτώσεις της οξύτητας του εδάφους σχετίζεται άμεσα με το pH ή με το ανταλλάξιμο αργίλιο. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν αυξάνεται η συγκέντρωση του αργιλίου τότε πέφτει η τιμή του pH του εδάφους εξαιτίας της επίδρασης που έχει το pH στις τιμές της CEC.

Η συγκέντρωση αργιλίου στο εδαφικό διάλυμα έχει άμεση επίδραση στην διαθεσιμότητα και άλλων θρεπτικών συστατικών στην καλλιέργεια, ο φώσφορος για παράδειγμα δημιουργεί ισχυρούς δεσμούς με το αργίλιο στο ριζικό σύστημα των φυτικών οργανισμών, στα κυτταρικά τοιχώματα αλλά και στους μεσοκυττάριους χώρους με συνέπεια να μην μπορεί να δεσμευτεί ο φώσφορος από τα φυτά (Whitlow , 2000).

Ο φώσφορος διαχέεται με μικρό ρυθμό στο έδαφος, το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια ο ρυθμός με τον οποίο προσλαμβάνεται από την καλλιέργεια να σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το μήκος της ρίζας. Κατ' επέκταση κάθε παράγοντας ο οποίος περιορίζει την αύξηση του ριζικού συστήματος είναι ικανός να οδηγήσει σε προβλήματα πρόσληψης φωσφόρου από τα φυτά. Επειδή διαπιστώθηκε ότι η

ασβέστωση των εδαφών συνδέεται με αύξηση της πρόσληψης φωσφόρου θεωρήθηκε ότι αυξάνεται με την ασβέστωση και η διαθεσιμότητα του εδαφικού φωσφόρου.

Η πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά αποτελεί μέτρο διαθεσιμότητας του θρεπτικού αυτού στοιχείου, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι αυξήθηκε η συγκέντρωση του φωσφόρου στο έδαφος ή ότι ο συντελεστής διάχυσης έχει αυξηθεί. Από επιστημονικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε ότι οι αλλαγές αυτές είναι μικρές και διάφορες (Clark., 2007).

Η πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- Την συγκέντρωση του φωσφόρου στο έδαφος
- Την ποσότητα του εκχυλιζόμενου φωσφόρου
- Την μεταβολή της ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους
- Τις χημικές μεταβολές που πραγματοποιούνται στην ριζόσφαιρα
- Την ανοργανοποίηση του οργανικού φωσφόρου

Στα όξινα εδάφη το αργίλιο προκαλεί τοξικά συμπτώματα στους φυτικούς οργανισμούς. Σε τέτοιου είδους εδάφη το ανταλλάξιμο ασβέστιο και το ανταλλάξιμο μαγνήσιο βρίσκονται συνήθως σε πολύ μικρές ποσότητες που μερικές φορές προκαλούνται στα φυτά τροφοπενίες ασβεστίου ή τροφοπενίες μαγνησίου.

Από πειράματα που έγιναν στο παρελθόν προέκυψε ότι στο μήκος του ριζικού συστήματος φυτών καπνού προκλήθηκε αύξηση μετά από εφαρμογή ασβεστίου στο έδαφος και την απομάκρυνση του ανταλλάξιμου αργιλίου. Επίσης σε ένα άλλο πείραμα προκλήθηκε φυσιολογική αύξηση των ριζών μετά από προσθήκη 0,15 meq Ca^{2+} / 100 g εδάφους. Το ασβέστιο ενσωματώθηκε στο έδαφος με την μορφή του CaCl_2 ή CaCO_3 ή $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$. Η προσθήκη όμως μαγνησίου με την μορφή MgCO_3 δεν είχε θετικά αποτελέσματα (Clark. 2007).

Σε περιπτώσεις που οι συγκεντρώσεις ασβεστίου στο έδαφος είναι χαμηλότερες από 0,5 mM τότε θεωρούνται κρίσιμες, μάλιστα ενδέχεται το κρίσιμο αυτό επίπεδο να είναι χαμηλότερο στην γη που καλλιεργείται.

Φυτά, η ανάπτυξη των οποίων δεν ευνοείται από τις χαμηλές τιμές χαμηλές τιμές pH του εδάφους, περιορίζεται σημαντικά εξαιτίας της δράσης διαφόρων χημικών παραγόντων και των αλληλοεπιδράσεων τους. Στα όξινα εδάφη οι σπουδαιότεροι παράγοντες που περιορίζουν την ανάπτυξη των φυτών είναι οι εξής:

- i. Αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων H^+ (Τοξικότητα H^+)
- ii. Αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Al^{3+} (Τοξικότητα Al)
- iii. Αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Mn^{2+} (Τοξικότητα Mn)
- iv. Μείωση της διαθεσιμότητας των Ca^{2+} , Mg^{2+} και K^+ (Τροφοπενίες)
- v. Μείωση της διαλυτότητας του P και Mo (Τροφοπενίες)
- vi. Περιορισμοί της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, απώλειες θρεπτικών λόγω έκπλυσης.

Η σχετική σοβαρότητα των επιδράσεων αυτών είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως π.χ. του είδους του φυτού, του γενοτύπου, του τύπου του εδάφους, του μητρικού υλικού, της τιμής του pH, των ειδών του Al και Mn, της δομής του εδάφους, του αερισμού και του κλίματος (Bronick. & Lal. , 2004).

Η τοξική επίδραση του Al ή του Mn προκύπτει από την καθημερινή εμπειρία των παραγωγών των οποίων τα εδάφη είναι όξινα και πλούσια σε Al και Mn, αντίστοιχα, και επίσης από διάφορα πειράματα που έχουν γίνει από ορισμένους ερευνητές.

Στα ισχυρώς όξινα εδάφη ($pH < 5,5$) ένα σημαντικό ποσοστό της εναλλακτικής ικανότητας καλύπτεται από τα ιόντα του Al^{3+} , ενώ οι βάσεις Ca^{2+} και Mg^{2+} λείπουν σχεδόν παντελώς, λόγω αντικατάστασης τους από το Al^{3+} . Επομένως, υπάρχει μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού του εναλλακτικού Al και του pH.

Οι καλλιέργειες, γενικά, έχουν διαφορετική ανθεκτικότητα στην τοξικότητα του Al. Τα φυτικά είδη που ευδοκιμούν σε όξινα εδάφη έχουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην τοξικότητα των διαφόρων μετάλλων και ιδιαίτερα του Al^{3+} από τα φυτά που αναπτύσσονται σε κανονικά εδάφη. Ευτυχώς, που και αυτά τα φυτά βελτιώνονται ως προς την ανθεκτικότητα τους χάρη στις προσπάθειες της γενετικής επιστήμης, διότι όντως έχουν δημιουργηθεί αρκετές νέες ποικιλίες φυτών ανθεκτικών στο Al.

Όσον αφορά τα ανθεκτικά φυτά, αυτά έχουν ή αναπτύσσουν διάφορους αμυντικούς μηχανισμούς εναντίον της τοξικότητας του Al στα όξινα εδάφη. Π.χ. ορισμένα εξ' αυτών έχουν τη δυνατότητα κατά τη πρόσληψη των θρεπτικών να εξαιρούν το Al, ανεβάζοντας την τιμή του pH στη ριζόσφαιρα, με συνέπεια να κατακρημνίζεται το Al ως ίζημα. Αλλά είδη εκκρίνουν μια βλέννα αποτελούμενη από διάφορες οργανικές ενώσεις, αυτές κενούμενες με το Al σχηματίζουν σύμπλοκα μόρια που δεν μπορεί να προσληφθούν από τα φυτά, ενώ αλλά φυτικά είδη παράγουν οργανικά οξέα που εξουδετερώνουν την τοξικότητα του Al σχηματίζοντας μη τοξικές ενώσεις (Bronick & Lal, 2005; Σκούφη, 2006).

Στα όξινα εδάφη που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Mn μπορεί μερικές φορές να εμφανιστεί η τοξικότητα του στοιχείου αυτού σε βάρος των φυτών. Το μαγγάνιο, ως γνωστόν, είναι ένα θρεπτικό στοιχείο σε αντίθεση με το Al, το οποίο δεν είναι αναγκαίο για την ανάπτυξη των φυτών. Αλλά όπως του Al έτσι και του Mn η διαλυτότητα αυξάνει με τη μείωση του pH, ενώ μειώνεται με την αύξηση του pH. Επίσης, η διαλυτότητα του Mn και επομένως η τοξικότητά του ευνοείται από τις αναερόβιες συνθήκες, ήτοι από το χαμηλό επίπεδο του O₂ στο έδαφος. Και τούτο διότι ανάγεται το τετρασθενές μαγγάνιο σε δισθενές (Mn⁴⁺ ⇌ Mn²⁺), το οποίο είναι πολύ διαλυτό. Έτσι, π.χ. η κατάκλιση του ρυζιού με νερό δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες τοξικότητας Mn εφόσον βεβαίως το έδαφος είναι εφοδιασμένο με υψηλά επίπεδα Mn ή αποτελείται από ορυκτά μαγγανίου. Η ανθεκτικότητα των φυτών στην τοξικότητα του Mn μεταβάλλεται από είδος σε είδος και κυμαίνεται γενικά από 200mg / Kg ξηράς ουσίας φύλλων, για τις ευαίσθητες καλλιέργειες, μέχρι > 5000mg / Kg για τις ανθεκτικές καλλιέργειες.

Όσον αφορά το Fe μπορεί και αυτός να καταστεί τοξικός στα φυτά, όταν το pH του εδάφους είναι < 4,0 ή όταν οι συνθήκες είναι πολύ αναγωγικές (αναερόβιες), όποτε κυριαρχεί η δισθενής μορφή του που είναι πολύ διαλυτή, λόγω ανάγωγης του Fe³⁺ ⇌ Fe²⁺. Η τοξικότητα του Fe²⁺ μπορεί να εμφανιστεί σε καλλιέργειες ρυζιού.

4.5 Επίδραση της οξύτητας στο έδαφος

Η μείωση του pH ή η αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων H^+ , επιδρά στην ενεργότητα των μικροοργανισμών καθώς και στο ρυθμό διάσπασης της οργανικής ουσίας και στις διάφορες βιολογικές διεργασίες, όπως τη νιτροποίηση και απονιτροποίηση . Επίσης, επηρεάζει σημαντικά τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών και τις ιοντοανταλλακτικές αντιδράσεις. Με λίγα λόγια, ρυθμίζει το επίπεδο γονιμότητας του εδάφους και την παραγωγικότητά του.

Κεφάλαιο 5^ο : Βελτίωση των όξινων εδαφών

5.1 Γενικά στοιχεία για την ασβέστωση των εδαφών

Η οξίνιση των εδαφών σε ολόκληρο τον πλανήτη είναι άμεσα συνυφασμένη με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή, αφού οι συνθήκες αυτές θα επηρεάσουν άμεσα τις ιδιότητες των εδαφών. Το ύψος βροχόπτωσης σε συνδυασμό με τις επικρατούσες θερμοκρασίες του εδάφους επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στον ρυθμό έκπλυσης των θρεπτικών συστατικών και τον ρυθμό της αποσάθρωσης των ορυκτών. Η έκπλυση των στοιχείων του εδάφους σε συνδυασμό με την αποσάθρωση επηρεάζουν τις χημικές ιδιότητες των εδαφών και ειδικότερα την

πορεία της οξίνισης. Η δημιουργία των όξινων εδαφών συχνά είναι αποτέλεσμα της έκπλυσης των βάσεων και της αντικατάστασής τους στην επιφάνεια των κολλοειδών με τα ιόντα του υδρογόνου. Τέτοια εδάφη όπως γίνεται αντιληπτό δεν αποτελούν ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Για τους παραπάνω λόγους η βελτίωση της τιμής του pH των όξινων εδαφών εντός επιθυμητών επιπέδων με την προσθήκη ασβεστούχων υλικών, δηλαδή με την ασβέστωση αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές πρακτικές που στοχεύουν στην βέλτιστη διαχείριση των εδαφών με σκοπό όχι μόνο να αυξηθεί η παραγωγή αλλά και να βελτιωθεί η ποιότητα των προϊόντων που παράγονται (Βαλαβανίδης & Βλαχογιάννη, 2012).

Με την ασβέστωση των εδαφών αποβλέπουμε στην ανύψωση της τιμής του pH του εδάφους σε ένα επιθυμητό επίπεδο κατάλληλο για την καλλιέργεια των φυτών. Στις εύκρατες περιοχές, για τα καλλιεργούμενα φυτά το επιθυμητό pH κυμαίνεται μεταξύ 6,5 και 7,0 ενώ στις υγρές περιοχές το επιθυμητό pH μπορεί να είναι χαμηλότερο από τις παραπάνω τιμές των εύκρατων περιοχών. Σε κάθε περίπτωση η τιμή του επιθυμητού pH συνδέεται με τις ευαισθησίες που έχουν τα καλλιεργούμενα φυτά στην οξύτητα του εδάφους και στα τοξικά συμπτώματα που προκαλεί στα φυτά το αργίλιο (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ευαισθησία των φυτών που καλλιεργούνται στις εύκρατες περιοχές και σε όξινα εδάφη. Η ευαισθησία αυτή εκφράζεται ως τιμή του pH του εδάφους, κάτω της οποίας οι φυτικοί οργανισμοί υφίστανται δυσμενείς επιδράσεις. Η αντοχή των φυτικών οργανισμών στις δυσμενείς επιδράσεις του αργιλίου εξαρτάται από τα εξής:

- Τις διαφορές που υπάρχουν στην μορφολογία του ριζικού συστήματος των φυτών. Για παράδειγμα, στο ριζικό σύστημα σε μερικά είδη φυτών δεν παρατηρούνται τοξικά συμπτώματα αργιλίου όταν τα φυτά αυτά καλλιεργούνται σε όξινα εδάφη.
- Την ικανότητα που έχει το ριζικό σύστημα των φυτών να αυξάνει την τιμή του pH του εδάφους στη ριζόσφαιρα με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι δυσμενείς επιδράσεις της τοξικής δράσης του αργιλίου.
- Την ικανότητα που έχουν κάποια φυτά να περιορίζουν σημαντικά την μετακίνηση του αργιλίου από τις ριζικό σύστημα στο υπέργειο τμήμα τους.

- Σε φυτά που είναι ανθεκτικά στο αργίλιο, το στοιχείο αυτό δεν εμποδίζει την προσρόφηση και τη μετακίνηση του ασβεστίου, μαγνησίου και φωσφόρου στο υπέργειο τμήμα των φυτών αυτών.

Πίνακας 2: Η τιμή του pH του εδάφους κάτω της οποίας η καλλιέργεια των φυτών θεωρείται προβληματική

Καλλιεργούμενα φυτά	Τιμή pH
Κριθάρι	5,9
Φασόλια	6,0
Ζαχαρότευτλα	5,9
Παντζάρι	5,9
Κοκκινογούλια	5,9
Λινάρι	5,4
Καλαμπόκι	5,5
Σινάπι	5,4
Βρώμη	5,3
Μπιζέλια	5,9
Πατάτες	4,9
Ελαιοκράμβη	5,6
Ρύζι	4,9
Σιτάρι	5,5
Αγριοτριφύλλο	5,7
Τριφύλλι το λειμώνιο	5,9
Τριφύλλι έρπον	5,6
Φεστούκα	4,7
Μηδική	6,2
Βίκος	5,9

Πηγή : Μήτσιος, 2001.

Η ασβέστωση είναι σημαντικό να συνδυάζει την ταυτόχρονη εφαρμογή λιπασμάτων σε ποσότητες που εξαρτώνται από την γονιμότητα του εκάστοτε εδάφους. Σε διαφορετική περίπτωση η ασβέστωση είναι ικανή να παροδική αύξηση της απόδοσης

το 1^ο έτος, ενώ από το 2^ο έτος θα φαίνονται οι αρνητικές επιπτώσεις της στις καλλιέργειες. Κατά μια γερμανική παροιμία «Η ασβέστωση κάνει τον πατέρα πλούσιο και τα παιδιά φτωχά», όταν δεν συνοδεύεται από την ταυτόχρονη εφαρμογή ενός ορθολογικού προγράμματος, διαχείρισης των καλλιεργειών και της λίπανσης.

Σε κάθε περίπτωση, όταν η ασβέστωση δεν συνοδεύεται από ένα ορθολογικό πρόγραμμα λίπανσης, είναι πιθανό να επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις σε μια καλλιέργεια και κατ' επέκταση στο εισόδημα του παραγωγού. Για να θεωρηθεί αποτελεσματική η ασβέστωση θα πρέπει να γίνει ταυτόχρονη ακολουθηθεί ταυτόχρονη εφαρμογή ανάλογου προγράμματος διαχείρισης όχι μόνο της καλλιέργειας και της λίπανσης αλλά και της οργανικής ουσίας του εδάφους, σε διαφορετική περίπτωση η απόδοση της καλλιέργειας θα είναι περιορισμένη (Μισοπολίνος, 1991).

Στην πράξη η ασβέστωση, τηρουμένων των προϋποθέσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιδρά ευνοϊκά στις καλλιέργειες διότι αυξάνει:

- i. Την πρόσληψη των θρεπτικών
- ii. Την βιολογική ενεργότητα
- iii. Την χουμοποίηση και την διάσπαση των οργανικών υπολειμμάτων

Σε γενικές γραμμές, η ασβέστωση ευνοεί τον εφοδιασμό των φυτών με μακροθρεπτικά και ιχνοστοιχεία, εφόσον εφαρμόζεται σε άριστες ποσότητες. Η θετική αυτή δράση αποκτά υψηλότερη αποτελεσματικότητα, όταν συνδυάζεται με την λίπανση. Στην περίπτωση που τα λιπάσματα που εφαρμόζονται σε ένα έδαφος είναι φυσιολογικός όξινα με την πάροδο των χρόνων αυξάνουν τις απαιτήσεις για ασβέστωση.

5.2 Μέθοδος Απαίτησης Εδάφους σε Ασβέστιο

Η τιμή του pH ενός εδάφους μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για το εάν θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ασβέστωση στον αγρό, όχι όμως για την ποσότητα ασβεστίου

που θα πρέπει να προστεθεί έτσι ώστε στο τέλος της διαδικασίας το ασβέστιο να απαντά στο έδαφος στην κατάλληλη συγκέντρωση.

Το πιο ακριβές μέσο για τον καθορισμό της απαίτησης σε άσβεστο ενός χώματος είναι μέσω υπαίθριας μελέτης (μελέτης αγρού). Τυπικά, σε μια υπαίθρια μελέτη, προσθέτουμε αυξημένες αναλογίες του επιθυμητού υλικού ασβέστωσης στο χώμα με την χρήση εξοπλισμού εμπορικής κλίμακας, αφήνουμε το υλικό ασβέστωσης να αντιδράσει για κατάλληλο χρόνο υπό περιβαλλοντολογικές συνθήκες αντιπροσωπευτικές για την γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος, και μετά μετράμε την αλλαγή στο pH του εδάφους για κάθε αναλογία υλικού ασβέστωσης (Doerge & Gardner , 1988). Ο χρόνος και το κόστος που απαιτείται για την διεξαγωγή υπαίθριων μελετών συνήθως αποκλείουν την χρήση μεγάλης γκάμας εδαφών, υλικών ασβέστωσης και καταστάσεων ασβέστωσης (π.χ. περιτροπή καλλιέργειας, όργωμα, και παραλλαγές διαχείρισης εδάφους). Εξαιτίας αυτού, οι υπαίθριες μελέτες σχετικά με την απαίτηση εδάφους σε άσβεστο προφανώς δεν είναι κατάλληλες για προγράμματα δοκιμών εδάφους ρουτίνας όπου ο στόχος είναι να προβλεφθεί γρήγορα η απαίτηση εδάφους σε άσβεστο για έναν μεγάλο και διαφορετικό αριθμό εδαφών. Γενικά, οι υπαίθριες μελέτες για την απόκριση στο υλικό ασβέστωσης διεξάγονται αρκετά σπάνια και συνήθως γίνονται για να αξιολογηθεί η σχετική αποτελεσματικότητα του νέου υλικού ασβέστωσης, να ποσοτικοποιηθεί το αποτέλεσμα κάποιας πρακτικής διαχείρισης εδάφους ή καλλιέργειας πάνω στην συνολική αποτελεσματικότητα του υλικού ασβέστωσης ή να χρησιμεύσουν ως τελική επιβεβαίωση για τις δοκιμές απαίτησης εδάφους σε άσβεστο που έγιναν με κάποιες από τις πιο γρήγορες μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω. Οι υπαίθριες μελέτες όμως είναι σημαντικό στοιχείο της διαχείρισης της ασβέστου και του pH του εδάφους και πρέπει να διεξάγονται όποτε είναι δυνατόν, ειδικότερα όταν λαμβάνουν χώρα σημαντικές αλλαγές στην διαχείριση ή αν εναλλακτικά υλικά ασβέστωσης (π.χ. λυματολάσπη / ίλος καθαρισμού λυμάτων σταθεροποιημένη με άσβεστο) αρχίζουν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε μία περιοχή.

Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ασβεστίου που πρέπει να προστεθεί. Ωστόσο η πιο αποτελεσματική και ακριβής μέθοδος προσδιορισμού της ποσότητας ασβεστίου που θα πρέπει να

προσθεθεί στο έδαφος προκύπτει συνδυάζοντας τις εργαστηριακές αναλύσεις, τις ανάγκες της καλλιέργειας σε ασβέστιο και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την ασβέστωση του αγρού. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο η ποσότητα ασβεστίου που απαιτείται για την βελτίωση της τιμής του pH του εδάφους, προσδιορίζεται με βάση την ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους που εκφράζεται ως η ποσότητα του CaCO_3 η οποία απαιτείται για να ανυψώσει το pH του ενός Kg εδάφους (ή το στρέμμα σε ένα ορισμένο βάθος) κατά 1 μονάδα pH. Αν πολλαπλασιάσουμε τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους με την επιθυμητή ανύψωση της τιμής του pH, τότε θα έχουμε την ποσότητα ασβεστίου που είναι αναγκαία για να ανυψωθεί η τιμή του pH στο επιθυμητό επίπεδο (Doerge & Gardner , 1988)

Εν συντομία, οι μέθοδοι απαίτησης εδάφους σε άσβεστο περιέχουν είτε:

- (i) επώσεις χώματος - ασβέστου,
- (ii) τιτλοδοτήσεις χώματος - βάσης (τιτλοδότηση χώματος με βάση),
- (iii) εξισορρόπηση χώματος - ρυθμιστικού διαλύματος,
- (iv) ανταλλάξιμη οξύτητα (ή Al) ή
- (v) υπολογισμούς με βάση το pH του εδάφους και είτε την εδαφοσειρά ή μία εύκολη στην μετρήσιμη ιδιότητα εδάφους που συσχετίζεται καλά με την ρυθμιστική ικανότητα εδάφους.

Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής για τον καθορισμό της απαίτησης εδάφους σε άσβεστο πρέπει να ξεκινά με την κατανόηση της φύσης και της ποικιλότητας των μορφών οξύτητας του εδάφους που βρίσκονται στα εδάφη της γεωγραφικής περιοχής όπου θα διεξαχθεί η δοκιμή. Δεδομένου ότι τα ρυθμιστικά διαλύματα ποικίλουν σε χημική σύνθεση, μπορεί να συμβούν σημαντικές υπερεκτιμήσεις ή υποτιμήσεις στον υπολογισμό της ασβεστίου που απαιτείται αν επιλεγεί η ακατάλληλη δοκιμή χώματος - ρυθμιστικού διαλύματος.

Πρακτικά ζητήματα, όπως ο διαθέσιμος χρόνος για την διεξαγωγή της δοκιμής, ο διαθέσιμος χώρος και ο απαιτούμενος εξοπλισμός, τυχόν κίνδυνοι υγείας και ασφάλειας που μπορεί να προκύψουν και το κόστος ανά δείγμα, πρέπει να εκτιμηθούν προσεκτικά όταν επιλέγεται μια δοκιμή. Γενικά, αυτό σημαίνει ότι για τους σκοπούς μιας συνηθισμένης δοκιμής εδάφους προτιμάται (ή απαιτείται) η

δοκιμή χόματος - ρυθμιστικού διαλύματος, παρότι αρκετές μεγάλες εργαστηριακές δοκιμές εδαφών βγάζουν αποδεκτά αποτελέσματα με βάση την απαίτηση σε άσβεστο στο pH του εδάφους και την εδαφοσειρά ή τις ιδιότητες του εδάφους. Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται τώρα, συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Περίληψη των μεθόδων απαίτησης εδάφους σε άσβεστο που χρησιμοποιούνται περισσότερο στις ΗΠΑ (με βάση μία έρευνα που διεξήχθη στα εργαστήρια δοκιμών εδάφους το 1995).

Μέθοδος απαίτησης σε ασβέστιο	Πολιτείες όπου χρησιμοποιείται η μέθοδος	Παρατηρήσεις
SMP απλό ρυθμιστικό διάλυμα	CA, CO, IA, IN, KS, KY, MA, ME, MI, MN, NE, NH, OH, OK, OR, PA, WA, πολλά τοπικά, ιδιωτικά εργαστήρια δοκιμών εδάφους	Πολλά εργαστήρια τόνισαν τη σπουδαιότητα της σωστής αποθήκευσης του SMP για να προστατευθεί ενάντια στο CO ₂ και τον ατμό νερού. Οι περισσότερες μεσο-δυτικές πολιτείες χρησιμοποιούν την μέθοδο SMP που εκδόθηκε στο εγχειρίδιο δοκιμών εδάφους NCR-13 (NCR-13, 1988)
Adams-Evans απλό ρυθμιστικό διάλυμα	AL, DE, FL, GA, SC, TN	Οι πολιτείες DE, FL χρησιμοποιούν το “δείκτη ρυθμ. διαλύματος” που βασίζεται στο pH εδάφους σε νερό, στο pH-στόχο της καλλιέργειας και στο pH του ρυθμιστικού διαλύματος Adams-Evans

Mehlich απλό ρυθμιστικό διάλυμα	NC, WN	
Άλλα απλά ρυθμιστικά διαλύματα	ID, MS, MO – τροποποιημένο ρυθμιστικό διάλυμα Woodruff	Το διάλυμα Woodruff πρέπει επίσης να προστατεύεται από το CO ₂ και τον ατμό νερού
pH εδάφους και υπολογισμένη ή εκτιμώμενη ιδιότητα εδάφους	AR- pH εδάφους και CEC από ανταλλάξιμο Ca CT- pH εδάφους, υφή και οργανική ύλη IL- pH εδάφους, τύπος εδάφους και σύστημα καλλιέργειας LA- pH εδάφους, επαυξητική τιτλοδότηση του εδάφους με CaCO ₃ MD, NJ, RI- pH εδάφους και εκτιμώμενη υφή TX- pH εδάφους, καλλιέργεια, και υφή (δοκιμασία ρουτίνας), pH εδάφους και 2X KCl ανταλλάξιμο Al σε ολοκληρωμένη δοκιμή εδάφους VA- pH εδάφους και υπολογισμός της υφής του εδάφους με βάση τον τύπο εδάφους Κάποια ιδιωτικά εργαστήρια- pH εδάφους και % Ca + % Mg κορεσμός της CEC	Τύπος εδάφους ή υφή που υπολογίζεται από υποβολή δείγματος από ιδιώτη, τοπικό φορέα ή σύμβουλο. pH εδάφους που υπολογίζεται πραγματικά σε 0.01 M CaCl ₂ , εξισώνεται έπειτα σε pH νερού προσθέτοντας 0.6 μονάδες pH

Άλλες μέθοδοι	NY – BaCl ₂ -TEA μέθοδος τιτλοδότησης	Απαίτηση Εδάφους σε Ασβεστο που καθορίζεται με βάση την τιτλοδότηση σε pH 8.2 και σχέση μεταξύ pH εδάφους και βασικού κορεσμού. Ο τιτλοδότης πρέπει επίσης να προστατεύεται από το CO ₂ και τον ατμό νερού.
Καμία που να χρησιμοποιείται τακτικά	AZ, MT, ND, NM, NV, SD, UT, WY	Κυριαρχούν τα ασβεστούχα εδάφη και η ασβέστωση σπάνια χρειάζεται, με εξαιρέσεις που μπορεί να περιλαμβάνουν σημαντικά διαταραγμένα εδάφη όπως σε έργα αναβλάστησης

Πηγή: (Keeney & Corey, 1963)

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της απαίτησης εδάφους σε ασβέστιο, μέσω επώασης χόματος - ασβέστου και τιτλοδότησης με βάση, ποικίλουν και συνιστάται ιδιαίτερη εξέταση της σχετικής βιβλιογραφίας πριν ξεκινήσει κανείς αυτές τις χρονοβόρες και υψηλού κόστους μελέτες. Για τις μεθόδους απαίτησης εδάφους σε άσβεστο που βασίζονται στο pH εδάφους και σε κάποια άλλη υπολογισμένη ιδιότητα εδάφους (συνήθως οργανική ύλη), είναι απαραίτητο οι επιλεγμένες αναλυτικές μέθοδοι να παρουσιάζουν τις διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν στις αρχικές μελέτες βαθμονόμησης που καθόρισαν την σχέση ανάμεσα στις ιδιότητες του εδάφους και την ποσότητα ασβέστωσης που απαιτείται. (Keeney & Corey, 1963)

Για παράδειγμα, αν οι προτάσεις για απαιτήσεις εδάφους σε άσβεστο βασίζονται στο pH εδάφους και την οργανική ύλη που υπολογίζονται από την μέθοδο Walkley-Black, δεν θα ήταν καλό να χρησιμοποιήσει κανείς την μέθοδο απώλειας πυρώσεως /

αποτέφρωσης (LOI) για να καθορίσει την οργανική ύλη εκτός αν διεξήχθη συμπληρωματική έρευνα συσχετισμού ή βαθμονόμησης για να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία του LOI ως παρόμοιος δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας του εδάφους.

5.3 Βελτίωση των Όξινων Εδαφών

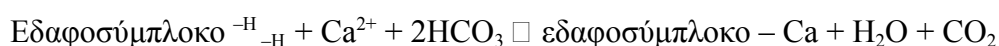
5.3.1 Πρώτη μέθοδος

Τα όξινα εδάφη μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη ασβεστούχων υλικών, δηλαδή με τη λεγόμενη ασβέστωση. Η προσθήκη ασβεστούχων υλικών στα όξινα εδάφη στοχεύει στην αύξηση του pH σε τιμές που να ευνοούν την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την εξουδετέρωση του κινδύνου της τοξικότητας του Al. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφορες ενώσεις, όπως οξείδιο του ασβεστίου (CaO), ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστίτης, (CaCO₃)), υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)₂), δολομίτης (CaMg(CO₃)₂) κλπ.

Οι αντιδράσεις γενικά που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος με την ενσωμάτωση των υπόψη υλικών είναι οι εξής:



Το σχηματιζόμενο διττανθρακικό ασβέστιο (Ca(HCO₃)₂) δίσταται σύμφωνα με τις ανωτέρω αντιδράσεις σε Ca²⁺ και όξινο ανθρακικό ανιόν. Ακολούθως, το Ca²⁺ αντικαθιστά τα προσροφημένα κατιόντα του H⁺ στην επιφάνεια των κολλοειδών, τα οποία στη συνέχεια εξουδετερώνονται από τα υδροξύλια (OH⁻) και σχηματίζουν H₂O ως εξής:



Το H₂O και το CO₂ είναι τα προϊόντα της διάσπασης του ασθενούς ανθρακικού οξέος, ήτοι:



Με την αντικατάσταση των ιόντων H^+ από τα κατιόντα Ca^{2+} αυξάνει ο κορεσμός με βάσεις του εδαφοσυμπλόκου και κατά συνέπεια ανέρχεται η τιμή του pH. Σχετικά με την επίδραση της ασβέστωσης του εδάφους θα πρέπει να υπογραμμισθεί ότι δεν είναι μόνιμη. Δηλαδή το pH του όξινου εδάφους ενδέχεται να αυξηθεί με την προσθήκη του ασβεστούχου υλικού, αλλά μετά από 3 ή 4 χρόνια μπορεί να χρειαστεί η επανενσωμάτωση του υλικού αυτού στο έδαφος για τη συνέχιση της διατήρησης του pH σε ευνοϊκά επίπεδα για την ανάπτυξη των φυτών.

Για την βελτίωση των όξινων εδαφών πραγματοποιείται προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), οξειδίου του ασβεστίου (CaO) ή δολομίτη στο έδαφος παρουσία κατάλληλης υγρασίας. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε πως για να προσδιοριστούν οι απαιτούμενες ποσότητες που θα εφαρμοστούν για τη διορθωτική αύξηση του pH πραγματοποιούνται εργαστηριακές αναλύσεις.

Ο τρόπος δράσης και οι ποσότητες του υλικού της διόρθωσης του pH είναι άμεσα συνυφασμένες :

- i) με το είδος του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί,
- ii) με το επιθυμητό pH και
- iii) με το πόσο ψιλοθρυμματισμένο είναι το υλικό. Σε γενικές γραμμές όσο πιο ψιλοθρυμματισμένο είναι, τόσο πιο αποτελεσματικά και ταχύτερα θα δράσει.

Για παράδειγμα για μεγέθη δομικών συστατικών υλικού κάτω των 200μ η αποτελεσματικότητα δράσεως αγγίζει το 100%, ενώ άνω των 2000μ εκμηδενίζεται.

Η ποσότητα του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση επηρεάζεται σε μεγάλο ποσοστό από το βάθος που θα φτάσει η ασβέστωση, καθώς και τη μηχανική σύσταση του εδάφους ή την περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα που για να αυξηθεί η τιμή του pH από το 4 στο 6,5 σε εδαφική επιφάνεια 100 m² με οργανική ουσία περίπου 2% και σε βάθος 20 – 30 cm σε ένα αργιλώδες έδαφος μπορεί να απαιτηθούν 110 – 120 Kgr ανθρακικού ασβεστίου (πχ

μαρμαρόσκονη), ενώ σε ένα πηλοαμμώδες ίσως χρειαστούν 70 – 80 Kgr (Μήτσιος , 2001).

Η προσθήκη ασβεστίου στο έδαφος για να βελτιωθεί η οξύτητα του πρέπει να λαμβάνει χώρα τουλάχιστον 6 μήνες πριν γίνει η εγκατάσταση της καλλιέργειας στο έδαφος. Η ενσωμάτωση στο έδαφος είναι μια γεωργική πρακτική που απαιτεί κόπο και χρόνο έτσι ώστε να είναι η καλύτερη δυνατή. Μάλιστα, ακόμη και όταν ολοκληρωθεί η επεξεργασία του εδάφους ο παραγωγός θα πρέπει να ελέγχει σε συχνά χρονικά διαστήματα την οξύτητά του εδάφους επειδή το ασβέστιο με την πάροδο του χρόνου διαλύεται και χάνεται από το αξιοποιήσιμο εδαφικό υπόστρωμα είτε επειδή μετακινείται στα κατώτερα στρώματα, είτε επειδή προσλαμβάνεται από την καλλιέργεια, είτε τέλος γιατί η συχνή χρήση λιπασμάτων μεταστρέφουν το pH σε πιο όξινες τιμές. Σε θεωρητικό επίπεδο είναι δυνατό να εκτιμηθεί ότι για κάθε έτος ανά 100 m² εδάφους οι απώλειες σε ασβέστιο μπορούν να ξεπεράσουν τα 30 Kgr (Χουλιαράς , 2009).

5.3.2 Δεύτερη μέθοδος

Για να εξουδετερωθεί η οξύτητα ενός εδάφους είναι απαραίτητη προϋπόθεση εκτός από τη μέτρηση της οξύτητας αυτής με διάφορες μεθόδους να υπάρχει η απαιτούμενη τεχνογνωσία. Συνήθως οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι:

- 1) Ογκομέτρηση του εδάφους με μια βάση ή εξισορρόπηση με CaCO₃
 - 2) Έκπλυση του εδάφους με ρυθμιστικό διάλυμα (π.χ. BaCl₂-τριαιθανολαμίνης pH 8,2) και στη συνέχεια ανάλυση του διηθήματος για τον προσδιορισμό του ποσού της βάσης που έχει αντιδράσει με το έδαφος και
 - 3) Αφαίρεση του συνόλου των εναλλακτικών βάσεων (Ca, Mg, Na, K) από την CEC
- Σε γενικές γραμμές η μέθοδος της ογκομέτρησης είναι πιο απλή από τις άλλες μεθόδους αφού τα αποτελέσματα από όλες τις μεθόδους είναι όμοια.

Σε αιώρημα γνωστής ποσότητας εδάφους προστίθεται σταδιακά μικρές ποσότητες Ca (OH)₂ με σύγχρονη μέτρηση του pH του αιωρήματος. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι η τιμή του pH να φτάσει το 8,2 που θεωρείται ως σημείο κορεσμού του

εδάφους με ιόντα Ca^{2+} . Ωστόσο σε κάθε περίπτωση είναι εφικτό η ογκομέτρηση να διακοπεί και σε χαμηλότερο pH ανάλογα με την επιθυμητή τιμή pH του εδάφους.

Στη συνέχεια ανάλογα με την επιθυμητή τιμή pH υπολογίζεται η ποσότητα Ca^{2+} ως CaCO_3 που είναι αναγκαία για κάθε στρέμμα και για ανάλογο βάθος εδάφους. Οι ποσότητες CaCO_3 που υπολογίζονται στο εργαστήριο θα πρέπει να διπλασιάζεται για τις συνθήκες του αγρού (Μισοπολινός, 1991).

5.4 Η επίδραση των ασβεστούχων υλικών στα όξινα εδάφη

Η προσθήκη ασβεστούχων υλικών στα όξινα εδάφη έχει ευεργετικά αποτελέσματα. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα περιλαμβάνει την μείωση της ενεργότητας του Al και του Mn εξαιτίας του σχηματισμού αδιάλυτων υδροξειδίων. Με τον τρόπο αυτό περιορίζονται στους φυτικούς οργανισμούς τα συμπτώματα τα οποία προκαλούνται από την τοξικότητα του Al (τα οποία είναι ιδιαίτερα έντονα όταν οι τιμές του pH είναι χαμηλότερες από 5,0) (Χουλιάρης, 2009).

Στην περίπτωση που το ασβέστιο που χρησιμοποιείται είναι δολομίτης τότε εκτός από το ασβέστιο που προστίθεται στο χωράφι γίνεται προσθήκη μαγνησίου. Τα δύο αυτά θρεπτικά συστατικά περιέχονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις όταν οι τιμές pH του εδάφους είναι χαμηλές. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η ασβέστωση παίζει καθοριστικό ρόλο στο ανταλλάξιμο μαγνήσιο αφού μέχρι ένα σημείο προστιθέμενου CaO αυτό αυξάνεται, από μια ποσότητα και πάνω ωστόσο παρατηρείται μείωση του ανταλλάξιμου ασβεστίου όχι μόνο εξαιτίας της αντικατάστασης του από το ασβέστιο αλλά και χάρη στον σχηματισμό συμπλόκων με ιόντα Al. (Μισοπολινός, 1991).

Επιπλέον, με την εφαρμογή ασβεστίου σε εδάφη με χαμηλές τιμές pH προκαλείται εξουδετέρωση των δυσδιάλυτων ενώσεων οι οποίες σχηματίζονται από το αργίλιο, τον σίδηρο και τον φώσφορο των λιπασμάτων τα οποία προστίθενται στην καλλιέργεια. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο φώσφορος να είναι πιο εύκολα αφομοιώσιμος από τα φυτά. Κάτι παρόμοιο παρατηρείται με το κάλιο το οποίο είναι

γνωστό πως βοηθά την ανάπτυξη και την παραγωγή της καλλιέργειας. Πιο αναλυτικά, η ασβέστωση περιορίζει την προσρόφηση του καλίου και έτσι το καθιστά περισσότερο αποτελεσματικό όσον αφορά την θρέψη της καλλιέργειας.

Η ασβέστωση των όξινων εδαφών έχει αποδειχθεί επίσης ότι αυξάνει το ποσοστό αζώτου το οποίο είναι διαθέσιμο στους φυτικούς οργανισμούς. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες προκειμένου να αναπτυχθούν μικροοργανισμοί οι οποίοι θα αναλάβουν την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας.

Ένα επίσης σπουδαίο πλεονέκτημα της ασβέστωσης είναι η βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Μετά από την ασβέστωση των όξινων εδαφών το έδαφος γίνεται πιο αφράτο με αποτέλεσμα το ριζικό σύστημα να μπορεί να αναπτυχθεί και να εισχωρήσει με μεγαλύτερη ευκολία, ενώ ενεργοποιούνται διάφοροι μικροοργανισμοί και βακτήρια που απαντούν στο έδαφος δεσμεύοντας άζωτο και ευνοώντας την παραγωγή νιτρικών ιόντων. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε επίσης πως η ασβέστωση προκαλεί αύξηση της διαθεσιμότητας του μολυβδαινίου (Mo) (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Όταν η ασβέστωση ενός χωραφιού ολοκληρωθεί και η τιμή pH του εδάφους υπερβαίνει το 6,5 τότε μειώνεται η διαλυτότητα και η προσρόφηση από την καλλιέργεια διαφόρων βαρέων μετάλλων μεταξύ των οποίων του καδμίου (Cd), του νικελίου (Ni), του ψευδαργύρου (Zn), του παλλαδίου (Pd), του στροντίου (Sr) κ.α.

Σε κάθε περίπτωση εδάφη που έχουν δεχτεί ασβέστωση έχουν την τάση να έχουν υψηλότερες αποδόσεις, υψηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία που οδηγούν στην αύξηση του πληθυσμού των γαιοσκωλήκων. Η διατήρηση του ασβεστίου σε υψηλές συγκεντρώσεις ευνοεί την ομαλή ανάπτυξη των ψυχανθών και σε περίπτωση που επιλεγούν τέτοιου είδους καλλιέργειες τότε θα περιοριστούν σημαντικά οι ανάγκες για αζωτούχα λιπάσματα (Aneja, 2001).

Εν κατακλείδι, είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η αξία της ασβέστωσης κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντική αφού τα αγροτικά προϊόντα τα οποία παράγονται έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε ασβέστιο, μαγνήσιο, φώσφορο, άζωτο, διάφορες πρωτεΐνες

και ιχνοστοιχεία τα οποία χαρακτηρίζονται ως υψηλής αξία για την διατροφή τόσο των ζώων όσο και του ανθρώπου (Μισοπολινός , 1991).

5.5 Οι στόχοι της ασβέστωσης

Πριν γίνει αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την ασβέστωση ενός χωραφιού είναι σημαντικό να εξετάσουμε τους στόχους της ασβέστωσης και να διαπιστώσουμε τους λόγους για τους οποίους γίνεται χρήση των συγκεκριμένων υλικών. Επίσης, τα ιόντα που απελευθερώνονται είναι σημαντικό να έχουν την ικανότητα να εξουδετερώνουν τα ιόντα H^+ τα οποία απελευθερώνονται. Επίσης, είναι σημαντικό να προκαλούν μια πίεση στο εδαφικό διάλυμα έτσι ώστε να προκαλούν συνένωση των ανόργανων και των οργανικών κολλοειδών του εδάφους, το υλικό δηλαδή που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση του αγρού θα πρέπει να λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ της αργίλου και του χούμου προκειμένου να βελτιωθεί η δομή του εδάφους (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Έτσι γίνεται σαφές ότι για να μπορεί το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση θα πρέπει να διαθέτει ηλεκτρολυτικές ιδιότητες, για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να τα κατιόντα να μπορούν να μετατοπίζουν τα υδρογόνα λειτουργώντας επί της ουσίας ως γέφυρες μεταξύ της αργίλου και του χούμου. Επιπλέον, τα ανιόντα θα πρέπει να έχουν την ικανότητα να εξουδετερώνουν την δράση των ιόντων υδρογόνου καθώς επίσης και να μειώνουν την ενεργότητα των ιόντων Al^{+3} . Τέλος, σε κάθε περίπτωση το υλικό που θα χρησιμοποιείται για την ασβέστωση ενός αγρού θα πρέπει είτε να είναι άφθονο στην φύση είτε να αποτελεί υποπροϊόν από κάποια άλλη δραστηριότητα προκειμένου το κόστος για την ασβέστωση ενός αγρού να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερο (Μήτσιος, 2001).

5.6 Η επιλογή του κατάλληλου υλικού ασβέστωσης

Η επιλογή του κατάλληλου υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση ενός αγρού είναι καθοριστικής σημασίας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι σπουδαιότεροι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή του υλικού είναι το κόστος του και η δυνατότητα του να το προμηθευτεί κανείς από κοντινή απόσταση.

Οι βιομηχανίες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της παραγωγής μαρμάρων δημιουργούν γύρω από την παραγωγή εστίες προκειμένου να εναποθέτουν την σκόνη που παράγεται κατά την διάρκεια παραγωγής του μαρμάρου. Μάλιστα τις τελευταίες δεκαετίες κατηγορούνται και έχουν προστριβές με το κράτος εξαιτίας της ρύπανσης που προκαλούν στο περιβάλλον. Προκειμένου λοιπόν να περιορίσουν το πρόβλημα διαθέτουν την μαρμαρόσκονη στο κοινό δωρεάν.

Ένας άλλος παράγοντας που λαμβάνεται σοβαρά υπόψη αφορά τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την ασβέστωση του εδάφους και το γεγονός ότι θα πρέπει να είναι υψηλής συγκέντρωσης Ca ενώ θα πρέπει να είναι και απαλλαγμένα από οποιαδήποτε τοξική ουσία η οποία ενδεχόμενος μολύνει το έδαφος και δημιουργήσει προβλήματα στην καλλιέργεια και το περιβάλλον. Η διάκριση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την ασβέστωση διακρίνονται με βάση την μορφή του ασβεστίου το οποίο και περιέχουν.

Για να θεωρηθεί κατάλληλο λοιπόν ένα υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση του αγρού θα πρέπει να απελευθερώνονται ιόντα τα οποία να μπορούν να προσροφηθούν στο αργιλοχουμικό σύμπλοκο απελευθερώνοντας ιόντα H^+ προκειμένου να επιτευχθεί ως έναν βαθμό ο κορεσμός με βάσεις στο αργιλοχουμικό σύμπλοκο (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Μια πολυάριθμη ομάδα υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ασβέστωση των εδαφών είναι το $CaCO_3$, όπως ο ασβεστόλιθος ο οποίος περιέχει $CaCO_3$ σε ποσοστό που κυμαίνεται από 60 έως 95%, η κιμωλία με το αντίστοιχο ποσοστό να είναι μεταξύ 85 και 98% και η μάργα (η οποία αποτελείται από μια μίξη αλάτων, άμμου, αργίλου και ιλύος) με το αντίστοιχο ποσοστό της σε $CaCO_3$ ωστόσο να μην υπερβαίνει το 50% (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Στην χώρα μας οι ασβεστόλιθοι έχουν εξαπλωθεί σε μεγάλο βαθμό κυρίως γιατί απαντούν σε πολλές οροσειρές της ορεινής Ελλάδας. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως υλικά που χρησιμοποιούνται για την ασβέστωση και περιέχουν $\text{Ca}(\text{OH})_2$ θεωρούνται δραστικότερα από τα υλικά που περιέχουν CaCO_3 εξαιτίας της άμεσης αντίδρασης τους με το έδαφος. Παρόλα αυτά τα ασβεστολιθικά υλικά έχει αποδειχθεί ότι έχουν καλύτερα αποτελέσματα σε βάθος χρόνου (Μήτσιος , 2001).

Τέλος, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του υλικού ασβέστωσης σχετίζεται με τον τύπο ασβέστωσης που επιθυμούμε. Δηλαδή όταν επιθυμούμε ανόρθωση της τιμής του pH ενός εδάφους σε επιθυμητό επίπεδο επιλέγονται υλικά τα οποία θα δράσουν άμεσα όπως είναι για παράδειγμα το CaO και το $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ενώ σε περιπτώσεις που επιθυμούμε αναπλήρωση των απωλειών ασβεστίου επιλέγονται υλικά που δρουν σε βάθος χρόνου όπως είναι για παράδειγμα το CaCO_3 .

5.7 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ασβέστωση του εδάφους

Η αύξηση της τιμής του pH στο επιθυμητό επίπεδο είναι μια διαδικασία που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι από τους παράγοντες αυτούς είναι οι παρακάτω:

1. Προέλευση υλικού που χρησιμοποιείται για την ασβέστωση

Αν και ο μεγαλύτερος όγκος του ασβέστη που χρησιμοποιείται στην γεωργία προέρχεται από τον ασβεστόλιθο, χρησιμοποιούνται πολλά άλλα υλικά για τον ίδιο σκοπό. Η αποτελεσματικότητα αυτών των υλικών εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από την περιεκτικότητά τους σε CaCO_3 (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος , 2007).

2. Διαλυτότητα του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση του αγρού

Η ασβέστωση του αγρού εξαρτάται σε ένα μεγάλο βαθμό από το ποσοστό διάλυσης και υδρόλυσης προκειμένου να σχηματιστούν τα ιόντα OH^- . Γενικά, ο ασβεστόλιθος είναι πιο διαλυτός από το δολομιτικό ασβεστόλιθο.

3. Το ποσοστό αφαίρεσης των ιόντων OH^-

Το ποσοστό υδρόλυσης του CaCO_3 συσχετίζεται άμεσα με το ποσοστό στο οποίο τα OH^- ιόντα αφαιρούνται από τη λύση. Εφ' όσον είναι σε λύση ικανοποιητικά H^+ ιόντων, ο αριθμός Ca^{2+} και HCO_3^- ιόντων θα αυξηθεί. Όταν τη συγκέντρωση H^+ ιόντων χαμηλώνουν, η διαλυτότητα Ca^{2+} και HCO_3^- , μειώνεται.

4. Το ποσοστό της υδρόλυσης του Al^{3+} και του Fe^{3+}

Τα ποσοστά αντίδρασης του εδάφους με τον ασβέστη επηρεάζονται από τους παράγοντες που καθορίζουν το ποσοστό και την έκταση της πολυσθενούς ιονικής υδρόλυσης μετάλλων. Η υδρόλυση Al^{3+} και του υδροξυ-Al στο χώμα προφανώς αυξάνεται από τα άλατα, και το ποσοστό διάλυσης του CaCO_3 πρέπει να αυξηθεί με τον ίδιο τρόπο. Αντιθέτως, η ισχυρή προσρόφηση της ενδιάμεσης αντίδρασης μειώνει την υδρόλυση, και η αντίδραση ουδετεροποίησης απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο να ολοκληρωθεί.

5. Μερική πίεση του CO_2

Η μερική πίεση του CO_2 επηρεάζει τη διαλυτότητα του CaCO_3 . Αν και η μερική πίεση του CO_2 είναι σχετικά σταθερή στην ατμόσφαιρα, οι ευρείες διακυμάνσεις μπορούν να εμφανιστούν στην εδαφολογική ατμόσφαιρα λόγω της μικροβιακής δραστηριότητας και να επηρεάσουν την ασβέστωση του αγρού.

6. Το μέγεθος του υλικού που χρησιμοποιείται για την ασβέστωση

Το ποσοστό και ο ρυθμός της διάλυσης του υλικού ασβέστωσης στο χώμα εξαρτώνται από την επιφάνεια του υλικού που έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Το ελάχιστο μέγεθος για τη βέλτιστη διάλυση του ασβεστόλιθου εμφανίζεται να είναι μέγεθος 0.25 έως 0.30 χιλ. (50-60-πλέγμα)

7. Η εδαφολογική σύσταση του εδάφους

Λόγω ενός συνδυασμού των παραγόντων που αναφέρθηκαν ήδη, τα ποσοστά ασβέστωσης του εδάφους αυξάνονται τόσο με την ενσωμάτωση όσο και με την μίξη τους με το έδαφος.

8. Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Η θερμοκρασία και η υγρασία, φυσικά, επηρεάζουν το ποσοστό της διάλυσης CaCO_3 και με αυτόν τον τρόπο το ποσοστό ουδετεροποίησης της εδαφολογικής οξύτητας. Απαιτούνται επίσης μεγάλες ποσότητες νερού για την κίνηση του Ca^{2+} και του HCO_3^- στα όξινα υπεδάφη (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2007).

Συμπεράσματα – Συζήτηση

Η ανάπτυξη των φυτών μιας καλλιέργειας προϋποθέτει την ύπαρξη ορισμένων εδαφικών και κλιματικών συνθηκών που θα επιτρέψουν τα φυτά να αναπτυχθούν

χωρίς προβλήματα. Σε κάποιες περιοχές διάφοροι παράγοντες συμβάλλουν στην οξίνιση του εδάφους και κυρίως στη δημιουργία των όξινων προβληματικών εδαφών. Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η δημιουργία όξινων εδαφών μπορεί να προκαλείται είτε εξαιτίας διαφόρων φυσικών συνθηκών (μητρικό υλικό, κλιματικοί παράγοντες κ.α.) είτε εξαιτίας διάφορων διαταραχών του εδάφους που προκαλούνται από τον άνθρωπο. Γενικά, οι παρεμβάσεις του ανθρώπου στο έδαφος συνδέονται με τη χρήση λιπασμάτων, την προσθήκη κόπρου και άλλων οργανικών ενώσεων φυτικής προέλευσης κ.λπ. και έχουν σαν συνέπεια τη μείωση της τιμής του pH. Είναι γνωστό πως τα τελευταία χρόνια οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονταν στοχεύουν στην αύξηση της παραγωγής. Οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονταν τις τελευταίες δεκαετίες κατάφεραν να αυξήσουν σημαντικά την απόδοση των καλλιεργειών εξασφαλίζοντας επάρκεια των τροφίμων ωστόσο επέφεραν αύξηση στο κόστος παραγωγής των τροφίμων, ποιοτική υποβάθμιση του τελικού προϊόντος και μόλυνση του περιβάλλοντος. Η γεωργία του μέλλοντος είναι υποχρεωμένη να περιορίσει την χρήση χημικών λιπασμάτων και να προστατέψει το περιβάλλον από περαιτέρω υποβάθμιση.

Επίσης, τις τελευταίες δεκαετίες η ραγδαία ανάπτυξη που σημειώθηκε στην βιομηχανική παραγωγή οδήγησε στην καύση υδρογονανθράκων (πετρελαίου, φυσικού αερίου κ.α.) οι οποίοι περιέχουν συχνά (όξινα) οξείδια του θείου και του αζώτου, με συνέπεια να σχηματίζεται όξινη βροχή στην οποία απαντούν τα οξέα που προαναφέρθηκαν. Η βροχή αυτή λοιπόν όταν φτάνει στο έδαφος συντελεί στην δημιουργία όξινων εδαφών.

Εδάφη με ισχυρά όξινο pH είναι μικρής παραγωγικότητας και μειωμένης γονιμότητας. Η χαμηλή παραγωγικότητα των όξινων εδαφών οφείλεται στο γεγονός ότι το χαμηλό pH επιδρά δυσμενώς στις βασικές χημικές, βιολογικές και φυσικές διεργασίες. Ελάχιστες καλλιέργειες μπορούν επιτυχώς να αναπτυχθούν και να ευδοκιμήσουν σ' αυτά τα εδάφη. Το χαμηλό pH του εδάφους έχει αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς του εδάφους, στην διάσπαση της οργανικής ουσίας, στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών, στο έδαφος και κατ' επέκταση στην φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών της καλλιέργειας.

Στην σύγχρονη γεωργία το επιφανειακό έδαφος που έχει καταστεί όξινο είναι εύκολο να βελτιωθεί με ενσωμάτωση ασβέστου στην αρόσιμη στρώση, η οποία προκαλεί κατακρήμιση των τοξικών μετάλλων αργιλίου και μαγγανίου και αύξηση των επιπέδων των ασβεστίου και μαγνησίου. Η ποσότητα της ασβέστου που απαιτείται για να ανυψωθεί το εδαφικό pH σε ένα επιθυμητό επίπεδο για ένα συγκεκριμένο βάθος (συνήθως 15-20 cm), είναι γνωστή σαν απαίτηση του εδάφους σε ασβέστιο και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ο πιο σημαντικός παράγοντας της ποσότητας του υλικού που πρέπει να προστεθεί για την ασβέστωση του εδάφους είναι η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, δηλαδή η ικανότητα του εδάφους να αντιστέκεται σε μεταβολές του pH .

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω διάφορα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διόρθωση του pH, τα πιο σημαντικά είναι τα εξής:

- 1) ο φυσικός ασβεστόλιθος (ασβεστιτικός ή δολομιτικός),
- 2) η μη σβησμένη άσβεστος (οξείδιο του ασβεστίου),
- 3) η ένυδρος άσβεστος (υδροξείδιο του ασβεστίου),
- 4) η μάργα (ασβεστούχος άργιλος),
- 5) η ασβεστοίλυσ των ζαχαρουργείων και
- 6) η ασβεστούχος ιλύς βιολογικών καθαρισμών.

Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο κόπρος, τα φυτικά υπολείμματα και άλλα οργανικά υλικά τα οποία μπορούν να αυξήσουν το εδαφικό pH. Πιο συγκεκριμένα, η ποσότητα από τα παραπάνω υλικά που απαιτείται για τη διόρθωση του pH εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Την παρούσα και τη στοχευμένη τιμή του pH
- Την τιμή ουδετεροποίησης (εξουδετέρωσης της οξύτητας) και την κοκκομετρική σύσταση του υλικού ασβέστωσης
- Το βάθος του εδάφους που επιλέγεται να ασβεστωθεί
- Τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους και
- Το βαθμό ανάμιξης και ενσωμάτωσης του υλικού με το έδαφος.

Επειδή η κλίμακα του pH είναι λογαριθμική, οι ποσότητες απαιτούμενης ασβέστου για να ανυψωθεί το pH κατά μια μονάδα αυξάνεται περίπου κατά δέκα φορές για

κάθε μονάδα μείωσης στην παρούσα τιμή του pH. Για παράδειγμα, δέκα φορές περισσότερη άσβεστος απαιτείται για να αυξηθεί το pH από 5 σε 6 από όσο απαιτείται για να αυξηθεί από 6 σε 7. Η εκτίμηση της απαίτησης του εδάφους σε άσβεστο γίνεται ακριβέστερα με πειράματα αγρού, στα οποία οι επιδράσεις στο εδαφικό pH, για ένα συγκεκριμένο εδαφικό τύπο, διαφορετικών ποσοτήτων του υλικού εφαρμογής εκτιμώνται σε διάφορες χρονικές περιόδους μετά την εφαρμογή, ή, με μικρότερη ακρίβεια, με εργαστηριακά πειράματα. Σε κάθε περίπτωση όμως η εκτίμηση θα πρέπει να γίνεται με αυξημένη φροντίδα προκειμένου να αποφευχθούν ενδεχόμενα υπερασβέστωσης (pH μεγαλύτερο του 7). Μια τέτοια πιθανότητα μπορεί να οδηγήσει σε νέα προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών, επειδή τα μακροστοιχεία (φωσφόρος, κάλιο και μαγνήσιο) γίνονται λιγότερο διαθέσιμα, ενώ διάφορα μικροστοιχεία (βόριο, κοβάλτιο, χαλκός και ψευδάργυρος) ακινητοποιούνται. Το υλικό ασβέστωσης εφαρμόζεται μηχανικά κατά ένα ομοιόμορφο τρόπο για ολόκληρο τον αγρό και ενσωματώνεται στο έδαφος με άροση.

Η ασβέστωση αποτελεί μια πολύ σημαντική εργασία που στόχο έχει να βελτιστοποιήσει την διαχείριση του εδάφους προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγή αλλά και να βελτιστοποιηθεί η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή τόσο στο υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ασβέστωση του αγρού όσο και στην προστιθέμενη ποσότητα.

Σε κάθε περίπτωση η ασβέστωση των εδαφών δεν πρέπει να θεωρηθεί ως μια εμπειρική διαδικασία αλλά να αποτελέσει ένα αντικείμενο εδαφολογικής μελέτης που θα πραγματοποιηθεί με προσεκτικούς χειρισμούς από εξειδικευμένο και καταρτισμένο προσωπικό.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

Αλιφραγκής Δ., 2008. Το έδαφος. Γένεση – Ιδιότητες - Ταξινόμηση. Τόμος 1. Εκδόσεις Αίβαζή, Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε 15 Ιανουαρίου 2023

Αναλογίδης Δ., 1991. Το $\text{NO}_3 - \text{N}$ ως δείκτης Διαθεσιμότητα Εδαφικού Αζώτου όπως επηρεάζεται από τον οργανικό άνθρακα Ολικό Άζωτο και τη σχέση C/N του εδάφους. Πρακτικά Εδαφολογικού Συνεδρίου, Λάρισα 25-27 Νοεμβρίου 1987. Ανακτήθηκε 04 Μαρτίου 2023

Αντωνιάδης Β. Σημειώσεις στο μάθημα Εδαφολογία : Τα εδάφη στα οικοσυστήματα, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη. Ανακτήθηκε 10 Ιουνίου 2023

Διαθέσιμο:

<http://www1.aegean.gr/environment/antoniadis/courses/SoilScience/SoilScience.pdf>

Βαλαβανίδης Α. & Βλαχογιάννη Θ., 2008. Περιβαλλοντική Χημεία και Οικοτοξικολογία, Διαχείριση Οικοσυστημάτων – Εκτίμηση Οικολογικού κινδύνου. Έκδοση του Τμήματος Χημεία του Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα. Ανακτήθηκε 20 Δεκεμβρίου 2022

Βαλαβανίδης Α. & Βλαχογιάννη Θ., 2012. Πράσινη Χημεία και Πράσινη Τεχνολογία, από την θεωρία στην πράξη για την Προστασία του Περιβάλλοντος και την Αειφόρο Ανάπτυξη. Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα, Αθήνα. Ανακτήθηκε 13 Οκτωβρίου 2022
Διαθέσιμο: [researchgate.net](https://www.researchgate.net)

Θεριός Ι., 2005. Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε 25 Σεπτεμβρίου 2022

Καϊλίδης Δ., 2000. Ρύπανση Φυσικού Περιβάλλοντος, Β' Έκδοση. Εκδόσεις Χριστουλίδης, Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε 18 Ιουλίου 2022

Καλύβας Δ., 2003. Αξιολόγηση εδαφών και τοποκλιματικές συνθήκες, Αθήνα. Ανακτήθηκε 07 Μαρτίου 2023. Διαθέσιμο <https://doi.org/10.12681/osj.24341>

Καρακατσούλης Π., 1994. Αρδεύσεις, Στραγγίσεις και Προστασία Εδαφών. Εκδόσεις Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα. Ανακτήθηκε 19 Ιανουαρίου 2023

Κουκουλάκης Π. & Παπαδόπουλος Χ., 2007. Τα προβληματικά εδάφη και η βελτίωση τους. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα. Ανακτήθηκε 12 Φεβρουαρίου 2023

Μισοπολίνος Ν., 1991. Προβληματικά Εδάφη, Μελέτη – Πρόληψη – Βελτίωση. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη. Ανακτήθηκε 28 Μαρτίου 2023

Μήτσιος Ι., 2004. Διαθεσιμότητα των θρεπτικών του εδάφους. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Μουστάκας Ν., 2021. Προβληματικά Εδάφη και η βελτίωσή τους. Ανακτήθηκε 06 Ιουνίου 2023. Διαθέσιμο: <https://doi.org/10.1176/ajp.133.1.32>

Οξενκιουν-Πετροπούλου Μ., 2002. Περιβάλλον Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα. Ανακτήθηκε 07 Μαΐου 2023

Παναγόπουλος Χ., 2000. Ασθένειες Κηπευτικών καλλιεργειών. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

Παναγόπουλος Χ., 2007. Ασθένειες Καρποφόρων Δένδρων και Αμπέλου. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

Σινάνης Κ., 2011. Εδαφολογία. Εκδόσεις Ψύχαλος. Ηράκλειο.

Παπαζογλου. Διάγνωση της Θρεπτικής Κατάστασης ενός Φυτού. kalliergo.gr. Τροφοπενίες. Ανακτήθηκε: 30 Ιουνίου 2023. Διαθέσιμο: <https://www.kalliergo.gr/laxanika-cat/diagnosi-threptikis-katastasis-fytoy-trofopenies-2>

Σκούφη Χ., 2006. 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 Ανακτήθηκε: 5 Μαΐου 2023

Σφακιανάκη Μ., Μαγαλιού Κ. και Μπότσαρης Ι., Έδαφος – Ρύπανση – Διάβρωση – Ερημοποίηση. Προγράμματα ανοικτών Περιβαλλοντικών τάξεων «Καλλιστώ». Ανακτήθηκε: 23 Μαρτίου 2022 Διαθέσιμο : <https://core.ac.uk/download/pdf/49281368.pdf>

Τζάμος Κ., 2004. Φυτοπαθολογία. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

Τσέκος Ι., 2004. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Αθήνα.

Tyler Miller G., 2006. Περιβάλλον Ι. Αρχές Περιβαλλοντικών Επιστημών. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

Tyler Miller G., 2006. Περιβάλλον ΙΙ. Προβλήματα Περιβαλλοντικών Συστημάτων. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

Χουλιάρης Ν., 2002. Μαθήματα Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Χουλιάρης Ν., 2009. Έδαφος και Μέθοδοι Μελέτης. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Agegnehu, G., Amede, T., Erkossa, T., Yirga, C., Henry, C., Tyler, R., Nosworthy, M. G., Beyene, S., & Sileshi, G. W. (2021). Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: A review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 71(9), 852–869.

Retrieved 27 September 2.

<https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1954239>

Amede, T., Legesse, G., Agegnehu, G., Gashaw, T., Degefu, T., Desta, G., Mekonnen, K., Schulz, S., & Thorne, P. (2021). Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands. *Field Crops Research*, 269, 108175. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108175>

Aneja P., Roelle A., Murray C., Southerland J., Willem Erisman J., Fowler D., Asman, A.H., Patni N., et al. 2001. Atmospheric nitrogen compounds II: emissions, transport, transformation, deposition and assessment. *Atmospheric Environment*, 35(11), 1903-1911. Διαθέσιμο: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00543-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00543-4)

Armenise E., Redmile-Gordon A., Stelacci A., Ciccacese A., Rubino P. 2013, Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*. Published by Elsevier, pp. 91-98. Διαθέσιμο: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.02.013>

Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22. Διαθέσιμο: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>

Clark M., Cleland E., Collins L., Fargione E., Gough L., Gross L., Pennings C., Suding N., Grace B., et al. 2007. Environmental and plant community determinants of species loss following nitrogen enrichment. *Ecology Letters*, 10(7), 596-607. Διαθέσιμο: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01053.x>

Coyne S. & Frye W. 2005. Nitrogen in soils. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* Published by Elsevier Ltd. USA p.p 13-21.

Διαθέσιμο: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-012-1218-1>

Doerge A. & Gardner E., 1988. Comparison of four methods for interpreting the Shoemaker-McLean- Pratt (SMP) lime requirement test *Soil. Sci. Soc. Am J.* 52:1051-1059. Διαθέσιμο: <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040029x>

F. Moeckel. 2010 Nutrient availability in relation to soil PH. Germany.
Διαθέσιμο:<https://www.mdpi.com/2072-4292/9/1/98>

Goulding K. 2016 Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom.
Διαθέσιμο:<https://doi.org/10.1111/sum.12270>

Kumar S, Sukul P. 2020. Green manuring and its role in soil health management, soil health. Switzerland

FAO 2000, ProSoil - Problem Soils data base.
<https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/ru/>

Keeney R. & Corey R., 1963. Factors affecting the lime requirements of Wisconsin soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc, 27:277-280. Διαθέσιμο:
<https://doi.org/10.2136/sssaj1963.03615995002700030019x>

Manahan S., 1993. Fundamentals of Environmental Chemistry: Soil and Agricultural Chemistry. Lewis Publishers, Florida, pp. 516 – 543. Διαθέσιμο:
https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=mLM0DgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Manahan+S.,+1993.+Fundamentals+of+Environmental+Chemistry:+Soil+and+Agricultural+Chemistry.+Lewis+Publishers,+Florida,+pp.+516+%E2%80%93+543.&ots=EZpIDLGQ26&sig=aasAhReNjdLGpw5B9m7C9xK5GRI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Mausbach, M. J., & Tugel, A. (1997). Soil quality: A multitude of approaches. In *Kearney Foundation Symposium. California Soil Quality: from critical research to sustainable management. Berkeley, California, March* (Vol. 25).

Radtke D., Wilde F., Davis J. and Popowski T., 1998. Alkalinity and acid neutralizing capacity. Geological Survey. TWRI Book 9. Διαθέσιμο :
https://pubs.usgs.gov/twri/twri9a6/twri9a66/twri9a_Section6.6_4-98.pdf

Ji H, Jones C, Kabir A , Lee KW, Lee S-H ,Rahman M.Rahman M,2018.Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: current status and opportunities. Διαθέσιμο: <https://doi.org/10.3390/ijms19103073>

Doran , J.W. and Smith, J.L. (1996) Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis. Διαθέσιμο:<https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c10>

Vanlauwe B 2015. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. Soil. 1:491–508. Διαθέσιμο: <https://soil.copernicus.org/articles/1/491/2015/>

Whitlow R., 2000. Basic Soil Mechanics, 4th Edition. Published by Longman Scientific and Technical Essex, England pp 136 – 154.

Tong H, Zhang P, Zhong K, et al. 2016 Association mapping for aluminum tolerance in a core collection of rice landraces. Διαθέσιμο:<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01415/full>

Πηγές διαδικτύου

ΕΔΑΦΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ: ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ, ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ, ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ Ανακτήθηκε 20 Ιουνίου 2023. Διαθέσιμο : <http://appliedsoilab.web.auth.gr/images/%20.pdf>

Φυσικές ιδιότητες εδάφους. Ανακτήθηκε από gaiapedia, 15 Μαρτίου 2023 Διαθέσιμο: [Φυσικές ιδιότητες εδάφους - GAIApedia](#)

Πανεπιστήμιο Κύπρου. Ανακτήθηκε 25 Φεβρουαρίου 2023. Διαθέσιμο: https://ucy.ac.cy/teamEE/documents/mathimata_epa/uliko_ana_thematikes_enotites/Axid_Rain_presentation_epiptwseis_sta_mnimia.pdf

Οδηγός καλλιέργειας, θρέψη τοματών. Ανακτήθηκε 04 Δεκεμβρίου 2022. Διαθέσιμο:

<https://www.haifa-group.com/el/%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CF%8C%>

CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82-%CE%B8%CF%81%CE%AD%CF%88%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%8E%CE%BD

Ολυμπίου Χρήστος, Αθήνα 2001. Ανακτήθηκε 07 Αυγούστου 2022. Διαθέσιμο: <https://plantpro.gr/post/521>

HB Crous, 2012 . Ανακτήθηκε 08 Αυγούστου 2022. Διαθέσιμο <http://grk142praktiesmetingvanplantjies.blogspot.com/>