

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ: ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΜΕ ΘΕΜΑ:

ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
ΠΟΥ ΤΟ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΟΡΔΑΛΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

Α.Μ. 671

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κα. ΔΗΜΗΡΚΟΥ

ΒΟΛΟΣ 2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7093/1
Ημερ. Εισ.: 13-04-2009
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιδετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2009
ΚΟΡ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός της εργασίας ,στα πλαίσια της πτυχιακής, αποτέλεσε εφελτήριο στην σωστή και εκ βάθους μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την ποότητα του εδάφους και την πολυπόθητη γονιμότητα. Είναι σίγουρα δύσκολο κανείς να καταλάβει πόσο καταστροφή προκαλούμε με την χρήση χημικών σκευασμάτων, το εμπόριο των οποίων, πολλοί συνάδελφοι από το Πανεπιστήμιο του Βόλου θα ακολουθήσουν ως επαγγελματική σταδιοδρομία.

Θα πρέπει λοιπόν να κατανοήσουμε όλα τα θέματα που αφορούν το έδαφος γιατί σε αυτό ζούμε και περπατάμε, σε αυτό καλλιεργούμε την τροφή μας, παίζουμε, αθλούμαστε και τελικά εκεί «γυρνάμε», και είναι η διατήρηση του οποίου αποτελεί κληρονομιά που θα αφήσουμε στα παιδιά μας αύριο

Τελειώνοντας ένα μεγάλο ευχαριστώ στην κ. Δημηρκου και κ Γκολια για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχαν

Με εκτίμηση Ευάγγελος Κορδαλής

Περιεχόμενα

Εισαγωγή: Έδαφος σε έναν φυσικό και προκαλούμενο από τον άνθρωπο περιβάλλον

1	Μερικοί ορισμοί	3
2	Το έδαφος ως συστατικό των οικοσυστημάτων	3
3	Εδάφη μέσω του γεωλογικού χρόνου	4
4	Έδαφος και άνθρωπος	5
5	Έδαφος και ρύπανση	7
6	Περίληψη	10

Κεφάλαιο 2: Τα εδαφολογικά τμήματα

2.1	Εισαγωγή	11
2.2	Σύσταση και δομή	12
2.3	Φαινόμενο ειδικού βάρους και διάστημα πόρων	14
2.4	Νερό εδάφους	16
2.5	Η εδαφολογική λύση	20
2.6	Εδαφολογικός αέρας	22
2.7	Ορυκτά συστατικά	23
2.8	Οργανικά συστατικά	25
2.9	Χημικά στοιχεία στο χώμα	27
2.10	Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εδαφολογικών τμημάτων	29
2.11	Περίληψη	29

Κεφάλαιο 3: Δημιουργία των εδαφών

3.1	Εισαγωγή	30
3.2	Πετρώματα και διάβρωση πετρωμάτων	31
3.3	Προϊόντα διάβρωσης	33
3.4	Πρόσθετα και αποσύνθεση οργανικής ύλης	35
3.5	Διαδικασία διαμόρφωσης του εδάφους	37
3.6	Παράγοντες διαμόρφωσης εδάφους	42
3.7	Ταξινόμηση του εδάφους	47
3.8	Περίληψη	47

Κεφάλαιο 4 : Προσροφητικές ιδιότητες του εδάφους

4.1	Ηλεκτρικά φορτισμένες επιφάνειες	48
4.2	Ανταλλάξιμα κατιόντα και ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων	52
4.3	Το στρώμα διάχυσης	54
4.4	Χαρακτηριστικά της ανταλλαγής κατιόντων	57
4.5	Επιλεκτικότητα της προσρόφησης κατιόντων	59
4.6	Διατήρηση ανιόντων	60
4.7	Απορρόφηση των οργανικών μορίων	61

4.8 Προσρόφηση των αερίων	61
4.9 Περίληψη	61

Κεφάλαιο 5 : Οργανισμοί και εδαφικές διεργασίες

5.1 Εισαγωγή	62
5.2 Οργανικά υλικά : πηγές και αποσύνθεση	64
5.3 Εδαφική πανίδα	64
5.4 Μικροοργανισμοί εδάφους	67
5.5 Σταθεροποίηση βιολογικού αζώτου	70
5.6 Αμμωνιοποίηση και αζωτοποίηση	72
5.7 Απονιτροποίηση	73
5.8 Οξειδωση και διάσπαση	74

Κεφάλαιο 6 : Μετακίνηση του ύδατος, του αέρα, των διαλυτών ουσιών και της θερμότητας στο χώμα.

6.1 Εισαγωγή	76
6.2 αρχές	77
6.3 μετακίνηση του ύδατος	80
6.4 διήθηση και διείσδυση του ύδατος	81
6.5 εξάτμιση του ύδατος από το χώμα	81
6.6 εφίδρωση από τις φυτείες	
6.7 διάχυση των αερίων	85
6.8 μετακίνηση των διαλυτών ουσιών	87
6.9 εδαφολογική θερμοκρασία και μετακίνηση της θερμότητας	90
6.10 περίληψη	90

Κεφάλαιο 7 : Το έδαφος ως μέσο για την ανάπτυξη των φυτών

7.1 Εισαγωγή	91
7.2 Η ανάπτυξη και η αύξηση των φυτών	92
7.3 Περιορισμοί στην ανάπτυξη των ριζών	96
7.4 Ανάγκες των φυτών για νερό	99
7.5 Ανάγκες των φυτών για θρεπτικά συστατικά	101
7.6 Η ριζόσφαιρα	101
7.7 Θρεπτικά συστατικά στα φυσικά οικοσυστήματα	105
7.8 Περίληψη	108

Κεφάλαιο 8 Συνθήκες Εδάφους και παραγωγής σοδειάς

8.1 Εισαγωγή	109
8.2 Καλλιέργειες	110
8.3 Παροχή θρεπτικών συστατικών	113
8.4 Χρήση λιπασμάτων	116
8.5 Ατομικά λιπάσματα	117
8.6 Οργανική ύλη	120
8.7 Ισοροπία θρεπτικών συστατικών	123
8.8 Νερό	125
8.9 Παραγωγή σε περιοχές χαμηλής βροχόπτωσης	126
8.10 Πότισμα	126
8.11 Περίληψη	127

Κεφάλαιο 9 Εδαφολογικός οξυνισμός

9.1 Εισαγωγή	131
9.2 pH και αποθήκευση	131
9.3 pH χώματος και ρυθμιστική ικανότητα	134
9.4 Ποσοστό Κορεσμού βάσεων	135
9.5 Διαδικασίες του εδαφολογικού οξυνισμού	135
9.6 Αποτελέσματα της εδαφολογικής οξύτητας στις φυτείες	141
9.7 Όξινη βροχή	141
9.8 Οξυνισμός των οικοσυστημάτων	144
9.9 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	147
9.10 Περίληψη	147

Κεφάλαιο 10 Βαριά μέταλλα και ραδιονουκλεΐδια στο χώμα

10.1 Εισαγωγή	149
10.2 Βαριά μέταλλα: καθορισμός	150
10.3 Επικίνδυνα στοιχεία στα εδάφη	152
10.4 Συσσώρευση στις φυτείες	154
10.5 τέσσερα επικίνδυνα στοιχεία: Cd, Pb, Zn, F	155
10.6 του μολυσμένου εδάφους	166
10.7 ραδιονουκλεΐδια	167
10.8 ραδιονουκλεΐδια στο περιβάλλον	167
10.9 ραδιονουκλεΐδια στο χώμα	168
10.10 περίληψη	169

Κεφάλαιο 11 Έδαφος,η ατμόσφαιρα, παγκόσμια θερμοκρασία και καταστροφή του όζοντος

11.1	Εισαγωγή	168
11.2	Η ατμόσφαιρα: φυσικές ιδιότητες	168
11.3	-----//----- : χημικές ιδιότητες	169
11.4	Θερμοκρασία λόγω ακτινοβολίας	170
11.5	Ραδιενεργά αέρια	171
11.6	Διοξείδιο του άνθρακα	174
11.7	Μεθάνιο	175
11.8	Οξείδια του αζώτου	176
11.9	Άλλα αέρια	179
11.10.	Αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα	182
11.11.	Επίδραση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στο έδαφος	184
11.12.	Περίληψη	188

Κεφάλαιο 12 : Διάβρωση και διατήρηση του εδάφους

12.1	Εισαγωγή	189
12.2	Φυσική διάβρωση	190
12.3	Το περιβαλλοντολογικό πρόβλημα	190
12.4	Διάβρωση λόγω ύδατος	191
12.5	Διάβρωση λόγω αέρα	195
12.6	Φυσικές Αρχές	196
12.7	Λόγοι επιταχυνόμενης διάβρωσης	197
12.8	Διατήρηση του εδάφους	198
12.9	Περίληψη	199

Κεφάλαιο 13 Το έδαφος στο περιβάλλον : Προβλήματα και Λύσεις

13.1	Εισαγωγή	200
13.2	Άζωτο, οι πηγές του και ως κίνδυνος για την υγεία	201
13.3	Ευτροφισμός επιφάνειας και υδάτων	204
13.4	Εντομοκτόνα	205
13.5	Υποβάθμιση του εδάφους	208
13.6	Ξηρασία	211
13.7	Απόκτηση υψηλής αποδοτικότητας χωράφια	213
13.8	Οργανική καλλιέργεια	215
13.9	Διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους	216
13.10	Επιλογή της καλύτερης χρήσης για το έδαφος	218
13.11	Περίληψη	223

Εισαγωγή: Έδαφος σε έναν φυσικό και προκαλούμενο από τον άνθρωπο περιβάλλον

- 1 Μερικοί ορισμοί**
- 2 Το έδαφος ως συστατικό των οικοσυστημάτων**
- 3 Εδάφη μέσω του γεωλογικού χρόνου**
- 4 Έδαφος και άνθρωπος**
- 5 Έδαφος και ρύπανση**
- 6 Περίληψη**

Το έδαφος είναι ένα από τα γνωστά υλικά που παίρνουμε ως δεδομένο.

Καλλιεργούμε τις φυτείες σε αυτό και κολλά στις μπότες μας όταν περπατάμε πάνω του. Συνήθως το ενδιαφέρον μας για αυτό είναι υλικιστικό, χωρίς να έχουμε άδικο.

Θα πρέπει να ρωτήσουμε τι μπορεί να γίνει για να βελτιώσουμε την αύξηση των φυτειών, ή πώς μπορεί να διατηρηθεί ένα καλό επιφανειακό έδαφος για παιχνίδια και αθλήματα. Αυτά τα είδη των ερωτήσεων μπορούν να απαντηθούν, αν και γνωρίζουμε ότι αυτό δεν είναι πάντα δυνατό (και η θεραπεία είναι πάρα πολύ ακριβή).

Σημαντική για την επιβίωση της ανθρώπινης φυλής είναι η υποστήριξη που το έδαφος παρέχει για την ανάπτυξη των καλλιεργήσιμων φυτών, του λιβαδιού και των δέντρων, οι οποίες παράγουν τα τρόφιμα, τις ίνες για τα ενδύματα, και την ξυλεία για τα κτήρια και τα καύσιμα. Μαζί με το νερό, τον αέρα και την ακτινοβολία από τον ήλιο εξαρτώμαστε από το μισό μέτρο του γήινου φλοιού για να παράγουμε αυτά τα προϊόντα πρώτης ανάγκης για τη ζωή. Οι γενικές ιδιότητες του εδάφους που το καθιστούν χρήσιμο είναι εκείνες που απαριθμούνται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1 Ιδιότητες του εδάφους που το καθιστούν χρήσιμο

1. Παρέχει νερό, τις θρεπτικές ουσίες και το αγκυροβόλιο για τις φυτείες, τα δέντρα των φυσικών δασών και τα λιβάδια, τις ετήσιες και τις πολυετής φυτείες καθώς και το φυτεμένο λιβάδι.
2. Παρέχει ένα φυσικό «σπίτι» για τους οργανισμούς που αποσυντείνονται και έχουν έναν ουσιαστικό ρόλο στην ανακύκλωση του άνθρακα και των ορυκτών θρεπτικών ουσιών.
3. Ενεργεί ως ενίσχυση για την αλλαγή θερμοκρασίας και για τη ροή του ύδατος μεταξύ της ατμόσφαιρας και του υπόγειου νερού.
4. Λόγω των ιδιοτήτων ιονικής ανταλλαγής ενεργεί ως απομονωτής pH, και προφυλάσσει τις θρεπτικές ουσίες καθώς και άλλα στοιχεία ενάντια σε απώλειες που οφείλονται στην διύλιση και την αεριοποίηση.

Έδαφος και παραγωγή τροφίμων

Στην Ευρώπη από την ρωμαϊκή εποχή, και πιθανώς πολύ νωρίτερα, έχει υπάρξει αυξημένο ενδιαφέρον προς τις τεχνικές για να διατηρηθεί η εδαφολογική γονιμότητα. Στο Νότο, την Κεντρική Αμερική και στη Νοτιοανατολική Ασία, τα πεζούλια χτίστηκαν αρκετούς αιώνες πριν για να συντηρηθεί το έδαφος ενάντια στη διάβρωση προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οι συγκομιδές τροφίμων θα μπορούσαν να αυξηθούν. Σε πολλά μέρη του κόσμου κάποια μορφή αγρανάπαυσης, είτε λιβάδι είτε δάσος, έχει δώσει μια περίοδο ανάπαυσης για την αποκατάσταση της εδαφολογικής γονιμότητας. Αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι οι αγρότες έχουν θεωρήσει το

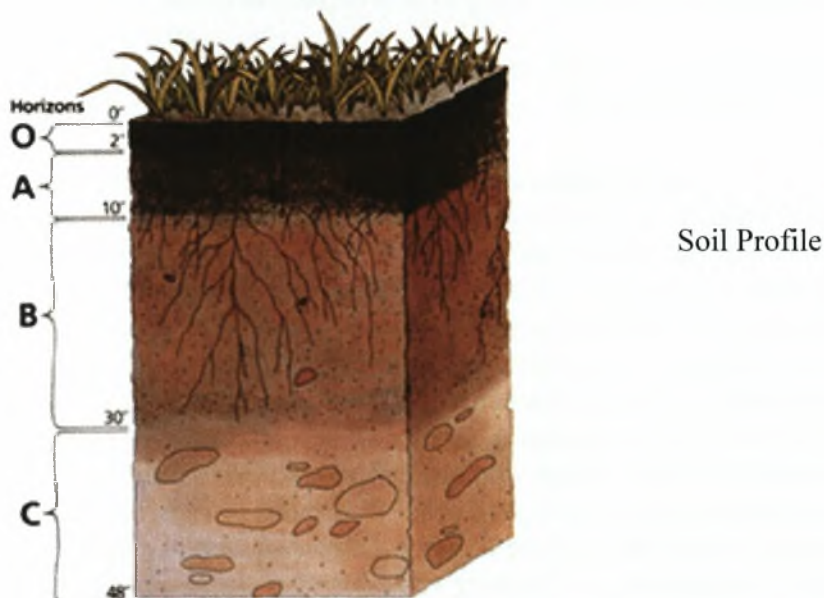
έδαφος ως πόρο από τον οποίο οι οικονομικοί πόροι τους εξαρτήθηκαν, αν και λάθη έχουν γίνει όπως αναφέρεται αργότερα.

Ο αυξανόμενος ανθρώπινος πληθυσμός του κόσμου, ιδιαίτερα στον τρίτο κόσμο, παρουσιάζει ένα νέο πρόβλημα. Εκτιμώντας ότι στο παρελθόν περισσότερα τρόφιμα θα μπορούσαν να αυξηθούν με την καλλιέργεια του νέου εδάφους, κάτι που απαιτούσε ελάχιστες εισαγωγές, η χρήση-αξιοποίηση των λιβαδιών στη Βόρεια Αμερική έδωσε το καλύτερο γνωστό παράδειγμα, ότι το μεγαλύτερο μέρος της γης που παραμένει ανεκμετάλλευτο είναι είτε ακατάλληλο για καλλιέργεια είτε απαιτεί ένα εξαιρετικά μεγάλο κοστολόγιο για την διαμόρφωση του με την προσθήκη λιπασμάτων, μηχανισμών ποτίσματος και συστημάτων προστασίας του εδάφους από φυσικές καταστροφές (πλημμύρες, διαβρωση).

Έδαφος και το περιβάλλον

Στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και σε έναν μικρό αριθμό άλλων χωρών, η χρήση υπεραποδοτικών ποικιλιών και η εντατικότερη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και άρδευσης έχουν οδηγήσει στην υπερπαραγωγή τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων και ζωικών προϊόντων. Το κάλεσμα από κάποιους φορείς τώρα είναι για την χρήση λιγότερο εντατικών τεχνικών. Επίσης, αιωρείται η δημόσια ανησυχία για την ποιότητα των τροφίμων, του πόσιμου νερού και του αέρα. Αυτή η ανησυχία έχει οδηγήσει στην κριτική της χρήσης των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων, και θα πρέπει να αναρωτηθούμε εάν αυτή η ανησυχία δικαιολογείται.

Αυτές οι ερωτήσεις αφορούν τα αποτελέσματα της αυξημένης καλλιέργειας στο ανθρώπινο περιβάλλον και συζητούνται στα επόμενα κεφάλαια. Αυτό που πρέπει επίσης να αναγνωριστεί είναι ότι το έδαφος αποτελεί μέρος του φυσικού περιβάλλοντος. Καθορίζει εν μέρει τη διανομή των ειδών φυτών, παρέχει έναν βιότοπο για ένα ευρύ φάσμα οργανισμών, αποθηκεύει τη ροή του ύδατος και των διαλυτών ουσιών μεταξύ της ατμόσφαιρας, του εδάφους και των επιφανειακών υδάτων, και ενεργεί και ως πηγή και δοχείο για τα αέρια της ατμόσφαιρας.



Η έρευνα για τα εδάφη μπορεί επομένως να κατευθυνθεί στα προβλήματα που έχουν να κάνουν με την αύξηση των καλλιεργειών, όπως η αφαίρεση των περιορισμών στο

επίτευγμα των βέλτιστων παραγωγών, ή την πρόληψη της ζημιάς στο περιβάλλον. Εναλλακτικά, το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί ως συστατικό του φυσικού παγκόσμιου συστήματος, και αυτό θα περιγραφεί πρώτα.

1.1 Μερικοί ορισμοί

Όπως όλα τα επιστημονικά θέματα, η εδαφολογική επιστήμη έχει την ορολογία της. Μερικοί ορισμοί απαιτούνται στην αρχή και άλλοι δίνονται αργότερα.

Εδαφος : Το έδαφος σε αυτό το κείμενο αναφέρεται στο χαλαρό υλικό που αποτελείται από τον ξεπερασμένο βράχο και άλλα μεταλλεύματα, και επίσης την εν μέρει αποσυνθετημένη οργανική ουσία, η οποία καλύπτει τα μεγάλα μέρη της επιφάνειας εδάφους της γης. Όταν χρησιμοποιείται σε γεωργικό πλαίσιο, το έδαφος υποστηρίζει την αύξηση καλλιεργειών και μπορεί να οργωθεί. Η λέξη έχει μια διαφορετική έννοια όταν εφαρμόζεται στο μη σταθεροποιημένο υλικό στους πλανήτες που δεν περιέχει κανένα στοιχείο της βιολογικής δραστηριότητας αυτή τη στιγμή ή στο παρελθόν.

Στην περιγραφή των χωμάτων δύο περαιτέρω ορισμοί απαιτούνται.

Μια εδαφοτομή ορίζεται ως το κάθετο πρόσωπο ενός εδαφόςτος που μπορεί να εκτεθεί, παραδείγματος χάριν, με το σκάψιμο ενός κοιλάματος ή σε μια οδική κοπή. Περιλαμβάνει όλα τα στρώματα (ορίζοντες) από την επιφάνεια μέχρι το αρχικό υλικό (σχήμα 1.1). Μέσα στην εδαφοτομή το μέρος που περιέχει τις ρίζες φυτών ή επηρεάζεται από τις ρίζες των φυτών καλείται *column*. Είναι αυτό το μέρος που εξετάζεται στον χωράφι από τους εδαφολογικούς επιθεωρητές.

Ένα *pedon* είναι ο μικρότερος όγκος που μπορεί να οριστεί ως έδαφος. Το βασικό σημείο αυτού του ορισμού είναι ότι ένα έδαφος είναι τρισδιάστατο, δηλαδή βλέπει την πλευρική επέκταση καθώς επίσης και τις δύο διαστάσεις σε ένα κάθετο πρόσωπο. Ένα *pedon* είναι επομένως μια κάθετη φέτα μιας εδαφοτομής με ικανοποιητικό πάχος και πλάτος για να περιλάβει όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που χαρακτηρίζουν κάθε ορίζοντα.

Οι διαδικασίες από τις οποίες οι εδαφοτομές διαμορφώνονται, και το ευρύ φάσμα που εμφανίζεται πέρα από τη γήινη επιφάνεια, συζητούνται στο κεφάλαιο 3.

1.2 Το έδαφος ως συστατικό των οικοσυστημάτων

Ένα οικοσύστημα (ή οικολογικό σύστημα) μπορεί να οριστεί ως μια κοινότητα των αλληλεπιδρώντων οργανισμών και του περιβάλλοντός, που λειτουργούν ως αυτόνομη μονάδα. Όπως διευκρινίζεται στο σχήμα 1.2, ένα επίγειο οικοσύστημα αποτελείται από τους αρχικούς παραγωγούς (δέντρα, χορτάρια, χλόες), και τους οργανισμούς που αποσυνθέτουν μικροοργανισμούς, φυτοφάγα ζώα, σαρκοφάγα ζώα και φυτά. Οι αρχικοί παραγωγοί είναι φωτοαυτοτροφικοί, δηλαδή χρησιμοποιούν την ενέργεια από τον ήλιο για να μετατρέψουν το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα στις οργανικές ενώσεις, μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί νερό και θρεπτικές ουσίες που παρέχονται από το έδαφος. Οι οργανικές ενώσεις χρησιμοποιούνται από τα φυτοφάγα και τα σαρκοφάγα ζώα καθώς και από τα φυτά ως πηγή ενέργειας, και οι ενώσεις άνθρακα χρησιμοποιούνται για να χτίσουν τους ιστούς τους, κάποια από την ενέργεια χάνεται σαν θερμότητα και κάποια μέρη από τον άνθρακα αναπνέονται ως διοξείδιο του άνθρακα. Η πιο ενεργή ομάδα οργανισμών που αποσυνθέτουν είναι οι εδαφολογικοί μικροοργανισμοί. Με τις διαδικασίες που περιγράφονται στο κεφάλαιο 5, το τελικό προϊόν της οξειδωσης του άνθρακα στις οργανικές ενώσεις είναι διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Οι θρεπτικές ουσίες που λαμβάνονται από το έδαφος διατηρούνται εν μέρει στη βλάστηση και τα ζώα, και

επιστρέφονται μετέπειτα στο έδαφος. Αν και υπάρχουν εξωγενείς προσθήκες, ειδικά νερού, και υπάρχουν συνήθως διαρροές, παραδείγματος χάριν στο νερό που αποξηράνεται, το έδαφος, η βλάστηση και τα σχετικά ζώα διαμορφώνουν μια μονάδα που είναι κατά προσέγγιση ανεξάρτητη.

Η μονάδα που περιλαμβάνει ένα οικοσύστημα μπορεί να είναι σχεδόν οποιοδήποτε μεγέθους (σχήμα 1.3). Σε ένα άκρο, η γη πλανητών μπορεί να ληφθεί ως μονάδα και η ηλιακή ακτινοβολία είναι έπειτα η μόνη εξωτερική εισαγωγή. Σε άλλη ακραία περίπτωση, ένα έδαφος διαμορφώνει ένα οικοσύστημα, οι οργανισμοί του είναι μέλη μιας κοινότητας που αλληλεπιδρούν και μεταξύ τους και με το φυσικό και το χημικό περιβάλλον τους. Οι προσθήκες είναι ενώσεις άνθρακα από τους αρχικούς παραγωγούς, το νερό, το οξυγόνο και το άζωτο από την ατμόσφαιρα, και τις ουσιαστικές θρεπτικές ουσίες από την διάβρωση των ορυκτών. Μεταξύ άκρων αυτών υπάρχουν ζώνες ζωής, στις οποίες το έδαφος υποστηρίζει έναν ιδιαίτερο τύπο χλωρίδας και πανίδας και υπάρχει ένα χαρακτηριστικό κλίμα. Το τροπικό δάσος και τα βόρεια δάση είναι παραδείγματα των ζωνών αυτών.

Soil as an ecosystem component

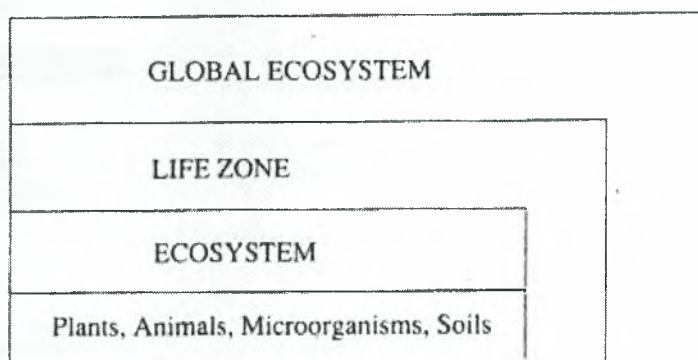


Figure 1.2 The carbon cycle in the atmosphere–plant–soil ecosystem.

Έδαφος μέσω του γεωλογικού χρόνου

Από τον ορισμό που δίνεται ανωτέρω, το έδαφος πρέπει να έχει υπάρξει από το χρ που το έδαφος αποικίστηκε αρχικά από τους ζωντανούς οργανισμούς, που πιθανώς ήταν φωτοσυνθετικά βακτηρίδια. Οι πολυκυτταρικές φυτά εδάφους εμφανίστηκαν στη ordovician περίοδο περίπου 450 εκατομμύριο έτη πριν, και τα δέντρα εξελίχθηκαν στα μέσα της devonian περιόδου (περίπου 370 εκατομμύριο έτη πριν). Εδάφη παρόμοια με αυτά της παρούσας εποχής έχουν βρεθεί στους ιζηματώδεις βράχους που χρονολογούνται από τις devonian και τις πιο πρόσφατες γεωλογικές περιόδους. Δύο παραδείγματα από τη λιθανθρακοφόρο περίοδο 300 εκατομμύριο ετών πριν παρουσιάζονται στο σχήμα 1.4. Και τα δύο σχεδιαγράμματα περιέχουν τις δομές που μπορούν να προσδιοριστούν ως απολιθωμένες ρίζες και οργανικό επιφανειακό στρώμα, το οποίο είναι τώρα άνθρακας.

Η εδαφοτομή (α) παρουσιάζει στοιχεία της χημικής μείωσης του σιδήρου και της αφαίρεσής του από το κατώτατο σημείο του ορίζοντα A, ενώ η εδαφοτομή (β) περιέχει έναν ορίζοντα A από τον οποίο ο άργιλος και ο σίδηρος έχουν εξαχθεί, και έναν χαμηλότερο ορίζοντα, β, όπου έχουν συσσωρευτεί. Ο ορίζοντας γ αναφέρεται στο ελλοχεύον υλικό, το οποίο είναι απρόσβλητο με έδαφος διαμορφωμένο από τις

διαδικασίες. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορούν να φανούν στο έδαφος διαμορφώνοντας το αυτή τη στιγμή, όπως συζητούνται στο κεφάλαιο 3.

Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου οι μεγάλες περιοχές εκατομμύριο ετών του εδάφους στην Ευρώπη, κεντρική Ασία, Κίνα, μέρη των ΗΠΑ και αλλού στον κόσμο έχουν καλυφθεί με τις καταθέσεις έδαφοςτος(loess) (λεπτόκοκκο υλικό μεταδιδόμενης μέσω του ανέμου προέλευσης). Επί μερικών τόπων loess έθαψε ένα πλήρες έδαφος, συμπεριλαμβανομένης της επιφάνειας, τον οργανικό ορίζοντα σε άλλος, η απόθεση ήταν πάνω από ένα εν μέρει διαβρωμένο έδαφος. Οι πυρήνες loess στην Ευρώπη και την Ασία έχουν αποκαλύψει μέχρι 40 θαμμένα σχεδιαγράμματα σε ένα κάθετο τμήμα, δείχνοντας τον εδαφολογικό σχηματισμό μεταξύ των περιόδων απόθεσης.

Οι ιδιότητες του εδάφους καθορίζονται από το κλίμα, τους οργανισμούς (συμπεριλαμβανομένου του ατόμου), την ανακούφιση, το υλικό γονέων και το χρόνο, όπως συζητούνται στο κεφάλαιο 3. Δεδομένου ότι αυξάνουμε την κατανόησή μας της σχέσης μεταξύ μιας εδαφολογικής ιδιοκτησίας και αυτών των παραγόντων, έτσι μπορεί εμείς να συναγάγει με την αυξανόμενη εμπιστοσύνη τους όρους, παραδείγματος χάριν κλίμα, κάτω από το οποίο διαμορφώθηκε το θαμμένο έδαφος.

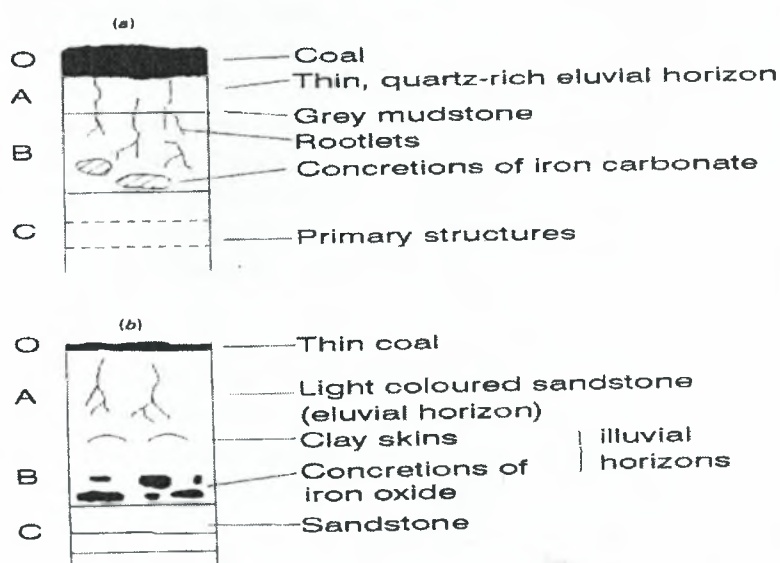


Figure 1.4 Fossil soil profiles (palaeosols) containing fossilized roots from the Carboniferous period (300 million years ago); profiles range from 0.3 m to over 1.5 m in thickness. (From P. Wright, Postgraduate Research Institute of Sedimentology, University of Reading.)

1.4 Έδαφος και άτομο

Το παρελθόν

Η καλλιέργεια του έδαφοςτος για να αυξηθεί το σίτο, το κριθάρι και άλλες συγκομιδές δημιουργήθηκε πιθανώς περίπου 10000 έτη πριν από το παρόν (σημείο βρασμού 10000) στις κοιλάδες της βόρειας, περιοχής υσιπέδων της Μεσοποταμίας, του τωρινού Ιράκ. Το έδαφος ήταν εύθρυπτο μείγμα υγρού πυλού(loam), βούρκος. Δύο χιλιάδες έτη αργότερα υπήρξαν χωριά στις νότιες κοιλάδες του Τίγρη και του Ευφράτη και οι συγκομιδές αυξήθηκαν κάτω από την άρδευση στο αλλούβιο έδαφος. Η παραγωγή των τροφίμων ήταν επαρκής για να υποστηρίξει τους

πληθυσμούς των μεγάλων πόλεων για αιώνες αρκετοί κατά τη διάρκεια των μεγάλων πολιτισμών Sumer, Akkad και άλλα.

Δεν είναι γνωστό ακόμα τι τελείωσε τους μεσοποτάμιους πολιτισμούς. Οι πόλεμοι ήταν ένας παράγοντας. Είναι επίσης γνωστό ότι τα χωριά καταστράφηκαν από τις πλημμύρες, τα κανάλια άρδευσης γέμισαν με ίζημα, και το έδαφος στις περιοχές των υψιπέδων έγινε απόκρημνο. Είναι επομένως κατανοητό ότι διάβρωση του εδαφόςτος στα υψίπεδα, αν και αρχικά παρέχοντας το εύφορο αλλούβιο έδαφος στις κοιλάδες, έχει συμβάλλει στην απώλεια παραγωγής τροφίμων και στην πτώση του πολιτισμού. Εάν αυτό είναι έτσι, είναι το πρώτο γνωστό παράδειγμα της προκαλούμενης από τον άνθρωπο εδαφολογικής διάβρωσης που έχει επιπτώσεις σε έναν ολόκληρο υδροκρίτη, έχουν υπάρξει πολλοί από τότε. Η αυξανόμενη εδαφολογική αλατότητα να είναι μια άλλη αιτία της μειωμένης παραγωγής τροφίμων.

Ένας άλλος πρόωρος πολιτισμός αναπτύχθηκε στις κοιλάδες του Νείλου, του Ινδού και των ποταμών της Κίνας. Οι συχνές πλημμύρες από τους ποταμούς παρείχαν το νερό και το βούρκο, και ο βούρκος παρείχε τις θρεπτικές ουσίες εγκαταστάσεων. Οι συγκομιδές που αυξήθηκαν περιέλαβαν τα φασόλια και τους βίκους που, ως όσπρια, παρείχαν το άζωτό τους από τη σταθεροποίηση από τον αέρα. Αυτοί οι πολιτισμοί κοιλάδων επομένως είχαν τη βάση για το μακροπρόθεσμο, και ενδεχομένως μόνιμο, παραγωγή συγκομιδών.

Η καλλιέργεια των χωμάτων υψιπέδων και η υπερβολική βόσκηση της χλόης στην Ευρώπη, στην Νότια και Κεντρική Αμερική και τη Νοτιοανατολική Ασία εμφανίστηκαν ως πληθυσμοί αυξανόμενοι. Τα ώριμα δέντρα καταρρίφθηκαν για την ξυλεία και τα καύσιμα και στις απότομες κλίσεις, όπως στα βουνά της Ελλάδας, η εδαφολογική διάβρωση εμφανίστηκε. Η απώλεια εδαφόςτος και η επακόλουθη απώλεια παραγωγής συγκομιδών θεωρούνται ένας λόγος της αποίκησης άλλων εδαφών από τους ανθρώπους στην περιοχή της Μεσογείου προκειμένου να αυξηθούν τα τρόφιμα για την εγγώρια χώρα. Η κατασκευή σε πεζούλες για να συντηρήσει το έδαφος ενάντια στη διάβρωση, εντούτοις, ασκήθηκε από μερικούς λαούς όπως οι Ίνκας στο Περού.

Η ιστορία της εδαφολογικής διάβρωσης έχει συνεχιστεί μέχρι την παρούσα ημέρα. Η ξηρασία στη Βόρεια Αμερική και την Αυστραλία στη δεκαετία του '30 που οδήγησε στην αυστηρή διάβρωση αέρα, και η πρόσφατη ξηρασία έχουν οδηγήσει στη διάβρωση αέρα στο αφρικανικό Sahel. Σε όλες αυτές τις περιοχές η διάβρωση επιδεινώθηκε από την καλλιέργεια και την υπερβόσκηση. Όλες οι χώρες έχουν την εδαφολογική διάβρωση σε μεγαλύτερη ή μικρότερη έκταση, ένα πρόβλημα που συζητείται στο κεφάλαιο 12.

Η διάβρωση είναι η σοβαρότερη μορφή εδαφολογικής υποβάθμισης και συσσώρευσης των αλάτων, κάθε μια από τις οποίες είναι σε θέση της αντιστροφής. Αυτά τα προβλήματα εξετάζονται στα επόμενα κεφάλαια. Όλοι προκύπτουν από την εντατικότερη χρήση του εδαφόςτος, και συχνά εκείνους που πρέπει να αφεθούν ανενόχλητοι. Όπως θα συζητηθεί έπειτα υπάρχει ένας γρήγορα αυξανόμενος πληθυσμός που ταΐζεται, ο οποίος θα εξαρτηθεί από τη συντήρηση της εδαφολογικής γονιμότητας.

Το μέλλον

Ο συνολικός πληθυσμός του κόσμου είναι περισσότερος από τον διπλάσιο του 1950 (σχήμα 1.5). Αναμένεται να υπερβεί τα 6 δισεκατομμύρια μέχρι το έτος 2000 και να φθάσει τα 10 δισεκατομμύρια πριν από το έτος που 2100, ο ρυθμός ανάπτυξης του πληθυσμού είναι μεγαλύτερος στις φτωχότερες χώρες απ' ότι στις πλουσιότερες,

χρησιμοποιώντας το ακαθάριστο εθνικό προϊόν (ΑΕΠ) ως μέτρο του πλούτου (πίνακας 1.2).

Η απαίτηση για τα τρόφιμα θα αυξηθεί αντίστοιχα.

Τα πρόσθετα τρόφιμα μπορούν να παραχθούν και να φέρουν το νέο έδαφος στην καλλιέργεια, από την εντατικότερη χρήση του υπάρχοντος καλλιεργημένου εδάφους ή από έναν συνδυασμό των δύο. Σύμφωνα με τους αριθμούς στον πίνακα 1.3 περίπου 1,5 δισεκατομμύριο εκτάρια (11,3% της συνολικής επιφάνειας εδάφους) χρησιμοποιούνται για τις καλλιεργήσιμες και μόνιμες συγκομιδές. Οι εκτιμήσεις της υπόλοιπης περιοχής που θα μπορούσε να αναπτυχθεί για την καλλιεργήσιμη καλλιέργεια εξαρτώνται από τη δυνατότητα πραγματοποίησης των λιπασμάτων, τους περιορισμούς ασβέστη, έδαφους και νερού, και αυτό το καθιστά δύσκολο να δώσει μια ρεαλιστική εκτίμηση. Περαιτέρω, το έδαφος που θα μπορούσε να αναπτυχθεί διανέμεται άνισα, το περισσότερο είναι στη Νότια Αμερική και στην Νότια Σαχάρας (Αφρική) και σχετικά λίγο σε άλλα μέρη. Το έδαφος απαιτείται επίσης για να παρέχει το ξύλο για την ξυλεία και τα καύσιμα, για το κατοικίδιο ζώο, και για να συντηρήσει τα φυσικά οικοσυστήματα.

Η πράσινη επανάσταση που περιέλαβε την εισαγωγή των κοντών προερχόμενων ποικιλιών των συγκομιδών δημητριακών, η χρήση των λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και συχνά την άρδευση, έχει δείξει ότι οι παραγωγές συγκομιδών μπορούν να είναι πολλαπλές και υψηλότερες από εκείνοι του αγρότη επιβίωσης. Οι βελτιωμένες ποικιλίες συγκομιδών εισάγονται συνεχώς, μερικές από τις οποίες είναι κατάλληλες για τη σύντομη αυξανόμενη εποχή, και άλλες για το όξινο, αλατούχο, ή θρεπτικός-φτωχό έδαφος. Με αυτήν και άλλη ανάπτυξη, οι εκτιμήσεις της πιθανής παραγωγής τροφίμων του κόσμου δείχνουν ότι ο προβαλλόμενος πληθυσμός μπορεί να ταϊστεί, αλλά για την απαίτηση του, που καλύπτεται, θα είναι απαραίτητο να διαχειριστούν τα έδαφους καλύτερα απ' ό,τι στο παρελθόν.

1.5 Έδαφοςτα και ρύπανση

Ο δεύτερος καθορισμός χρειάζεται (απαιτείται).

Η ρύπανση εμφανίζεται όταν γίνεται κάποιο μέρος του περιβάλλοντος επιβλαβές ή δυσάρεστο στους οργανισμούς και ειδικά στους ανθρώπους.

Η μόλυνση είναι η προσθήκη μιας επικίνδυνου χημικής ουσίας ή ενός οργανισμού όπου καμία ζημιά δεν έχει καταδειχθεί.

Και στον δεύτερο καθορισμό τα συμφέροντα των ανθρώπων θεωρούνται κυρίαρχα. Παραδείγματος χάριν, ένα εντομοκτόνο που χρησιμοποιείται για να σκοτώσει τις ακρίδες δεν θεωρείται ως ρύπος εκτός αν σκοτώνει επίσης άλλους οργανισμούς που θεωρούμε είμαστε ευεργετικούς ή να επιθυμήσουμε να μην βλάψουμε. Όταν το εντομοκτόνο αφορά το έδαφος το μολύνει, και γίνεται ένας εδαφολογικός ρύπος εάν βλάπτει τους ευεργετικούς εδαφολογικούς οργανισμούς. Στην κοινή χρήση η ρύπανση "και η μόλυνση" χρησιμοποιούνται συχνά σαν ταυτόσημες έννοιες. Όλες οι χημικές ουσίες είναι επιβλαβείς όταν οι συγκεντρώσεις τους είναι αρκετά υψηλές ακόμα κι αν είναι αβλαβείς ή ακόμα και ευεργετικές σε μια χαμηλή συγκέντρωση. Ένα καλό παράδειγμα είναι ο ψευδάργυρος, ο οποίος είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για τα φυτά και τα ζώα αλλά είναι επιβλαβές και στα δύο σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Δύο είδη διαδικασίας στο έδαφος αποτρέπουν γενικά τη συσσώρευση της χημικής ουσίας σε συγκεντρώσεις που είναι επιβλαβείς: η αποσύνθεση των οργανικών χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων των φυτοφαρμάκων, από τους μικροοργανισμούς και αντιδράσεις προσρόφησης και πτώσης στα εδαφολογικά τμήματα. Αυτές οι διαδικασίες συζητούνται στα επόμενα κεφάλαια.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις πολλών χημικών ουσιών στο έδαφος, τον αέρα, το νερό και τα τρόφιμα αποτελούν τώρα το αντικείμενο της νομοθεσίας. Δεδομένου ότι μια συγκέντρωση θανατηφόρα στους ανθρώπους δεν μπορεί να καθιερωθεί από το πείραμα εκεί θα είναι πάντα αβεβαιότητα ως προς ποιες συγκεντρώσεις είναι ασφαλής. Η γενική αρχή είναι να προστατευθούν τα νήπια, οι ηλικιωμένοι και οι άρρωστοι, οι οποίοι βρίσκονται περισσότερο σε κίνδυνο. Οι επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των βαριών μετάλλων στο έδαφος, το νιτρικό άλας και τα φυτοφάρμακα στο πόσιμο νερό αναφέρονται στα κεφάλαια 10 και 13, αντίστοιχα.

Μόλυνση από τις φυσικές αιτίες

Η περισσότερη προσοχή δίνεται στη ρύπανση που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα έδαφος, τα τρόφιμα και το ύδωρ μπορούν, εντούτοις, να έχουν τις τοξικές συγκεντρώσεις των στοιχείων εξ αιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων στο υλικό εδαφολογικών γονέων ή των εκπομπών από τα ηφαίστεια. Δύο παραδείγματα θα δοθούν.

Table 1.2. *Population increase and gross national product (GNP) in selected countries during the period 1986–89*

Country	Population		GNP per capita (US \$)
	Number (millions)	Annual increase (%)	
Tanzania	25.2	3.3	258
India	833.4	2.0	290
China	1112.0	1.6	320
Kenya	24.3	4.2	370
Ghana	14.8	2.9	410
Malaysia	16.7	2.0	2 092
Brazil	150.8	2.0	2 130
Greece	10.0	0.3	4 670
UK	57.0	0.2	13 329
France	56.0	0.3	16 800
USA	248.2	0.9	19 800

Source: From *Handbook of Nations*, Gale Research Inc., Detroit, 9th edition.

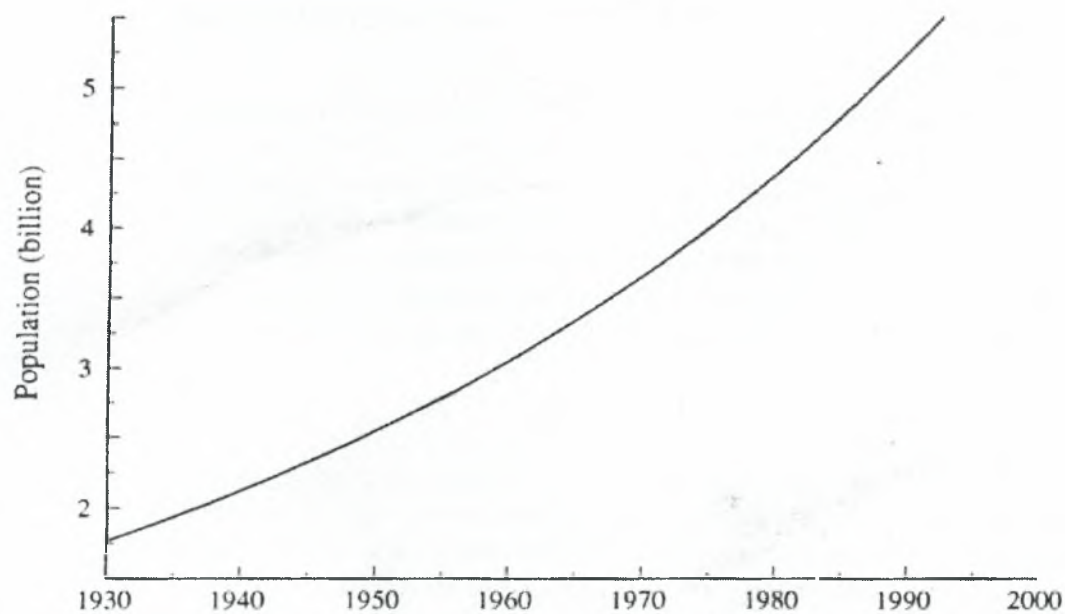


Figure 1.5 The human population of the world since 1930 (FAO Production Yearbooks).

Οι υψηλές συγκεντρώσεις του σελήνιου εμφανίζονται σε ορισμένα είδη εγκαταστάσεων του γένους ανάπτυξη *Astragalus* στα έδαφοςτα που προέρχονται από τα περμο-κρητιδικά ιζήματα στις πεδιάδες και τα δύσκολα βουνά των ΗΠΑ. Τα ζώα που βόσκουν αυτές τις εγκαταστάσεις πάσχουν από την απώλεια τρίχας και σπλών. Ένα άλλο πρόβλημα με τη βοσκή των ζώων, ειδικά βοοειδή και πρόβατα, οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις του μολυβδαίνιου *teart* "λιβάδια σε αποκαλούμενο". Αυτοί εμφανίζονται στο δυτικό τμήμα της Αγγλίας και στην Ιρλανδία στο ελλειπώς αποστραγγιζόμενο έδαφος αργίλου. Το ίδιο πρόβλημα εμφανίζεται στις δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ στον κακώς αποστραγγιζόμενο πυλό αργίλου με το υψηλό περιεχόμενο της οργανικής ουσίας, το οποίο προέρχεται από την προσχώρηση γρανίτη.

Αυτό το κεφάλαιο χρησιμεύει ως μια γενική εισαγωγή. Τα επόμενα πέντε κεφάλαια δίνουν μια περίληψη των κύριων ιδιοτήτων των εδαφών που αναφέρονται αργότερα

Introduction

Table 1.3. *Use of land in the world*

Use	Area (10 ⁹ ha)
Arable and permanent crops	1.48
Permanent pasture	3.21
Forest and woodland	4.05
Other land	4.33
Total	13.07

Source: FAO Production Yearbook, 1989.

στο βιβλίο. Περιλαμβάνουν τις περιγραφές των ιδιοτήτων των εδαφών και των διαδικασιών που εμφανίζονται σε αυτά. Δείχνουν ότι τα εδάφη «κατοικούνται» από απέραντους αριθμούς ζωντανών οργανισμών και περιέχουν τα συστατικά με σημαντικές αλλά μάλλον ασυνήθιστες φυσικές και χημικές ιδιότητες, και υποδεικνύουν τους λόγους για τους οποίους τα έδαφος ποικίλλει στην επιφάνεια της γης. Τα κεφάλαια συμπεριλαμβάνονται για να παρέχουν μια εύλογη και σταθερή βάση στην οποία μπορεί να στηριχτεί η κατανόηση της επήρειας του εδάφος στο περιβάλλον.

1.6 Περίληψη

Το έδαφος είναι ένα ουσιαστικό συστατικό των επίγειων οικοσυστημάτων της γης. Στηρίζει την αύξηση καλλιεργειών και παρέχει έναν βίοτοπο για μεγάλους αριθμούς ζώων και μικροοργανισμών που αποσυνθέτουν τα απορρίμματα και τα υπολείμματα φύλλων, με αυτόν τον τρόπο βοηθά την ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών από τις οποίες εξαρτάται η αύξηση των φυτών. Είχε αυτές τις λειτουργίες από τότε που τα φυτά αποίκισαν αρχικά το έδαφος.

Το έδαφος υποστηρίζει επίσης την αύξηση των καλλιεργήσιμων φυτών και των σοδιών που παρέχουν, των λιβαδιών και των δέντρων από τις οποίες εξαρτώνται τα τρόφιμα του ανθρώπου, την ίνα, και το ξύλο ως καύσιμο, αλλά και ως οικοδομικό υλικό. Ένας αυξανόμενος παγκόσμιος πληθυσμός απαιτεί περισσότερους πόρους από αυτούς που υπάρχουν σήμερα. Αυτή η απαίτηση μπορεί να καλυφτεί με το να

παράγεται περισσότερο έδαφος (ένα μεγάλο μέρος του οποίου είναι ακατάλληλο) για καλλιέργεια ή από την εντατικότερη χρήση του εδάφους, ή από συνδυασμό των δυο. Κάθε ένας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα εδαφολογικής υποβάθμισης και ρύπανσης. Αυτά τα προβλήματα συζητούνται πληρέστερα στα κεφάλαια του Β μέρους, στο οποίο ο αναγνώστης εξοικειωμένος με τις ιδιότητες των εδαφών όταν επιθυμήσει μπορεί να διάβασει.

A) Εδαφολογικές ιδιότητες και διαδικασίες

Κεφάλαιο 2: Τα εδαφολογικά τμήματα

- 2.1) Εισαγωγή
- 2.2) Σύσταση και δομή
- 2.3) Φαινόμενο ειδικού βάρους και διάστημα πόρων
- 2.4) Νερό εδάφους
- 2.5) Η εδαφολογική λύση
- 2.6) Εδαφολογικός αέρας
- 2.7) Ορυκτά συστατικά
- 2.8) Οργανικά συστατικά
- 2.9) Χημικά στοιχεία στο χώμα
- 2.10) Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εδαφολογικών τμημάτων
- 2.11) Περίληψη

2.1 Εισαγωγή

Η εξέταση με το μάτι ενός δείγματος εδάφους μπορεί να παρουσιάσει τα εξής αποτελέσματα: σύνολα από μόρια σε μέγεθος από μερικά χιλιοστά ή εκατοστά που, όταν είναι υγρά, μπορεί να ψηλαφηθούν με τα δάχτυλα; κομμάτια νεκρών ριζών, μίσχων και φύλλων, τα οποία μπορούν να αποσυντεθούν ; εν μέρει πέτρες και αμμοχάλικο (μεγαλύτερο από την ελάχιστη διάμετρο 2mm) και μόρια από άμμο (διάμετρο από 0.02 ως 2 mm); γεωσκώληκες και διάφορα αρθρόποδα, συμπεριλαμβανομένων και των εντόμων; διαστήματα στερεού υλικού που καταλαμβάνονται από αέρα ή νερό ή και από τα δύο.

Κάτω από ένα οπτικό μικροσκόπιο μπορούν να παρατηρηθούν τα μικρότερα μόρια της λάσπης (διάμετρος 0.002 ως 0.02mm), και η υψηλότερη δύναμη ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου θα αποκαλύψει την παρουσία μορίων αργίλου (διάμετρο λιγότερο από 0,002mm). Το σκοτεινό χρώμα του εδάφους δείχνει την παρουσία φυτοεδάφους. Από κάθε κουταλιά του εδάφους μπορούν να απομονωθούν τα εκατομμύρια των κυττάρων των βακτηριδίων και άλλων μικροοργανισμών. Εάν μισογεμίσουμε ένα μπουκάλι με υγρό χώμα και έπειτα το κλείσουμε, η σύνθεση του αέρα επάνω στο χώμα θα αλλάξει, το οξυγόνο θα αντικατασταθεί από το διοξείδιο του άνθρακα λόγω της αναπνοής των εδαφολογικών οργανισμών.

Από την ανωτέρω εισαγωγή φαίνεται ότι το χώμα περιέχει ορυκτά και οργανικά υλικά, αέρα, νερό και ζωντανούς οργανισμούς. Οι ιδιότητες ενός εδάφους εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο μέρος από το ποσοστό και τη σύνθεση αυτών των συστατικών και τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο. Οι ιδιότητες μπορούν,

εντούτοις, να αλλάξουν επειδή το έδαφος εκτίθεται στον καιρό, τα φυτά αυξάνονται και πεθαίνουν πάνω σε αυτό, ποδοπατάτε από τα ζώα, και ο άνθρωπος καλλιεργεί πάνω σε αυτό.

Προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι ιδιότητες του εδάφους και πώς μπορούν να αλλάξουν πρέπει πρώτα να θεωρήσουμε τα συστατικά ίδια. Σε αυτόν τον μετατροπέα εμείς περιγράφουμε τα ορυκτά και οργανικά συστατικά, τον αέρα και το ύδωρ. Οι εδαφολογικοί οργανισμοί περιγράφονται στο κεφάλαιο 5.

2.2 Σύσταση και δομή

Εδαφολογική σύσταση

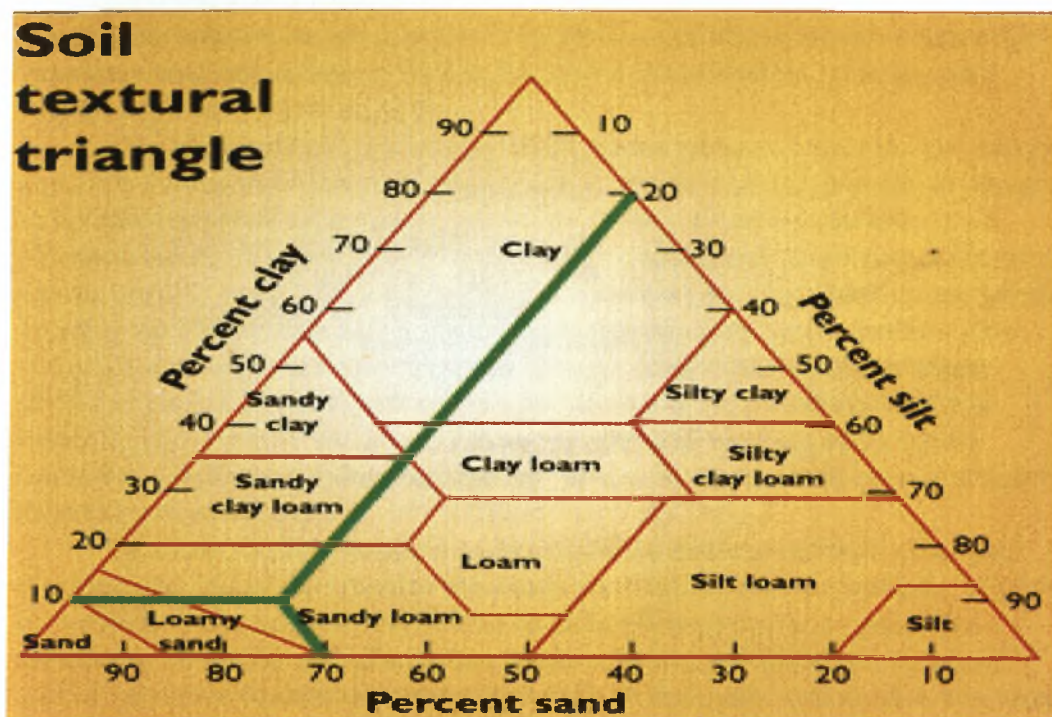
Αυτή αναφέρεται στα σχετικά ποσοστά του αργίλου, της ιλύος και της άμμου σε ένα δείγμα του εδάφους. Το κυρίαρχο σε μέγεθος μέρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σύσταση, παραδείγματος χάριν, ως άργιλο, λασπώδη άργιλο κ.λπ. Εάν κανένα μέρος δεν είναι κυρίαρχο το χώμα περιγράφεται ως λάσπη. Ένα τριγωνικό διάγραμμα χρησιμοποιείται συνήθως για να θέσει τα όρια σε κάθε κατηγορία (σχήμα 2.1). Στο σχήμα αυτό υπάρχουν τρία μεγέθη μορίων : άμμος, ιλύς και άργιλος; κάθε ένας εκφράζεται ως ποσοστό του εδάφους-ηλικίας όποιος κοσκινίζεται από κόσκινο 2 χιλ. (λεπτής γης). Εάν το πιο βασικό υλικό βρίσκεται σε μικρότερα ποσά μπορεί να περιληφθεί μια πρόσθετη περιγραφή όπως πετρώδης ή αμμώδης. Το μέρος της άμμου μπορεί να υποδιαιρεθεί σύμφωνα με το μέγεθος του μορίου (πίνακας 2.1).

Η μέθοδος της περιγραφής της σύστασης απαιτεί τη γνώση της διανομής μορίων ανάλογα με το μέγεθος, όπως λαμβάνεται με το κοσκίνισμα και τη χρησιμοποίηση της ταχύτητας της ιζηματογένεσης κάτω από συνθύκες βαρύτητας για τα λεπτά μέρη (για τις μεθόδους, δείτε τις προτάσεις για την περαιτέρω ανάγνωση στο τέλος του βιβλίου). Με την εμπειρία, η κατηγορία της υφής μπορεί να αναγνωριστεί με το τρίψιμο του υγρού εδάφους μεταξύ των δάχτυλων. Τη χονδροειδή άμμο την αισθανόμαστε χαλικώδης, τη λεπτή άμμο την αισθανόμαστε μεταξωτή, και την ιλύς ομαλή και μη-κολλώδης. Αυτές είναι γρήγορες μέθοδοι για τη εύρεση της σύστασης και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στον εδαφολογικό επιθεωρητή στο χωράφι.

Πίνακας 2.1. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη διανομή του μεγέθους των εδαφολογικών μορίων (διάμετρος mm).

	International system	USDA system ^a
Gravel	above 2.0	above 2.0
Very coarse sand	—	1.0–2.0
Coarse sand	0.2–2.0	0.5–1.0
Medium sand	—	0.1–0.5
Fine sand	0.02–0.2	0.05–0.1
Silt	0.002–0.02	0.002–0.05
Clay	less than 0.002	less than 0.002

Το σύστημα αυτό του Ηνωμένου Τμήματος Γεωργίας χρησιμοποιείται επίσης σε διάφορες άλλες χώρες.



Σχήμα 2.1. Η σύνθεση της υφής στις κατηγορίες χωμάτων που χρησιμοποιούνται από τη χαρτογράφηση του Ηνωμένου Τμήματος Εδάφους. (άμμος, 2-0.05mm; ιλύς, 0.05-0.002mm; πηλός, λιγότερο από 0.002mm). Ένα χώμα με 40% άμμο, 40% ιλύς και 20% άργιλο περιγράφεται ως μείγμα υγρού πηλού και παρουσιάζεται με διακεκομμένη γραμμή.

Η σύσταση είναι ένας δείκτης άλλων εδαφολογικών ιδιοτήτων, αλλά από μόνος του έχει περιορισμένη μαντική ικανότητα απέναντι στις άλλες ιδιότητες. Παραδείγματος χάρη, η δυνατότητα ενός εδάφους να προσροφήσει τα κατιόντα από τη διάλυση εξαρτάται από την ορυκτολογία του κλάσματος αργίλου καθώς επίσης και από το ποσοστό της αργίλου. Εξαρτάται επίσης από το ποσό και τη φύση της οργανικής ουσίας που το χώμα περιέχει. Η διαπερατότητα των χωμάτων στο ύδωρ εξαρτάται περισσότερο από την οργάνωση των ορυκτών μορίων και η οργανική ουσία στις δομικές μονάδες εξαρτάται από τα διαστήματα πόρων μεταξύ τους όταν η ελεύθερη σύσταση είναι ίδια. Η σύσταση, εντούτοις, δείχνει την ευκολία με την οποία ένα χώμα μπορεί να καλλιεργηθεί. Τα εδάφη που είναι υψηλά σε άργιλο περιγράφονται συχνά σαν 'βαριά' επειδή απαιτούν υψηλή δύναμη για την καλλιέργειά τους (που σημαίνει αύξηση ενέργειας άρα και κόστους), ενώ τα αμμώδη χώματα είναι γνωστά ως 'ελαφρά'. Επίσης, τα αργιλώδη εδάφη συγκρατούν περισσότερο νερό ενάντια στη βαρύτητα από τα αμμώδη και συνεπώς θερμαίνονται πιο αργά την άνοιξη (παράγραφος 6.9).

Η Δομή του Εδάφους

Αυτή περιγράφει τη τακτοποίηση των εδαφολογικών μορίων. Ένα έδαφος στο οποίο αυτά είναι ασύνδετα το ένα με το άλλο λέγεται ότι έχει την ενιαία-κοκκιώδη δομή, ή ότι εμφανίζεται δομημένο με χονδρόκοκκα υλικά, όπως στους αμμόλοφους (sand dunes). Στο άλλο άκρο είναι μία ογκώδης δομή όπου όλα τα ορυκτά μόρια ενώνονται στενά μεταξύ τους, όπως γίνεται σε μερικά χώματα αργίλου. Πιο συχνά τα μόρια

σχηματίζουν σύνολα, τα οποία έχουν ένα μέγεθος και μια μορφή που είναι συχνά χαρακτηριστικά του εδάφους. Τα σύνολα που διαμορφώνονται με τις φυσικές διαδικασίες είναι γνωστά ως peds.

Για καλλιεργήσιμες φυτείες, το χώμα πρέπει να αποτελείται κυρίως από μικρά κομμάτια ή «ψίχουλα» (θρυμματισμένο χώμα), τα οποία επιτρέπουν στα σπορόφυτα να προκύψουν εύκολα και να παρέχουν έναν εύκολο ανεφοδιασμό ύδατος και οξυγόνου για τις ρίζες των φυτών αυτών. Αυτή η επιθυμητή κατάσταση επέρχεται από τις συνετές μηχανικές μεταχειρήσεις του εδάφους και περιγράφεται ως όργωμα. Τα μέρη του εδάφους πρέπει να είναι αρκετά ισχυρά ώστε να αντισταθούν στην κατανομή ανά αντίκτυπο των σταγόνων βροχής, διαφορετικά η εδαφολογική επιφάνεια μπορεί να διαμορφώσει μια κρούστα που μπορεί να αποτρέψει την εμφάνιση σπορόφυτων και μπορεί επίσης να οδηγήσει στην απορροή και τη διάβρωση. Το μέγεθος, η σταθερότητα και το εσωτερικό πορώδες είναι οι σημαντικές ιδιότητες των συνόλων.

Τα μόρια αργίλου κολλούν το ένα στο άλλο στα περισσότερα εδάφη, με εξαίρεση στα 'αλκαλικά' χώματα στα οποία τα ιόντα νατρίου αναγκάζουν τα μόρια της αργίλου να διασκορπίσουν. Σε όλα τα άλλα εδάφη ο άργιλος σχηματίζει κροκίδωμα (όπως στο φύλλο τα μόρια κολλάνε το ένα στο άλλο) και τα μόρια αργίλου μπορούν να συσσωρευτούν 'πρόσωπο με πρόσωπο' στα πακέτα που μερικές φορές είναι γνωστά ως περιοχές. Αυτές οι περιοχές μπορούν να συνδέουν μεταξύ τους τα οργανικά μόρια που διαμορφώνουν μικρά σύνολα, αρκετά από τα οποία είναι ορατά σύνολα που μπορούν να ενσωματώσουν τα μόρια άμμου και λάσπης. Τα σταθερότερα συσσωματώματα διαμορφώνονται στα ουδέτερα και ασβεστούχα χώματα (που περιέχουν το ανθρακικό άλας ασβεστίου) κάτω από χωράφι καλλιεργημένο με χόρτα με παρουσία ικανοποιητικής αργίλου, και επίσης σε ορισμένα τροπικά χώματα στα οποία τα αρχικά ορυκτά μόρια συσφύχονται λόγω του οξειδίου σιδήρου.

Η οργανική ουσία είναι ένα σημαντικό συστατικό των συνόλων. Η εργασία στην Αυστραλία έδειξε ότι εκείνα τα μυκητιακά hyphae και οι λεπτές ρίζες δεσμεύουν μαζί συσσωματώματα μεγαλύτερα από 2 χιλ.. Τα μέσου μεγέθους συσσωματώματα (διάμετρος 20-250μμ) ήταν σταθερότερα λόγω της σύνδεσης με το φυτόχωμα, τα οξείδια σιδήρου και αλουμινίου και μόρια αργίλου. Τα μικρότερα συσσωματώματα ήταν ακόμη πιο σταθερά παρόλο που περιείχαν τους ίδιους συνδετικούς παράγοντες. Η επίδραση του φυτοεδάφους εξαρτάται πιθανώς από το περιεχόμενο μικροβιακών πολυσακχαριτών που περιέχουν καρβοξυλικές ομάδες (τμήμα 2.8).

2.3 Φαινόμενο ειδικό βάρος και διάστημα πόρων

Η πυκνότητα των μορίων των ορυκτών του εδάφους είναι συνήθως από 2.6 έως 2.7 gr cm⁻³ (2600-2700kg m⁻³). Όταν είναι ξηρό το χώμα το φαινόμενο ειδικού βάρους του είναι συχνά το μισό σε αξία επειδή τα κενά μεταξύ των μορίων γεμίζουν με τον αέρα.

Το φαινόμενο ειδικού βάρους (πιο κατάλληλα, το ξηρό φαινόμενο ειδικού βάρους) ορίζεται ως η αναλογία της μάζας του ξηρού εδάφους, M , και του όγκου του, V . Δίνεται το σύμβολο ρ_b , όπου $\rho_b = M/V$. Επειδή η αξία του ρ_b δίνει την περισσότερη σχετικότητα στη συμπεριφορά του εδάφους υπό τους κανονικές-πραγματικές συνθήκες μετρείται στην φύση (in vivo). Αυτό γίνεται συνήθως με την εισαγωγή ενός κυλίνδρου χωρίς άκρες (ανοιχτές επιφάνειες στις κυκλικές βάσεις του) στο χώμα, το όνομα αθού του οργάνου είναι εδαφολήπτης, τη λείανση των ακρών και έπειτα την εύρεση της ξηράς μάζας του εσωκλειόμενου εδάφους. Είναι μια

μεταβλητή ιδιότητα λόγω των τιμών των καιρικών συνθηκών, ποικίλλει στις μικρές αποστάσεις και αυξάνεται γενικά με το βάθος. Συνήθως, το ρ_b έχει μια αξία μεταξύ 1.0 και 1.6 gr cm^{-3} .

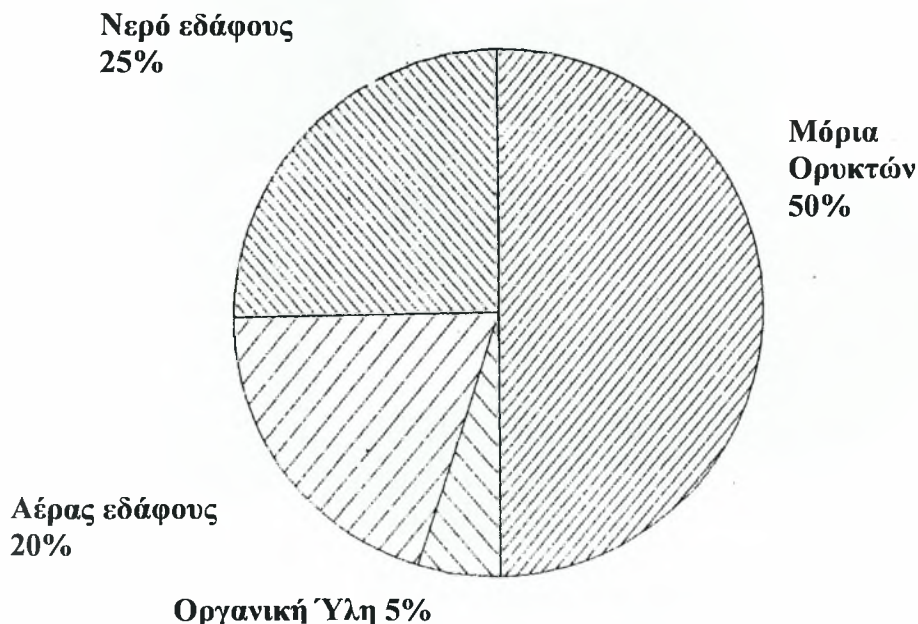
Το κλασματικό διάστημα εδαφολογικών πόρων, e , επίσης είναι γνωστό ως εδαφολογικό πορώδες, υπολογίζεται από το ξηρό φαινόμενο ειδικού βάρους, ρ_b , και την πυκνότητα μορίων, ρ_s , όπως

$$e = 1 - (\rho_b / \rho_s),$$

όπου ρ_s είναι συνήθως μεταξύ 2.6 και 2.7 gr cm^{-3} . Το ποσοστό του διαστήματος πόρων στον εδαφολογικό όγκο είναι:

$$\% \text{ διάστημα πόρων} = 100[1 - (\rho_b / \rho_s)]. \quad (2.1)$$

Το διάστημα μεταξύ των πόρων καταλαμβάνεται από το ύδωρ και τον αέρα. Εάν θ είναι ο όγκος του ύδατος ανά όγκο μονάδων του εδάφους, ο κλασματικός όγκος αέρα e_a , είναι $(e - \theta)$. Υπό τους όρους που υποστηρίζουν την καλή αύξηση των φυτειών, εάν e_a και θ είναι για τον ίδιο, έτσι $\rho_b = 1.3 \text{ gr cm}^{-3}$ and $\rho_s = 2.6 \text{ gr cm}^{-3}$, $e = 0.5$, και εάν e_a και θ είναι για τους δύο περίπου 0,25. Παίρνοντας την πυκνότητα του ύδατος ίση με 1 gr cm^{-3} , η αξία $\theta = 0.25$ σημαίνει ότι κάθε κυβικό εκατοστόμετρο του εδάφους περιέχει 0,25 gr ύδατος. Η σχέση μεταξύ του όγκου του εδάφους που καταλαμβάνεται από το στερεό υλικό, του ύδατος και του αέρα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2



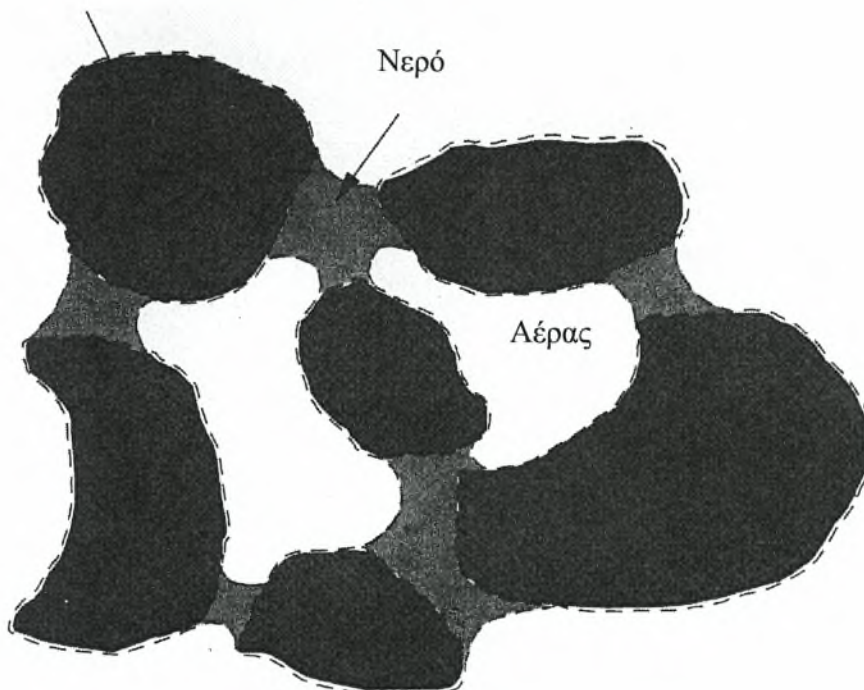
Σχήμα 2.2. Τα εδαφολογικά τμήματα περιλαμβάνουν τα ορυκτά μόρια, την οργανική ουσία, το νερό και τον αέρα. Το ποσοστό κάθε συστατικού που παρουσιάζεται στο σχήμα είναι το ποσοστό του εδαφολογικού όγκου και κάθε ένα είναι χαρακτηριστικό των κορυφαίων 10-15 εκ ενός εδάφους. Το συνολικό διάστημα πόρων στο παράδειγμα είναι 45%.

Στο εδαφολογικό φαινόμενο του ειδικού βάρους απαιτείται μετατροπή της ανάλυσης μιας γνωστής μάζας του εδάφους σε έναν όγκο ή μια περιοχή του εδάφους. Εάν, παραδείγματος χάριν, το χώμα περιέχει το w σε gr ύδατος ανά γραμμάριο εδάφους, το

ογκομετρικό περιεχόμενο του ύδατος (πυκνότητα 1 gr cm^{-3}) ανά κυβικό εκατοστόμετρο του εδάφους θα ήταν 15×10^4 w ρ_b γραμμάρια.

Λόγω της παρουσίας συνόλων και υποσυνόλων, το συνολικό διάστημα πόρων, του e , αποτελείται από διαστήματα διαφορετικά σε μέγεθος. Εάν η εδαφοτομή είναι ελεύθερα-στραγγισμένη, το ύδωρ στραγγίζεται από τους μεγάλους πόρους, οι οποίοι έπειτα καταλαμβάνονται από τον αέρα, και το ύδωρ παραμένει μόνο στα μικρά διαστήματα και τους πόρους (σχήμα 2.3). Ο ανεφοδιασμός του ύδατος και του αέρα για τις ρίζες των φυτών και τους εδαφολογικούς οργανισμούς επομένως εξαρτάται από το συνολικό διάστημα πόρων, τα μεγέθη των πόρων και της συνθήκης αποξήρανσης της περιοχής. Οι πόροι έχουν ανώμαλες μορφές αλλά είναι χρήσιμο να ταξινομηθούν με βάση τις αποτελεσματικές διαμέτρους, σαν να ήταν κυλινδρικοί σωλήνες:
 Πόροι μετάδοσης (διευθύνουν το ύδωρ γρήγορα μέσω του εδάφους) $>50 \mu\text{m}$
 Πόροι αποθήκευσης (διατηρούν το ύδωρ ενάντια στη βαρύτητα) $0,5-50 \mu\text{m}$
 Υπόλοιποι πόροι (παραμένουν γεμισμένοι με ύδωρ ακόμα και όταν φαίνεται το χώμα να είναι ξηρό) $<0,5 \mu\text{m}$

Μόρια Ορυκτών



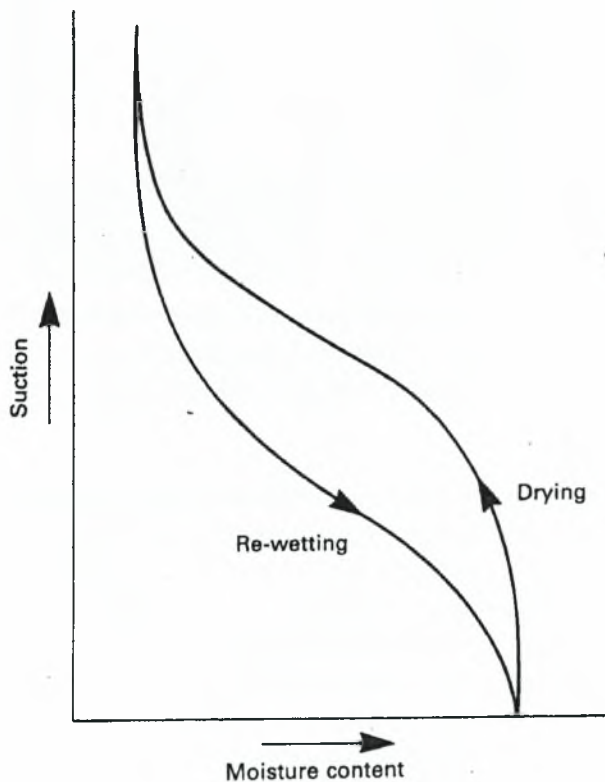
Σχήμα 2.3. Νερό, αέρας και ορυκτά μόρια στο χώμα. Σε ένα ελεύθερα στραγγιζόμενο χώμα, ο αέρας καταλαμβάνει τα μεγάλα διαστήματα πόρων. Το νερό είναι παρών στα μικρότερα διαστήματα πόρων και ως ταινίες τα εδαφολογικά μόρια είναι επίσης παρών μέσα στα σύνολα (που δεν παρουσιάζονται).

Πόροι μεγαλύτεροι από $50 \mu\text{m}$ ($0,05 \text{mm}$) θα στραγγίσουν κάτω από τη βαρύτητα. Οι πόροι με εύρος μέχρι κάποια χιλιοστόμετρα μπορούν εγκάρσια να υπάρξουν ως ρωγμές στα χώματα της αργίλου, και ως κανάλια που δημιουργούνται από τα ζώα, παραδείγματος χάριν με γαιοσκώληκες, ή αριστερά από τις αποσυντεθειμένες ρίζες.

2.4. Το νερό του εδάφους

Αυτό το τμήμα εξετάζει την υγρή φάση στο χώμα. Ο υδρατμός αναφέρεται στην παράγραφο 2.6, τα στερεά και τα αέρια που διαλύονται στο ύδωρ συζητούνται στην παράγραφο 2.5.

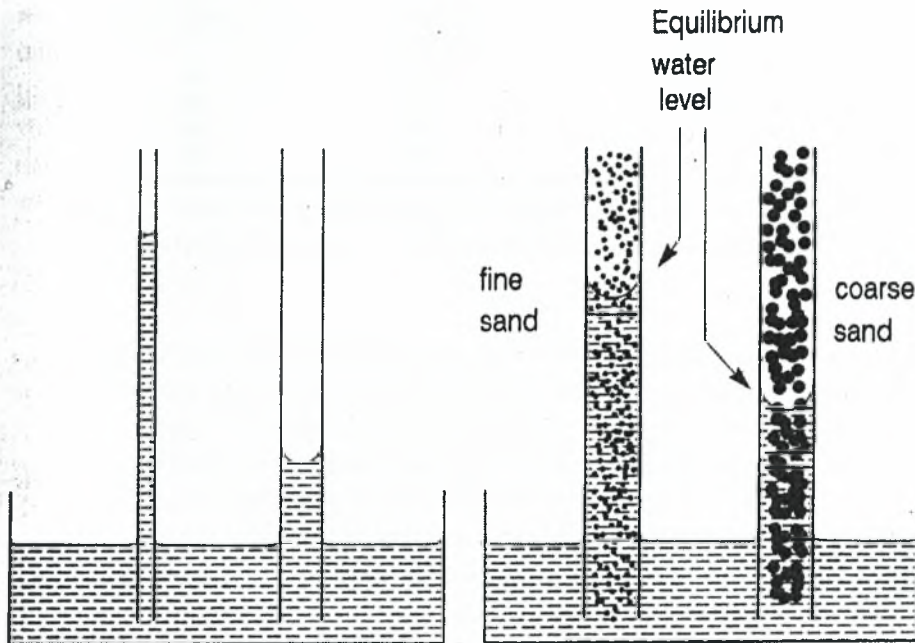
Ένα δείγμα του ακατέργαστα δομημένου εδάφους που είναι διαποτισμένο με το ύδωρ μπορεί να χάσει το νερό εάν του επιτραπεί η στράγγιση. Περισσότερο νερό χάνεται εάν η πίεση εφαρμόζεται στην κορυφή του εδάφους ή η αναρρόφηση του εφαρμόζεται στο κατώτατο σημείο. Η απώλεια αυξάνεται εάν η πίεση ή η αναρρόφηση αυξηθεί. Η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε ύδωρ και της αναρρόφησης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4. που αυτό παρουσιάζει διαφορετική σχέση για ένα χώμα που είναι ξηρό με την αύξηση της αναρρόφησης και ενός που βρέχεται, κάτι που εδώ απαιτεί μερικές εξηγήσεις.



Σχήμα 2.4. Η περιεκτικότητα σε νερό ενός εδαφολογικού δείγματος που ξηραίνεται κάτω από την αναρρόφηση και έπειτα ξαναβρέχεται.

Επειδή οι εδαφολογικοί πόροι είναι ανώμαλοι στη μορφή η αναρρόφηση απαιτεί την αφαίρεση του νερού που καθορίζεται από τα στενά μέρη των πόρων από όπου το νερό κρατιέται εντονότερα, έπειτα το νερό θα εκκενωθεί αυτόματα από τα ευρύτερα μέρη των πόρων. Όταν το χώμα είναι βρεγμένο τα ευρύτερα μέρη περιορίζουν τη λήψη ύδατος, που γεμίζει μόνο σε χαμηλές τιμές αναρρόφησης και όταν θα γεμίσει με νερό θα περάσει στα στενότερα μέρη. Κατά συνέπεια το χώμα κρατά περισσότερο νερό κατά τη διάρκεια της ξήρανσης απ' ότι κατά τη διάρκεια του βρεξίματος. Αυτό είναι γνωστό ως υστέρηση.

Όπως διευκρινίζεται στο σχήμα 2.5, το νερό ανεβαίνει υψηλότερα σε έναν στενό σωλήνα απ' ό τι σε έναν ευρύ. Όταν το ύψος, h , και η διάμετρος, d , του σωλήνα είναι σε μέτρα, τότε

$$h=3 \times 10^{-5}/d \quad (2.2)$$


Σχήμα 2.5. Οι άνοδοι νερού είναι υψηλότερες σε ένα στενό τριχοειδή σωλήνα απ' ό τι σε έναν ευρύ και υψηλότερες στο κοκκώδες υλικό με τους μικρούς πόρους (λεπτή άμμος) απ' ό τι με τους μεγάλους πόρους (χοντροειδής άμμος).

Για παράδειγμα, για έναν κυλινδρικό σωλήνα διαμέτρου $3\mu\text{m}$, το h είναι ίσο με 10m . Η πίεση ή η αναρρόφηση, οι σωλήνες θα πρέπει να είναι απαραίτητα κενοί, είναι αντιστρόφως ανάλογες προς το d . Ομοίως στα εδάφη, για ένα δεδομένο συνολικό πορώδες και μια εφαρμοσμένη αναρρόφηση, το ποσό ύδατος που διατηρείται από τα χώματα είναι μεγαλύτερο όσο στενότεροι είναι οι πόροι. Το νερό στους εδαφολογικούς πόρους κρατιέται με την αναρρόφηση που εξαρτάται από τη διάμετρο πόρων, και μόνο όταν υπερβαίνει η εφαρμοσμένη αναρρόφηση μπορεί να αφαιρεθεί το νερό. Αυτή η αναρρόφηση εκφράζεται συχνά σε bars, kilopascals, ή σε μέτρα ύδατος ($1 \text{ bar} = 10\text{m water} = 100\text{kPa}$) δείτε τον πίνακα 2.2. Σε έναν πόρο με μια τριχοειδή άνοδο 10m , μια αναρρόφηση 10m θα ήταν απαραίτητα για να τον αδειάσει, και το νερό στον πόρο αυτό συγκρατείτε με μια μέγιστη αναρρόφηση 10m ή 1 bar .

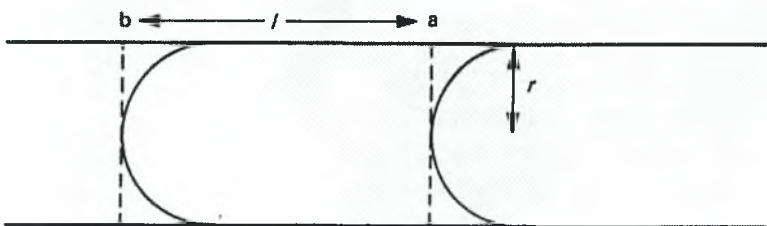
Υδατοικανότητα.

Για μερικούς λόγους, και ειδικά για την κάθετη μετακίνηση του ύδατος είναι κατάλληλο να εξεταστεί το ενεργειακό επίπεδο ύδατος στο χώμα παρά την αναρρόφηση (αρνητική πίεση) μέσα σε αυτά. Η έννοια αυτή δίνει τη δυνατότητα ύδατος, η οποία απαιτεί την εξήγηση.

Suction (Ανοψίγγαση) (m)	Matrix δυναμικό Matrix potential (kPa)	Ισοδύναμο διαμέτρο Equivalent pore diameter
(m)	(bar)	(kPa)
10^{-2}	10^{-3}	-10^{-1}
10^{-1}	10^{-2}	-1
1	10^{-1}	-10
10	1	-10^2
10^2	10	-10^3
10^3	10^2	-10^4
10^4	10^3	-10^5
10^5	10^4	-10^6

Πίνακας 2.2. Μονάδες αναρρόφησης νερού εδάφους και τα ισοδύναμα του σε δυναμικό (kPa) και κυλινδρικού διαμέτρου πόρου.

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο νερό του εδάφους αλλάζουν την ενέργεια του, μ' άλλα λόγια, την ικανότητα του να παράγει έργο. Η διαφορά στην ενέργεια μεταξύ ελεύθερου νερού και νερού στο έδαφος, όταν εκφράζεται ανά μονάδα ποσότητας νερού, ονομάζεται δυναμικό. Υπάρχουν τρεις δυνάμεις που ασκούνται στο νερό του εδάφους και συνεισφέρουν στο συνολικό του δυναμικό. Υπάρχουν: τριχοειδείς δυνάμεις, οι οποίες δίνουν σ' ένα δυναμικό τριχοειδή (το οποίο ονομάζεται συνήθως ένα matric), βαρύτητα η οποία δίνει δυναμικό βαρύτητας και όσμωση η οποία δίνει οσμωτικό δυναμικό. Αυτά τα διάφορα δυναμικά προσθέτονται για να δώσουν το συνολικό δυναμικό του νερού. Η χρησιμότητα του δυναμικού είναι ότι είναι μια ενοποιητική έννοια, ενώνοντας τις διαφορές δυνάμεις που κάνουν το νερό να κινείται. Μπορεί να βοηθήσει στο να κατανοήσουμε το matric (τριχοειδή) δυναμικό και την ικανότητά του να παράγει έργο, με το να θεωρήσουμε έναν σωλήνα από τον οποίο το νερό απομακρύνεται. (ΕΙΚ.2.6). Καθώς υποχωρεί το μισοφέγγαρο από το a στο b κατά μία απόσταση l, ο όγκος του νερού που απομακρύνεται είναι $\pi r^2 l$. Η ποσότητα του νερού του έργου που παρήχθει για να αποκλίνει το νερό είναι $2\pi r F l$ (θυμίζοντας ότι έργο = δύναμη \times απόσταση) όπου το F είναι η ελκυστική δύναμη ανά μονάδα μήκους επαφής μεταξύ του νερού και το τοίχωμα του σωλήνα.



Εικόνα 2.6. Σχηματική απεικόνιση του νερού μέσα σ' ένα σωλήνα. Η δουλειά επιζητά τη μετακίνηση του μισοφέγγαρου από το a στο b το οποίο είναι ίσο με το $2F/r$ (βλέπε κείμενο).

Η ποσότητα του παραγόμενου έργου στο να αποσπαστεί μονάδα όγκου νερού δίνεται από το τύπο $2\pi r F l / \pi r^2 l = 2F / r$. Και έτσι, εάν η ακτίνα του πόρου μειωθεί δέκα φορές, η ποσότητα του έργου που απαιτείται για να αποσπάσει μονάδα όγκου νερού αυξάνεται κατά έναν συντελεστή του 10. Πιο γενικά, όσο πιο στενοί είναι οι πόροι που περιέχουν την μονάδα όγκου νερού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα έργου

που απαιτείται (ανά μονάδα όγκου) για να το απομακρύνει. Όταν εκφράζεται ως ενέργεια ανά μονάδα όγκου νερού, το δυναμικό έχει τις ίδιες διαστάσεις ως αναρρόφηση ή πίεση έτσι ώστε τα δυναμικά συχνά εκφράζονται σε μονάδες πίεσης. Αλλά εφόσον πρέπει να παραχθεί έργο ενάντια στις τριχοειδείς δυνάμεις για να αποσπάσουμε το νερό από το έδαφος και έτσι να το επιστρέψουμε στην ελεύθερη του κατάσταση, τα matric δυναμικά είναι αρνητικά, και 1 bar (ράβδος, μέρος) αναρρόφησης είναι ισοδύναμο με -1 bar matric δυναμικό. Όταν μιλάμε για κίνηση νερού, τα δυναμικά συνήθως εκφράζονται ως το ύψος μιας ισοδύναμης στήλης νερού. Υπό πολλές συνθήκες το matric δυναμικό είναι το κύριο συστατικό του συνολικού δυναμικού νερού και συχνά θεωρείται ως το ισοδύναμο της αναρρόφησης .

Διαθέσιμη Ικανότητα / Χωρητικότητα Νερού.

Στο να περιγράψουμε την διαθέσιμη ποσότητα νερού εδάφους στα φυτά, δύο όροι κοινώς χρησιμοποιούνται. Ικανότητα / χωρητικότητα αγρού είναι το περιεχόμενο νερού αφού έχει διαποτιστεί /κορεστεί στον αγρό , μετά έχει σκεπαστεί για να εμποδίσει την εξάτμιση και έχει αποστραγγιστεί για 48 ώρες. Το σημείο μόνιμου μααρασμού είναι το περιεχόμενο νερού στο χώμα στο οποίο τα φύλλα των φυτών που μεγαλώνουν στο έδαφος δεν ανάρρωσαν από τον μααρασμό όταν τοποθετήθηκαν σε μία διαποτισμένη ατμόσφαιρα. Στην ικανότητα / χωρητικότητα αγρού το matric δυναμικό είναι περίπου -5 kPa (-0.05 bar) και το μόνιμο σημείο μααρασμού ανταποκρίνεται σε ένα matric δυναμικό περίπου -1.5×10^3 kPa (-15 bar). Αν και κανείς από τους δύο όρους δεν έχει μια ακριβή φυσική σημασία, η καθεμιά έχει πρακτική αξία στο να ορίσουμε τα όρια του νερού εδάφους που θα είναι διαθέσιμο στα φυτά. Το νερό που μπορεί να συγκρατηθεί μεταξύ των δύο ορίων είναι γνωστό ως η διαθέσιμη ικανότητα / χωρητικότητα νερού του εδάφους. Το νερό στο έδαφος μπορεί να μετακινήσει τις ρίζες του φυτού ή να εξατμιστεί από την επιφάνεια του εδάφους, μετά από πολύ βροχή η εφαρμογή άρδευσης μπορεί να περάσει στο εσωτερικό του εδάφους.

2.5 Το Διάλυμα Εδάφους (στο έδαφος).

Η υγρή φάση στο έδαφος δεν είναι καθαρό νερό. Περιέχει διαλύτες και διαλυμένα αέρια και για μερικούς σκοπούς είναι καλύτερα να τα αναφέρουμε ως το υδατικό διάλυμα, για παράδειγμα στο να αναφέρουμε την μεταφορά των θρεπτικών συστατικών στα φυτά και την μεταφορά των στοιχείων στο νερό του εδάφους ή την ατμόσφαιρα. Μερικοί από τους παράγοντες που προσδιορίζουν την συγκέντρωσή του, που ποικίλει με τον καιρό και μεταξύ των εδαφών, θα συζητηθεί τώρα. Όταν υπάρχει ισορροπία μεταξύ του επιφανειακού εδάφους και του υπόγειου εδάφους η κατανομή ενός αερίου μπορεί να περιγραφεί από το νόμο το Henry :

$$K_H = [Gs] / P_G$$

όπου

το Gs είναι η συγκέντρωση του αερίου στο διάλυμα και K_H είναι η συνεχής ισορροπία.

Πίνακας 2.3. Οι αξίες σε 25°C του συνεχούς, K_H , στον νόμο του Henry για τη διαλυτότητα των αερίων στο νερό.

Αέριο Gas	K_H (mol m ⁻³ atm ⁻¹)	Gas	K_H (mol m ⁻³ atm ⁻¹)
CO ₂	34.1	NO	1.88
CH ₄	1.50	O ₂	1.26
NH ₃	5.76 × 10 ⁴	SO ₂	1.24 × 10 ³
N ₂ O	25.6	H ₂ S	1.02 × 10 ²

Σημείωση: Παράδειγμα: Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι 350ppmv = 350 × 10⁻⁶ atm. Από την εξίσωση 2.3, η συγκέντρωση του CO₂ σε καθαρό νερό είναι $K_H P_G = 34.1 \times 350 \times 10^{-6} = 1.19 \times 10^{-2} \text{ mol m}^{-3}$ ή 0.52 mg ανά λίτρο. Πηγή: Από Stumm, W. και Morgan, J.J. 1981, Υδροβία χημεία, Νέα Υόρκη.

Ο πίνακας 2.3 δίνει τιμές του K_H για τα αέρια τα οποία μεταφέρονται μεταξύ των εδαφών και της ατμόσφαιρας. Η αμμωνία και το διοξείδιο του θείου είναι πολύ διαλυτά, το θειούχο υδρογόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και το πρωτοξείδιο του αζώτου είναι μέτρια διαλυτά, και το νιτρικό οξείδιο, το μεθάνιο και το οξυγόνο έχουν χαμηλή διαλυτότητα.

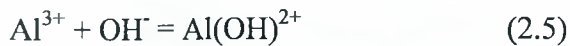
Η συγκέντρωση των διαλυτών στα εδάφη στην ικανότητα / χωρητικότητα αγρού στην γκάμα 1-20 mol m⁻³ διαλύματος σε μη αλμυρά εδάφη μπορεί να φτάσει 50-100 mol m⁻³. Η σύνθεση ποικίλει κατά μια μεγάλη γκάμα / ακτίνα, όπως δείχνει ο πίνακας 2.4. Υπάρχουν διαφορές στην σύνθεση μεταξύ εδαφών εξαιτίας των διαφορών σε γόνιμο υλικό και τις συνθήκες του σχηματισμού του εδάφους, στην πρόσθεση λιπασμάτων, κοπριών, ασβέστη και αρδρευτικό νερό, και στην εναπόθεση αλάτων και αερίων από την ατμόσφαιρα. Η σύνθεση επίσης εξαρτάται από το περιεχόμενο του νερού στο έδαφος την στιγμή που αποσπάται το διάλυμα.

Πίνακας 2.4. Συγκεντρώσεις από κοινά ουδέτερα ιόντα βρέθηκαν σε ποσότητες εδάφους.

Ion	Concentration		Ion	Concentration	
	(mg l ⁻¹)	M		(mg l ⁻¹)	M
Ca	10-200	2.5 × 10 ⁻⁴ -5 × 10 ⁻³	NO ₃ -N	5-200	3.5 × 10 ⁻⁴ -14 × 10 ⁻³
Mg	5-100	2 × 10 ⁻⁴ -4 × 10 ⁻³	SO ₄ -S	10-100	3 × 10 ⁻⁴ -3 × 10 ⁻³
K	1-40	2.5 × 10 ⁻⁵ -1 × 10 ⁻³	H ₂ PO ₄ -P	0.01-0.60	3 × 10 ⁻⁷ -2 × 10 ⁻⁵

Στα καλλιεργημένα εδάφη του pH πάνω από 5 τα ιόντα συνήθως που είναι παρόν σε μέγιστη συγκέντρωση είναι Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ και HCO₃⁻. Το διάλυμα εδάφους επίσης περιέχει Si(OH)₄, το NH₄⁺ είναι μερικές φορές παρόν και στα όξινα εδάφη συχνά περιέχει Al³⁺, AlOH²⁺ και Mn²⁺. Υπό συνθήκες χωρίς οξυγόνο τα Mn²⁺ και Fe²⁺ είναι συνήθως παρόν. Μικροθρεπτικά ιόντα (βλέπε τμήμα 7.5) είναι παρόν σε μικρές συγκεντρώσεις και το διάλυμα μπορεί να περιέχει οργανικά οξέα και διαλυμένη οργανική ύλη. Μερικά από τα ιόντα στο διάλυμα συσχετίζονται με άλλα ιόντα για να σχηματίσουν ένα διαλυτό σύμπλεγμα. Δύο παραδείγματα είναι:





Συμπλέγματα επίσης σχηματίζονται μεταξύ των κατιόντων και των οργανικών οξέων. Ο σχηματισμός των διαλυτών συμπλεγμάτων αυξάνει την συγκέντρωση διαλύματος των θρεπτικών μετάλλων όπως του σιδήρου και έτσι μπορεί να βελτιωθεί η παροχή τους στα φυτά. Η σύνθεση των διαλυμάτων στο έδαφος απορροφάτε από άργιλο και οργανική ύλη.

2.6 Ο Αέρας του εδάφους

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο κλασματικός χώρος του πόρου που είναι γεμάτος με αέρα, e_a , είναι ισοδύναμος με $(e-\theta)$ όπου το e και το θ είναι ο συνολικός κλασματικός χώρος του πόρου και του ογκομετρικό περιεχομένου του νερού αντιστοίχως. Για τα φυτά που απαιτούν καλοαερισμένο χώμα, το e_a και το θ θα πρέπει να είναι περίπου ίσο με την ικανότητα / χωρητικότητα του αγρού, ο αέρας καταλαμβάνει τους μεγαλύτερους χώρους. Ο αέρας εδάφους έχει μια μεγαλύτερη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και μια χαμηλότερη συγκέντρωση οξυγόνου από την ατμόσφαιρα πάνω από το έδαφος (πίνακας 2.5). Οι διαφορές προκύπτουν από την αναπνοή οργανισμών στο έδαφος και των ριζών των φυτών, τείνουν να μειωθούν από την διάχυση μεταξύ της ατμόσφαιρας και του αέρα του εδάφους.(πίνακας 2.5)

Πίνακας 2.5. Σύνθεση του αέρα σε φτωχά αποστραγγισμένα λασπώδη εδάφη.

Sample at soil depth (cm)	Percentage composition of extracted air			
	Winter		Summer	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
30	1.2	19.4	2.0	19.8
61	2.4	11.6	3.1	19.1
91	6.6	3.5	5.2	17.5
122	9.6	0.7	9.1	14.5
152	10.4	2.4	11.7	12.4

Σημείωση: Παρατηρήστε την υψηλή συγκέντρωση CO₂ (ανά όγκο) και την αύξηση του με το βάθος, επίσης την χαμηλή συγκέντρωση O₂ σε βάθος, ιδιαίτερα τον χειμώνα όπου η διάχυση από την ατμόσφαιρα θα είναι περιορισμένη από το υψηλό περιεχόμενο νερού στο χώμα.

Για την ολοκληρωμένη οξείδωση ενός υδατάνθρακα η εξίσωση μπορεί να γραφεί :

$$[\text{C}(\text{H}_2\text{O})]_n + n\text{O}_2 \rightarrow n\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \quad (2.6)$$

Το αναπνευστικό πηλίκιο / δείκτης, RQ, είναι η αναλογία των mol (ή όγκου) του CO₂, που παράγεται στα mol (ή όγκου) ή O₂ που καταναλώνεται. Σ' αυτήν την αντίδραση, η οποία συμβαίνει σε καλοεξαερισμένα εδάφη το RQ είναι 1. Η διάχυση του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα συμβαίνει εξαιτίας των διαφορών σε συγκέντρωση μεταξύ της ατμόσφαιρας και εδαφικού αέρα και έτσι ώστε επιτυγχάνετε μια δυναμική ισορροπία.(Τμήμα 6.7) Εάν το έδαφος δεν είναι πιο στεγνό από το μόνιμο σημείο μαρασμού ο εδαφικός αέρας είναι κορεσμένος με υδρατμούς νερού.

Ο όγκος του αέρα στο έδαφος προσδιορίζεται κατά πολύ από το περιεχόμενο του νερού στο χώμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το περιεχόμενο νερού, τόσο μικρότερος είναι ο όγκος του αέρα στο χώμα και τόσο πιο γρήγορα αδειάζει το οξυγόνο δια μέσου της αναπνοής. Τα περισσότερα φυτά βλάπτονται εάν οι ρίζες τους κρατηθούν σε ένα περιβάλλον άνευ οξυγόνου. Οι δραστηριότητες μερικών μικροοργανισμών επίσης επηρεάζονται από την παροχή οξυγόνου. Υπό συνθήκες άνευ οξυγόνου αυτά παράγουν αέρια όπως το μεθάνιο, το πρωτοξειδίο του αζώτου, που συνεισφέρουν στην υπερθέρμανση της γης, άλλα προϊόντα μίτωσης συμπεριλαμβανομένου τα Fe^{2+} , Mn^{2+} , S^{2-} , αιθυλένιο και οργανικά οξέα, μερικά εκ των οποίων μπορούν να τραυματίσουν τις ρίζες των φυτών.

Πρωτεύων ορυκτά:	αυτά του γονικού υλικού που αντιστέκονται στην αποσύνθεση κυρίως στην άμμο και κλάσματα λάσπης/βούρκου.
Δευτερεύων ορυκτά:	τα προϊόντα χημικής αποσύνθεσης στο κλάσμα αργίλου αυτά περιέχουν αργυλοπυριτικά και ένυδρα οξείδια σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου, συλλογικά γνωστά ως ορυκτά αργίλου.

Σημείωση: Ο όρος "ορυκτά αργίλου" συχνά χρησιμοποιείται για να αναφέρουμε τα αργυροπυριτικά και μόνο καθώς αυτά κυριαρχούν στο κλάσμα αργίλου των περισσότερων εδαφών.

2.7 Ορυκτά Συστατικά.

Τα ορυκτά που βρίσκονται στην άμμο και στα κλάσματα λάσπης / βούρκου προσδιορίζονται κατά κύριο λόγο από την ορυκτολογική σύνθεση του γονικού υλικού και τον βαθμό αποσύνθεσης / «φαγώματος». Το πιο κοινό ορυκτό σ' αυτά τα κλάσματα είναι ο χαλαζίας (SiO_2), αλλά στα εδάφη που δεν έχουν αποσυντεθεί έντονα μπορεί επίσης να βρίσκονται είδη ημιδιαφανούς ευέλικτου ορυκτού και τα είδη κρυσταλλικού ορυκτού. Ορυκτά όπως ιμηνίτης, το ζιρκόνιο και ο αιματίτης αντιστέκονται στο «φάγωμα»(διάβρωση) και μπορούν να βρεθούν σε εδάφη που έχουν διαβρωθεί και αποστραγγιστεί έντονα.

Οι κυριότερες επιδράσεις της άμμου και των λασπωδών κλασμάτων βρίσκονται στις φυσικές ιδιότητες των εδαφών. Σε έδαφος / χώμα που κυριαρχείται από τραχύ άμμο, η συγκράτηση του νερού είναι μικρή και η αποστράγγιση είναι γρήγορη. Από την άλλη πλευρά όπου το έδαφος κυριαρχείται από λάσπη, οι χώροι των πόρων είναι μικροί κι έτσι η μετάδοση του νερού είναι αργή, η ανάπτυξη της ρίζας μπορεί να περιοριστεί και το έδαφος / χώμα μπορεί να πλημμυρίσει / διαποτιστεί μετά την βροχή. Γενικά, τα ορυκτά που βρίσκονται στα κλάσματα της άμμου και της λάσπης / βούρκου έχουν μικρή επίδραση στις χημικές ιδιότητες των εδαφών αν και τα είδη ημιδιαφανούς ευέλικτου ορυκτού και τα είδη κρυσταλλικού ορυκτού, όταν είναι παρόν, αργά απελευθερώνουν θρεπτικά συστατικά όπως το ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο στο φάγωμα / αποσύνθεση.

Το κλάσμα αργίλου είναι διαφορετικό. Το ορυκτό στα κλάσματα άμμου και της λάσπης είναι τα κατακάθια από την διάλυση του γονικού υλικού και έτσι είναι συχνά γνωστά ως πρωτεύων ορυκτά. Αυτά που βρίσκονται στο κλάσμα αργίλου είναι τα

προϊόντα των χημικών αποσυνθέσεων (Τμήμα 3.2) αυτά είναι γνωστά ως δευτερεύων ορυκτά ή ορυκτά αργίλου και αποτελούνται από αργυλοπυριτικά και ένυδρα οξειδία (Πίνακας 2.6). Τα ορυκτά στο κλάσμα αργίλου μεταδίδουν χημικές και φυσικές ιδιότητες στο έδαφος οι οποίες επηρεάζουν έντονα την συμπεριφορά του, για παράδειγμα στο να απορροφά κατιόντα, ανιόντα και εντομοκτόνα και λειτουργώντας ως πηγή θρεπτικών συστατικών του φυτού. Οι ιδιότητές τους μπορούν να κατανοηθούν καλύτερα από την γνώση της δομής τους.

Τα αργυλοπυριτικά στο κλάσμα αργίλου κυμαίνονται από κρυσταλλικά μέχρι ελάχιστα κρυσταλλικά (ημικρυσταλλικά) και άμορφα, όπως φαίνεται από την διάθλαση ακτίνας-Χ. Όλα αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες μονάδες του (i) ένα άτομο πυριτίου περικυκλωμένο από άτομα οξυγόνου με μορφή ενός τετραέδρου, και (ii) ενός αργιλίου, μαγνησίου ή ατόμου σιδήρου που περικυκλώνεται από άτομα οξυγόνου και ομάδων υδροξυλίου με μορφή ενός οχτάεδρου. Οι επαναλαμβανόμενες ομάδες συνδέονται για να σχηματίσουν φύλλα που ονομάζονται τετράεδρα και οχτάεδρα φύλλα, χημικώς συνδυαζόμενα.

Στα φτωχικά κρυσταλλικά και άμορφα αργυλοπυριτικά, ιμογολίτη και ένα είδος διάφανου, μη κρυσταλλοποιημένου ορυκτού αντίστοιχα, αυτές οι μονάδες είναι συνδυασμένες με μικρή ευδιάκριτη τάξη / σειρά αλλά έχουν εκτεταμένη επιφάνεια, χαρακτηριστικά των ομάδων υδροξυλίου.

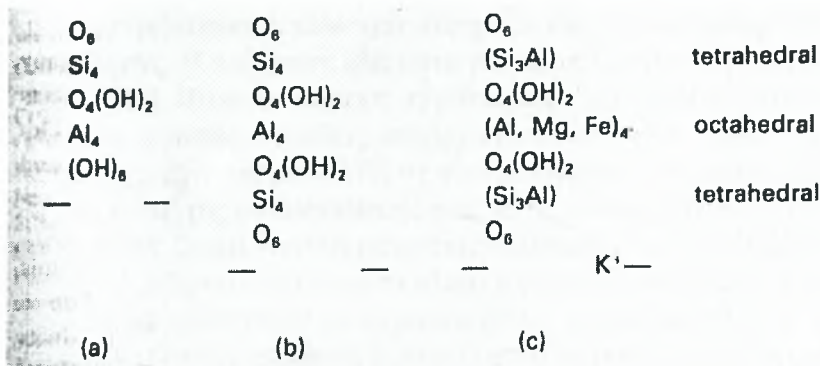
Υπάρχουν τρία είδη κρυσταλλικών αργυλοπυριτίων στο κλάσμα αργίλου, το καθένα με επιστρώσεις στοιβαγμένες η μία πάνω στην άλλη, καταλήγοντας σε νιφάδες κρυστάλλων, συχνά με εκτεταμένη επίπεδη επιφάνεια αλλά με μικρή επιφάνεια με άκρες. Στα τρία είδη η κάθε επίστρωση αποτελείται από τα ακόλουθα:

1:1 ορυκτά αργίλου, 1 τετράεδρο: 1 φύλλο οχταέδρου, όπως καολίνητη και τον χαλλοσιίτη

2:1 ορυκτά αργίλου, 2 τετράεδρα: 1 φύλλο οχταέδρου, όπως στον πυροφυλλίτη, ηλίτη, βερμικουλίτη και σμηκτίτη

2:2 ορυκτά αργίλου, 2 τετράεδρα: 1 φύλλο οχταέδρου και μια οχτάεδρη ενδροεπίστρωση υδροξειδίου του μαγνησίου ή υδροξειδίου αργιλίου, όπως στον χλωρίτη.

Η σειρά / αλληλουχία των ατόμων σε κάθε επίστρωση φαίνεται στην Εικ.2.7. Αυτή η εικόνα επίσης δείχνει την αντικατάσταση ενός στοιχείου από ένα άλλο σε 2:1 ορυκτά. Στο τετράεδρο φύλλο η σιλικόνη μπορεί να αντικατασταθεί από αργίλιο και στο οχτάεδρο φύλλο το αργίλιο μπορεί να αντικατασταθεί από μαγνήσιο και σίδηρο. Η δομή του πυροφυλλίτη είναι ηλεκτρικά ουδέτερη, αλλά οι αντικαταστάσεις κάνουν την δομή ηλεκτρικά αρνητική επειδή το ιόν που αντικαθιστεί έχει χαμηλότερη θετική φόρτιση. Η αντικατάσταση του τετράεδρου Si^{4+} από Al^{3+} ή του οχτάεδρου Al^{3+} από Mg^{2+} , δίνει μια μοναδική αρνητική φόρτιση που εξισορροπείται από ένα κατιόν που κρατιέται μεταξύ των επιστρωμάτων πυριτίου. Η αντικατάσταση περιγράφεται ως ισόμορφη επειδή το ιόν που αντικαθιστά πρέπει να είναι παρόμοιου μεγέθους.



Εικόνα 2.7. Τα άτομα στην μονάδα κυττάρου το (α)καολινλίτη, (β)πυροφυλλίτη και (c) 2:1 ορυκτού δείχνοντας ισόμορφη αντικατάσταση. Η μονάδα κυττάρου επαναλαμβάνεται σε διαστάσεις για να σχηματίσει φύλλα: η αλληλουχία των ατόμων θα είναι ότι "εθεάθησαν" κοιτάζοντας τα φύλλα και τις άκρες, τα φύλλα στοιβαγμένα το ένα πάνω στο άλλο. Στο (c), τα ιόντα καλίου εξισορροπούν την αρνητική φόρτιση εξαιτίας της ισόμορφης αντικατάστασης.

Σημείωση: Ο πυροφυλλίτης σπανίως βρίσκεται στα εδάφη αλλά περιλαμβάνεται για να δείξει την σύνθεση του 2:1 ορυκτού χωρίς καμία ισόμορφη αντικατάσταση.

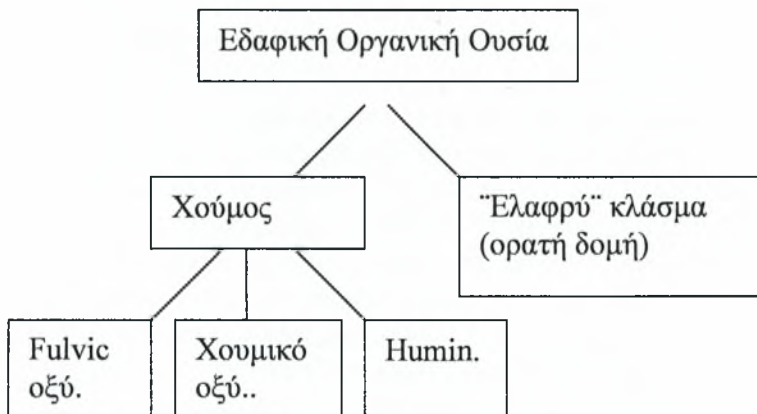
Η ισόμορφη αντικατάσταση δεν είναι σημαντική σε 1:1 ορυκτά και μόνο μερική σε 2:1 και 2:2 ορυκτά αργίλου. Η αρνητική φόρτιση που προέρχεται από την αντικατάσταση είναι μόνιμη στο ότι είναι ανεξάρτητη από το pH του εδάφους. Ανάλογα με το pH, ωστόσο, όλα τα αργυλοπυριτικά στο κλάσμα αργίλου επίσης αποσπούν / αποχωρίζουν τα πρωτόνια από σπασμένες και άκρες επιφάνειες, αφήνοντας την δομή αρνητικά φορτισμένη. Κι έτσι έχουν αρνητική φόρτιση βασισμένα στο pH, αν και στα 2:1 και στα 2:2 ορυκτά αργίλου η μόνιμη φόρτιση είναι πολύ μεγαλύτερη.

Μια άλλη ιδιότητα των 2:1 ορυκτών αργίλου απαιτείται να αναφερθεί. Η έκταση της ισόμορφης αντικατάστασης είναι ηλίτης > βερμικουλίτης > σημηκίτης. Ο ηλίτης έχει μια υψηλή φόρτωση και οι επιστρώσεις είναι συγκρατημένες σφυχτά με ιόντα καλίου. Με το σημηκίτη οι επιστρώσεις είναι συγκρατημένες πιο αδύνατα / χαλαρά, τα μόρια νερού μπορούν να εισέρθουν στον χώρο ενδοεπίστρωσης και να προκαλέσει διόγκωση στο ορυκτό. Αυτό έχει επιπτώσεις για τις ιδιότητες ανταλλαγής κατιόντων των ορυκτών. Η ιδιότητα της διόγκωσης όταν είναι βρεγμένο και της συρρίκνωσης όταν είναι στεγνά επίσης προκαλεί κίνηση στα θεμέλια των κτηρίων, των δρόμων και των γεφυρών που είναι χτισμένα σε εδάφη με υψηλά περιεχόμενα σημηκίτη. Επίσης συστατικά του κλάσματος αργίλου είναι τα ένυδρα οξείδια του Fe, Al και Mn τα οποία είναι συχνά σημαντικά σε υψηλά διαβρωμένα εδάφη. Ορυκτά συχνά συμπεριλαμβάνουν ορυκτό υδρογονούχο οξείδιο σιδήρου, $FeO(OH)$, αιματίτη, Fe_2O_3 , γυψίτης, $Al(OH)_3$ και βιμμεσίτης, ένα οξείδιο μαγγανίου μεταβλητής σύνθεσης. Γενικά εμφανίζονται με φτωχά κρυσταλλική μορφή. Ανάλογα το pH μπορεί να είναι είτε θετικά είτε αρνητικά φορτισμένα (Μέρος 4.1)

2.8 Οργανικά Συστατικά.

Το έδαφος συνήθως περιέχει αρκετά εκατομμύρια βακτήρια ανά γραμμάριο, καθώς και πολλούς μύκητες και άλλους μικροοργανισμούς αλλά και μεγαλύτερους οργανισμούς όπως έντομα και σκουλήκια. Αυτά παίζουν ένα ζωτικό ρόλο στον κύκλο

των θρεπτικών συστατικών των στοιχείων και στο να διατηρήσουν την γονιμότητα του εδάφους. Η συζήτηση εδώ είναι για τα μη ζωντανά οργανικά συστατικά. Στα επιφανειακά 10 cm, το έδαφος συνήθως περιέχει περίπου 1-3% άνθρακα σε οργανικές ενώσεις, συνήθως υπάρχει περισσότερος σε εδάφη κάτω από γρασιδί ή δέντρα και μέχρι περίπου 30% σε τύρφη. Ενώσεις άνθρακα προστίθενται στο χώμα από προϊόντα της φωτοσύνθεσης στις ρίζες, στους μίσχους, στα φύλλα, στα ξύλινα υλικά και σε ζωικά υπολείμματα συμπεριλαμβανομένου τα κόπρανα και απόβλητα υπονόμου. Μερικά από αυτά τα υλικά η αποσύνθεση τους γίνεται με αργό ρυθμό και μπορούν να μελετηθούν με το μάτι ή με έναν φακό χειρός. Εξαιτίας της χαμηλής του ειδικής βαρύτητας (περίπου 1 gcm⁻³) αυτό το ορατό υλικό ονομάζεται μερικές φορές ελαφρύ κλάσμα. (Εικ.2.8) για να το διαχωρίζουμε από το μαυρόχρωμα, το περισσότερο εκ του οποίου απορροφάτε από τον άργιλο και που τα οποία μαζί έχουν μια υψηλότερη ειδική βαρύτητα. Το τελικό προϊόν της αποσύνθεσης είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα το οποίο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.



Πίνακας 2.8. Τα κλάσματα συνηθισμένα χαρακτηρίζονται από εδαφική οργανική ουσία.

Ως αποτέλεσμα της αποσύνθεσης από τους οργανισμούς του εδάφους και άλλων χημικών διαδικασιών, η ανατομική δομή των φυτικών υλικών είναι κατεστραμμένη και μερικές από τις ενώσεις του άνθρακα αλλάζουν στο συγκριτικό σταθερό προϊόν που ονομάζεται μαυρόχρωμα. Αυτό είναι ένα σκουρόχρωμα υλικό, που δεν φανερώνει καμία τάξη στην δομή του όταν εξετάζεται με διαθλούμενες ακτίνες X. Από τις φυσικές του ιδιότητες συμπεραίνουμε ότι αποτελείται από χαλαρά διαπλεγμένα νήματα και από ουσίες υψηλής μοριακής μάζας.

Πίνακας 2.7. Μέσος όρος χημικών συνθέσεων από ουσία εδαφικού χούμου.

Component	Humic acid	Fulvic acid
C(%)	56	46
O(%)	36	45
H(%)	4.7	5.4
N(%)	3.2	2.1
S(%)	0.8	1.9
COOH (mmol g ⁻¹)	3.6	8.2
Phenolic OH (mmol g ⁻¹)	3.9	3.0

Ο προσδιορισμός της χημικής δομής του μαυροχώματος έχει αποδεχτεί δύσκολη και περισσότερη έρευνα απαιτείται πριν δοθεί μια ικανοποιητική αναφορά. Μπορούν να αναγνωριστούν τέσσερις κύριες γραμμές έργου:

1. Το μαυρόχωμα μπορεί να διαιρεθεί σε κλάσματα που διαφέρουν σε διαλυτότητα στα οξέα και στα αλκάλια. Το περισσότερο μέρος του μαυροχώματος μπορεί να αποσπαστεί με αλκαλικά διαλύματα. Το ίζημα που σχηματίζεται κατά την οξείδωση του εκχυλίσματος σε pH 2 είναι γνωστό ως οξύ μαυροχώματος και το κλάσμα που απομένει στο διάλυμα είναι γνωστό ως φουλβικό οξύ. Ένα άλλο κλάσμα, το χουμικό, δεν αποσπάται με αλκάλιο. Αυτά τα κλάσματα δεν είναι μοναδικές, χημικά ξεχωριστές ουσίες, αλλά διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την στοιχειώδη σύνθεση και ως προς των ποσοτήτων αντιδραστικών ομάδων που περιέχουν. (Πίνακας 2.7)
2. Διάφορες χημικές ενώσεις και ομάδες ενώσεων έχουν αναγνωριστεί στο μαυρόχωμα. Για παράδειγμα, περίπου 10-15% του άνθρακα μαυροχώματος είναι παρόν στα πολυσακχαρίδια (βιοπολυμερίδια που αποτελούνται από μονάδες ζάχαρης). Μερικά είναι απομεινάρια από φυτά, αλλά η ταυτότητα των συστατικών της ζάχαρης φανερωώνει ότι στα περισσότερα γίνεται η σύνθεσή τους από μικροοργανισμούς εδάφους. Οι μονάδες της ζάχαρης περιέχουν οξέα ζάχαρης γνωστά ως ουρανικά οξέα, τα οποία φαίνονται να λειτουργούν ως 'κόλλα' στο να τσιμεντώνουν μόρια εδάφους μεταξύ τους σε τσιμεντολάσπη.
3. Η μερική οξείδωση, η μείωση και η υδρόλυση οξέων παράγουν μια ζαλιστική γκάμα προϊόντων, συμπεριλαμβανομένου αρωματικές και αλοιφατικές ουσίες. Αν και πάντα υπάρχει η πιθανότητα ότι μερικά από τα προϊόντα σχηματίστηκαν κατά την απόσπαση και την μεταχείριση των χημικών, η χρήση των μεθόδων που διατηρούν την αρχική δομή του μαυροχώματος έχει επιβεβαιώσει την παρουσία αρωματικών και αλοιφατικών δομών. Τα αμινοξέα είναι επίσης προϊόντα της υδρόλυσης και λογοδοτούν για περίπου το μισό του αζώτου στο μαυρόχωμα. Κάποιο από το θείο στο μαυρόχωμα είναι επίσης παρόν στα αμινοξέα. Οι οργανικές ενώσεις φωσφόρου που είναι παρόν στο μαυρόχωμα συμπεριλαμβάνουν inositol φωσφορικό άλας και μικρότερες ποσότητες νουκλειικών οξέων και φωσφολιπιδία.
4. Τα χουμικά και φουλβικά κλάσματα του μαυροχώματος έχουν ομάδες οξέων στα οποία είναι παρούσες ομάδες καρβοξυλίων και υδροξυλίων σε μέγιστες ποσότητες. Οι ομάδες καρβοξυλίου αποχωρίζονται με pH 4.5 μεταξύ και 7 και οι ομάδες υδροξυλίου σε υψηλότερο pH. Και έτσι για καρβοξυλικές ομάδες :

$$-\text{COOH} \leftrightarrow -\text{COO}^- + \text{H}^+$$

Το μαυρόχωμα έτσι έχει αρνητική φόρτιση, το οποίο είναι εξαρτώμενο από το pH και παρέχει μια πηγή ιδιοτήτων ανταλλαγής κατιόντων.

Περίληψη ιδιοτήτων του χούμου

1. Λόγω της παρουσίας της καρβοξυλικής και φαινολικής ομάδας, των οποίων η ποσότητα δεν είναι σταθερή, ο χούμος έχει αρνητικά φορτία που καθορίζονται από το pH. Σε pH 7, σε καλά στεγνωμένο χώμα, η ποσότητα οφείλεται κυρίως στην διακύμανση αυτή των καρβοξυλικών ομάδων και είναι συνήθως 3 moles φορτίου ανά κιλό χούμου. Έτσι συνεισφέρει στην διατήρηση των κατιόντων και μερικών εντομοκτόνων όπως και στην ικανότητα του εδάφους να εξουδετερώνει διάφορες ακραίες τιμές του pH.

2. Τα θρεπτικά συστατικά των φυτών , άζωτο , φωσφόρος και θείο, περιέχονται σε οργανικές ενώσεις. Στα πρώτα 10 – 15 cm του χώματος η αναλογία επί τοις εκατό του οργανικού άνθρακα: %N, η C/N αναλογία είναι μεταξύ 10 και 14, ο άνθρακας (C) : η αναλογία οργανικού P είναι περίπου 100, αλλά διαφέρει από χώμα σε χώμα, και ο άνθρακας (C): η αναλογία οργανικού S είναι συνήθως 80 – 100. Όταν τα οργανικά συστατικά ορυκτοποιήθηκαν από την δράση μικροοργανισμών, αυτά τα 3 στοιχεία απελευθερώνονται ως ανόργανα ιόντα τα οποία μετά μπορεί να απορροφηθούν από τα φυτά.

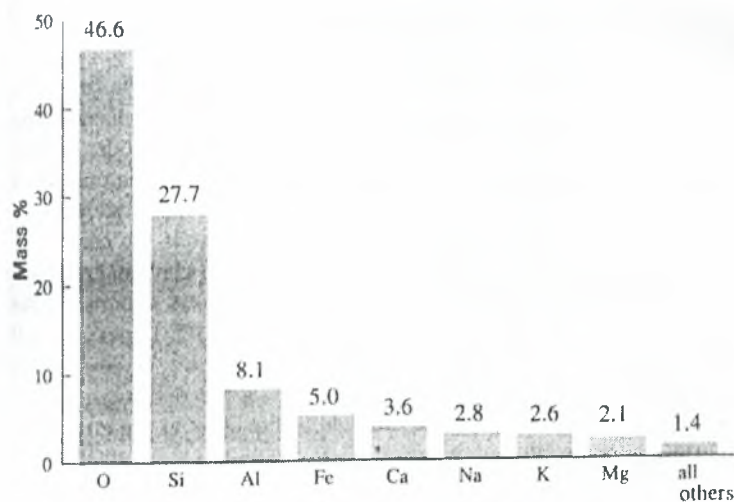
3. Αντιδρά με κατιόντα για τη δημιουργία συμπλόκων, μερικά από τα οποία είναι διαλυτά και μερικά όχι. Η σταθερότητα αυτών των συμπλόκων διαφέρει αναλόγως με το pH , αλλά σε pH 5 δίνονται ως εξής:

$Cu > Pb > Fe^{2+} > Ni > Mn > Co > Ca > Zn > Mg$.

Τα τρισθενή μέταλλα (Fe^{3+} και Al^{3+}) είναι πιο σταθερά.

4. Αντιδρά με αργιλικά ορυκτά και οξειδία σίδηρου και αλουμίνιου προς δημιουργία σταθερών αθροισμάτων, βελτιώνοντας έτσι τη φυσική κατάσταση του χώματος και την ανάπτυξη των φυτών.

Ωστόσο ψηλότερα φυτά μπορούν να ωριμάσουν σε απουσία επιπλέον οργανικών συστατικών, αυτές οι ιδιότητες του χούμου τον κάνουν το συστατικό – κλειδί στην επιτυχημένη διατήρηση του χώματος.



Σχήμα 2.9 Τα στοιχεία εμφανιζόμενα με την μεγαλύτερη συγκέντρωση στο φλοιό της Γης. (Δεδομένα από Mason, B. And Moore, C.B. 1982. Principles of Geochemistry, 4th edition. Wiley, Chichester).

2.9 Τα χημικά στοιχεία στο έδαφος

Τα στοιχεία με την μεγαλύτερη συγκέντρωση στο φλοιό της Γης φαίνονται στο σχήμα 2.9 . Στο χώμα, η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα στοιχεία , ανάλογα με την συγκέντρωσή τους, κατά μέσο όρο, είναι :

$O > Si > Al > Fe = C = Ca > K > Na > Mg > Ti > N > S$.

Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, μαζί με αυτά που είναι σημαντικά για τα φυτά, βρίσκονται σε συγκεντρώσεις, κάτω από 0,1%. Οποδήποτε η συγκέντρωση του K στο χώμα είναι περίπου 1,5%, αυτή του ιχνοστοιχείου Pb είναι μόλις 0,00001%.

Όπως θα περίμενε κανείς από ορυκτά που βρίσκονται στο χώμα (Κεφάλαιο 2.7), τα πιο άφθονα στοιχεία είναι αυτά που δημιουργούν τα αργιλοπυριτικά. Η μόνη ξεκάθαρη διαφορά, στην κατά μέσο όρο σύνθεση, ανάμεσα σε εδάφη και πετρώματα που διαμορφώνουν το φλοιό της Γης είναι η μεγαλύτερη συγκέντρωση άνθρακα, αζώτου και θείου στο έδαφος ως αποτέλεσμα βιολογικής διεργασίας. Σε μεμονωμένα εδάφη μπορεί, ωστόσο, να υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ της σύνθεσης του πετρώματος και του παραγόμενου εδάφους.

2.10 Αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών του εδάφους

Για να καταλάβουμε τις ιδιότητες του εδάφους τα συστατικά περιγράφονται ξεχωριστά. Ένα συστατικό, όμως, συνήθως επηρεάζει τις ιδιότητες των άλλων και συγχρόνως την διαδικασία.

Για να δώσουμε δυο παραδείγματα, πρώτον εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκη άμμο συγκρατούν μικρή ποσότητα νερού, και καλός αερισμός έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη οξείδωση της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα . σε τέτοια χώματα η σύσταση οργανικής ύλης είναι χαμηλή. Δεύτερον, τα 1:1 αργιλικά ορυκτά έχουν μικρότερη χωρητικότητα για να συγκρατήσουν όξινα πρόσθετα, απ' ότι τα 2:1 αργιλικά ορυκτά . αν τα συστατικά της οργανικής ύλης είναι τα ίδια, εδάφη που περιέχουν 1:1 αργιλικά ορυκτά, θα εμφανίσουν χαμηλό pH πιο γρήγορα.

Η σημαντική διεργασία που συμβαίνει στα εδάφη συζητούνται σε επόμενα κεφάλαια και γίνεται αναφορά σε όλο το βιβλίο για την αντίδραση μεταξύ συστατικών και διαδικασίας.

Πρώτα, συζητάμε τη δημιουργία των εδαφών και για το μεγάλο εύρος των ιδιοτήτων του εδάφους που βρίσκονται σε κατάσταση χωραφιού.

2.11 Περίληψη

Η σύσταση του αβιοτικού μέρους του χώματος είναι από ορυκτά και οργανικά υλικά, και περιέχει πόρους κενούς που γεμίζουν με νερό και αέρα. Τα ορυκτά περιέχουν υπολείμματα από το αρχικό υλικό, συνήθως, κυρίως χαλάζια, και ορυκτά αργιλικού τυπού, τα οποία είναι

προϊόντα καιρικών φαινομένων. Αυτά τα αργιλικά ορυκτά προσδίδουν στο χώμα σημαντικές ιδιότητες μαζί με την ιδιότητα να απορροφούν κατίοντα και άλλα διαλύματα σε αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες. Η οργανική ύλη έχει την ίδια αυτή ιδιότητα και είναι επίσης η πηγή του φυτού σε άζωτο, φωσφόρο και θείο.

Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος των σωματιδίων (υφή) του χώματος και το πως αυτά κατανέμονται (δομή), όπως στην τσιμεντολάσπη. Σε ένα μεγάλο βαθμό η υφή και η δομή καθορίζουν τη διανομή και την κίνηση του νερού και του αέρα μέσα στο έδαφος, και τη διαθεσιμότητα νερού στα φυτά. Επίσης επηρεάζουν την ανάπτυξη των ριζών του φυτού.

Το νερό του εδάφους περιέχει διάφορες διαλυμένες ουσίες και διαλυμένα αέρια, και μπορεί να αναφέρονται σε αυτό ως εδαφικό διάλυμα. Τα διαλύματα που περιέχει περιλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά που λαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών.

Κεφάλαιο 3: Δημιουργία των εδαφών

3.1 Εισαγωγή

3.2 Πετρώματα και διάβρωση πετρωμάτων

3.3 Προϊόντα διάβρωσης

3.4 Πρόσθετα και αποσύνθεση οργανικής ύλης

3.5 Διαδικασία διαμόρφωσης του εδάφους

3.6 Παράγοντες διαμόρφωσης εδάφους

3.7 Ταξινόμηση του εδάφους

3.8 Περίληψη

3.1 Εισαγωγή

Τα περισσότερα εδάφη στις εύκρατες περιοχές του βορείου ημισφαιρίου έχουν δημιουργηθεί μέσα στα τελευταία 10.000 χρόνια. Προυπάρχοντα εδάφη εκπλύθηκαν με τους παγετώνες ή διαβρωθήκαν από τη βροχή, το λιώσιμο του χιονιού και τα γρήγορα ποτάμια κατά τη διάρκεια της εποχής των παγετώνων, όταν η Γη υποστήριζε την ύπαρξη μόνο κάποιων φυτών. Μόνο μερικά κατάλοιπα των εδαφών από τις πρότερες ζεστές περιόδους μπορούν να βρεθούν.

Σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη όπου υπήρχε μεγάλη επέκταση των παγετώνων, όπως στην Αυστραλία, τα εδάφη φέρουν ενδείξεις των κλιματικών αλλαγών. Κάτω από το παρών

έδαφος μπορεί κανείς να δει ότι το τότε επιφανειακό έδαφος έχει διαβρωθεί και στη θέση του έχει μεταφερθεί άλλη ύλη μέσω του αέρα.

Νέα εδάφη δημιουργούνται και άλλα διαβρώνονται στις μέρες μας για παράδειγμα, χώμα λόγω διάβρωσης από τα Ιμαλάια, μεταφέρεται μέσω ποταμών για να δημιουργήσει αλλούβια εδάφη στο Μπαγκλαντές. Λεπτή άμμος από την Σαχάρα μεταφέρεται στην Ευρώπη και χώμα δημιουργείται από μεταφερόμενη τέφρα και ποτάμια λάβας. Μερικά από τα πιο γόνιμα εδάφη έχουν δημιουργηθεί από αλλούβιο που μεταφέρεται από ποτάμια όπως στην Κοιλάδα του Νείλου, το οποίο προέρχεται από χώμα και πέτρες στα Υψίπεδα της Αιθιοπίας. Αυτά τα παραδείγματα, μαζί με άλλα που μπορεί να δοθούν, δείχνουν ότι τα εδάφη έχουν μια παροδική συμπεριφορά μέσα στο χρόνο.

Αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθεί με τη δημιουργία εδαφών η διάβρωση του εδάφους θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 12. Η διαδικασία δημιουργίας του εδάφους συνήθως χωρίζεται σε (i) στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και (ii) στην προσθήκη οργανικής ύλης και στη δημιουργία δομών που χαρακτηρίζουν το έδαφος, όπως θα γίνει εδώ. Η δυο διαδικασίες, συνήθως, γίνονται ταυτόχρονα, όπως, και η διάβρωση. Το πρώτο με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι η δημιουργία των ορυκτών συστατικών του χώματος.

3.2 Πετρώματα και αποσάθρωση πετρωμάτων

Τρεις μεγάλες ομάδες πετρωμάτων υπάρχουν: τα πυριγενή, ιζηματογενή και τα μεταμορφωμένα. Τα πυριγενή πετρώματα δημιουργούνται από το μάγμα το οποίο έχει κρυσώσει. Μια μεγάλη ποικιλία πυριγενών πετρωμάτων διαμορφώνονται σύμφωνα με τη χημική σύσταση του μάγματος και το ρυθμό με τον οποίο κρυσώνει. Οι γρανίτες, για παράδειγμα, δημιουργούνται από μάγμα που κρυσώνει αργά και περιέχει πολύ πυρίτιο, περιέχουν μεγάλες ποσότητες από χαλαζία και αστρίους οι οποίοι βρίσκονται σαν μεγάλοι κρύσταλλοι. Αντίθετα, οι βασάλτες δημιουργούνται από μάγμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο περιέχουν αμφίβλους, πυρόξενους και ολιβίνες, και το μέγεθος του κρυστάλλου είναι μικρό γιατί το μάγμα πάγωσε γρήγορα. Ο πίνακας 3.1 δείχνει τη γενική χημική σύσταση αυτών των ορυκτών πρέπει να σημειωθεί ότι η πραγματική σύσταση μερικών ορυκτών μπορεί να διαφέρει, σε μικρό βαθμό, σχετικά με τη σύσταση του μάγματος από το οποίο προήλθαν.

Name	Chemical formula	Presence in soil
Quartz	SiO_2	Most common mineral in sand and silt fractions
Orthoclase feldspar	KAlSi_3O_8	Present in weakly and moderately weathered soils
Muscovite (a mica)	$\text{K}(\text{Si}_3\text{Al})\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	
Biotite (a mica)	$\text{K}(\text{Si}_3\text{Al})(\text{Mg, Fe})_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Easily weathered to form clay minerals
Pyroxenes	$(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$	
Amphiboles	$(\text{Mg, Fe})_7(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	
Olivines	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	

Πίνακας 3.1. Τα κύρια ορυκτά στα πυριτικά πετρώματα και τα αρχικά ορυκτά στο έδαφος.

Τα ιζηματογενή πετρώματα, όπως φαίνεται και από το όνομά τους κατακάθισαν ως ιζήματα.

Το υλικό είναι προϊόν αποσάθρωσης και διάβρωσης πετρωμάτων και έχει περάσει από τουλάχιστον ένα κύκλο αποσάθρωσης. Ως αποτέλεσμα του διαχωρισμού των σωματιδίων κατά τη μεταφορά, τα ιζηματογενή πετρώματα έχουν ένα στενό εύρος όσον αφορά το μέγεθος των σωματιδίων και γι' αυτό μπορούν να χαρακτηριστούν ως αμμώδη (ψαμμίτες), ιλυώδη και αργιλώδη. Τα ιζηματογενή πετρώματα μπορεί να διαμορφωθούν από την πτώση και κατακάθηση απομνηαριών ζώων και φυτών, ανθρακικού ασβεστίου και ασβεστολίθων που είναι και τα πιο συχνά εμφανιζόμενα παραδείγματα.

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι η τρίτη ομάδα που αναγνωρίζεται από τους γεωλόγους. Υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις προκαλούν κάποιο βαθμό κρυσταλλοποίησης στα ιζηματογενή πετρώματα, μετατρέποντας τους ψαμμίτες σε χαλαζία και την άργιλο σε αργιλικό σχιστόλιθο. Η γεωλογική διαμόρφωση που ονομάζεται Basement Complex («σύμπλοκο του υπογείου») το οποίο βρίσκεται κάτω από μεγάλο μέρος του εδάφους της Αφρικής, αποτελείται από μερικώς μεταμορφωμένα πυριγενή πετρώματα.

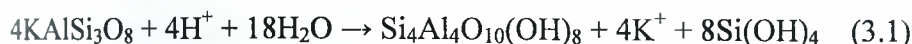
Τα εδάφη διαμορφώνονται από τρεις ομάδες πετρωμάτων αλλά και από κατακάθια γνωστά ως φερτά υλικά που αφήνονται από παγετώνες, αλλούβιου στις πεδιάδες και κολούβιου στα χαμηλά σημεία των απόκρημνων πλευρών λόφων.

Διαδικασία αποσάθρωσης

Η φυσική αποσάθρωση προκαλεί τις πέτρες και τα ορυκτά να θρυμματίζονται. Η διαδικασία, αναλόγως το κλίμα στο οποίο εκτίθεται το πέτρωμα, περιέχει διαφορετική θερμική διαστολή και συστολή διαφορετικών ορυκτών, διαστολή ρωγμών όταν παγώνει το νερό και γδάρισμα από παγετώνες και αερομεταφερόμενη άμμο. Η θρυμματίωση αυξάνει την επιφάνεια του πετρώματος και του ορυκτού, με αποτέλεσμα να αφήνει τη χημική αποσάθρωση να συμβαίνει πιο γρήγορα.

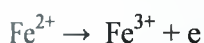
Διάφορες διαδικασίες μπορούν να περιληφθούν στην χημική αποσάθρωση όπως φαίνεται στα παρακάτω παραδείγματα:

α) Υδρόλυση ορθοκλάστων και αστρίων:



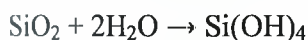
Όπου μπορεί να γίνει αποξήρανση, ιόντα K και πυριτικό οξύ απομακρύνονται και ο καολινίτης μένει ως υπόλειμμα. Άλλα αργιλικά ορυκτά μπορούν να σχηματιστούν, όπως συζητείται παρακάτω.

β) Οξειδωση του δισθενούς σιδήρου Fe^{2+} σε τρισθενή σίδηρο Fe^{3+} .

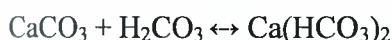
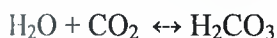


Ο βιοτίτης, μέλος της ομάδας των μαρμαρυγιών, περιέχει Fe^{2+} ως συστατικό του πλέγματος του. Κατά την αποσάθρωση ο Fe^{2+} οξειδώνεται και δημιουργεί ένα περίβλημα ένυδρου Fe^{3+} οξειδίου $\text{Fe}(\text{OH})_3$, στις επιφάνειες των προϊόντων αποσάθρωσης. (βλ. 5.8)

γ) Ενυδάτωση, για παράδειγμα του χαλάζια



δ) Ανθράκωση, όπως σε ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο:



Σε περιοχές με ανθρακικό ασβέστιο και ασβεστόλιθο το όξινο ανθρακικό ασβέστιο διαλύεται στο νερό που στάζει (ένα συστατικό του σκληρού νερού). Το όξινο ανθρακικό ασβέστιο ξανακατακάθεται αν ανέβει η θερμοκρασία του διαλύματος, η μερική πίεση του CO_2 στην ατμόσφαιρα μειωθεί, ή το διάλυμα εξατμιστεί * με αποτέλεσμα τη δημιουργία των σταλαγμιτών και των σταλακτιτών. Αυξημένη συγκέντρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα, όπως συμβαίνει στις τελευταίες δεκαετίες, θα αυξήσει το ρυθμό ανθράκωσης.

Η αποσύνθεση ακόμα συμβαίνει λόγω των λειχήνων (συνεργασία μυκήτων και άλγης), μικροοργανισμών εδάφους και των ριζών ψηλών δέντρων. Το διοξείδιο του άνθρακα, που απελευθερώνεται από την αναπνοή μέσα στο έδαφος διαλύεται στο νερό και μειώνει το pH, αυξάνοντας την υδρόλυση των ορυκτών. Η παραγωγή οργανικών οξέων από αυτούς του οργανισμούς έχει το ίδιο αποτέλεσμα. Τα οργανικά οξέα και ο χούμος επίσης δημιουργούν σταθερά σύμπλοκα με πολλά μέταλλα τα οποία βοηθούν στην απομάκρυνση τους από τη δομή των ορυκτών. Το αποτέλεσμα από αυτούς τους βιολογικούς παράγοντες αυξάνει το ρυθμό αποσύνθεσης ειδικά σε εδάφη με μεγάλη βιολογική δραστηριότητα.

3.3 Τα προϊόντα της αποσάθρωσης

Όλες οι χημικές αντιδράσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω εξαρτώνται από την παρουσία νερού. Σε ένα τελείως ξηρό περιβάλλον δεν υπάρχει χημική αποσάθρωση πετρωμάτων και τα προϊόντα της αποσάθρωσης είναι θραύσματα πετρωμάτων και ορυκτών που δεν έχουν υποστεί καμιά χημική αλλαγή.

Σε δεδομένη θερμοκρασία, όσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση του πετρώματος σε νερό τόσο μεγαλύτερη είναι η χημική αποσάθρωση. Η επίδραση της θερμοκρασίας από μόνη της είναι κυρίως στο ποσοστό της διάβρωσης αν και η θερμοκρασία επηρεάζει ακόμα τη φύση των προϊόντων που δημιουργούνται. Όπου η ζώνη αποσάθρωσης είναι υγρή για το μεγαλύτερο μέρος του έτους και η θερμοκρασία υψηλή, όπως στην τροπική ζώνη, υπάρχει ένα βαθύ στρώμα διαβρωμένων πετρωμάτων και θραυσμάτων από ορυκτά μεταξύ του κατωτάτου σημείου του εδάφους και του πετρώματος. Αυτό το υλικό αποσάθρωσης, ο σαπρολίτης, είναι ήδη διαβρωμένο από νερό και άπλα συσσωρεύεται σε μέρη που είναι φυσικά σταθερά. Κάτω από τέτοιες συνθήκες έχουν παρατηρηθεί βάθη δέκα μέτρων και παραπάνω με σαπρολίτη.

Ορυκτά στην ομάδα των αργιλικών διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια της αποσάθρωσης, από:

1. Αναδιαμόρφωση της δομής αρχικών πυριτικών ορυκτών (ένα παράδειγμα είναι η δημιουργία από μαρμαρυγίες όπως ιλλίτης, γνωστός ως ένυδρος μαρμαρυγίας, από την αντικατάσταση του Κ από ιόντα που είναι πιο ενυδατωμένα).
2. Σύνθεση από τα προϊόντα αποσάθρωσης (καολινίτης μπορεί να διαμορφωθεί από αυτή τη διαδικασία ως επιπρόσθετο στην υδρόλυση όπως στην εξίσωση (3.1)).
3. Ακραία αποσάθρωση, η οποία αφήνει μόνα τα ελάχιστα διαλυτά συστατικά όπως αιματίτη, Fe_2O_3 , και γκιψίτη $Al(OH)_3$.

Σμεκτίτες (κεφάλαιο 2.7) δημιουργούνται όπου υπάρχουν ταυτόχρονα ασβέστιο, μαγνήσιο, πυρίτιο και αργίλιο, συνήθως επειδή έχει γίνει αποσάθρωση υπό ημιάνυδρες συνθήκες, ή τα υλικά αποσάθρωσης έχουν συσσωρευτεί σε χαμηλού υψομέτρου περιοχές. Σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο σε τροπικά μέρη τα πιο διαλυτά προϊόντα της αποσάθρωσης διαχωρίζονται, και καολινίτης δημιουργείται εκεί που υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση πυριτίου. Διο μη κρυσταλλικά αργιλικά ορυκτά – αλλοφανής και μογοκολίτης – δημιουργούνται από ηφαιστειακή τέφρα και με το χρόνο δημιουργείται καολινίτης και η ενυδατωμένη του μορφή ο αλλοϋσίτης.

Στα συγκριτικά νέα εδάφη της βόρειας Ευρώπης, Ασίας και Αμερικής, η αργιλική ομάδα που εμφανίζεται στο έδαφος συνήθως περιέχει ιλλίτη, μικτά στρώματα πυριτικών ορυκτών και γκοθίτη (ένα ένυδρο οξειδίο του σιδήρου). Κάτω από εντατικότερη αποσάθρωση, ο

καολινίτης κυριαρχεί όπου υπάρχει ελεύθερη αποξήρανση, και οξείδια σιδήρου, αργιλίου και τιτανίου, όπου υπάρχει ακραία αποσάθρωση.

Για να συνοψίσουμε, τα αποτελέσματα από τη φυσική και χημική αποσάθρωση είναι 3:

1. Οι συμπαγείς πέτρες σπάνε δημιουργώντας χώρο για τα φυτά τα οποία προσθέτουν οργανική ύλη στα στοιχεία του ορυκτού.
2. Οι αλλαγές στη σύνθεση των ορυκτών οφείλονται α) στο χάσιμο εύκολα αποικοδομήσιμων ορυκτών, όπως αστρίων, σιδηρομαγνησιακών ορυκτών όπως αυγίτη και κεροστίλβη, και βιοτίτη, και β) στη δημιουργία αργιλικών ορυκτών. Η ορυκτή σύνθεση του εδάφους εξαρτάται από τα αρχικά ορυκτά, την ένταση της αποσάθρωσης και αν τα διαλυτά προϊόντα έχουν διαχωριστεί ή συσσωρευτεί.
3. Η χημική σύνθεση είναι επίσης αλλαγμένη. Σύγκριση μεταξύ της σύνθεσης των πετρωμάτων και των προϊόντων τους λόγω αποσάθρωσης, σε μεμονωμένα μέρη, δείχνει ότι το Na, Ca, Mg και λιγότερο το K διαχωρίζονται μέσω της αποξήρανσης.

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη σύνθεση των συστατικών από ανόργανα υπολείμματα είναι το αρχικό υλικό, το κλίμα (θερμοκρασία και βροχόπτωση), χρόνος (διάρκεια αποσάθρωσης), τοπογραφία (υψόμετρο) και βιολογικοί παράγοντες. Αυτό το θέμα ξανασυζητείται στο κεφάλαιο 3.6 .

Προσθήκη και αποσύνθεση της οργανικής ύλης

Αν δεν προσθέταμε επιπλέον οργανική ύλη, η αποσύνθεση της θα μείωνε την οργανική ύλη στο έδαφος σε σημείο που θα την εξαντλούσε, αν και θα έπαιρνε αρκετές εκατοντάδες χρόνια για να οξειδωθεί όλος ο υπαρκτός χούμος. Πρακτικά η οργανική ύλη προστίθεται από τα υπέργεια τμήματα των φυτών και δέντρων, άλλα και από τις ρίζες (Κεφάλαιο 5.2). Το ποσό οργανικού άνθρακα που υπάρχει στο έδαφος κανονίζεται από την ποσότητα της οργανικής ύλης που εισχωρεί στο χώμα κάθε χρόνο και το ρυθμό αποσύνθεσης της.

Παραδείγματα από συσσώρευση και μείωση οργανικού άνθρακα φαίνονται στο σχήμα 3.1 .

Η ετησία αλλαγή μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$dC/dt = A - rC \quad (3.6)$$

όπου A είναι η ετησία προσθήκη οργανικού άνθρακα, r είναι η σταθερά αποσύνθεσης, το οποίο είναι συνάρτηση του οργανικού άνθρακα που αποσυντέθηκε σε CO₂ κάθε χρόνο, και C είναι η ποσότητα οργανικού άνθρακα που ήδη υπάρχει στο χώμα.

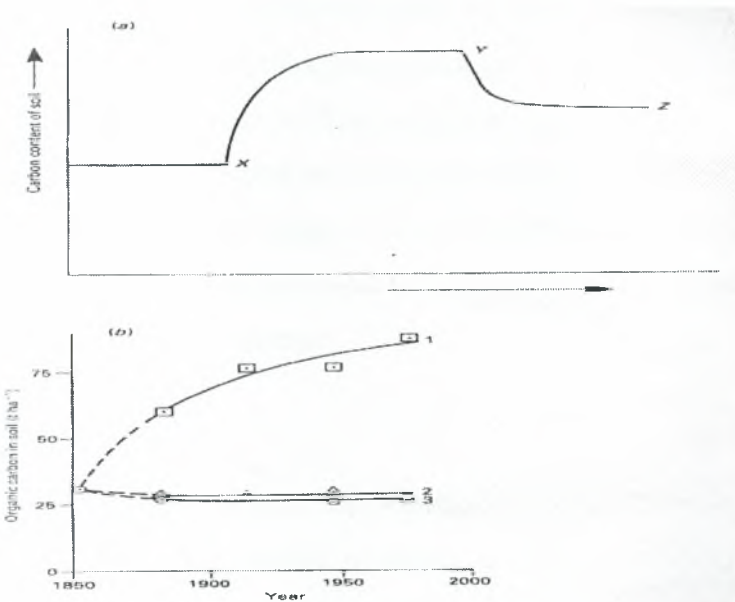
Όταν οι ρυθμοί προσθήκης και αφαίρεσης είναι ίσοι $dC/dt = 0$ και $A = rC_e$, όπου C_e είναι η ποσότητα του οργανικού άνθρακα σε ισορροπία (σχήμα 3.1 α). Αυτό προσφέρει ένα μέσο υπολογισμού του r ως A/C_e . Αν για παράδειγμα, η εισαγωγή (A) άνθρακα σε ένα παλιό

καλλιεργήσιμο χωράφι με στάρι είναι $1,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ και περιέχει 34 t οργανικού άνθρακα σε ένα βάθος 23 cm (C_e), τότε $r = 1,7/34 = 0,05$. Με άλλα λόγια 5% του οργανικού άνθρακα αποσυντίθεται κάθε χρόνο.

Το δυναμικό της οργανικής ύλης του εδάφους υπολογίζεται από το χρόνο ημιζωής ($t_{1/2}$) και τον κύκλο του άνθρακα στο έδαφος (t_e) :

$$t_{1/2} = 0,693/r$$

και $t_e = C_e/A = 1/r$.

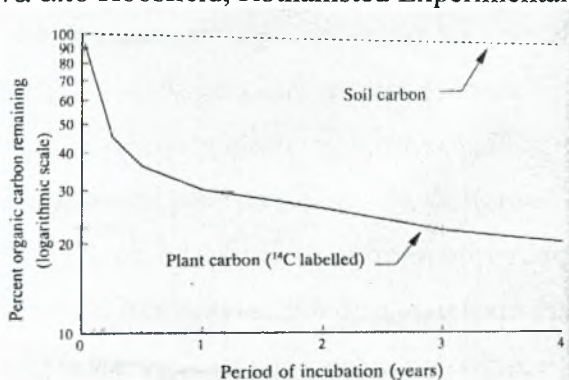


Σχήμα 3.1 Η οργανική ύλη συστατικό των εδαφών.

(α) Το περιεχόμενο ισορροπίας, X, άλλαξε σε Y, σε μια καινούρια τιμή ισορροπίας και αργότερα σε Z, καθώς το σύστημα καλλιέργειας άλλαξε.

(β) Αποτελέσματα ετήσιας προσθήκης κοπριάς (1), και λιπασμάτων (2) στο υπάρχον περιεχόμενο οργανικού άνθρακα στο έδαφος συγκρινόμενο με αυτό χωρίς κοπριά (3).

Δεδομένα από Hoosfield, Rothamsted Experimental Station.



Εικόνα 3.2 : Σύγκριση των τιμών της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης του εδάφους και κομμένου χόρτου εκκολαπτόμενο στο έδαφος(τροποποιημένο από τον Jenkinson, D.S.1965, journal of soil science 16, 104-15).

Ο χρόνος ημιζωής είναι ο χρόνος που απαιτείται για έναν οργανικό άνθρακα να διασπαστεί στο μισό του αρχικού του επιπέδου. Ο χρόνος επαναφοράς, ο οποίος είναι η μέση ηλικία του εδάφους άνθρακα, ορίζεται ως η ποσότητα του άνθρακα στο έδαφος σε ισορροπία, διαιρεμένη με την ετήσια εισαγόμενη ενέργεια. Στο παράδειγμα που δίνεται, η μέση ηλικία του εδάφους άνθρακα είναι $1/0.05 = 20$ χρόνια.

Είναι γνωστό ότι τα υπολείμματα του φυτού, τα οποία προστίθενται φρέσκα στο έδαφος, αποσυντίθενται γρηγορότερα από το χούμο του εδάφους. Η εικόνα 3.2 δείχνει τις συγκριτικές τιμές της αποσύνθεσης της σίκαλης και του χούμου στο ίδιο έδαφος, η σίκαλη ονομάζεται με ^{14}C (ένα ραδιονουκλεοτίδιο) για να επιτρέψει τις απώλειές του να διακριθούν από τις απώλειες του μη ονομαζόμενου εδάφους C(C¹²). Αποτελέσματα σαν αυτά στην εικόνα 3.2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποδείξουμε τιμές του τ για διαδοχικά στάδια στη διαδικασία της αποσύνθεσης και μετά να βελτιώσουμε τον υπολογισμό του επιπέδου αλλαγής του περιεχομένου του εδάφους άνθρακα.

3.5 Διαδικασίες Δημιουργίας Εδάφους (Εδαφογένεση)

Το έδαφος αρχίζει να δημιουργείται όταν τα φυτά εγκατασταθούν στο ανόργανο υπόστρωμα. Αυτό μπορεί να είναι γεωλογικά υλικά που διαβρώνονται εύκολα, τα οποία έχουν δημιουργηθεί επιτόπου μέσω διάβρωσης, χαλάσματα που έχουν εναποτεθεί από πάγο, αέρα ή ποτάμια ή έδαφος που έχει ανακτηθεί από την θάλασσα. Εάν οι συνθήκες της ανάπτυξης των φυτών είναι κατάλληλες, το περιεχόμενο της οργανικής ύλης μπορεί να αυξηθεί γρήγορα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1α. Τα φύλλα και τα στελέχη των φυτών πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους και μία υψηλή πυκνότητα ριζών αναπτύσσεται κοντά στην επιφάνεια αυτή. Φυσιολογικά λοιπόν το περιεχόμενο της οργανικής ύλης είναι μεγαλύτερο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ μειώνεται στα βάθη του.

Στο Τμήμα 2.8 αναφέρθηκε ότι οι οργανικές ουσίες (humus) και το ανόργανο έδαφος, το οποίο αποτελείται από άργιλο, ιλύ και άμμο αλληλεπιδρούν για να δημιουργήσουν μείγματα. Τα μέλη της πανίδας του εδάφους, όπως για παράδειγμα τα σκουλήκια που σκάβουν λαγούμια στο χώμα, δημιουργούν αυλάκια, τα οποία παραμένουν μετά τον μαρασμό των ριζών. Όταν το έδαφος, το οποίο περιέχει το ορυκτό σμεκτίτη, ξεραθεί δημιουργούνται ρωγμές. Η διάταξη λοιπόν των οργανικών σωματιδίων (δομή του

εδάφους) είναι διαφορετική από αυτή του διαβρωμένου οργανικού εδάφους. Αρκετές διαδικασίες προκαλούν αυτές αλλά και άλλες αλλαγές (Πίνακας 3.2). Οι διαδικασίες που κυριαρχούν στο σημείο εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ορισμένες θα αναλυθούν παρακάτω.

Πίνακας 3.2. Διαδικασίες δημιουργίας εδάφους

1. Διάβρωση γονικού υλικού.
2. Πρόσθεση και μερική αποσύνθεση του οργανικού υλικού.
3. Δημιουργία δομικών μονάδων.
4. Διήθηση και οξίνιση.
5. Αλουβίωση ανόργανου εδάφους (clay eluviation).
6. Δημιουργία εδάφους ποδζόλ (podzolization).
7. Desillication
8. Μείωση
9. Υφαλμύρωση και αλκαλοποίηση
10. Διάβρωση και εναπόθεση διαβρωμένου εδάφους.

Σημείωση: οι διαδικασίες 1,2 και 3 συμβαίνουν κατά τη δημιουργία όλων των εδαφών. Το να συμβούν οι διαδικασίες 4 έως 10 εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

1. Διήθηση και οξίνιση

Εάν παρουσιαστεί υπερβολική βροχή έτσι ώστε το νερό να στραγγίζεται δια μέσου του προφίλ του εδάφους, οι διαλυτές ουσίες απομακρύνονται. Επίσης, ακόμη και σε μία μη μολυσμένη ατμόσφαιρα, το βρόχινο νερό είναι όξινο, διότι το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται σε αυτό για να δημιουργήσει ανθρακικό οξύ. Αρκετές διαδικασίες εκτός από την όξινη βροχή οδηγούν στην οξίνιση του εδάφους, όπως έχει περιγραφεί πλήρως στο Τμήμα 9.5.

Στα όξινα εδάφη οι μύκητες γίνονται κυρίαρχα μέλη του μικροβιακού πληθυσμού. Επίσης, αλλάζει και η σύνθεση της πανίδας του εδάφους. Για παράδειγμα, ο αριθμός των σκουληκιών που σκάβουν λαγούμια μειώνεται εάν το pH είναι μικρότερο του 5. Ένα αποτέλεσμα είναι η καθυστέρηση της αποσύνθεσης του προστιθέμενου οργανικού υλικού. Αυτό μπορεί να συσσωρευτεί στην επιφάνεια, δημιουργώντας μία μορφή γνωστή ως mor humus, στην οποία κατακρατείται η δομή των υπολειμμάτων των φυτών. Αυτό είναι διαφορετικό από το mull humus, το οποίο δημιουργείται σε

σχεδόν ουδέτερες συνθήκες, είναι περισσότερο αποσαθρωμένο και κατανέμεται πιο ομοιόμορφα δια μέσου του προφίλ του εδάφους.

2. Αλουβίωση εδάφους

Σε πολλές περιοχές του κόσμου ο πηλός ‘ξεπλένεται’ από το άνω τμήμα του προφίλ του εδάφους και εναποτίθεται πιο χαμηλά. Το άνω τμήμα, από το οποίο μετακινήθηκε ο πηλός, είναι γνωστό ως Α ή αλλουβιακός ορίζοντας (eluvial horizon, eluvial σημαίνει ‘ξεπλυμένος’) και το κατώτερο τμήμα ως Β ή προσχωματικός ορίζοντας (illuvial horizon, illuvial σημαίνει εναπόθεση λόγω του ξεπλύματος). Το έδαφος μετακινείται μέσω του νερού, το οποίο κινείται δια μέσου των πόρων αυτού.

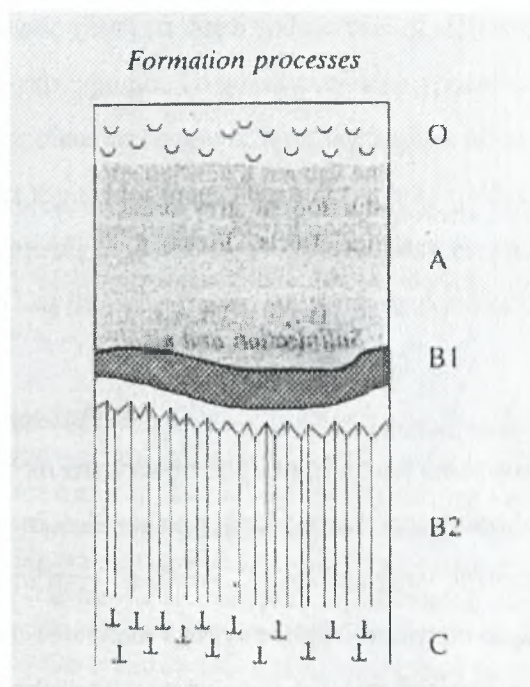
Εναποτίθεται στον ορίζοντα Β, συνήθως με διατεταγμένο τρόπο, όπως όταν ο πηλός κολλάει στους πόρους του τοίχου. Η εναπόθεση μπορεί να οφείλεται σε μείωση της ροής του νερού ή σε αλλαγές των χημικών συνθηκών, οι οποίες κάνουν την κατακράτηση του πηλού μη σταθερή. Οι αργιλικοί (πηλός) ορίζοντες μπορούν επίσης να δημιουργηθούν μέσω των διαδικασιών διάβρωσης, αλλά αυτές δεν δημιουργούν διατεταγμένη εναπόθεση του πηλού. Οι αργιλικοί ορίζοντες εμφανίζονται συχνά στο έδαφος. Παρατηρούνται σε εδάφη Alfisol και Ultisol (Τμήμα 3.7).

3. Δημιουργία εδάφους ποδζόλ (podzolization)

Η λέξη ποδζόλ (podzol) προέρχεται από τα Ρωσικά και συχνά μεταφράζεται ως ‘κάτω από την στάχτη’. Η λέξη στάχτη αναφέρεται στο αποχρωματισμένο, γκρι της στάχτης χρώμα του άνω Α ορίζοντα (Εικόνα 1.). Η διαδικασία της δημιουργίας εδάφους ποδζόλ εμφανίζεται στα όξινα εδάφη. Τα οργανικά οξέα με χαμηλή μοριακή μάζα, το φυλβικό οξύ και οι πολυφαινόλες των φύλλων των φυτών δημιουργούν διαλυτά σύμπλοκα με τον σίδηρο, τον πηλό και το αλουμίνιο. Τα οργανικά και ανόργανα στοιχεία μεταφέρονται από το νερό και εναποτίθενται στον ορίζοντα Β. Έχουν προταθεί και άλλες διαδικασίες, αλλά αυτή έχει λάβει την περισσότερη πειραματική στήριξη.

Η δημιουργία εδάφους ποδζόλ πραγματοποιείται σε εδάφη με ελεύθερη απορροή κάτω από κωνοφόρα δάση, οξιές και βελανιδιές (και αρκετά άλλα είδη δέντρων), καθώς επίσης και κάτω από θάμνους, όπως τα είδη *Calluna* και *Erica*. Εμφανίζεται συνήθως σε δροσερές και υγρές περιοχές. Η εμφάνιση του αναγνωρίζεται απευθείας

και η διαδικασία έχει μελετηθεί ευρέως. Ο όρος ‘ποδζόλ’ χρησιμοποιείται ακόμα, αν και έχει αντικατασταθεί από τον συνώνυμο όρο ‘spodosol’.



Εικόνα 3.3.

προφίλ του ποδζόλ. Η οριζόντων είναι η στρώμα), A ορίζοντας με ανοιχτό (προσχωματικός ο οποίος μπορεί να

Διάγραμμα του σειρά των εζής: O (οργανικό (αλλουβιακός χρώμα), B1 ορίζοντας, ο αποτελείται από

ένα στρώμα με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη πάνω από ένα στρώμα με υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του σιδήρου), B2 (ορίζοντας κηλιδωμένος από οργανική ύλη και οξείδιο του σιδήρου), C (ορίζοντας μη επηρεασμένος από την διαδικασία δημιουργίας ποδζόλ).

4. Desilication

Ο όρος αυτός αναφέρεται στην μεγαλύτερη διήθηση του διοξειδίου του πυριτίου (silica), το οποίο είναι σχετικό με τα οξείδια του σιδήρου και του αλουμινίου. Η διαδικασία εμφανίζεται στις τροπικές περιοχές. Δημιουργεί εξαιρετικά πορώδη εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίου του σιδήρου και λιγότερο συχνά γκιψίτη (gibbsite), $Al(OH)_3$. Το είδος oxisol είναι ένα από τα είδη που εμφανίζουν αυτές τις ιδιότητες. Εμφανίζεται σε παλιές επιφάνειες γης, όπως στην Νότια Αμερική.

5. Μείωση

Όταν παροχετεύεται νερό στο έδαφος, ο αέρας του εδάφους αντικαθίσταται με νερό και η δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους ελαχιστοποιείται λόγω της έλλειψης οξυγόνου και οξέα παράγονται λόγω της ζύμωσης. Η οργανική ύλη συσσωρεύεται, καθώς η οξειδωση της είναι εξαιρετικά αργή κάτω από αυτές τις συνθήκες και μπορεί να δημιουργηθεί τύρφη. Οι μικροοργανισμοί μειώνουν το Fe^{+3} σε Fe^{+2} έτσι ώστε το έδαφος χάνει τα καφέ χρώμα των οξειδίων του σιδήρου και παίρνει ένα γκρι ή μπλε-γκρι χρώμα. Το χρώμα αυτό περιγράφεται ως κηλιδωμένο. Εάν οι συνθήκες μείωσης είναι προσωρινές λαμβάνει χώρα μόνο μερική μείωση και το χρώμα παρουσιάζει μία κηλιδωμένη εμφάνιση με καφέ κηλίδες λόγω του οξειδίου του σιδήρου και γκρι περιοχές εκεί που αυτό έχει μειωθεί. Η χημική μείωση μέσω μικροοργανισμών έχει άλλα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

6. Υφαλμύρωση και αλκαλοποίηση

Η υφαλμύρωση αναφέρεται στην συσσώρευση αλάτων, όπως τα σουλφονικά και τα χλωριούχα άλατα, ενώ η αλκαλοποίηση αναφέρεται στην συσσώρευση νατρίου στα σημεία ανταλλαγής κατιόντων. Τα άλατα, τα οποία έχουν μετακινηθεί στην στεριά από τους ωκεανούς μέσω του αέρα, έχουν εισαχθεί στο νερό άρδευσης ή έχουν παραχθεί μέσω της αποσάθρωσης, συσσωρεύονται σε κοιλάτητες και μπορεί να κάνουν το έδαφος άγονο. Τα άλατα δημιουργούν μεγάλο πρόβλημα στην άρδευση των χωρών με ζεστό κλίμα εάν χρησιμοποιείται μη επαρκές νερό για την διήθηση τους από το προφίλ του εδάφους. Εάν η αλμυρότητα οφείλεται κυρίως στα άλατα νατρίου, εμφανίζεται αλκαλοποίηση όταν το Ca^{2+} ή το Mg^{2+} κατακάθονται ως ανθρακικά άλατα ή διηθούνται και το Na^{+} καταλαμβάνει το 10-15% των σημείων ανταλλαγής κατιόντων. Εάν υπάρχουν αυτές οι συνθήκες, η δομή του εδάφους καταρρέει, το pH αυξάνεται άνω του 8 και η καλλιέργεια γίνεται εξαιρετικά δύσκολη (βλέπε επίσης Τμήμα 8.10).

7. Διάβρωση και εναπόθεση

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η ύπαρξη του εδάφους στην γεωλογική χρονική κλίμακα είναι προσωρινή. Το έδαφος είναι πάντα επιρρεπές σε διάβρωση μέσω του αέρα ή του νερού (Κεφάλαιο 12). Το διαβρωμένο υλικό μπορεί να εναποτεθεί σε κοιλάδες ποταμών για να παράσχει το υλικό για την δημιουργία νέου χώματος ή μπορεί να χαθεί στους ωκεανούς. Το υλικό που μετακινείται από τους ανέμους μπορεί

παρομοίως να χαθεί ή να εναποτεθεί σε ήδη υπάρχον χώμα. Οι διαδικασίες $i - vi$ δεν πραγματοποιούνται πάντα ομαλά. Επιπροσθέτως, συχνά διακόπτονται από την αλλαγή του κλίματος, την ανθρώπινη παρέμβαση κ.τ.λ. Παρακάτω μελετώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την δημιουργία του εδάφους.

3.6 Παράγοντες δημιουργίας εδάφους

Κατά την περιγραφή των διαδικασιών της δημιουργίας του εδάφους στο προηγούμενο τμήμα, έγινε αναφορά στην επιρροή του γονικού υλικού του εδάφους, στην βροχόπτωση, στην θερμοκρασία και σε άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Όλες αυτές οι συνθήκες είναι παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες του εδάφους. Οι παράγοντες αυτοί τοποθετήθηκαν σε μία εξίσωση από τον Jenny:

$$s = f(cl, o, r, p, t, \dots)$$

όπου s = ιδιότητες του εδάφους, cl = κλίμα, o = οργανισμοί, r = ανακούφιση, p = γονικό υλικό και t = χρόνος. Έτσι, το χώμα είναι μία συνάρτηση (f) πέντε παραγόντων του εδάφους, ενώ εάν είναι απαραίτητο μπορούμε να προσθέσουμε και άλλους. Ο Jenny τροποποίησε αργότερα την εξίσωση:

$$s = f(L_o, P_x, t)$$

όπου L_o = η κατάσταση του συστήματος όταν ξεκινά η δημιουργία του εδάφους (μπορεί να περιλαμβάνει ανόργανα και οργανικά υλικά και ανακούφιση), P_x = σύνθεση των εξωτερικών παραγόντων (περιλαμβάνει το κλίμα και τους οργανισμούς) και t = χρόνος.

Οι εξισώσεις εκφράζουν πολυπλοκότητα σε μία απλή μορφή της. Η χρησιμότητα τους είναι μέγιστη όταν συσχετίζουμε τις ιδιότητες του εδάφους με έναν μόνο παράγοντα δημιουργίας του, ενώ οι υπόλοιποι παραμένουν σταθεροί. Για παράδειγμα, ο Jenny συσχέτισε το άζωτο που περιέχεται στο έδαφος με το κλίμα. Αυτό μπορεί να γίνει και για τις άλλες ιδιότητες του εδάφους, αν και η μελέτη δυσκολεύει καθώς οι παράγοντες εκτός αυτού που βρίσκεται υπό εξέταση μένουν σπάνια σταθεροί. Η έννοια των παραγόντων που επηρεάζουν την δημιουργία του εδάφους είναι παρόλα αυτά χρήσιμη, διότι βοηθά στην περιγραφή της διαμόρφωσης της κατανομής του χώματος σε ένα χώρο.

Γονικό υλικό

Το αποτέλεσμα του γονικού υλικού είναι περισσότερο έκδηλο στο νεαρό χώμα. Το αποτέλεσμα αυτό μειώνεται όσο περισσότερο διαρκούν οι διαδικασίες σχηματισμού του εδάφους και όσο πιο έντονες είναι αυτές. Τα εδάφη που δημιουργούνται σε γρανίτη είναι πολύ αμμώδη, λόγω του χαλαζία που παρατηρείται στον γρανίτη. Επίσης, είναι πιθανό να έχουν χαμηλό pH και συστατικά και να τείνουν προς της δημιουργία εδάφους ποδζόλ. Τα βασικά πυριγενή πετρώματα περιέχουν σιδηρομαγνητικές ανόργανες ουσίες. Περιέχουν ελάχιστο χαλαζία και δημιουργούν εδάφη με πηλό ή άργιλο, τα οποία έχουν υψηλό pH και συστατικά. Παρομοίως, τα εδάφη που δημιουργούνται σε παγωμένες περιοχές της Ευρώπης, της Βόρειας Αμερικής και Ασίας καθώς και τα εδάφη που δημιουργούνται σε προσχωσιγενή πετρώματα έχουν ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζονται έντονα από την φύση του γονικού υλικού.

Ανακούφιση επιφάνειας

Στις πλαγιές το χώμα μετακινείται κατηφορικά, όπου συσσωρεύεται ως απορρίμματα αφήνοντας τις άνω πλευρές της περιοχής ρηχές. Τα εδάφη στα κοιλάματα και τις κοιλάδες είναι συνήθως πιο υγρά από αυτά των πλαγιών, διότι είτε ο υδάτινος ορίζοντας του προφίλ είναι υψηλότερος, είτε το νερό έχει συσσωρευτεί από την βαρύτητα ή είτε και για τους δύο λόγους. Στην περιοχή ανάμεσα στις κοιλάδες, η παροχεύεση συχνά αναστέλλεται στις κορυφές των λόφων, οι οποίες είναι επίπεδες ή έχουν μικρή κλίση. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστεί μείωση (βλέπε Τμήμα 5.8). Όταν το κλίμα ή το γονικό υλικό είναι σταθερά ή ποικίλουν παρόμοια με το υψόμετρο, η διαμόρφωση του χώματος ακολουθεί την τοπογραφία και είναι γνωστή ως *toposequence*.

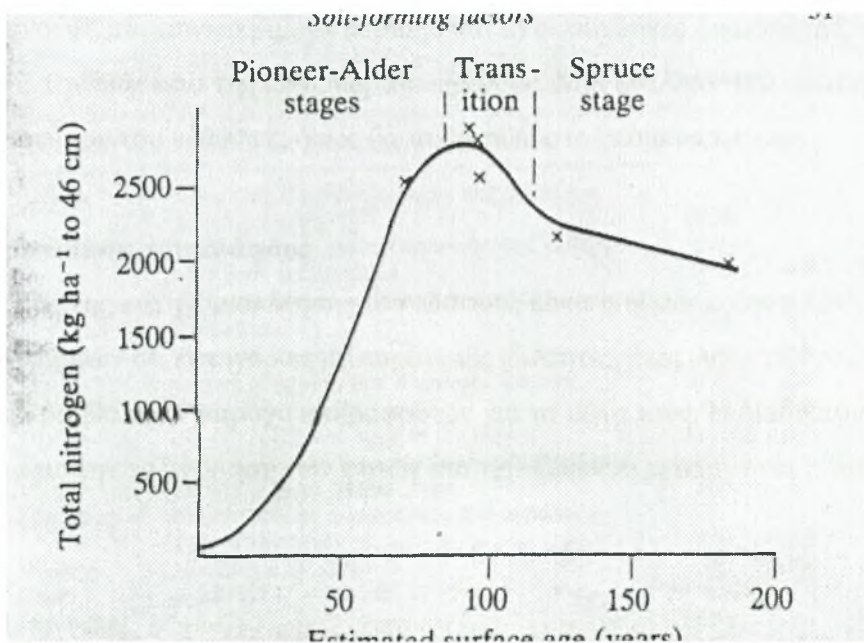
Κλίμα

Η ευρεία διαμόρφωση της κατανομής του χώματος λόγω του κλίματος σημειώθηκε για πρώτη φορά στην Ρωσία. Σε αυτή την τεράστια ηπειρωτική περιοχή η θερμοκρασία αυξάνεται από τον βορά προς τον νότο και η ετήσια βροχόπτωση από την ανατολή προς την δύση. Η βλάστηση αλλάζει ανάλογα με το κλίμα, αλλά το γονικό υλικό και η ανακούφιση είναι σχετικά σταθερά και οι ιδιότητες του εδάφους μπορούν να σχετιστούν με το κλίμα. Η σχέση αυτή έχει αναπτυχθεί περαιτέρω. Τα

εδάφη που ταιριάζουν στις κλιματικές ζώνες είναι γνωστά ως Zonal, αυτά, στα οποία κυριαρχεί η επιρροή του γονικού υλικού ονομάζονται Intrazonal και αυτά, στα οποία περιορίζεται η δημιουργία του εδάφους είναι γνωστά ως Azonal. Οι ιδέες, ως αναφορά τους παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή του χώματος πέρασαν από την USSR στις Ηνωμένες Πολιτείες και άλλες χώρες, όπου τροποποιήθηκαν για να ταιριάζουν με τις υπάρχουσες συνθήκες.

Οργανισμοί

Ο όρος περιλαμβάνει την βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο. Το αποτέλεσμα της βλάστησης μπορεί να παρατηρηθεί στις περιοχές θερμοκρασίας σε μία παλιά δασωμένη περιοχή. Το προφίλ του χώματος έχει συνήθως ένα οργανικό στρώμα από μερικώς αποσυντιθέμενα απορρίμματα και, ανάλογα με τα είδη των δέντρων, συχνά εμφανίζει δημιουργία εδάφους ποδζόλ, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω. Στα λιβάδια, η οργανική ύλη είναι συνήθως φυλλόχωμα (mull humus) και κατανέμεται ομαλά στο προφίλ. Στις περιοχές θερμοκρασίας τα σκουλήκια που σκάβουν λαγούμια παρουσιάζουν αυξημένο αποτέλεσμα στην μείξη των συστατικών του χώματος, το οποίο είναι σχεδόν ουδέτερο. Στις τροπικές περιοχές, οι τερμίτες συγκεντρώνουν τμήματα φυτών και, μέσω της δημιουργίας λόφων και υπόγειων κοιλοτήτων, αναμειγνύουν τους ορίζοντες του εδάφους και δημιουργούν μεγάλα αυλάκια, τα οποία μεταφέρουν το νερό της βροχής. Οι μικροοργανισμοί ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την αποσύνθεση των υπολειμμάτων των φυτών στο χώμα, αλλά έχουν και αρκετά άλλα αποτελέσματα. Τέλος, ο άνθρωπος αποτελεί μία σημαντική επιρροή, αλλάζοντας δραστικά τα εδάφη μέσα από την καλλιέργεια και την άρδευση, την πρόσθεση υδροξειδίου του ασβεστίου και άλλων χημικών και την επιτάχυνση της διάβρωσης.



Εικόνα 3.4. Η γρήγορη συσσώρευση του αζώτου στα στρώματα χώματος και απορριμμάτων μετά από την υποχώρηση του πάγου στη νοτιοανατολική Αλάσκα

Χρόνος

Ο χρόνος αποτελεί παράγοντα, καθώς οι περισσότερες ιδιότητες του εδάφους εξαρτώνται από την χρονική περίοδο κατά την οποία δρουν οι διαδικασίες του χώματος. Ο χρόνος αυτός μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος ενός παγετού, την πτώση ηφαιστειακής στάχτης, το κάψιμο δασών, ή λόγω άλλων γεγονότων, τα οποία μπορούν να καταγραφούν χρονικά. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.4.

Ο ρυθμός, όμως, της δημιουργίας του εδάφους είναι πιο πολύπλοκος από ότι φαίνεται αρχικά. Εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους που μελετώνται. Έτσι, η οργανική ύλη αλλάζει γρηγορότερα από ότι η συγκέντρωση των αργιλικών ορυκτών.

Εξαρτάται επίσης από το γονικό υλικό, την κλίση και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την δημιουργία του εδάφους. Ο ρυθμός της δημιουργίας του εδάφους μελετάται και στο Τμήμα 12.4 σε σχέση με το 'αποδεκτό όριο' της απώλειας του χώματος λόγω διάβρωσης.

Οι παράγοντες και οι διαδικασίες δημιουργίας του εδάφους παρέχουν μέσα γενίκευσης. Οι περιορισμοί τους είναι οι εξής: 1) συνήθως δεν είναι επαρκώς χαρακτηρισμένοι σε μία συγκεκριμένη περιοχή και 2) οι συνθήκες δημιουργίας αλλάζουν κατά την διάρκεια της ιστορίας του εδάφους. Μία εναλλακτική είναι η χρήση των ιδιοτήτων του εδάφους, όπως θα συζητηθεί στο επόμενο τμήμα .

3.7.Κατηγοριοποίηση του εδάφους

Ο σκοπός της κατηγοριοποίησης του εδάφους είναι η ομαδοποίηση των διαφορετικών εδαφών σε κατηγορίες με παρόμοιες ιδιότητες, έτσι ώστε το όνομα των κατηγοριών να βοηθά στην παροχή πληροφοριών για τα μέλη τους. Η διαδικασία αυτή είναι ίδια με την ταξινόμηση των φυτών και των ζώων: η επικοινωνία είναι

δυνατή μόνο εάν γνωρίζουμε για το τι εννοούμε όταν λέμε για παράδειγμα οικιακή γάτα, ακόμα και αν οι γάτες έχουν διαφορετικά χρώματα και μεγέθη. Εάν πρέπει να τοποθετηθεί ένα όνομα σε μία κατηγορία χόματος, πρέπει να παρέχει πληροφορίες, οι οποίες ισχύουν για όλα τα μέλη της ομάδας, ακόμη και εάν τα μέλη αυτή μπορεί να διαφέρουν σε άλλες πλευρές.

Έχουν δημιουργηθεί πολλά συστήματα ταξινόμησης των εδαφών. Η κάθε χώρα τείνει να δημιουργεί ένα δικό της σύστημα, έτσι ώστε να αξιολογεί τις πηγές χόματος που έχει. Για την παγκόσμια όμως κατανόηση απαιτείται η χρήση γενικότερων συστημάτων. Τα δύο ευρύτερα χρησιμοποιούμενα συστήματα έχουν δημιουργηθεί από την FAO και στις Ηνωμένες Πολιτείες από το Τμήμα Γεωργίας. Ένα από τα δύο χρησιμοποιείται από αρκετές χώρες.

Το σύστημα USDA περιγράφηκε το 1975 στο Ταξινομικό Σύστημα Soil Taxonomy. Το υψηλότερο επίπεδο κατηγοριοποίησης είναι η τάξη (order), από τις οποίες υπάρχουν 10 (Πίνακας 2). Οι υπόλοιπες κατηγοριοποιήσεις υπό της Τάξης είναι η Υπόταξη (suborder), η Μεγάλη Ομάδα (Great Group), η Υποομάδα (Subgroup), η Οικογένεια (Family) και η Σειρά (Series). Οι περισσότερες από τις δέκα τάξεις χαρακτηρίζονται από διαγνωστικούς ορίζοντες. Για παράδειγμα, τα Spodosols (προηγούμενων γνωστά ως podzol) χαρακτηρίζονται από ορίζοντες, στους οποίους παρατηρείται προσωματική συσσώρευση ελεύθερου σιδήρου, οξειδίων του αλουμινίου και οργανικής ύλης. Σε χαμηλότερα επίπεδα ταξινόμησης, ο διαχωρισμός γίνεται σύμφωνα με την υγρασία του χόματος και την θερμοκρασία, τον βαθμό έκφρασης των οριζόντων και άλλες ιδιότητες.

Το σύστημα FAO έχει 26 τάξεις, οι οποίες είναι αντίστοιχες (κατά προσέγγιση) με τις Υποτάξεις και τις Μεγάλες Ομάδες του Soil Taxonomy. Για τον λόγο αυτό είναι συχνά δυνατή η χρήση και των δύο συστημάτων. Το FAO διατήρησε προηγούμενες ονομασίες, όπως το Podzol και το Chernozem και εισήγαγε και νέες.

Μία μεγάλη δυσκολία στην καθιέρωση ενός συστήματος ταξινόμησης, το οποίο θα είναι χρήσιμο σε όλο τον κόσμο, είναι ότι πολλές περιοχές δεν έχουν μελετηθεί.

Εκτός και εάν υπάρξει μία μελέτη του εδάφους, οι ιδιότητες του χόματος πρέπει να εξαχθούν από εναέριες φωτογραφίες και δεδομένα δορυφόρων. Αυτές οι τεχνικές παρέχουν ένα τρόπο κατά προσέγγιση αντικατάστασης των υπολογισμών που γίνονται στο έδαφος, αλλά δεν μπορούν να τις αντικαταστήσουν πλήρως.

Πίνακας 2 Τάξεις εδαφών που χρησιμοποιούνται στο Soil Taxonomy

Τάξεις εδαφών	Ορισμένες ιδιότητες της κάθε τάξης	Mha	%
Alfisols	Εδάφη με μετακίνηση και εναπόθεση πηλού	1730	13.1
Aridisols	Εδάφη σε ξηρά κλίματα όπου μπορεί να έχουν συσσωρευτεί άλατα και ανθρακικά άλατα	2480	18.8
Entisols	Προσφάτως δημιουργημένα εδάφη με ελάχιστη ανάπτυξη οριζόντων	1090	8.2
Histosols	Τύρφη και έλη	120	0.9
Inceptisols	Νεαρά εδάφη με ελάχιστα διαγνωστικά χαρακτηριστικά	1170	8.9
Mollisols	Εύκρατα λιβάδια	1130	8.6
Oxisols	Εδάφη με υψηλή διάβρωση σε τροπικές περιοχές	1120	8.5
Spodosols	Εδάφη με συσσώρευση οργανικών υλικών και οξειδίων σιδήρου / αλουμινίου	560	4.3
Ultisols	Εδάφη με μεταφορά και εναπόθεση πηλού (χαμηλά συστατικά)	730	5.6
Vertisols	Εδάφη με εξογκώματα πηλού	230	1.8
Σύνολο		10.360	
Βουνά		2.810	
<u>Σύνολο</u>		<u>13.170</u>	

Μια επιπρόσθετη τάξη εδαφών, αυτή των Andisols προτείνεται να συμπεριληφθεί.

Για περισσότερες πληροφορίες κοιτάξτε στο Buol, S.W., Hole, F.D. and McCracken, R.J. 1989. Soil Genesis and Classification, 3rd edition. Iowa State University Press, Ames.

Περίληψη

Το χόμα αποτελείται από ανόργανες ουσίες, οι οποίες αντιστέκονται στην αποσάθρωση, πηλό, που έχει δημιουργηθεί από την αποσάθρωση και οργανική ύλη. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει ανθρακικό ασβέστιο, θειικό ασβέστιο, και άλλες χημικές ενώσεις.

Η σύνθεση των εδαφών και οι ιδιότητες των προφίλ τους εξαρτώνται από την φύση του γονικού υλικού, τις διαδικασίες που έχει λάβει χώρα μετά την έναρξη της δημιουργίας του εδάφους και τον σχετικό ρυθμό της πρόσθεσης και της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης.

Έχει περιγραφεί μία σχέση, η οποία συσχετίζει μία ιδιότητα του χώματος με πέντε παράγοντες δημιουργίας του εδάφους. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο έχει σχετιστεί με τις βροχοπτώσεις και την θερμοκρασία. Συχνά υπάρχουν ανεπαρκείς πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες της δημιουργίας του εδάφους στο παρελθόν (και την διάβρωση) και για τον λόγο αυτό δεν μπορεί να καθιερωθεί αυτός ο τύπος σχέσης.

Υπάρχουν τεράστιες διαφορές ανάμεσα στα προφίλ των εδαφών από τόπο σε τόπο σε όλη της επιφάνεια της γης. Για να περιγράψουμε τα προφίλ των εδαφών με έναν κατανοητό τρόπο, πρέπει να εισάγουμε πολλά σχέδια ταξινόμησης.

Κεφάλαιο 4 : Προσροφητικές ιδιότητες του εδάφους

4.1 Ηλεκτρικά φορτισμένες επιφάνειες

4.2 Ανταλλάξιμα κατιόντα και ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων

4.3 Το στρώμα διάχυσης

4.4 Χαρακτηριστικά της ανταλλαγής κατιόντων

4.5 Επιλεκτικότητα της προσρόφησης κατιόντων

4.6 Διατήρηση ανιόντων

4.7 Απορρόφηση των οργανικών μορίων

4.8 Προσρόφηση των αερίων

4.9 Περίληψη

Ως αποτέλεσμα της διάβρωσης και της προσθήκης των οργανικών συντριμμιών, τα εδάφη περιέχουν μεταλλεύματα αργίλου και οργανική ουσία. Αυτά τα δύο συστατικά προσροφούν ιόντα, μόρια και αέρια. Σημαντικές συνέπειες αυτής της ιδιότητας είναι ότι τα εδάφη ενεργούν σαν ουδέτερη ζώνη μεταξύ της ατμόσφαιρας και των υπόγειων νερών, και παρέχουν εγκαταστάσεις με σταθερό ανεφοδιασμό θρεπτικών ουσιών. Το χώμα έχει αυτή την προσροφητική ιδιότητα εξαιτίας των ηλεκτρικών δαπανών και της μεγάλης επιφάνειας των μεταλλευμάτων και του φυτοχώματος αργίλου, όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια.

4.1 Ηλεκτρικά φορτισμένες επιφάνειες

Εξαιτίας της δομής τους και της χημικής τους σύνθεσης, τα ορυκτά του αργιλώδους εδάφους και του χούμου συνήθως φέρουν ένα αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1, το ηλεκτρικό φορτίο μπορεί να είναι μόνιμο, δηλαδή παραμένει το ίδιο οποιαδήποτε κι αν είναι το pH του διαλύματος εφόσον η δομή παραμένει ανέπαφη. Μόνο 2:1 ορυκτά αργιλώδους εδάφους έχουν ένα επικρατών μόνιμο ηλεκτρικό φορτίο.

Από τις επιφάνειες και τα άκρα των ορυκτών του αργιλώδους εδάφους (πυριτικά άλατα αλουμινίου και ένυδρα οξείδια σιδήρου και αλουμινίου) και από τις όξινες ομάδες του χούμου, τα πρωτόνια διαχωρίζονται σε ένα βαθμό που εξαρτάται απ' το pH.

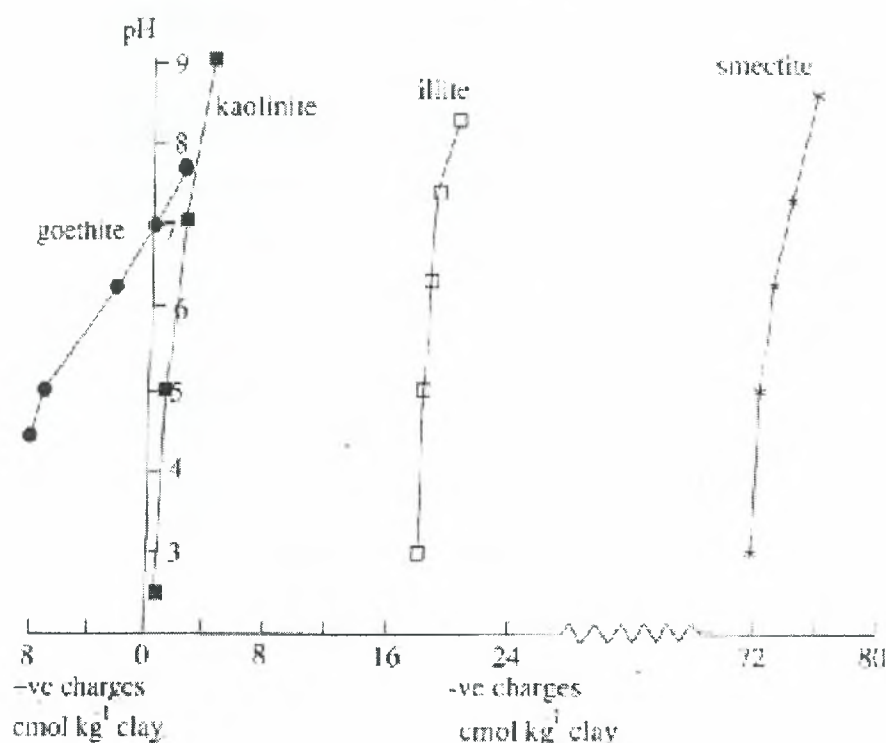
Πίνακας 4.1. Πηγές ηλεκτρικού φορτίου σε αργιλώδες έδαφος και χούμου

1. Μόνιμο αρνητικό φορτίο σε 2:1 και 2:2 αργιλώδες ορυκτά που οφείλεται σε ισομορφική υποκατάσταση.

2. Φορτία που εξαρτώνται από το pH:

α) αρνητικά φορτία σε σπασμένες επιφάνειες και άκρα αργιλωδών ορυκτών.

Sorptive properties



Σχήμα 4.1. Θετικά και αρνητικά φορτία σε τρία αργιλώδη πυριτικά άλατα: σμεκτίτης, ιλίτης, καολινίτης και σε υδρογονούχο οξύδιο του σιδήρου. (Από τους Greenland, D.J. και Mott, C.J.B., 1978. Στην Χημεία των Συστατικών του Εδάφους (eds. D.J Greenland and M.H.B. Hayes). Wiley, Chichester.)

Κατιόντα που εξισορροπούν το φορτίο

Το αρνητικό φορτίο εξισορροπείται ακριβώς από κατιόντα που απορροφώνται.

Μερικά από τα κατιόντα σε 2:1 αργίλους κρατούνται στις περιοχές των μεσοστρωμάτων και μπορούν να διαχέονται μόνο πολύ χαμηλά στο εξωτερικό διάλυμα. Αυτά τα κατιόντα ονομάζονται «μη-ανταλλάξιμα». Το Σχήμα 4.2 δείχνει μη ανταλλάξιμα ιόντα καλίου που κρατούνται στις στενές περιοχές των μεσοστρωμάτων ανάμεσα στα φύλλα διοξειδίου του πυριτίου του ιλύτη. Τα κατιόντα που κρατούνται στις άκρες και πάνω στις επιφάνειες των μορίων έχουν έτοιμη πρόσβαση στο εξωτερικό διάλυμα και περιγράφονται ως «ανταλλάξιμα».

Τα 2:1 αργιλώδη ορυκτά, όπως ο ιλίτης, που κρατούν μη ανταλλάξιμα κατιόντα έχουν μια υψηλή πυκνότητα φορτίου, δηλαδή, ένα υψηλό φορτίο ανά μονάδα περιοχής της επιφάνειας και τα φύλλα του διοξειδίου του πυριτίου κρατούνται σφιχτά

μαζί. Ο σμεκτίτης έχει μια χαμηλότερη πυκνότητα φορτίου και έτσι τα φύλλα διοξειδίου του πυριτίου δεν κρατούνται μαζί τόσο δυνατά.

Πίνακας 4.2. Ιδιότητες της επιφάνειας που συμπεριλαμβάνουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) σε pH 7 των αντιδραστικών συστατικών του εδάφους.

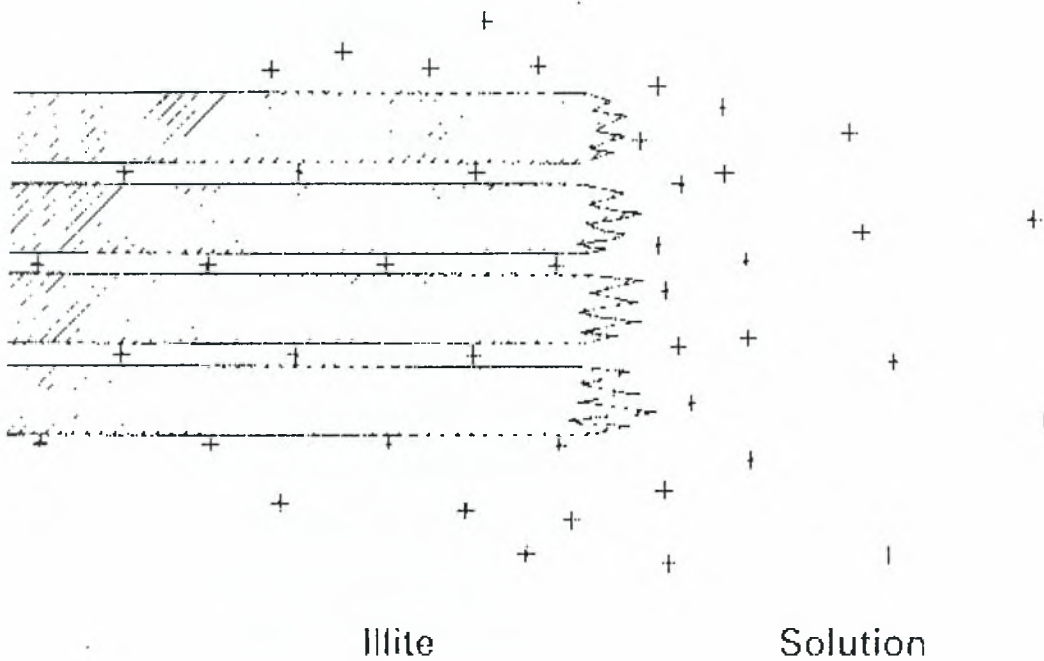
Electrically charged surfaces

Table 4.2. *Surface properties including cation exchange capacity (CEC) at pH 7 of the reactive soil components*

	Approximate surface area (m ² kg ⁻¹)	Approximate CEC (mol _c kg ⁻¹) ^a	Approximate surface charge density (μmol _c m ⁻²)	Dominant negative charge
Kaolinite	(1-2)×10 ⁴	0.02-0.06	1-6	pH-dependent
Illite	1×10 ⁵	0.3	3	permanent
Smectites	8×10 ⁵	1.0	1	permanent
Vermiculite	8×10 ⁵	1.4	2	permanent
Fe and Al oxides	3×10 ⁴	0.005	0.2	pH-dependent
Allophane	(5-7)×10 ⁵	0.8	1.5	pH-dependent
Humic acid	9×10 ⁵	3.0	3	pH-dependent

«Μονάδες για CEC είναι mol_c kg⁻¹ (moles φορτίου ανά kg). Μερικές φορές εκφράζονται ως cmol_c kg⁻¹ δηλαδή centimoles (0.01 mole) του φορτίου ανά χιλιόγραμμα. Στην παλιότερη βιβλιογραφία οι μονάδες συνήθως είναι χιλιοστο-ισοδύναμες (meq) ανά 100g εδάφους. 1meq ανά 100g = 1cmol_ckg⁻¹. Σημειώστε ότι για τα μονοσθενή ιόντα, π.χ. Na⁺, 1 mole = 1 ισοδύναμο. Για τα δισθενή ιόντα, π.χ. Ca²⁺, 1 mole = 2 ισοδύναμα. Για τα τρισθενή ιόντα π.χ. Al³⁺, 1mol=3ισοδύναμα.

Σχήμα 4.2. Ανταλλάξιμα και μη ανταλλάξιμα κατιόντα στον άργιλο. Τα κατιόντα (+) που κρατούνται κοντά στις εξωτερικές επιφάνειες των μορίων αργίλου είναι ανταλλάξιμα. Μερικά αργιλώδη ορυκτά, π.χ. ιλλίτης, περιέχουν κατιόντα καλίου στα διαστήματα των μεσοστρωμάτων, τα οποία είναι μη ανταλλάξιμα.



Ως αποτέλεσμα, κάθε μεσοστρωμάτιος χώρος είναι φαρδύτερος και τα κατιόντα σ' αυτό το χώρο μπορούν εύκολα να διαχέονται στο εξωτερικό διάλυμα. Η σημαντική συνέπεια είναι ότι ο σμεκτίτης με περισσότερη διαθέσιμη περιοχή στην επιφάνεια, κρατάει περισσότερα ανταλλάξιμα κατιόντα απ' ότι ο ιλλίτης, ο οποίος έχει μια υψηλότερη πυκνότητα φορτίου.

4.2 Ανταλλάξιμα κατιόντα και ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων

Όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, το αρνητικό φορτίο του χούμους και μέρος του αρνητικού φορτίου των αργιλωδών ορυκτών ποικίλει με το pH. Η ικανότητα των εδαφών να κρατούν ανταλλάξιμα κατιόντα συνεπώς εξαρτάται επίσης από το pH και συνήθως μετριέται στο εργαστήριο με έναν απ' τους δύο τρόπους:

1. Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) μετριέται σε ένα σταθερό pH, συνήθως 7. Αυτό γίνεται πιο εύκολα περνώντας ένα διάλυμα οξικού αλατος αμμωνίου, το οποίο γίνεται ρυθμιστικό σε pH 7, διαμέσου του εδάφους για να αντικαταστήσει όλα τα ανταλλάξιμα κατιόντα με ιόντα αμμωνίου. Τα ποσά των κατιόντων που εκτοπίζονται μπορούν να καθορισθούν με τυποποιημένες χημικές μεθόδους και το σύνολο είναι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Εναλλακτικά, το πλεόνασμα των οξικών αλάτων του αμμωνίου ξεπλένεται από το έδαφος και μετά το ανταλλάξιμο αμμώνιο αντικαθίσταται από ένα άλλο κατιόν και μετριέται.

2. Η CEC μετριέται στο pH του εδάφους αντικαθιστώντας τα ανταλλάξιμα κατιόντα με ένα διάλυμα καλιούχου χλωριδίου, το οποίο δεν είναι ρυθμιστικό. Όλα τα αντικαθιστώμενα κατιόντα καθορίζονται και η άθροισή τους είναι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, γνωστή τώρα ως την αποτελεσματική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ECEC).

Η Μέθοδος 1 μπορεί να θεωρηθεί ότι δίνει ένα σταθερό αποτέλεσμα επειδή είναι ανεξάρτητη απ' την μεταβλητότητα του pH του εδάφους. Η Μέθοδος 2, ωστόσο, δίνει μια τιμή πιο σχετική με τις πραγματικές συνθήκες του εδάφους. Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο να χαρακτηρίσει τα εδάφη, στα οποία το περισσότερο απ' το αρνητικό φορτίο εξαρτάται απ' το pH, όπως πολλά εδάφη στις τροπικές περιοχές. Το αργιλώδες τμήμα και το χούμους συμβάλει το καθένα στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ενός εδάφους. Εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των επιφανειών τους δεν είναι αυστηρά σωστό να υπολογίσουμε την CEC ενός εδάφους απ' την άθροιση των CECs των στοιχείων. Η άθροιση είναι ωστόσο χρήσιμη στο να δείξει τη σχετική σημασία των συνεισφορών της οργανικής ύλης και των αργιλωδών ορυκτών στην CEC και την επίδραση του pH. Δύο παραδείγματα είναι:

1. Σε ένα έδαφος με pH 7 με 10% άργιλο που συντίθεται από ιλλίτη, ο οποίος έχει 0.3 mole φορτίου ανά kg ($0.3 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$) και 3% χούμους ($3.0 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$) η CEC με προσθήκη είναι $(0.3 \times 0.1) + (3.0 \times 0.03) = 0.03 + 0.09 = 0.12 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$, με την συνεισφορά του χούμους να είναι μεγαλύτερη από εκείνη στον άργιλο. Εάν το περιεχόμενο του αργίλου πέσει στο 1% η CEC του εδάφους γίνεται $0.06 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$.

2. Σε ένα έδαφος με pH 4 με 10% καολινίτη άργιλο (ca. $0.04 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$) και 3% χούμους, η CEC είναι κοντά στο μηδέν επειδή τα αρνητικά φορτία και στα δύο συστατικά εξαρτώνται απ' το pH και τείνουν προς το μηδέν σε pH 4. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο εάν τα αργιλώδη ορυκτά είναι σίδηρος και οξειδία του αλουμινίου. Σε πολλά εδάφη των τροπικών περιοχών αυτά τα οξειδία ή ο καολινίτης κυριαρχούν στο αργιλώδες τμήμα έτσι ώστε όταν είναι όξινα το έδαφος έχει πολύ χαμηλές ικανότητες ανταλλαγής κατιόντων. Με τον ιλλίτη άργιλο, όπως στο παράδειγμα 1, η CEC είναι κατά πολύ ανεξάρτητη από το pH έτσι ώστε σε pH 4 η CEC του εδάφους θα ήταν περίπου $0.03 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$. Αυτός είναι ένας λόγος γιατί η όξυνση του εδάφους μπορεί να είναι πιο σοβαρή στις τροπικές περιοχές απ' ότι στις εύκρατες όπου τα εδάφη συνήθως περιέχουν 2:1 αργιλώδη ορυκτά, τα οποία έχουν κατά πολύ μόνιμο αρνητικό φορτίο.

Τα ανταλλάξιμα κατιόντα που βρίσκονται σε ένα δείγμα εδάφους μπορούν να καθορισθούν με μεθόδους αντικατάστασης που αναφέρθηκαν πιο πάνω που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την CEC. Τα ποσά ποικίλουν κατά πολύ ανάμεσα στα εδάφη. Τα ποσά σε ένα έδαφος από τη Σενεγάλη (Πίνακας 4.3) είναι χαμηλότερα από ότι σε πολλά εδάφη εύκρατων περιοχών, αλλά στο βάθος της ρίζας είναι υπερβολικά σε απαιτήσεις, στις ετήσιες σοδειές, τουλάχιστον για ασβέστιο και μαγνήσιο.

Table 4.3. *Exchangeable cations in a soil profile from Senegal*

Depth (cm)	Exchangeable cations				Bulk density (g cm ⁻³)
	Ca	Mg	K	Na	
(a) Exchangeable cations in cmol kg ⁻¹					
0-6	1.13	0.53	0.15	0.05	1.3
6-13	0.85	0.33	0.10	0.05	1.3
13-31	0.85	0.05	0.05	trace	1.4
31-79	1.05	0.03	0.05	trace	1.4
(b) Exchangeable cations in kg ha ⁻¹					
0-6	353	99	46	9	
6-13	309	72	35	10	
13-31	857	30	49	—	
31-79	2822	48	131	—	
Total	4341	249	261	19	

Πίνακας 4.3 Ανταλλάξιμα κατιόντα σε ένα προφίλ εδάφους από τη Σενεγάλη

Παράδειγμα Υπολογισμού: Για το Ca, 1,13cmol kg⁻¹

$$=1,13 \cdot 0,40 \text{ g kg}^{-1} = 1,13 \cdot 0,40 \cdot 10^{-3} \text{ g g}^{-1} \text{ soil.}$$

$$=1,13 \cdot 0,40 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3 \text{ g cm}^{-3} \text{ soil.}$$

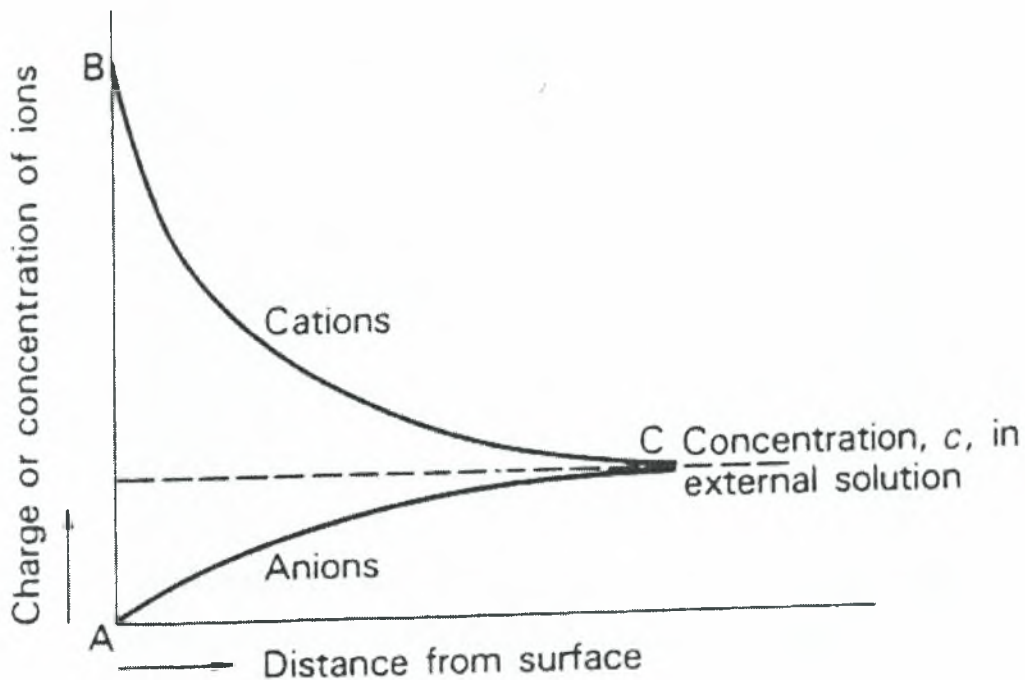
Σε έξι εκατοστά βάθους ο όγκος του χώματος ανά εκτάριο είναι $6 \cdot 10^8 \text{ cm}^3$.

Το ποσό του ασβεστίου είναι επομένως $1,13 \cdot 0,40 \cdot 10^{-3} \cdot 1,13 \cdot 6 \cdot 10^8 \cdot 10^{-3} = 353 \text{ kg ha}^{-1}$ σε 6 εκατοστά βάθους.

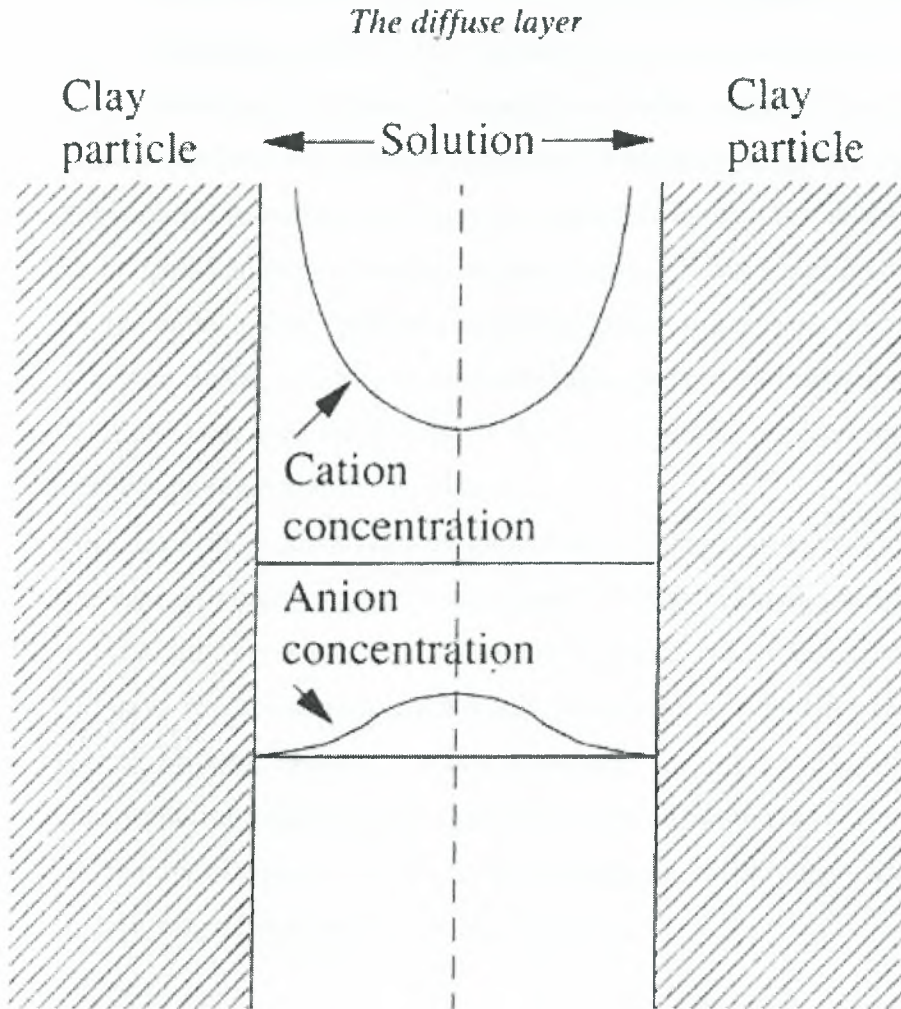
4.3 Το στρώμα διάχυσης

Στο σχήμα 4.2 τα κατιόντα που κρατούνται σε διάλυμα έξω από την αργιλώδη δομή βοηθούν να εξισορροπήσουν το αρνητικό φορτίο αλλά είναι τοποθετημένα μόνο συμμετρικά. Η χωρική κατανομή των ανταλλάξιμων κατιόντων μπορεί να περιγραφεί σε σχέση με δύο αντίθετες δυνάμεις: α) έλξη προς την φορτισμένη

επιφάνεια, η οποία ανεβάζει την συγκέντρωση κατιόντων κοντά στην επιφάνεια και β) διάχυση μακριά από την επιφάνεια προς το εξωτερικό διάλυμα εξαιτίας της διαφοράς στην συγκέντρωση. Το αποτέλεσμα είναι ότι, παρουσία αρκετού νερού, πολλά κατιόντα συμπεριλαμβανομένων και των Na^+ , Mg^{2+} και Ca^{2+} , και σε κάποιο βαθμό τα K^+ και NH_4^+ κατανέμονται σε ένα στρώμα διάχυσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Τα ιόντα σ' αυτό το στρώμα και εκείνα στο εξωτερικό διάλυμα είναι σε μια δυναμική ισορροπία. Επειδή τα Cl^- και NO_3^- απωθούνται από αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες οι συγκεντρώσεις τους είναι χαμηλότερες στο στρώμα διάχυσης απ' ό,τι στο εξωτερικό διάλυμα.



Σχήμα 4.3. Παράσταση του στρώματος διάχυσης των κατιόντων και των ανιόντων κοντά σε μια αργιλώδη επιφάνεια. Προσέξτε ότι η συγκέντρωση των κατιόντων αυξάνεται και η συγκέντρωση των ανιόντων μειώνεται κοντά στην επιφάνεια.



Σχήμα 4.4. Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων και των ανιόντων ανάμεσα σε δύο αργιλώδη μόρια που είναι κοντά το ένα στο άλλο σε υδατικό αιώρημα

Το στρώμα διάχυσης συμπιέζεται σε διαλύματα υψηλής συγκέντρωσης, κυρίως επειδή η διάχυση μακριά από την επιφάνεια είναι λιγότερη. Οι ιδιότητες του κατιόντος επίσης έχουν μια επίδραση: όσο πιο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του τόσο πιο δυνατά προσελκύεται προς την επιφάνεια, και όσο μεγαλύτερη είναι η ενυδάτωσή του, τόσο πιο αδύναμα προσελκύεται. Τα ιόντα νατρίου κρατούνται αδύναμα εξαιτίας του απλού φορτίου, και σε διάλυμα το καθένα έχει ένα μεγάλο κέλυφος από μόρια νερού. Τα ιόντα ασβεστίου κρατούνται πιο γερά και έτσι το στρώμα διάχυσης του κορεσμένου σε αργιλώδες ασβέστιο είναι πιο συμπαγές από ότι εκείνο ενός αργίλου κορεσμένου σε νάτριο. Θα περιγραφεί μια συνέπεια της θεωρίας του στρώματος διάχυσης.

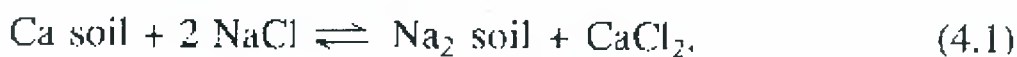
Θεωρήστε την κατανομή ιόντων νατρίου σε ένα αιώρημα 2:1 αργιλώδους πυλού κορεσμένου σε νάτριο (σχήμα 4.4). Όταν οι επιφάνειες των μορίων αργίλου έρχονται πιο κοντά το ένα στο άλλο τα στρώματα έγχυσης των ιόντων νατρίου επικαλύπτονται. Αυτή η επικάλυψη αυξάνει την συγκέντρωσή τους. Υπάρχει τότε μια τάση να απορροφηθεί νερό για να αποκαταστήσουν την αρχική κατανομή των ιόντων. Ως αποτέλεσμα τα αργιλώδη μόρια απωθούν το ένα το άλλο. Εάν το στρώμα διάχυσης είναι κατά πολύ συμπιεσμένο, όπως σε ένα αλατώδες διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης, ή αντικαθιστώντας το Na^+ με Ca^{2+} , τα αργιλώδη μόρια μπορούν να πλησιάσουν πιο πολύ το ένα το άλλο και μετά κολλάνε μαζί. Αυτή είναι μία απ' τις διαδικασίες που συμβαίνει στο σχηματισμό πρόσμιξης εδάφους.

Η συνάθροιση αργιλωδών μορίων δεν συμβαίνει σε ένα έδαφος με υψηλή αναλογία ανταλλάξιμων ιόντων νατρίου (περίπου πάνω από 15% της CEC) και μια χαμηλή περιεκτικότητα άλατος επειδή τα μόρια απωθούν το ένα το άλλο, όπως περιγράψαμε πιο πάνω. Σ' αυτό το είδος εδάφους, γνωστό ως νατριούχο, τα μόρια του εδάφους διασκορπίζονται, δίνοντας εχθρικές φυσικές συνθήκες.

Η θεωρία του στρώματος διάχυσης δεν εφαρμόζεται σε κατιόντα και ανιόντα που σχηματίζουν ένα σύμπλεγμα με τα ορυκτά (ή χούμους) της επιφάνειας. Οι αντιδράσεις τους συζητώνται στις Ενότητες 4.5 και 4.6.

4.4 Χαρακτηριστικά της ανταλλαγής κατιόντων

Τα πειράματα στα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα έδειξαν ότι όταν ένα αραιωμένο διάλυμα από χλωρίδιο του αμμωνίου προστέθηκε στην κορυφή μιας στήλης εδάφους, ένα αραιωμένο διάλυμα χλωριδίου του ασβεστίου ήρθε έξω απ' το βάθος. Η παρατήρηση ήταν σημαντική επειδή έδειξε ότι το σουλφατίδιο του αμμωνίου, τότε εισήχθη ως αζωτούχο λίπασμα, δεν θα σπαταλιώταν με το να ξεπλυθεί γρήγορα από το έδαφος. Η αντίδραση, υποθέτοντας ότι ένα έδαφος είναι κορεσμένο με ασβέστιο, και χρησιμοποιώντας χλωρίδιο του νατρίου αντί για χλωρίδιο του αμμωνίου, μπορεί να αποδοθεί με την εξίσωση:



Τα χαρακτηριστικά από αυτή και άλλες αντιδράσεις ανταλλαγής κατιόντων είναι

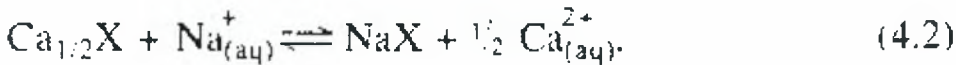
α)είναι γρήγορη

β)είναι ανατρέψιμη

γ)η ανταλλαγή έχει ίσο φορτίο κατιόντων (μόριο/σθένος)

δη κατανομή δύο ειδών κατιόντων π.χ. Na^+ και Ca^{2+} , ανάμεσα στο έδαφος και το διάλυμα εξαρτάται από τις σχετικές τους συγκεντρώσεις και τη δύναμη έλξης στις αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες του αργίλου και του χούμους.

Η εξίσωση 4.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την ισορροπία μεταξύ δύο κατιόντων, όπως όταν ένα διάλυμα ενός νιτρικού άλατος ανακατεύεται καλά με έδαφος κορεσμένο σε ασβέστιο. Μια κοινή μορφή της εξίσωσης, χρησιμοποιώντας το X για να αντιπροσωπεύει το έδαφος, μειώνοντας τους αριθμούς κατά μισό και χρησιμοποιώντας το (aq) για να δείξουμε τα ιόντα στο διάλυμα, είναι



Σε ισορροπία,

$$K^G = \frac{\sqrt{[\text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+}]}}{[\text{Na}_{(\text{aq})}^+]} \cdot \frac{[\text{NaX}]}{[\text{Ca}_{1/2}\text{X}]}, \quad (4.3)$$

όπου οι αγκύλες δείχνουν τα μόρια του φορτίου ανά μονάδα μάζας του εδάφους και τα μόρια του φορτίου ανά μονάδα όγκου του διαλύματος. Το K^G ονομάζεται Gapon constant. Είναι μόνο σταθερά σε μια περιορισμένη ακτίνα αναλογίας κατιόντων. Το κάθε έδαφος έχει τη δική του τιμή K^G για κάθε ζεύγος κατιόντων. Η εξίσωση 4.3 συνήθως χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την επίδραση του αλατούχου νερού άρδευσης στο ποσό του νατρίου που απορροφάται στο έδαφος.

Απ' την εξίσωση 4.3 απορρέει ότι εάν η αναλογία $[\text{Na}_{\text{aq}}^+]/\sqrt{[\text{Ca}_{\text{aq}}]}$ διατηρείται σταθερή, η σύνθεση του εδάφους που εκφράζεται ως $[\text{NaX}]/[\text{Ca}_{1/2}\text{X}]$ θα είναι επίσης σταθερή, τουλάχιστον στο πεδίο όπου K^G είναι σταθερό. Ένα παράδειγμα της χρήσης της Εξίσωσης 4.3 είναι ως εξής:

Για την ανταλλαγή ανάμεσα στα H^+ και Ca^{2+} η εξίσωση είναι

$$K^G = \frac{\sqrt{[\text{Ca}_{(\text{aq})}]} \cdot [\text{HX}]}{[\text{H}_{(\text{aq})}^+]} \cdot \frac{[\text{Ca}_{1/2}\text{X}]}{[\text{HX}]}$$

η οποία μπορεί να γραφεί ως

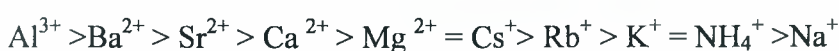
$$\frac{\sqrt{[\text{Ca}_{(\text{aq})}]} \cdot [\text{Ca}_{1/2}\text{X}]}{[\text{H}_{(\text{aq})}^+]} = K^G \cdot \frac{[\text{Ca}_{1/2}\text{X}]}{[\text{HX}]}, \quad (4.4)$$

Εκφραζόμενη με αλγοριθμική μορφή, η αναλογία $\sqrt{[Ca_{(aq)}]/[H^+_{aq}]}$ γίνεται ($pH - 1/2pCa$), γνωστό ως δυναμικός ασβέστης. Η συγκέντρωση των πρωτονίων (H^+) και συνεπώς και το pH ενός διαλύματος του εδάφους θα θεωρείται ότι μεταβάλλεται με τις συγκεντρώσεις άλλων κατιόντων στο διάλυμα. Για να ξεπεράσουμε αυτό το πρόβλημα το pH μπορεί να μετρηθεί σε ένα αιώρημα εδάφους μέσα σε ένα αλατούχο διάλυμα που κρατάει την συγκέντρωση κατιόντων περίπου σταθερή. Σε εδάφη που είναι περίπου ουδέτερα αυτό γίνεται μετρώντας το pH σε 0.01 M χλωρίδιου του ασβεστίου. Ωστόσο, είναι πιο βολικό, και αποτελεί την κοινή πρακτική, να μετράμε το pH ενός αιωρήματος του εδάφους στο νερό.

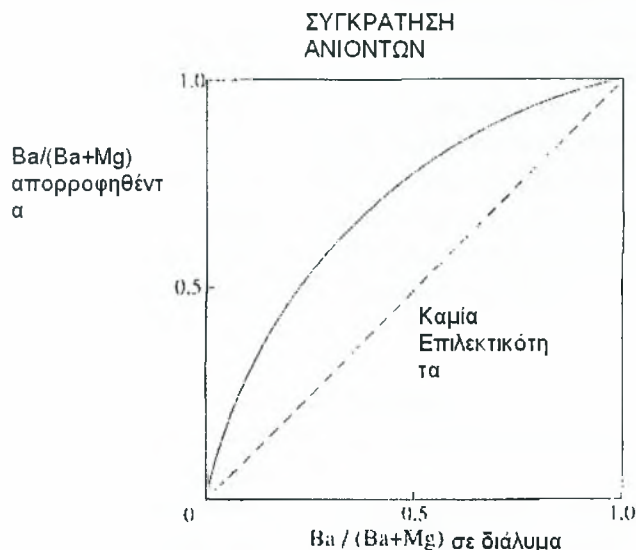
Η εξίσωση 4.3 μπορεί να εκφραστεί ως : «Όταν τα κατιόντα του διαλύματος βρίσκονται σε ισοροπία με έναν μεγαλύτερο αριθμό κατιόντων, μια αλλαγή στην συγκέντρωση του διαλύματος δεν θα ενοχλήσει την ισοροπία αυτή εάν οι επιμέρους συγκεντρώσεις των μονοσθενών ιόντων αλλάξουν σε μία αναλογία, των δισθενών στο τετράγωνο της αναλογίας αυτής ενώ των τρισθενών στον κύβο». Αυτός ο ορισμός είναι γνωστός ως Ο Νόμος Της Αναλογίας. Μπορεί να εφαρμοστεί σε εδαφικά διαλύματα που αυξάνεται η συγκέντρωση τους όταν ξηραίνονται. Για το K^G να παραμείνει συνεχές, δισθενή και τρισθενή ιόντα περνάν μέσα στο διάλυμα και τα μονοσθενή απορροφώνται. Παρομοίως όταν το έδαφος υγραίνεται, μονοσθενή ιόντα περνάν μέσα στο διάλυμα και τα δισθενή και τρισθενή απορροφώνται. Οι σχετικές συγκεντρώσεις των κατιόντων, σε συνεργασία με τη συνολική συγκέντρωση του διαλύματος, ποικίλει ανάλογα με το κατά πόσο το δείγμα μας είναι πιο υγρό ή πιο ξηρό. Η απορρόφηση μιας μικρής ποσότητας κατιόντων έχει ελάχιστη επιρροή στις ποσότητες των άλλων κατιόντων που απορροφώνται. Εάν αυτή η επίδραση είναι τόσο μικρή ώστε να θεωρείται αμελητέα, η απορρόφηση μπορεί να παρασταθεί σαν μια γραφική παράσταση της ποσότητας του απορροφηθέντος ιόντος, x , με το ισορροπημένο διάλυμα συγκέντρωσης, c . Το πηλίκο x/c είναι γνωστό ως συντελεστής απορρόφησης, k . Η σχέση $k = x/c$ ή $x = k \cdot c$, αποτελεί μια απλή διατύπωση της ισότητας γνωστή ως η «εξίσωση Freundlich». Αυτό το είδος διαγράμματος χρησιμοποιείται για την απορρόφηση οργανικών μορίων, και ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο

4.5 Επιλεκτικότητα της απορρόφησης κατιόντων

Η έλξη των περισσότερων κατιόντων για μια επιφάνεια απορρόφησης είναι μεγαλύτερη : (i) για τα δισθενή παρά για τα μονοσθενή ιόντα και (ii) για μεγάλα κατιόντα από ότι για μικρότερα του ίδιου φορτίου αφού όσο μεγαλύτερο είναι το κατιόν, τόσο περισσότερο ενυδατωμένο είναι. Η συνηθισμένη σειρά σχέσης έχει ως εξής :



Η σημασία της επιλεκτικότητας επεξηγείται στο διάγραμμα 4.5 .



Εικόνα 4.5 Η έλξη του Ba+2 και Mg+2 σε επιφάνεια αργίλου. Στην επιφάνεια, η αναλογία του Ba+2 είναι μεγαλύτερη από ότι στο διάλυμα.

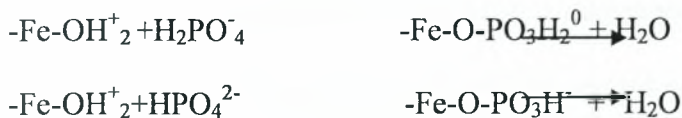
Για K^+ και NH_4^+ , η μορφή του αργίλου επηρεάζει την επιλεκτικότητα και την ευκολία αντικατάστασής τους. Το μέγεθός τους (οι ακτίνες του K^+ και της NH_4^+ είναι 0,13 και 0,14 nm αντίστοιχα) τους επιτρέπει να προσαρμόζονται σε κοιλότητες στα τετραεδρικά στρώματα του τύπου δομής 2:1 ορυκτών, όπου εκεί συγκρατούνται γερά. Εάν ο πηλός ξηραθεί, είναι παγιδευμένοι και διαχέονται πολύ αργά στο εξωτερικό διάλυμα.

Μέταλλα όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο και το νικέλιο συγκροτούνται σε συμπλέγματα ιόντων σε διάλυμα, όπως για παράδειγμα MOH^+ (όπου το M είναι μέταλλο). Αυτά τα μέταλλα σχηματίζονται σε όμοια συμπλέγματα σε επιφάνειες που περιέχουν ομάδες υδροξυλίων, ειδικά εκείνα του ένυδρου σιδήρου, μαγγανίου και οξειδίων του αλουμινίου. Το σύμπλεγμα ιόντων δεν υφίσταται ανταλλαγή κατιόντων και μπορεί να μετατοπισθεί μόνο μέσω απόσταξης με οξέα ή με επιλεγμένα δραστικά μέσα.

4.6 Συγκράτηση ανιόντων

Σε χαμηλό pH, θετικά φορτία αναπτύσσονται στις επιφάνειες ενυδατωμένων οξέων σιδήρου και αλουμινίου και σε μικρότερη έκταση στη δομή τύπου 1:1 ορυκτών αργίλου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το Cl^- , το NO_3^- και άλλα ανιόντα απορροφώνται και υφίστανται ανταλλαγή μεταξύ τους. Η απορρόφηση, ωστόσο, συχνά εμποδίζεται από τον ανταγωνισμό οργανικών ανιόντων.

Ένας πιο σημαντικός μηχανισμός για τη συγκράτηση των ανιόντων ορίζεται ως «ανταλλαγή μορίων». Αυτό αναφέρεται στο σχηματισμό ενός συμπλέγματος επιφανείας, μεταξύ ενός ανιόντος και ενός μετάλλου, συνήθως Fe ή Al, σε ένα ένυδρο οξύ ή ορυκτό άργιλο. Για παράδειγμα :



Αυτές οι αντιδράσεις αυξάνουν το αρνητικό φορτίο στην επιφάνεια .Το πυριτικό άλας ,το θειϊκό άλας και πιθανότατα το φουλβικό οξύ ,απορροφώνται με παρόμοιο τρόπο στο φωσφορικό άλας .Το θειϊκό σχηματίζει πιο ασθενές σύμπλεγμα από το φωσφορικό ,το οποίο είναι δυνατόν παρόλα αυτά να το μετατοπίσει .Το φωσφορικό σύμπλεγμα είναι κυρίως ισχυρό ,με συνέπεια η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στο διάλυμα του εδάφους να είναι χαμηλή .Μπορούν να μετατοπιστούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις από άλλα ισχυρά συνδεδεμένα ανιόντα όπως φθοριούχα και πυριτικά αλλά σε συνθήκες εδάφους η απελευθέρωση φωσφορικών εξαρτάται μερικώς από την παραγωγή οργανικών οξέων ή υδροξυλίων (OH⁻) από μικροοργανισμούς .

4.7 Απορρόφηση οργανικών μορίων

Οι δυο σημαντικές αντιδράσεις συντελούνται μεταξύ εντομοκτόνων και εδάφους και μεταξύ αργίλου και χούμου .

Η κοπριά απορροφάται σε επιφάνειες αργίλου από αντιδράσεις οι οποίες δεν είναι πλήρως κατανοητές .Μια αντίδραση η οποία πιθανόν συντελείται εξαρτάται από την παρουσία δισθενών ή τρισθενών κατιόντων ,τα οποία δρουν σαν γέφυρες μεταξύ αρνητικά φορτισμένων μορίων αργίλου και αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων χούμου .

4.8 Προσρόφηση αερίων

Όλα τα αέρια διαλύονται στο νερό του εδάφους σε κάποιο βαθμό .Η κατανομή τους μεταξύ των υγρών και αερίων φάσεων περιγράφεται από τον Henry Law .

Η διάλυση των αερίων στο νερό του εδάφους θα μπορούσε να περιγραφεί σαν απορρόφηση από το χώμα .Η αμμωνία είναι ένα αρκετά διαλυτό αέριο και διαλύεται σε υδροξείδιο του αμμωνίου .Επίσης ,απορροφάται σε επιφάνειες από άργιλο και χούμο ,μετατοπίζοντας νερό από την υγρασία του πυρήνα των κατιόντων που ανταλλάσσονται και αντιδρώντας με πρωτόνια στις επιφάνειες χώματος και πιθανόν κοπριάς .Το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε ανθρακικό οξύ ,το διοξείδιο του θείου σε θειούχο οξύ και έπειτα σε θειϊκό οξύ ενώ το διοξείδιο του αζώτου μετατρέπεται σε νιτρικό οξύ .Όλα τα παραπάνω αποτελούν παράγοντες στην οξείδωση του εδάφους και παράλληλα το έδαφος δρα τόσο σαν πηγή όσο και σαν χώρος φύλαξης και συλλογής για τα αέρια .

4.9 Περίληψη

Τα εδάφη είναι ικανά να απορροφούν κατιόντα ,ορισμένα ανιόντα ,οργανικές ουσίες και αέρια .Εξαιτίας αυτού του χαρακτηριστικού ,τα εδάφη δρουν σαν μια «μηχανή» που εξουδετερώνει τις συγκρούσεις μεταξύ της ατμόσφαιρας και του νερού του εδάφους .Τα ιόντα που απορροφώνται ανεφοδιάζουν την υγρασία του εδάφους ,σε περιοχές όπου συντελείται αναρρόφηση από τις ρίζες των δένδρων .

Η ικανότητα των εδαφών να απορροφούν κατιόντα ,εξαρτάται από το αρνητικό φορτίο του ορυκτού αργίλου (αλουμίνιο ,πυρίτιο ,οξείδια σιδήρου και αλουμινίου) και του χούμου .Επίσης ,εξαρτάται από το pH ειδικά για την ομάδα των ορυκτών του καολινίτη ,την κοπριά και τα οξέα .Το αρνητικό φορτίο γίνεται μικρότερο όσο το pH μειώνεται .

Στα περισσότερα εδάφη που χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια ,το ασβέστιο και (σε μικρότερη έκταση) το μαγνήσιο ,αποτελούν τα κυριότερα κατιόντα που ανταλλάσσονται .Όταν το νάτριο γίνεται το κυρίαρχο κατιόν (περισσότερο από 15% της ικανότητας για ανταλλαγή) ,η κοπριά και ένα μέρος του αργίλου διασκορπίζονται και η δομή του εδάφους υποχωρεί .

Κεφάλαιο 5 : Οργανισμοί και εδαφικές διεργασίες

5.1 Εισαγωγή

5.2 Οργανικά υλικά : πηγές και αποσύνθεση

5.3 Εδαφική πανίδα

5.4 Μικροοργανισμοί εδάφους

5.5 Σταθεροποίηση βιολογικού αζώτου

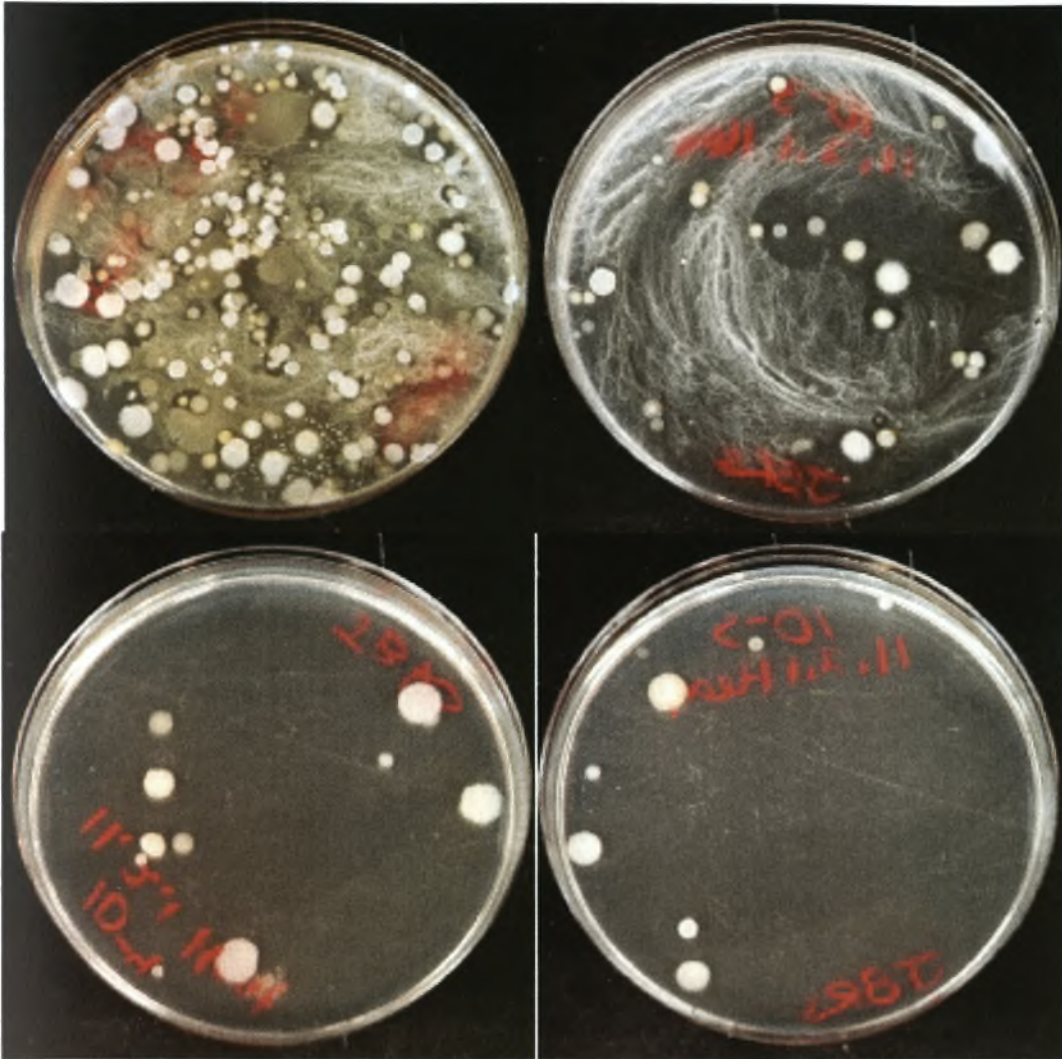
5.6 Αμμωνιοποίηση και αζωτοποίηση

5.7 Απονιτροποίηση

5.8 Οξείδωση και διάσπαση

1)ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών ζουν στο έδαφος .Τα ζώα αυτά ,γενικά ,αναφέρονται ως πανίδα και ποικίλλουν σε μέγεθος από σκουλήκια και τερμίτες μέχρι εκείνα που μόλις μπορούμε να δούμε με μεγεθυντικούς φακούς .Οι μικροοργανισμοί μπορούν να παρατηρηθούν μόνο με τη βοήθεια ενός οπτικού ή ηλεκτρονικού μικροσκοπίου .Αν και είναι μικροί σε μέγεθος ,ο πληθυσμός τους είναι μεγάλος (πίνακας 5.1 και εικόνα 5.1) .



ΕΙΚΟΝΑ 5.1 : Οι μικροοργανισμοί του εδάφους αναπτύσσονται σε γυάλινες πλάκες που περιέχουν άγαρ (ουσία στην οποία καλλιεργούνται μικρόβια) .Το καθένα παρουσιάζει την ανάπτυξη μετά το πέρας 7 ημερών αφέτου οι πλάκες εμβολιάζονται με οργανικά υλικά του εδάφους .Στην πάνω αριστερή εικόνα , 0.1 cm³ αιωρήματος 1 gr εδάφους σε 100 cm³ νερού που προστίθεται στην πλάκα (10³ * διάλυμα) .Στην πάνω δεξιά εικόνα 10⁴ * διάλυμα .Στην κάτω αριστερή εικόνα 10⁵ * διάλυμα .Στην κάτω δεξιά εικόνα 10⁶ * διάλυμα .Στην τελευταία περίπτωση ,μπορούμε να παρατηρήσουμε 28 αποικίες του βακτηρίου έτσι ώστε 1 gr εδάφους να περιέχει 28 * 10⁶ βακτήρια ικανά να αναπτυχθούν σε άγαρ (Φωτογραφία P.J.Harris)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1:ΟΜΑΔΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΑΠΑΝΤΩΝΤΑΙ ΣΕ ΕΔΑΦΗ

Ζώα που διαβιούν σε εδάφη
κάτω από ξύλο οξυάς

Μικροοργανισμοί σε γόνιμα
εδάφη ^a(εκατομμύρια g⁻¹)

εκατομ. %μάζας
ha⁻¹ του ζώου^b

Βακτήρια	1-100	Σκουλήκια	1,8	75,1
Ακτινομύκητες	0.1-1	Γαστρόποδα	1,0	7,0
Μύκητες	0.1-1	Σαρανταποδαρούσ.	1,8	10,6
Φύκη	0,01-0,1	Μικρά έντομα	44,1	0,4
Πρωτόζωα	0.01-0.1	Άλλα	7,2	3,6

Πρέπει να επισημανθεί ότι εκατομμύρια μικροοργανισμών απαντώνται ανά γραμμάριο στο έδαφος και εκατομμύρια ζώων ανά εκτάριο .

- Ο άνθρακας στους μικροοργανισμούς του εδάφους υπολογίζεται περίπου στο 3% του οργανικού άνθρακα του εδάφους που σημαίνει ότι περιλαμβάνουν 1 τόνο άνθρακα ανά εκτάριο σε έδαφος με 1,5% άνθρακα σε βάθος 15 cm .
- Η συνολική μάζα των ζώων ήταν 286 kg .

Πηγή :Brown ,A .L. ,1978 ,Οικολογία των Οργανισμών του Εδάφους ,Heinemann ,Λονδίνο .

Οι περισσότεροι από τους οργανισμούς εξαρτώνται από τη χρήση μιγμάτων άνθρακα σε μέρη του φυτού (ρίζες ,φύλλα και μίσχος) καθώς και στα περιττώματα των ζώων .Με την αποσύνθεση του διοξειδίου του άνθρακα και των θρεπτικών στοιχείων που παράγονται ,τα φυτά περιερίσονται γύρω από τα φύλλα και τις ρίζες αντίστοιχα ενώ ένα μέρος από τον άνθρακα παραμένει στο έδαφος με τη μορφή οργανικής ουσίας .Αυτός ο κύκλος του άνθρακα και των ορυκτών θρεπτικών στοιχείων μεταξύ εδαφών και φυτών αποτελεί κυρίαρχο χαρακτηριστικό των επίγειων οικοσυστημάτων .Οι μικροοργανισμοί του εδάφους ευθύνονται ,επίσης ,για ορισμένες εξειδικευμένες αντιδράσεις .Παραδειγματικά αναφέρουμε την οξείδωση του NH_4^+ σε NO_3^- και τη μετατροπή του αερίου αζώτου σε στερεό . Μια ομάδα μπορεί να φωτοσυνθέτει ,προσδίδοντας στους μικροοργανισμούς ανοσία στην προσθήκη οργανικών ουσιών .Αν και οι οργανισμοί που κατοικούν στο έδαφος εκτελούν ποικίλες δραστηριότητες ,ο μεγαλύτερος αριθμός αυτών εμπλέκεται στην αποσύνθεση οργανικών ουσιών .

2)ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ : ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ

Οι οργανικές ουσίες που προστίθενται στο έδαφος αποτελούν τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης από τα φυτά που είναι αναπτυγμένα σε μεγαλύτερο βαθμό .Ένα μέρος από το μίγμα του άνθρακα που φωτοσυνθέτει ,επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα από την αναπνοή των φυτών ενώ το υπόλοιπο είναι γνωστό σαν Αμιγές Πρωταρχικό Προϊόν (ΑΠΠ) .Ένα μέρος αυτού αποθηκεύεται σε μόνιμους ιστούς όπως τα ξύλα ,πιθανόν τρώγεται από χορτοφάγους και συνήθως ένα μεγάλο μέρος αποβάλλεται σαν απορρίμματα .Ο πίνακας 5.2 δίνει ορισμένες τιμές ΑΠΠ για τα διάφορα είδη των οικοσυστημάτων .Στα τροπικά δάση ,για παράδειγμα ,το ετήσιο ΑΠΠ έχει μέσο όρο 30 τόνους ξηρής ουσίας ανά εκτάριο (περίπου $14 \text{ t} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) και σε σταθερές συνθήκες (όταν δεν υπάρχει αμιγής ετήσια προσθήκη στη μάζα των δένδρων ή των φυτών χαμηλής βλάστησης) η εισροή των απορριμμάτων στα δάση είναι επίσης $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$.(Σημείωση :σε αυτή την ισοδυναμία μεταξύ ΑΠΠ και απορριμμάτων που παράγονται ,δε λαμβάνουμε υπόψη τη φθορά και το θάνατο των ριζών ,τα οποία μπορεί να είναι ουσιώδη αλλά είναι δύσκολο να υπολογιστούν) .Σε περιοχές που είναι καλυμμένες με γρασίδι σε εύκρατες ζώνες ,το ΑΠΠ και η εισροή των σκουπιδιών αποτελούν το $\frac{1}{4}$ του συνόλου

.Οι τιμές ποικίλλουν μεταξύ περιοχών : όσες περιλαμβάνονται στον πίνακα 5.2 αναφέρονται μόνο σαν μια ένδειξη του μέσου μεγέθους τους. Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης και αύξησης της βλάστησης, η παραγωγή των απορριμμάτων ισοδυναμεί με την αρνητική αύξηση του ΑΠΠ της ξηρής ουσίας .

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 : Αμιγές Πρωταρχικό Προϊόν (ΑΠΠ) ,συνολική βιομάζα και κατανομή της ,εισροή απορριμμάτων για έξι είδη βλάστησης

	Αρκτικά Φυλλοβόλα Εύκρατες Τούνδρα δάση δάση			Τροπικά περιοχές Σαβάννα δάση		
1)ΑΠΠ (μ.ο.)	1.5	7.5	11.5	7.5	9.5	30
2)ΑΠΠ(σε σειρ)0.1-4	4-20	6-25	2-15	2-20	10-35	
3)Βιομάζα(μ.ο.)	10	200	350	18	45	500
4)Βιομάζα(σειρά)1-30	60-400	60-600	2-50	2-150	60-800	
5)Φωτοσυνθ.%	13	7	1	17	12	8
6)Ξυλεία %	12	71	74	0	60	74
7)Ρίζα %	75	22	25	83	28	18
8)Εισροή απορ.	1.5	7.5	11.5	7.5	9.5	30

Οι τιμές στον πίνακα 5.2 αναφέρονται στα φυσικά οικοσυστήματα .Οι μονάδες του ΑΠΠ και της εισροής απορριμμάτων είναι $t*ha^{-1}*a^{-1}$ ενώ της βιομάζας είναι $t*ha^{-1}$.Οι σειρές 1 και 2 παρουσιάζουν το Αμιγές Πρωταρχικό Προϊόν ,οι σειρές 3 και 4 δείχνουν το σύνολο της βλάστησης ,οι σειρές 5 ,6 και 7 παρουσιάζουν την κατανομή αυτής της μάζας και η σειρά 8 δείχνει την εισροή των απορριμμάτων .Σε αυτή τη συλλογή των δεδομένων ,το Αμιγές Πρωταρχικό Προϊόν ισοδυναμεί με την παραγωγή των απορριμμάτων .

Πηγή : Swift ,M .J. ,Heal ,O.W. και Anderson ,J .M .1979 .Αποσύνθεση σε επίγεια οικοσυστήματα .Επιστημονικές εκδόσεις Blackwell ,Οξφόρδη .

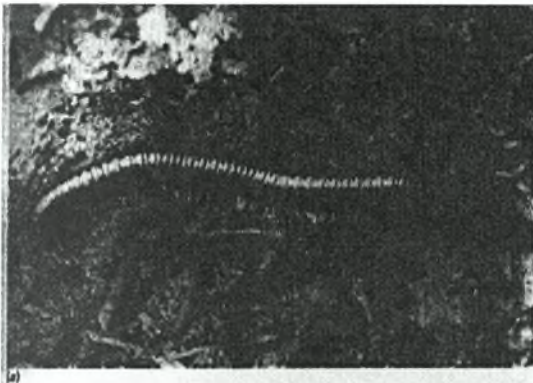
Σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις το ΑΠΠ είναι λίγο διαφορετικό αλλά η μετακίνηση του χρήσιμου μέρους της σοδειάς για κατανάλωση και το κάψιμο του άχυρου όπου εφαρμόζεται ,σημαίνει ότι η προσθήκη οργανικών υλικών στο έδαφος είναι πολύ μικρότερη .Εξαρτώμενη από το κλίμα της περιοχής ,η προσθήκη της ξηρής ουσίας από τους καρπούς στις ρίζες είναι περίπου από 0,5 μέχρι 5 $t*ha^{-1}*a^{-1}$ (δηλαδή από 0,2 μέχρι 2 $t*ha^{-1}*a^{-1}$ του άνθρακα) .Όταν το άχυρο επανέρχεται στο έδαφος ,η συνολική προσθήκη υπολογίζεται σε 1-10 $t*ha^{-1}*a^{-1}$ (δηλαδή από 0,4 μέχρι 4 $t*ha^{-1}*a^{-1}$ του άνθρακα) .

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω ,οι περισσότεροι οργανισμοί που διαβιούν στο έδαφος εξαρτώνται από μίγμα οργανικών ουσιών αποθηκευμένων στο χόμα ή στις ρίζες .Μια μικρή ποσότητα μπορεί επίσης να προέρχεται από το νερό των βροχοπτώσεων που κατακρατείται λόγω της σκίασης των φύλλων .Ο μεταβολισμός του οργανικού μίγματος εφοδιάζει τους οργανισμούς με ενέργεια για ανάπτυξη ,μετακίνηση και πολλαπλασιασμό ενώ ο άνθρακας απαιτείται για τη σύνθεση των συστατικών του

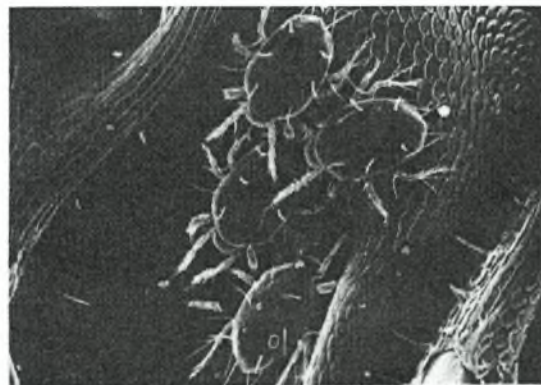
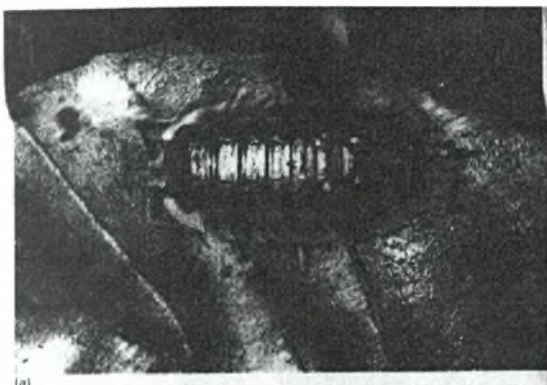
κυττάρου .Οι οργανισμοί, επίσης ,χρησιμοποιούν και άλλα θρεπτικά στοιχεία για παράδειγμα άζωτο ,φώσφορο και θείο προκειμένου να συνθέσουν τους ιστούς τους .

3)Η ΠΑΝΙΔΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η πανίδα του εδάφους μπορεί να ταξινομηθεί σε σχέση με το μήκος του σώματος δηλαδή μικρο –(μικρότερο από 0,1 mm) ,μεσο –(από 0,1 έως 10 mm) και μακρο – (μεγαλύτερο από 10 mm) .Τα πρωτόζωα αποτελούν τα μοναδικά σημαντικά μέλη της μικροπανίδας .Τα ζώα που φωλιάζουν στο έδαφος αλλά περνούν τον περισσότερο χρόνο τους έξω από αυτό, δεν συμπεριλαμβάνονται στην πανίδα του εδάφους .Παραδείγματα πανίδας εδάφους και απορριμμάτων περιλαμβάνονται στις εικόνες 5.2 ,5.3 ,5.4 και 5.5α .



Εικόνα 5.2 : (α) Η σαρανταποδαρούσα ,*Julus scandinavicus* ,ένας συνήθης κάτοικος των απορριμμάτων του φύλλου με μήκος 20 mm.
(b) Δυο σαρανταποδαρούσες ,*Glomeris marginata* ,σε σάπιο ξύλο με περιττωματικούς βόλους λάσπης στα δεξιά .Η διάμετρος κάθε σαρανταποδαρούσας είναι 5 mm.
Οι σαρανταποδαρούσες έχουν βακτήρια στα έντερά τους τα οποία πιθανόν τους επιτρέπουν να αποσυνθέτουν λιγνίνη και κυτταρίνη (Φωτογραφίες του S.Horikin).



Εικόνα 5.3 : (α) Ένας ονίσκος ,το *Oniscus asellus* ,κατοικεί στα απορρίμματα των φύλλων με μήκος 12 mm .
(b) Τέσσερα σκουλήκια ,μέλη της τάξης Acari ,μετακινούνται στην κάτω πλευρά του ονίσκου .Το μήκος του καθενός σκουληκιού είναι περίπου 0.15 mm .Τα σκουλήκια απαντώνται σε μεγάλη συχνότητα στα απορρίμματα των φύλλων και στο έδαφος

.Ορισμένες ποικιλίες ειδών τρέφονται με συστατικά των φυτών ,ρίζες και μυκητώδη νήματα (Φωτογραφίες από S.Hopkin) .



Εικόνα 5.4 : Ένα μικρό έντομο χωρίς φτερά σε αρχικό στάδιο (το Collembola) από (α) την οικογένεια Sminthuridae με μήκος 1 mm και (b) την οικογένεια Entomobryoidea με μήκος 4 mm .Απαντώνται σε μεγάλη συχνότητα στα απορρίμματα φύλλων και στο έδαφος .Τρέφονται με μυκητώδη νήματα και πιθανόν προκαλούν νέα ανάπτυξή τους (Φωτογραφίες από S.Hopkin) .



Εικόνα 5.5 :(α) Ένα σκουλήκι ,το *Lumbricus terrestris* ,με διάμετρο περίπου 7 mm ,στην επιφάνεια του εδάφους .

Τα σκουλήκια ,μέλη της οικογένειας Lumbricidae ,ανήκουν στην κατηγορία της μικροπανίδας και εμφανίζονται συχνά σε μεγάλες ομάδες στο έδαφος .Ο πληθυσμός του χώματος κάτω από ένα δένδρο οξύας υπολογίζεται περίπου 1,8 εκατομμύρια ανά εκτάριο .Σε παραγωγικά λειβάδια, ο πληθυσμός που έχει καταγραφεί υπολογίζεται στα 10 εκατομμύρια ανά εκτάριο .Η μάζα τους είναι δυνατόν να φθάσει περίπου 2 τόνους ανά εκτάριο ,για την αντίστοιχη πυκνότητα των ζώων που βόσκουν το λειβάδι .

Το *Lumbricus terrestris* αποτελεί ένα από τα κυριότερα είδη σκουληκιών που συναντάται στα εδάφη .Σέρνει τα φύλλα στις φωλιές του ,είναι σε θέση να μεταναστεύει από γειτονικές επιφάνειες εδάφους σε βάθος περίπου 2 m ώστε να αποφεύγει την ξήρανση ενώ μπορεί να βρεθεί σε εδάφη με pH=4 παρόλο που είναι πολύ άφθονο όταν το pH του εδάφους πλησιάζει την τιμή 7 .Η μορφή των απορριμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους οφείλεται συνήθως σε μερικά είδη του

γένους *Allolobophora*. Τα απορρίμματα περιλαμβάνουν μερική αποσύνθεση των ουσιών του φυτού με χημικά μέσα και εξαιτίας της αναπνευστικής απώλειας CO_2 , έχουν μικρότερο λόγο C/N και C/P από ότι το έδαφος σαν σύνολο, ενώ επιταχύνουν τη διαμόρφωση των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά. Ορισμένα είδη δημιουργούν «κανάλια» τα οποία δρουν σαν πόροι που μεταφέρουν νερό ύστερα από μια δυνατή βροχόπτωση ή μια άρδευση (εικόνα 5.5b).



(b) Οι αγωγοί που σχηματίζουν τα σκουλήκια, βάφονται με μπλε ανιλίνη στην οριζόντια επιφάνεια του αμμώδους πηλού, σε καλλιεργούμενο έδαφος βάθους 69 cm. Προκειμένου να αποκαλυφθεί η συνέχεια των αγωγών, τα 2 εκατοστά στο επάνω μέρος της επιφάνειας απομακρύνθηκαν. Η οριζόντια επιφάνεια καθαρίστηκε και η βαφή εισήλθε στους αγωγούς. Η οριζόντια επιφάνεια στα 69 cm, έπειτα, εκτέθηκε και φωτογραφήθηκε. Ο αριθμός των συνεχόμενων αγωγών ήταν 238 ανά m^2 και η περιοχή της επιφάνειας που αυτοί κατέλαβαν αποτελούσε το 0,7% του συνόλου. Η διάμετρός τους κυμαινόταν ανάμεσα σε 2 και 9 mm, με μήκος περίπου 150 mm.

Μερικά σκουλήκια δεν δημιουργούν φωλιές αλλά διαβιούν σε ένα στρώμα απορριμμάτων ή στην επιφάνεια του εδάφους και μερικά κατοικούν σε χούμο ή σε σωρούς από κοπριά.

Η κατηγορία της μεσοπανίδας αντιπροσωπεύεται από πολλά μέλη. Η σύνθεση του πληθυσμού εξαρτάται από τις συνθήκες της θερμοκρασίας, την περιεκτικότητα του νερού του εδάφους, τον αερισμό και τη σύσταση των απορριμμάτων των φύλλων. Το *Collembola* (μικρό έντομο χωρίς φτερά σε αρχικό στάδιο) και το *Acarid* (είδος σκουληκιού) αποτελούν τα πιο άφθονα είδη. Το *Collembola* περιλαμβάνει είδη τα οποία είναι ενεργά κάτω από συνθήκες ξηρασίας ενώ άλλα είναι περισσότερο ενεργά σε συνθήκες υγρασίας, όπως σε περιοχές με ξύλο στις εύκρατες ζώνες. Ο συνολικός πληθυσμός της μεσοπανίδας ποικίλλει μεταξύ περιοχών αλλά μπορεί να ξεπεράσει τα 2.000 εκατομμύρια ανά εκτάριο σε εδάφη καλυμμένα με χορτάρι. Αυτοί οι πληθυσμοί αποσυνθέτουν ενεργά τα απορρίμματα, κομματιάζοντάς τα, υδρολύουν πολυσακχαρίτες και αποπολυμερίζουν πρωτεΐνες και λιγνίνη. Τα μέλη ενός πληθυσμού αλληλεπιδρούν μεταξύ τους καθώς και με άλλους μικροοργανισμούς ενώ ομάδες οργανισμών διαδέχονται η μια την άλλη όσο η διαδικασία της αποσύνθεσης συνεχίζεται.

ΟΙ ΠΙΟ ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΟΙ ΟΡΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΠΕΡΙΓΡΑΨΟΥΝ ΤΙΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

- 1) Οι ετερότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν οργανικά μίγματα αφού πηγή προμήθειάς τους αποτελεί ο άνθρακας .
- 2) Οι αυτότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα ή ενώνονται με αυτό καθώς πηγή προμήθειάς τους αποτελεί ο άνθρακας . Τους διακρίνουμε σε δυο κατηγορίες : i) οι φωτοαυτότροφοι οι οποίοι αποκτούν την ενέργειά τους για να φωτοσυνθέτουν και ii) οι χημειοαυτότροφοι οι οποίοι αποκτούν την ενέργειά τους για την οξειδωση των χημικών ενώσεων .
- 3) Οι ζυμογενείς οργανισμοί πολλαπλασιάζονται με ταχύ ρυθμό στην παρουσία οργανικού υποστρώματος .
- 4) Οι αυτόχθονοι οργανισμοί καταναλώνουν συγκριτικά ανθεκτικές οργανικές ουσίες με σταθερό ρυθμό .
- 5) Οι αερόβιοι οργανισμοί απαιτούν αέριο οξυγόνο για τη διαδικασία της αναπνοής. Συνήθως τους ονομάζουμε υποχρεωτικά αερόβιους.
- 6) Οι αναερόβιοι οργανισμοί αναπτύσσονται μόνο με την απουσία οξυγόνου. Συνήθως τους ονομάζουμε υποχρεωτικά αναερόβιους .
- 7) Οι προαιρετικοί οργανισμοί μπορούν να προσαρμοσθούν στην παρουσία ή στην απουσία οξυγόνου .

ΟΙ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στον πίνακα 5.1 που παρουσιάστηκε παραπάνω ,κατηγοριοποιούνται πέντε ομάδες μικροοργανισμών .Σε κάθε ομάδα υπάρχει ποικιλία φυσιολογικών απαιτήσεων(πίνακας 5.3).Οι ετερότροφοι οργανισμοί απαιτούν την ύπαρξη ενός οργανικού υποστρώματος ενώ οι αυτότροφοι όχι .Οι πληθυσμοί ζυμογενών οργανισμών αναπτύσσονται γρήγορα όταν προστίθεται ένα οργανικό υπόστρωμα αλλά οι αυτόχθονοι οργανισμοί ανταποκρίνονται σε μικρό βαθμό .Οι μικροοργανισμοί επίσης διαφέρουν στις απαιτήσεις τους για αέριο οξυγόνο: οι υποχρεωτικοί αερόβιοι το απαιτούν για την αναπνοή ,οι υποχρεωτικοί αναερόβιοι απαιτούν την απουσία του και οι προαιρετικοί μπορούν να προσαρμοσθούν τόσο στην παρουσία όσο και στην απουσία του.Όλοι οι μικροοργανισμοί απαιτούν θρεπτικά συστατικά, πιθανώς η λίστα αυτών να μοιάζει της ανάλογης λίστας των φυτών

Βακτήρια

Τα κύτταρα των βακτηρίων είναι είτε ροπαλοειδή είτε σχεδόν σφαιρικά(κοκκοειδή). Τα ροπαλοειδή είναι σχεδόν 1 μm πλάτος και έως 3 μm μήκος ενώ τα κοκκοειδή έχουν διάμετρο περίπου 2μm. Μερικά βακτήρια αλλάζουν σχήμα με το πέρασμα του χρόνου και του ξενιστή, μια ιδιότητα που κάνει την αναγνώριση τους πολύ δύσκολη. Κάποια σχηματίζουν και σπόρεια, που τα βοηθούν στο να επιβιώσουν κάτω από δύσκολες συνθήκες. Στο έδαφος προσκολλώνται στα μόρια του χώματος. Η προσκόλληση αυτή δεν γίνεται εμφανής πάρα όταν στο έδαφος υπάρξει πηγή που λειτουργεί ως οργανικό υπόστρωμα. Κοντά στις ρίζες η συγκέντρωση βακτηρίων είναι πολύ μεγαλύτερη, περίπου 100 φορές, από ότι στο υπόλοιπο έδαφος. Αυτό το μέρος του εδάφους ονομάζεται ριζόσφαιρα και οι ιδιότητες του συζητούνται στο έβδομο κεφάλαιο. Οι δραστηριότητες των βακτηρίων του εδάφους είναι ποικίλες. Τα περισσότερα εκ αυτών είναι ετερότροφα και παίρνουν μέρος στην αποσύνθεση των

φυτικών κατάλοιπων. Λόγω του εύρους των ενζύμων τους δεν υπάρχουν φυσικές οργανικές ουσίες, και μερικές κατασκευασμένες από τον άνθρωπο, που να μην μπορούν να αποσυνθέσουν. Βρίσκονται σε όλα τα εδάφη είτε αυτά είναι όξινα, αλκαλικά, πλημμυρισμένα ή καλά αποστραγγιζόμενα και σε περιοχές που είναι κρύες, καυτές, υγρές ή ξηρές.

Ακτινομύκητες

Τα κύτταρα των ακτινομυκήτων έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος με αυτών των βακτηρίων. Τα κύτταρα σχηματίζουν ίνες, όπως και οι μύκητες, αλλά με μεγαλύτερη ομοιότητα με τα βακτήρια με τα οποία και κατατάσσονται. Όλοι οι ακτινομύκητες είναι ετερότροφοι και αποσυνθέτουν τα κατάλοιπα των φυτών. Βρίσκονται συχνά στο έδαφος αλλά είναι υποχρεωτικά αερόβιοι, και κυριαρχούν πιο συχνά σε θερμά κλίματα παρά σε ψυχρά. Το γένος *Streptomyces* είναι ευρέως διαδεδομένο ως ο παραγωγός των αντιβιοτικών *streptomycin* και *aureomycin*. Ο ακτινομύκητας *Frankia* επιτίθεται ρίζες κλήθρας (*Alnus*) και *Casuarina*, όπου και παράγει άζωτο.

Μύκητες

Τα κύτταρα των περισσότερων μυκήτων ενώνονται ώστε να σχηματίζουν ίνες (υφές) τα οποία είναι περίπου 5-20 μm στην διάμετρο και μπορούν να είναι από μερικά εκατοστά έως κάποια μέτρα στο μήκος. Όταν αποικούν απορρίματα φύλλων, πολλές υφές μετατρέπονται σε ριζόμορφα, τα οποία δύναται να παρατηρηθούν και με γυμνό μάτι. Τα πιο συχνώς παρατηρόμενα είναι τα σώματα του *Basidiomycotina* τα οποία είναι γνωστά και ως μανιτάρια. Όλοι οι μύκητες είναι ετερότροφοι και πολλοί από αυτούς είναι σαπροφυτικοί (τρέφονται με νεκρούς ιστούς), και κάποιοι προσβάλλουν ρίζες φυτών και άλλα παθογόνα φυτών όπως τα είδη *Fusarium* και *Verticillium*. Οι σαπροφυτικοί μύκητες είναι ενεργοί αποσυνθέτες καταλοίπων φυτών και μπορούν να διασπάσουν όλα τα επιμερούς στοιχεία που αποτελούν τους φυτικούς ιστούς. Μέλη των βασιδιομυκήτων είναι μερικοί από τους λίγους μικροοργανισμούς που επιτίθενται την λιγνίνη, το τρίτο πιο άφθονο υλικό των ανώτερων φυτών, επιτίθενται δε και στην κυτταρίνη καθώς και σε συναφείς ενώσεις. Είναι γνωστοί ως οι μύκητες της λευκής μούχλας γιατί κατά την προσβολή τους σε ξήλο αφήνουν ένα αμυδρά χρωματισμένο κατάλοιπο. Κάποιοι μύκητες αναπτύσσουν συμβιωτική συμπεριφορά με τις ρίζες κάποιων φυτών, δημιουργώντας ένα σύμπλοκο που ονομάζεται μυκώριζα. Η σημασία της μυκώριζας στην διατροφή του φυτού θα συζητηθεί στην ενότητα 7.7

Άλγη

Τα κύτταρα των άλγεων είναι περίπου 10-40 μm σε διάμετρο και παρουσιάζονται μονάχα σε αποικίες. Όλα είναι φωτοαυτότροφα, που σημαίνει ότι όλα φωτοσυνθέτουν, άρα εμφανίζονται στο έδαφος κοντά στην επιφάνεια, τα οποία εμφανίζουν πράσινο χρώμα εάν δεν πειραχτούν. Στα περισσότερα εδάφη είναι λιγότερο σημαντικά μέλη της ομάδας των μικροοργανισμών σε σχέση με τους μύκητες και τα βακτήρια. Είναι πιο σημαντικοί ως αποικιστές ορυκτών κατακρεμνησμάτων λόγω της φωτοσυνθετικής τους ικανότητας, που παράγει οργανική ύλη για τους υπολοίπους μικροοργανισμούς. Παράγουν πολυζαχαρίτες που βοηθούν στην ανάπτυξη των μορίων του εδάφους, καθώς και την σταθεροποίηση του επιφανειακού χώματος που συνεπάγεται την προστασία από την διάβρωση. Η σταθεροποίηση αυτή καθώς και ο εμπλουτισμός του εδάφους από θρεπτικά συστατικά του παράγονται από τα κύτταρα των άλγεων, δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για την αποίκηση του εδάφους από ανώτερα φυτά. Σε ξηρές βραχώδεις επιφάνειες η άλγη προστατεύεται από *desiccation*, με την συνεργασία της με μύκητες,

μια συνεργασία που εμφανίζεται με την γνώση σε όλους μας μορφή της λειχήνας, που είναι οiwονός ότι ο βράχος διαλύεται.

Οι λειχήνες είναι ευαίσθητες στην ρύπανση του αέρα και ιδιαίτερα στο διοξείδιο του θείου. Γαλαζοπράσινες άλγεις, γνωστές σήμερα ως κυανοβακτήρια έχουν την περιεργή ικανότητα να προσλαμβάνουν άζωτο από την ατμόσφαιρα αλλά και να φωτοσυνθέτουν, μια ικανότητα που τα κάνει σημαντικά μέλη ενός οικοσυστήματος. Όπως η άλγη σχηματίζουν λειχήνες με την βοήθεια ενός μύκητα.

Πρωτόζωα

Είναι μονοκύτταροι οργανισμοί και τρέφονται εκλεκτικά με μύκητες και βακτήρια, κάποιοι από αυτούς είναι φωτοαυτοτροφικοί και κάποιοι άλλοι σαπροφυτικοί. Τα κύτταρα των πρωτόζωων του εδάφους είναι γενικά μικρότερα από 50mm σε διάμετρο. Είναι ευκίνητα και μετακινούνται μέσω των πόρων του εδάφους όπου υπάρχει ικανοποιητικό πάχος ύδατος. Κάτω από ξηρές συνθήκες σχηματίζουν κύστες που είναι ανθεκτικές στην desiccation. Η λειτουργία τους στο οικοσύστημα είναι ο έλεγχος του πληθυσμού των βακτηρίων και των μυκήτων. Υπάρχουν ενδείξεις ότι ελευθερώνουν θρεπτικές ουσίες τρεφόμενα από μύκητες, αποδεικνύοντας την περιεργή και πολύπλοκη διαδικασία μεταφοράς και μετατροπής των θρεπτικών συστατικών.

Και ένα τελευταίο σχόλιο : Οι μικροοργανισμοί που κατοικούν στο έδαφος, οι αλληλεπιδράσεις τους με άλλους οργανισμούς ή το έδαφος, δεν έχουν ερευνηθεί ακόμη πλήρως. Στις επόμενες ενότητες τέτοιου είδους διεργασίας θα συζητηθούν.

5.5 Βιολογική δέσμευση αζώτου

Το αέριο άζωτο μετατρέπεται από πολλά γένη μικροοργανισμών σε στοιχεία αζώτου που μπορούν να αξιοποιηθούν από τα φυτά. Αυτή η διαδικασία παρέχει στο οικοσύστημα άζωτο και είναι πολύ σημαντικό για την γεωργία. Όλοι οι οργανισμοί που δεσμεύουν άζωτο είναι βακτήρια και ζούνε ελεύθερα από έδαφος ή συμβιωτικά με φυτά. Τα γένη οργανισμών που καταγράφονται παρακάτω, περιλαμβάνουν και ακτινομύκητες που κατατάσσονται μαζί με βακτήρια :

1). Non symbiotic : Ετερότροφα, αερόβια ετερότροφα, αναερόβια ετερότροφα, αυτότροφα (Azotobacter, Azotococcus, Beijetihckia, Clostridium, Bacillus, Klebsiella, Enterobacter, Nostoc).

2). Συμβιωτικά : (Rhizodium, Bradg rhizodium, Frankia, Nostoc Anabaena).

Η βιοχημεία της δέσμευσης αζώτου είναι ίδια για όλους τους μικροοργανισμούς. Το αέριο άζωτο διασπάται σε αμμωνία από το ένζυμο νιτρογεννάση . Η νιτρογεννάση περιέχει σίδηρο και μόλυβδο και απαιτεί ενέργεια, η οποία αποκτάται από το φυτό – ξενιστή, εδαφική οργανική ύλη ή από τον ήλιο στην περίπτωση φωτοσυμμετικών μικροοργανισμών. Η πηγή ενέργειας εξαρτάται από το είδος του μικροοργανισμού. Ένα χαρακτηριστικό της νιτρογεννάσης είναι ότι είναι ευαίσθητη στο οξυγόνο. Έτσι οι μικροοργανισμοί υιοθετούν στρατηγικές ώστε να αποκλείουν το οξυγόνο από την περιοχή της νιτρογεννάσης.

Κυανοβακτήρια

Λόγω της ικανότητας τους να παραγουν άζωτο και να φωτοσυνθέτουν τα κυανοβακτήρια(γαλαζοπράσινη άλγη) είναι σημαντικά μέλη των φυσικών και γεωργικών οικοσυστημάτων. Είναι αποικιστές βράχων και θεωρούνται από τους

πρώτους αποίκους της Γης δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Βρίσκονται σε έλη και ριζώνες και παράγουν άζωτο όταν είναι ελεύθεροι ή σε συμβίωση με φυτά. Στους υγρούς ορυζώνες κύτταρα *Anabaena* ζούν συμβιωτικά με το μικρό *Azolla*. Τα κυανοβακτήρια αναπτύσσονται μέσα στα κύτταρα του *Azolla* προστατεύοντας τα από αυξημένες συγκεντρώσεις οξυγόνου. Η συμβίωση μπορεί να παράγει πενήντα κιλά ανα εκτάριο άζωτο, υλικό που λειτουργεί ως φυσικό λίπασμα για το ρύζι. Τα κυανοβακτήρια σχηματίζουν επίσης συμβίωση με μύκητες που ονομάζονται λειχήνες.

Ελεύθερα ετερότροφα

Αρκετά γένη βακτηρίων είναι ικανά να παράξουν άζωτο. Κάτω από αερόβιες συνθήκες τα *Azotobacter* και *Beijerinckia* φαίνεται ότι είναι τα πιο κοινά στο έδαφος. Το *Azotobacter*, το βακτήριο που μελετήθηκε περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο, απαιτεί έδαφος με ΡΗ 6-8, και όπως και όλα τα ετερότροφα χρειάζονται μεταβολιζόμενες ενώσεις οργανικού άνθρακα. Κάτω από αναερόβιες συνθήκες κάποια είδη του *Clostridium* και άλλων γενών, παράγουν επίσης άζωτο. Παρόλο που τα ετερότροφα σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες παράγουν μόνο ένα κιλό αζώτου ανά εκτάριο, συμβάλλουν σημαντικά στην οικονομία του αζώτου στα οικοσυστήματα. Ανάμειξη εδάφους με μέλη του γένους *Azotobacter* είχε μικρή ή μηδαμινή επίδραση στο έδαφος και την παραγωγή αζώτου.

Παραγωγή αζώτου μέσω συμβίωσης

Η συμβίωση μεταξύ αζωτοδεσμευτικών μικροοργανισμών και φυτών είναι πολύ σημαντική, λόγω της προσφοράς αζώτου αναγκαίου για την ανάπτυξη του φυτού, με περισσότερους από έναν τρόπους, σε φυσική βλάστηση ή σε καλλιεργούμενα φυτά. Είδη φυτών που δύναται να δημιουργήσουν τέτοιου είδους συμβίωση χρησιμοποιούνται για την κατοίκηση (1^η καλλιέργεια) περιοχών παρθένων σε γεωργική εκμετάλλευση.

Γενικώς δύο ειδών συμβίωση παρουσιάζεται με δύο μορφές:

1) ριζόβια όπου ο μικροοργανισμός και το φυτό σχηματίζουν κοδύλους και παράγουν άζωτο. Χαρακτηριστική η συμβίωση φυτειών ψυχανθών και ριζόβιων, που παράγουν αρκετά ικανοποιητικές ποσότητες αζώτου, μια ικανότητα που τα έχει κάνει σημείο αναφοράς και μελέτης.

2) Ακτινόριξη συμβίωση που συμβαίνει σε τροπικά φυτά και δέντρα σε όψιμα εδάφη. Η ποσότητα αζώτου που παράγεται είναι δύσκολο να μετρηθεί αλλά αυξάνεται στα 50 κιλά ανα εκτάριο σε δασώδεις περιοχές.

Υπάρχουν πολλά κονδυλώδη φυτά, δέντρα και θάμνοι που συμβάλλουν στα φυσικά τους οικοσυστήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου φυτού είναι το *Leucaena leucoccephala*, που λέγεται ότι παράγει μέχρι και 100 κιλά αζώτου ανα εκτάριο.

Τα βασικά ψυχανθή που καλλιεργούμε είναι τα φασόλια, και η μιδηκή. Τα πιο βλαστώδη ψυχανθή παράγουν μέχρι και 200 κιλά αζώτου ανα εκτάριο, βοηθώντας στην διατήρηση της γονιμότητας των εδαφών.

5.6 Αμμωνιοποίηση και αζωτοποίηση

Η αμμωνιοποίηση είναι η διαδικασία σχηματισμού αμμωνιακών ιόντων από οργανικά στοιχεία (συνήθως οργανική ύλη) που περιέχουν άζωτο. Αζωτοποίηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την οξειδωση της αμμωνίας σε νιτρική.

Οργανικό N ---> NH₄ → NO₂ → NO₃

Η αμμωνιοποίηση γίνεται από ένα μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών ετερότροφων που παίρνουν στοιχεία άνθρακα και ενέργεια από την οργανική ύλη του εδάφους. Η

NH₄ που παράγεται excess of proliferation. Η διαδικασία λόγω των πολλών εμπλεκόμενων μικροοργανισμών λαμβάνει χώρα σε εδάφη που είναι πολύ οξικά, αλκαλικά ή αρκετά υγρά για γρήγορη αζωτοποίηση. Κάτω από τέτοιες συνθήκες η NH₄ μπορεί να είναι η βασική μορφή ανόργανου αζώτου στο έδαφος. Στα περισσότερα εδάφη που γίνεται χρήση arable σοδειών τότε το προϊόν είναι η NO₃ γιατί η αμμωνιοποίηση γίνεται πιο αργά από την αζωτοποίηση.

Στην παραπάνω εξίσωση η NH₄ δίνεται ως ενδιάμεσο αλλά είναι πιθανόν ότι και τα NH₂OH και NOH είναι ενδιάμεσα επίσης που υπάρχουν μόνο σε Transitory . Η εξισώσεις για την οξειδωση είναι οι:



Φαίνεται ότι η αζωτοποίηση είναι οξειδωτική διεργασία. Nitrosomonas και Nitrobacter είναι τα 2 γένη αυτότροφων βακτηρίων που πιστεύεται ότι προκαλούν την οξειδωση της αμμωνίας. Κάποια ετερότροφα δύναται να προκαλέσουν αζωτοποίηση αλλά η επίδραση τους είναι αμελητέα εκτός κι αν βρίσκονται σε οξύ περιβάλλον. Η αζωτοποίηση συμβαίνει πολύ γρήγορα σε υγρά εδάφη (υδατοικανότητα 10kPa με 1000kPa), είναι αερόβια, έχει PH 5.5 με 8 και θερμοκρασία 25-30° C. Γίνεται πιο αργά σε εδάφη που είναι έξω από τις κατάλληλες συνθήκες. Πάνω από 10° C σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη, η NH₄ οξειδώνεται σε NO₃ σε διάστημα 3-4 εβδομάδων, είτε η NH₄ προέρχεται από αμμωνιοποίηση είτε από λιπάσματα. Στις τροπικές περιοχές στους 25° και τις άλλες συνθήκες τέλειες η NH₄ που προέρχεται από λίπανση οξειδώνεται σε 1-2 εβδομάδες.

Το άζωτο βρίσκεται σε εδάφη με PH 4, πιθανώς λόγω της αζωτοδέσμευσης των ετερότροφων. Αυτότροφα βακτήρια είναι επίσης ενεργά σε τέτοια εδάφη, είτε λόγω προσαρμοζόμενοι στις όξινες συνθήκες είτε παραμένοντας σε μικροσκοπικές σημεία του εδάφους όπου το PH είναι μεγαλύτερο από αυτό των μετρήσεων. Σε PH μεγαλύτερα του 8 η κίνηση του Nitrobacter μειώνεται και η NO₃ βρίσκεται σε συγκεντρώσεις τοξικές για τα ανώτερα φυτά.

Η αζωτοποίηση είναι μια οξειδωτική διεργασία, η οποία δεν λαμβάνει χώρα σε αναερόβιες συνθήκες. Τα εδάφη γίνονται αναερόβια όταν πλημμυρίζουν αλλά σπάνια το οξυγόνο λείπει από ολόκληρο τον εδαφικό ορίζοντα. Άρα η παραπάνω διαδικασία γίνεται σε μικρούς χώρους όπου το οξυγόνο είναι παρών και το άζωτο μειώνεται αλλού στο έδαφος. Η διαδικασία της μείωσης του αζώτου που ονομάζεται απονιτροποίηση θα συζητηθεί παρακάτω.

Η αζωτοποίηση προκαλείται από τανίνες, φαινολικά οξέα και φαινολικά γλυκοσίδια τα οποία βρίσκονται φυσικά στο έδαφος κάτω από δέντρα και εδάφη καλυπτόμενα από γρασίδι (λειβάδια). Προσθήκη χημικών σκευασμάτων στο έδαφος σταματά την αζωτοποίηση. Ποικίλα χημικά έχουν επιτηρηθεί ως υποκινητές του σχηματισμού νιτρικής, η οποία χάνεται από την απορροή και απονιτροποίηση.

5.7 Απονιτροποίηση

Ο όρος αναφέρεται στην διάσπαση του NO₃ η NO₂ ή N₂ και τα οξείδια αζώτου από μικροβιακή διεργασία (βιολογική απονιτροποίηση) και την χημική διάσπαση του NO₂ και άλλων ασταθών στοιχείων (χημική απονιτροποίηση). Η βιολογική απονιτροποίηση συχνά αποκαλείται και dissimilatory απονιτροποίηση από την assimilatory όπου οι μικροοργανισμοί προσλαμβάνουν και διασπούν το άζωτο στο πρώτο στάδιο της συνθέσεως πρωτεϊνών. Η διαδικασία της απονιτροποίησης αποτελείται από σταθερές αλληλένδετες συνεχόμενες διασπάσεις
NO₃-→ NO₂→ X→N₂O→N₂

Όπου X πιθανολογείται να είναι νιτικό οξείδιο αλλά δεν είναι πάντα σίγουρο. Πολλά γένη βακτηρίων κατέχουν ένζυμο για κάθε βήμα της παραπάνω αντίδρασης. Κάποιοι οργανισμοί φτάνουν μέχρι το 2^ο στάδιο και κάποιοι άλλοι δεν διασπούν το νιτρώδες οξείδιο. Πολλά γένη με την ικανότητα της απονιτροποίησης μπορούν να βρεθούν στο έδαφος, αλλά είναι δύσκολο να ξεχωρίσεις τα πιο ενεργά. Είδη του *Pseudomonas* και του *Alcaligenes* έχουν απομονωθεί και βρεθεί ότι κατέχουν την παραπάνω ικανότητα. Τα πιο πολλά απονιτροποιητικά βακτήρια είναι υποχρεωτικά αναερόβια. Κάνουν χρήση οργανικών ουσιών ως πηγή ενέργειας και συνεπώς είναι ετερότροφα. Σε αερόβιες συνθήκες χρησιμοποιούν οξυγόνο ως δέκτη ηλεκτρονίων αλλά προσαρμόζονται στην έλλειψη οξυγόνου ή σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου, χρησιμοποιώντας μορφές αζώτου εμπλουτισμένες με οξυγόνο, όπως νιτρική ως εναλλακτικούς δέκτες ηλεκτρονίων, οι οποίοι τελικά διασπώνται.

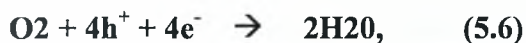
Η διάσπαση αυτή απαιτεί την παρουσία κάποιων ενζύμων. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναφέρουμε ότι το έδαφος ουσιαστικά είναι πηγή αερίων οξειδίων του αζώτου που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η απονιτροποίηση απαιτεί την παρουσία αζώτου, μεταβολιζόμενων ανώσεων άνθρακα και την απουσία οξυγόνου. Το NO_3 μπορεί να προστεθεί και από την λίπανση. Ο άνθρακας προέρχεται από οργανική ουσία, φυτικά κατάλοιπα. Η συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται αισθητά όταν το έδαφος πλημμυρίζεται λόγω βροχής ή υπερβολικής άρδευσης. Το έδαφος δεν χρειάζεται να αποβάλλει εντελώς το οξυγόνο, γιατί η διαδικασία απονιτροποίησης συμβαίνει σε μικρά κομμάτια εδάφους όπου δεν υπάρχει οξυγόνο. Γενικώς όμως η αναερόβια κατάσταση στο έδαφος είναι αδύνατη.

Ο ρυθμός απονιτροποίησης αυξάνεται ανάλογα με την θερμοκρασία και είναι υψηλότερη σε εδάφη με pH ανάμεσα στο 6 και 8. Σε πιο όξινες συνθήκες όχι μόνο είναι πιο αργή η διαδικασία αλλά και αναλογία $\text{N}_2\text{O}:\text{N}_2$ είναι υψηλότερη λόγω της διάσπασης του νιτρίτη σε N_2O

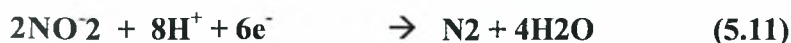
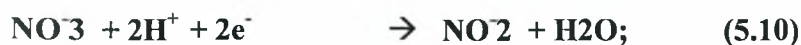
Οξείδωση και μείωση

Η διαδικασία της απονιτροποίησης αποτελείται από πολλά στάδια τα οποία δίνονται στις παρακάτω ενώσεις



Απουσία οξυγόνου





Σε αερόβιες συνθήκες η οξειδωση προχωράει πέρα από το στάδιο της ενώσεως 5.7, ώστε τελικά να δημιουργηθεί νερό και διοξείδιο του άνθρακα.



Με τις ουσίες εκτός από το οξυγόνο ως αποδέκτες ηλεκτρονίων, οι ελλειπείς και διάφορες οργανικές ενώσεις οξειδωσης συνήθως παράγονται συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου, του αιθυλενίου και του οξικού οξέος. Όλες αυτές οι αντιδράσεις οξειδωσης/μείωσης οδηγούνται από τους εδαφολογικούς μικροοργανισμούς. Η κατάσταση της οξειδωσης/μείωσης μπορεί να μετρηθεί ως η τάση διαφοράς μεταξύ ενός λευκόχρυσου και ενός ηλεκτροδίου που τοποθετούνται στο χώμα. Η διαφορά τάσης είναι γνωστή ως οξειδοαναγωγή δυνατότητα, (Eh). Σε ένα ουδέτερο, καλά-αερισμένο χώμα είναι πάνω από 500 mV, αλλά όταν το χώμα γίνεται αναερόβιο η οξειδοαναγωγή δυνατότητα πέφτει. Το νιτρικό άλας μειώνεται εύκολα (αυτά είναι ηλεκτρόνια κερδών). Αυτό το κάνει ευκολότερα από Fe³⁺, παραδείγματος χάριν, και άρρωστο χώμα που μειώνεται σε μια υψηλότερη οξειδοαναγωγή δυνατότητα. Δεδομένου ότι το χώμα γίνεται μορχέλλη αναερόβια η απαίτηση για τις εναλλακτικές αυξήσεις αποδεκτών ηλεκτρονίων, και η μείωση εμφανίζεται στη διαταγή: O₂>NO₃>Mn⁴⁺ + >Fe³⁺ + >SO₄>CO₂>H⁺.

Εντούτοις, το χώμα δεν είναι ποτέ απολύτως ομοιογενές και το οξυγόνο μπορεί ακόμα να είναι παρόν σε μερικούς πόρους όταν είναι η μείωση άλλων ουσιών εμφανίζεται σαν δαχτυλίδι αλλού. Επειδή οι διαδικασίες οξειδωσης/μείωσης οδηγούνται από τους μικροοργανισμούς πετρελαίου δραστηριότητας, είναι οι εντονότεροι στο υψηλό δείκτη, ως εκ τούτου, το μεθάνιο είναι ένα σημαντικό αεριώδες προϊόν υπό τους αναερόβιους όρους στις καυτές χώρες, όπως στα χώματα ρυζιού ενός υγροτόπου σαν θερμοκήπιο αέριο αυτό είναι που αναφέρεται στην παράγραφο 11.7.

5.9 Περίληψη

Το χώμα παρέχει τους διαφορετικούς βιότοπους για τους οργανισμούς (η εδαφολογικοί πανίδα και οι μικροοργανισμοί). Οι αριθμοί τους (βακτηρίδια στην κορυφή λίγα εκατοστόμετρα του εδαφολογικού συνήθως αριθμού μεταξύ 1 εκατομμύριο και 100 εκατομμυρίων ανά γραμμάριο χώματος) και η δραστηριότητα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την προσθήκη της οργανικής ουσίας στο χώμα ως απορρίμματα φύλλων από τα υπολείμματα και από την αποσύνθεση των ριζών. Οι μικροοργανισμοί περιλαμβάνουν τα βακτηρίδια, τους ακτινομύκητες, τους μύκητες, τα άλγη και τις πρωτόζωες. Οι περισσότεροι απαιτούν ένα οργανικό υπόστρωμα ενώ άλλοι όχι μερικοί απαιτούν έναν ανεφοδιασμό του οξυγόνου, αν και άλλοι όχι. Μερικά είδη οξειδώνουν τις ανόργανες ουσίες, παραδείγματος χάριν αμμώνιο στο νιτρώδες άλας, ή νιτρώδες άλας στο νιτρικό άλας. Άλλοι μπορούν να μετατρέψουν το ατμοσφαιρικό άζωτο στις οργανικές ενώσεις αζώτου. Μερικά βακτηρίδια μειώνουν τις οξειδωμένες ουσίες, παράγοντας, παραδείγματος χάριν, το νιτρώδες οξείδιο, τα νιτρικά οξείδιο και το μεθάνιο, οι οποίες περνούν στην ατμόσφαιρα. Λόγω των διαφορετικών δραστηριοτήτων τους οι εδαφολογικοί οργανισμοί έχουν έναν σημαντικό ρόλο στο περιβάλλον και στην παραγωγή συγκομιδών.

Κεφάλαιο 6 : Μετακίνηση του ύδατος, του αέρα, των διαλυτών ουσιών και της θερμότητας στο χώμα.

6.1 Εισαγωγή

6,2 αρχές

6,3 μετακίνηση του ύδατος

6,4 διήθηση και διείσδυση του ύδατος

6,5 εξάτμιση του ύδατος από το χώμα

6,6 εφίδρωση από τις φυτείες

6,7 διάχυση των αερίων

6,8 μετακίνηση των διαλυτών ουσιών

6,9 εδαφολογική θερμοκρασία και μετακίνηση της θερμότητας

6,10 περίληψη

6.1 εισαγωγή

Εδαφολογικά τμήματα που περιγράφονται στο κεφάλαιο 2 περιλαμβάνουν τα στερεά (μεταλλεύματα και οργανική ουσία), τα υγρά (ύδωρ) και τα αέρια (ο εδαφολογικός αέρας). Από αυτούς, το ύδωρ μπορεί εύκολα να δει για να κινηθεί όταν αφορά τη βροχή και το ξηρό χώμα. Το ύδωρ βρέχει την εδαφολογική επιφάνεια και εάν ένα κάθετο πρόσωπο κόβεται στο χώμα βρέχοντας επιφάνια μπορεί συχνά να παρατηρηθεί ως αλλαγή χρώματος. Εάν περισσότερη βροχή πέφτει και το χώμα ελεύθερα στραγγίζει τα περάσματα ύδατος στους αγωγούς ή διηθείται μέσω του υπεδάφους και μπορεί να κινηθεί στον ελλοχεύοντα πορώδη βράχο. Εάν ο βράχος δεν είναι πορώδης το ύδωρ θα προκύψει ως διήθηση επιφάνειας στις κλίσεις λόφων και θα τρέξει στους ποταμούς. Τα εδαφολογικά στερεά μπορούν επίσης να κινηθούν, ο προφανέστερα όταν φυσούνται από τον αέρα ή πλένονται κάτω από τις κλίσεις από τα όμβρια ύδατα. Κινούνται επίσης επί τόπου κατά τη διάρκεια του παγώματος και του ξεπαγώματος, κατά τη διάρκεια της διόγκωσης και του στενέματος, και από τις δραστηριότητες της εδαφολογικής πανίδας, ειδικά των γαιοσκωλήκων και των τερμιτών. Η ροή αέριο προς και από το χώμα δεν μπορεί να παρατηρηθεί με το μάτι (οι αέριο φυσαλίδες που προκύπτουν από τα έλη είναι μια εξαίρεση), αλλά το περιστατικό του μπορεί να καταδειχθεί με τη συλλογή του διοξειδίου του άνθρακα που εξελίσσεται από το χώμα σε μια κλειστή φιάλη. Το χώμα έχει επίσης τη θερμική ενέργεια, στην οποία αναφερόμαστε ως θερμότητα, οι αλλαγές στην οποία φανερώνονται ως αλλαγές στη θερμοκρασία. Η εδαφολογική επιφάνεια κερδίζει τη θερμότητα από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την χάνει από την πίσω-ακτινοβολία και τη μεταφορά στην ατμόσφαιρα, με την εξάτμιση του ύδατος και από τη μεταφορά κάτω από το σχεδιάγραμμα. Οι διαλυτές ουσίες κινούνται επίσης διασκορπίζουν και φέρονται στη ροή του ύδατος. Το χώμα δεν είναι ποτέ αληθινό στην ισορροπία με το περιβάλλον του αν και υποθέτουμε συχνά ένα κράτος ισορροπίας προκειμένου να αναπτυχθεί μια κατανόηση των διαδικασιών. Τις

περισσότερες φορές υπάρχει μετακίνηση του ύδατος, των αερίων, των διαλυτών ουσιών και της θερμότητας προς και από μέσα στο χώμα. Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζουμε τη μετακίνηση τεσσάρων συστατικών: ύδωρ, αέρια, διαλυτές ουσίες και θερμότητα. Εξετάζονται από κοινού επειδή έχουν τα χαρακτηριστικά από κοινού, αν και οι σημαντικές διαφορές θα δειχτούν έξω. Η μετακίνηση των στερεών είναι αρκετά διαφορετική και συζητείται στο κεφάλαιο 12.

6.2 Αρχές

Οι δύο μηχανισμοί από τους οποίους τα συστατικά του χώματος κινούνται είναι μαζική ροή και διάχυση. Ο πιο εξοικειωμένος σε μας είναι μαζική ροή, η οποία είναι η μετακίνηση των ρευστών (αέρια και υγρά) που προκαλείται από μια διαφορά δύναμης ή πίεσης, π.χ. ύδωρ που ρέει προς τα κάτω ή αέρας που αντλείται σε ένα ελαστικό αυτοκινήτου. Κατά τη διάρκεια τέτοιας μετακίνησης η εργασία γίνεται στην υπερνίκηση της τριβής αντίστασης και συνήθως στην αλλαγή της ενέργειας του ρευστού. Όταν οι ροές του νερού προς τα κάτω αυτές χάνουν την πιθανή ενέργεια, εξ αιτίας της απώλειας ύψους, και κερδίζουν προσωρινά την κινητική ενέργεια αεραντλία σε ένα ελαστικό αυτοκινήτου κερδίζοντας την ενέργεια από την εισαγωγή της εργασίας. Ένα χαρακτηριστικό της μαζικής ροής είναι η μετακίνηση ολόκληρης της φάσης, δηλαδή τα διαλυμένα συστατικά κινούνται στο ίδιο ποσοστό με το ύδωρ, και στη μαζική ροή του αέρα όλα τα συστατικά αέρια κινούνται στο ίδιο ποσοστό. Ο άλλος μηχανισμός της μετακίνησης, διάχυση, οφείλεται στην τυχαία θερμική κίνηση του ανάμειξης των μορίων και των ιόντων, καμία ενεργειακή αλλαγή. Η διάχυση εμφανίζεται όποτε υπάρχει μια διαφορά στο μιας ουσίας μεταξύ δύο σημείων. Εάν υπάρχουν περισσότερα μόρια ή ιόντα μιας ουσίας σε ένα σημείο απ' ό,τι σε άλλο, περισσότεροι θα απομακρύνονται από εκείνο το σημείο από τη θερμική κίνησή τους από θα κινείται προς το. Ως εκ τούτου υπάρχει μια καθαρή μετακίνηση της ουσίας κάτω από μια κλίση συγκέντρωσης έως ότου η συγκέντρωσή της γίνεται ομοιόμορφη. Το ποσοστό εξαρτάται από τις ταχύτητες των μορίων (π.χ. μόρια), από την κλίση συγκέντρωσης και από τη διατομική περιοχή διαθέσιμη για τη διάχυση. Μια διαφορά από τη μαζική ροή είναι αυτή σε ένα μίγμα τα κάνει διάχυτα, παραδείγματος χάριν τα αέρια στον αέρα, μετακίνηση των συστατικών μπορούν να διαφέρουν σύμφωνα με την κλίση συγκέντρωσης και τη θερμική κίνηση μορίων τους τους. Όπως θα δει αργότερα, η διεξαγωγή της θερμότητας είναι ακριβώς ανάλογη με τη διάχυση. Αρχίζουμε με τη ροή του ύδατος. Σε πολλά εσωτερικά συστήματα ύδατος μια δεξαμενή στο διάστημα στεγών ενεργεί ως δεξαμενή που παρέχει το ύδωρ στις βρύσες. Ροές του νερού από τη βαρύτητα κάτω από τους σωλήνες στις βρύσες επειδή το ύδωρ στη δεξαμενή έχει μια μεγαλύτερη βαρύτητας δυνατότητα απ' ό,τι στην έξοδο από τις βρύσες. (Η δυνατότητα είναι η δυνατότητα να γίνει η εργασία και όταν έχει σχέση με το ύδωρ η μετακίνηση εκφράζεται όπως το ύψος μιας ισοδύναμης υδάτινης στήλης δείτε την παράγραφο 2.4.) Κατά εξέταση του εδαφολογικού ύδατος, τη σύμβολο που χρησιμοποιείται για potential είναι B (ελληνικό PSI), και η διαφορά στη δυνατότητα στο παράδειγμα που δίνεται εκφράζεται ως $\psi_{\text{tank}} - \psi_{\text{tap}}$. Το ποσοστό ροής του ύδατος αυξάνεται όπως $(-\psi_{\text{tap}})$ αυξήσεις ψ_{tank} , αλλά γίνεται λιγότερος καθώς το μήκος της πορείας ροής (l) αυξάνεται, η οποία είναι $q_w = k(\psi_1 - \psi_2)/l$ (6.1) όπου q_w είναι το ποσοστό ροής ανά περιοχή μονάδων. Το ποσοστό ροής εξαρτάται επίσης από τις ιδιότητες του σωλήνα διεύθυνσης, ιδιαίτερα στη διάμετρό του, και αυτό θα απεικονιστεί στην αξία για το σταθερό K στην εξίσωση, $(\psi_1 - \psi_2)/l$ είναι η κλίση της δυνατότητας, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως "κατευθυντήρια δύναμη" για τη ροή. Για τις μικρές τιμές $(\psi_1 - \psi_2)$ και l της κλίσης είναι ως $(d\psi/dl)$. Δεδομένου ότι

η ροή είναι στην αντίθετη κατεύθυνση στην κλίση, δηλαδή οι ροές του νερού στην κατεύθυνση της μειωμένης δυνατότητας, ένα αρνητικό σημάδι απαιτούνται στην εξίσωση 6.1, η οποία γίνεται $q_w = -K \, d\psi/dl$ αυτό είναι μια μορφή μιας εξίσωσης γνωστής ως νόμος Darcy. Η εφαρμογή της εξίσωσης 6.2 στο χώμα θα εξεταστεί από την αναφορά στο σχήμα 6.1, το οποίο παρουσιάζει έναν κύλινδρο του ύδωρ-διαποτισμένου χώματος ανοικτού στο κατώτατο σημείο και με ένα λεπτό στρώμα του ύδατος στην κορυφή. Αγνοώντας την επίδραση του στρώματος ύδατος, η κλίση της δυνατότητας βαρύτητας είναι $(\psi_1 - \psi_2)/(x_1 - x_2)$. Για αυτόν τον όρο, όπου η βαρύτητα είναι η μόνη δύναμη που ενεργεί στο ύδωρ, και που εκφράζει κάθε δυνατότητα (ψ_1 και ψ_2) ως ύψος

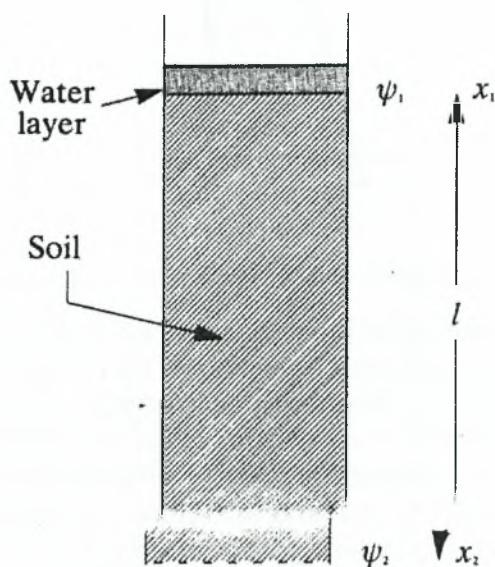


Figure 6.1 At the top of the cylinder of soil saturated with water there is a greater gravity potential, ψ_1 than at the bottom, ψ_2 . The difference in potential is $\psi_1 - \psi_2$ and the gradient is $(\psi_1 - \psi_2)/(x_1 - x_2)$.

ισοδύναμη υδάτινη στήλη, $(\psi_1 - \psi_2) = (\chi_1 - \chi_2)$ και ως εκ τούτου η κλίση $(d\psi/dl = -1)$. Σε αυτό το παράδειγμα, επομένως, $q_w = K$, όπου το K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του χώματος και απεικονίζει τη δυνατότητά του να διευθύνει το ύδωρ. Στο διαποτισμένο χώμα η αξία του K είναι γνωστή ως διαποτισμένη υδραυλική αγωγιμότητα, ή K_{sat} . Αυτή η ιδιοκτησία και η αγωγιμότητα των ακόρεστων χωμάτων για το ύδωρ συζητούνται στο επόμενο τμήμα. Η μορφή εξίσωσης 6.2 είναι η ίδια με αυτήν για τη διάχυση των αερίων. Η διάχυση εμφανίζεται σε έναν όγκο των μικτών αερίων εάν οι συγκεντρώσεις τους διαφέρουν μεταξύ οποιωνδήποτε δύο σημείων. Υποθέστε ότι ένα πτητικό υγρό τοποθετείται στο κατώτατο σημείο ενός απέραντου κυλίνδρου (σχήμα 6.2). Αμέσως επάνω από το υγρό η διαποτισμένη πίεση ατμού της είναι γνωστή και η συγκέντρωσή της, C_5 , μπορεί να υπολογιστεί. Εάν η συγκέντρωση open-end είναι C_0 , η κλίση συγκέντρωσης όταν επιτυγχάνεται ένα σταθερό κράτος είναι $(C_5 - C_0)/l$ όπου είναι το μήκος της στήλης. Εάν C_0 είναι μικρό όπου η συγκέντρωση του ατμού αναμιγνύει με την ατμόσφαιρα η κλίση συγκέντρωσης είναι περίπου C_5/l που το ποσοστό απώλειας ατμού από τον κύλινδρο περιγράφεται έπειτα από

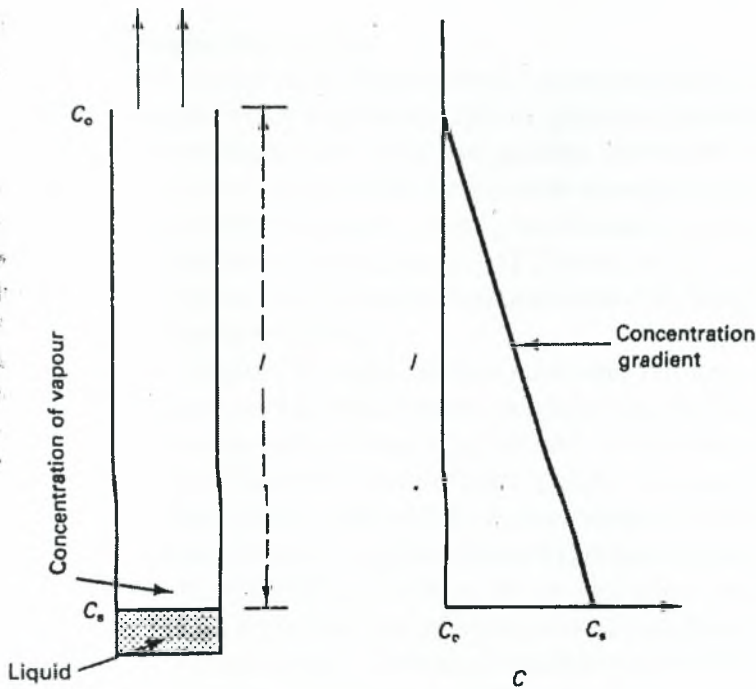


Figure 6.2 Representation of steady-state diffusion of vapour.

$qg = -DC/l$ και η γενική μορφή είναι $qg = -DdC/dl$, όπου το qg είναι το ποσοστό απώλειας μάζας του ατμού και το D είναι ο συντελεστής διάχυσης του ατμού (δείτε επίσης την εξίσωση 6.4, εξίσωσης 6.8). είναι μια μορφή πρώτου νόμου της επιλογής, και μπορεί ο απλούστερα να εφαρμοστεί στη μονοδιάστατη διάχυση όπου υπάρχει μια γραμμική κλίση συγκέντρωσης, όπως στο παράδειγμα ανωτέρω. Η διάχυση στα αέρια εμφανίζεται επειδή τα μόρια, που είναι στη σταθερή κίνηση, τείνουν να διαδώσουν ομοιόμορφα σε όλο το διαθέσιμο διάστημα. Τα μόρια και τα ιόντα στη λύση συμπεριφέρονται ομοίως. Αυτό το ποσοστό μετακίνησης στη λύση περιγράφεται από μια εξίσωση της ίδιας μορφής με την εξίσωση 6.4 $qs = -DdC/dx$, (6.5) όπου qh

είναι η ροή της διαλυτής ουσίας πέρα από την περιοχή μονάδων στο χρόνο μονάδων, το x είναι απόσταση, και dC/dx είναι η κλίση συγκέντρωσης

Το D είναι ο συντελεστής διάχυσης των μορίων ή των ιόντων στη λύση. Η διεξαγωγή της θερμότητας περιγράφεται από τις εξισώσεις που είναι από μαθηματική άποψη ανάλογες με εκείνους που δίνονται ανωτέρω: 1 όπου qh είναι το ποσό της θερμότητας που διευθύνεται πέρα από την περιοχή μονάδων στο χρόνο unit|, dT/dx είναι η κλίση θερμοκρασίας και το k είναι το θερμικό! αγωγιμότητα. Οι εξισώσεις 6.2-6.6 μπορούν να εφαρμοστούν απλά στη μετακίνηση σε μια διάσταση υπό τους σταθερούς όρους, δηλαδή όπου η κλίση της συγκέντρωσης ή της δυνατότητας είναι γραμμική και παραμένει σταθερή εγκαίρως. Συχνά, η ροή εμφανίζεται σε περισσότερες από μια διαστάσεις και η κλίση συγκέντρωσης (ή δυνατότητας) δεν είναι ούτε γραμμική ούτε σταθερή, όπως για τη διάχυση των διαλυτών ουσιών μακριά από έναν κόκκο λιπάσματος, και για τη μετακίνηση του ύδατος από μέσα που φέρνουν την άρδευση. Οι μαθηματικές λύσεις έχουν ληφθούν για πολλούς από αυτούς τους όρους αλλά είναι πέρα από το πεδίο αυτού του βιβλίου Μπορούμε τώρα να εξετάσουμε τη ροή των επιμέρους συστατικών λεπτομερέστερα.

6.3 Μετακίνηση του ύδατος

Όπως συζητείται ανωτέρω (δείτε επίσης την παράγραφο 2.4) η προς τα κάτω ροή του ύδατος μέσα μια στήλη του διαποτισμένου χώματος οφείλεται κυρίως στην κλίση βαρύτητας δυνατότητα. Στα ακόρεστα χώματα, η ένταση επιφάνειας και η προσκόλληση των εδαφολογικών επιφανειών προκαλούν μια άλλη δυνατότητα γνωστή ως μετρική δυνατότητα, επίσης, τα διαλυμένα ιόντα και τα μόρια δίνουν μια ωσμωτική δυνατότητα (παράγραφος 2.4). Γενικά, το ύδωρ κινείται από υψηλή σε χαμηλή δυνατότητα, εάν η δυνατότητα οφείλεται στη βαρύτητα, την όσμωση, ή στη συνδυασμένη επίδρασή τους.

Στα ακόρεστα χώματα το ύδωρ κινείται κάτω από μια κλίση της μετρικής δυνατότητας (αγνοώντας οποιαδήποτε συμβολή από τη βαρύτητα ή την όσμωση). Το ύδωρ σέρνεται πέρα από τα στερεά μόρια από όπου οι ταινίες είναι οι παχύτερες όπου είναι λεπτότερες. Εξετάστε, παραδείγματος χάριν, μια μερίδα του χώματος στην ικανότητα τομέων (αναρρόφηση $0,5 \mu =$ δυνατότητα -5 kPa) σε επαφή με μια μερίδα του ίδιου χώματος στο μόνιμο βλασταίνοντας σημείο (αναρρόφηση $150 \mu = \text{kPa}$ δυνατότητας $-1,5 \times 1000 \text{ kPa}$). Το ύδωρ θα κινηθεί κάτω από την κλίση της δυνατότητας προς τη μερίδα του χώματος στο μόνιμο βλασταίνοντας σημείο που έχει τη χαμηλότερη δυνατότητα. Σε αυτό το παράδειγμα το ύδωρ κινείται από υγρό σε ξηρό χώμα, το οποίο να αναμένεται, αλλά υπάρχουν εξαιρέσεις. Το ύδωρ δεν κινείται κανονικά από το χώμα αργίλου προς την άμμο, η οποία μπορεί να είναι πολύ ξηρότερη, επειδή οι δυνάμεις που κρατούν το ύδωρ στον άργιλο είναι ισχυρότερες από εκείνοι που κρατούν το στην άμμο. Στην ίδια περιεκτικότητα σε ύδωρ η μετρική δυνατότητα (λόγω στο ιόν επιφάνειας) στον άργιλο είναι λιγότερος (πιο αρνητικός) από αυτός στην άμμο. Η κατεύθυνση της μετακίνησης ύδατος, με άλλα λόγια, καθορίζεται από το σεβασμό στη συνολική δυνατότητα ύδατος παρά από τη διαφορά στη σκηνή ύδατος. Το ποσοστό ροής του ύδατος που περιγράφεται από την εξίσωση 6.2 εξαρτάται εν μέρει από το C, η υδραυλική αγωγιμότητα, η οποία έχει τις ίδιες μονάδες με την ταχύτητα, για το παράδειγμα, το εκατ. d^{-1} ή το $m \text{ s}^{-1}$. Κ είναι μια εδαφολογική ιδιοκτησία και καθορίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στο μέγεθος και τη συνοχή των πόρων. Ο νόμος του Poiseuille δηλώνει ότι το χαμηλό ποσοστό σε έναν τριχοειδή σωλήνα είναι ανάλογο προς την τέταρτη δύναμη της ακτίνας (r^4). Στο διαποτισμένο χώμα, όπου όλους τους πόρους γεμίζουν με το ύδωρ, το ποσοστό ροής είναι υψηλό άμμοις, χώμα που αποτελείται στις χονδροειδείς από τα σύνολα, και πού. τα κανάλια και οι ρωγμές είναι παρόντα. Η αξία της υδραυλικής αγωγιμότητας στα διαποτισμένα χώματα είναι γνωστή ως K_{sat} . Μπορεί να είναι τόσο χαμηλό όπως 1 χιλ. ανά ημέρα στο συμπιεσμένο άργιλο και 10.000 φορές υψηλότερο (10 μ ανά ημέρα) σε ένα χονδροειδές αμμώδες χώμα. Δεδομένου ότι τα χώματα γίνονται ξηρά, το ύδωρ κρατιέται έντονα στις χαμηλές δυνατότητες και είναι περιορισμένο στους στενούς πόρους και τις λεπτές ταινίες. Υπό αυτούς τους όρους η ακτίνα της μετακίνησης ύδατος μειώνεται πολύ λόγω της μεγάλης αντίστασης στη ροή στους στενούς πόρους. Αυτό εμφανίζεται στη σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε ύδωρ και της υδραυλικής αγωγιμότητας που παρουσιάζεται στο σχήμα p3, όπου το K αλλάζει από πέντε μεγέθη πέρα από τη σειρά της περιεκτικότητας σε ύδωρ πιθανή να παρατηρηθεί στον τομέα. Ως εκ τούτου το ποσοστό ροής του νερού στα ακόρεστα χώματα τείνει να είναι πολύ αργό σχετικά με αυτό στον κορεσμό.

6.4 Διήθηση και διείσδυση του ύδατος

Η διήθηση αναφέρεται στην είσοδο του ύδατος μέσα στο χώμα η διείσδυση είναι το κίνητρο του ύδατος μέσω της εδαφοτομής όταν πέσει βροχή στο πρόσφατα

καλλιεργημένο, ξηρό χώμα η ταχύτητα διήθησής που της είναι υψηλή λόγω της παρουσίας ευρέων πόρων και της χαμηλής δυναμότητας ύδατος του ξηρού χώματος. Το ποσοστό μειώνεται ως καταρρεύσεις δομών και ανόδων ύδατος, και έπειτα το ποσοστό φθάνει βαθμιαία σε μια χαμηλότερη, σταθερή αξία. Αυτή η σταθερή αξία καλείται ποσοστό διείσδυσης και είναι η ίδια ως K_{sat} , που αναφέρεται ανωτέρω, εάν όλο το διάστημα πόρων γεμίζουν με το ύδωρ και το χώμα είναι βαθύ και ομοιόμορφος με το βάθος. Η διήθηση επαναφορτίζει την εδαφοτομή μετά από μια ξηρά περίοδο. Αφότου έχει βρέξει ένα ενιαίο γεγονός βροχοπτώσεων τα κορυφαία ένα ή δύο εκατοστόμετρα του χώματος, η προς τα κάτω μετακίνηση του ύδατος είναι κυρίως κατά μήκος των κλίσεων βαρύτητας

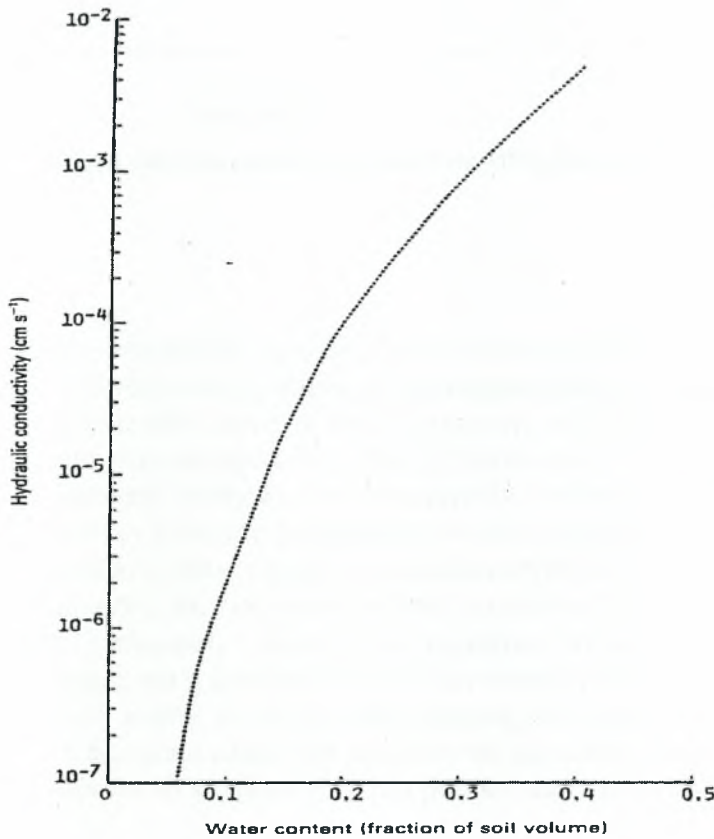


Figure 6.3 The relation between water content of soil and hydraulic conductivity. Note the logarithmic scale and the very slow rate of flow as the soil becomes less wet. (From Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, New York: with permission.)

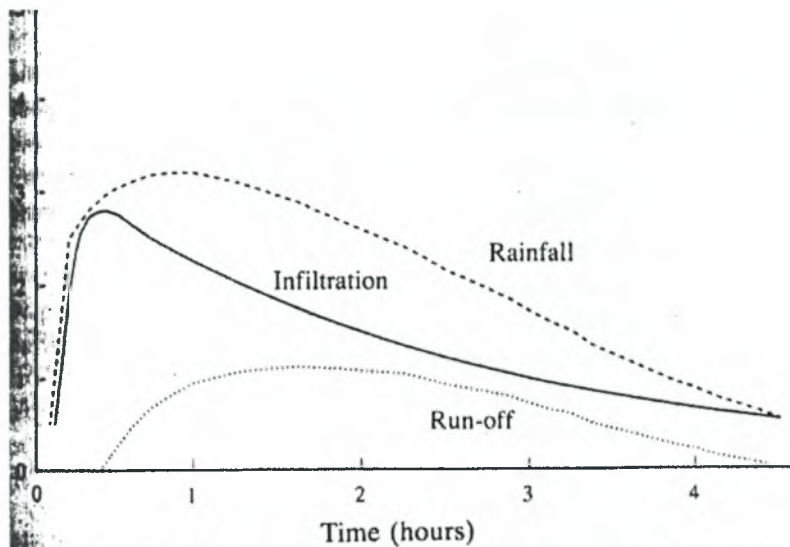


Figure 6.4 Run-off occurs when the rainfall rate exceeds the infiltration rate of water into the soil.

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα μητρών. Το ποσοστό ροής πέφτει αισθητά καθώς οι ταινίες ύδατος γίνονται λεπτές, συχνά με ένα σαφώς ορατό μέτωπο ύδατος. Αυτό το μέτωπο διασκορπίζει μόνο αργά ως αποτέλεσμα της πολύ αργής μετακίνησης του υγρού ύδατος στο χώμα σκαφών της γραμμής κάτω από ή από τη διάχυση του υδρατμού. Το ποσοστό διήθησης είναι σημαντικό σε σχέση με την ένταση των βροχοπτώσεων. Όταν η ένταση βροχοπτώσεων είναι μεγαλύτερη από το ποσοστό διήθησης η υπερβολική βροχή τρέχει η εδαφολογική επιφάνεια (σχήμα 6.4) αυτό είναι μια από τις αιτίες της διάβρωσης ύδατος (κεφάλαιο 12). Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απορροή η εδαφολογική επιφάνεια πρέπει να περιέχει τους ευρείς πόρους ή τις ρωγμές και η δομή πρέπει να είναι σταθερή. Οι ευρείς πόροι και οι ρωγμές διευθύνουν επίσης το ύδωρ στους αγωγούς όπου αυτοί που εγκαθίστανται, ή στο υπέδαφος, ή πλευρικά μέσω των χωμάτων σε μια κλίση λόφων. Η συντήρηση αυτοί που διευθύνουν τα κανάλια είναι μια βασική απαίτηση στη διαχείριση πολλών χωμάτων.

6.5 Εξάτμιση του ύδατος από το χώμα

Το υγρό ύδωρ έχει μια πίεση ατμού, η οποία αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Στη σταθερή θερμοκρασία, ο ατμός περνά από το υγρό σε έναν εσώκλειστο όγκο του ξηρού αέρα σε ένα ποσοστό που μειώνεται με το χρόνο έως ότου ο αέρας γίνεται κορεσμένος. Όταν ο αέρας γίνεται κορεσμένος τότε τα ποσοστά μεταφοράς νερού από και προς το υγρό είναι ίσα : η σχετική υγρασία είναι 100% και το έλλειμα από τον κορεσμό είναι 0. Η εξαέρωση μπορεί να συνεχιστεί σαν ακόρεστος αέρας φυσήξει επάνω από την επιφάνεια. Θα συνεχίσει επίσης εάν υπάρξει μια αυξομείωση της θερμοκρασίας, ο ατμός diffusing από θερμή σε ψυχρή επιφάνεια όπου η πίεση του ατμού, και η συγκέντρωση είναι μικρότερη. Όταν ο αέρας ψύχεται την νύχτα η σχετική υγρασία αυξάνεται, και εάν φθάσει σε επίπεδα κορεσμού στον ψυχόμενο αέρα κάποιο μέρος του εξατμίζεται δημιουργώντας φαινόμενα ομίχλης και πάχνης.

Υπάρχουν τρεις απαιτήσεις για την πραγματοποίηση της εξάτμισης:

1. Παροχή ενέργειας για να επιτευχθεί η κατάλληλη θερμοκρασία εξαέρωσης, σε μικρές χρονικές περιόδους αυτό γίνεται μέσω ψύξης του εδάφους αλλά για παρατεταμένο χρονικό διάστημα η εξάτμιση απαιτεί εξωτερική πηγή ενέργειας, με κυρίαρχη την ηλιακή ακτινοβολία.

2. Αυξομείωση στην πίεση των ατμών τόσο ώστε η πίεση στο χώρο εξάτμισης να είναι μεγαλύτερη από αυτή του εκπλέοντα αέρα.

3. Τρόποι μεταφοράς των ατμών από τον σχετικά υγρό αέρα του τόπου της εξάτμισης, στον σχετικά ξηρό εκπλέοντα αέρα. Σε απόλυτα σταθερό αέρα μια ακάλυπτη επιφάνεια θα χάσει ατμό λόγω diffusion, με ελικοειδή μεταφορά ατμού στον κινούμενο αέρα. Αυτή η κίνηση εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου που είναι ο κυρίαρχος τρόπος μεταφοράς ατμού.

Δεδομένου ότι ο αέρας είναι ακόρεστος και η παροχή νερού είναι ελεύθερη η άνθηση ικανοποιείται γιατί ο αέρας σε επαφή με την εξατμιζόμενη επιφάνεια γίνεται κορεσμένη με το νερό της εξάτμισης. Επειδή ο αέρας στην επιφάνεια υγρού εδάφους είναι κορεσμένος, η εξάτμιση είναι παρόμοια αυτής μιας επιφανείας με νερό, και καλείται «πιθανή εξάτμιση». Αλλά εάν η κίνηση προς τα πάνω του νερού μέσω του εδάφους είναι μικρότερη από αυτή που απαιτεί η «πιθανή εξάτμιση», η επιφάνεια του εδάφους θα ξηραθεί προκαλώντας την πίεση των ατμών, του εδαφικού αέρα να μειωθεί. Η μείωση αυτή δύναται να είναι αρκετή για την ελάττωση της πίεσης των ατμών μεταξύ του εδαφικού αέρα και του εκπλέοντα, σε τέτοιο βαθμό ώστε η εξάτμιση να είναι πολύ αργή.

Είναι αποδεδειγμένο ότι από τις συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η πιθανή εξάτμιση από υγρή επιφάνεια εξαρτάται από την εισαγωγή ενέργειας λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, την πίεση των ατμών στον αέρα, την πίεση κορεσμένων ατμών στο έδαφος (εξαρτάται από την θερμοκρασία), και την ταχύτητα του ανέμου. Όλα αυτά γίνονται γνωστά με την χρήση καταγεγραμμένων μετεωρολογικών στοιχείων. Για να προβλέψουμε την εξάτμιση από ένα ξηρό έδαφος, απαιτούνται πληροφορίες για τους παράγοντες που ελέγχουν την κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος.

Διαπνοή των φυτών

Ο αρχές είναι ίδιες όπως παρουσιάζονται στην ενότητα 6.5. Ωστόσο, υπάρχουν, δύο σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην εξάτμιση διαμέσου των φύλλων (διαπνοή) και την εξάτμιση διαμέσου του εδάφους. Πρώτον, στην διαπνοή ο ατμός στα μεσοκυττάρια διαστήματα στα φύλλα πρέπει να διαχέεται στα στόματα αλλά και διαμέσου των στομάτων της επιφάνειας του φύλλου πριν φθάσει στον αέρα. Αυτό το έξτρα φράγμα στην κίνηση του νερού εμποδίζει την εξάτμιση από ένα καλά ένυδρο φύλλο σε, τυπικά, 80% από κείνο του υγρού εδάφους. Δεύτερον, η εξάτμιση από το έδαφος μειώνεται με την έλλειψη νερού μόνο όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι επαρκώς ξηρή για την πίεση του ατμού στον αέρα του εδάφους ώστε να μειωθεί σημαντικά κάτω από την τιμή του κορεσμού. Εάν ένα φύλλο επρόκειτο να φθάσει σε μια τέτοια κατάσταση στεγνώματος θα υπήρχε μη αναστρέψιμη βιολογική ζημιά κι έτσι τα φυτά έχουν αναπτύξει ένα τρόπο να περιορίζουν την διαπνοή, η οποία αποτρέπει την σοβαρή αποξήρανση.

Σε μια πολύ ζεστή και ξερή μέρα ένα ολοκληρωμένο φύλλωμα φυτών που μεγαλώνουν σε υγρό έδαφος αποπνέει περίπου 10mm νερού ανά ημέρα, αν και 3-5 mm είναι το πιο συνηθισμένο για τις ζεστές καλοκαιρινές ημέρες σε ένα εύκρατο κλίμα. Η εξάτμιση μειώνει την περιεκτικότητα του νερού στα φύλλα, χαμηλώνοντας έτσι το δυναμικό του νερού στα φύλλα. Επειδή το νερό κινείται από υψηλά σε χαμηλά δυναμικά, το νερό κινείται από τις ρίζες μέσω των ξυλωδών τμημάτων στα φύλλα. Αυτό με τη σειρά του χαμηλώνει το δυναμικό του νερού στις ρίζες, καταλήγοντας σε μια εισροή του νερού από το έδαφος κατά μήκος της διαβάθμισης του δυναμικού του νερού. Εάν το έδαφος δεν μπορεί να προμηθεύσει νερό σε επαρκή βαθμό, τα φυτά αφυδατώνονται περισσότερο, χαμηλώνοντας έτσι το δυναμικό τους σε νερό. Όταν η αφυδάτωση είναι σοβαρή, τα στόματα κλείνουν για να μειώσουν τη διαπνοή, τα φύλλα γίνονται πιο ζεστά επειδή χάνεται λιγότερη ζεστή διαμέσου της εξάτμισης του νερού, και μπορεί να μαραθούν. Τα φύλλα μπορεί να αναρρώσουν όταν η εξατμιστική απαίτηση και συνεπώς και η διαπνοή μειώνεται τη νύχτα, αλλά πολλά είδη φυτών ξεραίνονται και πεθαίνουν εάν τα φύλλα μαραθούν για περισσότερο από λίγες μέρες.

Ο υπολογισμός της απώλειας διαπνοής είναι σημαντικός για τους μηχανικούς που ασχολούνται με την ύδρευση οι οποίοι χρειάζεται να ξέρουν το κλάσμα της βροχόπτωσης που θα χαθεί από την διαπνοή και συνεπώς το κλάσμα που τελικά θα ρέει μέσα στους ποταμούς ή που θα αναπληρώσει τον υδροφόρο ορίζοντα. Είναι επίσης σημαντικό για τον προγραμματισμό της άρδευσης. Οι υπολογισμένες απώλειες έχουν βρεθεί να συμφωνούν με εκείνες από το κοντό γρασίδι και τα φυλλώματα των καλλιεργειών. Η απώλεια είναι μεγαλύτερη από τα δέντρα επειδή ο υγρός αέρας στην άμεση εγγύτητά των φύλλων τους αναμειγνύεται πιο γρήγορα με τον ξηρό αέρα στην ατμόσφαιρα που βρίσκεται από πάνω τους. Για απομονωμένα φυτά ή δέντρα, ή μικρά τμήματα γης με φυτά καλλιέργειας, η απώλεια είναι επίσης μεγαλύτερη επειδή περιβάλλονται από ξηρό αέρα.

Το αποτέλεσμα της διαπνοής είναι να μειώνει την περιεκτικότητα του νερού του εδάφους σε ένα μεγαλύτερο βάθος απ' ότι εκείνο που οφείλεται μόνο στην εξάτμιση. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος του ριζικού συστήματος τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό του νερού που είναι διαθέσιμο στα φυτά και τόσο μεγαλύτερο το βάθος στο οποίο το έδαφος ξεραίνεται. Η πρόσληψη του νερού από τα φυτά συζητείται στην ενότητα 7.4.

Διάχυση αερίων

Ο αέρας του εδάφους διαφέρει από εκείνον της ατμόσφαιρας στο ότι περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμούς και λιγότερο οξυγόνο. Το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί συνεπώς μετακινούνται έξω από το έδαφος μέσα στην ατμόσφαιρα και το οξυγόνο κινείται μέσα στο έδαφος. Η κίνηση γίνεται με διάχυση εξαιτίας της πυκνότητας συγκέντρωσης, που εναλλακτικά περιγράφεται ως μια διαβάθμιση της μερικής πίεσης. Η εξίσωση 6.4 δίνει το βαθμό της μεταφοράς. Ο συντελεστής της διάχυσης των αερίων στο έδαφος είναι μικρότερος απ' ότι είναι στον αέρα, εν μέρει επειδή ο αέρας του εδάφους κατέχει μόνο ένα κλάσμα e_a του αντιπροσωπευτικού δείγματος της περιοχής. Ένας άλλος λόγος είναι ότι οι πόροι του εδάφους δεν είναι κάθετοι, παράλληλοι σωλήνες. Αυτό σημαίνει ότι τα μόρια του αερίου που διαχέονται πρέπει να κάνουν μια μακρύτερη και πιο ελικοειδή διαδρομή απ' ότι η απόσταση που είναι σε ευθεία γραμμή ανάμεσα σε δύο σημεία. Το μήκος της διαδρομής, και συνεπώς και το ελικοειδές, δεν είναι σταθερό αλλά αυξάνεται καθώς περισσότεροι πόροι γεμίζουν με αέρα. Για ένα ξηρό έδαφος, παρουσιάστηκε από τον Penman μια εξίσωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει τη σχέση μεταξύ των συντελεστών διάχυσης στο έδαφος, D_s , και στον αέρα, D_o , η οποία είναι $D_s = 0.66e_a D_o$,

Όπου e_a είναι το πορώδες μέρος του εδάφους που είναι γεμάτο με αέρα.

Μέσα στο έδαφος, η διάχυση του οξυγόνου προς τους μικροοργανισμούς και τις ρίζες των φυτών και του διοξειδίου του άνθρακα μακριά απ' αυτά συμβαίνει μέσα από λεπτό στρώμα νερού. Και τα δύο αέρια είναι διαλυτά στο νερό, με τα διοξείδιο του άνθρακα να είναι περίπου 25 φορές πιο διαλυτό απ' το οξυγόνο. Η διάχυση είναι πολύ πιο αργή στα υγρά. Για το οξυγόνο η τιμή του D είναι περίπου $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ στον αέρα σε σύγκριση με $2 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ στο νερό (Πίνακας 6.1). Αυτό, μαζί με τη χαμηλή διαλυτότητα του οξυγόνου, σημαίνει ότι 1mm πυκνού στρώματος νερού είναι ένα τόσο αποτελεσματικό φράγμα όσο 300000 mm αέρα. Συνεπώς ένα πολύ λεπτό φράγμα νερού μπορεί να περιορίσει την παροχή οξυγόνου στους μικροοργανισμούς ιδιαίτερα σ' εκείνους μέσα στα υλικά εδάφους. Ανάλογα με το βαθμό διαπνοής, τα υλικά του εδάφους με μια διάμετρο μεγαλύτερη από 1-2 cm θα έχουν ένα αναερόβιο κέντρο όταν ο εσωτερικός πορώδες χώρος τους είναι γεμάτος νερό.

Ο συνολικός πορώδες χώρος και η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό έχουν κυρίαρχες επιρροές στο βαθμό διάχυσης των αερίων. Η περιεκτικότητα του νερού επηρεάζει την μαιανδρική κίνηση, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, αλλά συνήθως η κύρια

επίδραση οφείλεται στην χαμηλή γεμάτη αέρα παρουσία πόρων, e_a , όταν το έδαφος έχει μια υψηλή περιεκτικότητα νερού. Εάν ο συνολικός πορώδης χώρος είναι ολοκληρωτικά κατειλημμένος από νερό, η μεταφορά οξυγόνου συνήθως εξαρτάται από την αργή διάχυση διαμέσου του νερού, που είναι αρκετή για τα περισσότερα φυτά. Υπάρχουν εξαιρέσεις: σε μερικά φυτά η μεταφορά οξυγόνου είναι εσωτερικά στις ρίζες τους διαμέσου της πορώδους, γεμάτης αέρα παρουσίας πόρων. Στις περισσότερες καταστάσεις, η οξυγόνωση του μουσκεμένου με νερό εδάφους περιορίζεται σε λίγα mm της επιφάνειας του εδάφους.

Επιπρόσθετα με τη διάχυση όπως περιγράφηκε πιο πάνω, η μαζική ροή του αερίου μπορεί να συμβεί ανάμεσα στο έδαφος και την ατμόσφαιρα. Συμβαίνει όταν υπάρχουν αλλαγές θερμοκρασίας και πίεσης και μπορεί να επέλθει από τον στροβιλισμό του αέρα πάνω απ' την επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, η είσοδος βροχής και νερού άρδευσης εκτοπίζει κάποιον απ' τον αέρα του εδάφους και φέρει μέσα στο έδαφος αέρα από την ατμόσφαιρα καθώς το νερό μετακινείται προς τα κάτω. Μολονότι συμβαίνει μαζική ανταλλαγή, η διάχυση είναι η πιο σημαντική διαδικασία της κίνησης.

Κίνηση των διαλυμένων υλών

Τα ιόντα και τα μόρια που διαλύονται στο νερό αποτελούν το διάλυμα του εδάφους. Η συγκέντρωση και η σύνθεση του διαλύματος αλλάζει όταν α) η απολιθοποίηση της οργανικής ύλης του εδάφους απελευθερώνει θρεπτικά συστατικά, β) εφαρμόζονται λιπάσματα και ζιζανιοκτόνα γ) προσλαμβάνονται ιόντα από τα φυτά και δ) η βροχόπτωση και η άρδευση αυξάνεται και η εξάτμιση/διαπνοή μειώνει τη περιεκτικότητα του νερού στο έδαφος. Το αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι η χωρική διαφοροποίηση στην συγκέντρωση και την σύνθεση του διαλύματος, το οποίο αυξάνει την διάχυση. Η κίνηση των διαλυμένων υλών προκαλείται επίσης από τη ροή του νερού που κουβαλάει διαλυμένες ύλες μαζί του, μια διαδικασία γνωστή ως μαζική ροή ή ροή θερμοαγωγής (convective flux). Συνεπώς χρειάζεται να περιγραφούν δύο διαδικασίες της κίνησης των διαλυτών υλών. Αρχίζουμε με την διάχυση.

Ο ρυθμός της κίνησης των διαλυμένων υλών με την διάχυση σε ελεύθερο διάλυμα δίνεται από την Εξίσωση 6.5. Η διάχυση στην μονάδα του αντιπροσωπευτικού δείγματος του εδάφους είναι πιο χαμηλή από ότι στην μονάδα του αντιπροσωπευτικού δείγματος του υγρού επειδή μόνο μέρος, θ_v , του

αντιπροσωπευτικού δείγματος της περιοχής καταλαμβάνεται από το υγρό (όπως γίνεται με την διάχυση των αερίων μέσα σε πορώδες χώρους που είναι γεμάτοι με αέρα που συζητήθηκε πιο πριν). Ο συντελεστής διάχυσης μιας διαλυμένης ύλης στο έδαφος είναι συνεπώς μικρότερος από ότι στο ελεύθερο διάλυμα και μπορεί να γραφεί ως D_s , για να τον ξεχωρίσουμε από τον συντελεστή στο ελεύθερο διάλυμα, D_o . Όπως και με τα αέρια, η διάχυση συμβαίνει διαμέσου των πόρων που δεν είναι όλοι προσανατολισμένοι στην κατεύθυνση της κλίσης της συγκέντρωσης. Η διαδρομή διάχυσης είναι συνεπώς μακρύτερη, κι αυτό μειώνει την ροή διάχυσης από τον παράγοντα παρουσίας πόρων, f , ο οποίος γίνεται μικρότερος όσο πιο ξηρό γίνεται το έδαφος.

Η ροή διάχυσης των διαλυμένων στο έδαφος ουσιών επηρεάζεται επίσης από τις ιδιότητες προσρόφησης/αποβολής απορριφθέντων του εδάφους. Η προσρόφηση μειώνει το βαθμό στον οποίο οι διαλυμένες ουσίες διαχέονται μέσω του εδάφους: όσο μεγαλύτερη είναι η προσρόφηση (ή ρυθμιστική ικανότητα, b , του εδάφους για τις διαλυμένες ουσίες), τόσο πιο αργή είναι η διάχυση.

Ο συντελεστής διάχυσης μιας διαλυμένης ύλης στο έδαφος, D_s , είναι συνεπώς μικρότερος απ' ότι στο ελεύθερο διάλυμα, D_o , εξαιτίας του μικρότερου αντιπροσωπευτικού δείγματος της περιοχής για διάχυση, του παράγοντα παρουσίας πόρων για τη διαδρομή διάχυσης και την ρυθμιστική ικανότητα.

Συνεπώς

$$D_s = D_o \Theta^n f / b \quad (6.9).$$

Οι τιμές του D_o για μικρά ιόντα είναι όλα της ίδιας τάξης φάσματος. Οι τιμές του D_s διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στα ιόντα εξαιτίας της επίδρασης της ρυθμιστικής ικανότητας, b (Πίνακας 6.1). Για παράδειγμα, το χλώριο δεν απορροφάται και δεν διαχέεται πολύ πιο γρήγορα στο έδαφος απ' ότι το φωσφορικό άλας, το οποίο απορροφάται πάρα πολύ.

Η μαζική ροή ή ροή θερμαγωγής των διαλυμένων υλών που συμβαίνει στην ροή νερού, συζητήθηκε στην ενότητα 6.3. Η συζήτηση ακολούθησε τη συνηθισμένη πρακτική της περιγραφής της ως ροή νερού μολονότι στην πραγματικότητα είναι ροή του εδαφικού διαλύματος.

Εάν το διάλυμα ρέει διαμέσου ενός τμήματος του εδάφους με το οποίο είναι σε ισορροπία σε σχέση με τις διαλυμένες ουσίες που περιέχει, η σύνθεσή του δεν θα αλλάξει. Εάν ο βαθμός ροής είναι V και η συγκέντρωση των ιόντων του είναι C_1 , η ροή, F , των ιόντων δίνεται από την

$$F = VC_1. \quad (6.10)$$

Συχνά το έδαφος δεν βρίσκεται σε ισορροπία σε σχέση με τα διαλυμένα άλατα. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα όταν προστίθεται λίπασμα ή λιπαίνεται το έδαφος με οργανικές ύλες. Η επίδραση μπορεί να εκδηλωθεί προσθέτοντας ένα διάλυμα αλάτων στην κορυφή μιας στήλης εδάφους και μετά αργά να προσθέσουμε νερό. Το έδαφος συμπεριφέρεται ως μια χρωματογραφική στήλη στην οποία τα απορροφούμενα ιόντα κινούνται πιο αργά απ' ό,τι το νερό. Σύμφωνα με την χρωματογραφική θεωρία ο παράγοντας επιβράδυνσης, RF, δίνεται από την

$$RF = 1 / 1 + (b\rho/\theta) \quad (6.11)$$

όπου b είναι ο συντελεστής απορρόφησης σε $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$. Για να μετατρέψουμε τις παραμέτρους απορρόφησης σε εκείνες στην στήλη εδάφους η εξίσωση συμπεριλαμβάνει την πυκνότητα του ξηρού όγκου του εδάφους, ρ , και την περιεκτικότητα σε νερό της στήλης, θ .

Όταν συμβαίνει μαζική ροή, συνήθως μεταφέρει διαλυμένες ουσίες πολύ πιο γρήγορα από ότι η διάχυση. Τα μόρια των ζιζανιοκτόνων και τα περισσότερα ιόντα, ωστόσο, απορροφούνται και αυτό μπορεί να επιβραδύνει σημαντικά την μεταφορά από τη μαζική ροή. Το βορικό άλας απορροφάται λίγο. Εάν το νερό κινείται 1 m διαμέσου μιας κατατομής εδάφους, τα ιόντα του βορικού άλατος κινούνται μόνο περίπου στο μισό. Κάτω από ίδιες συνθήκες τα ιόντα του φωσφορικού άλατος θα μπορούσαν να μετακινηθούν μόνο 2mm.

Θερμοκρασία εδάφους και κίνηση της θερμότητας

Η θερμοκρασία του εδάφους έχει σημαντική επίδραση στην δραστηριότητα των οργανισμών του εδάφους, την βλάστηση των σπόρων, την εμφάνιση των βλασταριών και την ανάπτυξη των ριζών. Επηρεάζει πολύ τις διαδικασίες της αποσάθρωσης των βράχων και το σχηματισμό χώματος. Είναι επίσης ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν την εξάτμιση του νερού, με τους υδρατμούς να τείνουν να κινούν προς τα κάτω την διαβάθμιση της θερμοκρασίας. Ο βαθμός στον οποίο συμβαίνουν οι χημικές αντιδράσεις και οι βιολογικές διαδικασίες γενικά αυξάνεται δύο ή τρεις φορές για κάθε 10 deg αύξηση στη θερμοκρασία (μέσα σε ένα περιορισμένο πεδίο). Η θερμοκρασία του εδάφους μπορεί να διαφέρει από τη θερμοκρασία του αέρα κατά αρκετούς βαθμούς. Η διαφορά οφείλεται σε τέσσερις παράγοντες:

Την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και το λόγο του ανακλώμενου ηλιακού φωτός από τα σωματίδια.

Την απώλεια της θερμοκρασίας από την ακτινοβολία, την μεταφορά θερμότητας, την αγωγιμότητα και την υπολανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του νερού.

Την θερμική αγωγιμότητα του εδάφους

Την χωρητικότητα θερμότητας του εδάφους.

Σε μια συγκεκριμένη περιοχή ο βαθμός εισερχόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, τη γωνία της επιφάνειας προς την ακτινοβολία, την εποχή του έτους, και τις νεφώσεις. Η επίδραση της εποχής φαίνεται από τις μετρήσεις στον Πειραματικό Σταθμό Rothamsted στην νότια Αγγλία όπου η λαμβανόμενη ημερήσια ακτινοβολία R , σε μέσο όρο 13 ετών, ήταν 1.5 MJ m^{-2} τον Δεκέμβριο και 17.6 MJ m^{-2} τον Ιούνιο.

Μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας αντανακλάται από το έδαφος, τους βράχους, το νερό και τα φύλλα των φυτών. Η εκατοστιαία αναλογία ή το κλάσμα που αντανακλάται είναι γνωστό ως ο λόγος του ανακλώμενου φωτός από σωματίδια, α , της επιφάνειας. Οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 6.2. Το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας, $R(1-\alpha)$, απορροφάται στην επιφάνεια του εδάφους όπου αλλάζει σε θερμότητα, που ζεσταίνει το έδαφος και τον αέρα πάνω από το έδαφος και εξατμίζει το νερό. Μια εξίσωση για την ισορροπία ενέργειας μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$R(1-\alpha) = S + A + LE \quad (6.12)$$

Όπου S είναι η ροή θερμότητας μέσα στο έδαφος, A είναι η ροή θερμότητας στον αέρα πάνω από το έδαφος (συμπεριλαμβάνοντας τη μεταγωγή θερμότητας και την πίσω ακτινοβολία), E είναι ο βαθμός εξάτμισης του νερού και L είναι η υπολανθάνουσα θερμοκρασία της εξάτμισης. Ένα έδαφος το οποίο είναι υγρό στην επιφάνεια χάνει νερό περίπου με τον ίδιο ρυθμό όπως και μια επιφάνεια χωρίς νερό. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης μέρας, η απώλεια νερού (και συνεπώς και της υπολανθάνουσας θερμότητας) μειώνεται τόσο που το έδαφος και ο αέρας πάνω θερμαίνονται περισσότερο.

Η έκταση της αύξησης της θερμοκρασίας σε ένα έδαφος εξαρτάται από την θερμική του αγωγιμότητα και την ικανότητά του σε θερμοκρασία. Η ροή θερμότητας στο έδαφος δίνεται από την Εξίσωση 6.6:

$$Q_h = -k \, dT/dx,$$

όπου k είναι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους. Οι τιμές του k για τα κύρια συστατικά του εδάφους (Πίνακας 6.3) δείχνουν ότι ο χαλαζίας, το κυρίαρχο ορυκτό στα περισσότερα αμμώδη εδάφη, είναι ο καλύτερος αγωγός της θερμότητας και ο αέρας είναι ο πιο αδύναμος, δηλαδή, ο αέρας είναι ένας ιδιαίτερα καλός μονωτής.

Η ογκομετρική χωρητικότητα θερμότητας, C , το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσει την μονάδα όγκου κατά ένα βαθμό, επίσης διαφέρει κατά πολύ ανάμεσα στα συστατικά του εδάφους (Πίνακας 6.3). Ο αέρας απαιτεί το λιγότερο ποσό θερμότητας για να ανεβάσει τη θερμοκρασία κατά 1 βαθμό και το νερό απαιτεί περισσότερη. Συνεπώς για μια δεδομένη εισαγωγή θερμότητας η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη όταν τα εδάφη είναι ξηρά παρά όταν είναι υγρά. Επιπρόσθετα, τα υγρά εδάφη χάνουν θερμότητα ως υπολανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, και είναι επίσης καλύτεροι αγωγοί, οδηγώντας σε μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας στο υπέδαφος.

Ο βαθμός αλλαγής της θερμότητας με το χρόνο, dT/dt , σε οποιοδήποτε βάθος στο έδαφος θα φαίνεται να εξαρτάται άμεσα από την θερμική αγωγιμότητα, k , και αντίστροφα με την ογκομετρική χωρητικότητα θερμότητας, C , δηλαδή, dT/dt μεταβάλλεται/τροποποιείται ως k/C , ένα πηλίκιο γνωστό ως θερμική ικανότητα διάχυσης. Σε μια ηλιόλουστη ημέρα όταν η επιφάνεια του εδάφους έχει γίνει θερμή, υπάρχει ροή θερμότητας μέσα στο έδαφος και τη νύχτα η επιφάνεια του εδάφους χάνει θερμότητα. Οι ροές είναι μεγαλύτερες για τα υγρά εδάφη απ' ότι για τα ξηρά. Πράγματι, το αρδευόμενο έδαφος έχει προταθεί ως ένα μέσο προστασίας των καλλιεργειών που είναι ευαίσθητες στον παγετό, κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπως τα αμπέλια εξαιτίας της αυξανόμενης εξόδου της θερμοκρασίας κατά τη νύχτα. Μια ελεύθερα αποστραγγιζόμενη υγρή άμμος ζεσταίνεται γρήγορα σε βάθος κατά τη διάρκεια της ημέρας και δροσιίζεται γρηγορότερα το βράδυ, σε αντίθεση με ένα υγρό έδαφος το οποίο δείχνει μικρότερη διακύμανση θερμοκρασίας ανάμεσα στη μέρα και τη νύχτα. Επιπρόσθετα με την θερμική αγωγιμότητα και την ογκομετρική χωρητικότητα θερμότητας των συστατικών του εδάφους, η διαβίβαση θερμότητας εξαρτάται από την περιοχή επαφής ανάμεσα στα στερεά και τα υγρά συστατικά, με τον αέρα να είναι ο πιο αδύναμος αγωγός. Ως αποτέλεσμα, η στεγνή άμμος φέρει την θερμότητα πιο αργά από ότι η άμμος που περιέχει λίγο νερό επειδή το νερό αυξάνει την περιοχή επαφής ανάμεσα στους κόκκους της άμμου.

Το καθεστώς θερμοκρασίας του εδάφους επηρεάζεται κατά πολύ από τη βλάστηση. Η ημερήσια διακύμανση και οι εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μειώνονται επειδή η βλάστηση συλλαμβάνει μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και την επιστρεφόμενη ακτινοβολία από το έδαφος. Ο αέρας μέσα στο φύλλωμα ενός φυτού είναι αδύναμος αγωγός θερμότητας, και αυτό επίσης μειώνει τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του εδάφους που βρίσκεται κάτω απ' αυτό. Ένα στρώμα χιόνι και

στρώμα από νεκρή βλάστηση έχουν μια παρόμοια επίδραση. Για παράδειγμα, κάτω από ένα στρώμα νεκρής βλάστησης η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλότερη κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης ημέρας και υψηλότερη τη νύχτα απ' ό τι εκείνη ενός γυμνού εδάφους.

Περίληψη

Το νερό, τα αέρια, οι διαλυμένες ουσίες και η θερμότητα κινούνται απ' έξω προς τα μέσα στο έδαφος, έξω απ' αυτό και μέσα σ' αυτό, που δεν είναι ποτέ σε αληθινή ισορροπία με το περιβάλλον του. Οι διαδικασίες της κίνησης είναι α) μαζική ροή που προκαλείται από μια διαφορά στη δύναμη ή την πίεση και β) διάχυση, που προκαλείται από μια διαφορά της συγκέντρωσης για τα αέρια και τις διαλυμένες ουσίες και η θερμοκρασία για τη θερμότητα.

Το νερό κινείται μέσα στο έδαφος από την βροχόπτωση με φιλτράρισμα και επιστρέφεται στην ατμόσφαιρα με εξάτμιση και διαπνοή από τα φυτά. Η κίνηση μέσα στο έδαφος γίνεται πολύ αργά καθώς το έδαφος στεγνώνει.

Ο αέρας του εδάφους περιέχει λίγο οξυγόνο και περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα απ' ό τι η ατμόσφαιρα εξαιτίας της διαπνοής από τους μικροοργανισμούς του εδάφους και τις ρίζες. Η διαφορά στις συγκεντρώσεις καταλήγει στη διάχυση.

Οι διαλυμένες ουσίες στο διάλυμα του εδάφους κινούνται από τη μαζική ροή όταν η υγρή φάση κινείται, στις ρίζες των φυτών ή στο υπόγειο νερό. Κινούνται επίσης με την διάχυση όταν το διάλυμα του εδάφους κοντά στις ρίζες του φυτού εξαντλείται απ' την πρόσληψη των φυτών, και όταν προστίθεται λίπασμα.

Τα εδάφη λαμβάνουν ακτινοβολία από τον ήλιο, η οποία θερμαίνει την επιφάνεια του εδάφους. Η θερμική αγωγιμότητα και η ογκομετρική χωρητικότητα θερμότητας των συστατικών του εδάφους, και η απώλεια θερμότητας ως υπολανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του νερού, καθορίζουν την επίδραση της λαμβανόμενης ακτινοβολίας στην θερμοκρασία του εδάφους.

Κεφάλαιο 7 : Το έδαφος ως μέσο για την ανάπτυξη των φυτών

7.1 Εισαγωγή

7.2 Η ανάπτυξη και η αύξηση των φυτών

7.3 Περιορισμοί στην ανάπτυξη των ριζών

7.4 Ανάγκες των φυτών για νερό

- 7.5 Ανάγκες των φυτών για θρεπτικά συστατικά
- 7.6 Η ριζόσφαιρα
- 7.7 Θρεπτικά συστατικά στα φυσικά οικοσυστήματα
- 7.8 Περίληψη

7.1 Εισαγωγή

Παρ'όλο που τα φυτά μπορούν να ωριμάσουν σε αέρια θρεπτικά διαλύματα και σε άλλα υποστρώματα, εικονικά όλα τα επίγεια καλλιεργούμενα φυτά, συμπεριλαμβάνοντας αυτών που μας προσφέρουν τροφή, ίνες και καύσιμα, καλλιεργούνται στο έδαφος. Τις παρακάτω απαιτήσεις των φυτών μπορεί το έδαφος να προσφέρει

- I)αγκυροβόλιο για τις ρίζες των φυτών
- II)παροχή νερού
- III)παροχή αέρα και συγκεκριμένα οξυγόνο
- IV)παροχή θρεπτικών συστατικών

V) Προστασία ενάντια σε απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας και του PH

Το έδαφος σπάνια προσφέρει τις ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Για την καλλιέργεια, οι ιδιότητες του εδάφους αλλάζουν ώστε να εξασφαλισθεί καλή σοδειά, και σε συνεργασία με την επιλογή κατάλληλων φυτών ώστε να επιτευχθεί η καλή σοδειά σε γόνιμα εδάφη. Σε αντίθεση τα ιθαγενή, «άγρια», φυτά προσαρμόζονται στις τοπικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένου και του κλίματος, και πιθανώς σε χαμηλές ποσότητες νερού, οξυγόνου, και θρεπτικών συστατικών, υψηλό PH, υψηλή συγκεντρωση τοξικών ουσιών, ανταγωνισμό από άλλα είδη, ή μικρή δυνατότητα εγκατάστασης. Σ εαυτό το κεφάλαιο δίνεται έμφαση στις αρχές, βασιζόμενες πάνω στα καλλιεργήσιμα φυτά και όχι στα άγρια. Για τους μη γνώστες του αντικειμένου, στο πρώτο μέρος γίνεται μια αναφορά στους τρόπους ανάπτυξης και καλλιέργειας των φυτών. Έπειτα θα αναφερθούν και τα ποσά αρδεύσιμου νερού και θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται για την τοποθέτηση ριζών



7.2 Η ανάπτυξη και η αύξηση των φυτών

Ο σπόρος και τα σπορόφυτα

Ο σπόρος είναι η πηγή του γενετικού υλικού από το οποίο το φυτό αναπτύσσεται. Αποτελείται από ένα έμβρυο και μια αποθήκη αποθεμάτων τροφής που συμπεριλαμβάνει υδατάνθρακες, λιπίδια, πρωτεΐνες και ανόργανα θρεπτικά συστατικά, τα οποία περικλείονται σε ένα προστατευτικό επίστρωμα. Η περιεκτικότητά του σε νερό μπορεί να είναι τόσο μικρή όσο 5% κατά μάζα. Δεν είναι ικανός να φυτρώσει μέχρι να περάσει από μια περίοδο λανθάνουσας κατάστασης, η οποία μπορεί να διαρκέσει από μερικές ημέρες μέχρι αρκετά έτη, ανάλογα με το είδος. Μετά από αυτή την περίοδο, οι σπόροι συνήθως φυτρώνουν, όταν υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες, όταν δηλαδή υπάρχουν αποθέματα νερού και οξυγόνου και μια κατάλληλη θερμοκρασία που επιτρέπει να γίνουν οι κατάλληλες μεταβολικές διαδικασίες στο σπόρο, με ένα ικανοποιητικό ρυθμό.

Στο έδαφος, ο σπόρος απορροφά νερό, αν το δυναμικό του νερού στο έδαφος ($\psi_{\text{εδαφους}}$) είναι μεγαλύτερο από αυτό στον σπόρο ($\psi_{\text{σπορου}}$). Οι συνιστώσες του $\psi_{\text{εδαφους}}$, που προσδιορίζουν την πρόσληψη νερού, είναι το δυναμικό ώσμωσης και το

δυναμικό των τριχοειδών αγγείων (matric), όπως αναφέρεται στις Ενότητες 6.2 και 6.3. Αν το χώμα είναι ελάχιστα υγρό ή είναι υφάλμυρο, το φύτεμα δεν θα γίνει ή θα είναι αργό. Κατά τον χρόνο που το νερό απορροφάται, οι σπόροι των περισσότερων ειδών φυτών προσλαμβάνουν οξυγόνο και απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακος. Η οξείδωση και η υδρόλυση των οργανικών χημικών ενώσεων στο σπόρο παρέχουν τα θρεπτικά συστατικά και τις απαιτήσεις σε ενέργεια στο αναπτυσσόμενο έμβρυο. Το επιτυχημένο φύτεμα των σπόρων στο έδαφος, τουλάχιστον για τα περισσότερα φυτά, εξαρτάται λοιπόν από την υγρασία του χώματος και από το αν το έδαφος έχει το όργωμα και τον βαθμό συμπίεσης, που θα τους επιτρέψει να απορροφήσουν νερό και οξυγόνο.

Στα περισσότερα είδη φυτών (υπάρχουν αρκετές εξαιρέσεις) η εμβρυϊκή ρίζα του σπόρου εμφανίζεται πρώτη, αγκιστρώνοντας το σπόρο στο έδαφος. Μετά ακολουθεί η εμφάνιση του βλασταριού, το οποίο είναι γνωστό ως το κολεόπτιλο, δηλαδή το πρώτο φύλλο των ποωειδών και άλλων συγγενικών ειδών ή ως το πρώτο μπουμπουκάκι, που φέρει τον πρωτογενή οφθαλμό, για άλλα είδη. Μεχρι οι κοτυληδόνες ή τα πρώτα πραγματικά φύλλα να είναι ικανά να φωτοσυνθέσουν, τα σπορόφυτα εξαρτώνται από τις οργανικές χημικές ενώσεις του σπόρου. Το βάθος λοιπόν μέσα στο χώμα είναι καθοριστικής σημασίας. Αν ο σπόρος είναι υπερβολικά κοντά στην επιφάνεια, το χώμα μπορεί να στεγνώσει πριν αυτός να φυτρώσει και αν είναι υπερβολικά βαθιά τα αποθέματα τροφής θα χρησιμοποιηθούν πριν το βλαστάρι εμφανιστεί επάνω από το έδαφος. Γενικά, όσο πιο μικρός είναι ο σπόρος, τόσο πιο ρηχά πρέπει να είναι στο έδαφος.

Βλαστάρια

Αφού το σπορόφυτο έχει εμφανιστεί επάνω από την επιφάνεια του εδάφους, το αναπτυσσόμενο φυτό χρειάζεται κατάλληλη θερμοκρασία, παροχή νερού και θρεπτικών συστατικών που θα προσληφθούν από τις ρίζες και ανάσχεση του ηλιακού φωτός από τα φύλλα. Επιπλέον συνθήκες, όπως η διάρκεια της ημέρας και η έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες, επηρεάζουν την ανάπτυξη μερικών ειδών φυτών και ιδιαίτερα το ξεκίνημα της άνθοφορίας.

Ένα μέρος του ηλιακού φωτός που ανακόπτεται από τα πράσινα φύλλα χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση. Από την ολική ενέργεια ακτινοβολίας που φτάνει σε ένα φύλλο, μόνο περίπου 1-5% χρησιμοποιείται για την αύξηση του φυτού και το μεγαλύτερο μέρος της υπολειπόμενης ενέργειας χάνεται ως αντιληπτή θερμότητα και λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης. Στον Πίνακα 7.1 φαίνεται ένα παράδειγμα του ισοζυγίου ακτινοβολίας. Για τη φωτοσύνθεση, τα φυτά προσλαμβάνουν την απαιτούμενη ενέργεια από ακτινοβολία με μήκη κύματος ανάμεσα στα 400 και 700 nm (στο πεδίο τιμών του μήκους κύματος του ορατού φωτός) και αυτή η διαδικασία απαιτεί διοξείδιο του άνθρακος και νερό. Η συνολική αντίδραση είναι:



Πίνακας 7.1. Παράδειγμα του ημερήσιου ισοζυγίου ακτινοβολίας μια αίθρια καλοκαιρινή ημέρα

Ενέργεια
(MJm⁻²d⁻¹)

<i>Εισερχόμενη</i>	
Εισερχόμενη ενέργεια στην επιφάνεια	22.0
Ανακλώμενη	4.5
Εξερχόμενη ακτινοβολία	7.3
Καθαρό ποσό ακτινοβολίας στην επιφάνεια	10.2
<i>Χρήση στην επιφάνεια</i>	
Εξάτμιση	8.7
Θέρμανση του αέρα και των φυτών	0.8
Θέρμανση του εδάφους	0.5
Ανάπτυξη φυτών	0.2
	10.2

Πηγή: Από Milthorpe, F.L. και Moorby, J. 1979 *Εισαγωγή στη Φυσιολογία των Καρπών Εσοδείας*, 2η Έκδοση, Cambridge University Press, μετά από έγκριση.

Οι βιοχημικές αντιδράσεις που οδηγούν στην παραγωγή υδατανθράκων, $(\text{CH}_2\text{O})_n$ δεν είναι καλά κατανοητές αλλά είναι πέρα από το στόχο της παρούσας συζήτησης. Πρέπει, όμως, να αναφερθεί ότι τα φυτά χρησιμοποιούν μια από τους δυο οδούς στα πρώτα στάδια της αφομοίωσης του διοξειδίου του άνθρακος.

Σε αυτά τα φυτά που είναι γνωστά ως φυτά C_3 , το CO_2 ρυθμίζεται από μια ενζυμική αντίδραση με τη διφωσφορική ριβουλόζη (μια φωσφορική πεντόζη) για να παράγει φωσφογλυκεριναλδεϋδη (ένα τριοζικό σάκχαρο). Περαιτέρω ενζυμικά βήματα οδηγούν στην παραγωγή εξοζικών σακχάρων. Αυτή η οδός, γνωστή και ως η αναγωγική οδός φωσφορικών πεντοζών (RPP) ή κύκλος του Κάλβιν, χρησιμοποιείται από τα περισσότερα χόρτα των εύκρατων περιοχών, τα δημητριακά, τα όσπρια και τα δένδρα (Πίνακας 7.2). Σε μερικά άλλα είδη, γνωστά ως φυτά C_4 , υπάρχει μια επιπλέον οδός όπου το CO_2 αρχικά μετατρέπεται σε οξαλοξικό οξύ, το οποίο ταχέως μετατρέπεται σε μηλικό και ασπαρτικό οξύ. Στη συνέχεια αυτά τα προϊόντα αποκαρβοξυλικοποιούνται για να παράγουν CO_2 , το οποίο μεταβολίζεται στον κύκλο των φωσφορικών πεντοζών (RPP).

Υπάρχουν επίσης ανατομικές διαφορές ανάμεσα στις δυο ομάδες, οι οποίες διευκολύνουν τα φυτά C_4 να διατηρήσουν μια υψηλότερη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα σε μερικούς από τους χλωροπλάστες τους, που θα μπορούσαν να προκύψουν από διάχυση μέσω του αέρα. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα ενός ρυθμού ανάπτυξης μεγαλύτερου από αυτό των φυτών C_3 . Επίσης σημαίνει ότι μια αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει μικρή επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών C_4 αλλά αυξάνει τη δυνατότητα ανάπτυξης των φυτών C_3 , γεγονός που αναφέρθηκε στην Ενότητα 11.11 για της επιδράσεις της θέρμανσης του πλανήτη.

Η φωτοσύνθεση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή σακχάρων και άλλων υδατανθράκων, τα οποία χρησιμοποιούνται για να παράγουν ενέργεια, να διατηρήσουν τη δομική οργάνωση των φυτικών κυττάρων και να παράγουν νέα φύλλα, βλαστάρια και αναπαραγωγικούς ιστούς. Η ενέργεια που απαιτείται για αυτές τις διαδικασίες προσλαμβάνεται από την αναπνοή (Εξίσωση 7.1). Ως προς τη δράση της, η αναπνοή είναι το αντίστροφο της φωτοσύνθεσης: οξυγόνο προσλαμβάνεται και διοξείδιο του άνθρακος απελευθερώνεται, αν και οι βιοχημικές αντιδράσεις είναι αρκετά διαφορετικές. Συμβαίνει συνεχώς, νύχτα και ημέρα.

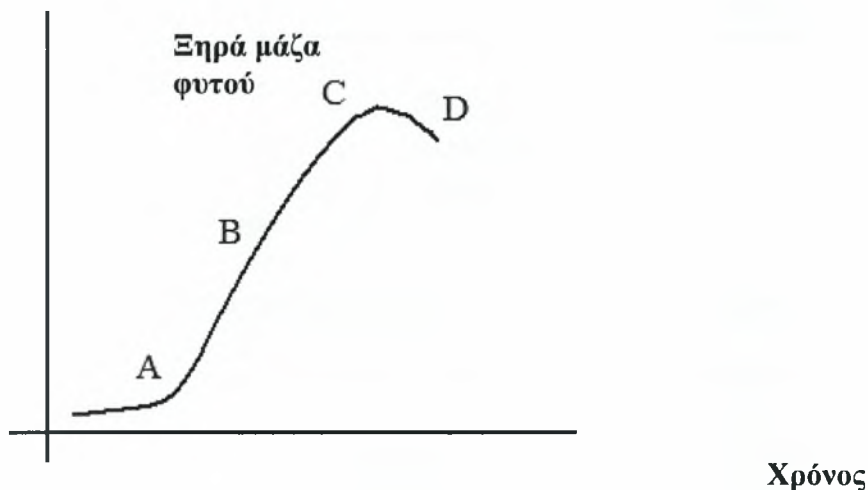
Πίνακας 7.2. Τα κύρια εδώδιμα φυτά εσοδείας του κόσμου ταξινομημένα σύμφωνα με τη χρήση των οδών C_3 ή C_4 στην αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακος

Φυτά εσοδείας C_3	στάρι, ρύζι, κριθάρι, πατάτα, κασσάβα, σόγια, βρώμη, μπανάνα
Φυτά εσοδείας C_4	αραβόσιτος, ζαχαρόχορτο, ζαχαροκάλαμο, κεχριά

Ο άνθρακας που είναι διαθέσιμος για την ανάπτυξη των φυτών είναι η διαφορά ανάμεσα στη φωτοσύνθεση και την αναπνοή:

$$P_N = P_G - R \quad (7.2)$$

όπου P_G είναι η ολική (συνολική) φωτοσύνθεση, R είναι η αναπνοή και P_N είναι η καθαρή φωτοσύνθεση, που είναι επίσης γνωστή ως η καθαρή πρωτογενής παραγωγή. Αν υπάρχει αρκετό φως, νερό, θρεπτικά συστατικά και η κατάλληλη θερμοκρασία, ένα σπορόφυτο σε απογυμνωμένο έδαφος θα αναπτυχθεί για κάποιο χρόνο με εκθετικό ρυθμό, επειδή η φωτοσύνθεση του φυτού αυξάνει καθώς παράγονται περισσότερα φύλλα. Ο ρυθμός γίνεται σχεδόν σταθερός, όταν υπάρχει συναγωνισμός αυτοσκίασης από άλλα φυτά ή όταν το φυτό σταματά να παράγει νέους βλαστούς και φύλλα. Ένα περαιτέρω στάδιο είναι ένας μειωμένος ρυθμός ανάπτυξης, καθώς το φυτό πλησιάζει στην ωριμότητα. Ο ρυθμός γίνεται μηδέν και μετά αρνητικός καθώς το φυτό πεθαίνει. Όταν το φυτό πλησιάζει στην ωριμότητα, μεταφέρει οργανικές χημικές ενώσεις και ανόργανα στοιχεία στα αναπαραγωγικά και/ή σε όργανα αποθήκευσης όπως ο καρπός, ο σπόρος και οι ρίζες. Αυτά τα στάδια απεικονίζονται στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1. Μεταβολή της μάζας του φυτού κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Αρχικά ο ρυθμός ανάπτυξης είναι εκθετικός (Α), γίνεται γραμμικός (Β), μειώνεται (C) και τελικά γίνεται αρνητικός (D) καθώς το φυτό πεθαίνει.

Αν M_2 και M_1 είναι οι ξηρές μάζες του φυτού σε χρόνους t_1 και t_2 ο μέσος ρυθμός αύξησης είναι:

$$(M_2 - M_1)/(t_2 - t_1) \approx dM/dt$$

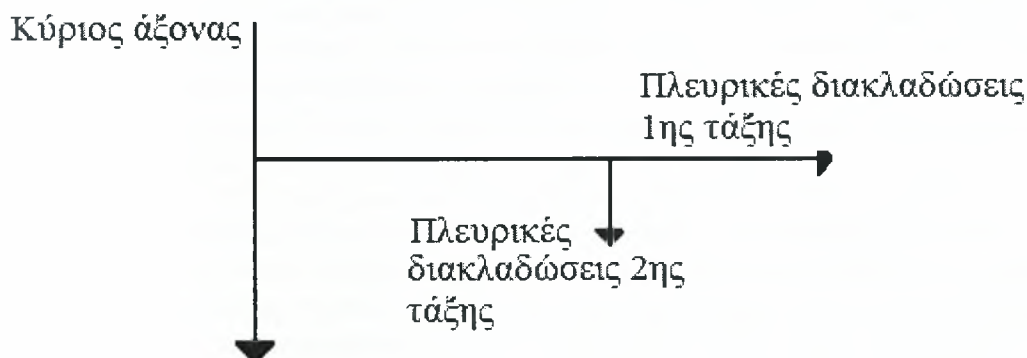
για μικρή χρονική περίοδο.

Για τη σύγκριση διαφορετικών ειδών, ή για το ίδιο φυτό σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, είναι πιο ενημερωτικό να χρησιμοποιούμε τον σχετικό ρυθμό ανάπτυξης, $(1/M)(dM/dt)$, που λαμβάνει υπόψη τη μάζα του φυτού M . Για μια πεπερασμένη χρονική περίοδο, $((t_2 - t_1))$ ο σχετικός ρυθμός ανάπτυξης, R_M δίνεται από τη διαφορά της μάζας των φυτών που εκφράζεται ως οι φυσικοί τους λογάριθμοι:

$$R_M = (\ln M_2 - \ln M_1) / (t_2 - t_1) \quad (7.3)$$

Ρίζες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πρώτη ρίζα (εμβρυϊκή ρίζα του σπόρου) συνήθως εμφανίζεται από το σπόρο πριν από το βλαστάρι. Τα δικοτυλήδονα συνήθως παράγουν μόνο μια ρίζα από το εμβρυακό φυτό ενώ τα μονοκοτυλήδονα παράγουν από μια μέχρι περίπου δέκα, ανάλογα με το είδος, και επιπλέον ρίζες από τους κόμπους στη βάση των περιβλημάτων των φύλλων. Αυτές οι κύριες ρίζες ονομάζονται άξονες. Εκείνοι που αναπτύσσονται από το έμβρυο είναι εμβρυώδεις άξονες και εκείνοι από τους κόμπους της βάσης των φύλλων είναι κομβικοί άξονες. Οι πλευρικές διακλαδώσεις βγαίνουν από τους άξονες σχεδόν όλων των φυτών: πρωτογενείς ή πρώτης τάξης πλευρικές διακλαδώσεις από τους άξονες, οι δευτερογενείς ή δευτέρας τάξης πλευρικές διακλαδώσεις από τις πρωτογενείς και ούτω καθεξής. (Σχήμα 2).



Σχήμα 7.2. Σχηματική απεικόνιση των ριζικών συστημάτων των φυτών

Πίνακας 7.3. Τα προσεγγιστικά μεγέθη των ριζών του κριθαριού και του σταριού

	Κύριος άξονας	Πλευρική διακλάδωση 1 ^{ης} τάξης	Πλευρική διακλάδωση 2 ^{ης} τάξης	Ριζική τρίχα
Διάμετρος (cm)	0.05	0.02	0.01	0.001
Αριθμός ριζών της επόμενης μεγαλύτερης τάξης ανά cm	-	2	1	1000
Μήκος (cm) ανά cm ³ εδάφους	1	5	2	1000

Μια ρίζα γίνεται μακρύτερη ως αποτέλεσμα της διαίρεσης και της επιμήκυνσης των κυττάρων κοντά στο άκρο της ρίζας. Το άκρο περιβάλλεται από ένα περίβλημα βλεννογοειδούς πηκτής (πολυσακχαρική πηκτή που παράγεται από τα κύτταρα στο

άκρο των ριζών), το οποίο μπορεί να δράσει ως λιπαντικό για την επιμήκυνση της ρίζας μέσα στο έδαφος και έχει και άλλα αποτελέσματα που συζητούνται στην Ενότητα 7.6. Η επέκταση των ριζικών αξόνων γίνεται με ρυθμό 1-20 mm ανά ημέρα, ή ακόμα μεγαλύτερο, αλλά η ανάπτυξη των πλευρικών διακλαδώσεων είναι πιο αργή. Οι ριζικές τρίχες βγαίνουν περίπου 5-10 mm πίσω από το άκρο της ρίζας και μπορούν να εκταθούν πλευρικά σε απόσταση περίπου 1 mm. Ο Πίνακας 7.3 δίνει μετρήσεις των ριζικών συστημάτων του κριθαριού και του σταριού.

Επειδή οι ρίζες παρέχουν νερό και θρεπτικά συστατικά στο φυτό, το βάθος του ριζικού συστήματος και ο όγκος εδάφους που καταλαμβάνει μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην ανάπτυξη του φυτού.

Υπό βέλτιστες συνθήκες το βάθος ριζώματος διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στα είδη των φυτών. Ένα φυτό που αναπτύσσεται από το σπόρο μέχρι την ωριμότητα σε 25 ημέρες μπορεί να ριζώσει σε βάθος μόνο περίπου 50 mm. Οι ρίζες του κριθαριού και του σταριού μπορούν να αναπτυχθούν μέχρι βάθους 1-2 m και εκείνες του τριφυλλιού (*Medicago sativa*) σε περίπου 3 m. Οι ρίζες των πολυετών χόρτων μπορούν επίσης να αναπτυχθούν μέχρι αυτά τα βάθη και οι ρίζες μερικών ειδών δένδρων μπορούν να φτάσουν ακόμα βαθύτερα. Όμως, οι φυσικές ή χημικές συνθήκες του εδάφους συνήθως περιορίζουν την ανάπτυξη των ριζών, όπως αναφέρεται στην επόμενη ενότητα.

Ένα φυτό με βαθύ ριζικό σύστημα έχει πρόσβαση σε περισσότερο νερό από αυτό με ρηχές ρίζες και μπορεί έτσι να επιζήσει σε μια περίοδο ξηρασίας, αλλά είναι εκείνες οι ρίζες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους που έχουν πρόσβαση σε υψηλότερη συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών. Η ποσοστιαία αναλογία του ολικού ριζικού συστήματος είναι συνήθως μέγιστη στα επάνω 10-15 cm του εδάφους, όπου το μήκος ρίζας ανά μονάδα όγκου εδάφους (μονάδες cm cm^{-3}) και ποικίλει από περίπου 1 για μερικά όσπρια μέχρι 20-25 στα λιβάδια. Έχει υπολογιστεί, ότι οι επιφανειακές ρίζες κοντά στο έδαφος σπάνια καταλαμβάνουν περισσότερο από 5% του όγκου του εδάφους και με είδη που έχουν πιο αραιές ρίζες, η τιμή είναι μικρότερη από 1%. Η ανάπτυξη των ριζών εξαρτάται από την μεταβίβαση των οργανικών χημικών ενώσεων από τα φύλλα, τα βλαστάρια και τα άλλα όργανα φωτοσύνθεσης. Κατά την εποχή της ανάπτυξης, περίπου ένα τρίτο της αφομοίωσης μεταφέρεται στις ρίζες των ετήσιων ειδών για την ανάπτυξη και τον μεταβολισμό. Τα πολυετή φυτά μπορούν να μεταφέρουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό μέχρι περίπου 1/2. Μέρος του άνθρακα στις οργανικές ενώσεις, που μεταφέρεται στις ρίζες, χάνεται σε CO_2 με την αναπνοή, την έκχυση από τις ρίζες και την οξειδωση από μικροοργανισμούς, καθώς οι ρίζες εκφυλίζονται. Ο άνθρακας που παραμένει στις ρίζες των ετήσιων φυτών δίνει λόγο ριζών προς βλαστάρια 0.3 - 0.4 με βάση την ξηρά μάζα κατά τη διάρκεια της πρώτης ανάπτυξης, ο οποίος μειώνεται σε περίπου 0.1 στην ωριμότητα, καθώς η αφομοίωση μεταφέρεται στον αναπτυσσόμενο σπόρο. Στα ώριμα δένδρα, ο λόγος των ριζών προς τις κορυφές είναι συνήθως περίπου 0.2, αλλά μπορεί να είναι υψηλότερος και στα μόνιμα λιβάδια ο λόγος είναι συνήθως από 5 μέχρι 10 (ιδέ Πίνακα 5.2).

7.3 Περιορισμοί στην ανάπτυξη των ριζών

Υπάρχουν αρκετές συνθήκες εδάφους που περιορίζουν την ανάπτυξη των ριζών:

Φυσικές

Μηχανική αντίσταση, που συχνά έχει σχέση με την υψηλή πυκνότητα μάζας που υπάρχει στα συμπαγή στρώματα.

Απουσία ρωγμών.

Έλλειψη οξυγόνου, συνήθως λόγω του κορεσμού από νερό.

Στεγνό έδαφος.

Υπερβολικά χαμηλή ή υπερβολικά υψηλή θερμοκρασία.

Χημικές

Υψηλές συγκεντρώσεις αλουμινίου, που συνήθως συνδέονται με χαμηλό pH.

Μικρό απόθεμα θρεπτικών συστατικών.

Φυτοτοξικά χημικά σε αναερόβιο χώμα.

Μηχανική αντίσταση και ρωγμές

Η μηχανική αντίσταση είναι ένας από τους πλέον συνήθεις περιορισμούς στην ανάπτυξη των ριζών. Οι ρίζες θα αναπτυχθούν μέσα από συνεχείς πόρους με διάμετρο μεγαλύτερη από τον εαυτό τους (περίπου 300 - 500μm), αλλά καθώς σεν υπάρχουν συνήθως αρκετοί μεγάλοι πόροι, οι ρίζες πρέπει επίσης να μετατοπίσουν σωματίδια χώματος. Αυτό μπορούν να το κάνουν μόνο αν η πίεση που εφαρμόζεται από τα κύτταρα που επιμηκύνονται στο άκρο της ρίζας μπορεί να υπερνικήσει την αντίσταση του εδάφους σε συμπίεση. Αυτή η αντίσταση εξαρτάται από τη σύνθεση του εδάφους και την πυκνότητα μάζας του και αυξάνεται καθώς το χώμα στεγνώνει. Η αντίσταση μπορεί να μετρηθεί πιέζοντας μέσα στο χώμα ένα κατάλληλο αισθητήρα, που συνδέεται με μια συσκευή μέτρησης δύναμης, γνωστό ως πενετρόμετρο (Σχήμα 7.3). Η πυκνότητα μάζας χρησιμοποιείται επίσης μερικές φορές για να δείξει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα υπάρξει αντίσταση στην ανάπτυξη της ρίζας. Τιμές 1.55 - 1.85 g cm⁻³, οι οποίες εξαρτώνται από την κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, μπορούν να μειώσουν την ανάπτυξη της ρίζας. Αυτές οι τιμές είναι μόνο ένας πρόχειρος οδηγός για τον περιορισμό της ριζικής ανάπτυξης, πρώτον λόγω της επίδρασης της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό στην συμπίεστικότητα και δεύτερον επειδή οι ρίζες μπορούν να μεγαλώσουν μέσα από τις ρωγμές και τους πόρους ακόμα και σε εδάφη υψηλής πυκνότητας μάζας.

(α) Λαβή

Δοκιμαστικός δακτύλιος

Πίνακας ενδείξεων μετρητή

Διαβαθμισμένη ράβδος

(β) Σφυρί

Βαθμίδα

ΕΔΑΦΟΣ

Άκρο (κώνος)

Άκρο

Σχήμα 7.3(σελ. 117 βιβλίου) Πενετρόμετρα για τη μέτρηση της αντοχής του εδάφους επιτόπου: (α) τύπος με ώθηση και (β) τύπος ενσφήνωσης με προώθηση από σφυρί (Από Hillel, D., 1980. *Βασικές αρχές Φυσικής Εδάφους*, Academic Press, New York, μετά από έγκριση).

Ένας από τους σκοπούς της καλλιέργειας του εδάφους είναι να μειώσει τη μηχανική αντίσταση που επιφέρει η πρόσκρουση της βροχόπτωσης, το πέρασμα των γεωργικών μηχανημάτων και των ποδιών των ζώων, που μπορούν να συμπίεσουν τα επάνω 10-20 cm εδάφους και να περιορίσουν την ανάπτυξη των ριζών. Σε εδάφη που περιέχουν 2:1 πηλό (Ενότητα 2.7) και σε μεγαλύτερα βάρη, υπάρχουν συχνά οι ρωγμές που διογκώνονται όταν είναι υγρές και συρρικνώνονται όταν είναι στεγνές. Οι πόροι που δημιουργούνται από τα σκουλήκια ή τις ρίζες από προηγούμενα φυτά επίσης επιτρέπουν στις ρίζες να αναπτυχθούν μέσα στο χώμα. Όταν δεν υπάρχουν

αυτοί οι αγωγοί, οι ρωγμές πρέπει να δημιουργηθούν με όργωμα υπό κατάλληλες συνθήκες (Ενότητα 8.2).

Αερισμός

Οι ρίζες όλων των φυτών απαιτούν οξυγόνο για την αναπνοή. Πολλά φυτά που μεγαλώνουν σε εδάφη με μεγάλη υγρασία και σε αυτά περιλαμβάνονται αρκετά είδη ελωδών φυτών και ρυζιού (*Oryza sativa*), μεταφέρουν οξυγόνο εσωτερικά προς τις ρίζες μέσω κοιλοτήτων γεμάτων με αέρα, που ονομάζονται αερεγχύματα. Μέρος του οξυγόνου που περνά προς τις ρίζες μπορεί να διαφύγει προς το έδαφος, δημιουργώντας συνθήκες οξειδωσης σε άμεση γειννίαση με τη ρίζα σε αυτό που σε άλλη περίπτωση είναι αναγωγικό μέσο. Τα περισσότερα είδη φυτών απαιτούν οξυγόνο από τους γεμάτους με αέρα πόρους στο χώμα, αν και έχει αποδειχθεί ότι μερικά μπορούν να αναπτύξουν αερέγχυμα, αν το έδαφος γίνει αναερόβιο. Το κίνητρο για την παραγωγή του αεροεγχύματος φαίνεται ότι είναι η παρουσία αιθυλενίου.

Η συγκέντρωση οξυγόνου στον αέρα του εδάφους είναι μικρότερη από αυτήν στην ατμόσφαιρα για διάφορους λόγους (Ενότητα 2.6) αλλά δεν περιορίζει συνήθως την παροχή στις ρίζες, εκτός αν πέσει σε μια χαμηλή τιμή, ίσως μικρότερη από 10% κατ' όγκο αέρα. Είναι ο όγκος και η κατανομή του αέρα του εδάφους που είναι κρίσιμοι παράγοντες. Αν το έδαφος κορεστεί με νερό, ο όγκος του αέρα μειώνεται προς το μηδέν. Αν υπάρχει μερικός κορεσμός σε νερό, η διάχυση του οξυγόνου στις ρίζες μειώνεται λόγω του μικρότερου εμβαδού και της μεγαλύτερης συστροφής του χώρου αγωγιμότητας του πόρου. Υπό αυτές τις συνθήκες το έδαφος μπορεί να γίνει ολικά ή μερικά αναερόβιο.

Τα φυτά ποικίλουν ως την απόκρισή τους σε αναερόβιες συνθήκες και τα σπορόφυτα και οι ρίζες επηρεάζονται σε ευαίσθητα είδη. Ως γενίκευση, η επιμήκυνση της ρίζας μειώνεται όταν η αέρια φάση στην οποία εκτίθενται περιέχει λιγότερο από 10% οξυγόνο, πράγμα που συμβαίνει μόνο σπάνια. Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακος μπορούν επίσης να μειώσουν την επιμήκυνση των ριζών. Εκτός από τις χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και τις υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακος, υπάρχουν και άλλες επιδράσεις των αναερόβιων συνθηκών στις ρίζες και στα σπορόφυτα.

Αρκετές οργανικές ενώσεις χαμηλής μοριακής μάζας που παράγονται σε συνθήκες ανεπαρκούς αερισμού ή κορεσμού με νερό επιδρούν στην ανάπτυξη των ριζών. Το αέριο αιθυλένιο, C_2H_4 , παράγεται από τις ρίζες και επίσης από μικροοργανισμούς στα ανεπαρκώς αερισμένα εδάφη. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορούν να διεγείρουν την ανάπτυξη των ριζών, αλλά έχει επίσης ευρεθεί ότι περιορίζει την ανάπτυξη σε μερικά είδη στα 2 μέρη στο εκατομμύριο ανά όγκο, στην αέρια φάση, μια συγκέντρωση που μπορεί να ξεπεραστεί στα αναερόβια εδάφη. Υπό αναερόβιες συνθήκες, τα καρβοξυλικά οξέα μπορούν να παραχθούν σε συγκεντρώσεις που περιορίζουν την ανάπτυξη των ριζών. Περιλαμβάνουν οξικό οξύ και βουτυρικό οξύ. Τα φαινολικά οξέα που παράγονται κατά τη διάρκεια της διάσπασης του υλικού του φυτού που περιλαμβάνει λιγνίνη είναι πιο επίμονα σε αναερόβιες συνθήκες και επίσης μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη των ριζών.

Για να ανακεφαλαιώσουμε, η ανάπτυξη των ριζών και η ανάπτυξη των μεσοφυτικών (μη ελωδών περιοχών) ειδών περιορίζεται από αναερόβιες συνθήκες στα κορεσμένα με νερό εδάφη. Υπάρχουν αρκετά πιθανά αίτια, που μπορεί να διαφέρουν ως προς τη σημαντικότητά τους ανάμεσα στα εδάφη και ανάμεσα στα είδη φυτών.

Επιδράσεις της θερμοκρασίας και της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό

Εκτός από την επίδραση του πλεονάζοντος νερού που περιγράφηκε παραπάνω, η ανάπτυξη των ριζών περιορίζεται σε ξηρά εδάφη, αν και λιγότερο από την ανάπτυξη των φυττανιών. Καθώς τα εδάφη ξηραίνονται, η ανάπτυξη των ριζών μπορεί να περιοριστεί περισσότερο από την ισχυρή συνοχή των σωματιδίων του εδάφους παρά από τα χαμηλά δυναμικά νερού.

Οι θερμοκρασίες εκτός του βέλτιστου πεδίου για ένα συγκεκριμένο είδος περιορίζει την ανάπτυξη και των ριζών και των φυττανιών. Σε χαμηλή θερμοκρασία η ανάπτυξη των φυττανιών μειώνεται περισσότερο από όσο η ανάπτυξη ριζών και έτσι ο λόγος ρίζας προς φυττάκι αυξάνει.

Παροχή θρεπτικών συστατικών

Η ανεπάρκεια σε οποιοδήποτε από τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά μειώνει τη μάζα των ριζών και των φυττανιών που παράγονται από ένα φυτό κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του προς την ωριμότητα. Η ανάπτυξη των ριζών επηρεάζεται λιγότερο από την ανάπτυξη των φυττανιών. Ως αποτέλεσμα, ο λόγος ρίζας προς φυττάκι αυξάνεται από μια χαμηλή παροχή θρεπτικών συστατικών.

Η επίδραση των θρεπτικών συστατικών, τουλάχιστον των φωσφορικών και αζωτούχων (όπως NO_3^- ή NH_4^+), είναι όμως διαφορετική όταν αυτά τοποθετούνται σε μια περιορισμένη ζώνη στο έδαφος. Η υψηλή τοπική συγκέντρωση διεγείρει την έναρξη και την επέκταση των πρωτογενών και δευτερογενών πλευρικών διακλαδώσεων. Η μάζα των πλευρικών διακλαδώσεων στη ζώνη υψηλής περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά προσλαμβάνει ένα υψηλό ποσοστό των αζωτούχων και φωσφορικών που απαιτούνται για την ανάπτυξη του φυτού. Αυτός είναι ένας από τους λόγους που το λίπασμα συχνά τοποθετείται κάτω από το σπόρο.

Αλουμίνιο

Λόγω του συντονισμού της ανάπτυξης των ριζών και των φυττανιών, οποιοδήποτε στοιχείο που είναι τοξικό για τα φυτά θα μειώσει την ανάπτυξη των ριζών. Το αλουμίνιο έχει μια άμεση επίδραση στις ρίζες και στα όξινα εδάφη είναι μια συχνή αιτία μειωμένης ανάπτυξης των φυτών. Το αλουμίνιο προσλαμβάνεται από τη ρίζα όπου προσωρινά αναστέλλει την διαίρεση των κυττάρων στα μεριστώματα των άκρων της ρίζας και έτσι σταματά την επιμήκυνση. Οι ρίζες γίνονται κοντόχοντρες και καφέ. Λόγω της έλλειψης επιμήκυνσης, οι ρίζες περιορίζονται στο ανώτερο μέρος του εδάφους και τα φυτά εκτίθενται στην ξηρασία. Τα είδη και οι γενότυποι διαφέρουν σημαντικά ως προς την ευαισθησία τους στο αλουμίνιο.

7.4 Απαιτήσεις των φυτών για H_2O

Τα φύλλα των φυτών υπάρχουν σε ένα σχετικά ξηρό περιβάλλον συγκριτικά με αυτό των ριζών. Τα στόματα στην επιφάνεια του που είναι τα κανάλια μεταφοράς CO_2 και O_2 κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης και αναπνοής, επιτρέπουν επίσης εξατμιζόμενο νερό να δραπετεύσει προς την ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του H_2O ξεφεύγει από τα στόματα αλλά περίπου το 10 % από την επιδερμίδα των φύλλων.

Η εξάτμιση του νερού από τα φύλλα εκτρέπει τον δροσισμό του φυτού και ονομάζεται διάπυρη. Οι μετεωρολογικοί λόγοι που καθορίζουν τον ρυθμό αναφέρονται στο κεφάλαιο 6.6

Κατά την διάρκεια της βλαστώδους ανάπτυξης, η φυτική μάζα των φυτών αποτελείται από 70 – 90 % H₂O δηλαδή 20+ha-1, όταν με καλές καλλιεργητικές συνθήκες ο βαθμός διαπνοής είναι 50+ho-1 ημερησίως. Από το H₂O που προσλαμβάνεται από το φυτό μόνο το 1% συγκρατείται, αλλά είναι κρίσιμο για την επίτευξη των βιοχημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στα κύτταρα των φυτών.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Τα σημαντικά χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης τα οποία επηρεάζουν την παροχή H₂O στα φυτά περιγράφονται στον πίνακα 7.4. Εκεί όπου η παροχή νερού οριοθετεί την ανάπτυξη των φυτών, η κατανομή των φυτικών ειδών και την έκταση μιας καλλιεργήσιμης φυτείας εξαρτάται από :

- α. Βροχόπτωση ανά 1 χρόνο,
- β. Το διάστημα που διαρκεί η περίοδος των βροχών
- γ. Οι ημέρες μεταξύ βροχοπτώσεων.

Ένα μέρος της βροχής, θα κρατηθεί από τον εδαφικό ορίζοντα, κάποιο μέρος θα εξατμιστεί από το έδαφος, θα απορροφηθεί από τα φυτά, κάποιο θα ξεφύγει σε υπόγεια ποτάμια ή λίμνες και κάποιο θα φύγει πάνω στην επιφάνεια (απορροή).

Πίνακας 7.4

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
1. Βάθος	1. Βροχόπτωση ανά χρόνο
2.Υπάρχον H₂O μεταξύ φονικού wilting και ικανότητας κατακράτησης του εδάφους	2. Περίοδος βροχόπτωσης(διάρκεια)
3.Ρυθμός διείσδυσης του νερού	3. Μέρες μεταξύ βροχών
4. Βάθος ριζώματος	4. Ένταση καταιγίδων
	5. Ποικιλία μεταξύ ετών
	6. Πότε είναι περίοδος των βροχών σε σχέση με την καλλιεργητική

Αποθήκευση του νερού στο έδαφος

Η χωρητικότητα του εδάφους σε H₂O που μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά επηρεάζει και την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αλλά και την επιβίωση μεταξύ των περιόδων χωρίς βροχή. Η αποθήκευση H₂O σε 2 βαθμιά εδάφη στην Hyderabad και Ινδία φαίνονται στο 7.5. Το προσληφθέν νερό στο επιφανειακό έδαφος, πιστεύεται ότι βρίσκεται στα όρια μεταξύ της αποθηκευτικής ικανότητας του χωραφιού και της μόνιμης βλάστησης, και ότι βαθύτερα η πρόσληψη αυτή μειωνόταν λόγω της πυκνότητας των ριζών. Το συμπέρασμα είναι ότι η υφή του εδάφους επηρεάζει την αποθηκευτική του ικανότητα σε H₂O, σύγκριση του σκληρής – χοντρής υφής εδάφους που είχε μόνο το 60% της ικανότητας του Vertisol. Το μέγεθος του εύκολα προσληφθέντος H₂O εξαρτάται από το βάθος του εδάφους την υφή και το βάθος και πυκνότητα του ριζικού συστήματος.

Διήθηση του νερού

Εάν ο ρυθμός της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερος από την διήθηση στο έδαφος τότε έχουμε εκροή που προκαλεί διάβρωση. Η απώλεια νερού μπορεί να είναι σοβαρό πρόβλημα, εάν δεν έχουμε αποθηκευμένο νερό, ενώ αντιθέτως είναι ευεργετική όταν συγκεντρώνεται σε λίμνες. Εδάφη με υψηλά ποσοστά ευεργετικής άμμου και αλάτων, που έχουν συνήθως αδύναμη κατασκευή, έχουν χαμηλά ποσοστά

δήθησης, όπως τα εδάφη που έχουν «πατηθεί» από βαριά μηχανήματα, τον άνθρωπο ή τα ζώα.

Ο βαθμός αποθήκευσης νερού σε συνεργασία με το ήδη υπάρχον H₂O στη ριζόσφαιρα είναι επίσης σημαντικός. Όταν το έδαφος ξηραίνεται, ο βαθμός κίνησης του νερού μέσα στο έδαφος ελαττώνεται, και η πρόσληψή του από τις ρίζες είναι μικρότερη από την απώλεια εκ των φύλλων. Εκτός κι αν υπάρξει βροχόπτωση, ή πότισμα, η κίνηση του νερού γίνεται πολύ αργή για τα φύλλα ώστε να ανακάμψουν το βράδυ. Οι τρόποι ποτίσματος αναφέρονται στο κεφάλαιο 8.10.

Επιβίωση των φυτών από έλλειψη H₂O

Τα είδη των φυτών που μπορούν να επιβιώσουν σε περιόδους έλλειψης ή το λιγότερο ελάττωσης του παρεχομένου νερού πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- α. Μικροβιολογικό κύκλο, που τα επιτρέπει να ωριμάζουν γρηγορότερα
 - β. Βαθύ και εξαπλωμένο ριζικό σύστημα
 - γ. Ικανότητα αποθήκευσης νερού σε υπέργειους ή υπογείους ιστούς
 - δ. Έναν μηχανισμό που να μειώνει την διακοπή, επιτυγχάνεται με κλείσιμο στομάτων, στροφή των φύλλων μακριά από τον ήλιο καθώς και ριζισμό αυτών
- Εξαρτώμενα από την αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους, κάποια φυτά χρειάζονται βροχές ανά κάποιες ημέρες κατά την βλαστική περίοδο ώστε να επιβιώσουν και κάποια άλλα επιβιώνουν και μερικούς μήνες.

7.5 Απαιτήσεις των φυτών για θρεπτικά συστατικά

Τα στοιχεία που απαιτούνται από τα ανωτέρω φυτά καταγράφονται στον πίνακα 7.5. Κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το μέγεθος που λαμβάνονται από τα φυτά σε μακροστοιχεία και μικροστοιχεία. Άζωτο και φώσφορος είναι αυτά που λαμβάνονται σε μεγαλύτερο βαθμό, 100Kg-1a-1, όταν η πρόσληψη μόλυβδου και κάποιων άλλων στοιχείων δεν ξεπερνά το 1Kg-1a-1. Ο πίνακας 7.5 συμπληρώθηκε με τον πειραματισμό της συμπεριφοράς των φυτών που καλλιεργήθηκαν σε διαλύματα με έλλειψη των στοιχείων αυτών στο μεγαλύτερο βαθμό. Τα αποτελέσματα του πιθανώς να ισχύουν για όλα αυτά ανεξάρτητα τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του καθενός από αυτά.

Τα στοιχεία προσλαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών μέσω των εδαφικών διαλυμάτων, Άζωτο σε μορφή NH₄⁺ και NO₃⁻, φώσφορος με H₂PO₄⁻ και HPO₄⁻², θείο με μορφή SO₄⁻² και τα μέταλλα ως κατιόντα για παράδειγμα Ca⁺².Mg⁺² & K⁺. Τα θρεπτικά συστατικά μεταφέρονται από το έδαφος στις ρίζες και μετέπειτα στα φύλλα με την διαδικασία που είναι γνωστή ως «μαζική ροή». Τα θρεπτικά συστατικά φθάνουν στην επιφάνεια των ριζών με διάχυση. Αυτές οι δύο διεργασίες περιγράφονται στην ενότητα 6.8. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους επηρεάζουν στην απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Το εδαφικό διάλυμα αναπληρώνεται με την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων που συγκρατούνται πάνω σε πηλώδεις επιφάνειες και οργανική ύλη. Αναπλήρωση των τεσσάρων βασικών μακροστοιχείων (φώσφορος, κάλιο, θείο, και άζωτου γίνεται με την διάσπαση της οργανικής ύλης που περιέχεται στο έδαφος, διάβρωση βράχων, αζωτοδέσμευση, διάσπαση οργανικών καταλοίπων φυτών και ζώων από μικροοργανισμούς, καθώς και την λίπανση. Η προσθήκη και η ανακύκλωση των στοιχείων αυτών στα φυσικά οικοσυστήματα θα αναφερθεί παρακάτω.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5 : Στοιχεία που απαιτούνται από ανωτέρω φυτά

Από την ατμόσφαιρα και το νερό	Άνθρακας, υδρογόνο, οξυγόνο.
--------------------------------	------------------------------

Από το έδαφος : Μακροστοιχεία	Αζωτο, φώσφορος, κάλιο, θείο , μαγνήσιο.
Μικροστοιχεία	Σίδηρος, μαγγάνιο, χαλκός, μολυβδαίνιο, νικέλιο
Ευεργετικά στοιχεία	Κοβάλτιο, σόδα, σιλικόνη.

7.6 Η ριζόσφαιρα

Η ριζόσφαιρα είναι το κομμάτι του εδάφους που επηρεάζεται από την παρουσία των ριζών. Οι διαστάσεις δεν γίνεται να προσδιοριστούν με ακρίβεια. Οι περισσότερες επιδράσεις συμβαίνουν μεταξύ 1-2mm από την επιφάνεια του ριζικού συστήματος αλλά εάν έχουμε σχηματισμό φυτόριζας τότε η επίδραση εξαπλώνεται σε μεγαλύτερο εύρος που φθάνει κάποια εκατοστά.

Οι επιδράσεις των ριζών στο έδαφος προέρχονται από πέντε αιτίες:

1. Αναπνοή των ριζών των περισσότερων φυτών κάνει χρήση του οξυγόνου του εδαφικού αέρα και απελευθερώνει CO₂, αλλά όσα φυτά έχουν καλά ανεπτυγμένο αερέγγυμα, απελευθερώνουν O₂ από το ριζικό σύστημα στην ριζόσφαιρα.

2. Η απορρόφηση νερού και θρεπτικών συστατικών από τις ρίζες δημιουργεί αποκλίσεις από την υδατο-ικανότητα και τις συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών κοντά στην ριζική επιφάνεια.

3. Η αναλογία κατιόντων/ανιόντων που προσλαμβάνονται από τις ρίζες επηρεάζει το PH της ριζόσφαιρας. Για να διατηρηθεί η ισορροπία μέσα στο φυτό αποβάλλονται είτε πρωτόνια είναι ιόντα δισθενούς άνθρακα.

α. Εάν $Cc > Ac$ τότε έχουμε αποβολή πρωτονίων και το PH μειώνεται.

β. Εάν $Cc < Ac$ τότε έχουμε αποβολή ιόντων και το PH αυξάνεται.

Έτσι κατά την πρόσληψη Ca⁺² έχουμε αποβολή δύο NO⁻³. Εάν έχουμε διάλυση της ισορροπίας εμφανίζεται οξύνιση του εδάφους.

4. Οι ρίζες πολλών φυτών αναπτύσσουν συνεργιστικές ιδιότητες με μύκητες (φυτόριζες).

5. Οργανικές ουσίες που ελευθερώνονται από τις ρίζες, ερεθίζουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών που επηρεάζουν την πρόσληψη νερού και θρεπτικών συστατικών ιδιαίτερος του σιδήρου και του μαγνησίου.

Άρα οι ρίζες επηρεάζουν το περιβάλλον τους, την ριζόσφαιρα, τις ιδιότητες της, PH, σύνθεση εδάφους, παρουσία και ποικιλία μικροοργανισμών σε σχέση με το καθαρό από φυτά έδαφος.

Υπάρχουν αλληλένδετες επιδράσεις στην διατροφή του φυτού. Από τις πέντε διαφορετικές επιρροές στις ιδιότητες της ριζόσφαιρας, μόνο αυτή της απελευθέρωσης οργανικών ουσιών θα συζητηθεί παρακάτω.

Τρεις πηγές οργανικών ουσιών υπάρχουν :

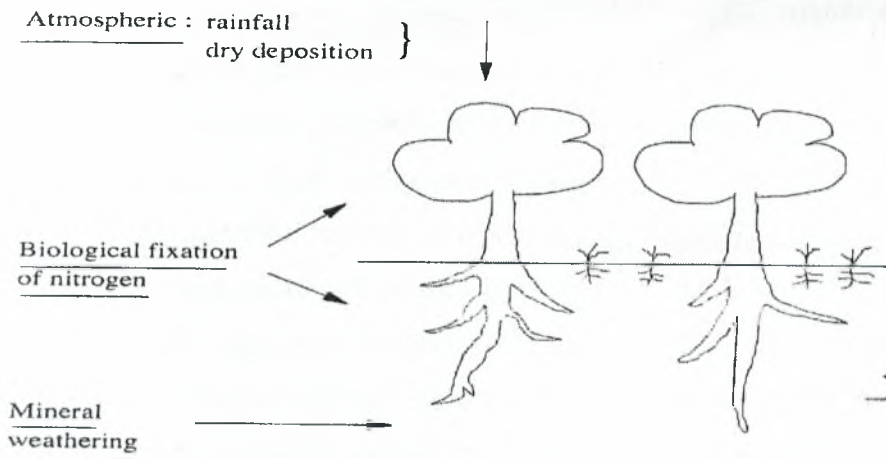
1. Mucilage (Mucigel): είναι πολυσακχαρίτης που αποτελείται από εξόζη και πεντόζη (σάκχαρα) και οξέα, που παράγονται στις άκρες των ριζών. Απομακρύνονται λίγο από τις ρίζες προτού διασπαστούν από μικροοργανισμούς.

2. Χαμηλού μοριακού βάρους ουσίες που συμπεριλαμβάνουν σάκχαρα και οργανικά οξέα και αμινοξέα που αποβάλλονται από τα ριζικά τριχίδια και ανέπαφα κύτταρα.

3. Κυτταρικό υλικό που ελευθερώνεται με τον μαρασμό από την επιδερμίδα των τριχιδίων ή τον φλοιό των ριζών.

Θρεπτικά συστατικά στα φυσικά οικοσυστήματα

Τα θρεπτικά συστατικά που προσλαμβάνουν τα φυτά από το έδαφος προέρχονται υπό φυσικές συνθήκες απ' την διάβρωση των βράχων και την ατμόσφαιρα (Σχήμα 7.9). Οι ατμοσφαιρικές πηγές απ' τις οποίες προέρχεται το περισσότερο απ' το άζωτο και το θείο του εδάφους συμπεριλαμβάνουν την ιζηματοποίηση (βροχόπτωση και χιόνι), αρκετά αέρια (άζωτο, αμμωνία, οξειδία του αζώτου, οξειδία του θείου κλπ.) και αερολύματα. Η διάβρωση των ορυκτών των βράχων απελευθερώνει θρεπτικά στοιχεία ασβεστίου, μαγνησίου, φώσφορου, καλίου, νατρίου και ιχνοστοιχεία. Η σχετική σημασία της ατμόσφαιρας σε σύγκριση με την διάβρωση των ορυκτών φάνηκε από την έρευνα στο New Hampshire των ΗΠΑ, στο Hubbard Brook Experimental Forest. Σαράντα τέσσερα χρόνια πριν αρχίσει η παρακολούθηση της περιοχής το δάσος είχε καταστραφεί και η μάζα των νέων δέντρων αυξάνονταν ετησίως.



Σχήμα 7.9 Οι τρεις περιοχές θρεπτικών συστατικών για φυτά που αναπτύσσονται υπό φυσικές συνθήκες. Σημειώστε ότι η βιολογική δέσμευση του αζώτου απ' τα βακτήρια συμβαίνει στα ριζίδια των ριζών του φυτού, σε λιγότερο βαθμό στο έδαφος και πιθανόν συμβαίνει και στο φύλλωμα των δέντρων.

Τα θρεπτικά συστατικά είτε αποθηκεύονταν στην βλάστηση είτε χάνονταν απ' την αποστράγγιση ως στρωτή ροή, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η σύνθεση των εδαφών (κυρίως spodosols) δεν άλλαξε σε μια περίοδο 12 ετών. Τα αποθηκευμένα εφόδια έξι στοιχείων φαίνονται στο Σχήμα 7.10. Κάθε πρόσληψη παρουσιάζεται ως μια εκατοστιαία αναλογία της συνολικής πρόσληψης για κάθε στοιχείο. Η αποθήκευση και η απώλεια αναπαρίστανται παρόμοια ως εκατοστιαίες αναλογίες του

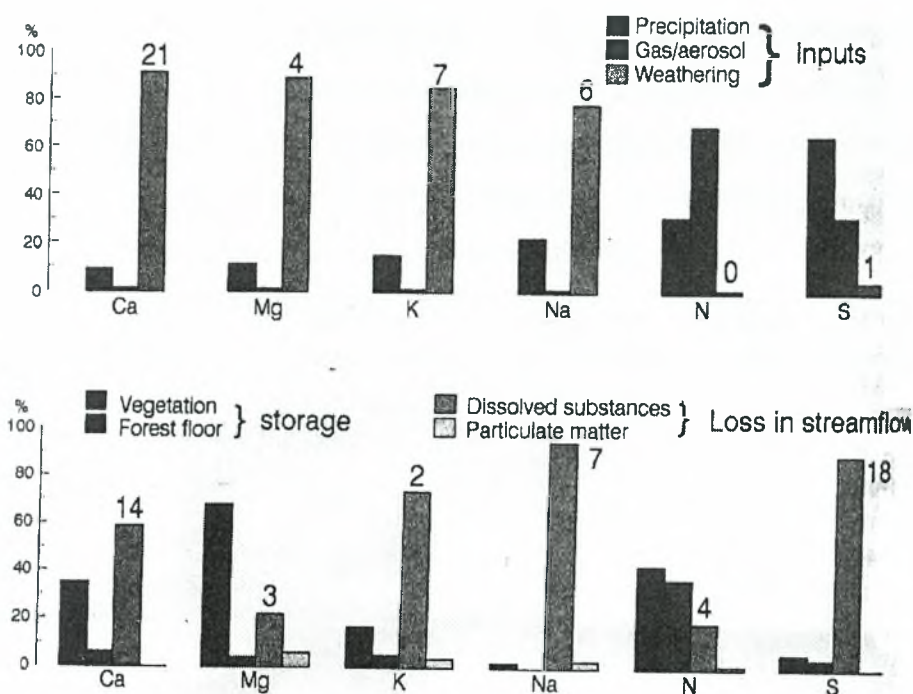
συνόλου. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η διάβρωση των βράχων ήταν η κύρια πηγή ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου, και ότι η ιζηματοποίηση, τα αέρια και τα αερολύματα ήταν η κύρια πηγή αζώτου και θείου. Τα στοιχεία στην πρώτη ομάδα έχουν ορισθεί ως «μη πτητικά» και στην δεύτερη ομάδα ως «πτητικά» επειδή σχηματίζουν πτητικά στοιχεία σε κάποιο στάδιο του κύκλου τους.

Το απόθεμα των «μη πτητικών» θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος εξαρτάται από την σύνθεση των ορυκτών στο γονικό υλικό, συμπεριλαμβάνοντας τη σκόνη της ατμόσφαιρας και την βαθμό της διήθησης. Εξαιτίας της διακύμανσης στη σύνθεση του γονικού υλικού, το απόθεμα των «μη πτητικών» στοιχείων στα ανέπαφα εδάφη διαφέρει περισσότερο μεταξύ εδαφών απ' ό τι εκείνο των «πτητικών» στοιχείων, τα οποία προέρχονται από την ατμόσφαιρα.

Η σύγκριση ανάμεσα στην περιεκτικότητα των εδαφών σε ασβέστιο και άζωτο κάτω από τέσσερα τροπικά δάση (Πίνακας 7.8) εξυπηρετεί ως ένα παράδειγμα. Το δάσος Amazon Caating της Βενεζουέλας και το δάσος Heath του Sarawak αναπτύσσονται σε εδάφη χαμηλά σε «μη πτητικά» θρεπτικά στοιχεία, που φαίνεται από τις χαμηλές περιεκτικότητες του ανταλλάσσομενου ασβεστίου. Στα εδάφη των δύο άλλων δασών οι περιεκτικότητες είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερες. Υπάρχει μια έντονη αντίθεση ανάμεσα σε δύο εδάφη από το Sarawak, τα οποία είναι 20 χμ. μακριά το ένα από το άλλο. Η περιεκτικότητα τους σε άζωτο είναι η ίδια αλλά σε ασβέστιο πολύ διαφορετική. Και στις τέσσερις περιοχές οι περιεκτικότητες των εδαφών σε άζωτο είναι πιο όμοιες απ' ό τι του ασβεστίου. Τα στοιχεία στον Πίνακα 7.8 δείχνουν επίσης ότι η βιομάζα που βρίσκεται πάνω από τη γη των δασών είναι ένας αναξιόπιστος οδηγός για την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά των εδαφών, ένα γεγονός που συχνά παραβλέπεται όταν τα δάση εκχερσώνονται για γεωργική ανάπτυξη.

Προσθήκες θρεπτικών συστατικών

Οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών που προστίθενται στα φυσικά οικοσυστήματα κατά την βροχόπτωση μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Τα ποσά εξαρτώνται απ' την βροχόπτωση και την εγγύτητα της περιοχής από τη θάλασσα, τις πηγές της ατμοσφαιρικής μόλυνσης και την ατμοσφαιρική σκόνη. Οι πίνακες 7.9 και 9.6 δίνουν τις ετήσιες αυξήσεις σε σχετικά καθαρές περιοχές. Δείχνουν ότι η βροχόπτωση είναι μια σημαντική πηγή θρεπτικών συστατικών, όταν λαμβάνεται υπόψιν, στην διάρκεια μιας μακριάς χρονικής περιόδου.



Σχήμα 7.10 Αυξήσεις, απώλειες και αποθήκευση θρεπτικών συστατικών στο Hubbard Brook Experimental Forest εκφραζόμενες ως εκατοστιαίες αναλογίες του συνόλου τους. Οι αριθμοί στις στήλες είναι $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Προσέξτε ότι οι εισροές των κατιόντων είναι κυρίως από διάβρωση ορυκτών ενώ οι εισροές αζώτου και θείου προέρχονται κυρίως από την ατμόσφαιρα. (Από G. E. Likens et al., 1977. *Βιοχημεία Δασώδους Οικοσυστήματος*. Springer-Verlag, New York.)

Οι αυξήσεις είναι πιο δύσκολο να μετρηθούν εάν προέρχονται από την ξηρή απόθεση ιζημάτων και τα αερολύματα, τα οποία προμηθεύουν κυρίως άζωτο και θείο. Αυτά συζητώνται στην Ενότητα 9.7 σε σχέση με την όξυνση του εδάφους. Μπορούν επίσης να υπάρχουν μεγάλες αυξήσεις αζώτου από βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου (Ενότητα 5.5). Στη γη η οποία αποικείται εκ νέου από φυτά ικανά να δεσμεύσουν άζωτο, έχουν μετρηθεί ετήσιες αυξήσεις μεταξύ του 40 και 130 kg N ha^{-1} .

Ο βαθμός απελευθέρωσης θρεπτικών συστατικών από την οξείδωση των ορυκτών στους βράχους δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Στην μελέτη Hubbard Brook, που αναφέρεται πιο πάνω, τα ποσά που απελευθερώθηκαν από την διάβρωση υπολογίστηκαν ως (απώλεια στην στρωτή ροή) συν (συσσώρευση στη βιομάζα και τα σκουπίδια) μείον (αύξηση κατά την βροχόπτωση).

	Δάσος - Βενεζουέλα	40- χρόνια δάσος στην Γκάνα	Προσχωματικό δάσος Σάραβακ	Δάσος με θάμνους Σάραβακ
Βιομάζα πάνω από το έδαφος($t\ ha^{-1}$)	280	336	250	470
Συνολικό N στην βιομάζα($kg\ ha^{-1}$)	334	1832	n.d.	n.d.
Συνολικό Ca στην βιομάζα($kg\ ha^{-1}$)	238	2527	n.d.	n.d.
Συνολικό N έδαφος($kg\ ha^{-1}$)	786 ^a	4596 ^b	7800 ^c	7800 ^c
Ανταλασσομένο Ca εδάφους	133 ^a	2578 ^b	1600 ^c	62 ^c
C σε απορρίμματα	2.5	4.7	5.2	4.1
N σε απορρίμματα	42	200	111	55
Ca σε απορρίμματα	31	206	286	83

Πίνακας 7.8

Οι ετήσιες τιμές φαίνονται στο Σχήμα 7.10. Οι τιμές σε άλλες περιοχές αναμένεται να ποικίλουν με τη σύνθεση του γονικού υλικού και το βαθμό διάβρωσης. Τα θρεπτικά συστατικά που απελευθερώνονται θα είναι διαθέσιμα για την πρόσληψη από τα φυτά εάν η απελευθέρωση γίνει μέσα στη ζώνη των ριζών, αλλά στα βαθιά διαβρωμένα τροπικά εδάφη τα θρεπτικά συστατικά μπορεί να περάσουν κατευθείαν στο νερό αποστράγγισης.

Πίνακας 7.9

Θρεπτικά συστατικά($kg\ ha^{-1}a^{-1}$)					
	N	P	K	Ca	Mg
Ευλεία και σκουπίδια	235	10.2	74	288	53
Ξέπλυμα φύλλων απ' την βροχή	12	3.7	220	29	18
Σύνολο	247	13.9	294	317	71
Βροχόπτωση	15	0.4	18	12	11

Κύκλος των θρεπτικών συστατικών

Στα φυσικά οικοσυστήματα υπάρχουν αυξήσεις και απώλειες των θρεπτικών συστατικών και συσσωρεύσεις στη βιομάζα όπως περιγράφηκε παραπάνω. Υπάρχει επίσης εσωτερική ανακύκλωση (Σχήμα 7.11).

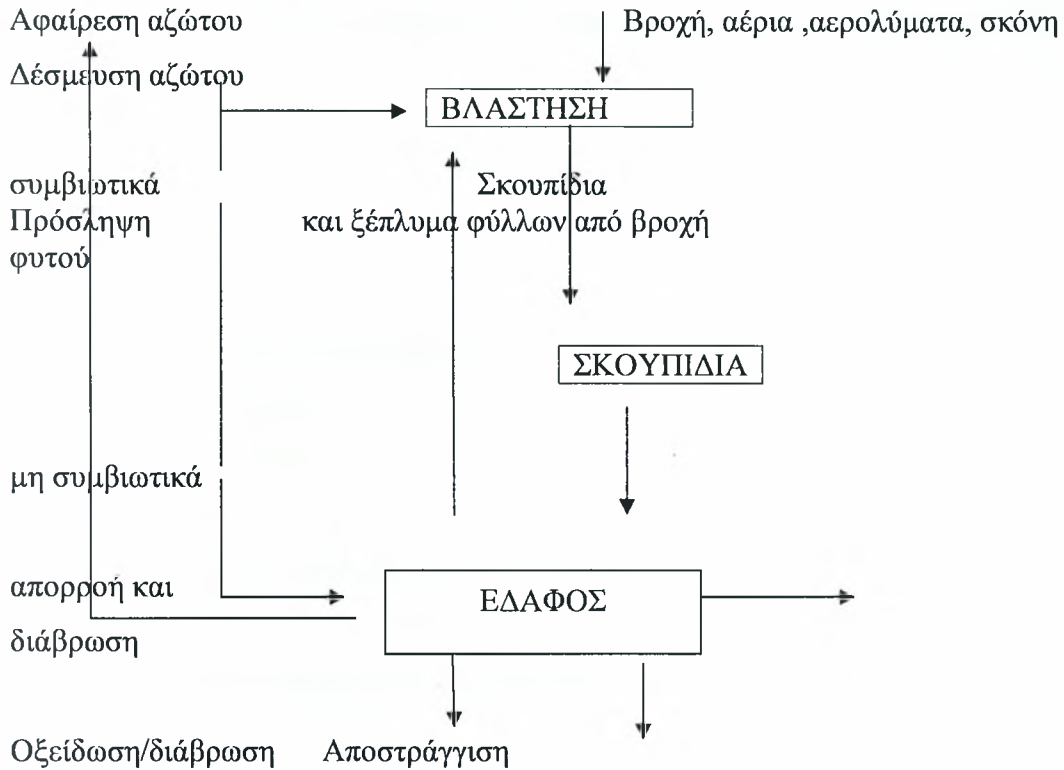
Τα θρεπτικά συστατικά που προσλαμβάνονται από τα φυτά αποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους ως σκουπίδια (φύλλα, λουλούδια, φρούτα, κλαδάκια, κλωνάρια, πεσμένα δέντρα), επίσης γνωστά ως leaf wash καθώς και σε ροή μίσχων.

Τα ποσά του άνθρακα και μερικών ορυκτών θρεπτικών συστατικών στα απορρίμματα μερικών τροπικών δασών δίνονται στους Πίνακες 7.8 και 7.9.

Μεγάλες ποσότητες καλίου, και συνήθως επίσης χλωριδίων, ξεπλένονται από τα φύλλα μαζί με μικρότερα ποσά φωσφόρου, ασβεστίου, μαγνησίου και θείου αλλά μόνο μικρά ποσά αζώτου. Στο παράδειγμα στον Πίνακα 7.9 η περιεκτικότητα της βροχής σε θρεπτικά συστατικά αυξήθηκε με το πέρασμα της μέσα από το φύλλωμα των δέντρων. Ωστόσο, τα φύλλα των δέντρων με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών μπορεί να απομακρύνουν τα θρεπτικά συστατικά από το νερό της βροχής.

Ο κύκλος των θρεπτικών συστατικών τα διατηρεί στην απώλεια από την διήθηση και την εξάτμιση. Ένας άλλος μηχανισμός για την διατήρηση των θρεπτικών συστατικών στα δέντρα είναι η απόσυρση των θρεπτικών συστατικών από τα ώριμα φύλλα στους ξυλώδεις ιστούς. Ωστόσο, υπάρχουν απώλειες με την διήθηση σε περιοχές με αποστράγγιση, και εάν η παροχή θρεπτικών συστατικών από την διάβρωση των βράχων είναι μικρότερη από την απώλεια μέσω διήθησης το απόθεμα του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά μειώνεται. Πολλά εδάφη στον κόσμο με φυσική βλάστηση έχουν χαμηλά επίπεδα θρεπτικών στοιχείων έτσι ώστε χρειάζονται επανορθωτικές μετρήσεις όταν η γη προετοιμάζεται για γεωργική χρήση.

Σχήμα 7.10



7.8 Περίληψη

Η αύξηση και η ανάπτυξη των φυτών επηρεάζεται πολύ απ' τις συνθήκες του εδάφους, κυρίως επειδή οι φυσικές και χημικές συνθήκες στο έδαφος επηρεάζουν την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών. Η κατανομή των ριζών είναι σημαντική επειδή οι ρίζες προσλαμβάνουν νερό και τα περισσότερα θρεπτικά συστατικά και παρέχουν στήριγμα.

Έχουμε ακόμη πολλά να μάθουμε για τις ρίζες των φυτών. Αυτές επηρεάζουν τις ιδιότητες του εδάφους στην άμεση εγγύτητά τους (την ριζόσφαιρα) με μια ποικιλία τρόπων που δεν είναι ακόμη καλά κατανοητοί. Οι σύνδεσμοι των μυκόρριζων μπορούν να αυξήσουν την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και να συμβεί στις ρίζες των περισσότερων ειδών στις φυσικές κοινότητες. Χρειάζεται να γνωστοποιηθούν περισσότερες πληροφορίες γι' αυτά.

Στα φυσικά οικοσυστήματα, η βροχόπτωση παρέχει νερό. Τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους προέρχονται από την διάβρωση των ορυκτών, την ιζηματοποίηση από

την ατμόσφαιρα και τη βιολογική δέσμευση του αζώτου. Ο κύκλος των θρεπτικών συστατικών τα συντηρεί, αλλά συμβαίνει μείωση λόγω διήθησης, διάβρωσης του εδάφους, και αέρια απώλεια αζώτου και των συνθέσεών του.

Κεφάλαιο 8 Συνθήκες Εδάφους και παραγωγής σοδειάς

8.1 Εισαγωγή

8.2 Καλλιέργειες

8.3 Παροχή θρεπτικών συστατικών

8.4 Χρήση λιπασμάτων

8.5 Ατομικά λιπάσματα

8.6 Οργανική ύλη

8.7 Ισοροπία θρεπτικών συστατικών

8.8 Νερό

8.9 Παραγωγή σε περιοχές χαμηλής βροχόπτωσης

8.10 Πότισμα

8.11 Περίληψη

8.1 Εισαγωγή

Για την διαχείριση μιας επιχείρησης με θέμα την γεωργία, την κηπουρική και την δασοκομία πρέπει να ληφθούν υπόψιν μια μεγάλη ποικιλία θεμάτων: η διαχείριση του εδάφους, της σοδειάς και των ζώων, την επιλογή και χρήση μηχανημάτων και εργαλείων, τον διακανονισμό του μάρκετινγκ, την διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού, και τις τοπικές και παγκόσμιες τιμές. Εκτός απ' την μη αποδοτική αγροτική παραγωγή (παραγωγή μόνο για αυτάρκεια), εκεί όπου η ασφάλεια της προμήθειας τροφών είναι σημαντική, ο σκοπός είναι να γίνει η επιχείρηση κερδοφόρα.

Οι στόχοι της διαχείρισης του εδάφους είναι να δημιουργηθούν κατάλληλες συνθήκες για τις καλλιέργειες που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Όπως καταγράφηκε στην Ενότητα 7.1, από το έδαφος απαιτείται να παρέχει τη στήριξη και τις φυσικές και χημικές συνθήκες που χρειάζονται τα φυτά. Αυτό που θα κάνει λοιπόν ο γεωργός για να ικανοποιήσει αυτές τις απαιτήσεις εξαρτάται από το τι καλλιεργεί, την ζητούμενη

απόδοση, τους τρόπους προσθήκης θρεπτικών συστατικών που είναι διαθέσιμοι, και τις συνθήκες εδάφους και κλίματος.

Η διαχείριση του εδάφους ξεκίνησε με τους πρώτους γεωργούς. Οι καλλιέργειες, οι εναλλαγές και η άρδευση είναι αρχαίες πρακτικές. Κατά τα τελευταία 200 χρόνια έχουν παρουσιαστεί αρκετές καινοτομίες: τα μηχανήματα έχουν γίνει πιο δυνατά, καλλιεργούνται ποικιλίες με μεγαλύτερη απόδοση, έχουν εισαχθεί λιπάσματα και χημικά για τον έλεγχο των ζιζανίων καθώς και κατασκευάστηκαν υποδομές για την κατακράτηση νερού(τεχνητές λίμνες) ή αντιθέτως την αποστράγγιση του ελατώνοντας την καταστροφή του υδάτινου ορίζοντα .

Το έδαφος είναι ο κύριος πόρος του καλλιεργητή και είναι προς συμφέρον του να το διατηρεί σε όσο πιο γόνιμες συνθήκες γίνεται. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται, αλλά έχουν υπάρξει –και ακόμα υπάρχουν- παραδείγματα κακής διαχείρισης. Έχει προκληθεί διάβρωση από κόψιμο δέντρων, έχουν συσσωρευθεί άλατα σε εδάφη που αρδεύονται και έχουν χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια ακατάλληλα εδάφη.

Προβλήματα σαν κι αυτά, και τρόποι επίλυσής τους αναφέρονται σε επόμενα κεφάλαια. Εδώ μελετούμε τις πρόσφατες πρακτικές που χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουμε και να διατηρήσουμε την γονιμότητα του εδάφους. Λέγοντας γονιμότητα του εδάφους εννοούμε την ικανότητα του εδάφους να παράγει καλές σοδειές με τα φυτά που καλλιεργούνται.

8.2 Καλλιέργειες

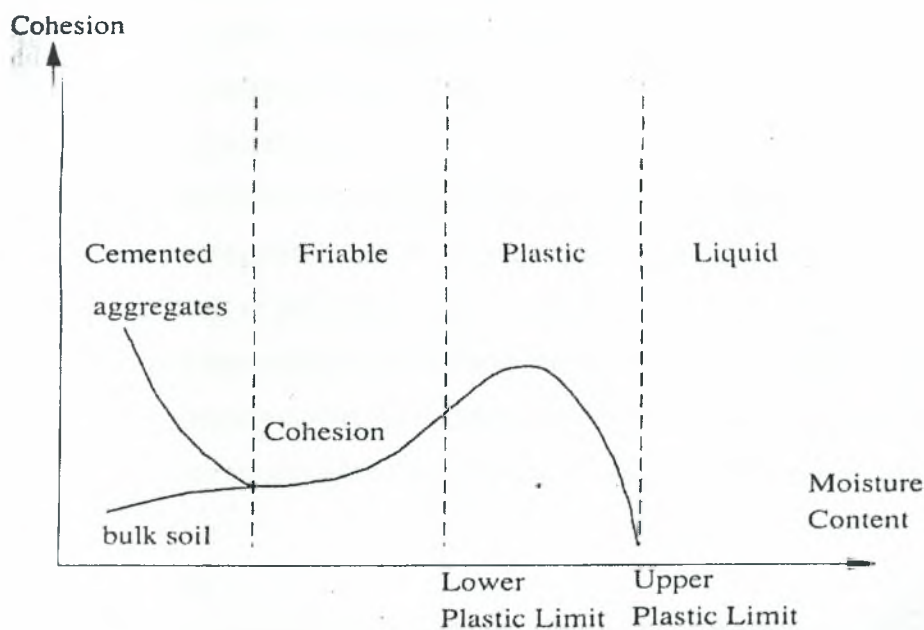
Ο σκοπός της καλλιέργειας της γης είναι να δημιουργήσουμε κατάλληλες φυσικές συνθήκες για την καλλιέργεια των φυτών, δηλαδή:

1. Για να πάρουμε ένα χώρο για το σπόρο, δηλαδή, να δημιουργήσουμε συγκεντρώσεις υλικών κατάλληλου μεγέθους κοντά στην επιφάνεια του εδάφους για να παρέχουν νερό και οξυγόνο για να βλαστήσει ο σπόρος καθώς και να επιτρέψουν την εύκολη εμφάνιση του σπορόφυτου.
2. Να παρέχουμε συνθήκες κατάλληλες για την αύξηση των ριζών χαλαρώνοντας το έδαφος κοντά στην επιφάνεια, και μερικές φορές και σε βάθος, για να παρέχει κανάλια να αναπτυχθούν οι ρίζες καθώς και τη βελτίωση του αερισμού (ή της αποστράγγισης).
3. Η ενσωμάτωση με το έδαφος των αγριόχορτων και των υπολειμμάτων των καλλιεργειών, που διαφορετικά δυσκολεύουν την δημιουργία καλού χώρου

για το σπόρο(αποτρέπουμε τον ανταγωνισμό των αγριόχορτων προς την καλλιέργεια.

4. Θα μπορούσαν να υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις, για παράδειγμα η δημιουργία αυλακιών για την φυτεύση σοδειών της πατάτας ή όχτο αυλακιών που χρησιμοποιείται κατά προτίμηση σε πολλές χώρες για την σπορά αντί για επίπεδο έδαφος. Μια άλλη ειδική απαίτηση είναι οι πεζούλες για να αποφύγουμε τη διάβρωση και αυτό αναφέρεται στην Ενότητα 12.8.

Υπό πολλές συνθήκες οι απαιτήσεις για την δημιουργία ενός χώρου για τη σπορά ικανοποιούνται πρώτα με το όργωμα το οποίο αναστρέφει ένα τεμάχιο ή σκάψιμο σε ένα βάθος περίπου 20-25 cm. Το ανακατωμένο χώμα επιδέχεται επιπλέον κατεργασία(σπάσιμο πιθανών σβόλων-κομματιών χώματος κ.α) χρησιμοποιώντας δίσκους και σβάρνες. Εάν η πυκνότητα της επιφάνειας του εδάφους είναι πάρα πολύ χαμηλή συμπιέζεται χρησιμοποιώντας ένα κύλινδρο.



Σχήμα 8.1 Οι τέσσερις φυσικές καταστάσεις του εδάφους καθώς αυτό γίνεται προοδευτικά υγρό. Όταν είναι εύπλαστο το έδαφος κολλάει στα αγροτικά εργαλεία και οι καλλιέργειες θα πρέπει να γίνονται όταν το χώμα είναι εύθρυπτο.

Υπό άλλες συνθήκες είναι προτιμότερο να αποφεύγουμε την αναμόχλευση του εδάφους. Χρησιμοποιούνται τσουγκράνες ή δίσκοι για να επιτευχθεί το κατάλληλο βάθος άροσης χωρίς να πρέπει να θάψουν τα υπολείμματα σοδειάς.

Ένας έμπειρος γεωργός μπορεί να κρίνει εάν ένα έδαφος είναι εύθρυπτο, δηλαδή, εάν έχει τη σωστή περιεκτικότητα νερού για την καλλιέργεια. Εάν είναι πάρα πολύ υγρή η δομή του χώματος μπορεί να πάθει ζημιά. Οι ρόδες των τρακτέρ γλιστρούνε και το πασάλειμμα της επιφάνειας του εδάφους μπλοκάρει τα αποστραγγιστικά κανάλια, τα αλέτρι συμπιέζει το έδαφος δημιουργώντας κοιλώματα, και το χώμα κάνει συσσωματώματα που μπορεί να είναι δύσκολο να σπάσουν όταν στεγνώσουν. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας το έδαφος θα πρέπει να είναι πιο ξηρό απ' το χαμηλότερο όριο ευπλαστότητας, που περιορίζει τον αριθμό των ημερών που μπορεί το έδαφος να καλλιεργηθεί. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα εάν αφού ένα έδαφος έχει αποστραγγιστεί έως την ικανότητα ενός χωραφιού, παραμένει πιο υγρό απ' ότι το χαμηλότερο όριο ευπλαστότητας (Σχήμα 8.1). Το έδαφος θα πρέπει τότε να αφήνεται να στεγνώσει πριν καλλιεργηθεί. Ωστόσο, εάν έχει υψηλή περιεκτικότητα αργίλου και είναι πολύ ξηρό, η καλλιέργεια με δίσκους και σβάρνες μπορεί να αφήνει μεγάλες συσσωρεύσεις ανέπαφες δυσκολεύοντας την μετατροπή του εδάφους που έχει σβώλους σε καλό σπορείο.

Τα βαριά μηχανήματα συμπιέζουν το έδαφος, ιδιαίτερα εάν είναι υγρό. Η συμπίεση κάτω απ' τις ρόδες είναι πιο πιθανό να συμβεί κατά τη διάρκεια της μηχανικής συγκομιδής αργά το φθινόπωρο, και την επέκταση διαλύματος πηλού το χειμώνα.

Όταν φαίνεται να συμβαίνει συμπίεση κάτω απ' το βάθος στο οποίο το έδαφος μπορεί να οργωθεί, μπορεί να γίνει χαλάρωση κάνοντας ένα βαθύ τσουγκράνισμα πίσω απ' το τρακτέρ όταν το χώμα δεν είναι πάρα πολύ υγρό στο βάθος, μια τεχνική γνωστή ως *subsoiling*.

Αποστράγγιση

Μετά από μια περίοδο βροχής, ακόμη κι αν το έδαφος δεν έχει συμπιεσθεί, το νερό θα μπορούσε να μείνει στην επιφάνεια του εδάφους. Μπορεί να υπάρχουν τρεις κύριες αιτίες.

1. Το έδαφος επικαλύπτεται με αδιαπέραστο άργιλο. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί οδηγώντας το νερό σε χαντάκια με την βοήθεια της βαρύτητας και μετά στραγγίζει σε ένα σύστημα τύπου «ποταμιού».

2. Το έδαφος βρίσκεται χαμηλά και υπάρχει ψηλός υδάτινος ορίζοντας. Πιθανόν να χρειάζεται αποστράγγιση και το νερό θα χρειαστεί να αντληθεί απ' τα αυλάκια στα ποτάμια.
3. Το έδαφος παίρνει νερό από κεκλιμένα εδάφη που βρίσκονται από πάνω του. Αυτό μπορεί να αποτραπεί κάνοντας διασταυρούμενα αυλάκια και η επιφάνεια που αποστραγγίζεται από την πλαγιά μπορεί να μειωθεί ή να αποτραπεί με περιμετρικό όργωμα και άλλες παρόμοιες τεχνικές (Ενότητα 12.8).

Απαιτείται επίσης ένα αποστραγγιστικό σύστημα όπου εκτελείται η άρδευση, σε ένα περιβάλλον όπου κανονικά δεν υπάρχει αποστράγγιση και θα πρέπει να προστίθεται πλεόνασμα νερού για να αποτρέψει την συσσώρευση αλάτων (Ενότητα 8.10).

Άμεση σπορά

Οι συμβατικές καλλιέργειες είναι ακριβές και έχουν το μειονέκτημα ότι αφήνουν το έδαφος εκτεθειμένο στον άνεμο και τη βροχή και συνεπώς θα μπορούσε να υποστεί ζημιά και διάβρωση. Μια εναλλακτική λύση είναι να σπείρουμε το σπόρο στην καλαμιά της προηγούμενης σοδειάς, δηλαδή την σπορά νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την συγκομιδή της προηγούμενης, ένα σύστημα γνωστό ως «no-till» ή «άμεση σπορά». Χρησιμοποιούνται ξεβοτανίσματα για να ελεγχθούν τα αγριόχορτα. Το σύστημα εξοικονομεί κόστος, αλλά δεν εξασκείται πολύ στα Ηνωμένα Βασίλεια επειδή πολλά εδάφη απαιτούν καλλιέργειες που ενσωματώνουν τα υπολείμματα της προηγούμενης σοδειάς ώστε να παράγουν ένα καλό χώρο για σπορά. Σε άλλες χώρες η άμεση σπορά αποτελεί μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να συγκρατηθεί το έδαφος από τη διάβρωση.

8.3 Παροχή θρεπτικών συστατικών

Όλα τα γεωργικά συστήματα περιλαμβάνουν το μάζεμα της σοδειάς ή των ζώων και την απομάκρυνση από τη γη των θρεπτικών συστατικών που περιέχει. Τα ζώα που βόσκουν απομακρύνουν λιγότερο απ' ό,τι οι καλλιέργειες, επειδή παρ' όλο που η πρόσληψή τους μπορεί να είναι υψηλή τα περισσότερα απ' τα θρεπτικά συστατικά επιστρέφουν στη γη με τα περιττώματα και τα ούρα. Η απομάκρυνση στις καλλιέργειες εξαρτάται απ' την συνολική απόδοση, το μέρος της σοδειάς που απομακρύνεται με τη συγκομιδή και την συγκεκριμένη σοδειά που αναπτύσσεται. Ο Πίνακας 8.1 δίνει μερικά τυπικά ποσά. Τα θρεπτικά συστατικά χάνονται επίσης με το νερό που στραγγίζει και μερικά με την εξάτμιση.

Πίνακας 8.1

	Παραγωγή ξερής ουσίας(tha^{-1})	N	P	K	S	Ca	Mg
Σιτάρι σίτου	5	100	20	28	8	3	8
Σιτάρι άχυρου	5	35	4	40	5	18	5
Αραβόσιτος σίτου	5	100	20	30	5	10	8
Αραβόσιτος άχυρου	5	50	10	60	8	10	10
Ρύζι σίτου	5	90	20	25	8	5	1
Ρύζι άχυρου	5	20	5	50	5	15	8
Σανός σίκαλης	10	160	30	180	12	40	12

Εάν δεν υπάρξει αντικατάσταση των θρεπτικών συστατικών η απόδοση της σοδειάς θα μειωθεί. Επίσης, όταν η γη καλλιεργείται για πρώτη φορά μπορεί να υπάρχει ανάγκη για διόρθωση της ανεπάρκειας σε θρεπτικά συστατικά. Αυτά τα δύο προβλήματα έχουν ξεπεραστεί με τέσσερις τρόπους.

1. Να μειώσουμε το βαθμό μείωσης των θρεπτικών συστατικών που επιστρέφουν στα υπολείμματα της σοδειάς, στην οργανική κοπριά από τα ζώα που είναι σε μαντριά, και σε μερικές χώρες στα λύματα βόθρων (ανθρώπινα εκκρίματα) ή απόβλητα.
2. Προστίθεται άζωτο με βιολογική δέσμευση αζώτου από όσπρια ή άλλα βιολογικά συστήματα (Ενότητα 5.5).
3. Τα θρεπτικά συστατικά αφήνονται να συσσωρευτούν υπό αγρανάπωση, όπως αγρανάπωση με θάμνους όπως έχει χρησιμοποιηθεί κατά παράδοση στις τροπικές χώρες.
4. Χρησιμοποιούνται λιπάσματα για να παρέχουν τα θρεπτικά συστατικά στις απαιτούμενες ποσότητες, που διαφορετικά θα ήταν ανεπαρκή.

Χρήση λιπάσματος

Ο όγκος των λιπασμάτων που είναι τώρα σε χρήση κατασκευάζεται από τη χημική βιομηχανία. Το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο είναι οι θρεπτικές ουσίες που

χρησιμοποιούνται στο μέγιστο ποσό . Ο πίνακας 8.2 απαριθμεί τα λιπάσματα που βρίσκονται σε συχνη χρήση. Άλλες πηγές θρεπτικών ουσιών που εφαρμόστηκαν στις συγκομιδές είναι οργανικά λιπάσματα (παράγραφος 8.6), και, σε πολύ μικρότερο βαθμό, επεξεργασμένα μέρη των ζώων όπως το κόκκαλο, τα ιχθυάλευρο, η συντριμμένη οπλή και το κέρατο, και το ξηρό αίμα. Οι χημικές ουσίες που εμφανίζονται φυσικά, συμπεριλαμβανομένου του νιτρικού άλατος και καινίτη, χρησιμοποιούνται συγκριτικά σε μικρά ποσά. Τρεις είναι οι σημαντικές εξελίξεις στα λιπάσματα στη σύγχρονη γεωργία.

1. Τα μακροπρόθεσμα υπαίθρια πειράματα που άρχισαν στο 1840s Rothamsted στον πειραματικό σταθμό, Harpenden στη νότια Αγγλία, έδειξαν ότι οι παραγωγές συγκομιδών όπως εκείνοι του σίτου θα μπορούσαν να διατηρηθούν με τη συνεχή καλλιέργεια όταν προστεθηκαν οι απαραίτητες θρεπτικές ουσίες (πίνακας 8.3). Στην πράξη, εντούτοις, η καλή διαχείριση συνήθως απαιτεί μια αμειψισπορά και συχνά την προσθήκη της οργανικής ουσίας.

2. Η σύνθεση των λιπασμάτων αζώτου στις αρχές της δεκαετίας του '20 από το ατμοσφαιρικό άζωτο σε μεγάλη κλίμακα. Η παραγωγή του σιταριού σίτου (τόνοι ανά εκτάριο) στον τομέα Broadbalk , πειραματικά treatments των σταθμών του Rothamsted που άρχισαν σε 1843, τα ετήσια ποσοστά εφαρμογής ήταν 144 ..35 και 90 κλ εκτάριο " \ ν, π, και K, αντίστοιχα FYM (λίπασμα αυλών) παρείχε 248 ..43 και 325 κλ * "" του ν, του π, και του K, αντίστοιχα wee: Πειραματική έκθεση σταθμών Rothamsted για το 1982, μέρος 2, και προηγούμενη ετήσια χρήση σχήματος 8.2 των λιπασμάτων στον κόσμο και στο UK. (Προερχόμενος από τις επετηρίδες FAO, "λίπασμα". FAO, Ρώμη.) παραγωγή σε μια χαμηλή τιμή. Οι πύο πρόσφατες εξελίξεις στη βιομηχανία πετρελαίου η φτηνή ενέργεια για τη διαδικασία.

3. Η εισαγωγή υψηλής παραγωγής κοντών, ποικιλιών δημητριακών είχε καταστήσει κερδοφόρα την προσθήκη μεγαλύτερων ποσών λιπασμάτων. Οι βελτιωμένες καλλιέργειες, η άρδευση και η χρήση των φυτοφαρμάκων έχουν δικαιολογήσει επίσης τη χρήση περισσότερου λιπασματος. Η χρήση του λιπασματος παγκοσμίως έχει αυξηθεί εντυπωσιακά και από τη δεκαετία του '50 έχει παρουσιάσει μεγαλύτερη αύξηση και προβάλλεται ότι η χρήση της κάθε έτος θα φθάσει σε 100 εκατομμύρια τόνους το έτος 2000. Η ανάγκη για περισσότερες θρεπτικές ουσίες οδήγησε στο να παραχθεί ο σίδηρος που απαιτείται. Στην Αγγλία η χρήση του φωσφόρου και του καλίου μειώθηκε αφότου καληφθηκαν οι περισσότερες από τις αρχικές ελλείψεις , και η ανάγκη για το άζωτο αύξηθηκε τώρα που καλύπτει η παραγωγή τροφίμων τις απαιτήσεις. Ο σκοπός της χρήσης λιπασματος είναι να αφαιρεθεί ο περιορισμός στην αύξηση που θα προκαλούταν από έναν ανεπαρκή ανεφοδιασμό των θρεπτικών ουσιών στο χώμα Συχνότερα, οι θρεπτικές ουσίες που είναι κύκλος μέσω της βλάστησης και έχουν συσσωρεύσει κοντά στην εδαφολογική επιφάνεια είναι αρκετές για τις καλές συγκομιδές για ένα ή δύο ή ακόμα και αρκετά έτη, αλλά η θρεπτική μείωση εμφανίζεται αναπόφευκτα (πίνακας 8.4). Η αυξημένη ζήτηση για ένα ή περισσότερα από τα 14 απαραίτητα στοιχεία (ο πίνακας 7.5), είναι συνηθέστερα για το φώσφορο ή το νιτρικό κάλιο.

Το κόστος/κέρδος της χρήσης λιπασματος

Η κύρια εξαίρεση της επιβίωσης που καλλιεργεί, τα προϊόντα του πολιτισμού αγνήγ πωλείται για τα μετρητά. Εάν το κόστος μιας εισαγωγής όπως το λίπασμα είναι δικαιολογημένος, πρέπει να είναι λιγότερο από την αγοραστική αξία του πρόσθετου προϊόντος από την εισαγωγή. Όλο και περισσότερο, οι αγρότες επιβίωσης χρειάζονται

τα μετρητά στα αγαθά για ναμπορούν να πληρώσουν για τις εισαγωγές των εμπορεύσιμα προϊόντα τους. -η σχέση μεταξύ του κόστους του λιπάσματος και της αξίας του προϊόντος παρουσιάζεται σχηματικά στο σχήμα 8.3. Στο απότομο μέρος της καμπύλης κάθε χιλιόγραμμο του λιπάσματος ν αυξάνει συνήθως την παραγωγή του σιταριού σίτου ι κατά 25 κλ. Δεδομένου ότι το κόστος του λιπάσματος ν είναι για £0.3. Χωρίς λίπασμα η αξία της συγκομιδής μπορεί να σταθεροποιησει τις δαπάνες και η υπερβολική χρήση μειώνει τα κέρδη. Η αγοραστική αξία του σιταριού είναι για £0.1 ανά κιλο, η επένδυση στο άζωτο λιπάσματος μπορεί να είναι πολύ κερδοφόρα, το ίδιο πράγμα ισχύει συχνά για την προσθήκη άλλων θρεπτικών ουσιών. Το μέγιστο κέρδος (σχήμα 8.3) που λαμβάνεται από ένα ποσό λιπάσματος, ϕ , το οποίο χρησιμοποιείται για μια παραγωγή συγκομιδών κοντά στο μέγιστο, το πραγματικό ποσό λιπάσματος που προστίθεται εξαρτάται από την απαίτηση της παραγωγής ανά χιλιόγραμμο για την θρεπτική ουσία, εξαρτάται από το κόστος του λιπάσματος στον τορναδόρο και από την τιμή αγοράς του προϊόντος. Η απαίτηση της παραγωγής για την αποδοτική χρήση του λιπάσματος, που συζητείται και οι τιμές ποικίλλουν μεταξύ των χωρών και επηρεάζονται συχνά επιχορηγήσεις από το κράτος και ελεγχονται οι τιμές, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι τιμές στα τροφιμα. Ο αγρότης επιβίωσης, ο οποίος δεν μπορεί να αντέξει οικονομικά τους οικονομικούς κινδύνους, πρέπει να κάνει άλλες εκτιμήσεις. Να πρέπει να δανειστεί τα χρήματα σε υψηλά ποσοστά για να αγοράσει το λίπασμα, το δανειο μπορεί να μην εγκριθεί την περίοδο που το χρειάζεται, η τιμή αγοράς του προϊόντος να είναι πάρα πολύ χαμηλή όταν αυτός προκειται να πουλήσει, και το αποτέλεσμα των συγκομιδών μπορεί να είναι πολύ μικρο λόγω ζιζανίων αλλά και λόγω ξηρασίας.

Τα λιπάσματα και η αναμενόμενη συγκομιδή

Ο ρυθμός ανάπτυξης και τελική παραγωγή μιας συγκομιδής εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες από τους οποίους ένας είναι ο θρεπτικός ανεφοδιασμός. Στις περιόδους 1852-61 και 1970-8, η παραγωγή εφτασε μέχρι στο υψηλότερο ποσοστό εφαρμογής αζώτου το οποίο υπολόγιστηκε κατά μέσο όρο 5,32 τ ha⁻¹ μεταξύ 1970 και 1978 αλλά μόνο 2,52 τ ha⁻¹ στις αρχές της περιόδου. Διάφορες αλλαγές έγιναν κατά τη διάρκεια της του πειράματος. Υπήρξε αλλαγή από τη λίπανση φθινοπώρου στη λίπανση άνοιξης, αλλά η μεγαλύτερη επίδραση εμφανίστηκε όταν αυξήθηκαν οι μικρές ποικιλίες. Ο δείκτης συγκομιδών τους (παραγωγή του σιταριού/παραγωγή του σιταριού συν το άχυρο) υψηλότερος απ'ό,τι στις παλαιές ποικιλίες, δηλαδή μεταφέρουν ένα μεγαλύτερο μέρος θρεπτικών συστατικών στο σιταρι. Η σημαντική αρχή είναι ότι επί ενός ιδιαίτερου τόπου η απάντηση των παραγωγών συγκομιδών στη λίπανση των λιπασμάτων εξαρτάται από τα πρότυπα της διαχείρισης συγκομιδών και χώματος. Οι μικρές ποικιλίες του σίτου και του ρυζιού και η χρήση του λιπάσματος, της άρδευσης και των φυτοφαρμάκων είναι κατά ένα μεγάλο μέρος υπευθινο για αυτό που έχει γίνει γνωστό ως πράσινη επανάσταση. Στις περιοχές του κόσμου με τις χαμηλές βροχοπτώσεις, η παροχή νερού περιορίζει τη συγκομιδή. Οι συνολικές εποχιακές βροχοπτώσεις βοηθήσαν στην παραγωγή του κριθαριού και τα αποτελέσματα από τη χρήση λιπάσματος αυξήθηκαν με τις βροχοπτώσεις σε πειραματικούς τόπους όπως η Συρία. Το σχήμα 8.4 δείχνει ότι στη Συρία το αποτέλεσμα στην παραγωγή του κριθαριού με την προσθήκη λιπάσματος αυξήθηκε με τις βροχοπτώσεις. Με 300 χιλ. βροχής το αποτέλεσμα ήταν 0,9 τόνους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και με 450 χιλ., ήταν 2,11. Λόγω του κινδύνου αποτυχίας συγκομιδών στις περιοχές με χαμηλές-βροχοπτώσεις η χρήση του λιπάσματος δεν

είναι ενδεδειγμένη. Ακόμη και όπου οι βροχοπτώσεις είναι ικανοποιητικές για την υψηλή συγκομιδή οι απαιτήσεις για λίπασμα είναι ίδιες με ένα ξηρό έτος.

Η αποδοτική χρήση των λιπασμάτων

Ο αγρότης στοχεύει για το μέγιστο κέρδος από την επένδυσή του στα λιπάσματα, τα οποία δίνουν σε μεγάλο βαθμό ότι απαιτεί μια φυτεία. Οι αρχές της χρήσης λιπασμάτων αναπτύσσονται με σκοπο να έχουμε καλύτερη χρήση και αποτέλεσμα κοντα στο μέγιστο:

1. Πρέπει να μαθευτεί που οι θρεπτικές ουσίες πρέπει να προστεθούν και το ποσοστό στο οποίο πρέπει να προστεθούν. Επειδή οι θρεπτικές ουσίες στα λιπάσματα συμπληρώνουν εκείνες στο χώμα, οι εδαφολογικές προμήθειες πρέπει να είναι γνωστες. Η χημική ανάλυση του συνολικού περιεχομένου των θρεπτικών ουσιών στο χώμα δεν παρέχει σχεδόν καμία οδηγία. Αντ' αυτού, τα διάφορα οξέα, τα αλκάλια, οι αλατισμένες λύσεις και οι συμπλοκογόνοι πράκτορες χρησιμοποιούνται για να εξαγάγουν τα εδαφολογικά δείγματα, που λαμβάνονται συνήθως σε ένα βάθος 15-20 εκατ. (πίνακας 8.6). Τα ποσά που εξάγονται θεωρούνται ικανοποιητικά ή ανεπαρκή με τη σύγκριση τους με τα ποσά που εξάγονται από τα παρόμοια χώματα στα οποία τα υπαίθρια πειράματα έχουν τα αποτελέσματα των αυξήσεων των προστιθέμενων θρεπτικών ουσιών στην παραγωγή συγκομιδών. Στα υπαίθρια πειράματα οι ίδιοι παρέχουν τις οδηγίες στον αγρότη αν και τα αποτελέσματα ισχύουν αυστηρά μόνο για την περιοχή, τη συγκομιδή, τον εδαφολογικό τύπο και την εποχή στην οποία τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν. Εκτός από την εδαφολογική ανάλυση, η ανάλυση εδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέπει την απαίτηση για μεμονωμένες θρεπτικές ουσίες. Οι φυτείες μπορούν να παρουσιάσουν ελλείψεις, υπερβολές ή δυσαναλογία των θρεπτικών ουσιών. συχνά έχουμε ανεπάρκεια αζώτου, και η χλώρωση (κιτρίνισμα) μεταξύ των φλεβών στα παλαιότερα φύλλα θα δείξει συχνά την ανεπάρκεια μαγνήσιου. Οι ανεπάρκειες ή οι υπερβολές μπορούν να επιβεβαιωθούν από τη χημική ανάλυση των φυτών ή των μερών τους, π.χ. φύλλα, των μίσχων ή των φρούτων στα συγκεκριμένα στάδια της αύξησης. Εάν είναι πάρα πολύ αργά για να διορθώσει την αναταραχή στη συγκομιδή ανάπτυξης, μπορεί να διορθωθεί για την επόμενη συγκομιδή.

2. Το λίπασμα πρέπει να εφαρμοστεί στο σωστό χρόνο και στη σωστή θέση. Οι κρίσιμες περίοδοι όταν οι θρεπτικές ουσίες είναι οι περισσότερες που τις απαιτούμενες και χρησιμοποιούνται "Μεμονωμένα λιπάσματα". Είναι καλύτερα το λίπασμα να τοποθετείται κάτω από το σπορο και όχι επιφανειακά. Οι ιδιότητες των λιπασμάτων έχουν επιπτώσεις στη χρησιμοποίησή τους από τις φυτείες και έχουν επίσης τις περιβαλλοντικές συνέπειες.

Τα μεμονωμένα λιπάσματα

όταν είναι γνωστό το απαραίτητο ποσό κάθε θρεπτικής ουσίας που πρέπει να προστεθεί, η επιλογή του λιπασματος εξαρτώνται από το κόστος ανά μάζα μονάδων της θρεπτικής ουσίας και από τη θρεπτική ουσία που είναι διαθέσιμη για τη λήψη από τις εγκαταστάσεις. Στα λιπάσματα αζώτου η απαίτηση για ο άζωτο ξαρταται από την προηγούμενη χρήση εδάφους, η συγκομιδή που αυξάνεται, τα πρότυπα της διαχείρισης συγκομιδών και η παραγωγή. Η χρήση του αζώτου λιπασματος δεν δικαιολογείται εάν υπάρχει ένας ικανοποιητικός ανεφοδιασμός του ανόργανου αζώτου (αμμώνιο και νιτρικό άλας) στο χώμα, όπως να εμφανιστεί μετά από μια περίοδο κάτω από τη χλόη ή τα δέντρα, ή μετά από την αύξηση ενός οσπρίου χλόης. Εάν είναι διαθέσιμα με χαμηλότερο κόστος, τα οργανικά λιπάσματα όπως το λίπασμα

αυλών είναι εναλλακτικές λύσεις, αλλά στην πράξη η χρήση του αζώτου λιπάσματος είναι απαραίτητη σε πολλές χώρες για να παρέχει τις συγκομιδές τροφίμων που απαιτούνται για τη ζωική και ανθρώπινη κατανάλωση. Τα κύρια λιπάσματα που παρέχουν το άζωτο είναι άνυδρη αμμωνία (υγροποιημένη αμμωνία διά πίεση), νιτρικό αμμώνιο, η ουρία, και λιπάσματα που παρέχουν το άζωτο και άλλες θρεπτικές ουσίες. παγκοσμίως, η ουρία είναι το λίπασμα αζώτου που χρησιμοποιείται στο μέγιστο ποσό. Στο χώμα, υδρολύει γρήγορα, μια αντίδραση που καταλύεται από ενζυμο, το οποίο απελευθερώνεται στο χώμα από πολλούς μικροοργανισμούς: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$, και NH_3 και το CO_2 , διαμορφώνονται από την περαιτέρω αντίδραση με το ύδωρ. υπάρχει μια ανεπάρκεια του φωσφόρου όταν παρουσιάζεται αρχικά το έδαφος στην καλλιέργεια. .οι αρχικές ανεπάρκειες θα έχουν υπερνικηθεί και η απαίτηση θα είναι η διατήρηση ένωσης ικανοποιητικού ανεφοδιασμού του διαθέσιμου φωσφορικού άλατος στο χώμα. Η επιλογή των λιπασμάτων φωσφορικού άλατος είναι μεταξύ εκείνων που είναι υδροδιαλυτά, και αμμωνίου, αλλά το τελευταίο περιέχει το θείο και περισσότερο ασβέστιο και μπορεί να προτιμηθεί όπου οι ανεπάρκειες αυτών των θρεπτικών ουσιών είναι μεγαλύτερες. Τα φωσφορικά άλατα αμμωνίου παρέχουν και άζωτο και φώσφορο με συγκεντρωμένη μορφή και χρησιμοποιούνται στα σύνθετα λιπάσματα. Το φωσφορικό άλας βράχου, αν και μη υδροδιαλυτό, μπορεί να είναι ένα χρήσιμο λίπασμα στα όξινα χώματα για τις αιώνιες συγκομιδές που απαιτούν μόνο ένα χαμηλό ποσοστό ανεφοδιασμού του φωσφορικού άλατος στις ρίζες. Η διαθεσιμότητα στις εγκαταστάσεις του φωσφορικού άλατος ποικίλλει μεταξύ των πηγών, φωσφορικά άλατα βράχου ιζηματοδούς προέλευσης που είναι γενικά πύο διαθέσιμα από τα πύρινης προέλευσης. Η αξία τους αξιολογείται συνήθως από το περιεχόμενο σε συνολικό φωσφόρο. Ιδιαίτερα στις χώρες όπου το θειικό οξύ είναι ακριβό, ένα αποτελεσματικό και φτηνότερο λίπασμα γνωστό ως φωσφορικό άλας βράχου γίνεται με τη χρησιμοποίηση του μισού ποσού θειικού οξέος. Η βασική σκουριά είναι μια άλλη πηγή φωσφορικού άλατος αλλά είναι λιγότερο σημαντική απ'ό,τι στο παρελθόν. Όταν τα υδροδιαλυτά λιπάσματα φωσφορικού άλατος εφαρμόζονται στο χώμα, οι χημικές αντιδράσεις μειώνουν τη διαλυτότητα ύδατός τους. Τα ενδιάμεσα προϊόντα περιλαμβάνουν το λιγότερο διαλυτό φωσφορικό άλας και σίδηρο και το αλουμίνιο phosphates. Από την περαιτέρω αντίδραση υπό τους όξινους και ουδέτερους όρους τα ιόντα φωσφορικού άλατος γίνονται έντονα που κατέχουν τα ενυδατωμένα οξειδία του σιδήρου και του αλουμινίου (η παράγραφος 4.6), και επάνω από τα φωσφορικά άλατα ασβεστίου pH 7 της χαμηλής διαλυτότητα.. Λόγω αυτών των αντιδράσεων, τα λιπάσματα φωσφορικού άλατος είναι συνήθως πύο διαθέσιμα προς χρήση από τις εγκαταστάσεις συγκομιδών όταν τοποθετούνται κάτω από το σπόρο.

Παραγωγή χώματος και συγκομιδών

οι μεγάλες απώλειες αμμωνίας μπορούν να εμφανιστούν εάν η ουρία εφαρμόζεται στο ύδωρ στην καλλιέργεια του ρυζιού υγρότοπου. Το ύδωρ έχει μια μικρή ρυθμιστική ικανότητα έναντι με τα χώματα και το pH του μπορεί να υπερβεί 10 για δύο λόγους: (i) υδρόλυση της ουρίας και (ii) αφαίρεση των ιόντων διοξειδίου του άνθρακα και διττανθρακικών αλάτων από τα άλγη κατά τη διάρκεια της ημέρας που μειώνεται η αποθήκευση pH. Μια εκτίμηση για όλα τα λιπάσματα που παρέχουν την

αμμωνία, το αμμώνιο ή την ουρία είναι ότι η νιτροποίηση αναγκάζει το χώμα να γίνει οξινό. Το κόστος, όπου αυτό είναι απαραίτητο για να διορθώσει τον οξυνισμό, πρέπει επομένως να προστεθεί στο κόστος του λιπάσματος. Το νιτρικό άλας διυλίζεται εύκολα από τα περισσότερα χώματα, είτε που παράγονται από νιτροποίηση του αμμωνίου είτε που προστίθενται στα λιπάσματα. Διαρκεί περίπου 1-4 εβδομάδες η νιτροποίηση, εάν η δυνατή βροχή πέφτει σύντομα μετά από τη λίπανση, το άζωτο που προσροφάται από το χώμα ως ανταλλάξιμο κατιόν, είναι ενώ το άζωτο νιτρικών αλάτων να χαθεί με τη διύλιση. Απώλεια νιτρικών από τη διάσπαση νιτρικών (η παράγραφος 5.7) εμφανίζεται εάν τα ιόντα νιτρικών αλάτων είναι παρόντα κάτω από τη μείωση των όρων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το λίπασμα που περιέχει το νιτρικό άλας δεν χρησιμοποιείται για το ρύζι υγρότοπου. Διάφορες προτάσεις έχουν υποβληθεί για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των λιπασμάτων νιτρικών. Περιλαμβάνουν (i) ενεργειακές που θα απέτρεπε την υδρόλυση της ουρίας και θα επέτρεπε να ληφθεί άμεσα από τις εγκαταστάσεις, (ii) η παρεμπόδιση της νιτροποίησης, που διατηρεί το άζωτο ως αμμώνιο που κανονικά δεν διυλίζεται και που μπορεί να ληφθεί από τις εγκαταστάσεις και (iii) η χρήση μιας σειράς των αργών να ενεργήσει λιπασμάτων συμπεριλαμβανομένης της θείο-ντυμένης ουρίας. Μέχρι σήμερα, κανένας δεν έχει δικαιολογήσει το υψηλότερο κόστος για τις γεωργικές συγκομιδές. Όπου το κόστος πειράζει λιγότερο, όπως για τα πράσινα γκολφ και τις διακοσμιακές εγκαταστάσεις, η χρήση γίνεται να αργός-ενεργήσει των λιπασμάτων. Στην εντατική δένδροκτηποκομία μερικοί καλλιεργητές προτιμούν να χρησιμοποιήσουν τα οργανικά λιπάσματα. Περιλαμβάνουν το ξηρό αίμα και τη συντριμμένο οπλή και το κέρατο, που περιέχουν το άζωτο, και το γεύμα κόκκαλων, το οποίο παρέχει το άζωτο και το φώσφορο.

Η παραγωγή χώματος και καλλιεργειών

Οι χημικές αντιδράσεις που μειώνουν τη συγκέντρωση του φωσφορικού άλατος στην εδαφολογική λύση μειώνουν επίσης τη διαθεσιμότητά της στα φυτά. Τα πειράματα που πραγματοποιούνται σε πολλές χώρες εντούτοις έχουν δείξει ότι τα υδροδιαλυτά λιπάσματα φωσφορικού άλατος έχουν μια υπολειμματική διαθεσιμότητα που μπορεί να διαρκέσει για αρκετά έτη. Η αποτελεσματικότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από το ποσό φωσφορικού άλατος που εφαρμόζεται αρχικά, τα ποσά που αφαιρούνται στις διαδοχικές καλλιεργείες, και τις ιδιότητες απομονωτών του χώματος για το φώσφορο. Στο Ηνωμένο Βασίλειο η υπόλοιπη αξία των υδροδιαλυτών λιπασμάτων φωσφορικού άλατος αξιολογείται με σκοπό την αποζημίωση στους αγρότες μισθωτές ως μισή στο δεύτερο έτος και ένα τέταρτο στο τρίτο.

Λιπάσματα καλίου

Η ανεπάρκεια του καλίου μπορεί να εμφανιστεί όταν παρουσιάζεται το νέο έδαφος στην καλλιέργεια αλλά είναι πιο κοινό μετά από μια περίοδο καλλιεργείας. Οι φυλλώδεις καλλιεργείες και οι καλλιεργείες φρούτων μπορούν να αφαιρέσουν πάνω από 100 kg ha⁻¹ του καλίου όταν συγκομίζονται, μειώνοντας κατά συνέπεια τα υπολείμματα του διαθέσιμου καλίου στο χώμα. Εάν παρόν στο χώμα, το μέταλλωμα αργίλου (ηλίτης) θα απελευθερώσει αργά το κάλιο, όπως ο αρχικός άστριος και οι μίκες orthoclase μεταλλευμάτων, αν και πιο αργά. Εντούτοις, η απελευθέρωση δεν είναι συνήθως αρκετά γρήγορη για να καλύψει την απαίτηση των γρήγορα αυξανόμενων συγκομιδών. Τα μόνα δύο λιπάσματα καλίου σε κοινή χρήση είναι το χλωρίδιο και το θειικό άλας. Το χλωρίδιο είναι φτηνότερο ανά μονάδα του καλίου και χρησιμοποιείται σε πολύ μεγαλύτερα ποσά. Το θειικό άλας προτιμάται συχνά από τους φυτοκόμους πιστεύοντας ότι δίνει τις καλύτερες-ποιοτικά συγκομιδές, για τις

οποιες υπάρχουν κάποια στοιχεία για τη συγκομιδή πατατών. Το χλωρίδιο δεν χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη του καπνού επειδή δίνει στη θεραπευμένη συγκομιδή την κακή ποιότητα που θυμίζει ζημία από κάψιμο

Η διόρθωση άλλων προβλημάτων διατροφής

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, γεωργικά εδάφη που δεν έχουν κανένα απόθεμα ανθρακικού άλατος ασβεστίου ασβεστώνονται τακτικά για να κρατήσει το pH (στο ύδωρ) κοντά σε 6,5. Εάν το pH επιτρέπεται να μειωθεί σε 5,5 ή κατωτέρω, πολλές συγκομιδές αποτυγχάνουν λόγω στην τοξικότητα του αλουμινίου και μερικές του μαγγάνιου. Στα πολύ έντονα διυλισμένα και όξινα χώματα η αποτυχία συγκομιδών μπορεί να οφείλεται στην ανεπάρκεια ασβεστίου, η οποία μπορεί να διορθωθεί με την προσθήκη ενός άλατος ασβεστίου όπως ο γύψος. Οι προσθήκες του θειικού άλατος μαγνήσιου, ή του ανθρακικού άλατος ασβεστίου ή μαγνήσιου εάν η ασβέστωση απαιτείται, είναι πλέον πιθανές να δώσουν τις απαντήσεις συγκομιδών στα διυλισμένα, αμμώδη χώματα. Τα οπωροφόρα δέντρα και τα ζαχαρότευτλα μπορούν να παρουσιάσουν σημάδια

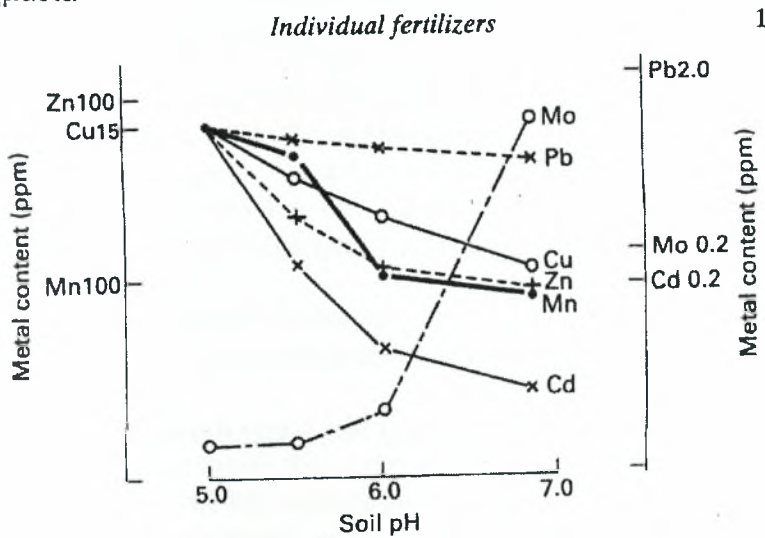


Figure 8.5 Relation between soil pH and the concentration of six metals in subtterranean clover: pH did not affect yield. (From Williams, C.H., 1977, *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 43, 99; with permission, AIAS copyright.)

ανεπάρκειας μαγνήσιου, όπως και οι φυτείες τοματών εάν υπερβολικό κάλιο έχει οδηγήσει σε υψηλή αναλογία K: Mg στο έδαφος. Η ανεπάρκεια θείου έχει αυξηθεί κατά την διάρκεια των προηγούμενων δέκα ετών στις βιομηχανικές περιοχές, επειδή λιγότερο διοξείδιο του θείου εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα λιγότερο να κατατίθεται επάνω στο χώμα και τις συγκομιδές. Το θείο μπορεί να προστεθεί ως θειικό άλας ασβεστίου (γύψος), στο θειικό άλας αμμωνίου, ή ως ενιαίο υπερφωσφορικό όταν απαιτείται επίσης το φωσφορικό άλας. Οι ανεπάρκειες των περισσότερων μικροτροφικών είναι πιο κοινές στις παλαιές επιφάνειες εδάφους και τείνουν να εμφανιστούν με τις ευαίσθητες συγκομιδές και τους ιδιαίτερους εδαφολογικούς όρους. Παραδείγματος χάριν, η διαλυτότητα των περισσότερων μικροτροφικών μειώνεται καθώς το pH αυξάνεται, αν και η διαλυτότητα του μολυβδαίνιου αυξάνεται. Η λήψη από τα φυτά ακολουθεί το ίδιο σχέδιο (πίνακας 8.5). Ελλειματικά αποθέματα του σιδήρου, του μαγγάνιου και του βορίου είναι πλέον πιθανόν να εμφανιστούν στα χώματα υψηλού pH. Ο αραβόσιτος και το ρύζι εμφανίζεται να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην ανεπάρκεια ψευδάργυρου, οι βρώμες

και μερικές ποικιλίες του σίτου στην ανεπάρκεια χαλκού, και το ζαχαρότευτλο, σουηδούς και το βαμβάκι στην ανεπάρκεια βορίου. Όλοι οι οργανισμοί που μετατρέπουν το άζωτο απαιτούν το μολυβδαίνιο στην Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία και αλλού η επιτυχής κατιέρωση των τριφυλλιών έχει εξαρτηθεί από την προσθήκη του μολυβδαίνιου.

Table 8.7. *Effects of organic matter on soil fertility*

Physical: increases supply of water to crops

increases aggregation of soil particles

may improve drainage and hence early growth of crop

gives greater flexibility for cultivations

Chemical: releases N, P and S on mineralization

retains nutrient cations, e.g. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^* , NH_4^+ , against leaching loss

chelates micronutrients, generally increasing uptake by plants

acts as a pH buffer

reduces the hazard from heavy metals

Biological: may support organisms which help to control root diseases

8.6 οργανική ουσία και οργανικά λιπάσματα

Οι πηγές εδαφολογικής οργανικής ουσίας υπό φυσικούς όρους είναι υπολείμματα φυτών και απορριμμάτων από τα δέντρα. Στο χώμα που είναι καλλιεργημένο η οργανική ουσία συσσωρεύει κάτω από τους θάμνους ή τη χλόη αγρανάπαυσης και προστίθεται στα υπολείμματα συγκομιδών, τα ζιζάνια και τα οργανικά λιπάσματα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους η οργανική ουσία μπορεί να ωφελήσει μια καλλιεργήσιμη συγκομιδή (πίνακας 8.7). υπαίθρια πειράματα στην Αγγλία γενικά έχουν δείξει ότι το κύριο όφελος είναι από την παροχή αζώτου όταν μεταλλοποιείται η οργανική ουσία μετά από μια χλόη αγρανάπαυσης, τις εφαρμογές του λιπάσματος αυλών ή τις εφαρμογές της τύρφης. Τα αποτελέσματα των υπαίθριων πειραμάτων επί ενός τόπου στη νότια Αγγλία (σχήμα 8.6) ληφθήκαν στις ταξινομημένες κατά ζεύγος πλοκές, ένα μέλος κάθε ζευγαριού που έχει λάβει τις εφαρμογές της τύρφης για να αυξηθεί το περιεχόμενο της εδαφολογικής οργανικής ουσίας. Η παραγωγή του χειμερινού σίτου ήταν μόνο υψηλότερη μετά από τη λίπανση με τύρφη στις πλοκές που λαμβάνουν μη αζωτούχα λιπάσματα ενώ και στην παραγωγή των πατατών ήταν υψηλότερη και στα τέσσερα ποσοστά εφαρμογής του αζώτου. Τα αποτελέσματα με το χειμερινό σίτο είναι σύμφωνα με την εξήγηση ότι η απάντηση οφειλόταν στη μεταλλοποίηση του αζώτου από την τύρφη. Με τις πατάτες υπήρξε μια πρόσθετη επίδραση, η οποία να είναι φυσική. Η οργανική ουσία αυξάνει τη δυνατότητα του χώματος να διατηρηθεί το ύδωρ διαθέσιμο στις εγκαταστάσεις, και αν και η διαφορά στο περιεχόμενο οργανικής ουσίας των πλοκών ήταν μικρή, να είναι επαρκής για να παρέχει τον ανεφοδιασμό δύο ή τριών ημερών του ύδατος. Αυτό θα εξηγούσε γιατί η επίδραση της τύρφης ήταν μεγαλύτερη με τις πατάτες, μια ρηχά

φυτεμένη φυτεία, απ' ότι με το χειμερινό σίτο, του οποίου οι ρίζες εισχωρούν πιο βαθειά.

Εκτός από την παροχή των θρεπτικών ουσιών τα άλλα αποτελέσματα της οργανικής ουσίας (ο πίνακας 8.7) μπορεί να είναι σημαντικά σε διαφορετικές περιστάσεις από εκείνα του πειράματος που περιγράφηκε ανωτέρω. Ειδικότερα, η οργανική ουσία βοηθά

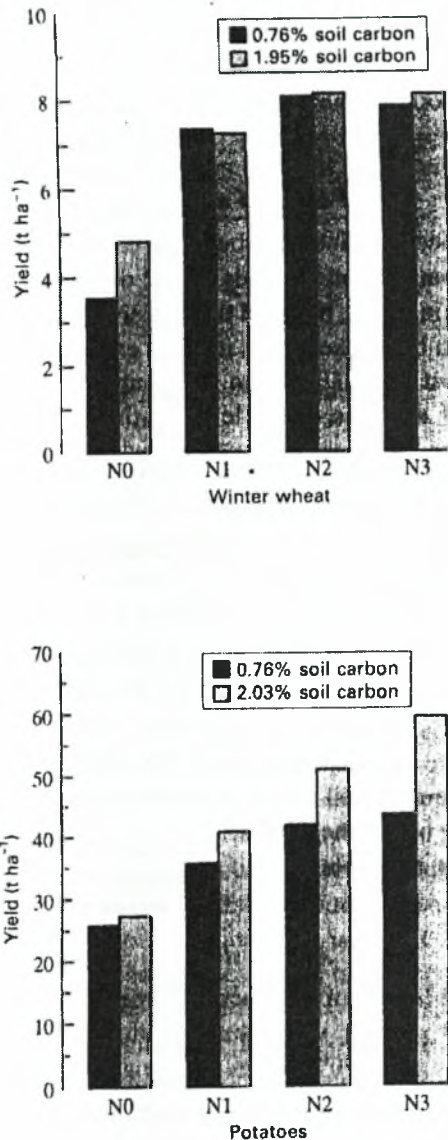


Figure 8.6 Yields of winter wheat and potatoes on paired plots at two levels of organic matter (by addition of peat) and receiving four rates of fertilizer nitrogen (N0, N1, N2, and N3). (From Johnson, A.E., 1990. *Fertilizer Society of South Africa Journal*, 1, 10-19.)

στο να σταθεροποιεί τα σύνολα και κρατά ανοικτά τα μακροπόρους που απαιτούνται για το φιλτράρισμα, το οποίο θα μειώσει την απορροή και τη διάβρωση. Αν και οι λόγοι δεν είναι γνωστοί πάντα, συνήθως διαπιστώνεται ότι τα χώματα είναι ευκολότερο να διαχειρίζονται ειδικά στους τροπικούς κύκλους, όταν το περιεχόμενο οργανικής ουσίας είναι υψηλό.

Το λίπασμα «στάβλων»

Αυτό αποτελείται από το υλικό περιττωμάτων, ούρων και κλινοστρωμνής, το οποίο είναι συνήθως άχυρο δημητριακών. Η σύνθεσή της εξαρτάται από τα κατοικίδια ζώα (συνήθως βοοειδή ή άλογα) που κρατούνται, η τροφή που αυτά λαμβάνουν και τα υλικά κλινοστρώμνης που χρησιμοποιούνται. Οι θρεπτικές ουσίες μπορούν να διυλιστούν από το εάν εκτίθεται σε δυνατή βροχή και η αμμωνία μπορεί να χαθεί από την αεριοποίηση. Η σύνθεσή της είναι επομένως ποικίλη, με μερικές χαρακτηριστικές αναλύσεις των βοοειδών και άλλων οργανικών λιπασμάτων δίνονται στον πίνακα 8.8. Επιπλέον περιέχει το ασβέστιο, το μαγνήσιο, θείο και τους μικροστοιχεία. Παρέχει όλες τις θρεπτικές ουσίες, αν και το πρόσθετο άζωτο απαιτείται συνήθως για να ισορροπήσει τις θρεπτικές απαιτήσεις των συγκομιδών. Στο έτος εφαρμογής τους το ένα τρίτο του αζώτου, το μισό από το φώσφορο και όλο το κάλιο είναι διαθέσιμα για λήψη από την καλλιέργεια. Σε μια εφαρμογή 25 t ha⁻¹ του λιπάσματος βοοειδών και σύνθεσης 0,5% N, 0,15% P και 0,6% K (ο πίνακας 8.8) τα ποσά διαθέσιμα στο έτος εφαρμογής είναι περίπου 42,19 και 150 kg ανά εκτάριο του N, του P, και του K αντίστοιχα. Το λίπασμα «στάβλων» βελτιώνει επίσης την εδαφολογική δομή εάν εφαρμόζεται συχνά αυξάνοντας το περιεχόμενο της εδαφολογικής οργανικής ουσίας (σχήμα 3.1b). Επειδή αποσυντίθεται αργά στο χώμα, οι θρεπτικές ουσίες που είναι μη διαθέσιμες στις καλλιέργειες σύντομα αφότου γίνεται η εφαρμογή τους στο έδαφος, γίνονται διαθέσιμες σε επόμενες σεζόν.

Οι ζωικοί πηλοί

Αυτοί είναι η μίγξη μορφή βρώμικων υδάτων περιττωμάτων, ούρων και πατωμάτων από τα στεγασμένα βοοειδή και τους χοίρους. Υπολογίστηκε ότι στις αρχές της δεκαετίας του '80 στην Αγγλία και την Ουαλία για 70% των αποβλήτων των βοοειδών και 50% των αποβλήτων των χοίρων πήγε στον πηλό το υπόλοιπο ενσωματώθηκε με το υλικό κλινοστρωμνής ως λίπασμα.

Table 8.8. *Some typical analyses of organic manures (on fresh mass)*

	% dry matter	%N	%P	%K
Poultry manure	70	2-4	1-1.5	1-1.5
Cattle manure	25	0.5-0.6	0.15	0.6
Cattle slurry	10	0.5	0.1	0.4
Pig slurry	2-10	0.3-0.6	0.1	0.2

Ο υγρός πηλός συλλέγεται σε δεξαμενές για τη διανομή μεταξύ τα τέλη του φθινοπώρου και νωρίς την άνοιξη. Ψεκάζεται συνήθως επάνω στο λιβάδι, ή επάνω στο γυμνό χώμα πριν φυτεύει μια ανοιξιάτικη καλλιέργεια. Εκτός αν μια εφαρμογή επιφάνειας ακολουθείται από τις βαριές βροχοπτώσεις, περίπου το μισό NH₄-N που περιέχει μπορεί να χαθεί από την αεριοποίηση. Εάν εγχέεται στο χώμα, ο συνδυασμός μιας μεγάλης ποσότητας του υγρού και της παρουσίας σε ενέργεια-πλούσιων οργανικών ουσιών οδηγεί στις εξής μειωτικές συνθήκες: Το νιτρικό άλας παρόν στο χώμα μπορεί να απονιτροποιηθεί. Αυτά τα σημεία εμφανίζονται στα αποτελέσματα δύο πειραμάτων χρησιμοποιώντας τον πηλό από τα γαλακτοπαραγωγά βοοειδή στο λιβάδι, που δίνονται στον πίνακα 8.9. Σε αυτά τα πειράματα 42% του αζώτου που εφαρμόστηκε ήταν παρών ως NH₄-N και το υπόλοιπο ήταν στις οργανικές ενώσεις. Τα πειράματα περιέλαβαν μια "θεραπεία" με νιτροπηρίνες, το οποίο εμποδίζει τη νιτροποίηση, και θα αποδειχθεί ότι έχει μειώσει την απώλεια αζώτου από τη διάσπαση νιτρικών όταν εγχεθηκε ο πηλός. Υπήρξε αμελητέα διυλίζουσα απώλεια και το άζωτο που δεν απωλέσθηκε υποτίθεται ότι είχε προστεθεί στο απόθεμα του

οργανικού αζώτου στο χώμα. Οι πηλοί βοοειδών και χοίρων παρέχουν όλες τις ουσιαστικές θρεπτικές ουσίες των φυτών. Όταν οι συγκομιδές ψεκάζονται στα χωράφια και παρόλο που το κάνουν, εντούτοις, έχουν μια δυσάρεστη μυρωδιά. Η χρήση της ηλύος καθαρισμού λημμάτων συζητείται στην παράγραφο 10.3.

8.7 Θρεπτικές Ισορροπίες

Η εισαγωγή κάθε θρεπτικής και συνολικής παραγωγής. Εάν η παραγωγή υπερβαίνει την εισαγωγή,

Στη θρεπτική ισορροπία που παρουσιάζεται στον πίνακα 8.10, η αφαίρεση του αζώτου και το κάλιο σε τέσσερις συγκομιδές υπερέβη τις προσθήκες στο λίπασμα και τα λιπάσματα αυλών, και η αφαίρεση του φωσφόρου ήταν λιγότερη από τις προσθήκες. Ένας πλήρης ισολογισμός, εντούτοις, θα χρειαζόταν τις καταχωρήσεις για την προσθήκη των θρεπτικών ουσιών από την ατμόσφαιρα στη βροχή, ξηρά απόθεση, από τη βιολογική σταθεροποίηση αζώτου και από την ορνική διάβρωση, και για τις απώλειες στο ύδωρ αποξηράνσεων και από την αεριοποίηση. Η απώλεια θρεπτικών ουσιών στο ύδωρ αποξηράνσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 8.11, ο οποίος δίνει τις συγκεντρώσεις στο ύδωρ αποξηράνσεων από το καλλιεργήσιμο έδαφος επί τριών πειραματικών τόπων. Από τις σημαντικότερες θρεπτικές ουσίες, θα παρατηρηθεί ότι οι απώλειες φωσφορικού άλατος και καλίου ήταν μικρές και ότι το άζωτο ήταν παρόν στο ύδωρ αποξηράνσεων σχεδόν εξ ολοκλήρου ως νιτρικό άλας. Οι απώλειες ασβεστίου, μαγνησίου και θειικού άλατος ήταν μεγάλες, η καθιέρωση μιας ισορροπίας αζώτου έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα δύσκολη επειδή (i) υπάρχουν μεγάλα ποσά οργανικά αποθέματα αζώτου στο χώμα και οι μικρές αλλαγές στο ποσό δεν μπορούν εύκολα να μετρηθούν, και (ii) είναι δύσκολο να μετρηθεί η ξηρά απόθεση των ενώσεων αζώτου από την ατμόσφαιρα στα χώματα και τις συγκομιδές, και τη ροή των ενώσεων αζώτου στην ατμόσφαιρα. Μια εκτίμηση για τον τομέα Broadbalk στον πειραματικό σταθμό Rothamsted δίνεται στον πίνακα 8.12.

Table 8.10. *The nutrient balance in a four-course rotation (kale, barley, ryegrass, wheat) in an experiment at Rothamsted Experimental Station*

	Nutrient (kg ha ⁻¹)		
	N	P	K
Added in farmyard manure	56	34	168
Added in fertilizers	359	81	151
Total additions	415	115	319
Removed in four crops	437	58	348
Balance	-22	+57	-29

Source: From Cooke, G.W. 1967. *The Control of Soil Fertility*. Crosby Lockwood, London.

Table 8.12. Nitrogen balance in soil growing winter wheat, Broadbalk, in 1980 and 1981

	kg N ha ⁻¹
<i>Inputs</i>	
Fertilizer	189
From external, non-fertilizer sources	50
From soil organic matter	59
Total	298
<i>Outputs</i>	
To grain	136
To straw	33
To soil organic matter	59
Losses to drains and atmosphere	70
Total	298

Source: From Jenkinson, D.S. and Parry, L.C. 1989. *Soil Biology and Biochemistry*, 21, 535.

Οι θρεπτικές ισορροπίες είναι σπάνια γνωστές με οποιοδήποτε βαθμό ακρίβειας λόγω της έλλειψης πληροφοριών για τις απώλειες διύλισης, των εισαγωγών από την ατμόσφαιρα και από την ορυκτή διάβρωση, και των εξαγωγών στην ατμόσφαιρα. Είναι χρήσιμοι στην παρουσίαση εάν η αφαίρεση στις συγκομιδές ή τα ζώα υπερβαίνει τις προσθήκες στα λιπάσματα και τις τροφές, αλλά η εδαφολογική ανάλυση κάθε δύο ή τρία έτη, και έλεγχος των συγκομιδών και των σημαδιών ανεπαρκειών, είναι ένας καλύτερος οδηγός ότι το αν οι αποθηκευμένες θρεπτικές ουσίες διατηρούνται.

8.8 Ύδωρ

Αρωτριές και πράσινες καλλιέργειες απαιτούν το ύδωρ καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης τους. Εάν ο ανεφοδιασμός είναι ανεπαρκής, η εξατμισοδιαπνοή και ο ρυθμός ανάπτυξης μειώνονται, και έτσι η τελική παραγωγή μειώνεται. Το ποσό ύδατος που εξατμοδιαπνέεται από τα φυτά που αυξάνονται με έναν απεριόριστο ρυθμό παροχής του ύδατος και που διαμορφώνουν έναν πλήρη θόλο είναι γνωστό ως δυναμική εξατμοδιαπνοή. Μπορεί να υπολογιστεί από τις μετεωρολογικές μετρήσεις της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας αέρα και της ηλιακής ακτινοβολίας (τμημάτα 6.6). Η πραγματική εξατμοδιαπνοή είναι λιγότερη από την δυναμική όταν ο θόλος των φυτών είναι ελλιπής, παραδείγματος χάριν κατά τη διάρκεια της πρώιμης αύξησης μιας ετήσιας καλλιέργειας, και επίσης όταν στρεσάρονται τα φυτά από την έλλειψη νερού. Μια σύγκριση μεταξύ της δυναμικής εξατμοδιαπνοής και των βροχοπτώσεων επί ενός τόπου στη δυτική Αφρική παρουσιάζεται στο σχήμα 8.7. Οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις είναι 882 χιλ., το οποίο πέφτει πάνω από 7 μήνες το οποίο είναι σχεδόν μηδαμινό τον υπόλοιπο χρόνο. Μια καλλιέργεια έδειξε ότι όταν έχουν υπάρξει περίπου 25 χιλ. βροχής σε μια δέκα ημερών περίοδο, η οποία εμφανίζεται κατά μέσον όρο επί αυτού του τόπου στη μέση των βροχοπτώσεων του Μαΐου υπερβαίνει την δυναμική εξατμοδιαπνοή από τα τέλη Ιουνίου, όταν ο θόλος θα είναι πλήρης, μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου το ύδωρ αποθηκεύεται στο χώμα, μέχρι μια ικανότητα 100 mm επί του τόπου, και των υπερβολικών αγωγών μέσω του χώματος. Μετά από τα μέσα Σεπτεμβρίου οι βροχοπτώσεις συνεχίζουν να μειώνονται και η καλλιέργεια εξαρτάται όλο και περισσότερο από το αποθηκευμένο ύδωρ, το οποίο καταναλώνεται μέχρι το τέλος του Οκτωβρίου.

Οι μέσες βροχοπτώσεις και το μήκος της βροχερής περιόδου κάνουν την περιοχή κατάλληλη για την ανάπτυξη του κεχριού, του σόργου, των αραχίδων και του πρώιμου αραβόσιτου. Στον νότο της περιοχής οι βροχοπτώσεις είναι υψηλότερες στο Βορρά είναι λιγότερες, και λιγότερο αξιόπιστες, τα αποτελέσματα των οποίων συζητούνται στην παράγραφο 13.6.

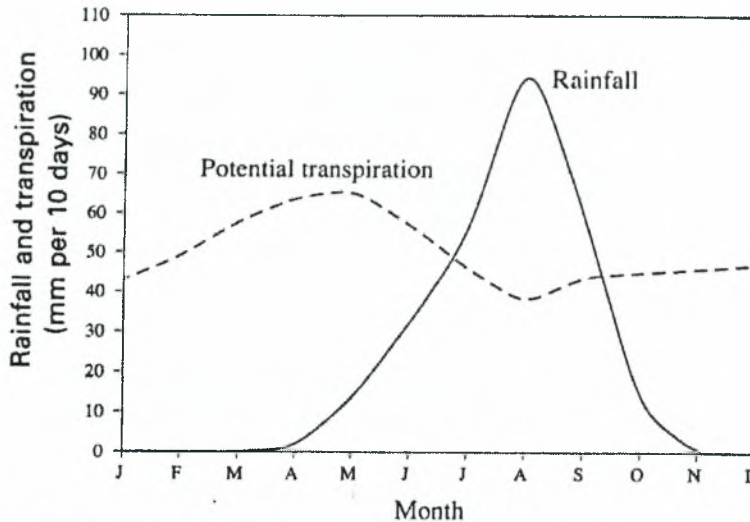


Figure 8.7 Rainfall and potential transpiration by plants at a site in West Africa with a dry season of five months.

8.9 η παραγωγή συγκομιδών περιογών χαμηλών-βροχοπτώσεων

Διάφορα συστήματα διαχείρισης εδάφους έχουν αναπτυχθεί για να παρέχουν τρόφιμα στις περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις. Ο σκοπός τους είναι είτε να χρησιμοποιήσουν τις βροχοπτώσεις όσο το δυνατόν καλύτερα είτε να αυξήσουν τις παροχές νερού από την άρδευση. Η υδροπονική καλλιέργεια θα αναφερθεί πρώτη.

Όπου οι βροχοπτώσεις περιορίζουν την παραγωγή συγκομιδών ο αγρότης (I) συντηρεί νερό με την ελαχιστοποίηση της απώλειας από την απορροή και την εξάτμιση από το χώμα, ή (II) αυξάνοντας τον συνολικό ανεφοδιασμό στη συγκομιδή (πίνακας 8.13), ή να κάνει και οι δύο.

Η απορροή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρησιμοποίηση των πεζουλιών. Συνήθως οι αποταμιευτήρες ρυθμίζονται για να τρέξει ελαφρώς από το περίγραμμα έτσι ώστε το ποσοστό απωλειών μειώνεται, επιτρέποντας κατά συνέπεια σε περισσότερο ύδωρ να διεισδύσει το χώμα (τμήμα 12.8). Σε ένα ridge-and-furrow σύστημα τα furrows ευθυγραμμίζονται ομοίως. Τα πεζούλια απορρόφησης με τους αποταμιευτήρες στο περίγραμμα είναι κατάλληλα μόνο εάν δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος βαριών θυελλών που προκαλούν την πλημμύρα και τη διάβρωση.

Η διήθηση πρέπει να κρατηθεί όσο το δυνατόν υψηλότερη με την καλλιέργεια της εδαφολογικής επιφάνειας ή, εάν το υλικό είναι διαθέσιμο, με την εφαρμογή μια προστασία από υπολείμματα φυτών. Ένα άλλο όφελος μιας προστασίας είναι ότι μειώνει την απώλεια ύδατος από την εξάτμιση από ένα γυμνό, υγρό χώμα. Ένας θόλος φυτών προστατεύει επίσης το υγρό χώμα.

Table 8.13. *Methods used to optimize the supply of water to crops in dryland farming*

1. <i>Reduce run-off</i>	contour cultivation use absorption terracing use crop residues as mulch timely cultivations to increase infiltration
2. <i>Reduce evaporation from soil</i>	establish crops early use mulches supply fertilizer where rainfall is reliable
3. <i>Increase water supply to the crop</i>	control weeds collect water during a bare fallow rain harvesting from a catchment grow deeper-rooted crops

Από την εξατμιστική απώλεια, έτσι ώστε η πρόωρη καθιέρωση και η χρήση των λιπασμάτων, αυξάνονται για να ενισχύσουν την αποδοτικότητα της χρήσης ύδατος.

Η γυμνή αγρανάπαυση, είναι μια πρακτική που χρησιμοποιείται στις περιοχές χαμηλών βροχοπτώσεων για να αυξήσει την αποθήκευση ύδατος. Εάν το έδαφος διατηρείται χωρίς ζιζάνια κατά τη διάρκεια μιας θερινής αγρανάπαυσης, το ύδωρ από τις βροχοπτώσεις του προηγούμενου χειμώνα δεν χάνεται από την εφίδρωση παρόλο την μερική απώλεια από την εξάτμιση, όπως και μερικό από τη βροχή που πέφτει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Το μέρος της βροχής που αποθηκεύεται κατά την θερινή αγρανάπαυση έχει βρεθεί ότι εξαρτάται από τον αποτελεσματικό έλεγχο των ζιζανίων και της απορροής. Εξαρτάται επίσης από ένα ικανοποιητικό ποσοστό βροχής που διαπερνά το χώμα επειδή οι σύντομες βροχοπτώσεις χάνονται με την εξάτμιση. Η διατήρηση καλαμιών (καλαμιές) αυξάνει την αποθήκευση ύδατος στις μεγάλες πεδιάδες των ΗΠΑ, κυρίως επειδή κρατά το χειμερινό χιόνι.

Η συγκομιδή της βροχής έχει χρησιμοποιηθεί από καιρό για την εκτροπή της απορροής από τις πετρώδεις κλίσεις των λόφων σε κοιλάδες με διαπερατά χώματα. Στις ερήμους της ανατολικής Μεσογείου μια αναλογία της περιοχής συλλογής και της καλλιεργημένης περιοχής περίπου 25:1 έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την επιτυχή παραγωγή. Ένα πειραματικό αγρόκτημα στο Ισραήλ χρησιμοποιεί το ίδιο σύστημα και οι παραλλαγές δοκιμάζονται σε μερικές χώρες της Αφρικής.

8.10 Άρδευση

Η εφαρμογή του ύδατος στο έδαφος είναι μια από τις παλαιότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να εξασφαλιστούν επαρκείς προμήθειες τροφίμων. Στο χειροκίνητο αντλητικό σύστημα στην κοιλάδα του Νείλου, ένας μεγάλος κουβάς που βρίσκεται στο έναν πόλο γεμίζει με ύδωρ από έναν ποταμό και ανυψώνεται με το χαμήλωμα ενός αντίβαρου. Το ύδωρ τοποθετείται στην αιχμή ενός ξεροπόταμου και οδηγείται στον τομέα που ποτίζεται. Μια γρηγορότερη μέθοδος είναι να αυξηθούν οι κάδοι σε έναν υδραυλικό τροχό που περιστρέφεται από έναν βούβαλο βοδιών ή ύδατος. Μια άλλη παραδοσιακή μέθοδος είναι να επιτραπεί σε έναν ποταμό που περιβάλλεται από τράπεζες (φράγματα) χώματος να υπερχειλίζει.

Τα περισσότερα σχέδια άρδευσης τα τελευταία χρόνια έχουν εξαρτηθεί από την κατασκευή φραγμάτων πίσω από τα οποία υπάρχουν βελτιωμένες στάθμες ύδατος. Σε περίπτωση ανάγκης το ύδωρ τροφοδοτείται από τους τομείς(τεχνητές λίμνες όπου

συγκεντρώνεται το νερό) μέσω ενός συστήματος καναλιών και αγωγών. Όπου δεν υπάρχουν, καθόλου τοπικοί ποταμοί ή λίμνες, το νερό μπορεί να αντληθεί από το έδαφος με την βοήθεια μιας γεώτρησης.

Έχουν υπάρξει επίσης αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται η άρδευση. Η εφαρμογή στην επιφάνεια, μέσα σε λεκάνες ή αυλάκια που χρησιμοποιούν τη βαρύτητα, εξαρτάται από το έδαφος που πρέπει να είναι σχεδόν επίπεδο και από το χώμα που πρέπει να έχει μια χαμηλή ταχύτητα διήθησης, προκειμένου να εξασφαλιστεί εύλογα ακόμη και η διανομή. Το υπερυψωμένο ψέκασμα υπερνικά αυτά τα προβλήματα αλλά απαιτεί την άντληση του νερού. Η άρδευση με ελεγχόμενη εκροή (γνωστή και ως άρδευση με λάστιχα), ένα σύστημα που εισήχθη τα τελευταία χρόνια, δίνει τη μέγιστη χρήση ύδατος (μονάδες της συγκομισμένης συγκομιδής ανά μονάδα χρησιμοποιούμενου ύδατος). Το ύδωρ τροφοδοτείται με πλαστικούς σωλήνες που καταλήγουν σε μια στενή τρύπα κοντά σε κάθε φυτό ή δέντρο μέσω της οποίας στάζει αργά. Το σύστημα αυτό επιτρέπει στον γεωργό – καλλιεργητή να χρησιμοποιήσει λιπάσματα με ελεγχόμενη δόση και εκροή. Με αυτό τον τρόπο αποτρέπεται η αλόγιστη και σχεδόν πάντα καταστροφική για το έδαφος χρήση λίπανσης κατά την καλλιεργητική περίοδο. Η λειτουργία ενός σχεδίου άρδευσης απαιτεί ικανότητα. Το ύδωρ είναι συχνά ένα λιγιστό και ακριβό προϊόν και πρέπει να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά, το οποίο σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί στα σωστά ποσά και στους σωστούς χρόνους.

Ο αγρότης πρέπει να λάβει τις αποφάσεις σχετικά με το πότε θα εφαρμόσει το πότισμα βασισμένος στην εμπειρία ή τα σημάδια της βλάστησης της φυτείας. Εναλλακτικά, τα ελλείμματα ύδατος στο χώμα μπορούν να υπολογιστούν από ανοιχτούς εξαερωτήρες ή από την υπολογισμένη απώλεια λόγω εξατμισοδιαπνοής (βλ. ότι επίσης το ύδωρ τμημάτων 6.6). εφαρμόζεται έπειτα όταν φθάνει το έλλειμμα σε μια τιμή που βρέθηκε ότι είναι και η κρίσιμη στα υπαίθρια πειράματα. Συνήθως, το ύδωρ άρδευσης εφαρμόζεται ώστε να συμπληρώσει τις βροχοπτώσεις και εάν βρέχει αφότου έχει εφαρμοστεί το ύδωρ, το χώμα μπορεί να γίνει κορεσμένο. Οι περιοχές οι οποίες ποτίζονται τεχνητά έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Μεταξύ 1950 και 1985 η περιοχή αυξήθηκε σχεδόν στο τριπλάσιο (το σχήμα 8.8), και περίπου το ένα έκτο του καλλιεργήσιμου εδάφους του κόσμου ποτίζεται τώρα. Έχει υπολογιστεί ότι το ένα έκτο της περιοχής εδάφους παράγει, το ένα τρίτο της παραγωγής παγκόσμιων τροφίμων. Το μισό περίπου έδαφος που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του ρυζιού, ποτίζεται.

Gross Irrigated Areas (Total)

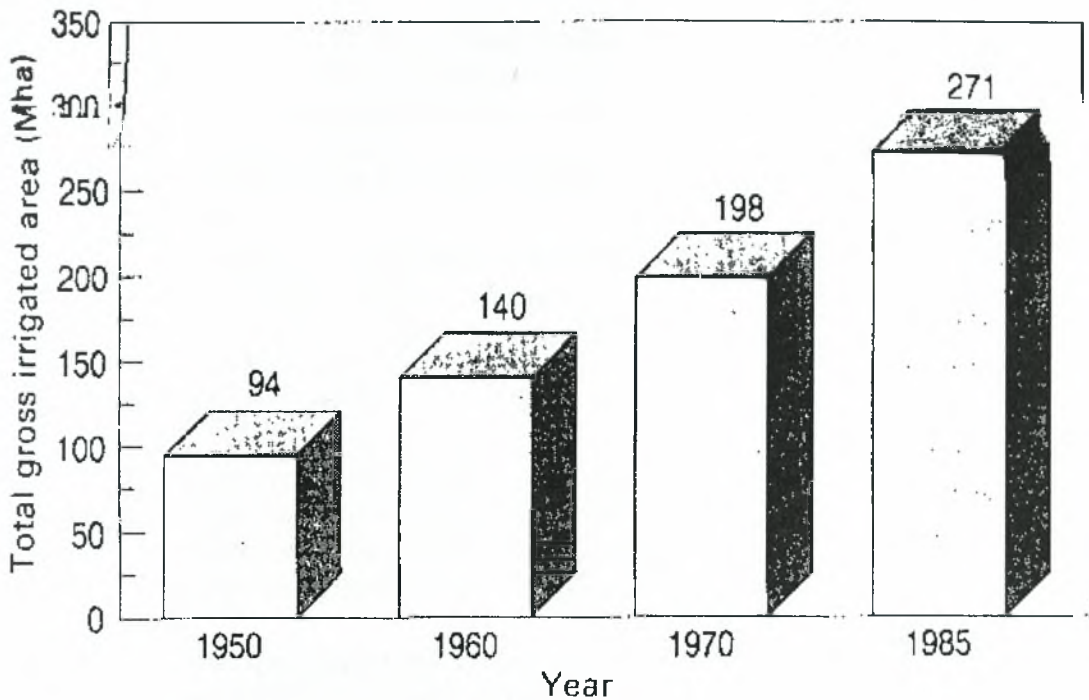


Figure 8.8 Increase in irrigated area through the world, 1950–85. (From Rangeley, W.R. 1986. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 316, 347–68.)

Ένα σημαντικό πρόβλημα με την άρδευση στις περιοχές με τις χαμηλές βροχοπτώσεις, είναι η συσσώρευση αλάτων στο χώμα, ειδικά αλάτων νατρίου, τα οποία μπορούν να καταστήσουν το χώμα αρκετά αλατούχο για την καλλιέργεια. Οι πηγές των αλάτων είναι το ίδιο το νερό άρδευσης, και αλατούχα υπόγεια νερά που αυξάνονται προς την εδαφολογική επιφάνεια όταν εφαρμόζεται το υπερβολικό ύδωρ και δεν υπάρχει κανένα σύστημα αποξηράνσεων. Η άρδευση διοχετεύει πως η διαρροή μπορεί επίσης να προκαλέσει τη σοβαρή εδαφολογική αλατότητα. Η εδαφολογική αλατότητα επιβεβαιώνεται συνήθως με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός διαποτισμένου αποσπάσματος του χώματος. Τα όρια για την αύξηση συγκομιδών δίνονται στον πίνακα 8.14.

Για να αποτραπεί η συσσώρευση αλάτων εάν έχουν συσσωρευτεί, είναι απαραίτητο να προστεθεί μεγάλη ποσότητα νερού. Τα άλατα πλένονται στο υπέδαφος και διευθύνονται μέσω των αγωγών του στα ποτάμια. Η απαίτηση για ένα σύστημα αποξηράνσεων προσθέτει ουσιαστικά στο κόστος ενός σχεδίου άρδευσης.

Τα άλατα νατρίου μπορούν επίσης να αυξήσουν την ανταλλάξιμη περιεκτικότητα σε νάτριο του εδάφους, που προκαλεί το περιέχον νάτριο. Εάν το περιεχόμενο υπερβαίνει περίπου το 15% των ανταλλάξιμων κατιόντων ο άργιλος διασκορπίζεται όταν ξεπλένονται τα άλατα. Οι εδαφικοί πόροι εμποδίζονται με το διασκορπισμένο άργιλο και η διαπερατότητα στο ύδωρ μειώνεται. Τα προβλήματα της αλατότητας και του περιέχοντος νατρίου είναι κυρίως, οξέα στις ημιάγονες περιοχές.

8.14. Αλατότητα και περιέχον νάτριο πινάκων στα ποτισμένα χώματα

1. Προσθήκη ύδατος υποθέτετε πως 50cm απαιτούνται κατά τη διάρκεια της αυξανόμενης εποχής η συνολική προσθήκη ανά εκτάριο είναι $50 \times 10^5 \text{ l}$ (5000m^3).

2. Προσθήκη άλατος (α) εάν το ύδωρ περιέχει 500 mg l^{-1} του διαλυμένου άλατος, η προσθήκη σε 50cm είναι 2500kg ha^{-1} . Η συγκέντρωση άλατος διευκρινίζεται συνήθως από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ύδατος.

(β) Το επικύνδυνο νάτριο από τα διαλυμένα άλατα εκφράζεται ως νάτριο

$\text{SAR} = \frac{[\text{Na}]}{\sqrt{[\text{Ca} + \text{Mg}]}}$ με τις συγκεντρώσεις σε mmol ανά λίτρο. Εάν το ύδωρ περιέχει 150 mg l^{-1} του Na ($6,52 \text{ mmol l}^{-1}$), 5 mg l^{-1} Ca ($0,125 \text{ mmol l}^{-1}$) και 5 mg l^{-1} του Mg ($0,208 \text{ mmol l}^{-1}$) το SAR είναι 11, το οποίο είναι ένα επικύνδυνο νάτριο.

3. Εφαρολογική αλατότητα (α) Η συνολική αλατότητα διευκρινίζεται συνήθως από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του μερικού κορεσμού του χώματος. Οι συγκομιδές που είναι ευαίσθητες στο άλας επηρεάζονται εάν η αγωγιμότητα υπερβαίνει τα $4 \text{ dS } \mu^{-1}$.

(β) Το ανταλλάξιμο νάτριο γίνεται επικύνδυνο εάν υπερβαίνει περίπου το 15% των ολικών ανταλλάξιμων κατιόντων.

Σημείωση: Λόγω των κινδύνων, η αλατότητα και το περιέχων νάτριο έχουν αποτελέσει τα αντικείμενα της εντατικής έρευνας. Τα βιβλία που προτείνονται για την περαιτέρω ανάγνωση πρέπει να ερωτηθούν για τη χρήση των μετρήσεων που απαριθμούνται ανωτέρω. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι συγκεντρώσεις αλάτων που χρησιμοποιούνται πιο πάνω, εκτιμώντας ότι οι δραστηριότητες απαιτούνται πιο κατάλληλα.

8.11 Περίληψη

Όπως στα φυσικά οικοσυστήματα (χάρτης 7), οι φυσικές και χημικές συνθήκες στο χώμα επιδρούν στην ανάπτυξη των συστημάτων ρίζας των συγκομιδών. Η διαφορά μεταξύ των δύο, είναι ότι οι συνθήκες μπορούν να βελτιωθούν για τις παραγωγές των συγκομιδών. Αυτό γίνεται από την αποξήρανση, για να αφαιρεθεί η περίσσεια του ύδατος από τις καλλιέργειες για να βελτιώσει τις εδαφολογικές μηχανικές ιδιότητες, τη λίπανση των θρεπτικών ουσιών στα λιπάσματα και των οργανικών λιπασμάτων, τη χρήση του ασβέστη για να διορθώσει την οξύτητα, και την άρδευση.

Η αφαίρεση από το έδαφος των συγκομιδών (καλλιεργήσιμα συγκομιδή και δέντρα) και των ζωικών προϊόντων μειώνει το απόθεμα των θρεπτικών ουσιών στο χώμα, και οι καλλιέργειες μπορούν να οδηγήσουν στην επιδείνωση της εδαφολογικής δομής. Για να διατηρήσουν τη γονιμότητα (η ικανότητα του χώματος να υποστηριχθεί η συγκομιδή που αυξάνεται) οι θρεπτικές ουσίες πρέπει να προστεθούν, η προσθήκη της οργανικής ουσίας βελτιώνει συνήθως την εδαφολογική δομή και βοηθά να αυξηθούν οι παραγωγές συγκομιδών, και ο ασβέστης μπορεί να χρειαστεί για την διατήρηση του pH. Οι απαιτήσεις τροφίμων ενός γρήγορα αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού πρόκειται να καλυφθούν επιτυχώς.

Κεφάλαιο 9 Εδαφολογικός οξυνισμός

9.1 Εισαγωγή

9.2 pH και αποθήκευση

9.3 pH χώματος και ρυθμιστική ικανότητα

9.4 Ποσοστό Κορεσμού βάσεων

9.5 Διαδικασίες του εδαφολογικού οξυνισμού

9.6 Αποτελέσματα της εδαφολογικής οξύτητας στις φυτείες

9.7 Όξινη βροχή

9.8 Οξυνισμός των οικοσυστημάτων

9.9 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

9.10 Περίληψη

9.1 Εισαγωγή

Τα περισσότερα χώματα θα γίνουν όξινα εάν εκτίθενται για ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα στα όμβρια ύδατα που προκαλούν την μέσω-αποξήρανση. Ο οξυνισμός είναι μια φυσική διαδικασία και αναφέρεται στην παράγραφο 3.5 ως μια από τις διαδικασίες του εδαφολογικού σχηματισμού, στοιχεία του εδαφολογικού οξυνισμού βρίσκονται στους βράχους που διαμορφώθηκαν 300 εκατομμύρια έτη πριν τη λιθανθρακοφόρο περίοδο, η οποία περιέχει τα απολιθωμένα χώματα, παρόμοια με τα spodosols της παρούσας ημέρας, και αυτοί είναι όξινοι. Οι ρωμαϊκοί συγγραφείς περισσότερο από 2000 έτη πριν περιέγραψαν τα οφέλη, προτείνοντας ότι τα όξινα χώματα ήταν έπειτα ένα πρόβλημα. Στην παρούσα ημέρα όλες οι ήπειροι του κόσμου περιέχουν μεγάλες περιοχές όξινων χωμάτων.

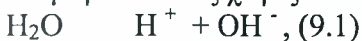
Τα τελευταία χρόνια, εντούτοις, οι ρύποι στην ατμόσφαιρα έχουν αυξήσει το ποσοστό οξυνισμού των χωμάτων και των γλυκών νερών, και έχει υπάρξει ανησυχία ότι αυτό έχει προκαλέσει το θάνατο των δέντρων και των ψαριών. Η επίδραση του οξυνισμού των ατμοσφαιρικών ρύπων περιγράφεται συχνά κάτω από τον τίτλο “όξινη βροχή” αν και, όπως θα περιγραφεί στην παράγραφο 9.7, αυτό μπορεί να είναι παραπλανητικό.

Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τη διαδικασία του εδαφολογικού οξυνισμού και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των όξινων χωμάτων. Λίγη χημεία απαιτείται, εάν οι διαδικασίες πρόκειται να γίνουν κατανοητές, και αρχίζουμε με την εξήγηση της οξύτητας, και ειδικότερα τι σημαίνει, εδαφολογική οξύτητα.

9.2 pH και ουδετεροποίηση

Για να αποφύγουν τη σύγχυση, απαιτούνται προσδιορισμοί των όρων που χρησιμοποιούνται. Δεδομένου ότι εξετάζουμε τα διαλύματα ύδατος, το καθαρό ύδωρ παρέχει την αφετηρία.

Τα μόρια ύδατος χωρίζονται σε μια πολύ μικρή έκταση:



δίνοντας τα ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια) και τα ιόντα υδροξυλίου στις ίσες συγκεντρώσεις 10^{-7} M σε 25°C . Αντί της χρησιμοποίησης των συγκεντρώσεων, που είναι δυσκίνητες λόγω του ευρέος φάσματός τους, στα όξινα και αλκαλικά διαλύματα, είναι κατάλληλο να αναφερθεί στον αρνητικό λογάριθμο της συγκέντρωσης, γνωστό ως pH:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]. \quad (9.2)$$

Αυστηρά, το pH είναι ο αρνητικός λογάριθμος της ιονικής δραστηριότητας υδρογόνου, παρά τη συγκέντρωση, αλλά στα αραιά διαλύματα αυτά τα δύο μπορούν να θεωρηθούν ίσα. Ένα περαιτέρω σημείο είναι ότι το H^+ αντιδρά με το H_2O για να σχηματίσουν το H_3O^+ (θετικό ιόν υδρονίου). Αυτό δεν έχει επιπτώσεις στον καθορισμό του pH, και ο σχηματισμός του H_3O^+ , δεν θα εξεταστεί περαιτέρω σε αυτό το κείμενο.

Οξύ και βάση

Ένα οξύ δίνει τα πρωτόνια (ιόντα υδρογόνου) και μια βάση δέχεται τα πρωτόνια:

Οξύ + βάση + πρωτόνιο, (9.3)

παραδείγματος χάριν

$Cl^- + HCl \rightleftharpoons Cl^- + H^+$ (9.4)

$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$ (9.5)

Το ουδέτερο σημείο είναι, $pH = 7,0$. Ένα διάλυμα είναι όξινο εάν το pH είναι κάτω από 7 και αλκαλικό εάν είναι επάνω από 7. Ένα διάλυμα από $pH = 5$ έχει μια συγκέντρωση 10^{-5} M ιόντων υδρογόνου, και ένα από $pH = 8$ έχει μια συγκέντρωση 10^{-8} M ιόντων υδρογόνου και 10^{-6} M ιόντων υδροξυλίου.

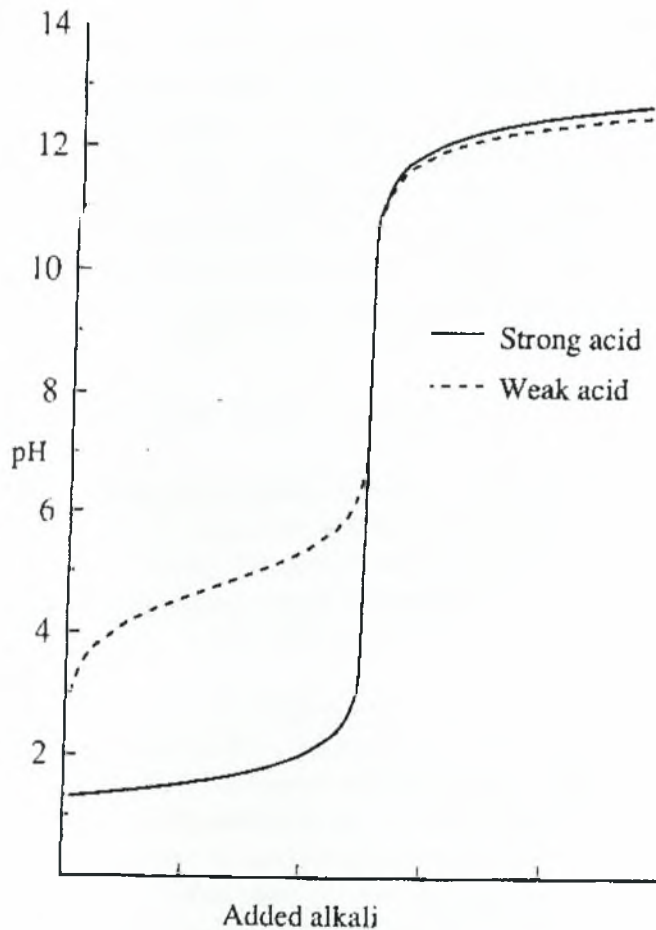


Figure 9.1 Titration curves of a strong acid (hydrochloric acid) and a weak acid (acetic acid) with sodium hydroxide solution.

Εικόνα 9,1 Καμπύλη στοιχειομετρικής ανάλυσης ενός ισχυρού οξέος (υδροχλωρικό οξύ) και ενός ασθενούς οξέος (οξικό οξύ) με διάλυμα καυστικού νατρίου.

Ρυθμιστική ικανότητα

Αυτό είναι το ποσό (mol l^{-1}) οξέος (H^+) ή βάσης (OH^-) που απαιτείται για να αλλάξει το pH 1 λίτρου του διαλύματος από 1 μονάδα. Εάν ένα αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος είναι τιτλοδοτημένο με το υδροξείδιο νατρίου, το pH αυξάνεται αισθητά επάνω από 3 (σχήμα 9.1) αυτό γίνεται επειδή υπάρχει σχεδόν ολοκληρωτικά ως H^+ και Cl^- , τουλάχιστον στο αραιό διάλυμα. Η παρόμοια τιτλοδότηση του οξικού οξέος δίνει μόνο μια μικρή αλλαγή του pH όταν προστίθεται το αλκάλιο για το $\text{pH} = 5$. Το οξικό οξύ αποθηκεύει το pH σε περίπου 5 επειδή τα πρωτόνια του είναι στενά συνδεδεμένα και απελευθερώνονται μόνο όταν προστίθεται το ικανοποιητικό αλκάλιο:



Γενικά για ένα ασθενές οξύ

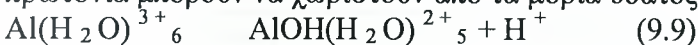


Ο βαθμός διαχωρισμού του στα ιόντα εκφράζεται ως

$$K_A = [\text{H}^+][\text{A}^-]/[\text{HA}], \quad (9.8)$$

όπου το K_A είναι γνωστό ως σταθερός διαχωρισμός του ασθενούς οξέος. Εκφράζεται συνήθως ως αρνητικός λογάριθμος ($\text{p}K_A$), αναλογικά με το pH. Οι μονάδες της συγκέντρωσης είναι moles ανά λίτρο.

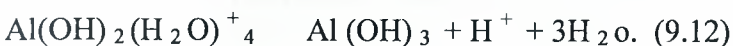
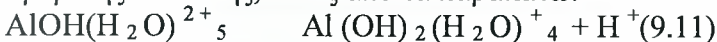
Τα δύο παραδείγματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 9.1 είναι από ένα ισχυρό οξύ και ένα ασθενές οξύ. Υπάρχει ένας τρίτος τύπος οξέος γνωστός ως οξύ Lewis. Το Al^{3+} και το Fe^{3+} είναι παραδείγματα των οξέων Lewis. Στο διάλυμα ύδατος αυτά τα ιόντα είναι ενυδατωμένα ως $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ και $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ αντίστοιχα. Τα πρωτόνια μπορούν να χωριστούν από τα μόρια ύδατος:



και

$$K_1 = [\text{Al}(\text{OH})^{2+}][\text{H}^+]/[\text{Al}^{3+}], \quad (9.10)$$

όπου $[\text{Al}^{3+}]$ αντιπροσωπεύει $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}]$ και το $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ αντιπροσωπεύει $\text{AlOH}(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$. Τα περαιτέρω πρωτόνια μπορούν να μετακινηθούν διαδοχικά υπό τη μορφή του $\text{Al}(\text{OH})_3$. Οι μεσάζοντες περιλαμβάνουν τα πολυμερή σώματα της αβέβαιης σύνθεσης, εκτός από τα παρακάτω:



Με λογαριθμική φόρμα, $\text{p}K_1$ (εξίσωση 9.10) = 5, και ακολουθώντας τον πιο πάνω συλλογισμό, στο $\text{pH} = 5$ οι συγκεντρώσεις του $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ και Al^{3+} είναι ίσες.

Τα πρωτόνια απελευθερώνονται εάν η βάση προστίθεται στα ιόντα Al και από την αντίστροφη αντίδραση τα πρωτόνια αφαιρούνται από το διάλυμα όταν προστίθεται το οξύ στο $\text{Al}(\text{OH})_3$. Αυτή είναι μια από τις σημαντικές διαδικασίες που ουδετεροποιεί την αλλαγή του pH στα χώματα. Τα σιδηρικά ιόντα εισάγουν τις αντιδράσεις ουδετεροποιημένων pH στο χαμηλότερο pH από το αλουμίνιο, η αξία του $\text{p}K_1$ που είναι 2.2.

Λόγω των ιδιοτήτων πολλών ουδετεροποιημένων διαλυμάτων, το pH μόνο του δεν είναι επαρκές για να καθορίσει την οξύτητά τους. Ο όρος “η ικανότητα εξουδετέρωσης των βάσεων” (BNC) χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ποσό βάσης που χρειάζεται να προστεθεί για να φθάσει στο σημείο αναφοράς.

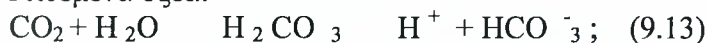
9.3 pH χώματος και ρυθμιστική ικανότητα

Οι αρχές που περιγράφονται ανωτέρω, επίσης ισχύουν για το χώμα, αλλά υπάρχουν και άλλες εκτιμήσεις των ιδιοτήτων ιονικής ανταλλαγής του αργίλου και του φυτοχώματος, και για άλλους λόγους.

Το pH του χώματος μπορεί να μετρηθεί σχετικά με το αποσπασματικό εδαφολογικό διάλυμα, ή σχετικά με μια αναστολή του χώματος στο ύδωρ. Για λόγους που δίνονται στην παράγραφο 4.4 το pH πρέπει αυστηρά να μετρηθεί όταν αναστέλλεται το χώμα σε ένα διάλυμα περίπου της ίδιας σύνθεσης με το εδαφολογικό διάλυμα. Συνήθως, εντούτοις, το pH μετριέται σχετικά με μια αναστολή στο ύδωρ.

Η αποθήκευση του χώματος pH οφείλεται σε διάφορες εδαφολογικές ιδιότητες, η επίδραση των οποίων είναι να γίνει η πτώση στο pH λιγότερο απ' ό,τι σε έναν ισοδύναμο όγκο του ύδατος όταν προστίθεται το οξύ. Αυτές οι ιδιότητες παρατίθενται στον πίνακα 9.1. Οι αντιδράσεις που εμφανίζονται με το προστιθέμενο οξύ συνοψίζονται ως εξής:

1. Τα διοξείδια του άνθρακα διαλύονται από το ανθρακικό οξύ και άλλα προστιθέμενα οξέα:

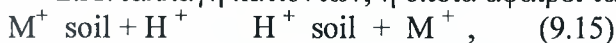


Το προϊόν, όξινο ανθρακικό άλας του ασβεστίου, είναι διαλυτό και διωλίζεται από το χώμα από την υπερβολική βροχή.

Πίνακας 9.1. Οι ουδετεροποιημένες ιδιότητες pH των χωμάτων

1. Αντίδραση των οξέων με τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου
2. Ανταλλαγή κατιόντων
3. Απορρόφηση πρωτονίων από τα μεταλλεύματα αργίλου, το φυτόχωμα και το ενυδατωμένο αλουμίνιο και τα οξείδια σιδήρου
4. Προσρόφηση πρωτονίων από τα ιόντα αλουμινίου
5. Αύξηση διαλυτότητας των εδαφολογικών μεταλλευμάτων

2. Ανταλλαγή κατιόντων, η οποία αφαιρεί τα πρωτόνια από τα διαλύματα:



όπου M^+ είναι ένα ανταλλάξιμο κατιόν. Ανταλλάξιμο H^+ αντιδρά με το αλουμίνιο στον άργιλο και στα ένυδρα οξείδια (αντιδράσεις 4 και 5 κατωτέρω).

3. Χουμικό οξύ:



Και σε ψηλό pH,



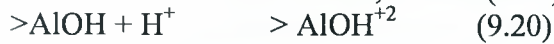
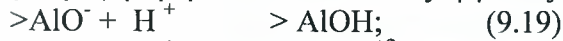
Η επίδραση αυτών των αντιδράσεων είναι να μειωθεί η αρνητική δαπάνη στις ιονισμένες καρβοξυλικές και φαινολικές ομάδες υδροξυλίου, αντίστοιχα (τμήμα 2.8).

4. Αποθήκευση αλουμινίου



Δείτε τις εξισώσεις 9,9, 9,11, 9.12.

5. Προσρόφηση πρωτονίων από τους αργίλους και τα οξείδια του Al και του Fe:



Αυτές οι αντιδράσεις χαμηλώνουν την εξαρτημένη αρνητική δαπάνη του pH και είναι η πηγή θετικής δαπάνης (τμήμα 4.1).

6. Υδρόλυση των μεταλλευμάτων:

7.



Στην ορθοκλαστική αντίδραση ο άστριος διαμορφώνει τον καοлинίτη και το πυριτικό οξύ (υδρόλυση τμημάτων 3.2). Η υδρόλυση άλλων πυριτικών αλάτων αφαιρεί επίσης H^+ από το διάλυμα.

Σε όλες αυτές τις αντιδράσεις τα εδαφολογικά τμήματα αφαιρούν τα πρωτόνια από το όξινο διάλυμα και το pH θα μειωθεί σε μια έκταση που εξαρτάται από τη ρυθμιστική ικανότητα του χώματος. Οι αντιδράσεις συζητούνται περαιτέρω στην παράγραφο 9.5 σε σχέση με τις διαδικασίες του οξυνισμού.

9,4 Κορεσμός ποσοστού βάσεων

Τα κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , και K^+ είναι γνωστά ως βασικά κατιόντα ή βάσεις. Η αρνητική δαπάνη στον άργιλο και το φυτόχωμα ισορροπείται από τη δαπάνη σε αυτά τα κατιόντα και επίσης από το H^+ και τα ιόντα αλουμινίου (Al^{3+} , AlOH^{2+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$) που είναι γνωστά ως όξινα κατιόντα.

Ποσοστό Κορεσμού βάσεων = $[\Sigma (\text{ανταλλάξιμα βασικά κατιόντα})_c / (\text{ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων})_c] \times 100$

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων μετρείται στο $\text{pH} = 7$, μερικές φορές σε ένα υψηλότερο pH. Η χρήση της CEC (ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων) στο $\text{pH} = 7$ είναι μη ρεαλιστική για τα όξινα χώματα με κυρίως την εξαρτώμενη δαπάνη pH. Για αυτά τα χώματα, που είναι κοινά στις τροπικές περιοχές, ένας πιο χρήσιμος καθορισμός είναι:

Ποσοστό Κορεσμού βάσεων = $[\Sigma (\text{ανταλλάξιμα βασικά κατιόντα})_c / \Sigma (\text{συνολικά ανταλλάξιμα κατιόντα})_c] \times 100$

Μια λύση μη ουδετεροποιημένου KCl χρησιμοποιείται για να μετατοπίσει τα ανταλλάξιμα κατιόντα στο pH του χώματος. Μετατοπισμένα H^+ , Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ είναι συλλογικά γνωστή ως ανταλλάξιμη οξύτητα. Τα συνολικά ανταλλάξιμα κατιόντα που μετριοούνται μ' αυτό τον τρόπο είναι η αποτελεσματική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του χώματος, ECEC, και αναφέρονται στην παράγραφο 4.2. Ο κορεσμός βάσεων ποσοστού χρησιμοποιείται, εκτός από το pH, για να δείξει εάν η εδαφολογική οξύτητα έχει επιπτώσεις στην αύξηση των φυτειών.

9.5 Διαδικασίες του εδαφολογικού οξυνισμού

Σε ένα ουδέτερο χόμα τα ανταλλάξιμα κατιόντα που εξουσιάζουν την ικανότητα ανταλλαγής είναι Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+ (τα βασικά κατιόντα). Ως αποτέλεσμα του οξυνισμού τα βασικά αυτά κατιόντα αντικαθίστανται από τα πρωτόνια και τα

ιόντα αλουμινίου. Η απώλεια των βασικών κατιόντων είναι μόνιμη εάν διυλίζονται από τη ζώνη της ρίζας ή αφαιρούνται με την συγκομιδή. Η απώλεια είναι προσωρινή εάν λαμβάνονται από τα φυτά και επιστρέφουν στο χώμα, με τα απορρίμματα ή το θάνατο των φυτών. Μερικά από τα βασικά κατιόντα που λαμβάνονται από τα δέντρα συγκεντρώνονται στους ξύλινους ιστούς όπου αφαιρούνται αποτελεσματικά από το χώμα για πολλά έτη. Μια διάκριση επομένως πρέπει να γίνει μεταξύ του οξυνισμού του χώματος και του οξυνισμού του οικοσυστήματος χώμα-φυτών. Οι πηγές οξύτητας (και αλκαλικότητας) παρατίθενται στον πίνακα 9.2, και το σχήμα 9.2 δίνει μια σχηματική αντιπροσώπευση των διαδικασιών.

Πίνακας 9.2. Πηγές οξύτητας και αλκαλικότητας στα χώματα

Οξύτητα:

1. Προσθήκη των οξέων και των χημικών ουσιών που βοηθούν στην σχηματοποίηση των από την ατμόσφαιρα
2. Λήψη (κατιόντων)_c > (ανιόντων)_c από τα φυτά^a
3. Αφαίρεση των βασικών κατιόντων κατά τη συγκομιδή και τη διύλιση
4. Διαδικασίες οξείδωσης όπως η νιτροποίηση
5. Μικροβιακή παραγωγή των οργανικών οξέων
6. Αύξηση της εδαφολογικής οργανικής ουσίας
7. Αεριοποίηση της αμμωνίας από τις ενώσεις αμμωνίου

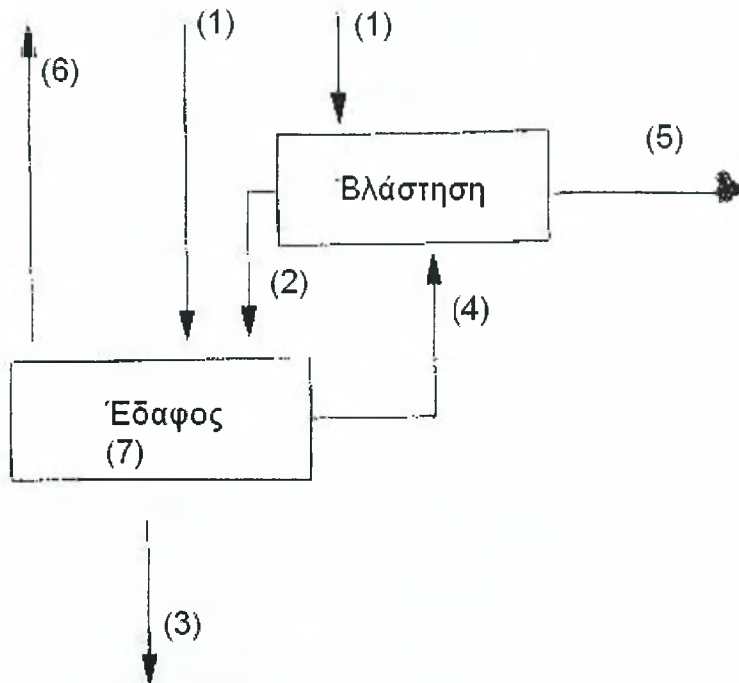
Αλκαλικότητα:

1. Προσθήκη από την ατμόσφαιρα των ανθρακικών αλάτων και των μεταλλευμάτων με μεγάλη αντοχή στη σκόνη
2. Λήψη (ανιόντων)_c > (κατιόντων)_c από τα φυτά
3. Διαδικασίες μείωσης
4. Διάβρωση των αρχικών μεταλλευμάτων
5. Υδρόλυση των ανταλλάξιμων ιόντων νατρίου, τα οποία μπορούν να είναι παρόντα στις υψηλές συγκεντρώσεις μετά από την άρδευση με το υφάλμυρο νερό

(κατιόντα)_c = η ηλεκτρική δαπάνη στα συνολικά κατιόντα

(ανιόντα)_c = η ηλεκτρική δαπάνη στα συνολικά ανιόντα

Σχήμα 9.2 Διαδικασίες που έχουν επιπτώσεις στον οξυνισμό των οικοσυστημάτων.



- (1) υγρή και ξηρά απόθεση
- (2) διαμέσου της πτώσης απορριμμάτων
- (3) διυλισμός
- (4) θρεπτική λήψη
- (5) θρεπτική αφαίρεση στη συγκομιδή
- (6) αεριοποίηση της αμμωνίας
- (7) εδαφολογικές διαδικασίες (βλ. στο κείμενο)

1. Αποτελέσματα της ατμόσφαιρας

Η απόθεση από την ατμόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει τον εδαφολογικό οξυνισμό με διάφορους τρόπους:

- (i) Χημικές ουσίες οξέων και σχηματοποιημένου οξέως με πτώση (βροχοπτώσεις, χιόνι και ομίχλη) που μειώνεται προς τα φυτά και το χώμα.
- (ii) Απορρόφηση των αερίων από την ατμόσφαιρα, από τα φυτά και το χώμα (ξηρά απόθεση)
- (iii) Απόθεση των αερολυμάτων (απόκρυφη απόθεση) επάνω στα φυτά και το χώμα.
- (iv) Τα οργανικά οξέα που πλένονται από τη βροχή (διαμέσου της πτώσης) κατεβαίνουν από τους μίσχους των φυτών (ροή μίσχων)

Τα επιμέρους συστατικά προκαλούν την πτώση οξυνισμού σε τρεις ομάδες:

(i) οξέα στα όμβρια ύδατα : H_2CO_3 (ανθρακικό οξύ), HNO_3 (νιτρικό οξύ), H_2SO_4 (θειικό οξύ), HCl (υδροχλωρικό οξύ)

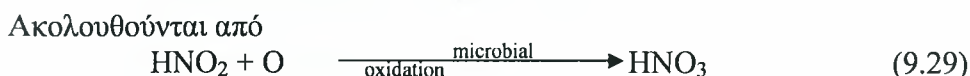
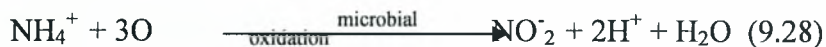
(ii) όξινα αέρια : CO_2 (διοξείδιο του άνθρακα), SO_2 (διοξείδιο του θείου), SO_3 (τριοξείδιο του θείου), HNO_3 (νιτρικό οξύ).

Στο εδαφολογικό ύδωρ :





(iii) Χημικές ουσίες σχηματισμένου οξέος NH_3 (αμμωνία) και NH_4^+ (αμμώνιο). Στο χώμα:



Οι αντιδράσεις που αντιπροσωπεύονται από τις εξισώσεις 9.27-9.29 περιγράφουν τη νιτροποίηση, η οποία προκαλεί τον οξυνισμό των εδαφών.

Τα υδροχλωρικά, νιτρικά και θειικά οξέα είναι ισχυρά οξέα και μπορούν να χαμηλώσουν το pH των όμβριων υδάτων κάτω από 5,6, η αξία του καθαρού ύδατος στην ισορροπία με μια ατμόσφαιρα που περιέχει το 340 ppm του CO_2 . Οι πηγές των ισχυρών οξέων αναφέρονται στην παράγραφο 9.7.

2. Αποτελέσματα στα φυτά

Εάν τα φυτά λαμβάνουν περισσότερα κατιόντα (αυστηρά, δαπάνη κατιόντων) από ανιόντα (δαπάνη ανιόντων) συνθέτουν περισσότερα οργανικά οξέα και εκκρίνουν τα πρωτόνια από τις ρίζες τους (παράγραφος 7.6), αυτή η διαδικασία χαμηλώνει το pH. Υπερβολική λήψη ανιόντων αυξάνει το pH του εδάφους. Τα στοιχεία που απαιτούνται στα μεγαλύτερα ποσά από το χώμα είναι άζωτο και κάλιο. Το άζωτο μπορεί να θεωρηθεί ως NH_4^+ ή NO_3^- και το κάλιο θεωρείται ως K^+ . Εάν NH_4^+ παρά το NO_3^- λαμβάνεται από τα φυτά η αναλογία λήψης της δαπάνης κατιόντων: η δαπάνη ανιόντων θα είναι συνήθως μεγαλύτερη από 1 και ο οξυνισμός θα εμφανιστεί στη ζώνη ρίζας. Ο οξυνισμός προκαλείται επίσης από τα όσπρια, τα οποία εξασφαλίζουν το άζωτό τους από τη βιολογική σταθεροποίηση και λαμβάνουν τα υπερβολικά κατιόντα.

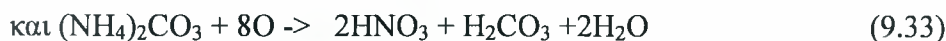
Ο εδαφολογικός οξυνισμός προκαλείται από μια αναλογία λήψης μεγαλύτερη προσωρινά εάν όλος ο φυτικός ιστός επιστρέφεται στο χώμα. Αυτό είναι επειδή τα οργανικά οξέα αποσυνθέτουν το διοξείδιο του άνθρακα και το ύδωρ, και τα βασικά κατιόντα απελευθερώνονται στο χώμα. Η απελευθέρωση των βασικών κατιόντων αντισταθμίζει τον οξυνισμό που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της λήψης φυτών. Εάν τα φυτά ή τα δέντρα συγκομίζονται ο οξυνισμός προκύπτει από την αφαίρεση των βασικών κατιόντων από την περιοχή, εάν η λήψη κατιόντων υπερέβη ή όχι τη λήψη ανιόντων.

3. Διαδικασίες Οξείδωσης - μείωσης

Οι διαδικασίες οξείδωσης και μείωσης αυξάνουν συνήθως και μειώνουν την οξύτητα, αντίστοιχα. Οι διαδικασίες καταλύονται από τα ένζυμα από τους μικροοργανισμούς και συζητούνται στην παράγραφο 5.8. Μια από τις σημαντικές αντιδράσεις που προκαλεί οξυνισμό είναι:

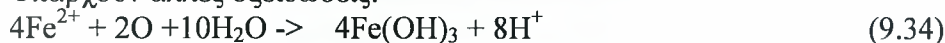


που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία της νιτροποίησης (εξισώσεις 9.28 και 9.29). Εμφανίζεται με όλα τα λιπάσματα που περιέχουν το αμμώνιο ή την ουρία. Κατά συνέπεια:



Η επίδραση ξινίσματος αυτών των λιπασμάτων στο χόμα εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από το εάν τα φυτά συγκομιδών είναι παρόντα, τα οποία κανονικά θα ήταν εκτός αν η συγκομιδή αποτύγχανε. Ελλείψει μιας συγκομιδής, η ισοδυναμία πρωτονίων 28 kg N (τα άτομα 2 kg N) είναι 4 kg για το θειικό άλας αμμωνίου (εξίσωση 9.31) και 2 kg για την ουρία (εξισώσεις 9.32 και 9.33), υποθέτοντας ότι το H_2CO_3 χωρίζει το CO_2 και το H_2O . Εάν το νιτρικό άλας και το θειικό άλας που παράγονται και διυλίζονται από το χόμα θα έφερναν 80 και 40 kg ασβεστίου από την προσθήκη του θειικού άλατος αμμωνίου και της ουρίας, αντίστοιχα. Παρουσία μιας συγκομιδής η επίδραση ξινίσματος εξαρτάται από την έκταση της νιτροποίησης και από τη σχετική λήψη των κατιόντων και των ανιόντων (παράγραφος 7.6). Αυτό το καθιστά δύσκολο να υπολογίσει την έκταση του οξυνισμού παρουσία μιας συγκομιδής, αλλά εμφανίζεται γενικά να είναι το μισό από αυτό στην απουσία του, όπως υπολογίζεται ανωτέρω.

Υπάρχουν άλλες οξειδώσεις:



Η οξείδωση του σιδήρου και του σουλφιδίου προκαλεί τον οξυνισμό, όπως παρουσιάζεται από τις εξισώσεις 9.34 και 9.35. Η οξείδωση του πυρίτη (ένα σιδηρούχο σουλφίδιο) μπορεί να δώσει τα πολύ όξινα χόματα όπως περιγράφονται κατωτέρω (βλ. την εξίσωση 9.38)

Η εξίσωση 9.36 αναφέρεται στην οξείδωση μιας ζάχαρης, π.χ. γλυκόζη, στο πυρροβικό οξύ, το οποίο εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της αεροβικής αναπνοής των μικροοργανισμών. Το οξυγόνο ενεργεί ως αποδέκτης ηλεκτρονίων υπό αυτές τις συνθήκες. Στις αναερόβιες συνθήκες υπάρχουν άλλοι αποδέκτες ηλεκτρονίων όπως το Fe^{3+} , το οποίο γίνεται μειωμένο στο Fe^{2+} με την κατανάλωση H^+ (τμήμα 5.8). Ως εκ τούτου όταν τα όξινα χόματα πλημμυρίζουν, γίνονται αναερόβια και το pH αυξάνεται.

4. Αύξηση της περιεκτικότητας σε φυτόχωμα

Το φυτόχωμα έχει τις pH-εξαρτώμενες αρνητικές δαπάνες, οι οποίες του δίνουν μια ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων στο pH 7 περίπου 3 moles της δαπάνης ανά χιλιογράμμο, η αξία διαφέρει μεταξύ των χωμάτων και εξαρτάται από τη μέθοδο

μέτρησης. Η δαπάνη στο pH 7 προκύπτει κυρίως από το διαχωρισμό των πρωτονίων από καρβοξυλικές ομάδες (παράγραφος 2.8). Οι όξινες ομάδες διαμορφώνονται από την οξείδωση από τους μικροοργανισμούς του φυτικού ιστού που ενσωματώνεται στο χώμα. Εάν ο φυτικός ιστός έχει ένα υψηλό περιεχόμενο των βασικών κατιόντων, αυτά ισορροπούν την αρνητική δαπάνη στο φυτόχωμα. Οι μετρήσεις στην Αυστραλία έχουν δείξει ότι τα λιβάδια που περιέχουν ένα εισαχθέν όσπριο όπως το υπόγειο τριφύλλι μπορούν να προκαλέσουν τον οξυνισμό. Αυτό είναι πιθανόν επειδή υπάρχει μια έλλειψη των βασικών κατιόντων για να ισορροπήσει τις όξινες ομάδες σχετικά με το αυξανόμενο περιεχόμενο της εδαφολογικής οργανικής ουσίας, αν και η σταθεροποίηση του αζώτου από το τριφύλλι ίσως να είναι μια μερική αιτία.

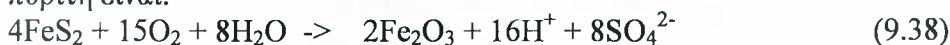
5. Διάβρωση των μεταλλευμάτων

Πολλά θεμελιώδη μεταλλεύματα περιέχουν τα βασικά κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ και K^+ τα οποία περνούν στο διάλυμα όταν τα μεταλλεύματα υδρολύονται, μια διαδικασία της χημικής διάβρωσης (Τμήμα 3.2). Η διαδικασία μπορεί να εκφραστεί από την άποψη της κατανάλωσης H^+ όπως στην εξίσωση 3,1, ή την παραγωγή OH^- εκφρασμένη γενικά όπως



Τα προϊόντα μπορούν να περιλάβουν το πυριτικό οξύ, τα ένυδρα οξείδια του αλουμινίου και του σιδήρου, каоλινίτη(ορυκτό) ή άλλα πυριτικά άλατα αργίλου, και τα βασικά κατιόντα που περνούν στο διάλυμα. Λόγω της παραγωγής των βασικών κατιόντων και OH^- (ή κατανάλωσης H^+) η διαδικασία είναι γνωστή ως αλκαλινισμός. Τα αποτελέσματά του είναι μέγιστα όταν τα ευκόλως υδρολύσιμα μεταλλεύματα, παραδείγματος χάριν σιδηρομαγνησιακά μεταλλεύματα, είναι παρόντα στο χώμα. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία τόσο γρηγορότερη η εξέλιξη του. Το ποσοστό αυξάνεται επίσης με την προσθήκη των οξέων, αλλά δεν είναι γνωστό εάν ο οξυνισμός, έχει οποιαδήποτε επίδραση.

Η επίδραση της διάβρωσης των περισσότερων μεταλλευμάτων είναι να αυξηθεί η αλκαλικότητα, αν και η οξείδωση ενός σιδηρούχου σουλφιδίου όπως ο πυρίτης απελευθερώνει τα πρωτόνια, όπως αναφέρεται ανωτέρω. Ο πυρίτης διαμορφώνεται κάτω από τη μείωση των συνθηκών, ειδικά στους θαλάσσιους αργίλους, σε αυτούς που εμφανίζονται στην εκβολή ποταμών και στα σαπισμένα χόρτα. Διαμορφώνεται από τη μείωση του θειικού άλατος και του σιδήρου από τους μικροοργανισμούς όταν η οργανική ουσία είναι παρούσα. Εμφανίζεται επίσης στα απόβλητα από τα μεταλλεία άνθρακα. Η αποκατάσταση αυτών των αποβλήτων και της αποξήρανσης των θαλασσιών αργίλων και των αργίλων από εκβολή ποταμών και στα σαπισμένα χόρτα μπορεί να δώσει τα πολύ όξινα χώματα. Είναι γνωστά ως όξινα χώματα θειικού άλατος και μπορούν να έχουν ένα pH κάτω από 3. Η εξίσωση για την οξείδωση του πυρίτη είναι:



Στο τελείωμα αυτής της παραγράφου τρία τα σημεία είναι ωφέλιμο να επαναδιατυπωθούν :

1. Κατά τη διάρκεια του οξυνισμού η συγκέντρωση των πρωτονίων στο χώμα αυξάνεται και τα βασικά κατιόντα μετατοπίζονται από τις περιοχές ανταλλαγής στους αργίλους και το φυτόχωμα.
2. Τα βασικά κατιόντα χάνονται μόνιμα εάν διυλίζονται από το χώμα ή αφαιρούνται κατά τη συγκομιδή.

3. Λόγω της ανακύκλωσης των βασικών θρεπτικών ουσιών και της συσσώρευσής τους στις ξύλινες δομές, όπως στα δέντρα, η διάκριση πρέπει να γίνει μεταξύ του οξυνισμού του χώματος και αυτού του οικοσυστήματος.

9.6 Αποτελέσματα της εδαφολογικής οξύτητας στα φυτά

Η οξύτητα δημιουργεί χημικές και βιολογικές συνθήκες στο χώμα που είναι επιβλαβείς σε πολλά φυτά, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 9.3.

Πίνακας 9.3. Τα κύρια αποτελέσματα του εδαφολογικού οξυνισμού στα φυτά

1. Μειωμένος ανεφοδιασμός των θρεπτικών ουσιών Ca^{2+} και άλλων κατιόντων που χάνονται στο ύδωρ αποξηράνσεων N, P και S παραμένουν ακινητοποιημένα για περισσότερο στην εδαφολογική οργανική ουσία.
2. Αυξανόμενες συγκεντρώσεις των ιόντων μετάλλων στο διάλυμα, ειδικά Al, και συμπεριλαμβανομένων εκείνων Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, τα οποία μπορεί να γίνουν τοξικά.
3. Η λήψη του φωσφορικού άλατος και του άλατος του τριοξειδίου του μολυβδαινίου μειώνεται.
4. Η μορφή αζώτου που λαμβάνεται επάνω από τις ρίζες φυτών μπορεί να είναι NH_4^+ αντί NO_3^- επειδή η εμποδίζεται νιτροποίηση.
5. Η σταθεροποίηση αζώτου από τα όσπρια μπορεί να μειωθεί εκτός αν η *Rhizobium* (ριζόβιο βακτήριο εδάφους) πίεση είναι ανεκτική οξέος.

Όταν τα εδάφη γίνονται όξινα η ικανότητά τους να προσροφήσουν τα κατιόντα μειώνεται (βλ. την αποτελεσματική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων στην παράγραφο 4.2) έτσι ώστε θρεπτικά κατιόντα, ειδικά Ca^{2+} και Mg^{2+} , να περνούν στο διάλυμα και να διυλίζονται στο στραγγιζόμενο νερό. Η οξύτητα αυξάνει επίσης τη διαλυτότητα των περισσότερων μετάλλων. Καθώς το pH μειώνεται περίπου κάτω από 5,5. Τα εδαφολογικά διαλύματα που περιέχουν τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις των ιόντων αλουμινίου: $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, AlOH^{2+} και το Al^{3+} γίνονται κυρίαρχα σε εκείνο το σύστημα δεδομένου της πτώσης pH, και μετατοπίζουν άλλα κατιόντα από τις περιοχές ανταλλαγής. Τα όξινα χώματα επομένως έχουν συνήθως χαμηλό περιεχόμενο ασβεστίου και μαγνησίου, και σε ακραίες συνθήκες ο ανεφοδιασμός αυτών στα φυτά μπορεί να είναι ανεπαρκής.

Το πιο κοινό πρόβλημα στα όξινα χώματα είναι, εντούτοις, η τοξικότητα του αλουμινίου στα φυτά, και για μερικά είδη η τοξικότητα του μαγγανίου. Διάλυμα συγκέντρωσης 10^{-6} M Al μπορεί να βλάψει τα ευαίσθητα φυτά. Οι συγκεντρώσεις άλλων μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του χρωμίου, του χαλκού, του νικελίου και του ψευδάργυρου αυξάνονται στα όξινα χώματα, αλλά η τοξικότητά τους είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου περιορισμένη στα μολυσμένα χώματα (βλ. το κεφάλαιο 10) Τα όξινα χώματα μπορούν να έχουν επιπτώσεις στα φυτά με διάφορους τρόπους (Πίνακας 9.3). Είδη και ποικιλίες φυτών διαφέρουν όμως στην ευαισθησία τους σε συνθήκες όξινων χωμάτων. Μεταξύ των φυτών συγκομιδών, του κριθαριού, του βαμβακιού και της Λουκέρνης (alfalfa) είναι ευαίσθητα ενώ το τσάι απαιτεί πραγματικά τις όξινες συνθήκες. Η συνηθισμένη γεωργική πρακτική για τις περισσότερες συγκομιδές, τουλάχιστον στις συγκρατημένες περιοχές, είναι να διατηρηθεί ένα χώμα pH 6.0-6.5 από την προσθήκη του ασβέστη, που εφαρμόζεται ως ανθρακικό άλας ασβεστίου, υδροξείδιο ασβεστίου ή οξείδιο ασβεστίου. Η επιλογή και η αναπαραγωγή των ποικιλιών των φυτών συγκομιδών και λιβαδιού λιγότερο ευαίσθητων στις όξινες συνθήκες ελαττώνουν την ανάγκη για τον ασβέστη.

9.7 Όξινη βροχή

Η «όξινη βροχή», είναι όρος που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο δέκατο ένατο αιώνα για να περιγράψει τη βροχή στα βιομηχανοποιημένα μέρη της βορειοδυτικής Αγγλίας που περιείχαν τους όξινους ρύπους. Αργότερα, έγινε γνωστό ότι η απόθεση ορισμένων αερίων και τα άλατα από την ατμόσφαιρα προκαλούν επίσης τον οξυνισμό. Τα τελευταία είναι γνωστά ως ξηρά απόθεση. Η «Όξινη βροχή», αν και είναι ένας όρος που είναι σε κοινή χρήση, είναι μια ελλιπής περιγραφή των συνολικών αποτελεσμάτων ξινίσματος των καταθέσεων από την ατμόσφαιρα. Τα κύρια οξέα και οι χημικές ουσίες σχηματοποίησης οξέος που κατατίθενται στη γήινη επιφάνεια παρατίθενται στον πίνακα 9.4.

Πίνακας 9.4. Εδαφολογικός οξυνισμός: ατμοσφαιρικές πηγές

Κύρια πηγή θειικού οξέος κατωτέρω)	ατμοσφαιρική οξείδωση SO ₂ (βλ. ενώσεις θείου).
Κύρια πηγή νιτρικού οξέος αζώτου (NO ₂ , NO, N ₂ O) δείτε κατωτέρω.	ατμοσφαιρική οξείδωση των οξειδίων
Υδροχλωρικό οξύ	Ένα προϊόν καύσης του άνθρακα.
Ανθρακικό οξύ	Διαμορφωμένο κατά CO ₂ διάλυση στο ύδωρ.
Διοξείδιο του θείου (κύρια πηγή), κάψιμο άλλων απολιθωμένων καυσίμων, τήξη του μετάλλου σουλφίδια. Φυσική πηγή: ηφαίστεια.	Ανθρώπινη δραστηριότητα: άνθρακας που καίει
Μειωμένες ενώσεις θείου ακατέργαστου πετρελαίου, μεταλλεία θείου και μερικές βιομηχανικές διαδικασίες ένα προϊόν της μικροβιακής μείωσης. Διμεθυλικό σουλφίδιο (DMS), (CH ₃) ₂ S, διμεθυλικό δισουλφίδιο, (CH ₃ S) ₂ , και δισουλφίδιο άνθρακα, CS ₂ , προϊόντα της μείωσης: DMS είναι προέλευση του ναυτικού .	H ₂ S, απελευθερωμένο στην καύση του
Οξείδια του αζώτου προϊόντα της μικροβιακής μείωσης. Νιτρικό οξείδιο και διοξείδιο αζώτου, προϊόντα καύσης των απολιθωμένων καυσίμων.	Νιτρώδες οξείδιο, N ₂ O, και νιτρικό οξείδιο, NO,
Αμμωνία οργανικά λιπάσματα: εδαφολογική οξύτητα που προκαλείται από τη μικροβιακή οξείδωση στο νιτρικό άλας (νιτροποίηση).	Απελευθερωμένη από τα εδάφη με pH > 7 και από

Πηγές των οξέων

Τα οξέα που προκάλεσαν την «όξινη βροχή» ήταν θειικά, νιτρικά και υδροχλωρικά. Η κύρια πηγή τους είναι η καύση των απολιθωμένων καυσίμων των τριών, τα θειικά και νιτρικά οξέα είναι τα σημαντικότερα.

Η καύση των απολιθωμένων καυσίμων, ειδικά του άνθρακα και, σε μια λιγότερη έκταση του πετρελαίου, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, και ο οσμηρός των μεταλλευμάτων μετάλλων που περιέχουν το σουλφίδιο, παράγουν το διοξείδιο του θείου, SO₂, το οποίο εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα (πίνακας 9.5). Στο Ηνωμένο Βασίλειο που οι εκπομπές αυξήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του δέκατου ένατου αιώνα, έφθασαν σε μια αιχμή το 1970, 3 εκατομμύρια τόνους SO₂-S και έχει μειωθεί από τότε κατά 40%.

Πίνακας 9.5. Εκτιμήσεις των σφαιρικών εκπομπών στην ατμόσφαιρα των αεριωδών ενώσεων θείου

<u>Πηγή</u>	<u>Ετήσια ροή πηγής του S (Mt)</u>
Ανθρωπογενή	
(κυρίως διοξείδιο του θείου από την καύση απολιθωμένων καυσίμων)	80
Βιομάζα που καίει (διοξείδιο του θείου)	7
Ωκεανοί (διμεθυλικό σουλφίδιο)	40
Χώματα και φυτά (σουλφίδιο υδρογόνου και διμεθυλικό σουλφίδιο)	10
Ηφαίστεια (σουλφίδιο υδρογόνου και διοξείδιο του θείου)	10
Σύνολο	147

Μερικό από το SO₂ μπορεί να κατατεθεί στα φυτά και το χώμα, μερικό μπορεί να διαλύσει στα σταγονίδια ύδατος στην ατμόσφαιρα, και μερικό οξειδώνεται από τις σύνθετες αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα που περιλαμβάνουν πιθανώς τους ιδιαίτερα αντιδραστικούς ριζοσπάστες υδροξυλίου (παράγραφος 11.3). Το προϊόν είναι τριοξείδιο θείου, SO₃, το οποίο διαλύεται στα σταγονίδια ύδατος για να διαμορφώσει το θειικό οξύ.

Τα απολιθωμένα καύσιμα περιέχουν επίσης τις ενώσεις αζώτου, τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και τα μηχανοκίνητα οχήματα που είναι οι κύριες πηγές οξειδίων του αζώτου που εκπέμπονται από αυτά τα καύσιμα. Τα προϊόντα της καύσης εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Στις διαδικασίες υψηλής θερμοκρασίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και στη μηχανή εσωτερικής καύσεως το κύριο προϊόν είναι νιτρικό οξείδιο, NO. Στην ατμόσφαιρα το νιτρικό οξείδιο είναι οξειδωμένο στο διοξείδιο αζώτου, NO₂, και η περαιτέρω αντίδραση με τους ριζοσπάστες όζοντος και υδροξυλίου παράγει το νιτρικό οξύ, HNO₃ (Εξισώσεις 11.7 και 11.8)

Οι πηγές αμμωνίας πρέπει επίσης να αναφερθούν. Αυτές είναι κυρίως από τις γεωργικές δραστηριότητες. Η αμμωνία είναι εξατμισμένη από τα εδάφη με pH μεγαλύτερο από 7,0, όπως συνήθως εμφανίζεται στο χώμα που περιέχει το ανθρακικό άλας ασβεστίου, και επίσης μετά από τη λίπανση της ουρίας ως λίπασμα (τμήμα 8.5). Τα οργανικά λιπάσματα απελευθερώνουν την αμμωνία, υψηλές συγκεντρώσεις είναι παρούσες στην ατμόσφαιρα κοντά στις εντατικές ζωικές μονάδες. Ένα μεγάλο μέρος της αμμωνίας απορροφάται τοπικά από το χώμα, τα φυτά και το ύδωρ, αλλά ένα

μέρος περνά στην ατμόσφαιρα όπου διαλύεται στα όμβρια ύδατα και μπορεί επίσης να διαμορφώσει τα αερολύματα του θειικού άλατος αμμωνίου και του νιτρικού αμμωνίου.

Οξειδωτικά κατακρεμνήσματα από την ατμόσφαιρα

Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 9.5, τα όμβρια ύδατα σε ισορροπία με την ατμόσφαιρα και ο περιορισμός του ανθρακικού οξέος ως το μόνο διαλυμένο οξύ έχουν ένα pH 5,6. Σε ένα καθαρό περιβάλλον, το νερό της βροχής, μπορεί να περιέχει τις μικρές συγκεντρώσεις των θειικών, νιτρικών και υδροχλωρικών οξέων φυσικής προέλευσης και να έχει ένα pH περίπου 5,0. Στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές, όπου τα όμβρια ύδατα έχουν μια υψηλότερη συγκέντρωση αυτών των οξέων, ειδικά τα θειικά και νιτρικά οξέα, το pH μπορεί να είναι περίπου 4,0, ή λιγότερο. Το ποσοστό απόθεσης των ιόντων υδρογόνου μπορεί να υπολογιστεί από το ποσό βροχοπτώσεων και της χημικής σύνθεσής του. Στο Ηνωμένο Βασίλειο η ετήσια απόθεση είναι συνήθως στη σειρά 0.1-0.6 kg H⁺ ανά εκτάριο στις αγροτικές περιοχές, και περίπου 1-1,5 kg H⁺ ανά εκτάριο κοντά στα αστικά και βιομηχανικά κέντρα. Η μέση ετήσια απόθεση επί 16 αγροτικών τόπων στη δεκαετία του '80 ήταν 0,3 kg H⁺ ha⁻¹ (πίνακας 9.6). Η σύνθεση των όμβριων υδάτων επηρεάζεται από τα θαλάσσια άλατα, όταν γίνεται το επίδομα για αυτά η οξύτητα μπορεί γενικά να αποδοθεί στα θειικά και νιτρικά οξέα. Η ετήσια απόθεση αυτών των οξέων είναι μέγιστη κοντά στα αστικά και βιομηχανικά κέντρα και λιγότερη στις απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές. Στο Ηνωμένο Βασίλειο η ετήσια απόθεση βροχοπτώσεων είναι συνήθως στη σειρά 5-10 kg S ha⁻¹ όπως μη - θαλάσσιο θειικό άλας, και 2-5 kg NO₃⁻ - N ha⁻¹. Εκτός από αυτά τα οξέα, τα ιόντα αμμωνίου είναι επίσης παρόντα στα όμβρια ύδατα. Στις αγροτικές περιοχές η μέση ετήσια απόθεση NH₄⁺ - N δίνεται στον πίνακα 9.6 και είναι 4 kg ha⁻¹; οι περισσότερες τιμές στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι μεταξύ 2 και 8 kg ha⁻¹. Οξείδωση NH₄⁺ παράγει 2 moles H⁺ ανά γραμμομόριο NH₄⁺ (Εξίσωση 9.30), έτσι 4 kg NH₄⁺ - N θα παραγάγουν περίπου 0,6 kg H⁺ ανά εκτάριο (πίνακας 9.7). Η ξηρά απόθεση περιλαμβάνει την απορρόφηση του διοξειδίου του θείου, των οξειδίων αζώτου, του νιτρικού οξέος και της αμμωνίας και της διατήρησης των αερολυμάτων, τα οποία μπορούν να περιέχουν το θειικό οξύ, το νιτρικό οξύ και τα άλατα αμμωνίου. Η συνολική συμβολή τους στον οξυνισμό δεν είναι ακόμα γνωστή, αλλά υπάρχουν πληροφορίες για την απόθεση του διοξειδίου του θείου και της αμμωνίας. Στο Ηνωμένο Βασίλειο η ετήσια ξηρά απόθεση του θείου, κυρίως ως διοξείδιο του θείου, ποικίλλει πολύ κάτω από 3 έως πάνω από 30 kg S ha⁻¹ ανάλογα με την απόσταση από την πηγή του. Οξείδωση στο χώμα με 20 kg SO₂ - S ha⁻¹ παράγει 1,3 kg H⁺ ανά εκτάριο σύμφωνα με την εξίσωση 9,25, αν και αυτό μπορεί να είναι μια υπερεκτίμηση. Αν και έχουν υπάρξει λίγες μετρήσεις της ξηράς απόθεσης της αμμωνίας, συνηθισμένη σειρά στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι πιθανώς 10 έως 30 kg NH₃ - N ανά εκτάριο ετησίως.

Ο οξυνισμός των οικοσυστημάτων

Σ' αυτό το τμήμα εξετάζουμε τα στοιχεία για τον οξυνισμό του εδάφους στα φυσικά και τα γεωργικά οικοσυστήματα. Αρχικά θα αναφερθεί η απώλεια του ανθρακικού ασβεστίου και η μείωση του pH, και θα ακολουθήσει η παράθεση παραδειγμάτων με την ανάλογη σημασία των ποικίλων διαδικασιών που προκαλούν τον οξυνισμό.

Η απώλεια του ελεύθερου άνθρακα και ασβεστίου

Ο ελεύθερος άνθρακας στο χώμα εμφανίζεται ως CaCO_3 και MgCO_3 , από τα οποία το CaCO_3 είναι ποσοστιαία το πιο σημαντικό στα γεωργικά και φυσικά οικοσυστήματα και θα χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα. Έχει χαμηλή διαλυτότητα στο CO_2 -ελεύθερο αγνό ύδωρ, αλλά στην παρουσία του ανθρακικού οξέος, ο διαλυτός άνθρακας σχηματίζεται. Η διαλυτότητα εξαρτάται από την σταδιακή πίεση του CO_2 στον αέρα με τον οποίο η λύση είναι σε ισορροπία. Μέσα στο χώμα, όπου η συγκέντρωση του CO_2 του αέρα είναι υψηλότερη από την ατμόσφαιρα, η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου δίνει μια συγκέντρωση από 0.001 μέχρι 0.01 m Ca^{2+} και pH μεταξύ 7 και 8.4.

Όταν το νερό της βροχής περνά μέσα στο χώμα, ασβέστιο και άλλα κατιόντα διυλίζονται με ανθρακικά ιόντα και επίσης με ιόντα θειικού άλατος και νιτρικών αλάτων όταν αυτά υπάρχουν στο νερό της βροχής ή είναι διαμορφωμένα στο χώμα. Τα ποσοστά του ασβεστίου τα οποία μπορούν να διυλιστούν από 250 mm στραγγιζόμενου νερού το οποίο περιέχει CO_2 σε ισορροπία με την ατμόσφαιρα δίνονται στον Πίνακα 9.8.

Λόγω του διαχωρισμού του ανθρακικού οξέος (εξίσωση 9.13) το νερό της βροχής το οποίο περνά από το χώμα περιέχει πρωτόνια τα οποία μετατοπίζουν τα ανταλλάσσόμενα βασικά κατιόντα. Ο διαχωρισμός αυξάνεται στο μηδέν σε Ph 5. Άλλα οξέα αυξάνουν την συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου.

Παραδείγματα της αλλαγής του pH

Λόγω των ιδιοτήτων απομονωτών του χώματος, η μείωση του pH δεν μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθεί για να ποσολογήσει τα αποτελέσματα των προσθηκών των οξέων και των φορμικό οξύ χημικών ουσιών. Το pH του χώματος είναι, εντούτοις, η μόνη μέτρηση που γίνεται συνήθως, και αυτό μπορεί να αλλάξει γρήγορα. Το σχήμα 9.3 παρουσιάζει δύο παραδείγματα. Το Park Grass στο Rothamsted Experimental Station ήταν κάτω από τη μόνιμη χλόη. Το pH των αγονιμοποιητών πλοκών μειώθηκε από 5,7 σε 5,1 σε 130 έτη ενώ κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου το pH μειώθηκε σε 3,6 με την ετήσια προσθήκη 96 kg ha^{-1} του N ως θειικό άλας αμμωνίου (σχήμα 9.3a). Εφαρμόζοντας την εξίσωση 9,31, η οξειδωση $28 \text{ kg NH}_4 - \text{N ha}^{-1}$ παράγει 4 kg H^+ , και 96 kg N επομένως παράγουν $14 \text{ kg H}^+ \text{ ha}^{-1}$ αν και η ετήσια παραγωγή του οξέος δεν ήταν πιθανώς όπως υψηλή.

Στην περιοχή Geescroft Wilderness, και επίσης στο Rothamsted, το καλλιεργήσιμο έδαφος επιτράπηκε για να επανέλθει στη δασώδη περιοχή το 1890 και δεν έλαβε έπειτα καμία επεξεργασία. Για μία περίοδο περίπου 100 ετών το pH της επιφάνειας του χώματος (0- 23 εκατ.) μειώθηκε από περίπου 7 σε 4,2 (σχήμα 9.3b). Οι διαδικασίες δεν μπορούν να ποσολογηθούν με βεβαιότητα, αλλά μια συμβάλλοντας διαδικασία είναι πιθανώς η σύλληψη των οξέων από την ατμόσφαιρα (υγρή και ξηρά απόθεση) από τα δέντρα. Αυτό είναι στην αιχμηρή αντίθεση με τις γειτονικές αγονιμοποιητές πλοκές του Park Grass οι οποίες αναφέρονται πιο πάνω.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τα αποτελέσματα των οξέων και των φορμικών οξέων των χημικών ουσιών στην ατμόσφαιρα στα επίγεια συστήματα και στα συστήματα του γλυκού νερού έχουν αποδοθεί (1) στον εμπλουτισμό των προμηθειών αζώτου και θείου (ευτροφισμός), (2) τη δασική πτώση, δηλαδή απώλεια βελονών και φύλλων, του φλοιού του δέντρου και θάνατος σε ακραίες περιπτώσεις, και (3) την πτώση των πληθυσμών των ψαριών στις λίμνες και τα ρεύματα κάθε ένας θα εξεταστεί τώρα.

Ευτροφισμός

Η απόθεση των ενώσεων αζώτου και θείου από την ατμόσφαιρα παρέχει τις ουσιαστικές θρεπτικές ουσίες. Στο Ηνωμένο Βασίλειο το ετήσιο ποσοστό απόθεσης από τις μη-θαλάσσιες πηγές είναι συνήθως στο όριο 8-40 kg S ha⁻¹ και 20-30 kg N ha⁻¹. Αυτές οι πρόσθετες θρεπτικές ουσίες, και ειδικά το άζωτο, έχουν επιπτώσεις στη διανομή των ειδών στους φυσικούς βιότοπους και θεωρούνται για να αυξήσουν την αύξηση δέντρων και τις παραγωγές των συγκομιδών γεωργίας. Θα υπάρξουν επιβλαβή αποτελέσματα εάν η λήψη πολυτέλειας του αζώτου οδηγήσει στην ασθένεια ή την αυξανόμενη ζημία από τα έντομα.

Το «Πέσιμο» των Δασών(ή και ο θάνατος των δασών)

Η δασική πτώση, γνωστή ως "Waldsterben" (δασικός θάνατος) στη Γερμανία όπου το πρόβλημα έχει λάβει πολλή προσοχή, έχει αποδοθεί στα αποτελέσματα της όξινης βροχής. Στα μέρη της Γερμανίας, στη βόρεια Τσεχοσλοβακία και οι ζημιές στην νότια Πολωνία και ο θάνατος των κωνοφόρων όπως το ασημένιο έλατο (έλατο alba) έχουν αποδοθεί στις υψηλές συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού SO₂. Έχει υπάρξει συναυλία ότι τα δέντρα έχουν γίνει ανθυγιεινά ή έχουν πεθάνει μέρος διάφορων άλλων χωρών συμπεριλαμβανομένης της Σουηδίας, της Νορβηγίας, του Ηνωμένου Βασιλείου και των Ηνωμένων Πολιτειών.

Στα σοβαρότερα επηρεασθέντα μέρη της Ανατολικής Ευρώπης η αιτία εμφανίζεται να είναι ατμοσφαιρική μόλυνση, ειδικά από το SO₂. Αλλού, ο αιτιώδης παράγοντας, ή οι παράγοντες, διαφέρουν πιθανώς μεταξύ των περιοχών. Μια δυσκολία στις λιγότερο επηρεασθείσες περιοχές είναι η έλλειψη των αξιόπιστων πληροφοριών από τις έρευνες για να καθιερώσουν την έκταση της δασικής πτώσης. Άλλη είναι ο καλός πειραματισμός στα αποτελέσματα των ατμοσφαιρικών ρύπων στα δέντρα έχει αναλήφθηκε μόνο πρόσφατα και η έκβαση δεν είναι ακόμα σαφής.

Η δασική πτώση στις περιοχές με τις σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού SO₂ έχει αποδοθεί σε διάφορες αιτίες. Εκείνες που συνήθως αναφέρονται περιλαμβάνουν:

- Συσσώρευση του αλουμινίου και ανεπάρκεια του μαγνήσιου (ενδεχομένως επίσης του ασβεστίου) στους ιστούς των παλαιών δέντρων που αυξάνονται στα όξινα χώματα.
- Αυξανόμενη ζημία από τα έντομα και τους οργανισμούς ασθενειών επειδή η αυξανόμενη λήψη του αζώτου έχει κάνει τους ιστούς φυτών και δέντρων μαλακότερους (δείτε ανωτέρω).
- Το όζον, που έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια στο χαμηλότερο μέρος της στρατόσφαιρας, από μόνο του βλάπτει τα φυτά και τα δέντρα. Έχει αποδειχθεί επίσης πως έχει καταστήσει τις ερυθρελάτες της Νορβηγίας (picea έλατο) πίο ευαίσθητες στον τραυματισμό παγετού, και σε συνδυασμό με τις όξινες υδρονεφώσεις έχει οδηγήσει στην αυξανόμενη πτώση βελόνων από το σκωτσέζικο πεύκο (sylvestris πεύκων) και την πτώση φύλλων από την οξιιά (sylvatica Fagus).
- Δυσμενείς καιρικές συνθήκες συμπεριλαμβανομένων των καυτών ξηρών καλοκαιριών στη δεκαετία του '70 και τη δεκαετία του '80, και κρύοι χειμώνες.
- Φτωχή δασική διαχείριση.

Μπορεί επίσης να υπάρξει συνεργισμός μεταξύ αυτών των διάφορων αιτιών.

Πτώση των πληθυσμών ψαριών

Η εξαφάνιση της καφετιάς πέστροφας (*trutta Salmo*) από τις λίμνες των βουνών της Σκανδιναβία άρχισε στις δεκαετίες του 20ου αιώνα και περίπου 50 έτη αργότερα συνδέθηκε με τον οξυνισμό του ύδατος. Το πρόβλημα έχει αναγνωριστεί επίσης μέρη της Βόρειας Αμερικής και του Ηνωμένου Βασιλείου. Οι αριθμοί άλλων ειδών ψαριών συμπεριλαμβανομένου του ατλαντικού σολομού (*salmo salar*) έχουν μειωθεί επίσης σε αυτές τις περιοχές. Η αυξανόμενη οξύτητα των μικρών λιμνών στη νοτιοδυτική Σκωτία έχει παρουσιαστεί από την αλλαγή των ειδών διατόμων, τα οποία διαφέρουν στην ευαισθησία στο pH. Η μείωση του pH σε μια λίμνη, που υπολογίστηκε από την αλλαγή στα είδη διατόμων, ήταν από 5,6 στο μέσο του δέκατου ενάτου αιώνα σε 4,7 από το 1980. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου δεν υπήρξε καμία σημαντική αλλαγή της χρήσης βλάστησης ή εδάφους, και ο οξυνισμός επομένως έχει αποδοθεί στην όξινη απόθεση από την ατμόσφαιρα.

Η ζημία στα ψάρια οφείλεται λιγότερο στην οξύτητα η ίδια απ' ό, τι στο αλουμίνιο στα όξινα διαλύματα. Οι εργαστηριακές μελέτες έχουν δείξει ότι η επιβίωση της καφετιάς πέστροφας μειώνεται από τις συγκεντρώσεις του αλουμινίου $250 \mu\text{g l}^{-1}$ και η αύξησή τους μειώνεται από ένα δέκατο αυτής της συγκέντρωσης, αυτές οι συγκεντρώσεις μπορούν να εμφανιστούν στο όξινο ύδωρ. Η επίδραση του αλουμινίου γίνεται λιγότερη εάν η συγκέντρωση του ασβεστίου αυξάνεται, και το πυρίτιο μπορεί να έχει μια παρόμοια επίδραση. Στις υψηλές συγκεντρώσεις στη λύση το αλουμίνιο συσσωρεύει στα βράγχια των ψαριών, σταματώντας έτσι τη μεταφορά οξυγόνου. Είναι τώρα γενικά αποδεχτό πως οι ζημιές στα ψάρια συνδέονται με το χαμηλό pH, τις ψηλές συγκεντρώσεις αλουμινίου και τις χαμηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου.

Η υψηλή συγκέντρωση αλουμινίου προκαλείται από τις όξινες λύσεις που περνούν μέσω του χώματος και που ξεπερνούν το βράχο. Το αλουμίνιο περνά στη λύση ως Al^{3+} και $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, οι οποίες είναι τοξικές για τα ψάρια, και μπορεί να είναι παρόν στα λιγότερο τοξικά οργανικά συγκροτήματα.

Οι λίμνες και οι ποταμοί οι περισσότεροι σε κίνδυνο είναι εκείνες στις περιοχές όπου υπάρχει όξινη απόθεση από την ατμόσφαιρα στα λεπτά χώματα πέρα από τους βράχους χαμηλής βάσης όπως ο γρανίτης. Η προσθήκη ενεργού διαλύματος ανθρακικού οξέος στο ύδωρ ή η περιβάλλουσα περιοχή συλλογής είναι η επεξεργασία που συστήνεται συνήθως όταν αυξάνεται η οξύτητα σε κρίσιμο επίπεδο.

Περίληψη

Ο οξυνισμός των χωμάτων είναι μια φυσική διαδικασία που επιταχύνεται από την απόθεση των αυξανόμενων ποσών οξέων and φορμικό οξύ ουσιών από την ατμόσφαιρα ("όξινη βροχή"). Οι όξινοι συνθήκες μπορούν να έχουν τα επιβλαβή αποτελέσματα στα φυτά και τα δέντρα, και το αλουμίνιο που διυλίζεται από τα όξινα χώματα μπορεί να είναι τοξικό για τα ψαριά.

Υπάρχουν διάφορες αιτίες του οξυνισμού: οξείδωση του NH_3 , NH_4^+ , S^{2-} και του Fe^{2+} , αύξηση του περιεχομένου του φυτοχώματος, έκκριση των πρωτονίων από τις ρίζες των φυτών και αφαίρεση των βασικών κατιόντων στο μάζεμα της σοδιάς, απόθεση των οξέων (H_2CO_3 , HNO_3 , H_2SO_4 , HCl) όξινα αέρια (CO_2 , SO_2 , SO_3 , HNO_3) και φορμικό οξύ ουσίες (NH_3 και NH_4^+).

Το χώμα αποθηκεύει την αλλαγή pH από τις διάφορες αντιδράσεις μεταξύ των πρωτονίων και του ασβεστίου και ανθρακικό μαγνήσιο, των μεταλλευμάτων αργίλου και του φυτοχώματος. Η διάβρωση των περισσότερων μεταλλευμάτων (τα σουλφίδια είναι μια εξαίρεση) οδηγεί στον αλκαλισμό.

Κεφάλαιο 10 Βαριά μέταλλα και ραδιονουκλεΐδια στο χώμα

1. Εισαγωγή
2. Βαριά μέταλλα: καθορισμός
3. Επικίνδυνα στοιχεία στα εδάφη
4. Συσσώρευση στις φυτείες
5. τέσσερα επικίνδυνα στοιχεία: Cd, Pb, Zn, F
6. του μολυσμένου εδάφους
7. ραδιονουκλεΐδια
8. ραδιονουκλεΐδια στο περιβάλλον
9. ραδιονουκλεΐδια στο χώμα
10. περίληψη

1. Εισαγωγή

Υπάρχουν δύο μέρη σ' αυτό το κεφάλαιο. Οι παραγράφοι 10.2-10.6 εξετάζουν τα στοιχεία που συνδέονται γενικά με τη βιομηχανική και αστική ρύπανση, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας είναι μέταλλα που περιγράφονται συχνά ως βαριά μέταλλα (δείτε την παράγραφο 10.2). Οι παράγραφοι 10.7-10.9 είναι πιο συγκεκριμένοι και περιγράφουν μερικά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από τα ραδιονουκλεΐδια (επίσης αποκαλούμενα τα ραδιενεργά νουκλεΐδια ή ραδιενεργά ισότοπα που αποσυντίθενται με το χρόνο, σε αντίθεση με τα σταθερά ισότοπα).

Τα βαριά μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του περιβάλλοντος, αλλά είναι ανησυχίας επειδή προστίθενται στο χώμα, το ύδωρ και τον αέρα σε αυξανόμενα ποσά. Μερικά, παραδείγματος χάριν χαλκός, μαγγάνιο και ψευδάργυρος, είναι μικροτροφικά (ιχνοστοιχεία) που είναι ουσιαστικά στα μικρά ποσά για της φυτικής και της ζωικής ζωής (παράγραφος 7.5). Μπορούν, εντούτοις, να είναι επιβλαβείς εάν λαμβάνονται από τα φυτά ή τα ζώα σε μεγάλα ποσά, όπως μπορούν άλλα βαριά μέταλλα που δεν είναι γνωστά για να είναι ουσιαστικές θρεπτικές ουσίες. Ο στόχος της έρευνας είναι να προσδιοριστούν τα ποσά, ή οι συγκεντρώσεις, τα οποία είναι ασφαλή. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρόοδοι στην οργάνωση έχουν καταστήσει πιθανή τη μέτρηση των συγκεντρώσεων που δεν ήταν προηγουμένως ανιχνεύσιμες, αλλά δεν έπεται ότι αυτές οι χαμηλές συγκεντρώσεις δείχνουν απαραίτητως οποιοδήποτε κίνδυνο στην υγεία.

Τα ραδιονουκλεΐδια είναι ένας κίνδυνος, σπάνια από τα στοιχεία οι ίδιοι αλλά από την ακτινοβολία εκπέμπουν (το πλουτόνιο είναι μια εξαίρεση, που είναι ιδιαίτερα τοξική στα ζώα). Μερικοί εμφανίζονται φυσικά, εκθέτοντας όλους τους οργανισμούς διαβίωσης στις μικρές και συνήθως αβλαβείς δόσεις της ακτινοβολίας. Ιδιαίτερα επικίνδυνα είναι μερικά προκαλούμενα από τον άνθρωπο ραδιονουκλεΐδια που συσσωρεύουν καθώς περνούν μέσω ενός βιολογικού κύκλου. Παραδείγματος χάριν, η χημεία του στροντίου είναι παρόμοια με αυτήν

του ασβεστίου, και τα ραδιονουκλεΐδια του στροντίου συσσωρεύει με το ασβέστιο στον ιστό κόκκαλων, όπου εκπέμπουν την ακτινοβολία.

Οι κύριες διαβάσεις από τις οποίες τα βαριά μέταλλα και τα ραδιονουκλεΐδια εισάγουν τη συνέχεια χώμα-εγκαταστάσεων στα ποσά που να παρουσιάσουν έναν κίνδυνο είναι απόθεση από την ατμόσφαιρα, διήθηση από τις περιοχές διάθεσης αποβλήτων, και λίπανση της ηλύος καθαρισμού λυμμάτων, του λιπάσματος χοίρων και ορισμένων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων τα ποσά μπορούν επίσης να είναι υψηλά κοντά στους οργανισμούς των μεταλλευμάτων μετάλλων. Η είσοδος μέσα στα φυτά είναι κανονικά με ιοντική μορφή, όπως για τα απαραίτητα στοιχεία (παράγραφος 7.5). Η χημεία των αντιδράσεών τους στα χώματα και τις εγκαταστάσεις, εντούτοις, παρουσιάζει λίγη ομοιομορφία, η οποία πρέπει να αναμένεται θεωρώντας το ευρύ φάσμα των στοιχείων για να συζητηθεί. Το ενοποιώντας θέμα είναι αυτό περιβαλλοντικού, και ιδιαίτερα του χώματος, μόλυνση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι οργανικές ουσίες μπορούν επίσης να μολύνουν το χώμα. Περιλαμβάνουν τα φυτοφάρμακα, που συζητούνται στην παράγραφο 13.4, και επίσης το πετρέλαιο μηχανών και διάφορα προϊόντα αποβλήτων από τη βιομηχανία που δεν θα συζητηθεί.

Βαριά μέταλλα: καθορισμός

Ο όρος "βαριά μέταλλα", που είναι σε κοινή χρήση, αναφέρεται στα μέταλλα με μια πυκνότητα μεγαλύτερη από μια ορισμένη αξία, συνήθως 5 ή 6 g cm⁻³. Συχνά αναφέρεται στα μέταλλα που απαλλάσσονται από τη βιομηχανία της οποίας το αρσενικό μεταλλοειδούς, όπως κάδμιο, Cd χρώμιο, χρώμιο χαλκός, cu ΡΒ μόλυβδου υδράργυρος, Hg νικέλιο, Ni και ο ψευδάργυρος, ΖΝ, απαριθμείται από μια οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ως αντιπροσώπευση του μέγιστου κινδύνου στα φυτά ή τα ζώα. Όπως χρησιμοποιείται εδώ, ο όρος αναφέρεται στα επικίνδυνα μέταλλα, συνήθως της υψηλής πυκνότητας, οποιοσδήποτε η πηγή τους τα "επικίνδυνα στοιχεία" χρησιμοποιούνται όπου και τα μέταλλα και τα αμέταλλα πρόκειται να περιγραφούν.

Όλα τα τρόφιμα και το ύδωρ περιέχουν τα μέταλλα και τα αμέταλλα που στις υψηλές συγκεντρώσεις, είτε από τις φυσικές είτε βιομηχανικές πηγές, μπορούν να γίνουν επιβλαβή. Μερικοί είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι και είναι αυτοί που θα είναι σε αυτό το κεφάλαιο.

Επικίνδυνα στοιχεία στα χώματα

Οι συγκεντρώσεις στη γήινη κρούστα και τα χώματα των στοιχείων που θεωρούνται ένας κίνδυνος δίνονται στις συγκεντρώσεις πινάκων 10.1. διαφέρουν πολύ μεταξύ των τύπων βράχου, και επειδή οι εδαφολογικές ιδιότητες επηρεάζονται από το υλικό γονέων τους, οι συγκεντρώσεις στα χώματα ποικίλλουν επίσης πολύ. Στους πύρινους βράχους τα στοιχεία ενσωματώνονται στη δομή των μεταλλευμάτων όταν κρυσταλλώνει το μάγμα. Οι συγκεντρώσεις

στον ιζηματώδη βράχο καθορίζονται εν μέρει από τα μεταλλεύματα που περιέχουν και εν μέρει από την προσρόφηση από το ύδωρ στο οποίο το ίζημα κατατίθεται.

Τα χώματα λαμβάνουν επίσης τα χημικά στοιχεία από τα ενεργά ηφαίστεια, συμπεριλαμβανομένου του αρσενικού, του φθορίου, του υδραργύρου και του σελήνιου, και αυτά μπορούν να είναι ένας κίνδυνος. Μέγιστης ανησυχίας, εντούτοις, είναι οι εκπομπές των μετάλλων στο περιβάλλον ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι εκπομπές από τη βιομηχανία και από την εσωτερική διάθεση αποβλήτων είναι οι μεγαλύτερες των ανθρωπογενών πηγών (πίνακας 10.2). Ο όγκος των μετάλλων ξεφορτώνεται ως στερεά απόβλητα στις περιοχές υλικών οδόστρωσης.

Table 10.2. Annual release of metals into the environment in the United Kingdom

	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Total release (t a ⁻¹)	754	15 800	14 800	51 700	85 000
Contribution to total release (%)					
from industry	25	23	27	33	31
municipal waste disposal	67	65	71	65	64
domestic	1	4	<1	<1	1
urban run-off	<1	<1	<1	<1	<1
agriculture	5	5	<1	<1	1
dredging spoil	1	3	1	1	2
Total release received in landfill sites (%)	83	84	91	81	88

Source: data of Critchley and Agg, quoted by Beckett, P.H.T. 1989. In *Inorganic Contaminants in the Vadose Zone* (eds B. Bar-Yosef, N.J. Barrow and J. Goldschmidt), pp. 159-75, Springer-Verlag, Berlin; with permission.

Εξόρυξη και λιώσιμο μεταλλεύματος

Οι διαδικασίες εξόρυξης μεταλλευμάτων συνεπάγονται συνήθως την απόρριψη μεταλλευμάτων χαμηλής βαθμίδας και άλλων στερεών αποβλήτων, που μπορούν να συσσωρευτούν σε ποτάμια ιλύος. Τα λεπτά μόρια των εντοιχιζόμενων τμημάτων, ή του μεταλλεύματος, μπορούν να φυσηθούν ή να πλυθούν επάνω στο παρακείμενο έδαφος φέρνοντας μαζί τους την υψηλή συγκέντρωση του μεταλλεύματος που εξάγεται και επίσης άλλα σχετικά μέταλλα. Ένα παράδειγμα είναι ότι τα χώματα κοντά στα παλαιά ορυχεία μολύβδου στην Ουαλία περιέχουν πάνω από 10000 $\mu\text{g Pb g}^{-1}$ χώματος, δέκα φορές περισσότερο από τη κορυφή της σειράς που δίνεται στον πίνακα 10.1.

Κατά τη διάρκεια του λιωσίματος για να καθαρίσει το μέταλλο, τα σωματίδια και τα αέρια, ειδικά το διοξείδιο του θείου, εκπέμπονται. Τα μόρια από τον καπνό κατακάθονται σε ποσοστό ανάλογο του μεγέθους και της πυκνότητά τους, πολύ λεπτά σωματίδια (αερολύματα) και αέρια προϊόντα κατακάθονται από την βροχή. Η απόθεση των μετάλλων είναι μέγιστη κοντά στο σημείο τήξης και μειώνεται εκθετικά με την απόσταση. Ο αέρας επικράτησης (prevailing wind) καθορίζει την κατεύθυνση στην οποία μεταφέρεται η δέσμη των σωματιδίων και των αερίων. Ένα από τα καλύτερα γνωστά παραδείγματα μόλυνσης είναι αυτό από χαλκό - νικέλιο σε Sudbury, Οντάριο, Καναδά, όπου χώματα σε απόσταση 7,5 χλμ από το χυτήριο, περιλαμβάνουν πάνω από 1000 $\mu\text{g Cu g}^{-1}$. Όταν τα χώματα αναλύθηκαν σε ένα

εγκάρσιο κοπτικό (transect) από έναν χυτήριο στο Avonmouth, στο Μπρίστολ στη νοτιοδυτική Αγγλία, τα επίπεδα του μολύβδου και του καδμίου δεν εκτείνονταν σε απόσταση 14 χλμ.

Περιοχές υγειονομικής ταφής απορριμμάτων

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις περιοχές υγειονομικής ταφής λόγω της χρήσης τους για τη διάθεση μεγάλων ποσοτήτων επικίνδυνων ουσιών (πίνακας 10.2). Προφυλάξεις πρέπει να ληφθούν για να αποτρέψουν την αποξήρανση και την υπερχειλίση νερού από τις περιοχές που περιέχουν επικίνδυνα μέταλλα ή άλλες ουσίες.

Οι περιοχές που επιλέγονται για την υγειονομική ταφή σε πολλές χώρες απαιτούν την άδεια σχεδιασμού. Είναι συνήθως περιοχές που εγκαταλείπονται μετά από την εξόρυξη πέτρας ή την εξαγωγή αμμοχάλικου. Ιδανικά πρέπει να έχουν μια βάση αργίλου χαμηλής διαπερατότητας στο νερό. Απαιτείται η περιοχή υγειονομικής ταφής να είναι αρκετά μακριά από τους ποταμούς και τα υπόγεια νερά για να αποτρέπεται η μόλυνση από τα υγρά αποξηράνσεων και υπερχειλίσης, των οποίων η σύνθεση πρέπει να ελέγχεται. Μια στεγανή κάλυψη μπορεί να είναι αναγκαία για να σταματήσει τη διήθηση των όμβριων υδάτων. Ένας σχεδιασμός άδειας ακολουθείται από την απαίτηση ότι όταν γεμίσει ο χώρος ταφής η γη πρέπει να αποκατασταθεί σαν γεωργική, δασοκομική ή (χρήση θελκτικότητας από την επιστροφή topsoil). Δεν συστήνεται η ανοικοδόμηση της περιοχής.

Τα υλικά που ενταφιάζονται στις περιοχές υγειονομικής ταφής είναι αστικά και βιομηχανικά. Η σύνθεση τους ποικίλλει, αλλά περισσότερα από τα μισά αστικά απορρίμματα μπορεί να είναι χαρτί με τα υπόλοιπα να είναι αποφάγια, μέταλλα, γυαλί, και τέφρα. Τα απόβλητα από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορούν να περιέχουν οξέα, αλκάλια, πετρέλαια, μέταλλα και άλλες επιβλαβείς ουσίες, χρειάζονται την ειδική προσοχή και μπορεί να χρειαστεί να περιλαμβάνονται μέσα στην σηματοδοτημένη περιοχή πλαστικού. Τα αστικά απόβλητα θεωρούνται ο κύριος όγκος των υλικών που ενταφιάζονται στις περιοχές υγειονομικής ταφής.

Λόγω της παρουσίας μεγάλων ποσών αποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών, που συλλέγονται από τις δημοτικές αρχές, εμφανίζεται έντονη μικροβιακή δραστηριότητα στα θαμμένα απόβλητα. Αρχικά τα αερόβια απόβλητα γίνονται αναερόβια, μια διεργασία που μπορεί να διαρκέσει για αρκετά έτη. Η αναγωγή από τους μικροοργανισμούς παράγει μεθάνιο και επίσης μεθυλιωμένες ενώσεις, παραδείγματος χάριν ενώσεις αρσενικού και υδραργύρου, οι οποίες είναι πτητικές. Δεν υπάρχει, εντούτοις, καμία γνωστή περίπτωση εμφάνισης τοξικότητας από αυτά ή οποιαδήποτε άλλα μέταλλα των πτητικών ενώσεων, στις περιοχές υγειονομικής ταφής. Αναγωγή εμφανίζεται επίσης στα οξείδια μαγγανίου και σιδήρου τα οποία ανάγονται σε Mn^{2+} και το Fe^{2+} , αντίστοιχα, και τα οποία είναι διαλυτά και είναι αναγκαίο να διηθηθούν. Η μικροβιακή αποσύνθεση οδηγεί στην απώλεια οργανικών υλικών (CO_2 και CH_4 κυρίως) η οποία προκαλεί την αποκατάσταση της περιοχής μέχρι περίπου 25% της δυναμικότητας της περιοχής υγειονομικής ταφής. Τα ανόργανα συστατικά παραμένουν ως πιθανός κίνδυνος στις παροχές νερού εκτός αν η περιοχή έχει σφραγιστεί κατάλληλα. Το μεθάνιο που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας, αλλά μπορεί να είναι ένας κίνδυνος εάν δραπετεύσει επειδή δημιουργεί ένα εκρηκτικό μίγμα με τον αέρα.

ΛΑΣΠΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η λάσπη κατεργασμένων αποβλήτων είναι οργανικό υλικό που παράγεται από οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα νερού και από άμεσα απόβλητα των δρόμων. Στο Ηνωμένο Βασίλειο περίπου το 90% των υλικών επεξεργάζονται ως λύματα, το μεγαλύτερο μέρος του υπολοίπου αυτή τη στιγμή (1991) καταλήγει χωρίς επεξεργασία στη θάλασσα. Η αρχική επεξεργασία διαρκεί περίπου 24 ώρες, για να αφαιρεθούν τα χονδροειδή μόρια. Το υγρό που απομένει υφίσταται δευτεροβάθμια επεξεργασία καταιονισμού μία και συχνά δύο φορές μέσω βιολογικά ενεργών φίλτρων. Μπορεί να γίνει περαιτέρω διήθηση ή φιλτράρισμα (τριτογενής επεξεργασία) πριν καταλήξει το υγρό στους ποταμούς. Η λάσπη η οποία εφαρμόζεται στο έδαφος αφομοιώνεται συνήθως αναερόβια για να μειώσει την περιεκτικότητα σε νερό και τη οσμή, και ακόμη απομακρύνεται το νερό μηχανικά ή με την ξήρανση. Στο Ηνωμένο Βασίλειο 40 εκατομμύριο τόνοι των λυμάτων παράγονται ετησίως, περιέχοντας 1,3 εκατομμύριο τόνους στερεής ουσίας. Περίπου 40% εφαρμόζεται στο γεωργικό έδαφος, και χρησιμοποιώντας την ανάλυση του πίνακα 10.3 αυτό θα προσθέσει περίπου 12, 6 και 3 kilotonnes του N, του P και του K αντίστοιχα. Η σύνθεση της ιλύος είναι πολύ μεταβλητή. Εξαρτάται από τις τοπικές βιομηχανικές διεργασίες και από το ποσοστό άμμου και λάσπης που περιέχει. Είναι χρήσιμο ως πηγή αζώτου και φωσφορικού άλατος για τα φυτά, αλλά έχει μόνο ένα μικρό ποσοστό καλίου επειδή το μεγαλύτερο μέρος παραμένει στο υγρό που καταλήγει στους ποταμούς.

Η οργανική ουσία στην λάσπη βοηθά στην βελτίωση της εδαφολογικής δομής. Όταν εφαρμόζεται στο έδαφος επομένως έχει ευεργετικά αποτελέσματα. Τα προβλήματα προκύπτουν όταν εφαρμόζεται πάρα πολύ συχνά ή κατά τη διάρκεια μιας παρατεταμένης περιόδου και όταν η λάσπη περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων που είναι τοξικές στα φυτά ή τα ζώα. Εκείνες οι συγκεντρώσεις μετάλλων που θεωρούνται επικίνδυνες παρουσιάζονται στον πίνακα 10.4. Οι συγκεντρώσεις ποικίλλουν πολύ ανάλογα με την πηγή των αποβλήτων, και συγκεκριμένα από το ποσοστό βιομηχανοποίησης και φυσικά από τις βιομηχανικές διεργασίες στην περιοχή συλλογής. Για παράδειγμα, το χρώμιο και το νικέλιο απελευθερώνονται από τη χαλυβουργία, το κάδμιο και το μόλυβδο από την παρασκευή των μπαταριών, και ο ψευδάργυρος από τα εργοστάσια επιμετάλλωσης ψευδαργύρου. Ο ψευδάργυρος και ο χαλκός υπερεισχύουν στα οικιακά απόβλητα αλλά συνήθως εμφανίζονται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις από ό,τι στα απόβλητα από τις βιομηχανικές διεργασίες.

Table 10.3. Typical analysis of sewage sludge (% moist sludge)

	Moisture	N	P	K
Sludge cake	45	1.2	0.6	0.3
Annual application to agricultural land in UK (kt)	—	12	6	3

Table 10.4. Concentrations of heavy metals (mg kg^{-1} dry matter) in 42 sewage sludges from England and Wales

Metal	Median	Range	kg in 25 t
Cd	—	<60–1500	—
Cr	250	40–8800	6.3
Cu	800	200–8000	20.0
Ni	80	20–5300	2.0
Pb	700	120–3000	17.5
Zn	3000	700–49 000	75.0

Source: From Berron, M.L. and Webber, J. 1972. *Journal of Science of Food and Agriculture* 23, 93–100.

Η μόλυνση της λάσπης από τις οργανικές χημικές ουσίες της βιομηχανίας, της γεωργίας, και επίσης από τα παθογόνα πρέπει επίσης να αναφερθεί αλλά είναι έξω από το πεδίο αυτού του βιβλίου.

Δύο συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί για να καθορίσουν το επιτρεπόμενο ανώτερο όριο για την προσθήκη των μετάλλων στα λύματα. Ο πρώτος προτείνει μια μέγιστη προσθήκη 250 μg 'ισοδύναμου Zn' ανά g χώματος, βασισμένη στη σύνθεση της λάσπης όπως:

$$\text{'Zn ισοδύναμο'} = (1 + \text{Zn}) + (2 * \text{Cu}) + (8 * \text{Ni})$$

Η συγκέντρωση κάθε συστατικού εκφράζεται σε μικρογραμμάρια ανά γραμμάριο στερεής ουσίας υλός. Ο τύπος είναι βασισμένος στις σχετικές φυτοτοξίες των τριών στοιχείων και υποθέτοντας ότι τα αποτελέσματά τους είναι αθροιστικά. Η μέγιστη προσθήκη των 250 μg 'ισοδύναμου Zn' εφαρμόζεται σε χώμα με pH περισσότερο από 6,5, το όριο είναι μικρότερο για τα όξινα χώματα λόγω της μεγαλύτερης διαλυτότητας των μετάλλων. Αν και το 'ισοδύναμο Zn' έχει αντικατασταθεί, παρέχει έναν χρήσιμο οδηγό για τις προσθήκες ιλύων όπως τα ακόλουθα παραδείγματα παρουσιάζουν.

Για μια εφαρμογή 25 t ($25 * 10^6$ g) ανά εκτάριο και χρησιμοποιώντας τις μεσαίες συγκεντρώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 10.4, η προσθήκη 'ισοδύναμου Zn' είναι :

$$[(1 * 3000) + (2 * 800) + (8 * 80)] * 25 * 10^6 / (2 * 10^9) = 65.5 \mu\text{g} \text{ ανά g χώματος.}$$

Αυτό υποθέτει μια πυκνότητα ακατέργαστου χώματος 1,3 έτσι ώστε η μάζα 1 εκταρίου του χώματος σε 15 εκατ. βάθους είναι 2000 t ($2 * 10^9$ g). Εάν πραγματοποιούνταν τέσσερις εφαρμογές, κάθε μια 25 t στερεής ουσίας, το όριο των 250 $\mu\text{g g}^{-1}$ χώματος θα ξεπερνούσαν.

Table 10.5. Maximum metal concentrations in soils permitted under European Community regulations

Metal	Maximum soil concentration (mg kg ⁻¹)	Metal	Maximum soil concentration (mg kg ⁻¹)
Zn	300	Cd	3
Cu	140	Pb	300
Ni	75	Hg	1.5

Το 'ισοδύναμο Zn' λαμβάνει υπόψη μόνο τα μέταλλα που είναι παρόντα στα λύματα. Υπάρχει τώρα μια απαίτηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ότι η συγκέντρωση κάθε ενδεχομένως τοξικού μετάλλου στο χώμα δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα καθορισμένο όριο όπως φαίνεται στον πίνακα 10.5. (αυτή η απαίτηση ισχύει επίσης για τα ενδεχομένως τοξικά μη-μέταλλα όπως το φθορίδιο.) Μολύνσεις από άλλες πηγές εκτός από των λυμάτων και φυσικά υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στο χώμα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Μια απαίτηση από την 1η Ιανουαρίου 1992 είναι ότι τα χώματα πρέπει να δειγματίζονται και να αναλύονται εάν πρόκειται να τοποθετηθεί σε αυτά ιλύς.

Όταν οι οδηγίες ακολουθηθούν οι εφαρμογές της ιλύος σπάνια έχουν προκαλέσει ζημιά στις σοδειές. Οι περισσότερες εκθέσεις της φυτοτοξικότητας είναι από τα κτήματα ιλύος όπου η ιλύς έχει εφαρμοστεί στα μεγάλες ποσότητες για αρκετά έτη. Το κόκκινο τεύτλο και άλλες οπωροκηπευτικές σοδειές έχουν βρεθεί να είναι ευαίσθητες στις υψηλές συγκεντρώσεις των μετάλλων. Μπορεί, εντούτοις, να υπάρξει ένα μακροπρόθεσμο πρόβλημα επειδή τα περισσότερα από τα μέταλλα παραμένουν στο χώμα όπου μπορούν να προκαλέσουν κάποιον κίνδυνο. Ένας τέτοιος κίνδυνος εμφανίστηκε στο αγρόκτημα Woburn του πειραματικού σταθμού Rothamsted όπου ιλύς εφαρμόστηκε σε ένα αμμώδες χώμα με pH 6,5 και παρατηρήθηκε ένα ετήσιο ποσοστό 16,4 t οργανικής ουσίας μεταξύ 1942 και 1967. Το λευκό τριφύλλι (*trifolium repens*) αυξήθηκε ελάχιστα στο χώμα 20 έτη μετά από την τελευταία εφαρμογή ιλύος. Η συνολική μάζα των μικροβίων στο χώμα ήταν μικρότερη μετά από την επεξεργασία με ιλύ απ'ό,τι μετά από την επεξεργασία με λίπασμα. Επίσης αποδείχθηκε ότι τα μέταλλα στην ιλύ εμπόδισαν την σταθεροποίηση του αζώτου από το *Rhizobium* στους κονδύλους που διαμορφώθηκαν στις ρίζες του τριφυλλιού.

10.4 συσσώρευση στα φυτά.

Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 7.5, το ποσοστό λήψης των θρεπτικών ιόντων από τις ρίζες των φυτών εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από τη συγκέντρωσή τους σε διαλυμένο χώμα στην επιφάνεια της ρίζας και από την αναπλήρωσή τους με διάλυμα. Το ίδιο πράγμα ισχύει για τα ιόντα που δεν είναι βασικές θρεπτικές ουσίες. Η συγκέντρωση διαλύματος καθορίζεται από το ποσό που προσροφάται, από τα αντιδρώντα μόρια του εδάφους: φυτόχωμα, οξειδία του σιδήρου, του μαγγανίου και του αλουμινίου, και αλουμίνα. Τα Βορέα μέταλλα εμφανίζονται στη διάλυμα ως κατιόντα και προσροφούνται από τα αρνητικά φορτισμένα μόρια του χώματος. Επιπλέον, εντούτοις, συκρατούνται εντονότερα ως σύμπλοκα στις επιφάνειες της αλουμίνας, των ενυδατωμένων οξειδίων και του φυτοχώματος, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.5. Γενικά, η προσρόφηση αυξάνεται με το pH (το άλας του τριοξειδίου του μολυβδαινίου είναι μια εξαίρεση) έτσι ώστε η εκρόφηση και η συγκέντρωση διαλύματος να είναι μέγιστες σε όξινα χώματα. Η λήψη από τα φυτά ακολουθεί το ίδιο σχέδιο (εικόνα 8.5). Η εκρόφηση εξαρτάται επίσης από τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, η οποία αλλάζει το pH στα *microsites* και

μορφοποιεί τα διαλυτά οργανικά σύμπλοκα, και απελευθερώνει πρωτόνια από τις ρίζες, τα αποτελέσματα είναι μέγιστα στη ριζόσφαιρα.

Δύο περαιτέρω πτυχές της συσσώρευσης στα φυτά πρέπει να συζητηθούν. Κατ' αρχάς, μερικά φυτά είναι ανθεκτικά στην υψηλή συγκέντρωση μετάλλων και είναι σε θέση να αναπτυχθούν στις μεταλλοφόρες περιοχές, ενώ άλλα μη-ανθεκτικά φυτά δεν θα αναπτυχθούν. Μια δεύτερη και σχετική ερώτηση είναι ο βαθμός στον οποίο τα στοιχεία μεταφέρονται στα μέρη των φυτών που λαμβάνονται από τους ανθρώπους και τα ζώα. Η ανθεκτικότητα μετάλλων θα συζητηθεί πρώτα.

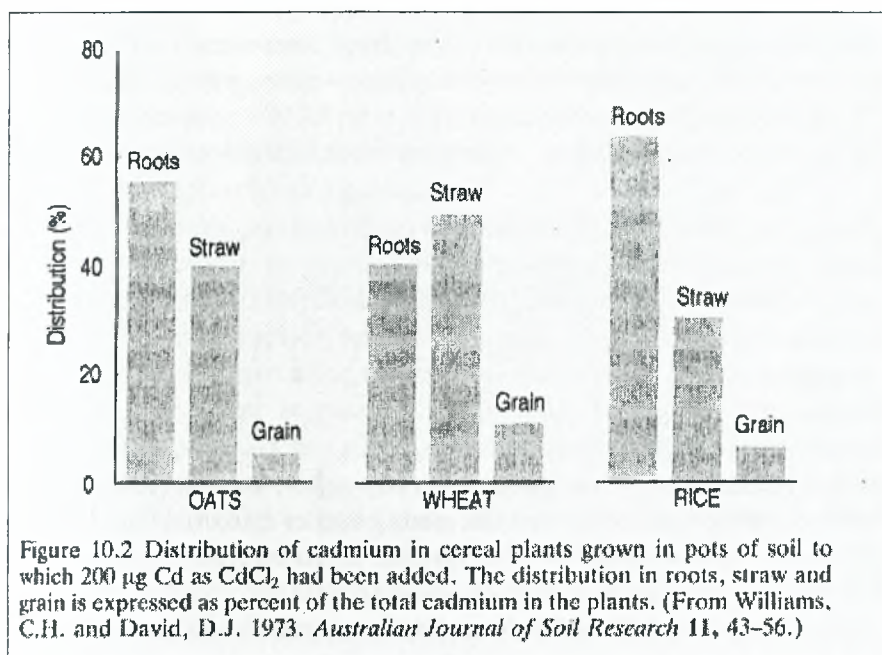
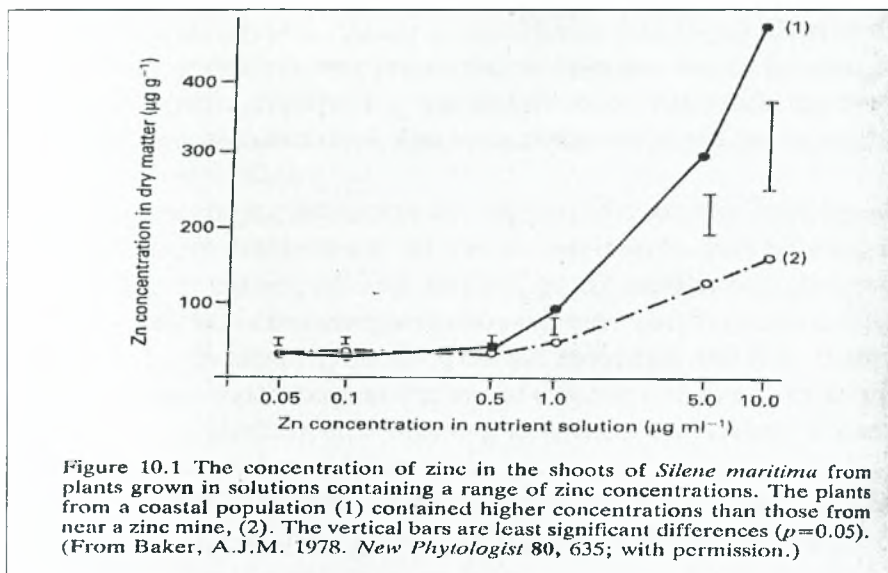
Οι κύριοι μηχανισμοί της ανθεκτικότητας μετάλλων είναι οι ακόλουθοι.

(i) *αποκλεισμός από τις ρίζες*. Έχει παρατηρηθεί ότι οι ρίζες της ερείκης, *Calluna vulgaris*, περιείχαν λιγότερο χαλκό και ψευδάργυρο όταν mycorrhizal από όταν μη-mycorrhizal, και παρόμοιες παρατηρήσεις έχουν γίνει με περίπου τρία είδη. Το Mycorrhizas μπορεί να έχει την αντίθετη επίδραση, δηλ. αυξανόμενη λήψη μετάλλων, και αυτό είναι πιθανώς πιο κοινό. Ο αποκλεισμός οφείλεται συνήθως στην ανταγωνιστική επίδραση άλλων κατιόντων, συμπεριλαμβανομένου του ασβεστίου και του μαγνησίου, και επίσης άλλων κατιόντων βαρέων μετάλλων.

(ii) *ακινητοποίηση στις ρίζες*. Σε πολλά είδη φυτών υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα διακίνησης των μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του καδμίου, του χαλκού, του μολύβδου και του ψευδάργυρου, από τις ρίζες στους βλαστούς. Η συγκέντρωση στους βλαστούς είναι συχνά μικρότερη στα φυτά που παρουσιάζουν αντοχή στην υψηλή συγκέντρωση μετάλλων στο εξωτερικό διάλυμα από εκείνα που είναι ευαίσθητα. Αυτή η διαφορά έχει παρουσιαστεί για τον ψευδάργυρο με τους πληθυσμούς του *maritima Silene* (σχέδιο 10.1). Τα μέταλλα διατηρούνται από το κυτταρικό τοίχωμα στις ρίζες.

(iii) *βιοχημική ακινητοποίηση*. Τα φυτά που συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες μετάλλων που είναι κανονικά φυτοτοξικά, π.χ. νικέλιο, σχηματίζουν σύμπλοκα με τα οργανικά οξέα τα οποία μειώνουν τα παράσιτα με τις μεταβολικές διεργασίες. Τα συσσωρευμένα φυτά χρησιμοποιούνται για να εντοπίσουν τα αποθέματα των μετάλλων. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε μέταλλα οι βλαστοί αυτών των φυτών αν φαγωθούν μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο στην υγεία.

Τα μέταλλα που κατακάθονται στο κυτταρικό τοίχωμα των ινωδών ριζών δεν λαμβάνονται από τα ζώα και τους ανθρώπους. Τα περισσότερα από τα μέταλλα που μεταφέρονται στους βλαστούς συσσωρεύονται στα φύλλα, μόνο ένα μικρό ποσοστό περνά στα όργανα αποθήκευσης, το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 10.2 για τη διανομή του καδμίου στις βρώμες, το σίτο και το ρύζι. Δεδομένου ότι τα όργανα αποθήκευσης αποτελούν ένα ουσιαστικό μέρος της ανθρώπινης διατροφής αυτό παρέχει την περαιτέρω προστασία ενάντια στα προβλήματα τοξικότητας.



10.5 Τέσσερα επικίνδυνα στοιχεία: Cd, Pd, Zn, F

Διάφορα στοιχεία έχουν προκαλέσει μοιραία περιστατικά στα ζώα και τους ανθρώπους λόγω κατάποσης υπερβολικής δόσης, αν και πολύ λίγα από αυτά τα περιστατικά έχουν προκληθεί από τη μόλυνση των χωμάτων, και κατ'επέκταση των τροφίμων, και από μέταλλα ανθρωπογενής προέλευσης. Τα τέσσερα στοιχεία που αναφέρονται περιλαμβάνουν το φθόριο, το οποίο δεν είναι ένα βαρύ μέταλλο. Καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα χημικών ιδιοτήτων και αντιδρούν με το έδαφος με διάφορους τρόπους.

Κάδμιο

Είναι ένα σχετικά σπάνιο μέταλλο, όπως προκύπτει από τη χαμηλή συγκέντρωσή του στον εξωτερικό φλοιό της γης και στο έδαφος (πίνακας 10.1). Είναι παρόν στα (μέταλλα) σουλφίδια του ψευδάργυρου, και σε μικρότερη συγκέντρωση στα ανθρακικά άλατα και τα πυριτικά άλατα ψευδάργυρου και στα σουλφίδια μολύβδου και χαλκού. Ανακτάται ως υποπροϊόν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των

μετάλλων ψευδάργυρου, αλλά η αφαίρεσή του είναι συχνά ελλιπής. Η αυξανόμενη βιομηχανική χρήση του στις μπαταρίες, τα κράματα και τις χρωστικές ουσίες, ως σταθεροποιητικός παράγοντας στα πολυβινυλικά πλαστικά, και στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση των μετάλλων, έχει προκαλέσει ανησυχία για τις επιπτώσεις του καδμίου στο περιβάλλον.

Μέρος της ανησυχίας βασίστηκε στο θάνατο 65 γυναικών στην Ιαπωνία που αναφέρθηκε στη δεκαετία του '50, για τον οποίο αιτία ήταν η υψηλή συγκέντρωση του καδμίου σε τοπικές καλλιέργειες ρυζιού. Το περιστατικό είναι γνωστό ως ασθένεια itai-itai. Η συγκέντρωση στο ρύζι ήταν υψηλή (περίπου δέκα φορές απ'ότι σε μια αμόλυντη περιοχή) επειδή η σοδειά ποτίστηκε από έναν ποταμό που μολύνθηκε από νερά αποχέτευσης και το ιζήματα από ένα ορυχείο ψευδάργυρου. Είναι η μόνη περίπτωση δηλητηρίασης ανθρώπων από κάδμιο που αποδίδεται στην παρουσία του στο έδαφος ή στο νερό.

Μια από τις πιο διαδεδομένες πηγές καδμίου στο έδαφος είναι το φωσφορικό λίπασμα, το οποίο έχει μια μέση συγκέντρωση περίπου $7 \mu\text{g Cd g}^{-1}$, αν και αυτό ποικίλλει ανάλογα με την πηγή του βράχου φωσφορικού άλατος από τον οποίο παρασκευάστηκε το λίπασμα. Σε ένα πείραμα στην Αυστραλία, η περιεκτικότητα του εδάφους σε κάδμιο ήταν τρεις φορές υψηλότερη στα αγροτεμάχια που είχαν λάβει 1000-4500 kg ανά οκτάριο υπερφωσφορικά πάνω από 30-40 έτη όπως στα γειτονικά, άγονα αγροτεμάχια. Η λήψη από τα φυτά ήταν επίσης υψηλότερη. Γενικά, εντούτοις, πολύ περισσότερο κάδμιο προστίθεται με μια εφαρμογή ιλύος απ'ότι με μια κανονική εφαρμογή λιπάσματος.

Στο υδατικό διάλυμα, το κάδμιο υδρολύεται ελαφρώς και το κυρίαρχο ιόν είναι Cd^{2+} . Καθώς βρίσκεται σε χαμηλή συγκέντρωση στο διάλυμα του εδάφους προσροφάται επάνω στα μέταλλα αργίλου συμπεριλαμβανομένου του σιδήρου, μαγνησίου, οξειδίου αλουμινίου, προσρόφηση που αυξάνεται με το pH. Επίσης έντονα προσροφάται επάνω στο ανθρακικό άλας ασβεστίου. Η οργανική ουσία προσροφά το κάδμιο, αλλά λιγότερο έντονα από το χαλκό ή το μόλυβδο. Το κάδμιο είναι, εντούτοις, πιο ευκίνητο από τα άλλα μέταλλα που εξετάζονται σε αυτό το κεφάλαιο και μπορεί να προκαλέσει κάποιον κίνδυνο εάν βρίσκεται στο νερό οικιακής χρήσης.

Η λήψη καδμίου από τα φυτά είναι μέγιστη από εδάφη που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση καδμίου αλλά μειώνεται με την αύξηση του pH by liming. Η λήψη ποικίλλει ανάλογα τις εδαφολογικές ιδιότητες, ειδικά εκείνες που ελέγχουν την προσρόφηση, και επίσης με τα είδη και την ποικιλία των φυτών, και την πηγή καδμίου. Έχει παρατηρηθεί, παραδείγματος χάριν, ότι η λήψη είναι μικρότερη από έδαφος στο οποίο έχει προστεθεί ιλύς απ'ότι από έδαφος στο οποίο ένα ίσο ποσό καδμίου έχει προστεθεί ως άλας.

Ένα μεγάλο μέρος του καδμίου που εισέρχεται στα φυτά διατηρείται στις ρίζες.

Παραδείγματος χάριν, σε 20 από τα 23 είδη που αναπτύσσονται σε solution καλλιέργειες περισσότερο από το μισό κάδμιο που λαμβάνεται διατηρείται στις ρίζες, εξαιρέσεις είναι το κατσαρό λάχανο, το μαρούλι και το κάρδαμο. Οι βρώμες, ο σίτος και το ρύζι που αναπτύχθηκαν στο έδαφος διατήρησαν το 40-70% του καδμίου στις ρίζες τους (σχήμα 10.2). Ένα μεγάλο μέρος του καδμίου που εισέρχεται στα φυτά διατηρείται στις ρίζες.

Μόλυβδος

Ο μόλυβδος ήταν ένα από τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο. Επειδή είναι ελατό χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους Ρωμαίους για την παραγωγή των υδροσωλήνων και άλλων αντικειμένων. Το μέταλλο χρησιμοποιείται σήμερα ως υλικό κατασκευής σκεπής, στις μπαταρίες και το τύλιγμα καλωδίων, και ως σφαίρα (βλήμα) μόλυβδου. Το μέταλλο έχει πολύ χαμηλή διαλυτότητα σε όξινες

και αλκαλικές συνθήκες, και είναι ανθεκτικό στη διάβρωση, ως εκ τούτου αυτές οι πηγές απελευθερώνουν πολύ λίγο μόλυβδο στους βιολογικούς κύκλους. Σημαντικότερες είναι οι ενώσεις μολύβδου που χρησιμοποιούνται ως χρωστικές στις βαφές και στην κατασκευή των πλαστικών, στα γυαλιά και στα βερνίκια, αν και η διαλυτότητά τους είναι χαμηλή. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η παρουσία μολύβδου στη βενζίνη, η οποία εκπέμπεται από τις εξατμίσεις αυτοκινήτων και είναι η πιο διαδεδομένη πηγή μόλυνσης τους εδάφους και των φυτών. Η μόλυνση εμφανίζεται επίσης κοντά στις παλαιές περιοχές μεταλλείας μολύβδου, και από την απόθεση στην ατμόσφαιρα του μοριακού υλικού που απελευθερώνεται από τα χυτήρια.

Η τοξικότητα του μολύβδου στους ανθρώπους έχει αναγνωριστεί από καιρό. Με την ευρύτερη χρήση των εναλλακτικών υλικών, η έκθεση στο μόλυβδο από τους υδροσωλήνες, τα χρώματα σπιτιών, τα παιχνίδια των παιδιών και τα εμπορευματοκιβώτια τροφίμων γίνεται λιγότερη. Η χρήση της αμόλυβδης βενζίνης γίνεται επίσης πιο συχνή. Ο μόλυβδος προστίθεται στη βενζίνη ως μόλυβδος τετρααιθυλικός και τετραμεθυλικός και εκπέμπεται από τις εξατμίσεις αυτοκινήτων σαν $PbBrCl$ με μοριακή μορφή. Ο περισσότερος κατακάθεται μέσα σε 50 m στην εθνική οδό αλλά τα μικρά μόρια μπορούν να μεταφερθούν πολλά χιλιόμετρα. Είτε κατά τη διάρκεια της μεταφοράς μέσω του αέρα είτε μετά την απόθεση, πραγματοποιείται μετατροπή σε θειικό άλας μολύβδου ($PbSO_4$). Ο μέγιστος κίνδυνος στους ανθρώπους από αυτήν την πηγή μολύβδου εμφανίζεται μέσω της εισπνοής των μορίων και της κατανάλωσης φυλλωδών λαχανικών που αυξάνονται στους αστικούς κήπους στους οποίους τα μόρια έχουν κατακαθίσει.

Στο διάλυμα οξέος ο μόλυβδος είναι παρών ως Pb^{2+} και με το αυξανόμενο pH υδρολύεται για να σχηματίσει το $Pb(OH)^+$ και το $Pb(OH)_2^0$. Προσροφάται έντονα από το έδαφος, το διάλυμα στα μη μολυσμένα εδάφη έχει μια συγκέντρωση περίπου $2 \cdot 10^{-6}$ M. Αναλύσεις των μολυσμένων εδαφών δείχνουν ότι ο μόλυβδος συγκεντρώνεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, πολύ ελάχιστα κινούμενος κάτω από την εδαφοτομή. Η χαμηλή κινητικότητα οφείλεται στην προσρόφηση επάνω στις επιφάνειες του σιδήρου και των οξειδίων του μαγγανίου, της αλουμίνης. Ο μόλυβδος αντιδρά επίσης με οργανική ουσία για να σχηματίσει σύμπλοκο χαμηλής διαλυτότητας.

Ψευδάργυρος(199)

Στο φλοιό της γης καθώς και στα εδάφη ο ψευδάργυρος είναι το πιο άφθονο βαρύ μέταλλο που μελετάμε. Η μεγαλύτερη χρήση του είναι ως μέταλλο επικάλυψης και σε κράματα μετάλλων. Με την υγρασία του αέρα το μέταλλο του ψευδαργύρου οξειδώνεται και σχηματίζει μια σκληρή διαφάνεια από ανθρακικό άλας του ψευδαργύρου το οποίο τον προστατεύει από περαιτέρω χημική αλλοίωση. Το σίδηρο που είναι επικαλυμμένο με ψευδάργυρο είναι γνωστό ως γαλβανισμένο σίδηρο. Ο ψευδάργυρος προστατεύει το σίδηρο από τη σκουριά. Το πιο γνωστό κράμα ψευδαργύρου είναι ο ορείχαλκος, που είναι το κράμα με χαλκό. Ο ψευδάργυρος χρησιμοποιείται επίσης σε μπαταρίες και το οξείδιο του ψευδαργύρου χρησιμοποιείται ως χρωστική στις βαφές και ως πληρωτικό υλικό στα ελαστικά, συμπεριλαμβάνοντας τα λάστιχα τροχών.

Ο ψευδάργυρος διαφέρει από το κάδμιο και το μόλυβδο στο ότι είναι ένα βασικό ιχνοστοιχείο για τα φυτά και τα ζώα, συμπεριλαμβάνοντας και τους ανθρώπους. Η παροχή ψευδαργύρου από τα εδάφη είναι ανεπαρκής για τις καλλιέργειες σε μερικές χώρες, ιδιαίτερα σε μέρη της Αυστραλίας και των ΗΠΑ όπου αυξανόμενα ποσά λιπασμάτων εμπλουτισμένα με ψευδάργυρο εφαρμόζονται σε αρόσιμες και κηπευτικές καλλιέργειες.

Σε υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος ο ψευδάργυρος μπορεί να είναι φυτοτοξικός, μειώνοντας την ανάπτυξη των φυτών ή σκοτώνοντας τα φυτά όταν βρίσκεται σε ορισμένες συγκεντρώσεις στους ιστούς τους, οι οποίες όμως δεν θα ήταν τοξικές για τα ζώα. Συνεπώς ο βασικός κίνδυνος με τον ψευδάργυρο είναι στα φυτά, και τα προβλήματα που σχετίζονται με την εξόρυξη και την καμίνευση μεταλλευμάτων ψευδαργύρου, την εφαρμογή λυμάτων αποχετεύσεων, που συνήθως περιέχουν περισσότερο ψευδάργυρο από ότι οποιοδήποτε άλλο μέταλλο είναι γνωστό να βλάπτει τα φυτά, και τις περιοχές κάτω από το δίκτυο γαλβανισμένων συρμάτων και ηλεκτρικών καλωδίων. Εκεί όπου συμβαίνει τοξικότητα από ψευδάργυρο, η ασβεστίωση του εδάφους για να αυξήσουμε το pH χαμηλώνει τη συγκέντρωση του διαλύματος, παρέχοντας έτσι μια επανόρθωση.

Σε οξικά διαλύματα ο ψευδάργυρος είναι παρών ως δισθενές ιόν Zn^{2+} . Στην ποικιλία του pH που συνήθως βρίσκεται στο έδαφος (5-8) σχηματίζονται επίσης άλλα ιόντα συμπεριλαμβάνοντας $Zn(OH)^+$, $Zn(OH)_2^0$ και $ZnHPO_4^0$, με την έκταση του σχηματισμού να εξαρτάται από το pH και την συγκέντρωση του HPO_4^{2-} στο διάλυμα. Όταν προστίθενται διαλύματα αλάτων ψευδαργύρου στο έδαφος, ο Zn^{2+} ανταλλάσσεται με το Ca^{2+} και άλλα απορροφημένα ιόντα. Ωστόσο, περισσότερο μέρος ψευδαργύρου απορροφάται πιθανών ως $Zn(OH)^+$ στα οξείδια σιδήρου και μαγνησίου και αργιλώδη aluminosilicates, με την απορρόφηση να αυξάνεται με το pH. Ο ψευδάργυρος σχηματίζει επίσης μορφές σύνθετες με την οργανική ύλη του εδάφους, αλλά αυτές είναι λιγότερο σταθερές από ότι αυτές που σχηματίζονται από το κάδμιο και πολύ λιγότερο σταθερές από εκείνες που σχηματίζονται με το μόλυβδο. Τα είδη των ιόντων που προσροφώνται από τις ρίζες των φυτών δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα αλλά ο Zn^{2+} γενικά θεωρείται ότι επικρατεί. Υψηλά ποσά ψευδαργύρου στο έδαφος μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλή πρόσληψη, και σε μολυσμένες περιοχές η συγκέντρωση μπορεί να ξεπεράσει τα $500 \mu g Zn g^{-1}$ ξηρής ύλης φυτού, ένα επίπεδο που θεωρείται ότι είναι γενικά τοξικό. Τα είδη των φυτών διαφέρουν στο βαθμό στον οποίο μεταφέρουν τον ψευδάργυρο από τις ρίζες στα βλαστάρια. Οι συγκεντρώσεις

στα φρούτα και τους σπόρους γενικά είναι πολύ χαμηλότερες απ' ό τι είναι στα φύλλα. Τα φυτά που συγκρατούν τον ψευδάργυρο στις ρίζες τους έχουν βρεθεί ότι είναι πιο ανθεκτικά στις υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος από ότι εκείνα τα οποία μεταφέρουν μια ψηλή αναλογία στα βλαστάρια.

Φθόριο

Αυτό συμπεριλαμβάνεται ανάμεσα στα στοιχεία που συζητούνται εδώ για να σκιαγραφήσει το σημείο ότι η τοξικότητα δεν περιορίζεται στα βαρέα μέταλλα. Δεν είναι το μόνο αμέταλλο που μπορεί να προκαλέσει τοξικότητα. Το βόριο, επίσης ένα αμέταλλο, μπορεί να γίνει τοξικό για τα φυτά όταν μεγάλα ποσά ιπτάμενης στάχτης (η σκόνη που παράγεται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν γαιάνθρακα) διασκορπίζεται στα εδάφη, και όταν υπερβολικά ποσά μειγμάτων βορίου εφαρμόζεται για να αποτρέψει ένα έλλειμμα στα φυτά.

Το φθόριο δεν είναι βασικό στοιχείο για τα φυτά αλλά οι ευεργετικές του επιδράσεις στην περίπτωση της οδοντιατρικής έχουν καταξιωθεί. Οι υψηλές συγκεντρώσεις φθορίου ή των μειγμάτων του είναι, ωστόσο, τοξικές στα φυτά και στα ζώα.

Διάφορες βιομηχανίες, ιδιαίτερα με καμίνια αλουμινίου, τσιμέντου και τούβλων, και τα εργοστάσια παραγωγής φωσφορικών λιπασμάτων εκλύουν μείγματα φθορίου στην ατμόσφαιρα και σε μορφή σωματιδίων και σε αέρια μορφή. Οι εκλύσεις σωματιδίων εναποτίθενται κοντά στην πηγή και μολονότι δεν βλάπτουν τα φυτά μπορεί να βλάψουν τα ζώα που βόσκουν στα λιβάδια με φθόριο. Τα αέρια σε μορφή φθορίου, αρχικά το φθορίδιο του υδρογόνου και το τετραφθορίδιο του πυριτίου, μπορούν να βλάψουν τα φυτά και τα ζώα που βόσκουν, ακόμα και όταν βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Τα μείγματα του φθορίου εκλύονται επίσης από μερικά ηφαίστεια, δίνοντας υψηλές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό.

Τα ιόντα φθορίου (F^-) σχηματίζουν συνθέσεις με αλουμίνιο σε διάλυμα και στις επιφάνειες αργιλωδών ορυκτών και σε ένυδρα οξείδια του αλουμινίου. Κρατούνται πολύ από τα ορυκτά της επιφάνειας έτσι πολύ λίγο φθόριο περνάει μέσα από το έδαφος στο νερό αποστράγγισης. Το φθόριο επίσης αντιδρά με το ασβέστιο για να σχηματίσει φθορίδιο του ασβεστίου, και με το ασβέστιο και το φωσφορικό άλας να σχηματίσει calcium fluorapatite, που και τα δύο έχουν χαμηλή διαλυτότητα. Εξαιτίας της απορρόφησης και της ιζηματοποίησης η συγκέντρωση του φθορίου σε εδαφικά διαλύματα είναι χαμηλή. Η πρόσληψη των φυτών από το έδαφος δεν αυξάνεται

σημαντικά είτε με την απόθεση από την ατμόσφαιρα είτε από την παρουσία μικρών ποσών που είναι παρόντα στα φωσφορούχα λιπάσματα.

Θεραπεία του μολυσμένου εδάφους

Η μόλυνση με λύματα υπονόμων και σε περιοχές χωματερών θα αποφευχθεί ακολουθώντας του κάτωθι κανονισμούς. Η μόλυνση από βαρέα μέταλλα που έχει ήδη γίνει μπορεί να αντιμετωπισθεί με διάφορους τρόπους:

1. Η παροχή ασβεστίου στο έδαφος για να ανεβάσουμε το pH σε 6.5 μειώνει τη διαθεσιμότητα των περισσότερων μετάλλων στα φυτά για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως.
2. Με προσθήκη οργανικής ύλης, η οποία έχει τις ίδιες επιδράσεις με το ασβέστιο.
3. Η βελτιωμένη αποστράγγιση μπορεί επίσης να επιδιορθώσει την κατάσταση επειδή οι περισσότερες οξειδωμένες μορφές σιδήρου (Fe^{3+}) και τα οξείδια του μαγγανίου (Mn^{4+}) απορροφούν τα μέταλλα.
4. Θα πρέπει να καλλιεργούνται ανθεκτικά είδη φυτών, εάν είναι απαραίτητη χρησιμοποιώντας γονότυπους που μεταφέρονται από μεταλλοφόρες περιοχές.
5. Εκεί όπου η μόλυνση είναι ακραία θα πρέπει να προστίθεται νέο έδαφος στην επιφάνεια.

Ραδιονουκλίδια

Τα ραδιονουκλίδια είναι ασταθή ισότοπα τα οποία υφίστανται ραδιενεργή αποσύνθεση. Μερικά συμβαίνουν φυσικά στον αέρα, στους βράχους, στα εδάφη και στα φυτά σε συγκεντρώσεις που δίνουν υπολογίσιμα ποσά ακτινοβολίας και μερικά παράγονται τεχνητά όπως στις δοκιμές πυρηνικών όπλων.

Ο Becquerel ανακάλυψε την ραδιενεργή αποσύνθεση το 1896 όταν βρήκε ότι ένα άλας του ουρανίου μαύριζε μια φωτογραφική πλάκα ακόμη και σε απόλυτο σκοτάδι. Η εργασία των Marie και Pierre Curie, των Rutherford και Villard απέδειξαν τρία είδη ακτινοβολίας που ονομάζονται α (άλφα), β (βήτα) και γ (γάμα).

Οι ακτίνες α έχουν την χαμηλότερη διεισδυτική δύναμη, σταματούν με ένα φύλλο χαρτιού ή αρκετά cm αέρα. Κάθε ένα α σωματίδιο αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια και έχει μια ταχύτητα περίπου του ενός δέκατου της ταχύτητας του φωτός.

Οι ακτίνες β είναι πιο διεισδυτικές απ' ό,τι οι ακτίνες α και περνάνε από ένα φύλλο αλουμινίου. Μπορεί να είναι είτε θετικά ή αρνητικά φορτισμένες. Ένα αρνητικά

φορτισμένο σωματίδιο β είναι ένα ηλεκτρόνιο. Ένα θετικά φορτισμένο β σωματίδιο είναι ένα ποζιτρόνιο. Το κάθε ένα έχει μια ταχύτητα που πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός.

Οι ακτίνες γ είναι οι πιο διεισδυτικές, και απαιτούν αρκετά εκατοστά μόλυβδου για να τις απορροφήσει. Δεν εκτρέπονται σε ένα μαγνητικό πεδίο ούτε και αποτελούνται από σωματίδια, αλλά είναι μέρος ενός ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Είναι παρόμοιες με τις υψηλής ενέργειας ακτίνες X αλλά με ένα βραχύτερο μήκος κύματος. Και τα τρία είδη ακτινοβολίας αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Μπορούν να προκαλέσουν λευχαιμία, καταρράκτη του ματιού, διάφορες μορφές καρκίνου και, από μια υψηλή δόση, θάνατο. Ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος εάν το ραδιονουκλίδιο εισέλθει στο σώμα διαμέσου μολυσμένης τροφής, νερού ή αέρα. Η επίδραση του ραδιονουκλιδίου εξαρτάται α) από το βαθμό στον οποίο κατακρατάται, β) το επίπεδο ενέργειας της ακτινοβολίας που εκλύεται από αυτό, γ) την ημιζωή του και δ) τις περιοχές στο σώμα όπου κατακρατώνται. Τα σωματίδια α είναι τα πιο βλαβερά για τα βιολογικά κύτταρα αλλά επειδή αυτά τα σωματίδια έχουν χαμηλή διεισδυτική δύναμη προκαλούν βλάβη κυρίως όταν είναι παρόντα εσωτερικά, για παράδειγμα στους πνεύμονες εάν κάποιος εισπνεύσει μικρά σωματίδια α .

Μονάδες και ορισμοί

1. Η ραδιενέργεια μετρείται σε Becquerel, Bq, όπου $1 \text{ Bq} = 1$ ραδιενεργή διάσπαση ανά δευτερόλεπτο. Η παλιά μονάδα, το curie, ισούται με 3.7×10^{10} Bq.

2. Η μονάδα για τη δόση της ακτινοβολίας που απορροφάται από τους ιστούς του σώματος είναι το gray, Gy, το οποίο αντιστοιχεί στην απορρόφηση της ενέργειας που είναι ισοδύναμη με ένα joule ανά kilogram ιστού. Η παλιά μονάδα, rad, ισούται με 0.01 Gy . Χρησιμοποιείται επίσης το sievert, Sv, το οποίο λαμβάνει υπόψη την ακτινοβολία που λαμβάνεται από τους ιστούς τροποποιημένη ανάλογα με την ποιότητα της ακτινοβολίας και την κατανομή της στο σώμα.

3. Η ημιζωή είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα ραδιονουκλίδιο να αποσυντεθεί στο μισό της αρχικής του τιμής. Καθώς ο βαθμός αποσύνθεσης είναι εκθετικός, ένα ραδιονουκλίδιο με μια ημιζωή του ενός έτους αφήνει $\frac{1}{2}$ ενεργό μετά από 1 έτος, $\frac{1}{4}$ μετά από 2 έτη, $\frac{1}{8}$ μετά από 3 έτη κλπ.

Τα ραδιονουκλίδια στο περιβάλλον

Ένα ραδιονουκλίδιο που υπάρχει φυσικά στο περιβάλλον είναι ο άνθρακας-14, το οποίο παράγεται στην ατμόσφαιρα από τον βομβαρδισμό του αζώτου (^{14}N) από τις κοσμικές ακτίνες. Καθώς ο ^{14}C έχει ημιζωή 5.7×10^3 χρόνια είναι παρόν σε όλα τα ζωντανά φυτά και ζώα και στα εδάφη αλλά έχει σχεδόν ολοκληρωτικά αποσυντεθεί από τα φυσικά καύσιμα. Χρησιμοποιείται κοινώς για να χρονολογήσει θαμμένα αντικείμενα που περιέχουν άνθρακα.

Το κάλιο-40, ένα άλλο ραδιονουκλίδιο που βρίσκεται με φυσικό τρόπο στο περιβάλλον, με μια πολύ μεγαλύτερη ημιζωή του 1.3×10^9 έτη, παρήχθη όταν δημιουργήθηκε το σύμπαν. Η συγκέντρωσή του είναι τώρα περίπου 0.01% του συνολικού καλίου στους βράχους και στα εδάφη. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του ^{40}K συμβαίνουν στους βράχους με υψηλές συγκεντρώσεις σε συνολικό κάλιο, τέτοιους όπως οι γρανίτες και σε εδάφη που προέρχονται από γρανίτη. Τα καλιούχα λιπάσματα λαμβάνονται από φυσικά αποθέματα αλάτων καλίου και η χρήση τους αυξάνει την συγκέντρωση ^{40}K στα εδάφη και στα φυτά. Το ^{40}K περνάει στην τροφική αλυσίδα μέσα απ' όλες τις κοινές τροφές, ιδιαίτερα απ' τα φυλλώδη λαχανικά και το γάλα.

Το αέριο ραδόνιο-222 (^{222}Rn) έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον αλλά και κάποια ανησυχία κατά τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της συσσώρευσης του στις κατοικίες. Είναι προϊόν αποσύνθεσης του ραδίου-226 (^{226}Ra) που συμβαίνει σε μικρές συγκεντρώσεις στους βράχους και στα εδάφη. Η υψηλότερη συγκέντρωσή του συνήθως συμβαίνει στον γρανίτη. Το ραδόνιο-222 αποσυντίθεται σε ραδιενεργά θυγατρικά, που προσκολλώνται σε σωματίδια σκόνης και αυτά μπορεί να τα αναπνεύσουμε και να επικαθήσουν στους πνεύμονες.

Υπάρχει συνεχής ακτινοβολία κοντά σε αποθέματα πλούσια σε ουράνιο που τα εκμεταλλευόμαστε εμπορικά, σε αμμώδη εδάφη μοναζίτη που περιέχει θόριο, και σε βράχους που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε ράδιο. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του ουρανίου συμβαίνουν επίσης σε βράχους με πολύ φωσφορικό άλας το οποίο μεταφέρεται στα φωσφορούχα λιπάσματα, αν και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, και αυξάνει το φορτίο της ραδιενέργειας στα γεωργικά εδάφη.

Όλες αυτές οι πηγές, μαζί με την ακτινοβολία απ' το διάστημα, παρέχουν το συνεχές υπόβαθρο της ακτινοβολίας που λαμβάνεται από όλες τις μορφές ζωής στην Γη. Έχει υπολογιστεί ότι, κατά μέσο όρο, 79% της ακτινοβολίας στην οποία εκτίθενται τα ανθρώπινα όντα είναι από φυσικές πηγές, το 19% είναι από ιατρικές θεραπείες και το υπόλοιπο 2% είναι από τις δοκιμές όπλων, τους τηλεοπτικούς δέκτες και την

βιομηχανία της πυρηνικής ενέργειας. Μολονότι οι φυσικές πηγές δεσπόζουν, η περισσότερη ανησυχία για την ακτινοβολία των ραδιονουκλιδίων άρχισε με την ανάπτυξη των πυρηνικών όπλων, μετά τα οποία εναποτέθηκαν πάνω στην επιφάνεια της γης αυξανόμενα ποσά ραδιονουκλιδίων.

Ο πιο πάνω έλεγχος του εδάφους εξαιτίας των πυρηνικών όπλων άρχισε το 1945. Η παγκόσμια ανησυχία για εκπομπή ραδιενέργειας οδήγησε στην συμφωνία του 1963 ανάμεσα στις ΗΠΑ, την (τότε) ΕΣΣΔ και τα Ηνωμένα Βασίλεια για το σταμάτημα των δοκιμών πάνω από το έδαφος, αν και τέτοιες δοκιμές έχουν γίνει από τότε σε άλλες χώρες. Μετά την έναρξη της βιομηχανίας πυρηνικής ενέργειας αρκετά ατυχήματα ή χαμηλοί κανονισμοί για την διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων έχουν κάνει τα ραδιονουκλίδια να διαφύγουν στο περιβάλλον. Το πιο σοβαρό ατύχημα ήταν στο πυρηνικό σταθμό του Chernobyl στην (πρώην) ΕΣΣΔ στις 26 Απριλίου 1986, το οποίο προκάλεσε αρκετούς θανάτους στον ίδιο τον πυρηνικό σταθμό και ένα άγνωστο αριθμό στην γύρω περιοχή. Η έκθεση δημιούργησε μια ραδιενεργή στήλη που περιείχε αρκετά ραδιονουκλίδια, τα οποία πέρασαν στην Σκανδιναβία, την Πολωνία και άλλες βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες συμπεριλαμβάνοντας και τα Ηνωμένα Βασίλεια. Η ραδιενεργή εκπομπή ήταν η πιο μεγάλη εκεί όπου η πυκνότητα της στήλης και η βροχόπτωση συνέπεσαν. Αρχικά δημιουργήθηκαν κίνδυνοι για την υγεία από την εκπομπή ^{131}I , ^{134}Cs και ^{137}Cs . Εξαιτίας της μεγαλύτερης ημιζωής του ^{137}Cs (30 χρόνια) οι επιπτώσεις του θα παραμείνουν για πολλά χρόνια.

Τώρα υπάρχει μια ευρεία παράθεση από ραδιενεργές ουσίες που κατασκευάζονται για τη βιομηχανία πυρηνικής ενέργειας, τα πυρηνικά όπλα και για βιομηχανική, χημική και ιατρική χρήση. Τα ραδιονουκλίδια που περιέχουν έχουν προϊόντα σχάσης (θυγατρικά) τα οποία συχνά είναι ραδιενεργά. Μερικά απ' τα πιο κοινά ραδιονουκλίδια καταγράφονται στον Πίνακα 10.6.

Ραδιονουκλίδια στο έδαφος

Τα ραδιονουκλίδια στο έδαφος που έχουν προκαλέσει ανησυχία έχουν προέλθει από δοκιμές πυρηνικών όπλων, ατυχήματα σε σταθμούς παραγωγής πυρηνικής ενέργειας και κακή διάθεση και αποθήκευση των αποβλήτων.

Ένα ραδιονουκλίδιο υφίσταται τις ίδιες αντιδράσεις στο έδαφος όπως και το μη ραδιενεργό ισότοπο. Η απορρόφησή του εξαρτάται από: α) τις ιδιότητες του ιόντος στο διάλυμα, και συγκεκριμένα το εάν είναι αρνητικά ή θετικά φορτισμένο ή μη φορτισμένο, και το εάν σχηματίζει σύνθετα ιόντα στο διάλυμα. β) τα ποσά του

οξειδίου του σιδήρου στο έδαφος, μαγγάνιο και αλουμίνιο και των clay aluminosilicates και γ) το ποσό και τη φύση της οργανικής ύλης που είναι παρούσα. Η μείωση των συνθηκών και του pH επηρεάζει τις ιδιότητες απορρόφησης από το έδαφος, και επηρεάζει επίσης την ιονική μορφή μερικών ραδιονουκλιδίων στο έδαφος. Για πολύ μικρά ποσά ενός ιόντος, όπως συνήθως γίνεται για τα ραδιονουκλίδια στο έδαφος, η απορρόφηση συμβαίνει συνήθως απ' ότι η ιζηματοποίηση. Η τελευταία τείνει να αυξάνεται σε pH πάνω από 6 με το σχηματισμό χαμηλών διαλυτών υδροξειδίων και αλάτων ανθρακικού οξέος. Όσο μεγαλύτερη είναι η κατακράτηση ενός ραδιονουκλιδίου από το έδαφος τόσο λιγότερο απορροφάται από τα φυτά και τόσο λιγότερο περνάει στο νερό αποστράγγισης. Οι αντιδράσεις των τριών ραδιονουκλιδίων του καϊσίου, του ιωδίου και του στροντίου θα συζητηθούν πιο κάτω. Το κάθε ένα από αυτά αποτελεί περιβαλλοντικό κίνδυνο.

Καίσιο

Τα ραδιονουκλίδια ^{134}Cs και ^{137}Cs παράγονται στον πυρηνικούς αντιδραστήρες και μπορούν να είναι παρόντα στα υγρά απόβλητά τους. Και τα δύο απελευθερώθηκαν σε μεγάλες ποσότητες στο δυστύχημα του Chernobyl και αποτέθηκαν στο περισσότερο μέρος της Ευρώπης. Εξαιτίας της μεγάλης ημιζωής τους (Πίνακας 10.6) τα ισότοπα είναι επίμονα. Επί αρκετά χρόνια μετά το ατύχημα και 2000 km μακριά απ' την θέση του η κίνηση και η πώληση προβάτων σε μέρη της βόρειας και της δυτικής Βρετανίας έχει περιορισθεί εξαιτίας της μόλυνσης του εδάφους και των λιβαδιών με καίσιο.

Τα ιόντα καϊσίου (Cs^+) απορροφώνται από τα εδάφη. Όταν εκτοπίζουν περισσότερο υδρογονωμένα ιόντα, π.χ Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , από τα μεσοστρώματα των αργιλωδών ορυκτών όπως ο smectite και illite, τα στρώματα καταρρέουν και παγιδεύουν τα ιόντα καϊσίου σε κοιλότητες. Η απορρόφηση μικρών ποσοτήτων Cs^+ από αυτά τα αργιλώδη ορυκτά και ιδιαίτερα από τον ηλίτη είναι δύσκολο να αντιστραφούν. Για αυτό το λόγο τα ραδιονουκλίδια του καϊσίου στην έκλυση από το δυστύχημα παραμένουν συγκεντρωμένα στα κορυφαία λίγα εκατοστά του καλλιεργούμενου εδάφους. Ωστόσο κάποια προσλαμβάνονται από το έδαφος, ιδιαίτερα από την τύρφη, από φυτά (που επίσης έλαβαν καίσιο άμεσα στα φύλλα τους) και περνάνε στην τροφική αλυσίδα.

Ιώδιο

Το ραδιονουκλίδιο ^{131}I διέρρευσε στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα ατυχημάτων σε πυρηνικούς αντιδραστήρες στο Windscale (τόρα Sellafield) στην Cumbrian ακτή στα Ηνωμένα Βασίλεια το 1957 και στο Chernobyl το 1986. Η έκλυση μόλυνε τα χόρτα που τρώνε τα βοοειδή που δίνουν γάλα και μεταφέρθηκε στο γάλα τους. Εξαιτίας της σύντομης ημιζωής τους των 8 ημερών αυτό αποτελεί κίνδυνο για την υγεία μόνο εάν περάσει γρήγορα στην τροφική αλυσίδα, όπως μέσα από χόρτα που τρώνε τα βοοειδή και με την απορρόφηση από τα φυλλώδη λαχανικά. Η μόλυνση των εδαφών με ^{131}I αποτελεί λιγότερο κίνδυνο απ' ό τι τα ^{134}Cs και ^{137}Cs επειδή το περισσότερο θα αποσυντεθεί κατά τη διάρκεια της πορείας της εποχής αύξησης.

Σε διαλύματα εδάφους το ιώδιο είναι παρόν ως I^- . Τα ιόντα κρατούνται από τα εδάφη με την αντίδραση με οργανική ύλη, οξείδια του σιδήρου και αλουμίνιο και με clay aluminosilicates. Η συγκράτηση από τα οξείδια αυξάνει σε χαμηλό pH εξαιτίας της παρουσίας θετικών φορτίων. Ένα άλλο ισότοπο, το ^{129}I , είναι παρόν στα απόβλητα από τα φυτά που το επεξεργάζονται, και καθώς έχει ημιζωή 1.7×10^7 χρόνια η κατακράτησή του στο έδαφος μπορεί να αποτελεί μακροπρόθεσμο κίνδυνο.

Στρόντιο

Απ' τα δυο ραδιονουκλίδια του στρόντιου, το ^{89}Sr έχει ημιζωή 52 ημέρες και το ^{90}Sr έχει ημιζωή 28 χρόνια. Και τα δύο έχουν απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα από τις δοκιμές πυρηνικών όπλων και από ατυχήματα σε σταθμούς πυρηνικής ενέργειας. Έχει υπάρξει αιτία μεγάλης ανησυχίας γιατί συμπεριφέρεται όπως το ασβέστιο στην τροφική αλυσίδα, και τα ραδιονουκλίδια περνάνε στα οστά από το γάλα και άλλες τροφές.

Σε διάλυμα το στρόντιο είναι παρόν ως Sr^{2+} και υφίσταται αντιδράσεις ανταλλαγής κατιόντων με ένα παρόμοιο τρόπο με το Ca^{2+} . Προσλαμβάνεται εύκολα από τις φυτικές ρίζες και μετατοπίζεται στα φύλλα, τα φρούτα και τους σπόρους. Η πρόσληψη μπορεί να μειωθεί, ιδιαίτερα σε εδάφη με χαμηλό ασβέστιο, με εφαρμογή γύψου ή ασβεστίου.

Άλλα ραδιονουκλίδια

Απαιτείται αποθήκευση, για να αφήσει χρόνο για αποσύνθεση, για αρκετά ραδιονουκλίδια, συμπεριλαμβάνοντας εκείνα από την παραγωγή πυρηνικών όπλων, την επεξεργασία των καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τα εργοστάσια πυρηνικής

ενέργειας και τα απόβλητα από τα ιατρικά και επιστημονικά εργαστήρια. Αρκετά από αυτά έχουν μεγάλη ημιζωή και συνεπώς η αποθήκευση πρέπει να είναι ασφαλής για μια περίοδο χιλιάδων ετών με προδιαγραφές που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του κοινού.

Μερικά από αυτά τα ραδιονουκλίδια, για παράδειγμα του κερίου, του πλουτωνίου και του ρουθηνίου, κατακρατούνται κατά πολύ από το έδαφος, με την αντίδραση να εξαρτάται από την ιονική τους μορφή στο διάλυμα και από τις ιδιότητες του εδάφους. Το πλουτώνιο απορροφάται πολύ με την αντίδραση με οργανική ύλη και σίδηρο, μαγνήσιο και οξειδία του αλουμινίου. Τα ιόντα του κερίου (Ce^{3+}) και του ρουθηνίου (Ru^{3+}) είναι παρόντα σε οξικά διαλύματα και απορροφούνται πολύ εξαιτίας του υψηλού θετικού τους φορτίου. Σε υψηλότερο pH Ce^{3+} καθιζάνει όπως το υδροξείδιο ή το άλας ανθρακικού οξέος. Το τεχνίτιο σχηματίζει αδύναμα απορροφήσιμα ιόντα, TeO_4^- . Τα ραδιονουκλίδια που απορροφούνται πολύ από το έδαφος δεν είναι κινητά και λίγα θα περάσουν στο νερό αποστράγγισης.

Περίληψη

Τα χημικά στοιχεία που σωρεύονται στο έδαφος σε συγκεντρώσεις επικίνδυνες για τα φυτά ή τα ζώα δημιουργούν πρόβλημα εξαιτίας της εμμόνης. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τις συνέπειες των βαρέων μετάλλων και των ραδιονουκλιδίων.

Τα βαρέα μέταλλα (αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, νικέλιο και ψευδάργυρος θεωρούνται ως οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι) συσσωρεύονται σε χωματερές και από την εξόρυξη και την καμίνευση. Απορροφώνται από τα εδάφη και γενικά κατακρατούνται στις ρίζες των φυτών έτσι ώστε η τοξικότητα στα φυτά συμβαίνει μόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος και ιδιαίτερα σε χαμηλό pH. Η νομοθεσία καθορίζει τώρα τις επιτρεπόμενες μέγιστες συγκεντρώσεις.

Τα ραδιονουκλίδια προκαλούν ανησυχία εξαιτίας της ραδιενεργής έκλυσης από τις δοκιμές πυρηνικών όπλων, τις διαρροές που συμπεριλαμβάνουν και εκείνες κατά την διάρκεια της μακροπρόθεσμης αποθήκευσης των ραδιενεργών αποβλήτων, και τα ατυχήματα σε σταθμούς πυρηνικής ενέργειας, για παράδειγμα στο Chernobyl. Τα ραδιονουκλίδια του καισίου και του στροντίου έχουν μεγάλη ημιζωή και μολονότι απορροφώνται από τα εδάφη (το καισίιο απορροφάται αδύναμα μόνο από τη τύρφη) μπορούν να περάσουν στην τροφική αλυσίδα όπου αποτελούν κίνδυνο για τα ζώα που βόσκουν και για τους ανθρώπους.

Κεφάλαιο 11 Έδαφος, η ατμόσφαιρα, παγκόσμια θερμοκρασία και καταστροφή του όζοντος

- 11.1 Εισαγωγή
- 11.2 Η ατμόσφαιρα: φυσικές ιδιότητες
- 11.3 -----//----- : χημικές ιδιότητες
- 11.4 Θερμοκρασία λόγω ακτινοβολίας
- 11.5 Ραδιενεργά αέρια
- 11.6 Διοξείδιο του άνθρακα
- 11.7 Μεθάνιο
- 11.8 Οξείδια του αζώτου
- 11.9 Άλλα αέρια
- 11.10. Αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα
- 11.11. Επίδραση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στο έδαφος
- 11.12. Περίληψη

11.1 Εισαγωγή

Η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης είναι 288K (15° C). Η υψηλή αυτή θερμοκρασία παραμένει σ' αυτά τα επίπεδα λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, διαφορετικά θα ήταν 34 μονάδες κάτω. Υπάρχει ανησυχία ότι λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων CO₂ και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα θα υπάρξουν αυξήσεις στις υψηλές θερμοκρασίες της επιφάνειας της Γης. Υπάρχει επίσης ανησυχία λόγω της έκλυσης συγκεκριμένων αερίων στην ατμόσφαιρα, που προκαλεί μείωση του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα, επιτρέποντας την είσοδο υπεριώδους ακτινοβολίας όπως θα συζητηθεί στην ενότητα 11.3.

Πρέπει να γίνει διαχωρισμός μεταξύ του φαινομένου του θερμοκηπίου που κρατά την επιφάνεια της Γης θερμή, και του αναβαθμισμένου φαινομένου του θερμοκηπίου που τα αποτελέσματα είναι παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι benign, αλλά η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας θα προκαλέσει την αύξηση του επιπέδου της θάλασσας.

Αλλαγές στις ετήσιες και εποχιακές βροχοπτώσεις σε τοπικό επίπεδο και διαφοροποιήσεις στο φυτοσύστημα σε επίπεδα που δεν έχουν διασταυρωθεί ακόμα.

Τα αυξημένα επίπεδα της θάλασσας απαιτούν κεφάλαια για την δημιουργία φραγμάτων ώστε να αποφευχθούν ζημιές σε χωράφια και σε άσχημες περιπτώσεις

ανθρώπινες και ζωικές ζωές. Αυτά τα καιρικά σχέδια αντιθέτως μπορούν να προκαλέσουν ελλείψεις τροφίμων.

Παρ' όλο που η έκλυση CO₂ από την καύση καυσίμων άνθρακα είναι το βασικό πρόβλημα, υπάρχει μια αποδεκτή ροή CO₂ από την οξείδωση της εδαφικής οργανικής ουσίας και το κάψιμο των δασών. Το έδαφος είναι σημαντική πηγή ενώσεων όπως το CH₄, N₂O που προκαλούν φαινόμενα θερμοκηπίου. Θα πρέπει όμως πρώτα να καταγράψουμε τις ιδιότητες, φυσικές και χημικές, στην ατμόσφαιρα, προτού εξηγήσουμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

11.2 Η Ατμόσφαιρα : φυσικές ιδιότητες

Με βάση τις όγκο κατ'όγκο αναλογίες που αναμιγνύονται, όπως περιγράφονται από χημικούς που ασχολούνται με την ατμόσφαιρα, τα κύρια αέρια στην ατμόσφαιρα της Γης είναι το άζωτο (0,781) και το οξυγόνο (0,209). Το υπόλοιπο 1% αποτελείται από ευγενή και αδρανή αέρια, υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα, όζον και άλλα αέρια, κάποια από τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω. Μικρές συγκεντρώσεις συνήθως εκφράζονται ως επί το εκατομμύριο (ppmv) ή επί το δισεκατομμύριο (ppbv).

Η συνολική μάζα της ατμόσφαιρας είναι περίπου $5 \cdot 10^{18}$ kg. Τα κατώτατα 10 – 17 km αποτελούν την τροπόσφαιρα στην οποία η ανάμειξη των αερίων είναι γρήγορη. Πάνω από την τροπόσφαιρα, για 30 – 40 km είναι η στρατόσφαιρα, και μεταξύ αυτής και της τροπόσφαιρας υπάρχει η τροπόπαυση. Η αναλογία ανάμειξης των κύριων αερίων, δηλαδή, αζώτου και οξυγόνου, είναι σχεδόν η ίδια σε όλη την ατμόσφαιρα αλλά η πυκνότητα μειώνεται σχεδόν εκθετικά από την επιφάνεια της Γης. Η θερμοκρασία γενικά μειώνεται μέχρι την τροπόπαυση και μετά αυξάνεται μέχρι ένα ύψος περίπου 50 km.

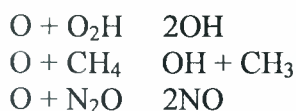
Μια θεωρία που χρησιμοποιείται από τους επιστήμονες που εξετάζουν την ατμόσφαιρα είναι ο «χρόνος διαμονής» (ατμοσφαιρικός χρόνος ζωής) των αερίων που εκπέμπονται μέσα στην ατμόσφαιρα. Υπολογίζεται ως ο λόγος του ποσού του αέρα στην ατμόσφαιρα, προς το ρυθμό απομάκρυνσής τους. Στη συγκέντρωση των 1,72 ppmv η ποσότητα του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι περίπου $4,3 \cdot 10^{12}$ kg. Αν το ετήσιο ποσοστό απομάκρυνσης είναι $4,3 \cdot 10^{11}$ kg, ο χρόνος διαμονής είναι 10 χρόνια.

11.3 Η ατμόσφαιρα :χημικές ιδιότητες

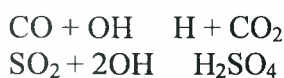
Οι χημικές διαδικασίες στην ατμόσφαιρα είναι συχνά περίπλοκες αλλά λίγες αντιδράσεις θα χρειαστεί να μας απασχολήσουν. Το όζον, O₃, στην στρατόσφαιρα είναι το αρχικό σημείο. Απορροφά ενέργεια στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας του φάσματος και διασπάται ως εξής :



όπου $h \cdot \nu$ η ενέργεια ενός φωτονίου και τα ηλεκτρόνια των προϊόντων βρίσκονται σε κατάσταση διέγερσης .Εξαιτίας των μεγάλων ποσοστών ενέργειας , διεγερμένα άτομα οξυγόνου αρχίζουν και άλλες σημαντικές αντιδράσεις .



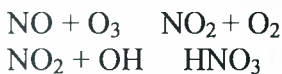
Οι ρίζες των αερίων μονοξειδίου του αζώτου (NO) ,υδροξείδιο (OH) και μεθύλιο (CH₃) είναι από μόνα τους δραστικές .Κατά τη διάρκεια της ημέρας , στην τροπόσφαιρα , το OH οξειδώνει διάφορα αέρια που εκπέπονται από την επιφάνεια της Γης .



που είναι εξισώσεις για τις ισχυρές αντιδράσεις και δεν εμφανίζουν ενδιάμεσα προϊόντα .

Η ρίζα του μεθανίου οξειδώνεται σε CO₂ και H₂O μέσα από μια σειρά ενδιάμεσων προϊόντων .Το μονοξείδιο του αζώτου πρώτα οξειδώνεται σε NO₂ και έπειτα σε HNO₃.Μια σημαντική αντίδραση του NO₂ στην τροπόσφαιρα είναι αυτή με πυροακετυλική ρίζα , CH₃CO-O₂, που παράγεται από την ατελή οξείδωση υδρογονάνθρακα .Το προϊόν είναι το πυροξυακετυλικό νιτρικό άλας ,γνωστό και ως PAN .Όζον και PAN είναι τα ερεθιστικά στοιχεία που βρίσκονται στον καπνό και ερεθίζουν τον άνθρωπο ,μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας όταν οι συνδιασμοί των συγκεντρώσεών τους υπερβαίνουν τα 0,25 – 0,3 ppmv.

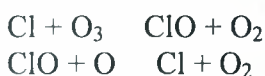
Τα σχετικά σταθερά αέρια , N₂O ,CFCs και κατά ένα μικρότερο βαθμό CH₄ ,αναμιγνύονται μέσα στην στρατόσφαιρα όπου οι χημικές τους αντιδράσεις συμπεριλαμβάνουν όζον .Οι αντιδράσεις που δεσμεύουν όζον και άτομα οξυγόνου και βρίσκονται σε διεγερμένη κατάσταση ,είναι περίπλοκες .Για παράδειγμα το νιτρικό οξύ που προέρχεται από μονοξείδιο του αζώτου οξειδώνεται περεταίρω , οδειγώντας στη διάλυση του όζοντος .



Τα CFCs, τα οποία είναι εξολοκλήρου δημιουργημένα από τον άνθρωπο, οδηγούν επίσης στη διάσπαση του όζοντος και μάλιστα σε μεγαλύτερη κλίμακα. Για παράδειγμα το CFC – 12 εν μέρη διασπάται από φωτόνια στην ατμόσφαιρα.



Μια αντίδραση τότε είναι:



Πρόσφατες έρευνες αποδεικνύουν εντούτις , ότι οι αντιδράσεις που συμπεριλαμβάνουν χλώριο , στην Ανταρκτική , γεγονός το οποίο μειώνει τη συγκέντρωση του όζοντος και κατ'επέκταση δημιουργεί αυτό που αποκαλούμε Τρύπα του Όζοντος ,είναι πιο περίπλοκο απ'ότι οι εξισώσεις δείχνουν .Το περισσότερο από το ατμοσφαιρικό όζον βρίσκεται στην στρατόσφαιρα .Όπως θα αναφερθεί παρακάτω , το όζον απορροφά σχεδόν όλη την UV από τον ήλιο μήκους κύματος μεταξύ των 0,2 – 0,3 μm .Αυτά τα μήκη κύματος είναι επιβλαβή σε όλα τα ζωντανά κύτταρα και μπορεί να προκαλέσουν καρκίνους .Γι'αυτό το λόγο η διάσπαση του στρατοσφαιρικού όζοντος προκαλεί μεγάλη ανησυχία .

11.4:Εκπέπουσα θερμότητα

Σχεδόν όλη η εισερχόμενη στη Γη ενέργεια , είναι η ηλιακή ακτινοβολία .Η ακτινοβολία που φτάνει στην ατμόσφαιρα της Γης από τον ήλιο έχει μήκος κύματος από 0,2 έως 4 μm που εκκίνονται στην εγγύ υπεριώδη ακτινοβολία (9%) ,στην ορατή (41%) και την εγγύ υπέρυθη (50%) .Αυτά τα μήκη κύματος καθορίζονται από την θερμοκρασία της ηλιακής επιφάνειας (περίπου 6000 K).Σχεδόν όλη η υπεριώδης από την ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τα ατμοσφαιρικά αέρια .Τα O και N απορροφούν την ηλ.υπεριώδη ακτινοβολία με κύματα μέχρι 0,2 μm και το όζον απορροφά μεταξύ 0,2 – 0,3 μm .Ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας διαθλάται (το οποίο δίνει χρώμα στον ουρανό) και σχεδόν 30% αντανακλάται πίσω στη διάστημα από τα σύννεφα και την επιφάνεια της Γης .Το υπόλοιπο θερμαίνει βράχους , εδάφη ,και όγκους νερού .Ο αέρας πάνω από την επιφάνεια τότε θερμαίνεται με αγωγιμότητα , με μεταφορά θερμοκρασίας με κύματα και ακτινοβολία .Κάποια από την απορροφούμενη ηλ .ακτινοβολία γίνεται λανθάνουσα θερμότητα καθώς το νερό εξατμίζεται , αλλά αργότερα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα όταν η συμπύκνωση και οι κατακρημνίσεις συμβαίνουν .Επειδή η επιφάνεια της Γης είναι πιο δροσερή απ'αυτήν του ήλιου , η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη Γη είναι μεγαλύτερων μηκών κύματος .(5 – 100 μm) που αναφέρονται ως υπέρυθη .Ενώ η ατμόσφαιρα είναι σχετικά διάφανη στην ηλ .ακτινοβολία τα ατμοσφαιρικά αέρια απορροφούν τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που εκπέπονται από την επιφάνεια τη Γης .Πολλά αέρια απορροφούν την υπέρυθη .Τα πιο σημαντικά είναι ο υδρατμός το οποίο είναι ενεργό σε ποικίλο βαθμό καθ'όλη την υπέρυθη .Ένα άλλο είναι το CO₂ το οποίο απορροφά μεταξύ 12 και 17 μm .Αυτά τα αέρια εκπέμπουν την απορροφούμενη ακτινοβολία στο ίδιο μήκος κύματος και κάποια απ'αυτή την ακτινοβολία εκπέμπεται πίσω στην επιφάνεια της Γης .Είναι η μακρά μήκους ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα η οποία κρατά την επιφάνεια της Γης θερμότερη απ'ότι θα ήταν σε άλλη περίπτωση .Τα αέρια που απορροφούν την υπέρυθη λέγεται ότι δρουν σαν τη σκεπή ενός θερμοκηπίου .Γι'αυτό έχουμε και τον όρο του φαινομένου το θερμοκηπίου παρ'όλο που η σύγκριση είναι λανθασμένη ,γιατί ο αέρας μέσα σ'ένα θερμοκήπιο είναι θερμότερος απ'ότι έξω κυρίως επειδή αποτρέπεται η απώλεια της μεταφερόμενης θερμότητας.Ένα παράδειγμα του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από ένα στρώμα σύννεφων το οποίο μπορεί να αποτρέψει το σχηματισμό πάγου τη νύχτα κατά τη διάρκεια του χειμώνα .

11.5 Ραδιενεργά αέρια

Σύννεφα ,υδρατμοί ,CO₂ ,CH₄ ,N₂O ,O₃ και οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) είναι τα κύρια συστατικά της ατμόσφαιρας τα οποία μειώνουν την απώλεια της

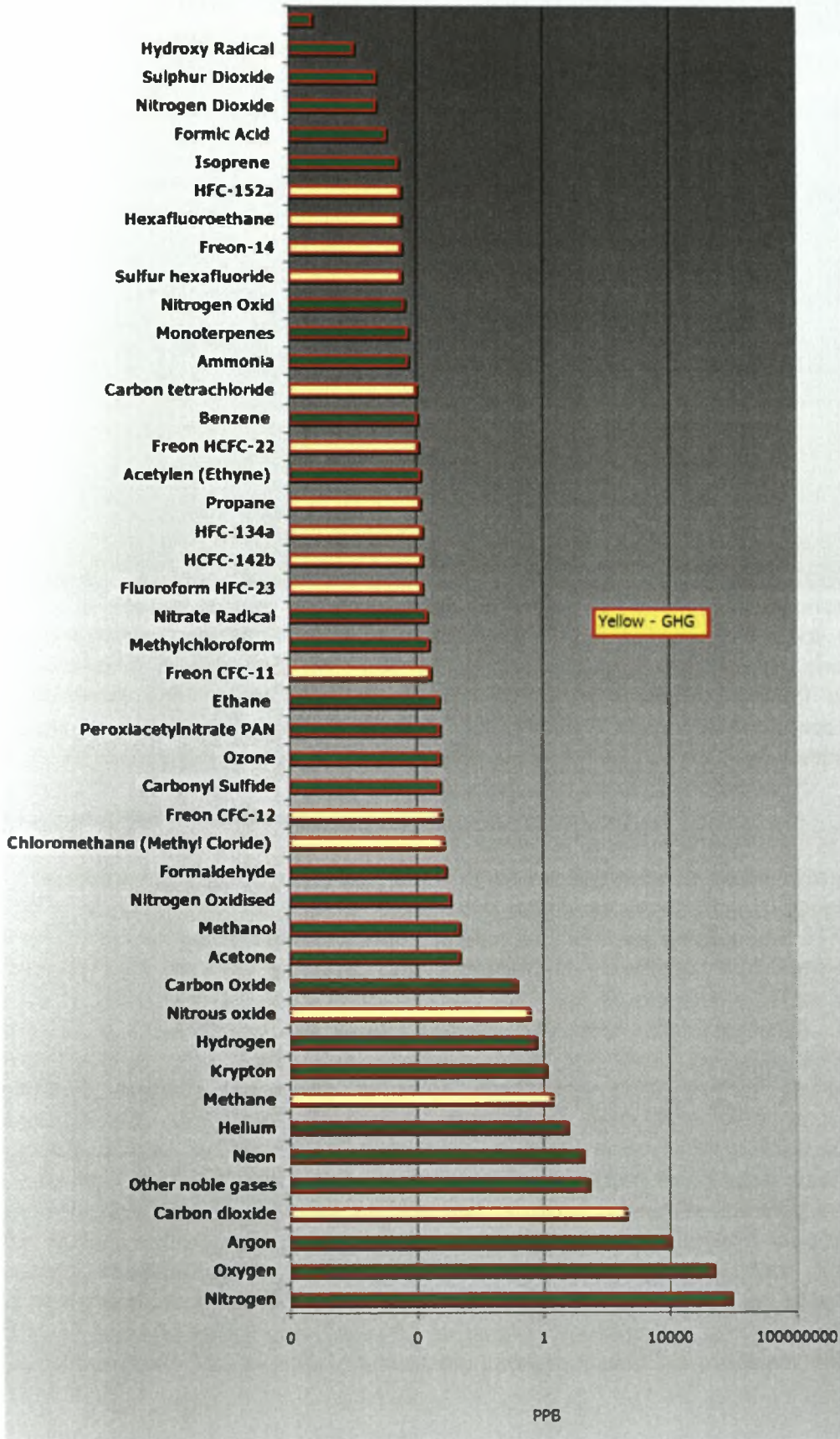
εκπέμπουσας υπέρυθρης ακτινοβολίας . Είναι γνωστά ως ακτινοβολούντα δραστικά αέρια (αέρια θερμοκηπίου) και παρατίθενται στη λίστα του πίνακα 11,1 μαζί με τις συγκεντρώσεις .Οι υδρατμοί δεν συμπεριλαμβάνονται γιατί η συγκεντρωσή τους είναι ποικίλη , το ίδιο και το όζον εξ' αιτίας της έλλειψης πληροφοριών του βαθμού συγκεντρώσεως με το χρόνο .

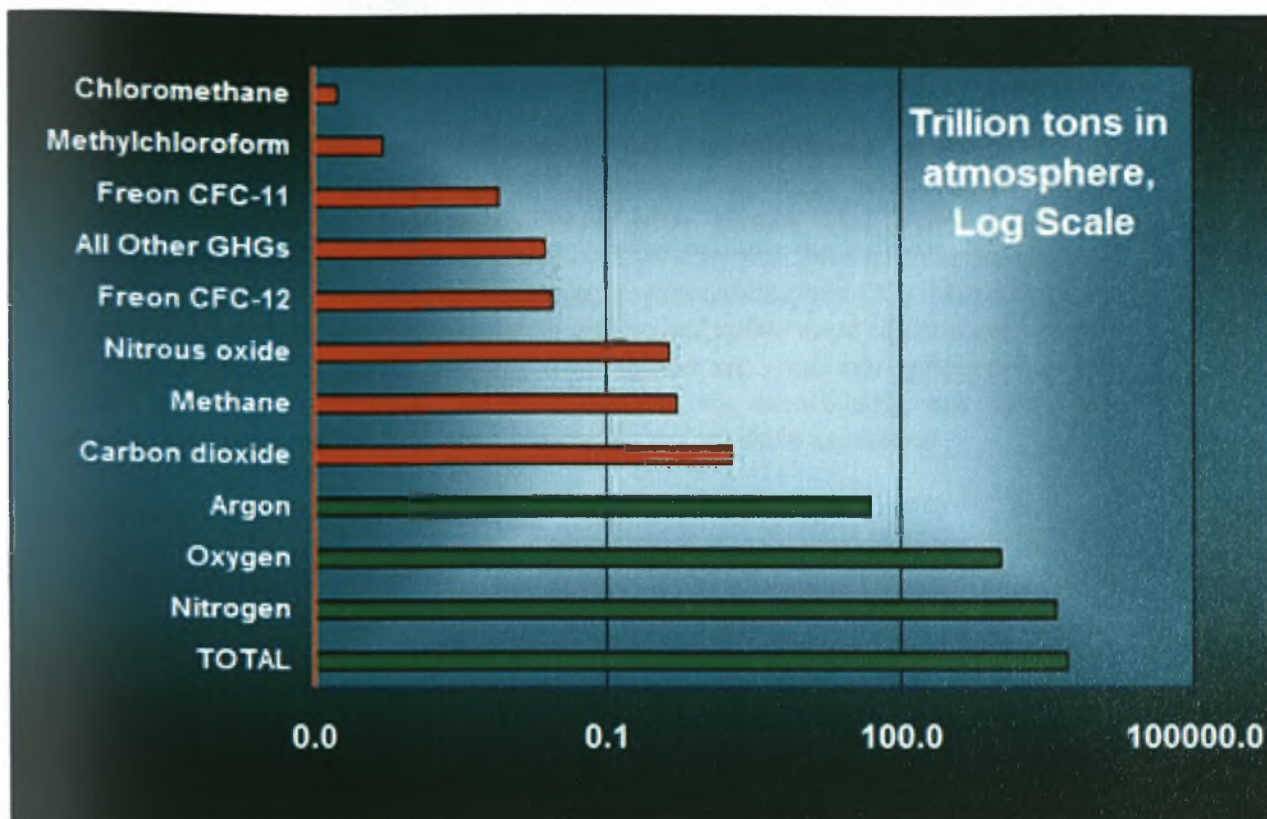
Η συγκεντρωση του κάθε αερίου καθορίζεται από τη ροή προς και από την ατμόσφαιρα και από τις χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα πολλές από οποίες είναι πολύπλοκες .Για παράδειγμα το CH_4 εκπέμπεται από αναερόβια (ξηρά) εδάφη και απορροφάται από «αερόβια» εδάφη ο κύριος χώρος όμως είναι η τροπόσφαιρα όπου αντιδρά με υδροξυλικές ρίζες .Αυτές οι ρίζες επίσης αντιδρούν με άλλα αέρια συμπεριλαμβανομένων των CO και NO_x ,(NO_x = οξειδίο του αζώτου ,μονοξειδίο του αζώτου , νιτρικό υπερδιοξειδίο , NO_2) .Αυξανόμενες συγκεντρώσεις των CO και NO_x που εκπέμπονται από τα μηχανοκίνητα ,πιστεύεται ότι κατεβάζουν τη συγκεντρωση αυτών των ριζών και έτσι μειώνουν το βαθμό καταστροφής του μεθανίου οδηγώντας σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στην τροπόσφαιρα .

Μαζί με τη ραδιενεργή δραστηριότητα κάποια απ'τα αέρια επηρεάζουν τη συγκεντρωση του στρατοσφαιρικού όζοντος .CFCs και N_2O είναι και τα δύο ραδιενεργά και τα δύο οδηγούν στην καταστροφή του όζοντος στη στρατόσφαιρα όπως έχει αναφερθεί πάνω από την Ανταρκτική , Αρκτική και αλλού τα πρόσφατα χρόνια .

Επίσης παρόντα στην ατμόσφαιρα είναι τα προοθητικά αέρια τα οποία είναι μόρια διαμέτρου μικρότερης από $3\mu\text{m}$ που παραμένουν να αιωρούνται στον αέρα .Αποτελούνται από άλατα φτιαγμένα από τον άνθρωπο π.χ. άλας αμμωνιούχου θείου το οποίο δημιουργείται κατά μεγάλο βαθμό από SO_2 , από την καύση απολιθωμένων καυσίμων και NH_4 από τα οργανικά λιπάσματα ,άλατα από την υγρασία της θάλασσας ,σωματίδια από βιομηχανικές εκπομπές ,σωματίδια του εδάφους που έχουν δημιουργηθεί από τη διάβρωση του αέρα και τα προϊόντα των ηφαιστιακών εκρήξεων .Η επίδραση τους στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας δεν έχει κατανοηθεί πλήρως .Το κύριο αποτέλεσμα είναι πιθανόν η αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας ,η μείωση της εισροής ενέργειας και κατε'πέκταση η «ψύξη» του πλανήτη .Μπορεί επίσης να επηρεάζουν τις ιδιότητες των σύννεφων με τρόπους που είναι ακόμα υπό εξερεύνηση .

Atmosphere Mix - Log Scale





Η Παγκόσμια αύξηση της θερμότητας οφείλεται σε αυξημένες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των CO_2 , CH_4 , CFCs και N_2O και το τροποσφαιρικό O_3 . Οι παρελκόμενες συνεισφορές στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη που έχουν υπολογιστεί από τις αυξηνόμενες συγκεντρώσεις τη δεκαετία του '80 και την ικανότητα να απορροφήσουν υπέρυθρη ακτινοβολία, παρουσιάζονται στο πλάνο 11,2. Το έδαφος είναι μια πηγή των CO_2 , CH_4 και N_2O όπως θα συζητηθεί παρακάτω

11.4 Διοξείδιο του άνθρακα

Η προβιομηχανική συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα, η οποία είναι γνωστή από τη συγκέντρωση του αέρα παγιδευμένου στον πάγο ήταν 280 ± 10 ppmv. Όταν συστηματικοποιημένη παρακολούθηση άρχισε το 1957 είχε ανέβει στα 315 ppmv. Μεταξύ 1976 και 1982 η χαμηλή ετήσια αύξηση σε 3 σταθμούς στον Ειρηνικό και στον Ν. Πόλο ήταν $1,5 \pm 0,2$ ppmv, δηλαδή 0,4 – 0,5 % ανά χρόνο. Μέχρι τα τέλη του '80 η συγκέντρωση είχε φτάσει περίπου 350 ppmv. Οι πληροφορίες από το παρατηρητήριο του Mauna Loa δείχνουν αυτήν την τάση. Δείχνουν επίσης μια σταθερή εποχιακή απόκλιση η οποία αποδίδεται κατά μεγάλο βαθμό στη φωτοσύνθεση της γήινης βλάστησης στο βόρειο ημισφαίριο (έχει μεγαλύτερη χερσαία έκταση απ'ότι το νότιο) και στην αποσύνθεση των φυλλωμάτων και στην οργανική ύλη του εδάφους. Έχει υπολογιστεί ότι η αύξηση των 9 ppmv μεταξύ των 1976 και 1982 αντιπροσωπεύει το 54% των γνωστών εκπομπών του CO_2 σε αυτήν την περίοδο από την καύση των απολιθωμένων καυσίμων η παραγωγή του τσιμέντου επίσης συμβάλλει στις εκπομπές. Το μεταμορφωμένο δια του αέρος ποσοστού γίνεται χαμηλότερο από 50% όταν οι εκπομπές του CO_2 από το κάψιμο εδάφους και δάσους συμπεριλαμβάνονται. Όπως θα συζητηθεί παρακάτω αυτές οι εκπομπές είναι μικρές ποσοτικά. Μια ακριβής σημασία του μεταφερόμενου δια του αέρος ποσοστού

, και ειδικότερα αν αυτό αλλάζει με τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις CO₂ είναι σημαντικές για την πρόβλεψη του μεγέθους της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Πιστεύεται ότι οι ωκεανοί είναι χώρος για το CO₂ το οποίο δεν μεταφέρεται με τον αέρα, αλλά η ποσότητα που απορροφάται από τους ωκεανούς είναι ακόμα ένα θέμα προς μελέτη.

Οι ετήσιες εκπομπές από την καύση των αποληθωμένων καυσίμων έχουν καταγραφεί και είναι περίπου $5,4 \cdot 10^{15}$ g CO₂ - C. Ένας υπολογισμός για το παγκόσμιο ισοζύγιο του CO₂ παρατίθενται στον πίνακα 11.2. Αυτό δίνει μια σημαντική ανισορροπία που ακόμα δεν μπορεί να εξηγηθεί. Μια πιθανότητα είναι ότι η φωτοσύνθεση ανεβαίνει από τις αυξημένες συγκεντρώσεις του CO₂. Μια άλλη είναι ότι η ανάπτυξη των φυτών ενεργοποιείται από το αυξημένο ποσό αζώτου και πιθανόν μερών θείου που αποτίθενται από την ατμόσφαιρα και από την χρήση οργανικών περιττωμάτων και λιπασμάτων. Τα αποτελέσματα της αποψίλωσης των δασών και οξείδωσης των οργανικών υλών του εδάφους θα συζητηθούν παρακάτω.

Ροή άνθρακα και CO₂ εδάφους

Η συνολική ποσότητα άνθρακα, που περιλαμβάνει η οργανική ύλη του εδάφους από τον κόσμο είναι 1500×10^{15} g, που είναι το ίδιο με τον συνδυασμό του άνθρακα της χλωρίδας και του ατμοσφαιρικού CO₂. Επιπρόσθετα, τα εδάφη συχνά περιέχουν κάρβουνο καθώς και μεγάλα ποσά CaCO₃ και MgCO₃.

Η οξείδωση της εδαφικής οργανικής ύλης, δίνει ενέργεια για τους οργανισμούς του εδάφους. Το CO₂ που είναι προϊόν της αναπνοής εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Εάν όλοι οι άνθρακες που βρίσκονται στην οργανική ύλη του εδάφους εκλύονταν στην ατμόσφαιρα θα ήταν διπλή (airborne Fraction 0,5).

Σε ένα σταθερό οικοσύστημα με σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες ο οργανικός άνθρακας στο έδαφος θα έφτανε ένα σταθερό σημείο. Οι τιμές προσθήκης και απώλειας άνθρακα γίνονται ίσες και ο οργανικός άνθρακας βρίσκεται σε ισορροπία (equilibrium). Όταν το έδαφος καλλιεργείται μειώνεται και αλλάζει όταν οι συνθήκες αλλάζουν. Μια αλλαγή στον οργανικό άνθρακα θα επηρεάσει την συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα.

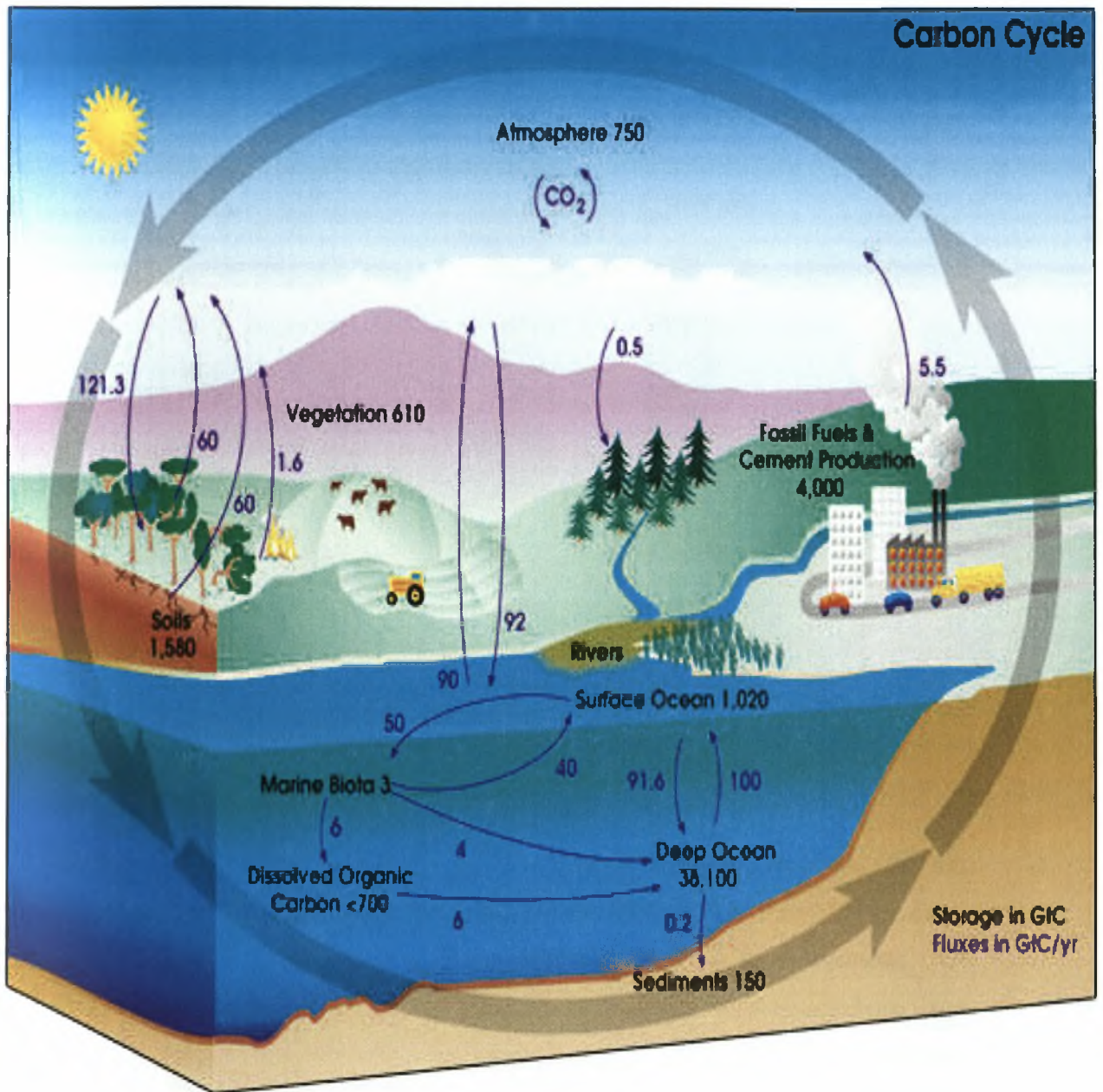
Οι ρυθμοί των αλλαγών στην ποσότητα του άνθρακα στο έδαφος, είναι τόσο γρήγοροι και μπορούν είτε να μειώσουν είτε να διπλασιαστούν σε μια περίοδο μερικών δεκαετιών. Ο άνθρακας στο φύλλωμα μειώνεται άμεσα, λίγο πιο αργά στο έδαφος, όταν έχουμε αποψίλωση δάσους ώστε να γίνει καλλιεργήσιμη έκταση, και αυξάνεται ξανά όταν το δάσος αναπληρώνεται. Η παγκόσμια απελευθέρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα αλλαγής.

Πίνακας 11.3 Περιεχόμενα άνθρακα από δυο παγκόσμια δασικά οικοσυστήματα, ανισοκατανεμημένα, στη διάρκεια καλλιέργειας και μετέπειτα

	Τροπικά υγρά δάση	Εύκρατα δάση φυλλοβόλων δέντρων
Περιοχή στα 1700 (Mha)	1352	612
Άνθρακας σε βλάστηση ακατανέμητου δάσους (t ha ⁻¹)	200	135
Άνθρακας σε έδαφος αδινέμητου δάσους (t ha ⁻¹)	117	134
Άνθρακας σε φυτεία σε περίοδο καλλιέργειας (t ha ⁻¹)	5	5
Ελάχιστος άνθρακας στο έδαφος σε καλλιέργεια (t ha ⁻¹)	58	67
Άνθρακας σε βλάστηση δευτερεύοντος δάσους (t ha ⁻¹)	150	100
Άνθρακας σε έδαφος δευτερεύοντος δάσους (t ha ⁻¹)	88	120

Πηγή : From Houghton, R.A. *et al.*, 1983. *Ecological Monographs* 53, 235–262.

.....των φυσικών οικοσυστημάτων έως την γεωργία δεν είναι γνωστό με καμιά σιγουριά. Οι εκτιμήσεις όσον αφορά την περιεκτικότητα του άνθρακα στην βλάστηση και στα εδάφη των μη κατανεμημένων τροπικών και εύκρατων δασών και κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας δίνονται στον πίνακα 11.3. Χρησιμοποιώντας τις ίδιες πληροφορίες για όλα τα οικοσυστήματα και την υπολογιζόμενη έκταση της μετατροπής σε γεωργία, έχει υπολογισθεί ότι έως το 1960 η καθαρή εκπομπή του CO₂ από την βλάστηση και τα εδάφη είχε υπερβεί εκείνη από την καύση των φυσικών καυσίμων. Πρόσφατα η ετήσια συμβολή από την αποψίλωση και την αλλαγή της χρήσης γης πιστεύεται να είναι 1.6×10^{15} g CO₂ δηλαδή περίπου 23% της συνολικής εκπομπής του 7×10^{15} g CO₂ – C στην ατμόσφαιρα. Η καθαρή εκπομπή από τα εδάφη είναι ενδεχομένως λιγότερη από ότι από την βλάστηση και ενδεχομένως να είναι στο πεδίο από 0.2 έως 0.5×10^{15} g CO₂ – C ετησίως.



11.7 Μεθάνιο

Η συγκέντρωση του μεθανίου, CH_4 , στον αέρα που παγιδεύτηκε στον πάγο για περισσότερο από 300 χρόνια πριν είναι περίπου 0.8 ppmv. Η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα το 1990 ήταν 1.72 ppmv και αυξάνει με ένα ρυθμό 0.9% ανά έτος. Απ' το 1980 έχει υπάρξει ο τρίτος μεγαλύτερος συντελεστής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όχι μόνο απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία, αλλά προκαλεί ανησυχία επειδή έχει επίσης επιζήμιες χημικές συνέπειες στην ατμόσφαιρα αντιδρώντας με ρίζες OH, και έχει μακρά διάρκεια παραμονής περίπου 10 χρόνια.

Περίπου 43% της εκπομπής του CH₄ στην ατμόσφαιρα είναι από τα φυσικά έλη και τους ορυζώνες (Πίνακας 11.4).

Πίνακας 11.4 Εκτιμώμενες πηγές και λεκάνες μεθανίου

	Ετήσια απελευθέρωση	
	(Mt CH ₄)	Οριο (Mt CH ₄)
Πηγή		
Φυσικοί υγρότοποι(βάλτοι, τουνδρα κτλ)	115	100–200
Οριζώνες ρυζιού	110	25–170
Εντερικές διαταραχές(ζώα)	80	65–100
Γεωτρήσεις, εξαερισμοί γκαζιού.	45	25–50
Φλεγόμενη βιομάζα	40	20–80
Τερμίτες	40	10–100
Υνειονομεικές ταφες	40	20–70
Εξόριξη άνθρακα	35	19–50
Ωκεανοί	10	5–20
Γλυκά νερά	5	1–25
CH ₄ αποσταθεροποίηση αλάτων	5	0–100
Λεκάνη		
Μετακίνηση από εδάφη	30	15–45
Επίδραση με OH στην ατμόσφαιρα	500	400–600
Ατμοσφαιρική αύξηση	44	40–48

^aΑπελευθέρωση του μεθανίου από το υπέδαφος στα βόρεια πλάτη

Πηγή : From Houghton *et al.*, 1990 (see Table 11.1), with permission.

Ένα μέρος του CH₄ που εκπέμπεται οξειδώνεται στην τροπόσφαιρα σε H₂, CH₃ και CO, και ένα μέρος διαφεύγει στην στρατόσφαιρα όπου καταστρέφει το όζον και όπου είναι πηγή νερού το οποίο μπορεί να αυξήσει τα νέφη της στρατόσφαιρας. Οι αντιδράσεις του στην τροπόσφαιρα ενδεχομένως να μειώνουν τις συγκεντρώσεις του OH, γεγονός που μπορεί να αυξάνει την επιμονή του. Η πλήρης οξείδωσή του είναι σε CO₂ και H₂O, αλλά οι αντιδράσεις που παράγουν αυτά τα τελικά προϊόντα είναι περίπλοκες και εξαρτώνται από την συγκέντρωση των οξειδίων του αζώτου (NO_x) στην ατμόσφαιρα.

Η ροή του μεθανίου από το έδαφος

Το μεθάνιο παράγεται από βιολογικές διαδικασίες υπό υγρές συνθήκες όπου το οξυγόνο αποκλείεται (αναερόβιες συνθήκες) και γι' αυτό το λόγο συνήθιζε να είναι γνωστό ως αέριο των ελών. Τα βακτήρια που παράγουν μεθάνιο (μεθανογόνα) μπορούν να χρησιμοποιήσουν αρκετά υποστρώματα που σχηματίζονται από την αποσύνθεση φυτικού υλικού. Το οξικό άλας και ένα μείγμα H₂ και CO₂ εμφανίζονται να είναι τα πιο σημαντικά στα εδάφη. Αυτό παράγεται μόνο σε ένα έντονα αναγωγικό μέσο (Eh<100mv) και συνεπώς κανονικά παρεμποδίζεται από το SO₄²⁻

καθώς είναι παρών σε θαλάσσιους βάλτους, γεγονός που διατηρεί ένα υψηλότερο Eh. Καθώς το μεθάνιο μπορεί να οξειδωθεί σε νερό που περιέχει διαλυμένο οξυγόνο, το ποσό που φθάνει στην επιφάνεια εξαρτάται από το βάθος του νερού. Ο βαθμός παραγωγής του γενικά αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

Τα μεθανογόνα βακτήρια έχουν ένα βέλτιστο pH περίπου 7 έτσι ώστε οι εκπομπές CH₄ είναι χαμηλές από τους όξινους βάλτους. Το έδαφος που μπορεί να είναι αερόβιο μπορεί να είναι μια εδαφική λεκάνη για το ατμοσφαιρικό CH₄, αν και ενδέχεται να μην είναι σημαντικό.

Οι λίγες μετρήσεις χωραφιών σε εκπομπές μεθανίου από εδάφη και βάλτους έχουν γίνει από μια μέθοδο στατικού κλειστού τμήματος. Στους ορυζώνες το κλειστό τμήμα πλημμυρίζεται με νερό πάνω σε φυτά ρυζιού και το αέρα μέσα λαμβάνεται ως δείγμα μετά από σύντομα χρονικά διαστήματα (30-60 min) για ανάλυση CH₄. Οι μετρήσεις σε ορυζώνες στην Ιταλία έδειξαν ότι το CH₄ εκπέμπονταν από την στιγμή του πλημμυρίσματος, με υψηλότερα επίπεδα τη στιγμή του βλαστήματος και της ανθοφορίας.

Οι εκπομπές ήταν υψηλότερες παρουσία φυτών παρά απουσία τους, δείχνοντας ότι τα μείγματα άνθρακα που απελευθερώνονταν από τις ρίζες των φυτών ήταν υποστρώματα για τα μεθανογόνα βακτήρια. Υπάρχουν στοιχεία ότι κάποιο από το CH₄ φέρονταν στην ατμόσφαιρα μέσα από το αερέγχυμα των ριζών και των μίσχων των φυτών.

Η μέθοδος της μέτρησης κλειστού τμήματος έχει δείξει υψηλή χρονική και χωρική διακύμανση σε εκπομπές CH₄. Το πρόβλημα της χωρικής διακύμανσης μπορεί να μειωθεί καθορίζοντας την μέση συγκέντρωση σε αποστάσεις αρκετών μέτρων χρησιμοποιώντας δέσμες λέιζερ συντονισμένες με την απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας από το CH₄. Η μέθοδος είναι ευαίσθητη αλλά επειδή η χρήση οργάνων είναι ακριβή δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως.

Οι εκτιμήσεις των παγκοσμίων εκπομπών του CH₄ από ορυζώνες και έλη συνεχώς αναθεωρούνται καθώς καταγράφονται νέες μετρήσεις και εκείνες που δίνονται στον πίνακα 11.4 μπορεί να επίσης να αλλάξουν, εκτός από την σπανιότητα των μετρήσεων, ιδιαίτερα από ανταλλαγές, καθώς ακόμη δεν υπάρχει μοντέλο που να ενσωματώνει τις περιβαλλοντικές συνθήκες που ελέγχουν την παραγωγή και την εκπομπή μεθανίου. Οι περιοχές που είναι κάτω από έλη, και τα διαφορετικά είδη ελών επίσης δεν είναι καλά γνωστές.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CH₄ έχει αυξηθεί σε ένα βαθμό περίπου 0.9% ανά έτος. Αυτή η αύξηση γενικά αποδίδεται στην αύξηση στην περιοχή καλλιέργειας ρυζιού σε πλημμυρισμένα χωράφια (20% αύξηση μεταξύ του 1960 και 1980), στην διαρροή από την παραγωγή φυσικού αερίου, στον αυξανόμενο αριθμό των οικόσιτων βοοειδών και προβάτων και στο αυξανόμενο κάψιμο της βλάστησης.

11.8 Νιτρώδη οξείδια και νιτρικά οξείδια

Η παρούσα (1990) συγκέντρωση νιτρωδών οξειδίων, N₂O, στην ατμόσφαιρα είναι 310 ppbv και αυξάνεται περίπου 0,25% ανά έτος. Έχει χρόνο διάρκειας στην ατμόσφαιρα περίπου 150 χρόνια. Απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία αλλά εξαιτίας της χαμηλής τους συγκέντρωσης έχει μόνο μικρή επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εξαιτίας του μεγάλου χρόνου διάρκειας, ωστόσο, έχουν πιο σοβαρές επιπτώσεις στην στρατόσφαιρα όπου αντιδρούν με το διεγερμένο ατομικό οξυγόνο για να δώσουν νιτρικό οξείδιο, NO, το οποίο καταστρέφει το όζον. Οι εκτιμήσεις των πηγών και των εδαφικών λεκανών του N₂O δίνονται στον πίνακα 11.5.

Νιτρώδες και νιτρικά οξείδια

223

Πίνακας 11.5 Πηγές και σχετοί νιτρωδών οξειδίων

	Range (Mt N a ⁻¹)
Πηγές	
Ωκεανοί	1.4–2.6
Εδάφη(τροπικά δάση)	2.2–3.7
Εδάφη(εύκρατα δάση)	0.7–1.5
Καύση	0.1–0.3
Φλεγόμενη βιομάζα	0.02–0.2
Λιπάσματα(συμπεριλαμβανομένου νερού εδάφους)	0.01–2.2
Σύνολο	4.4–10.5
Λεκάνες	
Μετακίνηση απο εδάφη	?
Επιδράσεις στην στρατόσφαιρα	7–13
Ατμοσφαιρική άνοδος	3–4.5

Πηγή : From Houghton *et al.*, 1990 (see Table 11.1); with permission.

Η ροή των οξειδίων αζώτου από το έδαφος

Το νιτρώδες οξείδιο παράγεται κυρίως από βιολογική αναγωγή του νιτρικού άλατος, μια διαδικασία γνωστή ως απονίτρωση. Η διαδικασία συμβαίνει υπό αναερόβιες συνθήκες. Λαμβάνει χώρα πιο γρήγορα όταν το έδαφος είναι ζεστό και περιέχει

εύκολα αποσυντιθέμενο οργανικό υλικό. Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν NO_3 αντί για O_2 ως δέκτη ηλεκτρονίων, παράγοντας NO , N_2O , N_2 .

Τα νιτρώδες οξείδια και τα νιτρικά οξείδια επίσης απελευθερώνονται κατά την νιτροποίηση. Η διαδικασία της νιτροποίησης είναι η οξείδωση του NH_4 και μπορεί να γραφεί ως εξής:



Τα ενδιάμεσα στις παρενθέσεις είναι ασταθή και είτε χημικά είτε διαμέσου ενζυμικής δραστηριότητας δίνουν προϊόντα που περιλαμβάνουν το N_2O και NO . Τα επίπεδα παραγωγής του N_2O μ' αυτή τη διαδικασία είναι χαμηλότερα από την βιολογική απονίτρωση, αλλά καθώς τα περισσότερα εδάφη στον κόσμο αερίζονται καλά τον περισσότερο καιρό, η διαδικασία πιστεύεται ότι συνεισφέρει σημαντικά στην παγκόσμια ροή του N_2O και NO . Η παγκόσμια ροή του NO δεν είναι ακόμη γνωστή.

Οι μετρήσεις των ροών του N_2O έχουν γίνει από μία ποικιλία μεθόδων. Συμπεριλαμβάνουν τη χρήση ενός κλειστού καλύμματος τοποθετημένο στην κορυφή του εδάφους, ο αέρας μέσα σ' αυτό λαμβάνεται ως δείγμα μετά από σύντομα χρονικά διαλείμματα. Εναλλακτικά ο αέρας μπορεί να τραβηχτεί μέσω ενός καλύμματος, το N_2O παγιδεύεται σε ένα μοριακό ηθμό. Σε μια τροποποίηση της μεθόδου κλειστού-καλύμματος, το βασικό τμήμα του εδάφους που παίρνεται από το χωράφι τοποθετείται σε αεροστεγή δοχεία και ο αέρας μέσα σ' αυτά λαμβάνεται ως δείγμα για N_2O μετά από σύντομα χρονικά διαλείμματα. Η συγκέντρωση του N_2O υπολογίζεται με χρωματογραφία αερίου.

Όπως και με το CH_4 , υπάρχει μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα στην εκπομπή του CH_4 από τα εδάφη. Σε μια μελέτη 350 μετρήσεων χρειάστηκε ένα τμήμα γης 108 m^2 για τη μέση αριθμητική τιμή του δείγματος για να είναι μέσα στο $\pm 10\%$ της αληθινής μέσης τιμής. Η μέθοδος της συντονισμένης δέσμης λέιζερ που αναφέρθηκε παραπάνω για τον καθορισμό του CH_4 μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για το N_2O για να αποδυναμώσει το πρόβλημα της χωρικής μεταβλητότητας.

Για να βγάλουμε συμπεράσματα από περιοχές όπου έχουν γίνει μετρήσεις χρειάζεται μια ποσοτική περιγραφή των παραγόντων που ελέγχουν τις εκπομπές του N_2O . Οι παράγοντες είναι ο αερισμός (ή η περιεκτικότητα σε νερό) του εδάφους, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση νιτρικών αλάτων, η εύκολα αποσυνθέσιμη οργανική ύλη και το pH. Οι εξισώσεις έχουν προσαρμοσθεί στα υπάρχοντα δεδομένα, αλλά καμία δεν έχει ελεγχθεί ευρέως υπό συνθήκες αγρού.

Η θερμοκρασία του εδάφους και η περιεκτικότητα σε νερό επηρεάζουν την παραγωγή του N_2O μετά την εφαρμογή νιτρικού άλατος αμμωνίου ως λίπασμα. Αυτό φάνηκε σε ένα πείραμα στον αγρό σε λιβάδι στην νότια Αγγλία, στο οποίο έγιναν τέσσερις εφαρμογές λιπάσματος κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού, εφαρμόζοντας στην κάθε μια $62.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$. Η παραγωγή ήταν η πιο ψηλή τον Ιούλιο όταν το έδαφος ήταν ζεστό και υγρό. Ήταν λιγότερη Απρίλιο-Μάιο και Αύγουστο-Σεπτέμβριο όταν το έδαφος ήταν πιο κρύο και ξηρότερο αντίστοιχα. Το υψηλότερο επίπεδο ήταν $212 \text{ g N}_2\text{O} -\text{N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Ανάμεσα στις περιόδους που η παραγωγή ήταν στο αποκορύφωμα το έδαφος ενεργούσε ως μια αδύναμη εδαφική λεκάνη, απορροφώντας έως $10 \text{ g N}_2\text{O} -\text{N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Οι αναφερόμενες απώλειες του αζώτου ως N_2O κυμαίνονται από λιγότερο από $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ έως $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Οι υψηλότερες τιμές είναι από εδάφη που λιπαίνονταν και ποτίζονταν και ήταν πλούσια σε οργανική ύλη. Από εδάφη ακαλλιέργητα/αβόσκητα, χωρίς λίπασμα σε εύκρατες περιοχές η ετήσια απώλεια έχει τεθεί στο 0.2 kg ha^{-1} και σε 1-2% λιπάσματος αζώτου. Καθώς η ετήσια παγκόσμια χρήση λιπάσματος αζώτου είναι περίπου 60 εκατομμύρια τόνοι, η απώλεια του 1.5% θα έδινε περίπου 1 Mt N ως N_2O ετησίως. Οι λίγες μετρήσεις που αναφέρθηκαν από τροπικά δάση που δεν είχαν λιπανθεί δείχνουν ότι αυτά είναι μια μεγάλη πηγή, που ενδεχομένως οδηγεί σε μια ετήσια παραγωγή μεταξύ 6 και 8 Mt του N ως N_2O μόνο από το οικοσύστημα. Εάν το επίπεδο παραγωγής από τα τροπικά δάση επιβεβαιώνεται τα στοιχεία για τις παγκόσμιες εκπομπές θα χρειαστεί να αναθεωρηθούν.

Τα νιτρώδη οξείδια είναι ένα αδύναμα διαλυτό αέριο. Τα μικρά ποσά μπορούν να απομακρυνθούν από το έδαφος με το νερό αποστράγγισης και θα μπορούσαν αργότερα να περάσουν στην ατμόσφαιρα. Σε ένα πείραμα $0.25 \text{ kg N}_2\text{O} -\text{N ha}^{-1}$ χάθηκαν μ' αυτό το μέσο σε μια πεντάμηνη χειμερινή περίοδο όταν $0.15-0.9 \text{ kg}$ εκλύθηκαν από την επιφάνεια του εδάφους στην ατμόσφαιρα.

Το νιτρικό οξείδιο επίσης παράγεται στα εδάφη. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω αυτό είναι ένα προϊόν στην νιτροποίηση και επίσης παράγεται από την χημική αποσύνθεση του νιτρώδους άλατος υπό όξινες συνθήκες. Από τις λίγες μετρήσεις σε αγρούς που έχουν καταγραφεί έως τώρα φαίνεται ότι οι εκπομπές του NO θα μπορούσαν να ξεπεράσουν εκείνες για το N_2O . Στην ατμόσφαιρα αυτό οξειδώνεται σε NO_2 .

11.9 Άλλα αέρια.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι παρόν στην τροπόσφαιρα σε μια χαμηλή συγκέντρωση των 110 ppbv, η οποία θα μπορούσε να αυξηθεί. Ο χρόνος παραμονής του είναι περίπου 0.3 χρόνια. Αν και δεν απορροφάται σημαντικά στην υπέρυθη ακτινοβολία, το CO καθαρίζει το ατμοσφαιρικό OH το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες συγκεντρώσεις του O₃, CH₄ και άλλων υδρογονανθράκων στην τροπόσφαιρα. Η κύρια πηγή του είναι η ατελής οξείδωση των φυσικών καυσίμων, αλλά λίγο παράγεται από φυτά κατά τη διάρκεια της φωτοαναπνοής. Μερικές διαδικασίες στα εδάφη, ενδεχομένως η αυτό-οξείδωση των οργανικών συνθέσεων, επίσης δίνει CO. Πολλοί οργανισμοί του εδάφους οξειδώνουν το CO σε CO₂ και μερικοί μπορεί να χρησιμοποιούν τον άνθρακα για την ανάπτυξη, κάνοντας το έδαφος μια εδαφική λεκάνη για το ατμοσφαιρικό CO.

Το υδρογόνο είναι παρόν στην ατμόσφαιρα σε μια συγκέντρωση των 550 ppbv. Ο χρόνος παραμονής του είναι περίπου 2 χρόνια. Έχει επιζήμια επίδραση επειδή μειώνει τη συγκέντρωση του OH στην τροπόσφαιρα. Το έδαφος δεν είναι σημαντική πηγή και συνήθως είναι περισσότερο μια καθαρή λεκάνη. Ωστόσο, παράγεται σε αναερόβιες περιοχές στα εδάφη, αν και δεν εκλύεται αναγκαία στην ατμόσφαιρα επειδή μπορεί να καταναλωθεί από μεθανογόνα βακτήρια και από αερόβια όταν υπάρχει οξυγόνο. Η εκπομπή σε τοξικά περιβάλλοντα είναι πιθανά περιορισμένη σε μερικές ποικιλίες/στελέχη του *Rhizobium* κατά τη διάρκεια της καθήλωσης αζώτου στις ρίζες των οσπρίων. Η εκπομπή φαίνεται να μη συμβαίνει από άλλους οργανισμούς καθήλωσης αζώτου.

Τα εδάφη είναι μια πηγή ή μια εδαφική λεκάνη για άλλα αέρια τα οποία επηρεάζουν την ατμοσφαιρική χημεία. Η αμμωνία εκλύεται από ζωικά απεκκρίματα, την κοπριά, το έδαφος, την οργανική ύλη και από λιπάσματα που έχουν pH πάνω από 7-7.5. Σχηματίζει αέρια από σουλφατίδια του αμμωνίου και άλλα άλατα, τα οποία μπορούν να αυξήσουν το ανακλώμενο φως της ατμόσφαιρας. Ο χρόνος παραμονής της στην ατμόσφαιρα είναι μόνο λίγες μέρες, αλλά λίγη θα μπορούσε να οξειδωθεί στην τροπόσφαιρα σε οξείδια του αζώτου.

Οι αναγωγικές μορφές του θείου συμπεριλαμβάνοντας το hydrogen sulphide και το dimethylsulphite εκλύονται από αναερόβια εδάφη. Μπορούν να οξειδωθούν στην ατμόσφαιρα σε θείο, οδηγώντας έτσι στο σχηματισμό αερίων αμμωνιούχου σουλφατιδίου που αναφέρθηκε πιο πάνω.

11.10 Αλλαγές του παγκοσμίου κλίματος

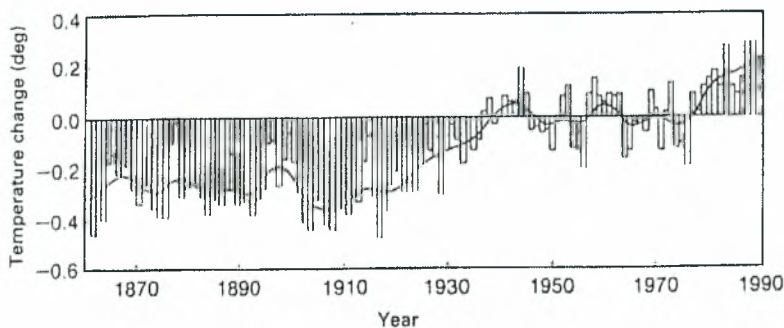
Αλλαγές στο παρελθόν

Απ' το τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων περίπου 100 χρόνια πριν, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία διαφέρει απ' το παρόν κατά 1 με 2 βαθμούς. Κατά τη διάρκεια των περασμένων 2 εκατομμυρίων ετών (Πλειστόκαινος) η θερμοκρασία έχει μεταβληθεί κατά 5-7 βαθμούς. Περιφερειακά, η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά 10-15 βαθμούς κατά τη διάρκεια της Πλειστόκαινης, και σε εκείνα τα βόρεια γεωγραφικά πλάτη 5000-6000 χρόνια πριν οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες θα μπορούσαν να είναι 3-4 βαθμούς ψηλότερες απ' ότι είναι τώρα.

Υπάρχει αβεβαιότητα για τις ακριβείς αλλαγές των θερμοκρασιών στο παρελθόν, τόσο παγκοσμίως όσο και τοπικά. Αυτό συμβαίνει επειδή αυτές βασίζονται σε πορίσματα απ' την βλάστηση που φαίνεται απ' τα απομεινάρια της γύρης και τους δακτυλίους των δέντρων, την έκταση των παγετώνων και από τη σύνθεση ωκεάνιων ιζημάτων. Απ' το 1900 όταν οι θερμοκρασίες έχουν μετρηθεί άμεσα, αν και όχι με παγκόσμια κάλυψη ή σταθερή χρήση οργάνων, η παγκόσμια αύξηση υπήρξε 0.45 ± 0.15 βαθμούς. Αυτή η αύξηση δεν μπορεί ακόμη να αποδοθεί χωρίς αμφιβολία σε αυξημένες συγκεντρώσεις των αερίων του φαινόμενου του θερμοκηπίου.

Παγκόσμια θερμότητα και εδάφη

229



Σχήμα 11.6 Παγκόσμιος μέσος όρος γης-αέρα σε συνδυασμό με τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας, 1861-1989, παρόμοιος στον μέσο όρο για 1951-1980 (Από Houghton)

Οι αλλαγές της θερμοκρασίας στο παρελθόν αποδίδονται σε διάφορες αιτίες συμπεριλαμβάνοντας την απόσταση της Γης από τον ήλιο και μια αλλαγή στην κλίση του άξονα της Γης. Η χημική ανάλυση του αέρα που είναι παγιδευμένος στον πάγο

έχει δείξει ότι η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα ήταν χαμηλότερη κατά την διάρκεια της τελευταίας Εποχής των Παγετώνων. Αυτό θα μπορούσε να υποδηλώνει ότι η Εποχή των Παγετώνων προκλήθηκε από χαμηλή συγκέντρωση CO₂, το οποίο θα μπορούσε να μειώσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, εξίσου πιθανό είναι ότι η Εποχή των Παγετώνων είχε μια άλλη αιτία και ότι η συγκέντρωση του CO₂ ήταν χαμηλή επειδή το περισσότερο απομακρύνονταν από την ατμόσφαιρα από την μεγαλύτερη διαλυτότητά του στο νερό σε χαμηλές θερμοκρασίες, το οποίο θα είχε οξύνει αλλά δεν θα είχε προκαλέσει την Εποχή των Παγετώνων. Το έναυσμα για την αλλαγή της θερμοκρασίας στο παρελθόν παραμένει πολύ υποθετικό.

Έχουν επίσης συμβεί αλλαγές στην κατανομή της βροχόπτωσης. Η έρημος Σαχάρα υποστήριξε την υποτροπική βλάστηση και τα ζώα από το 12000 έως το 40000 BP. Επικρατούσαν επίσης υγρές συνθήκες από 5000 έως 6000 BP στην Αραβική Χερσόνησο και τα νότια μέρη της Ασιατικής USSR. Στην ίδια περίοδο η βροχόπτωση ήταν λιγότερη στην ανατολική και κεντρική ΗΠΑ.

Προβλέψεις για το μέλλον

Το ενδοκυβερνητικό Πάνελ για την Αλλαγή του Κλίματος (1990) δήλωσε ότι η παγκόσμια μέση θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα κατά 0.3 βαθμούς ανά δεκαετία. Αυτή η εκτίμηση υποθέτει ότι η μόνη αλλαγή στις παρούσες πρακτικές είναι η μείωση στην εκπομπή του CFCs (το επονομαζόμενο σενάριο Επιχείρηση-ως-Συνήθως). Η αύξηση θα ήταν περίπου 0.1 βαθμούς ανά δεκαετία εάν υπήρχε μια μεγάλη μείωση στα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι επιδράσεις στην βροχόπτωση είναι αβέβαιες, αλλά μια πιθανότητα είναι για τοπικές αλλαγές παρόμοιες με εκείνες που συνέβησαν 5000-6000 BP και αναφέρονται παραπάνω.

11.11 οι επιδράσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στα εδάφη

Εάν οι εκπομπές των ραδιενεργά ενεργών αερίων συνεχίσουν κατά πολύ να μην ελέγχονται προβλέπεται ότι το 0.3 βαθμοί αύξηση ανά δεκαετία θα ανεβάσει το επίπεδο της θάλασσας κατά 6 cm ανά δεκαετία, και η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO₂ θα έχει διπλασιαστεί έως το δεύτερο μισό του εικοστού πρώτου αιώνα. Οι επιδράσεις θα είναι λιγότερες εάν οι εκπομπές των αερίων μειώνονται. Οι προβλέψεις δεν είναι σίγουρες και μπορεί να αναμένεται να αλλάξουν καθώς αποκτούμε περισσότερη κατανόηση για το απόθεμα παγκόσμιας ενέργειας.

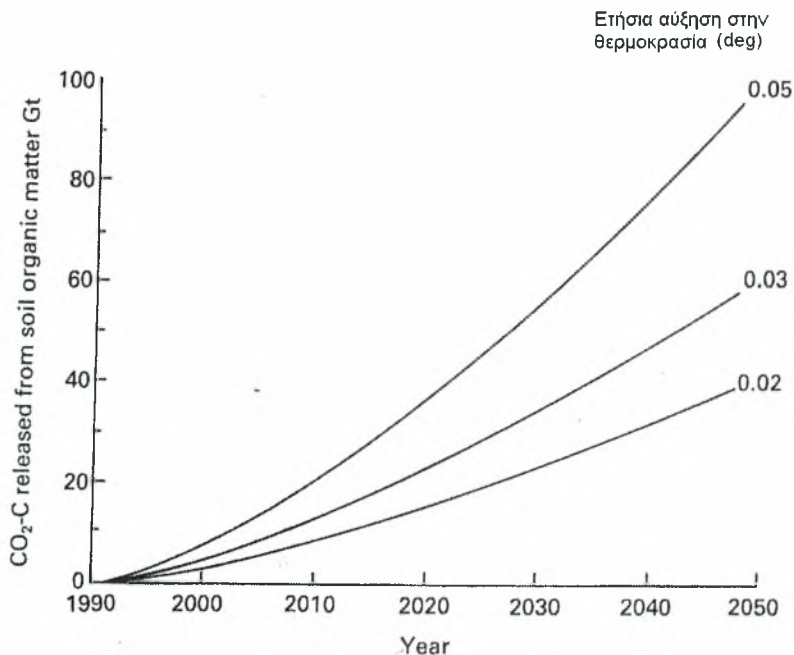
Οι επιδράσεις στις ιδιότητες του εδάφους και τις διαδικασίες δεν μπορούν ακόμη να προβλεφθούν, αλλά φαίνονται πιθανές ορισμένες αλλαγές. Αυτές είναι:

1.Μια αύξηση της θερμοκρασίας θα αυξήσει στο βαθμό των εδαφικών διαδικασιών συμπεριλαμβάνοντας την αποσάθρωση των ορυκτών, την οξείδωση της οργανικής ύλης και άλλες βιολογικές διαδικασίες, την απώλεια του νερού λόγω εξάτμισης και την διάχυση των αερίων στην ατμόσφαιρα.

Γενικά, τα επίπεδα περίπου διπλασιάζονται για κάθε 10 βαθμούς αύξηση στην θερμοκρασία έτσι η επίδραση δεν θα είναι μεγάλη. Για παράδειγμα, έχει υπολογισθεί ότι μια παγκόσμια αύξηση των 0.3 βαθμών ανά δεκαετία, χωρίς αλλαγή της βροχόπτωσης ή αύξηση της καθαρής βασικής παραγωγής, θα απελευθερώσει 61×10^{15} g CO₂ -C από το έδαφος στην ατμόσφαιρα έως το 2050 (σχήμα 11.7). Αυτό αντιπροσωπεύει περίπου το 19% του CO₂ που θα απελευθερωθεί από την καύση των φυσικών καυσίμων εάν η χρήση του παραμένει αμετάβλητη.

230

Εδάφη και η ατμόσφαιρα



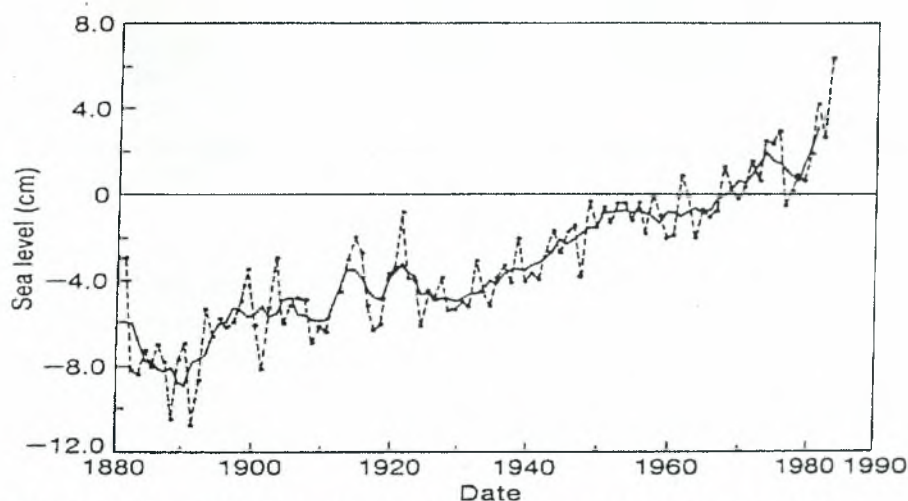
Σχήμα 11.7 Επίδραση στην παγκόσμια θερμότητα από την έκλυση CO₂ από το έδαφος. (Από Jenkinson, D.S., Adams, D.E. and Wild, A. 1991. *Nature* 351, 304.)

2.Ο διπλασιασμός της συγκέντρωσης από 350-700 ppmv αναμένεται να αυξήσει την απόδοση σε C₃ αγρωστώδη (π.χ. ρύζι, σόγια, σιτάρι) μεταξύ του 10% και 50% και C₄ αγρωστώδη (π.χ. καλαμπόκι και ζαχαροκάλαμο) έως 10%. Θα μπορούσαν επίσης να

συμβούν αυξημένα επίπεδα της ανάπτυξης των δασών και άλλων φυσικών οικοσυστημάτων. Η προμήθεια αζώτου συχνά περιορίζει την αύξηση των φυτών στα φυσικά οικοσυστήματα, και καθώς τώρα κυκλοφορεί διαμέσου της ατμόσφαιρας σε μεγαλύτερες ποσότητες, θα μπορούσε να αυξήσει περαιτέρω την καθαρή πρωταρχική παραγωγή. Συνεπώς θα μπορούσε να υπάρξει μια αυξημένη πρόσθεση των φυτικών ιζημάτων στο έδαφος για να εξουδετερώσει το αυξανόμενο επίπεδο της απολιθοποίησης.

3. Τα τοπικά μοτίβα της βροχόπτωσης και της εξάτμισης θα μπορούσαν να αλλάξουν, μερικές περιοχές να γίνουν πιο υγρές και μερικές πιο ξηρές, αλλά είναι αβέβαιο ποιες θα ήταν αυτές οι αλλαγές. Οι πιο ξηρές συνθήκες θα βελτιώνονταν έως κάποιο βαθμό από την αυξανόμενη συγκέντρωση του CO₂ το οποίο μειώνει την απώλεια νερού από διαπύδωση, δηλαδή αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού από τα φυτά. Μια αλλαγή της βροχόπτωσης θα επηρεάσει τις ιδιότητες του εδάφους αλλά είναι πάρα πολύ νωρίς για να κάνουμε λογικές προβλέψεις.

4. Μια αύξηση στην θερμοκρασία αναμένεται να οδηγήσει σε μια αύξηση στο επίπεδο της θάλασσας και έτσι να συνεχίσει την τάση από το παρελθόν.

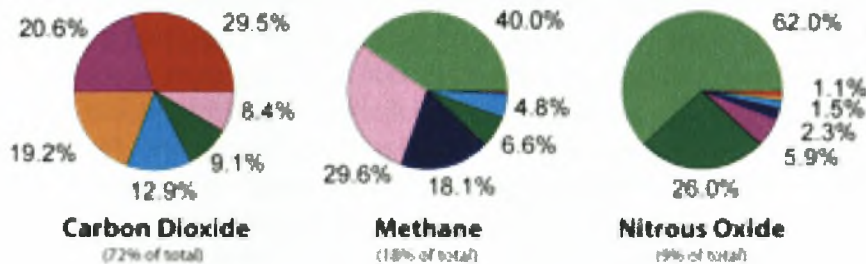
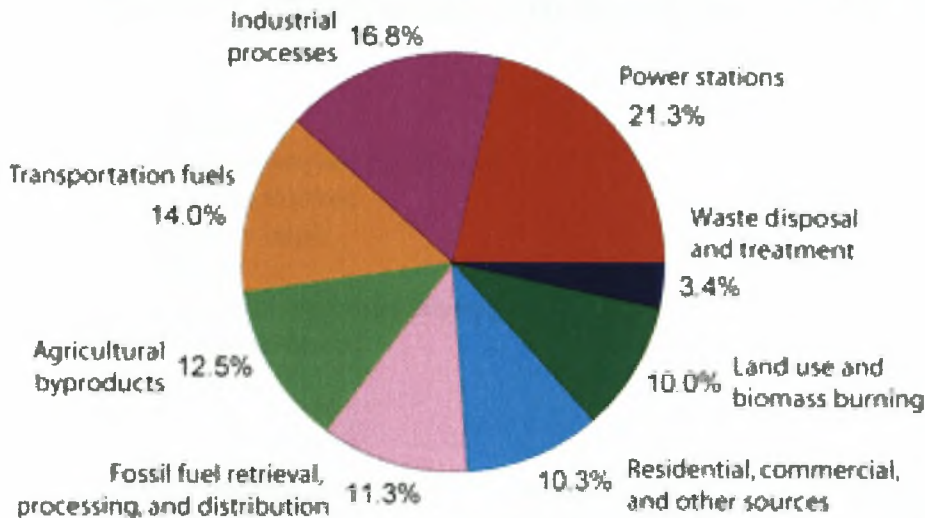


Σχήμα 11.8 Η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας αυξάνει κατά τον τελευταίο αιώνα. Η γραμμική βάση τοποθετήθηκε οριζοντίως τον μέσο όρο στο μηδέν για την περίοδο 1951-1970 (Από Houghton)

Το πιο συνηθισμένο σενάριο τα τελευταία χρόνια προβλέπει την αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 6 cm την δεκαετία για τον επόμενο αιώνα. Αυτή η αύξηση θα επηρεάσει σημαντικά χώρες όπως την Αίγυπτο και το Μπαγκλαντές, γιατί ένα μέρος εύφορης καλλιεργήσιμης γης θα πλημμυρίσει. Υψομετρικά χαμηλές περιοχές κοντά σε ακτές και εκβολές ποταμών θα βυθιστούν. Τα εδαφικά ύδατα θα ανέλθουν κοντά

στις ακτές, σε απάντηση στην αύξηση της στάθμης της θάλασσας και εάν τα ύδατα αυτά είναι αλατούχα τότε και τα εδάφη θα γίνουν αλατούχα.

Annual Greenhouse Gas Emissions by Sector



11.12 Περίληψη

Η παγκόσμια αύξηση θερμοκρασίας έχει συμβάλει στην αύξηση της συγκεντρώσεως διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και νιτρικών οξέων στην ατμόσφαιρα. Η καταστροφή του στρώματος του όζοντος στην στρατόσφαιρα έχει συμβάλει με την σειρά του στην αύξηση των συγκεντρώσεων των παραπάνω ενώσεων, σε μικρότερη κλίμακα βέβαια του μεθανίου. Το έδαφος είναι πηγή αυτών των αερίων και παράγονται κάτω από αερόβιες συνθήκες. Το νιτρικό οξύ παράγεται και κατά την νιτροποίηση.

Ο άνθρακας που εμφανίζεται ως οργανικές ενώσεις στο έδαφος είναι διπλάσιος σε ποσότητα από αυτόν της ατμόσφαιρας που εμφανίζεται ως CO₂. Περίπου το ένα τρίτο οξειδώνεται όταν η Γή καλλιεργείται και κάποιο από αυτό οξειδώνεται πιο αργά. Η συνεχής αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας θα αυξήσει τον ρυθμό της οξείδωσης. Θα αυξήσει επίσης την στάθμη της θάλασσας και παραλιακές περιοχές θα βυθιστούν. Η χρήση της γης θα μεταβληθεί λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και διαφοροποίηση των βροχοπτώσεων.

Κεφάλαιο 12 : Διάβρωση και διατήρηση του εδάφους

12.1 Εισαγωγή

12.2 Φυσική διάβρωση

12.3 Το περιβαλλοντολογικό πρόβλημα

12.4 Διάβρωση λόγω ύδατος

12.5 Διάβρωση λόγω αέρα

12.6 Φυσικές Αρχές

12.7 Λόγοι επιταχυνόμενης διάβρωσης

12.8 Διατήρηση του εδάφους

12.9 Περίληψη

12. Εισαγωγή

Η διάβρωση του εδάφους είναι η φυσική απομάκρυνση μέρους τους εδάφους λόγω αέρα και νερού. Είναι φυσική διεργασία που συμβαίνει χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση αλλά μπορεί να εντατικοποιηθεί σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Είναι γεγονός ότι η διάβρωση των εδαφών έχει αυξηθεί λόγω της αύξησης των καλλιεργήσιμων περιοχών. Στα βόρεια βουνά της αρχαίας Μεσοποταμίας η διάβρωση του εδάφους έχει συνδεθεί με τους πρώτους αγρότες 10000 χρόνια πριν. Πιστεύεται ότι την προκάλεσε το πέσιμο δέντρων, η καλλιέργεια της γης και η εντατική βόσκηση των ζώων. Οι ίδιοι λόγοι προκάλεσαν την διάβρωση και της περιοχής της Ελλάδας και της Ιταλίας. Η διάβρωση στην βόρεια Ευρώπη ξεκίνησε με την αποψίλωση των δασών ώστε να γίνουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις 500 χρόνια πριν. Ευρωπαίοι άποικοι στην Αμερική και Αυστραλία ήταν απληροφόρητοι στο θέμα της καλλιέργειας γης που υπόκειταν σε ξηρασίες και καταιγίδες. Η διάβρωση λόγω νερού, και αέρα όπως αυτή που συνέβη στα Great Plains των ΗΠΑ το 1930 έχει καταστροφικά αποτελέσματα. Η καταστροφή των δασών της στέπας και υγρών τροπικών περιοχών που ακολουθήθηκε από καλλιέργεια συνεχίζει να προκαλεί σημαντικά προβλήματα διάβρωσης.. Τα αποτελέσματα της διάβρωσης δεν είναι απολύτως αρνητικά. Για παράδειγμα, ιζήματα που προήλθαν από διάβρωση στην Αιθιοπία βοήθησαν την ανάπτυξη και διατήρηση της γεωργίας στην Αίγυπτο για πολλά χρόνια. Η ίδια επίδραση βοήθησε την αύξηση της γονιμότητας της πεδιάδας Ganges-Jumna στην Ινδία, αν και τώρα κινδυνεύει λόγω της έντονης πτώσης δέντρων των Ιμαλαίων που οδήγησε την αυξημένη εκροή υδάτων και την κατακάθιση ιζημάτων, που με την σειρά τους προκάλεσαν σοβαρές πλημμύρες στο Μπαγκλαντές.

12.2 Φυσική διάβρωση

Η φυσική ή γεωλογική διάβρωση έχει ποικίλες επιδράσεις. Συμβαίνει από την εποχή που οι βράχοι και οι πέτρες εκτέθηκαν στην ατμόσφαιρα της Γης, διαμορφώνοντας την επιφάνεια της και δημιουργώντας ιζηματώδη πετρώματα από πέτρες και χώμα. Η διάβρωση λόγω νερού των λόφων πλάτυνε λίμνες και παρήγαγε coluvium στους πρόποδες και alluvium στους βυθούς των λιμνών(η ποσότητα εδάφους που εισέρχεται

σε ένα ποτάμι είναι μικρότερη από αυτή που διαβρώνεται). Διαβρωμένα υλικά μεταφέρονται με τους ποταμούς στην θάλασσα όταν τα βαρύτερα εκ αυτών σχηματίζουν τα «δέλτα»

Ως τελικό παράδειγμα φυσικής διάβρωσης, η άμμος που παρασύρθηκε από τον αέρα, γνωστή ως Loess, κατακάθισε στα εδάφη της Κίνας, Ευρώπης και Βόρειας Αμερικής δημιουργώντας έτσι τρομερά γόνιμα χωράφια.

Ο ρυθμός με τον οποίο η διάβρωση λαμβάνει χώρα εξαρτάται από την φυλλική επικάλυψη της επιφάνειας του εδάφους, την κλίση, το μέγεθος των βράχων, πετρών και των μορίων του εδάφους καθώς και των καιρικών συνθηκών. Αυτοί οι παράγοντες αναφέρονται στις ενότητες 12.4 και 12.5 σχετικά με την επιταχυνόμενη διάβρωση, που προκαλείται από τον άνθρωπο. Λόγω της ποικιλομορφίας της μια μέση τιμή για την φυσική διάβρωση θα έχει πολύ μικρή σχέση με την πραγματική τιμή για κάθε έδαφος την χρονική στιγμή της μέτρησης, αλλά λόγω της έντασης της είναι απαραίτητο να δοθεί μια βασική γραμμή ώστε να διαπιστωθεί η επιταχυνόμενη διάβρωση όπως θα συζητηθεί παρακάτω.

12.3 Περιβαλλοντολογικό πρόβλημα

Σε πολλές χώρες η επιταχυνόμενη διάβρωση είναι το πιο σημαντικό πρόβλημα υποβάθμισης του εδάφους. Όπως η εξαφάνιση ειδών ζώων και φυτών, η καταστροφή του εδάφους μπορεί αν αποφευχθεί αλλά όχι να αντιστραφεί. Η διάβρωση όμως έχει επιδράσεις στο περιβάλλον που είναι πιο έντονες από την ζημία στο χωράφι του οποίου το έδαφος χάθηκε (πίνακας 12.1). Μόρια του εδάφους που έχουν αποκολληθεί από διάβρωση λόγω νερού μεταφέρονται στα ποτάμια. Η απόθεση τους μπορεί να αλλάξει την πορεία του ποταμού και να προκαλέσει υπερχειλίση. Ένα μεταφερθούν στην θάλασσα η απόθεση μπορεί να καταστρέψει κοράλλια και το υποθαλάσσιο οικοσύστημα. Απόθεση σε λίμνες, δεξαμενές και φράγματα μειώνουν την αποθηκευτική τους ικανότητα και την χρησιμότητα τους. Τα ιζήματα μεταφέρουν εντομοκτόνα από αγροτικές περιοχές και θρεπτικά συστατικά που δύναται να προκαλέσουν ευτροφισμούς σε λίμνες και ποτάμια. Αυτές οι μολυντικές επιδράσεις αυξάνουν το κόστος της επεξεργασίας του νερού ώστε να γίνει πόσιμο. Απώλεια εδάφους από κλίσεις λόφων αυξάνουν το απορρέων νερό, που οδηγεί με πλημμύρες χαμηλότερων περιοχών κατά την διάρκεια βροχών και λιγότερο την εναπόθεση αυτών των υδάτων στα ποτάμια όπως είναι το σωστό. Απορρέων νερό μεταφέρει επίσης θρεπτικά συστατικά στις λίμνες και τα ποτάμια.

Άμμος που έρχεται μέσω του αέρα ζημιώνει σοδιές, μπορεί να φράξει υδατικά περάσματα, και να θάψει ολόκληρα κτίρια. Τα καλά μόρια που μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα, προκαλούν ελαφριά ομίχλη που καλύπτει την ακτινοβολία του ήλιου και προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο, μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως πυρήνες στην δημιουργία αερολυμάτων, που επηρεάζουν άμεσα τις χημικές διεργασίες της ατμόσφαιρας. Τελικά η επιταχυνόμενη διάβρωση αυξάνει τον ρυθμό μεταφοράς θρεπτικών συστατικών από επίγειες περιοχές σε θαλάσσιες. Η επίδραση στους θαλάσσιους οργανισμούς αυτών των θρεπτικών συστατικών δεν είναι ακόμη γνωστή.

Βαθμός διάβρωσης

Τυπικά όλες οι χώρες επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από την διάβρωση. Το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο μετά από την απομάκρυνση της χλωρίδας, με το κόψιμο δέντρων, την παύση της καλλιέργειας ή ακόμα και ως αποτέλεσμα ξηρασίας. Απώλεια της φυλλικής κάλυψης αυξάνει το επιφανειακό απορρέων νερό και εκεί που το νερό αποτελεί περιορισμένο παράγοντα για την ανάπτυξη φυτειών, η διατήρηση

του εδάφους και των υδάτων θα πρέπει να εξεταστούν μαζί. Η διάβρωση που προκαλείται από το νερό είναι σημαντικό πρόβλημα σε τροπικές περιοχές με απότομες κλίσεις λόγω των δυνατών βροχοπτώσεων. Σε ημίξηρες και ξηρές περιοχές της γης η διάβρωση που προκαλείται με τον αέρα είναι συχνό φαινόμενο, και τα εδάφη συχνά σχηματίζονται από αερομεταφερόμενα υλικά. Η διάβρωση ποικίλει από έτος σε έτος εξαρτώμενη από την ένταση των βροχοπτώσεων.

Μέγεθος απώλειας εδάφους

Ο υπολογισμός του μεγέθους της εδαφικής διάβρωσης είναι πιο δύσκολο από ότι φαίνεται. Για παράδειγμα, τα ιζήματα που εναποθέτονται στα ποτάμια δίνουν ψευδές πληροφορίες γιατί δεν συνυπολογίζονται το διαβρωθέν έδαφος, το αερομεταφερόμενο και αυτό που εναποτίθεται πριν φτάσει στο ποτάμι. Ο υπολογισμός της μείωσης του βάθους του εδάφους χρησιμοποιείται μονάχα όταν η διάβρωση του αποτελεί ουσιαστικό πρόβλημα. Μετρήσεις στο χωράφι επιτυγχάνονται με την μέτρηση εμφανίσεων gullies και μικρότερων καναλιών(rills) που σχηματίζονται λόγω επιφανειακών απορρεόντων υδάτων, ή την συχνότητα καταγίδων σκόνης και την επίδραση της διάβρωσης. Τέτοιες παρατηρήσεις δίνουν εκτίμηση της περιοχής που θα επηρεαστεί και όχι το μέγεθος του εδάφους που θα χαθεί.

Λόγω αυτών των δυσκολιών, η απώλεια εδάφους λόγω της διάβρωσης με νερό μετράται πειραματικά. Διάβρωση με αέρα δεν μπορεί να μετρηθεί με τον ίδιο τρόπο αλλά με την χρήση τούνελ αέρα. Κάνοντας χρήση αυτών των μεθόδων, η επίδραση του βαθμού της διάβρωσης μπορεί να ερευνηθεί. Αυτοί οι παράγοντες αναπτύσσονται στις ενότητες 12.4 και 12.5.

Για τον καθορισμό της απώλειας εδάφους λόγω νερού το ίζημα από το πειραματικό χωράφι ξηραίνεται και ζυγίζεται, καθώς και επιφανειακό νερό που επίσης μετριέται. Χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο στο Παγκόσμιο Ινστιτούτο για την Τροπική Γεωργία στην νότια Νιγηρία, μετρήθηκε η επίδραση της κλίσης και του προστατευτικού στρώματος στην απώλεια εδάφους και απορροής. Σε πειραματικά χωράφια στην Αφρική η απώλεια εδάφους είχε εύρος από 0 σε 170 t ha⁻¹ a⁻¹. Πολλοί παράγοντες συμβάλλουν στον βαθμό της διάβρωσης όπως θα αναφερθεί σε παρακάτω ενότητες. Το νερό και ο αέρας είναι οι 2 βασικότεροι υπεύθυνοι για την εμφάνιση της διάβρωσης σε ξηρές περιοχές καθώς και σε υγρές και ημι-υγρές σε μικρότερο βαθμό. Ένας πιο τοπικιστικός παράγοντας είναι το παγωμένο νερό που βρίσκεται στις πλαγιές των βουνών, το έδαφος επεκτείνεται στην κατάλληλη γωνία στις πλαγιές όπου και παγώνει με αποτέλεσμα να διασπώνται πέτρες οι οποίες κατακυλούν από τις πλαγιές.

12.4 Διάβρωση λόγω νερού

Το νερό προκαλεί εδαφική διάβρωση βασικά με την επαφή των σταγόνων βροχής στην επιφάνεια του εδάφους και της ροής μεταξύ των ρυακιών μέσα στα κανάλια. Επίσης προκαλεί κατολισθήσεις σε απότομες πλαγιές όταν το εδαφικό υλικό χαμηλής διαπερατότητας γίνεται κορεσμένο με νερό βροχής ή με το της δια ξηράς μεταφερόμενο. Μια κατολίσθηση μπορεί να προκαλέσει σημαντικές ζημιές όταν μαζί με το χώμα μεταφέρονται δέντρα ακόμη και κτίρια.

Η διαβρωτική επίδραση της βροχής θα κατανοηθεί καλύτερα εάν σκεφτούμε την ενέργεια μιας βροχής. Ο γνωστός τύπος για την κινητική ενέργεια ($0.5 mv^2$) χρησιμοποιείται, όπου m είναι η μάζα και v η ταχύτητα. Η κινητική ενέργεια ποικίλει ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας και οι μετρήσεις έδειξαν ότι μεγαλύτερη βροχόπτωση μεγαλύτερη και η ταχύτητα πρόσκρουσης στο έδαφος. Το εύρος της ταχύτητας πρόσκρουσης είναι από μικρότερη από $1ms^{-1}$ για μικρές σταγόνες έως $9ms^{-1}$ για μεγαλύτερες. Μια καταιγίδα με μεγάλες σταγόνες έχει σαφέστατα μεγαλύτερη κινητική ενέργεια από κάποια με μικρότερες σταγόνες. Δεν γίνονται συχνές μετρήσεις για το εύρος των σταγόνων κατά την διάρκεια μιας βροχής. Έτσι εμπειρικές σχέσεις έχουν αναπτυχθεί οι οποίες προήλθαν από την κινητική ενέργεια και την ένταση της βροχοπτώσεως, I , για παράδειγμα

$$KE=11.87 + 8.73\log_{10}I$$

Όπου I είναι η βροχόπτωση σε mmh^{-1}

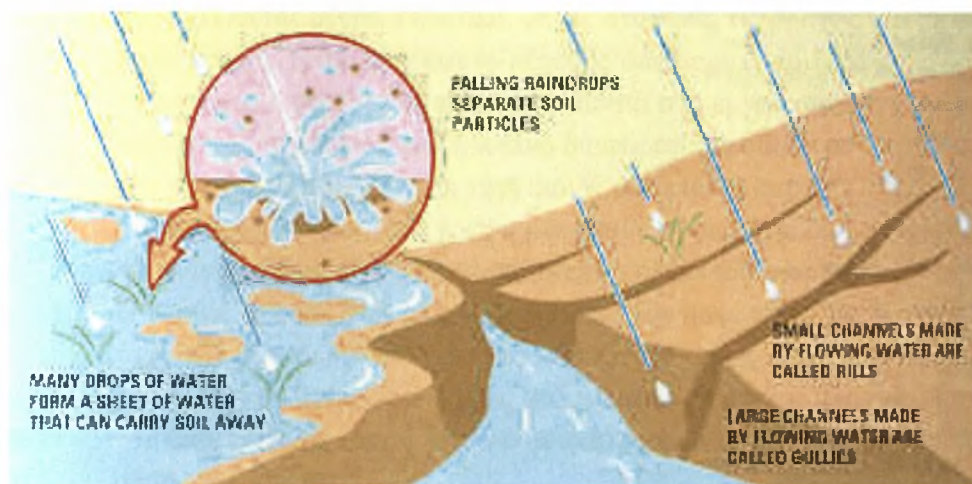
Η εκτιμώμενη κινητική ενέργεια μια βροχόπτωσης χρησιμοποιείται συχνά ως μέτρο βιαβρωσιμότητας. Παρ' όλα αυτά η επίδραση μιας μικρής βροχόπτωσης που έχει κινητική ενέργεια να μην είναι διαβρωτική. Η διαβρωσιμότητα της βροχής υπολογίζεται λοιπόν με 2 τρόπους έτσι ώστε να λάβουμε υπόψιν την μεγαλύτερη επίδραση που ασκεί μια πιο εντατική βροχόπτωση : i) κάνουμε χρήση της κινητικής ενέργειας του μέρους της βροχής που ξεπερνά ένα δεδομένο επίπεδο έντασης για παράδειγμα 25 mm την ώρα και ii) κάνουμε χρήση του προϊόντος της κινητικής ενέργειας όλης της καταιγίδας και την μεγαλύτερη ένταση τριάντα λεπτών, κάτι που είναι γνωστό ως θεωρία Wischmeir της διάβρωσης.

Η κινητική ενέργεια διαλύεται όταν οι σταγόνες της βροχής αγγίζουν το έδαφος. Μια επίδραση είναι ο διαχωρισμός της άμμου και συσσωματωμάτων φυτών από το σύνολο μπλοκάροντας τους εδαφικούς πόρους. Ο ρυθμός εισόδου ελαττώνεται και το νερό κυλάει επιφανειακά σε ρυάκια και καταρακυλά όταν βρεθεί έδαφος με κλίση. Μία άλλη επίδραση των σταγόνων της βροχής είναι να εκτοξεύει κομμάτια χώματος στον αέρα. Σε επίπεδη επιφάνεια η διασπορά των κομματιών εδάφους γινόταν προς όλες τις διευθύνσεις ενώ σε περιπτώσεις εδαφών με κλίση τότε τα κομμάτια εκτοξευόταν επί το πλείστο προς τα κάτω.. Μέχρι και 30° κλίσης εδάφους χρησιμοποιήθηκε σε πειράματα, τα οποία έδειξαν ότι η διαφορά των κομματιών εδάφους που εκτοξευόταν προς κάτω σε σχέση με εκείνων που εκτοξευόταν προς τα πάνω μεγάλωνε καθώς γινόταν πιο απότομη η κλίση. Ο παφλασμός αυτός(διαδικασία που αναφέρθηκε στην προηγούμενη πρόταση) είναι ένας από τους κυρίαρχους λόγους διάβρωσης λόγω νερού αλλά περνάει απαρατήρητος μέχρι παρατηρηθεί ότι το έδαφος έγινε πιο ρηχό προς την κορυφή.

Επίδραση του τρεχούμενου ύδατος

Η αποκόλληση της άμμου και των συσσωματωμάτων χόρτων μειώνει την ικανότητα εισόδου του νερού. Το νερό τρέχει στην επιφάνεια εάν ο ρυθμός εισόδου πέφτει κάτω από τον ρυθμό της βροχόπτωσης και τείνει να συλλέγεται σε κανάλια. Αρχικά αυτά μπορεί να είναι φυσικοί σχηματισμοί ή σημάδια που προήλθαν από τον άνθρωπο και τα ζώα ή από μηχανήματα. Όσο βαθύτερο είναι το αυλάκι τόσο πιο μεγάλη είναι η ροή του νερού, και ο στροβιλισμός προκαλώντας έτσι την αποκόλληση περισσότερων μορίων χώματος, που παρασύρονται λόγω νερού. Όταν τα αυλάκια είναι ικανοποιητικά ρηχά ώστε να καλλιεργηθούν ονομάζονται rills, αντίθετα όταν είναι αρκετά βαθιά για τις κανονικές – τυπικές καλλιέργειες καλούνται gullies. Τα gullies μπορούν να ξεκινήσουν και ως υποεπιφανειακή ροή ύδατος που δημιουργεί τούνελ ή σωλήνες. Αυτό συμβαίνει σε πλαγιές εκεί που το υπέδαφος έχει μικρή διαπερατότητα, με συνέπεια της δημιουργίας εδαφικού ορίζοντα με υψηλή συγκέντρωση πηλού, και έτσι με την καταστροφή του επιφανειακού στρώματος να δημιουργείται το gully.

Όταν πλέον έχει σχηματιστεί μπορεί να βαθύνει και να πλατύνει εύκολα λόγω της κυκλοειδούς μορφής κίνησης του νερού. Όταν γίνει βαθύ αρκετά τότε το πάνω μέρος του υποτυπώδους λοφίσκου καταρρέει και λόγω αυτού ενδυναμώνεται. Σε αρκετά μέρη του κόσμου η εμφάνιση τέτοιων σχηματισμών αποτελεί το αποτέλεσμα δυνατών βροχοπτώσεων, διαβρωτικού επιφανειακού εδάφους και ασταθών βράχων. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτής της καταστροφικότητας του νερού είναι οι ακόλουθες εικόνες



Απώλεια θρεπτικών συστατικών

Το έδαφος που έχει διαβρωθεί γίνεται πιο ρηχό, και μέσω κάποιων πειραμάτων αποδείχθηκε ότι προκαλεί και μείωση της σοδειάς. Ένας λόγος της μείωσης της σοδειάς είναι και απώλεια θρεπτικών συστατικών στο επιφανειακό έδαφος. Σε ένα πείραμα στην Δυτική Αφρική, 55 t ha⁻¹ εδάφους διαβρώθηκε σε μια περίοδο 5 ετών. Το έδαφος που χάθηκε περιείχε 1200 κιλά οργανικής ουσίας, 75 κιλά αζώτου, 16kg φωσφόρου και 34kg ανταλλάξιμων κατιόντων. Η απώλεια του επιφανειακού εδάφους, όπως φαίνεται και στο παράδειγμα, απομακρύνει το κομμάτι εκείνο του εδάφους με τις περισσότερες θρεπτικές ουσίες. Από αυλάκια που προήλθαν από διάβρωση στην Νιγηρία η απορροή περιείχε ετησίως 8 με 21 kg αζώτου ανά εκτάριο, μεγαλύτερες απώλειες συνέβησαν όταν μετά την λίπανση ακολούθησε βροχόπτωση.

Τα θρεπτικά συστατικά στο διαβρωμένο έδαφος και αυτό της απορροής δίνουν μια αρκετά σημαντική προσθήκη στα συνολικά θρεπτικά συστατικά των ποταμών.

Η επίδραση στα χαρακτηριστικά του εδάφους και της γης

Το ποσοστό της διάβρωσης σε οποιοδήποτε χωράφι εξαρτάται από την ικανότητα διάβρωσης της βροχής, την διαβρωσιμότητα του εδάφους, τα χαρακτηριστικά του χωραφιού, και την χρήση του. Αυτοί οι παράγοντες συνδυάστηκαν από εργάτες στις ΗΠΑ για την δημιουργία μιας εξίσωσης γνωστής και ως Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους(Universal Soil Loss Equation) που δίνεται από τον τύπο:

$$A=RKLD\text{C}P$$

Όπου

A= ετήσια απώλεια εδάφους

K= παράγοντας διαβρωσιμότητας εδάφους

P= παράγοντας διατήρησης εδάφους

R= ικανότητα διάβρωσης της βροχής

L, S = μήκος και γωνία των πλαγιών αντίστοιχα

C= διαχείριση της φυτείας

Ο αναγνώστης θα πρέπει να ανατρέξει στην βιβλιογραφία για να τους υπολογισμούς με βάση αυτή την εξίσωση καθώς και τα όρια της.

Ένας από τους έξι παράγοντες της παραπάνω εξίσωσης που αφορά την διαβρωτική ικανότητα της βροχής αναφέρθηκε πιο πάνω. Τώρα θα παραθέσουμε τους άλλους 5

1. Η διαβρωσιμότητα του εδάφους, K, είναι υψηλή όταν περιέχει μόρια που αποκολλώνται σχετικά εύκολα, με τις σταγόνες τις βροχής και μεταφέρονται επιφανειακά. Η δύναμη και το μέγεθος των μορίων του εδάφους είναι πολύ σημαντικά. Αυτές οι ιδιότητες μετρούνται στο εργαστήριο, για παράδειγμα περνώντας το έδαφος από κόσκινο διαφορετικής διαμέτρου κάτω από νερό. Για την χρήση της USLE η τιμή του K αποκτάται από την απώλεια εδάφους ανά μονάδα R, κάνοντας χρήση μια σταθερή σωλήνα 22.1 μέτρων σε μήκος σε πλαγιά κλίσης 9% η οποία παραμένει ελεύθερη από φυτά
2. Η γωνία(το ποσοστό) κλίσης επηρεάζει τον παφλασμό της βροχής και την ταχύτητα του νερού που κινείται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, μια επίδραση που αυξάνεται καθώς αυξάνεται η κλίση της πλαγιάς. Το ποσοστό του απορρέοντος νερού αυξάνεται ανάλογα με το μήκος της πλαγιάς και την απώλεια εδάφους.
3. Σοδειές και φυσική βλάστηση παρέχουν κάλυψη, που προστατεύει το έδαφος από άμεση σύγκρουση με τις σταγόνες της βροχής. Το μόνιμο χορτάρι και τα δέντρα παρέχουν κάλυψη μέσα στον χρόνο, αλλά τα ετήσια καλλιεργούμενα φυτά μόνο κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και όταν παραμένουν μετά το πέρας αυτής κάποια φυτικά κατάλοιπα.
4. Υπάρχουν πολλοί τρόποι διατήρησης που μετριάζουν την διάβρωση. Συμπεριλαμβάνουν κατασκευή πεζουλιών και προστατευτικών τραπεζών κατά μήκος του περιγράμματος, καλλιέργεια σε ζώνες κατά μήκος του περιγράμματος και διατηρώντας γραμμές από φυσική βλάστηση.

Το επιτρεπόμενο όριο απώλειας εδάφους

Η εξίσωση USLE χρησιμοποιείται για να προβλέψει το ποσοστό εδάφους που θα χαθεί από ένα χωράφι εάν οι τιμές των επιμέρους παραγόντων είναι γνωστές. Ο βασικός της σκοπός είναι να δώσει την δυνατότητα επιλογής καταλλήλων τρόπων διατήρησης του εδάφους στα επιτρεπόμενα όρια. Φυσικά θα πρέπει να καταγραφεί πια είναι αυτή η τιμή.

Η διάβρωση είναι μια φυσική διεργασία που δεν μπορείς να αποφύγεις εξ' ολοκλήρου. Ένα επιτρεπόμενο όριο, γνωστό και ως σημείο ανοχής απώλειας εδάφους (T), μπορεί να είναι η ίδια με τον ρυθμό δημιουργίας εδάφους, έτσι ώστε το βάθος του εδάφους δεν μειωθεί. Ο ρυθμός σχηματισμού εδάφους υπολογίζεται από το βάθος και τον χρόνο σχηματισμού, για παράδειγμα το τέλος των παγετώνων. Οι αναμενόμενες τιμές ποικίλουν λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, υγρασίας και την φύσεως των βράχων στην διαδικασία της αποδυνάμωσης τους. Για μέτρια κλίματα, ο σχηματισμός φτάνει στα όρια του $1 \text{ t h}^{-1} \text{ a}^{-1}$ περίπου όταν το υπέδαφος σχηματίζεται από ασταθή πετρώματα. Για σταθερά υλικά όπως το σκληρό πέτρωμα, έχει μικρότερο ρυθμό.

Μια υψηλότερη τιμή του T της τάξεως του $11 \text{ t h}^{-1} \text{ a}^{-1}$ έχει προταθεί για εδάφη βαθύτερα από 2 μέτρα τα οποία μπορούν να σχηματίσουν επιφανειακά στρώματα με καλή υφή και σταθερότητα μετά από καλή διαχείριση. Ο σκοπός είναι η διάρκεια της γονιμότητας του εδάφους να αυξηθεί στα 25 ή και παραπάνω χρόνια. Οποιαδήποτε κι αν είναι η τιμή του T, η διάβρωση θεωρείται ότι βρίσκεται υπό έλεγχο εάν δεν απαιτείται επιπλέον υπερβολική λίπανση και υψηλότερη χρήση αρδεύσιμου ύδατος.

12.5 Διάβρωση λόγω ανέμου

Ο άνεμος προκαλεί διάβρωση σε ξηρά, γυμνά εδάφη. Οι δύο παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος είναι η ταχύτητα του ανέμου και το μέγεθος των μορίων του εδάφους. Πειραμάτα σε τούνελ αέρα έδειξαν ότι η ικανότητα του ανέμου να μεταφέρει μόρια εδάφους εξαρτάται από την ταχύτητα του ανάλογα καθώς και το μέγεθος των μορίων εδάφους αντιστρόφως ανάλογα. Από αυτά τα πειράματα :

$$C = v^3 * d^{1/2}$$

Όπου c είναι η ποσότητα του απομακρυνόμενου εδάφους, v η ταχύτητα του ανέμου και d η διάμετρος

Κάτω από πραγματικές συνθήκες, η ταχύτητα του ανέμου μετράτε συνήθως 2M πάνω από το έδαφος. Κοντά στην επιφάνεια του εδάφους η ταχύτητα είναι μικρότερη λόγω αντίστασης που προκαλείται από την παρουσία φυτών και άλλων αντικειμένων. Επίσης η ροή του αέρα διασπάται από την ύπαρξη πετρωμάτων. Οι eddies δημιουργούν περίπλοκες φυσικές συνθήκες στην επιφάνεια του εδάφους που είναι δύσκολο να αναλυθούν. Έχει παρατηρηθεί ότι τα μόρια εδάφους μεταφέρονται με τρεις τρόπους :

1). Μεγάλα μόρια (διάμετρος πάνω από 0,5 mm) που κυλούν πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Το όριο για το μέγεθος των μορίων ώστε να μεταφέρονται με αυτό τον τρόπο είναι 2 mm. Αυτός ο τρόπος μεταφοράς ονομάζεται εδαφολογικός ερπυσμός.

2). Μόρια με διάμετρο 0,05 – 0,5 mm μεταφέρονται με μια διαδικασία γνωστή ως αλατοποίηση. Δεσμίδες ανέμου στην επιφάνεια του εδάφους ανυψώνουν τα μόρια στον αέρα. Λόγω του βάρους τους, τα μόρια παραμένουν στον αέρα για λίγα εκατοστά προτού ξαναπέσουν στο έδαφος. Αυτό μπορεί να προκαλέσει την ανατάραξη κάποιων βαρύτερων μορίων, θρυμματισμό των ιδίων σε μικρότερα και

παραμονή των ελαφρότερων στον αέρα. Η διαδικασία αυτή προκαλεί την μεταφορά μορίων με μεγάλο εύρος μεγέθους και θεωρείται η πιο σημαντική διάβρωση λόγω ανέμου.

3). Μόρια μικρότερα με διάμετρο μέχρι 0.05 mm, μεταφέρονται μέσω αέρα σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι αυτά τα μικρά μόρια που σχηματίζουν τις θύελλες σκόνης που συμβαίνουν σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές και είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε χώρες που βρίσκονται κοντά σε ερήμους όπως η Δυτική Αφρική.

Η απομάκρυνση των καλών μερών εδάφους, αφήνει την επιφάνεια του να κυριαρχείται από βαρέα σκόνη, πέτρες και βράχους. Τα μόρια εναποθέτονται σε άλλα μέρη δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για την δημιουργία νέου εδάφους. Βέβαια αυτά τα εδάφη που δημιουργήθηκαν λόγω διαβρώσεως είναι ευαίσθητη σε αυτή. Η ένταση της διαβρώσεως που αναφέρεται σε μια περιοχή, υπολογίζεται από μια εμπειρική εξίσωση :

$$A=F(I, K, C, L, V) \quad (12.3) \quad \text{όπου :}$$

A= Απώλεια εδάφους

I= Διαβρωσιμότητα του εδάφους βασισμένη σε πειράματα

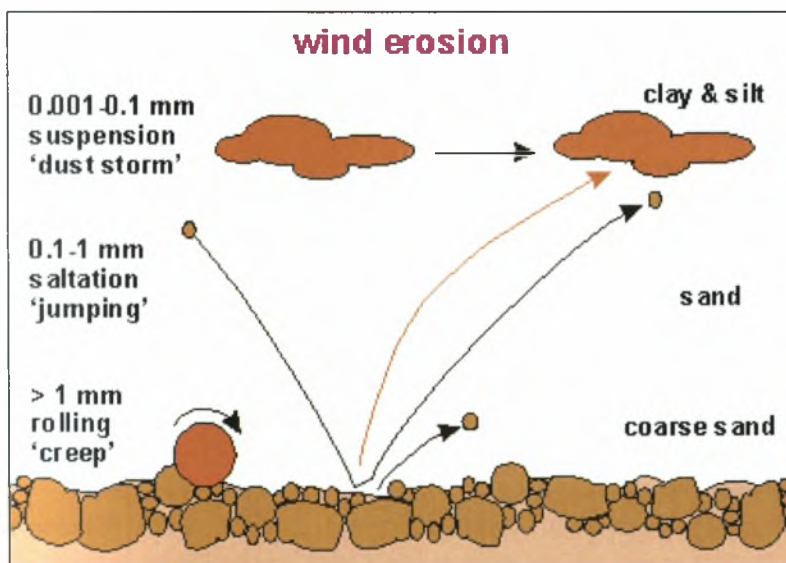
K= Η ταχύτητα της επιφάνειας του εδάφους, (συμπεριλαμβάνει το ύψος και τις αποστάσεις μεταξύ κενών).

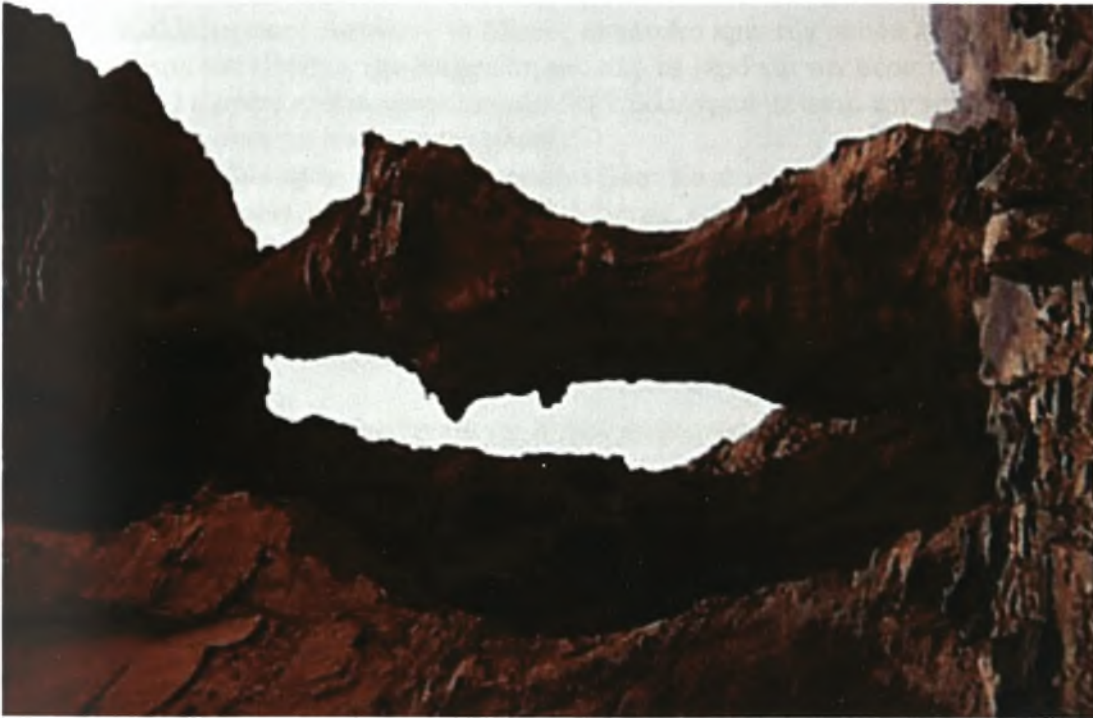
C= Παράγοντας κλίμα (ταχύτητα ανέμου, βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή).

L= Μήκος ακάλυπτης από ανέμους γης.

V= Βλαστική κάλυψη.

Η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκλογή καλύτερης μεθόδου διατήρησης του εδάφους. Πέρα από την πρακτική της αξία, η παραπάνω εξίσωση παραθέτει και άλλους τους παράγοντες που έχουν σχέση με την διάβρωση αέρα. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτής της καταστροφικότητας του νερού είναι οι ακόλουθες εικόνες





12.6 Φυσικές αρχές

Οι εξισώσεις 12.2 και 12.3 αναπτύχθηκαν από τα αποτελέσματα πειραμάτων στο χωράφι, και παρέχουν πρακτικούς τρόπους επιλογής καταλλήλων μεθόδων διατήρησης του εδάφους. Λόγω του ότι είναι εμπειρικοί ισχύουν απόλυτα μόνο για συνθήκες που είναι ίδιες αυτών των πειραμάτων.

Έχουν γίνει προσπάθειες για την δημιουργία βασικών εξισώσεων για τις φυσικές αρχές. Οι διαδικασίες για υδατοδιάβρωση είναι :

1). Αποκόλληση των μορίων εδάφους λόγω της σύγκρουσης με τις σταγόνες της βροχής και του απορρέοντα νερού.

2). Μεταφορά λόγω σύγκρουσης με σταγόνες της βροχής (παφλασμός).

3). από το νερό που ρέει πάνω στην επιφάνεια από ρυάκι σε ρυάκι.

Οι διαδικασίες αυτές είναι συνδεδεμένες άμεσα : Εάν η αποκόλληση ξεπεράσει την μεταφορική ικανότητα του νερού, τα μόρια εδάφους κατακάθονται, αντιθέτως περισσότερα μόρια αποκολλώνται. Εξισώσεις περιγραφικές αυτών των διεργασιών αναπτύσσονται, ώστε να παρέχουν λογικά ακριβής πρόγνωση της ετήσιας απώλειας εδάφους.

12.7 Λόγοι επιταχυνόμενης διάβρωσης

Οι δραστηριότητες του ανθρώπου αύξησαν την διάβρωση, γιατί ο αυξημένος πληθυσμός της γης επιζητά με περισσότερο ζήλο για κατασκευαστικά υλικά και καύσιμα, περισσότερη καλλιεργήσιμη γη και μεγαλύτερη πυκνότητα βοοειδών, αιγών και προβάτων. Οι βασικοί λόγοι επιταχυνόμενης διάβρωσης είναι οι :

1). **Καταστροφή των δασών** : Απομάκρυνση της βλαστικής κάλυψης αποκαλύπτει το έδαφος, στην διάβρωση της βροχής, καθώς το νερό προκαλεί έντονη διάβρωση ιδιαίτερα σε απότομες πλαγιές.

2). **Καλλιέργεια των εκτάσεων χορταριού** : Το νερό προκαλεί επίσης διάβρωση όταν το έδαφος είναι ξηρό ή υπάρχει υγρασία, ενώ εάν έχει προέλθει από την εναπόθεση αερο-μεταφερομένων μορίων εδάφους, κινδυνεύει να διαβρωθεί από τον αέρα περαιτέρω.

3). Καλλιέργειες : Αφήνουν το έδαφος ακάλυπτο πριν την σπορά και μετά την συγκομιδή με αποτέλεσμα την διάβρωση του από το νερό και τον αέρα.

4). Καλλιέργεια απότομων πλαγιών : Η καλλιέργεια με αυτό τον τρόπο δημιουργεί κανάλια για απορρέοντα υλικά.

5). Έντονη βόσκηση για τα κατοικίδια ζώα: Καταστροφή της κάλυψης ου δίνουν τα φυτά, η παρουσία κατσικιών στις πλαγιές, και βοοειδών κοντά σε τράπεζες, νερού είναι καταστροφικές.

6). Μονοπάτια και ίχνη ζώων : Συλλογή απορρέοντος νερού και δημιουργία ρυακιών.

7). Νέοι δρόμοι : Αυξημένη απορροή μπορεί να προκαλέσει την δημιουργία ρυακιών.

8). Ενόχληση λόγω εξορύξεων και άλλων διεργασιών αφήνουν το έδαφος απροστάτευτο.

Η καταστροφή για παράδειγμα, δασικών εκτάσεων δεν προκαλεί σε χαλαρές πλαγιές όταν η βροχόπτωση δεν είναι διαβρωτική, αλλά μπορεί να είναι καταστροφική σε απότομες πλαγιές με δυνατή βροχή. Η έντονη βόσκηση είναι ασφαλής αλλά όταν ακολουθείται από ξηρασία τότε δημιουργούνται προβλήματα.

Παρομοίως η καλλιέργεια σε απότομες πλαγιές μπορεί να γίνει ασφαλής με την κατασκευή πεζουλίων όπως στο Περού, Ινδονησία.

12.8 Διατήρησης εδάφους

Ο πιο ασφαλής τρόπος για να προστατευθεί το έδαφος είναι να μην αποκαλυφθεί άμεσα σε νερό ή αέρα, αλλά αν καλλιεργηθούν καλλιεργήσιμα φυτά τότε δεν είναι πρακτικό. Έτσι αρκετές μέθοδοι αναπτύχθηκαν ώστε να προστατευτεί το έδαφος από την διάβρωση, οι οποίοι κατατάσσονται ως εξής :

1). Βιολογικοί τρόποι διατήρησης φυτικής κάλυψης ιδιαίτερα σε περιόδους αυξημένης διαβρωτικής επικινδυνότητας:

- α. Καλή διαχείριση των φυτειών
- β. Χρήση εναλλαγών
- γ. Φυτείες κάλυψης για την σταθεροποίηση πλαγιών
- δ. Πυκνή σπορά
- ε. Προστατευτική σπορά ζιζανίων
- στ. Χρήση φρακτών δέντρων ως ανεμοσπάστες
- ζ. Σωστή αξιοποίηση των λιβαδιών

2). Καλλιέργεια : Χρήση κοινών μεθόδων προετοιμασίας της γης πριν την καλλιέργεια.

- α. Περιγραμματικό όρφωμα
- β. Ελεγχόμενα υψωματάκια
- γ. Ελάχιστο όργωμα

3). Μηχανική προστασία : Διαφοροποίηση της σποροκλίνης

- α. Ελεγχόμενα κανάλια
- β. Απορροφητική σποροκλίνη
- γ. Πεζούλια
- δ. Αρδευόμενη σποροκλίνη

Οι κατάλληλες μέθοδοι εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένου και τους παράγοντες των εξισώσεων 12.2 και 12.3, όπως και διάφορους κοινωνικούς, οικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες που αφορούν την ύπαρξη νέας γης, φυσική κατάσταση της γης, οργάνωση τοπικών αγροτών καθώς και την δυνατότητα (μηχανική, γνώση, ικανότητα) καλλιέργειας της . Οι γενικές αρχές μπορούν να καταγραφούν στα τρία παρακάτω παραδείγματα :

1). Σε πολλές χώρες με υγρό και τροπικό κλίμα η παραδοσιακή μέθοδος είναι για τον αγρότη ο καθαρισμός ενός μικρού μόνου μέρους γης, διατηρώντας μεγάλα δέντρα, καλλιέργεια της γης για 2 – 3 χρόνια πριν της επιτραπεί η αλλαγή της σε δάσος για 10 χρόνια ή περισσότερο. Έτσι το έδαφος προστατεύεται από την διάβρωση λόγω της μικρής γης, της παρουσίας των δέντρων και της ισορρόπησης της δομής του από την συσσώρευση οργανικής ύλης κατά την περίοδο της παρουσίας του δάσους. Η αυξανόμενη ανάγκη οδήγησε την μείωση του χρόνου αυτού και αύξησε την καλλιεργητική περίοδο και έκταση της καλλιεργήσιμης γης από την οποία απομακρύνθηκαν τα δέντρα. Η διαβρωτική τροπική βροχή προκάλεσε σημαντική διάβρωση. Πειράματα έδειξαν ότι αυτή η διάβρωση αποφεύγεται από την χρήση ζιζανίων. Η μάζα οργανικής ύλης διατηρεί την διαπεραστική ικανότητα του νερού, προστατεύοντας την επιφάνεια του εδάφους από την σύγκρουση με τις σταγόνες της βροχής και ισορροπώντας το έδαφος, αυξάνοντας τον σχηματισμό πόρων. Με μηδενικό όργωμα ο σπόρος σπέρνεται άμεσα στα υπολείμματα της προηγούμενης σοδειάς, μειώνοντας την αποκάλυψη γυμνού εδάφους στις επιδράσεις της βροχής.

2). Οι πράσινες εκτάσεις της Αφρικής, Αυστραλίας και Βορείου Αμερικής είναι υπόλογες στην διάβρωση είτε από τον αέρα, είτε από το νερό, είτε και των δύο μαζί, όταν καλλιεργούνται. Εκεί όπου το χωράφι πλαγιάζει ελαφρώς, το περίγραμμα είναι αρκετό για να ελέγξει την διάβρωση. Εάν υπάρχει πιθανότητα απορροής, χαμηλές τράπεζες στοιχίζονται λίγο έξω από το περίγραμμα (περιφέρεια). Η απορροή από τα καλλιεργούντα εδάφη μειώνει ταχύτητα πίσω από τις τράπεζες, και ρέει προς τα πλευρά του χωραφιού και εξαπλώνεται πάνω σ' ένα διάδρομο νερού γεμάτο με χορτάρι. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα καλλιέργειας γνωστό ως ύψωμα – ρυάκι πετυχαίνετε το ίδιο αποτέλεσμα, οδηγώντας το νερό έξω από την περιφέρεια του χωραφιού. Εκεί όπου υπάρχει ανάγκη διατήρησης νερού, τα βουναλάκια της στοιχίζονται κατά μήκος του περιγράμματος, σταματώντας με αυτό τον τρόπο την κατηφορική ροή, εκτρέποντας στο νερό την είσοδό του στο έδαφος. Ο χώρος μεταξύ δύο φραγμάτων είναι γνωστό ως περιοχή απορρόφησης. Εναλλακτικά με την χρήση καλλιεργειών όπως το τριφύλλι προστατεύεται το έδαφος ενάντια στην απορροή.

Εκεί όπου το έδαφος υπόκειται σε διάβρωση αέρα, το πάνω μέρος δημητριακών, και συχνά τους στάχυς, αφήνετε μέχρι τον θερισμό της νέας σοδειάς. Μια άλλη μέθοδος είναι η καλλιέργεια σε λωρίδες με κατάλληλη γωνία ώστε να αποφεύγουν τον άνεμο, ενώ ανάμεσα στις γραμμές να επιτρέπεται η ανάπτυξη ψηλού χορταριού που θα λειτουργεί ως αεροθραύστης φράχτες και σειρά δέντρων λειτουργούν επίσης και ως αεροθραύστες. Η περιοχή που προστατεύεται από έναν αεροθραύστη είναι σχετικά μικρή και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και την διαβρωσιμότητα του εδάφους και μπορεί να φθάσει 5 φορές το ύψος του φράχτη, αντίθετα στον άνεμο και 20 φορές όταν έχει την ίδια φορά με τον άνεμο.

3). Η διάβρωση αποτελεί πάντα έναν σοβαρό κίνδυνο σε χωράφια με κλίση και ξηρό κλίμα, έτσι οι μέθοδοι διατήρησης δεν είναι πάντα πρακτικοί. Η κατασκευή «πεζουλιών» προϋποθέτει την χρήση πολλών πετρών και εργατικού, κάτι που την καθιστά ακριβή. Εάν ο λόφος έχει δέντρα τότε θα πρέπει να παραμείνουν ανέγγιχτα. Η αυξανόμενη όμως αναγκαιότητα για ξυλεία και καύσιμα έχει καταστρέψει τέτοιου είδους εδαφική προστασία, όπως στο Νεπάλ, με αποτέλεσμα την έντονη διάβρωση. Φαίνεται ότι όταν η τοπική κοινωνία ενδιαφέρεται για τα δέντρα, η δεντροφύτευση είναι αποτελεσματική.

Κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες

Η ανάγκη για ξυλεία ως καύσιμο, υποδεικνύει την ανάγκη να διευρύνουμε την οπτική μας στο θέμα των μεθόδων διατήρησης εδάφους. Η ξυλεία κοστίζει μόνο όσο η διαδικασία κοπής και συχνά είναι πιο φθηνή από εναλλακτικές ενέργειες όπως ο ηλεκτρισμός, υγραέριο και την κηροζίνη (παραφίνη). Εκεί όπου ο κίνδυνος διάβρωσης είναι αισθητός, τότε εναλλακτικοί τρόποι παραγωγής καυσίμου είναι οι φθηνότεροι τρόποι διατήρησης του εδάφους.

Όπως αναφέρθηκε πιο πριν, η βασική αιτία εμφάνισης της επιταχυνόμενης διάβρωσης είναι η αυξανόμενη ανάγκη για τροφή. Αυτό συνήθως γίνεται χωρίς σωστή και λογική σκέψη, καθώς και προγραμματισμό για την προστασία του εδάφους.

Έτσι έχουμε την αύξηση της καλλιεργημένης γης και κοπής των δέντρων. Αυξάνεται επίσης, η χρήση εδαφών προτού προετοιμαστούν ενδυναμώνοντας το ρίσκο της διάβρωσης. Εάν το ρίσκο αυτό είναι πολύ μεγάλο και οι μέθοδοι διατήρησης του εδάφους, είναι ακριβές, τότε θα πρέπει να το αφήνουμε ανέγγιχτο. Για να παράγουμε την απαιτούμενη τροφή και ξυλεία θα πρέπει να εντατικοποιηθεί η καλλιέργεια των υπαρχόντων χωραφιών, χωρίς να παραβλέψουμε όμως την ανάπτυξη μεθόδων διατήρησης της γονιμότητάς των.

Οι μέθοδοι διατήρησης του εδάφους είναι το θέμα που θα πρέπει να απασχολήσει και τους αγρότες, αλλά και τις τοπικές κοινότητες. Η απορροή από ένα χωράφι μπορεί να προκαλέσει αναταράξεις και καταστροφές σε διπλανά χωράφια. Απορρέοντα στοιχεία (νερό, χώμα) επηρεάζουν όλη την συλλογή του ποταμού. Έτσι η συνεργασία όλων των τοπικών φορέων κρίνεται απαραίτητη, καθώς και ότι ο προγραμματισμός θα πρέπει να βασίζεται στους υδροκρίτες του ποταμού.

12.9 Περίληψη

Η διάβρωση του εδάφους είναι μια φυσική διεργασία, η οποία επιταχύνεται από την απομάκρυνση της βλάστησης (δέντρων, χορταριού), την καλλιέργεια και την υπερβολική βόσκηση. Επειδή είναι αμετάκλητη θεωρείται ο σοβαρότερος κίνδυνος υποβάθμισης εδάφους. Οι επιδράσεις της δεν οριοθετούνται μόνο στις χαμηλές σοδειές σε διαβρωμένα εδάφη, υπάρχουν επιβλαβείς επιδράσεις σε φράγματα και υδροκρίτες. Οι ποικίλοι παράγοντες που συμβάλλουν στην διάβρωση, συνδυάζονται σε εμπειρικές εξισώσεις, που χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση μεθόδων διατήρησης. Η διάβρωση δια αέρα είναι πιο έντονη σε ξηρά εδάφη, ειδικά κοντά σε ερήμους. Η διάβρωση δια ύδατος εξαρτάται από την ένταση των βροχών και γι' αυτό τον λόγο είναι πιο έντονη σε τροπικές και υγρές περιοχές.

Τρόποι ελέγχου υπάρχουν. Η εφαρμογή τους απαιτεί την συνεργασία όλων των ανθρώπων που ασχολούνται με τη γη. Απαιτούνται οικονομικές λύσεις διαχείρισης και διατήρησης του εδάφους από ανθρώπους που είναι έμπειροι και γνώστες του αντικειμένου, ώστε να ελαττωθεί ο κίνδυνος που ονομάζεται **διάβρωση**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

- 13.1 Εισαγωγή
- 13.2 Άζωτο, οι πηγές του και ως κίνδυνος για την υγεία
- 13.3 Ευτροφισμός επιφάνειας και υδάτων
- 13.4 Εντομοκτόνα
- 13.5 Υποβάθμιση του εδάφους
- 13.6 Ξηρασία
- 13.7 Απόκτηση υψηλής αποδοτικότητας χωράφια
- 13.8 Οργανική καλλιέργεια
- 13.9 Διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους
- 13.10 Επιλογή της καλύτερης χρήσης για το έδαφος
- 13.11 Περίληψη

Εισαγωγή

Τα εδάφη χρειάζονται ώστε να αναπτυχθούν σοδειές, ζωοτροφές, ίνες, ξύλα για κατασκευές και καύσιμα και έχουν την ικανότητα διατήρησης δασών και λιβαδιών. Λόγω της αύξησης του πληθυσμού της γης, νέα εδάφη καλλιεργούνται καθημερινά. Αυτή η κίνηση έχει σταματήσει σε πολλά μέρη του κόσμου, γιατί η γη είναι δύσκολη στην καλλιέργεια ή απλά ασύμφορη. Η διατήρηση των οικοσυστημάτων, η ανάγκη των οποίων έχει μεγάλη αποδοχή στις ημέρες μας, έχει ελαττώσει την ανάπτυξη της γεωργίας. Οι προβλέψεις για τον πληθυσμό της γης δείχνουν αύξηση του μεταξύ του 1991 – 2001 της τάξεως τους ενός δισεκατομμυρίου, και υπολογίζεται ότι θα φθάσει το αστρονομικό νούμερο των 10×10^8 στα μέσα του 21^{ου} αιώνα. Η μεγαλύτερη αύξηση στα καύσιμα θα γίνει στις τρίτες χώρες. Η ανάγκη για τροφοδοσία αυτού του αυξημένου πληθυσμού θα γεννηθεί, και θα εντευχθεί με την καλύτερη διαχείριση των εδαφών. Και τότε γεννάτε το ερώτημα: μπορεί να γίνει εντατικοποίηση της χρήσης των καλλιεργημένων εκτάσεων όταν τα εδάφη είναι ασταθή, οι βροχές είναι διαβρωτικές ή αναξιόπιστες και τα συστατικά στοιχεία για ανάπτυξη απλά ή ελλιπή;

Υπάρχουν διαφορετικά προβλήματα στις χώρες της Ευρώπης και Βορείου Αμερικής. Υπερπαραγωγή τροφίμων δίνει μια εξήγηση για λιγότερο εντατική καλλιέργεια και έχει οδηγήσει στην κριτική της χρήσης λιπασμάτων και εντομοκτόνων, με την παράλληλη αποδοχή και υποστήριξη της βιολογικής καλλιέργειας. Η κοινή γνώμη έχει στραφεί προς την ποιότητα, τρόπους παραγωγής και την ποιότητα του πόσιμου νερού. Το ερώτημα που θα πρέπει να μας απασχολήσει είναι πόσο σημαντική είναι η προσφορά των λιπασμάτων και των εντομοκτόνων σε σχέση με τους κινδύνους που εγκυμονούν.

Εκτός της αναγκαιότητας που αναφέραμε στην παραπάνω παράγραφο το έδαφος αποτελεί σημαντικό στοιχείο της γήινης βιόσφαιρας όπου η ζωή κατοικεί. Αλλάζει την ροή των υδάτων και διαχωρίζει – ενώνει την ατμόσφαιρα και τα ποτάμια, παρέχει φυσική υποστήριξη για την βλάστηση, θρεπτικά συστατικά και νερό και όλα μας μαζί

έδαφος και φυτά μεταλλάσσουν τα αέρια της ατμόσφαιρας και το CO₂. Μόλις πρόσφατα αρχίσαμε να κατανοούμε την σημασία των εδαφών για την βιόσφαιρα. Υπάρχουν τρία θέματα τα οποία πρέπει να καταγραφούν, που αναφέρονται στην σωστή χρήση του εδάφους.

- 1). Είναι σημαντικό να διατηρήσουμε την γονιμότητα του εδάφους όταν η χρήση τους γίνεται πιο εντατική λόγω της απαίτησης μεγαλύτερης σοδειάς.
- 2). Η ποιότητα των προμηθειών νερού και τροφίμων δεν θα πρέπει να επηρεάζεται εντόνως από την έκταση της καλλιέργειας.
- 3). Τα φυσικά οικοσυστήματα πρέπει να διατηρούνται.

Η γη του πλανήτη μας που έχει όλα τα στοιχεία ώστε να καλλιεργηθεί ελάχιστη, γι' αυτό πρέπει να την προσέχουμε πολύ καλά, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Alan Wild «νταντεύουμε». Είναι λοιπόν απαραίτητο να καθορίσουμε εξ' αρχής αν ένα έδαφος είναι κατάλληλο για γεωργική χρήση αλλιώς να παραμείνουν απείραχτα. Δρόμοι, εργοστάσια, σπίτια, αεροδρόμια και οποιαδήποτε αναμορφωτική διεργασία απαιτεί γη. Κάποια από τα προβλήματα που δημιουργούνται αναφέρονται σε αυτό το κεφάλαιο, και τα προηγούμενα, αλλά αρχικά μια γενική γνώμη πρέπει να διατυπωθεί.

Ένα μεγάλο εύρος οικονομικών, κλιματικών, πολιτικών, κοινωνικών, φυσικών και χημικών συνθηκών πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν την αλλαγή της χρήσης ενός εδάφους. Εκτός κι αν υπάρχει εμπειρία ή τοπικός πειραματισμός εκεί όπου υπάρχει εντατικοποίηση της γεωργίας η προσοχή είναι αναγκαία. Πρέπει να αναφερθεί ότι η τεχνολογία είναι μεταφερόμενη αλλά όχι αναγκαία.

Το κεφάλαιο χωρίζεται σε τρία θέματα. Οι πρώτες ενότητες ασχολούνται με τα προβλήματα που σχετίζονται με την χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων. Ακολουθεί η συζήτηση για τις επιδράσεις της εντατικοποίησης χρήσης του εδάφους και της ξηρασίας. Τέλος αναφέρονται τρόποι διατήρησης της γονιμότητας του εδάφους ώστε να μπορούν να προσφέρουν τα απαραίτητα για την επιβίωση του αυξανόμενου πληθυσμού.

13.2 Άζωτο, οι πηγές του και ως κίνδυνος για την υγεία

Το άζωτο βρίσκεται στα περισσότερα εδάφη και οι τρεις πηγές του είναι :

- 1). Διάσπαση της εδαφικής οργανικής ύλης, οργανικών λιπασμάτων και φυτικών καταλοίπων από μικροοργανισμούς.
- 2). Λιπάσματα που προσθέτουν άζωτο ή ουρίες και αμμωνιούχα λιπάσματα (μικροβιολογική διάσπαση NH₄⁺).
- 3). Προσθήκη από την ατμόσφαιρα.

Τα ιόντα NO₃ επειδή είναι αρνητικά φορτισμένα δεν απορροφούνται από τα περισσότερα εδάφη. Παραμένουν στο έδαφος μέχρι, είτε να απορροφηθούν από τις ρίζες των φυτών, είτε απομακρυνθούν από έδαφος στο αρδευτικό νερό ή απονιτροποιηθούν. Απομακρύνονται στο αρδευτικό νερό όταν υπάρχει ικανοποιητική βροχόπτωση, όπως γίνεται στην περίοδο της καλλιέργειας σε τροπικές περιοχές, και τον χειμώνα σε όψιμες περιοχές, εκτός κι αν το έδαφος παγώσει στο Ηνωμένο Βασίλειο η through-drainage είναι μεγαλύτερη σε υγρές περιοχές.

Η συγκέντρωση αζώτου στο στραγγιζόμενο νερό εξαρτάται από την μέθοδο άρδευσης και την ποσότητα αζώτου που είναι διαθέσιμη. Υψηλές συγκεντρώσεις υπάρχουν στην Νότια Αγγλία όπου υπάρχει μικρή through-drainage. Απώλεια αζώτου είναι πρόβλημα γιατί :

- 1). Αντιπροσωπεύει οικονομική ζημιά στον αγρότη
- 2). Στο πόσιμο νερό θεωρείται επικίνδυνο
- 3). Μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό.

Υγειονομικός κίνδυνος

Ο κίνδυνος για την υγεία από το άζωτο, αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά το 1945 στην Αιόβα. Η αρρώστια δύο νεογνών αποδόθηκε στην συγκέντρωση αζώτου ($90 - 140 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$) στο νερό που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του φαγητού τους. Το νερό προήλθε από ρηχό πηγάδι, το οποίο μολύνθηκε με κολοβακτηρίδια, δείκτες περιττωματικής μόλυνσης. Η αρρώστια είναι γνωστή ως μεθαιμογλομπιναεμία ή σύνδρομο του «μπλε μωρού». Δεν προκαλείται απευθείας από το άζωτο αλλά από την νιτρική που παράγεται στο έντερο από οργανισμούς που διασπούν το άζωτο.

Η αντίδραση της νιτρικής με την αιμογλοβίνη, αποτρέπει το αίμα να μεταφέρει οξυγόνο, κάτι που κάνει το δέρμα να φαίνεται μπλε. Στα Ηνωμένα Βασίλεια η τελευταία υπόθεση εμφάνισης της αρρώστιας αυτής ήταν το 1972, ενώ η ο τελευταίος θάνατος το 1950.

Έχει επίσης λεχθεί ότι αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου του εντέρου, με υψηλές δόσεις αζώτου που εισέρχονται στο σώμα μας μέσω του πόσιμου νερού. Υπάρχουν ενδείξεις ότι μετά την μείωση του αζώτου σε νιτρική στο έντερο, ένα παράγωγο της νιτρικής και των αμινών που βρίσκονται στην τροφή, κάνει την εμφάνιση του και είναι γνωστό ως νιτροαμίνη. Μερικές νιτροαμίνες έχουν δείξει πειράματα ότι είναι υπεύθυνες για την δημιουργία όγκων στο έντερο. Παρ' όλα αυτά η εμφάνιση καρκίνου του εντέρου είναι μικρότερη στην ανατολική Αγγλία από ότι σε όλο το Ηνωμένο Βασίλειο, παρά την μεγαλύτερη συγκέντρωση αζώτου στο πόσιμο νερό.

Αναλύσεις αζώτου στο πόσιμο νερό καταγράφονται ως συγκεντρώσεις NO_3 σε mg ανά Lt . Πρόσφατα η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε ως ανώτατο όριο τα 50 mg NO_3 ($11,3 \text{ mg NO}_3\text{-N}$) και έναν οδηγό στα 25 mg ($5,7 \text{ NO}_3\text{-N}$). Ο υγειονομικός κίνδυνος από το άζωτο στο νερό χωρίς περιττωματική μόλυνση είναι αμελητέος εκτός των νεογνών, που λόγω της ευαισθησίας τους απαιτείται προσοχή. Ο υγειονομικός κίνδυνος από το άζωτο αποτελεί κίνητρο για «θερμές» συζητήσεις και πολλές φορές δυνατές γνώμες επηρεάζουν την κοινή γνώμη. Οι επιστημονικές όμως έρευνες, έδειξαν ότι το πρόβλημα κάνει την εμφάνιση του μόνο σε μολυσμένα από μικροοργανισμούς πηγάδια.

Το άζωτο και η νιτρική είναι στοιχεία της ανθρώπινης και ζωικής διατροφής. Υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου παρουσιάζουν φύλλα (μαρούλι, λάχανο) λόγω

υπερβολικής λιπάνσεως. Κατά την μεταφορά το άζωτο μετατρέπεται σε νιτρική. Άλλη πηγή είναι το κρέας και το τυρί στα οποία προστίθεται ως παράγοντας εξυγίανσης. Περισσότερη από την μισή ποσότητα νιτρικής εκλαμβάνεται και χωνεύεται μέσω της τροφής. Το άζωτο είναι επικίνδυνο για τα βοοειδή γιατί το rumen αυτών των ζώων δημιουργεί περιβάλλον παραγωγικό ως προς την μετατροπή του αζώτου σε νιτρική. Απορρόφηση αζώτου προκαλεί προβλήματα δηλητηριάσεων στα ζώα τα τελευταία χρόνια στις ΗΠΑ.

Αγροτικές πηγές αζώτου

Έχει αποδειχθεί ότι φυτείες δημητριακών αφήνουν λίγο άζωτο στο έδαφος εκτός κι αν αποτύχει η φυτεία ή εμπλουτίστηκε το έδαφος με αζωτούχα λιπάσματα. Επίσης πράσινες καλλιέργειες (τριφύλλι) που κόβονται και μαζεύονται και αφαιρούνται, αφήνουν λίγο άζωτο στο έδαφος. Πατάτες και άλλα λαχανικά αφήνουν λίγο άζωτο λόγω της βαριάς λίπανσης που δέχονται, ποτίζονται συχνά και έχουν επιφανειακό ριζικό σύστημα και αφήνουν κατάλοιπα με μεγάλα ποσοστά αζώτου. Η παραγωγή αζώτου στο έδαφος σε περίπτωση έλλειψης με την απονιτροποίηση οργανικής ύλης, κατάλοιπα φυτών με μεγάλα ποσοστά αζώτου.

Η παραγωγή αζώτου στο έδαφος σε περίπτωση έλλειψης με την απονιτροποίηση οργανικής ύλης, κατάλοιπα φυτών, και οργανικής λίπανσης αν υπάρξει, συνεχίζει κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και εάν η θερμοκρασία το επιτρέψει και κατά την διάρκεια του χειμώνα. Σε αυτές τις περιόδους έχουμε μικρή απορρόφηση αζώτου από τις καλλιέργειες. Τα προβλήματα από την υπερβολική συγκέντρωση αζώτου δεν προκαλούνται μόνο από τα λιπάσματα γιατί :

- 1). Δεν έχουμε λίπανση το φθινόπωρο
- 2). Χρησιμοποιείται μόνο η απαιτούμενη
- 3). Το λίπασμα χρησιμοποιείται μόνο όταν η καλλιέργεια το απαιτεί
- 4). Δεν έχουμε αποτυχία σοδειάς

Τα αζωτούχα λιπάσματα δύναται να έχουν έμμεση επίδραση αυξάνοντας τα φυτικά κατάλοιπα και την εδαφική οργανική ύλη, ωστόσο το βασικό πρόβλημα είναι η διάσπαση του οργανικού αζώτου μετά την συγκομιδή. Η διάσπαση αυτή λαμβάνει χώρα και όταν παλαιά λιβάδια και δεντρώδεις εκτάσεις μετατρέπονται σε καλλιεργήσιμες. Όταν το έδαφος καλλιεργείται το φθινόπωρο χάνει 100 mg NO₃-N ανά εκτάριο κατά την διάρκεια του επόμενου χειμώνα.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω η συγκέντρωση του αζώτου στο αρδευόμενο νερό εξαρτάται από τα ποσά αζώτου που ελευθερώθηκαν και τον βαθμό άρδευσης. Στον παρακάτω πίνακα (13.1) για άρδευση 250mm, στην κεντρική Αγγλία η μέγιστη αποδεκτή τιμή επιτεύχθηκε με απελευθέρωση 28kg NO₃-N ανά εκτάριο. Εάν συγκριθούν οι τιμές του απελευθερωμένου αζώτου που χρειάζεται για να επιτευχθεί η μέγιστη αποδεκτή τιμή στο αρδευτικό νερό, με την συνολική ποσότητα αζώτου στο έδαφος (3000 kg έως 20000 kg ανά εκτάριο), καταλαβαίνετε πόσο λίγη ποσότητα αζώτου χρειάζεται να απελευθερωθεί για την δημιουργία προβλημάτων.

Πίνακας 13.1

Απώλεια	Άρδευση	Συγκέντρωση
Kg NO ₃ -N ha ⁻¹	(mm)	mg NO ₃ -N ανά L
28	250	11,2
100	250	40
28	500	5,6

Σημειώσεις :

1). Ο πίνακας δείχνει την εξάρτηση της συγκέντρωσης αζώτου στο νερό και από την ποσότητα αζώτου που ελευθερώθηκε και την ποσότητα νερού.

2). Οι συγκεντρώσεις είναι μέσες τιμές, θεωρώντας ότι όλο το άζωτο είναι παρόν στο νερό της μέτρησης.

3). Νερό 250 mm είναι ίσο με 25×10^5 L ανά εκτάριο.

4). 11.3 mg NO₃-N είναι η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση αζώτου στο νερό στην Ε.Ε.

Ευτροφισμός των επιφανειακών νερών

Ο εμπλουτισμός των νερών των λιμνών, των ποταμών και των θαλασσών με θρεπτικά συστατικά που αυξάνουν την αύξηση των υδρόβιων φυτών είναι γνωστός ως ευτροφισμός. Στην πραγματικότητα, είναι μια φυσική διαδικασία η οποία μπορεί να επιταχυνθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που προκαλούν εκκένωση των βιομηχανικών αποβλήτων, των λυμάτων των βόθρων, την αποστράγγιση και το φιλτράρισμα μέσω του εδάφους της υπερβολικής ποσότητας λιπάσματος ή κοπριάς της αγροτικής γης. Το πιο γνωστό χαρακτηριστικό του ευτροφισμού είναι η παραγωγή της φυκώδους άνθισης (algal blooms)

Υπάρχει μια αβεβαιότητα ως προς το εάν η φυκώδης άνθιση απορρέει απ' τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις του νιτρικού άλατος ή του φωσφορικού άλατος ή από κάποια άλλη αιτία. Είναι κοινώς αποδεκτό τώρα ότι η φυκώδης ανάπτυξη στα γλυκά νερά γενικά περιορίζεται από την συγκέντρωση του φωσφορικού άλατος ενώ στα θαλάσσια νερά περιορίζεται από τη συγκέντρωση νιτρικού άλατος. Ωστόσο, στα γλυκά νερά η συγκέντρωση του νιτρικού άλατος θα μπορούσε να επηρεάσει τα είδη

των μονοκύτταρων φυκών που αυξάνονται, μερικά από τα οποία προκαλούν σημάδια μόλυνσης στο πόσιμο νερό ή είναι τοξικά για τα ζώα.

Επειδή το φωσφορικό άλας απορροφάται από το έδαφος, η συγκέντρωση στα νερά των αποχετεύσεων από τα εδάφη συνήθως είναι πολύ χαμηλή, ακόμη και όταν έχουν χρησιμοποιηθεί φωσφορικά λιπάσματα. Οι τυπικές συγκεντρώσεις είναι περίπου 2×10^{-6} M, δηλαδή, 0.06 P l^{-1} . Ο οργανικά συγκρατούμενος φώσφορος είναι πιο διαλυτός, και υπάρχει ανησυχία για την αποστράγγισή του στα επιφανειακά νερά, δίνοντας συγκεντρώσεις του 1 mg P l^{-1} ή και περισσότερο, όταν μεγάλα ποσά λάσπης βοοειδών και χοίρων εφαρμόζονται σε αμμώδη εδάφη, όπως στην Ολλανδία. Το διαβρωμένο έδαφος είναι επίσης πηγή φωσφόρου και η διαλυτότητά του, αν και κανονικά είναι χαμηλή, αυξάνει υπό αναερόβιες συνθήκες οι οποίες μπορεί να υπάρχουν στις κοίτες των ποταμών και στους βυθούς των λιμνών. Ο φώσφορος μπαίνει επίσης στα γλυκά νερά με τα βιομηχανικά και αστικά υγρά λύματα.

Φυτοφάρμακα

Τα φυτοφάρμακα είναι χημικά που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν τους πληθυσμούς των επιβλαβών οργανισμών. Ένα παράδειγμα είναι το μείγμα Bordeaux, που έγινε αναμιγνύοντας διαλύματα θειικού χαλκού και υδροξειδίου του ασβεστίου, το οποίο είχε χρησιμοποιηθεί από καιρό στην Ευρώπη για να προστατέψει τα αμπέλια από επίθεση μύκητα και χρησιμοποιείται ακόμη για να ελέγξει την ερυσίβη της πατάτας που προκαλείται από τον μύκητα *Phytophthora infestans*.

Κατά την δεκαετία του 1930 το χημικό που είναι γνωστό ως 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) βρέθηκε ότι είναι ένα επιλεκτικό ζιζανιοκτόνο, που σκοτώνει τα αγριόχορτα με πλατιά φύλλα στις καλλιέργειες των δημητριακών. Περίπου την ίδια εποχή το DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane) βρέθηκε ότι καταπολεμεί ένα ευρύ φάσμα εντόμων. Ένας μεγάλος αριθμός φυτοφαρμάκων, που σχεδόν όλα είναι συνθετικά οργανικά χημικά, χρησιμοποιούνται τώρα για να ελέγξουν τους μύκητες, τα αγριόχορτα, τα έντομα, τα νηματοειδή, τα ακάρεια, τους γυμνοσάλιαγκες και άλλα βλαβερά παράσιτα. Η εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα είναι περιορισμένη σε σχεδόν λιγότερο από 50 χημικά, που πολλά απ' αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο καταγράφονται στον Πίνακα 13.2.

Η χρήση των φυτοφαρμάκων υπήρξε αντικείμενο κριτικής, αλλά αυτά συνέβαλαν σημαντικά στην αυξημένη παραγωγή τροφής που επιτεύχθηκε κατά τα τελευταία

χρόνια. Ωστόσο, η κατασκευή και η χρήση τους, συνεπάγονται κάποιους κινδύνους για το περιβάλλον. Εκείνοι που έχουν γίνει ευρέως γνωστοί είναι οι επιδράσεις τους στα ψάρια και στα πουλιά. Η περίπτωση του DDT αναφέρεται πιο κάτω. Τα περισσότερα από τα άλλα προβλήματα οφείλονται στις εκκενώσεις των βιομηχανικών εργοστασίων, την διάβρωση του εδάφους μεταφέροντας τα φυτοφάρμακα στα επιφανειακά νερά, την επιφανειακή αποστράγγιση από το έδαφος και την κατάφωρη υπερβολική χρήση των φυτοφαρμάκων. Το αποτέλεσμα είναι η ανησυχία ότι τα εδάφη, οι καλλιέργειες για τροφή και το πόσιμο νερό μπορεί να έχουν συγκεντρώσεις χημικών που θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή.

Υπάρχουν μερικές αναφορές ότι τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν την ισορροπία στους οργανισμούς του εδάφους. Για παράδειγμα, το DDT σκοτώνει τα είδη *Collembola*, και το carbaryl μειώνει τον αριθμό των βακτηρίων που υδρολύουν την κυτταρίνη. Ωστόσο, δεν υπάρχουν στοιχεία για οποιαδήποτε επίδραση στην γονιμότητα του εδάφους όταν εφαρμόζονται φυτοφάρμακα στις συνιστώμενες δόσεις.

Τα φυτοφάρμακα στα εδάφη

Μερικά φυτοφάρμακα εφαρμόζονται άμεσα στο έδαφος. Το atrazine (*chloroethylaminoisopropylaminotriazine*) είναι ένα παράδειγμα ζιζανιοκτόνου που εφαρμόζεται στο έδαφος (επίσης ψεκάζεται πάνω στα ζιζάνια) για να σκοτώσει τα φιντάνια των αγριόχορτων πριν εμφανιστούν πάνω από το έδαφος. Τα φυτοφάρμακα φθάνουν επίσης στο έδαφος με σταγόνες από τα φυτά, ως θεραπεία στο σπόρο, βύθισμα της ρίζας, ψεκάσμος που δεν κάνει επαφή με τον στοχευόμενο οργανισμό, και στους ιστούς των φυτών και των εντόμων που έχουν σκοτωθεί. Απ' τη στιγμή που τα φυτοφάρμακα είναι παρόντα στο έδαφος οι τρεις κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την τύχη τους είναι η απορρόφηση από το έδαφος, η αποσύνθεση και η εξάτμιση. Αυτές οι διαδικασίες, που πρόκειται να συζητηθούν τώρα, και επίσης η διάλυσή τους στο νερό, καθορίζουν την κινητικότητά τους και την εμμονή τους στο έδαφος.

Απορρόφηση

Η συγκράτηση των φυτοφαρμάκων από τα εδάφη, που αναφέρεται γενικά στην απορρόφηση, μειώνει την συγκέντρωσή τους στο διάλυμα. Τα χαρακτηριστικά των φυτοφαρμάκων που γενικά σχετίζονται με την μεγαλύτερη απορρόφηση είναι: α) υψηλή μοριακή μάζα, β) μια τάση να σχηματίζουν θετικά φορτισμένα ιόντα (κατιόντα) και γ) η παρουσία χημικών ομάδων που μειώνουν τη συγγένεια του μορίου για τις επιφάνειες των εδαφών.

Η απορρόφηση γενικά μετρείται αφήνοντας το έδαφος να αντιδράσει με υδατικά διαλύματα των φυτοφαρμάκων σε ένα εύρος συγκεντρώσεων. Σε ισορροπία το ποσό που απορροφάται λαμβάνεται ως η διαφορά ανάμεσα στο ποσό που προστέθηκε και στο ποσό που παραμένει στο διάλυμα. Σε ένα περιορισμένο εύρος συγκεντρώσεων συχνά υπάρχει μια σχέση ευθείας γραμμής ανάμεσα στο ποσό που απορροφάται, x , και την συγκέντρωση ισορροπίας, c . Η κλίση της γραμμής, x/c , είναι γνωστή ως συντελεστής απορρόφησης, K , ή σταθερά της κατανομής απορρόφησης του φυτοφαρμάκου από το έδαφος που χρησιμοποιείται στο πείραμα, και είναι μια μέτρηση της ρυθμιστικής ικανότητας. Η εξίσωση $x/c = K$ είναι μια μορφή Freundlich εξίσωσης.

Οι μέσες τιμές του K για κάποια ευρέως χρησιμοποιούμενα φυτοφάρμακα (Πίνακας 13.3) διαφέρει κατά πολύ ανάμεσα στο αδύναμα απορροφούμενο 2,4-D και το δυνατά απορροφούμενο DDT και το paraquat (dimethylbipyridilium dichloride). Οι μέσες τιμές είναι για τα εδάφη με μια ευρεία ποικιλία συνθέσεων.

Η περιεκτικότητα του οργανικού άνθρακα είναι συχνά το χαρακτηριστικό του εδάφους που συσχετίζεται καλύτερα με την απορρόφηση, η οποία μπορεί να εκφραστεί ως K_{oc} χρησιμοποιώντας την Freundlich εξίσωση, όπου το x είναι milligrams του φυτοφαρμάκου που απορροφήθηκε ανά kg οργανικού άνθρακα του εδάφους (oc). Τα αργιλώδη ορυκτά απορροφούν επίσης φυτοφάρμακα, με την σειρά της απορρόφησης να είναι smectites>illite>kaolinite, που είναι επίσης η σειρά μείωσης επιφανειακής περιοχής (Πίνακας 4.2)

Οι μηχανισμοί για την απορρόφηση των εντομοκτόνων από τα εδάφη συμπεριλαμβάνουν:

1. Τη δέσμευση απ' την ανταλλαγή ιόντων η οποία, για δύο λόγους, εξαρτάται απ' το pH του εδάφους. Πρώτον, η φόρτιση στα σωματίδια του εδάφους διαφέρει ανάλογα με το pH και δεύτερον, το pH επηρεάζει τη φόρτιση στα μόρια αρκετών

φυτοφαρμάκων. Ως παράδειγμα, στην ομάδα των ζιζανιοκτόνων triazine, το μόριο (T) πρωτονιώνεται σε χαμηλό pH:



Το κατιόν HT^+ απορροφάται στις αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες του αργίλου και της οργανικής ύλης.

2. Μη συγκεκριμένη φυσική δέσμευση, μέσου της οποίας μη φορτισμένα μόρια κρατούνται από αδύναμες ελκυστικές δυνάμεις.
3. Δέσμευση υδρογόνου, η οποία συμβαίνει εάν το φυτοφάρμακο περιέχει, για παράδειγμα, μια $-NH$ ομάδα, το άτομο του H αντιδρά ως γέφυρα με ένα άτομο O στις επιφάνειες του αργίλου ή ένα άτομο O στις καρβοξυλικές ομάδες που βρίσκονται στην οργανική ύλη του εδάφους.
4. Δεσμός συνεργασίας, που εμπλέκει ένα μοίρασμα των ηλεκτρονίων ανάμεσα στο φυτοφάρμακο και τις ορυκτές ή οργανικές επιφάνειες.

Η αδύναμη απορρόφηση, δηλαδή, μια μικρή τιμή του K , δείχνει μια υψηλή κινητικότητα ενός υδατοδιαλυτού φυτοφαρμάκου στο έδαφος και μια μεγάλη τιμή δείχνει χαμηλή κινητικότητα. Η τιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσουμε το βαθμό της μεταφοράς του φυτοφαρμάκου στις ρίζες του φυτού και στο νερό αποστράγγισης. Το paraquat για παράδειγμα απορροφάται έντονα από τον άργιλο και έτσι δεν είναι πιθανό να διαρρεύσει έξω από το έδαφος (η κίνησή του σε αρκετά χρόνια είναι μικρή), ούτε και θα κινηθεί στις ρίζες του φυτού. Η επίδρασή του συνεπώς είναι μέσω επαφής με τα φύλλα του φυτού. Ωστόσο τα υδατοδιαλυτά φυτοφάρμακα, ξεφεύγουν απ' την απορρόφηση με το να ξεπλένονται διαμέσου των ρωγμών και των πόρων στο έδαφος και να περνάνε στο νερό και μετά στον υδροφόρο ορίζοντα. Παρομοίως, η αποστράγγιση μπορεί να μεταφέρει υδατοδιαλυτά φυτοφάρμακα στα επιφανειακά νερά π.χ στα ποτάμια και στις λίμνες.

Εξάτμιση

Τα φυτοφάρμακα έχουν μια ευρεία κλίμακα εξάτμισης όπως φαίνεται από τις τιμές της πίεσης αερίων ατμών στο Πίνακα 13.4. Στο έδαφος τα μόρια του φυτοφαρμάκου χωρίζονται σε αεριοποιημένες και σε υγρές φάσεις. Ο συντελεστής διαχωρισμού, γνωστός επίσης ως συντελεστής διαλυτότητας Ostwald, B , ισοδυναμεί με τη συγκέντρωση στην φάση του αερίου. Επειδή η διάχυση είναι περίπου 10^4 φορές γρηγορότερη στα αέρια απ' ότι είναι στο νερό (Πίνακας 6.1), η διάχυση είναι κυρίως ως αέριο εάν το B είναι μικρότερο του 10^4 , και στην υγρή φάση εάν το B είναι

μεγαλύτερο από 10^4 . Απ' τους συντελεστές διαχωρισμού που δίνονται στον Πίνακα 13.4 φαίνεται ότι ο παράγοντας διβρωμιούχο αιθυλένιο που αποστειρώνει το έδαφος διαχέεται διαμέσου του εδάφους ως αέριο ενώ το simazine διαχέεται σε υγρή μορφή. Οι αρχές που διέπουν την διάχυση του αερίου εκτίθενται στο Κεφάλαιο 6.

Αποσύνθεση

Τα επικρατέστερα μέσα αποσύνθεσης είναι οι βιοχημικές διαδικασίες που εκτελούνται από μικροοργανισμούς του εδάφους. Επιπλέον, η αποσύνθεση ακολουθεί την απορρόφηση από τα ασπόνδυλα του εδάφους, συμπεριλαμβάνοντας τους γαιοσκώληκες, και επίσης από τα φυτικά ένζυμα μετά την απορρόφηση από τις ρίζες. Τα ένζυμα που είναι υπεύθυνα για την αποσύνθεση είναι παρόμοια σε όλους τους οργανισμούς αν και η αποτελεσματικότητά τους διαφέρει κατά πολύ. Τα τελικά προϊόντα είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό και το νιτρικό άλας, το θειικό άλας ή το φωσφορικό άλας εάν το φυτοφάρμακο περιέχει άζωτο, θείο ή φώσφορο. Η αποσύνθεση μπορεί επίσης να γίνει σε αποστειρωμένο έδαφος, υπονοώντας έτσι την χημική αποικοδόμηση. Η υδρόλυση, η αναγωγή και η οξειδωση είναι οι πιο σημαντικές διαδικασίες. Στην επιφάνεια του εδάφους τα περισσότερα φυτοφάρμακα αποσυντίθενται σε μετρήσιμους βαθμούς από το ηλιακό φως (φωτόλυση).

Τα βακτήρια, οι μύκητες και οι ακτινομύκητες είναι κυρίως υπεύθυνοι για την αποικοδόμηση των φυτοφαρμάκων στο έδαφος, ενεργώντας μερικές φορές από μόνα τους και μερικές φορές σε συνδυασμό. Η βιοαποικοδόμηση των φυτοφαρμάκων επηρεάζεται απ' τις ίδιες διαδικασίες που διέπουν την μικροβιακή δραστηριότητα, τα οργανικά μόρια χρησιμοποιούνται ως προμηθευτές ενέργειας. Ο βαθμός αποσύνθεσης των φυτοφαρμάκων εξαρτάται από την θερμοκρασία του εδάφους και την περιεκτικότητα σε νερό, τη μοριακή τους δομή και την επίδραση απορρόφησης, η οποία μπορεί να μειώσει την προσβασιμότητα του φυτοφαρμάκου στους μικροοργανισμούς. Καθώς οι δομές μερικών φυτοφαρμάκων είναι νέες για τους μικροοργανισμούς μπορεί να υπάρχει μια περίοδος προσαρμογής δίνοντας μια φάση υστέρησης πριν την πιο γρήγορη φάση της αποσύνθεσης.

Εμμόνη

Τα φυτοφάρμακα υφίστανται απορρόφηση, αποσύνθεση και εξάτμιση όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Ιδανικά ένα φυτοφάρμακο θα πρέπει να παραμένει αρκετό καιρό για να σκοτώσει τον οργανισμό που είναι στόχος και μετά να αποσυντίθεται σε

αβλαβή προϊόντα αποικοδόμησης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 13.3, 2,4-D αποσυντίθεται στο έδαφος σε περίπου ένα μήνα ενώ το DDT μπορεί να επιμένει επί αρκετά χρόνια. Το βασικό προϊόν αποικοδόμησής του, το DDE είναι επίσης επίμονο. Με επανειλημμένες εφαρμογές, οι συγκεντρώσεις των πιο επίμονων φυτοφαρμάκων θα αυξηθούν και μπορεί να βλάψουν και τους οργανισμούς που δεν αποτελούν στόχο.

Φυτοφάρμακα στο περιβάλλον

Οι τρεις κύριες χρήσεις των φυτοφαρμάκων που είναι χρήσιμες στον άνθρωπο είναι:

1. Να ελέγξουμε τα ζιζάνια, τις μυκητιάσεις και τα έντομα και άλλους βλαβερούς οργανισμούς που διαφορετικά θα μείωναν την απόδοση των αγροτικών καλλιεργειών.
2. Να σταματήσουμε την φθορά της συγκομιδής κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ελέγχοντας τα βλαβερά έντομα όπως οι σιταρόψειρες.
3. Να σκοτώσουμε οργανισμούς που είναι φορείς ασθενειών.

Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι αναγνωρίστηκαν πρώτα με το DDT, ένα οργανοχλωριούχο εντομοκτόνο. Χρησιμοποιήθηκε ευρέως κατά τις δεκαετίες 1940 και 1950 για να σκοτώσει τα κουνούπια και μπορεί συνεπώς να έχει σώσει εκατομμύρια ζωές απ' την ελονοσία. Ωστόσο, τρεις ιδιότητες του DDT μαζί, προκαλούν προβλήματα. Πρώτον, το DDT και το βασικό προϊόν αποσύνθεσής του το DDE είναι πολύ επίμονα. Δεύτερον, είναι διαλυτό στο λίπος και συνεπώς συσσωρεύεται σε λιπαρούς και σε ελαιώδεις ιστούς. Τρίτον, είναι τοξικό για τα ψάρια και τα πουλιά.

Οι εφαρμογές του DDT που φθάνουν στο έδαφος απορροφούνται από τους γαιοσκώληκες και τα έντομα. Οι συγκεντρώσεις αυξάνουν στα πουλιά που τρώνε τους γαιοσκώληκες και τα έντομα και αυξάνονται ακόμα περισσότερο στα αρπακτικά πουλιά όπως ο αετός. Παρόμοια στο νερό, το DDT απορροφάται από το πλαγκτόν το οποίο καταναλώνεται από τα μικρά ψάρια, τα οποία τρώγονται από μεγαλύτερα ψάρια και πουλιά. Η συγκέντρωση των χημικών στους ιστούς των ζώων αυξάνεται με κάθε βήμα και προκαλεί το θάνατό τους. Γι' αυτό το λόγο η χρήση του DDT απαγορεύεται τώρα σε πολλές χώρες.

Εξαιτίας της εμπειρίας με το DDT, απαιτείται ολοκληρωτικός έλεγχος της επίδρασης που έχει ένα χημικό στο περιβάλλον πριν μπορέσει να βγει στην αγορά. Βασισμένοι στα αποτελέσματα αυτών των τεστ τα φυτοφάρμακα που είναι τώρα σε χρήση γενικά θεωρούνται ασφαλή εφόσον ακολουθούνται οι οδηγίες που διέπουν τη

χρήση τους. Ωστόσο, αυτό είναι κοινή ανησυχία ότι θα μπορούσαν να προκαλέσουν καρκίνο ή να δράσουν ως δηλητήρια, αν και υπάρχουν λίγα στοιχεία που να δικαιολογούν αυτούς τους φόβους.

Οι περιβαλλοντικοί έλεγχοι γίνονται μετρώντας τις συγκεντρώσεις των φυτοφαρμάκων στο νερό και στην τροφή. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό είναι:

- 1) $0.1 \mu\text{g l}^{-1}$ για οποιοδήποτε εξατομικευμένο φυτοφάρμακο και τα σχετικά προϊόντα και
- 2) $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ για όλα τα φυτοφάρμακα και τα σχετικά προϊόντα.

Αυτές οι συγκεντρώσεις βασίζονται στα όρια ανίχνευσης παρά στις συγκεντρώσεις που αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Ωστόσο είναι υποχρεωτικές.

Υποβάθμιση του εδάφους

Υπάρχουν αρκετές πιθανές αιτίες για την υποβάθμιση του εδάφους (Πίνακας 13.5). Μερικές έχουν συζητηθεί σε προηγούμενα κεφάλαια: από πλημμύρα και συμπίεση, διάβρωση, οξύνιση, επεξεργασία με άλατα και νάτριο και έως την συσσώρευση βαρέων μετάλλων και άλλων ανόργανων υλικών που προκαλούν μόλυνση. Όλα αυτά, και ιδιαίτερα η διάβρωση και η οξύνιση, μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον με ποικίλους τρόπους. Σ' αυτή την ενότητα συνοψίζονται οι συνέπειες τους στην γονιμότητα του εδάφους. Συζητούνται επίσης οι συνέπειες της εξασθένησης των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά και η σημασία της οργανικής ύλης του εδάφους.

Πίνακας 13.5. Αιτίες της υποβάθμισης του εδάφους

Διάβρωση

Οξύνιση

Επεξεργασία με άλατα και νάτριο

Συσσώρευση τοξικών στοιχείων

Εξασθένηση των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά

Μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ύλη

Συμπύεση και δημιουργία κρούστας

Πλημμύρισμα, εκτός απ' την περίπτωση του ρυζιού

Η επιταχυνόμενη διάβρωση του εδάφους είναι ο μεγαλύτερος κίνδυνος στα περισσότερα περιβάλλοντα για την μακροπρόθεσμη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους. Μειώνει το βάθος του εδάφους, και θα μπορούσε να απομακρύνει ολόκληρο το έδαφος. Η απώλεια του επιφανειακού εδάφους σημαίνει απώλεια του στρώματος με τα περισσότερα θρεπτικά συστατικά, την περισσότερη οργανική ύλη και την καλύτερη δομή για την ανάπτυξη των ριζών. Η διάβρωση μπορεί να μειώσει την απόδοση της καλλιέργειας στο μηδέν, μολονότι η απώλεια μερικών τόνων εδάφους ανά εκτάριο θα μπορούσε να έχει επίδραση που δεν φαίνεται εάν το προφίλ του εδάφους είναι βαθύ. Γενικά, η επιταχυνόμενη διάβρωση είναι η πιο φανερή μορφή υποβάθμισης του εδάφους. Τα μέτρα ελέγχου μπορεί να είναι ακριβά.

Λιγότερο φανερή είναι η επίδραση της οξύνισης του εδάφους. Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 9, είναι μια φυσική διαδικασία, η οποία επιταχύνεται με την χρήση των λιπασμάτων που περιέχουν άλατα αμμωνίου ή ουρία, από την βιολογική καθήλωση του αζώτου, την απομάκρυνση των συστατικών στις σοδειές, και την απόθεση οξέων, και ουσιών που σχηματίζουν οξέα από την ατμόσφαιρα. Εκτός κι αν το μητρικό υλικό παρέχει βασικά κατιόντα σε επαρκή βαθμό, τα εδάφη υπό φυσική βλάστηση σε ένα υγρό κλίμα γίνονται όξινα. Το pH ενός αδύναμα ρυθμιστικού διαλύματος μπορεί να πέσει από 6.0 έως 4.5 σε δύο ή τρία χρόνια εάν προστεθούν $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ως άλας του αμμωνίου, ένα από το πιο οξεοποιητικά λιπάσματα. Η οξύτητα του εδάφους είναι ένα ευρέως διαδεδομένο πρόβλημα που είναι κοστίζει για να θεραπευτεί εκτός κι αν είναι διαθέσιμες τοπικές πηγές ασβεστόλιθου.

Η επεξεργασία με άλας και νάτριο είναι προβλήματα που συμβαίνουν σε ημί-ξηρα περιβάλλοντα όταν οι καλλιέργειες ποτίζονται. Τα προβλήματα μπορούν να αποτραπούν με την χρήση υπερβολικού νερού και την εγκατάσταση ενός αποστραγγιστικού συστήματος. Όπως και με τα μέτρα για να διατηρήσουμε τα εδάφη και να επαναφέρουμε την οξύτητα του εδάφους που περιγράψαμε παραπάνω, η αποτροπή κοστίζει χρήματα.

Η μόλυνση του εδάφους με βαρέα μέταλλα γίνεται κυρίως από διεργασίες εξόρυξης και κατασκευαστικές διεργασίες, τη χρήση μόλυβδου στο πετρέλαιο και την διάθεση του στα βιομηχανικά απόβλητα. Αντίθετα με την μόλυνση με οργανικές ουσίες, τα βαρέα μέταλλα παραμένουν στο έδαφος και εκεί όπου η μόλυνση είναι σοβαρή δεν υπάρχει θεραπεία εκτός από το να αντικαταστήσουμε το μολυσμένο έδαφος. Η σοβαρή μόλυνση με ραδιονουκλίδια απαιτεί το ίδιο, ακραία μέθοδο θεραπείας.

Χρειάζονται έλεγχοι ασφαλείας στα τρόφιμα και στο νερό για την λιγότερο σοβαρή μόλυνση.

Η υποβάθμιση του εδάφους μπορεί επίσης να οφείλεται στην εξασθένηση των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά. Οι καλλιέργειες που συλλέγονται, και τα ζωικά προϊόντα σε ένα μικρότερο βαθμό, απομακρύνουν τα θρεπτικά συστατικά. Για παράδειγμα, κατά μέσο όρο, κάθε τόνος καρπού δημητριακών απομακρύνει περίπου 20kg N, 4kg P, 6kg K, 2kg S, 1kg Ca, 1kg Mg και μικρότερα ποσά ιχνοστοιχείων. Πολύ μεγαλύτερα ποσά από άζωτο, θείο, ασβέστιο και μαγνήσιο μπορούν να χαθούν με την διήθηση σε ένα υγρό περιβάλλον, και το άζωτο χάνεται στην ατμόσφαιρα με την αφαίρεση αζώτου και την εξάτμιση της αμμωνίας. Το φωσφορικό άλας, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το κάλιο και τα ιχνοστοιχεία ανανεώνονται αργά εάν είναι παρόντα στο έδαφος ορυκτά που περιέχουν αυτά τα στοιχεία. Ωστόσο, είναι απαραίτητη η προσθήκη στο έδαφος για να αποφευχθεί η εξασθένηση των θρεπτικών συστατικών των φυτών.

Η οργανική ύλη δεν είναι ένα βασικό συστατικό του εδάφους αλλά έχει σημαντικές συνέπειες στην δομή του εδάφους ως μια πηγή θρεπτικών συστατικών, ιδιαίτερα του αζώτου, του φωσφόρου και του θείου. Η περιεκτικότητα της οργανικής ύλης μειώνεται κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας περίπου στο μισό έως και το ένα τρίτο αυτής που είναι παρούσας μετά από μια μακρά περίοδο κάτω από το γρασίδι ή τα δέντρα. Μπορεί να αυξηθεί με την εφαρμογή οργανικής κοπριάς ή βάζοντας το χώμα κάτω από γρασίδι για περίοδο ετών. Πολλά πειράματα έχουν συγκρίνει τις αποδόσεις της καλλιέργειας σε τμήματα αγρών που λαμβάνουν λιπάσματα με αποδόσεις σε τμήματα με εφαρμογή οργανικής κοπριάς ή αφού έχει αναπτυχθεί γρασίδι. Παραδείγματα των αποτελεσμάτων δίνονται στο Σχήμα 8.6 και στον Πίνακα 8.3. Από μια ολοκληρωτική θεώρηση των πειραμάτων, το συμπέρασμα του Cooke ήταν ότι οι οικονομικές αποδόσεις μπορεί να ληφθούν με μόνιμα καλλιεργητικά συστήματα χωρίς να είναι αναγκαία καμιά ειδική δράση για να προσθέσουμε οργανική ύλη με κοπριά ή αυξάνοντας το είδος γρασιδιού, και ότι η χρήση τους θα πρέπει να καθορίζεται από το ακολουθούμενο σύστημα καλλιέργειας, το οποίο θα πρέπει να είναι κερδοφόρο.

Ο Cooke θεώρησε το συμπέρασμά του ως πειραματικό και όχι απαραίτητα εφαρμόσιμο σε όλα τα εδάφη. Τόνισε ότι η οργανική ύλη θα μπορούσε να είναι πιο ευεργετική σε δριμύτερα κλίματα. Υπάρχει περαιτέρω συζήτηση για τη διαχείριση της οργανικής ύλης του εδάφους στην Ενότητα 13.8.

Ξηρασία

Οι απαιτήσεις των φυτών για νερό συζητούνται στην Ενότητα 7.4, όπου γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης τα οποία επηρεάζουν την παροχή νερού στα φυτά και τις στρατηγικές τους για να επιζήσουν σε περιόδους έλλειψης νερού.

Η ξηρασία είναι ένα μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται από τις κοινότητες και που άμεσα εξαρτάται από την βροχόπτωση για πόσιμο νερό, την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την εκτροφή ζώων. Η ξηρασία μπορεί να ορισθεί αυθαίρετα ως ένας ορισμένος αριθμός ημερών χωρίς βροχή, ή ως μια περίοδος όταν η βροχόπτωση είναι σημαντικά πιο χαμηλή από το κανονικό. Για τις γεωργικές καλλιέργειες ορίζεται καλύτερα ως μια περίοδος στην οποία η έλλειψη νερού μειώνει σημαντικά την ανάπτυξη και την τελική απόδοση της καλλιέργειας. Σε μια περιοχή με οριακά επαρκή βροχόπτωση, η συνέπεια της βροχόπτωσης η οποία είναι σημαντικά κάτω από το κανονικό μπορεί να είναι καταστροφική. Το πρόβλημα μπορεί να συμβεί οπουδήποτε αλλά κατά τα τελευταία χρόνια υπήρξε ιδιαίτερα σοβαρό στην Αφρικανική Sahel.

Η Sahel εκτείνεται κατά μήκος των νότιων ορίων της Ερήμου Σαχάρας από τη Δυτική Αφρική έως το Σουδάν. Έχει καλοκαιρινή βροχόπτωση με ένα μακροπρόθεσμο μέσο όρο, ανάλογα με την περιοχή, έως και περίπου 500mm η οποία πέφτει σε μια σύντομη καλοκαιρινή εποχή. Η βροχόπτωση άρχισε να μειώνεται κατά τη δεκαετία του 1950 και επί αρκετά χρόνια έως τα τέλη της δεκαετίας του 1960 παρέμεινε κάτω από τον μακροπρόθεσμο μέσο όρο. Η αιτία της μείωσης της βροχόπτωσης δεν έχει τεκμηριωθεί ακόμη, αλλά φαίνεται να συνδέεται με μια αλλαγή στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θαλάσσης που κι αυτή δεν είναι ακόμη κατανοητή. Είναι γνωστό ότι μακρές περίοδοι ξηρασίας ακολουθούμενες από περιόδους βροχόπτωσης πάνω από το μέσο όρο έχουν συμβεί στο παρελθόν στην Sahel, γεγονός που υποδηλώνει αρκετά συχνές κυκλικές διακυμάνσεις της βροχόπτωσης.

Πριν την έναρξη της πρόσφατης ξηρασίας, μια σειρά ετών με καλή βροχή ενθάρρυνε τους γεωργούς να καλλιεργήσουν σοδειές που απαιτούν μια μεγαλύτερη περίοδο ανάπτυξης, όπως το ζαχαρόχορτο αντί για κεχρί, και να καλλιεργήσουν τη γη εκεί όπου η βροχόπτωση προηγουμένως ήταν πολύ χαμηλή. Η υψηλή βροχόπτωση βελτίωσε επίσης την ανάπτυξη των λιβαδιών τα οποία μπορούσαν τότε να αντέξουν

ένα μεγαλύτερο αριθμό βοοειδών. Η επιστροφή της ξηρασίας προκάλεσε αποτυχία στη σοδειά και λιμοκτονία των ζώων, και η συνέπεια αυξήθηκε από την παρουσία περισσότερων ανθρώπων και ζώων.

Η επιστροφή της ξηρασίας προκάλεσε επίσης φόβους ότι θα εξαπλώνονταν συνθήκες ερήμου, που ενδεχομένως να εντεινόταν από τις επιδράσεις των καλλιεργειών. Έχει συμβεί διάβρωση του ανέμου και σε μερικές περιοχές υπήρξε σοβαρή, όπως θα μπορούσε να αναμένεται εκεί όπου το έδαφος έχει σχηματισθεί από υλικό που φέρθηκε από τον άνεμο.

Ιδανικά, η χρήση της γης στην Sahel θα μπορούσε να βασίζεται στην αναμονή ξηρασίας, με το επακόλουθο να είναι ότι θα απαιτείται περισσότερη εντατική χρήση γης σε περιοχές με μια πιο αξιόπιστη προμήθεια νερού από βροχόπτωση ή με άρδευση στα βάθη της κοιλάδας.

Επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης καλλιέργεια

Οι επιστημονικές και τεχνολογικές αναπτύξεις κατά τη διάρκεια των περασμένων λίγων δεκαετιών έχουν οδηγήσει σε μια επαρκή παραγωγή, ή ακόμη και υπερπαραγωγή, τροφής στην Ευρώπη, την Βόρεια Αμερική και σε λίγες ακόμη χώρες. Αλλά στα περισσότερα μέρη του κόσμου χρειάζεται περισσότερη παραγωγή και θα συνεχίσει να χρειάζεται στο άμεσο μέλλον. Σ' αυτή την ενότητα αναφερόμαστε στις πιθανότητες και σε μερικά από τα προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν.

Οι οργώσιμες καλλιέργειες (το ρύζι σε εδάφη με μεγάλη υγρασία είναι μια σημαντική εξαίρεση) απαιτούν παρόμοιες συνθήκες εδάφους για να αυξηθούν καλά (Πίνακας 13.6). «Η γονιμότητα του εδάφους» είναι ο όρος που χρησιμοποιείται γι' αυτές τις συνθήκες και μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα του εδάφους να υποστηρίξει την σοδειά που μεγαλώνει. Οι εξατομικευμένες συνθήκες έχουν συζητηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Η καλή διαχείριση του εδάφους συνεπάγεται το να παρέχουμε αυτές τις συνθήκες, αλλά υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις (Πίνακας 8.5) για να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις της καλλιέργειας. Μερικές απ' αυτές τις απαιτήσεις απεικονίζονται από το ιστορικό της απόδοσης των δημητριακών στην Αγγλία.

Έως την αρχή του δέκατου έκτου αιώνα, η απόδοση του σιταριού στην Αγγλία ήταν λιγότερη από 1 t ha^{-1} . Η περίφραξη της γης και η χρήση αγρανάπαυσης ανέβασαν την απόδοση σε περίπου 1.5 t ha^{-1} έως τα μέσα του δέκατου όγδοου αιώνα. Έως το

1900 η απόδοση είχε αυξηθεί έως και 2 t ha^{-1} χάρη στη χρήση εναλλαγών, τις καλύτερες μεθόδους καλλιέργειας και σποράς και την εισαγωγή λιπασμάτων. Η απόδοση από τότε έχει αυξηθεί πιο γρήγορα εξαιτίας των καλύτερων ποικιλιών και της χρήσης περισσότερου λιπάσματος και ζιζανιοκτόνων και τώρα ξεπερνάει τους 5 t ha^{-1} (Σχήμα 13.5). Οι αποδόσεις άλλων οργώσιμων καλλιεργειών καθώς και γρασιδιού έχουν επίσης αυξηθεί σημαντικά. Στην Ιαπωνία η απόδοση του ρυζιού έχει αυξηθεί με παρόμοιο τρόπο μ' αυτόν του σιταριού στην Αγγλία.

Πίνακας 13.6. Απαιτούμενες συνθήκες εδάφους για καλή ανάπτυξη της σοδειάς

Επαρκές βάθος εδάφους

Κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες

Υψηλή διαθεσιμότητα νερού

Αέρισμα της ζώνης των ριζών

Κατάλληλη θερμοκρασία

Μη περιορισμένη παροχή θρεπτικών συστατικών

pH περίπου 6

Μη τοξικές συγκεντρώσεις μετάλλων, αλάτων ή ζιζανιοκτόνων

Στον Τρίτο Κόσμο οι αποδόσεις της οργώσιμης σοδειάς μπορούν επίσης να αυξηθούν σημαντικά με τις κατάλληλες καλλιέργειες, την καλλιέργεια ποικιλιών με υψηλή απόδοση και τη χρήση λιπασμάτων, εντομοκτόνων και άρδευσης. Για παράδειγμα, κατά τα τελευταία 35 έτη, ο μέσος όρος απόδοσης του σιταριού στην Ινδία έχει αυξηθεί από 0.74 έως 3.5 t ha^{-1} και στην Κίνα από 0.74 έως 3.04 t ha^{-1} .

Η επιτυχία της επονομαζόμενης «Πράσινης Επανάστασης» εξαρτάται από ένα πακέτο εισροών, όπως αυτές που εισήχθησαν σταδιακά στο παρελθόν και που απεικονίζονται πιο πάνω για το σιτάρι στην Αγγλία. Συμπεριλαμβάνουν νέες, ποικιλίες με κοντό μίσχο με ένα υψηλό δείκτη συγκομιδής, τη χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων και συχνά την άρδευση. Εκεί όπου η αλλαγή της παραγωγής έχει εισαχθεί με επιτυχία ο αγρότης μπόρεσε να αγοράσει τον απαιτούμενο σπόρο και τα χημικά, χρησιμοποιώντας συχνά τις κρατικές επιδοτήσεις. Σε πολλές χώρες, ωστόσο, οι ενδεχόμενες αυξήσεις απόδοσης δεν επιτυγχάνονται είτε επειδή οι απαιτούμενες

εισροές δεν μπορούν να πληρωθούν είτε επειδή δεν είναι διαθέσιμες και η αποθήκευση καθώς και η αγορά για την παραγωγή δεν είναι αρκετή.

Μπορεί επίσης να υπάρχει δυσκολία όσον αφορά την εισαγωγή άρδευσης, που μπορεί να είναι ακριβή και δεν είναι πάντοτε επιτυχημένη. Το πακέτο των εισροών που αναφέρονται πιο πάνω είναι αναγκαίο επειδή χρειάζονται υψηλότερες αποδόσεις σε σοδειά για να δικαιολογήσουν το κόστος του προγράμματος άρδευσης. Επιπλέον, οι αγρότες πρέπει να προσαρμοσθούν στην διαχείριση της άρδευσης, που παίρνει χρόνο για να γίνει σωστά. Μπορεί επίσης να υπάρχουν προβλήματα υγεία εξαιτίας των ψεκασμών για την ελονοσία και την bilharzias.

Η γενική ομοφωνία είναι ότι τα περισσότερα δυσεπίλυτα προβλήματα που περιορίζουν την ανάπτυξη της αγροτικής παραγωγής στον Τρίτο Κόσμο είναι οικονομικά και πολιτικά. Τα τεχνικά προβλήματα της διαχείρισης του εδάφους επιλύονται, αλλά υπάρχει ανάγκη για συνεχόμενη έρευνα των καλλιεργητικών συστημάτων που είναι αποδεκτά από τους αγρότες και δίνουν ανθεκτικές αποδόσεις μακροπρόθεσμα. Η ανθεκτικότητα συζητείται στην Ενότητα 13.9. Στην συνέχεια μελετάται η θέση της οργανικής καλλιέργειας.

Οργανική καλλιέργεια

Η γενική αρχή της οργανικής καλλιέργειας είναι να δημιουργήσει ένα σύστημα το οποίο βασίζεται σε βιολογικές διεργασίες για την παραγωγή των καλλιεργειών και την εκτροφή ζώων φάρμας και για την προστασία τους από ζιζάνια και ασθένειες. Πιο συγκεκριμένα, αποφεύγει τη χρήση των ζιζανιοκτόνων και των υδατοδιαλυτών λιπασμάτων, και στοχεύει στο να παράγει τροφή που θεωρείται από τον καταναλωτή ως ασφαλής ή πιο υγιής από ότι εκείνη που παράγεται από την συμβατική καλλιέργεια.

Για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για οργανικό άζωτο οι αγρότες χρησιμοποιούν καλλιέργειες οσπρίων, το άζωτο που αφήνεται στο έδαφος προμηθεύει μέρος των απαιτήσεων της επακόλουθης καλλιέργειας που δεν περιλαμβάνει όσπρια. Το φωσφορικό άλας των βράχων και η βασική σκουριά χρησιμοποιούνται αντί για υδατοδιαλυτά λιπάσματα φωσφορικού άλατος και ο συνθλιμένος βράχος (μερικοί σχιστόλιθοι είναι κατάλληλοι) αντικαθιστά τα συμβατικά λιπάσματα καλίου. Ο έλεγχος των ζιζανίων, των ασθενειών και των βλαβερών εντόμων γίνεται με αγρονομικές πρακτικές που συμπεριλαμβάνουν την χρήση εναλλαγών, τις κατάλληλες καλλιέργειες και την επιλογή ποικιλιών που είναι

ανθεκτικές σε ασθένειες και βλαβερά έντομα. Η ζωική κοπριά, το λίπασμα από φύλλα και τα λιπάσματα από άλλα φυτά χρησιμοποιούνται για να διατηρήσουν το επίπεδο της οργανικής ύλης του εδάφους.

Έχει υπάρξει μια ποικιλία πρακτικών στην οργανική καλλιέργεια που τώρα τυποποιείται. Ωστόσο, ο βασικός ορισμός είναι ότι αυτή είναι καλλιέργεια χωρίς τη χρήση διαλυτών λιπασμάτων ή συνθετικών ζιζανιοκτόνων. Η οικονομική βιωσιμότητά της εξαρτάται από την υψηλότερη τιμή που θα πληρώσουν οι πελάτες για τρόφιμα από οργανική καλλιέργεια επειδή οι αποδόσεις γενικά είναι μικρότερες από ότι στην συμβατική καλλιέργεια. Θα δοθούν δύο παραδείγματα.

Το πρώτο παράδειγμα είναι οι αποδόσεις σοδειάς (σχήμα 13.6) που πάρθηκαν στην ανατολική Αγγλία μεταξύ του 1952 και 1965 σε μια φάρμα των 91 ha που είχε χωρισθεί το 1941 σε τρεις ξεχωριστές μονάδες: οργανική, μικτή και χωρίς ζώα. Βοοειδή που παράγουν γάλα, γουρούνια, πρόβατα και πουλερικά κρατήθηκαν στις οργανικές και μεικτές μονάδες. Τα υπολείμματα των καλλιεργειών και οι κοπριές των ζώων που παράγονταν μέσα στην κάθε μονάδα χρησιμοποιούνταν στις οργώσιμες καλλιέργειες. Τα λιπάσματα χρησιμοποιήθηκαν στις μονάδες χωρίς ζώα και στις μεικτές μονάδες. Ο μέσος όρος των αποδόσεων σε 14 χρόνια στην οργανική μονάδα ως αναλογία σε εκείνο της χωρίς ζώα μονάδας ήταν 93, 80 και 75 για το σιτάρι, το κριθάρι και τα φασόλια αντίστοιχα.

Μια σύγκριση ανάμεσα στα οργανικά και τα συμβατικά συστήματα στην βορειο-ανατολική ΗΠΑ έχει καταγραφεί από το CAST (1980). Οι αποδόσεις στις οργανικές φάρμες εκφράσθηκαν ως αναλογίες εκείνων στις συμβατικές φάρμες και κυμαίνονταν μεταξύ του 56 και 107 με ένα γενικό μέσο όρο του 83. Παρόμοιες συγκριτικές αποδόσεις έχουν καταγραφεί και από άλλες χώρες. Ωστόσο, οι αποδόσεις εξαρτώνται από το επίπεδο των εισροών στα δύο συστήματα.

Οι συνήγοροι της οργανικής καλλιέργειας συνήθως την βλέπουν ως ένα αυτό-παραγωγικό σύστημα το οποίο απαιτεί χαμηλές εξωτερικές εισροές για να διατηρηθεί η γονιμότητα του εδάφους και παράγει τρόφιμα υψηλής ποιότητας. Αυτοί οι στόχοι, μαζί με τις υψηλές αποδόσεις, που συνήθως είναι σημαντικοί για την κερδοφορία, αποτελούν τους στόχους οποιουδήποτε καλού αγρότη. Εκεί όπου οι πελάτες είναι προετοιμασμένοι να αντιμετωπίσουν το υψηλότερο κόστος, οι τροφές οργανικής καλλιέργειας βρίσκουν μια έτοιμη αγορά. Στον Τρίτο Κόσμο, οι χαμηλές εισροές συχνά είναι απαραίτητες, όπως είναι η διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους. Ωστόσο, οι αποδόσεις των καλλιεργειών και των ζώων φάρμας πρέπει να αυξηθούν,

και η αυστηρή προσκόλληση στις αρχές της οργανικής καλλιέργειας, που αποκλείει τη χρήση διαλυτών λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων, γενικά δεν ικανοποιεί αυτή την απαίτηση.

Διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους

Όπως προσδιορίστηκε προηγουμένως, η γονιμότητα του εδάφους είναι η ικανότητα του εδάφους να υποστηρίξει την σοδειά που καλλιεργείται. Εάν συμβεί οποιαδήποτε μορφή υποβάθμισης του εδάφους η γονιμότητα θα γίνει μικρότερη και θα μπορούσε να χαθεί εξ ολοκλήρου. Επιπρόσθετα με τις αιτίες που καταγράφηκαν, η αύξηση των αγριόχορτων, οι οργανισμοί που προκαλούν ασθένειες, τα έντομα και άλλα ζιζάνια θα βλάψουν την σοδειά και συνεπώς θα πρέπει να αποφεύγονται.

Οι πρακτικές που υιοθετούνται από τον αγρότη για να διατηρήσει την γονιμότητα του εδάφους του εξαρτώνται από το φυσικό του περιβάλλον και τις οικονομικές περιστάσεις. Εκεί όπου ενδέχεται να συμβεί διάβρωση, τα μέτρα διατήρησης αποτελούν προτεραιότητα, και εκεί όπου τα λιπάσματα είναι ακριβά ή δεν είναι διαθέσιμα είναι σημαντικό να ανακυκλώνονται τα θρεπτικά συστατικά και να χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα βιολογικής καθήλωσης αζώτου. Οποδήποτε αλλού θα μπορούσε να είναι αναγκαίο να αποτρέψουν το έδαφος από το να γίνει όξινο. Με άλλα λόγια, δεν υπάρχει μία μέθοδος διατήρησης της γονιμότητας του εδάφους που να είναι γενικά εφαρμόσιμη.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι στα Ηνωμένα Βασίλεια συμπεριελάμβαναν τις εναλλαγές καλλιέργειας, τη χρήση κοπριάς φάρμας, την ανάπτυξη οσπρίων και την γυμνή αγρανάπαυση. Η εναλλαγή καλλιέργειας έλεγχε τους πληθυσμούς των αγριόχορτων, τους οργανισμούς που προκαλούν ασθένειες και τα βλαβερά έντομα. Η κοπριά της φάρμας παρείχε θρεπτικά συστατικά και βελτίωνε τη φυσική κατάσταση του εδάφους. Τα όσπρια παρείχαν άζωτο, και η γυμνή αγρανάπαυση έδινε επιπλέον έλεγχο στα αγριόχορτα και επέτρεπε το ορυκτό άζωτο να συσσωρευθεί στο έδαφος. Μια αγρανάπαυση με θάμνους, που αποτελεί μέρος της εναλλαγής που ασκούνταν παραδοσιακά σε πολλά τροπικά μέρη, ελέγχει με παρόμοιο τρόπο τα ζιζάνια και προσθέτει θρεπτικά συστατικά στην επιφάνεια του εδάφους με το πέσιμο των φύλλων και με τη στάχτη όταν καίγονται τα φυτά χαμηλής βλάστησης. Αυτές οι παραδοσιακές μέθοδοι διατήρησαν τις αποδόσεις της καλλιέργειας, αν και σε χαμηλό επίπεδο, και μπορεί να ειπωθεί ότι έχει διατηρήσει την γονιμότητα του εδάφους.

Απ' την δεκαετία του 1950, η καλλιέργεια και η παραγωγή ζώων έχει γίνει πιο εντατική στις βιομηχανοποιημένες χώρες. Στα Ηνωμένα Βασίλεια η παραγωγή ζώων έχει μεταφερθεί κατά πολύ στην πιο υγρή δύση της χώρας αφήνοντας το ανατολικό μέρος αφιερωμένο κυρίως στις οργώσιμες καλλιέργειες που συχνά αυξάνονται συνεχώς. Υπήρξε ανησυχία στα τέλη της δεκαετίας του 1960 ότι μια συνέπεια θα μπορούσε να είναι μια απώλεια της γονιμότητας του εδάφους, ιδιαίτερα της δομής του εδάφους στα λασπώδη εδάφη. Ως τώρα δεν υπάρχουν ακόμη στοιχεία που να δείχνουν ότι οι αποδόσεις της σοδειάς μειώνονται.

Υπάρχει περισσότερος κίνδυνος από την εντατικοποίηση στις τροπικές χώρες ιδιαίτερα από τη διάβρωση. Ωστόσο, σε μια πειραματική περιοχή στη βόρεια Νιγηρία όπου χρησιμοποιήθηκαν καλά μέτρα διατήρησης, η μηχανική καλλιέργεια και η χρήση λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων συνεχίστηκαν επί αρκετά χρόνια για να δώσουν αποδόσεις σε σοδειά περίπου πέντε φορές πιο ψηλές από εκείνες που πάρθηκαν από τους ντόπιους αγρότες. Ένα φθηνότερο και λιγότερο εντατικό σύστημα θα ήταν επίσης επιτυχημένο εφόσον συμπεριλάμβανε μέτρα διατήρησης του εδάφους.

Αγροδασονομία

Ένα είδος αγροδασονομίας έχει υπάρξει η παραδοσιακή μέθοδος διατήρησης της γονιμότητας του εδάφους στις τροπικές χώρες. Αφού μικρά τεμάχια γης καλλιεργήθηκαν επί δύο ή τρία χρόνια η γη αφέθηκε να επανέλθει στους θάμνους (δάσος) για μια περίοδο δέκα έως είκοσι ετών. Η περίοδος ανάπαυσης γίνεται πιο σύντομη όταν αυξάνεται ο πληθυσμός. Συχνά ακολουθεί η διάβρωση του εδάφους.

Όπως χρησιμοποιείται τώρα ο όρος, η αγροδασονομία τώρα αναφέρεται σε ένα είδος χρήσης γης στις εύκρατες και τροπικές περιοχές που βοηθάει να ελεγχθεί η διάβρωση του εδάφους και να διατηρηθεί η γονιμότητα του εδάφους καλλιεργώντας δέντρα και θάμνους σε συνδυασμό με καλλιέργειες ή λιβάδια. Μπορούν να καλλιεργηθούν με μια ποικιλία τρόπων, για παράδειγμα, με εναλλαγή καλλιεργειών, ως θάμνοι σε φράχτες που χωρίζουν λουρίδες καλλιεργημένης γης, ή διατηρώντας δέντρα ή ομάδες δέντρων στην γη η οποία καλλιεργείται ή σε λιβάδια. Τα είδη που φυτεύονται στις τροπικές χώρες περιλαμβάνουν το *Leucaena leucocephala*, που καθηλώνουν το άζωτο. Αυτό μπορεί να παρέχει $100-200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ στο κούρεμά τους, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κάλυμμα προστασία των ριζών. Ερευνώνται πολλά άλλα είδη.

Πίνακας 13.7. Ευεργετικές και επιζήμιες συνέπειες των δέντρων στην γονιμότητα του εδάφους

Ευεργετικές Συνέπειες

1. Τα σκουπίδια απ' τα δέντρα προφυλάσσουν το έδαφος απ' τη διάβρωση
2. Τα σκουπίδια προσθέτουν οργανική ύλη και θρεπτικά συστατικά στην επιφάνεια του εδάφους (δείτε Πίνακα 8.7)
3. Τα δέντρα μειώνουν την απώλεια από την διήθηση των θρεπτικών συστατικών των φυτών
4. Μερικά είδη καθηλώνουν το άζωτο σε συμβίωση με τα βακτήρια

Επιζήμιες Συνέπειες

1. Ανταγωνίζονται τις οργώσιμες καλλιέργειες και το γρασίδι για νερό και θρεπτικά συστατικά.
2. Μπορεί να προκαλέσουν οξύνιση
3. Τα θρεπτικά συστατικά απομακρύνονται από την συγκομιδή των δέντρων.

Τα δέντρα παρέχουν οικονομικά οφέλη με το να είναι πηγή ξύλου ως υλικό για κτίσιμο και για καύσιμο. Έχουν επίσης ευεργετικές συνέπειες στην γονιμότητα του εδάφους αν και μπορούν επίσης να έχουν και επιζήμιες συνέπειες (Πίνακας 13.7). Μπορούν να προστατεύσουν το έδαφος από τη διάβρωση εξαιτίας α) του καλύμματος του εδάφους με σκουπίδια απ' τα δέντρα, και β) την παρουσία φυτών χαμηλής βλάστησης. Η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, η συγκράτηση μέσα στον ιστό τους και η επιστροφή στην επιφάνεια του εδάφους στα σκουπίδια που προκαλούνται από τα δέντρα, μειώνει την απώλεια από τη διήθηση. Ένα άλλο όφελος είναι η καθήλωση του αζώτου στη συμβίωση με το *Rhizobium* μερικών ειδών. Ωστόσο, αυτά πράγματι ανταγωνίζονται με τις οργώσιμες καλλιέργειες και με το γρασίδι για φως, νερό και θρεπτικά συστατικά. Μπορούν επίσης να προκαλέσουν οξύνιση του εδάφους (Σχήμα 9.3b)

Για να διατηρηθεί η γονιμότητα του εδάφους σε πιο εντατική χρήση όπου υπάρχει λίγη προηγούμενη εμπειρία, χρειάζονται έρευνες του εδάφους, και αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνουν την ταυτοποίηση πιθανών αιτιών υποβάθμισης. Εάν υπάρχουν

κίνδυνοι, χρειάζονται μέτρα ελέγχου τα οποία θα πρέπει να ακολουθούνται με την κανονική παρακολούθηση των ιδιοτήτων του εδάφους που διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο.

Κάνοντας την καλύτερη χρήση του εδάφους

Εκεί όπου πρόκειται να αναπτυχθεί νέα γη, ή η χρήση γης πρόκειται να αλλάξει, είναι τώρα κανονικό να κάνουμε μια έρευνα των πόρων του. Για την γεωργία αυτοί οι πόροι συμπεριλαμβάνουν χαρακτηριστικά των συνολικών, σχετικών περιβαλλοντικών συνθηκών συμπεριλαμβάνοντας το κλίμα, την κλίση των επιφανειών της γης, τα εδάφη, την υδατολογία, την βλάστηση, και τους ανθρώπους, την κοινωνική τους οργάνωση και την πρόσβαση στις αγορές. Η έρευνα, γνωστή ως μια γενική αξιολόγηση του σκοπού της γης, απαιτεί πληροφορίες που λαμβάνονται για το έδαφος και υποστηρίζεται από αεροφωτογραφίες.

Όποιος κι αν είναι ο σκοπός της έρευνας, απαιτείται εμπειρία και δεξιότητες του ερευνητή εάν πρόκειται να πετύχει. Εδώ αναφέρονται μόνο λίγα σημεία. Τα βιβλία που προτείνονται για περαιτέρω ανάγνωση θα πρέπει να μελετώνται για πιο λεπτομερείς εξηγήσεις, για παράδειγμα Landon (1991).

Ένα σύστημα αξιολόγησης της γης που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ και είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο για προγράμματα αγροτικής ανάπτυξης βασίζεται στους περιορισμούς για γεωργική χρήση. Είναι γνωστό ως μια ταξινόμηση ικανότητας της γης. Το σχήμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.7 έχει οκτώ τάξεις γης, και μέσα σε κάθε μία τάξη ο περιορισμός θα μπορούσε να είναι κίνδυνος από διάβρωση, πλεόνασμα νερού, σκληρότητα, οξύτητα, ρηχό προφίλ, ή κλιματικοί περιορισμοί. Τα όρια ικανότητας της γης ταυτοποιούνται συγκεντρώνοντας χαρτογραφημένες μονάδες εδάφους. Ένα παράδειγμα επιτυχημένης χρήσης των τάξεων της ικανότητας της γης είναι το Canadian Land Inventory.

Τα στοιχεία πόρων της γης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμήσουμε την καταλληλότητα της γης, μια έννοια που εισήχθη από τον FAO. Ενώ η κάθε τάξη ικανότητας καλύπτει μια μεγάλη κλίμακα καλλιεργειών σε μέτρια υψηλά επίπεδα διαχείρισης, μια τάξη καταλληλότητας σχετίζεται με τη συγκεκριμένη σοδειά, έχουν δημοσιευθεί συγκεκριμένες οδηγίες για καλλιέργειες που ποτίζονται και για κείνες που ποτίζονται από τη βροχή και για την δασοκομία. Σε όλες τις κλίμακες, από ένα εξατομικευμένο αγρό, έως μια φάρμα, πιάσιμο νερού και περιοχή, τρία επίπεδα καταλληλότητας, και μη κατάλληλο, μπορούν να καθιερωθούν και να

χαρτογραφηθούν. Το σύστημα αναπτύσσεται περαιτέρω από τον FAO για να καθιερώσει αγροοικολογικές ζώνες για να περιγράψει την παρούσα και πιθανή χρήση των παγκόσμιων πόρων της γης.

Πίνακας 13.8. Μερικά παραδείγματα επιτυχημένων ερευνών εδάφους και μελετών αξιολόγησης της γης

-
1. **Αγρο-ποιμενική ανάπτυξη στο Queensland, στην Αυστραλία**
 2. **Αρδευόμενο ζαχαροκάλαμο στην Σουαζιλάνδη**
 3. **Καλλιέργεια σόγιας σε επίπεδο χωριού (village-based) στο Andhra Pradesh, στην Ινδία.**
 4. **Σοδειές με νερό στο Ισραήλ και στην βόρεια Κένυα**
 5. **Διαχείριση Εθνικού Πάρκου, Waterton Lakes στην Alberta, στον Καναδά.**
 6. **Εγκατάσταση και παρακολούθηση περιοχών αναψυχής στο Χονγκ Κονγκ**
 7. **Σχεδιασμός αστικής υποδιαίρεσης και απορρέουσα διανομή στις ΗΠΑ.**
 8. **Εγκατάσταση ενός δικτύου σωλήνων-αερίου στα Ηνωμένα Βασίλεια**
-

Μια άλλη έννοια είναι εκείνη της μεταφοράς της αγροτεχνολογίας, που άρχισε στις ΗΠΑ και αναπτύχθηκε στο Πρόγραμμα Benchmark Soils. Το βασικό θεώρημα είναι ότι εάν η διαχείριση και η απόδοση της σοδειάς είναι γνωστά σε ένα έδαφος του οποίου οι ιδιότητες περιγράφονται, παρόμοιες αποδόσεις μπορούν να αναμένονται σε έδαφος με τις ίδιες ιδιότητες και την ίδια διαχείριση σε μια άλλη θέση, ακόμη και σε μια άλλη χώρα. Οι χαμηλότερες αποδόσεις θα μπορούσαν να υποδηλώσουν την ανάγκη για να βελτιώσουμε την διαχείριση.

Πριν χαρτογραφήσουμε νέα γη πρώτα είναι αναγκαίο να ξέρουμε για ποιο σκοπό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η γη. Μετά ταυτοποιούνται και χαρτογραφούνται μόνο εκείνες οι ιδιότητες που είναι αναγκαίες για να καθιερώσουν την καταλληλότητα της γης για την στοχευόμενη χρήση της. Ο σκοπός της έρευνας θα μπορούσε να είναι να χρησιμοποιήσουμε τη γη για κάποιο είδος γεωργίας ή για δασοπονία, κατασκευή εθνικών οδών ή κτιρίων, αναψυχή ή διατήρηση της φύσης.

Έχουν υπάρξει πολλές επιτυχημένες έρευνες, λίγες από τις οποίες καταγράφονται στον Πίνακα 13.8, για να δείξουν το πεδίο στο οποίο έχουν χρησιμοποιηθεί. Έχουν

υπάρξει γενικά πιο επιτυχημένες σε μια λεπτομερή κλίμακα και όταν ο ερευνητής είχε τουλάχιστον μερική υπευθυνότητα για την επίβλεψη της υλοποίησής της.

13.11 Περίληψη

Οι ιδιότητες του εδάφους και οι διεργασίες που γίνονται σε αυτό επηρεάζουν άμεσα το περιβάλλον με τρόπους που περιγράφηκαν στα κεφάλαια 7 & 12 και συνοψίστηκαν στο κεφάλαιο 13.

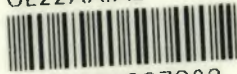
Λόγω της εξάρτησης του ανθρώπου από την παραγωγή των φυτειών του και των κατοικίδιων, είναι κατανοητό ότι η μεγαλύτερη γνώση μας αποκτήθηκε για λόγους γεωργικούς.. Η εμπειρία και ο πειραματισμός έδειξαν ότι κάποια παρθένα εδάφη μπορούν να καλλιεργηθούν άφοβα και είναι παραγωγικά, ενώ κάποια άλλα επιζητούν την προσθήκη κάποιων θρεπτικών συστατικών, ενώ κάποια άλλα έχουν ανάγκη την προστασία από εrosion και κάποια άλλα καλύτερα να παραμείνουν ανενόχλητα. Είναι πλέον κατανοητό ότι τα εδάφη της Γης είναι οριοθετημένα και γι' αυτό θα πρέπει να προστατευτούν. Η ποικιλία που τα διέπει δε, κάνει τις γενικότητες ως προς την χρήση τους μεγάλη παγίδα για τους μη σωστά ενημερωμένους.

Η συνεργασία αγροτών και επιστημόνων σε πολλές χώρες, έδειξαν ότι υψηλές αποδόσεις μπορούν να επιτευχθούν με την ελάχιστη δυνατή ζημιά του περιβάλλοντος. Στο παρελθόν, και δυστυχώς ακόμη και σήμερα, η αλόγιστη και ανεύθυνη χρήση και αξιοποίηση των χωραφιών παραμένει το πρόβλημα. Ένα θέμα το οποίο απασχολεί όσους ασχολούνται με την γεωργία, είναι πως θα αυξηθούν οι σοδιές χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον. Για να επιτευχθεί ένα τέτοιο εγχείρημα θα πρέπει να γίνει προσεκτική μελέτη των απαιτήσεων, φυσικών, βιολογικών, κοινωνικών και οικονομικών της κάθε περιοχής ξεχωριστά. Όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως, νέα γη μπορεί να καλλιεργηθεί, και στην υπάρχουσα να γίνει εντατικοποίηση της καλλιέργειας. Πως μπορεί αυτή η ανάπτυξη να προχωρήσει έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια.

Επιπρόσθετα τα εδάφη λειτουργούν ως στήριγμα για τα φυσικά οικοσυστήματα, αν και δεν έχουν μελετηθεί όσο θα έπρεπε από τους επιστήμονες.. Η πιθανότητα αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου δημιουργεί ένα έντονο ενδιαφέρον. Τα εδάφη είναι πηγές αλλά και αποδέκτες κάποιων ραδιενεργών αερίων, και επηρεάζουν την παγκόσμια ενεργεία, παράγοντας σκόνης που διαχέεται στην ατμόσφαιρα, Το γήινο περιβάλλον επηρεάζεται επίσης από την εναπόθεση οξέων ή ουσιών που δημιουργούν οξέα από την ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα διάσπασης ορυκτών καυσίμων. Το έδαφος απομονώνει την ροή του νερού μεταξύ ατμόσφαιρας και υδρόσφαιρας, και ελαττώνει την επίδραση των οξέων στα δέντρα, τις σοδειές και τις αποθήκες νερού.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097823